

الكترونيك قدرت



تأليف ريموند رمشو
ترجمه ابراهيم سيد گوگاني



مرکز نشر دانشگاهی

۱۰۲

درسنامه ها

۳۴



Power Electronics
Raymond Ramshaw
First Published 1973
by Chapman and Hall Ltd



الکترونیک قدرت
تألیف ریموند رمشو
ترجمه ابراهیم سید گوگانی
مرکز نشر دانشگاهی، چاپ اول ۱۳۶۴
تعداد ۳۰۰۰
چاپ و صحافی: چاپخانه سایه
حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاهی محفوظ است

فهرست

| صفحه | عنوان |
|------|--|
| ۰ | یادداشت مترجم |
| ۱ | مقدمه مؤلف |
| ۳ | ۱- الکترونیک قدرت و محرکهای الکتریکی چرخان |
| ۳ | ۱-۱ مقدمه |
| ۴ | ۲- الکترونیک قدرت |
| ۴ | ۲-۱ تیریستور |
| ۶ | ۳- محرکهای الکتریکی چرخان |
| ۷ | ۱-۳-۱ محرکهای الکتریکی جریان مستقیم |
| ۱۰ | ۲-۳-۱ محرکهای الکتریکی جریان متناوب |
| ۱۲ | ۳-۳-۱ گزینش محرکها و سیستمهای کنترل |
| ۱۵ | مراجع |
| ۱۶ | مسائل |
| ۱۹ | ۲- تیریستور |
| ۱۹ | ۱-۲ مقدمه |
| ۲۰ | ۲- نیمه هادیها |
| ۲۱ | ۱-۲-۲ دیود |
| ۲۳ | ۲-۲-۲ ترانزیستور |
| ۲۴ | (الف) حالت قطع |
| ۲۴ | (ب) ناحیه خطی |

| صفحه | عنوان |
|------|--|
| ۲۵ | (ب) اشیاع |
| ۲۶ | ۳-۲-۲ تیریستور |
| ۲۷ | (الف) مدل دیودی تیریستور |
| ۲۷ | (ب) مدل دو ترانزیستوری تیریستور |
| ۲۸ | ۳-۲ مشخصات تیریستور |
| ۲۸ | ۲-۳-۲ با یاس معکوس تیریستور |
| ۲۹ | ۲-۳-۲ تیریستور با یاس مستقیم و مسدود |
| ۲۹ | ۳-۳-۲ تیریستور با یاس مستقیم و هدایت |
| ۳۰ | (الف) روشن کردن توسط نور |
| ۳۰ | (ب) روشن کردن توسط علایم الکتریکی اعمال شده به دریچه |
| ۳۲ | (پ) روشن کردن با ولتاژ شکست |
| ۳۴ | (ت) روشن کردن dv/dt |
| ۳۴ | ۲-۴ خاموش شدن تیریستور |
| ۳۴ | ۱-۴-۲ روشاهای خاموشی یا قطع |
| ۳۵ | (انف) جابه جایی طبیعی |
| ۳۵ | (ب) خاموشی با یاس معکوس |
| ۳۵ | (پ) خاموشی دریچه |
| ۳۶ | ۲-۴-۲ زمان خاموشی تیریستور |
| ۳۷ | ۲-۵ مقادیر اسمی تیریستور |
| ۳۷ | ۱-۵-۲ مقادیر اسمی ولتاژ |
| ۳۸ | ۲-۵-۲ مقادیر اسمی جریان |
| ۳۸ | ۳-۵-۲ مقادیر اسمی قدرت |
| ۳۹ | (الف) تلفات جریان بار در هدایت مستقیم |
| ۳۹ | (ب) تلفات قدرت نشتی مستقیم |
| ۳۹ | (پ) تلفات خاموشی و تلفات قدرت نشتی معکوس |
| ۴۰ | (ت) تلفات قدرت دریچه |
| ۴۰ | (ث) تلفات روشن شدن |
| ۴۰ | ۴-۵-۲ مقادیر اسمی تناوبی |
| ۴۰ | ۶-۲ مراحل ساخت تیریستور |
| ۴۲ | ۷-۲ تیریستور در مدار |

| صفحه | عنوان |
|------|--|
| ۴۲ | ۱-۷-۲ اتصال سری تیریستورها |
| ۴۳ | ۲-۷-۲ اتصال موازی تیریستورها |
| ۴۴ | ۳-۷-۲ مدارهای راماندازی تیریستورها |
| ۴۵ | (الف) علایم فرمان جریان مستقیم |
| ۴۶ | (ب) علایم فرمان پالسی |
| ۴۸ | (پ) علایم فرمان جریان متناوب |
| ۵۰ | ۴-۷-۲ مدارهای خاموشی (یاقطع) تیریستور |
| ۵۰ | (الف) خود جابهجایی توسط مدار تشديد |
| ۵۱ | (ب) خاموش کردن تیریستور توسط مدار تشديد کمکی |
| ۵۲ | (پ) خاموش کردن تیریستور توسط خازن موازی |
| ۵۴ | (ت) خاموش کردن تیریستور توسط خازن سری |
| ۵۴ | ۸-۲ مدارهای حفاظت تیریستور |
| ۵۵ | ۱-۸-۲ اضافه ولتاژ |
| ۵۵ | ۲-۸-۲ اضافه جریان |
| ۵۶ | ۳-۸-۲ خیزهای (تبییرات ناگهانی) ولتاژ |
| ۶۰ | ۹-۲ قابلیتهای نسبی تیریستورها |
| ۶۱ | ۱۰-۲ تربید تیریستور دو طرفه یا تربیک |
| ۶۵ | ۱۱-۲ خلاصه مطالب گفته شده |
| ۶۶ | مثالهای حل شده |
| ۷۰ | مراجع |
| ۷۱ | مسائل |
| ۷۲ | ۳-کنترل موتورهای القائی |
| ۷۲ | ۱-۳ مقدمه |
| ۷۸ | ۲-۳ راه اندازی موتور القائی |
| ۸۱ | ۱-۲-۳ راه اندازی تیریستوری |
| ۸۲ | ۳-۳-۳ کنترل سرعت موتور القائی |
| ۸۸ | ۱-۳-۳ سیستمهای تیریستوری کنترل سرعت |
| ۸۸ | (الف) کلید جریان متناوب |
| ۹۲ | تمرین حل شده |
| ۹۴ | (ب) وارونگرها |

| صفحة | عنوان |
|------|---|
| ٩٦ | (١) طبقه‌بندی وارونگرها |
| ٩٦ | (٢) وارونگر (پ ۱) برای موتور القائی تکفار |
| ٩٩ | تحلیل مدار وارونگر (پ ۱) با بار اهمی |
| ١٥٦ | (٣) وارونگر کلاس ٤ برای موتور القائی سه‌فاز |
| ١١٢ | (ب) جابجائی وارونگر |
| ١١٢ | (١) وارونگر مک ماری |
| ١١٤ | مثال حل شده |
| ١١٦ | (٢) وارونگر مک ماری - بدفورد |
| ١١٨ | (٣) منبع تغذیه جابه‌جا کن کمکی |
| ١٢٥ | (ت) مناسب بودن ولتاژ با فرکانس |
| ١٢١ | (١) ترانسفورماتور با نسبت تبدیل متغیر |
| ١٢١ | (٢) واگردان ولتاژ متغیر |
| ١٢٢ | (٣) کنترل ولتاژ وارونگر |
| ١٢٦ | (ث) حذف هارمونیکها |
| ١٢٧ | (١) کنترل پهنهای پالس مرکب |
| ١٢٨ | (٢) کاهش هارمونیکها مورد نظر |
| ١٣٣ | (٣) خنثی کردن هارمونیکها توسط ترکیب موج |
| ١٤٠ | (ج) ارزیابی وارونگرهای سه فاز تیریستوری |
| ١٤٢ | (ج) وارونگر در مدار گردانه موتور القائی |
| ١٤٦ | مراجع |
| ١٤٧ | مسائل |
| ١٥٢ | ٤- کنترل موتور جریان مستقیم |
| ١٥٢ | ٤- ١- مقدمه |
| ١٥٨ | ٤- ٢- راه اندازی موتورهای جریان مستقیم |
| ١٥٨ | ٤- ٢- ١- تیریستورها و راه انداز مقاومتی |
| ١٦٠ | ٤- ٢- ٢- راه اندازی تیریستوری بدون مقاومت |
| ١٦٢ | ٤- ٣- کنترل سرعت موتورهای جریان مستقیم |
| ١٦٣ | ٤- ٣- ١- کنترل سرعت تیریستوری |
| ١٦٤ | ٤- ٣- ٢- واگردانهای یکسوکننده قابل کنترل تیریستوری |
| ١٦٤ | (الف) واگردان نک فاز نیم موج |

| صفحه | عنوان |
|------|---|
| ۱۶۹ | (ب) واگردان تک فاز تمام موج |
| ۱۷۰ | مثال حل شده |
| ۱۷۳ | (پ) واگردانهای سفارز قابل کنترل |
| ۱۷۴ | (ت) کنترل میدان تحریک و آرمیچر |
| ۱۷۶ | مثال حل شده |
| ۱۸۱ | (ث) تمواج ولتاژ واگردان |
| ۱۸۴ | ۳-۳-۴ برشگرهای ولتاژ تیریستوری |
| ۱۸۵ | (الف) برشگر مورگان |
| ۱۸۶ | (ب) برشگر جونز |
| ۱۸۷ | (پ) برشگر نوسانی |
| ۱۸۷ | (۱) تحلیل پر شدن خازن |
| ۱۸۹ | (۲) تحلیل مراحل جابه جایی |
| ۱۹۲ | ۴-۴ کنترل وضعیت توسط موتورهای جریان مستقیم |
| ۱۹۵ | ۴-۴-۱ کنترل وضعیت تیریستوری (الف) مطالعه مطراحی سرو مکانیسم گستته برای |
| ۱۹۵ | کنترل وضعیت تیریستوری |
| ۱۹۷ | (۱) مدار قدرت |
| ۲۰۱ | (۲) مدار کنترل |
| ۲۰۳ | مثال حل شده |
| ۲۰۵ | ۲-۴-۴ مدارهای متناوب |
| ۲۰۸ | مراجع |
| ۲۱۰ | مسائل |
| ۲۲۷ | ۵-کنترل موتور سنکرون |
| ۲۲۷ | ۱-۵ مقدمه |
| ۲۲۹ | ۲-۵ راه اندازی موتور سنکرون |
| ۲۲۹ | ۱-۲-۵ وارونگر برای راه اندازی موتور سنکرون |
| ۲۲۹ | ۳-۵ کنترل سرعت |
| ۲۳۰ | ۱-۳-۵ مشکلات کنترل سرعت |
| ۲۳۱ | (الف) موتور پلهای تیریستوری |
| ۲۳۶ | (ب) واگردان سیکلی برای سرعتهای کمتر |

| صفحة | عنوان |
|------|--|
| ۲۴۰ | ۴-۵ تحریک موتور سنکرون |
| ۲۴۰ | ۴-۶-۱ کنترل خودکار تیریستوری تحریک |
| ۲۴۵ | ۵-۵ موتور جریان مستقیم یا موتور سنکرون |
| ۲۴۹ | مراجع |
| ۲۵۱ | ضایعات |
| ۲۵۲ | الف - مدارهای منطقی برای کنترل وارونگر |
| ۲۶۰ | ب - مدارهای منطقی برای واگردان دو طرفه |
| ۲۶۷ | پ - مدارهای منطقی برای قطع - وصل خود کنترل |
| ۲۷۳ | مراجع |
| ۲۷۵ | واژه نامه فارسی - انگلیسی |
| ۲۸۷ | واژه نامه انگلیسی - فارسی |

فصل اول

الکترونیک قدرت و محرکهای

الکترونیکی چرخان^۱

۱ - مقدمه

از سالهای ۱۹۵۰ به بعد تکاپوی شدیدی در توسعه، تولید، و کاربرد وسایل نیمه‌هادی^۲ وجود داشته است. امروزه بیش از ۵۰ میلیون وسیله در هر سال تولید می‌شود و میزان رشد آن بیشتر از ۱۰ میلیون وسیله در سال است. این تعداد به تنها بی‌مشخص کننده اهمیت نیمه‌هادیهادر صنایع الکتریکی است.

کنترل بلوکهای بزرگ قدرت توسط نیمه‌هادیها از اوایل سالهای ۱۹۶۰ شروع شد. بلوکهای بزرگ قدرت که قبلاً به چندین کیلووات اطلاق می‌شد، امروزه متنضم چندین مکاوات است. اینک تولید تعداد نیمه‌هادیهایی که قادرند جریانی بیشتر از $7/5$ آمپر از خود عبور دهند بالغ بر ۵ میلیون در سال است که ارزش کل آنها در حدود $8/5$ میلیون لیره استرلینگ یا ۲۰ میلیون دلار (و یا $1/5$ میلیارد ریال) است. نرخ رشد نیمه‌هادیهای قدرت که به تریستور موسومند به پای نرخ رشد ترانزیستور رسیده است.

الکترونیک قدرت به طراحی و نقش مدارات^۳ تریستوری در کنترل قدرت الکتریکی یک سیستم مربوط می‌شود. کنترل ماشین‌آلات^۴ الکتریکی یکی از مهمترین موارد استعمال الکترونیک قدرت است. الکترونیک قدرت که حدفاصل بین منبع تغذیه و محرکهای الکتریکی چرخان را بر می‌کند مطالب اصلی این کتاب را تشکیل می‌دهد. بنابراین در این کتاب سعی براین است که شکاف موجود بین تکنولوژی دستگاههای الکتریکی و الکترونیکی پر شود.

1- Rotating electric drives

2- Semiconductor devices

3- Circuitry

4- Machinery



الکترونیک قدرت

۴

۱- ۳ الکترونیک قدرت

عمده‌ترین جزء مدارهای الکترونیک قدرت تریستور است، و آن یک نیمه هادی سریعاً راه گزین^۱ است که کارکردش مدوله کردن قدرت سیستمهای الکتریکی جریان مستقیم و جریان متناوب است. عناصر دیگر مورداً استفاده در الکترونیک قدرت تمامی به منظور فرمان^۲ و محافظت تیریستورها به کار گرفته‌می‌شوند. مدوله کردن قدرت بین ۱۰۰ وات تا ۱۰۰ مکاوات با روش و خاموش کردن تیریستورها ترتیب زمانی خاصی امکان پذیر است.

خانواده تیریستورهای یک گروهی از وسایل چهار لایه سیلیکونی است، مرکب از دیود، تریود^۳، و تترود^۴ است. مهمترین کلید نیمه هادی قابل کنترل که در کنترل قدرت به کار می‌رود یکسو کننده قابل کنترل سیلیکونی^۵ (SCR) است، که یک کلید^۶ قدرت یک‌طرفه است، و نیز تریاک^۷ که به صورت یک کلید قدرت دوطرفه عمل می‌کند. در اینجا از این نظر که ابهامی تولید نشود تریستور تریود معکوساً بندآور^۸، فقط تیریستور نامیده می‌شود.

کلیدهای فوق می‌توانند در عمل یکسازی، عمل تبدیل جریان مستقیم به جریان متناوب (وارونسازی)^۹، و عمل تنظیم توان الکتریکی به کار گرفته شوند. جای تعجب نیست که مردم از دیدن کلیدی به اندازه یک بند انگشت ولی با قابلیت تبادل^{۱۰} قدرتی نزدیک به یک مکاوات برانگیخته شوند تیریستوراًین چنین کلیدی است. این کلید اصولاً یک ابزار دو حالتی (قطع و وصل)^{۱۱} است، لکن اگر از خروجی نسبت به زمان میانگین گرفته شود می‌تواند به طور خطی کنترل شود. لذا برای کنترل محرکهای الکتریکی مفید است.

تیریستور به علت قابلیت ارائه یک امپدانس بینهایت یا صفر در دو سر خروجی خود یک عنصر ایده‌آل برای واگردانها (مبدلها)^{۱۲} محسوب می‌شود. سیستم تیریستوری می‌تواند یک منبع قدرت نامناسب را به یک منبع مناسب تبدیل کند. مثلاً ایجاد یک منبع تغذیه^{۱۳} جریان مستقیم از یک منبع تغذیه جریان متناوب و یا به دست آوردن یک منبع تغذیه فرکانس متغیر از یک منبع فرکانس ثابت، تنوع زیاد الکترونیک قدرت را نشان می‌دهد.

۱- ۲- ۱ تیریستور

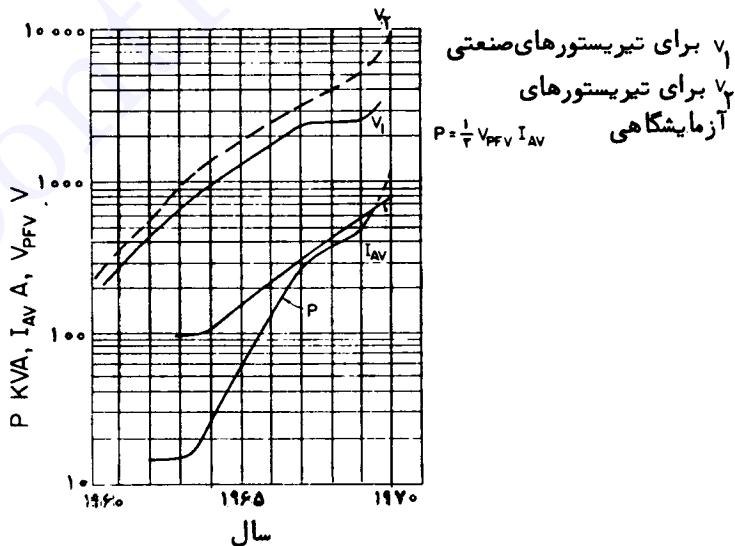
تیریستورها به علت کمی وزن و حجم، قابل اعتماد بودن، سرعت عمل، مصرف قدرت بسیار اندک برای راماندازی، و مبراً بودن از مشکلات مکانیکی به دلیل نداشتن قسمتهای متحرک

- | | | | |
|--------------------------------------|------------|---------------|------------|
| 1- Fast switching | 2- Operate | 3- Triode | 4- Tetrode |
| 5- Silicon controlled rectifier | 6- Switch | 7- Triac | |
| 8- Reverse blocking triode thyriston | | 9- Inversion | |
| 10- Handling | 11- On-Off | 12- Converter | 13- Supply |

الکترونیک قدرت و ...

جهت کنترل قدرتهای خیلی زیاد مناسب هستند. تیریستور به عنوان کلید دارای معايب چندی نیزهست. موقعی که تیریستور روش می شود و جریان را هدایت می کند در دو سر آن افت ولتاژ مستقیمی^۱ در حدود ۱/۵ ولت ایجاد می شود. از آنجا که این وسایل از نظر حرارتی محدود هستند، مقدار اسمی^۲ آنها اهمیت پیدا می کند. به علت تغییرات صعودی جریان در طول مدت روش شدن ممکن است حرارت متغیر بوجود آید. اگر اتصال سیلیکونی جریانی به چگالی ۱۵۰ آمپر بر سانتی مترمربع را با ۱/۵ ولت افت، هدایت کند باید به طور موثر انتقال حرارت صورت گیرد و نیز در مقابل ولتاژهای گذرا محافظت شود. روش کردن تیریستور ساده است ولی ممکن است خاموش کردنش پیچیده شود.

علی رغم این معايب کاربرد تیریستور در دستگاههای مختلف مرتب افزونی یافته و تیریستورهای با قدرت خیلی زیادی ساخته می شوند. شکل ۱ - ۱ به طور تقریبی مقادیر ولتاژ بیشینه (ماکزیمم)، جریان بیشینه (ماکزیمم) و قابلیت انتقال قدرت بیشینه تیریستورهای یک جنس را که در طول بیش از ده سال توسعه یافته است، نمایش می دهد. در مراحل طراحی تضادی وجود دارد که نمی گذارد تیریستوری با مقدار ولتاژ بیشینه (ماکزیمم) دارای مقدار جریان بیشینه و درنتیجه مقدار قدرت بیشینه نیز باشد و [در عمل] مقادیر قدرت، معادل یک سوم حاصل ضرب مقادیر اسمی ولتاژ و جریان پیک^۳ فرض می شود.



شکل ۱-۱ رشد مقادیر اسمی تیریستورها [از نظر قدرت، ولتاژ، جریان]

1- Forward voltage drop

2- Rating

3- Peak



الکترونیکقدرت

۶

در سال ۱۹۶۸ تیریستورهای تندکار^۱ ساخت آمریکا (که زودتر از ۱۵ میکروثانیه خاموش می‌شدند) مقادیر اسمی زیر را داشتند: ولتاژ پیک معکوس ۱۲۰۰ ولت، جریان نیم سیکل متوسط ۳۰۰ آمپر و فرکانس کلید زنی یک کیلو هرتز و برای تیریستورهای کند کار^۲ (بیشتر از ۱۵ میکرو ثانیه زمان خاموشی) مقادیر فوق به ۱۸۰۰ ولت و ۵۵۵ آمپر افزایش یافت. این مقادیر از نظر اقتصادی نزدیک به مقادیر حد فرض شده است. برای سیستمهای با ولتاژ و جریان بیشتر می‌توان از چندتیریستور به طور سری و یا موازی استفاده کرد.

اگر تنها یکتیریستور بخواهد مقدار قدرت سیستمی را کنترل کند، بایستی هر قدر جریان مورد نیاز بیشتر می‌شود سطح مقطع پولک^۳ سیلیکونی نیز بزرگتر شود، به این ترتیب احتمال بروز عیب و نقص و پایین رفتن بهره‌وری از تیریستور کاهش می‌یابد. برای ولتاژهای بیشتر پولک سیلیکونی بایستی ضخیمتر شود و این مستلزم افت ولتاژ مستقیم بیشتر، جریان کمتر، میزان تغییر جریان کمتر، و جریان دریچه^۴ بیشتری برای روش کردن تیریستور است. به نظر می‌رسد که راه حل مصالحه آمیز این مشکل در گرو داشتن طراحان تیریستور زیادی است.

از سال ۱۹۶۸ به بعد ژاپنی‌ها پیشگام این طرحها بودند تیریستورهای دیسکی^۵ شکل با مقدار اسمی ۲۵۰۰ ولت ولتاژ پیک معکوس و ۵۰۰ آمپر جریان متوسط ساخته‌اند. در این تیریستورها افت ولتاژ مستقیم کمتر از ۲/۲ ولت است. در سال ۱۹۷۵ ژاپنی‌ها تیریستوری با ولتاژ ۱۵،۰۰۰ ولت و ۴۰۰ آمپر عرضه کردند، و این به آن معنی است که یکی از این تیریستورها به تنها بیانی قادر است با بیش از ۱/۳ مکاوات قدرت سروکار^۶ داشته باشد.

۱- ۳- محركهای الکتریکی چرخان

یکی از مهمترین موارد استعمال الکترونیک قدرت کنترل محركهای الکتریکی است. البته زمینه‌های کاربرد مهم دیگری نیز از قبیل واگردانی^۷ معمولی قدرت الکتریکی [مبدل‌های جریان مستقیم به جریان متناوب و بالعکس]، ایجاد حرارت القایی [کورهای القایی]، کنترل شدت نور^۸ [در لامپهای الکتریکی] و گوش بهزنگ‌نگهداشت منابع تعذیه یدکی وجود دارد. اما در این کتاب فقط کنترل محركهای الکتریکی مورد بحث قرار خواهد گرفت.

ولتاژ پایانه^۹ (ورودی) [محركهای الکتریکی] یکی از عمومی‌ترین پارامترهای تنظیم کردنی^{۱۰} است که برای کنترل مشخصه‌های یک موتور، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مهمترین مشخصه مورد

- | | | |
|------------------|--------------------|-------------|
| 1- Fast Turn-Off | 2- Slow Turn-Off | 3- Wafer |
| 4- Gate | 5- Disc thyristors | 6- Handle |
| 7- Conversion | 8- Light dimming | 9- Terminal |
| 10- Adjust | | |

کنترل در موتورهای الکتریکی سرعت است . قبل از اختراق تیریستور روش‌های موسم برای تنظیم سرعت افزودن مقاومت به خط و یا استفاده از دستگاههای موتور - ژنراتور بود . در این روشها موتورهای کمotaتوری مناسب‌تر و رضایت‌بخش‌تر بودند . گاهی نیز سیستم تغییر فرکانس و یا تغییر قطب مورد استفاده قرار می‌گرفتند . همچنین زمانی یک‌سوکنده‌های جیومای^۱ و تقویت کننده‌های مغناطیسی در سیستمهای کنترل جایگاهی پیدا کردند ، اما اکنون به نظر می‌رسد که فقط در موارد خاصی سیستمهای کنترل تیریستوری نتوانسته‌اند جایگزین روش‌های کنترل قدیمی شوند . تیریستورهای برای کنترل محركهای الکتریکی ، از وسائل خانگی مثل منهبرقی ، مخلوط‌کنها ، آسیابها و دستگاههای تهویه گرفته تا سیستمهایی با محركهای فرکانس متغیر مورد استفاده در کارخانه‌های نساجی ، به قدرت ۵ مکاوات و یا دستگاههای کنترل شده با نیمه‌هادی برای تحریک توربو - آلترناتورها در کارخانه‌های نورد فولاد به قدرتهای ۵۰ مکاوات مورد استفاده قرار گرفته‌اند .

۱ - ۳ - ۱ محرکهای الکتریکی جریان مستقیم

موتور جریان مستقیم برغم اینکه جایه‌جا کن (کمotaتور) دارد و از موتور جریان متناوب با مقادیر اسمی مشابه بزرگتر است ، ولی به علت امکان وسیع کنترل سرعتش ، که توسط کنترل ولتاژ ورودی آن صورت می‌گیرد ، رایج‌تر است . شکل ۱ - ۲ نشان می‌دهد که چگونه اگر منبع تغذیه جریان مستقیم و یا جریان متناوب باشد و از تیریستور استفاده شود ولتاژ مستقیم در پایانه‌های موتور تغییر می‌کند . به این منظور منبع تغذیه به طور غیر پیوسته به نحومثری توسط مدار تیریستوری قطع و وصل می‌شود . با تغییر نسبت زمان قطع به وصل منبع تغذیه می‌توان مقدار متوسط ولتاژ را در پایانه‌های (دو سر ورودی) موتور تنظیم کرد . فرکانس قطع و وصل یا کلید - زنی^۲ تیریستور به قدری سریع است که موتور به جای ضربه‌های تکی با مقدار متوسط ولتاژ کار می‌کند .

در شکل ۱ - ۲ برای مدوله کردن مقدار متوسط ولتاژ مستقیم در پایانه‌های موتور چهار روش نشان داده شده است . در دو روش اول منبع تغذیه جریان متناوب است و این جریان توسط پل‌یکسوساز قابل کنترل به جریان مستقیم تبدیل می‌شود . در روش کنترل سیکلی^۳ انتگرالی یک یا چند تا از نیم سیکلها در خروجی یکسوساز دریک زمان حذف می‌شوند . این روش فقط در جریانهای متناوب فرکانس بالا برای اجتناب از نوسان موتور در حوالی سرعت متوسطش مناسب

1- Mercury arc rectifier

2- Direct current drive

3- Switching

4- Integral-cycle-control

الکترونیک قدرت

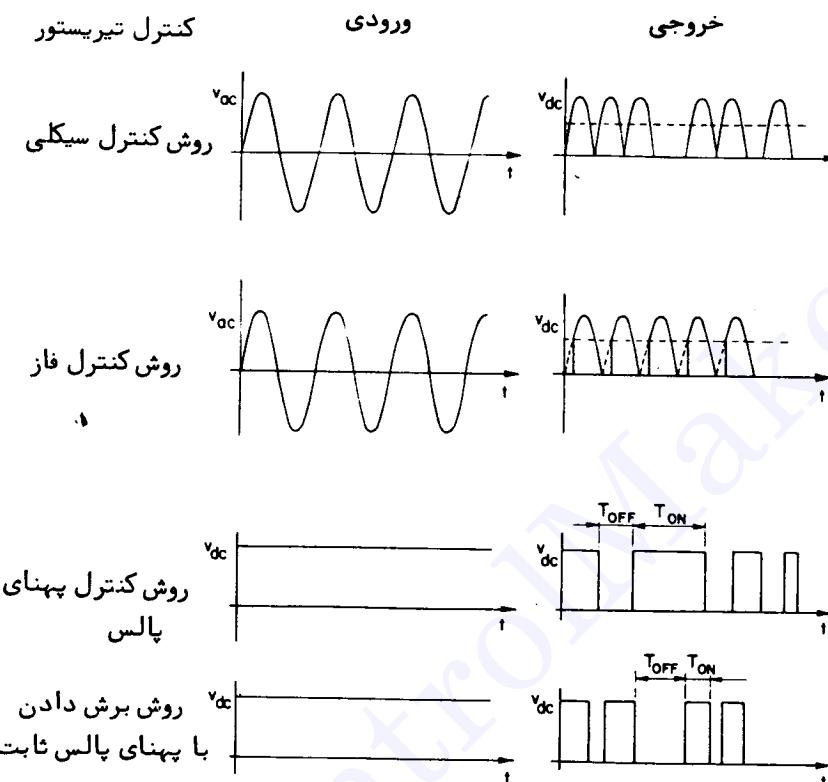
است. در این روش ضریب قدرت^۱ بار الکتریکی^[۲] C_{OS} مربوط به طرف a.c. زیادی است. در روش کنترل فاز^۳ برای کنترل مقدار متوسط ولتاژ مستقیم تیریستور فقط در طول قسمت معینی از هریک از نیم سیکلها هدایت می‌کند. در این روش ضریب قدرت بار کمتر، ولی گستره^۴ ولتاژ [به علت امکان روشن شدن تیریستور از صفر تا ۱۸۰ درجه در نیم سیکلهای مثبت موجود] وسیعتر است.

دو روش دوم برای تنظیم ولتاژ پایانه (وروودی) موتور موقعي که از منبع تغذیه ولتاژ ثابت استفاده می‌شود، مشابه یکدیگرند. تیریستور با قطع و وصل خیلی سریع خود ولتاژ ووروودی را برش^۵ می‌دهد. در خروجی مدار تیریستوریکسری پالس^۶ ولتاژ متوسطی که کمتر از ولتاژ ووروودی است ایجاد می‌کند. این مدار تیریستوری را مدار برشگر^۷ گویند. با وجود اینکه در هردو روش زمان هدایت تیریستور، T_{ON} و یا زمان قطع آن^۸ ثابت است، لیکن در موقع ضروری می‌توان هر دو را تغییر داد.

برای کنترل سرعت اکثر موتورهای جریان مستقیم [به علت اینکه تیریستور در حال هدایت، در آخر نیم سیکل به خاطر پایین آمدن سطح ولتاژ تا صفر ولت به طور طبیعی خاموش می‌شود] درنتیجه مدار کمکی جهت قطع جریان تیریستور مورد نیاز نیست] استفاده از منبع تغذیه جریان متناوب معمول است. زیرا در اینجا تیریستور برای خاموش شدن با مشکلی مواجه نمی‌شود. اما موقعي که منبع تغذیه موتورهای جریان مستقیم باستی باطریها^۹ و پیلهای سوختی^{۱۰} باشد، از مدارهای برشگر استفاده می‌شود. در کلیدزنی سریع باستی از تیریستورهای مخصوصی استفاده شود. در این مدارها چون پس از روشن شدن تیریستور همواره ولتاژ مستقیمی بین آند و کاتدش وجود دارد] به طور طبیعی دیگر خاموش نخواهد شد] ، باستی از مدارهای کمکی بهمنظور خاموشی تیریستور استفاده کرد. چنانکه پیدا است کنترل از طریق برشگر پیچیده است، ولی با وجود این مورد استفاده قرار می‌گیرد. [این روش موارد استعمال زیادی در خودروهای برقی دارد].

در کارخانجات نورد فولاد، موتورهای جریان مستقیم و با سرعت قابل تنظیم سابقاً توسط دستگاههای موتور ژنراتور^۹ که ولتاژ d.c. متغیر و برگشت پذیری را فراهم می‌کرد کنترل می‌شد. این سیستم در حال حاضر با دستگاههای الکترونیک قدرت جایگزین شده است. در نتیجه بازده و قابلیت اعتماد آن بیشتر هزینه ترمیم و نگهداری کمتر، و جوابدهی سریع حاصل شده است. سیستم الکترونیک قدرت بسیار خلاف سیستم موتور - ژنراتور که در آن

- | | | | |
|-------------------|---------------------|-------------------------|---------|
| 1- Power factor | 2- Phase control | 3- Range | 4- Chop |
| 5- Train of pulse | 6- Chopper circuits | 7- Conventional battery | |
| 8- Fuel cell | | 9- Motor-generator set | |



شکل ۱-۲ روش‌های مدوله کردن ولتاژ جریان مستقیم

موتور یک ماشین سنکرون (همزمان) است، قادر به ایجاد ضریب قدرت پیش‌فاز^۱ نیست و این تنها عیب این سیستم است.

در خودروهای الکتریکی^۲ موتورهای مجهز به جابه‌جاکن^۳ جریان متناوب نکفاز به علت مشکلات جابه‌جاگی^۴ با موتورهای جریان مستقیم کنترل تیریستوری جایگزین شده‌اند.

سیستم کنترل موتورهای جریان مستقیم با روش کنترل فاز تیریستوری را در یک کارخانه نوردفولاد^۵ با قدرت ۱۱/۱۱۱ مکاوات به عنوان مثالی از واگردانهای تیریستوری جدید، در زیرمی‌آوریم. هر یک از موتورهای اصلی سیستم، دارای مقادیر اسمی ۷۵° ولت، ۴۱۵۰ آمپر و ۳۵-۲۰ دور در دقیقه هستند. چهار واحد واگردان تیریستوری که بایستی قادر به تحويل ۲۷۵ درصد مقدار

1- Leading power factor

2- Electric-vehicles

3- Commutator

4- Commutation

5- Slabbing-mill

6- Rated



الکترونیک قدرت

جريان موتور باشد وجود دارد، لذا هر واحد دارای مقادیر اسامی ۳۱۱۰ - ۸۵۶۰ کیلووات، ۷۵۰ ولت و ۴۲۵۰ - ۱۱۴۰ آمپر است. هر واحد واگردان برای عمل یکسازی سه فاز شش بازو دارد، و در هر بازو ۱۳ عدد تیریستور، همگی به طور موازی، قرار دارد. در نتیجه کلا ۶۴ عدد تیریستور وجود خواهد داشت. هر تیریستور دارای مقادیر اسامی ۲۵۰۰ ولت و لتاژیک مستقیم و ۴۰۰ آمپر جریان متوسط است. در این سیستم از تیریستورهای نوع دیسکی که با نیرویی در حدود ۱۰۰ کیلوگرم از هردو طرف به هم فشار می‌آورند با وسائل خنک کنندگی که از مس ساخته شده‌اند استفاده می‌شود. پولک سیلیکونی این تیریستورها در حدود ۴ سانتی‌متر قطر دارد. هر یک از تیریستورها مجهز به سیستم خنک کن، فیوز، انتقال دهنده بالس برای روش شدن، ومدار حفاظتی خازن- مقاومت است.

ترکیب تیریستورهای انشعاب تعویض کن^۱ و کنترل زاویه فاز تیریستوری، برای لکوموتیوهایی که تحت سیستم انرژی ۲۵ کیلو ولت، ۵۰ هرتز کار می‌کنند کنترل پیوسته‌ای^۲ را عرضه می‌دارد، که این مقادیر در ثانویه به ۱۱۵۰ ولت و ۲۸۰۰ آمپر تبدیل می‌شوند. عمل یکسازی توسط ۹۶ دیود و ۳۲ تیریستور انجام می‌شود.

مثال دیگر مربوط به محركهای کشی^۳ با کنترل تیریستوری، مدار برشگر جریان مستقیم است که در تجهیزات ۱۵۰۰ ولتی دستگاههای راه آهن به کار می‌رود. برای هر زوج موتور یک مدار تیریستوری برشگر به کار برده شده است. در هر واحد این مدار دوشاخه مواري تیریستور که در هر شاخه شش تیریستور سری است، وجود دارد. مقدار اسامی هر تیریستور به منظور مقابله با لتاژهای گذرا^۴ ۸۰۰ ولتا است. فرکانس کلیدزنی بین ۱۰۰ تا ۴۰۰ هرتز متغیر است. کنترل منتجه و هم‌چنین محرك، دارای بازده ۹۵ درصد خواهد بود. بازده سیستم کنترل مقاومتی ۶۷ درصد است، یعنی، با جایگزینی برشگر افزایش بازده خواهیم داشت.

۱ - ۳ - ۳ - محرکهای الکتریکی جریان متناوب

کنترل سرعت موتورهای جریان متناوب از طریق تغییر لتاژ در پایانهای ایستانه (استاتور)^۵ و یا چرخانه^۶ (روتور) منحصر به موتورهای القایی (اندوسیونی) است. روش‌های زیادی که تا به حال برای کنترل سرعت مورد استفاده قرار گرفته است، چه در ماشینی مجهز به جابه‌جاک و چه روش مقاومتی [قراردادن مقاومت متغیر در مدار چرخانه (روتور) یا ایستانه (استاتور)] تنها به

- | | |
|-------------------|--------------|
| 1- Tap Changer | 2- Stepless |
| 3- Traction drive | 4- Transient |
| 5- Stator | 6- Rotor |

۱۱

الکترونیک قدرت و

موفقیت‌های متوسطی دست یافته‌اند. در حالی که غیر محدود بودن تغییرات سرعت موتورهای مختلف جریان مستقیم موقعیت خودرا در بازار حفظ کردند. برای تغییر و تعدیل ولتاژ از هر وسیله‌ای که استفاده شود، تیریستوری می‌تواند به همان خوبی عمل تغییر ولتاژ را انجام دهد. تنظیم سرعت موتورهای جریان متناوب با تغییردادن ولتاژ ورودی [به علت محدود بودن تغییرات سرعت] مناسب نیست و موارد استعمال آن نیز محدود است. ولی کنترل سرعت این موتورها با تغییر فرکانس ورودی با مدارهای تیریستوری دارای اهمیت زیادی است. وارونگرها^۱ (معکوس کننده‌ها) ثابت بودن سرعت یعنی مشخصه ذاتی موتورهای القابی و موتورهای همزمان (سنکرون) را رفع می‌کنند.

روشهای تهیه ولتاژ متناوب تغییرپذیر با فرکانس تغییرپذیر از منبع ولتاژی با فرکانس ثابت یا از منبع جریان مستقیم در شکل ۱ - ۳ نشان داده شده است. مثل حالت جریان مستقیم شکل ۱ - ۲ در اینجا نیز مدوله کردن ولتاژ متوسط توسط روش کنترل سیکلی و روش کنترل فاز انجام می‌شود. مضافاً بر اینکه در روش کنترل فاز از جریان متناوب ورودی می‌توان یک منبع فرکانس کم به وجود آورد ولی امکان تهیه جریان فرکانس زیاد با این روش وجود ندارد، مگر اینکه به جای هجایی اجرایی (قطع هدایت تیریستور قبل از رسیدن به انتهای نیم سیکلها) متولّش شد. به منظور تهیه منبع جریان متناوب با فرکانس زیاد می‌توان از ولتاژ جریان مستقیم استفاده کرد، و با استفاده از وارونگرها به صورت پله‌ای^۲ کلیدزنی کرد شکل ۱ - ۳ و جریان را در سیم پیچیهای موتور متناوباً تغییر داد. گسترهای^۳ ایجاد شده در عمل کلید زنی را می‌توان با اجزای القابی مدار و شکل دادن^۴ موج به حداقل رساند. اگر منبع تغذیه جریان متناوب باشد این جریان را پس از یکسکردن و تبدیل به جریان مستقیم توسط مدارهای وارونگر (معکوس کننده) می‌توان به جریان متناوب با فرکانس تغییرپذیر تبدیل کرد.

موتورهای القابی و موتورهای همزمان (سنکرون) چون قادر جایگزین هستند، محدودیتهای موتورهای جریان مستقیم را نخواهند داشت. موتورهای همزمان (سنکرون) مزیتی که نسبت به موتورهای القابی دارند این است که آنها با سرعت دقیق به طور همزمان کارمی کنند در صورتی که موتورهای القابی با سرعتی کمتر از سرعت همزمانی (سنکرون) و سرعتی که وابسته به بار است کارمی کنند. سیستم پس‌خور (تغذیه برگشت)^۵ این اشکال را حل می‌کند ولی سیستم حلقه باز^۶ با موتورهای همزمان (سنکرون) که به تعداد دخیلی زیاد به طور سری اتصال یافته‌اند اقتضای تر هستند. مثلاً در کارخانجات نساجی نزدیک به یکصد موتور تواماً به طور سری کار می‌کنند. موارد استعمال موتورهای جریان متناوب با سرعت تغییرپذیر^۷ که توسط وارونگرها (معکوس

1- Inverter

2- Stepped manner

3- Discontinuity

4- Wave shaping 5-Feedback loop 6-Openloop 7-Variable speed

الکترونیک قدرت

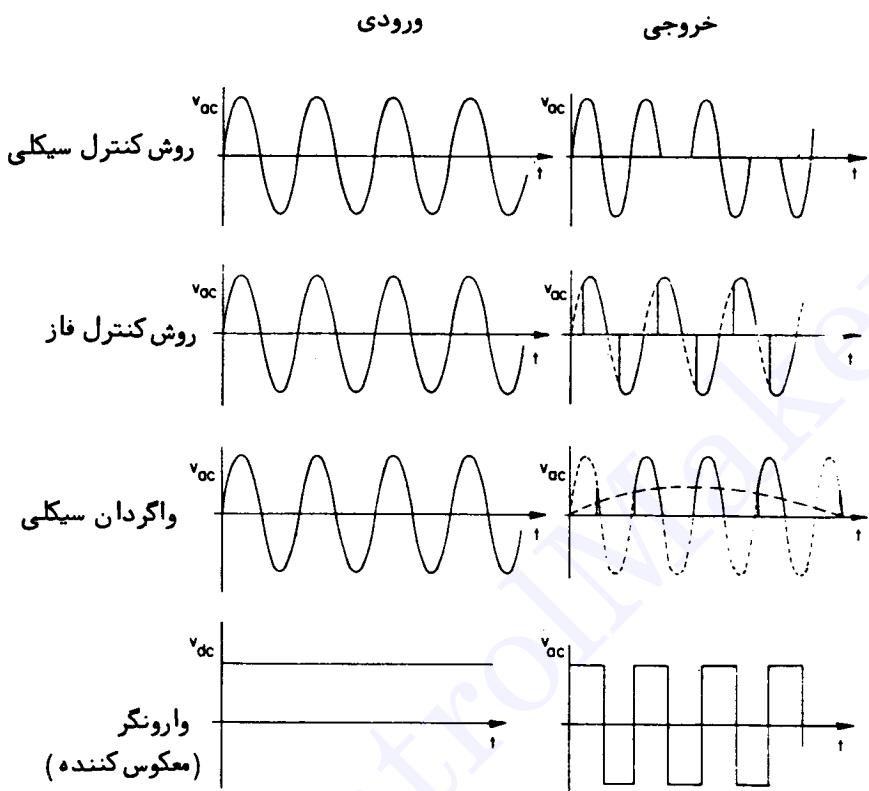
کنندما) کنترل می شوند ، شامل جراثقالها ، پمپها ، دستگاههای تهویه ، و کارخانجات نساجی هستند . این موارد احتیاج به تنظیم سرعت هم زمان شده و یا محركی با سرعت تغییرپذیر فاقد جابهجاکن و جاروبک ، دارند . تغییر فرکانس برای کنترل محركهای الکترونیکی معمولاً از ۲۰ تا ۱۲۰ هرتز گسترش می یابد . تعدادی از وارونگرهای تیریستوری اگر از منبع فرکانس اصلی کنترل شوند می توانند به طور موازی کار کنند . وارونگرهای موازی ، موقعی که عمل احیاسازی^۱ مد نظر باشد حاوی مزایایی هستند .

۱ - ۳ - ۳ - گزینش محركها و سیستمهای کنترل

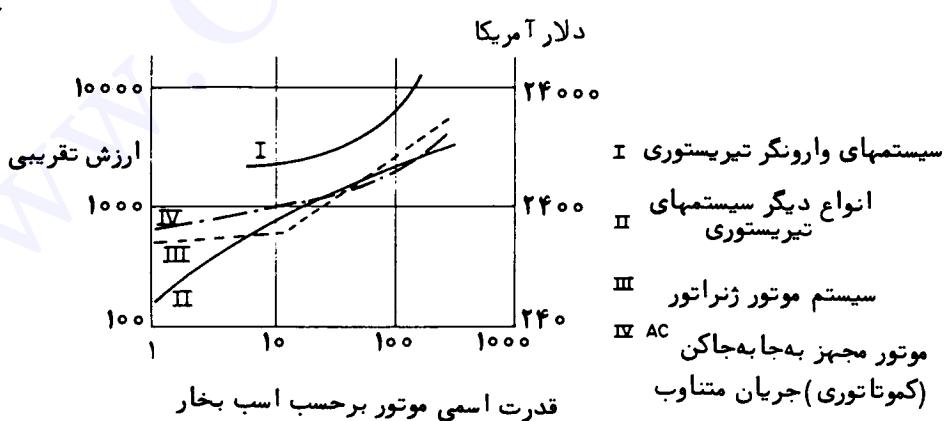
کنترل سرعت را می توان از یک واگردان (مبدل) تیریستوری که خروجی آن موتور جریان مستقیم را تغذیه می کند ، به دست آورد . جابهجاکن مکانیکی یک موتور جریان مستقیم ، تغییر دهنده فرکانسی است که جریان مستقیم ورودی به جاروبکها را به جریان متناوب در سیم پیچیهای آرمیچر تبدیل می کند . به همین ترتیب کنترل سرعت را می توان از تغذیه موتور جریان متناوب با وارونگر تیریستوری به دست آورد . یک واگردان تیریستوری و موتور جریان مستقیم ارزانتر از سیستم موتور جریان متناوب و وارونگر تیریستوری است . سیستم وارونگر تیریستوری با موتور جریان متناوب در شرایط خاصی که محیط کار اجازه کاربرد جابهجاکن و جاروبک را نمی دهد ، مثل صنایع هواپیمایی و معادن ، به کار می رود .

در اینجا بد نیست که سیستمهای الکترونیک قدرت را با سیستمهای دیگر که دارای همان مشخصه های کنترل سرعت هستند مقایسه کنیم . کوششایی در جهت نشان دادن اختلاف قیمتها و بازدهها انجام و منتشر شده است . نتایج این مقایسه در شکل های ۱ - ۴ و ۱ - ۵ نشان داده شده است . نتایج عامی که از این بررسیها به دست می آید این است که به نظر می رسد سیستمهای الکترونیک قدرت گرانتر از سیستمهای معمول^۲ است ، اما در عوض دارای بازده بیشتری است . در هو حال برآورد هزینه سیستم تیریستوری در مقایسه با هزینه موتور مجهز به جابهجاکن و یا سیستم وارد لئونارد^۳ کار آسانی نیست ، چون هزینه سیستمهای مجموعه ای از هزینه های خرید کارخانه ، نصب و نگهداری ، و هزینه های مختلف دیگر است . همچنین هزینه به نوع منبع تغذیه ، شرایط محیط ، ترانس های کنترل^۴ سرعت و گستره سرعت و اینکه آیاترمه دینامیکی^۵ و احیاسازی انرژی لازم است یا نه ، بستگی دارد .

امروزه یک چیز روش است و آن اینکه محركهای کنترل تیریستوری هر چه بیشتر به کار گرفته می شوند . هم چنین قابل ذکر است که سیستمهای الکترونیک قدرت به صورت استاندارد در-



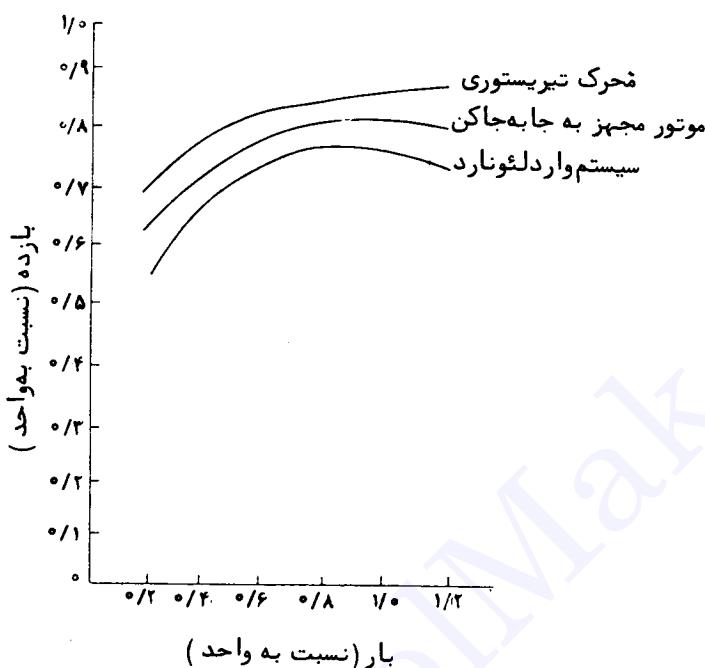
شکل ۳-۱ روش‌های مدوله کردن ولتاژ جریان متناوب و فرکانس



شکل ۱-۴ هزینه‌های سیستم محرک

الکترونیک قدرت

۱۴



شکل ۱-۵ بازده سیستم‌های محرک

می‌آیند. مدل‌های ^۱تیریستوری و مدارهای کنترل منطقی برای استفاده در موتورهای ساده و در برگزینی قطعات پیش ساخته الکترونیک قدرت مناسب، برای بارهای معین، به کار می‌آیند.

مراجع

1. *Power applications of controllable semiconductor devices* (1965). IEE Conference Publication, No. 17.

کتابنامه

- Special Issue on High-Power Semiconductor Devices (1967), *Proc. IEEE*. 55.
Gutzwiller, F. W. (1967), 'Thyristors and diodes - the semiconductor work horses', *IEEE Spectrum*, 4, 102-111.
Storm, H. F. (1969), 'Solid-state power electronics in the U.S.A.', *IEEE Spectrum*, 6, 49-59.
Power thyristors and their applications (1969). IEE Conference Publication, No. 53.

مسائل

۱ - چون تیریستور یک کلید سریع العمل است، لذا می‌تواند باعث اعمال شدن ولتاژ بار به هر نقطه‌ای از شکل موج شود. به علاوه تیریستور می‌تواند تعداد چرخه‌های شکل موج را نیز که در بار ظاهر می‌شوند کنترل کند. درنتیجه، درکنترل قدرت روی موج سینوسی دلخواه تغییر شکلی وجود خواهد داشت. در موارد کاربرد جریان متناوب غالباً دانستن مقدار موئیز شکل موج تغییر شکل یافته ضروری است، در حالی که در موارد استعمال جریان مستقیم مقدار متوسط موج اهمیت خواهد داشت.

برای حالات زیر مقادیر موئیز و متوسط جریان شکل موج را محاسبه کنید:

$$(الف) \text{ موج سینوسی } i(t) = 100 \sin 377t$$

(ب) تمام موج سینوسی یکسو شده، که در آن معادله موج برای نیم سیکل اول عبارت است

$$i(t) = 100 \sin 377t$$

(پ) نیم موج سینوسی یکسو شده، که در آن معادله موج برای نیم سیکل اول عبارت است

$$i(t) = 100 \sin 377t$$

(ت) موج سینوسی با فاز کنترل شده $i(t) = 100 \sin 377t$ که در آن زاویه آتش برای نیم سیکلهای مثبت و منفی $\alpha = 90^\circ$ درجه است، این عمل توسط یک تریاک یا دو تیریستور اتصال موازی معکوس امکان پذیر است.

(ث) موج سینوسی $i(t) = 100 \sin 377t$ با کنترل قطع و وصل سیکلهای کامل معینی طبق شکل ۱ - ۳ با سه سیکل وصل، ۲ سیکل قطع و ۳ سیکل وصل و غیره.

(ج) موج مربعی با نیم سیکلهای مثبت و منفی و با دامنه 100 آمپر و فرکانس 50 هertz

(ج) موج مثلثی، با نیم سیکلهای مثبت و منفی و با دامنه 100 آمپر و فرکانس 50 هertz

جواب:

$$I_{rms} = 70 / \sqrt{2} \text{ A} \quad I_{av} = 0 \quad (\text{الف})$$

$$I_{rms} = 70 / \sqrt{2} \text{ A} \quad I_{av} = 63 / 6 \text{ A} \quad (\text{ب})$$

$$I_{rms} = 50 \text{ A} \quad I_{av} = 31 / 8 \text{ A} \quad (\text{پ})$$

$$I_{rms} = 50 / \sqrt{2} \text{ A} \quad I_{av} = 0 \quad (\text{ت})$$

$$I_{rms} = 100 \text{ A} \quad I_{av} = 0 \quad (\text{ث})$$

$$I_{rms} = 50 / \sqrt{2} \text{ A} \quad I_{av} = 0 \quad (\text{ج})$$

$$I_{rms} = 0 \quad I_{av} = 0 \quad (\text{ج})$$

۱۷

الکترونیک قدرت و ...

۱ - ۲ . تیریستورها می توانند شکل موج ولتاژ منبع تغذیه را برش دهند و آن را یکسو وارون کنند . به منظور تخلیل اثرات تنظیم شکل موج معمولاً آنرا به مولفه اصلی و مولفه های مرتبه بالاتر تجزیه می کنند . در زیر مثالهایی از این تحلیل هارمونیکها آورده شده است .

دامنه مولفه های اصلی و هارمونیکها (نا هفتم) را برای دو حالت زیر به دست آورید .

(الف) موج مربعی با نیم سیکلهای مثبت و منفی با دامنه ۱ آمپر و طول موج ۲π رادیان
 (ب) موج سینوسی کاملاً یکشونده ، که معادله اولین نیم سیکل آن عبارت است از

$$i(\theta) = I_m \sin \theta$$

راهنمایی : اگر

$$F(\theta) = a_0 + a_1 \cos \theta + b_1 \sin \theta + a_2 \cos 2\theta + b_2 \sin 2\theta + \dots$$

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} F(\theta) d\theta , \quad a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} f(\theta) \cos n\theta d\theta$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} f(\theta) \sin n\theta d\theta$$

جواب :

$$i(\theta) = \frac{41}{\pi} (\sin \theta + \frac{1}{3} \sin 3\theta + \frac{1}{5} \sin 5\theta + \frac{1}{7} \sin 7\theta) \quad (\text{الف})$$

$$i(\theta) = \frac{14}{\pi} I_M + I_M \left(\frac{2}{3} \cos 2\theta + \frac{2}{15} \cos 4\theta + \frac{2}{25} \cos 6\theta \right) \quad (\text{ب})$$

فصل دوم

تیریستور

۱ - مقدمه

تیریستور کلیدی است که در حالت وصل یا روشن بودن عبور جریان را در مداری امکان - پذیر می سازد و در حالت قطع یا خاموش بودن، مسیر جریان نیز قطع و عبور جریان غیر ممکن است. تیریستور فاقد قسمتهای متحرک است و در موقع کار به صورت یک کلید نیازی نیز به آنها ندارد.

تیریستورها از چهار لایه نیمه هادی ساخته شده‌اند و دارای سه اتصال خروجی هستند، یک جفت از آنها (کاتد و دریچه) برای روشن کردن (وصل) و جفت دیگر (کاتد و آند) برای عبور جریان بار مورد استفاده قرار می‌گیرند. لازم به توضیح است که یکی از اتصالهای خروجی در دو منظور فوق مشترک است. چگونگی طرز عمل تیریستور به صورت کلید، نحوه روش و خاموش شدنش و چگونگی محافظت آن در این فصل مورد بحث قرار خواهد گرفت.

تیریستورها به یک دسته از وسیله‌های^۱ نیمه هادی متعلق هستند. شرح مختصری درباره بعضی از عناصر نیمه هادی در فهم محدودیتهای آنها به خواننده کمک می‌کند و اهمیت کاربرد تیریستور را در کنترل دستگاههای قدرت الکتریکی آشکار می‌سازد. گاهی اوقات به کلید دو طرفه‌ای موسوم به تریاک^۲ نیز اشاره‌ای می‌شود، زیرا کاربرد آن در مدارهای کم قدرت شروع و با بهبود و اصلاح تکنیکهای تولید، مصرف آن افزونتر هم می‌شود و عاقبت در اکثر مدارهای جریان متناوب جایگزین تیریستور خواهد شد. تریاک عنصری است که عبور جریان را در هردو جهت می‌تواند کنترل کند در حالی که تیریستور فقط در یک جهت عبور جریان را کنترل می‌کند.



الکترونیک قدرت

۲۰

۳- ۳ نیمه هادیها

الکترونیهایی که در عملکرد نیمه هادیها در مدارهای الکتریکی مهم هستند الکترونها ظرفیت^۱ نام دارند، که اینها دورترین الکترونها از هسته اتمها^۲ هستند. این الکترونها می توانند در هدایت الکتریکی شرکت کنند زیرا آنها برای انتقال به سطح انرژی بالاتر و فرار از نیروی جاذبه هسته اتم به مقدار انرژی خیلی کم احتیاج دارند.

الکترونی که از مسیر چرخشی^۳ خود خارج می شود اتم را که به صورت یک یون باردار مثبت درآمده است، ترک می کند. این یون باردار به سختی در ساختمان کریستال نگهداری می شود و برای هدایت، مناسب نیست.

از مهمترین نیمه هادیهایی که دارای چهار الکترون ظرفیت طبق شکل ۲ - ۱ هستند سیلیکون و زرمانیوم هستند. چهار الکترون دیگر برای تکمیل زیر لایه انرژی ظرفیت^۴ یک کریستال یا ماده جامد مورد نیاز است. الکترونها ظرفیت یک اتم و نزدیکترین چهار الکترون همسایه اش مشترکاً یک پیوند هم ظرفیتی^۵ تولید می کنند. بالاتر از باند انرژی ظرفیت باند متنوعهای^۶ وجود دارد که برای آزاد کردن الکترونی جهت هدایت می باشند. آن را تا حد بالای باند متنوعه تحريك کرد. این ردیف انرژی به باند مجاز^۷ موسوم است. بین ظرفیت و باند مجاز در ۳۰۰ درجه حرارت کلوین برای زرمانیوم ۷/۲ و الکترون ولت و برای سیلیکون ۱/۱ الکترون ولت پهنهای شکاف انرژی موجود است. بنابراین می توان برای ایجاد الکترونها باند هدایت و حفره هایی در باند ظرفیت، انرژی اضافی، خواه به شکل انرژی سورانی، حرارتی، تشعشع، هسته ای، میدان الکتریکی و خواه از طریق تزریق ماده ناخالصی، به نیمه هادی افزود و به این ترتیب جفتھای الکترون - حفره در ساختمان کریستال زرمانیوم یا سیلیکون ایجاد کرد. این جفتھا برای هدایت الکتریکی می توانند آزادانه در داخل کریستال حرکت کنند. در جایی که کریستال فقط متنضم هدایت و ظرفیت باشد آن را نیمه هادی طبیعی^۸ نامند.

به منظور تغییر خواص الکتریکی نیمه هادی طبیعی سیلیکون و زرمانیوم می توان به داخل کریستال آنها مقدار کمی ناخالصی وارد کرد تا اتمهای ماده آغارشی^۹ محل اتمهای کریستال نیمه هادی طبیعی را اشغال کنند. ناخالصیهایی با سه الکترون در زیر لایه ظرفیتی، در مقابل چهار الکترون ظرفیتی سیلیکون و زرمانیوم، به ناخالصیهای پذیراً^{۱۰} موسمند. چند تا

1- Valence Electron

4- Valence Energy

6- Forbiden band

8- Intrinsic semiconductor

10-Acceptor impurities

2- Nucleus

3- Orbital path

5- Covalent bond

7- Permissible band

9- Doping

تیریستور

1

از این ناخالصیهای مورد استفاده در نیمه‌های عبارتنداز بر^۱، کالیوم، آلومینیم و آیندیوم.
ناخالصیهایی که دارای ۵ الکترون در مدار ظرفیت‌شان هستند به ناخالصی‌های دهنده^۲ موسوم
هستند که به طور مثال می‌توان از آنتیموان^۳، ارسنیک و فسفر نام برد.

یک نیمه هادی طبیعی چهار پیوند زوج الکترونی کامل دارد . در حالت آغارش نیمه هادیها بانا خالصی پذیرا ، هفت الکترون برای اشتراک بین چهار اتم مجاور وجود دارد . در نتیجه [برای تکمیل مدار الکترونی] یک الکترون کم است . نقصان یک الکترون در کریستال نیمه هادی را حفره می نامند و این به این معنی است که کریستال دارای یک بار مثبت خالصی^۴ است . این فقدان الکترون می تواند توسط الکترونی از اتم مجاور پرشده که این امر سبب حرکت حفره در جهت عکس حرکت الکترون [یعنی به داخل کریستال] می شود . ناخالصیهای سه ظرفیتی رابه دلیل اینکه برای تکمیل مدار خود از کریستال نیمه هادی الکترون می گیرند ، ناخالصیهای پذیرا می گویند . نیمه هادیهای آغاریده شده^۵ توسط ناخالصیهای پذیرا به نیمه هادیهای نوع p موسسه می شوند .

نیمه‌های دهنه‌ای آغاییده شده توسط ناخالصیهای دهنه به نیمه هادیهای نوع ۷ موسومند، در این حالت یک الکترون اضافی، پس از اینکه نزدیکترین چهار اتم نیمه هادی هشت الکترون مورد نیاز خود را برای پر کردن باندهای ظرفیت تسهیم کردند، باقی می‌ماند.

الکترونهای دهنه و حفره‌های پذیرا هر دو برای هدایت الکتریکی مناسب هستند.

(پ-۱۱) دیود (یا اتصال ۲-۳-۱)

از پیوند نیمه هادی نوع p با نیمه هادی نوع n ، در صورتی که پیوستگی کاملی در شبکه کریستالی وجود داشته باشد یک اتصال $p-n$ به دست می آید . این اتصال دیود یکسو- کنندۀ ای است که در شکل ۲ - ۲ به طور شماتی نشان داده شده است . در این اتصال $p-n$ الکترونهای اضافی لایه n به طرف لایه p و حفره های اضافی لایه p به طرف لایه n اشاعه λ می یابند ، که در نتیجه ولتاژ الکترواستاتیکی کوچکی برای مخالفت با عبور بارهای بیشتر در محل اتصال به وجود می آید .

اصطلاحا در نیمه هادی نوع ۲ حامل اکثریت بار^۹ الکترون است در حالی که حامل

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| 1- Boron | 2- Donor impurities |
| 3- Antimony | 4- Net |
| 5- Dopped | 6- P-Type semiconductor |
| 7- N-Type semiconductor | 8- Diffuse |
| 9- Majority carriers | |

الکترونیک قدرت

اقلیت بار^۱ حفره است . به همین ترتیب برای نیمه هادی نوع p حامل اکثریت ، حفره و حامل اقلیت، الکترون خواهد بود . بعضی از حاملهای اکثریت که دارای انرژی کافی هستند می توانند از سد پیوندگاه^۲ عبور کنند . در نتیجه الکترونی که به داخل ناحیه p عبور می کند با حفره ای ، ترکیب و یا حفره ای که به داخل ناحیه n عبور می کند با الکترونی ترکیب می شود . مجموع دو عبور بار فوق جریان باز ترکیبی را به وجود می آورند . به علت افزایش درجه حرارت، بعضی از پیوندهای الکترونی داخل کریستال شکسته، الکترونها و حفره های آزادی تولید می شود . سد پتانسیل ، حاملهای اقلیت مجاورش را جذب کرده و آنها را در طول اتصال شتاب دار می کند تا به حاملهای اکثریت تبدیل شوند . جریان حاصل از عبور این بارها را جریان حرارتی می نامند، در هر حال جریان کل در پیوندگاه، یعنی جریان باز ترکیبی و جریان حرارتی به علت عدم وجود مدار خارجی صفر است .

توسط بارهای ثابت دو سوی پیوندگاه p-n شکل ۲ - ۲ خازنی به وجود می آید که به خازن منطقه تهی^۳ موسوم است . مقدار موثر این خازن و پهنهای منطقه تهی^۴ تابعی از ولتاژ اعمال شده به پایانه های کاتدو آند دیود است . بعضی مواقع به ولتاژ فوق ولتاژ بایاس (گرایش)^۵ اتصال گفته می شود .

ولتاژ بایاس معکوس خارجی کاتد را نسبت به آند مثبت می کند و به علت پایین بودن مقاومت مخصوص تنه^۶ نیمه هادی، در اتصال بایاس معکوسی وقوع می یابد و باعث کاهش جریان باز ترکیبی می شود ، اما جریان حرارتی مستقل باقی می ماند . حاصل جمع جریانهای باز ترکیبی و حرارتی با افزایش ولتاژ بایاس معکوس افزایش می یابند ، ولی خیلی زود به یک سطح اشباع می رسد . این افزایش ولتاژ بایاس اگر ادامه یابد بالاخره به علت افزایش انرژی حاملهای اقلیت، حاملهای دیگر اقلیت شروع به حرکت می کنند ، و باعث افزایش ناگهانی جریان معکوس دیود می شود . به این حالت شکست بهمنی^۷ می گویند . در بایاس معکوس بعد از عمل شکست همان طوری که در شکل ۲ - ۳ مشاهده می شود ، تغییرات ولتاژ مستقل از جریان است . این خاصیت اتصال p-n بایاس معکوس همان مشخصه دیود زنر^۸ است .

ولتاژ بایاس مستقیم خارجی، آند را (نسبت به کاتد) مثبت می کند و باعث کاهش سد پتانسیل پیوندگاه می شود . جریان حرارتی که همان حرکت حاملهای اقلیت است ، بدون تغییر می ماند ولی تعداد زیادی از حاملهای اکثریت کم انرژی بر میدان الکتریکی ترمز کننده فایق آمده و از

1- Minority charge carriers

2- Junction

3- Depletion layer capacitance

4- Depletion layer

5- Bulk resistivity

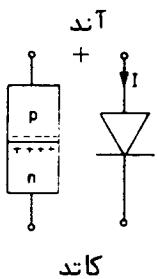
6- Junction bias voltage

7- Avalanche breakdown

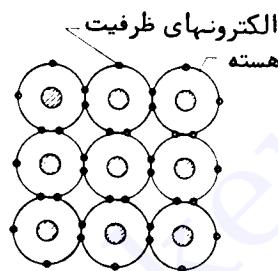
8- Zener diode

تیریستور

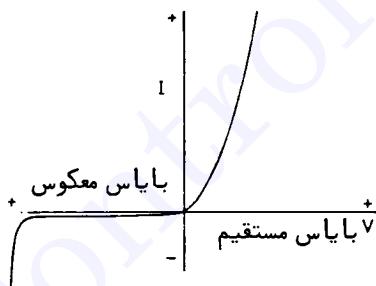
مدار خارجی عبور خواهند کرد ، و در نتیجه در مسیر عبور جریان در حالت بایاس مستقیم امپدانس خیلی کمی وجود خواهد داشت .



شکل ۲-۲ ساختمان و نماد دیود
یکسوکننده



شکل ۱-۲ مدلی از ساختمان اتمی یک ماده
نیمه هادی که در آن نحوه اشتراک الکترونهای
ظرفیت نشان داده شده است .



شکل ۳-۲ مشخصه ولتاژ جریان یک دیود

۲-۲-۲ ترانزیستور (اتصال نوع n-p-n)

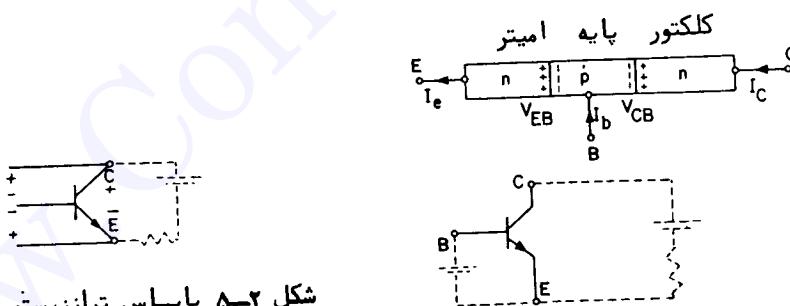
شکل ۲-۴ نمایش نموداری^۱ ساختار پولک نیمه هادی و نماد الکتریکی ترانزیستور را به طور ساده نشان می دهد . اگر اتصال امیتر - پایه به طور مستقیم بایاس شود ، پتانسیل الکترواستاتیکی V_{EB} کاهش خواهد یافت و حاملهای اکثربیت زیادی از امیتر به ناحیه پایه داخل خواهند شد . ولی به علت زیاد بودن مقاومت مخصوص ناحیه پایه ، حفره های زیادی از پایه به امیتر عبور نخواهند کرد . اگر اتصال کلکتور - پایه به طور معکوس بایاس شود یعنی پایانه کلکتور نسبت به پایه مثبت باشد در این صورت به علت افزایش V_{CB} حاملهای اکثربیت کمی ،

الکترونیک قدرت

از این اتصال عبور خواهد کرد و پایه تعداد زیادی الکترون از امپیر جمع می‌کند که اگر آنها به اتصال پایه-کلکتور برستند، شتابدار شده از مدار خارجی عبور می‌کنند.

(الف) حالت قطع^۱

اگر هر دو اتصال (کلکتور-پایه و امپیر-پایه) به طور معکوس بایاس شوند جریان کلکتور خیلی کوچک می‌شود و تمام ولتاژ اعمال شده بین دو سر ترانزیستور یعنی کلکتور-امپیر قرار می‌گیرد. شکل ۲-۵ این شرایط را که به حالت قطع ترانزیستور موسوم است نشان می‌دهد. افزایش ولتاژ بایاس معکوس، تا زمانی که حاملهای اقلیت که در پیوند گاه شتابدار می‌شوندو انرژی کافی برای برخورد و بیرون راندن حاملهای اقلیت و اکثریت در گریستال را داشته باشد، باعث ازدیاد پهنهای منطقه تهی می‌شود. نتیجه این عمل شکست بهمنی است و مقدار بیشینه ولتاژ مجاز کلکتور نیز از این طریق تعیین می‌شود. اگر ولتاژ بایاس معکوس بماندازه کافی افزایش یابد تا جایی که منطقه‌های تهی یکدیگر را لمس کنند، در صورتی که جریان کلکتور توسط مقاومت خارجی مناسبی محدود نشود ترانزیستور از بین خواهد رفت. به منظور اینکه باز ترکیب الکترونها در راه عزیمت‌شان از امپیر به کلکتور کمینه شود، ترانزیستور طوری ساخته می‌شود که ناحیه پایه باریکی داشته باشد. ولی متناسفانه باریک بودن ناحیه پایه به این معنی است که اعمال ولتاژ کلکتور-پایه کمی باعث از بین رفتن ترانزیستور خواهد شد. ولتاژی که در آن منطقه‌های تهی یکدیگر را لمس می‌کنند گاهی به ولتاژ "مسیر بازنی" ^۲ موسوم است.



شکل ۲-۵ بایاس ترانزیستور برای
حالت قطع یا بدون عبور جریان

شکل ۲-۴ ساختمان و نماد ترانزیستور

(ب) ناحیه خطی^۳

اگر اتصال امپیر-پایه به طور مستقیم بایاس شود و اتصال کلکتور-پایه به طور معکوس

1- Cut-off

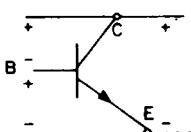
2- Punch-through

3-Linear region

۲۵

تیریستور

بایاس شود جریان به نحوی که پیش از این گفته شد عبور خواهد کرد. هرچه ولتاژ پایه مثبت تر شود جریان پایه، جریان بارکتور و ولتاژ دو سر بار زیادتر می شود، ولی ولتاژ بین دو سر ترانزیستور تا زمانی که به نقطه اشباع نرسیده است کمتر خواهد شد. شکل ۲ - ۶ نحوه بایاس کردن ترانزیستور را در ناحیه خطی نشان می دهد.

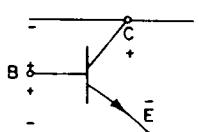


شکل ۲-۶ بایاس ترانزیستور برای عبور جریان کنترل شده

(پ) اشباع^۱

اگر عبور جریان ترانزیستور تنها توسط مقاومت بار محدود شود، و هر دو اتصال ترانزیستور به طور مستقیم بایاس شوند، حالت اشباع در ترانزیستور بموقوع می پیوندد. در این حالت اختلاف ولتاژ امپیر-کلتور خیلی کم و فقط در حدود ۲۵ میلی ولت خواهد بود. شکل ۲ - ۷ بایاس ترانزیستور برای حالت اشباع را نشان می دهد.

با استفاده از حالتهای قطع و اشباع ترانزیستور می توان آن را مثل یک کلید قطع و وصل به کاربرد. یک بایاس پلمای مثبت^۲ در پایه ترانزیستور n-p-n را بدون گذشتן از ناحیه خطی که دارای اتلاف حرارتی زیادی است، به طور کامل روش می کنند یا به حالت اشباع می برد. قابلیتهای ولتاژ و قدرت در ترانزیستورها محدود است، اما کلید نیمه هادی مشابهی با قابلیت کاربرد در ولتاژ و قدرتهای خیلی بالا وجود دارد. این کلید تیریستور یا یکسو کننده قابل کنترل سیلیکونی است.



شکل ۲-۷ بایاس ترانزیستور برای جریان اشباع

الکترونیک قدرت

۲۶

۳-۲-۳ تیریستور (یا یکسو گمنده قابل کنترول $p-n-p-n$)

تیریستور یک وسیله نیمه هادی چهار لایه سه اتصالی با سه سر خروجی است و از لایه های نوع p و n سیلیکونی که به طور متناوب قرار گرفته اند ساخته شده است. شکل ۲-۸ نماد الکتریکی و نمایش نموداری ساختار تیریستور را نشان می دهد. ناحیه p انتهایی آند، ناحیه n انتهایی کاتد و ناحیه p داخلی دریچه یا گیت^۱ است. آند از طریق مدار بار به طور سری به کاتد وصل می شود. این وسیله اساسا یک کلید است و همواره تا زمانی که به پایانهای آند و دریچه ولتاژ مثبت مناسبی نسبت به کاتد اعمال نشده است در حالت قطع (حالت ولتاژ مسدود کننده) باقی می ماند و امپدانس بینهایتی از خود نشان خواهد داد. در حالت وصل و عبور جریان بدون احتیاج به علامت^۲ (ویا ولتاژ) بیشتری روی دریچه به عبور جریان اداهه خواهد داد. در این حالت به طور ایده اآل هیچ امپدانسی در مسیر جریان از خود نشان نمی دهد. برای قطع کلید و یا برگرداندن تیریستور به حالت خاموشی بایستی روی دریچه علامت و یا ولتاژی نباشد و جریان در مسیر آند به کاتد به صفر تقلیل یابد. تیریستور به طوری که از شکل ۲-۸ پیداست عبور جریان را فقط در یک جهت امکان پذیر می سارد.

در شکل ۲-۹ اگر به پایانهای تیریستور ولتاژ بایاس خارجی اعمال نشود، حاملهای اکثربت در هر لایه تا زمانی که ولتاژ الکترواستاتیکی داخلی^۳ به وجود آمده از انتشار بیشتر حاملها جلوگیری کند، منتشر می شوند. اما بعضی از حاملهای اکثربت انرژی کافی جهت عبور از سد تولید شده توسط میدان الکتریکی ترمزن^۴ هر اتصال را دارد. این حاملها پس از عبور، تبدیل به حاملهای اقلیت می شوند و می توانند با حاملهای اکثربت ترکیب شوند. حاملهای اقلیت هر لایه نیز می توانند توسط میدان الکتریکی ثابتی درهایی از اتصال ها شتابدار شوند، ولی چون در این حالت [از خارج ولتاژی اعمال نمی شود] مدار خارجی وجود ندارد مجموع جریانهای حاملهای اقلیت و اکثربت بایستی صفر شود.

حال اگر یک ولتاژ بایاس طبق شکل ۲-۹ با یک مدار خارجی برای حمل جریانهای داخلی منظور شود این جریانها شامل قسمتهای زیر خواهند بود.

جریان I_1 ناشی از:

۱- عبور حاملهای اکثربت (حفره ها) از اتصال 1_R

۲- عبور حاملهای اقلیت از اتصال 1_R

۳- حفره های تزریق شده به اتصال 2_R که از طریق ناحیه n اشعه می یابند اتصال 1_R را قطع می کند، و

1- Gate

2- Signal

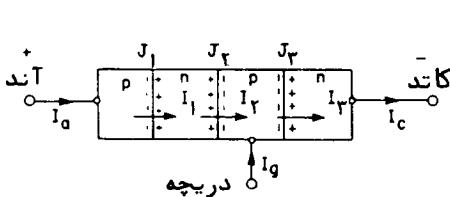
3- Built-in voltage

4- Retarding electric field

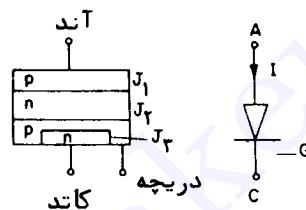
۲۷

تیریستور

۴- حاملهای اقلیت از اتصال J_2 که از طریق ناحیه n اشاعه یافته و از اتصال J_1 عبور کرده است. عیناً J_2 نیز از شش قسمت و J_1 از چهار قسمت تشکیل خواهد یافت. برای تشریح اصول کارتیریستور از دو روش متشابه^۱ مدل‌های دیودی و یا دو ترانزیستوری می‌توان استفاده کرد.



شکل ۹-۲



شکل ۸-۲

(الف) مدل دیودی تیریستور

تیریستور که یک نیمه هادی سه اتصالی است، شبیه سه دیودی است که به طور سری اتصال یافته‌اند. اگر دریچه بایاس نشود ولی به دو سر آند و کاتد ولتاژ بایاسی اعمال شود این ولتاژ هر قطبیتی^۲ که داشته باشد همواره حداقل یک اتصال معکوس با بایاس شده، وجود خواهد داشت تا از هدایت تیریستور جلوگیری کند.

اگر کاتد توسط ولتاژ منبع تغذیه [نسبت به آند] منفی شود و دریچه نسبت به کاتد به طور مثبت بایاس شود لایه p دریچه توسط کاتد از الکترون لبریز می‌شود و خاصیت خودش را به عنوان لایه p از دست می‌دهد. درنتیجه تیریستور به دیود هدایتی معادلی تبدیل می‌شود.

(ب) مدل دو ترانزیستوری تیریستور

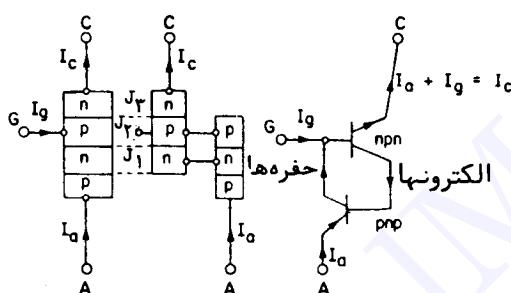
شکل ۲-۱۰ طرز اتصال و شبهات تیریستور را با دو ترانزیستور نشان می‌دهد. پولک $p-n-p-n$ را می‌توان به صورت دو ترانزیستور با دو ناحیه پایه در نظر گرفت. یک کلکتور ترانزیستور $n-p-n$ ، جریان محركی برای پایه ترانزیستور $p-n-p$ که جریان کلکتورش اضافه جریان دریچه به مثابه جریان محرك^۳ پایه ترانزیستور $n-p-n$ است، مهیا می‌کند. برای روشن کردن تیریستور جریان دریچه به جزء خیلی حساس ترانزیستور $n-p-n$ از اتصال $p-n-p-n$ اعمال می‌شود. اولین ده درصد افزایش جریان آند، در اصل جریان کلکتور ترانزیستور $n-p-n$ است. پایه n ترانزیستور $p-n-p$ توسط جریان کلکتور

الکترونیک قدرت

۲۸

ترانزیستور n-p-n باردار می شود . درنتیجه پس خور مثبتی توسط جریان لکتور ترانزیستور p-n-p به منظور افزایش بارهای ایجاد شده در پایه P ترانزیستور n-p-n دایرمی شود . به این ترتیب جریان تیریستور شروع به افزایش می کند ، به سرعت به مقدار اشباع می رسد و جریان تیریستور فقط توسط امپدانس بار محدود می شود .

بهتر است به منظور تشریح مشخصه و خواص تیریستور حالت های مختلف آن را [از نظر بایاس] مورد بررسی قرار دهیم .



شکل ۲-۱۵ نمایش نموداری ساختار و نماد الکتریکی مدل ترانزیستوری

۳-۲ مشخصات تیریستور

برای اینکه بتوان وسیله های الکترونیکی را با کیفیت کافی مورد استفاده قرار داد و از آنها محافظت کرد بایستی مشخصات و خواص آنها کاملا معلوم شوند . مشخصات تیریستور را می توان با ملاحظه سه حالت مختلف اصلی این وسیله تعیین کرد :

- ۱ - شرایط بایاس معکوس ^۱
- ۲ - بایاس مستقیم و مسدود ^۲
- ۳ - بایاس مستقیم و هدایت ^۳

۳-۳ بایاس معکوس تیریستور (کاتد نسبت به آند مشبت)

در این حالت اتصالات اول و سوم به طور معکوس و اتصال دوم به طور مستقیم بایاس می شوند و درست مثل یک اتصال p-n مقدار کمی جریان نشستی از کاتد به آند عبور خواهد کرد .

1- Revers bias

2- Forward bias and blocking

3- Forward bias and conducting

تیریستور

اعمال ولتاژ محرك مشبّق به دریچه تیریستور در حالی که آند هنوز منفی است سبب می شود که تیریستور رفتاری شبیه ترانزیستور داشته باشد و جریان معکوس نشانی آند تا مقدار قابل مقایسمای با جریان دریچه افزایش یابد ، از این رهگذر اتلاف قدرت قابل ملاحظه ای در تیریستور وقوع خواهد بیافت . زیاد گرم شدن اتصال می تواند سبب افسارگسیختگی حرارتی ^۱ شود . جریان آند با جریان اشباع معکوس اتصال اول به اضافه کسری از جریان دریچه برابراست . جریان اشباع بستگی به درجه حرارت دارد بنابراین بالا رفتن درجه حرارت اتصال باعث افزایش جریان اشباع می شود که آن نیز موجب گرم شدن بیشتر اتصال می شود . ولتاژ بیشینه دریچه در شرایط بایاس معکوس غالباً توسط سازندگان برای محدود کردن انحراف حرارت معین می شود .

افزایش ولتاژ بایاس معکوس باعث پهن شدن لایه های تهی اتصالات اول و سوم می شود . اتصال اول معمولاً بخش اعظم ولتاژ آند به کاتد را مسدود می کند ، لذا منطقه تهی این اتصال غالباً پهن است . به خاطر اینکه ولتاژ مسیر سوراخ کنی توسط تماس لایه های تهی اتصالات ^۱ و ^۲ به وجود نماید لایه ^۱ وسطی را کمی پهن می سازند .

۳-۳-۲ تیریستور بایاس مستقیم و مسدود (آند نسبت به کاتد مشبّق)
اتصالات اول و سوم بایاس مستقیم و اتصال دوم بایاس معکوس می شود . جریان آند در خلال مدتی که یک اتصال ^{n-p-n} بایاس معکوس وجود دارد ، خیلی کم است و مقدارش برابر با جریان اشباع اتصال دوم به اضافه قسمتی از جریان دریچه است . جریان دریچه در طول این شیوه عمل با این که خودش بایستی کوچک باشد جریان آند را افزایش می دهد .

۳-۳-۳ تیریستور بایاس مستقیم و هدایت
چهار روش برای روشن کردن تیریستور وجود دارد و به مخف این که هدایت شروع شد امپدانس صفر در مسیر عبور جریان از خود نشان می دهد . همان طوری که از مشخصه کلی ولتاژ جریان یک تیریستور طبق شکل ۱۱-۲ مشاهده می شود ، در طول زمانی که تیریستور هدایت می کند افت ولتاژ بین آند و کاتد در حدود ۱/۵ نا ولت است و اصولاً مستقل از جریان آند است .

چهار روش راه اندازی ^۱ تیریستور توسط علائم اعمال شده به دریچه توسط یکی از دو روش (۱) علائم الکتریکی یا (۲) فعال سازی نوری ، به توسط (۳) ولتاژ بایاس مستقیم با دامنه زیاد و (۴) ولتاژ

1- Termal runaway

2- Triggering

الکترونیک قدرت

بایاس مستقیم با میزان صعود سریع وجود دارد . روش اول ، یعنی ، راه اندازی توسط علائم الکتریکی مهمترین و معمول‌ترین روش است ، در حالی که آخرین روش به علت طبیعت مراحمی^۱ که دارد قابل اجتناب است .

(الف) روشن کردن $\frac{1}{2}$ توسط نور

یک شاع نوری که از دریچه به سوی اتصال کاتد ، $\frac{1}{2}$ جهت داده می‌شود ، می‌تواند انرژی کافی برای شکستن پیوندهای الکترونی در نیمه هادی را تولید کند و حاملهای اقلیت اضافی لازم جهت وصل کلید یا روشن کردن تیریستور را مهیا کند .

(ب) روشن کردن توسط علایم الکتریکی اعمال شده به دریچه

حاملهای اقلیت اضافی لازم جهت روشن شدن تیریستور رامی‌توان از طریق سرخروجی دریچه به داخل ناحیه دریچه تیریستور تزریق کرد . اگر جریان دریچه به اندازه^۲ کافی زیاد باشد به محض اینکه آند تیریستور نسبت به کاتد مشبّث شود تیریستور روشن خواهد شد . جریان دریچه با توجه به اندازه‌های متفاوت تیریستور از مقدار خیلی کم چند میلیآمپر تا حدود ۲۵۰ میلیآمپر و بیشتر تغییر خواهد کرد . بعد از روشن شدن از طریق دریچه مقداری زمان لازم است تا تیریستور به هدایت کامل خود برسد . خاصیت انتشار دینامیکی پلاسمایی که بیشینه^۳ فرکанс عملکرد تیریستور را تعیین می‌کند به نرخ افزایش سطحی از نیمه هادی که هدایت از آن طریق به وقوع می‌پیوندد مربوط می‌شود . خواص انتشار معکوساً با افزایش ضخامت پولک تیریستور ارتباط دارد و با افزایش سطح سیلیکون به طور غیر ممکن^۴ افزایش می‌یابد . از آنجا که در اثر کلفتی و افزایش سطح ، تیریستورهای ولتاژ و جریان زیاد تولید می‌شود ، انتشار پلاسما اهمیت فراوانی پیدا می‌کند .

زمان وصل $\frac{1}{2}$ تیریستور به مدت زمانی اطلاق می‌شود که از شروع راه اندازی ، که تیریستور هنوز امپدانس بینهایتی در مسیر عبور جریان آند از خود نشان می‌دهد ، تا لحظه^۵ ایجاد افت ولتاژ پایدار مستقیم ، همراه با توزیع بار مساوی در سرتاسر تیریستور ، به درازا می‌کشد . زمان وصل برای تیریستورهای تجاری در حدود یک تاسه میکروثانیه است . در تیریستورهای سفارشی که برای مصارف خاصی از قبیل مدولاتورهای پالس رادار^۶ ساخته می‌شوند ، زمان صعود جریان آند می‌تواند در حدود ۳۰۰ نانو ثانیه باشد .

1- Spurious

2- Turn-on

3- Inhomogeneities

4- Turn-on-time

5- Radar pulse modulator

برای روشن شدن تیریستور، جریان دریچه کمینه‌ای^۱ (حداقلی) وجود دارد که تیریستور در جریانی کمتر از آن روشن نخواهد شد. اگر به دریچه تیریستور جریانی بیشتر از جریان کمینه دریچه تزریق شود، زمان وصل سریعی به دست خواهد آمد. هدایت در آند پس از تزریق مقدار معینی بار به داخل ناحیه دریچه شروع می‌شود. هرچه دامنه جریان دریچه بیشتر باشد جهت ایجاد حاملهای اقلیت مورد نیاز برای روشن شدن تیریستور، به زمان کمتری احتیاج خواهد بود. سرعت کلید زنی برای بارهای القایی در مدار آند، اگر جریان نهایی به همان اندازه جریان بار اهمی باشد، کاهش می‌یابد، ولیکن اتلاف قدرت در تیریستور نیز کم می‌شود. علامتی با لبه مقدم تیز بهترین شکل علامت دریچه است، و برای روشن شدن توام با اطمینان تیریستور، در حدود امکان، بایستی مقدار علامت بزرگتر انتخاب شود. بلافاصله پس از روشن شدن تیریستور عبور جریان از دریچه برای ادامه هدایت تیریستور دیگر مورد نیاز نخواهد بود، لذا برای دریچه یک ضربه^۲ [بامضفات گفته شده] کافی است. برای تیریستورهایی که برای کاربردهای عمومی صنعتی مورد استفاده‌اند، ضربه دریچه‌ای با زمان صعود^۳ ۱۰ آمپر بر میکروثانیه تیریستور را در زمانی حدود ۱/۰ میکروثانیه روشن می‌کند، اگرچه ضربه‌ای به طول کمتر از ۲/۰ میکروثانیه معمولاً بی‌تأثیر است. تیریستورها، برای کاربردهایی نظیر مدو-لاتورهای پالسی ممکن است، علامت دریچه‌ای با زمان صعود ۴۵ آمپر بر میکروثانیه لازم داشته باشند.

اگر علامت دریچه قبل از اینکه جریان صعودی آند به جریان قفلی^۴ [به حداقل جریان لازم برای ادامه هدایت] برسد به صفر تنزل یابد، تیریستور دوباره خاموش خواهد شد. بلافاصله پس از آنکه جریان در آند از جریان قفلی تجاوز کرد تیریستور تا زمانی که جریان آند از جریان نکهدارنده^۵ ، که کمتر از جریان قفلی است، کمتر نشده است روشن خواهد ماند (این مسئله پس زنی^۶ الکتریکی است). در جریانهای بار کم، به منظور اینکه در طول روشن بودن تیریستور متجاوز بودن جریان آن از جریان نکهدارنده تعیین شود، ممکن است از یک مدار تخلیه خازنی یا مقاومت سالم ساز^۷ استفاده شود. جریان قفلی با جریانهای دریچه بزرگتر، به آهستگی اضافه می‌شود.

در فاصله اولین روشن شدن تیریستور فقط سطح کوچکی در نزدیکی الکترود دریچه جریان آند را هدایت می‌کند به همین علت افزایش قابل ملاحظه جریان آند در مدتی کوتاه، یعنی dI/dt بزرگ، قبل از گسترش هدایت در بین اتصال ممکن است سبب بالارفتن حرارت موضعی

1- Minimum

2-Pulse

3- Rise time

4- Latching (or pickup)Current

5- Holding current

6- Electric backlash

7- Bleed resistor

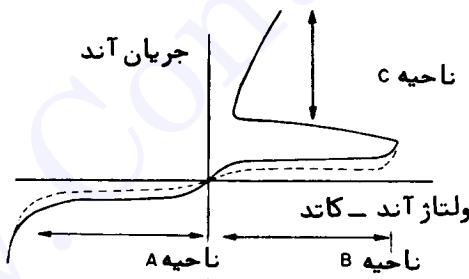
۳۲

الکترونیک قدرت

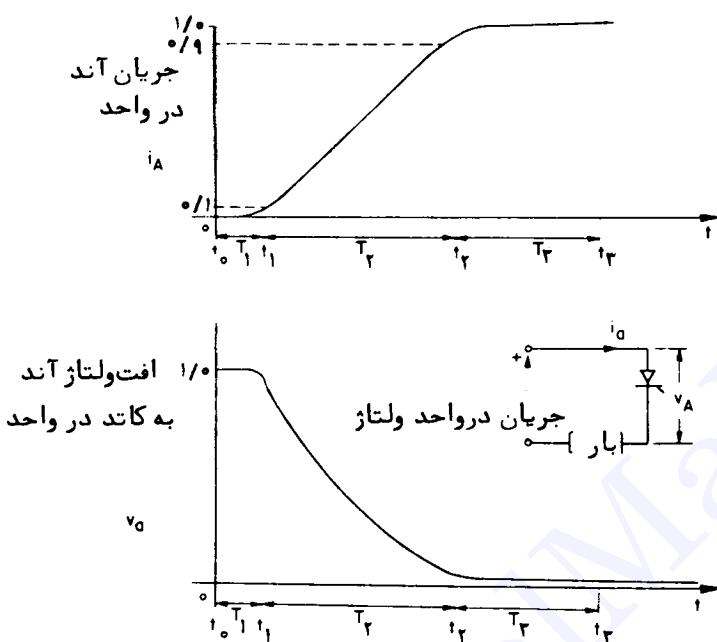
به اندازه‌ای که کافی برای خسارت دیدن تیریستور است، شود. این گرم شدگی بیشینه تغییرات di/dt را در طول روشن شدن بین $3\text{~تا~}30\text{ آمپر بر میکرو ثانیه محدود می‌کند}$ ، گرچه تیریستورهای مخصوص سریع ممکن است قابلیت تغییرات جریانی $3\text{~آمپر بر میکرو ثانیه را هم داشته باشد}$. یک سلف سری شده با آند تغییرات di/dt را کاهش می‌دهد و پس از آنکه تیریستور به هدایت کامل رسید ممکن است کاری کرد تا سلف به حد اشاع برسد و di/dt مقدار بیشتری، تا جریان بار کامل، داشته باشد. این سلف همچنین باعث کاهش تلفات روشن و خاموش شدن می‌شود. ولی قادر است سبب صعود ولتاژ گذراي معکوس، که به نوبه خود مخرب است، نیز شود.

جریان دریچه بالاتر نیز به افزایش قابلیت ایستادگی آند در مقابل di/dt منجر می‌شود.

شکل ۲-۱۲ تغییرات جریان را در طول زمان گذرا از حالت خاموشی به هدایت کامل نشان می‌دهد. زمان t_1 ، شروع روشن شدن تیریستور توسط ولتاژ پلمای اعمال شده به دریچه رامعین می‌کند. دوره T_1 تاخیر زمانی بین پیشانی پالس دریچه و شروع افزایش سریع جریان آند است. بنابراین پالس دریچه باستی حداقل دارای دوره T_1 ثانیه باشد. اتلاف قدرت در تیریستور در دوره T_2 ، به علت افزایش سریع جریان در روی یک سطح کوچک در حالی که افت ولتاژ هنوز قابل ملاحظه است بیشترین مقدار را خواهد داشت. دوره T_3 زمان گسترش رسانندگی آست و نیز مدت زمانی است که افت ولتاژ در تیریستور به حالت پایدار می‌رسد.



شکل ۱۱-۲ مشخصات حالت پایدار تیریستور



شکل ۲-۲ تغییر ولتاژ و جریان در مدت زمان روشن شدن

(پ) روشن کردن با ولتاژ شکست^۱

افزایش ولتاژ مستقیم آند به کاتد باعث افزایش پهنهای منطقه تهی اتصال ۲ و همچنین اردیاباد ولتاژ شتاب دهنده حاملهای اقلیت همان اتصال می‌شود. این حاملها بالاتمهای ثابت برخوردمی کنند و حاملهای اقلیت بیشتری را تا رسیدن به شکست بهمنی در اتصال به جلو می‌رانند^۲. این شکست اتصال ۲ را در جهت مستقیم بایاس می‌کند، و در این حالت جریان آند تنها توسط امپدانس بار مدار خارجی محدود می‌شود.

در ولتاژ شکست V_{BO} (باقسمت ۵-۱ مراجعه شود) تیریستور از وضعیت ولتاژ زیاد در دو سر خود با جریان نشتی خیلی کم به وضعیت ولتاژ خیلی کم با جریان مستقیم زیاد تغییر مشخصه می‌دهد، یعنی، با ولتاژ V_{BO} تیریستور روشن می‌شود.

اثرات سطحی پولکسیلیکونی احتمالاً لایه بارفرا^۳ را به طور موضعی فشرده می‌سازد و ولتاژ قطع را کاهش می‌دهد. این پدیده معمولاً در اطراف سطح برونی^۴ پیوندگاه به طور غیریکنواخت

1- Breakover voltage turn-on

2- Dislodge

3- Space-charge

4- Periphery

الکترونیک قدرت

۲۴

اتفاق می‌افتد. در نتیجه ممکن است کل جریان بهمنی از طریق سطح کوچکی عبور کند و اتصال p-n در اثر گرمایشی^۱ از بین برود. در ساختمان تیریستورهای ولتاژ بالا این نقصه محیطی رایج است. کناره مناسب یا پخ بودن لبه پولک جایی که انتشار اتصال^۲ سطح را قطع می‌کند، ساخت و تولید تیریستورهای ولتاژ بالا و قابل اعتمادی را ممکن می‌سازد.

ولتاژ شکست از ولتاژ معکوس اسمی بیشتر است، و این روش روشن کردن فقط برای دیودهای چهارلایه p-n-p-n مورد استفاده قرار می‌گیرد.

(ت) روشن کردن dV/dt

میزان افزایش سریع ولتاژ مستقیم آند به کاتد سبب می‌شود که توسط خازنهای موجود بین آند - دریچه و دریچه - کاتد جریان گذرا در دریچه ایجاد شود. این تغییر سریع ولتاژ می‌تواند تیریستور را روشن کند ولی باستی از آن اجتناب ورزید. تیریستورها محدودیتی از ۲۰ الی ۲۰۰ ولت بر میکروثانیه تغییرات ولتاژ بر حسب زمان در آند دارند، با این حال تیریستورهای ولتاژ بالای ۱۶۰۰ ولت با مقدار dV/dt بیشتر از ۵۰۰ ولت بر میکرو ثانیه وجود دارد که در آنها حساسیت دریچه کمتر است. عمل مقدار dV/dt برای کلیدزنی با استفاده از یک مقاومت کوچک خارجی در مسیر دریچه به کاتد یا از طریق کوتاه کردن داخلی پیوند کاه دریچه به کاتد در قسمتی از سطح برونوی پیوند کاه ویا وسیله پخش مقداری طلا در مراحل نهایی تولید، قابل افزایش است.

۳-۳ خاموش شدن^۳ تیریستور

خاموش شدن تیریستور به این معنی است که هدایت درجهت مستقیم قطع می‌شود و اعمال دوباره ولتاژ مثبت به آند بدون وجود علامت دریچه باعث عبور جریان نخواهد شد، جابه جایی فرآیند خاموش شدن تیریستور است و مدارهای جابه جایی برای تسهیل خاموشی تیریستور شامل اجزای اضافی است.

۳-۴ روش‌های خاموشی یا قطع

سه روش زیر برای قطع تیریستور وجود دارد که عبارتند از: جابه جایی طبیعی^۴، خاموشی با بایاس معکوس^۵، و خاموشی دریچه^۶.

1- Overheating

2- Diffused Junction

3- Turn-off

4. Natural Commutation

5- Reverse-bias turn-off

6- Gate turn-off

تیریستور

(الف) جابه‌جایی طبیعی:

موقعی که جریان آند به مقدار کمتر از جریان نگهدارنده کاهش یا بد تیریستور خاموش با قطع می‌شود. به هر حال لازم به تذکر است که میزان اسمی جریان آند معمولاً بیشتر از ۱۰۰۰ آمپر جریان نگهدارنده است. از آنجا که در مدارهای جریان مستقیم ولتاژ آند نسبت به کاتد همواره مثبت باقی می‌ماند، جریان آند فقط در موقع قطع کلید خط، افزایش امپدانس مدار، و یا انشعاب قسمتی از جریان بار توسط مدار موازی [از طریق موازی کردن مداری] با تیریستور، یعنی همانا اتصال کوتاه^۱ کردن تیریستور می‌تواند کاهش یابد.

(ب) خاموشی با بایاس معکوس

ولتاژ آند به کاتد معکوس (کاتد نسبت به آند مثبت) به قطع جریان آند منجر خواهد شد. معکوس شدن ولتاژ در هر نیم سیکل در یک مدار جریان متناوب، تیریستور واقع در خط را در نیم سیکلهای منفی به علت معکوس بایاس شدن خاموش می‌کند. این خاموش شدن تیریستور به جابه‌جایی فاز^۲، یا جابه‌جایی خط جریان متناوب^۳ موسوم است.

به منظور ایجاد ولتاژ بایاس معکوس در دو سر تیریستوری که در خط جریان مستقیم قرار دارد، می‌توان از خازنها استفاده کرد. روش تخلیه خازن به طور موازی با تیریستور برای خاموشی تیریستور را، جابه‌جایی اجباری^۴ گویند.

یکی از مزایای استفاده از تیریستورها در الکترونیک قدرت، تراکم و فشرده بودن آنهاست. همچنین اگر از مدارهای مجتمع^۵ استفاده شود و سایل کنترل نیز متراکم و فشرده خواهد بود. به این منظور در مدارهای جابه‌جایی اجباری و صافی‌ها نیزسی می‌شود که از خازن‌های مینیاتوری^۶ استفاده شود. مدارهای جابه‌جایی اجباری چون دارای جریان زیاد هستند و افت حرارتی در مسائل مربوط به طراحی اولویت‌زیادی دارند، بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند. خازن‌های اندازه کوچک در حال حاضر با استفاده از غشای پلاستیکی فلز اندوed، یا غشای پلاستیکی و ورقه‌نازک آلومینیمی به دست می‌آیند.

(پ) خاموشی دریچه

بعضی از تیریستورهای مخصوص طوری طراحی شده‌اند که اعمال جریان منفی به دریچه باعث افزایش جریان نگهدارنده تا حد بیشتر از جریان بارمی‌شود، درنتیجه می‌توان تیریستور را به این ترتیب خاموش کرد. این تیریستورها در حال حاضر تا زیر ۱۵ آمپر اسمی ساخته

1- Short-circuiting

2- Phase-commutation

3- A.C. line commutation

4- Forced-commutation

5- Integrated circuit

6- Miniaturize capacitor

شده‌اند و موارد استعمال این تیریستورها خارج از بحث این کتاب است.

۲-۴-۲ زمان خاموشی تیریستور

زمان خاموشی زمانی است که در طول آن بارهای الکتریکی حاضر در ساختمان سیلیکون به نزدیکی سطح تراز انرژی حالت قطع، نزول کنند. اگر در طول این فاصله زمانی، ولتاژ بایاس مستقیمی به تیریستور دوباره اعمال شود هدایت شروع خواهد شد. زمان خاموشی به درجه حرارت حساسیت دارد و بین ۲۵ و ۱۲۵ درجه سانتی‌گراد دوبرابر می‌شود. زمان خاموشی برای تیریستورهای معمولی در جایه‌جایی طبیعی بین ۱۰۰۰ نا ۱۰ میکروثانیه است، در صورتی که برای تیریستورهای اجباری این زمان بین ۷ تا ۲۰ میکروثانیه خواهد بود، ولی این اعداد شامل تیریستورهای مخصوص نیست. اگر بخواهیم کمی دقیق‌تر و مشخص‌تر گفته باشیم، زمان خاموشی تیریستورها حدوداً به قرار زیر است:

۱۰ میکروثانیه برای تیریستورهای ولتاژ کم و جریان کم

کمتر از ۲۰ میکروثانیه برای مقادیر اسمی ۵۰۰ ولت

کمتر از ۳۵ میکروثانیه برای مقادیر اسمی ۸۰۰ ولت

کمتر از ۵۰ میکروثانیه برای مقادیر اسمی ۱۲۰۰ ولت

و ۱۰۰ تا ۲۰۰ میکروثانیه برای مقادیر اسمی ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ ولت

عمل خاموشی تیریستور به ترتیب زیر است. ولتاژ بایاس معکوسی که به منظور قطع تیریستور اعمال می‌شود، اجازه می‌دهد که بارهای متحرک در جهت ولتاژ کاتد به آند عبور کنند. تغییر جهت عبور بارهای الکتریکی ممکن است به ایجاد جریان معکوس خیلی زیادی در آند، با اینکه تغییرات dI/dt توسط مدار خارجی تعیین می‌شود، منجر شود. این جریان تا زمانی که اکثر حاملهای اتصالات 1_r و 3_r شکل ۲ - ۹ جایه‌جا نشده‌اند تا این اتصالات به حالت مسدود در آیند و جریان صفر شود، بایستی عبور کند. تیریستور ولتاژ معکوس را به علت بایاس معکوس بودن اتصالات 1_r و 3_r مسدود می‌کند. ولی با این حال اتصال 2_r هنوز در بایاس مستقیم است و بارهای الکتریکی زیادی دارد که به تله افتاده‌اند. تیریستور زمانی که حاملهای اضافی اتصال 2_r با هم باز ترکیب شدند ولتاژ بایاس مستقیم را مسدود می‌کند، اما این باز ترکیب مستقل از مدار خارجی است. زمان خاموشی در درجات حرارت بالا به علت طولانی ترشدن ترکیب بارهای الکتریکی افزایش می‌یابد. مقدار بار الکتریکی در نزدیکی اتصال 2_r به جریان مستقیم ارتباط دارد و درنتیجه جریان زیاد به مفهوم ازدیاد زمان خاموشی است. جریان معکوس زمان خاموشی را به علت این که اتصالات 1_r و 3_r مدت کوتاه‌تری بایاس معکوس می‌شوند، کاهش می‌دهد.

۲- ۵ مقادیر اسمی تیریستور

مقادیر اسمی ولتاژ، جریان و قدرت با وجود ارتباط باهم به طور مجزا مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۳- ۱- ۵ مقادیر اسمی ولتاژ

در تیریستورهای سه ولتاژ مختلف برای بررسی وجود دارد :

ولتاژ مستقیم پیک V_{PFV} ^۱ حد نهایی ولتاژ مثبت آند است که در صورت تجاوز از آن امکان خرابی و از بین رفتن تیریستور وجود دارد .

ولتاژ شکست مستقیم V_{BO} ^۲ حداقل ولتاژ مثبت آند نسبت به کاتد است که بدون اعمال علامتی به دریچه باعث راماندازی تیریستور می شود . برای تعیین مقدار این ولتاژ بایستی دریچه در حالت مدار باز و درجه حرارت اتصال در حد اکثر مقدار مجاز خود باشد . با این حال V_{BO} هنوز تابعی از $\frac{dI}{dt}$ است . با در نظر گرفتن این که عموماً V_{PPFV} از V_{BO} بزرگتر است لذا برای تیریستور مقداری حفاظت ذاتی وجود خواهد داشت . به هر حال اگر یک ولتاژ گذرا یا دامنه ای بیشتر از مقادیر اسمی گذراي تیریستور به آن اعمال شود ، با این که خراب شدن تیریستور غیر محتمل است ، ولی با روشن کردن تیریستور در لحظه غلط ، باعث بدل عمل کردن مدار می شود . در صورتی که دمای اتصال کم باشد ، امکان دارد از V_{PRV} از V_{BO} کمتر شود . ولتاژ معکوس پیک V_{PRV} ^۳ حد اکثر ولتاژ تکراری است که به تیریستور اعمال می شود و کاتد را نسبت به آند مثبت می کند . در صورت افزایش ولتاژ PRV شکست بهمنی رخ می دهد و اگر جریان توسط مدار خارجی محدود نشود تیریستور خراب خواهد شد .

در سال ۱۹۶۷ برای کاربردهای صنعتی با قدرت زیاد ، تیریستورهایی که مقدار اسمی PRV آنها تا حدود ۱۶۰۰ ولت بود به بازار عرضه شد . در این تیریستورهای ولتاژ زیاد مقدار اسمی متوسط جریان هر نیم سیکل در حدود ۲۵۰ آمپر است . در سال ۱۹۶۸ ژاپنی های تیریستورهایی با ولتاژ ۲۵۰۰ ولت و جریان ۴۰۰ آمپر را ساختند و به بازار عرضه کردند . در همان سال به این نتیجه رسیدند که اگر در موقع ساخت پولک چهار لایه سیلیکونی کنترل دقیق تری در فرآیند نفوذ دادن^۴ انجام شود می توان تیریستورهای ۴ کیلوولتی نیز تولید کرد ، لذا به دنبال آن در سال ۱۹۶۹ تیریستورهایی با ولتاژ ۱۰ کیلو ولت و جریان ۴۰۰ آمپر (۴ مکاولت آمپر) برای استفاده در توقف سازهای نمونهوار^۵ و مبدل های ایستایی تولید و به بازار روانه شدند .

در حال حاضر تیریستورهایی با مقادیر اسمی ولتاژ بالا به ازای زمان های خاموشی سریع و افت های ولتاژ مستقیم کم ، قابل دسترسی هستند . برای طراحی تیریستورهای ولتاژ بالا

1- Peak forward voltage

2- Forward breakdown voltage

3- Peak reverse voltage 4-Diffusion 5- Prototype interrupter

الکترونیک قدرت

۳۸

بمناچار بایستی پولک سیلیکون ضخیم باشد ، و در طرح تیریستورهای جریان بالا و di/dt بالا بایستی پولک سیلیکون نازک باشد . لذا طراحان تیریستورهای مورد کاربرد در قدرت بالا با تنافضی مواجه می شوند ، که مجبورند به مصالحهای تن در دهند .

۲-۵-۲ مقادیر اسمی جریان

به منظور ساختن تیریستورهای با بهترین مقدار اسمی جریان ممکن ، بایستی کریستال دارای سطح فعال بزرگ ، ضخامت کم و انتقال حرارت بروئی خوب باشد . ضخامت کم کریستال به مفهوم قابلیت ولتاژ کم و سطح سیلیکون بزرگ به معنی کاهش بازده تیریستورهای ولتاژ زیاد است که این امر در اثر افزایش چکالی ناخالصیها و توزیع غیر یکنواخت ضربه مقاومت به وجود می آید . تعریف دیگری از مقدار اسمی جریان را می توان با استفاده از درجه حرارت متوسط خنک کنندگی معینی در اتصالات به دست آورد و سپس مقدار جریانی را مشخص کرد که اتصال یا تیریستور را به بیشینه دمای مجاز نزدیک می سازد .

بعضی از تیریستورها قادرند که تا $500\text{ آمپر جریان متوسط نیم سیکل رابه خوبی$ هدایت کنند .

این تیریستورهای تجاری می توانند تحملی تا حدود $700\text{ آمپر جریان موجی پیک در یک سیکل}$ داشته باشند . نمونه های محدودی وجود دارد که برای استفاده در مدل های کنندگی پالس رادار ، پالس هایی با دامنه جریان بالا و کوتاه مدت ، تولید می شوند . یک مورد از این قبیل تیریستورها با مشخصات ارائه شده توسط سازنده عبارت است از :

$100\text{ آمپر جریان پیک}$

$1200\text{ آمپر بر میکرو ثانیه}$

300 نانو ثانیه

$400\text{ ولت ولتاژ اعمال شده}$

$4\text{ آمپر با زمان صعود }1/0\text{ میکرو ثانیه جریان دریچه}$

۲-۵-۳ مقدار اسمی قدرت

چون مقدار اسمی قدرت دقیقا با هدایت جریان الکتریکی و افت ولتاژ مستقیم تیریستور ارتباط دارد از این رو بهتر است ، خنک کنندگی یا تلفات در تیریستور مورد بررسی قرار گیرد . دمای بیشینه ای که یک وسیله سیلیکونی در اتصال خود دارد بین $120\text{ تا }180\text{ درجه سانتی - گراد}$ است ، هرچه درجه حرارت بدنه افزایش یابد بایستی مقدار قدرت تلف شده در تیریستور نیز کاهش یابد و این یعنی نقصان مقدار اسمی آن .

تلفات قدرت تیریستورها را می توان به پنج قسمت که توسط سازندگان مشخص می شوند ،

نقسیم کرد :

(الف) تلفات جریان بار در هدایت مستقیم

مقدار متوسط جریان آند ضرب در افت ولتاژ مستقیم بین دو سر تیریستور (۱/۲ تا ۱/۵ ولت) مقدار متوسط قدرت تلف شده در تیریستور است. تیریستوری با مقادیر اسمی ۱۰ کیلو ولت و ۴۰ آمپر که به صورت کپسول ساخته شده است به راحتی در کف دست قرار می‌گیرد. در جریان اسمی مقدار متوسط اتلاف هدایت [حرارتی] مستقیم آن در حدود ۶۰۰ وات خواهد بود. برای اینکه دمای سیلیکون کاملاً زیر ۱۲۰ درجه سانتیگراد نگهداشته شود بایستی حرارت تولید شده در تیریستور سریعاً انتقال یابد. لذا خنک‌کن بزرگ و خنک کنندگی موثری ضروری است.

کلید جریان متناوب پیوسته ۱۲۰ آمپر جریان موثر، مثالی است برای سیستمهای خنک-کنندگی، به این منظور از دو تیریستور موازی معکوس که در بین یک انتقال دهنده حرارتی آبی قرار گرفته‌اند استفاده می‌شود. در اینجا برای نگهداری دما در ۴۰ درجه سانتی‌گراد موقعي که حداقل قدرت تلف شده ۱۸۰۰ وات است یک کالن آب در هر دقیقه موردنیاز خواهد بود.

(ب) تلفات قدرت نشتی مستقیم

اگر در موقع خاموشی تیریستور ولتاژ مثبتی برآند اعمال شود یک جریان نشتی وجود خواهد داشت. این تلفات، انتگرال حاصل ضرب ولتاژ در جریان (حاصل ضرب شکل موجها) است، که در مقایسه با تلفات هدایت خیلی کوچک است.

(پ) تلفات خاموشی و تلفات قدرت نشتی معکوس

در طول خاموش شدن سریع تیریستور امکان افزایش جریان معکوس تا اندازه قابل مقایسه با جریان مستقیم وجود دارد. موقعی که امپدانس تیریستور شروع به افزایش می‌کند، جریان پایین می‌آید و ولتاژ معکوس به طور مداوم زیاد می‌شود، در نتیجه تلفات [خاموشی و تلفات نشتی معکوس] حاصل می‌شود. برای محدود کردن میزان تغییرات جریان در موقع خاموش شدن، و در نتیجه کاهش انرژی تلف شده، از خود القای مدار استفاده می‌کنند. خود القا در مدار همچنین میزان افزایش جریان مستقیم را محدود می‌کند که این خود مزیتی است ولی همچنین می‌تواند باعث افزایش زیاد مقادیر گذراي ولتاژ معکوس در مدت خاموشی شود.

(ت) تلفات قدرت دریچه

در صورتی که برای روشن کردن تیریستور از علایم پالسی استفاده شود تلفات دریچه خیلی کوچک می‌شود. بدشرط اعمال علایم پیوسته‌ای به دریچه مقدار این تلفات برابر حاصل ضرب ولتاژ و جریان دریچه خواهد بود.



الکترونیک قدرت

۴۰

(ث) تلفات روشن شدن

چون فرآیند کلید زنی مدت زمان معینی لازم دارد و در آن مدت به ازای عبور جریان بین دو سر تیریستور ولتاژ زیادی وجود دارد لذا تلفات روشن شدن نسبتاً از تلفات خاموش شدن زیادتر است. به عنوان مثال زمانی که جریان به حد ۹۵ درصد مقدارنهایی خودمی‌رسد هنوز امکان وجود ده درصدولتاژ تغذیه در دوسرتیریستور وجود دارد (به شکل ۲ - ۱۲ مراجعه شود). به این ترتیب در فاصله زمانی روشن شدن مقدار قابل ملاحظه‌ای قدرت تلف خواهد شد. برای کاهش تلفات کلیدزنی در فرکانس بیشتر از ۴۰۰ هرتز احتیاج به مدارهای اضافی یا تغییر مقدار اسمی جریان مستقیم است که این خود مقداری تلفات اضافی دربرخواهد داشت. به علت اینکه ثابت زمانی حرارتی تیریستورها کم است نبایستی از مقادیر اسمی آن تجاوز کرد. گرمایزداهای^۱ بشقابی پهن متصل به تیریستور در مقایسه با آن خیلی بزرگ هستند. گرمایزداها برای انتقال حرارت به صورت جابه‌جایی آزاده‌ستند و می‌توانند با هوا فشرده و آب نیز خنک شوند.

۳-۴-۵ مقادیر اسمی تناوبی

به علت اینکه تیریستورها دارای ثابت زمانی حرارتی کمی هستند، بین مقادیر اسمی پیوسته و تناوبی در دوره هدایت، اختلافی بیشتر از چند ثانیه، وجود نخواهد داشت. در دوره‌های کوتاه مدت، اگر گرمایزدا در طی اولین دوره روشن شدنش آنقدر گرم نشود که به مقادیر اسمی پایدار خود برسد، افزایش مقادیر اسمی امکان پذیر خواهد بود. معمولاً اطلاعات مربوط به هر نوع تیریستور از طرف سازندگان در کاتالوگهای مخصوصی در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌گیرد.

به عنوان مثالی از مقدار اسمی تناوبی، تیریستورهای به کار رفته در مدولاتورهای رادار پالسی را در نظر می‌گیریم که جریان تکراری پیک آن ۱۰۰۰ آمپر است در صورتی که جریان متوسط آن فقط ۳۰ آمپر است.

به منظور دست‌یابی به حداقل مقادیر اسمی تیریستورها، بایستی توصیه سازندگان درباره روش‌های خنک کردن دقیقاً به مورد اجرا گذاشته شود.

۶-۳ مراحل ساخت تیریستور

یکی از فوت و فنهای ساخت تیریستور در اصل استفاده از یک ماده نوع n ضخیم داخلی است. برای تشکیل دو لایه p به طور همزمان در اطراف لایه داخلی n، از روش نفوذ جامد

۴۱

تیریستور

به کمک یکی از مواد پذیرنده، گالیوم یا آلمینیم به عنوان نفوذ کننده^۱ استفاده می‌شود. پیوندگاه کاتد و اتصالهای آند همان طوری که در شکل ۲-۱۳ مشاهده می‌شود به ترتیب توسط آلیاژ طلا-آنتمیوان به عنوان ناخالصی نیمه‌هادی نوع^۲ و آلمینیم شکل‌می‌گیرند. صفحه تنگستنی یا مولیبدنی را در طرفین بدنه تیریستور به منظور کمک به موازنی یا جبران گسترش ضرائب مختلف حرارتی مواد، موقعی که در حالت گداخته هستند جوش می‌دهند. قبل از مونتاژ سیستم^۳ روی یک پایه مسی که به سختی جوش داده شده و قسمتهای داخلی را محکم و مسدود می‌کند اتصال دریچه به لایه P متصل می‌شود. بعضی از وسائل الکترونیکی به منظور اجتناب از مشکلات فرسودگی مونتاژ‌جوش؛ دارای اتصالهای مکانیکی که از طریق بستن تحت فشار درست می‌شوند، هستند. ولی با این حال اتصال بسته شده تحت فشار خود نیز دارای مشکلات خاصی است.

در تیریستورهای قدرت بالا به منظور ایجاد پایانه مخصوصی برای اعمال علایم دریچه اتصال کاتد دومی در نزدیک دریچه تعبیه می‌شود. این اتصال باعث به حداقل رسیدن تداخلهای نامتعادل الکتریکی بر روی سیمهای اتصالی دریچه و کاتد می‌شود. ولتاژ القابی نامتعادل که توسط میدانهای پراکنده^۴ تولید می‌شود امکاناً سبب روش شدن تیریستور در زمان نامطلوب می‌شود.

همچنین در تیریستورهای قدرت بالا اخیراً سلولهای سیلیکونی در محفظه‌های دو رویمای کار گذاشته می‌شوند که به آنها تیریستور دگمه‌ای^۵ می‌گویند. گرمایزدای یکپارچه^۶ دو طرف سلول تیریستور برای توده حرارتی، اتصال خوبی با پولک ایجاد می‌کند. موقعی که گرمایزداتها آبی باشند، اضافه بار کوتاه مدتی در مدار پدید می‌آید.

در طی فرآیند ساخت تیریستورهای ولتاژ بالا، کنترل خواص سطحی سیلیکون به نحوی که شکست سطحی نابهنجامی اتفاق نیفتد مسئله‌ای است که باید به آن توجه کرد. معمولاً با اریب کردن دو طرف سیلیکون همان طوری که در شکل ۲-۱۳ مشاهده می‌شود با این اشکال مبارزه می‌کنند. سطح هدایت در اثر اریب شدن دو طرف سیلیکون کاهش می‌یابد، در نتیجه مقادیر اسمی جریان کمتر می‌شود. از کم شدن مقادیر اسمی جریان تنها با اریب کردن سطح نزدیک اتصالات می‌توان جلوگیری کرد که به عنوان مثال اریب دو درجه برای تیریستورهای ۳ کیلو ولتی رضایت‌بخش است.

1- Diffusant

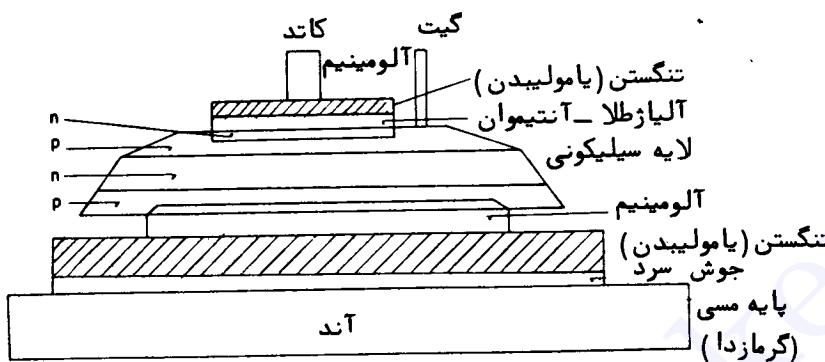
2- Assembly

3- Stray field

4- Button thyristor

5- Integral heat sink

الکترونیک قدرت



شکل ۱۳-۲ سطح مقطع شعاعی یک تیریستور

۷-۲ تیریستور در مدار

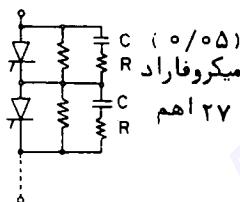
چگونگی کار تیریستور به طور مختصر شرح داده شد . اما قبل از اینکه به مدارهای ویژه کنترل ماشینهای الکتریکی پرداخته شود ، هنوز برخی موضوعات عمومی که برای کلیه کاربردهای تیریستور مشترک هستند وجود دارند و بایستی مورد بحث قرار گیرند . اینها عبارتند از ترتیبات لازم به منظور افزایش قابلیت کاربرد قدرت تیریستورها ، مدارهای دریچه برای روش کردن تیریستورها و امر مهم حفاظت تیریستورها .

۹-۲-۱ اتصال سری تیریستورها

موقعی که ولتاژ منبع تغذیه بیشتر از مقدار اسمی ولتاژ تیریستور باشد می توان تعدادی از تیریستورها را به مطرور سری اتصال داد تا ولتاژ مستقیم و معکوس را تسهیم کنند . بایستی ترتیبی داده شود که ولتاژ بین تیریستورها به طور مساوی تقسیم شود . برای انجام این کار در شرایط پایدار ، از مقاومت و یا دیود زنر به مطرور موازی با هر کدام از تیریستورها استفاده می کنند . برای تسهیم ولتاژ بین تیریستورها در حالت گذرا از مقاومت غیرسلفی کوچکی ، که با یک خازن سری شده است ، و موازی با هر تیریستور قرار می گیرد ، شکل ۲-۱۶ استفاده می شود . چون بار الکتریکی خازن C می تواند از طریق تیریستور در مدت رoshn شدن آن تخلیه شود امکان افزایش تلفات مدار وجود خواهد داشت . اما جریان کلید زنی از طریق خازن C توسط مقاومت R محدود می شود . این مقاومت همچنین نوسانات طنبیتی ^۱ حاصل از خازن C و سلف مدار را در مدت جابه جایی مستهلك ^۲ می کند .

تیریستور

اگر علایم راه اندازی را به طور همزمان به دریچه تیریستورهایی که به طور سری اتصال یافته‌اند اعمال کنیم، بایستی کلید آنها در یک لحظه روش شوند. برای به‌تاخیرانداختن افزایش جریان آند، نا زمانی که همه تیریستورها روش شوند و ولتاژ آند به کاتد آنها به مقدار حداقل خود افت کند عناصری را می‌توان به مدار اضافه کرد. این عمل از ظهور ضربه^۱ ولتاژ در دوسر تیریستوری با طولانی‌ترین زمان روش شدن، جلوگیری می‌کند.



شکل ۱۴-۲ اتصال سری تیریستورها و تسهیم ولتاژ

۱۴-۲-۲ اتصال موازی تیریستورها

موقعی که جریان بار ببیشتر از مقادیر اسمی جریان تیریستور باشد می‌توان تعدادی از تیریستورها را به طور موازی اتصال داد تا جریان بار را بین خود تسهیم کنند. اگر افت ولتاژ مستقیم در دو سر تیریستورها تغییر کند نسبت تقسیم جریان نیز تغییر خواهد کرد، مگر آنکه از تیریستورهای تطبیق شده^۲ [و کاملاً مشابه]^۳ استفاده شود که این هم باعث کاهش مقادیر اسمی جریان می‌شود.

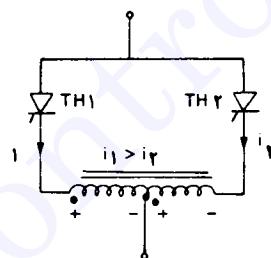
تعداد تیریستورهای مورد لزوم برای اتصال موازی به تنها ی توسط شرایط پیوسته بار تعیین نمی‌شوند بلکه همچنین تعیین آن توسط تعداد وسائل مورد لزوم برای حمل جریان در یک دوره کوتاه مدت اضافه بار مفروض و یا برای حل جریان خطای محدود شده فقط توسط امپدانس متبع تغذیه و یا برای مدت تعیین شده به وسیله زمان بازگشتی^۳ وسائل حفاظتی صورت می‌گیرد.

تیریستورهای تطبیق شده [یا مشابه] به خاطر تلرانس موجود و اثرات حرارتی در محاسبه تنها احتیاج به کاهش مقادیر اسمی به اندازه ۲۰ درصد دارند و تیریستورهای موازی معمولاً روی یک گرمادا نصب می‌شوند تا درجه حرارت اتصال یکسان نگهداشته شود.

الکترونیک قدرت

علاومن دریچه بایستی تا آنجا که افزایش جریان قفلی کلیه تیریستورها [از حداقل جریان لازم برای ادامه هدایت] وقوع یابد، اعمال شود؛ زیرا به محض هدایت یکی از تیریستورها ولتاژ دو سرش به کمی بیشتر از یک ولت افت می‌کند که این، ولتاژ دو سر تیریستورهای موازی دیگر نیز خواهد بود.

به منظور تسهیم جریان به طور مساوی بین تیریستورها از مقاومت متعادل کننده^۱ خارجی و یا راکتورها^۲ (واکنشگرها) می‌توان استفاده کرد. افت ولتاژ بین مقاومت متعادل کننده قابل مقایسه با افت ولتاژ بین کاتد و آند تیریستور خواهد بود. راکتورها (واکنشگرها) را می‌توان طبق شکل ۲ - ۱۵ در مدار آند دو تیریستور قرارداد، به طوری که آمپر دورهای دو مدار متعادل شوند. اگر تیریستور TH1 جریان متغیر و زیادی را از خود عبور دهد نیروی محرکه الکتریکی emf القاء شده در راکتور (واکنشگر) سری با این جریان مخالفت خواهد کرد. به خاطر جهت سیم پیچی و کوبیلاز (جفت شدگی) راکتور (واکنشگر)، ولتاژ القاء شده سری با تیریستور TH2 به افزایش جریان در آن کمک می‌کند و در نتیجه یک عمل متعادل کننده وجود خواهد داشت. با این مدار تغییرات جریانی تا حدود ۱۰ درصد را می‌توان متعادل کرد.



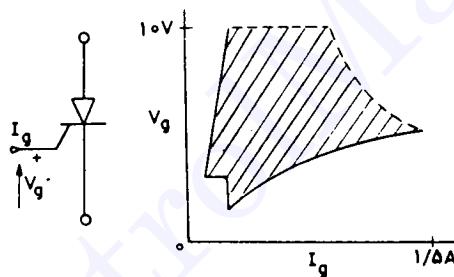
شکل ۲-۱۵ تسهیم جریان توسط راکتور (واکنشگر) متعادل کننده

۳-۷-۲ مدارهای راه اندازی تیریستورها

مدارهایی که در زیر تشریح خواهند شد علاوه مورد لزوم برای دریچه نسبت به کاتد را جهت راه اندازی تیریستور مهیا می‌سازند. دریچه به ولتاژی بین ۲ تا ۱۰ ولت برای ایجاد جریانی معادل ۱۰۰ میکروآمپر تا ۱۵۰۰ میلی آمپر نیازمند است. تیریستورهای دارای ظرفیت قدرت بالا احتیاج به جریان دریچه بالایی دارند. مشخصه‌هایی که توسط سازندگان تهییه می‌شود جایی در داخل سطح هاشور خورده شکل ۲ - ۱۶ واقع خواهد بود. همان طوری که مشاهده

می شود برای ولتاژ و جریان دریچه مقادیر کمینه‌ای وجود دارد که کمتر از آن مقادیر تیریستور روشن نخواهد شد. شکل عجیب نزدیک مرکز مقدار قدرت بالاتر لازم در دمای پایین‌پیوندگاه را برای علایم دریچه مقادیر بیشینه‌ای نیز وجود دارد که تجاوز از این حد سبب خرابی تیریستور خواهد شد. تیریستوری که به دریچه آن علایمی در محدوده سطح هاشور خورده اعمال شود همواره روشن خواهد بود.

در این قسمت، از مدارهای متعددی که برای راماندازی تیریستورها موجود است فقط چند مدار مورد بررسی قرار می‌گیرد، بقیه طی مثالهای مشروح فصلهای مربوط به کنترل موتورهای الکتریکی مورد بحث قرار خواهند گرفت. این مدارها را می‌توان به منوع پایه‌ای تقسیم‌بندی کرد: علایم فرمان جریان مستقیم^۱، علایم پالسی^۲، و علایم فاز جریان متناوب^۳؟



شکل ۲-۱۶ منحنی مشخصه‌های دریچه تیریستور

(الف) علایم فرمان جریان مستقیم

اعمال علامت فرمان مداوم به دریچه به علت اینکه با تلفات قدرت در تیریستور توأم است، معمولاً مناسب و قابل قبول نیست مگر در مواردی که تیریستور ممکن است قبل از زمان مورد لزوم خاموش شود، که در این صورت این تلفات اضافی را باید تحمل کرد.

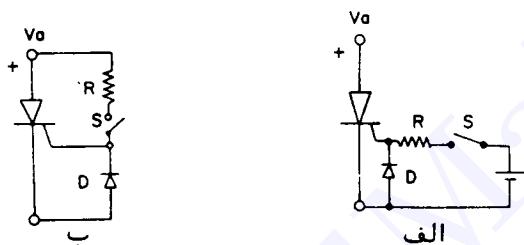
شکل ۲-۱۲ (الف) یک مدار فرمان برای تیریستور را نشان می‌دهد. کلید S ممکن است یک کلید مکانیکی تکقطبی یا رله، کلید زبانه‌ای^۴، کلید ترانزیستوری، یا یک تیریستور دیگری باشد، به شرطی که علامت کلید زنی خیلی کوچکی از منبع کنترل دست‌یافتنی باشد. شکل ۲-۱۲ (ب) نیز یک مدار اصلاح کننده است، که برخلاف شکل ۲-۱۲ (الف) احتیاج به منبع تغذیه جداگانه‌ای ندارد. موقعی که کلید S بسته و آند نسبت به کاتد مثبت است جریان

- 1- D.C. firing signals
- 3- A.C. Phase-signals

- 2- Pulse signals
- 4- Reed switch

الکترونیک قدرت

دربیچه توسط مقاومت R محدودی شود . موقعی که آند مثبت و تیریستور روشن است ، جریان دربیچه به مقدار زیادی کاهش می یابد ، زیرا ولتاژی که در دربیچه جریان تولید می کند ، ولتاژ دو سر تیریستور است . که همان افت ولتاژ مستقیم تیریستور یعنی حدود ۱ ولت خواهد بود . موقعی که جریان در مدار قطع می شود ، دیود موجود در مدار برای جلوگیری از اعمال ولتاژ زیاد معکوس به پایانهای دربیچه و کاتد در نظر گرفته شده است . این دیود ولتاژ معکوس رادر یک ولت محدود می کند گرچه تا حدود ۵ ولت نیز مجاز است .



شکل ۱۷-۲ علام فرمان جریان مستقیم

یکی دیگر از روش‌های معمول برای تهیه علام فرمان جریان مستقیم استفاده از چند ضربانی (نوسانساز) دو حالتی^۱ است . انواع چند ضربانی‌ها (نوسانسازها) به صورت مدول^۲ ساخته می‌شوند به طوری که عناصر منطقی و مدارهای فرمان عملی به طور حاضری و بدون احتیاج به طراحی مدارهای جداگانه درست شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند .

موقعی که از مدار کنترل پالس کوچکی به ورودی چند ضربانی (نوسانساز) دو حالتی برسد ، حالت آن عوض می‌شود ، که در چنین صورتی از دو حال خارج نیست یا در خروجی ولتاژ ظاهر می‌شود و به عنوان علامت دربیچه استفاده می‌شود و یا این ولتاژ در پایانهای خروجی پیش از اعمال علامت ظاهر و حذف می‌شود .

(ب) علام فرمان پالسی

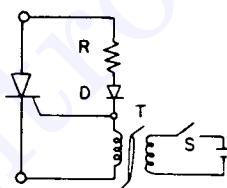
برای فرمان تیریستور ، استفاده از پالس مزایای زیادی نسبت به جریان مستقیم پیوسته دارد . اعمال علام به دربیچه تیریستور به وسیله ترانسفورماتور امکان پذیر است و این عمل سبب جدادگی^۳ (عایق) مدارهای کنترل دربیچه از منبع تغذیه می‌شود . لذا اکثر مدارهای

تیریستور

دربیچه می توانند [مستقیما] از منبع ، تغذیه کنند . اتلاف قدرت در مدار دربیچه یا کاهش می باید و یا موقعی که از پالس به جای علایم پیوسته استفاده شود ، قدرت در پالسهای منفرد قوی است و روش شدن سریع و قابل اعتماد و اطمینانی را موجب می شود .

اگر در موقع خاصی علایم فرمان پیوستهای مورد احتیاج باشد در آن صورت از سری پالسهای مداوم با فرکانس زیاد می توان استفاده کرد . بنابراین ، علایم پالسی را می توان به پالسهای منفرد^۱ و یا چندگانه^۲ که از نظر زمانی قابل کنترل اند و یا پالسهای ساده قطع - وصل تقسیم بندی کرد .

پالسهای قطع - وصل را می توان از چند ضربانی (نوسانساز) تکحالته^۳ ترانزیستوری به دست آورد . هر علامت کوچک و رویی پالسی به چند ضربانی (نوسانساز) پالس بزرگی بادامنه و استمرار^۴ معین در خروجی فراهم می کند . شکل ۲ - ۱۸ مداری را نشان می دهد که با استفاده از ترانسفورماتور با هسته اشباع بذیر پالسهای قطع - وصل تولید می کند . موقعی که آن دنبالت به کاتد مثبت و ترانسفورماتور اشباع نشده است تیریستور روش می شود . ولی وقتی که کلید S بسته شود ترانسفورماتور T اشباع می شود و تیریستور به علت اینکه دربیچه آن توسط امپدانس خیلی کوچک ثانویه ترانسفورماتور اتصال کوتاه می شود ، روش نخواهد شد .



شکل ۲ - ۱۸-۲ پالسهای قطع - وصل

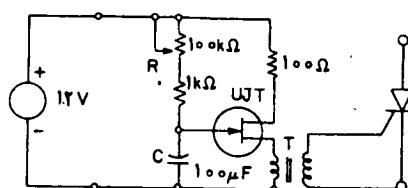
پالسهای منفرد یا چندگانه را هم می توان از مدارهای ترانزیستور تک پیوندی^۵ که یکی از آنها در شکل ۲ - ۱۹ نشان داده شده است به دست آورد . این مدار حاوی یک کنترل کننده ساده دستی است . خازن C تا موقعی شارژ می شود که ترانزیستور تک پیوندی شکست الکتریکی پیدا کند (به هدایت درآید) و سپس در دو سر ترانسفورماتور پالسی ظاهر می شود . زمان لازم برای ظاهر شدن پالس بستگی به مقدار ثابت زمانی RC دارد . چند ضربانی (نوسانساز) آزاد هیچ حالتی^۶ نیز یکی دیگر از مدارهای است که می تواند

1- Single Pulses

2- Multiple Pulses

3- Monostable Multivibrator 4- Defined Magnitude

5- Unijunction transistor 6- Astable of free running multi-vibrator



شکل ۱۹-۲ مدار فرمان ترانزیستور تکپیوندی

یک سلسله پالس‌های فرکانس زیاد تولید کند. موقعی که منبع تغذیه جریان متناوب و بارسلفی است این مدار یکی از قابل اعتمادترین مدارها برای اعمال علامت به دریچه است. لذا امکان ندارد که جریان قفلی به حداقل مقدار لازم برای هدایت برسد، تا زمانی که آنند کاملاً مثبت شود. این روش فرمان را در علامت جریان مستقیم نیز می‌توان به کار برد.

(پ) علامی فرمان جریان متناوب

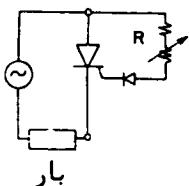
کنترل فاز یک روش عمومی برای تغییر قدرت باری است که با جریان متناوب تغذیه می‌شود. قدرت بار را می‌توان با تغییر قسمتهایی از سیکل ولتاژ که در طول آن عبور جریان برای هدایت مجاز است مدوله کرد شکل ۲ - ۲۰ . ۲۰ - ۲۵ . ۲۵ - ۳۰ . ۳۰ - ۳۵ . ۳۵ - ۴۰ . ۴۰ - ۴۵ . ۴۵ - ۵۰ . ۵۰ - ۵۵ . ۵۵ - ۶۰ . ۶۰ - ۶۵ . ۶۵ - ۷۰ . ۷۰ - ۷۵ . ۷۵ - ۸۰ . ۸۰ - ۸۵ . ۸۵ - ۹۰ . ۹۰ - ۹۵ . ۹۵ - ۱۰۰ درجه هدایت در قسمت صحیحی از سیکل، با منبع تغذیه جریان متناوب همزمان^۱ است و فاز آن نسبت به ولتاژ منبع تغذیه کنترل می‌شود.



شکل ۲۰-۲ ولتاژ آند نسبت به کاتد در طی کنترل فاز (الف)

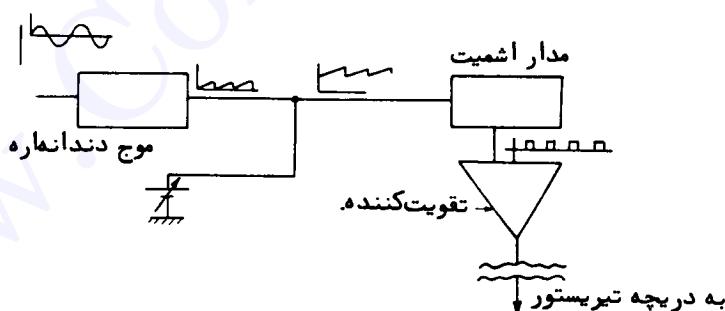
بدون هدایت (ب) ۹۰ درجه هدایت (ب) ۱۵۰ درجه هدایت

روش ساده‌ای که می‌تواند زاویه هدایت را تا ۹۰ درجه کنترل کند بسط و گسترشی از مدار شکل ۲ - ۱۲ است، که در شکل ۲ - ۲۱ با یک مقاومت متغیر R دوباره ترسیم شده است. افزایش مقاومت R باعث تأخیر زمان یا فاز در سیکل جریان متناوب می‌شود تا ولتاژ مثبت مکنی برای عبور جریان لازم و کافی از دریچه برای روش کردن تیریستور ایجاد کند.



شکل ۲۱-۲ مدار کنترل فاز تا ۹۰ درجه

مدار فرمان دقیق‌تری به صورت نمودار بندالی^۱ در شکل ۲-۲ نشان داده است. منبع تغذیه جریان متناوب علامت همزمانی ارائه می‌دهد که به موج دندانه‌مارهای^۲ تبدیل می‌شود و این موج به نوبه خود مدار فرمان اشمیت^۳ را که از انواع چندضربانیها است تغذیه می‌کند. این مدار، پالس ساز^۴ فرمان تیریستور است. موقعی که علامت ورودی به مدار فرمان اشمیت به سطح معینی بررسد علامتی با پیشانی صعودی تند [مثل ضلع عمودی یکزاویه‌قائم] در خروجی ظاهر می‌شود. حال وقتی ورودی مدار فرمان اشمیت از مقدار معینی کمتر شود خروجی پالس ساز به صفر تنزل خواهد کرد. موج دندانه ارمای قادر است خروجی مدار فرمان اشمیت را در لحظه معینی از هر سیکل به صفر تنزل دهد ولی لحظه صعود و یا شروع پالس خروجی را می‌توان با تغییر سطح جریان مستقیم موج ورودی تغییر فاز داد، درنتیجه لحظه شروع هدایت مدار اشمیت قابل کنترل می‌شود. این تغییر فاز تقریباً تمام ۱۸۰ درجه موجود در یک نیم سیکل جریان متناوب را می‌تواند در برگیرد.



شکل ۲۲-۲ مدار فرمان کنترل فاز

-
- 1- Block diagram
 - 2- Sawtooth
 - 3- Schmidt Trigger
 - 4- Pulse shaper

الکترونیک قدرت

۵۰

۴-۷-۲ مدارهای خاموشی یا (قطع) تیریستور

تاکنون روش‌های عمومی خاموش کردن تیریستور تشریح شده است و این شیوه‌ها به دو دسته تقسیم شده‌اند. (الف) قطع جریان در مدار (ب) جابه‌جایی اجباری. در روش اول انجام این کار توسط بازکردن کلیدمدار بار و یا وصل کلیدموازی با تیریستور به منظور عاری کردن^۱ آن از جریان امکان پذیر است. در روش دوم این عمل را به طرق زیادی می‌توان عملی کرد. ساده‌ترین روش، جابه‌جایی فاز است یعنی موقعی که منبع تغذیه متناوب است، پس از نیم سیکل تیریستور به طور معکوس بایاس، و خاموش خواهد شد. گذشت ۲۰ میکروثانیه از زمان مثبت شدن کاتد الزاماً موجب خاموشی نمی‌شود، بلکه تیریستور موقعی قطع یا خاموش می‌شود که جریان مستقیم در آن به صفر تنزل کند و این بستگی به راکتانس بارخواهد داشت. اگر بار خازنی باشد جریان قبل از ولتاژ به صفر تقلیل می‌یابد، که این خود را، به مثابه جابه‌جایی اجباری از طریق تشديد و در حالی که منبع تغذیه مدار از نوع جریان مستقیم است نشان می‌دهد. خازنها از عناصر اصلی مدارهای جابه‌جایی اجباری هستند. تنها مداری که احتیاج به خازن ندارد مداری است که برای خاموش کردن تیریستور، پالسی از خارج و از طریق ترانسفورماتور به آن اعمال می‌کند. در زیر چهار نوع مدار خاموش کننده خازنی تشریح شده است. لیکن انتخاب یکی از چهار نوع و یا روش دیگر اغلب به کاربرد تیریستور ارتباط دارد.

(الف) خود جابه‌جایی توسط مدار تشديد^۲

شکل ۲-۲۳ (الف) یک مدار تشديد LC را نشان می‌دهد. صفحه X خازن C موقعی که تیریستور می‌خواهد روشن شود و جریان بار را هدایت کند مثبت است، و به محض روشن شدن تیریستور خازن از طریق تیریستور و سلف L (در مدار تشديد) تخلیه، و قطبیت ۳ صفحاتش عوض می‌شود. جریان تشديد پس از نیم سیکل معکوس خواهد شد و اگر مقدارش بزرگتر از مقدار جریان بار باشد تیریستور خاموش می‌شود. حال اگر بار اتصال کوتاه شود در آن صورت مدار تشديد نمی‌تواند جریان زیادی به اندازه^۳ کافی برای خاموش کردن تیریستور مهیا شود. لذا، بایستی برای کلیه بارها رابطه زیر برقرار باشد.

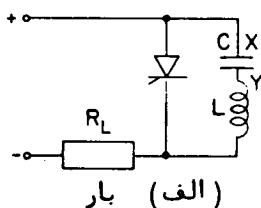
$$\text{میکروفاراد} \quad C > t_{\text{off}}/R_L \mu\text{F},$$

که در آن t_{off} زمان جابه‌جایی بر حسب میکروثانیه و R_L مقاومت بار است. عمل مقدار خازن^۴ از این مقدار به مقدار کمینه‌ای که جابه‌جایی قابل اعتمادی ایجاد کند تقلیل می‌یابد. مدار مشابهی که ولتاژ معکوس توسط خاصیت تشیدی مدار فراهم می‌کند در شکل ۲-۲۳ (ب)

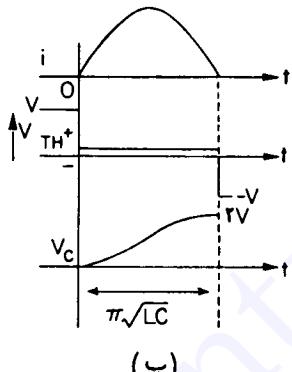
۵۱

تیریستور

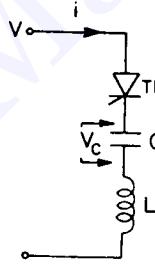
و شکل موجهای مربوط به این مدار در شکل ۲-۲۳ (ب) مشاهده می‌شود. شکل موجها عمل خاموشی را در تیریستور تشریح می‌کنند. یعنی اینکه وقتی خازن باردار شد مدار تشید سعی در ایجاد جریان معکوسی برای خاموش کردن تیریستور می‌کند. دوره هدایت با مقادیر L و C که مقادیر ثابتی هستند تعیین می‌شود.



(الف)



(ب)



(ب)

شکل ۲-۲ خود جایه‌جایی

(الف) خاموش شدن با مدار تشید موازی (ب) خاموش شدن با
مدار تشید سری (ب) شکل موجهای مدار

(ب) خاموش کردن تیریستور توسط مدار تشید گمکی چکونگی کنترل لحظه خاموشی تیریستور به کمک تیریستور دیگری TH_2 و توام با مدار تشید LC ، در شکل ۲-۲۴ نشان داده شده است. در این مدار تیریستور TH_2 بایستی به منظور باردارشدن خازن C قبل از تیریستور اصلی روشن شود تا به محض باردار شدن خازن وافت جریان مدار به مقدار زیر جریان نگهدارنده، تیریستور TH_2 خاموش شود. اکنون تیریستور TH_1 می‌تواند برای عبور جریان بار و جریان تشید مدار LC روشن شود. موقعی که خازن C قطبیت خود را عوض کرد، یعنی موقعی که صفحه γ نسبت به صفحه X مثبت شد و اختلاف پتانسیل بین دو صفحه به دو برابر ولتاژ منع تغذیه نزدیک شد، دیود از تغییر بیشتر بار در

الکترونیک قدرت

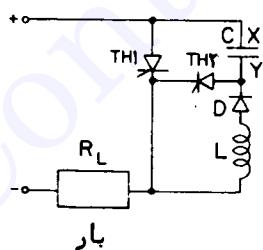
صفحات خازن جلوگیری می‌کند. در این لحظه اگر تیریستور TH_2 برای دومین بار روشن شود ولتاژ دو سر خازن تیریستور TH_1 را بایاس معکوس، و آن را خاموش می‌کند. همانند قسمت الف در این مدار بایستی بین ظرفیت خازن و زمان خاموش شدن مقاومت بار رابطه زیر برقرار باشد.

$$C > t_{off}/R_L \mu F.$$

زمان هدایت تیریستور TH_1 نبایستی خیلی طولانی شود چون وجود جریان نشستی معکوس در دیود و تیریستور باعث تخلیه خازن می‌شود و در طول زمان معینی ولتاژ دو سر خازن برای خاموش کردن توازن با اطمینان تیریستور TH_1 کافی نخواهد بود. بنابراین معمولاً از این مدار در مواقعي که جریان مستقیم متوسط متغیری مورد لزوم است استفاده می‌شود، با کلید زنی سریع تیریستور و تغییر نسبت زمان وصل به قطع، به این منظور نائل می‌شوند.

(پ) خاموش کردن تیریستور توسط خازن موازی

یکی از روش‌های متعدد خاموش کردن تیریستور توسط خازن موازی در شکل ۲-۲ نشان داده شده است. طرز کار این مدار به این صورت است که در زیر تشریح می‌شود: مدار باخاموش بودن تیریستور TH_2 و هدایت جریان بار توسط تیریستور TH_1 شروع به کار می‌کند. صفحه Y از خازن (تقریباً به علت افت کم ولتاژ در دو سر تیریستور دارای پتانسیل معادل زمین یا صفر است و صفحه X دارای پتانسیل ثابتی معادل پتانسیل منبع تغذیه خواهد بود، زیرا خازن C



شکل ۲-۲ خاموشی مدار تشدید قابل کنترل

از طریق C و TH_1 باردار می‌شود. اگر انرژی ذخیره شده در خازن C موقعی که روشن می‌شود به اندازه کافی زیاد باشد، خازن C شروع به خالی شدن می‌کند و TH_2 را به مدتی بیش از زمان خاموش شدن (تیریستور) بایاس معکوس می‌کند. روشن شدن یکی از تیریستورها باعث خاموش شدن تیریستور دیگر می‌شود، این سیستم مرتبه تکرار می‌شود.

اگر مقاومت R بار مصرفی دیگری غیر از بار مصرفی اصلی مدار نباشد در انتخاب مقدار آن بایستی دقت کافی مبذول داشت تا اولاً اتلاف قدرت در آن کمینه باشد، ثانیاً مطمئن شد

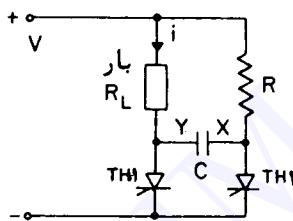
۵۳

تیریستور

که ثابت زمانی RC در مقایسه با مقادیر اسمی کلیدزنی خیلی زیاد و طولانی نباشد، ثالثاً بایستی مقدار آن به حد کافی کوچک باشد تا اینکه جریان عبوری از آن از جریان نشستی TH_2 بیشتر شود، به عبارت دیگر خازن صفحه X را به طور مثبت باردارنخواهد کرد.

به منظور محاسبه مقدار ظرفیت خازن C برای خاموش کردن مطمئن تیریستور تعیین زمان لازم برای بایاس مستقیم شدن تیریستور TH_1 پس از روش شدن دوباره تیریستور TH_2 ضرورت دارد. در حالی که تیریستور TH_1 بایاس معکوس است، خازن C جریان بار کامل را از خود عبور می‌دهد، لذا اگر V ولتاژ منبع تغذیه باشد جریان بار به صورت زیر خواهد بود:

$$i = \frac{2V}{RL} e^{-t/CR_L}$$



شکل ۲۵-۲ خاموش کردن تیریستور با خازن موازی

ولتاژ دو سر تیریستور TH_1 عبارت است از:

$$V_{TH1} = V - iR_L$$

يعني :

$$V_{TH1} = V(1 - 2e^{-t/CR_L})$$

و زمان لازم برای به صفر رسیدن این ولتاژ که همان زمان لازم برای بایاس مستقیم شدن تیریستور TH_1 است، عبارت است از:

$$t = 0 / 2CR_L.$$

که بایستی از زمان خاموش شدن تیریستور TH_1 بیشتر باشد، یعنی:

$$t_{off} < 0 / 2CR_L$$

و یا:

$$C > t_{off} / 0 / 2R_L.$$

توصیه می‌شود که از خازنی با ظرفیت بیشتر از مقدار محاسبه شده استفاده شود، و سپس در عمل خازن C را به حدی کاهش داد تا کمی بیشتر از مقداری شود که به ازای آن جایه جایی امکان پذیر نخواهد بود. اگر بار شامل القا باشد مقدار ظرفیت خازن C کاهش می‌یابد. با این حال مطالب گفته شده در بالا برای هر نوع باری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

الکترونیک قدرت

۵۴

(ت) خاموش کردن تیریستور توسط خازن سری

یکی از روش‌های خاموش کردن با خازن سری در مدار وارونگر (معکوس کننده) که دارای موج ولتاژ خروجی مربعی است را شکل ۲-۲۶ نشان می‌دهد. اگر تیریستور TH_2 قطع و TH_1 وصل باشد جریان از بار عبور خواهد کرد و در صورت قطع TH_1 و وصل TH_2 جریان از بار در جهت معکوس عبور خواهد کرد.

اغلب، جریان خروجی مورد درخواست از مدار سینوسی شکل است. که در آن صورت برای داشتن تنظیم صفر در فرکانس اصلی^۱ و تضعیف زیاد در فرکانس‌های ناخواسته [یا هارمونیکها] از صافی استفاده می‌شود. اگر اتصال صافی وارونگر (معکوس کننده)، بار مدار را خازنی کند، این امر موجب معکوس شدن جریان قبل از معکوس شدن ولتاژ می‌شود. جریان معکوس از طریق دیود عبور، و یک ولتاژ بایاس معکوسی در دو سر تیریستور ایجاد می‌کند، که باعث خاموش شدن تیریستور می‌شود. قابل توجه است که در این حالت ولتاژ معکوس از افت ولتاژ مستقیم در دو سر دیود، یعنی، حدود یک ولت بیشتر نخواهد بود.

عناصر سلف و خازن در مدار با فرکانس اصلی در حال تشدید هستندو امپدانس صفری بین مدار وارونگر (معکوس کننده) و فرکانس مورد احتیاج ایجاد می‌کنند، بما ان ترتیب عناصر LC مثل یک صافی پایین گذر عمل، و فرکانس‌های ناخواسته را تضعیف می‌کنند. خازن C_1 به طور موازی با بار اتصال می‌یابد تا بار را خازنی کند، در نتیجه جریان از نظر فاز از ولتاژ جلویی افتاد و تیریستور به راحتی خاموش می‌شود.

همان طوری که در شکل ۲-۲۶ نشان داده شده است برای تکمیل یک سیکل کامل در مدار چهار مرحله به ترتیب زیر وجود دارد:

(۱) تیریستور TH_1 هادی و TH_2 قطع

(۲) دیود D_1 هادی و TH_1 و TH_2 قطع

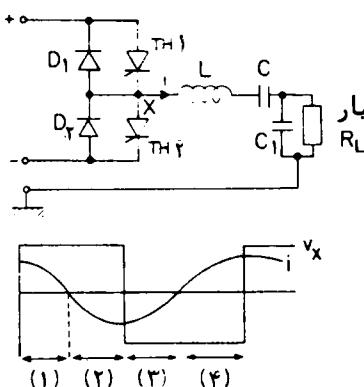
(۳) تیریستور TH_2 هادی و TH_1 قطع

(۴) دیود D_2 هادی و TH_1 و TH_2 قطع

هرگز نبایستی دو تیریستور تواما و در یک لحظه روشن، و باعث اتصال کوتاه منبع تغذیه شوند.

۳- A- مدارهای حفاظت تیریستور

تیریستورهای ولتاژ زیاد، اضافه جریان، و به هر شکلی از گذراها (هم از لحاظ مقدار و هم میزان تغییر) حساسیت زیادی از خود نشان می‌دهند. از آنجایی که مدارهای حفاظتی



شکل ۲۶-۲ خاموش کردن تیریستور با خازن سری

بیچیده و گران هستند، مهندسان طراح که سعی دارند به بهترین وجهی عناصر حفاظتی مورد استفاده مدارها را به حداقل برسانند ترجیح می‌دهند از تیریستورهایی که مقادیر اسمی آنها در حدود سه برابر ملزمات مقادیر حالت دائمی بار است استفاده کنند.

۱-۸-۱ اضافه ولتاژ

در تیریستورها حفاظت در برابر ولتاژهای مستقیم زیاد ذاتی است. تیریستور قبل از رسیدن به ولتاژ مستقیم پیک $p_{\text{f}} = 7$ شکست الکتریکی پیدا، و شروع به هدایت می‌کند، لذا ولتاژ زیادی به قسمت دیگری از مدار که اکثراً بار مصرفی است منتقل می‌شود. روشن شدن تیریستور سبب عبور جریان زیادی از مدار می‌شود که مشکل حفاظت از نظر اضافه جریان را به وجود می‌آورد.

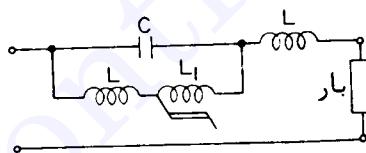
۱-۸-۲ اضافه جریان

عموماً جریان زیاد در هر مداری توسط فیوزها و یا مدار برها^۳ محدود می‌شود. مدارهای تیریستوری نیز به همین ترتیب حفاظت می‌شوند، ولی در کاربرد آنها قید شرط و استثناهایی وجود دارد. فیوز بایستی دارای ظرفیت قطع کنندگی بالا و توقف سریع جریان باشد، بایستی تشابهی بین ظرفیت اسمی I_{av} / تیریستور و فیوز وجود داشته باشد بدون اینکه اضافه ولتاژکننده بالا که تیریستورها را در شرایط قطع و یا امپدانس بینهایت به مخاطره می‌اندازد تولید شود. اینها ملزمات متناقضی هستند، که در موقع استفاده از فیوزهای سریع العمل لزوم حفاظت از

الکترونیک قدرت

نظر ولتاز را ایجاب می‌کند. فیوزها همیشه مورد استفاده قرار نمی‌گیرند، ولی موقعی که از آنها استفاده می‌شود، ولتازهای قوس ^۱ آنها زیر $1/5$ برابر ولتاز پیک مدار محدود می‌شود. در مدارهای کم قدرت، در صورتی که ارزش فیوزهای سریع العمل بیشتر از خود تیریستور باشد کاربرد فیوز حفاظتی بی معنی است. در اکثر مدارها از بازیابی ^۲ مقدار جریان می‌توان استفاده کرد و عمل حفاظت را انجام داد. موقعی که اضافه جریانی آشکار شد مدار دریجه تیریستور از دو طریق یعنی خاموش کردن تیریستورهای ویژه و یا در جایه‌جایی فاز با کاهش دوره هدایت و در نتیجه تقلیل مقدار متوسط جریان کنترل می‌شود.

اگر خروجی مدار تیریستوری که بار را تنذیه می‌کند متناوب باشد مدار تشدید LC علاوه بر عمل صافی عمل حفاظت در برابر اضافه جریان را نیز انجام خواهد داد. شکل ۲۷-۲ محدود کننده جریانی که حاوی واکنشگر اشباع پذیر ^۳ است را نشان می‌دهد. در جریانهای مجاز واکنشگر اشباع پذیر L ، امپدانس زیاد ظاهر می‌سازد و خازن C همراه با سلف L که در تشدید سری هستند، دربرابر عبور جریان هارمونیک اصلی امپدانس صفر از خودنشان می‌دهند. ولی برای اضافه جریان L اشباع شده و دارای امپدانس قابل اغماضی خواهد بود. همچنین مدار تشدید LC موازی در مقابل عبور جریان به ازای فرکانس تشدید امپدانس بینهایتی ایجاد می‌کند.



شکل ۲۷-۲ محافظت در برابر اضافه جریان

۸-۳ خیزهای (تغییرات ناگهانی) ولتاز ^۴

انواع اشتباهات و ناکامی‌ها در نتیجه خیزهای ولتاز پذید می‌آید، زیرا در واقعیت امر تیریستور ضریب اطمینانی در ظرفیت اسمی خود ندارد. انرژی اضافی اندکی، می‌تواند سبب خرابی تیریستور شود. حفاظت در برابر خیزهای ولتاز با ذخیره ^۵ سریع انرژی در عناصر سلف و خازن و اتلاف آهسته و یا سریع آن در مقاومتهای غیرخطی به صورت حرارت در متوقف سازهای خیز ولتاز ^۶ یا وسایل شکست بهمنی انجام می‌گیرد.

1- Arc voltage

2- Detection

3- Saturable reactor

4- Voltage surges

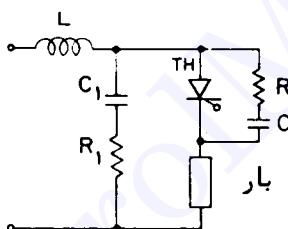
5- Storage

6- Surge suppressor

تیریستور

۵۷

خیزهای ولتاژ خارجی، قابل کنترل توسط طراحان مدارهای تیریستوری نیست و فقط می‌توان سعی در حفاظت دستگاههای قدرت در برابر این خیزهای ولتاژ کرد. شکل ۲-۲۸ یکی از این روشها را نشان می‌دهد. وقتی کلید اصلی در شرایط بی‌بار قطع می‌شود انرژی میدان مغناطیسی هسته ترانسفورماتور می‌تواند به خازن C انتقال یابد. خازن C همچنین تیریستور را در برابر انرژی مغناطیسی میدان نشتشی همان ترانسفورماتور یا در برابر سلف صافی L (در موقع کاهش بار) حفاظت می‌کند. خازن C انرژی الکترواستاتیکی تولید شده توسط خازن سیم-بیچی‌های داخلی ترانسفورماتور را موقعي که وصل در حالت بی‌باری اتفاق می‌افتد، جذب می‌کند. اما ممکن است در اثر این عمل در مدار حفاظت LC نوساناتی ایجاد شود. لذا R_1 به عنوان مقاومت میراکن^۲ (حفه کننده) از افزایش ولتاژ به دو برابر بیشته مقدار منع در دو سر C_1 جلوگیری می‌کند.



شکل ۲۸-۲ حفاظت در برابر خیزهای خارجی

انرژی همراه با خیزهای ولتاژ داخلی که توسط کلید زنی تیریستورهای جداگانه ایجاد می‌شوند اندک است و برای حفاظت این انرژی اجزاء کوچکی مورد نیاز است. در شکل ۲-۲۸ مقاومت R به طور سری با خازن C برای جلوگیری از عیب ناشی از ذخیره حاملهای اقلیت در طی نوسانات جابه‌جایی اضافه شده است. خازن C مسیری برای جریان معکوسی که موقع مسدود شدن^۳ ناگهانی تیریستور در انتهای زمان ذخیره حاملهای اقلیت ایجاد می‌شود، مهیا می‌کند. اما این خازن در طی مسدود بودن مستقیم تیریستور با قطبیت مخالف شارژ می‌شود و به نگام روشن شدن تیریستور سریعاً از طریق آن تخلیه می‌شود. مقاومت R جریان مستقیم ابتدایی را موقعي که تیریستور روشن می‌شود محدود می‌کند و نوسانات مربوط به آثار ذخیره (انبارش) حاملهای در موقع قطع تیریستور میرا می‌کند.

برای حفاظت در برابر سوختن موضعی اتصالات تیریستور که مربوط به تغییرات شدید در موقع روشن شدن است، سلف L و مقاومت R توام افزایش جریان آند را محدود

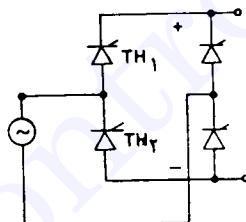
الکترونیک قدرت

می‌کند، همچنین از خازن متوقف ساز خیز ولتاژ C_1 و خازن ذخیره حفره C می‌توان تخلیهای بیش از 30 آمپر بر میکروثانیه به وجود آورد.

تفییرات شدید مستقیم ولتاژ $\frac{dv}{dt}$ می‌تواند تیریستور را در موقع ناخواسته روشن کند و همچنین باعث خرابی مربوط به اضافه بار در تیریستور شود. اگر منبع تغذیه ولتاژ جریان مستقیم باشد به هنگام وصل کلید اصلی، تفییرات شدید $\frac{dv}{dt}$ که در وضع ایدمال یکتفییر پلمای است، غیرقابل اجتناب خواهد بود. در یک واگردان (مبدل) تیریستوری که قسمتی از آن در شکل ۲-۲۹ نشان داده شده است، موقعی که TH_2 روشن می‌شود TH_1 ولتاژ جریان مستقیم کاملی که دارای افزایش اولیه 400 ولت بر میکروثانیه است دریافت می‌کند. تعامی عناصر L ، R ، C و مدار شکل ۲-۲۸ به حفاظت تیریستور در برابر تفییرات $\frac{dv}{dt}$ کمک می‌کند. اگر V ولتاژ جریان مستقیم اعمال شده و V_C ولتاژ دو سر خازن C باشد معادله ولتاژ در ابتدا خواهد شد:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{V - V_C}{L/R}$$

که در آن L/R ثابت زمانی سلف است.

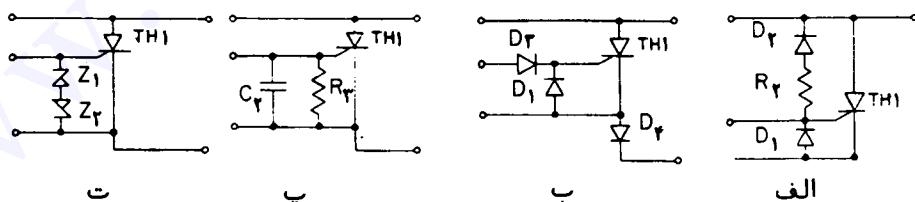


شکل ۲-۲۹ تفییرات شدید $\frac{dv}{dt}$

اگر دیودی با مقاومت R موازی شود در ولتاژهای پلمای مستقیم، به منظور پایین نگه داشتن $\frac{dv}{dt}$ کنار گذاشته شدن مقاومت R را موجب می‌شود. ولی هنگام روشن شدن تیریستور برای کنترل جریان اولیه آن R را وارد مدار خواهد کرد. خازن دو سر تیریستور اجازه بروز تفییر ناگهانی در ولتاژ را نمی‌دهد و دقیقاً مثل یک سلف با تفییرات جریان مخالفت می‌کند. اگر از دیود استفاده شود ممکن است خازن کوچکی موازی با آن اتصال یابد تا ولتاژهای نوسانی فرکанс زیادی را که ثابت زمانی RC شکل ۲-۲۸ نمی‌تواند پاسخگو باشد جذب کند. مدارهای دریچه نیز به خاطر اینکه با قدرت ولتاژ کوچکی کار می‌کند نیاز به اجزاء

حافظتی دارند. تغییرات سریع ولتاژ و جریان در سیمهای اتصال دریچه ولتاژهای ناخواسته ای القا می کنند، بنابراین حفاظت کشی^۱ دقیق، زمین کردن و صافی ضرورت دارد. همچنین قرار دادن سیمهای اتصال روی یکدیگر و ترجیحاً بهم پیچیدن آنها، هرگونه تداخلی^۲ را در دو سیم به حالت تعادل می رساند و آن را خنثی می کند. برخی از اشکال ممکن حفاظت دریچه در شکل ۲-۳۰ نشان داده شده اند. شکل ۲-۳۰ (الف) یک مدار محدود کننده^۳ است که از مقاومت R_2 و D_2 تشکیل می شود و علایم مثبت دریچه را به هنگام منفی شدن آند تضعیف^۴ می کند، در نتیجه تلفات در جهت معکوس نیز محدود می شود. در مدار شکل ۲-۳۰ (ب) دیود D_4 که با یستگی جریان مسدود کننده معکوس کمتری از TH_1 داشته باشد در تقسیم ولتاژ معکوس سهم بزرگی را از آن خود می سازد. دریچه تیریستور چون نسبت به کاتد هرگز نباید بیشتر از مقدار محدودی (در حدود ۵ ولت) منفی شود لذا دیود D_1 یا D_3 در شکل (ب) و دیود زنر Z_1 و Z_2 در شکل (ت) از منفی شدن بیش از حد دریچه جلوگیری می کنند. دیود D_1 و D_2 زنر ولتاژها را به یک حد معین و مناسبی که برای علایم دریچه جریان متناوب مفید باشند قیچی^۵ خواهد کرد. در شکل (پ) خازن C_2 فقط در مدارهای کم قدرت تیریستوری که از علایم فرمان جریان مستقیم استفاده می کنده کار می رود و در برابر زودگذراهای خط، عمل حفاظت را انجام می دهد و مقاومت R در این مدار برای محدود کردن dv/dt آند و کاتد قرار داده شده است.

کاربرد سلف به عنوان صافی در خط و یا بار سلفی (القایی) سبب تولید ولتاژهای گذراش شدیدی در موقع قطع سریع جریان بار می شود. دیودهای چرخش آزاد^۶ [موازی با سلف] شکل ۲-۳۱ از رژیم ذخیره شده در سلفها را در مسیر دیگری غیر از مدار تیریستور تلف می کنند. بررسی شکل ۲-۱۲ که مشخصه های روشن شدن ولتاژ دو سر تیریستور و جریان عبوری از آن



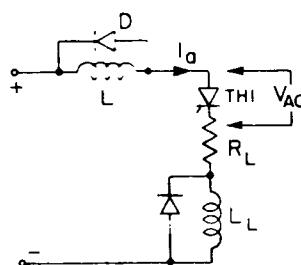
شکل ۲-۳۰ عناصر حفاظتی در مدار دریچه

- | | | |
|--------------|------------|------------------------|
| 1- Screening | 2- Pick-up | 3- Clamping circuit |
| 4- Attenuate | 5- Clip | 6- Free-wheeling diods |

الکترونیک قدرت

۶۰

را نشان می دهد ، حاکی از آن است که اتلاف انرژی مستقیم در تیریستور نسبت به زمان روش شدن سریع باستثنی در سطحی پایین نگهداشته شود ، به این معنی که زمان صعود جریان دریچه چندین آمپر بر میکروثانیه باشد . برای رسیدن به این منظور عناصر اضافی برای محافظت لازم نیست بلکه طراحی و انتخاب مدارهای فرمان مناسب مورد نیاز است .



شکل ۳۱-۲ اتلاف انرژی ذخیره شده از طریق دیودهای چرخش آزاد

۹-۲ قابلیت‌های نسبی تیریستورها

تیریستورها ، ترانزیستورها ، تیراترونها ، لامپهای قوس جیوهای^۱ و رلهای الکترو مغناطیسی همگی کلیدهای الکتریکی هستند . چه چیز در انتخاب این وسائل تعیین کننده است ؟

رلهای ساده و به لحاظ تولید ارزان هستند . آنها عمل یکسوسازی انجام نمی دهند ، ولی دارای مشخصه های کلید زنی به راحتی کنترل شونده ای هستند . در رله ها قسمتهای متحرک مکانیکی وجود دارد که تولید ساییدگی^۲ و پرش در اتصال^۳ می کنند . در رله های ساده ظرفیت عبور قدرت اندک است . به علت وجود خود المقا در سیم پیچ ، بین ورودی و خروجی نأخیر [فازی] وجود خواهد داشت که سبب محدود شدن سرعت کلیدزنی به حدود میلی ثانیه می شود . تیراترونها و لامپهای قوس جیوهای کلیدهای یک طرفه ای هستند که جریان را در یک جهت هدایت می کنند و از نظر ساختمانی حجمی و شکننده هستند . در حالت هدایت ، افت ولتاژ مستقیم بین الکتروودها حدود ۱۵ ولت برای تیراترونها و حدود ۵۰ ولت برای لامپهای قوس جیوهای است و این افت تلفات زیادی پدید می آورد . به علت وجود اشکال در خاموش شدن تیراترونها و لامپهای قوس جیوهای ، آنها فقط با جریان متناوب کار می کنند . خاموشی موقعی انجام می گیرد که ولتاژ مثبت آند تقریبا به صفر تقلیل یابد .

تیریستورها و ترانزیستورها که کلیدهای نیمه هایی هستند از نظر ساختمانی قادر قسمتهای

1- Thyratron

2- Mercury arc tube

3- Wear

4- Contact bounce

متحرک بوده و دارای وزن کم و حجم اضافی خیلی کمی هستند. هم چنین زمانهای خاموش شدن آنها چندین بار از کلیدهای قبلی سریعتر هستند. این دلایل برای پذیرش آنها به عنوان کلید، در کلیه موارد کلیدزنی تقریباً کافی است. مزیت بزرگ لامپ قوس جیوه‌ای قابلیت ایستادگی آن در مقابل ولتاژ خیلی زیاد است.

حال انتخاب تیریستور و ترانزیستور مورد بررسی قرار می‌گیرد. ترانزیستور دارای دو خاصیت برجسته است: یکی افت ولتاژی در حدود ۲۵ میلی ولت (در مقایسه با یک ولت برای تیریستور) و دیگری عدم نیاز به مدار خاموشی، گرچه در حالت روش بودنش یک جریان بیوسته‌ای برای پایه مورد نیاز است؛ در صورتی که برای تیریستور فقط یک جریان پالسی در دریچه کافی است. تیریستور به علت وجود لایه سیلیکونی داخلی پهن از نوع $n-p-n-p$ دارای ولتاژهای اسمی بهتری است و به خاطر یکنواخت بودن جریان در پیوند کاها حد تحمل جریان بیشتری را دارد. به این ترتیب قابلیت تبادل قدرت تیریستورها بهتر و بیشتر از ترانزیستورها است در حقیقت تیریستور را می‌توان از قدرت میلی وات تا مکاوات به کار برد، با این تفاوت که در قدرتهای زیاد تیریستورها همواره به کار می‌روند، و از این لحاظ ترانزیستورها نمی‌توانند با آنها رقابت کنند. با وجود اینکه تیریستورها در سال ۱۹۵۷ تولید شده‌اند بلافاصله برای استفاده پذیرفته نشده‌اند، زیرا قابلیت تبادل قدرت آنها در اول زیاد نبود و دارای مشخصهای ناپایداری بودند. این ناپایداری از نظر تغییر آسان پارامترها با زمان و درجه حرارت و مدت استفاده، و همچنین مشخصه‌های آنها، از یکنمونه تا نمونه دیگر کاملاً متفاوت بودند. در صورتی که هم اکنون وضع تغییر یافته و پایداری تیریستورها خیلی خوب، مشخصه‌های آنها یکنواخت و مشابه و عالی، و قدرت آنها در ردیف مکاوات است.

۱۰-۲ تریود تیریستور دو طرفه یا تریاک^۱

تیریستور جریان را فقط در یک جهت عبور می‌دهد و یک یکسوکننده قابل کنترل است. برای کنترل جریان متناوبی در یک بار با نیمه هادیهای قدرت، احتیاج به دو تیریستور اتصال معکوس موازی^۲، طبق شکل ۲-۳۲(الف) هست. ساختمان شما می‌تواند دو تیریستور اتصال موازی معکوس طبق شکل ۲-۳۲(ب) نشان می‌دهد که لایمهای مشابه و مشترک مثل $p-n-p$ وجود دارد، و امکان این هست که عنصری بسازیم که وظیفه این دو تیریستور را انجام دهد. به این ترتیب ساختمان شما می‌شکل ۲-۳۲(ب) از تلفیق لایمهای مشترک به دست می‌آید، که دارای عملکردی مشابه دو تیریستور (اتصال موازی معکوس) است. این ترکیب جدید خود دارای مشخصه‌های خاصی نیز هست، و معاوی و مزاوی نسبت به دو تیریستور موازی



الکترونیک قدرت

معکوس دارد . در بعضی حالات و نه در همه موضع تیریستورها را می توان با این وسیله جایگزین کرد .

این کلید تازه دارای نمادی طبق شکل ۲ - ۳۲ (ت) ، و نام تجاری اش تریاک است که در آن تری معرف آن است که این عنصر دارای سه پایانه یعنی T_1 و T_2 و G است و اک معرف آن است که این عنصر جریان متناوب را کنترل می کند، و یا جریان رادر دوچهت عبور و مورد کنترل قرار می دهد . پایانه های T_1 و T_2 معرف آند و کاتد تیریستور هستند، ولی امکان تمیز دادن جهت هدایت با نامگذاری مشابهی مقدور نیست . پایانه G معرف الکترود دریچه است . ولی دریچه در تریاک به هر دو لایه p و n اتصال یافته است و بر خلاف دو تیریستور که احتیاج به دو جفت پالسهای مجزا از هم برای پایانه های مختلف دارد ، در تریاک فقط یک جفت پایانه G کافی خواهد بود .

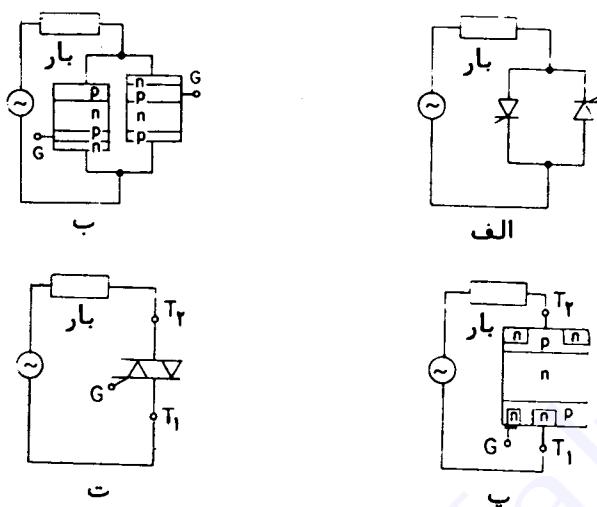
برای عملکرد تریاک پالس جریان چند میلی آمپری به دریچه آن اعمال می شود . اگر پایانه T_2 نسبت به T_1 مثبت باشد تریاک روش می شود (وسیله از وضعیت امپدانس بینهایت به حالت امپدانس صفر تغییر می یابد) و جریان معمولی از T_2 به طرف T_1 عبور خواهد کرد و اگر T_1 نسبت به T_2 مثبت باشد و علامتی به صورت یک کلید جریان متناوب یا کنترل فاز ولتاژ خواهد کرد . بنابراین تریاک را می توان به صورت یک کلید جریان متناوب برای تنظیم قدرت انتقال یافته از منبع به بار مورد استفاده قرار داد . شکل ۲ - ۳۲ منحنی مشخصه ولت - آمپر تریاک را نشان می دهد . موقعی که تریاک روش می شود افت ولتاژ در دو سر تریاک تقريبا " مستقل از دامنه جریان می شود و در حدود يك ولت است .

برای روش کردن تیریستور فقط اعمال علامت مثبتی (نسبت به کاتد) به دریچه وارد کردن ولتاژ مثبتی به آند کافی است در صورتی که برای دریچه تریاک هر علامتی چه مثبت و چه منفی باعث روش شدن آن می شود ، که این خود مزیت اضافی دیگر تریاک است ، زیرا مدارهای پالس در این حالت ساده تر خواهند بود به هر حال یکی از مشخصه های تریاک این است که اگر T_1 نسبت به T_2 مثبت باشد ، برای روش شدن تریاک ، پالس منفی نسبت به پالس مثبت در دریچه به بار کمتری نیازمند است . برای ایجاد حساسیت بیشینه بایستی پالس منفی به کار برد .

بدون اعمال علامتی روی دریچه یا حتی بدون الکترود دریچه ، تریاک را می توان توسط پدیده شکست بهمنی روش کرد . درست مثل تیریستور یا دیود چهار لایه $p-n-p-n$: با اعمال ولتاژ زياد کافي ، يعني V_{BO} به آند يا در صورتی که حدود تغیيرات ولتاژ اعمال

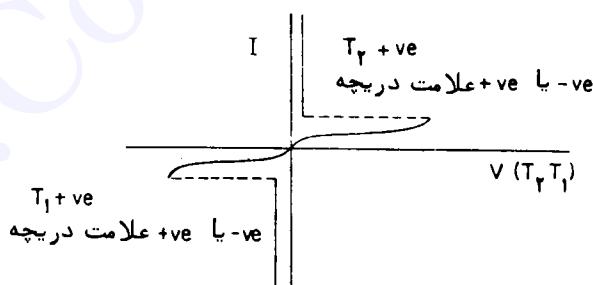
۶۳

تیریستور



شکل ۲-۲ تیریستورهای اتصال موازی محدود و تریاک

شده به آند dI/dt بالاتر از مقدار بحرانی شود تریاک به راحتی روشن می‌شود و کلیه مطالب مذکور در تیریستور در مورد ساختمان مرکب تریاک نیز صادق خواهد بود. در تریاک ولتاژ V_{BO} یا تغییرات سریع dV/dt را می‌توان به هر دو پایانه T_1 و T_2 اعمال و آن را روشن کرد. حفاظت این وسیله در مقابل خطر ناشی از این امر به عهده بقیه مدار است. این ابزار با دو پایانه بدون الکترود دریچه به دیود دو طرفه موسوم، و دارای نام تجاری دیاک^۱ است.

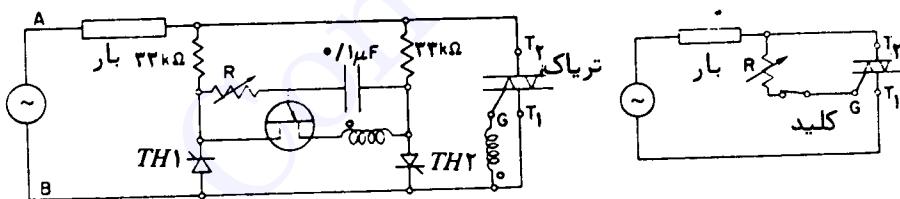


شکل ۲-۳ مشخصه تریاک

روش راماندازی تریاک متنوع‌تر از تیریستور است. ساده‌ترین آرایش ممکن برای روشن

الکترونیک قدرت

کردن تریاک در هر نیم سیکل در شکل ۲ - ۳۴ نشان داده شده است. در این مدار موقعیت T_1 مثبت است دریچه علامت منفی حساستری دریافت می‌کند. این مدار را با ساده‌ترین مدار دریچه لازم برای فرمان دو تیریستور اتصال موازی معکوس برای کنترل قدرت جریان متناوب مقایسه کنید. مدار دیگری که عبور جریان را در یک جهت و یا در هر دو جهت با کنترل فاز دستی مجاز می‌سازد در شکل ۲ - ۳۵ با استفاده از ترانزیستور تک پیوندی UJT و دو تیریستور کم قدرت مشاهده می‌شود. موقعیت خط A مثبت است تیریستور $TH2$ روش $TH1$ روشن می‌شود و هدایت تریاک را ممکن می‌سازد و موقعیت خط B مثبت است برای هدایت تریاک، تیریستور $TH1$ روشن می‌شود. در غیر این صورت $TH1$ و $TH2$ هر دو خاموش می‌شوند و جریان باری از طریق تریاک عبور نخواهد کرد. اگر خط A مثبت و $TH2$ روشن باشد خازن C به میزانی بسته به مقدار مقاومت R باردار خواهد شد. در ولتاژ مخصوصی ترانزیستور تکپیوندی (UJT) خواهد شکست و اولیه ترانسفورماتور یک پالس انرژی دریافت می‌کند و این پالس از طریق ثانویه ترانسفورماتور به دریچه تریاک انتقال می‌یابد و دریچه را نسبت به T_1 منفی می‌کند. موقعیت که تریاک هدایت می‌کند مدار فرمان دریچه را اتصال کوتاه می‌کند. در نتیجه خازن در انتهای هر نیم سیکل در همان شرایط ابتدایی خود باقی خواهد ماند. پالس فرمان مشابهی موقعیت خط B مثبت و $TH2$ روشن می‌شود به وجود می‌آید و به همان ترتیب ذکر شده تریاک را هادی خواهد کرد.



شکل ۲ - ۳۴ مدار ساده تریاک شکل ۲ - ۳۵ کنترل جریان متناوب با جریان مستقیم
دو طرفه

در موقع بررسی روش‌های خاموش کردن معلوم می‌شود که تیریستور قابل انعطاف‌تر از تریاک است. از آنجایی که تریاک یک کلید دو طرفه است، جابه‌جایی اجباری با بایاس معکوس کردن نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. اعمال یک ولتاژ بایاس معکوس ناگهانی بین دو سر تریاکی که در حال هدایت است باعث می‌شود در اثر پدیده شکست بهمنی هدایت در جهت دیگر

۶۵

تیریستور

صورت‌گیرد. بنابراین خاموش کردن یا به کمک انحراف جریان^۱ که معمولاً غیر عملی است و یا با جایه‌جایی خط جریان متناوب امکان‌پذیر است. جریان تریاک مجاز است به صفر کاهش پیدا کند و این نقطه‌ای است که تریاک به طور طبیعی حالت مسدود خود را باز می‌یابد، و سپس برای دوره^۲ هدایت بعدی، هر جهتی که انتخاب شده باشد منتظر می‌ماند.

در حال حاضر دو محدودیت در مقابل کاربرد تریاک برای وسایل با مقادیر اسمی ۲۰۰ آمپر و ۱۰۰۰ ولت معکوس پیک وجود دارد. اولین محدودیت مربوط است به قابلیت تبادل فرکانس حاصل از تغییرات dV/dt محدودی که در موقع فقدان علامت دریچه، تریاک در حالت مسدود باقی می‌ماند. تغییرات dV/dt در حدود ۲۵ ولت بر میکروثانیه است که در مقایسه با مقدار معمولی آن برای تیریستور یعنی ۲۰۰ ولت بر میکروثانیه خیلی کمتر است. بنابراین محدودیت فرکانس در تراز قدرت ۶ هرتزی است. این محدودیت تغییرات dV/dt به مفهوم این است که مقاومتی بودن بار قابل کنترل ارجحیت دارد. در بارهای سلفی ولتاژ دو سر برای تا مقداری که بستگی به ضریب قدرت مدار دارد قبل از صفر شدن جریان منفی می‌شود. در جریان صفر تریاک خاموش می‌شود و به حال مسدود درمی‌آید، یعنی، در کمتر از چند میکروثانیه امپدانس تریاک از صفر به مقدار تقریبی بینهایت تغییر می‌یابد. در همین موقع ولتاژ معکوسی که در دو سر برای بود حالا در دو سر تریاک ظاهر می‌شود. اعمال [این ولتاژ] به مدت کوتاهی موجب تولید dV/dt شدیدی می‌شود که امکان دارد تریاک دوباره روشن شود، در صورتی که باستی خاموش باقی می‌ماند. برای جذب مقداری از انرژی مربوط به تغییرات dV/dt بایستی به طور موازی یک مدار RC به تریاک وصل شود. تریاک‌های ۲۵ آمپری وجود دارند که تغییرات dV/dt آنها محدود به ۲۰۰ ولت بر میکروثانیه است.

تریاک‌ها به خاطر نکات مذکور، کاربرد محدودتر و خیلی کمتری نسبت به تیریستور دارند و در حال حاضر برای کنترل حرارت، روشنائی و موتورهای محرک مورداً استفاده قرارسی گیرند. مواقعي که احتیاج به فرکانس زیاد، و تغییرات dV/dt شدید باشد تیریستور اتصال موازی معکوس را نمی‌توان با تریاک جایگزین کرد. بنابراین در موارد استعمال نیمه‌هادیهای قدرت برای کنترل محرکهای الکترونیکی از تریاک به ندرت اسم برده می‌شود.

۱۱-۲ خلاصه مطالب گفته شده

تیریستور یک وسیله کلید زنی دو حالتی است که همواره قطع یا وصل است. تیریستور در یکی از دو حالت زیر عمل می‌کند: (الف) در حالت اشباع یا هدایت کامل که دارای امپدانس صفر است و (ب) در حالت مسدود یا غیرهادی که دارای امپدانس بینهایت (در

الکترونیکقدرت

مقابل عبورجریان (خواهد بود . تیریستور اصولا به صورت یکسوکننده قابل کنترل به کارمی رود و با ولتاژ بایاس مستقیم جریان قابل ملاحظهای از خود عبور نمی دهد ولی با ولتاژ بایاس مستقیم و یک پالس کوچک بین دریچه و کاتد، جریان قابل ملاحظهای از آند به کاتد عبور می کند و این فقط با امپدانس بار سری و با آند محدود می شود . تیریستور در موقع هدایت نیازی به علامت روی دریچه برای ابقاء هدایت نخواهد داشت . جریان را برای خاموش کردن تیریستور می توان توسط دو روش زیر مستهلك کرد .

- ۱ - افزایش امپدانس باربهمنظور کاهش جریان به کمتر از مقدار معین جریان نگهدارنده .
- ۲ - کاتد را نسبت به آند مثبت کرد . جریان آندی که در حالت مسدود از تیریستور عبور می کند به جریان نشتش موسوم ، و قابل اغماض است .

اگرچه در اکثر موارد می توان گفت که تیریستور از کلیدهای دیگر بهتر است ولی محدودیتهایی از لحاظ مقادیر اسمی وسایل نیمه هادی وجود دارد زیرا که حفاظت ، قسمت ضروری یک مدار تیریستوری را تشکیل می دهد . اگر جریان مستقیم افزایش سریعی داشتمباشد تغییرات $\frac{dv}{dt}$ در موقع روشن شدن خیلی سریع می شود ، که می تواند موجب سوختن موضعی در نزدیکی اتصال دریچه شود . در صورت ایجاد هدایت ناخواستهای به علت تغییرات بسیار شدید $\frac{dv}{dt}$ مستقیم ، در حالت وجود اضافه بار ، در صورت اعمال ولتاژ معکوس بیش از حد و یا تمرکز جریان معکوس موضعی ، نقصی در اثر سوختگی به وجود خواهد آمد .

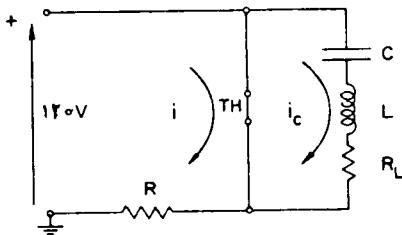
اگرچه تریاک با اعمال پالسهای مثبت یا منفی به دریچه ایش می تواند جریان را در دو جهت مختلف از خود عبوردهد و در نتیجه آنرا می توان مانند دوتیریستور موازی اتصال معکوس فرض کرد ، ولی مقدار کم تغییرات $\frac{dv}{dt}$ آن در حال حاضر موارد استعمالش را محدود ساخته است .

مثالهای حل شده

مثال ۲ - ۱ باری با مقاومت اهمی ۵۵۵ اهم قرار است پالسهای جریانی با استماری یک هزارم ثانیه داشته باشد . زمان بین پالسهای جریان ممکن است نسبتاً بزرگ باشد . مدار تیریستوری که این شرایط را با منبع تغذیه ۱۲۰ ولت تأمین کند تحلیل کنید .

مدار تشید موازی شکل ۲ - ۳۲ (الف) را در نظرمی گیریم ، منظور از تحلیل مدار تعیین مقادیر خازن C و سلف L است ، به طوری که تیریستور برای مدت تقریبی یک هزارم ثانیه در حال هدایت باشد و برای مدتی کافی به منظور خاموش شدن بایاس معکوس شود .

تحلیل مدار از لحظهای که تیریستور شروع به هدایت می کند شروع می شود و در این حالت خازن تغییر قطبیت می دهد تا به ولتاژ بیشینه V_{ZM} برسد که این لحظه مبدأ زمان $t = 0$ است . رابطه مشخص کننده t از مدار معادل طبق شکل ۲ - ۳۶ عبارت است از :



شکل ۲-۳۶ خود جابه‌جایی با مدار نوسانسازی

$$I(s) = \frac{\frac{V_c}{L}}{\left(s + \frac{R_L}{\sqrt{L}}\right)^2 + \left(\frac{1}{LC} - \frac{R_L^2}{4L}\right)} \quad \text{یا} \quad \left[\frac{1}{C_s} + Ls + R_L \right] I(s) = \frac{V_c}{s}$$

که در آن s عملگر لابلس است.

تبديل معادله فوق به حوزه زمان^۱ مستلزم حل معادله است، یعنی:

$$i_c(t) = \frac{V_c}{L} \cdot \frac{1}{A} e^{(-RL/2L)t} \sin At,$$

که در آن:

$$A^2 = \frac{1}{LC} - \frac{R_L^2}{4L^2}.$$

مقدار بیشینه جریان تخلیه خازن عبارت است از:

$$i_{c \max} = \frac{V_c}{L} \left(\frac{4L^2 C}{4L - CR_L^2} \right)^{1/2}$$

مقاومت اهمی سلف دارای اثر خیلی کمی روی دامنه اولین جریان بیشینه دارد به طوری که اگر:

$$R \approx 0 \quad \text{داریم:} \quad i_{c \max} \approx V_c \sqrt{\frac{C}{L}}.$$

جریان تخلیه خازن $i_{c \max}$ بایستی از جریان بار تیریستور بیشتر شود تا آنرا خاموش کند. اگر جریان تخلیه خازن کمتر شود جریان تیریستور هرگز به مقدار کمتر از جریان نگهدارنده نزول نخواهد کرد، فرض می شود:

$$i_{c \max} = i$$

برای حالتی که ورودی نداریم دوره T مدار تشدید عبارت است از:

$$T = \frac{2\pi}{A} \approx 2\pi \sqrt{LC}.$$

معادله آخر حل مسئله را در هر شرایطی امکان پذیر می سازد برای اینکه لحظه روشن شدن تیریستور تا زمان خاموشی آن $T = 75\pi$ است. خازن به محض مسدود شدن تیریستور به تخلیه خود از طریق بار ادامه می دهد. پاسخ جدیدی بایستی محاسبه شود. ولی می توان گفت با

الکترونیک قدرت

۶۸

تقریب اول پالس جریان از طریق بار موقعی که تیریستور خاموش می شود به اتمام می رسد . اگر

$$C = 2t_p / 3\pi R_L \approx 0.4 \mu F$$

طول زمان پالس t_p باشد داریم :

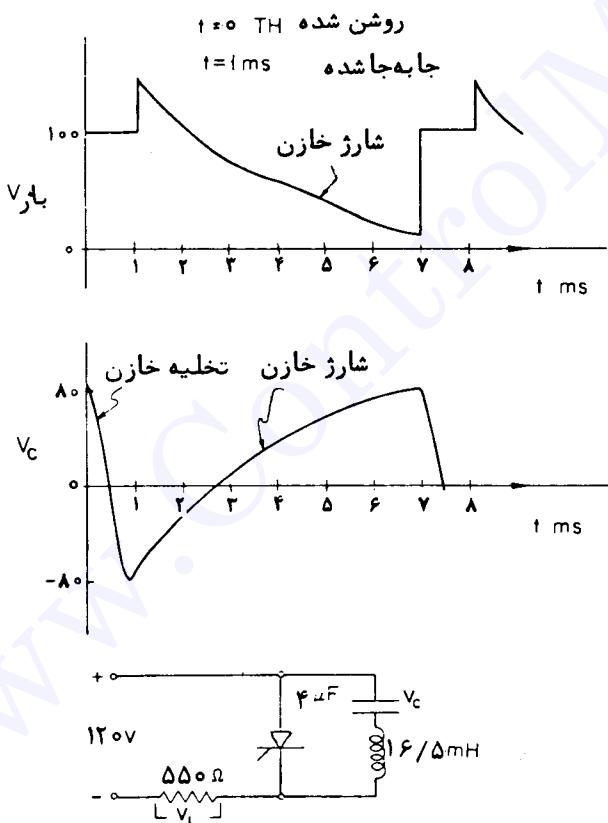
و

$$L = 2t_p R_L / 2\pi \approx 120 \text{ mH}$$

فرض شده است که ولتاژ بین خازن به مقدار پیکی که دامنه اش همان ولتاژ منبع تغذیه است خواهد رسید .

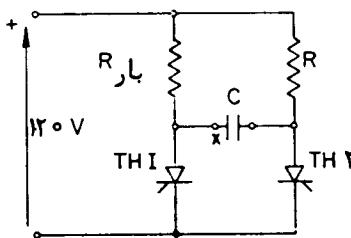
پالس دریچه که تیریستور را روشن می کند بایستی استمرارش کسری از میلی ثانیه باشد .

یک پالس دریچه پیوسته تیریستور را از بازیابی حالت مسدودش جلوگیری می کند . شکل موجه های ولتاژ در شکل ۳۷-۲ برای حالت عملی علامت دریچه پیوسته ای نشان داده شده است .



شکل ۳۷-۲ شکل موجه های ولتاژ مدار خود جایه‌جاشی

مثال ۲-۲ مدار جایه‌جاشی اجباری شکل ۲-۳۸ را برای تعیین استمرار کمینه ،



شکل ۳۸-۲ جابه‌جایی اجباری

t_{min} ، پالس جریان بار برای ردیفی از بارها بررسی کنید.

برای اینکه خازن امکان ذخیره انرژی کافی برای خاموش کردن تیریستور TH1 را داشته باشد ظرفیت خازن از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C > t_{off}/R \quad \text{با}$$

که در آن t_{off} زمان خاموش شدن تیریستور است. مقدار مقاومت R تعیین‌کننده زمان پرشدن خازن است. و این زمان پرشدن خازن است که سرعت جابه‌جایی تیریستور TH1 را پس از روش شدن تعیین می‌کند. برای اطمینان، مقدار R بایستی طوری باشد که جریان عبوری از طریق $TH2$ و R محدود و کمتر از جریان نگهدارنده تیریستور باشد. بنابراین همواره تیریستور $TH2$ پس از باردار شدن C در حالت خاموشی خواهد بود. اگر مقدار R خیلی کم باشد و تیریستور $TH1$ پس از روش شدن $TH2$ خاموش نشود هر دو تیریستور به هدایت خود ادامه خواهند داد. درنتیجه خازن C باردار نمی‌شود و در تیریستور نیز عمل جابه‌جایی به وقوع خواهد پیوست:

داده‌های به دست آمده در جدول زیر درج شده است.

| R_L, Ω | $R, k\Omega$ | $C, \mu F$ | t_{min}, s |
|---------------|--------------|------------|--------------|
| ۶۰ | ۱ M | ۴ | ۲ |
| ۶۰ | ۱۵۰ k | ۴ | ۰/۵ |
| ۱۳ | ۳۰ k | ۴ | ۵ |
| ۱۳ | ۳۳ k | ۴ | ۰/۵ |
| ۱۰ | ۱۵۰ k | ۴ | ۵ |
| ۱۰ | ۳۳ k | ۴ | ۰/۵ |
| ۸ | ۱۵۰ k | ۱۵ | ۵ |
| ۸ | ۱۲ k | ۱۵ | ۰/۲ |
| ۶ | ۱۵۰ k | ۱۵ | ۵ |
| ۶ | ۵ k | ۱۵ | ۰/۱ |

مراجع

1. Yates, W. J. and Stevens, R. S. (1969) 'Selecting the correct capacitor for use in thyristor circuits', *Power Thyristors and their Applications*, I.E.E.E. Conference Publication, No. 53, 140-145.
2. Watabe, S. (1969) 'A 3ph 250 kVA no break power supply with current limiting filter', *Power Thyristors and their Applications*, I.E.E. Conference Publication, No. 53, 216-224.

كتابات مأهولة

- Gentry, F. E. et al. (1964), *Semiconductor Controlled Rectifiers*, Prentice-Hall.
- Bedford, B. D. and Hoft, R. G. (1965), *Principles of Inverter Circuits*, John Wiley and Sons Inc., London and New York.
- Griffin, A. W. and Ramshaw, R. S. (1965), *The Thyristor and its Applications*, Chapman and Hall, London.
- S.C.R. Manual, General Electric Co., U.S.A.
- Silicon Controlled Rectifier Designers Handbook*, Westinghouse Electric Co.
- Power Applications of Controllable Semiconductor Devices* (1965), I.E.E. Conference Publication, No. 17.
- Gentry, F. E., Scace, R. I. and Flowers, J. K. (1965). 'Bidirectional Triode P-N-P-N Switches', *Proc. I.E.E.E.*, 355-369.
- Howell, E. K. (1964), 'The Triac-Gate-Controlled Silicon A.C. Power Switch', *I.E.E.E. Int. Conv. Record*, 12 (9), 86-91.
- Power Thyristors and their Applications*, (1969), I.E.E. Conference Publication, No. 53.

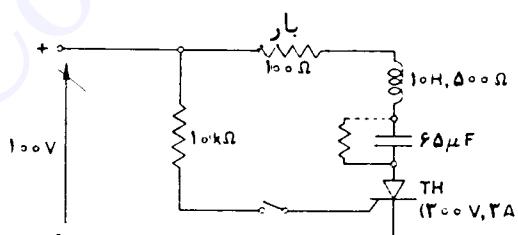
مسائل

۱-۲ مدار شکل ۲-۲۴ را می‌توان به عنوان کنترل کننده روشنایی (نورگاه) لامپ توسط تغییر ولتاژ دو سر یک ردیف لامپ مورد استفاده قرار داد. برای هر مقدار سلف بین ۲ و ۳۵ میلی‌هانری مقدار بیشینه جریانهای باری که ممکن است هنگام استفاده از خازنهای ۱، ۴، ۷، ۹ و ۰.۸ میکروفاراد در مدار قطع شوند، پیدا کنید. پاسخ کامل مدار را نیز تعیین کنید. توجه کنید که: چه مدتی خازن بار لازم برای خاموش کردن TH را موقعی که به TH فرمان روشن شدن می‌رسد نگاه می‌دارد. بیشینه ولتاژ بین بار ۱۲۵ ولت است.

جواب: مقادیر عملی $4/4$ ، $6/2$ ، $8/3$ ، $11/2$ و $15/2$ آمپر

۲-۲ شکل (۲-۳۹) مدار تیریستوری را نشان می‌دهد که در آن جایه‌جایی با تشدييد امكان پذير است. مقادير خازن C و سلف L تا حدی است که يك دوره هدایت طولاني به تیریستور بدهد. پاسخ مدار را تعیین کنید. شکل موجهای عملی ولتاژ بین هر يك از عناصر را هم موقعی که جریان دریچه پالس ۱ میلی ثانیه استمرار داشته باشد و هم وقتی که پالس پیوسته‌ای اعمال شود با يكديگر مقایسه کنید.

جواب: $25/3 = 0.4e^{-30t} \sin(25/3)$ و استمرار عبور جریان اندازه گرفته شده ۱۵۰ هزارم ثانیه



شکل ۲-۲

۳- مقادير عناصر شکل ۲-۲۷ را طوري تعبيين کنید که جریان از طریق بار مقاومتی ۲۴۰ اهم محدود به $5/0$ آمپر شود. وارونگر (معکوس کننده) قدرت را در فرکانس ۶۰۰ هرتز به بار اعمال می‌کند.

جواب: میلی‌هانری $L = 43/5$ میکروفاراد $C = 161/5$

الکترونیک قدرت

۷۲

۴-۲ با روش تجربی عناصر لازم برای حفاظت تیریستور در مقابل خیزهای ولتاژ خارجی را در مدار ساده شکل ۲-۲۸ محاسبه کنید.

جواب: اهم ۴۷ نا $R_1 = 11$ و میکروفاراد ۵/۰ نا

یک فرمول تجربی برای C_1 عبارت است از.

$$C_1 = \frac{VA}{21f(V_p)^2}$$

که در آن C_1 برحسب فاراد، VA مقدار اسمی ولت آمپر ترانسفورماتور منبع تغذیه، f فرکانس منبع تغذیه برحسب هرتز و V_p ولتاژ پیک گذرای تیریستور است. همچنین:

$$C = \frac{10I_f}{V}$$

که در آن C برحسب میکروفاراد، I_f جریان عبوری از طریق تیریستور بلا فاصله پس از جابه - جایی، V ولتاژ بیشینه معکوس پیوسته PRV تیریستور است.

۲-۵ در مدار یکسوکننده کنترل شده نیم موج شکل ۲-۲۱ زاویه آتش α را می‌توان به منظور تغییر ولتاژ متوسط دو سر بار تغییر داد. با این حال، مولفه‌های هارمونیک به وجود می‌آیند و سبب افزایش تلفات و ایجاد گشتاورهای ترمز و نوسانی عبوری در ماشینهای گردان می‌شوند. اگر ولتاژ منبع تغذیه سینوسی و زاویه آتش آن $90^\circ = \alpha$ باشد، دامنه مولفه‌های هارمونیک ولتاژ بار را به دست آورید.

جواب:

$$V_L = \frac{\hat{V}}{2\pi} - \frac{\hat{V}}{2\pi} \cos \omega t + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\hat{V} (\cos n\pi + n \sin n \frac{\pi}{2})}{\pi (1 - n^2)} \cos nw +$$

$$\frac{\hat{V}}{4} \sin \omega t + \sum_{n=2}^{\infty} \left[\frac{-n V (\cos n \frac{\pi}{2})}{\pi (1 - n^2)} \right] \sin n \omega t$$

۲-۶ یک منبع تغذیه جریان مستقیم ۱۰۰ ولتی بار سلفی خالص ۱/۰ هانری را تغذیه می‌کند. تیریستوری سری شده با منبع تغذیه و بار، کنترل کننده مدار است. از روی پاسخ این مدار تیریستوری ساده حداقل پهنای پالس دریچه برای اطمینان از روشن شدن تیریستور را تعیین کنید. مشخصات تیریستور جریان قفلی را ۴ میلی آمپر تعیین می‌کند.

جواب: ۴ میکرو ثانیه

۲-۷ مدار شکل ۲-۲۸ مفروض است. فرض می‌شود که عناصر R و C تنها اجزاء حفاظت - کننده هستند و عناصر L و R حذف شده‌اند. یک منبع تغذیه ۱۰۰ ولتی بار اهمی خالص ۲۰ اهمی را تغذیه می‌کند. دیودی به دو سر مقاومت R که مقدارش ۱۵ اهم است طوری وصل شده است که آندهای تیریستور و دیود به یکدیگر متصل‌اند.

تیریستور

فرض می شود که تیریستور تازه خاموش شده است . مقدار حداقل C را طوری تعیین کنید که تیریستور به خاطر شکست dV/dt دوباره روش نشود . خازن اتصالی داخلی تیریستور $2\mu\text{F}$ و حداقل مقدار جریان بار مورد لزوم برای روشن شدن تیریستور 4 mA است .

جواب : ۰۰۲۵ میکروفاراد

۱ - ۸ . مدار تیریستوری ساده‌ای شامل منبع تغذیه جریان متناوب $\hat{V} \sin \omega t$ و یک کنترل - کننده تک تیریستوری سری شده با بار اهمی خالص است . تیریستور جریان را موقعی هدایت می کند که ولتاژ آندش ثابت باشد یعنی $\pi = \omega t = 2\pi n$ وغیره . تیریستور در زاویه α در محدوده $0 < \alpha < 90^\circ$ آتش می شود ، و هدایت برای مدت زمان n تا π در هر نیم سیکل ثابت اتفاق می افتد ، زیرا جریان با ولتاژ هم‌فاز است .

نشان دهید که ولتاژ خروجی در دو سر بار ، ولتاژ V_{av} متفاوت با مقدار متوسط زیر است .

$$V_{av} = \frac{\hat{V}}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

۲ - ۹ . ولتاژ منبع تغذیه $377 \sin 100\omega t$ بار اهمی 100 اهمی را از طریق تیریستوری که عمل یکسوسازی کنترل شده نیم موجی را انجام می دهد ، تغذیه می کند . اگر زاویه آتش نسبت به شکل موج ولتاژ منبع تغذیه در 45° درجه ثابت باشد ، قدرت متوسط بار را محاسبه کنید .

جواب : ۲۲/۷ وات

۳ - ۱۰ . در مدار مسئله ۲ - ۸ بار به صورت بار اهمی R و سلفی L تغییر یافته است و تیریستور نیز در زاویه α آتش می شود . جریان حالت پایدار نسبت به ولتاژ پس‌غاز است . در مدت زمانی که جریان به مقدار قله خود صعود می کند ، منبع تغذیه R و L را تغذیه می کند . از زمان جریان قله تا زمانی که ولتاژ از صفر عبور می کند ، منبع تغذیه R را تغذیه و انرژی را از L (جهت کاهش پیوند شار) اخذ می کند . نهایتاً ، از زمان جریان صفر عبور ولتاژ تازمان جریان صفر انرژی را از اندوکتانس (برای دوباره به صفر آوردن پیوند شار) جذب می کند و به R و منبع برمی گرداند . مطلوب است محاسبه مقدار لحظه‌ای جریان بار غیر صفر .

$$\tan \phi = L/R, i(t) = \frac{\sqrt{2}}{R} \hat{V} \sin \frac{\omega t}{2} \cos \frac{\omega t - 2\phi}{2}$$

جواب :

۴ - ۱۱ . برای خاموش کردن تیریستور جریان عبوری به طور لحظه‌ای بایستی به صفر تقلیل یابد . برای این منظور از ذخیره انرژی در خازنی توسط مدار تشید ، جلوگیری از نوسانات اضافی وسیله یک دیود و در نتیجه فراهم آوردن امکانات تخلیه خازن جهت گرایش معکوس تیریستور ،

الکترونیک قدرت

۷۴

استفاده می‌کنند.

شکل ۲ - ۴۴ مدار اساسی برای معکوس کردن قطبیت خازنی را نشان می‌دهد، که تا ولتاژ ۱۰۰ ولت برای شرایط اولیه باردار شده است. در صورتی که تیریستور TH در زمان $t = 0$ آتش شده باشد، مقدار لحظه‌ای جریان عبوری از L را در هر لحظه‌ای از ωt و همچنین شکل موج ولتاژ دو سر سلف را تعیین کنید.

$$\text{جواب: } \omega = 572t \quad \text{برای } \omega = 572t \quad \text{که در آن } \omega = 572t \quad \text{رادیان بر ثانیه}$$

۲ - ۱۲ تیریستور یک کلید، و مدار بار مشتمل بر ترکیبی از R ، C ، و L است. بنابراین، اینکه بخواهیم پاسخ گذرا را در زمان اتصال ناگهانی منع تغذیه توسط یک کلید یا تیریستور پیدا کنیم، امری طبیعی است.

دو حالت ذیل مفروض است:

(الف) یک پیل سری با یک تیریستور، یک مقاومت R ، سلف L و خازن C (ب) یک پیل سری با یک تیریستور، یک سلف L و ترکیبی موازی از یک مقاومت R و یک خازن C .

برای این حالتها موارد زیر را تعیین کنید:

(۱) بستگی‌های پارامتر برای شرایط زیر میرا

(۲) فرکانس تشددید بر حسب پارامترها، و

(۳) شکل موج جریان در زمانی که تیریستور روشن می‌شود.

جواب:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2) \quad R < 2\sqrt{LC} \quad (1)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2) \quad R > 0.5\sqrt{LC} \quad (1)$$

۲ - ۱۳ یک تریاک قدرت باری که شامل یک مقاومت ۱۰ اهمی و یک سلف ۵۰۶۵ هانری است را کنترل می‌کند. اگر منبع تغذیه ۱۱۰ ولتی ۶ هرتزی باشد و تریاک در زاویه $\alpha = 75^\circ$ درجه در هر دو نیم سیکل‌ها آتش شود. مطلوب است محاسبه مقدار جریان لحظه‌ای بار.

جواب:

$$j(t) = 11 \sin(2\pi t) - 5/5 \exp(-t/0.00265) + \frac{\pi}{4} \exp(-t/0.00265)$$

۲ - ۱۴ مدار شکل مسئله ۲ - ۱۳ مفروض است. رابطه‌ای برای مقدار جریان لحظه‌ای مدار، را بر حسب زاویه آتش α پیدا کنید.

$$\text{جواب: } j(t) = \frac{\hat{V}}{\left[R + (\omega L)^2 \right]^{1/2}} \sin(\omega t - p + \alpha) - \frac{\hat{V} \sin(\alpha - p)}{\left[R + (\omega L)^2 \right]^{1/2}} \exp(-Rt/L)$$

۷۵

تیریستور

۱۵-۲ . یکسو کننده کنترل شده نیم موج سه فازی با زاویه آتش $\alpha = \alpha$ رادیان برای هر سه تیریستور مفروض است . اگر ولتاژهای سه فاز

$$V_3 = V \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}), \quad V_1 = V \sin \omega t \quad \text{و} \quad V_2 = V \sin(\omega t - \frac{\pi}{3})$$

باشند ، مطلوب است محاسبه مقدار متوسط ولتاژ خروجی برای یک بار اهمی .

جواب : $\hat{V} = 17.822$

۱۶-۲ . نوع خاموشی با خازن موازی طبق شکل ۲-۲۵ مفروض است . مقاومت بار ۵ اهم و ولتاژ جریان مستقیم اعمال شده ۱۲۵ ولت فرض می شود .

مطلوب است محاسبه حداقل مقدار ظرفیت خازن C اگر زمان خاموشی تیریستور در جایه جایی اجباری مشخص شده توسط سازنده ۱۵ میکروثانیه باشد . اگر تیریستور TH در هر میلی ثانیه آتش شود مقدار مناسب مقاومت R چقدر است ؟

جواب : ۳ میکروفاراد ، ۱۵۵ اهم

۱۷-۲ . مدار شکل ۲-۲۸ ، بدون عناصر C ، L و R با دیود اضافی در دو سر R به طوری که آندهای دیود و تیریستور به یکدیگر متصل شده باشند ، مفروض است . ولتاژ منبع تغذیه جریان مستقیم ۵۰۰ ولت و مقاومت بار $3/5$ اهم است . افت ولتاژ مستقیم دیود قابل اغماض فرض می شود . ظرفیت خازن اتصالات تیریستور ۵ پیکوفاراد و بیشینه $\frac{dV}{dt}$ مستقیمی که تیریستور آن را تحمل می کند ۱۸۰ ولت بر میکروثانیه است .

مطلوب است محاسبه مقدار کمینه ظرفیت خازن C به منظور جلوگیری از روشن شدن بی موقع تیریستور وقتی که مدار بر منبع تغذیه بسته می شود . هدف از مقاومت R چیست و مقدار آن چگونه تعیین می شود ؟

جواب : 0.8 میکروفاراد

۱۸-۲ . یک مدار تشحید سری برای خاموشی تیریستور در شکل ۲-۲۳ (ب) نشان داده شده است . عمل خاموشی را توضیح دهید . به طور ریاضی نشان دهید که جریان عبوری از تیریستور و ولتاژ دوسر تیریستور برای فاصله زمانی آتش شدن تا شروع خاموشی شبیه شکل ۲-۲۳ (پ) است .

۱۹-۲

(الف) $\frac{dV}{dt}$ محدود کننده یک تیریستور را چگونه پیدا می کنید .

(ب) ترتیب آتش شدن یک وارونگر سه فاز را توضیح دهید .

(پ) هدف از عمل موازی تیریستورها چیست ؟

(ت) در موقع موازی کردن تیریستورها چه مسائلی را ناید در نظر گرفت .

الکترونیک قدرت

۷۶

- (ث) کاربرد دیود چرخش آزاد را توصیف کنید .
- (ج) چگونه یک کلید قدرت نیمه هادی را برای کنترل سرعت موتور القائی به کار می برد ؟
- (ج) چگونه یک کلید قدرت نیمه هادی را برای کنترل سرعت موتور جریان مستقیم به کار می برد ؟
- (ح) از خاموشی تیریستور چه می فهمید ؟
- (خ) زمان خاموشی یک تیریستور چیست ؟
- (د) کدام یک بزرگتر است ، جریان قفلی یا جریان نگهدارنده ؟
- (ذ) چرا تیریستور در مقابل افزایش سریع جریان در مدت روشن شدن بایستی محافظت شود ؟
- (ر) محدودیت تقریبی di/dt در مدت زمان روشن شدن تیریستور چیست ؟
- (ز) چه نوع حفاظتی برای محدود کردن di/dt بایستی به کار برد ؟
- (ژ) تیریستور چه فرقی با تریاک دارد ؟
- (س) چه اختلافی بین فرمانهای دریچه تیریستور و تریاک وجود دارد ؟
- (ش) هدف از سری بستن تیریستورها چیست ؟
- (ص) تیریستورهای سری به چه نوع حفاظتی احتیاج دارند ؟
- (ض) تیریستورهای نوع دیسکی چه مزایایی نسبت به بقیه دارند ؟
- (ط) واگردانهای سیکلی چه مزایایی نسبت به وارونگرها دارند ؟
- (ظ) واگردانهای سیکلی چه معایبی نسبت به وارونگرها دارند ؟

فصل سوم

کنترل موتورهای القابی

۱-۳ مقدمه

گاهی لازم می‌شود که یک موتور (یا بار مکانیکی چرخان) را از سکون به حرکت دورانی با سرعت معینی واداشت. در طی کار امکان دارد لزوم تغییر سرعت، تعویض جهت چرخش، تغییر وضعیت و شاید برگشت به شرایط اولیه در کوتاه‌ترین زمان ممکن پیش آید. دوره کار ارا می‌توان با تنظیم انرژی الکتریکی موتوری که محرک بار است کنترل کرد.

مоторهای القابی ماشینهای نسبتاً ارزان و محکمی هستند، زیرا آنها را می‌توان بدون جابه‌جاکن یا حلقه‌ای لفزان^۲ ساخت. در نتیجه بنابراین علل مذکور تاکنون در مرور کنترل این موتورها از لحاظ راه‌اندازی، ترمز، معکوس‌سازی سرعت، تغییر سرعت و کنترل وضعیت، مطالعه و بررسی‌های زیادی انجام گرفته است.

در حال حاضر تیریستور به علت داشتن عمر زیاد و فقدان قسمت‌های متحرک جایگزین عناصر معمولی کنترل موتورهای القابی شده است. علاوه بر این که تیریستور در کنترل محرک‌های تجاری به کار می‌رود، مطالعه شیوه‌های کاربردی برای پیشبرد و بهبود روش‌های موجود و ابداع روش‌های جدید همچنان مورد توجه محققین است. یکی از مهمترین موارد استعمالی که توجه زیادی را به خود جلب کرده است اتومبیلهای برقی است.

جایگزینی محرک‌های الکتریکی با موتورهای احتراق داخلی سبب کاهش شدید آلودگی هوا می‌شود و به این دلیل کوشش زیادی لازم است تا این جابه‌جاکی با توجه به جنبه اقتصادی آن ممکن شود. یکی از عوامل مهم در این جایگزینی مربوط به روش‌های ذخیره انرژی الکتریکی است.

الکترونیک قدرت

۷۸

باتریهای سرب اسید^۱ سنگین، بزرگ و گران قیمت باستی با سلواهای سوختی^۲ جایگزین شوند تا بتوانند از پس کنترل کننده و محرکهای الکتریکی که می‌تواند یک موتور القابی باشد، برآیند. به عنوان مثال می‌توان از محرک الکتریکی با سرعت دورانی ۱۰۰۰۰۰ دور در دقیقه، که با واحد تیریستوری کنترل می‌شود، نام برد. حجم و اندازه موتورهای الکتریکی تقریباً با مقدار گشتاور مناسب است و از آنجایی که قدرت خروجی مناسب با گشتاور و سرعت است، در سرعتهای زیاد اندازه موتور کوچکتر خواهد بود. از اشکالاتی که در سرعتهای زیاد پدید می‌آید، انتقال حرارت از حجم کوچک موتور و انتقال [تیرو]^۳ به چرخها است.

در این فصل روشهای مختلف کنترل موتورهای القابی با واحدهای تیریستوری مورد بررسی قرار می‌گیرند و در خاتمه چند مثال عملی معرفی خواهد شد.

۳-۳ راه اندازی موتور القابی

به منظور روشن شدن شکل راه اندازی موتور القابی موقعی که ولتاژ منبع تغذیه مستقیماً به ورودی موتور اعمال می‌شود، ناگزیر از مراجعه به مدار معادل موتور القابی هستیم تا جریان عبوری از موتور را بر حسب لغزش و امپدانس‌های ماشین محاسبه کنیم. استفاده از مدار معادل تقریبی شکل ۳-۱ خطی خیلی کم و قابل اعتمادی در محاسبه مقدار جریان ایجاد خواهد کرد. پارامترهای مدار معادل تقریبی شکل ۳-۱ برای هر فاز موتور عبارتند از:

۰۱ ادمیتانس مغناطیس کنندگی^۴ موتور

۰۲ مقاومت سیم پیچی ایستانه (استاتور)

۰۳ مقاومت سیم پیچی گردانه (روتور) منتقل شده به ایستانه (استاتور)

۰۴ راکتانس نشتشی^۵ سیم پیچی ایستانه (استاتور)

۰۵ راکتانس نشتشی سیم پیچی گردانه (روتور) منتقل شده به ایستانه (استاتور) (در فرکانس

منبع تغذیه)

۰۶ لغزش

۰۷ جریان هر فاز برای لغزشها^۶ عبارت است از:

$$I = \frac{V}{\sqrt{\left[\left(r_1 + \frac{r'_1}{s} \right)^2 + (x_1 + x'_1)^2 \right]}} \quad (1-2)$$

۱- Lead-acid batteries

2- Fuel cell

3- Magnetizing admittance

4- Leakage reactance

کنترل موتورهای القایی
و ضریب قدرت عبارت است از:

$$\cos \theta = \frac{r_1 + r'_1/s}{\sqrt{\left[\left(r_1 + \frac{r'_1}{s} \right)^2 + (x_1 + x'_1)^2 \right]}} \quad (2-3)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{x_1 + x'_1}{r_1 + r'_1/s} \right)^2 \right]}} \quad (2-3)$$

قدرت خروجی خالص هر فاز عبارت است از:

$$P_m = I^f r'_1 \left(\frac{1-s}{s} \right) \quad (3-3)$$

بنابراین گشتاور الکترومغناطیسی هر فاز عبارت است از:

$$T = \frac{P}{\omega} I^f \frac{r'_1}{s} \quad (4-3)$$

که در آن P معرف زوج قطبها، و $(2\pi f) = \omega$ فرکانس زاویه‌ای است.
شرایط ایده‌آل در راهاندازی یک موتور القایی وجود جریان تهاجمی^۱ کم است و منظور از آن
عبارت است از:

- ۱ - داشتن درصد تنظیم مناسب برای ولتاژ تغذیه.
- ۲ - داشتن گشتاور زیاد برای آنکه هرجه سریعتر بار شتاب بگیرد و به سرعت پایدار عادی خود برسد.

۳ - داشتن ضریب قدرت بیشتر برای محدود کردن ولت آمپر موتور بهمازای قدرت دلخواه،
بررسی روابط فوق برای راهاندازی، به ازای $s = 1$ نشان می‌دهد که جریان مقدار بیشینه
و ضریب قدرت مقدار کمینه را دارا است. گرچه جریان زیاد باعث افزایش گشتاور راهاندازی
می‌شود ولی بیشینه شدن مقدار لغزش در مخرج رابطه گشتاور باعث کاهش مقدار گشتاور
راهاندازی (به ازای مقدار ثابت مقاومت گردانه) می‌شود. این مقادیر با شرایط ایده‌آل راه اندازی
مذکور وق نمی‌دهد ولی آنها برای موتورهای کوچک تا قدرت چند اسب بخار قابل تحمل هستند.
این مشخصه‌های نامطلوب موقعی ظاهر می‌شوند که موتور مستقیماً به منبع تغذیه اتصال یابد،
یعنی راهاندازی به روش اتصال مستقیم به خط^۲ باشد و تغییر آنها با افزودن بعضی از عناصر



الکترونیک قدرت

۸۰

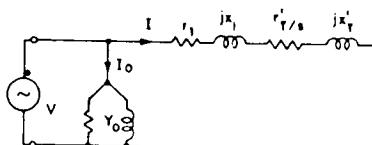
مداری به منظور کنترل مشخصه‌های فوق و نزدیک شدن به شرایط ایده‌آل راهاندازی امکان‌پذیر است.

راهاندازی موتورهای کوچک با روش راهاندازی اتصال مستقیم به خط دارای چند مزیت است. اولاً روش ساده و ارزانی است و ثانیاً جریان راهاندازی زیاد به مفهوم حداقل تأخیر در رسیدن موتور به سرعت نرمال است. راهاندازی اتصال مستقیم به خط در موتورهای بزرگ ممکن است اثرات نامطلوب متعددی داشته باشد. اولاً جریان بینهایت زیادی که از منبع تغذیه کشیده می‌شود، ایجاد فلت ولتاژی بر روی منبع تغذیه می‌کند، که باعث تضعیف نور و یا چشمک زدن لامپها می‌شود که از نظر مصرف کننده‌های خانگی و صنعتی محلی غیرقابل تحمل است، ثانیاً اگر به عنوان مثال چند موتور با هم شروع به کار کنند جریان راهاندازی آنها ممکن است از حد ظرفیت کابل تغذیه کننده بیشتر شود، در نتیجه وسائل حفاظتی شروع به کار و منبع تغذیه را قطع می‌کنند. ثالثاً جریان راهاندازی زیاد در موتورهای بزرگ به خاطر زیاد بودن گشتاور لختی (مان اینرسی)^۱ مدت زمان بیشتری نسبت به موتورهای کوچک ادامه خواهد یافت. جریان راهاندازی معمولاً در حدود ۶ برابر جریان بار کامل موتورها است. عبور این جریان زیاد برای هر مدتی که باشد باعث ایجاد حرارت در سیم پیچهای می‌شود و ممکن است عایق بندی آنها را که از آسیب‌پذیرترین قسمتهای این نوع ماشینها هستند خراب کند.

به منظور رفع معایب حاصل از جریانهای خیز بالا، بایستی جریان را با کاهش ولتاژ اعمال شده به موتور و یا با افزایش امپدانس به مدار برای مدت کوتاه راهاندازی، محدود کرد. روش‌های راهاندازی عبارتند از:

- (۱) راهاندازی اتصال مستقیم به خط
 - (۲) راهاندازی با مقاومت ایستانه (استاتور)
 - (۳) راهاندازی با اتوترانسفورماتور
 - (۴) راهاندازی ستاره – مثلث
 - (۵) راهاندازی با موتور القایی قفس سنجابی (تغییر شکل هادیهای گردانه یا گردانه دو قفسی)
 - (۶) راهاندازی با مقاومت گردانه (روتور)
 - (۷) راهاندازی با کنترل تیریستوری
- روشهای راهاندازی (۱) تا (۶) روشهای معمولی است که می‌توان آنها را در کتابهای (مدون) استاندارد ماشینهای الکتریکی (مرجع ۱) به تفصیل مطالعه کرد. از تیریستور می‌توان برای کاهش جریان راهاندازی و افزایش گشتاور راهاندازی استفاده کرد.

کنترل موتورهای القابی

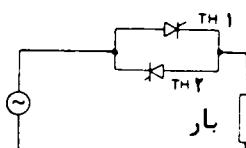


شکل ۱-۳ مدار معادل موتور القابی

۱-۲-۳ راه اندازی تیریستوری

تیریستور کلیدی است که می‌تواند با انرژی بسیار کم، قطع و یا وصل شود و در ضمن تیریستور قادر قسمتهای متغیر است. کاربرد تیریستور به عنوان کلیدهای قطع و وصل و یا در وارونکرها (معکوس کنندها) قطع و وصل قدرتهای زیاد کاملاً آشکار است و بازده زیاد یکی از مهمترین مزایای تیریستور است.

موتور القابی که احتیاج به وسائل مخصوص راماندازی ندارد و جریان راماندازی آن به شش یا هفت برابر جریان بار کامل نرسد دارای ایده‌آل‌ترین وضعیت است. کاربرد مدارهای تیریستوری در جریانهای زیاد و کوتاه مدت با اینکه می‌تواند جریانها را تا حد قابل قبولی محدود سازد، ولی غیر اقتصادی است. سیستمی که احتیاج به وسائل راماندازی اضافی نداشته باشد سیستمی است که به کنترل سرعت در یک گستره وسیعی محتاج است و بنا بر این کاربردیک وارونکر فرکانس متغیر^۱ ضرورت خواهد داشت. در موقع راماندازی، فرکانس را در کمترین حد ممکن تنظیم می‌کنند و چون سرعت متناسب با فرکانس است سرعت سنکرون نیز کم می‌شود. کنترل افزایش فرکانس باعث تنظیم سرعت چرخشی^۲ می‌شود و خیزهای جریان را محدودی کند. در هر حال، اگر موتور القابی برای محركهای سرعت ثابت مورد استفاده قرار گرفته باشد یک کلید تیریستوری ساده می‌تواند به سادگی راماندازی را کنترل کند.



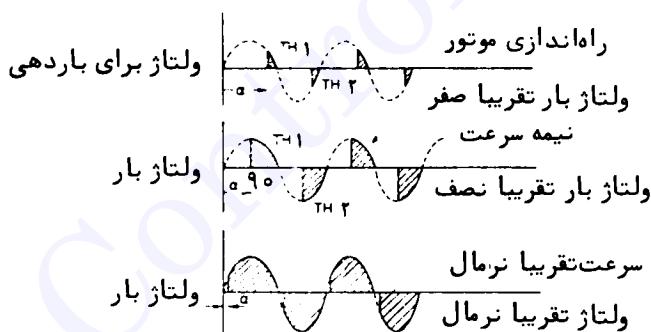
شکل ۲-۳ تنظیم کننده ولتاژ تکفار

شکل ۳-۲ تنظیم کننده ولتاژ جریان متناوب تکفار را برای راماندازی موتور القابی نشان می‌دهد. چون تیریستور در یک جهت جریان را از خود عبور می‌دهد، لذا دو تیریستور

الکترونیک قدرت

۸۲

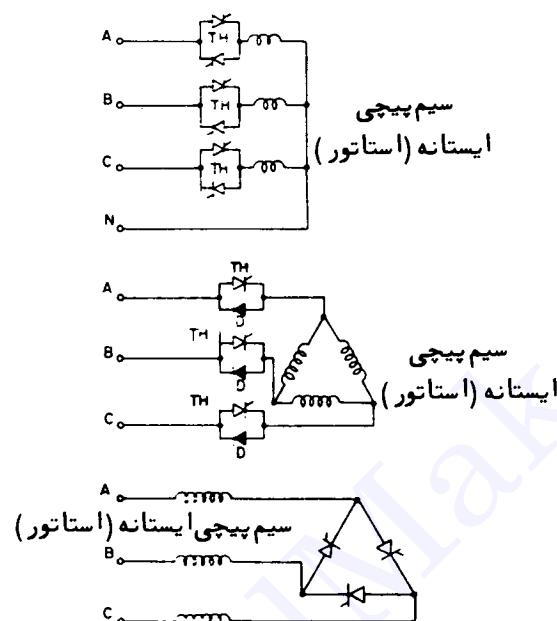
اتصال موازی معکوس برای عبور جریان در دو جهت مختلف به کار بردشده است. ولتاژ ورودی مدار ثابت است ولی ولتاژ خروجی با کنترل مدت زمان هدایت تیریستورها قابل تنظیم خواهد بود. تیریستورها متناوباً و به تقارن نسبت به شکل موج ورودی روش می‌شوند. فرمان روش شدن تیریستور طبق شکل ۳-۳ در نقاط قابل تنظیمی از سیکل موج ورودی به دریچه اعمال می‌شود. این روش فرمان و تنظیم ولتاژ را جابه‌جاگی فاز نامند. زاویه آتش تیریستورها از ۱۸۰ درجه شروع به کاهش می‌کند تا ولتاژ کمتری برای راماندازی موتور اعمال کند، و در سرعت کامل موتور و موقعی که ولتاژ پایانهای موتور به مقدار اسمی برسد، به صفر درجه می‌رسد. وظیفه اصلی این کلید تیریستوری محدود کردن جریان توسط کنترل مقدار متوسط دامنه ولتاژ اصلی است. با این مدار مقادیر جریان قابل پذیرش را بدون اتلاف انرژی زیاد می‌توان برقرار کرد. بعضی از مدارهای سه فاز کنترل ولتاژ با جابه‌جاگی فاز در شکل ۳-۴ نشان داده شده است. برای سیستم سه فاز چهار سیمه تیریستورهای اتصال موازی معکوس مورد نیاز است ولی برای سیستم سه فاز سه‌سیمه، دیودها می‌توانند جایگزین یکی از زوج تیریستورها شوند. و بنابراین فقط سه تیریستور مورد استفاده قرار خواهد گرفت.



شکل ۳-۳ تغییرات ولتاژ توسط جابه‌جاگی فاز

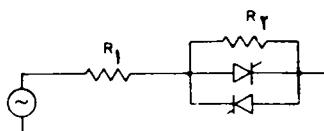
زوج تیریستورهای اتصال موازی معکوس را می‌توان به صورت امپدانس متغیری در نظر گرفت. امپدانس آنها موقعی که زاویه آتش از صفر به 180° تغییر می‌یابد به ترتیب از صفر تا بینهایت افزایش خواهد یافت. این امپدانسهای افزایی را می‌توان با افزودن عنصر دیگری قابل تنظیم کرد. به عنوان مثال در شکل ۳-۵ امپدانس معادل مدار رامی‌توان بین مقادیر $R_1 + R_2$ (به آرامی تغییر داد. این مدار را می‌توان به عنوان مقاومت متغیر برای راماندازی مقاومت ایستانهای (به طور سری با استاتور) با سیم پیچی ایستانه سری کرد. برای کنترل بهتر گشتاور می‌توان مدار مشابهی را در مدار گردانه (روتور) موتور القایی قرار داد.

کنترل موتورهای القابی



شکل ۳ - ۴ مدارهای کنترل ولتاژ سه فاز

روش راهاندازی اخیر مشکلات زیادی نسبت به روش راهاندازی قبل از آن از نظر روش کردن تیریستورها دقیقا در نقاط معینی از سیکل ایجاد می‌کند، زیرا که این جا بایدلغزش فرکанс سیکل آشکار شود.

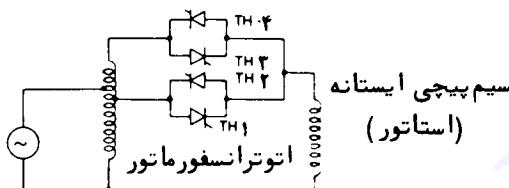


شکل ۳ - ۵ امپدانس غیر خطی متغیر

موقعی که تیریستورها به طور کامل هدایت نمی‌کنند شکل موج اعوجاج پیدا می‌کند. در صد هارمونیکهای افزایش زاوید آتش تیریستورها افزایش خواهد یافت. این هارمونیکهای بدون افزایش انرژی مکانیکی تولید حرارت اضافی در بار مصرفی خواهند کرد. ضریب قدرت حقی در بار اهمی نیز اکام است و با کاهش ولتاژ خروجی تقلیل بیشتری خواهد یافت. شیوه‌ای که اعوجاج سیار کمتری به همراه دارد استفاده از تنظیم کننده‌های کامل اتوترانسفورماتوری طبق شکل ۳ - ۶ است، که فقط یک فاز در آن نشان داده شده است. راهاندازی موتور القابی

الکترونیک قدرت

در ولتاژ کمی با شکل موج سینوسی خوبی، در صورت هدایت کامل تیریستورهای TH_1 و TH_2 انجام پذیر خواهد بود. در سرعتهای بالاتر ترتیب کلیدزنی بایستی طوری باشد که تیریستورهای TH_1 و TH_2 را روشن کند، تا ولتاژ بیشتری به سیم پیچیها اعمال شود و تیریستورهای TH_1 و TH_2 را خاموش کند.



شکل ۳-۶ راه اندازی با اتوترانسفورماتور

شکل ۳-۶ اصول کلی راه اندازی با اتوترانسفورماتور را نمایش می دهد. دو مثال عملی (مرجع ۲) دو شیوه رامشخص می کند که در آن تیریستور در تعویض محل انشعاب^۱ ترانسفورماتور به منظور تنظیم ولتاژ برای راه اندازی موثر است. یک مثال مربوط به کاربرد انشعاب تعویض کن مکانیکی معمولی است که در آن از تیریستور فقط در طی تعویض محل انشعاب استفاده می شود. جرقه را در این روش می توان از بین برد زیرا تیریستورها می توانند جریان را از اتصالها^۲ در طی فرآیند قطع و وصل^۳ منحرف کنند. مثال دوم عبارت است از جایگزینی انشعاب تعویض کن مکانیکی با واحدهای تیریستوری که در این صورت قسمتهای متحرک وجود نخواهد داشت.

یک کلید مکانیکی در شکل ۳-۶ نشان داده شده است. برای راه اندازی موتور القایی، کلید اتصال ۲ را اتصال کوتاه می کند. از میان دو ولتاژ آن که پایین تراست، به فاز سیم پیچی ایستانه (استاتور) اعمال می شود، لذا جریان راه اندازی از مقدار قابل قبولی تجاوز نخواهد کرد. بعد از اینکه موتور القایی سرعت گرفت کلید از طریق اتصالهای ۲، ۲۱، ۱ به اتصال ۱ انتقال می یابد و ولتاژ بالاتر وارد عمل می شود و موتور با قدرت کامل اسمی خودبار را به حرکت در می آورد.

زمانی که اتصالهای ۲ اتصال کوتاه بودند فقط دریچه تیریستورهای TH_5 و TH_6 دارای علایمی بودند [یعنی روشن بودند]. در طول مراحل تغییر کلید [از ۲ به ۱] اتصال ۲ مدار باز و کلید فقط به ۲ وصل می شود. عبور جریان در بار همچنان از طریق مسیری که توسط تیریستور TH_5 و TH_6 مهیا شده بود ادامه پیدا می کند. در مسیر مذکور موقعی که اتصال ۲ باز

کنترل موتورهای القابی

می شود جرقه توسط تیریستورها به حداقل ممکن می رسد . در این هنگام علایم دریچه تیریستورهای TH_6 و TH_5 برداشته می شود در اولین مرحله که جریان به صفر نزول می کند تیریستورها خاموش می شوند و جریان بار از طریق مقاومت R_p عبور می کند . حال علائم دریچه به تیریستورهای TH_4 و TH_3 اعمال می شود تا موقع اتصال کوتاه اتصالهای ۲ و ۱ جرقه به حداقل ممکن برسد (اتصالهای ۲ و ۱ قبل از اتصال به هم توسط کلید ، دارای پتانسیل های متفاوتی هستند) . امپدانس نشتی اتوترانسفورماتور بین انشعابها ، مركب از مقاومتهای R_1 و R_2 جریان دورانی را محدود می کند . با باز شدن اتصال ۲ تیریستورهای TH_4 و TH_3 جرقه را به حداقل ممکن کاوش می دهند . پس از باز شدن اتصال ۲ علائم دریچه TH_4 و TH_3 برداشته شده و این تیریستورها در جریان صفر بعدی قطع و خاموش می شوند . کلید در این مرحله فقط به اتصال آآ اتصال می یابد و جریان بار از طریق مقاومت R_p از انشعاب کپوی ولتاژ زیادتر عبور خواهد کرد . تیریستورهای TH_2 و TH_1 روش می شوند تا جریان بار را حمل کنند و موقع اتصال کوتاه اتصالهای ۱ و ۰ جرقه را به حداقل ممکن برسانند . سرانجام جریان مستقیما از انشعاب کپوی ولتاژ زیادتر از طریق اتصال ۱ عبور می کند ولی علائم دریچه تیریستورهای TH_1 و TH_2 برای آمادگی تغییر محل انشعاب بعدی به طور مداوم اعمال می شوند .

به علت اینکه کلیدهای مکانیکی جریان های خطأ و اضافه ولتاژها را در طی کار عادی خود حمل می کنند ، حفاظت کمی برای تیریستورها مورد احتیاج است . در هر حال برای حفاظت در مقابل تغییرات dV/dt گذرا و ولتاژ انشعاب پیکی که به طور مکانیکی کلیدزنی می شود ، بایستی یک مدار RC در مدار اتصال یابد .

دومین مثال عملی شامل ترانسفورماتوری است که جعبه دندنه تعویض محل انشعاب آن معمولی نیست بلکه سیم پیچی ثانویه ترانسفورماتور حاوی تعدادی پیچکهای مستقل و جدا از هم است . هر تعدادی از این پیچکها را می توان برای تهییه ولتاژ مورد لزوم به طور سری اتصال داد . اتصالات از طریق روش کردن به موقع و صحیح تیریستورها عملی می شوند . شکل ۳ - ۸ پنج پیچک را در ثانویه نشان می دهد که می توان با آرایش دو تائی آنها ، ۳۱ مقدار مختلف ولتاژ تولید کرد . بنابراین ولتاژ خروجی از مقدار ۷ تا ۳۱ برابر با قدرنسبت ۷ قابل تغییر خواهد بود . برای بدست آوردن ۱۲ ولت برای نیم سیکل مثبت بایستی تیریستورهای ۱ ، ۵۴ ، ۵۳ ، ۵۲ و ۵ روش و بقیه خاموش باشند و برای نیم سیکل منفی تیریستورهای ۰ ، ۵۴ ، ۵۳ ، ۵۲ و ۵ روش و بقیه خاموش باشند .

زوج تیریستورهای در حال هدایت که با پیچکها سری شده اند ولتاژها را قادر می سازند نا در ایجاد ولتاژ در خروجی سهیم شوند . درحالی که زوج تیریستورهای در حال هدایت موازی

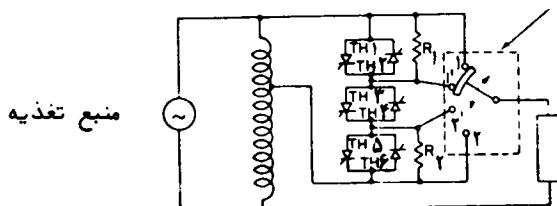
الکترونیک قدرت

شده با پیچکها ، ولتاژهای منبع تغذیه را غیر سهیم می سازند . هیچکدام از زوج تیریستورهای سری و موازی با یک پیچک نبایستی دریک زمان هدایت کنند .

یک تریاک یا یک تیریستور تکی بسته شده بهدو سر یک پل دیودی ، می تواند مطابق شکل

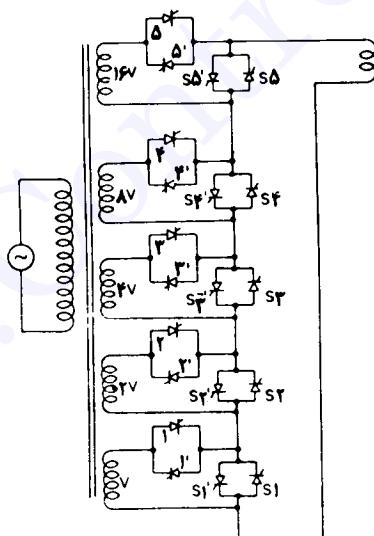
۳ - ۸ جایگزین زوج تیریستورهای مدارشوند . کاربرد تریاک بستگی به دامنه تغییرات dV/dt گذارا دارد و استفاده از پل یکسو کننده دیودی بستگی به قیمت مقایسه ای آن با تیریستور دارد .

انشعاب تعویض کن مکانیکی



شکل ۳ - ۷ انشعاب تعویض کن مکانیکی

سیم پیچی شکاف
ایستانه (استاتور)

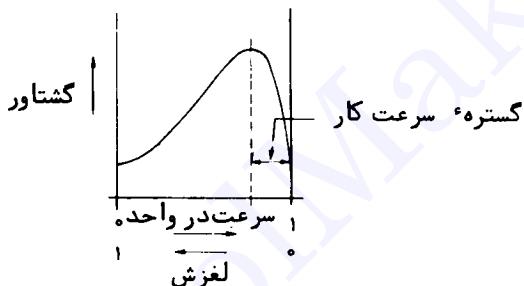


شکل ۳ - ۸ ترانسفورماتور چند سیم پیچی برای تغییرات ولتاژ

کنترل سرعت موتور القایی

۳ - کنترل سرعت موتور القایی

موتور القایی به علت محکم بودن و ساخت نسبتاً ساده و ارزان آن یک محرک با موارد استعمال عمومی است. شکل ۳ - ۹ منحنی مشخصه گشتاور - سرعت یک ماشین معمولی بازده بالایی را که از یک منبع تغذیه ولتاژ ثابت و فرکانس ثابتی تغذیه می‌شود نشان می‌دهد. گستره^۱ سرعت از بی‌باری تا باری که موتور را از حرکت بازمی‌دارد تقریباً فقط ده درصد سرعت سنکرون است. در نتیجه این ماشین اساساً یک موتور سرعت ثابت است. لکن بنابراین دلایل سادگی موتورهای القایی و موارد استعمال مخصوص آنها، روش‌های متعددی برای تنظیم سرعت موتور القایی پیدا شده است.



شکل ۳ - ۹ منحنی مشخصه سرعت بر حسب گشتاور یک موتور القایی

روشهای کنترل سرعت موتورهای القایی مبتنی بر تنظیم ولتاژ ایستانه و گردانه، تعویض تعداد قطبها و تغییر فرکانس منبع تغذیه است. روش‌های کنترل سرعت، توسعه روش‌های راه - اندازی هستند ولی آنها را می‌توان به صورت زیر تقسیم‌بندی کرد:

(۱) فرکانس منبع تغذیه

(۲) تعویض تعداد قطبها (مدوله کردن دامنه قطب^۲)

(۳) تغییرات ولتاژ منبع تغذیه (یا امپدانس اضافی در ایستانه)

(۴) ولتاژ تزریق شده به گردانه

(۵) مقاومت گردانه (روتور)

(۶) اتصال زنجیرهای موتورها^۳

(۷) موتورهای جابه‌جاکن دار

(۸) سیستمهای تیریستوری

روشهای هفتگانه اول روش‌های معمولی کنترل سرعت است که در اکثر کتابهای ماشینهای

الکترونیک قدرت

۸۸

الکتریکی تشریح شده‌اند. سیستم‌های تیریستوری تشریح شده در این فصل شیوه‌های کنترل دیگری را پیشنهاد می‌کنند لکن اصول کلی بدون تغییر می‌مانند.

۳ - ۳ - ۱ سیستم‌های تیریستوری کنترل سرعت

تیریستورها یکی از مهمترین عناصر در کنترل موتورهای القایی هستند و مدارها یا شیوه‌هایی که از آنها استفاده می‌کنند متعددند. در ابتدا برای کنترل موتورهای القایی اغلب از مدارهای تیراترونی زیادی استفاده می‌شد، ولی کاربرد نیمه‌هادیها و مدارهای ساخته شده با آنها، چنان تفاوت‌ها و مزایایی نسبت به مدارهای لامپی دارد که هم‌اکنون مدارهای نیمه‌هادی اکثراً جایگزین مدارهای لامپی شده‌اند.

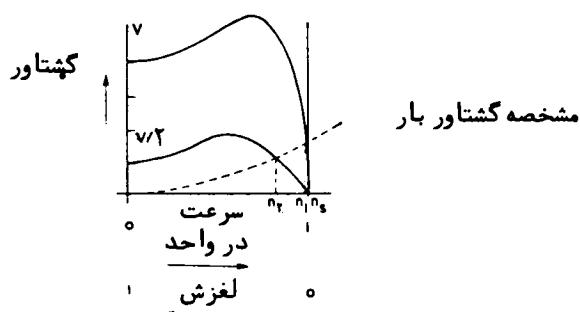
وجه تشابهی بین بعضی از روش‌های راهاندازی و بعضی از شیوه‌های کنترل سرعت وجود دارد و تعجب‌آور نیست اگر گفته شود که مدارهای ساخته شده برای یکی، قابل توسعه برای دیگری نیز هست.

(الف) گلید جریان متناوب

گلید جریان متناوب نیمه‌هادی در مهندسی قدرت شامل دو تیریستور اتصال موازی معکوس، یا یک تیریستور بسته شده به دو سر یک پل دیودی و یا یک تریاک است. وظیفه اصلی این گلید قابل کنترل کردن ولتاژ و روودی مotor القایی است. دو روش برای کنترل و تنظیم ولتاژ توسط گلید وجود دارد. روش اول کنترل فاز با روشن شدن گلید است. و روش دوم اتصال پایانه‌های موتور از یک گروه از سیم پیچی‌های یک ترانسفورماتور به گروه دیگر آن، شبیه عمل تعویض انشعاب است.

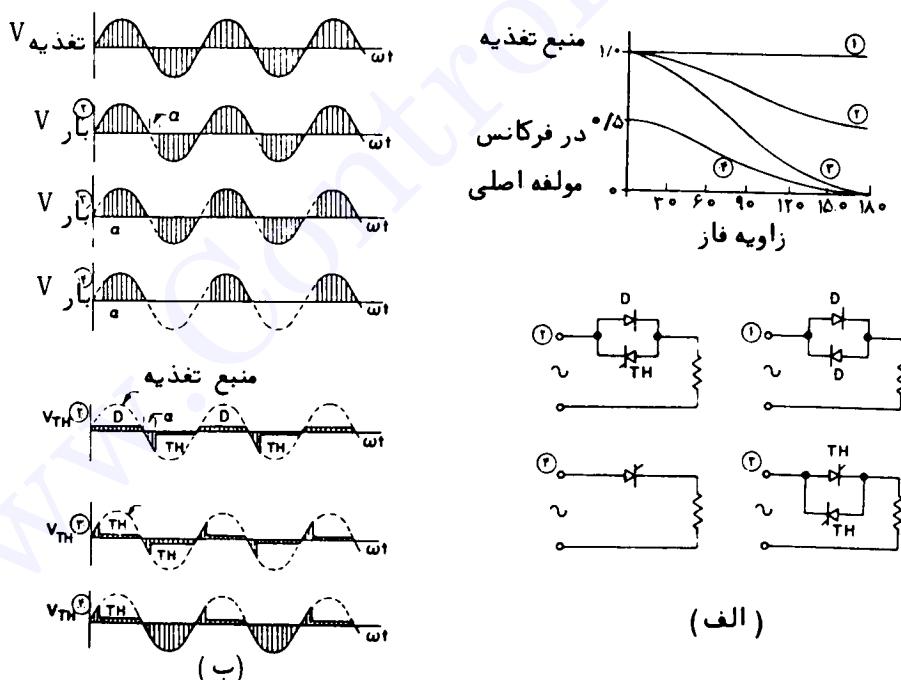
گشتاور راهاندازی موتور القایی متناسب با مجدور ولتاژ اعمال شده است. منحنی‌های گشتاور - سرعت متعارفی^۱ برای ولتاژ اسمی و نصف ولتاژ اسمی طبق شکل ۳-۱۵ است که تغییرات سرعت را برای بار معینی نشان می‌دهد. حدود تغییرات سرعت زیاد نیست ولی روش دستیابی این تغییر سرعت ساده است.

از تنظیم کننده‌های ولتاژ جریان متناوب تیریستوری که در قسمت ۳-۲-۱ آمده است می‌توان عیناً در راهاندازی موتورهای القایی برای تغییر مقدار سرعت حالت پایدار نیز استفاده کرد. مدارهای نشان داده شده در شکل‌های ۳-۲-۸، با منظور مشابهی مانند تغییر ولتاژ منبع تغذیه، افزودن امپدانس به مدار ایستاندیاگردانه مورداً ستفاده قرار می‌گیرند. مدار شکل ۳-۶ ولتاژ موتور را فقط از نظر دامنه تغییر می‌دهد و به صورت یک انشعاب تعویض‌کن‌بی اتصال آن عمل می‌کند.



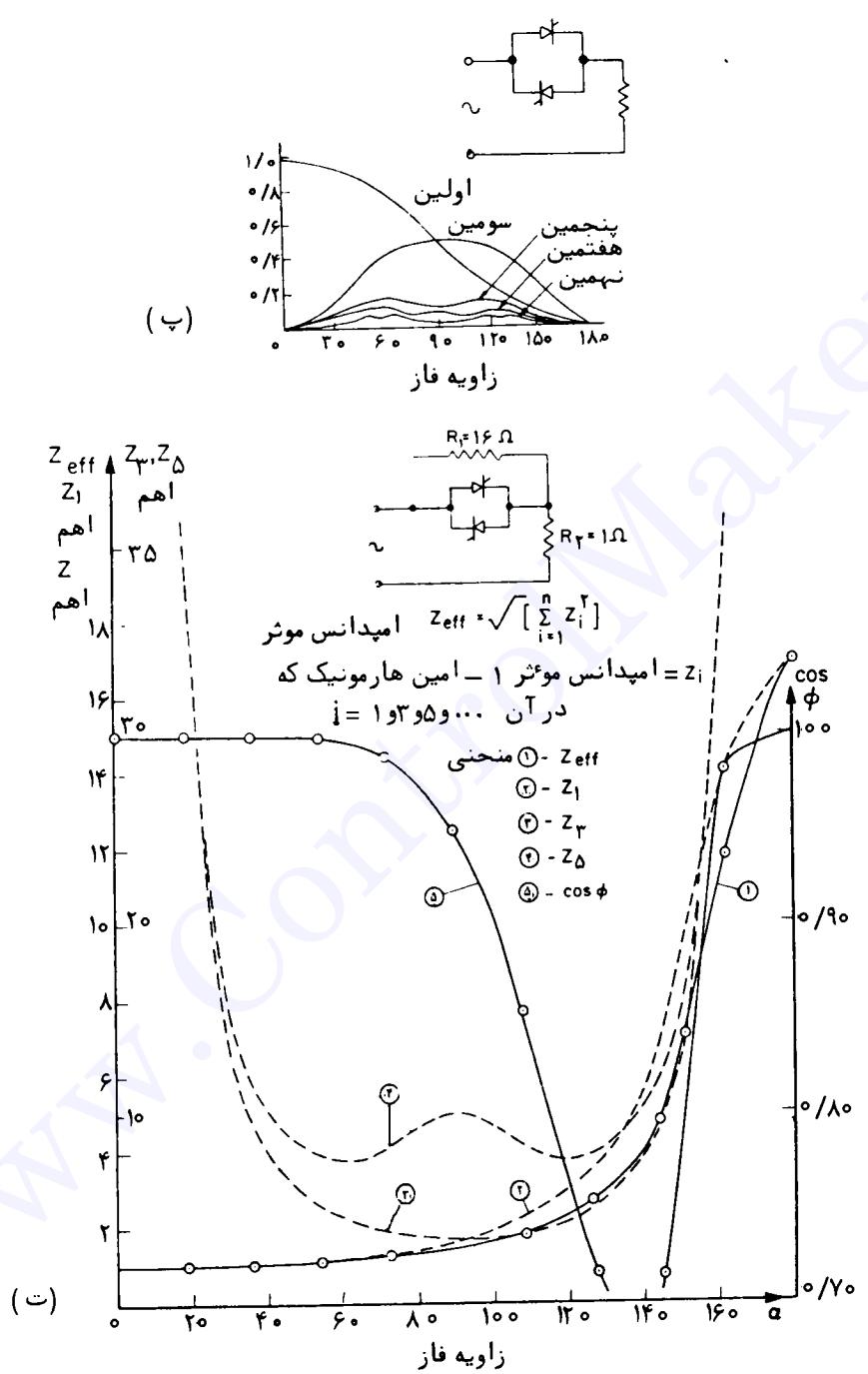
شکل ۳ - ۱۰ منحنی گشتاور- سرعت برای ولتاژهای اعمال شده مختلف

شکل موج ولتاژ در خروجی این مدارها سینوسی باقی می‌ماند، در حالی که تنظیم کننده کنترل زاویه فاز ضریب قدرت و هارمونیکهای بازاویه فاز آتش α ، به نحوی که در شکل ۳ - ۱۱ (الف)، (ب)، (پ)، و (ت) نشان داده شده است و به شرطی که امپدانس بار اهمی باشد، تغییرمی‌کند.



الکترونیک قدرت

۹۰

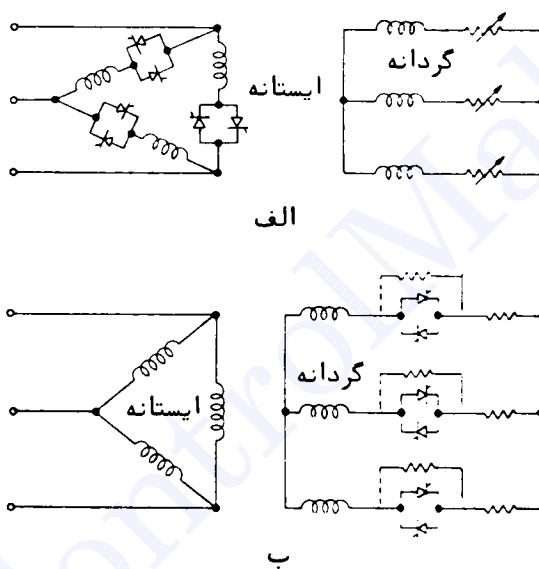


شکل ۳-۱۱ مشخصه‌های تنظیم‌کننده جریان . (الف) ولتاژ بار اصلی؛ (ب) شکل موجه‌ای ولتاژ؛ (پ) هارمونیکهای تنظیم‌کننده موج کامل؛ (ت) تغییرات امپدانس موثر و ضریب قدرت.

۹۱

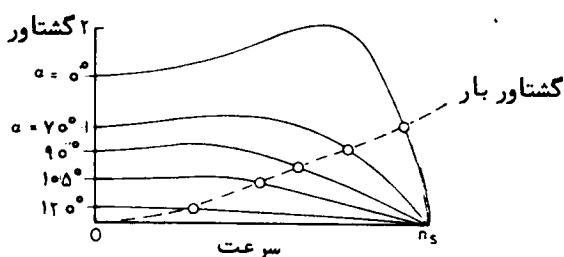
کنترل موتورهای القایی

این شکلها معرف تلفاتی است که از وجود هارمونیکهای بالاتر ناشی می‌شود، ولی سادگی و ارزانی این روش برای گستره کوچکی از سرعت مزایایی است که روش‌های دیگر فاقد آن هستند. مدارهای نمونه‌ای برای موتورهای القایی سه‌فاز با گردانه (روتور) سیم‌بیجی شده در شکل ۱۲-۳ نشان داده شده است. مدار (الف) را می‌توان به سادگی در موتورهای القایی قفس سنجابی نیز به کار برد. منحنی‌های گشتاور-سرعت را می‌توان طبق شکل ۱۳-۳ نشان داد که این منحنی‌ها در حالتی که تنظیم کننده هم در مدار باشد به مقاومت گردانه بستگی دارد.



شکل ۱۲-۳ مدارهای کنترل سرعت متعارف

تنظیم با کنترل فاز، در مدار گردانه به مراتب مشکلتر از مدار ایستانه (استاتور) است، زیرا در این جا مدارهای فرمان به موج سینوسی مرجعی در فرکانس لغزش احتیاج دارند. هرچند که از سیستمی با کمی تفاوت و بدون نیاز به موج سینوسی با فرکانس لغزش نتایج مشابهی می‌توان به دست آورد. شکل ۳-۱۴ این سیستم را طرح وار نشان می‌دهد. قدرت لغزشی از گردانه، از طریق یکسوسازی به جریان مستقیم تبدیل می‌شود. مقدار مقاومت مابین حلقه‌های لغزان گردانه از مقدار صفر تا R بسته به میزان سرعت کلیدزنی تیریستور، تغییر خواهد کرد. مدار احتیاج به یک تیریستور اصلی و یک تیریستور کمکی برای خاموش کردن دارد. یکی دیگر از مزایای این مدار در این است که فقط یک مقاومت است که تعادل کامل مدار را بین فازها ایجاد می‌کند. ولی وجود تلفات در روش‌های کنترل مقاومتی قدرت موتورهای محرک را تا مثلاً "۱۰۵ کیلووات محدود



شکل ۳-۱۳ منحنی های نمونه گشتاور - سرعت برای زاویه فازهای (α) مختلف

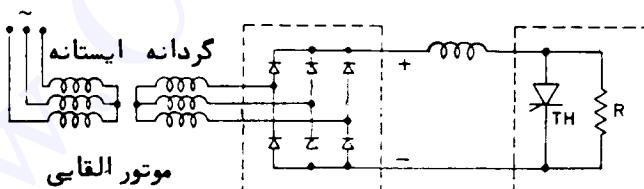
می کند . ولتاژهای پایین به علت اینکه انرژی ذخیره شده در خازنهای جا به جایی کم است مشکلاتی برای خاموش کردن تیریستور ایجاد می کند بنابراین در مراحل طراحی دقت مخصوصی برای این مدار مورد احتیاج خواهد بود .

تمرین حل شده ۳ - ۱. یک مدار ساده تنظیم کننده جریان متناوب تیریستوری برای موتور

القایی تک فاز $\frac{1}{3}$ اسب بخار ۲۲۰ ولتی طرح و مشخصه های سرعت آن را تعیین کنید .

موتور القایی تک فاز را می توان با هر کدام از تنظیم کننده های مذکور در فوق مجهز کرد تا با کنترل ولتاژ ورودی آن تاحدود معینی سرعتش کنترل شود . شکل ۳ - ۱۵ یکی از روش های مذکور را با مدار دریچه ساده ای نشان می دهد .

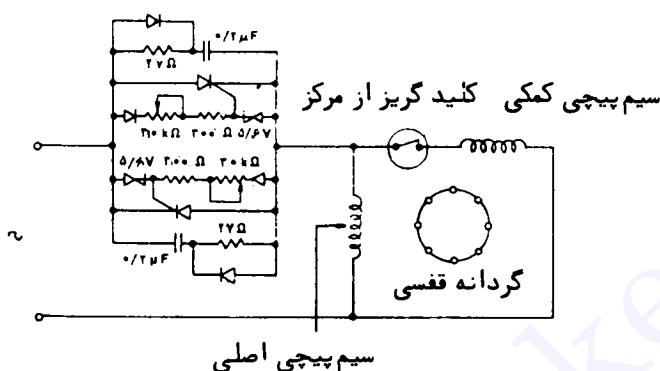
مشخصه های موتور عبارتند از : ۲۲۰ ولت ، $\frac{1}{3}$ اسب بخار ، چهار قطب ، ۵۰ هرتز ، جریان راه اندازی ۸ آمپر و کلید گریز از مرکز با سرعت ۹۰۰ دور در دقیقه بازمی شود .



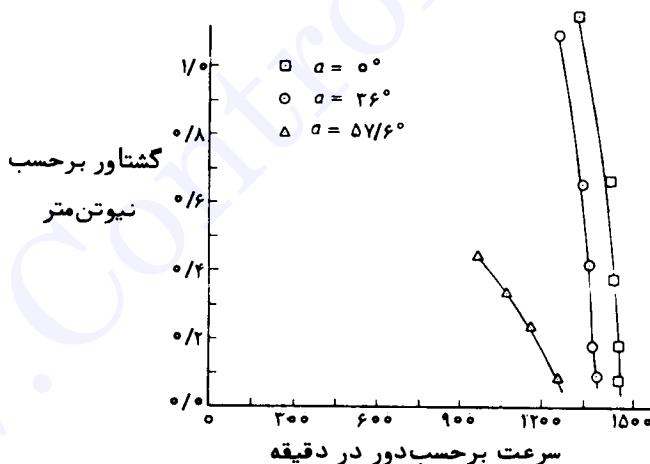
متوسط مقاومت از صفر تا R مبدل (واگردان)

شکل ۳ - ۱۴ مقاومت متغیر گردانه توسط کنترل پالس

کنترل فاز محدود به ۹۰ درجه برای هر نیم سیکل است و این برای ماشینهای کوچکی که با سیم پیچی کمکی راه اندازی می شوند و با یک سیم پیچی اصلی می چرخند کاملا رضایت بخش است . منحنی های گشتاور - سرعت برای این مثال طبق شکل ۳ - ۱۶ است .



شکل ۳ - ۱۵ یک تنظیم کننده ولتاژ ساده برای موتور : ۲۲۰ ولتی - ۲/۲۵ آمپری - $\frac{1}{4}$ اسب - بخار چهار قطب ۵۰ هرتز با جریان راه انداز ۸ آمپر و کلید گریز از مرکزی که در ۹۰۰ دور در دقیقه باز می شود .



شکل ۳ - ۱۶ تغییرات سرعت برای موتور القابی تک فاز $\frac{1}{4}$ اسب بخار

مثال فوق نشان می دهد که تغییر زاویه فاز بیشتر از ۹۰ درجه برای هدایت لزومی ندارد . حدود تغییرات سرعت به علت وجود سیم پیچی فاز کمکی 1 فقط بین ۹۰۰ تا ۱۴۵۰ دور در دقیقه



الکترونیک قدرت

۹۴

است؛ این تغییرات سرعت در داخل زاویه فار صفر تا ۶۰ درجه عملی می‌شود.

(ب) وارونگرها (تبديل جريان مستقيم به جريان متناوب)

وارونگرها قادرند منبع تغذیه جریان مستقیم یا جریان متناوب فرکانس ثابتی را به منبع تغذیه جریان متناوبی با یک یا چند فرکانس متفاوتی تبدیل کنند. تبدیل قدرت از میلیوات نا مکاوات را می‌توان با وارونگرهای تیریستوری، که جایگزین اکثر ماشینهای الکتریکی چرخان مبدل فرکانس شده‌اند، به انجام رسانید.

سرعت سنکرون موتور القایی که همان سرعت چرخش موج نیروی محرکه مغناطیسی mmf در فاصله هواپی است عبارت است از:

$$n_s = \frac{f}{p} \text{ دور در ثانیه}$$

که در آن f فرکانس منبع تغذیه (برحسب سیکل در ثانیه یا هرتز) و p تعداد زوج قطبها موتور است. سرعت واقعی گردانه موتور با مشخصهای شبیه شکل ۳-۹ نزدیک به سرعت سنکرون است و با نوسان بار تغییر قابل توجهی نمی‌کند. بنابراین با تعداد قطبها ثابت تغییر در فرکانس منبع تغذیه باعث تعویض سرعت سنکرون و درنتیجه متناوب با آن تغییر در سرعت واقعی گردانه ایجاد خواهد شد.

مотор القایی به منظور کار در چکالی فلوی مغناطیسی معینی طراحی می‌شود و چون گشاور الکترومغناطیسی متناوب با فلوی مغناطیسی است، داشتن فلوی مغناطیسی نسبتاً زیادی بدون نزدیک شدن به ناحیه اشباع، مورد لزوم است. انتخاب قسمت زانوی منحنی مغناطیسی به منظور رسیدن به بالاترین مقدار گشاور در کمترین مقدار تلفات، شیوه معمول طراحان ماشینهای الکتریکی است. اگر ولتاژ اعمال شده به مotor را به توان تقریباً برابر نیروی محرکه الکتریکی القا شده فرض کرد، از رابطه نیروی محرکه القا شده نتیجه می‌شود که:

$$V = k \Phi f \quad (5-3)$$

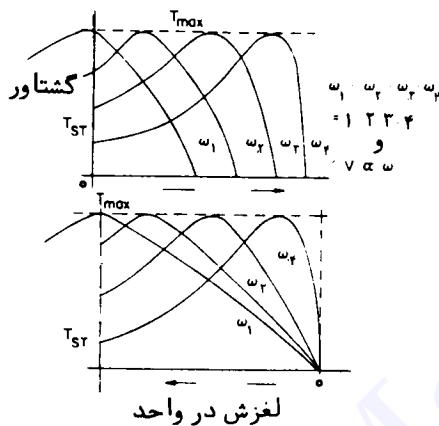
که در آن:

k ضریب ثابتی است که متضمن، ضریب شکل^۱، ضریب سیم پیچی^۲ و تعداد دور سیم پیچی است.

Φ فلوی مغناطیسی بیشینه هر قطب V مقدار موثر ولتاژ اعمال شده به پایانهای موتور

برای ثابت نگهداشتن فلوی مغناطیسی در فرکانسهای مختلف، بایستی ولتاژ اعمال شده به پایانهای موتور القایی متناوب با فرکانس قابل تنظیم شود، به عبارت دیگر همان طوری

کنترل موتورهای القایی
که رابطه (۳-۵) نشان می‌دهد لازم است که نسبت ولتاژ اعمال شده به فرکانس مقدار ثابتی باشد.



شکل ۳-۱۷ مشخصه‌های گشتاور - سرعت و گشتاور -
لغزش موتور القایی برای فرکانس قابل تنظیم.

وارونگرها (معکوس‌کننده‌ها)، موتور القایی قفس سنجایی را از قید اساسی تک سرعتی بودن رها می‌سازند. این موتور دارای مزایای دیگری از قبیل ساخت نسبتاً ساده و ارزان است و احتیاج به اتصالات لغزنده روی حلقوهای لغزان با جایه‌جاکن‌هاندارد. موتورهای القایی که دارای وارونگر فرکانس متغیر به منظور تامین قدرت برای ایستانه هستند، به شرط تنظیم شدن ولتاژ در تناسب با فرکانس مشخصه‌های ایده‌آل شکل ۳-۱۷ را خواهند داشت.

اکنون واحدهای بزرگ موتور القایی تغذیه شده توسط وارونگرها از نظر قیمت، بازده، نگهداری و تنوع با واحدهای جریان مستقیم یا واحدهای جریان متناوب جا به جاکن دار، رقابت شایان توجهی می‌کنند. مطالب ذکر شده جنبه عمومی دارد و بایستی مثالهای متعددی از موارد استعمال ویژه آورده شود تا مزایای خاص سه نوع فوق نسبت به یکدیگر معلوم شود. لکن موتور القایی را به علت سادگی و بادوامی تقریباً می‌توان در هر محل و هرجایی قرار داد. در حالی که وارونگر (معادل جا به جا کن) را می‌توان دریک محل و جایگاه ساکنی، هر جا که مناسب باشد کذاشت، که این خود مزیت بزرگی نسبت به ماشینهای جایه‌جاکن دار است. به این دلیل ساده که دستگاههای الکترونیک قدرت برای موتورهای کوچک نسبتاً کران نعام می‌شوند، استفاده از واحدهای بزرگ تاکیدی شود ولی باید توجه داشت که با افزایش اندازه موتور قیمت وارونگر (معکوس‌کننده) متناسب با آن زیاد نمی‌شود، بلکه کسر کوچکتری از قیمت کلی سیستم می‌شود.

وارونگرها نه تنها می‌توانند در مدار ایستانه قرار گیرند بلکه آنها را می‌توان در مدار

الکترونیکقدرت

گرданه نیز برای جایگزینی با تغییر دهندهای فرکانس گردان قرار داد ، در این صورت سیستم توانایی تولید گشتاور ثابت و یا اسب بخار ثابت در طول مدت تنظیم سرعت توسط کنترل عبور قدرت در دو جهت ، بین مدار گردانه و منبع تغذیه را خواهد داشت .

انواع زیاد مدارهای وارونگر تیریستوری وجود دارد که می توان آنها را با توجه به ترکیب مدار تیریستوری و شیوه جابه جایی ^۱ تیریستور طبقه بندی کرد ، به جرأت می توان گفت که تعداد این مدارها به قدری زیاد است که یک کتاب را به طور کامل پر می کنند . در اینجا شرح کوتاه و جامعی درباره آنها داده می شود و با بحثی در مورد روش‌های طراحی و کاربردهای مختلف وارونگرهای (معکوس کننده‌های) مشابه برای دستیابی به ولتاژ متغیر و فرکانس متغیر جهت تحریک موتورهای القایی دنبال می شود .

(۱) طبقه بندی وارونگرهای

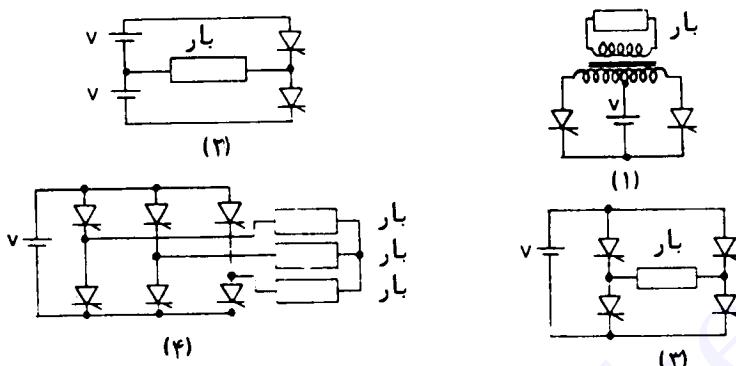
در شکل ۳ - ۱۸ چهار ترکیب اصلی از وارونگرهای نشان داده شده است . برخلاف ترکیب‌های دیگر تنها پلتک فاز ترکیب شماره ۳ احتیاج به بیش از دو تیریستور در هر فاز خواهد داشت . با کلید زنی متوالی تیریستورها می توان علامت ولتاژ دو سر بار را به تنابو ^۲ تغییر داد و جریان متناوبی در بار مصرفی تولید کرد . حتی جایی که منبع تغذیه جریان متناوب از پیش وجود داشته باشد لازم است آن را اول به جریان مستقیم تبدیل کرد و سپس توسط وارونگر به جریان متناوب فرکانس متغیر بزرگداشت . مدارهای واکردان سیکلی ^۳ که در قسمت کنترل ماشینهای سنکرون تشريح خواهند شد ، از این امر مستثنی هستند .

هر کدام از ترکیبات شکل ۳ - ۱۸ حداقل شامل شش شیوه مختلف جابه جایی می باشد که قبلا در فصل ۲ به آنها اشاره شده و در شکل ۳ - ۱۹ تکرار شده است . بنابراین با توجه به تلفیق شکل‌های ۳ - ۱۸ و ۳ - ۱۹ بیست و چهار نوع وارونگر مختلف می توان به دست آورد که تعداد زیادی از آنها را با تغییرات کمی باز می توان به وجود آورد . چون برای هر مورد استعمال وارونگر ، طرح بھینهای وجود دارد ، نحوه انتخاب می تواند مختلف و متنوع باشد . به هر حال کاربرد وسیع وارونگرهای (معکوس کننده‌ها) توسط مثالهای زیر روشن و واضح خواهد شد . اولین مثال ، وارونگر (معکوس کننده) نوع (پ ۱) که در حقیقت عبارت است از نوع (پ) از شکل ۳ - ۱۹ جایگزینی و ترکیب شماره ۱ از شکل ۳ - ۱۸ است .

(۲) وارونگر (پ ۱) برای موتور القایی تک‌فاز

از نظر کارکرد تنها وارونگری که احتیاج به ترانسفورماتور دارد نوع (پ ۱) است ، اگرچه

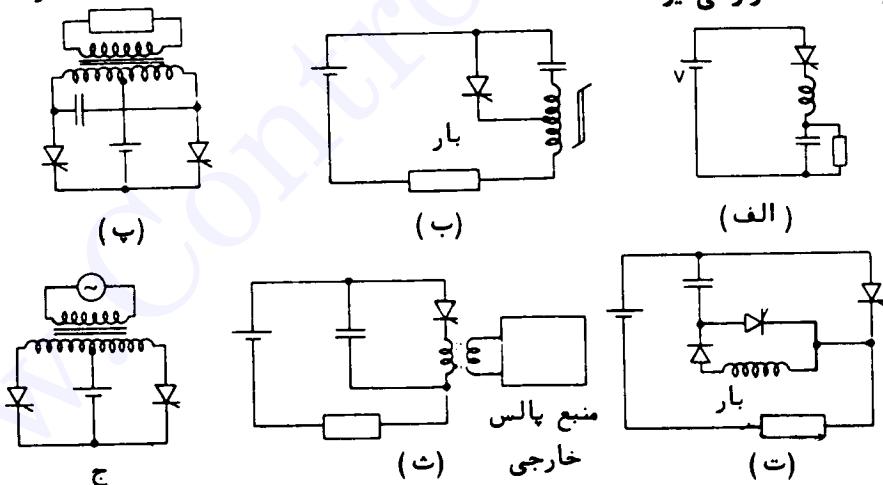
کنترل موتورهای الکتریکی



شکل ۳-۱۸-۳ طبقه‌بندی بنیادی وارونگرها

- (۱) با سیم اتصال سروسط
- (۲) پل تک‌فاز
- (۳) پل سه فاز
- (۴) با منبع تغذیه سروسط

جریان متوسط تیریستور تنها نصف جریان منبع تغذیه است ولی هر تیریستور بایستی قابلیت انسداد دو برابر ولتاژ منبع تغذیه را داشته باشد. این نوع وارونگر (معکوس کننده) به علت مشکلات تغییر فاز برای مدارهای سه فاز مناسب نیست و برای قدرتهای تا حدود ۱۵ کیلو وات مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۱۹-۳ شیوه‌های جابه‌جاشی

- الف - خود جابه‌جاشی توسط بار تشیدی
- ت - خازن باردار متصل به تیریستور کمکی
- ب - خود جابه‌جاشی با مدار LC
- ث - منبع پالس خارجی
- پ - خازن باردار^۲ متصل به تیریستور بار دیگر
- ج - جابه‌جاشی خط جریان متناوب

الکترونیک قدرت

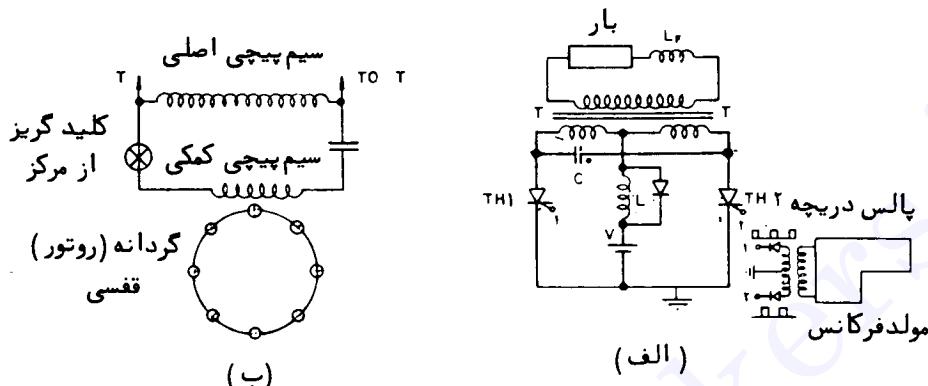
شکل ۳-۲۵ آرایش اساسی اتصالات این نوع وارونگر را نشان می‌دهد. تنها تفاوت بین این مدار و مدار وارونگر نوع (پ ۱) در شکل‌های ۳-۱۸ و ۳-۱۹ این است که در آن سلف جابه‌جایی L اضافه شده است. عمل این سلف جهت دادن به ولتاژ دو سرخازن به منظور تعیین طول زمان جابه‌جایی و به خاطر محدود کردن مقدار تغییرات di/dt است.

دو تیریستور TH_2 و TH_1 به طور متناوب روش می‌شوند تا جریان متناوبی در بار به وجود آید، اما چون منبع تغذیه جریان مستقیم است، خازن C به دو سر سیم پیچی اولیه ترانسفورماتور بسته می‌شود تا انرژی لازم برای خاموش کردن یکی از تیریستورها را موقعی که دیگری شروع به هدایت می‌کند مهیا سازد.

در آغاز کار مدار هیچ جریانی از بار و یا مدار به علت این که تیریستورها مسدود هستند عبور نمی‌کند. مولد فرکانس، پالس جریانی به دریچه تیریستور TH_1 اعمال و تیریستور را روشن می‌کند. حال تمامی ولتاژ منبع تغذیه V روی نصف سیم پیچی اولیه ترانسفورماتور قرار می‌گیرد که بنابراین خاصیت القا الکترومغناطیسی (یا عمل ترانسفورماتوری) بین تمامی سیم پیچی اولیه ترانسفورماتور ولتاژی معادل $2V$ به وجود خواهد آمد. خازن C نیز تا دو برابر ولتاژ منبع تغذیه پرمی شود، به طوری که جوشن نقطه دار [طبق شکل ۳-۲۰ (الف)] حاوی بار مثبت است. تیریستور TH_2 تا زمانی که دومین پالس جریان به دریچه این تیریستور اعمال نشده و آنرا روشن نکرده است در مقابل ولتاژ $2V$ ایستادگی می‌کند. روشن شدن تیریستور TH_2 باعث تخلیه خازن C و بایاس معکوس شدن تیریستور TH_1 و خاموش کردن آن می‌شود، همچنین ولتاژ اعمال شده به سیم پیچی اولیه در اثر روشن شدن تیریستور TH_2 ، سبب تغییر قطبیت سیم پیچی ثانویه می‌شود و سیم پیچی [یا بار] جریان متناوبی از خود عبور می‌دهد. تغییر قطبیت در جوشن‌های خازن جابه‌جایی نیز اتفاق می‌افتد و موقعی که پالس سوم به تیریستور TH_1 اعمال می‌شود سیکل عمل خود به خود تکرار می‌شود.

فرکانس جریان بار، و بنابراین سرعت موتور، همان فرکانس تعویض جریان سیم پیچی است. بنابراین میزان تکرار علایم دریچه به یکی از تیریستورها است که فرکانس بار را تعیین می‌کند. یک نوسانساز (چند ضربانی) چرخش آزاد^۱ به راحتی می‌تواند به عنوان واحد کنترل-کننده دریچه عمل و میزان^۲ کلیدزنی قابل تنظیمی ایجاد کند.

شکل موج ایده‌آل بار بستگی به پارامترهای مدار دارد و می‌تواند به صورت موج مربعی (اگر ترانسفورماتور قادر به عمل با موج مربعی باشد) و یا سینوسی باشد. برای به دست آوردن موج سینوسی بایستی از طبیعت تشدید مدار که دستیابی به حالت پایدار در مدار اولیه راه را هرگز مجاز نمی‌سازد استفاده کرد.



شکل ۳ - ۲۰ وارونکر نوع پ ۱

(الف) مدار اصلی وارونکر پ ۱ (ب) مotor القایی تک فاز به عنوان بار

دیود بین دو سر سلف L بدون ایجاد ضربهای ولتاژ معکوس بالا ، انرژی ذخیره شده را در فواصل جابه جایی از بین می برد .
 عناصر مدار با استثنای طوری انتخاب شوند که کارکرد قابل اعتمادی را به مفهوم جابه جایی مداوم و موفق مهیا کنند . تحلیل مدار روابط لازم برای طراحی را آماده خواهد کرد .
 در برخی موارد این وارونکر به علت اینکه خازن جابه جایی به طور موثر موازی با بار عمل می کند ، به عنوان وارونکر موازی بنیادی مورد توجه قرار می کشد . یکی از معایب این مدار اتصال کوتاه شدن منبع تندیه با از بین رفتن علامت فرمان تبریستورهاست .

تحلیل مدار وارونکر(پ ۱) با بار اهمی بررسی شکل ۳ - ۲۰ و عناصر یک طرفه ای که دارد نشان می دهد که روابط مدار غیر خطی خواهد بود . ولی اگر عناصر مدار را ایده آل فرض کنیم ، از جمله تیریستورها را کلید کامل در نظر بگیریم ، برای بیش از یک نیم سیکل سیستم خطی می شود و می توان از روش تبدیل لاپلاس برای حل معادلات گذرا استفاده کرد . در طول مدت نیم سیکلی که تیریستور TH_1 هدایت می کند شکل ۳ - ۲۰ را می توان به صورت شکل ۳ - ۲۱(الف) رسم و فرض کرد که تیریستور TH_2 قبل از هدایت و خازن C را پر کرده است . با سیم پیچی دو لایه ^۱ اولیه که دارای ضربه تبدیل ۱ به ۱ است ، خازن C با نسبت مجدد دورها قابل تبدیل به اولیه است . در نتیجه مقدار ظرفیت معادل آن عبارت است از :

الکترونیک قدرت

۱۰۰

$$C_e = \left(\frac{1+1}{1}\right)^r \cdot C = 4C \quad (6-3)$$

اگر نسبت دورهای اولیه به ثانویه ۱ به ۲ باشد در این صورت مقاومت معادل تبدیل شده به اولیه عبارت است از:

$$R_e = \left(\frac{1}{n}\right)^r R_L \quad (7-3)$$

بنابراین مدار معادل به صورت شکل ۳-۲۱ (ب) در خواهد آمد و شرایط اولیهای برای بررسی مدار ایجاد می‌شود. قبل از هدایت T_{H1} جریان حالت پایدار

$$I(0+) = \frac{V}{R_e} \quad (8-3)$$

از طریق T_{H2} و L عبور می‌کند. قبل از C_e که خازن C ناولتاژ ۷ باشد دار شده بود در نتیجه ولتاژ در دوسر C_e عبارت است از:

$$V_{ce}(0+) = \left(\frac{1}{1+1}\right) V_c(0+) = \frac{V_c}{2}(0+) = V \quad (9-3)$$

معادلات دیفرانسیل تشریح کننده علکرد حالت گذرای مدار شکل ۳-۲۱ (ب) عبارت است از:

$$Vu(t) = (Lp + R_e)i(t) - R_e i_1(t) \quad (10-3)$$

$$v = \left(R_e + \frac{1}{C_e p}\right) i_1(t) - R_e i(t) \quad (11-3)$$

که در آن $(i)_u$ تابع بلوه واحد است، یعنی تابع برای v برابر صفر و برای i یک است، با به کار بردن تبدیل لاپلاس با عامل دروابط (۳-۱۰) و (۱۱-۳) به صورت زیر در می‌آیند.

$$\frac{V}{s} = [LsI(s) - LI(0+)] + R_e I(s) - R_e I_1(s) \quad (12-3)$$

$$0 = R_e I_1(s) + \left[\frac{I_1(s)}{C_e s} - \frac{Q(0+)}{C_e s} \right] - R_e I(s) \quad (13-3)$$

که در آن $Q(0+)$ بار الکتریکی اولیه خازن C_e است و مطابق شکل در سمت جوشن نقطه دار مثبت است؛ لذا از رابطه (۹-۳) می‌توان نوشت:

$$\frac{Q(0+)}{C_e} = V_{ce}(0+) = V. \quad (14-3)$$

از رابطه (۱۳-۳)

$$I_1(s) = \frac{VC_e}{1 + R_e C_e s} + \frac{R_e C_e s}{1 + R_e C_e s} I(s) \quad (15-3)$$

با جایگزینی مقدار ۱۱ در رابطه (۱۲-۳) داریم:

$$\frac{V}{s} + \frac{LV}{R_e} + \frac{VR_e C_e}{1 + R_e C_e s} = \left[\frac{R_e + LS + LR_e C_e s^{\gamma}}{1 + R_e C_e s} \right] \cdot I(s). \quad (16-3)$$

اگر ثابت‌های زمانی مدار یعنی τ_c و τ_L طبق روابط زیر باشند.

$$\frac{L}{R_e} = \tau_L \quad (17-3)$$

$$R_e C_e = \tau_c \quad (18-3)$$

رابطه (۱۶-۳) به صورت زیر درمی‌آید:

$$I(s) = \frac{V}{R_e s} \frac{[\tau_L \tau_c s^{\gamma} + (\tau_L + 2\tau_c)s + 1]}{(\tau_L \tau_c s^{\gamma} + \tau_L s + 1)}. \quad (19-3)$$

با استفاده از ضریب بدون ابعاد مورفی و نامبیار^۱ (۴) می‌توان رابطه را به صورت بدون بعد زیر نوشت:

$$Q = \left(\frac{\tau_c}{\tau_L} - \frac{1}{\gamma} \right)^{1/\gamma} \quad (20-3)$$

تبديل معکوس رابطه (۱۹-۳) عبارت است از:



الکترونیک قدرت

۱۰۲

$$i(t) = \frac{V}{R_e} \left[1 + \frac{1}{Q} (Q^2 + \frac{1}{4}) \exp(-t/2\tau_c) \sin \frac{Qt}{\tau_c} \right]. \quad (21-3)$$

برای مقدار حقیقی Q شرط جدیدی از رابطه (۲۰-۳) به وجود می‌آید که عبارت است از:

$$\frac{\tau_c}{\tau_L} \geq \frac{1}{4} \quad (22-3)$$

و یا

$$4R_eC_e \geq \frac{L}{R_e}. \quad (23-3)$$

اگر حالت حدی رابطه فوق یعنی برابری دو طرف آن را در نظر بگیریم داریم:

$$Q = 0 \quad (24-3)$$

ورابطه (۲۱-۳) نشان می‌دهد که جریان (۱) دارای مقدار ثابت و غیر متغیری است:

$$i(t) = \frac{V}{R_e}. \quad (25-3)$$

اگر:

$$4R_eC_e < \frac{L}{R_e}, \quad (26-3)$$

یعنی اگر Q موهومی شود، جریان منبع تغذیه بطور نمایی تا اشباح سلف L صعود می‌کند.

هرقدر Q افزایش یابد جریان منبع تغذیه طبق شکل (۲۲-۳) حالت نوسانی بیشتری پیدا خواهد کرد. نه تنها حداقل مقدار بلکه حداکثر مقدار هم برای Q وجود دارد. اگر Q بیش از اندازه افزایش یابد جریان نوسانی طوری خواهد بود که در سیکل دوم جریان منبع تغذیه منفی می‌شود. منفی شدن جریان باعث انسداد TH_1 شده و هدایت قطع می‌شود بنابراین هرگز نبایستی این حالت اتفاق بیفتد. حالت حدی (برای اینکه جریان منفی نشود) طبق شکل ۲-۲۲ برای حالت Q موقعي است که جریان صفر می‌شود. به منظور اتخاذ حداکثر مقدار ممکن برای Q بایستی محور طول پس از سه چهارم سیکل کامل بر تابع جریان $i(t)$ مماس شود؛ یعنی، موقعی که:

$$\frac{Qt}{\tau_c} = \frac{3\pi}{2} \quad (27-3)$$

از قسمت سینوسی رابطه (۲۱-۳) و در نتیجه:

$$i(t) = 0 \quad (28-3)$$

با جایگزینی رابطه (۲۸-۳) در رابطه (۲۱-۳) داریم:

$$\vartheta = 1 - \frac{1}{Q} (Q^2 + \frac{1}{4}) e^{-3\pi/2Q} \quad (29-3)$$

کنترل موتورهای القابی
حل این معادله منجر می‌شود به:

$$\frac{\tau_c}{\tau_L} < \frac{2}{24}. \quad (30-3)$$

که تواما با شرایط دیگر نتیجه می‌شود:

$$0/25 < \frac{\tau_c}{\tau_L} < \frac{2}{24}. \quad (31-3)$$

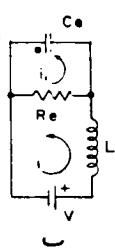
این گستره از تغییرات ثابت زمانی، برای هدفهای طراحی مدار کافی نیست. شرط نهایی (مورد لزوم برای طراحی) این است که تیریستور TH_2 پس از روشن شدن تیریستور TH_1 (در لحظه $t = 0$) بایستی به مدت کافی باعث معکوس شود تا اینکه تیریستور TH_1 به حالت مسدودش برگردد. با ادامه تحلیل مدار به همان روش، ولتاژ دو سر بار (TH_2 همچنین TH_1) خواهد شد:

$$v_{R_e}(t) = V \left(1 - 2 \exp(-t/2\tau_c) \cos \frac{Qf}{\tau_c} + \frac{1}{Q} \exp(-t/2\tau_c) \sin \frac{Qf}{\tau_c} \right). \quad (32-3)$$

این شکل موج (ولتاژ دو سر بار طبق رابطه فوق) با میرایی کمی بیشتر یا کمی کمتر شبیه شکل ۳-۲۳ است، ولی هرچه میرایی کمتر می‌شود، τ_c/τ_L بیشتر می‌شود. زمانی که ولتاژ دو سر بار صفر می‌شود بایستی TH_2 خاموش شود. در غیراین صورت پس از زمان t تیریستور TH_2 باعث مستقیم یافته و دوباره هدایت خواهد کرد. تحمل این وضع غیرممکن است، لذا اگر فرض می‌شود که شب منحنی در لحظه صفر تا زمان t بدون تغییر می‌ماند می‌توان زمان t را بر حسب پارامترهای مدار محاسبه کرد:

$$\left(\frac{dv_{R_e}}{dt} \right)_{t=0} = \frac{2V}{\tau_c}. \quad (33-3)$$

ولی تا زمان t فرض می‌شود که شب منحنی به صورت زیر است:

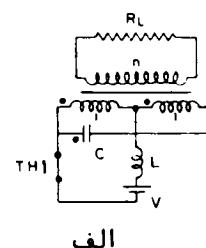


$$0/25 < \frac{\tau_c}{\tau_L} < \frac{2}{24}$$

$$\tau_c > 2 \tau_{off}$$

$$t_{max} = \frac{1}{12} \tau_c$$

برای موج مربعی

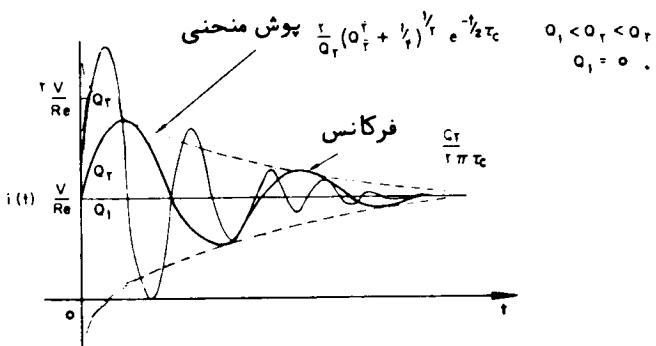


الف

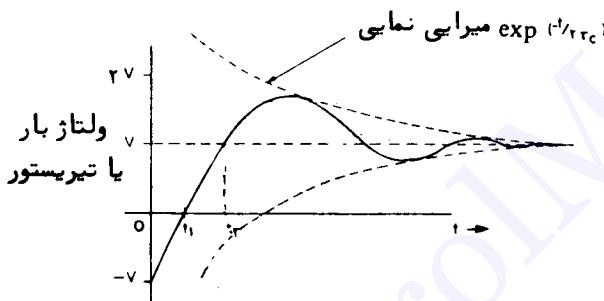
شکل ۳-۲۱ مدارهای معادل برای یکنیم سیکل موقعی که تیریستور TH_1 روشن است.

ب - مدار معادل شکل (الف)

الف - مدار در حال کار



شکل ۳ - ۲۲ جریانهای تغذیه برای مقادیر مختلف ثابت زمانی



شکل ۳ - ۲۳ ولتاژ بار

$$\frac{dv_{Re}}{dt} = \frac{V}{t_1} \quad (34-3)$$

در نتیجه:

$$t_1 = \frac{\tau_c}{2} \quad (35-3)$$

اما:

$$t_1 > t_{off}$$

که در آن $t_{off} < t_1$ ، زمان خاموش تیریستور است، در نتیجه:

$$\tau_c > 2t_{off} \quad (36-3)$$

در تمام این تحلیل فرض بر این بوده است که حالت پایدار قبل از به وقوع پیوستن عمل کلید-زنی بعدی برقرار شده باشد که در غیر این صورت شرایط اولیه برای کارکرد روابط (۳-۱۵) و (۳-۱۶) نادرست خواهد بود. کیفیت پایداری این مدار، صرفنظر از جابه جایی اولیه پالس، کارکردن با موج مربعی را ایجاب می کند. حالت پایدار را می توان به طور تقریبی چنین تعریف کرد که هر وقت مقدار قسمت نمایی معادله (۳-۲۲) به محدود ۵ درصد مقدارنهایی خودبررسد حالت پایدار برقرار می شود؛ یعنی،

$$\exp(-t/2\tau_c) = 0/05 \quad (37-3)$$

کنترل موتورهای الکتریکی

$$t = 6\tau_c \quad (28-3)$$

این زمان معرف حداقل زمان یک نیم سیکل موج مربعی است در نتیجه بیشینه مقدار فرکانس باز عبارت است از:

$$f_{\max} = \frac{1}{2t} = \frac{1}{12\tau_c} = \frac{1}{12C_e R_e} = \frac{n^2}{4\lambda C R_L} \quad (29-3)$$

در حقیقت شرایط اولیه تقریباً موقعی که کلیدزنی در زمان τ_c نشان داده شده در شکل ۲-۲۳، اتفاق افتاد برقرار می‌شود. در نتیجه شکل موج تقریباً سینوسی خواهد بود. در مورد طراحی خاص، اول حداقل فرکانس کارکرد را انتخاب و از رابطه زیر استفاده می‌کنند.

$$f_{\max} \leq \frac{1}{12\tau_c} \quad (40-3)$$

در نتیجه:

$$\tau_c < x_1 \quad (41-3) \quad \text{(فرض می‌کنیم)}$$

سپس زمان خاموشی تیرویستور را تعیین و رابطه زیر اعمال می‌شود.

$$\tau_c > 2t_{\text{off}} > x_2 \quad (42-3) \quad \text{(فرض می‌کنیم)}$$

این رابطه روآداشت^۱ (تلرانس) زیر را ارائه خواهد داد.

$$x_2 < \tau_c < x_1. \quad (43-3) \quad \text{(فرض می‌کنیم)}$$

مقاومت باربایستی مشخص شود و به دنبال آن مقدار C_e و C تعیین شود. رابطه (۳۱-۳) حدود L را نیز معین می‌کند.

اگر به جای مقاومت بار R_L در شکل ۳-۲۱ (الف) یک بار سلفی گذاشته شود پس از عمل جابه‌جایی خازن C تنها مسیر را بزای جریان بار سلفی مهیا خواهد کرد. بنابراین بایستی مقدار C به اندازه کافی زیاد باشد تا از صعود ولتاژ اضافی پس از جابه‌جایی جلوگیری و L_L را حذف کند.

در یک مدار عملی متعارف (مرجع ۵) مطابق شکل ۳-۲۴ (الف)، بر شکر کلاس B با خروجی صاف شده، وارونگر نوع (پ ۱) را که عملکرد اصلی آن قبل ذکر شد، با ولتاژ متغیر تغذیه می‌کند. بر شکر کلاس B یک منبع تغذیه خارجی برای جابه‌جایی وارونگر تأمین می‌کند. اگر وارونگر مولد شکل موج مستطیلی باشد، این مدار برای مدولاسیون پهنهای پالس مناسب خواهد بود. این تکنیکی است که هم برای حذف هارمونیکها و هم برای [ایجاد] ولتاژ بر فرکانس ثابتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۳-۲۴ (الف) دیودهای پسخور اضافه شده

الکترونیک قدرت

D_1 و D_2 را که برای اصلاح بارهای سلفی منظور شده‌اند نشان می‌دهد. موقعی که جریان نسبت به ولتاژ پس‌فاز است و تیریستور جا به جا شده باشد دیوود برای جریان بار یک مسیر تنابوی ایجاد می‌کند. زیرا تیریستور تازه روش شده مناسب نیست. اگر TH_1 خاموش شود، جریان پس‌فاز از طریق سیم‌پیچی اولیه دست راستی، منبع تغذیه و دیوود D_1 عبور می‌کند. دیوود D_2 در قسمتی از نیم سیکل بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نتیجه دیوود اجازه می‌دهد انرژی راکتیو (واکنشی)^۱، در طول قسمت آخرین نیم سیکل، در سلف‌بار ذخیره شود و در طی اولین قسمت نیم سیکل بعدی به منبع تغذیه جریان مستقیم برگرداد. دیوودها همچنین قدرت واکنشی بار خازنی را به منبع تغذیه منتقل می‌کنند، اگر وظیفه وارونگر (معکوس‌کننده) عوض شود و در حالت انرژی واکنشی به صورت واگردانی با همان قطب‌های مثبت و منفی و تنها با کمک دیوودها مورد استفاده قرار گیرد، شاید فهم موضوع ساده‌تر شود؛ یعنی، موقعی که ولتاژ معکوس دو سر تیریستور از ولتاژ منبع تغذیه زیادتر می‌شود جریان از طریق دیوودها عبور می‌کند. علامت فرمان پیوسته‌ای روی دریچه تیریستور در حال هدایت، برای بارهای سلفی (القایی) ضرورت خواهد داشت. دو دیوود به منظور دستیابی به حداکثر بازده، به انشعابهای روی ترانسفورماتور وارونگر (معکوس‌کننده) که در حدود ده درصد از انتهای سیم‌پیچی قرار دارد، اتصال می‌یابند (۶). اگر دیوودها به انتهای ترانسفورماتور وصل می‌شدند، هیچ مقدار از انرژی ذخیره شده در سلف L در مدت جابهجایی، امکان برگشت به منبع تغذیه را پیدا نمی‌کرد.

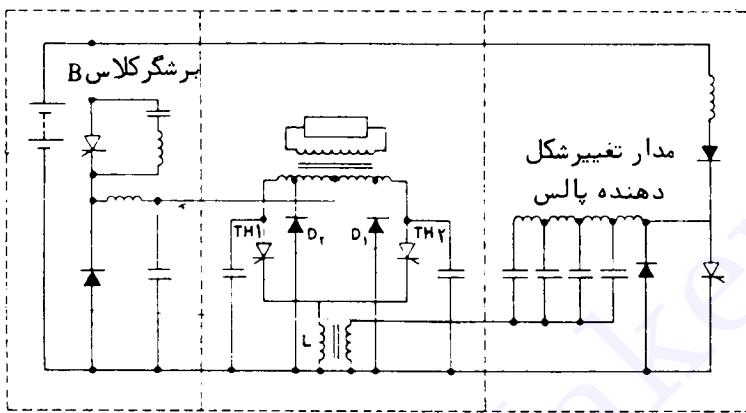
شکل ۳ - ۲۴ (ب) اصولاً شیوه وارونگر نوع (ب) است که در آن ترتیب روش شدن تیریستورهای TH_1 و TH_2 تعیین کننده فرکانس است. دو مدار دیگر شکل ۳ - ۲۴ (الف) وارونگرهای (معکوس‌کننده‌ای) ولتاژ ثابت هستند، با افزودن C_1 ، L_1 و دو دیوود D ولتاژ متوسط مدار اکنون می‌تواند یک پارامتر قابل تنظیم باشد. در هر نقطه‌ای از نیم سیکل اعمال علامت فرمان به تیریستور TH_3 تیریستورهای در حالت هدایت بار را بایاس معکوس و خاموش می‌کند و تیریستور TH_2 خود به خود پس از مدت زمان کوتاهی به علت مدار نوسان - کننده LC خاموش می‌شود.

(۳) وارونگر کلاس ۴ برای موتور القایی سه فاز

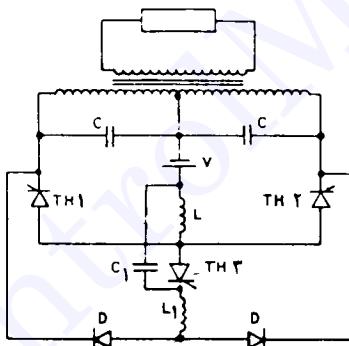
وارونگر کلاس ۴ دارای شکل بندی پل مانند است و در شکل ۳ - ۱۸ نشان داده شده است. به طور ایده‌آل تیریستور یک‌کلید است و دو وضعیت قطع و یا وصل دارد. اگر منبع تغذیه جریان مستقیم باشد و از کذراهای کلیدزنی خازن C و سلف مدار صرفنظر شود تیریستور واقع در خط در دو سر بار ولتاژ موج مستطیلی تولید خواهد کرد. برای بارهای سه فاز، مثل موتور

وارونگر نوع (ب ۱)

برشگر کلاس A



(الف) وارونگر عملی

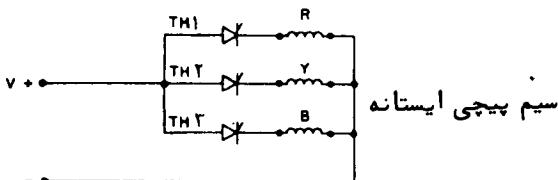


(ب) وارونگر (ب ۱) با ولتاژ متغیر

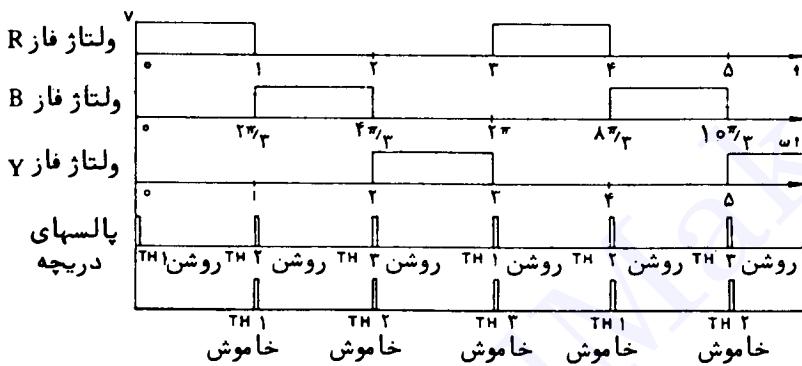
شکل ۲۴ - ۳

القابی، که سیم پیچی های آن دارای ۱۲۰ درجه الکتریکی اختلاف فاز فضایی هستند، تولید ولتاژ سه فاز که ۱۲۰ درجه اختلاف فاز زمانی نسبت به هم، توسط کلیدزنی با ترتیب معینی، به وجود آید ضرورت دارد. اصول و آرایش مقدماتی این چنین کلیدزنی و ولتاژ تولید شده در شکل ۳ - ۲۵ و ۳ - ۲۶ نشان داده شده است.

با فرمان دور مای تیریستورها، با وجود ویا عدم وجود درجات متفاوتی از روی هم افتادگی^۱، منبع تغذیه شبه سه فازی^۲ تولید می شود. ولتاژ های سیم پیچی با پالسهای فرمان تیریستورها برای حالت بدون روی هم افتادگی ولتاژ در شکل ۳ - ۲۶ نشان داده شده است.



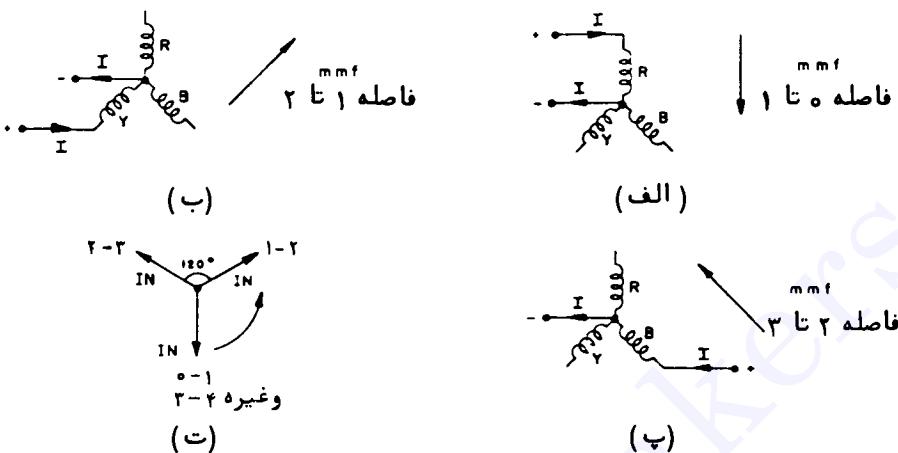
شکل ۳ - ۲۵ وارونگر پل نیم موج



شکل ۳ - ۲۶ شکل موج ولتاژ بار و ترتیب فرمان تیویستورها

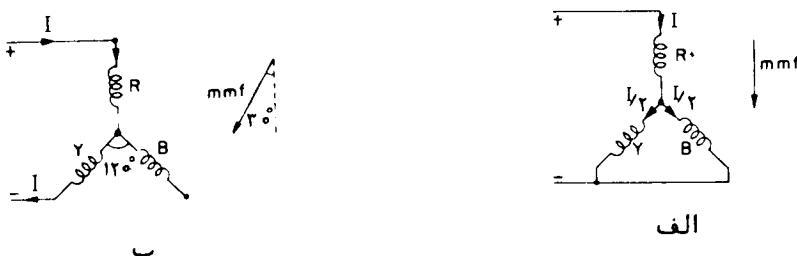
شکل ۳ - ۲۷ رفتار نیروی محرکه مغناطیسی mmf موتور رادر فالسه هواپی به عنوان تابعی از زمان نشان می دهد . در فالصه زمانی صفر تا ۱ مطابق با شکل ۳ - ۲۶ جریان تنها از فالس R عبور و نیروی محرکه مغناطیسی طبق شکل ۳ - ۲۷ (الف) تولید می کند . در فالصه زمانی بعدی یعنی ۱ تا ۲ تنها فاز Y هدایت می کند و همان طوری که از شکل ۳ - ۲۷ (ب) پیداست نیروی محرکه مغناطیسی mmf از نظر مقدار بدون تغییر ولی از نظر جهت به اندازه ۱۲۰ درجه الکتریکی تغییر جهت می دهد در طول فالصه زمانی ۲ تا ۳ نیروی محرکه مغناطیسی (mmf) دوباره به اندازه ۱۲۰ درجه دیگر تغییر مکان می دهد ، تا اینکه در فالصه زمانی ۳ تا ۴ موقعی که به جهت اولیه خودبرمی گردد به اندازه ۳۶۰ درجه الکتریکی یعنی یک سیکل کامل [در خلاف جهت عقربه های ساعت] چرخیده باشد . این نیروی محرکه مغناطیسی mmf پلماهی یکفلوی مغناطیسی شبه چرخان^۱ که برای کار موتور القایی لازم است تولید می کند ، تغییر مقدار فالصه زمانی متوالی هدایت تیویستورها ، باعث تغییر فرکانس و در نتیجه تغییر سرعت موتور خواهد شد .

روشهای متعددی برای ایجاد نیروی محرکه مغناطیسی چرخان و پلماهی وجود دارد . مثلاً عبور جریان ، تؤاماً از فالهای R و B و سپس Y و شکل ۳ - ۲۵ ، حداکثر استفاده را از



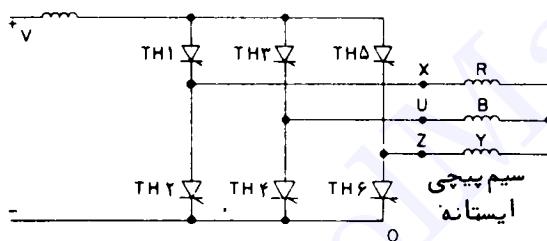
شکل ۳-۲۲ الگوی نیروی محرکه مغناطیسی mmf (الف) نیروی محرکه مغناطیسی در فاصله صفر تا ۱ (ب) نیروی محرکه مغناطیسی در فاصله ۱ تا ۲ (پ) نیروی محرکه مغناطیسی در فاصله ۲ تا ۳ (ت) ارتباط فازی نیروی محرکه مغناطیسی برای هر کدام از فاصله‌ها.

سیم پیچی‌هایی کند و با وجود اینکه "کام ۱" هنوز 120° درجه است نیروی محرکه مغناطیسی mmf بالایی تولید می‌کند. در انتهای دیگر در جهتی دیگر، بدون اتصال ستاره و فقط با عبور جریان در دو جهت هریک از سیم پیچها، تولید یک اختلاف فازی برابر 30° در جهات امکان پذیر خواهد بود. این مطلب ترتیب کلیدزنی جدیدی مثل $(+R, -B)$ ، $(-Y)$ و به دنبال آن $(+R, -Y)$ ، غیره را طبق شکل ۳-۲۸ در بر خواهد داشت. مقدار هر یک از نیروهای محرکه مغناطیسی به اندازه 30° درجه نوسان می‌کند. در نتیجه یک عدم تعادل به وجود می‌آید به منظور موثرترین استفاده از سیم پیچی‌ها و دستیابی به یک منبع تغذیه حتی المقدور نزدیک به سه فاز سینوسی، می‌توان از پل سه فاز کامل تمام موج استفاده کرد، چه در این صورت جریان در سیم پیچی‌ها قادر به نوسان است. شکل ۳-۲۹ آرایش عمومی مدار پل سه فاز تمام موج را بدون اشاره به مدار جایگاهی آن نشان می‌دهد. شکل ۳-۳۰ ولتاژهای سیم پیچی و شکل ۳-۳۱ نمایش نیروی محرکه مغناطیسی را برای 60° درجه چرخش پلمای نشان می‌دهد. شکل موج ولتاژ مستطیلی با وجود آنکه دو جهته است، یک جریان پایدار ایده‌آل تولید می‌کند و بنابراین نیروی محرکه مغناطیسی mmf پلمای خواهد بود. با این حال تحلیل موج مذکور، یک موج اصلی سینوسی با دامنه بزرگ به اضافه هارمونیکهای بالاتر با دامنه کوچکی را تولید می‌کند. این موج اصلی است که حاوی انرژی مفید برای انجام کار است و هارمونیکهای



شکل ۳-۲۸ تغییر کام ۳۰ درجه نیروی محرکه مغناطیسی . (الف) جریان از طریق $+R - Y$

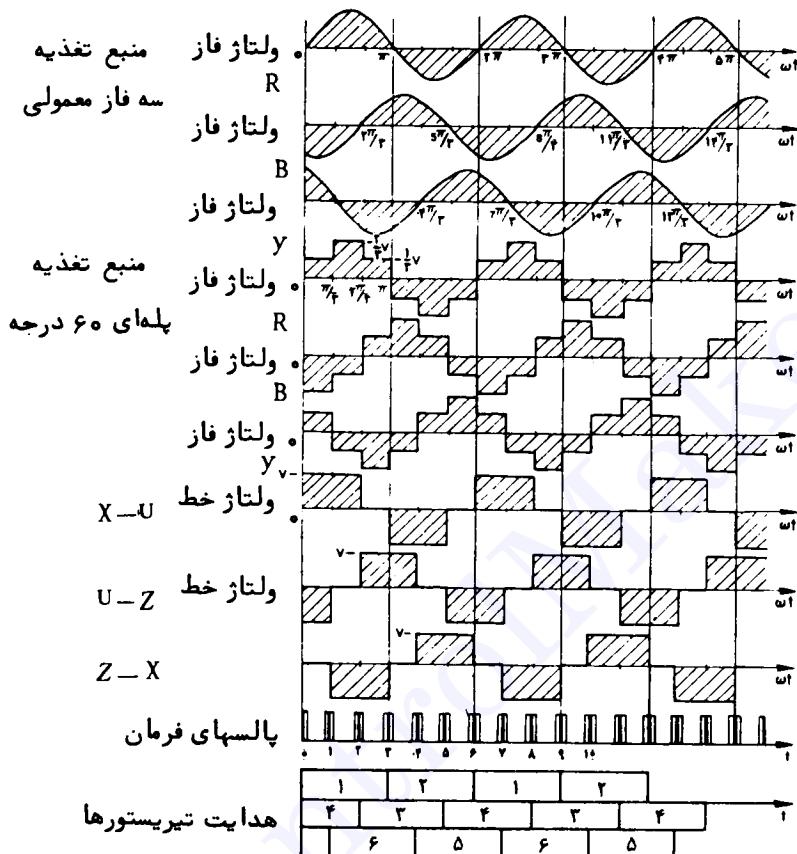
(ب) جریان از طریق $+R - B - Y$



شکل ۳-۲۹ وارونگر پل سه فاز کلاس ۴

بالاتر سبب بروز تلفات موتور می شوند . موج اصلی ، با صرفنظر کردن از هارمونیکهای بالاتر ، نیروی محرکه مغناطیسی mmf چرخشی با سرعت ثابتی در اطراف فاصله هوایی موتور تولید خواهد کرد ، که این سرعت تحت کنترل مدارهای تیریستوری است و آنها نیز بسته به اینکه چه میزان تنظیمی مورد نیاز باشد ، تحت یک کنترل برنامه ریزی شده برای سیستم مدار باز یا مدار بسته‌ای قرار دارند .

ولتاژهای خط موتور القایی نشان داده شده در شکل ۳-۳۰ مغایرت زیادی با شکل موج سینوسی ندارند و به علت تقارن نیم دورهای منفی و مثبت ، هارمونیکهای زوج وجود نخواهند داشت . همچنین به علت وجود ۶۰ درجه تأخیر فاز بین قسمتهای مثبت و منفی امواج [ولتاژهای خط] هارمونیکهای سوم و مضارب آن نیز وجود نخواهند داشت . بنابراین تنها هارمونیکهای پنجم ، هفتم ، یازدهم وغیره در طیف این ولتاژها وجود خواهند داشت که سبب افزایش تلفات انرژی و ضرباناتی روی گشتاور می شوند ، اگرچه هارمونیکهای یازدهم و بالاتر از نظر دینامیکی روی گشتاور بی اثر هستند .



شکل ۳-۳۰ مثالی در مورد یک مجموعه از شکل موجهای وارونگر و دوره‌های هدایت آنها

شکل ۳-۴۰ نشان می دهد که دوره هدایت و نیز دوره خاموشی هریک از تیریستورها برابر یک نیم سیکل کامل است. در عمل، کلیدزنی پس از هر $\frac{1}{2}$ دوره [تناوب] اتفاق خواهد افتاد؛ یعنی، در شکل ۳-۲۹ کلید زنی اگر از تیریستور TH_1 شروع شود، تیریستورهای ۱ و ۴ و ۵ برای اولین $\frac{1}{2}$ دوره [تناوب] روش می شوند و در انتهای این $\frac{1}{2}$ دوره [تناوب] این تیریستورها خاموش می شوند. به محض اینکه یک ششم دوره اول کامل شد تیریستورهای ۱ و ۴ و ۶ روش خواهند شد و آنها نیز برای یک ششم دوره تناوب دیگر قبل از خاموشی و دادن جایشان به تیریستورهای ۱ و ۳ و ۶ و هدایت همه آنها، روش خواهند بود. به همین ترتیب کلیدزنی طبق شکل ۳-۳۱ که از نظر زمانی و آرایش فضایی نشان داده شده است ادامه می یابد. در این شیوه هارمونیکهای پایین تر کمی کاهش پیدا می کنند.

این نوع جایه جایی اجباری که برای وارونگر پل تمام موج شکل ۳-۲۹ انتخاب شده

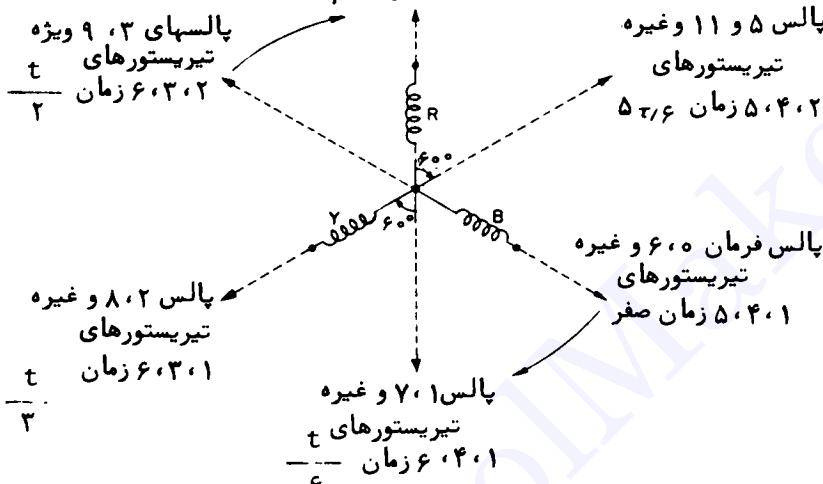
۱۱۲

الکترونیکقدرت

است می تواند تغییرات زیادی با توجه به شش نوع نشان داده در شکل ۳-۱۹ را تقبل کند. تاکنون بعضی از این تغییرات تشریح شده است و تغییرات جدید در قسمت بعدی ارائه خواهد شد.

پالس ۱۰،۴ و غیره تیریستورهای

$t/3$ زمان ۵،۳،۲



شکل ۳-۳۱ محورهای کام نیروی محرکه مغناطیسی: نیروی محرکه مغناطیسی در فضانسبت به سیم پیچی ها و ترتیب کلیدزنی تیریستورها رسم شده اند. شش پله در فضا تغییر مکان داده شده است و زمان نیز با $3/\pi$ رادیان (یعنی $\omega t = \theta$) . فرکانس $1/2$ است.

(پ) جابه جایی وارونگر

سه نوع مختلف جا به جایی در مورد کلاسهای (پ) و (ت) شکل ۳-۱۹ در سه قسمت زیر مورد بررسی قرار خواهد گرفت. این سه نوع مختلف جابه جایی در وارونگرها عبارتند از مکماری^۱ (مرجع ۷)، وارونگر اصلاح شده مکماری - بدفورد^۲ (مرجع ۸) و وارونگری با منبع تغذیه جابه جایی کمکی (مرجع ۹) مراحل طراحی و انتخاب عناصر L و C در مراجع اشاره شده، داده شده است.

(۱) وارونگر مکماری

وارونگر مک ماری یک وارونگر جابه جایی ضربمای^۳ است که بر عملکرد مدار LC و تیریستور

1- McMurray inverter

2- Improved McMurray-Bedford inverter

3- Impulse

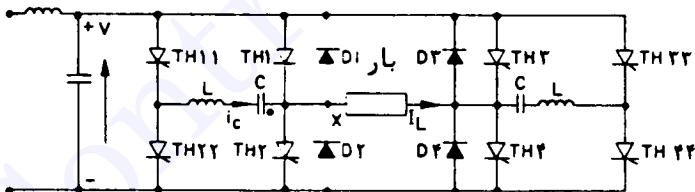
۱۱۳

کنترل موتورهای القایی

کمکی در مدار بار تکیه می‌کند. ضربه از مدار تشدید LC حاصل، و به دریچه تیریستوری که جریان بار را حمل می‌کند اعمال می‌شود، تا آنرا خاموش کند. شکل ۳-۳، تنها مدار وارونگر پل تکفار را نشان می‌دهد.

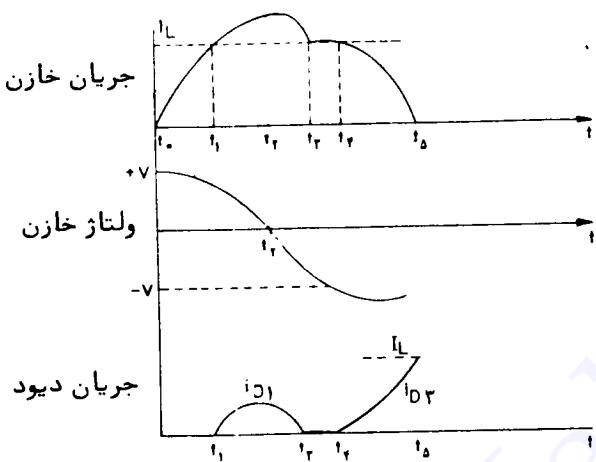
در این مدار به تنابوب تیریستورهای $TH1$ و $TH2$ سپس تیریستورهای $TH3$ و $TH4$ هدایت می‌کنند و جریان را از بار عبور می‌دهند. کلیه عناصر اندیس دار دیگر به منظور فراهم کردن خاموشی موافقیت آمیز تیریستورها تعبیه شده‌اند و دیوودها نیز در قسمتی از هر نیم سیکل هدایت می‌کنند و قادر را موقعي که بار سلفی است به منبع تغذیه برمی‌گردانند.

فرض می‌شود که تیریستورهای $TH1$ و $TH2$ در حال هدایت هستند و خازن C قبلاً (در محل علامت گذاری شده روی یکی از جوشنها) به مقدار $1/2$ باردار شده است. شکل ۳-۳ عمل مدار را پس از روشن شدن $TH1$ برای شروع جابه‌جایی در لحظه t نشان می‌دهد، به محض روشن شدن تیریستور $TH1$ خازن C شروع به تخلیه می‌کند و باعث افزایش جریان i_C می‌شود، تا در عبور جریان بار از تیریستور $TH1$ شرکت کند. در لحظه t ، جریان خازن شروع به پیشی کردن از جریان خازن می‌کند و امکان عبور جریان را از تیریستور $TH1$ به کمینه می‌رساند. درنتیجه اختلاف این دو جریان را دیوود $D1$ عبور می‌دهد تا تیریستور $TH1$ با یاس معکوس و خاموش شود.



شکل ۳-۳ وارونگر جابه‌جایی ضربه‌ای با تیریستورهای کمکی

وجود سلف در بار به طور محسوسی جریان بار را در طول جابه‌جایی ثابت نگمی دارد و عبور جریان i_L را حتی پس از جابه‌جایی تیریستور $TH1$ تأمین می‌کند. علاوه بر این جریان خازن در زمان t ، با تغییر قطبیت آن ضمن باردار شدن شروع به کاهش می‌کند، عبور جریان از دیوود $D1$ در زمان t ؛ یعنی، موقعی که بار دیگر جریان بار با جریان خازن یکسان می‌شود متوقف می‌شود. بار، تازمانی که متوسط دیوود $D2$ در نقطه X به $-V$ محدود شده است جریان i_L را متحمل می‌شود. انرژی ذخیره شده در سلف L به صورت بارهای اضافی متناسب با جریان بار عبوری از C ، B ، L ، D_3 و $TH1$ به خازن C انتقال خواهد یافت. اکنون تیریستورهای $TH2$ و $TH4$



شکل ۳ - ۳۳ شکل موجهای جابهجایی

را می‌توان پس از صفر شدن جریان I_{D1} و به صفر تنزل کردن انرژی ذخیره شده در سلف بار مصرفی روشن کرد. موقعی که جریان خازن کمتر از جریان بار شد دیود $D2$ جریان اضافی را عبور می‌دهد و انرژی را به منبع تغذیه برمی‌گرداند. در این مدار افزایش بار الکتریکی خازن با جریان بار، خود واقعیتی است که کمک قابل ملاحظه‌ای به جابهجایی خوب و مورد اطمینان می‌کند.

عیب این مدار وجود تغییرات شدید جریان dI/dv است که می‌تواند به تیریستور جابهجای شده در موقع کاهش جریان بار، از جریان خازن اعمال شود و دیود $D1$ را مسدود و $D3$ را هادی کند تا اختلاف جریان I را تغذیه کند. اگر تغییرات dI/dv خیلی زیاد باشد بایستی مواظب بود و تیریستورها را محافظت کرد.

چندین [نوع] آرایش مدار، که در آن معمولاً بار را از طریق ترانسفورماتور تغذیه می‌کند، وارونگر چند فاری به دست می‌دهد.

مثال حل شده ۳ - ۲ یک مدار جابهجایی برای وارونگر مکمایر طرح کنید، که موتور الکایی سه فازی با این مشخصات را تامین کند:

$\frac{1}{3}$ اسب بخار، 6 هرتز، $208 - 360$ ولت، 1800 دور در دقیقه و جریان $2/33 - 1/34$

کنترل موتورهای القایی

آمپر تیریستورهای موجود دارای ولتاژ شکست مستقیم ۴۰۰ ولت هستند.

سه فاز ایستانه موتور القایی به منظور کار با ولتاژ ۲۰۸ ولت، منبع تغذیه سه فاز و تیریستورهای ولتاژ اسی پایین، پایستی به صورت مثلث بسته شوند. تیریستورهای مورد لزوم برای وارونگرها به علت فرکانس کلیدزنی پایستی دارای زمان خاموشی کم باشند. تیریستورهای سریع خاموش شونده احتیاجات مدار جابهجایی را نیز کاهش می‌دهند. زمان خاموشی مناسب برای وارونگرها ۱۲ میکروثانیه است.

تیریستوری با جریان ۷/۴ آمپر برای راماندازی در خط^۱، موتور القایی کافی نخواهد بود بنابراین راماندازی ولتاژ کم به منظور فراهم کردن شتاب جریان محدود شده^۲ (باین معنی است که استفاده از تیریستورهای ارزان قیمت و جریان کم که به سادگی در دسترس هستند مقدور است. دیودهای با موارد مصرف عمومی ۱۲ آمپر ۴۰۵ ولتی را می‌توان برای پل پسخور مورد استفاده قرار داد. میزان جریان این دیودها پایستی بیشتر از تیریستورها باشد. تحت شرایط بی‌باری دیودها پایستی جریان پیک جابهجایی را که از جریان بیشینه بار بیشتر است از خود عبور دهند.

چون تیریستورهای ارزان قیمت انتخاب می‌شوند، پایستی فیوزهای حفاظتی آنهای نیاز ارزان- قیمت باشند. بنابراین فیوزهای تنداکار مورد لزوم نخواهند بود. اگر جریان به حدود دو برابر جریان اسی، یعنی به ۵ آمپر محدود شود، در این صورت فیوزهای کنداکار را می‌توان انتخاب کرد. چون میزان جریان اسی فیوزها تا ۷۵ درصد جریان تیریستورهاست، در نتیجه مقدار منهدم‌سازی حرارتی^۳ (۲٪ اسی) آن پایستی کمتر از تیریستور (۴۰ A_{2s}) باشد.

سلف و خازن جابهجایی شکل ضربه جابهجایی را تعیین خواهند کرد. جریان ضربه پایستی از جریان بیشینه در دوره‌ای بیشتر از زمان خاموشی تیریستور، تجاوز کند. مقدار انرژی کمینه* موقعي که جریان جابهجایی پیک ۱/۵ آمپر جریان بار بیشینه طرح شود، به دست می‌آید. یعنی، اینکه ۷۲/۵ آمپر ارتفاع پیک، بهینه ضربه جابهجایی برای این وارونگر است. مقدار خازن جابهجایی طبق رابطه زیر برابر است با:

$$C = \frac{I_L t_0}{E_c} F.$$

فاراد

که در آن:

۱/ حداقل جریان بار طرح شده

۲/ مدت زمان جابهجایی لازم برای بایاس معکوس تیریستور

۳/ مقدار ولتاژ منبع تغذیه کمینه

1- On-line starting

2- Current-limited acceleration

3- Thermal destrative

* رجوع شود به قسمت (۱-۲) مرجع شماره ۶

الکترونیک قدرت

۱۱۶

مقدار ولتاژ منبع تغذیه کمینه ممکن است ۲ ولت باشد که برای کمتر از این مقدار کار موتور توان با شک و تردید خواهد بود . برای اطمینان از جابه‌جایی قابل اعتماد زمان ۰، را می‌توان ۲۰ میکروثانیه انتخاب کرد که در نتیجه :

$$C = 0/893 \times \frac{5 \times 20 \times 10^{-6}}{3} = 4/46 \quad \text{میکروفاراد}$$

برای اطمینان از جابه‌جایی یک خازن ۱۰ میکروفارادی انتخاب می‌شود .
مقدار سلف مطابق با آن عبارت است از :

$$L = 0/397 \frac{E_{ct_0}}{I_L} \quad \text{هانری}$$

$$= 31/76 \quad \text{میکروهانری}$$

در مقادیر محاسبه شده مقدار تلفات به حساب نیامده است .
یک شبکه ساده RC در دو سر هر تیریستور به علت وجود تغییرات شدید dV/dt بلاعافله پس از جابه‌جایی در دو سر تیریستور ضرورت خواهد داشت . مقادیر ۲۲۰ اهم و ۵/۱ میکرو-فاراد مقادیر معمول هستند . ولتاژ بیشینه منبع تغذیه جریان مستقیم به دو سر یک تیریستور اعمال می‌شود که این ولتاژ از دامنه مولفه اصلی موج مربعی خروجی وارونگر به دست می‌آید ;
یعنی ،

$$E_{max} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} (208 \times \sqrt{2}) \approx 260 \quad \text{ولت}$$

این مقدار بدترین حالت زمان صعود را طبق رابطه زیر تعیین می‌کند :

$$\frac{E_{max}}{RC} = \frac{260}{220 \times 0/1 \times 10^{-6}} = 12 \quad \text{ولت بر میکروثانیه}$$

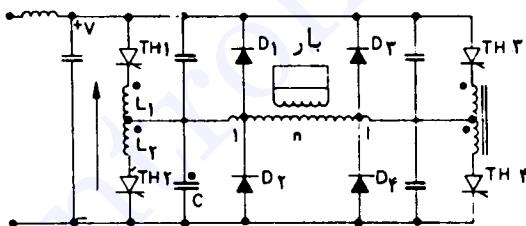
در مورد مدارهای منطقی ^۱ کنترل که به منظور ایجاد علائم متوالی دریچه‌تیریستورها و حفاظت از آنها به کار می‌روند (به ضمنه ^۱ مراجعه شود) .

(۲) وارونگر مک‌ماری - بدفورد

مدار شکل ۳-۲۳ به تعداد زیادی تیریستور احتیاج دارد . اگر از شکل (پ) ، جا به جای

کنترل موتورهای القایی

استفاده شود تعداد تیریستورهای مورد نیاز را می‌توان به چهار عدد برای پل تک فاز و تنها شش عدد برای وارونگر سه فاز تقلیل داد. که آن در حقیقت دارای یک تیریستور با مرکم برای خاموش کردن تیریستورهای در حال هدایت، درست مثل وارونگر موازی شکل ۳-۲۴ است. این نوع وارونگر دارای دو بازوی کاملاً مستقل از یکدیگر طبق شکل ۳-۲۴ است. به طور اختصار با روشن شدن تیریستورهای TH_1 و TH_4 خازن C در محل علامت‌گذاری شده به طور مثبت باردار می‌شود. روشن شدن تیریستور TH_2 باعث کاهش ولتاژ L در آند TH_2 به مقدار صفر ولت می‌شود. ولی به علت اینکه خازن C حاوی ولتاژ L ولت است، لذا ولتاژ دو سر سلف L دارای L ولت در نقطه علامت‌گذاری شده خواهد بود که این برای نشان دادن استقلال ذکر شده کافی است. اگر بین L_1 و L_2 جفت‌شدنی^۱ کاملی وجود داشته باشد و از هر نظر با هم برابر باشند ولتاژ L توسط عمل تبدیل به سلف L_1 القا شده و ولتاژ L به علت وجود در محل اتصال L_1 و L_2 در نقطه علامت‌دار ایجاد می‌شود، و تیریستور TH_1 گرایش معکوس می‌یابد و خاموش می‌شود. اما انرژی ذخیره شده در سلف L_1 که مربوط به عمل القای ولتاژ در



شکل ۳-۲۴ وارونگر جابه‌جایی ضربه‌ای مکمل مکماری - بدفورد

طی جابه‌جایی است چه خواهد شد؟ این انرژی توسط دیودهای اتصال یافته به محلهای اتصال (انشعاب) سیم‌بیچی اولیه ترانسفورماتور پسخور (تفذیه برگشت) می‌شود.

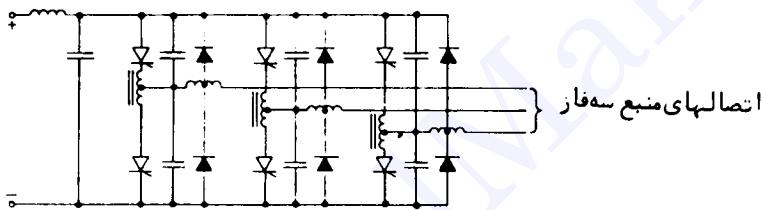
در مدت جابه‌جایی، سلف بار جریان ثابتی را که از خازن تغذیه می‌شود نگهداری می‌کند، خازن C همچنین جریان را در L_2 و TH_2 تأمین می‌کند و موقعی که ولتاژ دو سر L_2 صفر است، مقدار جریان بیشینه خواهد بود. موقعی که نقطه انشعاب ترانسفورماتور به شین 2 منفی ولتاژ ($0V$) می‌رسد، دیود D_2 حامل جریان L_2 است و به جای اینکه این انرژی به نله بیفتند از طریق دیودها و طی عمل اتوترانسفورماتوری انرژی انتقالی به منبع پسخور می‌شود. چون دیود D_2 ولتاژ سیم‌بیچی اولیه اصلی را، پس از تقلیل انرژی ذخیره شده در L_2 به صفر،

الکترونیک قدرت

۱۱۸

به $0V$ محدود می‌کند؛ دیود D_2 به هدایت ادامه می‌دهد و عبور جریان بار نیز به علت خود—القای (سلف) خیلی زیاد ادامه پیدا می‌کند تا این انرژی از طریق دیود D_3 به منبع تغذیه برگردد. در طی مدت اخیر ولتاژ القایی در قسمت انتهای سیم پیچی ترانسفورماتور به صورت ولتاژ با پاس معکوس در دو سرتیریستور TH_2 ظاهر می‌شود و آنرا خاموش می‌کند و این تیریستور همان طور باقی می‌ماند مگر اینکه علامت دریچه آن یک سری پالس باشد.

عمل تخلیه خازن C نمایانگر رفتار هر یک از چهار و یا هر تیریستوری است که برای خاموش شدن به کار می‌رود. تیریستورهای TH_1 و TH_2 مکمل یکدیگرند؛ یعنی یکی، دیگری را خاموش می‌کند و تیریستورهای TH_3 و TH_4 نیز مکمل یکدیگر هستند.



شکل ۳ - ۲۵ وارونگر مک ماری - بدفورد سه فاز

شکل ۳ - ۲۵ مدار وارونگر سه فاز مک ماری - بدفورد را نشان می‌دهد که این مدار دارای محدودیتهایی از نظر ولتاژ خروجی متغیر است.

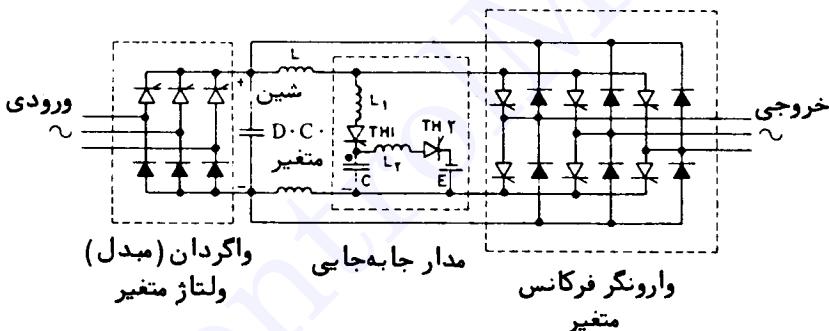
(۳) منبع تغذیه جابه‌جاکن کمکی

اگر ولتاژ شین جریان مستقیم تغییر پیدا کند و برای مشخصه ولتاژ - فرکانس وارونگر مورد نظر مناسب شود، در این صورت ممکن است جابه‌جاکی تیریستورها غیرقابل اعتماد شود. در ولتاژهای کم و جریانهای زیاد خازنها نمی‌توانند انرژی کافی از شین جریان مستقیم بگیرند تا در موقع لزوم فعالانه با عبور بارهای الکتریکی از طریق تیریستور مقابله کنند. به کمک یک منبع تغذیه کمکی می‌توان براین شکل فایق آمد. شکل ۳ - ۳۶ چنین سیستمی را نشان می‌دهد. مبدل نشان داده شده در شکل، قابل کنترل است و یک منبع ولتاژ متغیر جریان مستقیم برای تغذیه وارونگر مهیا می‌سازد و به علت وجود دیودهای چرخش آزاد در وارونگر سه فاز انرژی واکنشی بار فی تواند به شین جریان مستقیم برگشت داده شود. این جایا سیستمی دقت کرد که اگر وارونگری که انرژی واکنشی را به منبع تغذیه جریان متناوب برمی‌گرداند موجود نباشد و

کنترل موتورهای القابی

همچنین اگر روی شین‌های جریان مستقیم، مصرف کننده دیگری (برای جذب این انرژی) وجود نداشته باشد، لازم است وسایل ذخیره ساز انرژی به مدار اضافه شود. به همین منظور مطابق شکل خازن بزرگ بین شینهای جریان مستقیم متصل شده است.

طرز کار مدار جایه‌جا کننده به ترتیب زیر است. بعد از اولین جا به جایی به وسیله تیریستور $TH1$ که هنوز در حال هدایت است، خازن C تا ولتاژ کمی بیشتر از ولتاژ منبع جریان مستقیم (مثل V_1 ولت)، به طوری که جوشن نقطه‌دار مثبت است، باردار می‌شود. باردارشدن خازن به اندازه ولتاژ V_1 مربوط به اندازه $TH1$ خاموش می‌شود. پس از یک نیم سیکل تشیدی L_C ، خازن به مقدار V_1 باردار می‌شود به طوری که علامت ولتاژ آن در سمت جوشن نقطه‌دار منفی می‌شود. این ولتاژ به طور طبیعی باعث خاموشی تیریستور $TH2$ می‌شود.



شکل ۳ - ۲۶ جایه‌جا بی توسط منبع تغذیه کمکی

حال تمام سیستم برای فاصله (زمانی) جایه‌جا بی بعدی آمده است. دو یا سه عدد از تیریستورهای وارونگر در حال هدایت خواهند بود. در زمان معینی علایم دریچه آنها به صفر تقلیل یافته و تیریستور $TH1$ راه اندازی می‌شود، خازن C خالی می‌شود. قطبیت شین جریان مستقیم به طور لحظه‌ای معکوس می‌شود و تیریستورهای وارونگر خاموش می‌شوند جریان واکنشی (سلفی) در بار مصرفی برای پسخور کردن (تغذیه برگشت) انرژی به شین جریان مستقیم، دارای مسیری از طریق دیودهاست و سیکل جایه‌جا بی با باردارشدن مجدد خازن C ، به طور مثبت در جوشن نقطه‌دار، شروع می‌شود. برای ولتاژ کمکی E باید مصالحه‌ای به عمل آید یا مدار کنار گذرا اضافه شود. به عبارت

الکترونیک قدرت

۱۲۰

دیگر، در فرکانس‌های بالا، موقعی که ولتاژ شین جریان مستقیم برای جابه‌جایی کافی است، ولتاژ خازن به مراتب بالا خواهد بود.

(ت) متناسب بودن ولتاژ با فرکانس

کار موتور در بالاترین چگالی فلوي مغناطیسی مناسب، تحت شرایط مختلف بار و سرعت منظر ثمرتین بهره‌برداری از موتور القایی را امکان‌پذیر می‌سازد. این به این معنی است که موتور با چگالی فلوي مغناطیسی ثابتی در محلی نزدیک به زانوی منحنی مغناطیسی کار کند. رابطه ۳-۵ نشان داده برای رسیدن به فلوي مغناطیسی ثابت، بایستی ولتاژ مستقیماً متناسب با فرکانس باشد. روش ثابت نگهداشتن فلوي مغناطیسی کل، موقعی که سرعت قابل تنظیم است، می‌تواند با استفاده از قانون القا فاراده مشاهده شود:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

با ترتیبی دوباره می‌توان نوشت:

$$|\Phi| = \int e dt. \quad (44-3)$$

سطح هاشور خورده روی شکل ۳-۳۷ که شکل موج ولتاژ است معرف $\int e dt$: یعنی، همان فلوي مغناطیسی کل خواهد بود. در نتیجه بدون توجه به اینکه فرکانس چقدر باشد، تا زمانی که می‌توان مساحت زیر منحنی ولتاژ مولفه اصلی را ثابت نگهداشت موتور القایی قادر به کار در شرایط گشتاور بهینه^۶ خود خواهد بود، و این به معنی ثابت‌ماندن نسبت ولتاژ بردار درثانیه است.

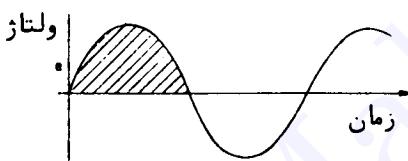
تفییر مستقل دو عامل به منظور رسیدن به سرعت قابل کنترلی که موثر باشد، یک عیب اضافی به همراه می‌آورد. برای موتورهای کوچک وبا برای مواقعی که گستره تغییر سرعت محدود باشد این روش مقرن به صرفه نیست ولی در محركهای بزرگ [در گستره سرعتهای وسیع] تغییر ولتاژ مطابق با فرکانس ضروری و الزامی است.

زمانی به علت ضرورت کاربرد یک محرك (موتور) اولیه سرعت متغیر برای بحرکت در آوردن آلترناتور^۱ (تناوب‌ساز) به منظور تغییر فرکانس، از فرکانس به عنوان یک عامل تغییرپذیر به ندرت استفاده می‌شد. میدان این آلترناتور (تناوب‌ساز) طوری تنظیم می‌شود که دامنه ولتاژ مناسبی تهیه می‌کرد. این سیستم تغییر فرکانس حجمی و همراه با تعمیر و نگهداری مورد لزومش فقط در کشتی‌ها قابل کاربرد بود. ولی اکنون جایگزینی موتور محرك و (تناوب‌ساز) آلترناتور

۱۲۱

همراه با عنصر نیمههادی قدرت، این روش را برای گستره وسیع و زیادی از کاربردها مخصوصاً برای خودروها و قطارها مناسب کرده است.

سه روش مختلف برای تهیه ولتاژ مناسب با فرکانس وجود دارد. خروجی وارونگر می‌تواند ترانسفورماتوری را، که نسبت تبدیل متغیری دارد و خروجی اش به موتوری (بمنزله بار) وصل است، تغذیه کند. ولتاژ ورودی وارونگر می‌تواند همان پارامتر کنترل باشد و سرانجام ولتاژ حاصل شده در خروجی وارونگر می‌تواند با اتخاذ مدوله سازی پالسی دارای مشخصهای دلخواه شود.



شکل ۳ - ۳۷ ولتاژ اعمال شده سینوسی

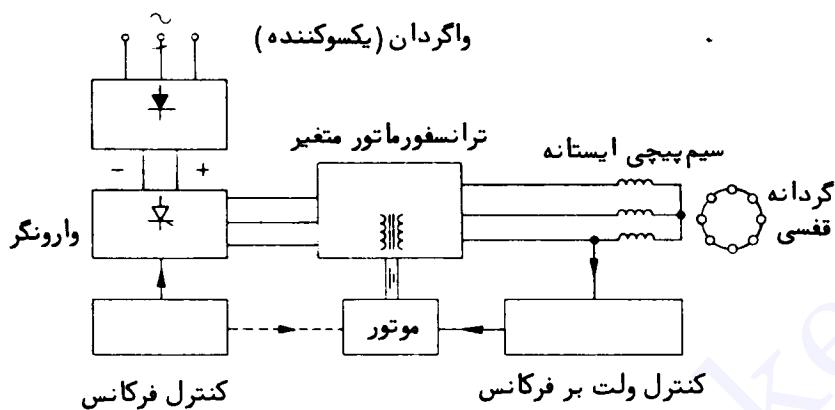
(۱) ترانسفورماتور با نسبت تبدیل متغیر

شکل ۳ - ۳۸ یک سیستم معمولی و قابل اعتمادی ارائه می‌دهد. ولتاژ جریان متناوب به توسط یکسوکننده بدون کنترلی که وارونگر را تغذیه می‌کند، به ولتاژ ثابت جریان مستقیمی تبدیل می‌شود. خروجی وارونگر در حالت مدار باز دارای ولتاژ ثابت و فرکانس متغیر است. همچنین ترانسفورماتور کاهنده^۱ متغیری که مدار پسخور بسته‌ای دارد توسط موتوری که انشعابهای ترانسفورماتور را تغییر می‌دهد عمل تطبیق ولتاژ با فرکانس را امکان‌پذیر می‌سازد. مدار کنترل فرکانس نیز برای موتور علامت ایجاد می‌کند.

این روش یکراحت ساده‌ای است که بعملت استفاده از انشعاب تعویض کن الکترومکانیکی دارای پاسخ آرامی است. ولی از لحاظ اقتصادی قیمت ترانسفورماتور به عنوان یک وسیله اضافی زیادی است. مزیت کاربرد ترانسفورماتور کاهنده، ظرفیت آن برای تبادل جریان‌های راه اندازی زیاد است. اگر بمجای موتور از انشعاب تعویض کن تیریستوری استفاده شود طبق شکل ۳ - ۶ می‌توان پاسخ مدار را سریع‌تر کرد که در نتیجه آن هزینه سیستم باز هم بیشتر می‌شود.

(۲) واگردان ولتاژ متغیر

مناسب‌ترین محل برای تشریح جزئیات واگردانهای ولتاژ متغیر قسمت کنترل موتورهای



شکل ۳-۲۸ کنترل ولتاژ با ترانسفورماتور

جريان مستقیم است، ولی به طور خلاصه در شکل ۳-۳۹ یک نمونه عمومی از این واگردانها معرفی می‌شود. با استفاده از واگردان یکسوکننده قابل کنترل توسط کنترل فازی، می‌توان ولتاژ جریان مستقیم خروجی مناسب با فرکانس تهیه کرد، و این به طور خودکار به مناسب شدن ولتاژ موتور القایی با فرکانس منجر می‌شود.

کاربرد تیریستورها به جای دیودها در یکسوکننده، باعث افزایش قیمت می‌شود اما عیب اصلی در این روش مشکل تهیه جابهجایی قابل اطمینان در وارونگر برای ولتاژهای ورودی با ردیف تغییرات وسیع است. در ولتاژهای پایین، خازن برای این که انرژی کافی به منظور جابهجایی ذخیره کند بایستی بزرگ باشد مگر اینکه منبع ولتاژ کمکی جهت باردارکردن خازنها موجود باشد (مراجع ۱۰).

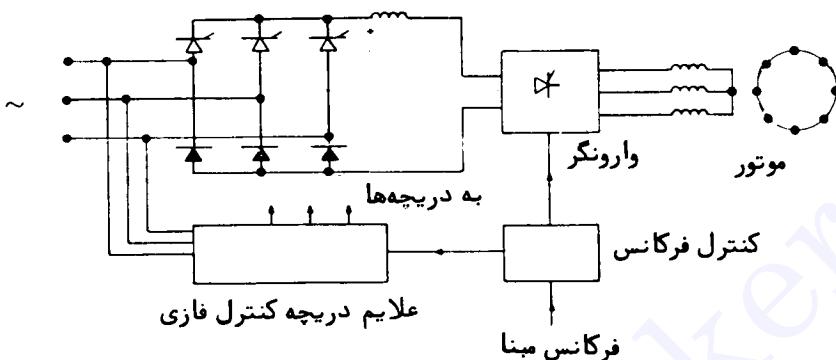
(۳) کنترل ولتاژ وارونگر

یکسوکننده بدون کنترل معمولی برای تهیه ولتاژ جریان مستقیم ثابتی به عنوان ورودی وارونگر مورد استفاده قرار می‌گیرد، در این حالت احتیاجی به ترانسفورماتور متغیر بین خروجی وارونگر و موتور نخواهد بود. ولتاژ خروجی وارونگر مناسب با فرکانس را، می‌توان توسط مدارهای کلید زنی کنترل دریچهای به دست آورد. دقیق‌تر خواهد بود اگر بگوئیم که ولت بر سیکل در ثانیه 1 s^{-1} یا 7 V_s بدون توجه به مقدار فرکانس ثابت می‌ماند.

در رابطه (۳-۴۴) نشان داده شد که برای ثابت ماندن فلوی مغناطیسی بایستی سطح زیر منحنی ولتاژ در هر نیم سیکل ثابت بماند. در ساده‌ترین حالتی که وارونگر از ورودی جریان مستقیم ثابتی موج مربعی تولید می‌کند، دامنه ثابت باقی می‌ماند. نکته‌اصلی آن است که مدت زمانی

کنترل موتورهای الکتریکی

۷۴ متناسب با فرکانس خروجی



شکل ۳-۳۹ واگردان ولتاژ متغیر

که در طول یک نیم سیکل در خروجی ولتاژ وجود دارد، کاملاً منطبق با کنترل مدارهای کنترلی برای راماندزی تیریستور است. به این منظور برای ثابت بودن قلوي مغناطیسي بایستی دامنه ولتاژ و پهنهای پالس ثابت بماند. شکل ۳-۴۰ مدلوله کردن پالس را برای سه فرکانس مختلف نشان می‌دهد که در هر یک ولتاژ ۷ برای یک زمان معینی در هر نیم سیکل قلوي مغناطیسي ثابتی تولید می‌کند؛ یعنی:

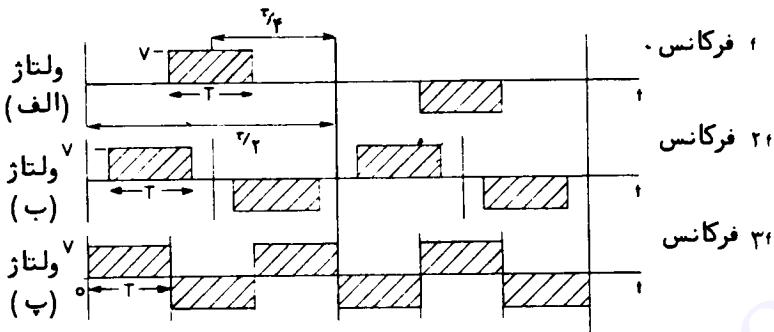
$$\text{ثابت} = \phi = \int_0^{\tau/a} V dt = VT \quad (45-3)$$

بالاترین فرکانس ممکن موقعی است که فرکانس برابر با:

$$f = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{2T} \quad (46-3)$$

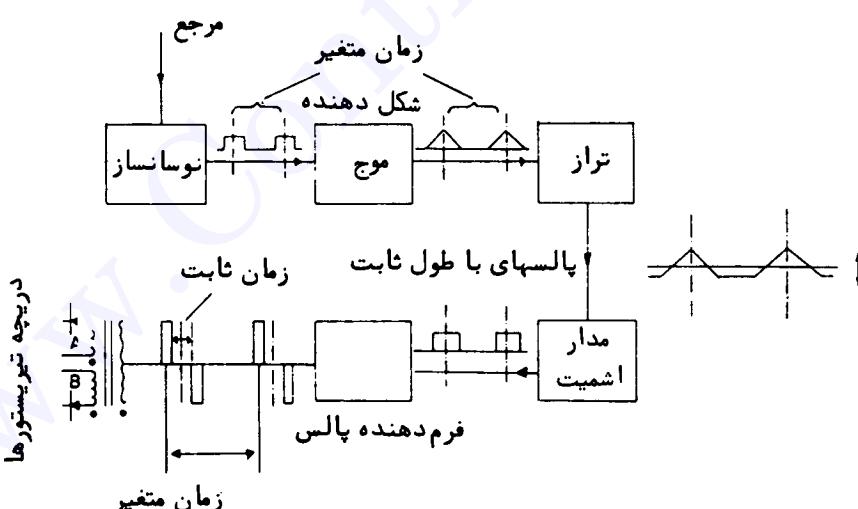
باید که در آن T طول پالس است که در شکل ۳-۴۰ (پ) مشاهده می‌شود.

پاسخگویی به دو سؤال لازم است، یکی هارمونیکهای موجود در چنین شکل موجی کدام است؟ و دیگری نحوه تولید چنین موجی از وارونگر چگونه است؟
 نوسانساز فرکانس قبل تنظیمی به عنوان مبنابرای راماندزی تیریستورها در یک ترتیب صحیح وجود خواهد داشت. همین نوسانساز، به عنوان علامت دهندهای که ثابت ماندن طول موج ۷ شکل را مجاز می‌سازد و آن را طبق شکل ۳-۴۰ (الف) به طور متقاضی عرضه می‌کند قابل استفاده است. شکل ۳-۴۱ نمودار بندالی این چنین سیستمی را نشان می‌دهد. موج مثلثی شکل



شکل ۳ - ۴۰ فلوی مغناطیسی ثابت با مدولاسیون پالس

دارای مقدار پیکی در نقطه وسط نیم سیکل است. ولتاژ تراز^۱ جریان مستقیم اجازه می‌دهد که در یک زمان معینی در دو طرف راس مثلث، ولتاژ در تراز ثابتی به وجود آید تا مدار فرمان اشمیت به ازای این مقادیر روش و خاموش شود پالسهایی با طول ثابت ولی فرکانس متغیر تولید کند. پالسهای تولید شده در A و B ، تیریستور مشابهی را روش و خاموش می‌کند تا پالس با استمرار ثابتی در هر فرکانس ایجاد کند.



شکل ۳ - ۴۱ نمودار بندالی راه انداز تیریستوری که ولتاژی با فرکانس متغیر و با زمان ثابت تولید می‌کند .

۱۲۵

کنترل موتورهای القایی

اگر محورهای افقی شکل ۳-۴۰ بر حسب رادیان باشند، شکل ۳-۴۲ نشان دهنده شکل موج عمومی پالسهایی است که تولید می‌شوند. شکل موج مریعی را می‌توان با سری فوریه به شکل زیر تجزیه کرد.

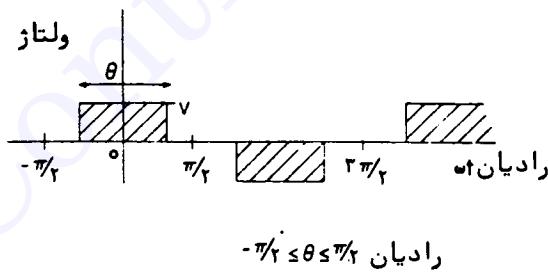
$$v(\omega t) = \frac{a_0}{\pi} + a_1 \cos \omega t + a_2 \cos 2\omega t + a_3 \cos 3\omega t + \dots + a_n \cos n\omega t + \dots \\ + b_1 \sin \omega t + b_2 \sin 2\omega t + b_3 \sin 3\omega t + \dots + b_n \sin n\omega t + \dots \quad (47-3)$$

که در آن ضرایب عبارتند از:

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} v(\omega t) \cos n\omega t d(\omega t) \quad (48-3)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} v(\omega t) \sin n\omega t d(\omega t) \quad (49-3)$$

که $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ معرف هارمونیکهای موج هستند.



شکل ۳-۴۲ شکل موج خروجی وارونگر

شکل موج نشان داده شده در شکل ۳-۴۲ یک تابع زوج است. و در نتیجه:

$$b_n = 0 \quad (50-3)$$

شکل موج نسبت به محور افقی متقارن است. لذا تراز جریان مستقیم وجود نخواهد داشت؛

یعنی:

$$a_0 = 0 \quad (51-3)$$

و چون شکل موج نسبت به هر نیم سیکل متقارن دارد، هارمونیکهای زوج نیز وجود نخواهند

الکترونیک قدرت

۱۲۶

داشت؛ یعنی:

$$a_1 = a_2 = a_3 = \dots = 0. \quad (52-3)$$

مضافاً رابطه زیر برای شکل موج فوق وجود دارد:

$$-\frac{\theta}{2} \leq \omega t \leq \frac{\theta}{2} \quad \text{برای} \quad v(\omega t) = V \quad (53-3)$$

و

$$\frac{\theta}{2} \leq \omega t \leq \left(\pi - \frac{\theta}{2} \right). \quad \text{برای} \quad v(\omega t) = 0 \quad (54-3)$$

بنابراین

$$a_n = \frac{4V}{\pi} \int_0^{\theta/2} \cos n\omega t d(\omega t) \quad (55-3)$$

و در نتیجه

$$v(\omega t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4V}{n\pi} \left(\sin \frac{n\theta}{2} \right) (\cos n\omega t) \quad (56-3)$$

اگر $\theta/\pi = 47$ برای یک سیستم در واحد، ولتاژ مینا باشد در نتیجه شکل ۳-۴۳ نشان -

دهنده تغییرات هارمونیک به صورت نسبتی از مولفه اصلی^۱ [به مولفه‌های دیگر] برای یک مقدار معین از θ خواهد بود. این منحنی‌ها اهمیت نسبی هارمونیکها را برای تغییرات θ نشان می‌دهند.

کرچه اصل ایجاد فلوی مغناطیسی ثابت، سهل است؛ ولی روش‌های حذف هارمونیکها مخصوصاً در قدرتهای پایین احتیاج به بررسی دقیق دارد. سیستم نسبت به سیستم دیگر از نظر کاربرد ارجحیت دارد که از لحاظ قیمت و کارکرد ارزان‌تر و قابل اعتمادتر باشد. پرهارمونی - بودن به معنی پربازده بودن نیست. لذا روش‌های متعددی برای حل این مشکل و حذف هارمونیکها، و در نتیجه از بین بودن تلفات آنها، وجود دارد.

(ث) حذف هارمونیکها

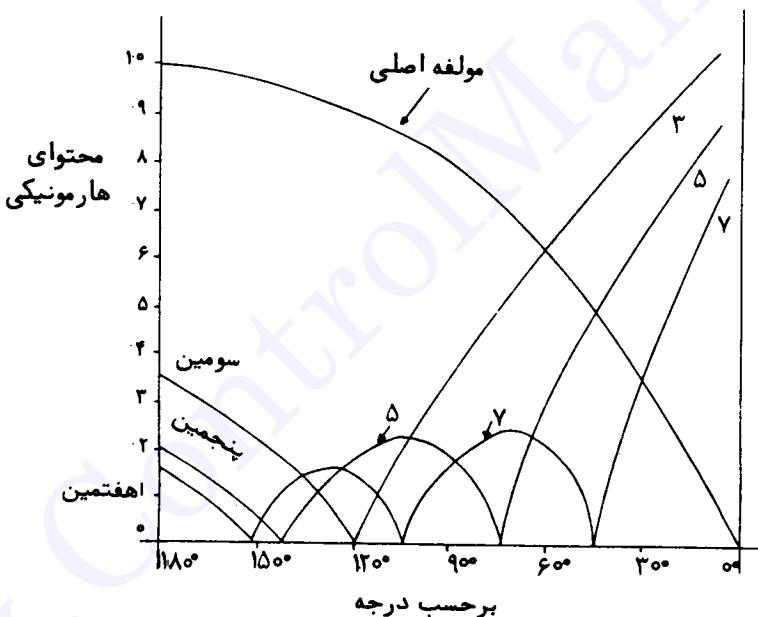
به منظور بهبود شکل موج خروجی وارونگر (معکوس کننده) تغییر شکل آن به طوری که تلفات در خط، وباریه حداقل ممکن بررسد ضروری است. به همین دلیل ساختن موجی حتی الامکان نزدیک به سینوسی از خروجی وارونگر ضروری است. به این منظور از صافی اتصال یافته بین بار و وارونگر می‌توان استفاده کرد. در قدرتهای زیاد، صافی خیلی حجم و کران می‌شود و برای صافیهای LC فرکانس متغیر دارای محدودیت هستند. همچنین می‌توان یک موج پلماهی ساده خروجی وارونگری را به یک ترانسفورماتور چند انشعابی وصل کرد و با استفاده از تیریستورهای اتصال معکوس موازی موج پلمهدار متغیر موكبی ایجاد کرد. هرچه تعداد پلمهای در هر سیکل

۱۲۷

کنترل موتورهای القایی

بیشتر شود همان قدر شکل موج خروجی به سینوسی نزدیکتر خواهد شد، که باز دستگاههای ایجاد کننده این موج بزرگ و گران قیمت خواهند بود. دقیقاً از نقطه نظر دامنه ولتاژ، شکل موج را می‌توان طوری مدوله کرد که اگر هم کاملاً سینوسی نباشد، ولی هر یک از هارمونیکهای مورد نیاز حذف شوند. این مدوله‌سازی توسط مدارهای راه انداز تیریستور قابل کنترل و عملی است.

از بین سه نوع^۱ مختلف مدوله‌سازی معروف به مدوله‌سازی پهنه‌ای پالس، به عنوان مناسب‌ترین نوع برای این منظور، انتخاب شده‌اند که عبارتنداز: پهنه‌ای پالس مرکب^۲ (مرجع ۱۱)، کاهش هارمونیکهای مورد نظر^۳ (مرجع ۱۲) و خنثی کردن هارمونیکها^۴ (مرجع ۱۳).



شکل ۳-۴۳ محتوای هارمونیکی شکل موج مربعی

(۱) کنترل پهنه‌ای پالس مرکب
برای دسترسی به پالسهای مرکب در طی یک نیم سیکل، بایستی تیریستور در وارونگر (معکوس کننده) قبل از اینکه کنترل به تیریستور بار دیگر منتقل شود، چندین بار روش و

1- Variation

2- Multiple pulse width

3- Selected harmonic reduction

4- Harmonic neutralization

الکترونیک قدرت

خاموش شود . انجام این کار فقط با کاربرد وارونگر کلاس(ت) جا به جایی ممکن است که آن عبارت است از خاموش کن خازنی با یک تیریستور کمکی ، یا خاموش کن تکمیلی در صورتی که بازو های پل وارونگر (معکوس کننده) کاملاً مستقل باشند .

پالس تکی ولتاژ که در شکل ۳ - ۴۲ آمده است هارمونیک سومی دارد که مخصوصاً در قدرتهای پایین مقدار آن زیاد است . افزایش تعداد پالسها به دو پالس در هر نیم سیکل ، مثل شکل ۳ - ۴۴ (الف) ، هارمونیک سوم را حذف می کند . تجزیه فوریه به ازای ۶ متغیر (زمان ثابت ولی کسر متغیری از سیکل وابسته به فرکانس) هارمونیکهای اندکی طبق شکل ۳ - ۴۴ (ب) تولید می کند . هارمونیکهای دیگر نیز با افزایش تعداد پالسها حذف می شوند .

روش دسترسی به پالس های مرکب طبق شکل ۳ - ۴۵ عبارت است از تغذیه مدار پالس ساز^۱ به منظور فرمان روشن و خاموشی دادن به تیریستور با ترکیبی از موج دندانه امای و موج سینوسی مبنا است . روش پیچیده تر برای منظور فوق آن است که از دو موج سینوسی مبنا با اختلاف فاز متغیری که خود تشریحی^۲ (بی نیاز از توضیح) باشد استفاده شود شکل ۳ - ۴۶ در تمام حالات بایستی سطح کلی پالسها در هر نیم سیکل ، یعنی $\frac{1}{2} \pi$ ثابت باقی بماند .

(۲) گاهش هارمونیکهای مورد نظر

با یک مدار راماندازی که خیلی ساده تر از قسمت قبلی باشد و با امکان استفاده از جا به جایی کلاس "پ" یا "ت" (که در اولی تعداد تیریستور کمتر خواهد بود) پالسی با سه پالس مثبت و دو پالس منفی در نیم سیکل مثبت طبق شکل ۳ - ۴۷ می توان بدست آورد . جابه جایی های کمتری در هر سیکل در مقایسه با کنترل پهنه ای پالس مرکب می تواند مورد احتیاج باشد .

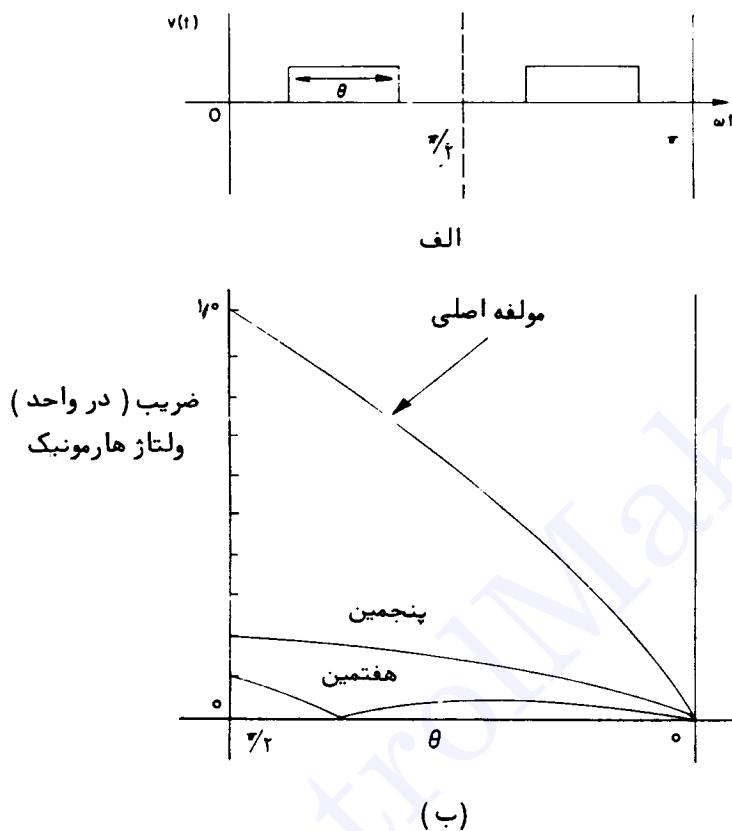
در وارونگر تک فاز هارمونیکهای سوم و پنجم را می توان حذف کرد در حالی که در یک وارونگر سه فاز با همین تکنیک اولین هارمونیک در ولتاژ خط هارمونیک یازدهم خواهد بود . این موضوع برای تمام گستره توسعه تغییر مولفه اصلی ولتاژ از صفر تا مقدار نرمال و یا به عبارت دیگر توسط ثابت نگهداشت نسبت $1 - ۱\frac{1}{7}$ انجام می کیرد .

در موج مستطیلی شکل تکی شکل ۳ - ۴۲ ولتاژ هارمونیک عبارت است از :

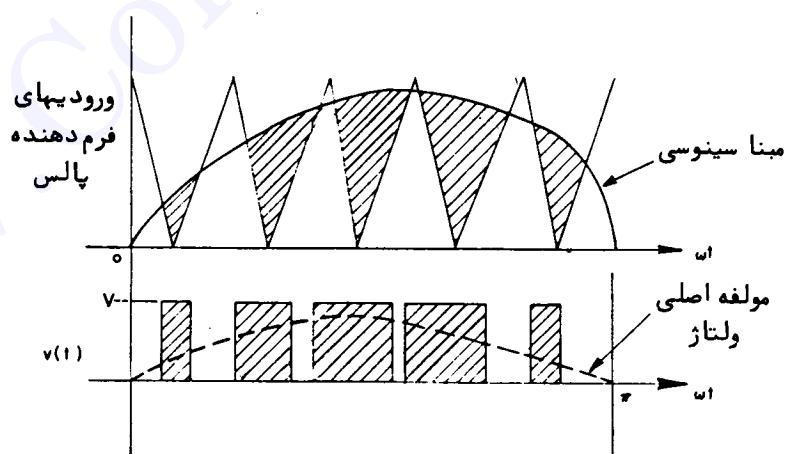
$$v(n\omega t) = \frac{4V}{n\pi} \left(\sin n \frac{\theta}{2} \right) (\cos n \omega t) \quad (57-2)$$

در نتیجه با تحلیل مشابهی ولتاژ هارمونیکها برای شکل موج ۳ - ۴۷ عبارت خواهد بود از :

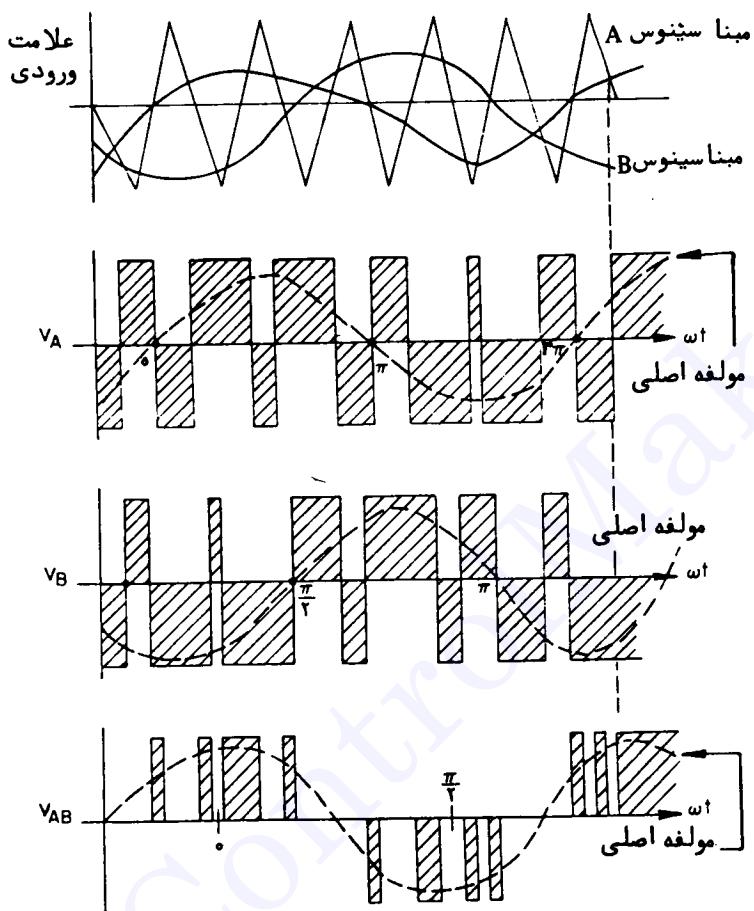
$$v(n\omega t) = \frac{4V}{n\pi} (1 - 2 \cos n\alpha_1 + 2 \cos n\alpha_2) \left(\cos n \frac{\theta}{2} \right) (\sin n \omega t) \quad (58-2)$$



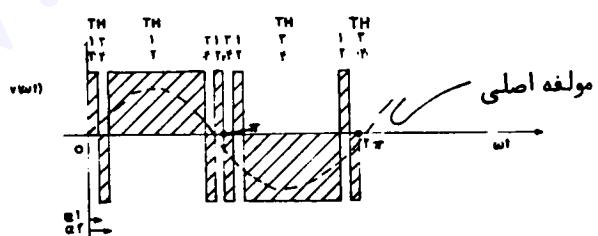
شکل ۲-۴۴ شکل موج پالس دوتایی



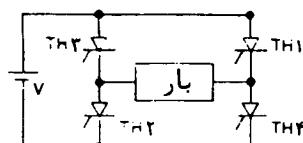
شکل ۲-۴۵ پالسها مرکب توسط ترکیب علایم



شکل ۳ - ۴۶ پالس‌های مرکب توسط ترکیب مختلف



شکل ۳ - ۴۷ کاهش هارمونیکهای مورد نظر



شکل ۴۸-۳ وارونگر پل تک فاز

در اینجا θ زاویه اختلاف فاز بین محورهای پالسهای راماندار برای دستیابی به ولتاژ مولفه اصلی متناسب با فرکانس است و خاصیت حذف هارمونیکهای سوم و پنجم را نیز حفظ می‌کند. اگر بین تیریستورهای TH_1 و TH_3 مدار وارونگر تک فاز شکل ۴۸-۳ اختلاف فازی موجود نباشد، راماندازی تیریستور طبق شکل ۴۲-۳ خواهد بود، که آن معرف بیشینه ولتاژ در بیشینه فرکانس است. از رابطه (۵۸-۳) با $\theta = 0^\circ$ قسمت‌های شامل α_1 و α_2 نشان می‌دهد که هر دو هارمونیکها ممکن است حذف و α_1 و α_2 از حل دو معادله زیر تعیین شوند.

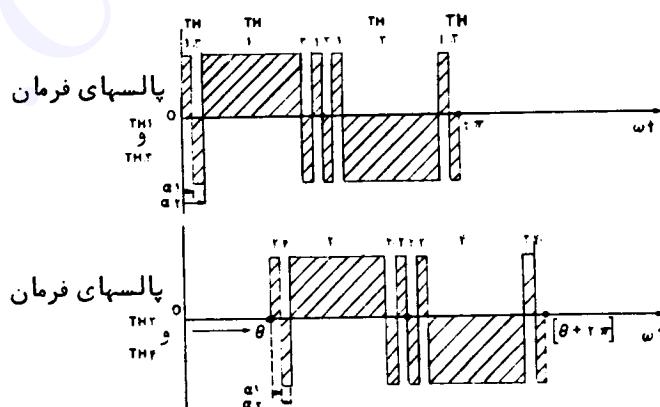
$$\nu(n_1 \omega t) = 0 = 1 - 2 \cos n_1 \alpha_1 + 2 \cos n_1 \alpha_2 \quad (59-3)$$

$$\nu(n_1 \omega t) = 0 = 1 - 2 \cos n_1 \alpha_1 + 2 \cos n_1 \alpha_2 \quad (60-3)$$

که در آن $n_1 = 5$ هارمونیکایی هستند که قرار است صفر شوند، برای اینکه هارمونیکای سوم و پنجم ($n_1 = 3$ و $n_1 = 5$) صفر باشد داریم:

$$\alpha_1 = 23.6^\circ \quad (61-3)$$

$$\alpha_2 = 33.3^\circ \quad (62-3)$$



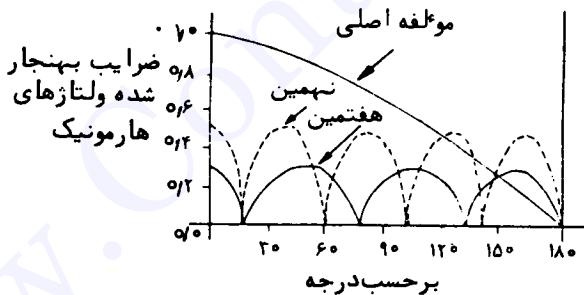
شکل ۴۹ جا به‌جاسازی فاز برای ولتاژ متغیر

الکترونیک قدرت

۱۳۲

عمل روش کردن طبق آرایش شکل ۳-۴۷، با داشتن ولتاژ متغیر و ثابت نگهداشتن α_1 و α_2 به منظور حذف هارمونیکهای مشابه، ناجور خواهد بود. لذا به این منظور هارمونیکهای مورد نظر را در صفر نگهداشت و ولتاژ را می‌توان مناسب با فرکانس توسط آرایش اختلاف فاز شکل ۳-۴۹ کرد. در این روش α_1 و α_2 همیشه یکسان باقی می‌مانند، اما مولفه اصلی ولتاژ از مقدار بیشینه در $\theta = 0$ کمتر آن پالسهای رامانداز بر هم منطبق می‌شوند، به مقدار صفر در $\theta = 180^\circ$ درجه، که در آن هیچ زمانی از بار جریان عبور نمی‌کند، تغییرمی‌کند. طبیعتاً مدار منطقی از روش شدن تیریستورهای $TH1$ ، $TH2$ یا $TH3$ با یکدیگر و یا از هدایت توان آنها برای اتصال کوتاه‌کردن منبع تغذیه، ممانعت خواهد کرد. همچنین فرض براین است که یک تیریستور قبل از آنکه تیریستور مقابلش روش نشده است خاموش شود. تنها در شکل ۳-۴۱ است که اگر هدایت $TH1$ به دنبال هدایت $TH2$ باشد اتصال کوتاهی رخ نخواهد داد. با جابه‌جاسازی θ به هیچ وجه ولتاژی در دو سر بار وجود نخواهد داشت مگر آنکه در همان زمان روی دریچه ۲ و ۴ و $TH3$ علایمی وجود داشته باشد و به محض اینکه علامت دریچه یکی از زوج تیریستورها از بین رفت هر دو تیریستور به طور خودکار خاموش شوند.

رابطه (۳-۵۸) ضرایب تمام ولتاژهای هارمونیک برای هر جا به جایی فاز را هنگامی می‌دهد که هارمونیکهای سوم و پنجم به وسیله α_1 و α_2 که مقادیر آنها در روابط ۳-۶۱ و ۳-۶۲ داده شده‌اند حذف می‌شوند.



شکل ۳-۵۰ محتوای هارمونیک برای جابه‌جاسازی فاز متغیر

این امر در شکل ۳-۵۰ نشان داده است. این شکل، منحنی‌های نظری را نشان می‌دهد. و در آن زمان محدود روش شدن و مهمتر از آن زمان خاموشی به حساب نیامده است، اما اختلاف زیادی به همراه نخواهد داشت. بهنجارسازی با استفاده از ولتاژ مبنای $\frac{4\pi}{x_0} / 839$

۱۳۳

که از ضریب مولفه اصلی ولتاژ در زاویه جابه‌جاسازی صفر ($\theta = 0$) به دست آمده است، محاسبه شده است.

(۳) خنثی کردن هارمونیکها توسط ترکیب^۱ موج

ترکیب موج روش جالبی برای حذف هارمونیکهای پایین‌تر است، ولی چون برای این کار تیریستورهای متعددی مورد احتیاج است، لذا فقط برای قدرتهای بالاتر از ۲۰ کیلو ولت آمپر این روش اقتصادی خواهد بود. اصول این روش عبارت است از اتصال تعدادی وارونگر تک‌فاز باهم که متوالیاً روش و خاموش می‌شوند و مجموع خروجی‌ها یک موج پله‌ای نزدیک به موج سینوسی تولید می‌کند. هرچه تعداد وارونگرها بیشتر باشد همان قدر تعداد پله‌ها در موج خروجی بیشتر بوده و در نتیجه تعداد هارمونیکهای حذف شده نیز بیشتر خواهد بود. طبق شکل ۳-۴۸ هر یک از وارونگرهای تک‌فازی می‌توانند وارونگر نوع پل باشند. باز نیز ممکن است سیم‌بیچی‌ای اولیه ترانسفورماتوری باشد. مزیت مهم این سیستم در آن است که اگر یک تیریستور و یا یک واحد تکی از کار بیفتد موج خروجی تولید شده توسط واحدهای دیگر موجود است، فقط اعوچا ج هارمونیکی مقداری افزایش خواهد یافت. این سیستم بهتر از وارونگر (معکوس کننده) سه فاز پل است، که با از کار افتادن یک تیریستور، تمام سیستم از کار می‌افتد و در خروجی موجی تولید نمی‌شود.

یک‌مدار شش مرحله‌ای^۲ به عنوان مثال انتخاب شده است تا نشان دهد که اولین هارمونیک حذف نشده هارمونیک یازدهم است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$H = 2kN \pm 1 \quad (63-3)$$

که در آن:

H هارمونیکهای موجود در موج

N تعداد طبقات وارونگر، و

k اعداد صحیح ۱ و ۲ و ۳ و ... هستند.

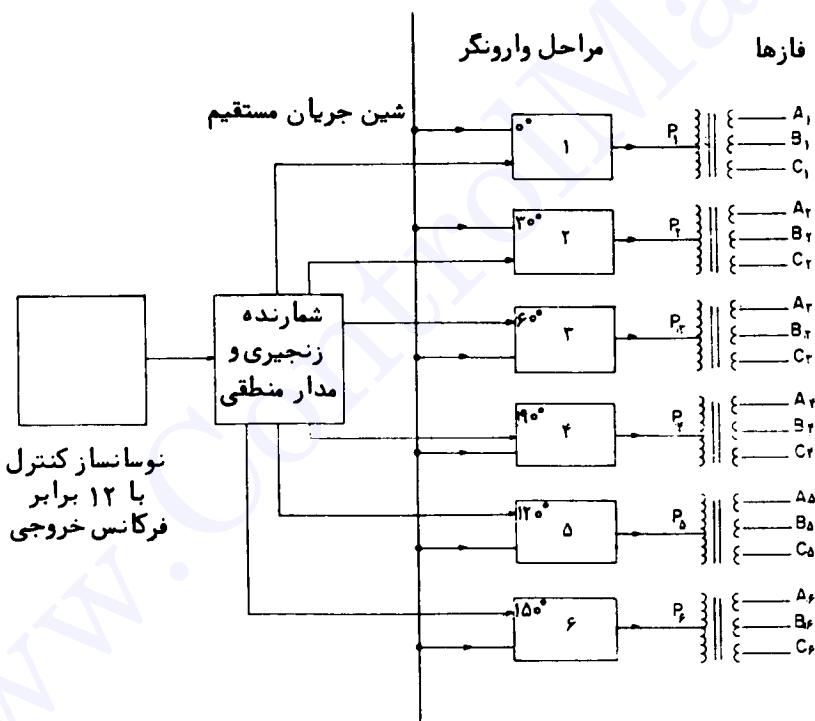
چون موتور القایی قادر به پاسخگویی به هارمونیکهای بیشتر از هارمونیک یازدهم نمی‌باشد، لذا داشتن بیش از ۶ طبقه غیر ضروری به نظر می‌رسد. در طی تشریح مقدماتی مقدار بیشینه فرکانس و ولتاژ مورد بررسی قرار می‌گیرد. ظرفیت کلی سه فاز شش برابر kVA اسمی هر طبقه تکی است.

شکل ۳-۵۱ این وارونگر را به طور نموداری نمایش می‌دهد. نوسانساز کنترل شده‌ای که در دوازده برابر فرکانس خروجی مورد لزوم کار می‌کند، علاوه‌ی روایی را به یک شمازنده زنجیری

۱۳۴

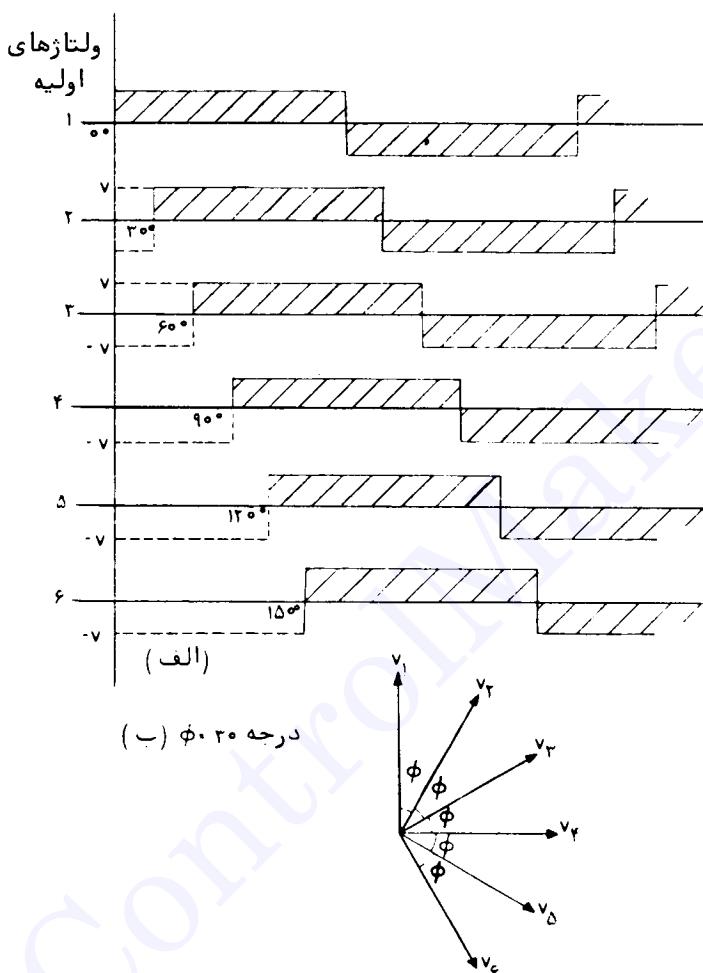
الکترونیک قدرت

دوپایداری شناختی اعمال می‌کند. به عنوان مثال اولین علامت، نوسانساز دو پایه‌ای اول را روشن می‌کند که آن نیز وارونگر طبقه اول را در صفر درجه مبتاوشن می‌کند. طبقه اول تازمانی که نوسانساز اول پالس بعدی را دریافت نکرده است تا آنرا تغییر دهد در حالت روشن باقی خواهد ماند، و این حالت تابعه از پالس ششم نوسانساز ادامه می‌یابد. دومین پالس، نوسانساز [چند، ضربانی] اول را روشن می‌یابد، لذا نوسانساز بعدی را روشن کرده و آن نیز وارونگر طبقه دوم را در دوره [تناوب] مینا ۳۰ درجه روشن می‌کند. هر علامت به طور موفقیت آمیز مراحل بعدی را راه اندازی می‌کند تا اینکه همگی روشن شوند، و نیم سیکل موج را کامل کنند. شش علامت بعدی، به ترتیب آنها را معکوس می‌کند تا نیم سیکل بعدی را کامل کنند. و سیکل کاملی پس ازدوازده علامت درست شود.



شکل ۳-۵۱ ترتیب عمومی یک ترکیب کننده موج

روی اولیه، m ، هر ترانسفورماتور، ولتاژی که در شکل ۳-۵۲ (الف) نشان داده شده وجود خواهد داشت. این ولتاژها دارای دامنه مساوی ولی اختلاف فاز ۳۰ درجه نسبت بهم هستند. اگر این ولتاژها بهطور سری باهم جمع شوند نتیجه به صورت یک موج تک فاز چند پلماهی



شکل ۳-۵۲ ولتاژهای فازی وارونگر

الف : فاز بندی ^۱ ولتاژ طبقات وارونگر

ب : نمودار فاروری ^۲ ولتاژ مربوط به سیم پیچی های اولیه

در می آید که دارای هارمونیک خیلی کمی مطابق شکل ۳-۵۳ است . البته ترکیب این موجها نه در اولیه ترانسفورماتورها ، بلکه در ثانویه آنها صورت می گیرد . در هر حال ، برای تهیه ولتاژ سه فاز متعادلی مثل شکل موج ۳-۵۳ احتیاج به متعددی

الکترونیک قدرت

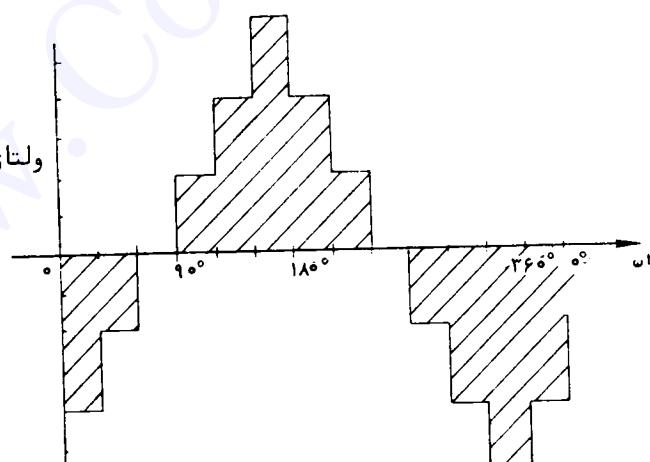
سیم پیچی درثانویه هر ترانسفورماتور است . شکل ۳ - ۵۱ سیم پیچی درثانویه با نسبت های تبدیل ولتاژ P/A ، P/B و P/C که یکسان بودنشان ضرورت ندارد را نشان می دهد . ترکیب این سیم پیچها با یکدیگر به طور سری برای به دست آوردن ولتاژ سه فاز متعادل اتصال ستاره، در شکل ۳ - ۵۴ نشان داده شده است . این فازها لازم نیست که با فازهای سیم پیچی ثانویه شکل ۳ - ۵۱ مطابقت داشته باشند ، زیرا برای ترکیب ولتاژها به منظور به دست آوردن یک ولتاژ سه فاز متعادل روش های متعددی وجود دارد . ضایعات تبدیل ترانسفورماتور برای اینکه هارمونیک های مورد نیاز را خنثی سازند عبارتند از :

$$P/A = 1 \quad (64-۳)$$

$$P/B = \frac{3}{\sqrt{3}} \quad (65-۳)$$

$$P/C = \frac{3}{2\sqrt{3}} \quad (66-۳)$$

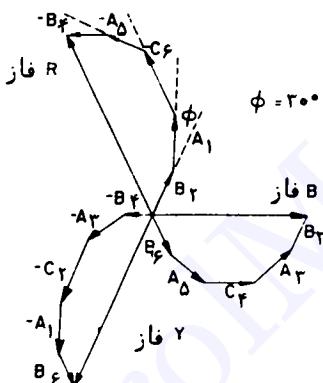
مطابق آنچه که گفته شد در این حالت دو سیم پیچی A_1 با یک سیم پیچی معکوس شده ، و بدون B_1 و C_1 در طرف ثانویه ترانسفورماتور وجود خواهد داشت .
شکل موج خروجی فاز R ، شکل ۳ - ۵۴ مجموع مقادیر لحظه ای ولتاژ های B_2 و C_2 است که در شکل ۳ - ۵۵ نشان داده شده است . فازهای B و C نیز مشابه فاز R هستند ولی نسبت به 120° درجه اختلاف فاز دارند . رسیدگی به محتوای



شکل ۳ - ۵۳ ولتاژوارونگر موقعی که ولتاژهای اولیه با هم جمع شده باشند .

کنترل موتورهای القایی

هارمونیک این شکل موج ضرورت دارد و با جمع سوی فوریه‌های هریک از شکل موجهای مستطیلی شکل ۳-۵۵ (الف) می‌توان این کار را انجام داد (چون این سری‌های تابحال محاسبه شده‌اند). به هر حال با در نظر گرفتن ارتباط با چگونگی تغییرات ولتاژها بهتر است این موضوع را برای ولتاژهای کلیه فرکانسها عمومیت داد و این امر بسته به این است که ولتاژ چگونه تغییرمی‌کند. داشتن دو وارونگری که ولتاژهای آنها به طور سری جمع می‌شوند ولی این ولتاژها دارای اختلاف فازی نسبت به هم هستند یکی از امکانات است. این چنین ولتاژهایی، نشان داده شده در



شکل ۳-۵۴ ترکیب فازهای ثانویه جهت تولید منبع سه فاز متعادل

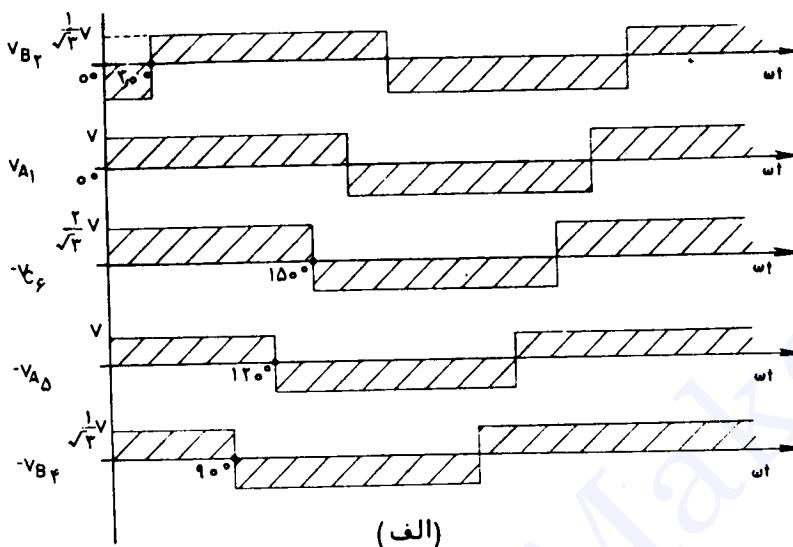
شکل ۳-۵۵ (ب)، که ۱۸۰ درجه اختلاف فاز نسبت به هم دارند صفر هستند، در صورتی که در اختلاف فاز صفر درجه بیشینه ولتاژ را نتیجه خواهند داد. اختلاف فاز بین دو ولتاژ هر قدر باشد هارمونیکهای مجموع، مشابه هارمونیکهای امواج تکی خواهد بود. همین روش جایه‌جا سازی فاز برای دسترسی به ولت بر سیکل در ثانیه ثابت را می‌توان توسط مدارهای راه‌انداز وارونگر (معکوس کننده) تکی نیز، درست مثل شکل ۳-۴۹ انجام داد. در غیر این صورت راه‌اندازی ولتاژ با استفاده از مطالب اخیر برای تحلیل وارونگر تکی ولتاژ واحد شکل موج طبق شکل ۳-۵۶ که تعمیم شکل ۳-۴۲ است. اگر جا به جا سازی فاز بـ در مد نظر باشد معادله ۳-۵۶ به صورت زیر درمی‌آید:

$$v(\omega t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4V}{n\pi} \left(\sin n \frac{\theta}{2} \right) [\sin n(\omega t + \Psi)] \quad (3-56)$$

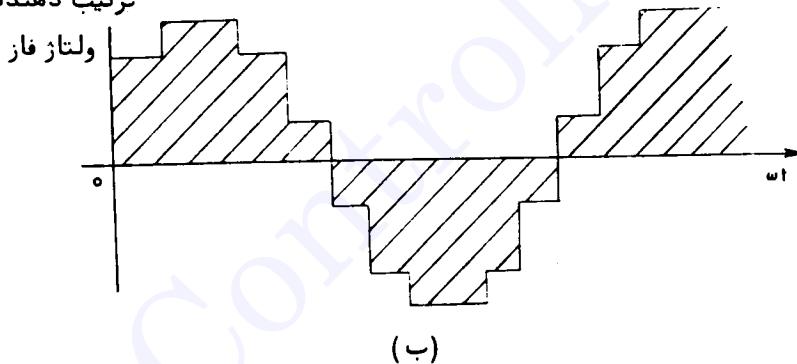
که در آن $\omega = ۳۰۵\text{rad/s}$

الکترونیک قدرت

۱۳۸



ترکیب دهنده



شکل ۳-۵۵ ولتاژهای وارونگر

(الف) ولتاژهای ثانویه‌ای که با یکدیگر جمع می‌شوند،

(ب) یکی از ولتاژهای فاز اعمال شده به موتور

برای فاز R مجموع ۵ قسمت به شکل معادله (۳-۶۷) وجود دارد که برای پیدا کردن

نتیجه، داریم:

$$v(\omega t) = v_{B_7}(\omega t) + v_{A_1}(\omega t) - v_{C_6}(\omega t) - v_{A_5}(\omega t) - v_{B_4}(\omega t) \quad (68-3)$$

که در آن:

$$v_{B_7}(\omega t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4V}{n\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\sin n \frac{\theta}{120^\circ} \right) [\sin n(\omega t + 30^\circ)] \quad (69-3)$$

۱۳۹

کنترل موتورهای الکتری

(۲۰-۳)

$$v_{A_1}(\omega t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4V}{n\pi} \left(\sin n \frac{\theta}{\gamma} \right) [\sin n\omega t]$$

$$v_{C_F}(\omega t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4V}{n\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\sin n \frac{\theta}{\gamma} \right) [\sin n(\omega t + 150^\circ)]$$

$$v_{A_D}(\omega t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4V}{n\pi} \left(\sin n \frac{\theta}{\gamma} \right) [\sin n(\omega t + 120^\circ)]$$

$$v_{B_F}(\omega t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4V}{n\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\sin n \frac{\theta}{\gamma} \right) [\sin n(\omega t + 90^\circ)]$$

از رابطه (۲-۶۹) تا (۲-۷۲) و با جایگزینی مولفهای اصلی در رابطه (۲-۶۸) خواهیم داشت:

$$v_1(\omega t) = \frac{8\sqrt{3}}{\pi} \sin \frac{\theta}{\gamma} \sin \omega t \quad (24-3)$$

در نتیجه ولتاژ فاز اصلی عبارت است از:

$$V_R \propto \sin \frac{\theta}{\gamma} \quad (25-3)$$

و لی

$$V_R \propto f \quad (26-3)$$

فرکانس منبع تغذیه است و در نتیجه:

$$f \propto \sin \frac{\theta}{\gamma} \quad (27-3)$$

چون بیشینه فرکانس موقعی که $180^\circ = \theta$ است اتفاق می‌افتد لذا:

$$f = f_{\max} \sin \frac{\theta}{\gamma}. \quad (28-3)$$

طبق روال فوق اگر برای هارمونیکهای سوم، پنجم، هفتم، و نهم جمع فرود را اعمال کنیم خواهیم دید دامنه همکی صفر است و فقط هارمونیکهای:

$$H = 2kN \pm 1, \quad (29-3)$$

که در حقیقت تکرار رابطه (۲-۶۳) است وجود دارد، و ولتاژهای این هارمونیکها عبارتند از:

$$v_n(\omega t) = \frac{8\sqrt{3}}{n\pi} \sin n \frac{\theta}{\gamma} \sin n \omega t. \quad (30-3)$$

الکترونیک قدرت

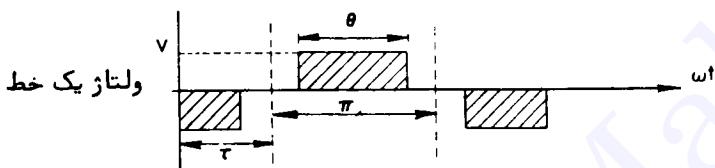
۱۴۰

اعوجاج کلی هارمونیک^۱ (THD) به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$THD = \sqrt{\left[\sum_{n=2}^{\infty} \right] \left(\text{هارمونیک } n \text{ به مثابه درصدی از مولفه اصلی} \right)^2}$$

که در آن $40000 = 2^n$ است.

شکل موج شکل ۳-۵ درست بالای ۱۵ درصد THD دارد در صورتی که ولتاژ فاز شکل ۳-۳۰ دارای بیشتر از ۳۰ درصد THD است.



$$f_{\max} \sin \frac{\theta}{2}$$

شکل ۳-۶ مدوله‌سازی پنهانی پالس ساده برای کنترل ولتاژ

(ج) ارزیابی وارونگرهای سه فاز تیریستوری

ارزیابی مختصر در حقیقت کوششی است در جهت انتخاب یک وارونگر برای موتورهای خاص، و این کوششی است تا دریابیم که حداقل هزینه برای ساختن (موتوری) با ویژگیهای معین ولتاژ، جریان، قدرت، فرکانس، هارمونیکها و رواداشتاهای تنظیمی کدام است. هر کاربردی باستی با شایستگی مربوط به خود مورد رسیدگی قرار گیرد اما زمینه‌های وسیع انتخاب را می‌توان در نظر گرفت.

این زمینه‌ها مدار راماندار الکترونیکی، که مدارکنترل منطقی و تعدادی تیریستور مورد لزوم درسیستم را نیز شامل می‌شود، دربرمی‌گیرند. اگر کسی فکر کند که وارونگر جانشینی برای جابه‌جاکن ماشین جریان مستقیم است، در قدرتهای کم باستی دلایل خاصی برای کاربرد وسائل استاتیکی داشته باشد. این به آن علت است که الکترونیک قدرت در مقایسه با جا به جاکن یا حتی موتور القابی پر هزینه‌تر است. هزینه مدارهای کنترلی متناسب با اندازه سیستم افزایش نمی‌یابد، به طوری که برای قدرتهای چند صد اسب بخار هزینه مدارهای فوق چندان گرانتر از سیستم جریان مستقیم مثل دستگاه وارد لئونارد نخواهد بود، شاید، مقدار کمی نیز پر بهره



کنترل موتورهای القابی
باشد . همچنین دارای مزایای ماشین بدون جاروبک از قبیل محل استقرار کمتر، نگهداری و مراقبت کمتر است و همچنین خطرات کمتری (جرقه جاروبکها در بعضی مواقع خطرناک است) دارد .

مدارهای رامانداز برای یک وارونگر با موج خروجی مربوعی شکل ، با توجه به یک مولد (نوسان ساز) فرکانس مبنای شمارنده زنجیری ساده‌ترین هستند . به محض اینکه نیازها پیچیده‌تر شدند مدارهای منطقی کنترل کننده پالسهای رامانداز نیز پیچیده‌تر خواهند شد . برای مثال مدوله‌سازی پهنهای باند برای تناسب ولتاژ بر فرکانس و تقلیل هارمونیکها باعث بفرنج شدن شدید می‌شود . مثال ساده دیگر ، مدار کنترل وضعیت جریان مستقیم در فصل کنترل ماشین جریان مستقیم است .

تعداد تیریستورهای به کار رفته بستگی کامل به نوع سیستم انتخاب شده دارد . سیستمی که دارای تعداد تیریستور کمینه است (شش تا از آنها) و با وجود این در خروجی ولتاژ متغیر با فرکانس متغیر برای موتور تهیه می‌کند ، سیستمی است که در آن واگردان یکسو کننده غیرقابل کنترل است و وارونگر توسط تیریستورهای بارکمکی جابه‌جا می‌شود و ولتاژ توسط ترانسفورماتور تغییر می‌کند . این سیستم در شکل‌های ۳-۲۵ و ۳-۲۸ نشان داده شده است .

موتورهای با پاسخ سریع غالباً وجه ویژه‌ای دارند ، به طوری که در این مورد کنترل الکترومکانیکی انشعابهای ترانسفورماتور غیرقابل قبول خواهد بود . به محض اینکه ولتاژ کنترل شده به واگردان انتقال پیدا کرد سه تیریستور دیگر نیز مورد لزوم است و برای جابه‌جایی قابل اعتماد در تمام اوقات ، خاموشی کمکی طبق شکل ۳-۳۶ لازم می‌شود ، که در نتیجه مجموعاً ۱۰ تیریستور به کار خواهد رفت .

برای انتقال کنترل دامنه ولتاژ به خودوارونگر حداقل شش تیریستور طبق شکل ۳-۳۶ مورد لزوم خواهد بود ، زیرا هر بازو بایستی کاملاً مستقل باشد . مدار شکل ۳-۳۴ این موضوع را نمایش می‌دهد . اگر تیریستورهای $TH1$ و $TH2$ جریان بار را حمل کنند تیریستور $TH1$ توسط $TH2$ که خودش توسط ولتاژ معکوس توان واکنشی بار برگردانده شده به شین جریان مستقیم خاموش می‌شود ، جابه‌جا می‌شود . در نتیجه جریان بار بلافاصله پس از خاموش شدن $TH1$ مجبور به عبور از طریق $TH2$ نخواهد بود . با اضافه کردن تیریستورهای کمکی تعداد تیریستورها دو برابر می‌شود . موقعی که تقلیل هارمونیکها یک مشخصه اضافه شده وارونگر باشد تعداد تیریستور باید افزایش یابد زیرا سه وارونگر تکافز به ترتیب برای چند برابر کردن پهنهای پالس و تقلیل هارمونیکهای انتخاب شده شکل‌های ۳-۴۵ و ۳-۴۲ به کار می‌رود . این عمل مستلزم استفاده از ۱۲ تیریستور برای انجام خاموشی تکمیلی است . خنثی سازی هارمونیکی می‌تواند تعدادی از طبقات تکفاری که برای حذف تعداد خاصی از هارمونیکها مورد لزوم است را داشته باشد . شش طبقه شکل ۳-۵۱ برای حذف هارمونیکها تا هارمونیک یازدهم



الکترونیک قدرت

۱۴۲

احتیاج به ۲۶ تیریستور دارد ، به شرطی که وارونگر همچنین مجبور به ثابت نگهداشت نسبت ولتاژ به دور در ثانیه باشد . ذر هر حال در مقام دفاع هر طبقه فقط یکششم کل کیلووات آمپر بار را می تواند از خود عبور دهد .

در حالت کلی ممکن است گفته شود که هر قدر وارونگر پیچیده تر باشد همان قدر کاربرد آن در قدرتهای بالاتر اقتصادی تر خواهد بود .

(ج) وارونگر در مدار گردانه موتور القایی

سیستم محرك گشتاور ثابت نوع کرامر در شکل ۳ - ۵۷ نشان داده شده است . این سیستم از سه ماشین گردان اضافی برای تبدیل توان لغزشی گردانه به جریان مستقیمی که بعدا " به جریان متناوب با فرکانس منبع تغذیه تبدیل شود ، استفاده می کند . همچنین امکان عبور توان از دو طریق که ایجاد سرعتی زیر و بالای سرعت سنکرون کند نیز وجود دارد . واگردانی و وارون سازی اشاره بر سیستمهای ساکن^۲ تیریستوری دارد . قسمتهای عمده سیستم معادل کرامر در شکل ۳ - ۵۸ نشان داده شده است .

دو وارونگر در شکل مشاهده می شود که یکی از آنها جریان متناوب را به جریان مستقیم برمی گرداند و دیگری جریان مستقیم را به جریان متناوب با فرکانس مورد لزوم وارون سازی می کند . زیر سرعتهای سنکرون ، وارونگر A قدرت لغزشی گردانه را به جریان مستقیم بر می گرداند ، این جریان توسط وارونگر B وارون سازی و به منبع تغذیه برگردانده می شود . اتوترانسفورماتوری به منظور تهیه ولتاژی با دامنه مناسب و صحیح به سیستم اضافه شده است و به علت اینکه وارونگر در موقع روشن و خاموش شدن توسط منبع تغذیه ولتاژ کنترل می شود ، لذا ممکن است به ترانسفورماتور احتیاجی نباشد . وارونگر B یعنی وارونگر کنترل فازی با جایی خط ولتاژ متناوب (ع) است و با اینکه ولتاژ جریان مستقیم ذاتا کم است ولی وارون سازی با جایی تاخیری انجام می پذیرد . جایی تاخیری به این معنی است که توان واکنشی شدیدی از منبع تغذیه اصلی جریان متناوب اخذ شود و این نمی تواند یک مزیت برای سیستم محسوب شود .

همون^۳ (مرجع ۱۴) برای حذف این قدرت واکنشی اظهار می دارد که می توان سیستم را مثل شکل ۳ - ۵۹ توسط یک وارونگر پالس در خط جریان مستقیم طوری تنظیم کرد که در این واگردان عمل کنترل با روشن و خاموش کردن خیلی سریع تیریستور TH1 امکان پذیر است . این واگردان ولتاژ متغیر گردانه را قادر می سازد که به ولتاژ ثابت قابل شمارش برای سیستم

۱۴۳

وارونگر (به منظور ایجاد ولتاژ کامل) تطبیق داده شود ، جریانهای پالسی خروجی احتیاج به خازنهای ضربه‌گیر^۱ دارند . عملکرد سیستم رامی توان از نقطه نظر انرژی نیز برسی کرد . موقعی که وارونگر خاموش است ، تیریستور $TH1$ گردانه را به طور موثر اتصال کوتاه می‌کند و چون موتور در اثنای یک سیکل منبع تغذیه نمی‌تواند سرعت را تغییر دهد انرژی به صورت انرژی واکنشی در سلف مدار ذخیره می‌شود . با روشن کردن وارونگر و خاموش کردن $TH1$ به طور همزمان ، انرژی ذخیره شده برای انتقال به منبع تغذیه آزاد می‌شود . از طرف دیگر موقعی که $TH1$ گردانه را اتصال کوتاه می‌کند جریان صعود می‌کند و با خاموش کردن $TH1$ ، جریان نزول کرده و سبب القای ولتاژ شدیدی در دو سلف می‌شود که این ولتاژ جهت ابقاء جریان تقلای می‌کند . ولتاژ فوق به ولتاژ یکسو شده گردانه اضافه می‌شود ، به طوری که مجموع این ولتاژها بیشتر از ولتاژ منبع تغذیه شود و در نتیجه قدرت فعالی به منبع تغذیه تزریق می‌شود .

در بالای سرعت سنکرون ، وارونگر B شکل ۳ - ۵۸ برای ایجاد ولتاژ ثابت جریان مستقیمی یکسوسازی می‌کند و وارونگر A جریان متناوبی در فرکانس و ولتاژ معینی به منظور تزریق به سیم‌پیچی‌های گردانه موتور القایی تولید می‌کند . وارونگر A نمی‌تواند مثل وارونگر B جایه جایی خط باشد زیرا در سرعت سنکرون وارونگر B از شین ، جریان مستقیم می‌گیرد و جریان مستقیم را ، البته در ولتاژهای متفاوتی ، به گردانه تزریق می‌کند . در نتیجه ولتاژ متناوب برای جایی نخواهیم داشت . جایه جایی احباری ، با استفاده از خازنهای برای ذخیره انرژی جایه جایی ، تنها روشی است که گستره کاملی از سرعت که سرعت سنکرون را نیز شامل می‌شود ، مهیا می‌سازد . این روش کاربرد را مانداز با زاویه فاز برای ایجاد ولتاژ خروجی متغیر را حذف می‌کند . به جای آن بایستی از روش مدوله‌سازی پهنهای باند پالس استفاده کرد . در ولتاژهای کم ، جایه جایی توسط کاربرد خازن ، به علت اینکه انرژی $\frac{1}{3}C_1V^2$ (به مقدار کافی ذخیره نمی‌شود ، غیر قابل اطمینان است . مگراینکه از خازنهایی با مقادیر بزرگ استفاده شود . از خازنهای کوچک موقی می‌توان استفاده کرد که جهت اطمینان از ذخیره بار کافی در طول جایه جایی ، یک منبع انرژی کمکی (باطری) به سیستم اضافه شود . در حقیقت این کار نیز زیاد رضایت‌بخش نیست ، دلیلش این است که وارونگر B به صورت یک یکسونکنده قابل کنترلی که ولتاژ جریان مستقیم شینی را به مقادیر کوچک مورد نیاز برای گردانه تبدیل کند عمل نمی‌کند . واگرداں ولتاژ ثابت زیادی تولید می‌کند و اجازه می‌دهد که وارونگر A کنترل ولتاژ را انجام دهد .

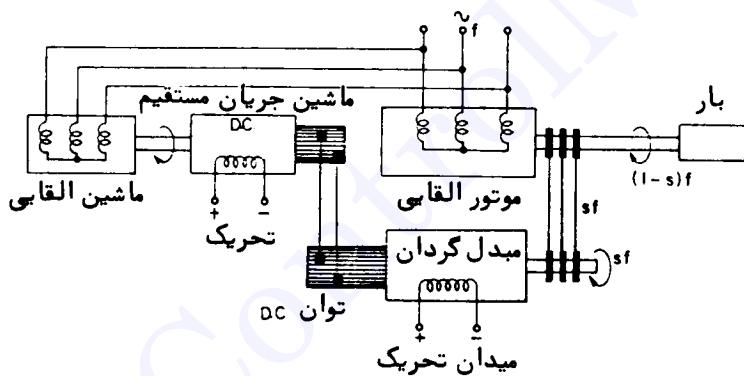
سیستم مذکور گران قیمت و پیچیده است . اصولاً " چرا از آن استفاده می‌شود ؟ زیرا خیلی کارآمد و موثر است ، که این را در مورد یک جعبه دنده با سرعت متغیر که بایستی سرعت را

الكترونيك قدرت

14

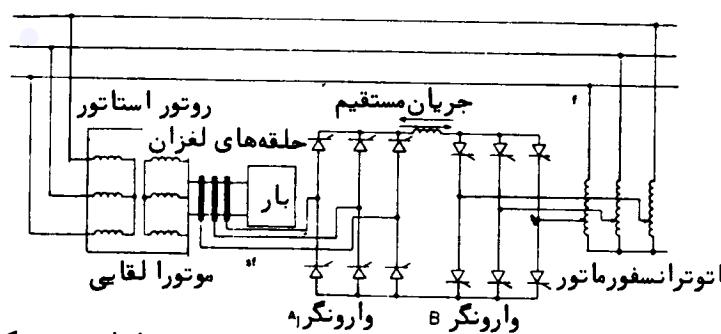
تنظیم کند^۱ نمی‌توان گفت. عبور توان در هر دو جهت به منظور تولید سرعتی کاملاً زیر و یا کاملاً بالای سرعت سنکرون امکان‌پذیر است. این کار نمی‌تواند بدون کنترل پارامترهای ایستانه امکان‌پذیر باشد مگراینکه از یک وارونگر فرکانس متغیر استفاده شود. این وارونگر (معکوس کننده) شبیه وارونگرهای A و B از نوع تزریق گردانه خواهد بود؛ با این تفاوت که گستره فرکانس آن بایستی معادل دو برابر فرکانس آنها باشد. بنابراین دو حالت برای انتخاب وجود دارد، موتور قفسی تحریک شده توسط وارونگری که فرکانس آن دو برابر فرکانس منبع تغذیه باشد و یا موتور با حلقه لغزان (روتور سیم پیچی شده) در حال کنترل با وارونگری که فرکانس آن همان فرکانس منبع تغذیه باشد.

تفاوت مخصوصی در شکل ۳ - ۵۸ که فقط سرعت متغیر پایین تر از سنکرون را امکان پذیر می سازد ، وارونگر A را به یک یکسونتنده غیر قابل کنترل تبدیل می کند . وارونگر B که وارونگری با جا به جایی خط جریان متناوب و کنترل فازی است نسبتا ساده است و واگردان یالس شکل ۳ - ۵۹ می تواند باز برای تهیه سیستمی با بازده بیشتر مورداستفاده واقع شود .

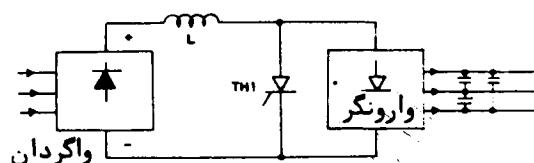


شکل ۳-۵۷ سیستم کرامی برای کشتاور ثابت

منبع تغذیه
اصلی



شکل ۳-۵۸ سیستم تیریستوری معادل سیستم کرامر



شکل ۲-۵۹ یکسوکننده کنترل شده پالسی

مراجع

1. Hindmarsh, J. (1965), *Electrical Machines*, Pergamon Press, Oxford.
2. *Power thyristors and their applications* (1969), I.E.E. Conference Publication, No. 53, 185 and 168.
3. Shepherd, W. and Stanway, J. (1964), 'The silicon controlled rectifier a.c. switch for the control of one phase series and transformer loads', *I.E.E.E. Int. Con. Rec.* 4, 155-163.
4. Murphy, R. H. and Nambiar, K. P. P. (1961), 'A design basis for SCR parallel inverters', *Proc. I.E.E. (B)*, 108, 556-562.
5. Mapham, N. W. (1964), 'The classification of SCR inverter circuits', *I.E.E.E. Int. Con. Rec.* 4, 99.
6. Bedford, B. D. and Hoft, R. G. (1964), *Principles of inverter circuits*, John Wiley, New York, p. 190.
7. McMurray, W. (1964), 'SCR inverter commutated by an auxiliary impulse', *I.E.E.E. Trans. Comm. Elec.* 83, 824-829.
8. McMurray, W. and Shattuck, D. P. (1961), 'A silicon-controlled rectifier inverter with improved commutation', *I.E.E.E. Trans. Comm. Elec.* 80, 531-542.
9. Bradley, D. A. et al. (1964), 'Adjustable frequency inverters and their application to variable speed drives', *Proc. I.E.E.* 111, 1833-1846.
10. Bradley, D. et al. (1964), 'Adjustable frequency inverters . . . ', *Proc. I.E.E.* 111, 1833-1846.
11. Molczyki, B. (1966), 'Pulse width modulated inverters for a.c. motor drives', *I.E.E.E. Int. Con. Rec.* 8, 8-23.
12. Turnbull, F. G. (1964), 'Selected harmonic reduction in static d.c. to a.c. inverters', *I.E.E.E. Trans. Comm. and Elec.* 83, 374-378.
13. Kernick, A. et al. (1962), 'Static inverter with neutralization of harmonics', *A.I.E.E. Trans. (II)* 81, Appl. and Ind. 59-68.
14. Heumann, K. (1964), 'Pulse control of d.c. and a.c. motors by silicon controlled rectifiers', *I.E.E.E. Trans. Comm. and Elec.* 83, 397.

مسائل

۳-۱ . ثابت کنید مشخصه های گشتاور سرعت موتور القابی موقعی که ولتاژ ورودی متناسب با فرکانس تغییر کند ، طبق شکل ۳-۱۷ است . همچنین چگونگی تغییرات بازده موتور را با فرکانس تشریح کنید .

$$T = \frac{P_m}{\omega_m} \quad (82-3)$$

که در آن :

P_m قدرت خروجی مکانیکی هر فاز
 ω_m سرعت زاویه ای محور موتور
 رابطه زیر بین قدرتهای موتور موجود است :

$$P_1 : P_T : P_m = 1 : s : (1 - s) \quad (83-3)$$

و لغزش موتور طبق رابطه زیر تعریف می شود :

$$s = \frac{\omega/p - \omega_m}{\omega/p} \quad (84-3)$$

که در آن

- ۱) قدرت انتقالی از طریق فاصله هوایی هر فاز
 - ۲) تلفات مسی گردانه (روتور) (که آن عبارت است از انرژی تلف شده در مقاومت سیم پیچی گردانه؛ یعنی $(\pi/2r)^2$) در هر فاز .
 - ۳) فرکانس زاویه ای منبع تغذیه و
 - ۴) تعداد زوج قطبهاست .
- در نتیجه :

$$T = \frac{p}{\omega} \frac{P_T}{s} \quad (85-3)$$

$$= \frac{p}{\omega} I_T^2 \frac{r^2}{s} \quad (86-3)$$

که در آن :

- ۱) جریان گردانه در هر فاز
- ۲) مقاومت سیم پیچی گردانه در هر فاز و ، اگر
- ۳) نیروی محرکه الکتریکی القا شده در هر فاز گردانه در حال سکون ، و
- ۴) راکتانس سلفی نشتشی گردانه در هر فاز در حال سکون باشند ، در این صورت خواهیم داشت :

الکترونیک قدرت

۱۴۸

$$T = \frac{p}{\omega} \frac{E_1^2 r_1}{(r_1^2 + s^2 x_1^2)} \quad (87-3)$$

مشتق رابطه اخیر نسبت به لغزش s و معادل صفر قرار دادن آن رابطه گشتاور بیشینه را به صورت زیر نتیجه می‌دهد:

$$T_{max} = \frac{p}{\omega} \frac{E_1^2}{2x_1} \quad (88-3)$$

این گشتاور در لغزش زیر بوقوع می‌پیوندد:

$$s = \frac{r_1}{x_1} = a \quad (89-3) \quad (\text{فرض می‌شود})$$

اگر افت ولتاژ در دو سر امپدانس ایستانه (استاتور) $(r_1 + jx_1)$ قابل اغماض باشد، که این امر با بزرگتر شدن موتورها قابل قبولتر است، در مورد خلوی مغناطیسی ثابت خواهیم داشت:

$$V \propto E_1 \propto E_2 \propto \omega \quad (90-3)$$

و چون

$$x_1 \propto \omega \quad (91-3)$$

بنابراین در هر فرکانسی رابطه زیر با تقریب خیلی کم صادق خواهد بود.

$$T_{max} = \text{مقدار ثابت} \quad (92-3)$$

به این ترتیب تا زمانی که ولتاژ اعمال شده به موتور با فرکانس مناسب باشد، گشتاور بیشینه موجود در هر فرکانس مقدار ثابتی خواهد بود. همچنین با استفاده از روابط (۳-۸۸)، (۳-۹۰) رابطه زیر برای هر مقدار لغزش به دست می‌آید:

$$T = T_{max} \frac{\tau a s}{a^2 + s^2} \quad (93-3)$$

و

$$a \propto \frac{1}{\omega} \quad (94-3)$$

البته به شرطی که r_2 را بتوان مستقل از فرکانس فرض کرد و راکتانس نشتی را نیز ثابت دانست. در موقع راه اندازی مقدار لغزش یک است و گشتاور راه اندازی از رابطه (۳-۹۳) به صورت زیر خواهد بود:

$$T_{ST} = T_{max} \frac{\tau a}{a^2 + 1} \quad (95-3)$$

یا:

$$T_{ST} = \text{مقدار ثابت} \times \frac{\omega}{b^2 + \omega^2} \quad (96-3)$$

که در آن b ثابت دیگری است. هرگاه فرکانس منبع تغذیه افزایش یابد مخرج رابطه (۳-۹۶) بیشتر از صورت افزایش پیدا کرده و نشان می‌دهد که در فرکانس‌های زیاد گشتاور راه اندازی مقدار کمتری خواهد داشت.

۱۴۹

کنترل موتورهای القابی

از روابط (۳-۹۶) و (۳-۹۲) می‌توان مشخصه‌ها را طبق شکل (۳-۱۷) رسم کرد. وجود گشتاور راهاندازی زیاد در فرکانس‌های پایین مزیتی است که در کاربرد محرکهای کشی مخصوصاً موقعی که ولتاژ اعمال شده نسبتاً کمتر باشد اهمیت زیادی دارد. نکات دیگری که لازم به یادآوری است این است که در لغزش‌های کم و موقع کار موتور گشتاور برای فرکانس‌های زیاد بیشتر از فرکانس‌های کم است و رابطه بین گشتاور و لغزش تقریباً خطی است. در گشتاور بار ویژه‌ای اسب بخار خروجی به طور مستقیم متناسب با فرکانس است و با افزایش فرکانس بازده نیز افزایش می‌یابد. نکته اخیر توسط رابطه زیر برای بازده به فرمول درمی‌آید.

$$\eta = \frac{P_m - \text{تلفات اصطکاک و تهویه}}{P_1 + \text{تلفات هسته و تلفات مسی ایستاده}} \quad (3-92)$$

با صرفنظر کردن از تلفات، رابطه فوق را می‌توان به صورت ساده زیر نوشت:

$$\eta \approx \frac{P_m}{P_1} \quad (3-98)$$

بنابراین طبق رابطه (۳-۸۳)

$$\eta \approx (1-s). \quad (3-99)$$

با استفاده از اطلاعات نشان داده شده در شکل (۳-۱۷) برای گشتاور بار ثابت، با افزایش فرکانس منبع تغذیه مقدار لغزش، و تقلیل خواهد یافت. همچنین بازده موتورها (افزایش) فرکانس افزایش می‌یابد. شایسته است که موتور، به منظور سرعت گرفتن پرشتابش، با فرکانس کمی که گشتاور زیادی در برخواهد داشت راهاندازی شود. اما این [نیز] یک اقدام لازم اقتصادی است که [موتور] در بالاترین فرکانس ممکن گردانده شود. با به دست آوردن فلوی مغناطیسی تقریباً ثابت و درنتیجه گشتاور قابل دسترسی بیشینه در تمام سرعتها توسط ولتاژ اعمال شده‌ای که با فرکانس متناسب مستقیمی داشته باشد، اسب بخار خروجی متناسب با سرعت و درنتیجه با فرکانس افزایش خواهد یافت. این افزایش مورد نیاز نیست و همیشه نیز امکان بذیرنمی‌شود. در فرکانس‌های خیلی پایین موقعی که راکتانس خیلی کوچک می‌شود محدود سازی جریان تنها توسط مقاومت سیم پیچی عملی می‌شود. در نتیجه ولتاژ زیادتر در فرکانس پایینی، اگر گشتاور زیادی مورد نیاز باشد مطلوب خواهد بود. اغلب مثلاً "در مورد محرکهای کشی، بیشتر از سرعت معینی توان ثابتی مورد نیاز است، به این منظور زمانی که فرکانس افزایش می‌یابد، ولتاژ را باایستی ثابت نگهداشت. در کاربردهای مختلف باایستی مشخصه‌های نسبت ولتاژ بر فرکانس را در چهارچوب کارکرد بهینه موتور برنامه‌ریزی کرد".

در این تحلیل تقریبی‌های در نظر گرفته شد، از آن جمله تناسب ولتاژ با فرکانس، و همواره فرض بر این بود که مقادیر سینوسی باشند. در مورد وارونگرهای نیمه هادی این موضوع



الکترونیک قدرت

۱۵۵

بایستی مد نظر قرار گیرد . علاوه بر این خارج از گستره محدودی از فرکانس بایستی ولتاژ ثابت نگهداشته شود ؛ ولی کاهش فرکانس بیش از حد معینی باعث اشباع مغناطیسی می شود و تلفات زیادتری ایجاد می کند .

۲-۲ در مورد مدار جا به جایی وارونگر مک ماری (به مثال ۳-۲ و قسمت ۳-۳-۱ ب (۱) مراجعه شود) ثابت کنید که :

$$C = 5 / 893 \frac{I_L t_0}{E_c} \quad \text{فاراد}$$

$$L = 5 / 397 \frac{E_c t_0}{I_L} \quad \text{هانری} \quad \text{و}$$

۳-۳ . ثابت کنید که اولین هارمونیک بعد از مولفه اصلی درخروجی وارونگر باختی سازی هارمونیک قسمت (۳-۳-۱-۵-ب) ، هارمونیک یازدهم است .

۴-۳ . نشان دهید که چطور یک وارونگر واقع در مدار گردانه موتور القابی یک وسیله کنترل سرعت است .

این موضوع بیشتر به کنترل ولتاژ تزریق شده به گردانه (روتور) مربوط است تا کنترل فرکانس؛ ولتاژ تزریق شده به حلقه های لغزان گردانه بایستی دارای فرکانسی مشابه فرکانس جریان گردانه باشد ، علت استفاده از وارونگر نیز همین است .

اگر گردانه سیم پیچی شده یک موتور القابی دارای سرهای خروجی اتصال یافته به حلقه های لغزان باشد ، می توان ترتیبی داد که فازهای آن مدار بار باشند . این امر از عبور جریان در سیم پیچی گردانه جلوگیری می کند . لذا گشتاور و بنابراین سرعت گردانه صفر خواهد بود . بنابراین اگر ولتاژی از یک منبع تغذیه خارجی به سیم پیچی گردانه از طریق حلقه های لغزان تزریق شود بین این ولتاژ و نیروی محرکه الکتریکی القابی ترانسفورماتور به سیم پیچی گردانه تداخلی به وجود آمده و عبور جریانی را موجب می شود . گشتاور الکترومغناطیسی ثابت موثری موتور القابی را در سرعت پایدار معینی با در نظر گرفتن اینکه فرکانس ولتاژ تزریق شده مشابه فرکانس نیروی محرکه القابی گردانه باشد به حرکت و ادار خواهد کرد . تغییر دامنه یا فاز ولتاژ تزریق شده جریان را وادار به تغییر می کند که این تغییر به نوبه خود روی گشتاور نیز اثر می گذارد و در نتیجه سرعت پایدار جدیدی به وجود می آید .

این موضوع به وضوح با بررسی نمایش مداری موتور القابی که دارای ولتاژ تزریق شده ای به گردانه آن است روش می شود . معادله حلقه ای^۱ مدار ثانویه موتور به صورت فازوری عبارت است از :

$$s\bar{E}_r \pm \bar{E}_k = \bar{I}_r(r_r + jsx_r) = \bar{I}_r \bar{Z}_r$$

که در آن E_k ولتاژ تزریق شده به گردانه از منبع تغذیه خارجی است.

مотор القایی اساساً موتور سرعت ثابت یا تقریباً شبیه آن است، بنابراین حالت بی‌باری تعبیر و تفسیر معادله فوق را ساده خواهد ساخت. در حالت بی‌باری تنها فائق آمدن گشناور بر اصطکاک برای کار موتور کافی است، به طوری که جریان گردانه یا جریان در ثانویه تقریباً صفر است. در نتیجه برای حالت بی‌باری داریم:

$$s\bar{E}_r \pm \bar{E}_k \approx 0$$

بنابراین مقدار لغزش عبارت است از:

$$s = \mp \left| \frac{E_k}{E_r} \right| = \mp k \quad (\text{فرض می‌شود})$$

۲- مقدار نیروی حرکه القایی گردانه در هر فاز در حالت سکون^۱ و یا در فرکانس منبع تغذیه ($\omega = 0$) است و بنابراین مقدار ثابتی است. اکنون لغزش مستقیماً متناسب با مقدار ولتاژ تزریق شده است و چیزی که اهمیت دارد علامت لغزش است که می‌تواند منفی نیز باشد، و این به مفهوم دسترسی به سرعت فوق سنکرون است. سرعت بی‌بار عبارت است از:

$$n_0 = (1 \pm k)n_s$$

که در آن n_s سرعت سنکرون موتور است که با فرکانس منبع تغذیه و تعداد قطب‌های ایستاده معین می‌شود.

برای موتورهای القایی مخصوصاً آنهایی که دارای نسبت مقاومت به راکتانس سلفی کمی هستند تغییرات سرعت بین بی‌باری و بار کامل کوچک است. بنابراین گرایش عمومی سرعت در هر باری عبارت است از:

$$n \approx n_0 = (1 \pm k)n_s.$$

با ولتاژ تزریق شده‌ای که سرعت‌های زیر و فوق سنکرون را مجاز می‌سازد، منطقی خواهد بود که فرض شود سرعت سنکرون واقعی (از موتور در هر باری) می‌تواند به دست آید. در این سرعت لغزش صفر است و جریان گردانه دارای فرکانس صفر خواهد بود. در نتیجه، ولتاژ القا شده یک ولتاژ جریان مستقیم است. موتور القایی که درست با سرعت سنکرون کار کند در حقیقت حالت خاصی از ولتاژ تزریق شده است و تبدیل به موتور القایی سنکرون می‌شود. عملکرد این موتور در طول راه اندازی مثل موتور القایی است، سپس جریان مستقیمی به داخل سیم پیچی گردانه تزریق می‌شود و موتور با سرعت سنکرون، یعنی، در سرعت ثابتی مثل ماشین سنکرون می‌چرخد.

الکترونیک قدرت

روش‌های کاربرد ولتاژ تزریق شده به منظور رسیدن به سرعت قابل تنظیم متعدد است.

روشها از ساده‌ترین ولی پرتلفات‌ترین شیوه که در حقیقت اتصال مقاومت متغیر بین حلقه‌های لغزان است نا استفاده از ماشینهای جا به جاکن دار برای اخذ یا برگشت دادن توان لغزشی به منبع تغذیه اصلی، به منظور رسیدن به بازده بیشینه تغییر می‌کنند.

معمول‌ترین شیوه برای داشتن ولتاژ ثانویه القابی گردانه و ولتاژ تزریق شده واقعی در همان فرکانس، نیازمند استفاده از جا به جاکن روی محور گردانه است تا به صورت تعویض‌کننده فرکانس عمل کند. حال وارونگر می‌تواند جایگزین ماشین جا به جاکن دار شود.

۳ - ۵ . یک وارون‌ضربه‌ای جابه‌جا شونده کمکی، به شکلی بنیادی، در شکل ۳ - ۶ تصویر شده است. عملکرد آنرا توضیح دهید، و جا به جایی مدار به منظور تعیین فرکانس بیشینه وارونگر را تحلیل کنید.

ملاحظه شکل ۳ - ۶ (ب) برای توضیح عملکرد کافی است که در اصل همان شکل ۲ - ۲ است که برای راحتی در اینجا تکرار شده است. مقدار خازن بایستی به حد کافی زیاد باشد تا اینکه بار موثر همیشه دارای ضریب قدرت پیش فاز باشد. موقعی که تیریستور TH_1 در زمان $t = 0$ راهاندازی می‌شود:

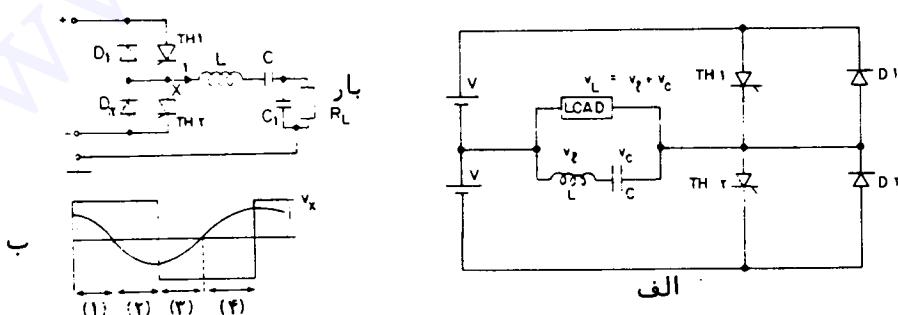
$$V = \frac{1}{C} \int_0^t i_c dt + L \frac{di_c}{dt}. \quad (100-3)$$

اگر مقدار اولیه جریان خازن برابر باشد با:

$$i_c(0+) = I \quad (101-3)$$

و مقدار ولتاژ اولیه خازن صفر باشد تبدیل لالپلاس معادله (۱۰۰ - ۳) به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{V}{s} = \frac{1}{sC} i_c(s) + L s i_c(s) - LI. \quad (102-3)$$



شکل ۳ - ۶ (الف) و (ب) وارونگر ضربه‌ای جابه‌جا شونده کمکی.

به طوری که :

$$i_c(s) = \frac{v/L + sI}{s^2 + 1/LC}. \quad (103-3)$$

بنابراین از عکس تبدیل لاپلاس نتیجه می شود که :

$$i_c(t) = \frac{v}{s} \sin \omega t + I \cos \omega t \quad (104-3)$$

که در آن :

$$x = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

و به طور مشابه

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}. \quad (105-3)$$

$$v_c = V + x/I \sin \omega t - V \cos \omega t.$$

دوره [تناوب] T ولتاژ موج مربعی بین دو سر بار زمان یک سیکل کامل است، یعنی TH_1 روش، D_1 روش و TH_2 خاموش، TH_1 روش و D_2 روش TH_2 خاموش. این دوره [تناوب] مشابه دوره تناوب v است. رابطه زیر را در نظر می گیریم :

$$T = \frac{\pi \theta}{\omega}. \quad (106-3)$$

بیشینه جریان جا به جایی موقعی رخ می دهد که :

$$\omega t = \frac{\theta}{4}$$

با جایگزینی این رابطه در رابطه (104-3) نتیجه می شود :

$$i_c = \frac{v}{x} \sin \frac{\theta}{4} + I \cos \frac{\theta}{4}. \quad (107-3)$$

مقدار I از رابطه (104-3) یا محاسبه در آخر نیم سیکل بدست می آید؛ یعنی :

$$\omega t = \frac{\omega T}{2} = \pi + \frac{\theta}{2}$$

الکترونیک قدرت

۱۵۴

بنابراین :

$$I = \frac{v}{x} \cot \frac{\theta}{4} \quad (108-3)$$

حداکثر ولتاژ \hat{V} دو سر خازن موقعی رخ می‌دهد که :

$$\omega t = \frac{\pi}{2} + \frac{\theta}{4}$$

و عبارت است از :

$$\hat{v}_c = V + xI \cos \frac{\theta}{4} + V \sin \frac{\theta}{4} \quad (109-3)$$

جایگزینی مقدار I در این رابطه نتیجه می‌دهد که :

$$\hat{v}_c = V \left(1 + \operatorname{cosec} \frac{\theta}{4} \right) \quad (110-3)$$

حاصلضرب دو رابطه :

$$\frac{C\hat{v}_c^2}{TIV} = \frac{(1 + \operatorname{cosec} \theta/4)^2}{(2\pi + \theta) \cot \theta/4} \quad (111-3)$$

$$\frac{LI_c^2}{TIV} = \frac{\sec^2(\theta/4) \cot(\theta/4)}{2\pi + \theta} \quad (112-3)$$

متاسب با مقادیر حدی انرژی ذخیره شده به ترتیب در خازن و یا سلف است . درمجموع موقعی $\theta/4 = 45^\circ$ تقریباً ۴۵ درجه ، انتخاب بهینه برای $\theta/4$ است کمینه خواهد بود . زمان خاموشی ، t_{off} دست یافتنی برای خاموشی ، زمانی است که دیود قبل از روشن شدن تیریستور بعدی روشن شود ، در نتیجه :

$$t_{off} = \frac{(\theta/2)}{\omega} = \frac{(\theta/4)T}{\pi + (\theta/2)} \quad (113-3)$$

موقعی که

$$\frac{\theta}{4} \approx \frac{\pi}{4}$$

پس :

$$t_{off} = \frac{T}{\omega} \quad (114-3)$$

رابطه اخیر معرف بیشینه فرکانسی است که وارونگر می‌تواند با آن به کار خود ادامه دهد . ۳-۶ . وارونگر شکل‌های ۱۹-۳ (ب) ، ۲۰-۳ (الف) و ۲۱-۳ را با فرض اینکه سلف L دارای مقدار بینهایت باشد در نظر بگیرید . مقدار بار مدار اهمی $35R_L$ اهم و $n = 1$ است . زمان خاموشی بیشینه تیریستور را برای عمل رضايتبخش وارونگر در صورتی که ظرفیت خازن جابه‌جایی $18/0$ میکروفاراد باشد ، تعیین کنید .

جواب : ۱۵ میکروثانیه

۷-۳ . وارونگر تکفازی را از نوع شکل ۳-۱۸ (ب) با اضافه کردن سلفی سری شده با پیل و یک خازن جابه‌جایی که خود با بار اهمی 35 اهمی موازی است ، در نظر بگیرید . در صورتی که برای برقراری جریان پیوسته پیل مقدار سلف L بینهایت فرض شود . مقدار خازن برای عمل

۱۵۵

کنترل موتورهای القابی

رضایت‌بخش وارونگر موقعی که زمان خاموشی هر تیریستور ۳۰ میکروثانیه باشد چقدر است؟
جواب: $1/44$ میکروفاراد

۳-۸ . وارونگر سه فاز نشان داده شده در شکل ۳-۲۹ با شکل موج ولتاژ خروجی طبق شکل ۳-۳۰ مفروض است . توسط سری فوریه دامنه‌های تا پنجمین هارمونیک ولتاژ خط خروجی را

$$\frac{4\sqrt{6}}{5\pi} \cdot V_{\text{line}, 5^{\text{th}}} = 7,500 \text{ V}$$

۳-۹ . وارونگر سه فاز نشان داده شده در شکل ۳-۲۹ مفروض است . اگر بار وارونگریک موتور القابی باشد . هارمونیک پنجم خط ولتاژ چه اثری روی کار موتور خواهد گذاشت؟

فصل چهارم

کنترل موتور جریان مستقیم

۴ - ۱ مقدمه

ماشین جریان مستقیم پیش از شروع قرن حاضر؛ یعنی، موقعی که منبع تغذیه موجود جریان مستقیم بود ساخته شد. امروزه تعداد کثیری موتور جریان مستقیم به علت اینکه دارای مشخصه‌های خوب و مناسبی برای اکثر محرکهای سرعت متغیر هستند هنوز ساخته می‌شوند. موتورهای جریان مستقیم علی‌رغم مزایای ذکر شده دارای معایب و نقصهای زیادی هستند. برای آنها بایستی منابع تغذیه فدرت جریان مستقیم مخصوصی تولید کرد. [از نظر مقایسه] برای توان مشابهی موتورهای جریان مستقیم نسبت به موتورهای القایی بزرگتر و گران قیمت‌ترند به استثنای موتورهای خیلی کوچک موتورهای جریان مستقیم به منظور محدود کردن جریان زیاد (جریان تهاجمی) نیاز به تدبیر خاصی برای راهاندازی دارند. همچنین به علت وجود جا - به جا کن در موتورهای جریان مستقیم این ماشینها احتیاج به نگهداری و تعمیرات بیشتری نسبت به موتورهای القایی دارند. جا به جا کنها محدودیتهای دیگری نیز به وجود می‌آورند. انتقال جریان از هادیهای ساکن به هادیهای متحرک مستلزم داشتن اتصالات لغزنده است که باعث قطع و وصل جریان در کلافهای^۱ سیم‌پیچی و در نتیجه باعث تغییر فرکانس می‌شوند. در جاروبکها به خاطر وجود اصطکاک و جرقه و قوس الکتریکی سائیدگی ایجاد خواهد شد. حداقل ولتاژ بین تیغهای^۲ جا به جا کن برای جا به جایی موفقیت آمیز، در حدود ۲۰ ولت است. لذا حداقل ولتاژ ورودی برای موتورهای جریان مستقیم نمی‌تواند بالاتر از ۵۰۰ ولت باشد در صورتی که به ورودی موتورهای القایی می‌توان تا چندین کیلو ولت اعمال کرد.

الکترونیک قدرت

علی‌رغم معایب ذکر شده، موتورهای جریان مستقیم دارای مزایایی هم هستند. یکی از مشخصات اصلی آنها داشتن گشتاور راهماندازی خیلی زیاد است که در حرکتها کششی مورد نیاز است. گستره تغییرات سرعت آنها هم در زیر و هم در بالای سرعت اسمی خیلی وسیع است. بالاخره روش‌های کنترل این موتورها در اکثر مواقع برای دسترسی به مشخصه‌های کاری مشابه، ساده‌تر و ارزان‌تر از روش‌های کنترل موتورهای جریان متناوب هستند. این چند مزیت برای جبران معایب ذکر شده در مواردی که کاربرد محرک سرعت ثابت الزامی نیست کافی به نظر می‌رسد.

۴ - ۲ راه‌اندازی موتورهای جریان مستقیم

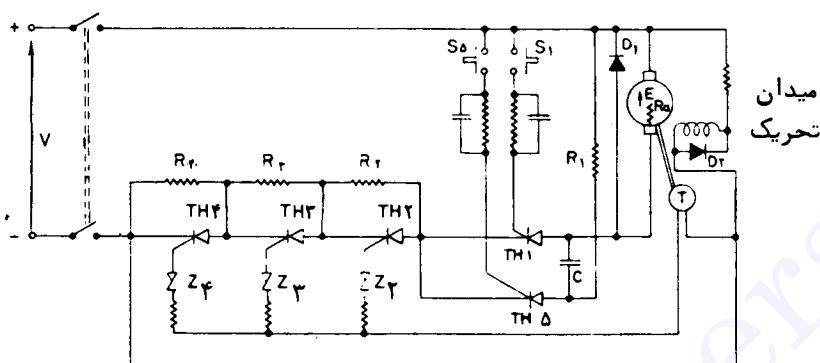
کلیه موتورهای جریان مستقیم به استثنای موتورهای خیلی کوچک بایستی در موقع راهماندازی به خاطر ممانعت از عبور جریان ورودی خیلی زیاد به ماشین، که موجب گرما و خرابی عایق‌بندی آن می‌شود تحت کنترل قرار گیرند.

اصول راهماندازی تغییر نمی‌کنند ولی روش‌های محدود کردن جریان تا میزان مورد قبولی که از نقطه نظر محیطی و اقتصادی مناسب باشد قابل تغییر هستند. موقعی که مقاومتها به طور مکانیکی وسیله اتصال لغزنه و یا اتصال دهنده^۱‌ها از مدار خارج می‌شوند [در لحظه قطع] جرقه و قوس الکتریکی به وجود می‌آید که باعث ساییدگی اتصالات می‌شود و به نگهداری و ترمیم دقیقی احتیاج دارد با این حال این روش‌های معمول ارزان و ساده هستند.

کاربرد الکترونیک قدرت می‌تواند کلیه قسمتهای متحرك راه‌انداز مقاومتی را حذف کند؛ و یا می‌توان از تیریستور، به ویژه به منظور راه‌اندازی و کنترل سرعت، برای جایگزینی راه‌اندازهای معمولی استفاده کرد.

۴ - ۳ - ۱ تیریستورها و راه‌انداز مقاومتی

شکل ۴ - ۱ آرایش یک راه‌انداز مقاومتی بدون قسمتهای متتحرك را نشان می‌دهد که در آن تیریستورها عمل قطع و وصل اتصالات مکانیکی را انجام، و راه‌انداز خودکار بدون قسمتهای متتحرك را تشکیل می‌دهند. موقعی که کلید راه‌انداز قدرت کم S_1 وصل می‌شود. تیریستور TH روش و عبور جریان از آرمیچر شروع می‌شود. جریان توسط مقاومتهای R_2 ، R_4 و R_6 محدود می‌شود. کلید راه‌انداز S_1 تبادل قدرتی معادل چند میلی وات و یا حداقل چند وات را به عهده می‌گیرد. در صورتی که اتصال دهنده‌های معمولی قدرتی معادل چند هزار برابر بیشتر از آن را بایستی تقبل کند. جریان بار کامل میدان به محض اتصال کلید اصلی برقرار



شکل ۴-۱ راهانداز مقاومتی بدون قسمتهای متحرک

می شود.

اگون فراید راهاندازی خودکار است، به این ترتیب که به محض شروع جریان آرمیچر خازن جا به جا کن C شروع به باردار شدن می‌کند. جریان آرمیچر و میدان تحریک برای شتاب دادن به آرمیچر و بار، تولید گشتاور الکترومغناطیسی می‌کنند. با افزایش سرعت، نیروی ضد محرکه E آرمیچر افزایش می‌یابد. جریان آرمیچر کا هش پیدامی کند و ولتاژ خروجی مولد سنجش نا موقعی که دیود زنر Z_2 به ولتاژ شکست برسد و تیریستور $TH2$ را راهاندازی کند افزایش می‌یابد. پس از هدایت تیریستور $TH2$ مقاومت R_2 اتصال کوتاه می‌شود و جریان آرمیچر دوباره شروع به افزایش می‌کند. در نتیجه گشتاور و سرعت افزایش می‌یابند و دوره عملیات فوق تکرار می‌شود، تا این که کلیه مقاومتها (سری شده برای راهاندازی) اتصال کوتاه شوند و موتور با سرعت اسمی دوران کند. دیودهای زنر Z_2 و Z_3 را می‌توان برای حدود سرعتهای $\frac{1}{3}$ و $\frac{2}{3}$ سرعت اسمی قرار داد، و مقاومتها نیز برای محدود کردن جریان زودگذر برای مقدار قابل قبولی تقسیم می‌شوند.

برای متوقف کردن موتور کافی است با اتصال کلید S_5 تیریستور $TH5$ را روشن کرد تا خازن C تخلیه شود و تیریستور $TH1$ را بایاس معکوس و خاموش کند، در نتیجه تمام جریان آرمیچر موتور قطع می‌شود و تیریستورهای $TH2$ و $TH4$ و $TH3$ مسدود خواهند شد [تا در موقع احتیاج به روشن شدن دوباره موتور، مراحل مذکور را تکرار کنند].

الکترونیک قدرت

۱۶۵

۴-۳ راه اندازی تیریستوری بدون مقاومت

حذف کلیه مقاومتهای مورد لزوم در راه اندازی ، مستلزم استفاده از اصل برش ولتاژ است . که برای این منظور منبع تغذیه را به طور سریع قطع و وصل می کنند تا نسبت زمان قطع ولتاژ به زمان وصل آن به طور متغیر به دست آید . این نسبت بعضی موقع نسبت فضا – علامت Δ نامیده می شود که تغییر آن باعث تغییر مقدار متوسط ولتاژ و در نتیجه مقدار متوسط جریان آرمیچر می شود . برای محدود کردن جریان موقعی که مونور شروع به حرکت می کند ولتاژ متوسط کمی مورد نیاز است و به تدریج نسبت فضا – علامت زیاد می شود تا به مقدار حداقل خود در سرعت اسمی برسد . مدار تیریستوری که این عمل را انجام می دهد به مدار برشگر موسوم است . روش راه اندازی بدون مقاومت دارای بازده بیشتری است و مزیت عدمهاین سیستم خودکار – بودن و به حداقل رساندن زمان راه اندازی است .

در اینجا تنها به خلاصه از مدارهای برشگر به عنوان راه انداز اشاره می شود . رفتار این مدارها در قسمت کنترل سرعت موتور جریان مستقیم به طور مفصل تشریح خواهد شد . شکل ۴-۲ مدار برشگر ساده‌ای را که فاقد تیریستورهای حفاظتی است نشان می دهد . این مدار از نوع خاموشی LC تشکیل شده است که همراهی یک تیریستور کمکی به منظور کنترل جابه – جای است .

تیریستور $TH1$ برای یک فاصله خاصی روشن می شود . جریان آرمیچر تا مقدار تعیین شده‌ای توسط این فاصله زمانی (روشن شدن تیریستور) و مقاومت مدار صعودی کند . میزان صعود جریان توسط سلف آرمیچر و سلف صافی اضافه شده L که تیریستور را نیز محافظت می کند محدود می شود . تیریستور $TH2$ سپس برای مدت زمان معین دیگری خاموش می شود و در این مدت جریان آرمیچر شروع به کاهش از طریق دیود $D1$ می کند و منبع تغذیه در این فاصله هیچ جریانی از مدار عبور نمی دهد . روشن و خاموش شدن تیریستور همان طور که شرح داده شد تا رسیدن سرعت موتور به سرعت اسمی تکرار و ادامه خواهد یافت .

یک راه برای ایجاد بهترین نسبت فضا – علامت به منظور دسترسی به سرعت اسمی موتور در حداقل زمان ممکن داشتن یک وسیله تعدیل و کنترل کننده 2 جریان سری با آرمیچر است . موقعی که جریان تا مقدار تعیین شده‌ای افزایش می بارد علامتی از وسیله تعدیل کننده برای خاموشی تیریستور اصلی ارسال می شود همچنین طبق شکل ۴-۳ موقعی که جریان به مقدار معینی کاهش پیدا می کند از همان وسیله تعدیل کننده علامت دیگری تیریستور اصلی را روشن می کند تا جریان شروع به افزایش کند و عملیات تکرار شود .

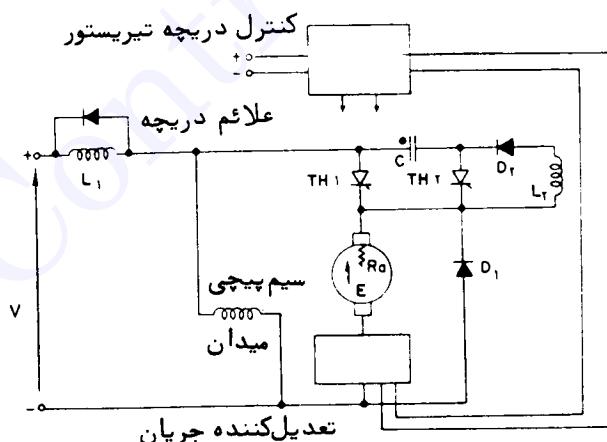
روشن شدن تیریستور با اعمال علامتی به دریچه تیریستور $TH1$ انجام می گیرد ولی خاموش

۱۶۱

کنترل موتور جریان مستقیم

کردن آن احتیاج به تیریستور دیگر TH_2 خواهد داشت. مدار تشیدی شامل TH_2 ، خازن C ، دیود D_2 ، و سلف L_2 است. ترتیب عملکرد مدار طوری است که تیریستور TH_2 باستی قبلاً از همه علامت روی دریچه دریافت کند. این علامت آن را روش، و خازن C را به طور مثبت در محل علامت‌گذاری شده باردار می‌کند. به محض اینکه خازن باردار شد تیریستور TH_2 به طور طبیعی خاموش می‌شود زیرا ولتاژ دو سر آن به صفر تقلیل می‌یابد.

اکنون علامت دریچه به تیریستور TH_2 اعمال شده، آن را به هدایت وامی دارد و عبور جریان در آرمیچر موتور را مجاز می‌سازد. در همان زمان، خازن C از طریق L_2 و سلف TH_1 از طریق D_2 شروع به خالی شدن می‌کند. به خاطر طبیعت نوسانی این مدار، ناشی از وجود L_2 ، خازن C نه تنها تخلیه می‌شود بلکه با قطبیت معکوس دوباره باردار شده و دیود D_2 بارهای جمع شده روی خازن را نگه می‌دارد. اکنون ولتاژ روی خازن در صفحه علامت‌گذاری شده $+V$ و در صفحه دیگر آن حدود $2V$ است. موقعی که جریان آرمیچر به مقدار حداقل جریان مجاز افزایش یافت دوباره علامتی به دریچه تیریستور TH_2 اعمال می‌شود تا آن را روش کند. تخلیه خازن C از طریق تیریستور TH_2 تیریستور TH_1 را بایاس معکوس می‌کند و آن را خاموش می‌سازد. دور عملیات تا موقعی که جریان آرمیچر به یک مقدار معینی کاهش پیدا نکرده است تا وسیله تعديل کننده به طور غیر مستقیم تیریستور TH_1 را دوباره روش کند، تکرار نمی‌شود.

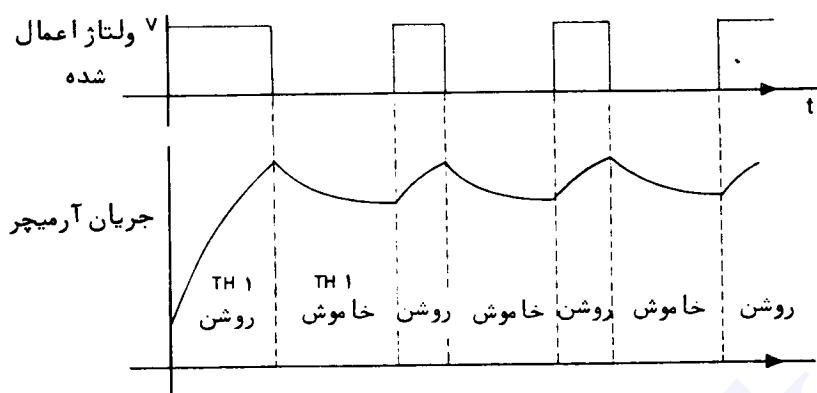


شکل ۴-۲ راه انداز موتور بدون مقاومت

مفهوم کلی این مدار آن را بیشتر از راه اندازی متنوع می‌سازد، مضافاً بر این که سرعت با تغییر مقدار متوسط ولتاژ قابل تنظیم است و مونورهای خود کنترل (سرورو موتور) قطع - وصل بزرگ نیز می‌توانند در برگیرنده این شکل کنترل باشند.

الکترونیک قدرت

۱۶۲



شکل ۴-۳ جریان آرمیچر کنترل شده توسط نسبت فضا - علامت

۳-۴ کنترل سرعت موتورهای جریان مستقیم
وارون سازی و احیا سازی یا ترمزکنی پویای (ترمز دینامیکی) ماشین، ارتباط ذاتی با کنترل سرعت دارد. برای تنظیم سرعت عوامل کنترل کننده را می‌توان از روابط اصلی حالت پایدار ماشین به وضوح دید.

$$E = \frac{p}{a} \phi n Z \quad (1-4)$$

$$V = E - IR_a \quad (2-4)$$

$$\varphi = K_1 I_f, \quad (3-4)$$

و
که در آن

E = نیروی حرکه الکتریکی القا شده بر حسب ولت

p = تعداد زوج قطبها

a = تعداد زوج مسیرهای موازی کلافهای آرمیچر

ϕ = حداقل فلوي [مفید] هر قطب بر حسب وبر

n = سرعت آرمیچر بر حسب دور در ثانیه

Z = تعداد کل هادیهای آرمیچر به طور سری

V = ولتاژ منع تغذیه یا ولتاژ ورودی بر حسب ولت

I = جریان آرمیچر بر حسب آمپر

کنترل موتور جریان مستقیم

$R_d =$ کل مقاومت آرمیچر بر حسب اهم

$K_1 =$ عدد ثابت فزوئی^۱ منحنی مغناطیس شدن و

$I_r =$ جریان سیم پیچی میدان بر حسب آمپر

با استفاده از روابط فوق رابطه سرعت به صورت زیر در می‌آید:

$$n = \frac{V - IR_d}{KI_f} \quad (4-4)$$

جریان آرمیچر کمیتی است گسترش یاب^۲ که به بار بستگی دارد. مقاومت آرمیچر R_d ، ولتاژ V و جریان میدان I_r کمیت‌های مشدد^۳ هستند که کنترل سرعت موتورها را تأمین می‌کنند. سرعت با ولتاژ اعمال شده به موتور، به شرط کوچک بودن افت ولتاژ آرمیچر مناسب است. افزایش مقاومت معادل آرمیچر و یا افزودن مقاومت به ورودی موتور سبب کاهش سرعت می‌شود. کاهش جریان میدان تحریک سبب افزایش سرعت موتور خواهد شد. هر یک از روش‌های مذکور به تنها برای دارای محدودیت‌هایی هستند. ولی ترکیب این روش‌ها کاربردهای کنترل سرعت، از قبیل تنظیم سرعت با گشتاور ثابت، با اسب بخار ثابت و یا هر دو متغیر را امکان‌پذیر می‌سازد. بر حسب متغیرهای گسترش یاب، سرعت مستقیماً با نیروی محرکه الکتریکی العاقله شده یا نیروی ضدحرکه الکتریکی و به طور معکوس با فلوی مغناطیسی میدان اصلی مناسب است.

سه نوع موتور جریان مستقیم از نظر اتصال سیم پیچی میدان با آرمیچر به صورت میدان موازی و میدان سری و مختلف وجود دارد که تمامی دارای تناسب‌های مختلفی بین متغیرهای ولتاژ، جریان و فلوی مغناطیسی هستند. بنابراین مشخصه‌های گشتاور – سرعت آنها مختلف خواهند بود. به همین دلیل وجود تعدادی متغیر قابل کنترل و تعدادی مشخصه‌های متفاوت، موتور جریان مستقیم را یک ماشین متنوع می‌سازد.

۴-۳-۱ کنترل سرعت تیریستوری

اصول عمومی کنترل سرعت موتورهای جریان مستقیم مشخص و معینی است. تیریستورها را می‌توان با ترکیب‌های مختلفی مورد استفاده قرار داد، ولی در هریک از روش‌های انتخاب شده مسئله کلی تنظیم ولتاژ اعمال شده به آرمیچر و یا به سیم پیچی میدان تحریک بایستی مدنظر قرار گیرد. البته در بعضی مواقع تنظیم هر دو نیز امکان‌پذیر است.

نوع منبع تغذیه می‌تواند یکی از دو نوع جریان متناوب و یا جریان مستقیم باشد. یک واحد تیریستوری تطبیق کننده^۴ را می‌توان بین منبع تغذیه و موتور جریان مستقیم به منظور

1- Constant over much

2- Extensive

3- Intensive

4- Matching

الکترونیک قدرت

کنترل سرعت قرار داد . دو نوع اصلی واحد تیریستوری وجود دارد . یکی واگردان (مبدل) تیریستوری که از جریان متناوب تغذیه می شود و دیگری مدار برشگر که از منبع جریان مستقیم تغذیه می کند . به جای نوع اول می توان از ترکیب واگردان غیر قابل کنترلی که ولتاژ جریان مستقیم ثابتی تولید می کند ، و مدار برشگر تیریستوری که ولتاژ خروجی جریان مستقیم متوسط قابل تنظیمی می دهد ، نیز استفاده کرد .

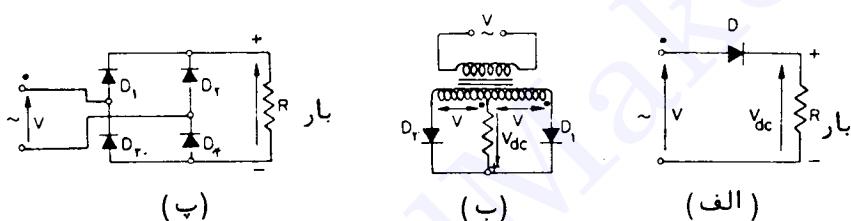
برای درجات تنظیم سرعت و عملکرد قابل اعتماد ، انواع مختلفی از هر مدار تیریستوری پایهای و اشکال گوناگون کنترل وجود دارد . در اینجا فقط به چند مثال می توان اشاره کرد تا روش‌های ساخت سیستمهای خاص از سیستمهای عام روش شود . منابع آخر این فصل گستره وسیعی از مثالهای ویژه کنترل سرعت موتورهای جریان مستقیم موجود را در دسترس قرار می دهند .

۴ - ۳ - ۲ واگردانهای یکسوکننده قابل کنترل تیریستوری

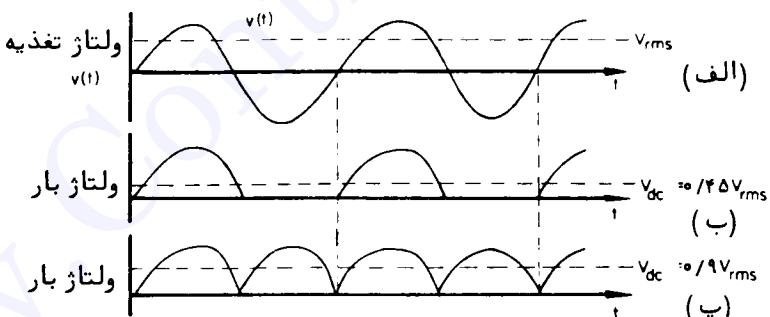
از اصطلاح واگردان موقعی استفاده می شود که منبع تغذیه جریان متناوب است و موتوری که تحت کنترل قرار خواهد گرفت ماشین جریان مستقیم باشد . از واگردانها علاوه بر کنترل موتورها در کنترل میدان مولد برای سیستم وارد لئونارد نیز استفاده می شود ، و یا آنها می توانند جایگزین سیستم موتور زنراتور و یا سیستم یکسوکننده قوس جیوه‌ای شوند . اگرچه در اکثر مواقع واگردانهای تیریستوری نسبتاً گران قیمت‌تر هستند ولی در طول تمام ردیف باروکنترل سرعت با بازده بیشتری کار می کنند و از نظر سوار کردن و نصب سیستم دارای قیمت‌های کمتری هستند . استفاده از واگردانهای تیریستوری به جای سیستم وارد لئونارد معاوی‌بی دارد . برخلاف مولدها که در احیاسازی عمل ترمی می توانند مثل موتور کار کنند ، جهت جریان در واگردانها نمی تواند معکوس شود . برای حل این مشکل ، موقعی که عمل احیاسازی موردنیاز باشد ، واگردان با یستی قادر به عمل وارون سازی باشد به طوری که بازوهای پل [در مدار واگردان حاوی تیریستور] قابل کنترل باشد . برای وارون سازی جایی که پاسخ آرام ، رضایت‌بخش باشد ، می توان تعویض جهت میدان تحریک موتور را به کار برد . به منظور دریافت پاسخ سریع یا کنترل موضعی دقیق دو واحد واگردان تیریستوری با اتصال پشت به پشت [مخالف] با یستی موردا استفاده فراگیرید . نوع واگردان به مقدار قدرتی که می تواند سر و کار داشته باشد و میزان تحمل مقدار ولتاژ تمحی بستگی خواهد داشت . برای قدرتهای کم از صفر تا ۲۰ کیلووات مدارهای تکفاز کافی است ولی خود آنها انواع مختلفی دارند . شکل ۴ - ۴ ترکیب‌های ممکن را برای یکسوکننده‌های تکفاز غیر قابل کنترل نشان می دهد . در مدار نیم موج شکل ۴ - ۴ (الف) موقعی که منبع تغذیه جریان متناوب ، و محل علامت گذاری شده روی شکل ثابت باشد ، دیود D امپدانس ناچیزی در مقابل عبور جریان از خودشان می دهد و ولتاژ کامل منبع تغذیه به صورت یک ولتاژ

کنترل موتور جریان مستقیم

جریان مستقیم متغیر بین دو سر مقاومت باز ظاهر می‌شود. موقعی که محل علامت گذاری شده در سیکل بعدی منفی می‌شود دیود جریان را مسدود می‌کند و امپدانس بینهایتی از خودنشان می‌دهد و تمام ولتاژ منبع تغذیه در دو سر دیود ظاهر، و در دوسر بار ولتاژی معادل صفر ولت اعمال می‌شود. برای حالت‌های دیگر نشان داده شده در شکل، دیودها دارای عمل مشابهی هستند. اما ترتیب قرار گرفتن آنها طوری است که استفاده بهتری از ولتاژ را امکان‌پذیر می‌سازند. موقعی که محل علامت‌گذاری شده مثبت باشد دیود D_1 هدایت می‌کند و در موقع منفی بودن در نیم سیکل بعدی دیود D_2 هدایت می‌کند. شکل موج ولتاژها در شکل ۴-۵ به نمایش گذاشته شده است.



شکل ۴-۴ یکسوکنده‌های تک‌فاز غیرقابل کنترل (الف) مدار نیم موج
(ب) مدار تمام موج با تغذیه انشعاب وسط (پ) مدار پل تمام موج



شکل ۴-۵ شکل موجهای ولتاژ یکسوکنده: (الف) ولتاژ منبع تغذیه (ب) ولتاژ خروجی نیم موج (ج) ولتاژ خروجی مدار انشعاب وسط و پل تمام موج

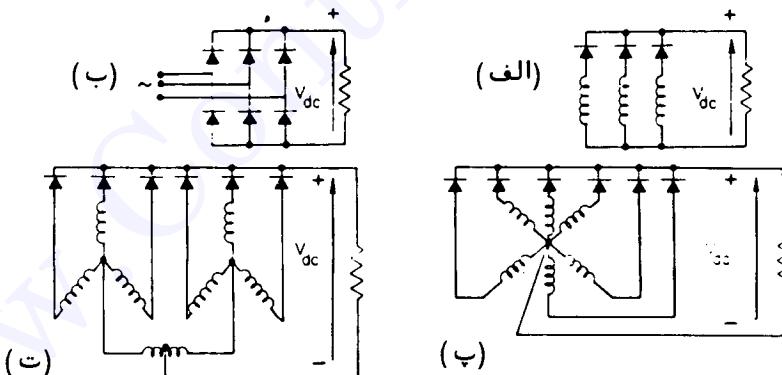
در قدرت‌های زیاد ترتیب اتصال مدار تمام موج پل را می‌توان به مدارهای با منبع تغذیه سه فاز و یا چند فاز انشعاب وسط تعیین داد. تموخ ولتاژ به لحاظ مقدار تا حد زیادی کاهش می‌یابد، ولی فرکانس تموخ افزایش خواهد یافت. شکل ۴-۶ ترکیب‌های ممکن برای یکسوکنده‌های سه فاز و چند فاز را از قبیل سه فاز نیم موج، تمام موج، انشعاب وسط و حتی اتصال

الکترونیک قدرت

ستاره دوتایی و شکل ۴-۷ شکل موجهای ولتاژ را نشان می‌دهند. تمام این یکسونددهای غیرقابل کنترل، ولتاژ خروجی جریان مستقیمی با مقدار متوسط ثابت تولید می‌کنند. با تعویض چند یا کلیه دیودهای این مدارها با تیریستورها می‌توان ولتاژ خروجی قابل تنظیمی به دست آورد. روش تنظیم، کنترل فاز است و روش جایه‌جایی تیریستور جا به جایی طبیعی یا فازی خواهد بود. هر یک از تیریستورها با ولتاژ جریان متناوبی کار می‌کنند و بنابراین در هر نیم سیکل گرایش ممکنی پیدا کرده و خاموش می‌شوند. مدارهای اساسی یکسونددهای قابل کنترل با بعضی از شکل موجهای خروجی در شکل ۴-۸ نشان داده شده است. در این مدارها ترانسفورماتورها، صافی‌ها و مدارهای حفاظتی و علامت‌دهی^۱ نشان داده نشده است.

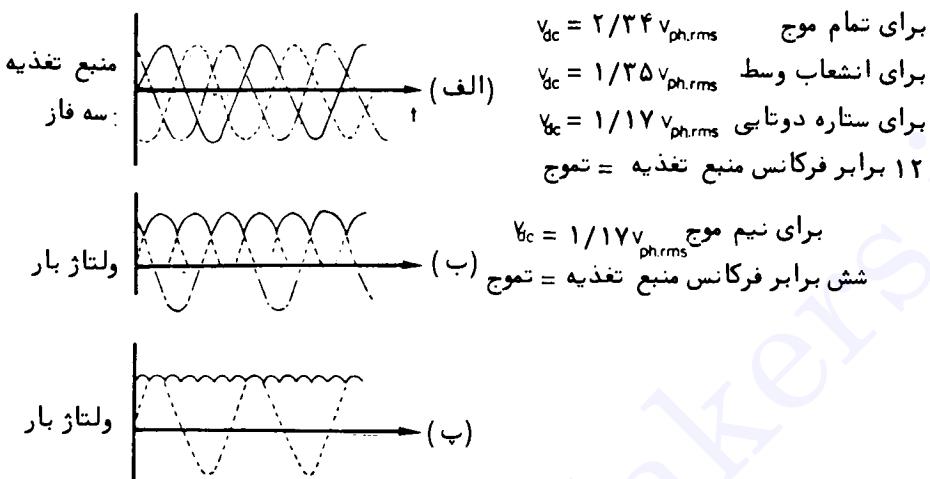
الف - واگردان تکفاز نیم موج

چون تنها نیمی از قدرت موجود را می‌توان مورداستفاده قرارداد لذا مدار شکل ۴-۸ (الف) برای ماشینهای با قدرت کسری از اسب بخار محدود می‌شود. در این مدار ترانسفورماتور عایق-کنندگی که به ورودی اتصال می‌یابد نشان داده شده است. این ترانسفورماتور غیر از عایق-کنندگی عمل تطبیق ولتاژ را نیز انجام می‌دهد. همچنین سلف آن به جا به جایی واگردان کمک و شکل موج، جریان مستقیم خروجی را اصلاح می‌کند. این عمل باعث کمک به جایه‌جایی موتور می‌شود.



شکل ۴-۶ مدارهای یکسوندده سه فاز (الف) نیم موج (ب) پل تمام موج (پ) انشعاب وسط (ت) ستاره دوتایی

کنترل موتور جریان مستقیم



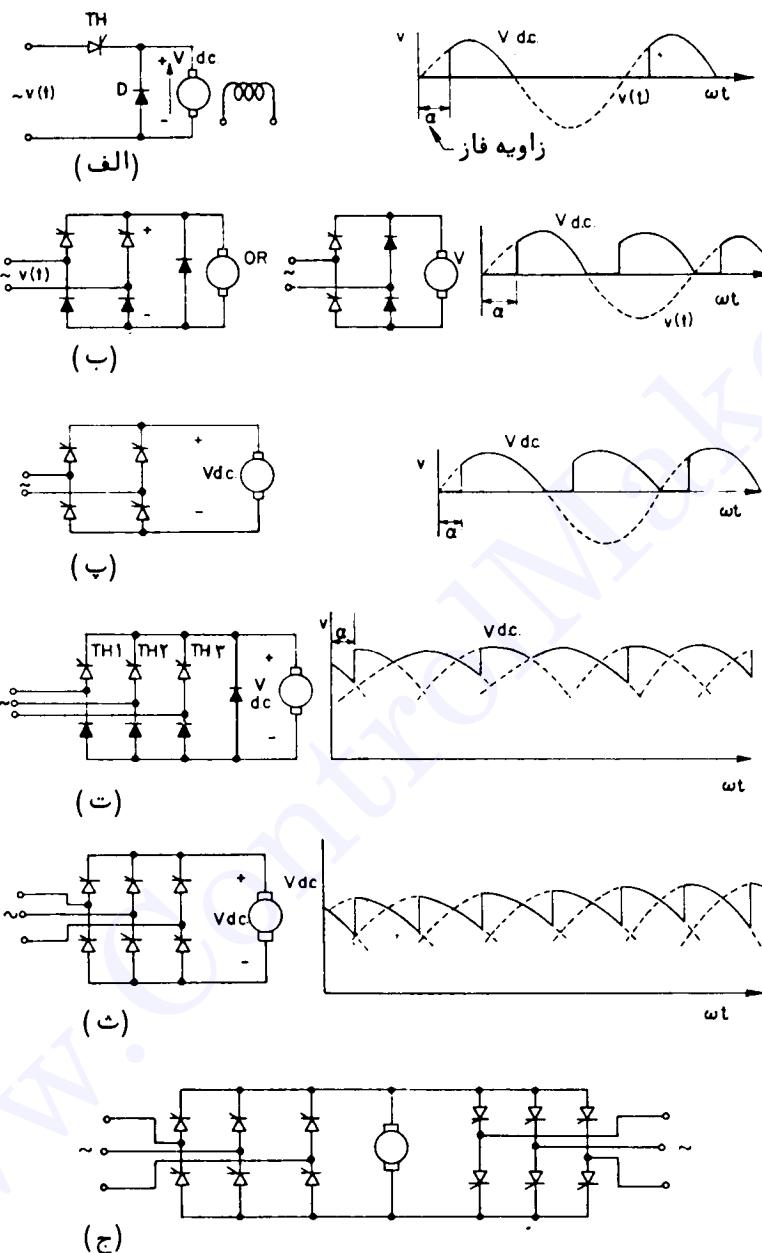
شکل ۴ - ۷ شکل امواج ولتاژ خروجی برای منبع تغذیه سه فاز

برای اتلاف انرژی ذخیره شده در بار سلفی ، موقعی که تیریستور مسدود می شود دیسود چرخش آزادی مورد نیاز است . بدون آن تیریستور مجبور است مسیر جریانی برای آن مهیا سازد که این عمل برای تیریستور زیان آور است .
در کلیه مدارهای واگردان ضریب شکل ^۱ از رابطه زیر تعیین می شود :

$$\frac{\text{مقدار موثر ولتاژ (یا جریان)}}{\text{مقدار متوسط ولتاژ (یا جریان)}} = \text{ضریب شکل} \quad (5-4)$$

مقدار ضریب شکل برای مدار نیم موج بیشترین و در نتیجه بدترین خواهد بود . این امر نشانگر وجود مقدار متوسط ولتاژ خروجی نسبتا " کمی است ، در ماشینهای جریان مستقیم مقدار متوسط ولتاژ کمیت مفیدی است . علاوه بر آن از مقدار ضریب شکل فوق می توان فهمید که خروجی مدار دارای مقدار جریان موثر نسبتا بالا و تمحق ذاتی زیادی است که اینها موجب افزایش حرارت و مشکلات جا به جایی در موتور می شوند .

زاویه α در شکل ۴ - ۸ زاویه علامت دهنده فاز یا نقطه لحظه ای روی موج جریان متناوب است که در آن تیریستور روش می شود . با افزایش α ولتاژ خروجی ، و در نتیجه سرعت موتور نیز کاهش می یابد . مداری که تقریبا نا ۱۸۰ درجه گستره آتش برای تیریستور را تهییه می کند در شکل ۴ - ۹ نشان داده شده است . شبکه انتقال فاز R_1 ، R_2 ، C و ولتاژ را در

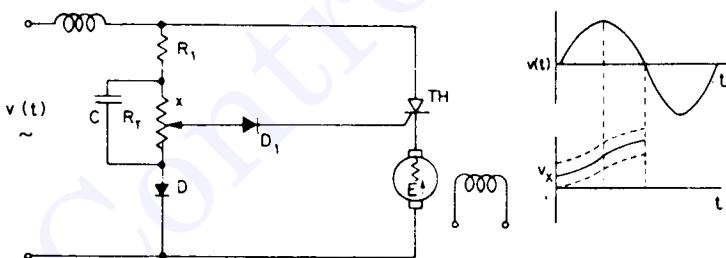


شکل ۴-۸ مدارهای یکسوکننده قابل کنترل (الف) نیم موج کنترل شده (ب) مدارهای پل تمام موج نیمه قابل کنترل (ب) پل تکفاز با کنترل کامل (ت) پل سه فاز تمام موج نیمه قابل کنترل (ث) پل تمام موج سه فاز با کنترل کامل (ج) پل دوتنایی تمام موج با کنترل کامل

کنترل موتور جریان مستقیم

نقشه x قادر می‌سازد که به مقدار تقریباً ۹۰ درجه نسبت به ولتاژ منبع تغذیه پس‌فاز باشد و تقسیم‌کننده ولتاژ یک‌تازه‌جریان مستقیم قابل تنظیم فراهم می‌کند، حالت سراشیبی^۱ است که بسیار مفید است. گرایش جریان مستقیم و بُزه^۲ x ، موتور را روی سرعت مطلوب تنظیم می‌کند زیرا در مقدار خاصی از x ، تیریستور روش خواهد شد و آرمیچر دارای جریان از طریق آن خواهد بود. افزایش تراز جریان مستقیم موثر x به مفهوم زودتر آتش شدن تیریستور در سیکل جریان متناوب است که موجب ایجاد ولتاژ متوسط بار بیشتر و در نتیجه سرعت بیشتر می‌شود.

علی‌رغم بی‌نقص نبودنش، آرمیچر موتور در این مدار پسخور ساده‌ای رابه منظور تنظیم سرعت‌های پایین مهیا می‌سازد، ولی در صورت قرار گرفتن موتور در مدار آند این پسخور وجود نخواهد داشت. اگر بار زیادی به موتور اعمال شود سرعت و نیروی محرکه الکتریکی تمايل به افت پیدا می‌کنند. چون ولتاژ x که تیریستور را راهاندازی می‌کند، برابر افت ولتاژ دو سر دیود، افت مقاومت آرمیچر، افت ولتاژ دریچه – کاتد به اضافه نیروی ضد محركه الکتریکی E است، لذا تیریستور در سیکل زودتر آتش خواهد شد. کوچکتر بودن زاویه α به معنی بیشتر بودن قدرت و زیادتر شدن سرعت است تا این که نیروی محرکه الکتریکی به طور ایده‌آل به مقدار E اولیه برگردد که در نتیجه موتور نیز به همان سرعت قبل برمی‌گردد.



شکل ۴-۹ واگردان نیم موج با زاویه کنترل آتش ۱۸۰ درجه‌ای

ب – واگردان نیم فاز تمام موج مدار پل دارای مزایایی نسبت به مدار تغذیه انشعاب وسط است، زیرا برای یک ولتاژ خروجی جریان مستقیم مشابهی، واگردان انشعاب وسط برای مسدود کردن احتیاج به دو برابر ولتاژ جریان متناوب دارد. در مقایسه با مدار نیم موج پیشینی این مدار که در شکل‌های ۴-۸ (ب) و (پ) نشان داده شده است دارای ضریب شکل‌بهبود یافته‌تری است. بنابراین تنزل مقدار اسمی^۳ کمی برای موتور مورد نیاز است. محرکهای موتوری قابل کنترل با این روش از ۱ تا ۲۵ کیلو-

الکترونیک قدرت

وات قدرت را شامل می شوند . در مدار نیمه قابل کنترل شکل ۴-۸ (ب) که در آن هیچ عمل وارون سازی اتفاق نمی افتد ، مدار اول دارای دیود چرخش آزاد است . در صورتی که مدار دوم دارای چرخش آزاد ذاتی است . در مدار پل تمام کنترل شکل ۴-۸ (ب) عمل وارون سازی و در نتیجه ترمز احیایی^۱ امکان پذیر است ولی اگر پل دو برابر نشود آنوقت قطبیت سیم پیچی میدان موتور بایستی عوض شود . مواقعی که احیا^۲ مورد لزوم نیست ، بایستی فقط از مدارهای نیمه قابل کنترل استفاده کرد .

مثال حل شده^۳ - ۱. یکی از واگرداهای نیمه قابل کنترل تمام موج شکل ۴-۸ (ب) را تحلیل کنید .

یک مدار عملی در شکل ۴-۱۰ نشان داده شده است . زاویه فازبرای تنظیم هدایت ، توسط مقاومت R در مدار دریچه کنترل می شود . برای α در این مثال خاص تنها یک گسترده ۹۰ درجه تأمین شده است ، گرچه ۱۸۰ درجه به سهولت امکان پذیر است . شکل ۴-۱۱ شکل ولتاژ و جریان اعمال شده به موتور را نشان می دهد .

در یک زاویه فاز α برابر 0° ، در شکل ۴-۱۱ مقاومت R طوری تنظیم شده است که یکی از تیریستورها در هر نیم سیکل هدایت کند . در شرایط موتوری پایدار و بنابراین با نیروی محركه الکتریکی E القا شده توسط موتور ، جریان (i) از منبع تغذیه به علت سلف موجود در آرمیچر و سیمهای رابط به طور آرام افزایش خواهد یافت . این سلف باعث تداوم هدایت حتی بعد از منفی شدن ولتاژ سرهای خروجی می شود ، تا این که جریان به صفر برسد و ولتاژ سرهای خروجی برابر E شود .

به علت وجود نیروی ضد محركه الکتریکی E در حالی که تیریستورها در شکل ۴-۱۱ بین زوایای α_1 و α_2 را مانداری می شوند جریان تنها از طریق منبع تغذیه عبور خواهد کرد . هدایت باقی مانده بین α_2 و 0° به خاطر وجود انرژی ذخیره شده $\frac{1}{2} Li^2$ در سلف است و برای آن مسیری از طریق دیود چرخش آزاد مهیا می شود .

حل معادله گذرای مدار

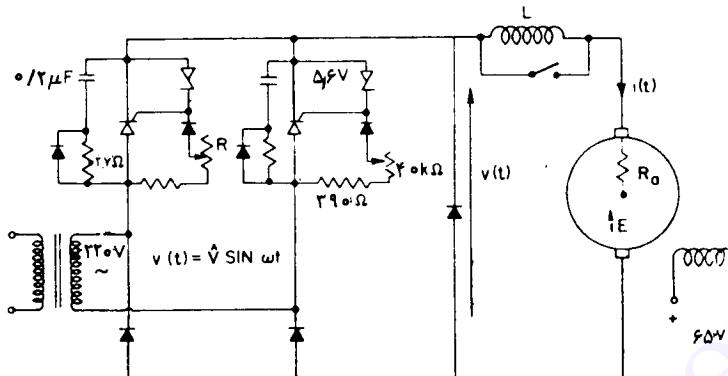
$$L \frac{di}{dt} + R_a i = \hat{V} \sin \omega t - E \quad (۶-۴)$$

عبارت است از :

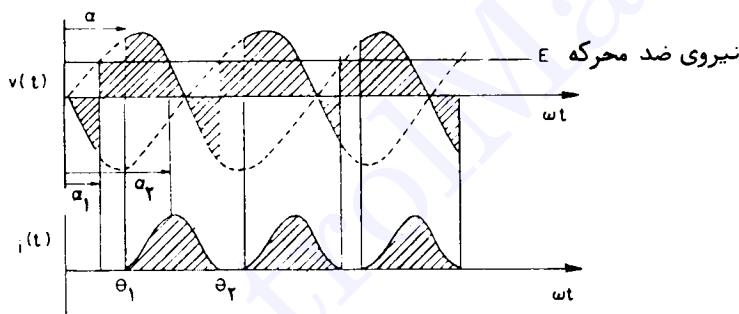
$$i(t) = A e^{-R_a t / L} + \frac{\hat{V}}{\sqrt{R_a^2 + \omega^2 L^2}} \sin(\omega t - \phi) - \frac{E}{R_a}, \quad (۷-۴)$$

که در آن A عدد ثابت ، و ϕ عبارت است از :

کنترل موتور جریان مستقیم



شکل ۴-۱۵ مدار عملی واگردان تمام موج نیمه کنترل



شکل ۴-۱۱ ولتاژ و جریان اعمال شده به موتور شکل ۴-۱۰

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R_a} \quad (8-4)$$

عدد ثابت A از شرایط اولیه زیر محاسبه می‌شود:

$$\omega t = \theta_1 \quad (9-4)$$

سپس

$$i(t) = 0 \quad (10-4)$$

دو شرط برای بررسی وجود دارد:
اول، موقعی که جریان غیر پیوسته باشد،

$$\theta_1 > \theta_2 - \pi \quad (11-4)$$

$$(12-4)$$

$$i(t) = \frac{\hat{V}}{R_a} \left\{ \cos \phi \sin (\omega t - \phi) - \frac{E}{\hat{V}} + \left[\frac{E}{\hat{V}} - \cos \phi \sin (\theta_1 - \theta) \right] e^{-(R_a/\omega L)(\omega t - \theta_1)} \right\}$$

الکترونیک قدرت

۱۷۲

برای گستره:

$$\cdot \quad (13-4)$$

دوم موقعی که جریان پیوسته باشد:

$$\theta_1 \leq \omega t \leq \theta_2.$$

$$\theta_2 - \theta_1 > \pi$$

$$i(t) = \frac{\hat{V}}{R_a} \left\{ \cos \phi \sin(\omega t - \phi) - \frac{E}{\hat{V}} - \frac{2 \cos \phi \sin(\theta_1 - \phi) \cdot e^{-(R_a/\omega L)(\omega t - \theta_1)}}{(1 - e^{-(\pi R_a/\omega L)})} \right\} \quad (14-4)$$

با استفاده از گستره:

$$(15-4)$$

$$\omega t = \theta_1$$

$$\omega t = \theta_2 = \theta_1 + \pi$$

$$(16-4)$$

گشتاور عبارت است از:

$$(17-4)$$

برای هدایت محدود شده،

$$(18-4)$$

$$T = \frac{EI_{av}}{\gamma \pi n} = \frac{(v - I_{av}R_a)}{\gamma \pi n} \cdot I_{av}.$$

$$T = \frac{\theta_2 - \theta_1}{\pi} \cdot \frac{(v - I_{av}R_a)}{\gamma \pi n} \cdot I_{av}$$

اما

$$I_{av} = \frac{1}{\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{\hat{V} \sin \omega t - E}{R_a} d(\omega t) \quad (19-4)$$

به طوری که برای هدایت محدود شده،

$$I_{av} = \frac{\hat{V}}{\pi R_a} \left[\cos \theta_1 - \cos \theta_2 - \frac{E}{\hat{V}} (\theta_2 - \theta_1) \right] \quad (20-4)$$

و برای هدایت پیوسته،

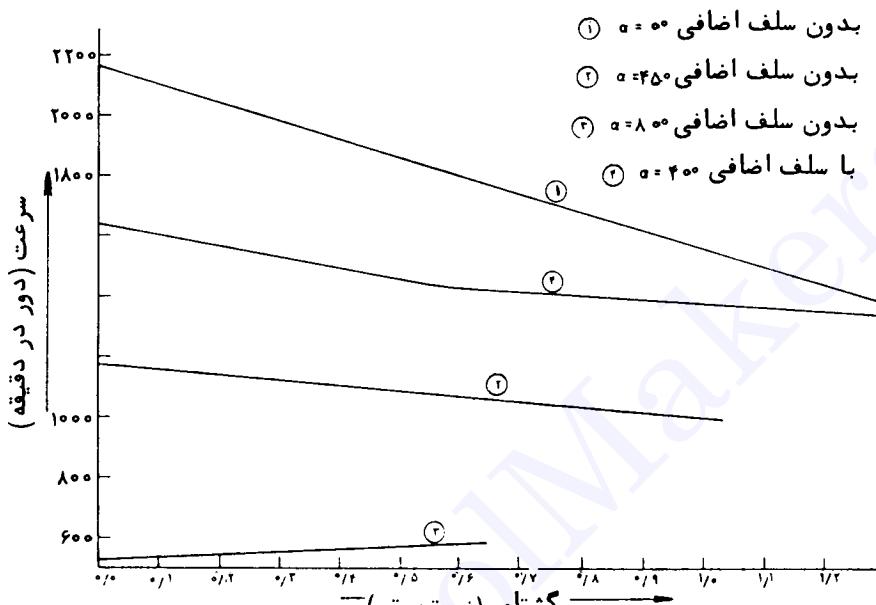
$$I_{av} = \frac{\hat{V}}{\pi R_a} \left(2 \cos \theta_1 - \frac{E}{\hat{V}} \pi \right). \quad (21-4)$$

بنابراین انتظار می‌رود که تنظیم سرعت برای گستره جریان غیر پیوسته بیشتر از گستره جریان پیوسته باشد. نتایج عملی در شکل ۴-۱۲ نشان داده شده است.

برای مستقل شدن سرعت از بار بایستی از پسخور سرعت استفاده کرد. نیروی محرکه الکتریکی القا شده با سرعت متناسب است، لذا علامتی متناسب با این ولتاژ برای پسخور بایستی مورد استفاده قرار گیرد. اندازه‌گیری این ولتاژ عملاً غیر ممکن است. بهترین وسیله دیگر انتخاب ولتاژ اعمال شده [به عنوان مبنا] و تفیریق نیروی محرکه الکتریکی القا شده، که همان افت I_{av}/R_a باشد، از آن است. زیرا ولتاژ دو سر هر مقاومت در مسیر جریان با افت مقاومت

کنترل موتور جریان مستقیم

آرمیچر مناسب است . عملکرد حالت ناپایدار مدار با کنترل فاز ، بر مشکلات می افزاید .



شکل ۱۲ - ۴ مشخصات سرعت موتور

پ - واگرایانهای (مدلهای) سه فاز قابل کنترل شکل‌های ۴ - ۸ (ت، ث، ج) برخی از (ولی نه تمام) آرایش‌های را که ، از چند کیلووات تا چند صد کیلووات برای شکل‌های (ت و ث) و تا ۲۰۰۰ کیلووات برای شکل (ج) ، مورداستفاده قرار می‌گیرد نشان می‌دهد . مدار اخیر همان ترکیبی است که با سیستم وارد لئونارد رقابت می‌کند و جایگزین موتور محرک جریان متناوب و مولد جریان مستقیم می‌شود ، و تمام قسم‌های متحرک را به استثنای موتور محرک نهایی حذف می‌کند .

شکل ۴ - ۸(ج) تعویض جهت چرخش و احیا رانیز مجاز می‌سازد . برای دریافت سریعترین پاسخ می‌توان هر دو پل را با هم راماندازی کرد ولی این عمل احتیاج به سلفهای محدود - کننده جریان دورانی دارد . این شرایط که همان اجبار جریان آرمیچر^۱ است ، به علت وجود اختلاف در سلف مدار ، سریعتر از اجبار جریان میدان تحریک^۲ است .

برای ولتاژهای زیاد (۵۰۰ ولت برای ماشینهای جریان مستقیم ولتاژ زیادی است) از دو پل به طور سری می‌توان در راماندازی استفاده کرد . موقعی که نیازی به عمل وارون‌سازی نباشد

الکترونیک قدرت

۱۷۴

یکی از پلها را می‌توان غیر قابل کنترل انتخاب کرد که در این صورت انتخاب پل دیویدی با راهاندازی آزاد، دستگاهها با قدرت kVA کاهش یافتهای کار خواهد کرد. علاوه بر این کلیه ترکیبات مختلف پل در شکل ۱۳-۴ نشان داده شده‌اند که [در حقیقت] برگدانهای ولتاژ بالای شکلهای ۸-۴ (ث و ج) هستند. ثانویه‌های دو ترانسفورماتور در شکل دارای جابه‌جایی فازی معادل ۳۵ درجه هستند. در نتیجه این کار ضریب قدرت بیشتر و اعوجاج هارمونیک در جریان اخذ شده از منبع تغذیه کمتر خواهد بود. یکسو کننده‌های جعبه‌ای در شکل معرف و اگردانهای سه فاز هستند.

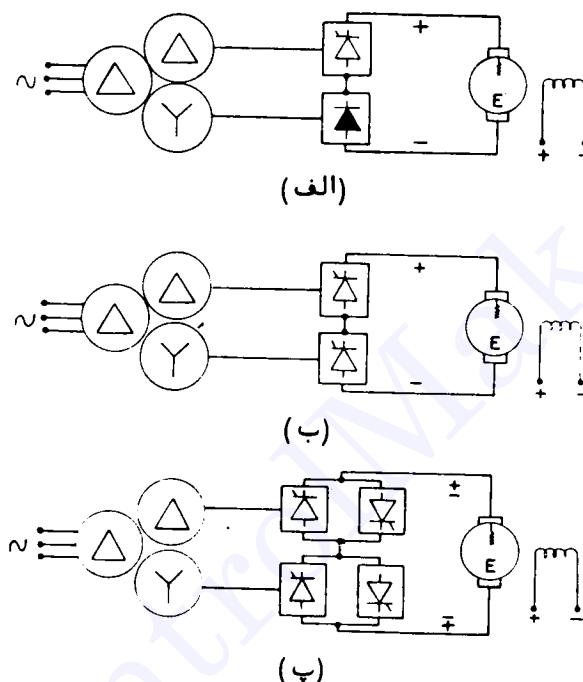
ت - کنترل میدان تحریک و آرمیچر

در شکلهای ۸-۴ و ۱۳-۴ آرمیچر موتور به صورت بار و اگردان است که در این صورت افزایش زاویه فاز کاهش سرعت از مقدار سرعت اسمی را به دنبال خواهد داشت. با و اگردانهای کنترل کامل، وارون سازی امکان پذیر است، ولی تعویض جهت چرخش موتور تنها موقعي که دو و اگردان کنترل کامل به طور پشت به پشت به موتور متصل شوند امکان پذیر است. و اگردان دو تابی را می‌توان به طور جداگانه در هر جهتی از چرخش موتور یا برای ترمز احیایی راهاندازی کرد و یا می‌توان هر دو را با یکدیگر برای دریافت پاسخ سریع راهاندازی کرد. انتخاب و اگردان بستگی به قدرت اعمال شده و چگونگی یکنواخت کردن جریان مورد نیاز، بدون عبور از صافی، دارد.

کنترل آرمیچر این چنینی برگدان ایستایی (استاتیکی)^۲ سیستم وارد لئونارد است. تنها مزیت سیستم وارد لئونارد قابلیت ترمز کنندگی احیایی ذاتی آن است. و اگردان تیریستوری در هر حال احتیاج به مدارهای کنترل مشابهی برای محافظت ولتاژ و جریان و برای حلقه‌های پسخور دارد و اگر یک و اگردان دوتایی به طور جداگانه مورد استفاده قرار گیرد آشکارسازی جریان الزامی است به طوری که تغییر وضعیت^۳ تا زمانی که جریان آرمیچر در حال عبور است اتفاق نخواهد افتاد.

در برآرde مدارهای فرمان تیریستورها در و اگردانهای تیریستوری تاکنون چیزی گفته نشده است. در دو فصل گذشته اندکی در این مورد بحث شد، ولی این بحث عمومیت نداشت. ترتیب فرمان تیریستورها مثل وارونگرهای خواهد بود و نوع مدارهای فرمان برای کنترل فاز دار حقیقت بستگی به انتخاب طراح دارد. روش عمومی که تاکنون شرح داده شده است کاربرد ولتاژ منبع تغذیه به عنوان علامت مینا برای فاز است. در نتیجه موج سینوسی معمولاً به موج دندانه ارهای که تراز جریان مستقیم قابل کنترلی دارد تبدیل می‌شود و سپس به مدار فرمان

کنترل موتور جریان مستقیم اشمت و یک چند ضربانی دو حالتی و یک تقویت کننده دیفرانسیلی و خروجی علامتهای بالاخره یک تقویت کننده پالس منتهی می‌شود. سرانجام علامت دریچه ممکن است به دریچه



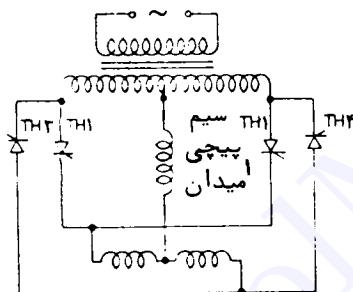
شکل ۴ - ۱۳ مدل‌های ولتاژ زیاد (الف) پلهای اتصال سری نیمه کنترل (ب) پلهای اتصال سری تمام کنترل (پ) پلهای دوتایی اتصال سری تمام کنترل

تیریستور از طریق یک ترانسفورماتور عایق کننده اعمال شود. مثال حل شدهٔ زیر مدارهای فرمان تیریستوری تطابق یافته با شبکه مدار منطقی را تشریح می‌کند.

توضیحات مذکور درباره کنترل آرمیچرتوسط واگردانها رامی‌توان به طور مشابه در کنترل میدان تحریک نیز به کار گرفت، با این تفاوت که افزایش زاویه فاز باعث افزایش سرعت موتور می‌شود. در این حالت قدرت مورد لزوم هرگز از چند کیلووات تجاوز نمی‌کند، در نتیجه کاربرد تقویت کننده میدان به فرم شکل ۴ - ۴ (پ) که در آن دیودها با تیریستورها عوض شده، امکان پذیر است. اصطلاح تقویت کننده از آن جهت به کار می‌رود که قدرت علامتهای کنترل کننده؛ یعنی، آنهایی که به مدارهای راهانداز دریچه اعمال می‌شوند، در مقایسه با خروجی تیریستور روی سیم‌بیچی میدان تحریک اندک است. مدار اصلی که در قطارهای برقی اروپایی مورد استفاده قرار گرفته است در شکل ۴ - ۱۴ نشان داده شده است. در این روش

الکترونیک قدرت

میدان تحریک موتور کششی به طور جداگانه توسط مدار کنترل فاز و لینتاژ، تحریکی می‌شود و بدون احتیاج به کلیدهای مکانیکی تعویض جهت حرکت و ترمزکنندگی را مجاز می‌سازد. پیدا است که عملکرد این مدار واگردن با انشعاب وسط، عکس مدار وارونگر نوع (پ ۱) تشریح شده در فصل قبل است. به علت جا به جای خط جریان متناوب احتیاجی به خازن نیست و دیودهای پسخور، باتیریستورهای $TH_{\text{H}3}$ و $TH_{\text{H}4}$ برای عمل وارون‌سازی و تعویض جهت چرخش، جایگزین شده‌اند. حتی موقعی که اجبار جریان میدان مورد استفاده قرار می‌گیرد می‌توان پاسخ را با کنترل در آرمیچر مقایسه کرد.



شکل ۴ - ۱۴ تقویت کننده تیریستوری برای کنترل میدان تحریک

مثال حل شده ۴-۲ سیم‌پیچی میدان موتور جریان مستقیم بزرگی دارای سلفی معادل یک هانری و مقاومتی معادل ۱ اهم است. جریان اسمی میدان تحریک ۳۵ آمپر است. لازم است جریان اسمی این موتور در حدود یکدهم درصد تنظیم شود. جریان نیز در حداقل زمان ممکن بتواند تغییر جهت دهد. یک واگردن تیریستوری با این ویژگی‌ها طراحی کنید.

در این مثال واگردن دووجههای بایستی مورداستفاده قرار گیرد تا جریان میدان تحریک را تنظیم و در موقع لزوم تغییر جهت دهد. خلاصه‌ای از احتیاجات طراحی در اینجا پیشنهاد می‌شود و شرح دقیق و کامل مقادیر عناصر و مدار منطقی را در ضمیمه (ب) می‌توان پیدا کرد. سیم‌پیچی تحریک شامل سلف زیادی است که از تغییر سریع جریان ممانعت، و انرژی مغناطیسی را در خود ذخیره می‌کند. این مشخصات موجب ممانعت تعویض جهت جریان در یک زمان کوتاه می‌شود. برای مثال، چون سیم‌پیچی دارای سلفی به مقدار یک هانری و مقاومتی به مقدار یک اهم است، ثابت زمانی آن یک ثانیه خواهد بود. مقدار کمی بیشتر از ۸ ثانیه لازم است که جریان با نزول و صعود طبیعی تغییر جهت دهد. این زمان را می‌توان تسريع کرد. از زمانی که ولتاژ به کلاف اعمال می‌شود زمان صعود جریان برای رسیدن به مقدار پایدارهای را می‌توان توسط اجبار جریان میدان کاهش داد. یعنی آن که ابتدا یک ولتاژ شدید اعمال

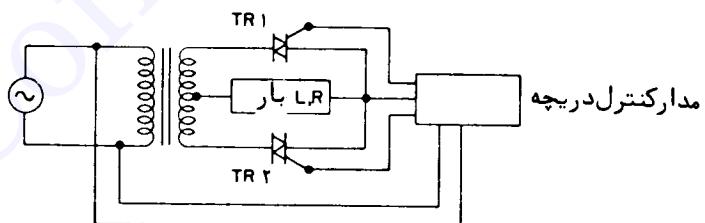
کنترل موتور جریان مستقیم

می شود . در نتیجه جریان خیلی سریع صعود می کند و موقعی که جریان به مقدار مناسب خود رسید ولتاژ تنزل می کند .

به جای حذف منبع ولتاژ و اجازه دادن به جریان تا اینکه از طریق دیسود چرخش آزاد جاری شود و به صفر نزول کند ، می توان واگردان را برای پمپ انرژی ذخیره شده به منبع تغذیه به صورت وارونگر مورد استفاده قرار داد . موقعی که جریان صفر است ولتاژ اعمال شده به کلاف را می توان وارون کرد و بار دیگر اجبار جریان میدان را به کار برد .

به منظور تنظیم جریان مستقیم در کلاف تحریک، به طرف اجبار جریان میدان، برای بازگرداندن انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی به منبع تغذیه و برای معکوس کردن جهت جریان مستقیم احتیاج به منبع تغذیه جریان متناوب کنترل شده فازی است .

شکل ۴-۱۵ مدار قدرت را نشان می دهد و شکل ۴-۱۶ معرف شکل موج ولتاژ خواهد بود که این شکل موج ایده‌آلی است . فرض براین است که حالت‌های گذرا میرامی شود و منبع تغذیه دارای امپدانس صفر است . موقعی که ولتاژ در دو سر بار صفر می شود معرف آن است که جریان از طریق عنصر یکسوکننده صفر شده است و این عنصر جلوی عبور جریان بیشتر را سد می کند تا این که یک علامت راه‌اندازی دیگری اعمال شود . عناصر یکسوکننده در شکل ۴-۱۵ یک تریاک است که به جای آن از تیریستورهای اتصال موازی معکوس نیز می توان استفاده کرد . نحوه انتخاب بستگی به مشخصه‌های بار و جنبه‌های اقتصادی خواهد داشت . در اینجا تریاک یا دو تیریستور به کار برد که می شود تا این که بتوان جهت جریان را معکوس کرد .

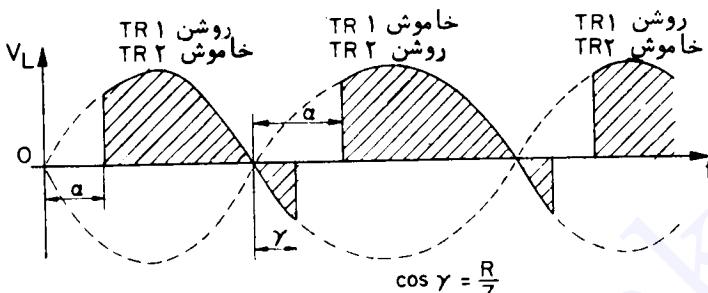


شکل ۴-۱۵ مدار قدرت

اگر زاویه فازه ، که در آن تریاک کلیدزنی می کند تغییر یابد، قدرت عبوری از بار نیز تغییر خواهد کرد . بنابراین کنترل زاویه فاز در مدار یکی از مهمترین عوامل در طرح مدار است . علامت راه‌اندازی بایستی هم با منبع تغذیه همزمان باشد و هم دارای تأخیر^۱ قابل تنظیمی باشد . برای کلیدزنی ، ولتاژ سینوسی شکل موج مناسبی نیست . بهترین شکل موج به علت

الکترونیک قدرت

داشتن زمان صعود خیلی سریع، پالس مستطیلی شکل است. موج مستطیلی شکل را می‌توان با یکمدار پالس‌ساز^۱ از موج سینوسی به دست آورد. شکل ۴-۴ یک پالس‌ساز را با مشخصه‌های مربوط به صورت مدار مجمع^۲ نشان می‌دهد. برای ورودی تا $1/3$ ولت، خروجی به شکل اعداد



شکل ۴-۴ شبکه موج ولتاژ بار

دودوبی^۳ معرف ۱، و برای ورودی بزرگتر از $1/5$ ولت خروجی [باز در این سیستم اعداد] معرف γ خواهد بود. شکافی^۴ معادل $0/2$ ولت وجود دارد.

برای اینکه تغییرات ولتاژ منبع تغذیه روی نقاط کلید زنی x_2 و x_1 در شکل ۴-۴ اثرات اندکی داشته باشد بهتر است که دامنه ولتاژ ورودی سینوسی بزرگ انتخاب شود. برای ولتاژ سینوسی با درصد تنظیم $10^{\circ} \pm$ درصد و مقدار موثر $2/5$ ولت حدود تغییرات 1° عبارت است از:

$$22^{\circ}45' \leq x_1 \leq 28^{\circ}12'$$

در صورتی که اگر مقدار موثر آن 12° ولت باشد داریم:

$$28' \leq x \leq 32'$$

گرچه ولتاژ زیاد، به دلایل گفته شده مناسب و خوب است اما محافظت مدار پالس‌ساز ضرورت پیدا می‌کند. دیودهای زنر این محافظت را می‌توانند به عهده گیرند، به طوریکه موجهای مربعی مینما را می‌توان از چنین مداری که در شکل ۴-۱۸ نشان داده شده به دست آورد. مدار پالس‌ساز قسمتی از مدار مجمع IC NOR است و به خاطر این که در موقع کلید زنی موج خروجی دارای زمان صعود کوتاهی باشد، مورد استفاده قرار گرفته است. هر یک از قسمتها منطقی ریز^۵، شامل دو عنصر NOR است. اگر تنها یک ورودی مورد استفاده قرار گیرد هر عنصر یک عنصر NOT خواهد بود.

1- Pulse shaper

2- Integrated circuit

3- Binary

4- Backlash

5- Micro logic unit

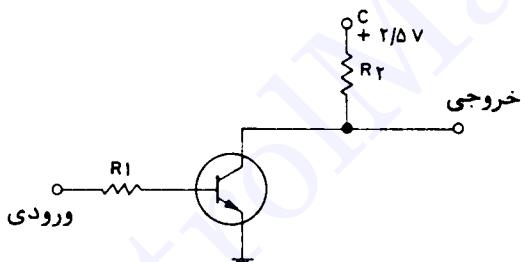
۱۷۹

کنترل موتور جریان مستقیم

قابل تنظیم بودن جریان تحریک کلاف یکی از موارد احتیاج این مدار است . حلقه پسخور (تغذیه برگشتی) ساده‌ای که به موجب آن علامتی متناسب با اختلاف بین جریان مینا و جریان واقعی که سبب افزایش یا کاهش زاویه فاز می‌شود ، مورد نیاز است . زمانی که اختلافی بین جریان مینا و جریان واقعی نباشد زاویه فاز ثابت خواهد بود . مدار تأخیر دهنده‌ای که دارای عناصر منطقی است ، در شکل ۴-۱۹ نشان داده شده است که در آن ورودی در A ، معکوس خروجی مدار پالس ساز شکل ۴-۱۸ است . این مدار در حقیقت یک چند ضربانی تک ضربه‌ای با یک دریچه دودویی است . طول پالس بر حسب ثانیه عبارت است از :

$$T = \frac{KRC}{E}$$

$$K = 0.85$$



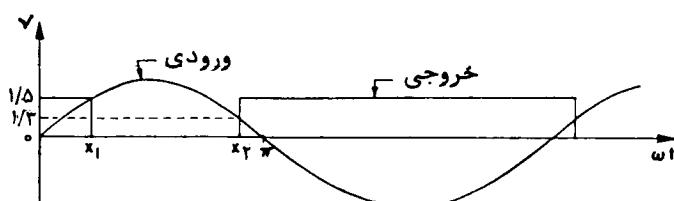
۱ - ورودی = ۰

خروجی = ۲/۵ ولت ، موقعی که $V_C = 2/5$ ولت باشد .

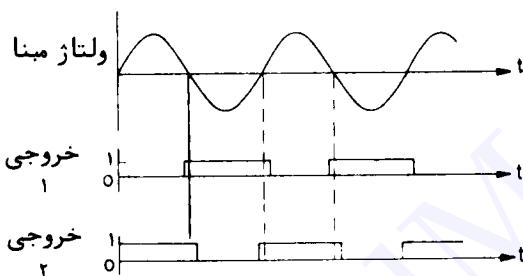
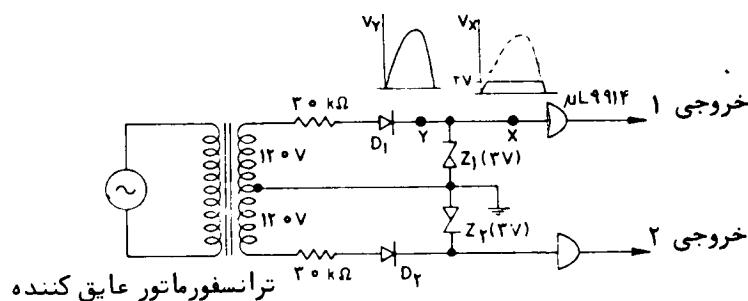
۲ - افزایش ورودی موقعی که ورودی = ۱/۵ ولت و خروجی = ۰

۳ - کاهش ورودی از ۱/۵ ولت موقعی که ورودی = ۱/۳ ولت یا کمتر

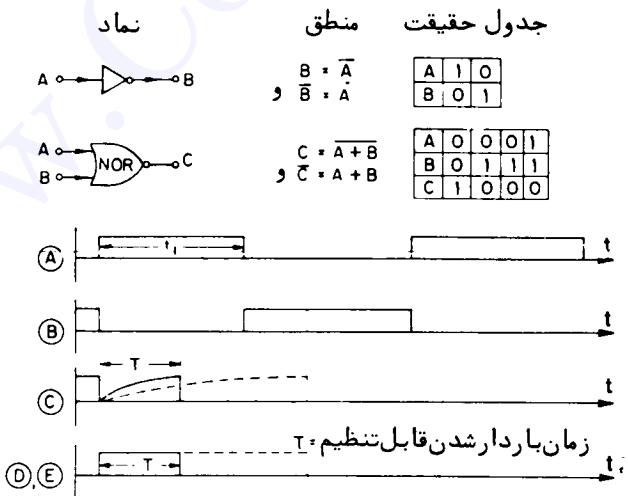
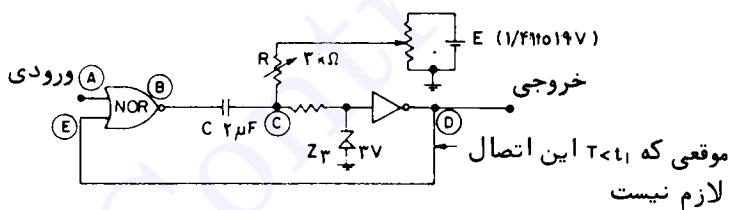
و دوباره خروجی = ۲/۵ ولت



شکل ۴-۱۷ مدار پالس ساز



شکل ۴ - ۱۸ مدار ولتاژ مینا و ولتاژهای خروجی برای راه اندازی مدار کنترل تریاک



شکل ۴ - ۱۹ مدار تاخیری برای زاویه فاز

۱۸۱

کنترل موتور جریان مستقیم

مفهوم مدار را می‌توان همراه با معرفی نمادهای منطقی و نمودار علائم با ورودیها و بدون آنها درک کرد. اعمال علامت ورودی، در خروجی علامتی را با طول زمان قابل تنظیم ۷ مهیا می‌سازد.

خروجی‌های مدار پالس‌ساز در شکل ۴-۱۸ برای قسمتی از سیکل روی هم ۲ می‌افتد. اعمال این علامت به هر تریاک به طور همزمان امکان اتصال کوتاه شدن ترانسفورماتور قدرت شکل ۴-۱۵ را به وجود می‌آورد. علامت روی هم منطبق شده، با افزایش عنصر *NOR* به سری با خروجی‌های پالس‌ساز قابل حذف است.

خروجی چند ضربانی را نمی‌توان برای راماندازی تریاک به کار برد زیرا در هر سیکل علامت در همان نقطه از سیکل شروع می‌شود. مدار منطقی برای تغییر زمان صعود علامت فرمان نسبت به علامت مینا، به مدار اضافه می‌شود، به این طریق زاویه فاز α طبق شکل ۴-۲۰ تغییر می‌کند. دو تا دریچه *NOR* باعث بیشتر مربعی شدن علامت می‌شود. با وجود این با کاهش زمان ۷ چند ضربانی شکل ۴-۱۹ زاویه فاز α به طوری که در نقشه^۳ زمانی علامت شکل ۴-۲۰ نشان داده شده کاهش می‌یابد. کاهش α به مفهوم افزایش جریان بار است.

عملکرد واگردان توسط قسمتهای نشان داده شده در صورت نمودار بندالی شکل ۴-۲۱ کنترل می‌شود. در موقع راماندازی، اجراء جریان میدان توسط صفر کردن زاویه فاز قابل دسترسی است. تمام ولتاژ به واگردان اعمال می‌شود به طوری که میزان صعود جریان بیشینه باشد. برای α تغییری پله‌ای از صفر تا حدود ۷۵ درجه، موقعی که جریان به ۳۵ آمپر رسیده باشد، وجود دارد. جریان در این مقدار قابل تنظیم است. به منظور تعویض جهت جریان در حداقل زمان ممکن جریان را توسط عمل وارون سازی به صفر تقلیل می‌دهند. اگر زاویه فاز تا حدود ۱۷۷ درجه به طور پله‌ای تغییر کند، در نتیجه کلاف میدان مثل مولد عمل می‌کند و اثری ذخیره شده مغناطیسی را به منبع تغذیه برگشت خواهد داد. در جریان صفر، اجراء جریان میدان دوباره اتفاق می‌افتد و جریان را به طور سریع درجهت معکوس عبور خواهد داد.

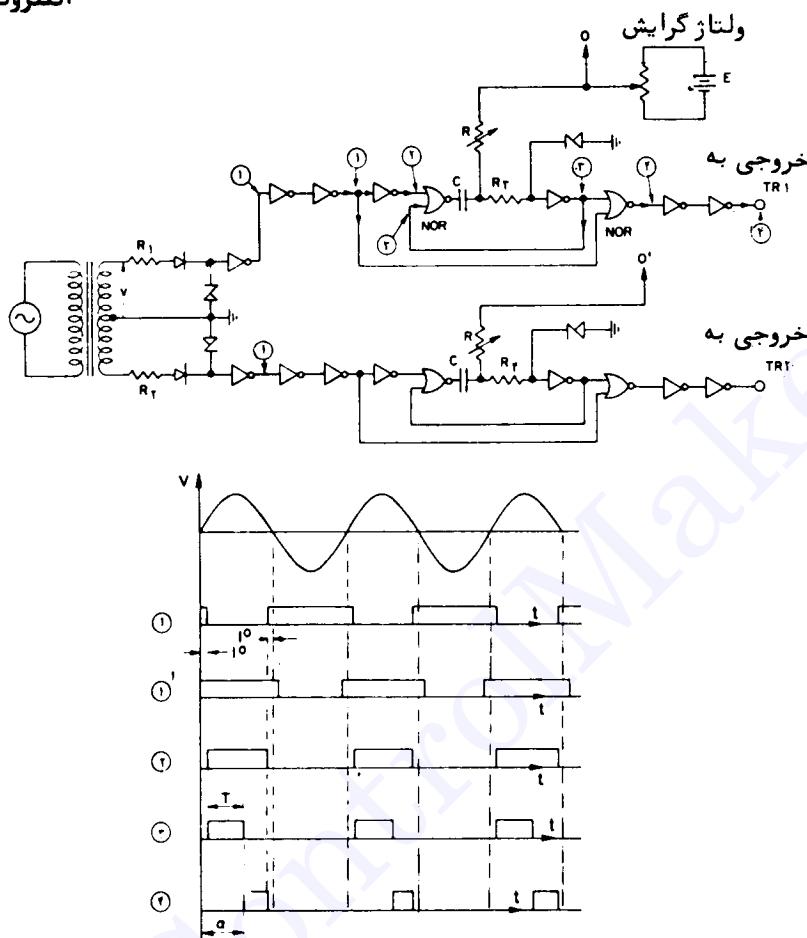
۳- تمحقق ولتاژ واگردان^۴

دروموقع جایگزینی واگردانها به جای مولدهای جریان مستقیم مشکلات جابه‌جایی موتور افزایش می‌یابد و حتی این مشکلات موقعی که از واگردان کنترل فاز استفاده می‌شود به حالت بحرانی می‌رسد. تمحقق ولتاژ به علت مقدار زیاد ولتاژ خود القایی $[L(dI/dt)]$ مربوط به میزان تغییر جریان، مشکلاتی می‌آفربند.

اثرات تمحقق ولتاژ را روی جا به جایی موتور می‌توان از مطالعه معادله ولتاژ تشخیص داد.

الکترونیک قدرت

۱۸۲



شکل ۴-۲۰ مدارهای کنترل زاویه فاز برای تنظیم جریان و نقشه زمانی تکی

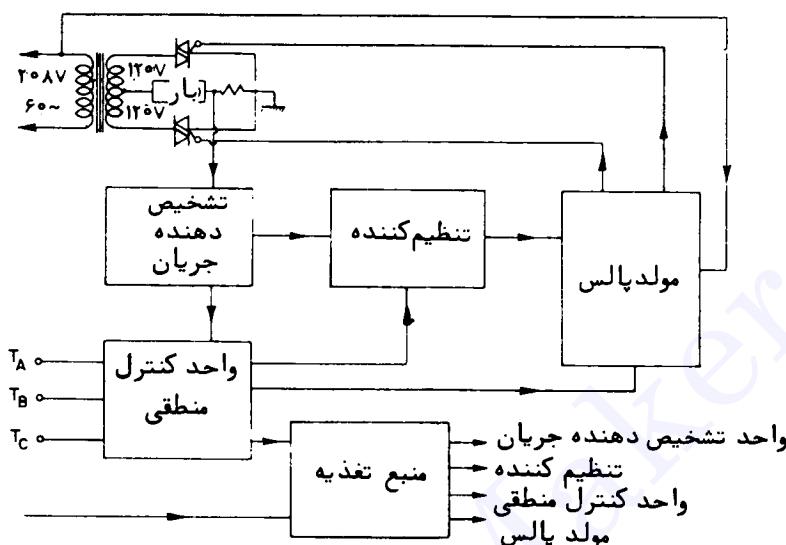
$$v(t) = L \frac{di}{dt} + E + iR_a \quad (42-4)$$

که در آن

 v = ولتاژ ورودی لحظه‌ای E = نیروی ضدحرکه الکتریکی موتور که ثابت فرض شده است. L = سلف آرمیچر R_a = مقاومت معادل موتور بین سرهای خروجی آن i = جریان لحظه‌ای آرمیچر

اگر ولتاژ منبع تغذیه بدون تمحق باشد در آن صورت داریم :

$$V_D = E + iR_a \quad (43-4)$$



شکل ۴ - ۲۱ نمودار بندالی مدار کنترل

این رابطه حالت پایدار موتور است. اگر افت کوچک مقاومت آرمیچر قابل صرفنظر کردن باشد، در آن صورت $L_{di/dt}$ از اختلاف ولتاژ موجود بین دو سر ورودی موتور، (t) و نیروی محرکه الکتریکی القابی E درست خواهد شد. شکل ۴ - ۲۲ برای یک واگردان سه فاز مقدار این ولتاژ تمحق را نشان می‌دهد. چون V_D و E برای بار و سرعت ثابتی کلا ثابت می‌ماند، لذا $L_{di/dt}$ با یستی شدیداً با اثر معکوش بر جا به جایی موتور تغییر کند. مضافاً براینکه $L_{di/dt}$ با افزایش زاویه فاز α افزایش می‌یابد.

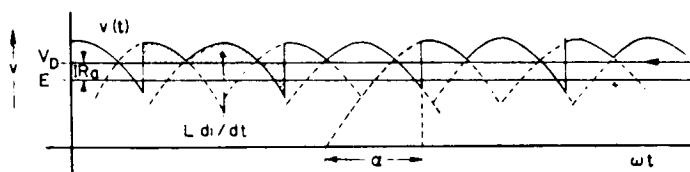
علاوه بر مشکلات جا به جایی اثرات حرارتی تمحق جریان، که کارمغیدی تولید نمی‌کند، نیز به آن اضافه می‌شود. تلفات آرمیچر یا تلفات در مس، متناسب با مجذور جریان آرمیچر است بنابراین هر تمحقی نتیجهاش افزایش تلفات در مس خواهد بود. تمحق جریان همچنین تلفات در آن را در هسته آرمیچر و قسمتهای یکپارچه^۱ قطب‌های کمکی^۲ به علت مولفه برداری مغناطیس کنندگی^۳ عکس العمل آرمیچر افزایش می‌دهد.

مطلوب گفته شده برای درک اهمیت صافیهایی در خط، به منظور حذف هارمونیکها در طرف جریان متناوب و صاف کردن طرف جریان مستقیم کافی است.

1- Non-laminate

2- Interpole

3-Crossmagnetizing component



شکل ۴ - ۲۲ تمحقق ولتاژ

۴ - ۳ - ۳ بر شگرهاي ولتاژ تيريستوري

کنترل سرعت موتور توسط برشگر ولتاژ تيريستوري موقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد که منبع تغذیه با جریان مستقیم باشد، و یا واگردان غیرقابل کنترلی قبل از منبع تغذیه جریان متناوب را یکسو کرده باشد. یکی از مواردی که منبع جریان مستقیم بیشترین کاربردها را دارد محركهای کشی است. این به علت ضرورت ذخیره انرژی در باطربهای و یا به علت مشخصه‌های عالی گشتاور - سرعت ماشینهای جریان مستقیم است و برشگرهاي ولتاژ بیشترین کاربردها را در محركهای کشی (از قبیل ترامواها، قطارها، اتومبیلهای برقی، و...) پیدا کرده‌اند.

همان طوری که از اسم برشگر پیداست ولتاژ جریان مستقیم توسط تیریستوری طبق شکل ۴ - ۲۳ برای زمانهای معینی قطع و وصل می‌شود. این به آن معنی است که گرچه ولتاژ ورودی ثابت است ولی مقدار متوسط ولتاژ جریان مستقیم می‌تواند قابل تنظیم باشد. برای کنترل ولتاژ در این مدارها با سه روش می‌توان نسبت علامت - فضا یا نسبت زمان وصل به زمان قطع را تغییر داد. این سه روش عبارتند از:

(۱) زمان وصل t_{on} ثابت و T (یا فرکانس) قابل تنظیم

(۲) T ثابت و زمان وصل t_{on} قابل تنظیم

(۳) زمان وصل t_{on} و T هر دو قابل تنظیم باشند، که برای هر سه می‌توان نوشت:

$$(24-4) \quad V_0 = V_{t_{on}}/T.$$

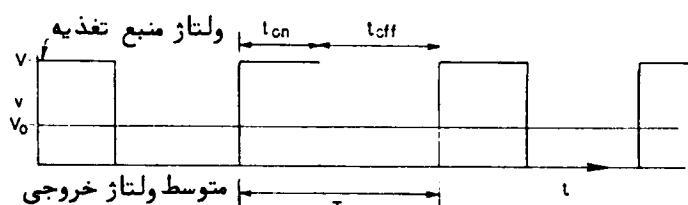
فرکانس کلیدزنی را به منظور اینکه صاف کنندگی به حداقل برسد و پاسخ مدار، در مقایسه با روش‌های تنظیم ولتاژ به طریق کنترل فازی فرکانس قدرت، سریع باشد، زیاد انتخاب می‌کند. فرکانس‌های بین ۵۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز در این مدارها معمولی هستند. در فرکانس‌های بیشتر، خازنهای جا به جایی زمان کافی برای باردار شدن نخواهند داشت.

در این قسمت از کتاب، سه مدار برشگر مورگان^۱، جونز^۲ و مدارهای نوسانی^۳ توصیف می‌شوند ولی فقط این آخری است که تحلیل مفصلی درباره‌اش به عمل آمده است.

1- Morgan chopper

2- Jones

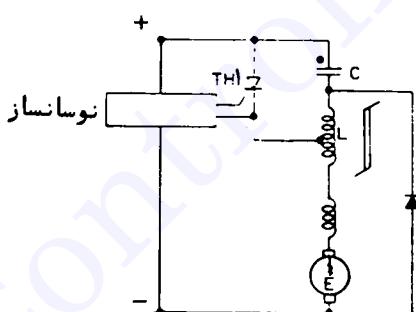
3- Oscillation circuits



شکل ۴ - ۲۳ برش دادن ولتاژ

الف - برشگر مورگان

این مدار در شکل ۴ - ۲۴ نشان داده شده و جزو طبقه‌بندی کلاس (ب) جا به جایی، یعنی خود جا به جایی توسط مدار تشدید یاری شده به وسیله واکنشگر قابل اشباع است و مزیت اصلی آن کاربرد تنها یک تیریستور است. لذا زمان وصل، t_{on} ، توسط پارامترهای LC ثابت می‌شود و مقدار متوسط دو سر موتور وسیله تنظیم T تغییر می‌یابد. به این ترتیب که نوسان‌ساز دریچه تیریستور، فرکانس متغیری تولید می‌کند.



شکل ۴ - ۲۴ برشگر مورگان

موقعی که تیریستور $TH1$ شروع به هدایت می‌کند خازن باردار بطور مثبت در محل علامت‌گذاری شده روی شکل ۴ - ۲۴ از طریق مدار C ، $TH1$ ، L شروع به تخلیه می‌کند و در جهت معکوس باردار می‌شود. از آنجایی که جریان دوباره ولتاژ دو سر سلف L را معکوس می‌کند و برای مدت معینی نگه می‌دارد، هسته اشباع شده و تمام ولتاژ دوسر خازن روی تیریستور ظاهر می‌شود. در نتیجه تیریستور گرایش معکوس پیدا می‌کند و در صورتی که جریان تخلیه خازن بیشتر از جریان بار تیریستور شود تیریستور خاموش می‌شود. خازن عبور جریان بار را نا موقعی که به طور کامل و مثبت در محل علامت‌گذاری شده باردار شود از خود ادامه می‌دهد. دیود چرخش آزاد مسیری برای اتصال انرژی ذخیره شده $L/2$ $\frac{1}{2}$ اضافی مهیا می‌سازد و اگر

الکترونیک قدرت

این انرژی قبل از روش شدن دوباره تیریستور از بین برود موتور باز زا می شود .

از بین تعدادی تغییرات که در این مدار داده می شود ، افزودن دیود معکوس به دو سر تیریستور ، برای تهیه جا به جایی ضربه ممکن است ، که این موضوع قبل از در قسمت وارونگرها شرح داده شده است .

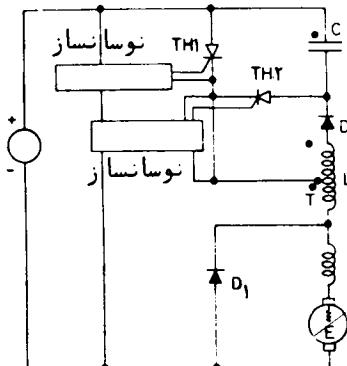
گرچه فرکانس کلیدزنی تحت کنترل دقیق نوسانساز است . ولی نوسانات بار می تواند روی زمان روش بودن تیریستور موثر باشد .

ب - برشگر جونز

این مدار در شکل ۴ - ۲۵ نشان داده شده و جزو طبقه بندی کلاس (ت) جا به جایی ، خازن بارداری که توسط تیریستور کمکی TH_2 و اتوترانسفورماتور کلیدزنی می شود ، است . به علت وجود تیریستور TH_2 هم زمانی روش شدن T_{on} و هم زمانی خاموشی T_{off} قابل تغییر هستند ، اما طبق شکل ، زمان خاموشی T_{off} و یا دوره [تناوب] T پارامتر کنترل شده ای است که توسط تیریستور TH_1 تعیین می شود ؛ با در نظر گرفتن این موضوع نوسان ساز ، TH_2 را ثابت ساخته تا زمان روش T_{on} بدون تغییر باقی بماند .

این مدار از مدار اصلی مورگان پایدارتر است و اتوترانسفورماتور جا به جایی قابل اعتمادتری برای تیریستور بار تأمین می کند .

مشابه برشگر مورگان ، موقعی که تیریستور TH_1 بر شگر جونز روش می شود خازن C در محل علامت گذاری شده باردار ، و از طریق C ، TH_1 ، D و L مدار شروع به تخلیه می کند ناقطبیت خود را معکوس کند . دیود D از تشديد اضافی مدار LC جلوگیری می کند . بنابراین خازن بار خود را تا روش شدن تیریستور TH_2 نگه می دارد . به محض روش شدن TH_2 خازن در دو سر TH_1 تخلیه می شود و آن را خاموش می کند . خازن دوباره شروع به باردار شدن می کند و به طور



شکل ۴ - ۲۵ برشگر جونز

کنترل موتور جریان مستقیم

مثبت در محل علامت‌گذاری شده باردار می‌شود و تیریستور $TH2$ را به علت این که جریان عبوری از آن پس از باردارشدن به زیرجریان نگهدارنده تیریستور افت‌می‌کند خاموش می‌سازد. سیکل عملیات با روشن شدن دوباره $TH1$ خود به خود تکرار می‌شود.

اگر خازن در زمانی که تیریستور $TH1$ دوباره روشن می‌شود به اندازه کافی باردارنشده باشد اهمیتی نخواهد داشت زیرا جریان بار باعث می‌شود که نیروی محرکه الکتریکی القاشه در آن ترانسفورماتوری انرژی جا به جایی کافی را به خازن بدهد. به این علت تیریستورها بایستی دارای بیشترین میزان ولتاژ باشند.

پ - برشگر نوسانی

برشگر نوسانی از آنجایی که در مدار بارش سلف قابل اشباع و یا اتوترانسفورماتور نیست، از برشگرهای دیگر متماز است. وجه تسمیه این برشگر به علت طبیعت نوسانی یا تشدیدی جایه - جایی کلاس (ت) است. گرچه مراحل کلیدزنی شبیه به مدار جوتز است ولی مشخصه فرکانس کلیدزنی بالاتری دارد.

مراحل عمل عبارت است از آنکه تیریستور $TH2$ (شکل ۴ - ۲۶) بایستی اول را مانداری شود تا خازن C به طور مثبت در محل علامت‌گذاری شده باردار شود، غیر از این جا به جایی ممکن نیست. سپس موقعی که $TH1$ روشن می‌شود و جریان از بار عبور می‌کند خازن C نیز از طریق مدار تشدید C ، $TH1$ ، R_2 ، D_2 و L_2 تغییر قطبیت می‌دهد و به طور معکوس باردار می‌شود که در همان حالت بارداری به علت وجود دیود D_2 ، باقی می‌ماند تا این که $TH2$ تشود و خازن C را تخلیه کند و تیریستور $TH1$ را بایاس معکوس و خاموش کند.

با هیچ مدار تشدیدی، خازن نمی‌تواند بار الکتریکی با قطب معکوسش را به طور نامحدودی نگهداری کند. عناصر مدار ایده‌آل نیستند و خازن C به آرامی از طریق $TH2$ و D_2 ، توسط جریان نشتنی تخلیه خواهد شد. به هر حال اگر شرایط را به استثنای وجود مقاومت R_2 (طبق شکل) در مدار جایه جایی ایده‌آل فرض کنیم، در آن صورت تحلیل مدار جا به جایی به صورت زیر خواهد بود.

- تحلیل پرشدن خازن. شرایط اولیه عبارت است از اینکه در موقع روشن شدن تیریستور $TH1$ در زمان صفر، بایستی خازن در محل علامت‌گذاری شده طبق شکل ۴ - ۲۷ تا ۷ ولت پرشده باشد. مدار را تنها موقعی می‌توان تحلیل کرد که جریانی در جهت عکس ساعتگرد^۱ در حال عبور باشد. روابط لحظه‌ای در این مدار عبارت است از:

الکترونیک قدرت

۱۸۸

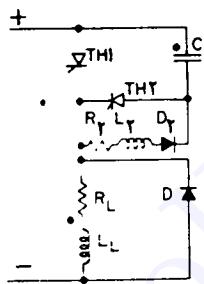
$$L_T \frac{di}{dt} + R_T i + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt = 0 \quad (25-4)$$

$$v_c = -\frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt \quad (26-4)$$

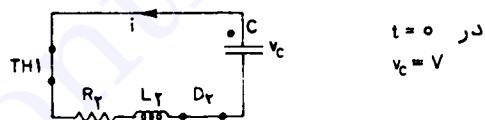
و تبدیل لاپلاس این روابط عبارتند از:

$$i(s) = \frac{V}{L_T(s^2 + 2\xi\omega s + \omega^2)} \quad (27-4)$$

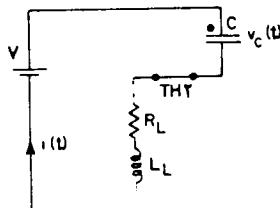
$$v_c(s) = \frac{V}{s} - \frac{V}{L_T C s(s^2 + 2\xi\omega s + \omega^2)} \quad (28-4)$$



شکل ۴-۲۶ مدار برشگر نوسانی



شکل ۴-۲۷ مدار معادل جایه جایی



شکل ۴-۲۸ جایه جایی و مدار اولین تخلیه

که در آن ضریب میرایی ξ^2 عبارت است از:

1- Damping factor

۱۸۹

کنترل موتور جریان مستقیم

(۲۹-۴)

و فرکانس طبیعی مدار نوسانی؛ یعنی، ω عبارت است از:

$$\frac{\text{رادیان}}{\text{ثانیه}} \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{L_1 C}}$$

(۳۰-۴)

حل روابط (۲۵-۴) و (۲۶-۴) عبارتند از:

$$i(t) = \frac{V}{L_1 \omega \sqrt{1 - \xi^2}} e^{-\xi \omega t} \sin(\omega t \sqrt{1 - \xi^2}) \quad (31-4)$$

و

$$v_c(t) = V e^{-\xi \omega t} \left[\cos(\omega t \sqrt{1 - \xi^2}) + \frac{\xi}{\sqrt{1 - \xi^2}} \sin(\omega t \sqrt{1 - \xi^2}) \right]. \quad (32-4)$$

خازن سرانجام تاموقعی برخواهد شد که عبور جریان در جهت عکس ساعتگرد^۱ در مدار قطع شود. جریان در جهت ساعتگرد به علت وجود دیوید نمی‌تواند عبور کند و در هر حالت روابط فوق نمی‌توانند معتبر باشند. موقعی که خازن باردار شد شرایط حدی اتفاق می‌افتد.

$$i(t) = 0 \quad (33-4)$$

و رابطه (۳۱-۴) زمان لازم برای باردار شدن، t_c را به دست می‌دهد که عبارت است از:

$$t_c = \frac{\pi}{\omega \sqrt{1 - \xi^2}} = \sqrt{L_1 C}, \quad (34-4)$$

موقعی که ولتاژ دو سر خازن v_c عبارت است از:

$$v_c = V e^{-\xi \pi / \sqrt{1 - \xi^2}} \approx V e^{-(\pi R_1 / 2) \sqrt{(C/L_1)}}, \quad (35-4)$$

که از رابطه (۳۲-۴) به دست می‌آید. قابل تذکر است که ولتاژ منفی در محل علامت گذاری-شده نسبت به صفحه دیگر خازن به علت تلفات انرژی مربوط به مقاومت R_2 کمتر از 7 است.
 ۲- تحلیل مراحل جا به جایی . موقعی که تیریستور TH_2 شروع به هدایت کند خازن تخلیه می‌شود و تیریستور TH_1 را بایاس معکوس می‌کند. TH_1 خاموش می‌شود و از هدایت می‌افتد ولی هنوز جریان از بار عبور می‌کند و مسیر خود را در مداری که طبق شکل ۴-۲۸ داده شده است کامل می‌کند. این مدار را می‌توان فقط برای نیم سیکل از مدار تشديد طبیعی C و L_L تحلیل کرد. موقعی که جریان معکوس می‌شود مسیر مداری به C ، R_2 ، D ، V و ω_L تغییر می‌کند. فرض می‌شود که به محض خاموش شدن TH_1 تیریستور TH_2 روشن می‌شود، ولی البته تیریستور حالت مسدودش را نمی‌تواند به طور آنی احراز کند. روابط لحظه‌ای مدار عبارت است از:

$$L_L \frac{di}{dt} + R_L i + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt = V \quad (36-4)$$

و

الکترونیک قدرت

۱۹۰

$$v_c(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt. \quad (37-4)$$

از شرایط اولیه داریم:

(38-4)

$t = 0$

$i = I_L$

$v_c(0) = -V_c$

به طوری که برگردان تبدیل لاپلاس عبارت است از :

$$i(s) = \left[\frac{(V + V_c)}{L_L} + I_L s \right] / (s^2 + 2\xi_c\omega_c s + \omega_c^2) \quad (39-4)$$

و

$$v_c(s) = \left\{ \left[\frac{(V + V_c)}{L_L C s} + \frac{I_L}{C} \right] / (s^2 + 2\xi_c\omega_c s + \omega_c^2) \right\} - \frac{V_c}{s} \quad (40-4)$$

که در آن :

$$\omega_c = \frac{1}{\sqrt{L_L C}} \quad (41-4)$$

و

$$\xi_c = \frac{R_L}{2} \sqrt{\frac{C}{L_L}}. \quad (42-4)$$

برای حل معادلات فوق ، بسته به این که سیستم زیر میرا $1 < \xi_c < 1$ (برای بحرانی)، $\xi_c = 1$ (باشد) و یا فوق میرا $\xi_c > 1$ (باشد) - که اینها نیز به نوع خود به بار بستگی دارد - سه راه حل وجود خواهد داشت . اینجا سه‌الی مطرح است و آن اینکه راه حل‌های فوق چه اطلاعاتی ارائه خواهند داد؟ اطلاعات طراحی مورد نیاز برای انتخاب L_L و C که TH_1 را قادر می‌سازد قبل از بازیافتن حالت مسدود خود به مدت کافی بایاس معکوس شود . اکنون چون در طی عمل جا به جایی خازن شروع به تخلیه می‌کند تیریستور TH_1 آماده می‌شود تا پس از صفر شدن ولتاژ دو سر خازن دارای بایاس مستقیم شود . زمان لازم برای صفرشدن ولتاژ خازن باقیستی بیشتر از زمان بازیافت TH_1 تیریستور بار باشد .

موقعی که مدار در حالت زیر میرا باشد؛ یعنی :

$$\xi_c < 1 \quad (43-4)$$

حل رابطه (40-4) عبارت است از :

$$v_c(t) = V - [(V + V_c) e^{-\xi_c \omega_c t}] \frac{\cos(\omega_c t \sqrt{1 - \xi_c^2} - \phi)}{\cos \phi} \quad (44-4)$$

که در آن :

$$\phi = \tan^{-1} \left[\xi_c - \frac{I_L}{\omega_c C(V + V_c)} \right] / \sqrt{1 - \xi_c^2}. \quad (45-4)$$

1- Underdamped

2- Critical damped

3- Over damped

4- Recovery time

کنترل موتور جریان مستقیم
معادله (۴ - ۴۴) نا برقراری شرایط زیر معتبر است :

$$\left. \begin{array}{l} \frac{di}{dt} < 0 \\ v_c(t) = V \end{array} \right\} \quad (46-4)$$

با جایگزینی $v_c(t) = V$ در معادله (۴ - ۴۴) که زمان خاموشی بیشینه تیریستور، t_{off} را می دهد داریم :

$$\phi > 0 \quad (47-4)$$

$$t_{off} = \frac{\frac{V_c}{V}}{\omega_c} \ln \left(\frac{V + V_c}{V} \right) + \frac{2\sqrt{1 - \frac{V_c}{V}}}{\omega_c} \phi \quad (48-4)$$

$$\phi \leq 0 \quad (49-4)$$

$$t_{off} = \frac{\frac{V_c}{V}}{\omega_c} \ln \left(\frac{V + V_c}{V} \right) = \frac{R_L C}{2} \ln \left(1 + \frac{V_c}{V} \right). \quad (50-4)$$

موقعی که مدار میرای بحرانی و یا فوق میراست؛ یعنی :

$$(51-4)$$

رابطه زیر به دست می آید :

$$(52-4)$$

معادله (۴ - ۵۰) به علت اینکه در شرایط زیر میرا است، یعنی به شدت نوسانی است، کوتاهترین زمان را به دست می دهد. اما رابطه (۴ - ۵۲) می تواند مهمتر باشد. علاوه بر پایاس معکوس کردن TH_1 ، برای زمان خاموشی تیریستور نیز، ضروری است، خازن C دریک زمان کوتاه کافی به اندازه :

$$v_c(t) = V \quad (53-4)$$

ثبت در محل علامت گذاری شده، قبل از دوباره روشن شدن تیریستور، باردارشود. در غیر این صورت جا به جایی موقتی آمیز نخواهد بود. دوره هدایت TH_1 را می توان با اضافه کردن دیودی به طور سری با یک سلف و موازی با TH_1 کوتاهتر کرد. جهت جلوگیری از اتصال کوتاه شدن خازن در طی جا به جایی، سلفی به مدار اضافه می شود. تغییر مناسب دیگری جایگزینی دیود D_2 با یکی از تیریستورها است به طوری که در طول جا به جایی در نیم سیکل دوم نوسانات جریان معکوس را مسدود کند و ظهور ولتاژ مثبت بیشتری را در محل علامت گذاری شده خازن

الکترونیکقدرت

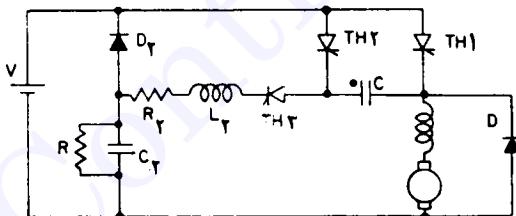
۱۹۲

مجاز سازد . این کار یقینا ، موقعی که بار تنها آرمیجر موتور باشد و نیروی ضد محركه الکترونیکی به محدود ساختن مقدار باردار شدن در جهت مثبت (جوشن نقطه‌دار) گرایش نشان دهد ، ضروری خواهد بود .

مدار برشگر نوسانی دیگری که مشکل باردار شدن خازن را در مقابل نیروی ضد محركه الکترونیکی حل می کند و ضرورت راماندازی تیریستور کمکی را در وهله اول ، حذف می کند در شکل ۴ - ۲۹ نشان داده شده است .

اگر اول تیریستور TH_2 هدایت کند ، خازن C در محل علامت‌گذاری شده به طور مثبت پر و سپس TH_2 خاموش می شود . تیریستور TH_1 راماندازی به جریان بار اجازه عبور می دهد ، اما TH_2 همواره به طور همزمان با TH_1 راماندازی می شود . حال یک مدار نوسانی یک طرفه TH_2 ، C ، L_2 و D_2 وجود دارد برای اینکه خازن C قطبیت خود را عوض کند و تا شروع هدایت دوباره TH_2 در همان قطبیت باقی بماند تا یکبار دیگر TH_1 با یاس معکوس و خاموش شود .

اگر TH_1 و TH_2 اول روشن شوند خازن به طور منفی در محل علامت‌گذاری شده پرمی شود و آمده برای جایی تیریستور بار خواهد بود . مدار باردار شدن ، خازن TH_1 ، C ، TH_2 ، L_2 ، R_2 و D_2 است که مستقل از مدار بار است ، در نتیجه C بدون توجه به اینکه نیروی ضد محركه الکترونیکی چقدر است به میزان همان ولتاژ باردار می شود .



شکل ۴ - ۲۹ مدار برشگر نوسانی متناسب

۴-۶ کنترل وضعیت توسط موتورهای جریان مستقیم
دو روش کنترل وضعیت ، شامل بالا بردن بار تا روی یک سطح مسطح ، و هدایت کردن بار در یک مسیر مشخصی تا یک هدف هستند . هر یک از این دو ، برخوردهای متفاوتی را می طلبند . معمولا " در روش اول عملکرد حلقه باز^۱ دستی امکان پذیر بوده ، در صورتی که در روش دوم عملکرد حلقه بسته^۲ خودکار ضروری است . هر دو سیستم برای تأمین حرکت احتیاج به موتور الکترونیکی دارند .

۱۹۳

کنترل موتور جریان مستقیم

"پویش سانتیمتری^۱" معمولاً نامی است که به کنترل وضعیت دستی اطلاق می‌شود که در اینجا موتور مجاز است به طور آهسته فواصل کوتاهی را با سرعتهای خیلی کم و با کامهای مجزا از هم دوران کند.

این روش کنترل را با مقاومت سری شده با آرمیچر، درست شبیه مقاومت رامانداز موتور، می‌توان عملی کرد. یک همسایشگر^۲، منبع تغذیه را قادر خواهد ساخت تا به دلخواه عملگر^۳ قطع و وصل شود. مراحل کار به این ترتیب خواهد بود که در موقع اتصال منبع تغذیه، مقاومت اضافه شده جریان آرمیچر را تا حد معینی محدود می‌کند تا گشتاور الکترو-مغناطیسی راماندازی خیلی بیشتر از گشتاور بار نباشد. در نتیجه شتاب راماندازی و سرعت نهایی موتور کم خواهد بود. راماندازی و ایستادن متوالی و سریع، در صورت لزوم، به حرکات بار، کمتر از ۲/۵ سانتیمتر، در هر مرتبه منجر می‌شود؛ و این یعنی "پویش سانتیمتری". انجام "پویش سانتیمتری" در عمل، شبیه همان راماندازی موتوری است به استثنای اینکه فقط مقاومت واحدی که خارج از مدار آرمیچر کلیدزنی نمی‌شود مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین کلیه سیستمهای تشییح شده برای راماندازی را می‌توان در این مورد نیز به کار برد. این شامل مدارهای برشگر تیریستوری شکلهای ۴-۲۴، ۴-۲۵، ۴-۲۶ است، که این مدارها کاربرد مقاومت را حذف می‌کنند و به جای آن نسبت علامت-فضای ثابت اندکی برای نگهداری مقدار ولتاژ متوسط کمی در دو سر آرمیچر، توان و با جریان کم و گشتاور کم و در نتیجه سرعت کم، قرار می‌دهند.

اگر بار موردنظر برای تغییر وضعیت دادن سبک وزن باشد در آن صورت موتوری که آن را بایستی کنترل کند نیز کوچک است و آرمیچر می‌تواند از یک منبع جریان ثابت کوچک تغذیه کند. گشتاور تنها به یک عامل قابل تنظیم بستگی خواهد داشت و آن میدان تحریک است که می‌تواند ابتدا به طور شدید تحریک شده و بار را به وضعیت مورد نظر برساند و سپس دوباره صفر شود.

شکل ۴-۳۰ اصول روش کنترل وضعیت خودکار را معرفی می‌کند. طبق شکل، دو تقسیم-کننده ولتاژ، از منبع تغذیه با ولتاژ ثابتی تغذیه می‌شوند. تقسیم کننده ولتاژ ۱، ولتاژ مبنای ۷/۶ را، که به زاویه وضعیت مورد لزوم محور شbahت دارد به دست می‌دهد، در حالی که لغزندۀ ۴ تقسیم کننده ۱/۱ با محور موتور تماس دارد و شباهت ولتاژ خروجی ۰/۰ را با وضعیت اصلی مقدور می‌سازد. خطای ۰ با اختلاف این دو ولتاژ تقویت کنندهای را تغذیه و جریانی متناسب با این اختلاف تولید می‌کند که آن نیز سیم پیچی میدان موتور را تحریک می‌کند.

1- Inching

2- Contactor

3- Operator

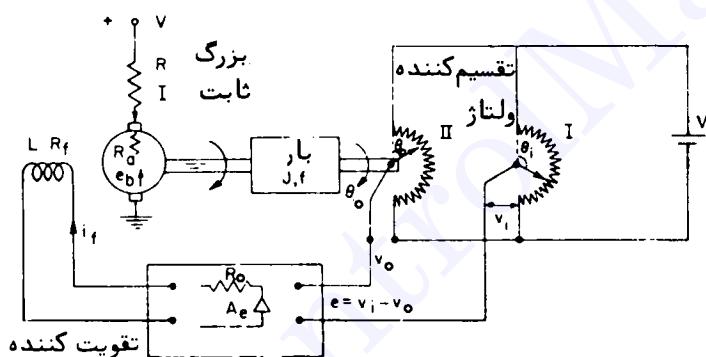
4- Wipper

الکترونیک قدرت

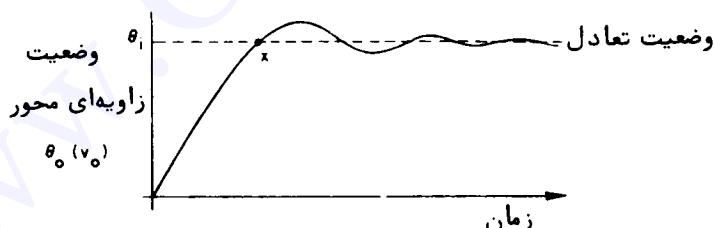
۱۹۴

برای ولتاژ مبنای مخصوصی، موتور گشتاوری متناسب با جریان میدان تحریک و بنا بر این متناسب با ولتاژ خطا تولید می‌کند. موتور، توأم با لغزندۀ تقسیم کننده II، تا زمانی که ولتاژ v_0 برابر با v_i شود خواهد چرخید. در این نقطه، یعنی، از شکل ۴-۳۱، محور موتور به زاویه وضعیت مورد نیاز خواهد رسید. محور، به خاطر اندازه حرکت^۱ خود از این وضعیت، به اندازه‌ای که بستگی به ضریب میرایی سیستم دارد، تجاوز خواهد کرد. با این حال ولتاژ خطا اکنون جهت جریان تحریک را معکوس می‌کند و یک گشتاور معکوس برای برگرداندن محور به وضعیت اصلی تولید می‌کند. تحریک مشابهی قبل از اینکه محور به وضعیت پایداری برسد، طبق شکل ۴-۳۱ وجود خواهد داشت که تقریباً معرف یک سیستم زیر میرایی آرام است.

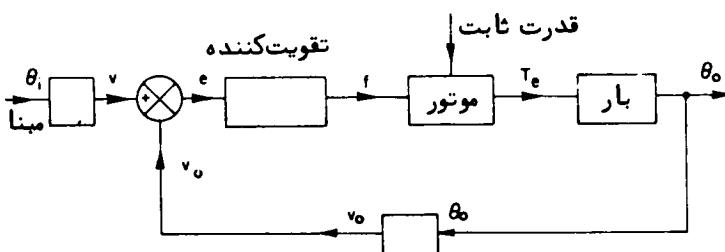
نمودار بندالی مدار کنترل وضعیت خودکار دارای شکلی نظیر ۴-۳۲ است.



شکل ۴-۳۰ کنترل وضعیت خودکار



شکل ۴-۳۱ حرکت محور برای کنترل وضعیت



شکل ۴-۲۲ نمودار بندالی برای کنترل وضعیت ساده

۴-۱-۱ کنترل وضعیت تیریستوری

در کنترل وضعیت خودکار قسمت پیشینی ضریب القای زیاد سیم پیچی میدان پاسخ الکتریکی نسبتاً آرامی را نتیجه می‌دهد. ضریب القای کم آرمیچر با اینکه مستلزم کنترل قدرت زیادی است پاسخ خیلی سریعی نامین می‌کند، بنابراین بهره زیاد تیریستور اجازه کنترل خودکار در موتورهای قدرت زیاد را می‌دهد.

اکنون یک سیستم کنترل وضعیت بهینه وار^۱ از طریق آرمیچر، به طور نسبتاً مشروطی مورد تحلیل قرار می‌گیرد. این تحلیل بینشی در مورد پیچیدگی طراحی مدار کنترل پس از انتخاب مدار اصلی، ارائه خواهد داد.

الف - مطالعه طراحی سرو مکانیسم ۳ گسته برای کنترل وضعیت تیریستوری
سرو مکانیسم‌ها، سیستم‌های حلقه بسته‌ای برای کنترل وضعیت، سرعت یا شتاب یا بار جرمی هستند. آنها به طور خودکار کارمی‌کنند و توسط علائم خطاطحریکی شوند، به طوری که مقایسه مداومی بین ورودی موردنیو و خروجی واقعی وجود خواهد داشت. اختلاف بین این دو علامت، یا خطای پس از تقویت به میزان معین، وسیله بعضی از محرکها یا کنترل کننده‌ها برای تصحیح خروجی، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

وسیله خودکار غیر پیوسته عبارت است از سیستم بنگ - بنگ^۲ و یا قطع - وصل، که در آن قدرت اعمال شده به کنترل کننده یا کاملاً "وصل" و یا به طور کلی قطع است. تیریستور به عنوان یک کلید، برای این عملکرد به نوح احسن مناسب است. اینجا سؤالی مطرح می‌شود و آن اینکه چرا سیستم قطع - وصل به کار می‌رود؟ زیرا کنترل کننده‌های قطع - وصل تا حد خیلی زیادی ساده‌تر، و ارزان‌قیمت‌تر از کننده‌های پیوسته مورد استفاده در قسمتهای قبلی،

1- Quasi-optimized

2-Servomechanism

3- Bang - bang



الکترونیک قدرت

هستند . با پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای که در سیستم‌های پسخور خطی حاصل شده است ، کنترل کننده‌های پیوسته از نظر تحلیل آسانتر و کارآنها برای پیش‌بینی سهولت‌تر است . بهمراه حال با افزایش علاوه‌مندی به کنترل بهین ، توجه دوباره‌ای به کنترل کننده‌های قطع و وصل به وجود آمده است .

در اطراف موضوعات عام کنترل بهین ، نوشت‌های خیلی زیادی وجود دارد ، که از آن میان مسئله کنترل زمان کمینه رابطه تنگاتنگی با خود کنترلهای^۱ وضعیتی دارند . از یک خود-کنترل وضعیتی عموماً انتظار می‌رود که خروجی سیستم را از یک مقدار اولیه^۲ به یک مقدار نهائی^۳ ، در حداقل زمان ممکن ، برساند . از بین محققین بلمن^۴ ، فلدباوم^۵ ، لاسال^۶ ، پونتیاکین^۷ و شاندووسی^۸ مسئله زمان کمینه را مورد بررسی قرار دادند و با تدقیق و تعمیم‌های مختلف ثابت کردند که سیستم قطع - وصل یک سیستم بهین زمان^۹ است . سیستم قطع و وصل ، به صورت سیستمی که در تمام اوقات قدرت بیشینه‌ای را به معرف می‌رساند ، تعریف شده و به طور ریاضی می‌توان چنین نوشت :

$$U_{\text{opt}} = U_{\max} \text{sgn}(\text{بعضی از توابع}) \quad (54-4)$$

که در آن

U_{opt} عبارت است از متغیر بهینه اجباری
 U_{\max} عبارت است از مقدار بیشینه متغیر اجباری (مثالی از متغیر اجباری عبارت از ولتاژ اعمال - شده به موتور است .)

عبارت است از تابع علامت (Sign)

سیستم قطع - وصل غیر خطی است و مشخصه اساسی سیستم غیرخطی آن است که اصل جمع آثار^{۱۰} در آن دیگر صادق نخواهد بود . به این علت تحلیل تئوری لابلس یا روش‌های حوزه فرکانس^۹ ، دیگر غیرقابل استفاده خواهد شد . روش‌های متعددی از قبیل لیاپونوف^{۱۱} ، روش‌های توصیف تابع^{۱۲} صفحه فاز^{۱۳} برای تحلیل سیستم‌های غیر خطی وجود دارد . دو روش اول در مورد سیستم‌های مرتبه بالاتر^{۱۴} قابل استفاده بوده و در اصل اطلاعاتی درباره پایداری به دست می‌دهند . روش صفحه فاز برای هم‌سیستم‌های مرتبه دوم یا سیستم‌هایی که قابل تقلیل به سیستم مرتبه دوم خطی یا غیرخطی هستند قابل استفاده است و متناسب مزیت دادن اطلاعات کامل در

1- Servo

2- Bellman

3- Feldbaum

4- La Salle

5- Pontryagin

6- Chandhusi

7- Time optimal

8- Super Position

9- Frequency

10- Lyapunov

11- Describing-

12- Phase-Plane

13- High order

۱۹۷

کنترل موتور جریان مستقیم

شایطگذرا است. بنابراین، این روش در سیستم مورد مطالعه بعدی مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

اگر کشتاور لختی^۱ موتور جریان مستقیم و بار آن ر باشد، ضریب چسبندگی اصطکاک^۲ B باشد و کشتاور موتور بر روی گستره سرعت عملکردی به مقدار ثابت T باشد، پس کشتاور خروجی سیستم خودکار نشان داده شده در شکل ۴-۳۳ بستگی به علامت خطأ خواهد داشت؛ یعنی اینکه:

$$T = Sgn(e)T_{max} \quad (55-4)$$

که در آن

$$e = \theta_i - \theta_0 \quad (56-4)$$

θ_i معرف ورودی مبنای وضعیتی و θ_0 معرف خروجی وضعیتی هستند. رابطه کشتاور بار و موتور به صورت زیر است:

$$J\ddot{\theta}_0 + B\dot{\theta}_0 = \pm T. \quad (57-4)$$

با فرض اعمال ورودی پلمای به سیستم، رابطه (۵۷-۴) به صورت زیر درمی آید:

$$\dot{e} = \mp \frac{T}{J} + \frac{B}{J} \dot{\theta}. \quad (58-4)$$

چون

$$\ddot{e} = \dot{e} \frac{d\dot{e}}{de} \quad (59-4)$$

با جایگزینی رابطه (۵۸-۴) در رابطه (۵۹-۴)، رابطه زیر:

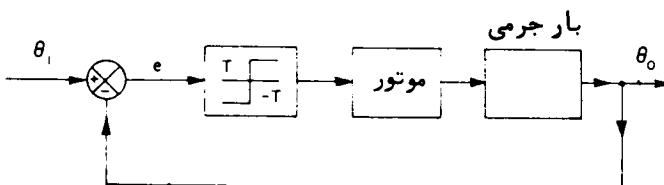
$$\frac{\dot{e} d\dot{e}}{\mp \frac{T}{J} + \frac{B}{J} \dot{e}} = de \quad (60-4)$$

حاصل می شود، و حل آن، مسیر صفحه-فاز خطای e را بر حسب میزان خطای θ به دست می دهد، عبارت است از:

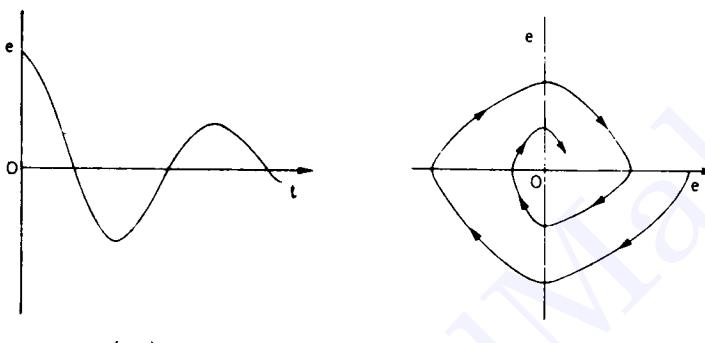
$$\frac{T}{J} e = \frac{T}{B} \dot{e} \pm \frac{T^2}{B^2} \ln \left(1 \pm \frac{B}{T} \dot{e} \right). \quad (61-4)$$

مسیر فاز سیستم و خروجی واقعی آن در شکل ۴-۳۴ نشان داده شده است. بنابراین به طور تئوریکی یک سیستم خود کنترل وضعیتی با ورودی پلمای، که کشتاور خروجی آن دارای همان علامتی است که خطأ دارد، سیستمی را با میرایی شدید نتیجه خواهد داد.

۱- مدار قدرت. برای تعویض ناگهانی جهت کشتاور موتور جریان مستقیم که اندکی پیش مورد بررسی قرار گرفت بایستی جهت جریان میدان تحریک و یا جهت ولتاژ اعمال شده به



شکل ۴-۳۲ سیستم خود کنترل وضعیتی قطع و وصل

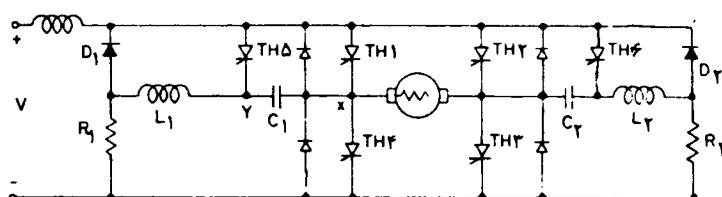
شکل ۴-۳۴ مسیرهای سیستم خودکنترل وضعیتی قطع - وصل با یک ورودی پله‌ای
(الف) مسیر صفحه - فاز (ب) خروجی واقعی بر حسب زمان

آرمیجر را تعویض کرد. روش اخیر گرچه مستلزم قطع جریان شدیدی است ولی چون پاسخ سریعتری دارد انتخاب می‌شود. مدار اصلی برای کنترل عبور قدرت در شکل ۴-۳۵ نشان داده شده که اساساً "یک مدار پل" است. این مدار در حوالی بار مصرفی، که همان آرمیجر ماشین جریان مستقیم تحریک جداگانه است، متقارن است. اجزای TH_1, TH_3, TH_5, TH_7 برای کنترل عبور قدرت از طریق بار در یک جهت بکار برده شده در حالی که عنصر R_1, D_1 برای عبور TH_4, TH_6, TH_2 از طریق بار دادن قدرت در جهت مخالف مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بنابراین تنها بررسی عملکرد نصف مدار کافی خواهد بود.

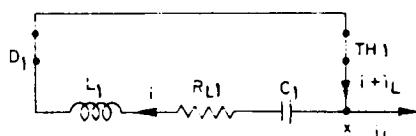
این مدار شبیه برشگر نوسانی قسمت (۴-۳-۳) است. فرض می‌شود که خازن C_1 در ابتدا توسط هدایت تیریستورهای TH_3 و TH_5 باردار می‌شود به طوری که ولتاژ در نقطه Y بماندازه V ولت بالاتر از نقطه X باشد. اگر TH_2 و TH_4 را ماندازی شوند جریان از طریق بار عبور می‌کند و در همان زمان ولتاژ نقطه X به ولتاژ V افزایش می‌یابد و سبب افزایش ولتاژ Y به $2V$ می‌شود. در نتیجه عبور جریان از Y از طریق L_1 و D_1 شروع می‌شود. رفتار مدار را می‌توان توسط مدار معادل ایده‌آل شکل ۴-۳۶ تحلیل کرد.

جریان در مدار شکل ۴-۳۶ به صورت لایپلاس یا حوزه، عبارت است از:

کنترل موتور جریان مستقیم



شکل ۴-۲۵ مدار قدرت



شکل ۴-۳۶ مدار معادل موقعی که TH1 هدایت می‌کند

$$I(s) \left(L_1 s + R_{L1} + \frac{1}{C_1 s} \right) + \frac{V(0+)}{s} = 0, \quad (62-4)$$

حل این معادله عبارت است از:

$$i(t) = -\frac{V(0+)}{L_1 b} e^{-at} \sin bt \quad (63-4)$$

که در آن

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{R_{L1}}{2L_1} \\ b &= \sqrt{\frac{1}{L_1 C_1} - \frac{R_{L1}}{4L_1^2}} \end{aligned} \right\} \quad (64-4)$$

اکنون ولتاژ خازن را توسط انتگرال گیری می‌توان محاسبه کرد که عبارت است از:

$$v_c = \frac{1}{C_1} \int_{-\infty}^t i dt \quad (65-4)$$

$$v_c = -\frac{V(0+)}{L_1 b} \int_{-\infty}^t e^{-at} \sin bt dt. \quad (66-4)$$

و آن عبارت است از:

$$v_c(t) = \frac{V(0+) e^{-at}}{b} (a \sin bt + b \cos bt). \quad (67-4)$$

چون R_L مقاومت سلف L_1 است

$$(68-4)$$

در نتیجه

$$v_c(t) \approx V(0+) e^{-at} \cos bt. \quad (69-4)$$

الکترونیک قدرت

شکل معادلات (۴-۶۳) و (۴-۶۹) در شکل ۴-۳۷ نشان داده شده است . توسط دیود D_1 در مدار ، در زمان t ، داده شده توسط رابطه

$$(20-4) \quad t_1 = \frac{\pi}{b},$$

جريان سعی در معکوس شدن می کند ، لیکن مسدود می شود ؛ در نتیجه خازن در جهت معکوس و به میزان ولتاژ در y ، که بیشتر از x است باردار می شود .

$$(21-4) \quad v_c = -v \exp(-\pi a/b)$$

که مقدار مطلق آن دقیقا " کمتر از v است .

راه اندازی تیریستور $TH5$ باعث افزایش ولتاژ در نقطه y تا v ولت می شود و ولتاژ نقطه x را به v ولت تغییر می دهد . این ولتاژ موقتا $TH1$ را بایاس معکوس می کند و جازه می دهد که دوباره حالت مسدود مستقیم را بازیابد . خازن C_1 دوباره با نقطه y به اندازه v ولت بیشتر . از x با صرف نظر کردن از نیروی ضد حرکه الکتریکی که در این نقطه ممکن است خیلی کم و یا صفر باشد ، باردار خواهد شد و $TH5$ به علت این که جريان عبوری از آن توسط مقاومت R_1 محدود به کمتر از جريان نگهدارنده می شود خاموش خواهد شد . با توقف جريان بار ، تیریستور $TH2$ حالت مسدود خود را باز می یابد ، یا به خاطر طبیعت نوسانی خازن C_1 ، سلف آرمیجر ، و منبع تغذیه موقعي که جريان بار معکوس می شود تیریستور $TH2$ خاموش می شود . عمل یک سیکل اینجا تکمیل می شود و تیریستورهای $TH1$ و $TH2$ یا $TH2$ و $TH4$ اکنون دوباره می توانند روش شوند و سیکل بعدی را تکرار کنند .

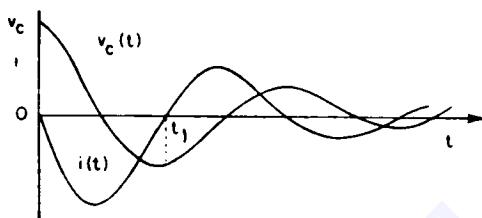
وظیفه اولیه مقاومت R_1 تأمین مسیر در روبی 1 برای جريان نشتی دیود D_1 و تیریستور $TH5$ است و تا موقعی که تیریستورهای $TH1$ و $TH5$ در حال هدایت هستند مانع افزایش ولتاژ نقطه y تا ولتاژ نقطه x می شوند . در هر حال مقاومت R_1 [همراه] با مقاومت مسدود کننده دیود D_1 و تیریستور $TH5$ به مثابه تقسیم کننده ولتاژ عمل می کند ، و در نتیجه ولتاژ نقطه y در مقدار ولتاژ کمینه ای محدود v می شود . چون برای هدفهای جا به جایی ، داشتن اختلاف پتانسیل حتی الامکان زیادی در دو سر صفحات خازن C_1 مطلوب است ، لذا مقاومت R_1 بایستی به اندازه مقاومت سالم ساز کوچکی ثابت زمانی R_1C_1 نیز کمتر می شود و اگر تیریستورهای بار $TH1$ و $TH2$ باشند ولتاژ نقطه y به طور سریع به صفر تقلیل خواهد یافت . بنابراین برای القای ولتاژ زیادی بین نقاط y و x در این وضعیت ، تیریستور $TH5$ بایستی به طور مداوم تحت فرمان باشد .

آرمیجر موتور برای انتلاف انرژی القایی ذخیره شده ، دارای دیود چرخش آزاد نیست ،

۲۰۱

کنترل موتور جریان مستقیم

زیرا جهت چرخش قابل تعویض است. در مورد ماشینهای کوچک با یک سلف کم این مشکل قابل تحمل خواهد بود ولی در مورد ماشینهای قدرت بالا مدارهای دیگری بایستی مد نظر قرار گیرند. پل دیودی به طور موازی با پل تیریستوری، راه حل برگشت انرژی القایی به منبع تغذیه است.



شکل ۴-۳۲- جریان و ولتاژ خازن مدار شکل

۳- مدار کنترل. یک مدار منطقی برای کنترل عمل کلیدزنی تیریستورها در پل شکل ۴-۳۵، مورد نیاز است. سهتابع کلیدزنی [تیریستورهای این مدار] به ترتیب زیر وجود دارند:

الف) کلیدزنی تیریستورهای $TH1$ و $TH3$

ب) کلیدزنی تیریستورهای $TH2$ و $TH4$

پ) کلیدزنی تیریستورهای $TH5$ و $TH6$

متغیرهای کلیدزنی در اینجا تعیین و توابع منطقی نهایی (ضمیمه پ III) [به صورت نمودار بندالی] معرفی شده‌اند. متغیرها عبارتند از:
الف) T_{12} متغیری است که روشن یا خاموش بودن تیریستورهای $TH1$ و $TH3$ را مشخص می‌کند.

ب) T_{24} متغیری است که روشن یا خاموش بودن تیریستورهای $TH2$ و $TH4$ را مشخص می‌کند.

پ) T_{45} متغیری است که روشن یا خاموش بودن تیریستورهای $TH5$ و $TH6$ را مشخص می‌کند.

ت) P_{12} متغیری است که خطای وضعیتی را که با روشن کردن تیریستورهای $TH1$ و $TH3$ می‌تواند یکسو شود مشخص می‌کند.

ث) P_{24} متغیری است که خطای وضعیتی را که می‌تواند با روشن شدن تیریستورهای $TH4$ و $TH2$ یکسو شود را معین می‌کند.

ج) C متغیری است که حدود جریان بار را مشخص می‌کند.

الکترونیک قدرت

توابع منطقی کلیدزنی عبارت است از:

$$T_{56} = C + \bar{P}_{13} \cdot \bar{P}_{24} + T_{13} \cdot P_{24} + T_{24} \cdot P_{13} \quad . \quad (72-4)$$

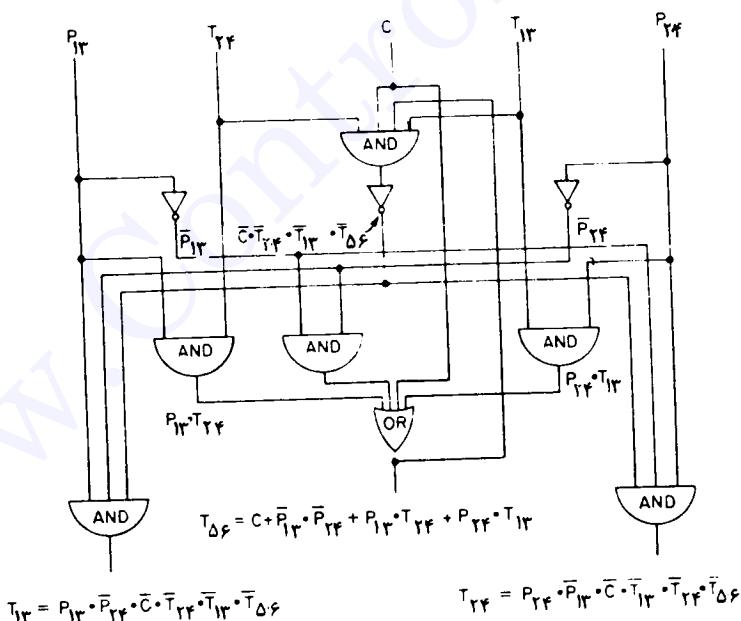
$$T_{13} = P_{13} \cdot \bar{P}_{24} \cdot \bar{C} \cdot \bar{T}_{13} \cdot \bar{T}_{24} \cdot \bar{T}_{56} \quad (73-4)$$

$$T_{24} = \bar{P}_{13} \cdot P_{24} \cdot \bar{C} \cdot \bar{T}_{13} \cdot \bar{T}_{24} \cdot \bar{T}_{56} \quad (74-4)$$

رابطه (۷۲-۴) نشان می‌دهد که تیریستورهای TH_5 و TII_6 به شرط تجاوز جریان بارا ز حداکثرمحاز OR (C) عدم وجود خطای وضعیتی ($P_{13} \cdot P_{24}$) یا (OR) روش بودن یکسری از تیریستورهای با روشن خواهد شد، ولی خطای موضعی طوری است که سری دیگری ($T_{13} \cdot P_{24} + T_{24} \cdot P_{13}$) باستی روشن شوند، به طور مشابه رابطه (۷۳-۴) نشان دهنده آن است که تیریستورهای TH_3 و TH_4 برای روشن شدن زمانی علائم دریچه را دریافت می‌کنند که خط آن چنان باشد که وجود داشته باشد ولی P_{24} نباشد ($P_{13} \cdot P_{14}$) AND و جریان زیرمقدار حداکثر (\bar{C}) باشد کلیه تیریستورها ($\bar{T}_{56} \cdot \bar{T}_{24} \cdot \bar{T}_{13}$) را مسدود می‌کنند.

توابع کلیدزنی روابط (۷۲-۴)، (۷۳-۴) و (۷۴-۴) را می‌توان به صورت نمودار منطقی بندالی شکل ۴-۳۸ رسم و نشان داد.

وروودی مدار کنترل منطقی را باستی از شبکهای آشکارساز گرفت و خروجی مدار نیز



شکل ۴-۳۸ نمودار بندالی توابع [نهایی] کلیدزنی

کنترل موتور جریان مستقیم

با استینی مدارهای راما نداز دریچه تیریستورها را تعذیه کند.

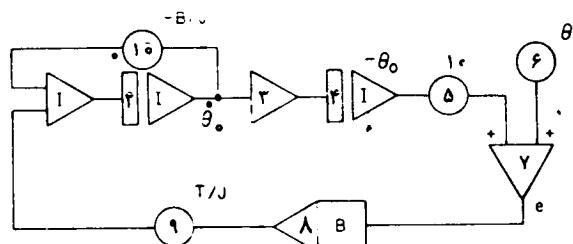
مثال حل شده ۳-۴ . پاسخ یک سیستم خودکار قطع - وصل را به ازای ورودی تابع پلمای تعیین کنید.

از شکل ۳۳-۴ و رابطه (۵۷-۴) ، به منظور شبیه‌سازی کردن یک سیستم واقعی بر روی یک شبیه‌ساز قیاسی کامپیوتری^۱ (برنامه PACTOLUS) استفاده به عمل آمده است. عالیم اختصاری در شکل ۳۹-۴ به نمایش گذاشته شده و نمودار بندالی برای شبیه‌سازی خطای کلیدزنی وضعیتی ساده‌ای در شکل ۴۰-۴ نشان داده شده است. مقادیر گشتاور لختی و گشتاور ثابت هستند اما از چندین ضریب اصطکاک استفاده شده است. شکل ۴-۴۱ نتایج نمونه‌ای کامپیوتر را نشان می‌دهد در حالی که شکل ۴-۴۲ نتایج آزمایشی را نشان می‌دهد.

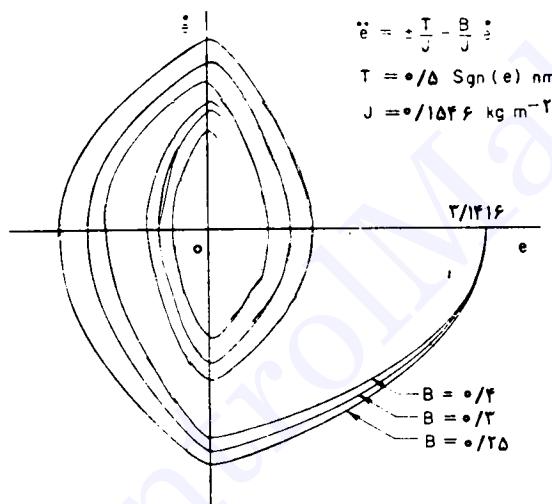
| نام | نوع | سمبل | شرح |
|-------------|-----|------|--|
| بنگبند | B | | $e_o = \begin{cases} +1 & \text{for } e_i = 0 \\ -1 & \text{for } e_i = 0 \end{cases}$ |
| بهره | G | | $e_o = P_1 e_i$ |
| انتگرال گیر | I | | $e_o = \int e_i dt$ |
| ثابت | K | | $e_o = P_1$ |
| وارونگر | - | | $e_o = -e_i$ |
| جمع کن | + | | $e_o = \pm e_1 \pm e_2$ |
| لگاریتم گیر | * | | $e_o = \ln(e_i)$ |

شکل ۴-۳۹ نمادهای شبیه ساز

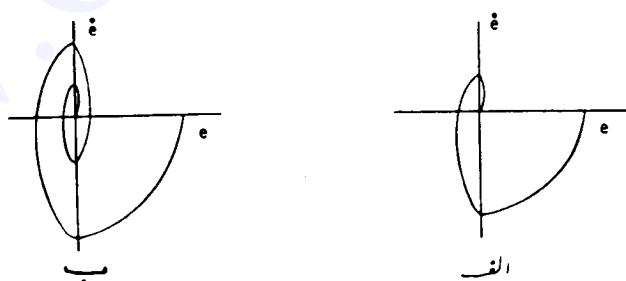
سیستم نشان داده شده به آهستگی میرا می‌شود و برای پاسخ بهین احتیاج به اصلاح دارد. یک روشی برای بهبود ، اضافه کردن مدار جبران کننده فاز^۲ بین علامت خطای و مدار منطقی است. این مدار ممکن است باعث تعویض جهت چرخش موتور جریان مستقیم قبل از



شکل ۴-۴۰ نمودار بندالی برای شبیه‌سازی کردن خطای کلیدزنی ساده



شکل ۴-۴۱ نتایج قیاسی خود کلیدزنی وضعیتی روی علامت خطای



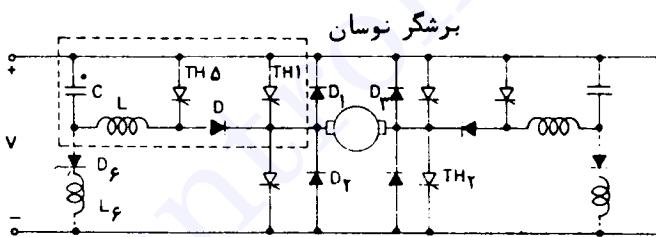
شکل ۴-۴۲ مسیرهای فازی سیستم آزمایشی (الف) جریان آرمیجر ۷۴۰۰۰ مپر با ورودی پلهای ۱۵ ولت، (ب) جریان آرمیجر ۷۰۰۰ مپر با ورودی پلهای ۱۵ ولت

کنترل موتور جریان مستقیم

رسیدن به وضعیت مورد لزوم شود . در نتیجه موتور ترمز شده و در حالت استراحت با نقطه خطای صفر بدون نوسان اضافی^۱ باقی خواهد ماند .

۴ - ۲ - مدارهای متناوب

مدار پل مورد استفاده برای کنترل وضعیت ، که در شکل ۴ - ۳۵ نشان داده شده تا اندازه‌های مدار برشگر نوسانی است . این مدار معایبی [نیز] دارد . به علت این که خازن از طریق بار مصرفی تخلیه می شود ، زمان تخلیه و دوباره برشدن می تواند در مقایسه با زمان واقعی جابه جایی طولانی باشد . بار فعالی مثل مotor جریان مستقیم ، به علت وجود نیروی ضد حرکه الکتریکی ، می تواند از ذخیره شدن انرژی جابه جایی کافی در خازن جلوگیری کند . اگر موتور کوچک باشد و سرعت چرخش توسط خطاهای وضعیتی کوچکی پایین نگه داشته شود در آن صورت مدار پل به طور رضایت‌بخشی عمل خواهد کرد . شکل ۴ - ۴ آرایش متناوبی را نشان می دهد . جریان بار موقعي که تیریستورهای TH_1 و TH_2 را ماندازی شوند عبور می کند و پیوستگی مدار C (برای باردار شدن خازن C) تا L (ولت در محل علامت گذاری شده)



شکل ۴ - ۴ مدار پل متناوب برای کنترل وضعیت

تأمین می کند . برای جا به جایی جریان بار ، تیریستور TH_5 را ماندازی می شود . مدار نوسانی C و L خازن C را برای معکوس ساختن قطبیتیش قادر می سازد به طوری که در حالت ایده‌آل V_{+} ولت در محل علامت گذاری شده و $2V_{+}$ ولت در صفحه دیگر خازن وجود خواهد داشت . در انتهای اولین نیم سیکل نوسانات جریان سعی در معکوس شدن دارد به طوری که مسدود ، و خاموش می شود و خازن C از طریق بار تخلیه می شود و جریان TH_1 را می بلعد^۲ . موقعی که جریان خازن از جریان بار تجاوز کند جریان اضافی از طریق دیود D_1 عبور خواهد کرد . تیریستور TH_1 بایاس معکوس ، و خاموش می شود . هنگامی که خازن C در محل علامت - گذاری شده به طور مثبت باردار می شود و نقطه λ تا ولتاژ خط منفی افت می کند و در آنجا

الکترونیک قدرت

توسط دیود $D2$ محدودی شود . عبور جریان بار از طریق دیود $D2$ و $D3$ برای برگرداندن انرژی الکتری بار به منبع تغذیه است . موقعی که جریان بار به صفر تقلیل پیدا کند ، زوج تیریستورهای دیگر پل ممکن است شروع به هدایت کنند .

برای بارهای خیلی سبک یا شرایط مدار باز ، خازن نبایستی باردار شود مگر اینکه دیود $D6$ و سلف L به مدار اضافه شود . افزودن این دو عنصر باردار شدن خازن را در هر شرایطی مطمئن می سازد . ولی مقدار L بایستی چندین برابر مقدار L باشد تا اینکه در طول جابه- جایی سلف L جریان تخلیه را بیش از اندازه کریز^۱ ندهد .

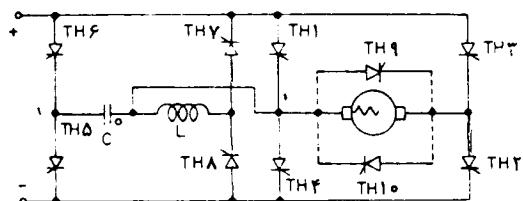
مدار دیگری نیز که از وارونکر وک^۲ (۲) اقتباس شده است وجود دارد . گوجه این مدار تعداد زیادی تیریستور لازم دارد ، ولی در نشان دادن مشکلات موجود در انتخاب بهترین سیستم تیریستوری برای هر کاربرد معینی به کار می آید . این مدار در شکل ۴-۴ نشان داده شده است .

تیریستورهای $TH1$ ، $TH2$ ، $TH5$ در یک زمان راه اندازی می شوند . $TH1$ و $TH2$ اجازه می دهند که جریان بار جاری شود $TH5$ می گذارد که خازن به طور مستقیم در محل علامت گذاری - شده مستقل از شرایط بار ، باردار شود .

راه اندازی تیریستور $TH6$ خازن C را از طریق بار تخلیه می کند و در همان زمان $TH1$ را با یاس معکوس می کند و خاموش می سازد . عمل مدار در اینجا تمام نمی شود ، زیرا خازن C هنوز در حال تخلیه شدن است و جریان بار نیز هنوز از طریق $TH6$ و C عبور می کند .

تیریستور $TH7$ به محض خاموش شدن $TH1$ روش می شود و باعث خالی شدن خیلی سریعتر C از طریق L و C و $TH6$ ، $TH7$ و C سپس از طریق بار می شود $TH7$ دوباره موقعی که جریان در مدار نوسانی C شروع به معکوس شدن کند خاموش می شود .

راه اندازی شده و خازن C با سرعت هرچه ممکن شروع به باردارشدن از طریق $TH4$ $TH4$ با قطبیت معکوس می کند و در موقعی که جریان معکوس از بار عبور کند آماده جابه جایی می شود .



شکل ۴-۴ مدار پل دیگری برای کنترل وضعیت

۲۰۷

کنترل موتور جریان مستقیم

این مدار اجازه استفاده از پل دیود چرخش آزاد معکوس را نمی دهد بلکه مدار تیریستورهای پشت به پشت چرخش آزاد را به منظور تهیه مسیری برای جریان سلفی بار نشان می دهد . در سیکل حاضر ، تیریستور TH_5 درست در همان زمانی که تیریستورهای TH_6 یا TH_7 یا TH_4 راه اندازی می شوند شروع به هدایت خواهد کرد . قبل از اینکه TH_2 و TH_4 ، برای معکوس کردن جریان در بار آتش شوند تیریستور TH_{10} بایستی دوباره در حالت مسدود خود باشد . زمان لازم بین راه اندازی تیریستور TH_6 و TH_4 تنها در حدود ۵۰ میکروثانیه است . دور کلیدزنی برای جریان در جهت معکوس بایستی با TH_9 ، TH_5 ، TH_6 ، TH_4 ، TH_3 و سرانجام TH_8 کامل شود .

مراجع

1. Pelly, B. R. (1971), 'Thyristor phase Controlled converters & cyclo-converters', John Wiley, Interscience, New York.
2. Wouk, V. (1967), 'High power thyristor battery drive for high peak low average power pulser', *Proc. I.E.E.E.*, 1456.
3. Mills, J. (1961), 'An output prediction system to improve the performance of on/off and saturating control systems', *Proc. I.E.E.*, **108** (B), 667-671.

کتابنامه

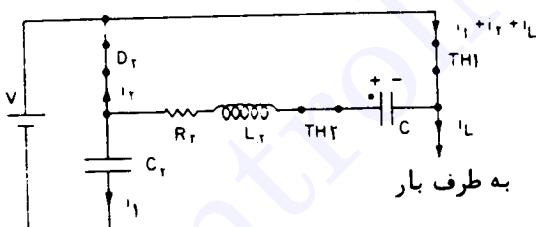
- Griffin, A. W. J. and Ramshaw, R. S. (1965), 'The thyristor and its applications', Chapman and Hall, London.
- Power applications of controllable semiconductor devices* (1965), I.E.E. Conference Publication, No. 17.
- Morgan, R. E. (1966), 'Basic magnetic functions in converters and inverters including new soft commutation', *I.E.E.E. Trans.*, IGA-2 (No. 1), 58-65.
- Sato, N. (1967), 'Improvement of SCR chopper circuit', *Electrical Engineering in Japan*, 87 (2), 75-83.
- 'Morgan Chopper Circuit', *I.E.E.E. Communications and Electronics*, **80**, 152; (1961); **83**, 336, (1964); **83**, 198, (1964).
- Mapham N. W. and Hey, J. C. (1964), 'Jones chopper circuit', *I.E.E.E. Int. Conf. Rec.* p. 124.
- Heumann, K. (1964), 'Oscillation chopper circuit', *I.E.E.E. Communications and Electronics* **83**, 390.
- Turnbull, F. (1963), 'D-C to D-C 30 HP motor drive', *A.I.E.E.* **81** (1), 458-62.
- Heumann, K. (1964), 'Pulse control of d.c. and a.c. motors by SCRs', *I.E.E.E. Communications and Electronics*, **83**, 390-399.
- Engelhart, R. (1963), 'A study of the Morgan D-C to D-C stepdown circuit', *Proc. Intermag. Conf.* 11.5.1-8.
- McMurray, W. (1970), 'Analysis of thyristor d.c. chopper power converters including non-linear commutating reactors', *I.E.E.E. Transactions on Magnetics*, MAG-6 (1).
- Dewan, S. B. and Duff, D. L. 'Analysis of energy recovery transformer in d.c. choppers and inverters', *I.E.E.E. transactions on Magnetics*, MAG-6 (1).
- Maresca, T. J. (1970), 'Regulated DC-D-C converter', *I.E.E.E. Transactions on Magnetics*, MAG-6 (1).
- Ramshaw, R. S. and Padiyar, K. R. (1970), 'Digital simulation of a full wave single phase converter system', *Proc. I.E.E.*, **117** (11), 2151-2158.

- Sato, N. and Murase, K. (1969), 'A step-up and step-down d.c. voltage converter using thyristor time ratio control', *Electrical Engineering in Japan*, 89 (11).
- Kusko, A. (1971), *Solid-state d.c. motor drives*, M.I.T. Press, USA.

مسائل

۴-۱ . مدار شکل ۴-۲۹ ولتاژ جابه‌جاکننده‌ای بین دو سر خازن که مستقل از نیروی ضد محرکه الکتریکی موتور است مهیا می‌سازد . مدارهای جا به جایی را برای دو حالت زیر مورد بررسی قرار دهید . (الف) موقعی که تیریستور $TH2$ برای اولین بار راهاندازی می‌شود و خازن C به طور مثبت در محل علامت‌گذاری شده باردار شود . (ب) موقعی که تیریستور $TH1$ برای اولین بار راهاندازی شود .

حال (الف) : موقعی که تیریستور $TH2$ برای اولین بار راهاندازی می‌شود ، خازن C را به طور مثبت در محل علامت‌گذاری شده نارسیدن به ولتاژ حالت پایدار V باردار می‌کند سپس در لحظه $t = 0$ (شکل ۴-۴۵) حالت نهایی باردار شدن را برای جابه‌جایی تیریستور بار ارائه می‌کند . از مقاومت تخلیه R صرفنظر شده است .



شکل ۴-۴۵ باردار شدن نهایی مدار جابه‌جاکننده

روابط مدار را می‌توان با بررسی شکل ۴-۴۵ به صورت زیر نوشت :

$$R_T(i_1 + i_T) + L_T \frac{d(i_1 + i_T)}{dt} - v_c = 0 \quad (45-4)$$

$$R_T(i_1 + i_T) + L_T \frac{d(i_1 + i_T)}{dt} - v_c + v_{cT} = V \quad (46-4)$$

$$v_c = -\frac{1}{C} \int_{-\infty}^t (i_1 + i_T) dt \quad (47-4)$$

$$v_{cT} = -\frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i_1 dt. \quad (48-4)$$

شرایط اولیه عبارتند از :

۲۱۱

کنترل موتور جریان مستقیم

$$\left. \begin{array}{l} t = 0 \\ i_1 = i_{c1} = 0 \\ v_c = V_c \\ v_{c2} = V_{c2} \end{array} \right\} \quad (79-4)$$

تبدیل لاپلاس رابطه ولتاژ عبارت است از:

$$v_c(s) = \frac{V_c}{s} - \frac{V_c}{L_1 Cs(s^2 + 2\xi\omega s + \omega^2)} \quad (80-4)$$

$$v_{c2}(s) = \frac{V}{s}. \quad (81-4)$$

ولتاژ v_c همان است که قبلاً بود. لذا $(1)_c$ از رابطه (۳۲-۴) با جایگزینی v_c با v به دست می‌آید و مقدار نهایی ولتاژ نیز مثل رابطه (۳۵-۴) باز با جایگزینی v_c با v خواهد بود. خازن به علت وجود دیود $D2$ تا زمانی که تیریستور $TH2$ راه‌اندازی شود در این ولتاژ باقی می‌ماند. ولتاژ دو سر خازن C_2 در لحظه $t=0+$ به V صعود می‌کند که V_{c2} به توسط دوره مسدود مدار برشگر و ثابت زمانی تخلیم RC_2 تعیین می‌شود.

حالت (ب): موقعی که تیریستور $TH1$ برای اولین بار روشن می‌شود. دیود $D2$ هدایت نمی‌کند. مدار باردار شدن طبق شکل ۴-۴۶ است و بار اولیه روی خازن C صفر است. روابط در این حالت عبارتند از:

$$R_1 i + L_1 \frac{di}{dt} + v_c + v_{c2} = 0, \quad (82-4)$$

$$v_c = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt \quad (83-4)$$

$$v_{c2} = \frac{1}{C_2} \int_{-\infty}^t i dt. \quad (84-4)$$

شرایط اولیه عبارت است از:

$$\left. \begin{array}{l} t = 0 \\ i = 0 \\ v_c = 0 \\ v_{c2} = V_{c2} \end{array} \right\} \quad (85-4)$$

در نتیجه حل معادلات (۸۲-۴)، (۸۳-۴) و (۸۴-۴) عبارت است از:

$$i(t) = (V - V_{c2}) e^{-\xi\omega t} \frac{\sin \omega t \sqrt{1 - \xi^2}}{L_2 \omega \sqrt{1 - \xi^2}}, \quad (86-4)$$

الکترونیک قدرت

۲۱۲

$$v_c(t) = \frac{C_f(V - V_{cf})}{(C + C_f)} \left[1 - e^{-\xi \omega t} \frac{\cos(\omega t \sqrt{1 - \xi^2} - \phi)}{\sqrt{1 - \xi^2}} \right] \quad (87-4)$$

$$v_{cf}(t) = V_{cf} + \frac{C_f(V - V_{cf})}{(C + C_f)} \left[1 - e^{-\xi \omega t} \frac{\cos(\omega t \sqrt{1 - \xi^2} - \phi)}{\sqrt{1 - \xi^2}} \right] \quad (88-4)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{C + C_f}{CC_f L_f}},$$

$$\xi = \frac{R_f}{2} \sqrt{\frac{CC_f}{L_f(C + C_f)}} \quad (90-4)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\xi}{\sqrt{1 - \xi^2}}. \quad (91-4)$$

شکل ۴-۴۶ یک مدار تشدید است. خازنها باردار می‌شوند، جریان به حداکثر خود صعود می‌کند و در شرایط حدی معادلات دیفرانسیل، به صفر نزول می‌کند. خارج از این [حدود] به علت یک طرفه بودن مدار و در نتیجه غیرخطی بودن آن، آنها صدق نخواهند کرد. به هر حال در این شرایط حدی است که مقادیری از ولتاژ روی خازنها مورد نیاز است، [در این شرایط] از عمل مدار تشدید، نیم سیکل گذشته است به طوری که:

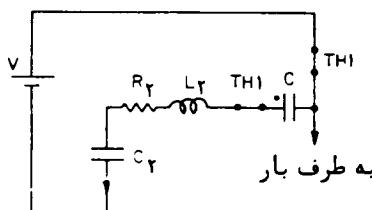
$$i(t) = 0, \quad (92-4)$$

موقعی که:

$$\omega \sqrt{1 - \xi^2} t = \pi \quad (93-4)$$

و ولتاژ معکوس دو سر $TH1$ در موقع جابه‌جاوی، از $(i_c)_c = 0$ به دست می‌آید و اگر:

$$\xi \ll 1, \quad (94-4)$$



شکل ۴-۴۶ باردار شدن مدار جابه‌جاوی

یعنی اینکه مدار زیر میرا است، سپس

$$v_c(t)_{i=0} = \frac{2C_f(V - V_{cf})}{(C + C_f)} \quad (95-4)$$

$$v_{cT}(t)_{i=0} = V_{cT} + \frac{2C(V - V_{cT})}{(C + C_T)} \quad (96-4)$$

چون v_c در حالت (الف) کمتر از v_c در حالت (ب) است، لذا مدت باردار شدن حالت دوم باستینی کوتاه‌تر باشد.

مقاومت R ، در طی دوره غیر هدایت تیریستور TH_1 خازن C_2 را تخلیه می‌کند تا v_c موقع روشن شدن TH_1 دارای مقدار کمتری باشد.

۴-۲-۴ . مقادیر اجزای مناسی را برای مدار قطع و وصل قدرت خودکار قسمت (۴-۴-۱) تعیین کنید . مدار حفاظت مناسبی برای تیریستورها اضافه کنید و مدار فرمانی که مایین خروجی مدار منطقی و دریچه‌های تیریستور قرار می‌گیرد طرح کنید .

فرض می‌شود که مقدار اسمی بار ۲ کیلووات و ولتاژ منبع تغذیه جریان مستقیم ۱۵۰ ولت باشد . نیمی از مدار قدرت متقاضی در شکل ۴-۴۷ نشان داده شده است، و مقادیر اجزای مدار به طریق زیر است :

| | |
|---------------------------------------|----------------------|
| تیریستورهای GECTAD ۳۵ آمپری ، ۴۰۰ ولت | T_1, T_2, T_3, T_4 |
| تیریستورهای ۲۰ آمپری ، ۴۰۰ ولتی | T_5, T_6 |
| ۲۰۰ میلی هانری | L |

| | |
|---------------|--------|
| ۴JA41D | D1 |
| IN55 | D2, D3 |
| ۲۸ میکروفاراد | C1 |
| ۳۳ پیکوفاراد | C2 |

موتور ماشین تعمیم یافته چهار قطبی مدل A1VA/5D (تیرکتور^۱ ، محافظ ولتاژ خیز)

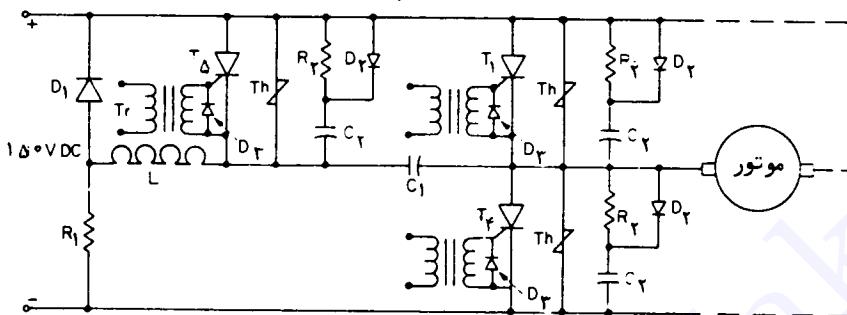
۱۵ کیلو اهم
R₁
۱۰ اهم
R₂

موتور ماشین تعمیم یافته چهار قطبی مدل A1VA/5D با تحریک جداگانه قسمتی از مدارهای کنترل (شکل ض-۲۳) قطع و وصل خود کنترل که با برحسب PS1 نوسازی معین شده است، پالس موج مربعی ۱۸ کیلو هرتزی با دامنه ۲/۲ ولت پیک تا پیک تولید می‌کند، از خازن ۲۲۰ پیکوفارادی برای به دست آوردن این فرکانس استفاده می‌شود . این علامت معکوس و تقویت می‌شود تا مدار محرك را برای تیریستورها تغذیه کند، طبق شکل

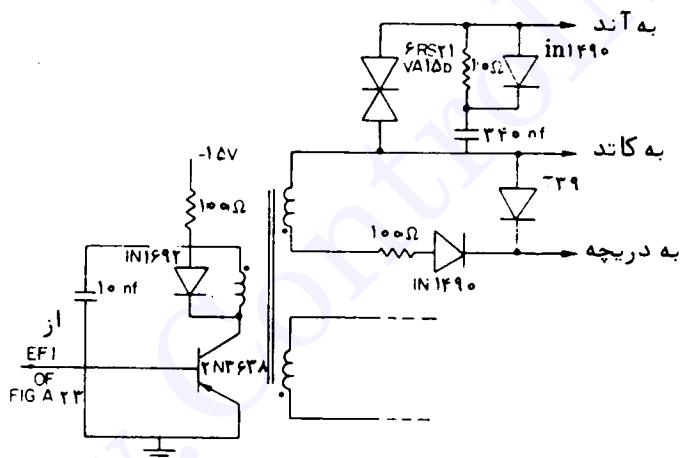
الکترونیک قدرت

۴۱۴

۴-۴۸ هر یک از این مدارهای محرک تنها دو تیریستور را تحریک می‌کند، ترانسفورماتور پالس دارای عسبت دوره‌های $\frac{۲۵۰۰}{۱۰۰۰}$ است، حفاظت تیریستورها نیز در شکل نشان داده شده است.

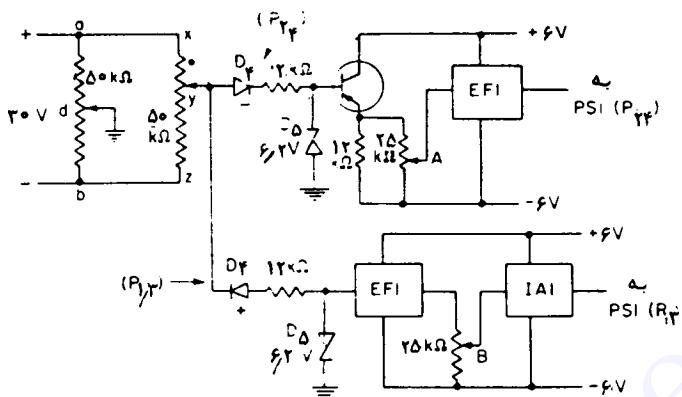


شکل ۴-۴۷ مدار قدرت

شکل ۴-۴۸ مدار محرک و متوقف ساز^۱

۴-۳. قطع و وصل خود کنترل در قسمت (۴-۴-۱) و ضمیمه (پ) به طور مفصل بررسی شده است، جزئیات مدارهای آشکارساز مورد توجه قرار گرفته است، مدارهای آشکارساز مناسی طرح کنید.

شش متغیر $C, T_{12}, T_{22}, P_{13}, P_{24}, T_{56}$ وجود دارند که حالتهای آنها برای کار رضایت‌بخش مدار بایستی تعیین شوند.



شکل ۴ - ۴۹ آشکارسازی خطای وضعیتی

۶ آشکارساز خطای وضعیتی (P_{11} ، P_{12}): یک پل دوپتانسیومتری یک دور ۵۰ کیلواهرمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از پتانسیومترها ورودی مبدأ و دیگری، که به محور موتور بسته شده است، معرف وضعیت خروجی است. مدار کامل آشکارساز وضعیتی شامل اصلاحات لازم برای تطبیق علامتش به مدارات کنترل، در شکل ۴ - ۴۹ نشان داده شده است. چون پتانسیومترها مساویند

$$\frac{ad}{db} = \frac{xz}{zy}$$

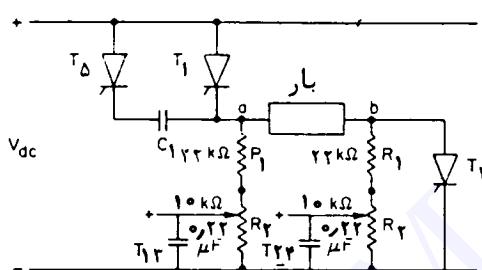
و ولتاژ خطای بین d و z وجود خواهد داشت. ولتاژ خطای بین زمین شدن محور مبدأ می‌تواند، مثبت یا منفی باشد. دو دیود D_4 و D_5 در تراز ولتاژ را از هم مجرزا می‌کند. به منظور محافظت مدارات کنترل، دیودهای زنره D_6 برای نگهداری ولتاژ در مقدار بیشینه $6/2$ ولات اتصال یافته‌اند و مقاومت ۱۲ کیلواهرمی برای محدود کردن جریان است.

به منظور تنظیم پتانسیومتر ۲۵ کیلواهرمی برای P_{12} (یا P_{11})، بایستی خروجی مدار پل را در صفر یا ولتاژ منفی تنظیم کرد. حال پتانسیومتر ۲۵ کیلواهرمی طوری تنظیم می‌شود که خروجی نوسان‌ساز پالس (طبق شکل ض - ۲۳) روی صفر ولت کلید شود.

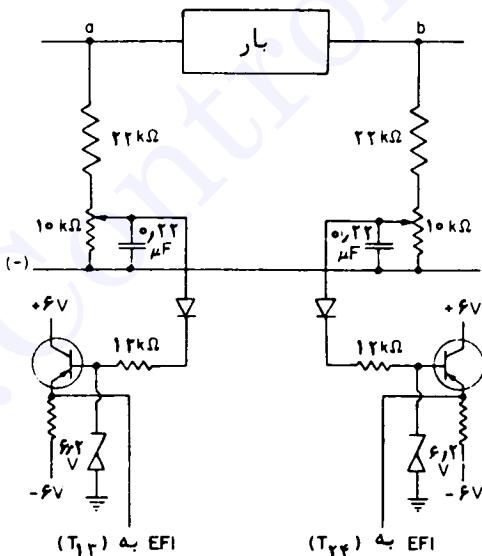
۷ آشکارسازی قطع - وصل تیریستوری (T_{11} ، T_{12} ، T_{21} ، T_{22}): در شکل ۴ - ۵۰ اگر تیریستورهای TH_1 و TH_2 روش TH_2 و TH_4 خاموش باشند، ولتاژ در نقطه 'a' به مقادار V ولت و نقطه 'b' تقريباً در ولتاژ زمین خواهد بود. بنابراین علامت خروجی برای T_{11} وصل و T_{21} قطع وجود خواهد داشت.

در طول جابه‌جایی، موقعی که TH_5 و TH_6 روش هستند ولتاژ در 'a' و 'b' ولت است و بنابراین علامتی برای T_{12} و T_{22} که وصل هستند وجود خواهد داشت. چون ولتاژ مثبت

است علامت نمی‌تواند مستقیماً به قسمت منطقی مدار اعمال شود، زیرا آن در صفر نا-ولت کار می‌کند. این علامت توسط مدار ترانزیستوری شکل ۴-۵۱ معکوس می‌شود. مقادیر مقاومتهای R_1 و R_2 به ترتیب ۲۲ و ۱۰ کیلو اهم هستند. مقاومت به طریق زیر تنظیم می‌شود. بایستی ولتاژ مثبت خطررا به نقطه 'a' اعمال کرد، و سپس مقاومت R_2 را تنظیم کرد به طوری که خروجی پالس ساز (طبق شکل پنجم - ۲۳) درست در ۶-ولت کلید شود. خازن ۲۲/۰ میکروفاراد برای صاف کردن اغتشاشات اضافه شده است.



شکل ۴-۵۰ آشکارساز قطع - وصل تیریستوری

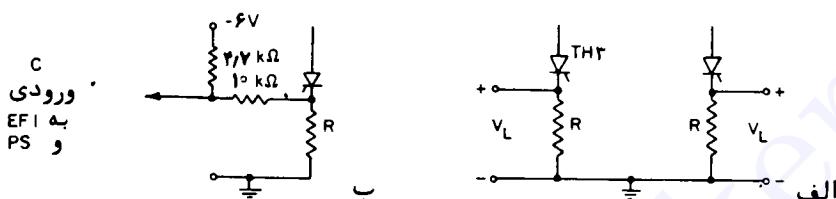


شکل ۴-۵۱ رابطه بین مدارهای منطقی و آشکارسازی

آشکارسازی جریان بار: مقاومت R در شکل ۴-۵۲ مقدار لحظه‌ای جریان بار را اندازه‌گیری خواهد کرد. اگر جریان از مقدار مجاز بیشینه خود تجاوز کند ولتاژ L به اندازه

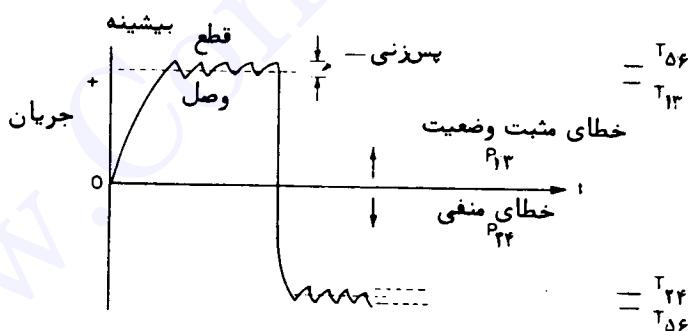
۲۱۲

کافی بالاخواهد بود تا علامتی به مدارات کنترل وارد کند . برای نیازهای خیلی دقیق مقاومتهای $4/2$ و 10 کیلواهرمی باستی توسط یک پتانسیومتر جایگزین شوند . به این ترتیب ، علامت ورودی به امیتر فالور^۱ بین $4/0.8$ و $2/14$ - ولت و بین صفر و جریان بیشینه تغییر خواهد کرد . مقدار مقاومت R دلخواه است لیکن برای حداقل تلفات انتخاب می شود .



شکل ۴-۵۲ آشکارکننده جریان بار
(الف) آرایش عمومی (ب) اتصال مدار به کنترل منطقی

در این روش جریان هرگز از مقدار بیشینه خود تجاوز نمی کند و القای مدار و پس زنی^۲ مطمئنی را ممکن می سازد ، جریان برای سیستم قطع و وصل طبق شکل ۴-۵۳ خواهد بود . برای چنین سیستم کنترل شده ای نیازی به راه انداز نخواهد بود . مقدار سلف مدار به قدر کافی هست تا مدارهای کلید زنی را ، به منظور جلوگیری از اخذ جریانهای خطرناک به موقع به عمل وادارد . برای موتوری با کارکرد وضعیتی ثابت^۳ ، جریان بیشینه می تواند بیشتر از جریان بار کامل باشد .



شکل ۴-۵۳ جریان ثابت برای سیستم قطع و وصل

برای به حداقل رساندن تلفات می توان از مقایسه کننده دیفرانسیلی استفاده کرد . این

1- Emitter follower

2- Certain backlash

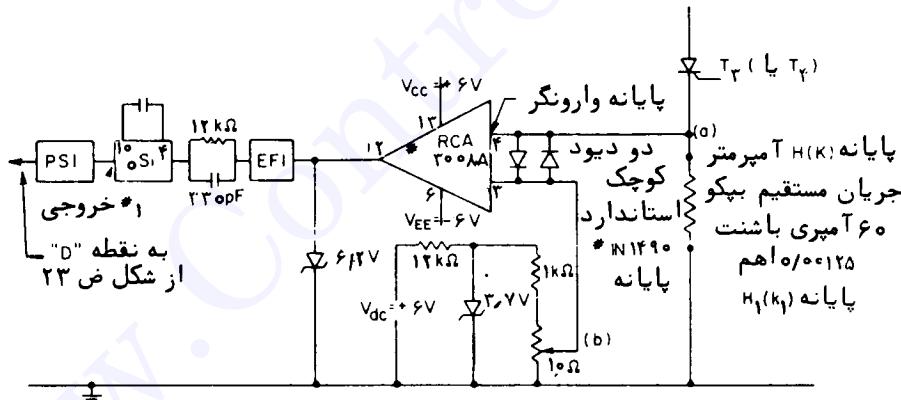
3- Intermittent

الکترونیک قدرت

سیستم ولتاژه، و 'b' شکل ۴-۵۴ را با هم مقایسه می‌کند. اگر 'ه' مثبت تراز 'ه' باشد مقایسه کننده خروجی ای که سبب ایجاد پالسی در چند ضربانی تک ضربهای^۱ (OS1) می‌شود تولید می‌کند. استمرار این پالس برای روشن کردن TH5 و TH6 به حد کافی طویل خواهد بود. واحد EF_1 در مقابل واحد OS1 از اضافه بار مقایسه کننده دیفرانسیلی جلوگیری می‌کند. پالس ساز واحد (PS1) به دنبال واحد OS1 علامت را تغییر شکل می‌دهد و آن را در خروجی به تراز جریان مستقیم (یا ۶-ولت) استاندارد برمی‌گرداند.

۴-۴. خود کنترل خطای ساده برای کنترل وضعیت که در قسمت (۴-۱) تشریح شد به آرامی میرا می‌شود. بنابراین این سیستم دارای پاسخ ضعیفی است. روش‌هایی که از طریق آنها زمان رسیدن به وضعیت مورد لزوم را می‌توان بهینه ساخت بررسی کنید. بهبودسازی را توسط شبیه‌سازی آنالوگ (قیاسی) نشان دهید.

بهینه سازی^۲: به طور تجربی و نظری ثابت نده است که سیستم قطع و وصل با کلیدزنی گستاوری و با علامت خطای وضعیتی، سیستم نوسانی و به آرامی میرا شونده‌ای را نتیجه می‌-



شکل ۴-۵۴ آشکارساز جریان با استفاده از مقایسه کننده دیفرانسیلی

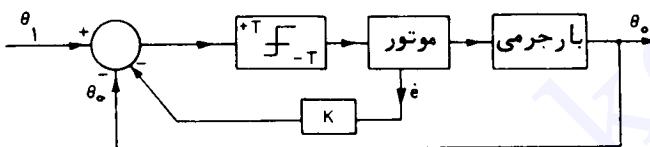
دهد. روش‌های متعددی برای بهبود این سیستم وجود دارد. بعضی از این روش‌ها در اینجا معرفی می‌شوند:

۲۱۹

پسخور سرعت : اگر پسخور سرعت به سیستم شکل ۴-۴۳ ۵۵-۴ طبق شکل ۴-۴ اضافه شود، کلیدزنی تیریستورها و همچنین گشتاور موتور اکنون به علامت $(e + K\dot{e})$ ، که در آن $\dot{e} = \theta$ است، بستگی خواهد داشت، منظور از علامت همان (+ یا -) تابع است و K بهره (ضریب تقویت) پسخور است . تابع

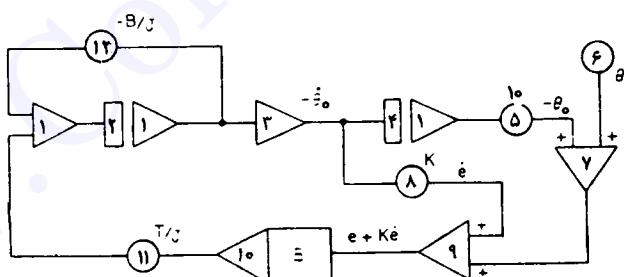
$$e = -\frac{1}{K} \dot{e}$$

خط راستی با شیب $K/1$ - در صفحه فاز است .



شکل ۴-۵۵ سیستم خود کنترل وضعیتی با پسخور سرعت

این سیستم رامی توان دوباره با برنامه پاکتولوس^۱ با مقادیر مورداستفاده قبلی شبیه سازی کرد . نمودار بندالی سیستم در شکل ۴-۵۶ و نتایج به دست آمده در شکل ۴-۵۷ نشان داده شده اند .. از این نتایج مستفاد می شود که کار سیستم به بهره پسخور برای گشتاور معین و ورودی بستگی خواهد داشت . اگر K کوچک باشد سیستم هنوز نوسانی خواهد بود . اگر $K=995$ باشد کار سیستم نزدیک به بهین است . اگر K بزرگ باشد خروجی توسط تکاپوی مددوی در حدود خط کلیدزنی به صفر خواهد پیوست .



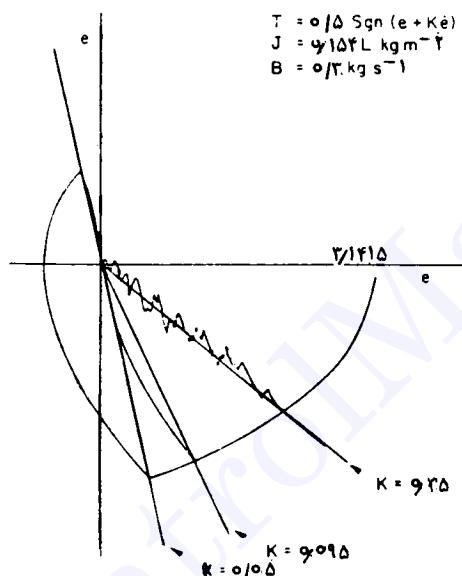
شکل ۴-۵۶ نمودار بندالی برای شبیه سازی خطای میزان کلید زنی خطای از شکل ۴-۵۵

مدار تصحیح فاز^۲ : اگر یک مدار تصحیح فازی به سیستم آزمایشی، طبق شکل ۴-۵۸ اضافه شود گشتاور خروجی به علامت بستگی خواهد داشت .

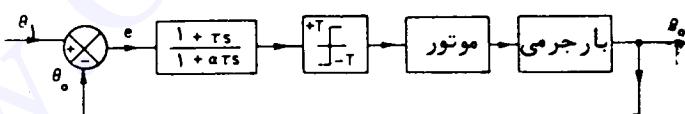
الکترونیک قدرت

۲۲۰

که در آن :

 τ = ثابت زمانی، میراکنندگی تصحیح فاز α = مقدار ثابت و ($\alpha > 0$) s = عملگر لاپلاس

شکل ۴ - ۵۷ کلیدزنی خود کنترل وضعیتی روی علامت خطأ و میزان خطأ



شکل ۴ - ۵۸ خود کنترل وضعیتی با مدار تصحیح فاز

اگر تبدیل لاپلاس مدار تصحیح فاز به صورت سریهای توان گسترش یابد، با صرف نظر کردن از قسمتهای r یا بیشتر، یک معادله دیفرانسیلی غیرخطی به دست می‌آید. به هر حال، اگر فرض شود که α در حالت ایده‌آل به صفر میل کند، معیار کلیدزنی به صورت زیر ساده می‌شود.

$$T = \text{Sgn}[(e + \tau s)] T_{\max}$$

کنترل موتور جریان مستقیم

یعنی

$$T = Sgn [e + r\dot{e}] T_{max}.$$

تابع

$$\dot{e} = \frac{-1}{\tau} e$$

خط مستقیمی در صفحه فاز، با شیب $-1/\tau$ ، خواهد بود. بنابراین کارکرد سیستم شاخص زیادی با پسخور سرعت خواهد داشت.

این یکی از ساده‌ترین روش‌های انجام کلیدزنی بهین یا شبه بهین است. میلز^۱ (۳) نشان داده است که با دانستن مشخصه‌های موتور خودکنترل (سرموتور) مدار تصحیح فاز را ممکن است طوری ترکیب کرد که کلیدزنی در حدود یک درصد زمان کلیدزنی بهینه شود.

کلیدزنی بهین: برای داشتن سیستم بهین لازم است که خطاب و میزان خطابه طور همزمان به صفر برسند. در معادله (۶۱) نشان داده شده است که مسیرهای موتور خودکنترل (سرموتور) در صفحه فاز، غیرخطی هستند. اگر، به هر حال، مسیرهای عبوری از طریق مدا، به عنوان خط کلیدزنی مورد استفاده قرار گیرند؛ یعنی

$$T = |T| \left[Sgn \left(\dot{e} \pm \frac{T}{B} \right) \cap \left(1 + \frac{B}{T} \dot{e} \right) - \frac{B}{J} e \right]$$

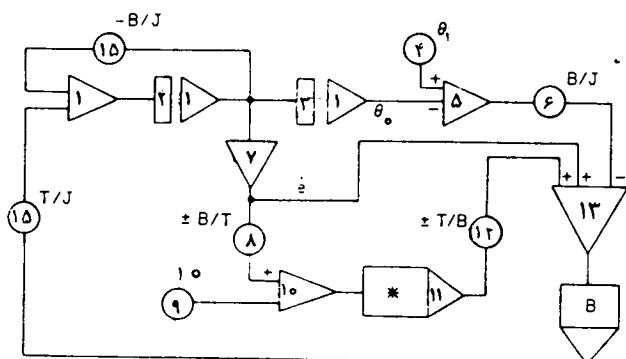
پس سیستم به طور بهین کار خواهد کرد. خطای صفر و میزان خطاب با تنها یک کلیدزنی و در حداقل زمان خواهد رسید. سیستم آزمایشی دوباره با شبیه‌ساز آنالوگ-دیجیتال (قیاسی-رقمی) شبیه سازی می‌شود و نمودار بندالی آن در شکل ۴-۵۹ و نتایج آن در شکل ۴-۵۰ مشاهده می‌شوند.

بهینه سازی عملی توسط مدار تصحیح فاز تنها به یک تغییر در مدار کنترل نیاز دارد و آن ارائه مدار طبق شکل ۴-۶۱ است.

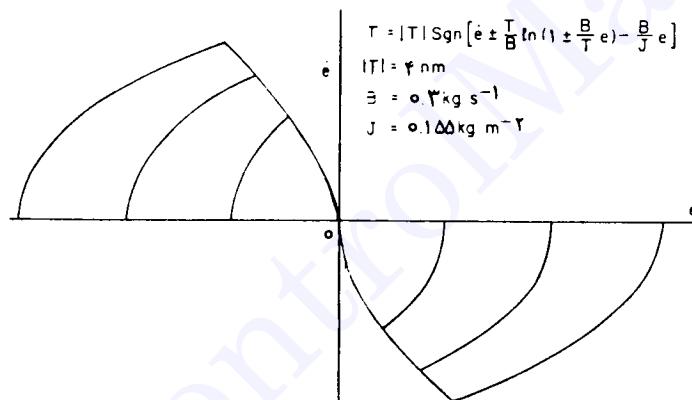
۴-۵ واگردان تک فاز تمام موج شکل ۴-۱۵ را به منظور تعیین جریان بارگذارا برای تغییر پله‌ای زاویه آتش α ، برای دو حالتی از (۱) که از مقاومت ظاهری منبع تغذیه بتوان صرفنظر کرد تحلیل کنید.

$$i(t_n) = \frac{E_m}{z} [\sin(\phi - \alpha) e^{-(R/L)t_n} + \sin(\omega t_n - \alpha + \alpha)] + e^{-(R/L)t_n} I_{n-1}$$

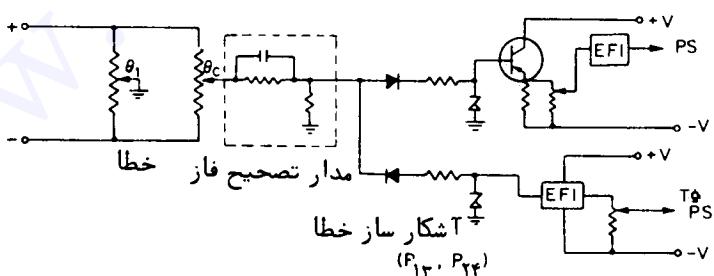
که در آن:



شکل ۴-۵۹ نمودار بندالی برای شبیه‌سازی کلیدزنی بهین



شکل ۴-۶۰ نتایج شبیه‌سازی آنالوگ (قیاسی) کلیدزنی بهین



شکل ۴-۶۱ آشکارکننده خط با افزودن مدار تصویح فازی که به صورت پیش‌بینی کننده کلیدزنی عمل می‌کند.

کنترل موتور جریان مستقیم

$i_t =$ مقدار لحظه‌ای جریان طی دوره (تناوب) $(n - 1)T_L \leq t \leq nT_L$

$t_n - nT_L = t_n$ زمان متغیری در طی " ام دوره (تناوب) شکل موج ولتاژ یکسو شده

$\frac{1}{2} f = T_L$ دوره (تناوب) شکل موج ولتاژ یکسو شده

$z =$ امپدانس بار

$E_m =$ حداکثر مقدار ولتاژ سینوسی اعمال شده به تریاک ۱ یا ۲

$\phi =$ زاویه فاز امپدانس

$\alpha =$ زاویه آتش تریاکها

$R =$ مقاومت بار

$L =$ سلف بار

$\omega =$ فرکانس زاویه‌ای ولتاژ سینوسی اعمال شده و

$I_h =$ جریان بار در شروع " امین دوره (تناوب) شکل موج ولتاژ یکسو شده

۴- یک موتور جریان مستقیم سری توسط مدار برشگر تیریستوری که از منبع تغذیه همه عولتی جریان مستقیمی تغذیه می‌کند، کنترل می‌شود. فرکانس برشگر را برای محدود کردن دامنه تغییرات جریان آرمیجر در ۲۰۰ میکرو (اختلاف بین مقادیر کمینه و بیشینه) موقعی که نسبت زمان روشن به تناوب پالس تیریستور بار ۱/۵ هانزی و مقاومت آن قابل اعماض است.

جواب: مقدار متوسط ولتاژ موتور به ولتاژ تغذیه عبارت است از:

تناوب پالس T و زمان پالس t_{on} $\frac{V_m}{V} = \frac{t_{on}}{T}$ که در آن $0/5$ میکرو

بنابراین: $V_m = ۰/۵ \times ۶۰۰ = ۳۰۰$ ولتاژ متوسط و ولتاژ قله پالس همراه با ایجاد فلو است. یعنی

$$V_L = L \frac{di}{dt} = L \frac{\Delta i_a}{\Delta t}$$

چون صعود و نزول جریان خطی است.

$$V_L = V_m - V_m = ۶۰۰ - ۳۰۰ = ۳۰۰$$

$$\Delta L_a = ۲۰ A \quad \Delta t = t_{on}$$

$$t_{on} = \Delta t = \frac{۰/۱ \times ۲۰}{۳۰۰} = ۶/۶۷ ms$$

$$\frac{t_{on}}{T} = ۰/۵$$

درنتیجه:

$$\text{پالس در ثانیه} = \frac{۱}{T} = \frac{۰/۵}{t_{on}} = ۷۵ = \text{فرکانس پالس}$$

۲۲۴

الکترونیک قدرت

۴-۲۶ مدار برشگر نوسانی شکل ۴-۲۶ را در نظر بگیرید فرض کنید بار یک موتور جریان مستقیم به مقاومت آرمیچر قابل اغماض باشد . نسبت زمان پالس به تناوبش ، موقعی که فرکانس کلیدزنی آن ۲۰۰ هرتز است ، چیست ؟ سلف آرمیچر ۱۵ میلی هانری ، جریان عبوری ۱۰ آمپر و ولتاژ تغذیه جریان مستقیم ۲۰۰ ولت است .

جواب : ۰/۹ یا ۰/۱

۴-۸ منبع جریان متناوب $I = 100 \sin 377t$ با یک مقاومت ۱۵ اهمی ، یک تیریستور و یک باطری ۵۰ ولتی ، که آندش به کاتد تیریستور متصل است ، به طور سری وصل شده است . مقدار متوسط جریان را در مدار اگر تیریستور توسط یک علامت جریان مستقیم پیوسته‌ای آتش شود ، محاسبه کنید .

جواب : ۱/۰۹۵ آمپر

موقعی که زاویه‌های آتش تیریستور $\alpha = ۰$ درجه باشد ، تناوب دنده خلاصی $\frac{\pi}{۳}$ رادیان خواهد بود . افت سرعت بین تناوبهای هدایت را پیدا کنید .

جواب : ۳/۴ دور در دقیقه

۴-۹ یکسو کننده کنترل شده نیم موج تک فازی از منبع تغذیه ۱۱۰ ولتی ۶ هرتزی تغذیه می شود و ولتاژ متغیری به موتور جریان مستقیمی اعمال می کند . تیریستور مدار یکسو کننده کنترل شده توسط علامت جریان مستقیمی آتش می شود . مقاومت مدار آرمیچر ۱۵ اهم و به علت تحریک ثابت موتور واينرسی زیاد ، سرعت موتور ثابت فرض می شود ، تا اینکه نیروی ضد محركه موتور برابر با $۵۵/۵$ ولت شود .

در صورتی که از سلف آرمیچر صرف نظر شود ، مقدار متوسط جریان آرمیچر را حساب کنید .

جواب : ۲/۴۹ آمپر

۴-۱۰ مداری شبیه مسئله ۴-۹ را در نظر بگیرید . موتور جریان مستقیم به ۱ تغییر یافته است که در آن مقاومت آرمیچر قابل اغماض است ولی سلف نقشی اساسی دارد . مشخصات موتور تحریک مستقل طوری است که در بار کامل گشتاوری معادل $۳۱/۴۲$ نیوتن متر و سرعتی معادل ۶۰۰ دور در دقیقه با ممان اینرسی $۰/۰۵$ کیلوگرم متر مربع دارد .

موقعی که زاویه آتش تیریستوره $= \alpha$ است ، کاهش سرعت بین تناوبهای هدایت را در صورتی که تناوب دنده خلاص در حدود $\frac{\pi}{۳}$ رادیان باشد ، پیدا کنید .

راهنمایی : عملیات را در حالت کار پایدار فرض کنید . هدایت بلا فاصله پس از اینکه ولتاژ اعمال شده از نیروی ضد محركه بیشتر شود شروع می شود . در مدت زمان هدایت انرژی الکتریکی جهت تولید گشتاور الکترومغناطیسی دارد آرمیچر می شود . افزایش شتاب سبب افزایش سرعت می شود .

با صفر شدن پیوند شار خالص هدایت خاتمه می یابد و انرژی ذخیره شده در سلف به مدار

۲۲۵

کنترل موتور جریان مستقیم

بر می‌گردد . بدینال آن مدت زمان دنده خلاص موتور فرا می‌رسد ، یعنی موقعی که بار انرژی را از انرژی جنبشی موتور می‌کشد سرعت افت می‌کند . در حالت پایدار انزواش سرعت برابر با کاهش سرعت است . در نتیجه برای تعیین سرعت ساده‌تر است که یک مدت زمان دنده خلاص فرض شود ، زیرا هیچ متغیر الکتریکی دیگری وجود ندارد . بنابراین مسئله را می‌توان به صورت زیر عمل کرد :

(الف) برای مدت زمان دنده خلاص معادله دینامیکی حرکت را حل کنید .

(ب) ثابت زمانی مکانیکی را تعیین کنید .

(پ) دوره تناوب منبع تغذیه را تعیین کنید .

(ت) نتایج (ب) را با (پ) مقایسه کنید ، و در نتیجه معادله برای سرعت به دست آمده در (الف) را خطی کنید .

(ث) با جایگزینی اعداد تغییر سرعت را پیدا کنید .

جواب: ۵۰ دور در دقیقه

۴ - ۱۱ . مدار مشابه شکل ۴-۱۵ با اطلاعات اضافی ، مقاومت آرمیچر ۲ اهم ، گشتاور بار خالص ۶/۰ برابر مقدار بار کامل برای زاویه آتش تیریستور $\alpha = ۹۰$ درجه مفروض است . مشاهده شده است که در این شرایط دوره تناوب دنده خلاص ۲۴۰ درجه است و ثابت آرمیچر $۳/۱۴۲$ ولت بر رادیان بر ثانیه می‌باشد .

سرعت متوسط موتور و تنظیم سرعت را به صورت درصدی از سرعت متوسط پیدا کنید .

جواب: ۱۰۲ دور در دقیقه ، %۱۱/۱

۴ - ۱۲ . پل تیریستوری تمام موج تک فازی سرعت موتور جریان مستقیم تحریک ثابت و مستقلی را کنترل می‌کند . پل توسط منبع ۱۲۰ ولتی ۶ هرتزی تغذیه می‌شود . سرعت نرمال موتوره ۶۰۰ دور در دقیقه در گشتاور بار کامل $۳۱/۴۲$ نیوتن متر است . یک بار مکانیکی اضافی که جرمش ۱۵/۰ کیلوگرم مترمربع است در سرعت نرمال به گشتاور بار کامل موتور اضافه می‌شود . جرم موتور ۵۵/۰ کیلوگرم مترمربع است .

موقعی که تیریستور در زاویه ۸۵ درجه آتش می‌شود دوره تناوب دنده خلاص ۹۰ درجه خواهد بود . افت سرعت بین دوره تناوبهای هدایت را پیدا کنید .

جواب: ۶/۳ دور در دقیقه .

۴ - ۱۳ . پل سه فاز تیریستوری نیم موجی شامل سه تیریستور تغذیه شده از منبع ۲۲۷ ولتی فازی ۶ هرتزی مفروض است . این پل ولتاژ جریان مستقیم قابل تنظیمی برای موتور جریان مستقیم تحریک مستقلی تهیه می‌کند ، مشخصات موتور عبارت اند از

در بار کامل $A = ۵۰۰$ و $R_a = ۰/۰۲$ و $L_a = ۰/۰۰۱$ و $E_a = ۱/۲$ و $H_a = ۰/۰۰۱$.

الکترونیکقدرت

۲۲۶

زاویه آتش α را طوری حساب کنید که موتور در حریان بار کامل و سرعت نرمال ۲۰۰ رادیان بر ثانیه ω_m (کار کند).

هدایت را پیوسته فرض و از افت ولتاژ مستقیم تیریستور صرفنظر کنید.

جواب: $\alpha = 40^\circ$ درجه که در آن $\theta = 30^\circ$ مطابق با $\omega = \omega_1$ درجه است.

فصل پنجم

کنترل موتور سنکرون

۵ - ۱ مقدمه

موتور سنکرون در مواقعي که احتياج به محرك سرعت ثابت دقيق باشد ، مخصوصا " جاهابي " که تعدادي ماشين بايستي به طور همزمان کار كنند مورد استفاده قرار مي گيرد . يك مثال نمونه برای کاربرد موتور سنکرون و مواقعي که چندين محرك بايستي به طور همزمان کار كنند کارخانجات نساجي است . معايبی از قبيل نياز به تحريك دوگانه (سيم پيچي آرميچر جريان متناوب و سيم - پيچي ميدان تحريك جريان مستقيم) و نداشت مشخصات ذاتي خود را فانداز ¹ از عمومي شدن کاربرد اين موتور مثل موتور القايي جلوگيري مي کند .

سرعت دوراني اين موتور همان سرعت سنکرونی است که از رابطه زير به دست مي آيد :

$$n = \frac{f}{p} \quad \text{دور در ثانية} \quad (1-5)$$

که در آن :

f = سرعت گردانه برحسب دور در ثانية

p = فرکانس منبع تغذيه برحسب هرتز

n = تعداد زوج قطبها

منبع تغذيه ثابت به اين معنى است که تغييرات سرعت موتور سنکرون با تغيير تعداد قطبها به طور پلامای وقوع خواهد يافت ، الکترونيک قدرت تغييرات سرعت پيوستهای را به مشخصات موتور اضافه مي کند . مدارهای وارونگر نيمههادی در رابطه با کنترل سرعت موتورهای القايي مورد بررسی قرار گرفته اند . [در اينجا سؤالی مطرح مي شود که] مزيت موتور سنکرون

الکترونیکقدرت

در مقابل موتور القابی که از نظر ساخت ارزانتر است چیست؟ [در جواب باید گفت] گرچه سرعت موتور القابی احتیاج به تغییرخیلی زیادی ندارد ، ولی برای داشتن سرعت ثابت دقیقی ، در این موتورها ، احتیاج به سیستم کنترل پسخوردار است . از همه مهمتر نیاز به کاربرد تعداد زیادی محرک با سرعت‌های ثابت و دقیق است که در ارتباط درونی^۱ با هم ، مثل محرکهای کارخانجات نساجی ، کار می‌کنند . بعلاوه ممکن است سیستمی چندباری^۲ وجود داشته باشد که به تغییر سرعت قابل تنظیم ، به طور دقیق و سنکرون نیاز داشته باشد . به این ترتیب موتورهای حلقوی باز چند همزمانی^۳ (سنکرون) محرکها را ، و وارونگر فرکانس متغیر منبع تغذیه را مهیا می‌سازند .

موتور سنکرون عموماً " ماشینی است که شامل دو سیم پیچ است . یکی از سیم پیچها به منظور تبدیل انرژی از جریان چند فازه متناوب تغذیه می‌شود و سیم پیچ دومی ، به خاطر تهیه میدان مغناطیسی اصلی از منبع جریان مستقیم تغذیه می‌شود . در تقسیم‌بندی ماشینهای سنکرون همچنین می‌توان از ماشینهایی که به جای سیم پیچی تحریک از تحریک مغناطیسی دائم استفاده می‌کنند نام برد . ماشین سنکرون دیگری موتور رلوکتانس^۴ (موتور با مقاومت مغناطیسی متغیر) است که آرایش قطب برجستهای^۵ دارد و قادر سیم پیچی میدان تحریک است و باز یکی دیگر از این ماشینها موتور القابی سنکرون است ، که یک موتور القابی با گردانه سیم پیچی شده است و اتصالات آن روی حلقهای لفزان است . در نتیجه جریان مستقیم را می‌توان توسط آنها به داخل گردانه تزریق کرد تا گشتاور الکترومغناطیسی در سرعت سنکرون ایجاد کند . موتور هیسترزیس^۶ (موتور پسماند) نیز موقعی که با سرعت سنکرون می‌چرخد یک ماشین سنکرون با مغناطیس دائم است و در سرعت‌های دیگریه انرژی هیسترزیس متکی است تا یک گشتاور محرکی فراهم شود ، بنابراین تنها برای موارد استعمال قدرت‌های خیلی کم قابل استفاده است (۱) . آخرین مثال از موتور سنکرون ماشین معکوس شده جریان مستقیم است که در آن آرمیجر موتور جریان مستقیم در ایستانه ، و میدان تحریک در گردانه قرار می‌گیرد و به استثنای یکمورد ، شبیه موتور سنکرون عمل می‌کند . جایه‌جا کننده یا تغییر دهنده فرکانس که اکنون بهتر است آن را وارونگر بنامیم ، دارای فرکانس قابل کنترل توسط سرعت گردانه و وضعیت [محلی آن] است . بنابراین نظیر یک ماشین سنکرون معمولی [افزایش بیش از حد بار] سبب ترمز^۷ (در ایستاندن) ماشین [که منجر به سکون شود] نخواهد شد ، ولی باز بدون کنترل پسخورر امکان دسترسی به

1- Inter linked

2- Multiload

3- Mulli - synchroous

4- Reluctance

5- Salient pole

6- Hysteresis

7- Stalling

کنترل موتور سینکرون
سرعت دقیق وجود نخواهد داشت.

۵ - ۳ راه اندازی موتور سینکرون

در فرکانس اسمی منبع تغذیه و در حالت سکون مقدار متوسط گشتاور محرك در موتور سینکرون صفر است. روتور موتور با دامنه خیلی خیلی کمی، در فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز، ممکن است ارتعاش کند ولی گشتاور لختی ماشین بزرگتر از آن است تا پاسخ موتور موجب گردش گردد. برای راماندازی موتور بایستی فرکانس را به قدر کافی کم کرد تا اینکه تغییرات جریان و میدان هماهنگ^۱ باشند. یعنی این که همزمانی اباق شده باشد. در غیر این صورت بایستی از روش‌های راماندازی کمکی استفاده شود. اولین و ساده‌ترین روش، افزودن موتور القایی کوچک دیگری به محور بار است. اکنون توسط این موتور می‌توان ماشین سینکرون را تا نزدیکی سرعت سینکرون به گردش درآورد، موتور سینکرون بایستی به منبع تغذیه اتصال داشته باشد تا بلافارسله آن را به سرعت سینکرون برساند. سپس موتور القایی را می‌توان قطع کرد.

روشهای خیلی بهتر عبارتند از اجازه دادن به ماشین سینکرون تا به صورت موتور القایی راماندازی شود و به صورت موتور سینکرون کار کند، و یا داشتن موتور القایی برای راماندازی و بازبست آن به صورت موتور القایی سینکرون درحال کار.

۵ - ۴ وارونگر برای راه اندازی موتور سینکرون

وارونگری که فرکانس خروجی آن قابل تنظیم باشد می‌تواند برای راماندازی موتور سینکرون مناسب باشد.

اگر فرکانس منبع تغذیه به حد کافی کم باشد موتور می‌تواند در نصف سیکل دوران کند در حالی که جریان نیز با آن در توافق است. همچنین گشتاور یک جهت خواهد بود. به محسن اینکه در فرکانس کم موتور به داخل سرعت همزمانی کشیده شد، فرکانس منبع تغذیه را می‌توان به تدریج افزایش داد تا سرعت موتور نیز افزایش یابد.

کاربرد وارونگر به جای سیم پیچی القایی به منظور راماندازی موتور، اقتصادی نیست ولی جایی که تغییر دهنده فرکانس برای کنترل سرعت به کار رود، این روش امکان پذیر و اقتصادی است.

۵ - ۵ کنترل سرعت

سرعتهای دقیق را از موتور سینکرون می‌توان به دست آورد و این سرعتها طبق رابطه (۵-۱)

الکترونیکقدرت

حاصل می شوند . تغییر تعداد قطبها ، تغییر فرکانس ، و تغییر مکانیکی جعبه دنده تنها روش های تنظیم سرعت در این موتورها هستند . تغییر سرعت توسط وارونگرها با استفاده از الکترونیک قدرت در طی فصل سوم کنترل سرعت موتورهای القابی بحث شده است . وارونگرهای مشابهی می توانند موتور سنکرون را نیز تحریک کنند و در اینجا احتیاجی به حلقه پسخور برای تصویح خطای خواهد داشت .

مثال ویژه ای از کاربرد کنترل سرعت روی موتور سنکرون در اینجا داده و دو راه حل نیز پیشنهاد شده است که یکی ساده ، و دیگری پیچیده است . هر دو روش رامی توان به صورت وارونگر طبقه بندی کرد و با خواندن اینجا است که مقایسه ای بین آنها به عمل آورد . مثال اول از منبع تغذیه جریان مستقیم استفاده می کند و ماشین سنکرون به صورت موتور پلمای کار خواهد کرد و مثال دوم به زاویه آتش متغیر و منبع تغذیه جریان متناوب فرکانس ثابتی متنکی است تا از یک واحد تیزیستوری ، جریان متناوب فرکانس پایینی بگیرد . این واحد جریان متناوب به جریان متناوب a.c. to a.c. را که به منبع جریان مستقیم واسطه احتیاجی ندارد واگردان ^۱ سیکلی می نامند .

۵-۳-۱ مشکلات کنترل سرعت (آهسته چرخاندن ^۲ مولد برق توربینی ^۳)

در نیروگاهها موقعی که مولد برق توربینی را از بار خارج می کنند معمولاً می گذارند برای مدتی دستگاه ماشین به طور بی بار و به آهستگی دوران کند تا از شکاف یا تغییر شکل ^۴ جلوگیری شود . ترک برداشتن اصطلاحی است که برای توصیف واپیچش گردانهای توربین به هنگام خنک شدن آنها ، به کار می رود . امکان راماندازی دوباره مولدهای برق توربینی و رساندن آنها به حالت بارداری توسط میزان خنک کنندگی تعیین می شود . این پدیده را معمولاً با توزیع همه سویه ^۵ درجه حرارت به حداقل ممکن می رسانند .

ساده ترین و اکثر ا عمومی ترین شیوه برای آهسته چرخاندن توربین کوپل کردن موتور القابی به محور اصلی توسط چرخ دنده است . لیکن ، امکان آهسته چرخاندن الکتریکی فقط در بعضی از دستگاهها ^۶ وجود خواهد داشت . به عنوان مثال در دستگاههای قدیمی که قادر چرخ دنده آهسته سازی معمولی هستند ، تغییر شکل پس از چندین ساعت در حد بیشینه است ، و شاید بعد از ۲۴ ساعت نتواند به قدر کافی کاهش بیندازد تا ماشین به طور مطمئن دوباره به کار آید . خارج از قابل استفاده بودن ماشین برای چنین مدت زمان زیادی ، و یا کار انداختن بدون بار

- | | |
|---------------------|------------|
| 1- Cycloconverter | 2- Baring |
| 3- Turbo-Alternator | 4- Hogging |
| 5- Isotropic | |
| 6- Set | |

کنترل موتور سنکرون

ماشین جهت راه اندازی دوباره آن در برخی از نواحی که افزایش ناگهانی قدرت محلی در مدت زمانهای کوتاهی با فواصل زمانی کم مورد نیاز است، زیانهایی را در بر خواهد داشت، آهسته چرخاندن الکتریکی راممکن است با کاربرد آلترناتور به صورت یک موتور سنکرونی که از منبع تغذیه فرکانس پایینی تغذیه می شود عملی کرد. فرکانس پایین برای تأمین دوران با سرعت کم است و قدرت ضروری قدرتی است که برای غلبه بر اصطکاک موتور در موقع دوران لازم است که موقع شتاب گیری^۱ شامل جرم نیز می شود. دو راه حل کاملاً مختلف تشریح شده در اینجا، براساس استفاده از منبع تغذیه جریان مستقیم و یا منبع تغذیه جریان متناوب است. استفاده از مولد برق به عنوان موتور پلهای، راه حل اول را به صورت موتور معمولی، و راه حل دوم را همراه با یک واگردن سیکلی به کار خواهد گرفت. لازم به تذکر است که هر دو راه حل، کنترل تیریستوری هستند.

(الف) موتور پلهای تیریستوری

شکل ۵-۱ مدار وارونگر ساده‌ای را که مناسب برای کلیدزنی فرکانس کم است نشان می‌دهد. قدرت فرکانس کم توسط کلیدزنی پی در پی تیریستور در مدارهای خط، موتور را تغذیه می‌کند. تیریستورها تزریق جریان مستقیم پیک به یک فاز یا چند فاز ماشین را در یک زمان ممکن می‌سازند. با تسلسل ثابتی از کلیدزنی، یک میدان مغناطیسی آرمیچر که در اطراف فاصله هوازی به طور پلهای می‌چرخد نتیجه خواهد شد. با تحریک میدان اصلی و اگر فرکانس تولید شده به اندازه کافی اندک و گشتاور به قدر کافی زیاد باشد، گردانه با تغییر وضعیت میدان آرمیچر (۴) به طور پلهای خواهد چرخید. به این ترتیب ماشین بدون احتیاج به راه-اندازی کمکی به صورت موتور سنکرون عمل و میزان کلیدزنی هریک از تیریستورها سرعت گردانه را معین خواهد کرد.

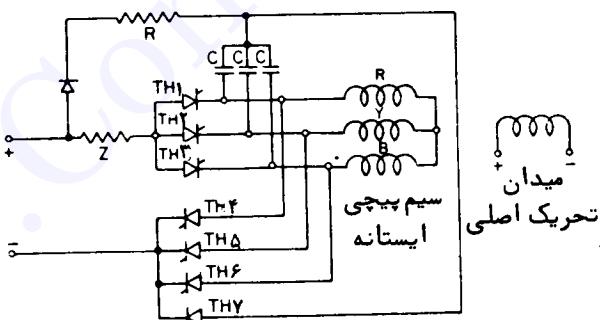
رایش اصلی مدار شش تیریستور (به استثنای TH_7 ، سمخازن و مقاومت محدود کننده (R_1) را مورد استفاده قرار می‌دهد. عبور جریان در هر زمان از طریق دو فاز مثلاً TH_1 و TH_5 ، TH_1 و TH_6 ، TH_2 و TH_4 ، TH_2 و TH_3 ، TH_4 و TH_3 ، TH_2 و TH_1 ، برای تشکیل یک سیکل کامل امکان پذیر خواهد بود. شکل ۵-۲ الگوی فازبرداری نیروی محركه مغناطیسی را نمایش می‌دهد. این تسلسل کلیدزنی، برای جریان خط معینی، مقدار بیشینه نیروی محركه مغناطیسی را با گام ۶ درجه الکتریکی به دست می‌دهد که عمل راه اندازی راساده می‌کند و توجه گشتاور کمتری را از نوع مشابه با گام مثلاً ۱۲۰ درجه الکتریکی تولید می‌کند. گام ۳۰ درجه الکتریکی را می‌توان با عبور جریان به طور متناوب در دو و سه در سه فاز تولید کرد لیکن این به معنی

الکترونیک قدرت

داشتن جریانهای ضربانی^۱، و جریانهای بیشتری در صورت عملکرد سه فاز است. اما نیروی محركه مغناطیسی موثر کمتری ایجاد می‌شود و برای تیریستورها مقادیر اسمی بیشتری مورد نیاز خواهد بود.

منبع تغذیه مدار اصلی می‌تواند جریان مستقیم، با یکسوسازی نیم موج یا تمام موج [توسط مدارهای یکسوساز] سه فاز و یا تکفاز باشد. هیچ‌کدام به طور کامل برای این کاربرد با تیریستورها مناسب نیست. موقعی که آند تیریستوری نسبت به کاتدش ثابت باشد و علامتی بین دریچه و کاتد اعمال می‌شود، تیریستور شروع به هدایت می‌کند و جریان را درجهت مستقیم تا زمانی که به زیر جریان نگهدارنده افت نکرده است عبور می‌دهد، تیریستور در آن نقطه به حالت مسدود عادی خود برخواهد گشت.

با منبع تغذیه تکفاز و یا سفارز، تیریستور به صورت یک یکسونکنده نیم موج قابل کنترل عمل می‌کند، در نتیجه موقعی که علامت دریچه حذف می‌شود جریان در محلی در طی ولتاژ نیم سیکل منفی به صفر تقلیل خواهد یافت. در آن صورت و تحت این شرایط تیریستور به طور طبیعی با جابه‌جایی خط خاموش خواهد شد. برای قادر ساختن تیریستور به هدایت در طول چندین دور، علامت دریچه بایستی به طور پیوسته و یا به صورت یکسری پالس در این مدت اعمال شود. در هر حال برای این منبع تغذیه نیم موج بایستی ترانسفورماتور مقادیر اسمی مناسبی داشته باشد تا از اشاعر شدگی جلوگیری کند. حتی ترانسفورماتور تک فاز ممکن است مقدار نامتعادلی^۲ در منبع تغذیه تولید کند چون برخلاف ترانسفورماتور سفارز، سیم پیچی‌های آن در طی مدت کار مورد استفاده قرار می‌کیرند.

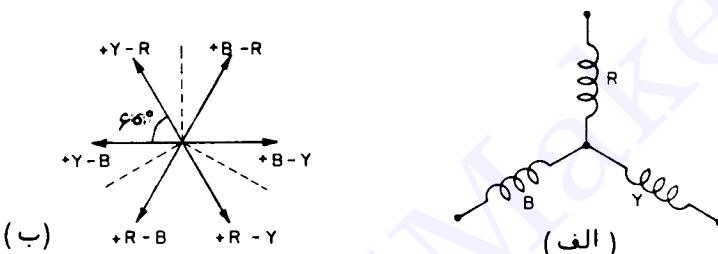


شکل ۵ - ۱ وارونگر فرکانس کم

با وجود جریان مستقیم، یا جریان متناوبی که کاملاً یکسوشده باشد، جریان عبوری از تیریستور هرگز کمتر از جریان نگهدارنده آن خواهد شد. این به آن معنی است که یک علامت

کنترل موتور سنکرون

پالسی تیریستور را روشن می‌کند ولی برای خاموش کردن آن بایستی به جایه جایی اجباری متصل شد. جایمکانی اجباری درشن تیریستور را در این کاربرد عملی، می‌توان توسط تیریستور TH_7 ، سه خازن و مقاومت محدود کننده انجام داد. برای مثال اگر تیریستورهای TH_1 و TH_7 در حال هدایت باشند، خازن C به اندازه ولتاژ خط باردار می‌شود. موقعیت علاوی تیریستورهای قبلی حذف شوند و تیریستور TH_7 را ماندازی شود خازن C از طریق TH_7 خالی می‌شود و TH_5 را گرایش معکوس می‌کند. اگر بار الکتریکی به اندازه کافی زیاد باشد TH_5 و در نتیجه TH_1 نیز خاموش خواهد شد. ترتیب کلیدزنی بعداً به همین روال ادامه خواهد یافت.



شکل ۵ - الکترو نیروی محرکه مغناطیسی فضایی یک سیکل

(الف) سیم پیچی ها (ب) چرخش نیروی محرکه مغناطیسی

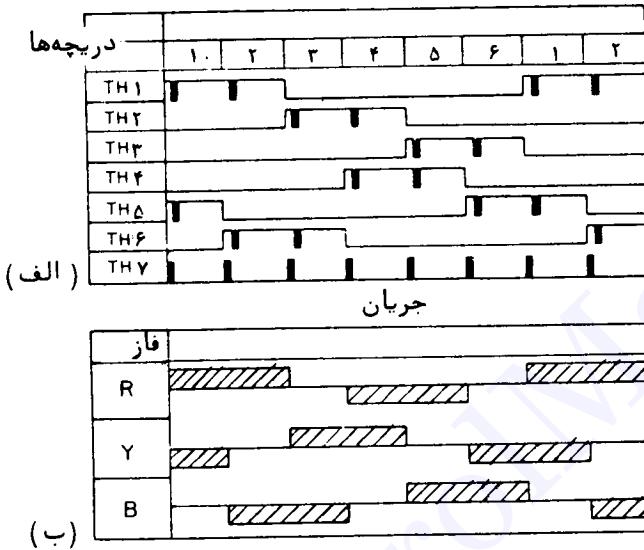
اگر به خاطر بعضی نارسانیهای داخلی جایمکانی اجباری موققت آمیز نباشد، کلیدزنی مرحله بعدی، منبع تغذیه را اتصال کوتاه می‌کند. بنابراین پیش بینی های لازم را بایستی به عمل آورد. علاوه بر فیوزها، امپدانسی به طور سری با منبع تغذیه با مقداری بیشتر از مقدار امپدانس سیم پیچی ایستانه جهت محدود کردن جریان اتصال کوتاه، به مدار اضافه شده است. اکنون هر ناکامی در عمل جایه جایی، جریان خطرناک شدیدی تولید نمی‌کند و امکان موققت آمیز بودن مرحله بعدی کلیدزنی وجود خواهد داشت، درنتیجه چرخش مولد می‌تواند بدون انقطاع ادامه یابد. سیم پیچی میدان اصلی ممکن است جایگزین امپدانس محافظ شود که باعث افزایش بازده سیستم نیز می‌شود.

سرعت چرخش مولد آبی با ردیف راماندازی تیریستورها معین می‌شود. شکل ۳-۵، ترتیب برنامه ریزی شده علایم اعمال شده به دریچه برای دوران با گام θ درجه الکتریکی را، توأم با جریانهای منتجه ایده‌آل عبوری از سه فاز مولد نشان می‌دهد. برای یکسازی نیم موج در طی دوره هدایت علایم دریچه پیوسته، یا به صورت سلسله‌های پالسی، هستند و به علت طبیعی بودن جایمکانی و یاری گرفتن از نیروی محرکه القایی سیم پیچی های موتور، پالس خاموشی برای تیریستور مورد نیاز نخواهد بود. در مورد انواع دیگر منبع تغذیه تنها علایم

الکترونیک قدرت

با پالس‌های منفرد مورد نیاز هستند اما چون در هر کام ۶ درجه الکتریکی یکی از تیریستورها کارنمی‌کند، لذا برای هر تیریستور در طول ۱۲۰ درجه عملکرد آن در هر سیکل، دو پالس بایستی اعمال شود.

دوره (متاوب)



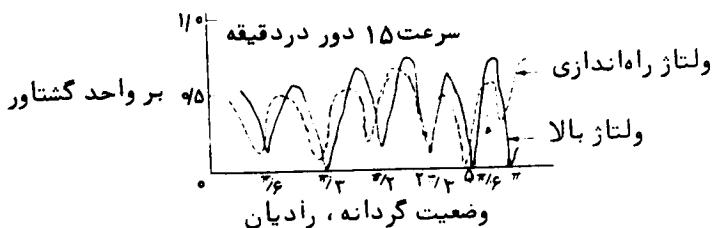
شکل ۵-۳ ترتیب کلیدزنی برای تولید جریان‌های سه‌فاز

(الف) علایم دریچه (۶ دوره برای یک سیکل)

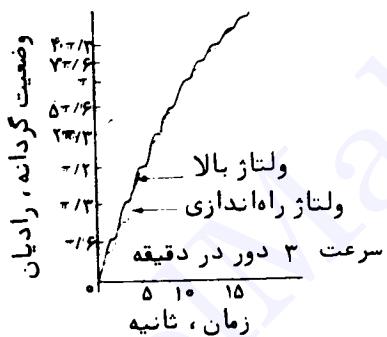
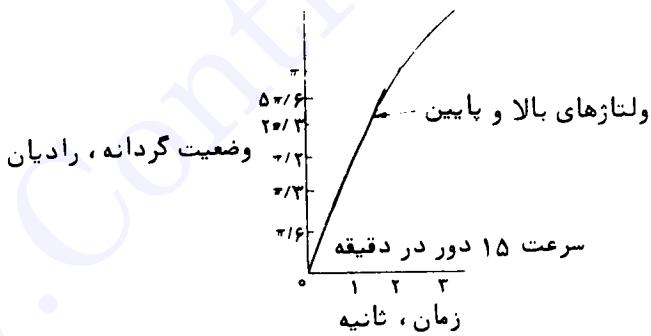
(ب) جریان‌های سیم پیچی

شکلهای ۴-۵، ۵-۵، ۵-۶، و ۵-۷ نتایج یک مدل ۳ کیلوواتی را نشان می‌دهند. گرچه منبع تغذیه تک‌فاز یکسو شده نیم موج تیریستوری به حداقل تجهیزات احتیاج دارد، اما این به آن معنی نیست که از نقطه نظر ارزش هزینه‌ای و یا کاری، بهترین باشد. راکتانس سیم پیچی در جریان متداوب با تراز جریان مستقیم به مفهوم احتیاج به وسائل ولتاژ بالاتری است، که درمورد این مدل، ولتاژی که چرخش را تولید می‌کند، تقریباً حدود ۵ برابر بیشتر از ولتاژ منبع تغذیه جریان مستقیم خواهد بود. افزایش قدرت ورودی به منبع تغذیه تلفات آن را به همان نسبت خواهد افزود.

به منظور فایق آمدن به جرم (اینرسی) و اصطکاک^۱ دستگاه در موقع راه‌اندازی احتیاج به ولتاژی بیشتر از موقع کار است. همراه با آن، اگر سرعت خیلی کم باشد که نگهدار همترازی^۲



شکل ۵ - ۴ تغییرات گشتاور

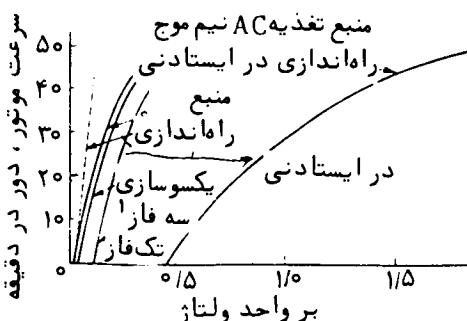
شکل ۵ - ۵ وضعیت نگهدار^۱ در سرعت‌های کم

شکل ۵ - ۶ تغییرات وضعیت (بدون وجود نگهدار)

میدان تحریک وارد عمل شود، و اثرات ولتاژ قابل تنظیم اعمال شده طبق شکل ۵ - ۵ قابل توجه باشد، جریانهای زیادی مورد نیاز خواهد بود. برای این مدل، با میزان کلیدزنی $\frac{1}{3}$ هرتز (۱۵ دور در دقیقه) تغییرات ولتاژ اعمال شده، تموج سرعت محسوسی را در یک سیکل ایجاد نمی‌کند. البته، گشتاور ضربان خواهد داشت. شکل ۵ - ۴ تغییرات گشتاور را برای

الکترونیک قدرت

۲۳۶



شکل ۵-۷ ولتاژ راهاندازی و درایستادنی

هر عمل کلیدزنی نشان می‌دهد، اما جرم (اینرسی) ماشین از انعکاس آن درچرخش، که توسط شکل ۵-۶ واضح می‌شود، جلوگیری می‌کند.

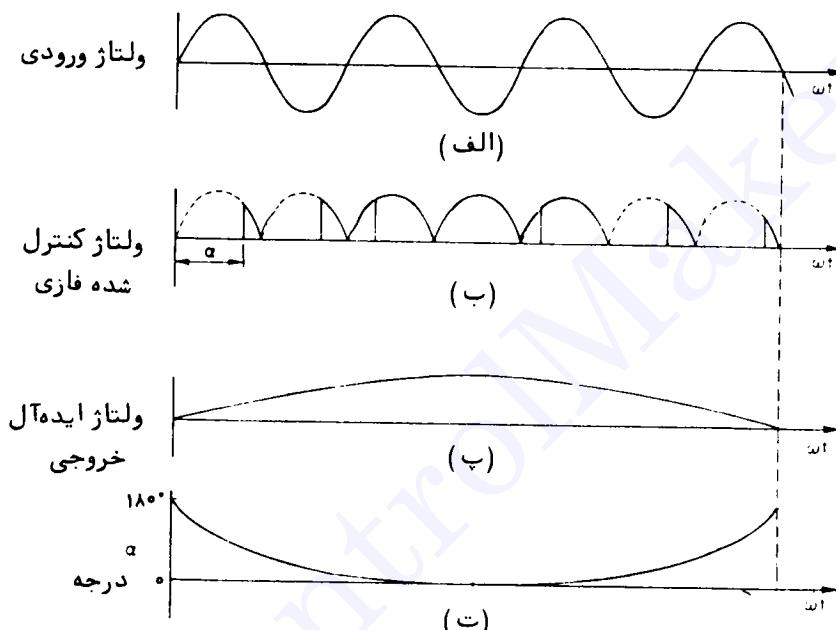
گشتاور زیادتری برای شتاب دادن موتور به طور پلماهی، برای سرعتهای زیاد، ضروری است. و این در شکل ۵-۷ نشان داده شده است، که مبتنی بر ولتاژ پیک مطابق با مقادیر اسمی تیریستور و میدان تحریک ثابت است. در شرایط یکسازی نیم موج این مدل در فرکانسهای بیشتر از $1/3$ هرتز به داخل پله کشیده می‌شود اما کمترین سرعتها برای کار ملایم و نیازمندیهای قدرت کمینه در فرکانسهای خیلی پایین‌تری امکان‌پذیر است.

(ب) واگردان سیکلی برای سرعتهای کمتر روش دیگری برای آهسته‌سازی مولد توربینی^۱ (توربوآلترناتور) استفاده از این مولد به صورت موتور سنکرونی که وسیله قدرت فرکانس کمی ازیک واگردان سیکلی تغذیه می‌شود، است. واگردان سیکلی، منبع تغذیه فرکانس بالایی را به منبع تغذیه فرکانس کم بدون احتیاج به منبع تغذیه جریان مستقیم واسطه^۲ که در سیستمهای مورد بحث تاکنون وجود داشت تبدیل می‌کند. واگردانهای سیکلی را می‌توان برای کاربردهای فرکانس کم متغیر و یا ثابت مورد استفاده قرار داد. آنها اولین بار در سال ۱۹۳۰ در محرکهای کششی مورد استفاده قرار گرفتند. موتورهای سری جریان متناوب در فرکانسهای بالا نظیره ۵ هرتز دارای مشکلات جابه‌جا‌یی مکانیکی هستند، لذا کاربرد واگردان سیکلی به منظور کاهش فرکانس به مقدار $\frac{2}{3}$ هرتز بدون از دست دادن مزایای زیاد مشخصات گشتاور موتورهای سری فوق مشکل مذکور را حل و از بین برد. در اصل در ورودی واگردان سیکلی شکل موج جریان متناوب طبق شکل ۵-۸(الف) موجود است. این شکل موج نه تنها یکسو می‌شود بلکه کنترل شده فازی و جابه‌جا شده خطی^۳ است.

۲۳۷

کنترل موتور سنکرون

زاویه فاز α به طور دورهای طبق شکل ۵-۸(ب) و (ت) تغییر می‌یابد به طوری که شکل موج خروجی ایده‌آل (صف شده) واگردان سیکلی به صورت شکل ۵-۸(پ) است. در این شکل مقدار فرکانس خروجی معادل یک‌هفتم فرکانس منبع تغذیه خواهد بود، که آن مستقیماً با تغییر دورهای زاویه α متناسب است.



شکل ۵-۸ تقسیم فرکانس با استفاده از واگردان سیکلی
 (الف) شکل موج ورودی (ب) شکل موج خروجی (پ) خروجی ایده‌آل شده
 (ت) شکل موج زوایای راهاندازی

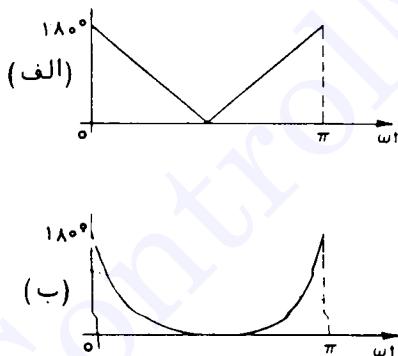
برای فرکانس خروجی کم ثابت شدهای مقدار ولتاژ، مشکلی ایجاد نمی‌کند ولی اگر کاربرد محرك سرعت متغیری مورد نظر باشد که در آنجا فرکانس و ولتاژ متناسب هستند، کنترل مقدار ولتاژ نیز از طریق α بایستی به خوبی انجام گیرد. سیکل α تعیین کننده فرکانس است، اما آن تابعی است از α با زمان، که تعیین کننده سطح کلی منحنی ولتاژ روی سیکل خروجی و بنابراین مقادیر متوسط و مؤثر است. به عنوان مثال در شکل ۵-۹ تابع α در (الف) ولتاژ کمتری از تابع α در (ب) را به دست می‌دهد. به هر حال در کنترل فازی هدایت تیریستوری، منبع تغذیه موقعی که α زیاد می‌شود، به باری با ضریب توان $\cos \theta$ کمتر رسیدگی می‌کند، (به شکل ۲-۱۱(ت) مراجعه شود). به نظر می‌رسد که اگر به جای تأخیر در زاویه فاز طبق

الکترونیک قدرت

۲۲۸

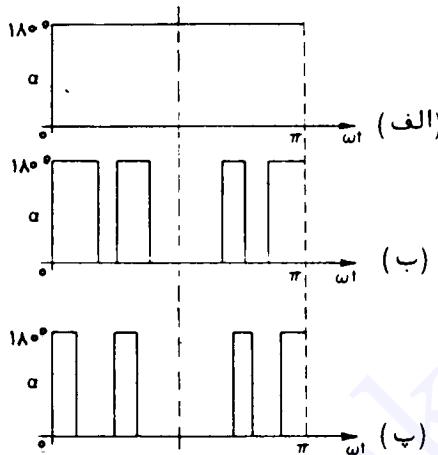
شکل ۵ - ۹ (الف) ، از فن مدوله کردن بالس طبق شکل ۵ - ۱۰ استفاده شود ، دارای مزایایی از نقطه نظر ضریب قدرت خواهد بود .

همچنین با استفاده از هارمونیکهای همراه با مولفه اصلی فرکانس کم را در خروجی به حساب آورد . اصول این روش به روشنی نشان می دهد که فرکانس خروجی را می توان از صفر تا فرکانس منبع تغذیه تنظیم کرد . در عمل هارمونیکها ، دامنه بالاترین فرکانس خروجی را به مرابت پایین تراز دامنه فرکانس ورودی نگاه می دارند . برای کمک به کمتر شدن محتوای هارمونیکها از منبع تغذیه چند فازه استفاده می شود . منبع تغذیه سه فاز و آرایش بار سه فاز در شکل ۱۱ - ۵ نشان داده شده است ، در این شکل فقط یک فاز واگردان به طور کامل نشان داده شده است و دو فاز دیگر به صورت نمودار بندالی مشاهده می شوند . موضوع قابل توجه تعداد تیریستورهای زیادی است که با استفاده قرار گیرند ، یعنی ۶ تیریستور بر فاز خروجی برای یک ورودی سه فاز [یا ۱۸ تیریستور در کل مدار] .

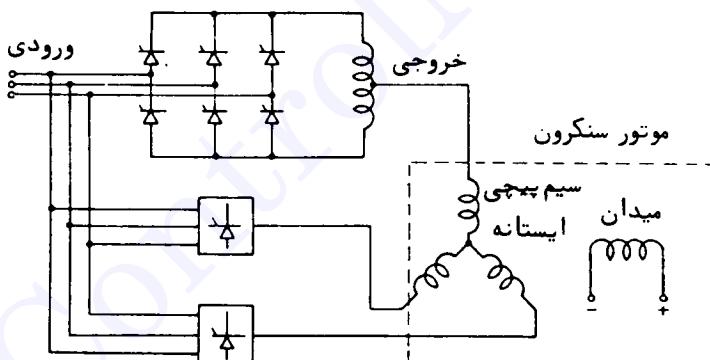


شکل ۵ - ۹ کنترل ولتاژ توسط تنظیم زاویه فاز
(الف) تغییرات خطی زاویه فرمان (ب) تغییرات پیوسته زاویه فرمان

شکل ۵ - ۱۲ شکل موجهای متعارف را باتوجه خیلی کمتر از مثلاً حالت تکفار شکل ۵ - ۸ نشان می دهد . سیکل واگردان با شروع در نقطه صفر واگردان سیکلی مثل یک یکسو ساز قابل کنترل با هدایت کامل عمل می کند . جریان به داخل سیم پیچهای فاز موتور جاری خواهد شد . زاویه فاز ، و درنتیجه هدایت ، در انتهای هر سیکل ورودی متواتی مقداری تأخیر می کند تا ولتاژ خالص خروجی صفر شود و سپس قطبیت عوض می شود و واگردان سیکلی در جهت معکوس برای یک نیم سیکل شروع به وارونگری θ می کند . جریان با اتناکا به ضریب قدرت $\cos \theta$ و بار در



شکل ۵-۱۵ کنترل قطع و وصل برای بهبود ضریب قدرت
(الف) ولتاژ صفر (ب) ولتاژ پایین (پ) ولتاژ بالا



شکل ۵-۱۱ واگردان سیکلی سه فاز

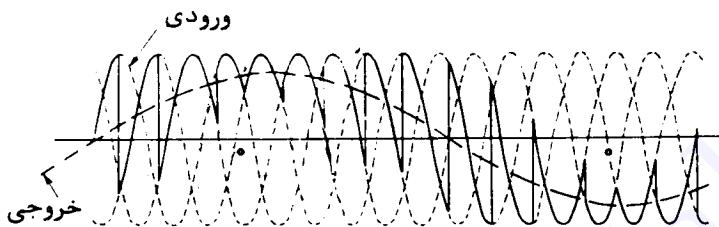
این نیم سیکل، از سیم پیچی فازهای موتوریه واگردان سیکلی وارونگر و سپس به منبع تغذیه روان خواهد شد. در طی نیم سیکل منفی ولتاژ، زاویه فاز خودش یک سیکل کاملی را با دادن دوره هدایت کوتاهی طی می‌کند، یعنی آنکه α از نزدیکی‌های 180° ، متوالیا شروع به افزایش هدایت برای هر سیکل ورودی متوالی، نا مقدار بیشینه در 0° ، می‌کند و سپس دوباره شروع به کاهش نا آخر نیم سیکل منفی خواهد کرد. گرچه قرار گرفتن تمحق ولتاژ روی مولفه اصلی فرکانس پایین، خالی از اشکال به نظر نمی‌رسد ولی سلف بار و خط، شکل موج جریان را صاف می‌کند. موقعی که تعداد فازهای ورودی بیشتر است می‌توان شکل موج بهتری را به دست آورد، اما در این حالت با ایستی افزایش تعداد [خیلی زیاد] تیریستورها و فروزنی مدارهای کنترل را تحمل کرد.

الکترونیک قدرت

۲۴۰

داشتن شکل موج بهتر در این جا ، نسبت به وارونگری که در قسمت (۳ - ۱) تشریح شد مزیتی بسیار می‌آید . سعی براین است که از واگردان سیکلی موج خروجی سینوسی فرکانس پایینی تهیه کنند در صورتی که مدارهای دیگر تنها موج مربعی تولید می‌کنند که البته قابل مدوله کردن هستند .

فرکانسهای بالاتر از فرکانس ورودی را می‌توان با استفاده از جابه‌جایی اجباری به دست آورد .



شکل ۵ - ۱۲ خروجی تکفازه واگردان سیکلی از ورودی سه فاز

۵ - ۴ تحریک موتور سنکرون

معمولًا تحریک را نمی‌توان به مثابه عاملی^۱ برای کنترل موتور سنکرون مورد ملاحظه قرار داد . یقیناً آن در کنترل سرعت موتور، به علت اینکه سرعت تنها نابع از فرکانس و تعدادقطبهای است، مورد استفاده قرار نمی‌گیرد .

تحریک به عنوان یک عامل قابل تنظیم مفید است . تنظیم تحریک جریان مستقیم در موتور سنکرون تفاوتی با تنظیم در ماشین جریان مستقیم نخواهد داشت . در فصل ۴ به طور مفصل در این مورد که شامل مقاومت، یکسوساز، و یکسوسازهای قابل کنترل برای منابع تغذیه جریان متناوب و برشگرهای تیریستوری برای منابع جریان مستقیم هستند بحث شد ، جزئیات کاربرد تنظیم میدان تحریک موتور و مسائل مربوط به آن در این قسمت مورد بحث قرار می‌گیرد . تصحیح ضریب قدرت یکی از موارد استفاده کنترل میدان تحریک است . قابلیت جذب یا تغذیه قدرت ظاهری توسط ماشین سنکرون دلیل استفاده آن در تصحیح ضریب قدرت است . مقدار آن بستگی به تراز یا سطح تحریک ماشین خواهد داشت . دو میان استفاده از کنترل میدان تحریک در بهینه‌سازی طراحی ماشین است ، زیرا لزوم تحریک پایین در بار انداز و تحریک بالا در بارهای سنگین سبب صرفه‌جویی‌هایی نسبت به تحریک ثابت بالا برای تمام بارها می‌شود .

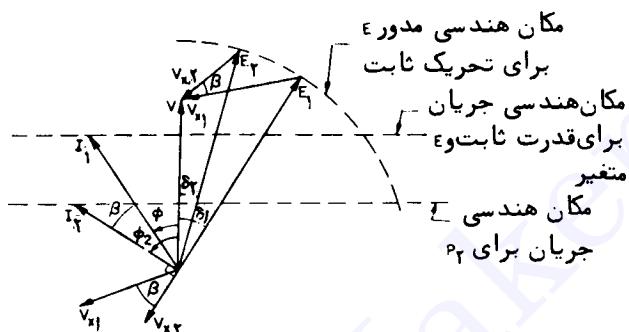
۵ - ۵ - ۱ کنترل خودکار تیریستوری تحریک

معمولًا در شرایط بار ثابت تحریک موتور سنکرون در مقدار ثابتی تنظیم می‌شود . در چنین

۲۴۱

کنترل موتور سنکرون

حالتي ، کاهشی در بار يا تنزلی در ولتاژ اعمال شده به آرمیچر ، ضریب قدرت موتور را پیشگاز ترا می کند . شکل ۱۳-۵ این حالت کاهش بار را نشان می دهد که در آن اندیسهاي^۲ مشخص کننده مقادير بار عادي و اندیسهاي^۳ معرف مقادير بار كمتر هستند .



شکل ۱۳-۵ تغییر ضریب قدرت با بار

بار کاهش یافته به معنی تنزل زاویه بار از δ_2 به δ_1 است که توسط رابطه (۵-۲) برای V_s ، X_s و E ثابت نشان داده می شود . رابطه قدرت عبارت است از :

$$\text{برای هر فاز} \quad P = \frac{VE}{X_s} \sin \delta$$

که در آن

۷ ولتاژ اعمال شده به آرمیچر هر فاز
 E نیروی محركه الکتروکی القایی آرمیچر هر فاز
 X_s راکتانس سنکرون هر فاز ، و
 δ زاویه بار مصرفی

بنابراین ، بردار V_s از طریق زاویه β در سه دار فاز برداری دوران می کند و اگر از مقاومت آرمیچر صرف نظر شود ، جریان هم مشابه دوران می کند و ضریب قدرت نیز پیشگاز تر خواهد شد . برای متعادل کردن بارهای پس فاز در هر جای سیستم از این پیشگاز شدن استفاده می شود ولی برای انجام منظور فوق کنترلی وجود ندارد .

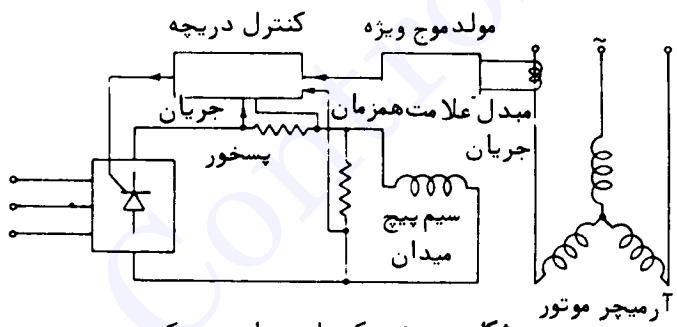
برای بعضی از کاربردهای موتور سنکرون نظیر کمپرسورهای دوسورو^۳ بارهای پیک اتفاقی وجود دارد . طراحی موتور برای کار مداوم با بیشینه تراز تحریک ، برای ارائه گشتاور با ثبات به منظور تأمین بارهای پیک ، غیر اقتصادی خواهد بود . در آن صورت چارمندیشی بر اتفاق حرارتی موتوری با اندازه بزرگ ضروری خواهد بود . به عوض آن ، بهتر است موتور برای بارهای

الکترونیک قدرت

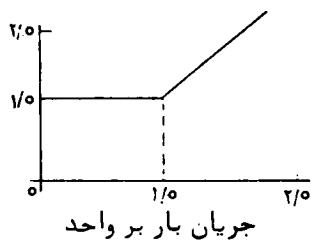
عادی با تحریک کمتری کار کند و سپس تحریک به طور خودکار برای بارهای زیاد لحظه‌ای تقویت شود. گام بعدی اقدام به آماده کردن تحریک قابل تنظیم به طور پیوسته و مناسب برای کلیه بارهای مصرفی است. مقدار جریان میدان تحریک مناسب برای قدرت، تابعی از جریان بار مصرفی جذب شده توسط آرمیچر است. این تابع به پایداری و مقدار ضربی قدرت بستگی دارد؛ یعنی، مقدار کیلووات آمپر ظاهری پیش‌فاز مطلوب است. بازده موتور قابل کنترل است و انتخاب اینکه موتور با حداقل بارزده کار کند، یا ضربی قدرت سیستم را اصلاح کند وجود خواهد داشت.

تفییر در بار می‌تواند سریع باشد به طوری که کنترل تحریک اجبارا پاسخ تندی بدهد.

این عمل توسط تقویت کننده تیریستوری که به شکل نمودار بندالی، نظیر پل یکسوساز کنترل فاز با جایه‌جایی خط جریان متناسب شکل ۱۴-۵، نشان داده شده است، می‌تواند انجام گیرد. علاوه بر این فرمان تیریستور از جریان بار، توسط یک مولد موج ویژه که مشخصه ایده‌آل آن ممکن است طبق شکل ۱۵-۵ باشد، گرفته می‌شود. تحریک برای داشتن ضربی قدرت خوبی، تا زمانی که بار به حد معینی برسد، ثابت نگاه داشته می‌شود و سپس متناسب با بار افزایش می‌یابد. با به حساب آوردن منحنی غیرخطی مغناطیس کنندگی موتور و رابطه غیر خطی بین زاویه فاز آتش α و خروجی یکسوساز، مقداری انحراف وجود خواهد داشت گرچه حلقه پسخور جریان میدان تحریک متعادل کننده این انحراف را جبران خواهد کرد.



شکل ۱۴-۵ کنترل میدان تحریک



شکل ۱۵-۵ مشخصه یک مولد موج ویژه ایده‌آل

کنترل موتور سنکرون

در طول راه اندازی نظیر یک موتور القایی، لازم است که از منبع تغذیه جریان مستقیم میدان تحریک جلوگیری شود و یکسوساز تیریستوری را در مقابل نیروی محرکه الکتریکی القایی در فرکانس لغزش در داخل سیم پیچی میدان تحریک، محافظت کرد. مقاومت اضافه شده بین دو سر سیم پیچی هر دو را عملی می‌سازد. ولتاژ دو سر پل نیروی محرکه الکتریکی القایی مدار باز که مقادیر اسامی ولتاژ بالایی را برای تیریستورها ایجاد می‌کند، نیست بلکه افت ولتاژ ناشی از جریان منتجه عبوری از طریق مقاومت شنت خواهد بود. به محفوظ اینکه ماشین به صورت موتور القایی کار کند و به سرعت عادی خود برسد لغزش کوچکمی شود، لذا ولتاژ جریان متناوب در سیم پیچی میدان تحریک اندک خواهد بود. در مقدار کمینه ویژمای که در دو سر مقاومت موازی حس می‌شود علایم دریچه اعمال می‌شود و می‌تواند جریان مستقیم را به میدان تحریک تغذیه کند. اکنون موتور هماهنگ شده و مولد موج ویژه عمل کنترل را به عهده می‌گیرد.

(الف) حفاظت تحریک بدون جاروبک طی راه اندازی

در ماشینهای سنکرون بزرگ، سیم پیچی‌های میدان تحریک، به علت اینکه قدرت اندکی را از طریق حلقه‌های لغزان انتقال می‌دهند، روی گردانه قرار دارند. اگر لازم باشد که موتور سنکرون بدون جاروبک باشد بایستی حلقه‌های لغزان حذف شوند. یک سیستم متعارف در شکل ۵-۱۶ نشان داده شده است. یک تحریک کننده جریان متناوب جایگزین مولد جریان مستقیم معمولی یا منبع تغذیه جریان مستقیم می‌شود، به طوری که سیمها را می‌توان از طریق محور توخالی عبورداد و به مدار یکسوساز متصل کرد. خروجی یکسوساز مستقیماً به میدان تحریک اتصال می‌یابد.

درست مثل پل تیریستوری، طی عمل راه اندازی برای جلوگیری از خرامی پل دیود در مقابل ولتاژهای زیاد القایی در سیم پیچی میدان، بایستی وسیله محافظی به مدار اضافه شود. در عمل ثابت شده است که مدار روزن بری^۱ شکل ۵-۱۷ رضایت بخش است. این مدار تیریستوری بین پل دیود و سیم پیچی تحریک شکل ۵-۱۶ قرار می‌گیرد.

در موقع راه اندازی خروجی تحریک کننده جریان متناوب صفر است، اما نیروی محرکه القایی زیادی در سیم پیچی میدان اصلی موتور وجود دارد. اگر ولتاژ خط^۲ A به طور مثبت افزایش یابد دیودهای زنر₁ Z_۱ و Z_۲ هدایت، و تیریستورهای TH_۱ و TH_۲ را راه اندازی می‌کند. پل یکسوساز دیود اکنون اتصال کوتاه است و از خرامی ولتاژ جلوگیری می‌کند. مقاومت R جریان اتصال کوتاه را محدود می‌کند. موقعی که خط B مثبت شود پل یکسوساز خودش اتصال کوتاه را مهیا می‌کند و تیریستورها خاموش می‌شوند. تیریستور TH_۳ همواره در موقع راه اندازی خاموش

الکترونیک قدرت

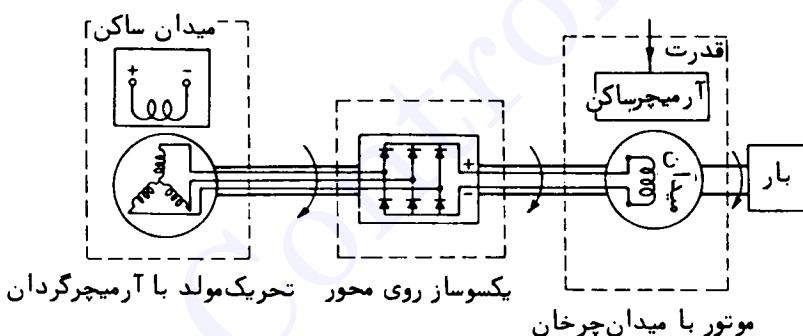
۲۴۴

است. زیرا زمانی که خط A مثبت است آند TH_2 نسبت به کاتد منفی است و موقعی که خط B مثبت است دریچه TH_3 نسبت به کاتد منفی است.

تحریک کننده جریان متناوب با افزایش سرعت موتور شروع به تحویل جریان می‌کند.

تیریستورهای TH_1 و TH_2 این جریان را تا زمانی که سرعت به سنکرون نزدیک شود، موقعی که نیروی محركه القابی کمتر از آن است که به شکست دیودهای زنر و هادی کردن تیریستورها منجر می‌شود، حمل می‌کنند. در این سرعت جریان تحریک کننده توسط پل سه فاز یکسو شده و از طریق سیم پیچی میدان تحریک موتور عبور می‌کند و موتور را به همزمانی سوق می‌دهد.

اگر تنها یک تیریستور برای اتصال کوتاه کردن پل مورد استفاده قرار می‌گرفت، آن تیریستور به هدایت خود در سرعت سنکرون ادامه می‌داد، زیرا جریان تحریک کننده آن را از خاموش شدن بازمی‌داشت. با دو تیریستور، طی نیم سیکل موقعی که D هدایت می‌کند، افت ولتاژی حدود ۱ ولت در دوسر D وجود دارد. این ولتاژ برای خاموش کردن TH_2 توسط گرایش معکوس کافی است. به محض مسدود شدن TH_1 ، TH_2 نیز هدایت را قطع می‌کند و به حالت مسدود باز می‌گردد. دو تیریستور، طی کار همزمانی موتور به علت اینکه ولتاژ شکست دیودهای زنر برای بیشتر از ولتاژ تحریک جریان مستقیم طرح شده است در حالت خاموش باقی می‌ماند.



شکل ۵-۱۶ میدان تحریک ایستانه روی گردانه

در سرعت همزمانی موتور، بودن R در مدار به علت تلفات قدرت در آن کاملاً غیر ضروری است. مقاومت R در موقع همزمانی به علت اینکه دریچه و آند TH_3 هر دو نسبت به کاتد مثبت هستند و هدایت می‌کنند، اتصال کوتاه است.

این موتور بدون جاروبک، دارای محافظ است ولی کنترل قابل تنظیم ندارد. شکل ۵-۱۴ کنترل میدان قابل تنظیمی را نشان داد که بدون جاروبک بود، به نظر می‌رسد کنترل میدان تحریک قابل تنظیم بدون جاروبک، با تلفیق این دو سیستم امکان پذیر است.

کنترل موتور سنکرون

۵-۵ موتور جریان مستقیم یا موتور سنکرون

موتور جریان مستقیم متنوع ترین موتورهاست. اگر برای بعضی از کاربردها جا به جاکن مکانیکی موتور جریان مستقیم قابل تحمل نباشد، امکان تبدیل ماشینی^۱ وجود دارد. گذاشت آرمیچر در ایستانه و قطبهای میدان در گردانه به این معنی است که کلیدهای نیمه هادی می‌توانند جایگزین جابه‌جاکن مکانیکی شوند. برای رهایی کامل از جاروبکها و اتصالات لغزنه، قطبهای میدان بایستی به صورت یک منناطیس دائم و یا تحریک شده توسط ماشین جریان مستقیم دیکری روی همان محور باشند و جهت تغذیه جریان مستقیم به سیم پیچی قطبها بایستی دارای یکساز غیرقابل کنترل مونتاژ شده‌ای روی همان محور باشند. این سیستم در شکل ۵-۱۶ مشاهده می‌شود. این تحریک جریان مستقیم بدون جاروبک تجربه جدیدی برای موتورهای سنکرون بزرگ با میدان تحریک چرخان است لیکن دلیل قانع کننده‌ای که چرا این سیستم را نمی‌توان در مورد موتورهای جریان مستقیم تبدیل شده انجام داد وجود ندارد.

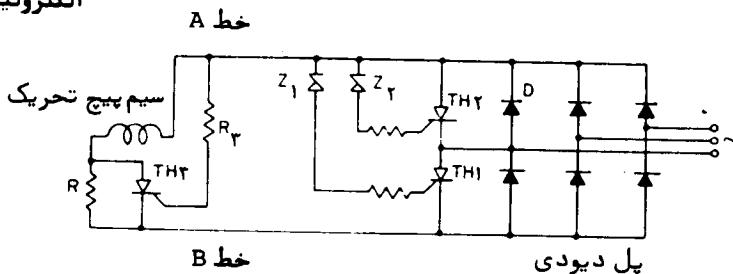
جریان در ماشینهای جریان مستقیم همواره بایستی در امتداد محورهای عرضی^۲ (تقارن) به آرمیچر وارد شود. شکل ۵-۱۸ موتور جریان مستقیم توسعه یافته و تبدیل شده‌ای را نشان می‌دهد. آرایش کلیدزنی تیریستوری جایگزین جابه‌جاکن مکانیکی شده است و در وضعیت نشان داده شده در شکل تیریستورهای ۱ و ۲ بایستی تنها تیریستورهایی باشند که هدایت می‌کنند. توزیع جریان، گشتاوری روی آرمیچر و گشتاور عکس‌العملی بر روی گردانه تولید خواهد کرد به طوری که حرکت دورانی حاصل خواهد شد. محور طولی همراه با گردانه دوران می‌کند، لذا برای اینکه گشتاور ثابت باقی بماند بایستی آرمیچر همان توزیع جریان را نسبت به قطبها القا کند. بنابراین جریان آرمیچر بایستی پیوسته توسط کلیدزنی پی درپی زوج تیریستورهای محور طولی معرفی شود. بعد از یک ششم دوران در ماشین شکل ۵-۱۸ بایستی تیریستورهای ۱ و ۲ خاموش، و تیریستورهای ۳ و ۴ روشن شوند و به همین ترتیب تیریستورهای ۵ و ۶ به دنبال آنها نیم سیکل را کامل کنند.

تعداد زیادی تیریستور لازم است تا جایگزین تمام تیغه‌های^۳ واقعی جابه‌جاکن شوند، لیکن نیازی به آن همه وجود ندارد. شش تیریستور برای هر سیم پیچی کاملاً "مناسب و کافی" است. شکل ۵-۱۸ را می‌توان به شکل ۵-۱۹ (الف) کاهش داد و آنرا نیز می‌توان طبق شکل ۵-۱۹ (ب) رسم کرد، که اصلاً "به موتور جریان مستقیم شباهتی نخواهد داشت. بهره‌حال کلیدزنی پی درپی معمولی، به طوری که هادی‌ها به منظور ایجاد گشتاور یک‌طرفه‌ای جریانی را در یک جهت ویژه حمل کنند، هنوز به قوت خود باقی است.

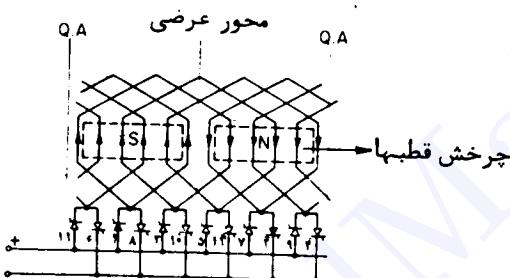
1- Invert the machine

2- Quadrature axes

3- Segment



شکل ۵-۱۷-۵ محافظت راه اندازی موتور

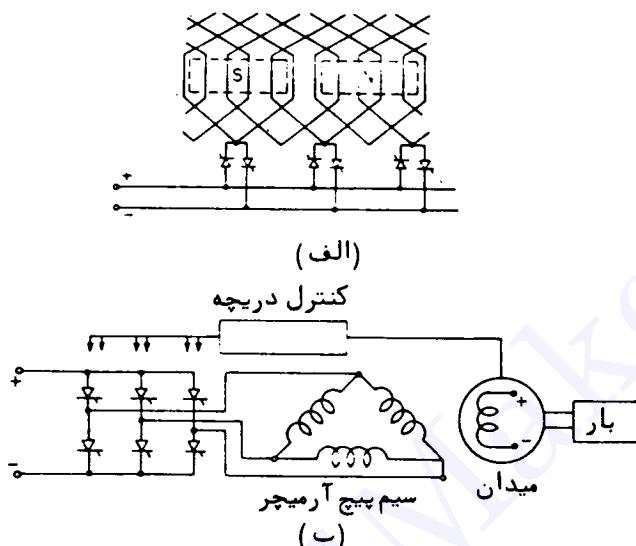


شکل ۵-۱۸ موتور جریان مستقیم تبدیل شده با جابه جاکن تیریستوری

برای ایجاد جریان در محور طولی یا حوالی آن، موقعیت قطبها بایستی آشکار باشد. خروجی مبدل‌های^۱ آشکارسازی بایستی مدارهای دریچه تیریستوری مورد نظر را تغذیه کند. این مبدلها می‌توانند مکانیکی، مغناطیسی، خازنی، رادیواکتیو (پرتوافزا) یا نوری باشند. آنها میزان کلیدزنی و نیز تسلسل آن را طوری می‌سازند تا همان باشد که برای ایستادن میدان آرمیچر همکام با گردانه لازم است. عامل مهم این است که اگر موتور خود را همانند راه انداز باشد، در این صورت مبدل حسکننده^۲ بایستی بدون منبع قدرت خارجی، در موقع سکون قادر به تشخیص وضعیت قطب باشد. شکل ۵-۱۹ (ب) را می‌توان به صورت ماشین سنکرون بررسی کرد و تا حدودی هم این بررسی، به استثنای آنکه به علت طبیعت منبع تغذیه به آن ماشین جریان مستقیم اطلاق شده است، درست است. جابه جاکن مکانیکی تعویض کننده فرکانس خود ماشین است. وارونگر تیریستوری نیز همان خاصیت را دارد. بنابراین مثل موتور جریان مستقیم در اینجا نیز گردانه، میدان چرخشی آرمیچر را به منظور پلهای شدن کنترل می‌کند. درنتیجه اگر بار از حد مجاز تجاوز کند سرعت موتور، تا زمانی که گشتاورهای مکانیکی و الکترومغناطیسی یکدیگر را متعادل نساخته‌اند، کاهش خواهد یافت. در طی راه اندازی مثل ماشینهای معمولی

کنترل موتور سنکرون

میزان مشابهی برای محدود کردن جریان آرمیچر برای کار با ولتاژ ثابت وجود خواهد داشت.



شکل ۵ - ۱۹ - ماشین جریان مستقیم بدون جاروبک

(الف) کاهش تعداد تیریستورها (ب) بازآرایی سیم پیچی ها

این کلیدزنی پی دریی جریانها، از یک منبع جریان مستقیم، در سیم پیچی ایستانه، الگوی میدان چرخانی را تولید می کند. در حقیقت نوعی ادغام^۱ وجود دارد و الگوی میدان دور فاصله هواپی با پلهای مجزایی حرکت می کند. افزایش تعداد عناصر کلاف و افزایش سرعت کلیدزنی باعث چرخش یکنواخت^۲ الگوی میدان می شود. معمولاً و در شکل ۵ - ۱۹ (ب) نیز پلهای ۶ درجه الکتریکی هستند.

در این روش سیم پیچی ایستانه شکل ۵ - ۱۹ (ب) را می توان به صورت عمومی^۳ در نظر گرفت. یعنی، آن را می توان برای هر نوع ماشینی مثل سنکرون، جریان مستقیم، یا موتور القایی مورد استفاده قرار داد. موتورهای جریان مستقیم و سنکرون دارای گردانه های مشابهی هستند. در حالت جریان مستقیم، گردانه میزان کلیدزنی آرمیچر را کنترل و از تزریق جریان در محور طولی اطمینان حاصل می کند. در موتور سنکرون، آرمیچر گردانه را کنترل می کند به طوری که گردانه قفل^۴ می شود و میدان آرمیچر را دنبال می کند، و برخلاف موتور جریان مستقیم اگر بار

1- Resolution

2- Uniform

3- Universal

4- Lock-in

الکترونیکقدرت

از حد مجاز تجاوز کند موتور سنکرون از کار وامی ماند^۱ . با گردانه قفس سنجابی ، ماشین به موتور القای تبدیل می شود و با سرعتی تقریباً مناسب با میزان کلیدزنی کار خواهد کرد . وارونگر تیریستوری تمایل به یکسان کردن حرکت های الکتریکی دارد . حتی با اینکه وارونگر دارای ترکیب بنیادی معینی است اکنون مدولهای کلیدزنی تیریستوری است که با مشخصه های بار ماشین خود را وفق می دهند و نه بر عکس . نکته مهم دیگر اینکه وارونگرها برای ماشین ها این امکان را ایجاد کرده اند که گرچه کاملاً بدون جایه اگن نباشند ولی حداقل از اتصالات کلیدزنی مکانیکی لفزان مبرا باشند .

مراجع

1. Roters, H. C. (1947), 'The hysteresis motor', *A.I.E.E. Trans.* **66** 1419.

كتابنامه

- Power applications of controllable semiconductor devices* (1965), I.E.E. Publication, No. 17.
- Griffin, A. W. J. and Ramshaw, R. S. (1965), *Thyristors and their applications*, Chapman and Hall, London.
- Rosenberry, G. M. (1960), 'A new brushless d.c. excited rotating field synchronous motor', *Proc. A.I.E.E. Applications and Industry*, 136.
- Edwards, J. D., Harrison, E. H. and Stephen, D. D. (1966). 'Thysyn motors'. *A.E.I. Engineering*, **6**, 36-39.
- Ramshaw, R. S., Griffin, A. W. J. and Lloyd, K. (1965, 1966). 'A brushless adjustable speed motor for extreme environments', *Control pt. I*, **9**, (90) 669-672; *pt. II*, **10** (91) 40-44.
- Wilson, T. G. and Trickey, P. H. (1962), 'D.C. machine with solid state commutation', *Electrical Engineering*, **81** (11) 879.
- Nishimura, M., Murakami, Y., Sakuma, N. and Kuroyama, T. (1969), 'A pulsewidth-controlled cycloinverter', *Electrical Engineering in Japan*, **89** (10).
- St. J. Lamb, C. (1963), 'Commutatorless alternating - voltage fed variable speed motor', *Proc. I.E.E.*, **110** (12) 2221.
- Gallagher, P. J., Barrett, A. and Shepherd, W. (1970), 'Analysis of single-phase rectifier thyristor-controlled load with integral-cycle triggering', *Proc. I.E.E.*, **117**, (2).

واژه‌نامه فارسی - انگلیسی

۷

Load current Detection
Error detection
Dopping
Dopped
Baring

آشکار سازی (بازیابی) جریان بار
آشکار سازی خط
آغارش
آغاریده
آهسته چرخاندن

الف

Junction
A.C. contactor
Energy loss
Power dissipation
Field forcing
Regeneration
Resolution
Interlinked
Stall
Diffuse
Saturation

اتصال ، پیوندگاه
اتصال ده جریان متناوب
اتلاف انرژی
اتلاف قدرت
اجبار میدان
احیا سازی
ادغام
ارتباط درونی
از کار و امانند
اشاعه یافتن
اشیاع

| | |
|------------------------|-------------------------|
| الكترونيک قدرت | ۲۷۶ |
| stiction | اصطکاک |
| Thermal runaway | افسار گسیختگی حزارتی |
| Harmonic distortion | اعوجاج هارمونیک |
| Induction | القا |
| Power electronics | الكترونيک قدرت |
| Storage | انبارش، ذخیره |
| Tap | انشعاب |
| Mechanical tap changer | انشعاب تغییض کن مکانیکی |
| Static | ایستا، ساکن |
| Stator | ایستانه، استاتور |

ب

| | |
|---------------------|----------------------|
| Conventional supply | باتری معمولی |
| Reconnect | باز بست |
| Recombination | باز ترکیبی |
| Reset | باز نشانی |
| Permissible band | باند مجاز |
| Chop | بوش دادن |
| Chopper | برشگر |
| Jones chopper | برشگر جونز |
| Version | برگردان |
| Superposition | برهم نهی |
| Dislodge | به جلو راندن |
| Encapsulated | به صورت کپسول |
| Normalization | بهنجار سازی ، بهنجار |
| Optimization | بهینه سازی |
| Quasi optimized | بهینه وار |
| Maximum | بیشینه |

پ

| | |
|-------------------|-----------------|
| Terminal | پایانه |
| Feedback | پسخور |
| Electric-backlash | پس زنی الکتریکی |
| Hysteresis | پساند، هیسترزیس |
| Wafer | پولک |
| Inching | پویش سانتیمتری |
| Module | پیش ساخته، مدول |
| Fuel cell | پل سوختی |
| Covalent bond | پیوند هم ظرفیتی |

ت

| | |
|--------------------------|--------------------------|
| Unit step function | تابع تک پلمای |
| Describing function | تابع توصیفی |
| Delay | تأخير |
| Laplace transform | تبديل لابلاس |
| A.C. exciter | تحریک کننده جریان متناوب |
| Analysis | تحلیل |
| Harmonic analysis | تحلیل هارمونیک |
| Tetrode | تترود |
| Level | توازن |
| Uni-junction transistor | ترازیستور تک پیوندی |
| Hogging | ترک برداشت، تغییر شکل |
| Synthesis | ترکیب |
| Regenarative braking | ترمز احیا سازی |
| Triac | تربیاک |
| Triode | تربیود |
| Nuclear radiation | تشعشعات اتمی |
| Attenuate | تضعیف |
| Rotary frequency changer | تغییض کننده فرکانس چرخان |

| | |
|-----------------------|--------------------|
| الكترونيک قدرت | ۲۷۸ |
| Amplifier | تقویب کننده |
| Monostable | نک حالتی |
| Gate power loss | تلفات قدرت دریچه |
| Leakage power loss | تلفات نشتی قدرت |
| Fluctuation | نموج |
| Fast turn-on | تنددکار |
| Regulation | تنظیم |
| Prototype interruptor | توقف ساز نمونه دار |
| Thyatron | تیراترون |
| Thyristor | تیریستور |
| Matched thyristor | تیریستور تطبیق شده |

ث

| | |
|---------------|------------|
| Time constant | ثابت زمانی |
|---------------|------------|

ج

| | |
|-----------------------|---------------------------|
| Displacement | جابه جا سازی |
| Commutatore | جابه جاکن |
| Forced commutation | جابه جایی اجباری |
| Line commutation | جابه جایی خط |
| A.C. line commutation | جابه جایی خط جریان متناوب |
| Impulse commutation | جابه جایی ضربه |
| Natural commutation | جابه جایی طبیعی |
| Phase commutation | جابه جایی فاز |
| Boolean algebra | جبر بول |
| Truth table | جدول حقیقت |
| Pick-up current | جریان تداخل |
| Inrush current | جریان تهاجمی |
| Latching current | جریان قفلی |

۲۷۹

Holding current
Coupling

وازن‌نامه
جریان نگهدارنده
جفت شدگی ، کوپلاز

ج

چند ضربانی (نوسانساز) آزاد هیچ حالتی

Astable(free running) multivibrator

چند ضربانی تک ضربهای

One shot multivibrator

چند ضربانی چرخش آزاد

Free running multivibrator

چند ضربانی دو حالت

Bistable multivibrator

ح

Majority charge carriers

حاملهای اکثربیت بار

Harmonic elimination

حذف هارمونیک

Hole

حفره

Mesh

حلقه

خ

Buffer capacitor

خازن ضربه گیر

Resonant turn-off

خاموشی تشبدیدی

Gate turn-off

خاموشی دریچه

Harmonic neutralization

خنثی‌سازی هارمونیک

Self-commutation

خود جابه جایی

Servo

خود کنترل

Voltage surge

خیز ولتاژ

د

Junction temperature

درجہ حرارت اتصال

الكترونيک قدرت

| | |
|---------------------|---------------|
| Gate | دربیچه |
| Binary | دودویی |
| Period | دوره |
| Duty cycle | دوره‌کار |
| Dual | دوگانه |
| Diac | دیاک |
| Free wheeling diode | دیود چرخ‌آزاد |
| Zener diode | دیود زنر |

ر

| | |
|--------------|--------------------|
| Trigger | راه انداختن |
| Conductivity | رسانندگی |
| Tolerance | رواداشت ، تolerans |
| Gate turn-on | روشنی دربیچه |
| Overlap | روی هم افتادگی |

ز

| | |
|---------------|---------------|
| Recovery time | زمان باز یافت |
| Clearing time | زمان برگشتی |
| Rise time | زمان صعود |
| Cascade | زنگیره‌ای |
| Subshell | زیر لایه |
| Under-damped | زیر میرا |

س

| | |
|-----------|---------|
| Clockwise | ساعتگرد |
| Wear | ساییدگی |
| Ramp | سراشیبی |
| Velocity | سرعت |

۲۸۱

Train of pulses
Periphery
Smoothing choke
Kramer system

وازنامه
سری پالسها
سطح بروني
سلف صافی
سیستم کرامر

ش

Quasi rotating
Simulator
Simulate
Accelaration
Backlash
Avalanch breakdown
Wave shaping
Waveform
Sinusoidal waveform
Ring counter
Bus

شبه چرخان
شبیه ساز
شبیه سازی ، تجسم
شتاب گیری
شکافی
شکست بهمنی
شكل دادن موج
شكل موج
شكل موج سینوسی
شمارنده حلقه‌ای
شین

ص

Textile mill

صنایع نساجی

ض

Impulse
Winding factor

ضربه
ضربه سیم پیچی

ط

Ringing

طنینی

ظ

| | |
|-------------------|---------------|
| Isolation | عایق ، جداشده |
| Counter-clockwise | عكس ساعتگرد |
| Signal | علامت |
| Firing signals | علامی فرمان |
| Operator | عملگر |

ع

| | |
|--------------|----------|
| Inhomogenety | غیر همگن |
|--------------|----------|

ف

| | |
|---------------|---------------------------------|
| Split phase | فاز شکسته |
| Phasor | فازوری |
| flip-flop | فلیپ - فلاپ (فراز - فرود) |
| J-K flip-flop | فلیپ - فلاپ (فراز - فرود) J . K |
| Over damped | فوق میرا |

ق

| | |
|----------------------|------------------------|
| Withstand capability | قابلیت ایستادگی |
| Salient pole | قطب برجسته ، قطب آشکار |
| Interpole | قطب کمکی |
| Polarity | قطبیت |
| Cut-off | قطع |
| Clip | قیچی کردن |

ک

| | |
|--------------------------|----------------------|
| Analogue computer | کامپیوتر قیاسی |
| Harmonic reduction | کاهش هارمونیک |
| Traction | کش |
| Reed switch | کلید زبانه‌ای |
| Sequential switching | کلید زنی بی در بی |
| Reciprocating compressor | کمپرسورهای دوسورو |
| Minimum | کمینه |
| By pass | کارگذار |
| Integral cycle control | کنترل سیکلی انتگرالی |
| Time ratio control | کنترل نسبت زمان |
| Position control | کنترل وضعیت |

گ

| | |
|-------------------|---------------------------|
| Rotor | گردانه ، روتور |
| Heat sink | گرمادا |
| Overheating | گرمادگی |
| Extensive | گسترش یابنده |
| Range | گستره |
| Discontinuity | گستنگی |
| Torque | گشتاور |
| Moment of inertia | گشتاور لختی ، معان اینرسی |

ل

| | |
|--------|--------|
| Slip | لغزش |
| Wipper | لغزندہ |

| | |
|---------------------------------|---------------------------|
| Machinery | ماشین آلات |
| Transformer | مبدل |
| Variable | متغیر |
| Clamp | محدود کردن |
| Direct current drive | محرك جريان مستقيم |
| Quadrature axis | محور طولی |
| Short circuit | مدار اتصال کوتاه |
| Circuit breaker | مدار بر |
| Phase advance network | مدار تصحیح فاز |
| Schmidt trigger | مدار فرمان اشمیت |
| logic control circuit (IC) | مدار کنترل منطقی |
| Integrated circuit (IC) | مدار مجتمع |
| Clamping circuit | مدار محدود کننده |
| Pole-amplitude modulation | مدوله کردن دامنه قطب |
| Orbital path | مسیر چرخشی |
| Bleeding Path | مسیر دررویی |
| Intensive | مشدد |
| Bleeding resistor | مقاومت سالم ساز |
| Non-Linear resistance | مقاومت غیر خطی |
| Balancing resistor | مقاومت متعادل کننده |
| Bulk resistivity | مقاومت مخصوص تنہ |
| Rating | مقدار اسمی |
| Auxiliary commutative supply | منبع تغذیه جایه جایی کمکی |
| Quasi three phase supply | منبع تغذیه شبہ سه فاز |
| Yield | منجر شدن |
| Logic | منطق |
| Resistor-transistor logic (RTL) | منطق مقاومت - ترانزیستور |
| Depletion layer | منطقه تهی |
| Back to back | موازی معکوس |
| Brushless motor | موتور بدون جاروبک |

۲۸۵

| | |
|-----------------------|---------------|
| Tacho-generator | واژه‌نامه |
| Fundamental component | مولد سنجش |
| Assembly | مؤلفه اصلی |
| Stray field | مونتاژ |
| Damped | میدان پراکنده |
| Critical damped | میرا |
| Calibrate | میرای بحرانی |
| | میزان کردن |

ن

| | |
|-------------------------|-------------------|
| Acceptor impurity | ناخالصی پذیرا |
| Inbalance | نامتعادل |
| Mark-space ratio | نسبت فضا - علامت |
| Karnauch's map | نقشه کارنو |
| Symbol | نماد |
| Diagrammatic | نمایش نموداری |
| Block diagram | نمودار بندالی |
| Intermittent | نوبتی |
| Steel mill | نورد فولاد |
| Torque ripple | نوسانات گشتاور |
| Relaxation oscilator | نوسانساز دیر جنبی |
| Variation | نوع |
| semiconductor | نیمه هادی |
| Intrinsic semiconductor | نیمه هادی طبیعی |

و

| | |
|------------------------------|------------------------|
| Inversion | وارونسازی |
| Inverter | وارونگر |
| Single phase bridge inverter | وارونگر پل تک فاز |
| Impulse-commutated inverter | وارونگر جایه جایی ضربه |

وارونگر مک ماری - بدفورد اصلاح شده

Improve Mc Murray-bedford inverter

| | |
|-------------------------|----------------------------|
| Intermidiairy | واسطه |
| Reactor | واکنشگر، رآکتور |
| Reactive | واکنشی، رآکتیو |
| Converter | واگردان |
| Bidirectional converter | واگردان دو طرفه |
| Device | وسیله |
| Built-in voltage | ولتاژ الکترواستاتیکی داخلی |
| Junction bias voltage | ولتاژ بایاس اتصال |
| Breakdown voltage | ولتاژ شکست |
| ARC voltage | ولتاژ قوسی |
| Transient voltage | ولتاژ گذرا |
| Punch through voltage | ولتاژ مسیر بازکنی |

۵

| | |
|-------------|----------|
| Nucleus | هسته |
| Sympathy | هماهنگ |
| Alignment | همترازی |
| Synchronize | همزمان |
| Uniform | همشکل |
| Isotropic | همه سویه |

۶

| | |
|-----------------------|---------|
| Non-laminated | یکپارچه |
| Mercury arc rectifier | یکسوساز |

برق ۹

درستامدها ۳۴

۵۰۰ ریال

