بسمه تـ

جزوه

الکترونیک صنعتی

دانشگاه

صنعتی امیر کبیر

استاد

دکتر فتحی

Subject: Power Electronics

Date. 1382-7-5

«جلسه اول»

منبع برق موجود :

50 HZ , 220 V , AC

معمولاً منبع تغذیه کننده‌ای برق برای همه کاربردها وجود دارد. در بعضی موارد برای امکان عملکرد مورد نظر در تجهیزات خاص نیاز به برق با مشخصات قابل کنترل و متفاوت با مشخصات برق شبکه دارند.

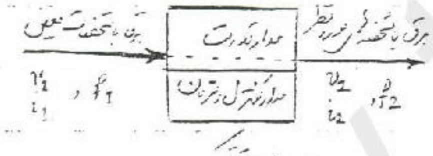
هر دستگاه برقی برای کار در شرایط مورد نظر نیاز به برق با مشخصات معین (f , I , V) دارد.

برای تبدیل منبع انرژی از شرایط موجود به برق با مشخصات مورد نظر از دستگاهی به نام مبدل (Converter) استفاده می‌کنیم.

مبدل دستگاهی است که مشخصات برق (مثلاً f , I , V) را حالت دهی (Conditioning) می‌کند.

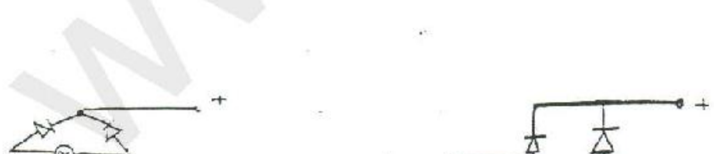
مبدل‌های استاتیک " Static Converters "

در این مبدل‌ها از قطعات نیمه هادی استفاده شده است. این نیمه هادی‌ها، نیمه هادی‌های قدرت هستند.

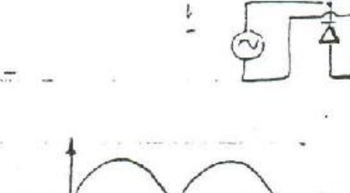


اگر تقسیم بندی کلی مبدل‌های استاتیک را بخواهیم می‌توان آنها را به صورت زیر تقسیم بندی کرد:

۱- مبدل ac به dc (یکسوکننده Rectifier).



یکسوکننده ←

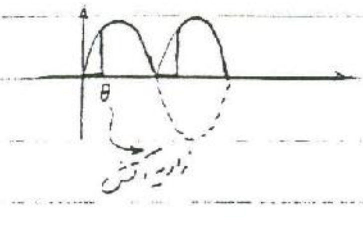


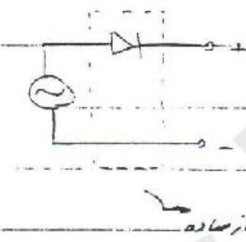
با استفاده از تریستورها به جای دیودها می‌توان مقدار dc را تغییر هم داد. (تریستور، قابلیت هدایت هم قابلیت کنترل جریان عبوری را دارد)

www.ttmar.ir

Subject: Date.

اصولاً بعد از پایه سوم تریستور فرمان داده این نقطه شروع به هدایت کند یعنی تریستور در جهت هدایت شرط لازم و کافی برای هدایت آن نیست و لحظه ای که به تریستور فرمان هدایت داده می شود را اصطلاحاً زاویه آتش گویند.

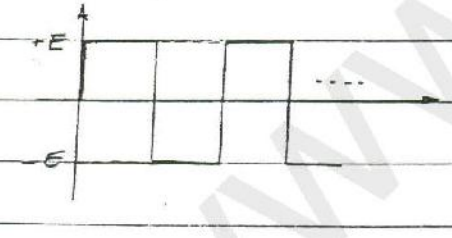


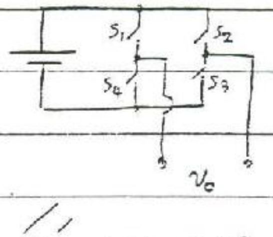


یکسوساز ساده

2- مبدل DC به AC : "Inverter"

معمولاً در انتقال برق که هر یک از این نوع مبدل ها استفاده می شود. گاه ممکن است در نیروگاه برق از ac به dc تبدیل شود و سپس به صورت HVDC منتقل شود تا در محل مصرف مجدداً توسط یک مبدل DC به AC به برق مورد نیاز مصرف کننده ها تبدیل شود. از مبدل یکسو ساز که در جهت عکس به عنوان Inverter استفاده کرد. کاربرد دیگر این تبدیل برای برق های اضطراری است که ابتدا برق در یک سری باتری ها ذخیره می شود و در هنگام نیاز توسط یک سری مبدل به برق AC مورد نیاز مصرف کننده ها تبدیل می شود.

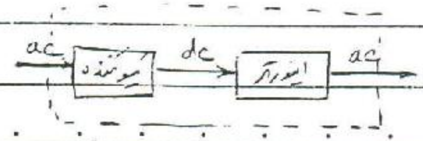




کلیدها می توانند ترانزیستور، تریستور یا هر وسیله الکترونیکی به صورت سوئیچ باشند.

3- مبدل ac به ac ← مبدل فرکانس ← می توان ابتدا ac را به dc تبدیل کرد و سپس به یک مبدل dc به ac فرکانس مورد نظر را ایجاد کرد.

مبدل مستقیم ← کنترل فرکانس و ولتاژ یا جریان ac



⟸ مبدل غیر مستقیم فرکانس

Subject: Date.

[illegible] در سیستم‌های الکتریکی طرف منبع dc داشته باشد مطرح می‌شود.

چاپرها می‌توانند به دو گونه وجود داشته باشند ـــ افزاینده : سطح ولتاژ خروجی از منبع ورودی بیشتر خواهد بود.

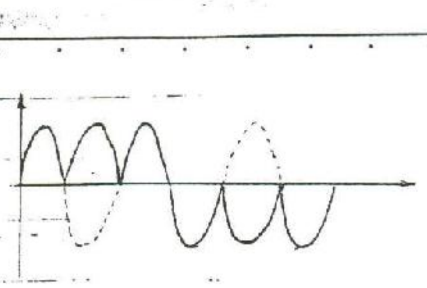
ـــ کاهنده : سطح ولتاژ خروجی کوچکتر از سطح ولتاژ منبع خواهد بود.

فصول درس :

- معرفی بعضی از عناصر نیمه هادی قدرت
- یکسوکننده‌ها
- اینورترها
- بعضی مسائل مرتبط با مبدلها و عناصر نیمه هادی قدرت

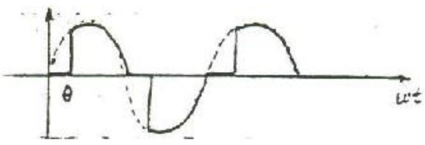
www.ttnar.ir

سیکلوکانورتر ← مبدل مستقیم فرکانسی است



فرکانس جدید ۱/۳ فرکانس منبع اصلی است ←

ترانسفورماتور درصورتی که بخواهیم ولتاژ را با یک نسبت ثابت تبدیل کنیم ساده‌ترین وسیله است.



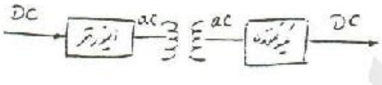
از این قسمت هم برای منبع [illegible] بوسیله تنظیم کننده

چون [illegible] هستند

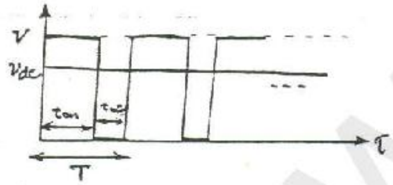
کنترل کننده ولتاژ

مبدل ac به ac :

یک راه تبدیل dc به dc روش تبدیل dc به ac و ac به dc است.

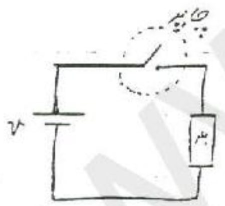


روش دوم استفاده از چاپر یا برشگر است.



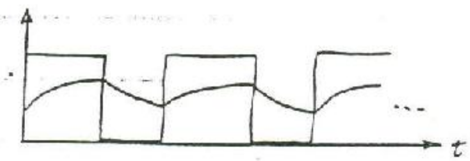
$$v_{dc} = v\frac{t_{on}}{T}$$

کاربرد مدار چاپر در کنترل سرعت موتورهای DC است.



* نحوه سوئیچینگ و سرعت آن در کیفیت کار موتور مؤثر است. بطوریکه هرچقدر سرعت سوئیچینگ بیشتر و درصد دفعه‌ها بیشتر باشد دراین صورت تغییرات جریان خیلی کمتر بوده و به دنبال آن تغییرات سرعت در موتور هم قابل ملاحظه نخواهد بود.

* اینرسی در یک سیستم نشان‌دهنده معادل همان اندوکتانس در یک سیستم الکتریکی است.

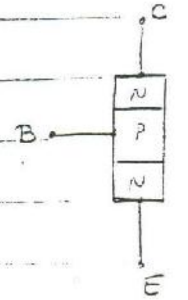


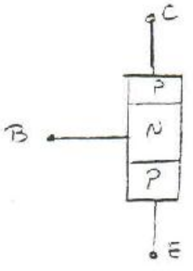
هرچقدر فرکانس بالاتر باشد دراین صورت میزان ریپل های سیستم کاهش می‌یابد بعبارتی میزان تغییرات در کار موتور (مثال) قابل چشم پوشی است و موتور به نحو بهتری به کار خود می‌پردازد.

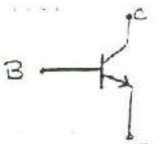
www.ttnar.ir

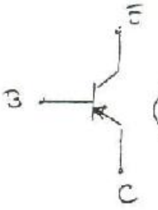
* ترانزیستور قدرت (BJT) :

دارای دو نوع است : npn و pnp :

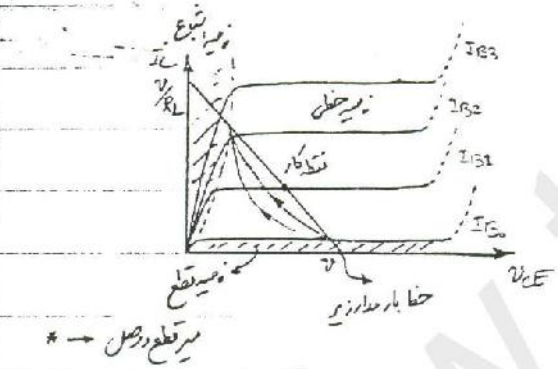






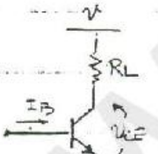


بیشتر از نوع npn در الکترونیک قدرت استفاده می‌شود.



* یادآوری :

* همانطور که می‌دانیم برای پیدا کردن نقطه کار یک ترانزیستور را ابتدا معادله خط بار یک مدار را به دست آوردیم سپس این خط را با منحنی‌های $I_C - V_{CE}$ مدار ترانزیستور تقاطع می‌دهیم نقطه برخورد خط بار با منحنی $I_C - V_{CE}$ به ازای I_B معین ترانزیستور، نقطه کار ترانزیستور ما خواهد بود.



$$\boxed{V = R_L I_C + V_{CE}}$$

* در مدارهای ترانزیستوری غیر قدرت معمولاً آن عنصر در ناحیه خطی استفاده می‌شود این در حالیست که ما در مدارهای قدرت با توان بالایی سروکار داریم و لذا استفاده از ترانزیستور در ناحیه خطی سبب بروز تلفات بزرگ می‌شود. (جریان و ولتاژ در مدار بسیار بالاست)

بنابراین ترانزیستور قدرت هیچگاه در ناحیه خطی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد بلکه در دو حالت قطع و اشباع مورد استفاده قرار می‌گیرد. یعنی به عنوان یک کلید کار قطع و وصل مدار را انجام می‌دهد.

در حالت اشباع ولتاژ نسبتاً کوچک $V_{CE\,sat}$ در دو سر ترانزیستور حاصل می‌شود و عمده ولتاژ به بار می‌رسد و ترانزیستور نخواهد سوخت و مشکل تلفات توان بالا هم وجود نخواهد داشت.

* در حالت کار در ناحیه قطع جریان بیس ناچیز است و در واقع مدار قطع خواهد بود.

* ضریب تقویت جریان برای یک ترانزیستور به صورت زیر تعریف می‌شود: $\beta = \frac{I_C}{I_B}$

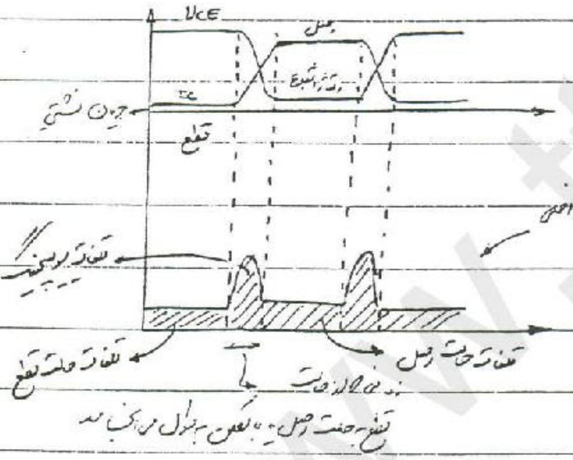
هرچه قدرت برای یک ترانزیستور بالاتر باشد β آن کوچکتر خواهد بود و معمولاً حدود 30-20 است (برای ترانزیستورهای قدرت)

* هرچه ترانزیستور بیشتر در ناحیه اشباع برود مضرات چون فرکانس سوئیچینگ پایین می‌آید زیرا زمان خارج شدن طولانی می‌شود (علی‌رغم اینکه ممکن است سریعتر و بهتر روشن شود.)

بنابراین BJT قدرت یک عنصر کنترل شونده با جریان است و امپدانس ورودی کمی دارد (زیرا امپدانس یک دیود است که در حالت هدایت قرار دارد)

عناصری که با جریان کنترل می‌شوند معمولاً نسبت به عناصری که با ولتاژ کنترل می‌شوند نامطلوب‌ترند.

تلفات سوئیچینگ:


VCE
وصل
ناحیه اشباع
IC
جریان نشتی
قطع
تلفات واقعی
تلفات سوئیچینگ
تلفات حالت قطع
تلفات حالت وصل
زمانی که تبدیل حالت
قطع به حالت وصل و بالعکس به طول می‌انجامد

فرکانس سوئیچینگ را در مرحله اول تلفات سوئیچینگ تعیین می‌کند

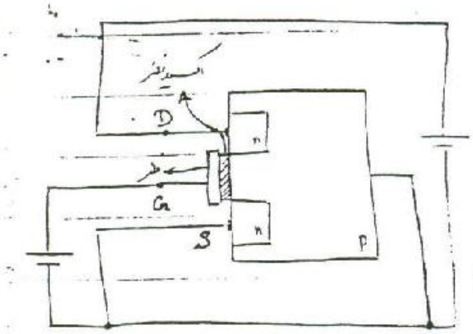
در فرکانس‌های پایین تلفات سوئیچینگ چندان قابل ملاحظه نبوده و تلفات هدایت بیشتر تعیین کننده است

ولی در فرکانس‌های بالا تلفات سوئیچینگ بیشتر تعیین کننده می‌شود.

گفته بودی که چرا محو تماشای منی — آنچنان مات که یکدم مژه بر هم نزنی
مژه بر هم نزنم تا که ز دستم نرود — ناز چشم تو به قدر مژه بر هم زدنی

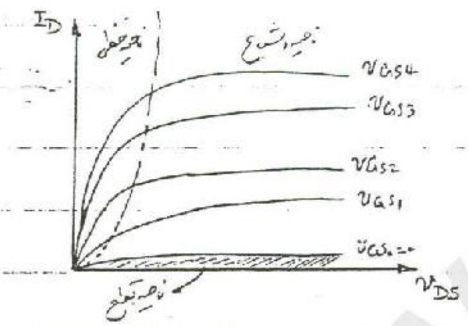
گفته بودی که چرا محو تماشای منی
آنچنان مات که یکدم مژه بر هم نزنی

MOSFET قدرت : "Metal Oxide Semiconductor FET"



* در صورتیکه فقط بخش های n به ولتاژی متصل شود چون ناحیه P در گرایش معکوس قرار می‌گیرد هیچ جریانی نخواهد داشت (در صورتیکه به گیت ولتاژی اعمال نشود) و عملاً ترانزیستور خاموش خواهد بود. ($I_{DS}=0$)

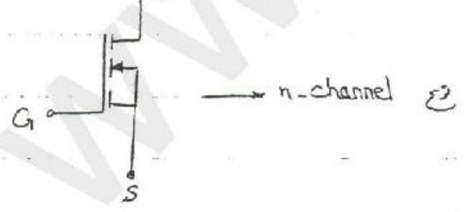
* حال اگر ولتاژ مثبت به گیت اعمال شود، بارهای مثبت در سطح فلز و بارهای منفی در مجاورت اکسید فلز تجمع می‌یابند و هرچه ولتاژ بیشتر شود میزان ناخالصی نوع N در مجاورت اکسید افزوده می‌شود و تجمع این ناخالصی‌ها در مجاورت اکسید مسیری برای حرکت جریان از درین به سورس فراهم خواهد نمود — مسیر برای عبور جریان حاصل می‌شود و جریان در این حالت از ترانزیستور عبور خواهد کرد.



$v_{GS4} > v_{GS3} > v_{GS2} > v_{GS1} > v_{GS}$

* در ناحیه خطی I_D به صورت خطی برحسب V_{DS} تغییر می‌کند ولی در حالت پس از مقدار معین ترانزیستور به حالت اشباع می‌رود و I_D تقریباً مقدار ثابتی خواهد شد. به خاطر جریان درین بالا و ولتاژ درین کم، ترانزیستورهای قدرت در منطقه خطی جهت کلیدزنی به کار می‌روند. در ناحیه اشباع، جریان درین به ازای هرگونه افزایش در V_{DS} تقریباً ثابت است و لذا در این منطقه به عنوان تقویت کننده ولتاژ کاربرد دارد.

نماد مداری این ترانزیستور به شکل زیر است :



* نوع دیگر این ترانزیستورها P-channel است که مشابه نوع کانال n است و با نوع ناحیه‌های مخالف و با پلاریته ولتاژهای مخالف. MOSFET یک عنصر با امپدانس ورودی بسیار زیاد و کنترل شونده با ولتاژ است.

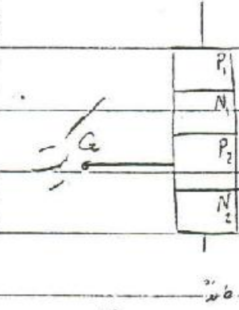
مقایسه بین BJT قدرت و MOSFET قدرت :

MOSFET	BJT
امپدانس ورودی بالا، کنترل شونده با ولتاژ	امپدانس ورودی کم، کنترل شونده با جریان
فرکانس کار بالا	فرکانس کار متوسط
افت ولتاژ هدایت بیشتر	افت ولتاژ هدایت کمتر
تغییر پذیری دمایی بالاتری دارد	تغییر پذیری دمایی کمتری دارد
کنترل راحت‌تر	کنترل مشکل‌تر
در قدرت‌های پایین‌تر موجود است.	در قدرت‌های بالاتر موجود است

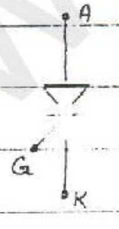
تریستورها Thyristor یا SCR (Silicon Controlled Rectifier)

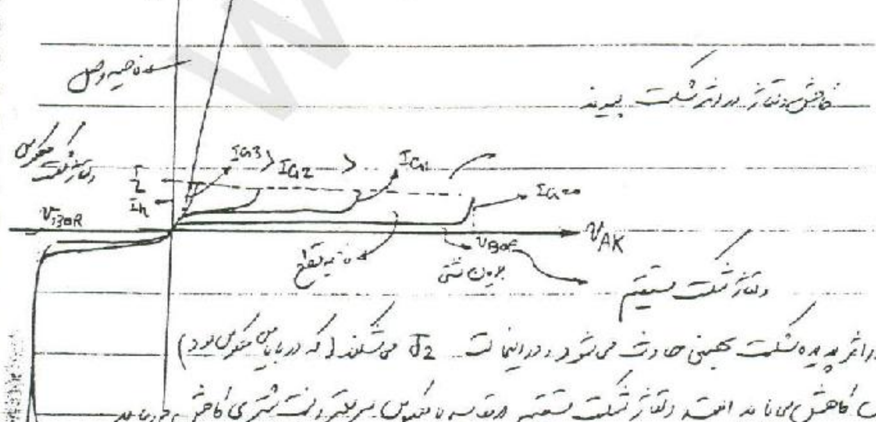
این عنصر در گرایش معکوس مثل دیود قطع است ولی در گرایش مستقیم علاوه بر قطع حالت هدایت نیز دارد.

این عنصر یک المان نیمه هادی چهار لایه با ساختار PNPN است، سه پیوند PN و سه ترمینال A، K، G است.



علامت مداری آن به شکل زیر است :





کاهش ولتاژ در اثر شکست بهمنی

V_{BOR} و V_{BOF} معمولاً در برگه‌ها هستند.

V_{BOF} ولتاژ شکست مستقیم است که در اثر پدیده شکست بهمنی حادث می‌شود و در اینجا است J_2 می‌شکند (که در بایاس معکوس بود)

با افزایش I_G ولتاژ شکست مستقیم و معکوس کاهش می‌یابد اما ولتاژ شکست مستقیم در مقایسه با معکوس سریعتر و به نسبت بیشتری کاهش می‌یابد

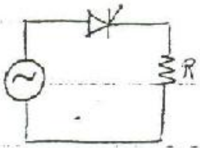
* جریان گیت نسبت به BJT کمتر است یعنی یک تریستور به جریان کمتری (گیت) نسبت به جریان بیس BJT برای هدایت نیاز دارد.

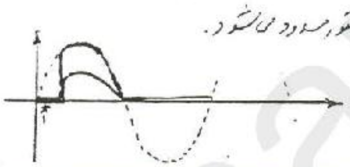
* نیازی به وجود جریان گیت پس از روشن شدن تریستور نیست حتی اگر این جریان قطع شود باز هم تریستور روشن شده، روشن خواهد ماند و این براساس فیدبک مثبت آن است.

* Latching Current: I_L سطح جریانی که به ازای آن تریستور روشن شده و به حالت هدایت می‌رود.

* شرط اینکه تریستور از حالت قطع به حالت وصل برود این است که جریان آن از I_L بیشتر شود.

* holding Current: I_h سطح جریانی است که تریستور را در حالت هدایت نگه می‌دارد (مادامی که جریان از این مقدار بزرگتر است). یعنی تا زمانی که جریان تریستور از آن کمتر نشده به هدایت ادامه می‌دهد اما در صورت تنزل یافتن نسبت به آن به دلیل تعداد کاهش یافته حاملین، نقاط متصل در اطراف J2 قطع شده و تریستور مسدود می‌شود.



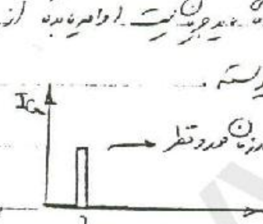


ولتاژ شکست تریستور باید حتماً فراتر از پیک ولتاژ منبع باشد (در مدار شکل فوق)

در لحظه مورد نظر جریان گیت را این گیت داده که برقرار می‌سازیم (معمولاً به صورت پالس، ضمناً میزان این جریان هم دارای اهمیت است) (جریان گیت را عملاً در جهتی اعمال می‌کنیم که برروی منحنی هدایت واقع شود)

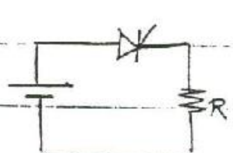
نکته

* تزریق جریان گیت در این ناحیه ضروری نبوده تا تریستور روشن شده و هدایت کند و در این ناحیه نیازی به جریان گیت ادامه یابد از I_L فراتر برود و معمولاً برای تریستور از یک پالس جهت روشن ساختن استفاده می‌شود و نه یک جریان ممتد و پیوسته.



یعنی پالس در زمانی که اطمینان لازم جهت روشن شدن وجود داشته باشد اعمال شود

در مدارهایی که منبع dc است کنترلی برروی تریستور وجود نخواهد داشت. و پس از روشن شدن آن باید راهی مناسب جهت خاموش کردن آن یافت. مثلاً از یک مدار دیگر باید استفاده کرد که این کار را برای ما انجام دهد.



کنترل بر روی این مدار وجود ندارد

نکته: برای قطع شدن تریستور لازم است که اولاً جریان آن از سطح جریان I_h کمتر شود و ثانیاً برای مدت زمان مشخصی پتانسیل الکتریکی بین آند و کاتد منفی بماند. (در حالت وصل $V_{AC}=0$ و در حالت قطع $I=0$)

www.ttmar.ir

* عواملی که در کاهش ولتاژ شکست تریستور ~~[illegible]~~ نقش دارند :

۱) جریان گیت

۲) دما ـــــ افزایش دما سبب شکسته شدن پیوندهای بیشتری می‌شود و در نتیجه ولتاژ شکست کاهش خواهد یافت

۳) نور تابش آن ـــــ فتوتریز. نوعی از تریستور است

۴) اعمال ولتاژ ناگهانی (dV/dt زیاد)

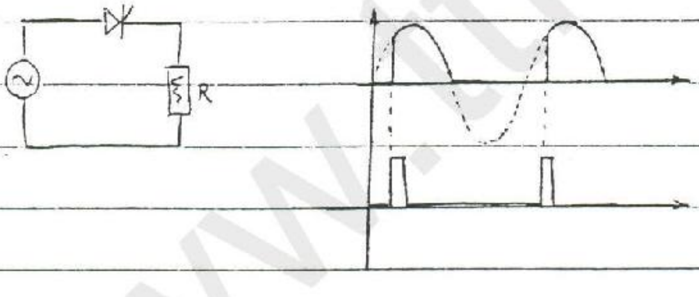
شرایطی که پالسهای اعمالی به گیت داشته باشند :

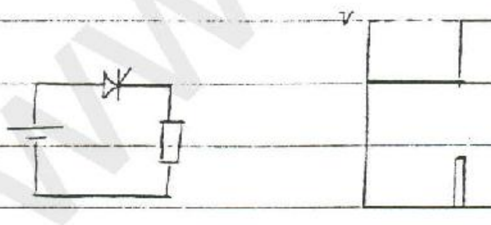
۱) دامنه مناسب داشته باشند.

۲) پهنای پالس به اندازه کافی باشد.

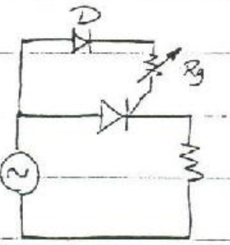
۳) پالس اعمالی سنکرون با منبع ac موجود در مدار باشد

۴) نسبت به موج منبع ac قابلیت تغییر فاز را داشته باشد





مدار فرمان تریستور :

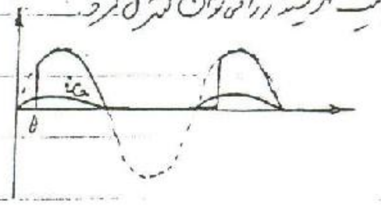


دیود برای حفاظت تریستور در مقابل ولتاژ منفی منبع قرار گرفته است.

(زاویه آتش از نزدیک صفر تا $\pi/2$ می‌تواند تغییر کند.

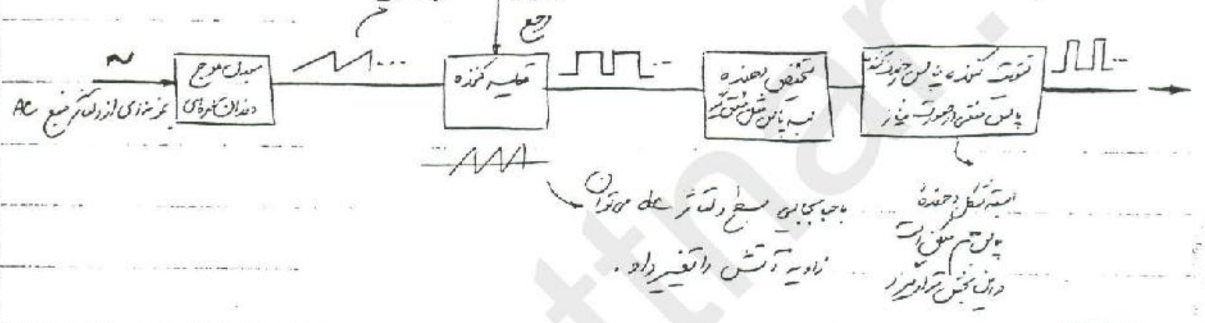
در نیم سیکل منفی ولتاژ به گیت اعمال نمی‌شود چون گیت ممکن است بسوزد

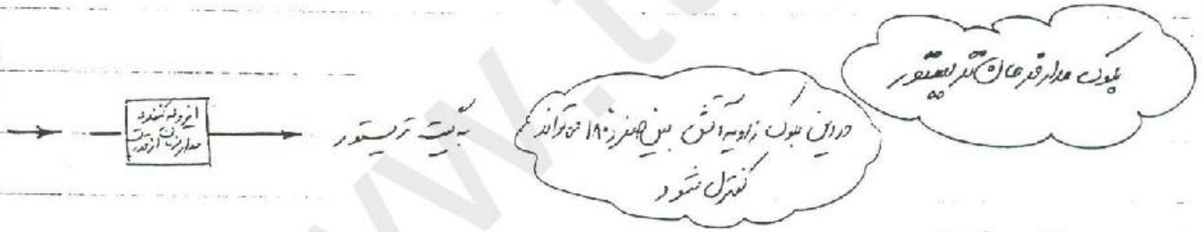
برای تغییر زاویه آتش می‌توان از تغییر R2 استفاده کرد و بدین ترتیب جریان گیت تریستور را یا توان کنترل کرد.



زاویه آتش در این مدار به طور دقیق و اطمینان قابل کنترل نیست زیرا عواملی چون دما و درجه حرارت در تغییر زاویه آتش مؤثرند. ضمناً کنترل θ بین صفر و $\frac{\pi}{2}$ است.

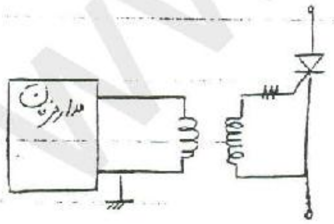
* مطمئن‌ترین مدار، مداری است که پالس را در زمان مورد نظر فراهم سازد و اتفاقاً پس از روشن شدن تریستور، پالس قطع شود. علت مطمئن نبودن پالس نسبت به مدار قبلی این است که عوامل محیطی ممکن است سبب روشن شدن تریستور شوند — شکل زیر بلوک دیاگرام مورد نظر و چند زیرشاخه خواهد داشت.


سنکرون با منبع ac است
ولتاژ dc مرجع
نمونه‌برداری از ولتاژ منبع AC
مبدل موج دندانه اره‌ای
مقایسه کننده
تشخیص دهنده لبه پالس مثبت
تقویت کننده پالس و ...
پالس مثبت به صورت ...
با جابجایی سطح ولتاژ dc می‌توان زاویه آتش را تغییر داد.
البته شکل دهنده پالس هم ممکن است در این بخش قرار گیرد

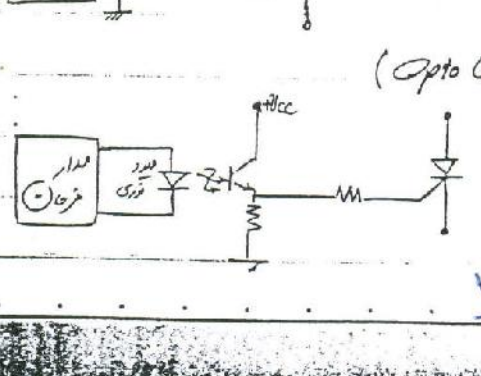

بلوک مدار فرمان تریستور
ایزوله کننده مدار فرمان از قدرت
گیت تریستور
در این بلوک زاویه آتش بین صفر تا ۱۸۰ می‌تواند کنترل شود

ایزولاسیون مدار فرمان :

۱) استفاده از ترانس ایزولاسیون



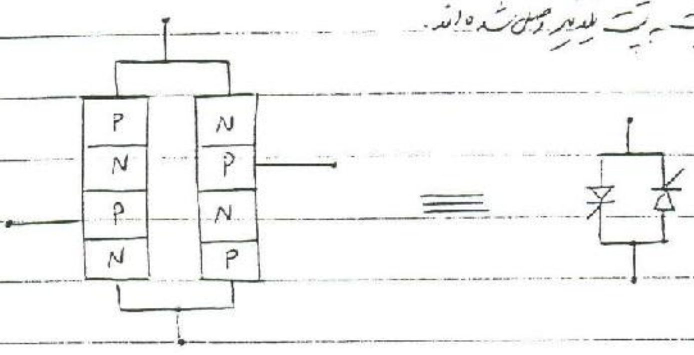
۲) ایزولاسیون با استفاده از کوپلاژ نوری (Opto Coupler)


+Vcc
مدار فرمان
دیود نوری

Subject: Date.

تریاک : "TRIAC"

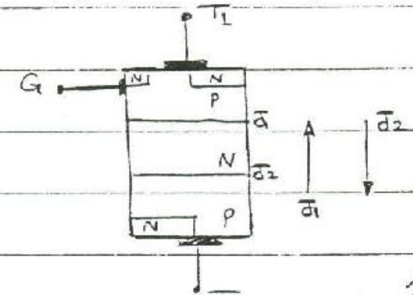
معادل یک مدار است که از دو تریستور پشت به پشت یکدیگر وصل شده اند.



معادل دو تریستور موازی معکوس

Anti parallel

برای خاصیت حقیقی اتصالات به شکل زیر ساخته می‌شوند :

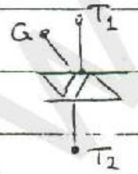


J_1 ← پیوند بایاس معکوس هرگاه جریان مثبت از T_2 به سمت T_1 باشد

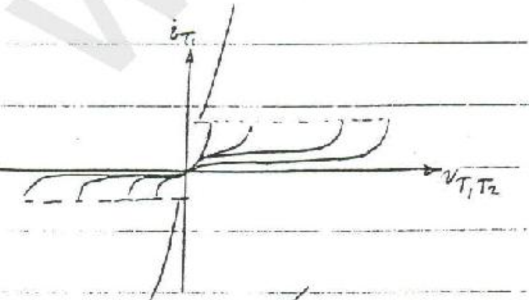
J_2 ← " " " " T_1 به T_2 باشد.

معمولاً یک جریان گیت (مثبت یا منفی) هرگاه به اندازه کافی باشد می‌تواند این تریستور را در جهتی که بایاس شده است به هدایت وادارد.

نمایش مداری این قطعه به شکل زیر است :



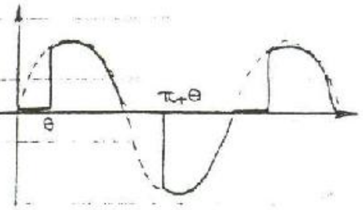
منحنی این قطعه در شکل زیر رسم شده است :

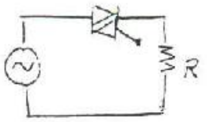


حساسیت تریاک در دو جهت یکسان نیست (برای i_G مثبت و منفی) یعنی در یک جهت حساس‌تر است که حساسیت از طرف دیگر کمتر می‌شود با تغییر جهت i_G

www.ttnar.ir

از این شکل می‌توان فهمید استفاده کردن از ترایاک را که به عنوان ترانزیستور هم می‌توان مورد استفاده قرار داد.

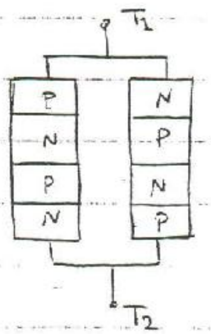


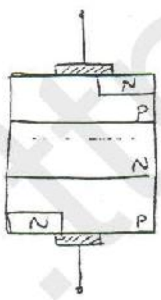


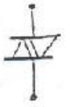
در کنترل کننده ولتاژ ac می‌توان بکار برد.

دیاک "DIAC" :

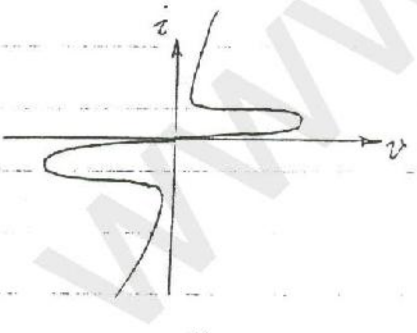
بیشتر در کنترل و تریگر کردن مدارهای قدرت کاربرد دارد ولی جزو قطعات قدرت نمی‌توان آن را محسوب کرد.

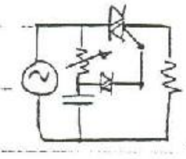






معمولاً برای تریگر کردن ترانزیستور و ترایاک بکار می‌رود.

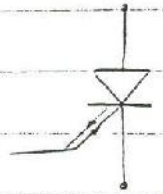




مدار کنترل ساده برای ترایاک

زمانی که ولتاژ شارژ خازن به ولتاژ شکست دیاک رسید آنگاه دیاک روشن شده جریان گیت برقرار می‌شود و آنگاه ترایاک روشن می‌شود پس از تخلیه خازن در مقاومت، در نیم سیکل بعدی روال مشابه در جهت مخالف صورت خواهد گرفت. برای تغییر زاویه آتش و زمان شارژ خازن از یک مقاومت متغیر استفاده می‌شود.

GTO "Gate Turn off Thyristor" :



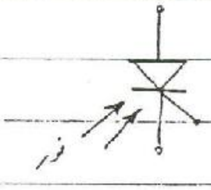
با تزریق جریان مثبت به گیت (پالس مثبت) روشن می‌شود و با تزریق جریان منفی در گیت (پالس منفی) خاموش می‌گردد.

مدارهایی که ترانزیستورها از لحاظ قدرت جوابگو نیستند این قطعه می‌تواند بکار رود.

محسنات تریستور و ترانزیستور را باهم دارد.

از لحاظ قدرتی از ترانزیستورها بالاتر و از تریستورها در سطح قدرت پایین‌تری کاربرد دارد.

فوتوتریستورها: LASCR یا Light Activated SCR یا تریستور نوری



البته این قطعه معمولاً غیر از گیت حساس به نور، گیت معمولی هم دارد.

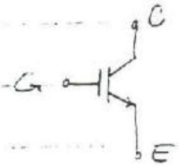
این قطعه برای مدارهای ایزولاسیون قطعه‌ای مناسب می‌تواند باشد.

www.tnar.ir

Subject:

Date. 1382-7-19

ترانزیستور IGBT : Insulated Gate BT

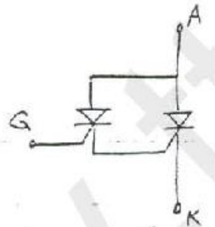


شکل مداری عنصر بصورت زیر است :

این عنصر کنترل شونده با ولتاژ است . این عنصر از لحاظ ورودی مثل یک MOSFET عمل می‌کند اما از دید پایه های خروجی مثل یک BJT است با تلفات کم این عنصر .

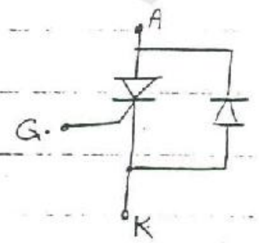
این عنصر مزایای دو عنصر BJT و MOSFET را بصورت یکجا دارد یعنی کنترل راحت تر و با تلفات کمتر MOSFET (کنترل شونده با ولتاژ) راحت تر و تلفات هدایت کمتر BJT را دارد .

Amplifying Gate SCR :



می دانیم هنگامیکه جریان گیت یک تریستور اعمال می‌شود باعث روشن شدن آن روزنه‌ای در پیوند معکوس برقرار شده و مسیری برای عبور جریان از آند به کاتد آن ایجاد می‌شود حال اگر میزان $\frac{di}{dt}$ ورودی از آند به کاتد تغییر سریعی داشته باشد و زیاد شود آنگاه چگالی جریان در سطح روزنه ایجاد شده ممکن است از حد توان عنصر بیشتر شود لذا برای حل این مشکل کاری که انجام می‌شود این است که از یک تریستور دیگر بصورت شکل فوق استفاده می‌شود بطوریکه با جریان کوچکتر روشن شدن تریستور کمکی آنگاه تریستور اصلی روشن می‌شود در واقع یک نوع تقویت داخلی صورت گرفته است .

"Reverse Conducting" RCT :

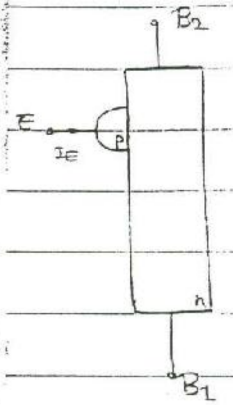


www.tinar.ir

Subject: Date.

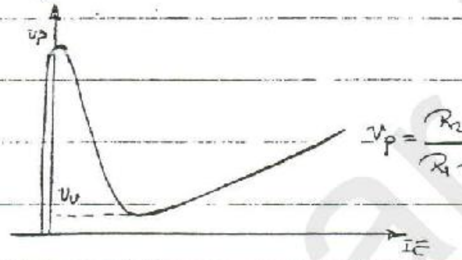
ترانزیستور تک اتصالی : "Uni Junction Transistor" UJT

تشکیل شده است از یک نیمه هادی با یک نوع ناخالصی که معمولاً از نوع n است. درجه ناخالصی در این نیمه هادی به گونه ای است که بین دو سر پایه های آن مقاومت زیادی وجود دارد. ناخالصی دیگری از نوع P بر سطح آن همچون شکل روبرو متصل می شود.



ولتاژ قله ← v_P

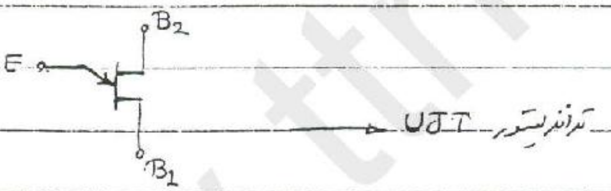
ولتاژ دره ← v_v

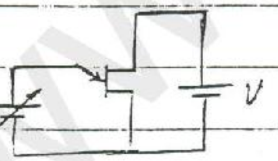


$$v_P = \frac{R_2}{R_1+R_2} V + v_D$$

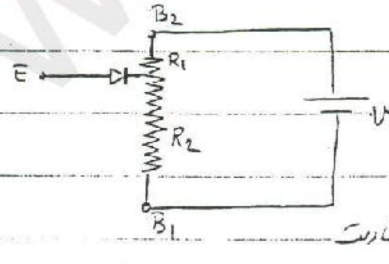
ولتاژ هدایت دیود

نماد مداری این عنصر :





UJT را می توان به شکل زیر مدل کرد:



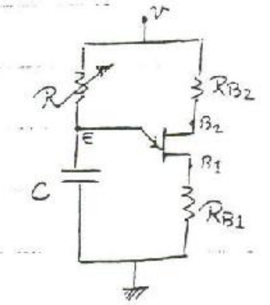
وقتی ولتاژ به مقدار v_P رسید آنگاه ترانزیستور روشن می شود و در حالت هدایت قرار می گیرد در حال مقاومت R_2 به شدت کاهش می یابد و به دنبال آن مجموعه از خود اثر مقاومت منفی نشان می دهد یعنی پس از رسیدن ولتاژ به یک مقدار حداقل با اضافه شدن جریان I_E ولتاژ کمی افزایش می یابد. به صورت ترانزیستورهای معمولی ها، بنابراین R_2 متناوباً تغییر می کند.

طبق تعریف :

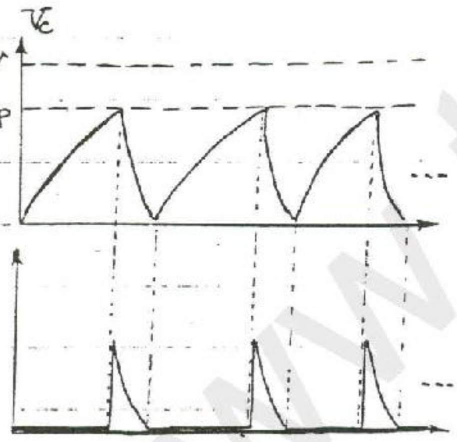
ضریب بی‌بعد $\eta = \frac{R_2}{R_1+R_2}$

→ Intrinsic Stand Off Ratio

* یکی از مدارهایی که UJT در آن کاربرد دارد در زیر آمده است (مدارهای نوسان‌ساز)



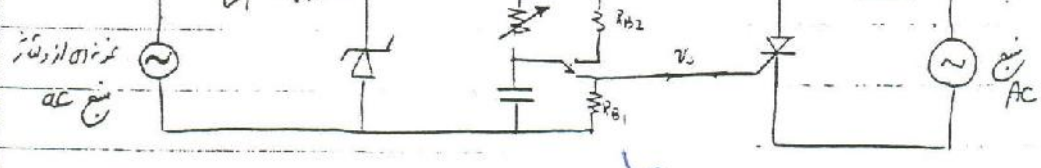
* نحوه عملکرد این مدار به این صورت است که در ابتدا UJT خاموش است و خازن از طریق منبع DC ، V شارژ می‌شود تا زمانی که میزان شارژ به حدی برای ترانزیستور برسد آنگاه UJT روشن شده و خازن دشارژ می‌شود وقتی ولتاژ در سر UJT به مقدار Min رسید خاموش می‌شود و دوباره عمل تخلیه شروع و تکرار می‌شود.



مدار فوق .Relaxation Osc نام دارد.

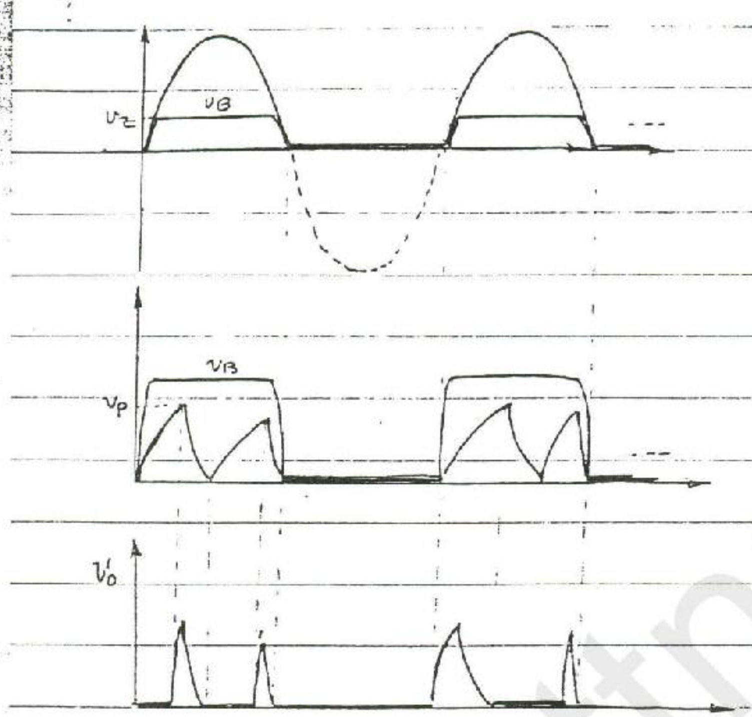
استفاده از UJT برای تریگر کردن تریستورها

مدارهایی که در این کاربرد مورد استفاده قرار می‌گیرد چون شاخه‌ی جدا مانند دارد که باید پس از آنچه از قبل می‌دانیم به منبع ac وصل شده باشد لذا نمونه‌ای از آن را می‌کشیم.



۱۵

نمودارهای عملکردی مدار:



ضمناً اولین پالس معمولاً تریستور را روشن می‌کند چون با توجه به شکل صفحه قبل مدار شروع پالس اول در هر بازه زمانی مشخص است یعنی زاویه آتش تریستور همواره در سیکل‌های مختلف ثابت است و بنابراین مسئله سنکرون سازی در این مدار حل شده است

گاهی اوقات ممکن است زاویه آتش آنقدر کوچک شود که تریستور آماده هدایت نباشد و در این حالت اولین پالس باعث روشن شدن تریستور نخواهد شد بنابراین حتی بهتر است از قطار پالس استفاده شود تا با پالس‌های بعدی روشن شود. (کوچک کردن زاویه آتش شاید به منظور بالا بردن جریان بیشتر به بار صورت گرفته باشد)

مقایسه تریستور و ترانزیستور قدرت:

تریستور (Thyristor)	ترانزیستور قدرت (BJT)
بدون امکان قطع مستقیم	فرمان قطع از طریق بیس
کند است (زمان قطع 10-100 میکروثانیه)	سریع (زمان قطع حدود میکروثانیه)
هدایت همیشه در یک جهت	احتمال هدایت در جهت معکوس هم وجود دارد (البته بستگی به ساختار است)
مدار فرمان انرژی کمی مصرف می‌کند	مدارهایی که ترانزیستورها را در حالت روشن نگه می‌دارند باید جریان بیس را برقرار کنند و انرژی مصرف می‌کنند
مقاوم در مقابل اضافه جریان‌های کوتاه مدت	شکننده در مقابل شکست‌های [illegible] و اضافه جریان

یکسوکننده‌ها « Rectifiers » :

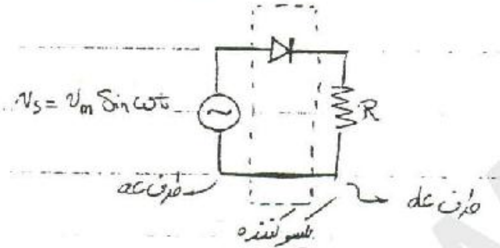
انواع یکسوکننده‌ها : ← ۱- کنترل نشده : عناصر یکسوکننده فقط دیود هستند ← این عناصر هم از لحاظ پلاریته و هم از لحاظ ولتاژی ثابت هستند.

2- نیمه کنترل شده : عناصر یکسوکننده تعدادی دیود و تعدادی تریستور هستند.

3- کنترل شده کامل : همه عناصر یکسوکننده قابل کنترل هستند مثل تریستور...

تقسیم‌بندی‌های دیگر :

آ. یکسوکننده نیم موج	I) یکسوکننده تکفاز
ب. یکسوکننده تمام موج	II) یکسوکننده چندفاز

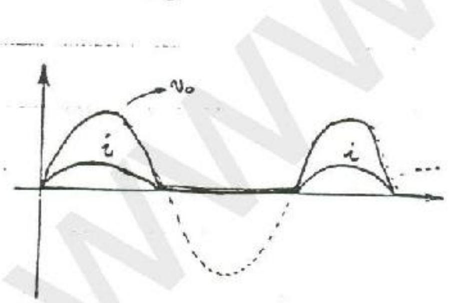


← یکسوکننده تکفاز نیم موج کنترل نشده که بار آن یک بار اهمی خالص است.

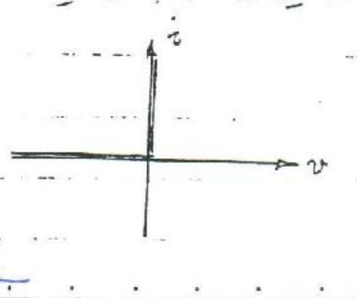
فرضیات ساده کننده :

منبع ولتاژ سینوسی کامل و ایده آل با دامنه v_m و فرکانس ω_m.

عنصر یکسوساز کاملاً ایده آل یعنی دیود که در جهت مستقیم اتصال کوتاه و در بایاس معکوس قطع است یعنی مشخصه دیود مورد نظر ما به صورت زیر است :



* چون بار اهمی خالص است جریان متناسب با ولتاژ از مدار عبور می‌کند



$$v_o = \begin{cases} v_m \sin\omega t & 0 \le \omega t < \pi \\ 0 & \pi \le \omega t < 2\pi \end{cases}$$

$$i = \begin{cases} \frac{v_m}{R} \sin\omega t & 0 < \omega t < \pi \\ 0 & \pi < \omega t < 2\pi \end{cases}$$

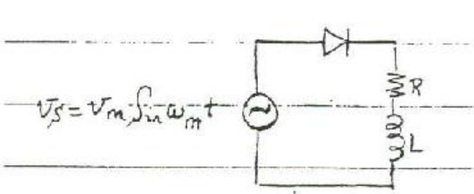
www.ttnaf.ir

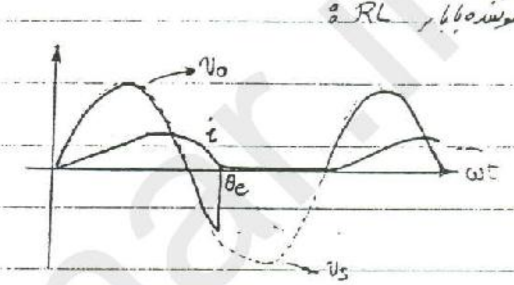
اصولاً در بحث از یکسوساز منظور مقدار متوسط جریان یا ولتاژ است؛ با توجه به این نکته قراردادهای زیر را انجام می‌دهیم:

مقدار متوسط ولتاژ خروجی یکسوکننده: $v_{dc} = \frac{1}{2\pi}\int_{0}^{2\pi} v_o \, d\omega t = \frac{V_m}{\pi}$

مقدار متوسط جریان خروجی یکسوکننده: $I_{dc} = \frac{1}{2\pi}\int_{0}^{2\pi} i \, d\omega t = \frac{V_m}{R\pi}$

یکسوکننده با بار RL:





در این مدار دیود تا زمانی هدایت می‌کند که جریان صفر نشده است که زمان مورد نظر با توجه به وجود سلف نسبت به مدار اهمی خالص دارای مقداری تأخیر است.

زاویه‌ای که دیود در آن خاموش می‌شود را با θ_e نشان می‌دهیم و به آن زاویهٔ خاموشی دیود می‌گویند.

اگر $0 < \omega t < \theta_e$:

$$Ri + L\frac{di}{dt} = V_m \sin\omega t$$

$$\Rightarrow i = \underbrace{Ae^{-t/\tau}} + \frac{V_m}{Z}\sin(\omega t - \varphi) \quad , \quad \begin{cases} \tau = L/R \\ Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \\ \varphi = tg^{-1}\left(\frac{L\omega}{R}\right) \end{cases}$$

که پاسخ طبیعی مدار که ضریب آن با توجه به شرایط اولیه مدار حاصل می‌شود

شرط اولیه $\begin{cases} \omega t = 0 \\ i = 0 \end{cases} \Rightarrow 0 = A - \frac{V_m}{Z}\sin\varphi \Rightarrow A = \frac{V_m}{Z}\sin\varphi$

بنابراین $\Rightarrow i = \frac{V_m}{Z}\left[\sin\varphi \, e^{-t/\tau} + \sin(\omega t - \varphi)\right]$

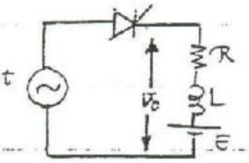
Subject:________ Date. 1382-7-26

$$\begin{cases}\omega t = \theta_e \\ i = 0\end{cases} \Rightarrow \sin\varphi\, e^{-t/\tau} + \sin(\theta_e - \varphi) = 0 \Rightarrow \theta_e = \dots$$ بدست می‌آید

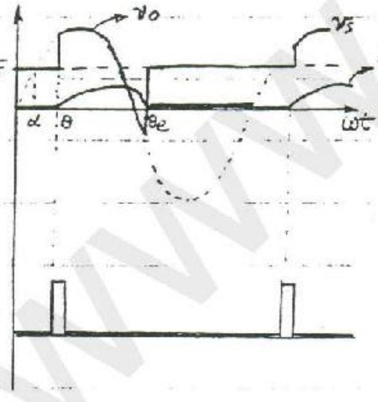
$$v_{av} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\theta_e} v_m \sin\omega t \, d\omega t = v_{dc} \Rightarrow v_{dc} = \dots$$ بدست می‌آید

$$I_{dc} = I_{av} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\theta_e} i \, d\omega t = \frac{v_{dc}}{R}$$

یکسوکننده کنترل شده تکفاز نیم موج :



این مدار کاربردهای زیادی دارد که عمده‌ترین آن تغذیه موتورهای dc است. که در حالت کلی بار را با یک مقاومت، در سری با اندوکتانس و نیروی ضد محرکه E مدل می‌شود.



مدار زمانی آماده هدایت است که تریستور در گرایش مستقیم قرار گیرد و در ابتدای کار مقدار ولتاژ از مقدار E کوچکتر است پس تریستور هدایت نخواهد کرد. بنابراین تریستور را بعد از زاویه $\omega t = \alpha = \sin^{-1}\frac{E}{V_m}$ می‌تواند روشن شود.

حال فرض را بر آن می‌گذاریم که زاویه آتش θ است.

* جریان با مقداری تأخیر به خاطر وجود سلف به مقدار حداکثر می‌رسد.

برای $\omega t \geq \theta$:

$$Ri + L\frac{di}{dt} + E = V_m \sin\omega t \longrightarrow Ri + L\frac{di}{dt} = V_m \sin\omega t - E$$

پاسخ معادله : $i = Ae^{-t/\tau} + \frac{V_m}{Z}\sin(\omega t - \varphi) - \frac{E}{R}$

$$Z = \sqrt{R^2 + L^2\omega^2}, \quad \varphi = \tan^{-1}\left(\frac{L\omega}{R}\right), \quad \tau = L/R$$

علت اینکه از سمت مقابل استفاده کرده‌ایم ← $\begin{cases} \omega t = \theta \\ i = 0 \end{cases}$: شرایط اولیه

این است که معادلات نوشته شده برای ωt

بعد از θ نوشته شده و برای آن صادق است

$$\Longrightarrow 0 = Ae^{-\frac{R\theta}{L\omega}} + \frac{V_m}{Z}\sin(\theta-\varphi) - E/R \Longrightarrow$$

$$\Longrightarrow \boxed{A = -\left[\frac{V_m}{Z}\sin(\theta-\varphi) - E/R\right] e^{R\theta/L\omega}}$$

بنابراین :

$$i = \left[\frac{V_m}{Z}\sin(\omega t-\varphi) - E/R\right] - \left[\frac{V_m}{Z}\sin(\theta-\varphi) - E/R\right] e^{\left(-\frac{tR}{L}+\frac{\theta R}{\omega L}\right)} \Longrightarrow$$

$$\Longrightarrow i = \frac{V_m}{R}\left\{\left[\frac{R}{Z}\sin(\omega t-\varphi) - \frac{E}{V_m}\right] - \left[\frac{R}{Z}\sin(\theta-\varphi) - \frac{E}{V_m}\right] e^{-\frac{\omega t-\theta}{tg\varphi}}\right\}$$

از فرضهای کتابی به این صورت استفاده شده است که :

$$tg\varphi = \frac{L\omega}{R}, \quad \cos\varphi = \frac{R}{Z}$$

$$\Longrightarrow \boxed{i = \frac{V_m}{R}\left\{\left[\cos\varphi\sin(\omega t-\varphi) - \frac{E}{V_m}\right] - \left[\cos\varphi\sin(\theta-\varphi) - \frac{E}{V_m}\right] e^{-\frac{\omega t-\theta}{tg\varphi}}\right\}}$$

رابطهٔ نهایی برای جریان که می‌توان از روی آن پارامترهای مجهول را بدست آورد

$$\begin{cases} \omega t = \theta_e \\ i = 0 \end{cases} \longrightarrow \cos\varphi\sin(\theta_e-\varphi) - E/V_m = \left[\cos\varphi\sin(\theta-\varphi) - \frac{E}{V_m}\right] e^{\frac{\theta_e-\theta}{tg\varphi}} \Longrightarrow$$

$$\Longrightarrow \left[\cos\varphi\sin(\theta_e-\varphi) - \frac{E}{V_m}\right] e^{\theta_e/tg\varphi} = \left[\cos\varphi\sin(\theta-\varphi) - \frac{E}{V_m}\right] e^{\frac{\theta}{tg\varphi}}$$

از عبارت فوق می‌توان هر یک از مقادیر E/V_m ، θ ، θ_e یا φ را با داشتن سه مجهول بدست آورد.

www.ttmar.ir

* مقدار L در نقطه واقع شدن θ_e مؤثر است. به این صورت که با بزرگتر شدن آن تأخیر بیشتر و θ_e بزرگتر خواهیم داشت.

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi}\int_{0}^{2\pi} V_o\, d\omega t = \frac{1}{2\pi}\left\{\int_{\theta}^{\theta_e} V_m \sin\omega t\, d\omega t + \int_{\theta_e}^{2\pi+\theta} E\, d\omega t\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{dc} = \frac{1}{2\pi}\left\{V_m(\cos\theta - \cos\theta_e) + E(2\pi + \theta - \theta_e)\right\}$$

$$= \frac{V_m}{2\pi}\left\{(\cos\theta - \cos\theta_e) - \frac{E}{V_m}(\theta_e - \theta)\right\} + E$$

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi}\int_{0}^{2\pi} i\, d\omega t = \frac{1}{2\pi}\int_{\theta}^{\theta_e} i\, d\omega t = \frac{V_{dc} - E}{R} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{I_{dc} = \frac{V_m}{2\pi R}\left\{(\cos\theta - \cos\theta_e) - \frac{E}{V_m}(\theta_e - \theta)\right\}}$$

* اثبات درستی رابطه جریان dc:

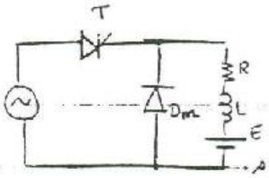
$$v_o = Ri + L\frac{di}{dt} + E \Rightarrow V_{dc} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} V_o\, d\omega t = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} Ri\, d\omega t + \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} L\frac{di}{dt}\, d\omega t + \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} E\, d\omega t$$

$$\Rightarrow V_{dc} = R I_{dc} + E \Rightarrow \boxed{I_{dc} = \frac{V_{dc} - E}{R}}$$

در مدار مورد نظر هر قدر مقدار L افزایش یابد، طول ناحیه قطع کوچکتر خواهد شد و جریان به حالت پیوسته نزدیکتر خواهد شد ولی بزرگ شدن E اثر معکوس روی ناحیه قطع دارد و آن را بزرگتر می‌کند.

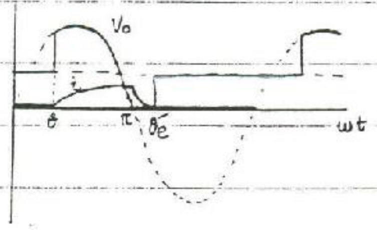
www.ttmar.ir

دیود هرزگرد : "freewheeling"



هنگامی که ولتاژ دو سر بار منفی شود دیود هرزگرد در گرایش مستقیم قرار می‌گیرد و هدایت می‌کند و نیم سیکل منفی حذف می‌شود و در نتیجه انرژی مغناطیسی ذخیره شده افزایش می‌یابد.

وقتی دیود روشن شود تریستور خاموش می‌شود.



در واقع در این مدار جریان دیرتر صفر می‌شود که ثابت زمانی است

جریان به پارامترهای بار بستگی دارد.

$\theta < \omega t < \pi$: $\Longrightarrow i = \ldots\ldots$ همان رابطه قبلی

$\omega t = \pi \Longrightarrow i = I_\pi$

$\pi < \omega t < \theta_e$:

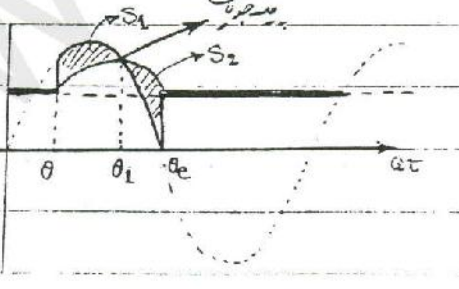
$$Ri + L\frac{di}{dt} + E = 0 \Longrightarrow i = Ae^{-t/\tau} - E/R$$

$$\begin{cases} \omega t = \pi \\ i = I_\pi \Longrightarrow A = \ldots \end{cases} \Longrightarrow i = \ldots$$

$$\begin{cases} \omega t = \theta'_e \\ i = 0 \end{cases} \Longrightarrow \theta'_e = \ldots$$

هرقدر θ کوچکتر باشد θe بزرگتر خواهد شد طوری که ممکن است تحت شرایطی از 2π هم بزرگتر شود علت آن هم لزوم برابری S_1 و S_2 است.

این بار جریان را به این صورت نمایش می‌دهیم:



$i \longrightarrow Ri + E$

جایی که منحنی جدید، منحنی v_s را قطع می‌کند برابر پیک جریان است و منحنی S_1 و S_2 دارای سطح برابر هستند.

در واقع فاصله بین منحنی $Ri+E$ و v_s در هر لحظه مقدار $L\frac{di}{dt}$ را نشان می‌دهد بنابراین محل تقاطع به منزله صفر بودن مشتق جریان است یعنی جریان در پیک مقدار خود است.

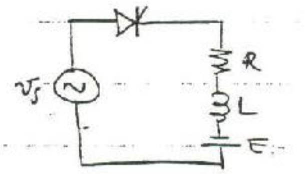
$$S_1 = \int_{\theta}^{\theta_1} L\frac{di}{dt}\,d\omega t \quad , \quad S_2 = \int_{\theta_1}^{\theta_e} L\frac{di}{dt}\,d\omega t$$

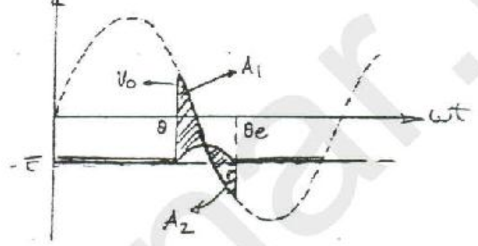
$$\Rightarrow S_1 = L\omega I_1 \quad , \quad S_2 = -\omega L I_1$$

I_1 جریان در θ_1 است.

$$\Rightarrow |S_1| = |S_2|$$

کاربرد اینورتری مدار قبل :





$$V_{dc} < 0 \Rightarrow V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi}\left[(\cos\theta - \cos\theta_e) + \frac{E}{V_m}(\theta e - \theta)\right]$$

* در حالت قبل Vdc و E به گونه‌ای بوده که توان می‌گرفت ولی در این مدار توان تحویل داده می‌شود و به سمت منبع ac برمی‌گردد یعنی مدار اول حالت یکسوکنندگی داشت در حالیکه با توجه به جهت توان و انرژی این مدار حالت اینورتری دارد.

* در این مدار زاویه آتش باید بزرگ انتخاب شود چون در غیر این صورت اگر زاویه آتش کوچک باشد منبع ac و باطری باتفاق یکدیگر جریان بزرگی را در مدار برقرار می‌سازند و به دنبال آن چون باید A_1 و A_2 یکسان باشند پس θ_e بزرگ شده و ممکن است از مقدار 2π هم بزرگتر شود در چنین حالتی دیگر تریستور خاموش نخواهد شد و همیشه روشن است بنابراین هیچ نوع کنترلی بر روی مدار وجود نخواهد داشت و مدار حالت ناپایدار به خود می‌گیرد.

$$i = \frac{V_m}{R}\left\{\left[\cos\varphi \sin(\omega t-\varphi) + \frac{E}{V_m}\right] - \left[\cos\varphi \sin(\theta-\varphi) + \frac{E}{V_m}\right]e^{-\frac{\omega t-\theta}{\tan\varphi}}\right\}$$

بدست آوردن زاویه خاموشی :

$$\left[\cos\varphi \sin(\omega t. - \varphi) + \frac{E}{V_m}\right]e^{\theta e/\tan\varphi} = \left[\cos\varphi \sin(\theta-\varphi) + \frac{E}{V_m}\right]e^{\theta/\tan\varphi}$$

Subject: Date. 1382-7-28

* $v_{dc} = \frac{v_m}{2\pi}\left[(\cos\theta - \cos\theta_e) + \frac{E}{v_m}(\theta_e - \theta)\right] - E$

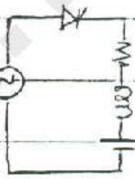
* $v_{dc} = RI_{dc} - E$

بررسی روابط ولتاژ و توان در حالت یکسوکنندگی مدار:

$I_{dc} > 0 \quad , \quad V_{dc} > 0$

$v_{dc} = RI_{dc} + E > 0$

$P \approx V_{dc} I_{dc} > 0 \Rightarrow$ قدرت انتقالی از طرف ac به طرف dc



قدرت لحظه‌ای $p = v_0 i$

قدرت متوسط $P = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} p \, d\omega t = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v_0 i \, d\omega t$

* رابطهٔ قدرت انتقالی تقریبی است چون v_0 و i هیچ‌کدام دارای شکل موج ثابتی نیستند.

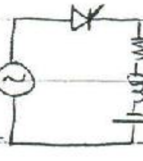
* قدرت انتقالی از طرف منبع ac به طرف منبع dc مثبت است به عبارت دیگر مبدل به صورت یکسوکننده کار می‌کند.

بررسی روابط توان در حالت اینورتری مدار:

$I_{dc} > 0$

$v_{dc} = RI_{dc} - E$

if $RI_{dc} < E \Rightarrow v_{dc} < 0 \Rightarrow P \approx V_{dc} I_{dc} < 0$



* یعنی قدرت از طرف dc به طرف ac منتقل می‌شود به عبارت دیگر مبدل در حالت اینورتری کار می‌کند

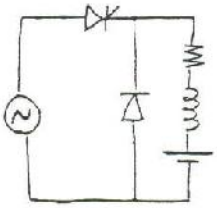
توان اضافی در R تلف می‌شود

* این حالت اینورتری، حالت وابسته نام دارد چون فرکانس مدار به فرکانس منبع ac موجود در مدار بستگی دارد.

* حالت دیگر، اینورتر مستقل است که با کمک یک منبع dc بدون حضور منبع ac، منبع ac با فرکانس دلخواه ایجاد می‌کنیم.

Subject: Date. 1382-8-3

در مدارهای نیم‌کنترل شده برروی ولتاژ و مقدار آن کنترل وجود دارد ولی برروی پلاریته آن کنترلی نداریم. (مدار با دیود هرزگرد)

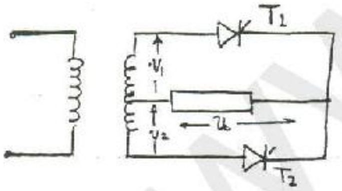


* در این مدار ترستور بلافاصله وقتی ولتاژ پلاریته‌اش معکوس می‌رود ← خاموش می‌شود چون دیود روشن می‌شود. در این مدار ولتاژ هیچ‌گاه اجازه منفی شدن پیدا نمی‌کند در واقع کنترلی هم برروی این پلاریته وجود ندارد.

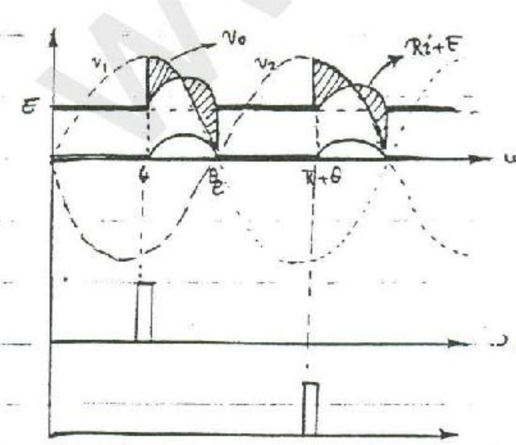
اغلب ما به ولتاژهای ... علاوه بر این نیاز داریم که پیوسته هم باشند بنابراین ما به سراغ یکسوکننده با پالس‌های بیشتر می‌رویم و به جای نیم موج از یکسوکننده‌های تمام موج استفاده می‌کنیم.

* مبدل‌های چندفاز *

مبدل دوفاز نیم موج:



نام دیگر این مبدل، تکفاز با ترانس سر وسط است.



* در دوفاز، هر فاز با دیگری π رادیان اختلاف فاز دارد.

* در مبدل چندفاز، در مسیر هر فاز یک دیود یا ترستور قرار می‌گیرد.

www.ttnar.ir

یکسوسازهای چندفاز: برای تریستورهای هر فاز فرمان (پالس) جداگانه‌ای فرستاده می‌شود که در همهٔ فازها زاویهٔ آتش یکسان خواهد بود.

$$\begin{cases} v_1 = V_m \sin\omega t \\ v_2 = V_m \sin(\omega t - \pi) \end{cases}$$

در نیم سیکل اول جریان از T_1 و v_1 گذشته و به بار RLE می‌رسد و در نیم سیکل دوم نیز همین عمل از طریق T_2 و منبع v_2 صورت می‌گیرد.

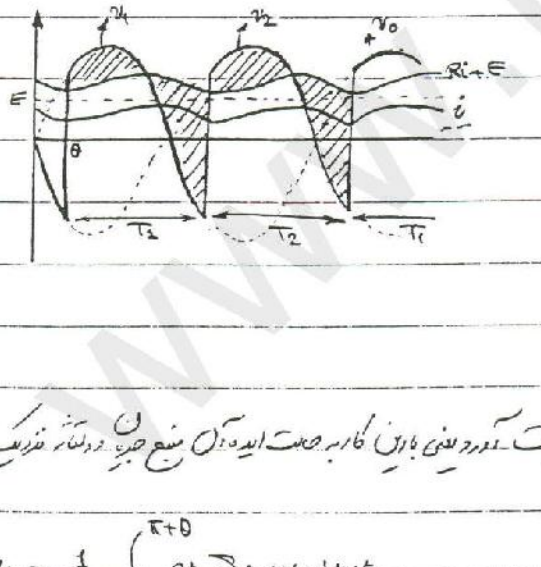
تفاوت این مدار با مدار تک‌فاز این است که شکل موج جدید یکنواخت‌تر و ثابت‌تر شده است و سطح DC خروجی افزایش پیدا کرده است.

صاف‌تر شدن جریان در این مدار نشان‌دهندهٔ بهتر شدن ولتاژ است.

$$I_{dc} = \frac{V_m}{\pi R}\left[(\cos\theta - \cos\theta_e) - (\theta_e - \theta)\frac{E}{V_m}\right]$$

$$V_{dc} = RI_{dc} + E$$

حال زاویهٔ آتش را کوچک می‌کنیم تا خروجی جدید را بدست آوریم:



در این حالت با روشن شدن T_2، T_1 خاموش می‌شود و جریان پس از هر نیم سیکل قبل از اینکه به صفر برسد مجدداً در بار شروع به افزایش پیدا می‌کند، در نتیجه پس از مدتی به حالت پایدار می‌رسد.

بنابراین در مدل دوفاز می‌توان جریان و ولتاژ پیوسته‌ای بدست آورد یعنی با این کار به حالت ایده‌آل منبع جریان و ولتاژ نزدیک شده‌ایم.

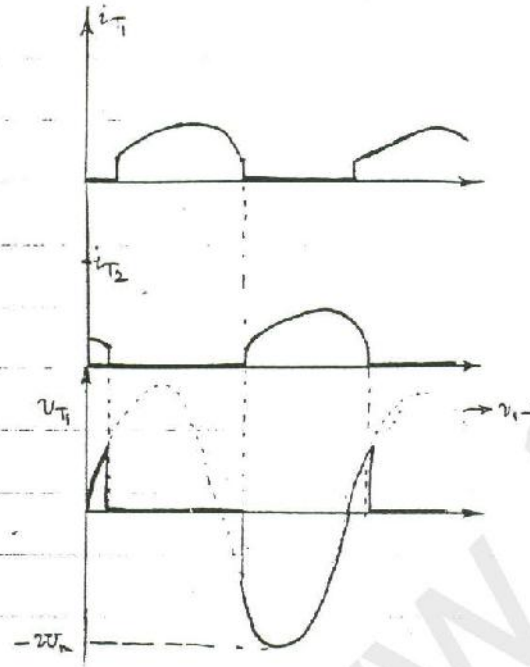
$$V_{dc} = \frac{1}{\pi}\int_{\theta}^{\pi+\theta} V_m \sin\omega t \, d\omega t$$

θ_e در شکل فوق ظاهر نشده است چون دائماً یکی از تریستورها هدایت و ولتاژ منبع مربوط به آن دو سر بار است.

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi}\left[-\cos\omega t\right]_{\theta}^{\pi+\theta} \Longrightarrow V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi}\cos\theta$$

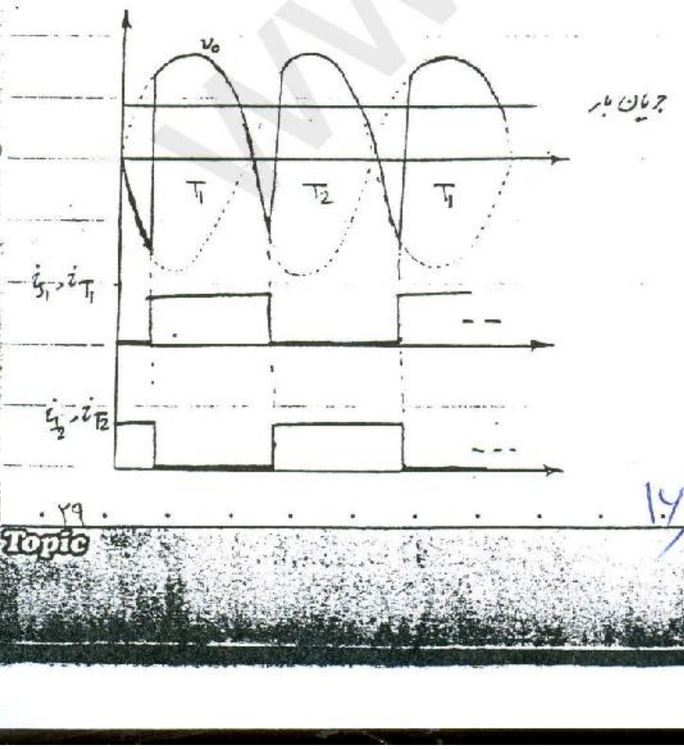
$$I_{dc} = \frac{V_{dc}-E}{R} = \frac{\frac{2V_m}{\pi}\cos\theta - E}{R}$$

T_1 تا T_2 : جریان ثانویه ترانس (جریان منبع) ←

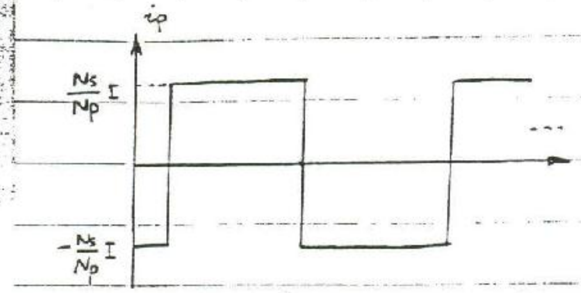


چون هدف طراحی مدار است باید پارامترهای عناصر مورد استفاده شناسایی شده باشند.

— فرض می‌کنیم جریان در بار پیوسته و صاف باشد.



Subject: Date.



S → Secondary

P → Primary

* بیشترین مقدار برای سطح DC خروجی در ولتاژ زمانی حاصل می‌شود که زاویه آتش صفر باشد.

* روابط مورد استفاده در بخش هدایت ناپیوسته در این بخش نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. لذا از روابط اخیر استفاده می‌شود.

تریستور ← بررسی پارامترهای طراحی ←

$I_{T(av)}$ ← i_T

$I_{T(rms)}$ ← مقدار مؤثر جریان تریستور

با توجه به شکل‌ها و نمودارها:

$I_{T(av)} = I/2$ $\qquad I_{T(rms)} = \frac{I}{\sqrt{2}}$

محاسبهٔ مقدار RMS:

$$I_{T(rms)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_\theta^{2\pi} i_T^2\, d\omega t} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_\theta^{\pi+\theta} I^2\, d\omega t} = \sqrt{\frac{I^2}{2\cancel{\pi}}\cancel{\pi}} = \frac{I}{\sqrt{2}}$$

PIV (pick Inverse Voltage) پیک ولتاژ معکوس $\Longrightarrow PIV = 2V_m$

ترانس ← بررسی پارامترهای طراحی ←

ترانس در این مدار جهت تبدیل ولتاژ و همچنین ایزوله ساختن مدار مورد استفاده قرار گرفته است.

جریان: ثانویه

مقدار مؤثر جریان اولیه ترانس $I_p = \frac{N_s}{N_p} I$ $\qquad$ مقدار مؤثر جریان ثانویه ترانس $I_s = \frac{I}{\sqrt{2}}$

ولتاژ:

ولتاژ مؤثر اولیه ترانس $v_p = \frac{N_p}{N_s} v_s = \frac{N_p}{N_s}\frac{v_m}{\sqrt{2}}$ $\qquad$ ولتاژ مؤثر ثانویه ترانس $V_s = \frac{v_m}{\sqrt{2}}$

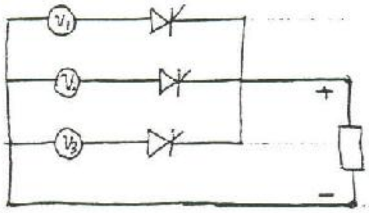
ولت - آمپر :

$$S_s = 2 v_s I_s$$ ⟵ ضریب ۲ جهت دو فاز بودن مدار در این رابطه ظاهر شده است .

$$S_s = 2\,\frac{v_m}{\sqrt{2}}\cdot\frac{I}{\sqrt{2}} = v_m I$$

$$S_p = v_p \times I_p = \frac{N_p}{N_s}\cdot\frac{v_m}{\sqrt{2}}\cdot\frac{N_s}{N_p}\,I = \frac{v_m I}{\sqrt{2}}$$

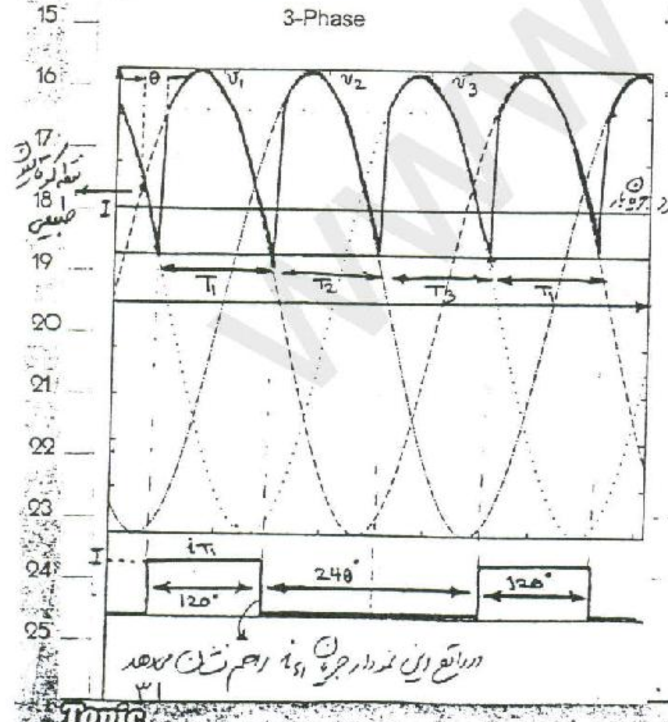
مبدل سه فاز نیم موج :



اگر جهت تریستورها عکس شود ولتاژ حاصل نیز روی بار دارای علامت معکوس خواهد شد .

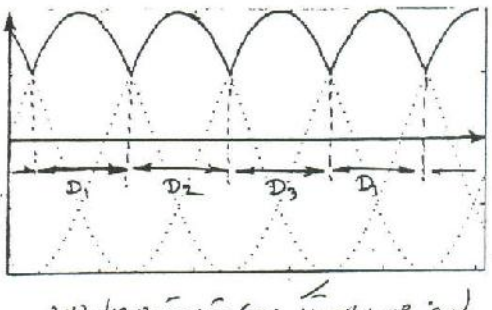
اگر بجای تریستورها در مدار دیود قرار گرفته باشد زمانی هدایت صورت می‌گیرد که ولتاژ یکی از منابع مثبت باشد و ضمناً دیودی هدایت می‌کند که ولتاژ آن از ولتاژ دیگر منابع بزرگتر باشد یعنی شکل موج خروجی در واقع قسمت بالای سیکل‌های مثبت خواهد بود .

جابجا شدن عناصر یکسو کننده و تغییر عناصر روشن و انتقال بین آنها ، و انتقال کار از یکی به دیگری ، کموتاسیون اطلاق می‌شود جریان بار



در واقع این نمودار جریان ثانویه را هم نشان می‌دهد

۳۱



شکل موج خروجی در صورتیکه بجای تریستورها در مدار دیود قرار گرفته باشد .

۱۷

مشخصات اجزای مدار : $P.I.V = \sqrt{3} V_m$ ، $I_{T(rms)} = \frac{I}{\sqrt{3}}$ ، $I_{T(av)} = \frac{I}{3}$

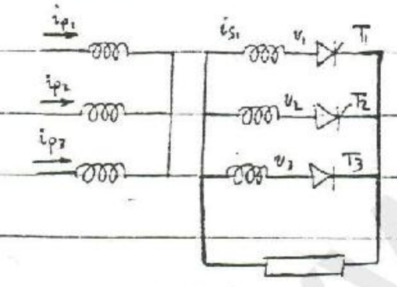
نکات در مورد مدار فوق :

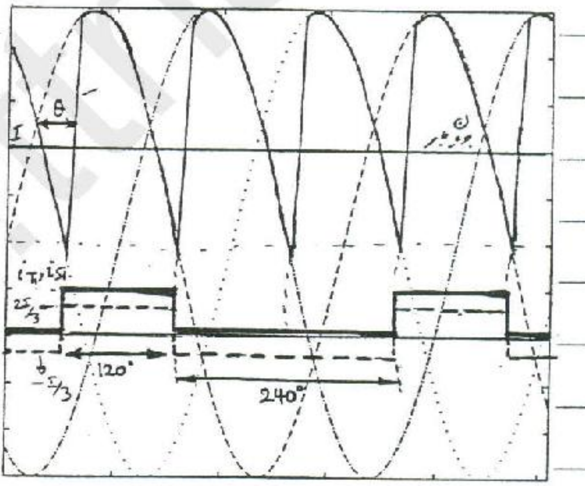
* در صورتیکه جریان بار را ثابت فرض کنیم (بطور مثال زاویه آتش را در نظر نگیریم) در محدوده هایی از زمان همه T ها خاموش هستند.

* ولتاژ دو سر T_1 در زمان روشن بودن آن صفر است.

* ولتاژ دو سر T_1 در زمان خاموش بودن آن یا $V_1 - V_2$ یا $V_1 - V_3$ و یا ؛ V_L در صورتیکه مدار ها دیودی باشند و دیود هرزگرد هم در مدار باشد. $V_1 - V_3$ یا $V_1 - V_2$ را V_{LL} یا (line to line) ولتاژ خط به خط می نامند که حداکثر آن $\sqrt{3} V_m$ است.

* همانطور که در بالا هم آمده است ولتاژ پیک معکوس مدار $\sqrt{3} V_m$ است که بسته به زاویه آتش مدار ممکن است در وضعیتی قرار بگیریم که این مقدار پیک را نداشته باشیم.





$$V_{dc} = \frac{3}{2\pi} \int_{\theta + \pi/6}^{\theta + \pi/6 + 2\pi/3} V_m \sin\omega t \, d\omega t$$

$$= \frac{3}{\pi} \sin\frac{\pi}{3} V_m \cos\theta = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m \cos\theta$$

هر قدر که جریان در ثانویه ظاهر شود به همان میزان تغییر جریان در اولیه با توجه به نسبت ترانس ایجاد می شود. این امر به خاطر پیوستگی و پیوند شار اولیه و ثانویه ترانس است.

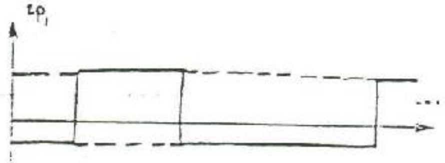
کمیات شار ولتاژ DC ایجاد نمی کنند. بنابراین وجود جریان DC در سمت ثانویه نمی تواند تعادل را در اولیه بر هم زند. در واقع مؤلفه ای از جریان فوق که تمام DC آن حذف شده است در اولیه تاثیرگذار است.

تغییر جریان اولیه به خاطر تغییر جریان ثانویه بر اساس اصل است که آمپر دور ← $N_p I_p = N_s I_s$
ثانویه و آمپر دور اولیه باهم باید برابر باشند.

جریان ثانویه $i_s = I_{s(dc)} + i_{s(ac)}$ $\Rightarrow i_p = \frac{N_s}{N_p} i_{s(ac)}$

$I_{s(dc)}$ ← مقدار متوسط

$i_{s(ac)}$ ← قسمت ac



← در واقع اولیه تغییرات جریان در ثانویه را احساس می‌کند (مؤلفه ac ثانویه را)

ترانس :

مقدار مؤثر جریان ثانویه ترانس $I_s = \frac{I}{\sqrt{3}}$

مقدار مؤثر مؤلفه ac جریان ثانویه

اولیه ترانس = $I_p = \frac{N_s}{N_p} \cdot I_{s(ac)}$ $i_s = I_{s(dc)} + i_s(ac)$

$$I_{s(ac)} = \sqrt{I_s^2 - I_{s(dc)}^2} \quad ; \quad I_s = \sqrt{I_{s(dc)}^2 + I_{s(ac)}^2}$$

$$\Rightarrow I_{s(ac)} = \sqrt{\frac{I^2}{3} - \frac{I^2}{9}} = \underbrace{I\frac{\sqrt{2}}{3}}_{} \Rightarrow I_p = \frac{N_s}{N_p} \cdot \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot I$$

← مقدار مؤثر مؤلفه ac ثانویه

قدرت ظاهری $S_s = 3 V_s I_s = 3\frac{V_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I}{\sqrt{3}} = \sqrt{\frac{3}{2}}\, V_m I$

که در واقع یک ظرفیت را برای ترانس مشخص می‌کند که [illegible] را تا این مقدار می‌توان [illegible] از این مقدار بیشتر رود. در صورتی که جریان بیشتر از حد مجاز از مدار بکشد ممکن است به ترانس آسیب برساند.

$$\boxed{P.f. = \frac{P}{S}}$$

ضریب توان : یعنی نسبت توان حقیقی به توان آمپری که مصرف می‌شود و در اثر سینوسی باشد دارای مقدار ثابتی می‌گردد.

P ← در واقع توان حقیقی یا توان متوسط مدار است.

توان لحظه‌ای $p = vi$ (توان متوسط (اکتیو) = $\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} p\, d\omega t = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} vi\, d\omega t$

نکته

$$* \quad P_{3\Phi} = 3P_{1\Phi}$$

ترانس از

در واقع ترانس معرفی در مدار توانی است که ثانویه ترانس تحویل می‌دهد و توانی است که منبع ac در سمت اولیه می‌سپرد.

$$* \quad P_p = P_s = P_{dc} = V_{dc}\, I$$

صحت این ترم مدار تست نیستیم که $P_{dc} = V_{dc} I_{dc}$ که در صورتی که می‌تواند درست باشد که ولتاژ و جریان ثابت باشند تنها برابر این فاکتور است.

$$* \quad P_{dc} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m \cos\theta \cdot I$$

$$* \quad P.f_s = \frac{P_s}{S_s} = \frac{3\sqrt{3}\, V_m\, I \cos\theta \cdot \sqrt{2}}{2\pi \cdot \sqrt{3}\, V_m\, I} = \frac{3}{\pi\sqrt{2}} \cos\theta = 0.675 \cos\theta$$

$$* \quad S_p = 3V_p I_p = 3 \frac{N_p}{N_s} \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{N_s}{N_p} \frac{\sqrt{2}}{3} I = V_m I$$

$$* \quad P.f_p = \frac{P_p}{S_p} = \frac{3\sqrt{3}\, V_m\, I \cdot \cos\theta}{2\pi \cdot V_m\, I} = 0.83 \cos\theta$$

بنابراین ضریب قدرت با θ (زاویه آتش) رابطه دارد و نظر به اینکه هر چه مقدار θ بزرگتر باشد در این صورت ضریب قدرت کمتری خواهیم داشت و این امر نشان‌دهنده عدم استفاده درست از ترانس است. بنابراین نسبت به یک مدار خطی که در آن ترانس وجود دارد در مقدار یکسان برای این کاربرد نیاز به ترانس بزرگتری خواهد بود.

TUF : ضریب استفاده ترانس

Transformer Utilization Factor

$$TUF = P.F|_{\theta=0}$$

$$\Rightarrow TUF_s = 0.67 \quad , \quad TUF_p = 0.83$$

ضریب استفاده ثانویه ترانس — ضریب استفاده اولیه ترانس

* پیوستگی جریان از دو نیمه متقارن ثانویه است بنابراین ضریب استفاده بهتری دارد (ثانویه فقط در 120° از هر سیکل جریان دارد و 240° جریان ندارد)

جریان متناوب بسته‌شده از دو نیمه دارای یک مؤلفه متقارن است که جریان ثانویه نیم‌موج است و دارای هارمونیک‌های زوج است

که دارای هارمونیک‌های کمتری از هارمونیک‌های اصلی هستند می‌باشد.

توان در هارمونیک‌های غیر اصلی به طور متوسط در هر سیکل ایجاد می‌شود برابر صفر است. در واقع هارمونیک‌های غیر اصلی توانی را در بار ایجاد نمی‌کنند ولی در مدار گردش می‌کنند.

در واقع، جریان مؤثری که در یک شاخه وجود دارد جریان مؤثر کل است درحالیکه توان ایجاد شده برابر توان حاصل از هارمونیک اصلی است. بنابراین ضریب توان در این مدار هیچ‌وقت یک نخواهد شد

ضریب قدرت:

$$P.f = \frac{P}{S}$$

یکی از عوامل اصلی غیرخطی شدن مدارهای قدرت امروزه مدارهای مبدل یا عناصر الکترونیک قدرت (استاتیک) است.

در مدارهای خطی:

$$v = V_m \sin\omega t \qquad i = I_m \sin\omega t \longrightarrow P = \frac{V_m I_m}{2}\cos\varphi = VI\cos\varphi$$

ولتاژ و جریان سینوسی هستند

$$Q = VI\sin\varphi$$

$$S = VI$$

$$P.f = \cos\varphi$$

در مدارهای غیرخطی:

$$V = V_m \sin\omega t$$

ولتاژ سینوسی است.

$$i = \sum_{n=1}^{\infty} I_{nm} \sin(n\omega t - \varphi_n)$$

جریان دارای هارمونیک‌های مختلف است

$$\underset{\text{مقدار مؤثر}}{I} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}$$

$$p = vi = V_m \sin\omega t \sum_{n=1}^{\infty} I_{nm} \sin(n\omega t - \varphi_n)$$

متوسط تمام حاصلضرب‌ها برابر صفر است مگر زمانیکه n=1 باشد.

قدرت اکتیو $P = \frac{V_m I_m}{2}\cos\varphi_1 = VI_1\cos\varphi_1$

$$S = VI$$

اثبات رابطه جریان موثر :

$$i = i_1 + i_2 + i_3 + \cdots$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} i^2 \, d\omega t} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} (i_1 + i_2 + \cdots)^2 \, d\omega t} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} (i_1^2 + i_2^2 + \cdots) \, d\omega t}$$

$$= \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \cdots} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}$$

$$S = VI = V\sqrt{\sum I_n^2} = \sqrt{V^2 I_1^2 + V^2 I_2^2 + \cdots} = \sqrt{V^2 I_1^2 + V^2 \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2} =$$

$$= \sqrt{\underbrace{(VI_1 \cos\varphi_1)^2}_{P^2} + \underbrace{(VI_1 \sin\varphi_1)^2}_{Q^2} + \underbrace{V^2 \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}_{D^2}}$$

$\Rightarrow S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$, D: توان ناشی از اعوجاج

ضریب توان :

$$P.f = \frac{P}{S} = \frac{VI_1 \cos\varphi_1}{VI} = \frac{I_1}{I} \cos\varphi_1$$

اگر اعوجاج نداشتیم آنگاه $I_1 = I$ بود و در نتیجه $P.f = \cos\varphi$ می‌باشد.

$\cos\varphi_1$: ضریب جابجایی → Displacement Factor

چون زاویه‌ی ولتاژ و جریان نسبت به حالت ترجیحی جابجا شده است و به این منظور کسینوس آن را ضریب جابجایی می‌گویند.

$$\frac{\text{ضریب قدرت}}{\text{ضریب جابجایی}} = \text{ضریب اعوجاج} \Longrightarrow \text{ضریب اعوجاج} = \frac{I_1}{I} \rightarrow \text{Distortion Factor}$$

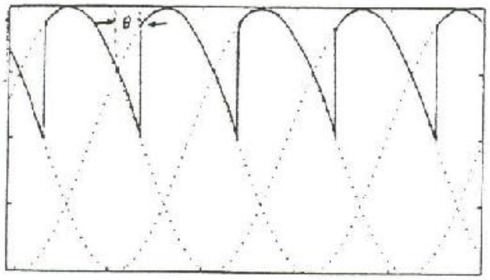
تعریف : قدرت متوسط ناشی از عکس العمل ولتاژ و جریان با فرکانس‌های نابرابر صفر است. در این مدار چون ولتاژ تنها یک هارمونیک دارد است به همین دلیل تنها I_1 در قدرت متوسط اثرگذار است.

در صورتی که ضریب اعوجاج یک باشد در این صورت اعوجاج نداریم و هرچقدر اعوجاج بزرگتر داشته باشیم در این صورت ضریب اعوجاج کوچکتر است.

www.ttnar.ir

ـ تریک مبدل سه فازه نیم موج ؟

صاف نبودن جریان مربوط به یک مدار خاص ممکن است باشد ولی پیوسته بودن آن جهت داشتن ولتاژ پیوسته در خروجی لازم است.



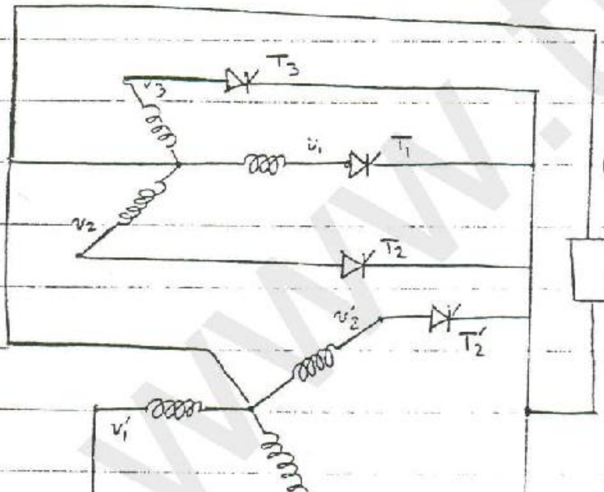
$$V_{dc} = \frac{m}{2\pi}\int_{\theta-\pi/2-\pi/m}^{(\theta+\pi/2-\pi/m)+2\pi} V_m \sin\omega t \; d\omega t$$

برای یک سیستم m فازه ⟵ بنابراین: $V_{dc} = \frac{m}{\pi}\sin\frac{\pi}{m} V_m \cos\theta$

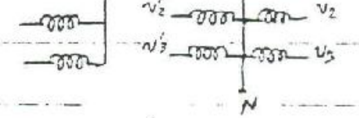
مقدار متوسط بدست آمده برای این شکل موج است اما در صورتیکه یک مدار ۶ فازه و شکل موج مربوط به آن را داشته باشیم باز هم می‌توان از رابطه فوق استفاده کرد.

معمولاً وقتی فرکانس بالاتر می‌رود با خودش تا اندازه ای ولتاژ خروجی را فیلتری کند و از نوسانات آن کم می‌کند. لذا به خروجی یکسوکننده افزایش تعداد فازها امری مناسب است.

مبدل شش فاز (ستاره دوبل) :

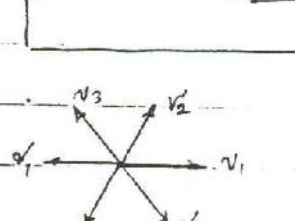


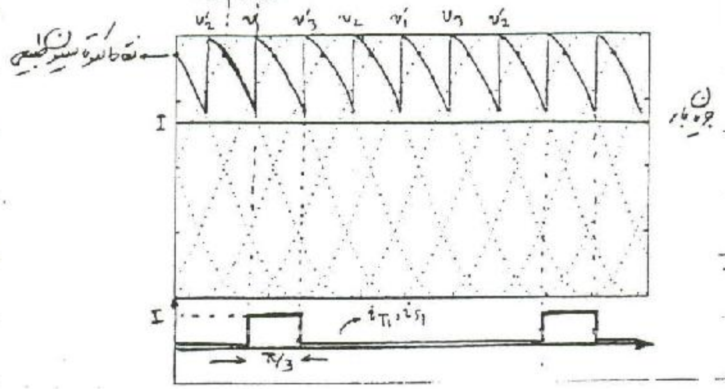
برای ایجاد شش فاز با استفاده از منابع سه فاز موجود از ترانس سه سیم در ثانویه می‌توان استفاده کرد (مثل دو تا ۳ فاز)



از ۶ تریستور استفاده می‌کنیم و ۱/۶ هر سیکل از هر فاز استفاده می‌کنیم.

فرکانس ریپل در خروجی که در شکل‌های صفحه بعد نمایش داده شده است 6f می‌باشد که f فرکانس منبع است.





$$I_{T(av)} = \frac{I}{6}$$

$$I_{T(rms)} = \frac{I}{\sqrt{6}}$$

$$PIV = 2V_m$$

چون اختلاف فاز بین v_1 و v_1' ، 180° است پس max تفاوت آنها $2V_m$ است و این درحالی است که v_1' با v_2 و یا v_3 مقایسه شود اختلاف $\sqrt{3}V_m$ خواهد شد.

ضریب استفاده ترانس ثانویه:

$$(TUF)_S = (P.F)_S\Big|_{\theta=0} = \frac{V_{dc}\, I}{6\, V_S I_S} = \frac{P}{S}\Big|_{\theta=0}$$

$$V_{dc} = \frac{6}{\pi}\sin(\pi/6)\, V_m \cos\theta = \frac{3V_m}{\pi}\cos\theta$$

$$(TUF)_S = \frac{3V_m . I . \sqrt{2} . \sqrt{6}\cos\theta}{\pi \times 6\, V_m I} = \frac{\sqrt{3}}{\pi}\cos\theta = 0.55\cos\theta$$

ضریب استفاده ترانس کاهش یافته است.

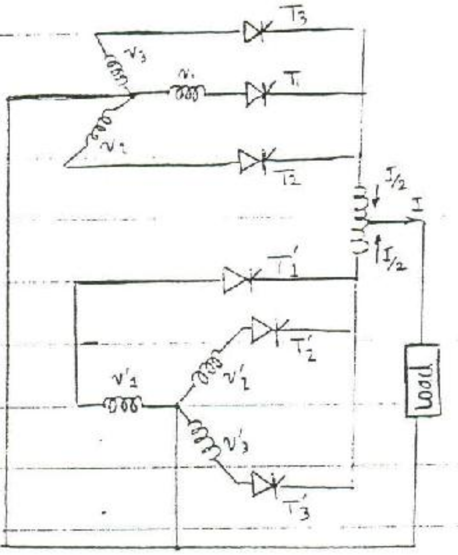
در این مدل اگرچه خروجی دقیق‌تری (با تموجات کمتر) نسبت به مدل‌های قبلی داریم ولی ضریب استفاده نسبت به آنها کمتر (بدتر) شده است.

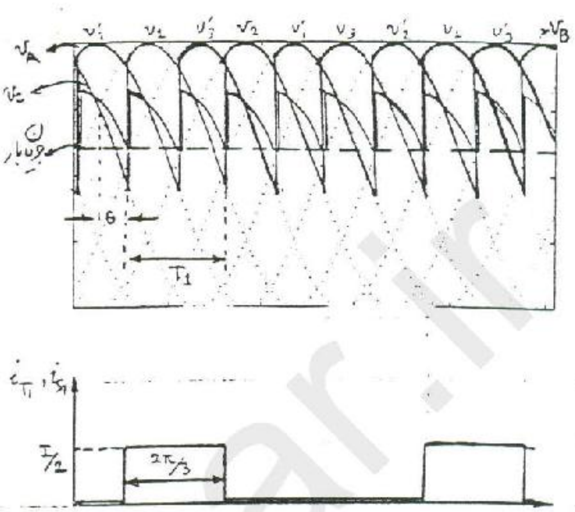
به طور مشهودی می‌توان گفت که از جریان و نمودار آن مشخص است که تنها در $\frac{\pi}{3}$ هر سیکل جریان کشیده می‌شود (از هر فاز) بنابراین استفاده کمتری و نامناسب‌تری صورت گرفته است.

داشتن تعداد فازهای بیشتر، ترانس پیچیده‌تر و در نتیجه گرانتر ولی خروجی بهتر و با تموجات کمتر به همراه دارد. (ترانس شش فاز پیچیده‌تر است) ضمناً در این مدار از دیگر اجزای مدار استفاده مناسبی هم نشده است.

www.ttnar.ir

مبدل ستاره دوبل با راکتور بین فازه





راکتور سبب می‌شود هدایت هریک از تریستورهای قسمت بالا روی کار هدایت تریستورهای بخش پایین اثر نگذارد.

با توجه به رعایت تقارن در مدار و همچنین برابر بودن زوایای آتش تریستورها، هریک از بخش‌های مدار جریان $I/2$ را برای بار تأمین می‌کنند.

علت اینکه هدایت تریستورهای یک بخش روی بخش دیگر مؤثر نیست در این است که راکتور جریان به صورت ناگهانی نمی‌تواند تغییر کند.

$$v_c = \frac{v_A + v_B}{2}$$

$$v_{dc} = \frac{1}{2}\left[V_{A_{av}} + V_{B_{av}}\right] \Rightarrow \begin{cases} V_A = V_B = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m \cos\theta \\ V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m \cos\theta \end{cases}$$

نسبت به حالت ۶ فاز معمولی، پهنای جریان افزوده شده است و جریان آن نسبت به قبل کاهش یافته است.

$$I_{T_{av}} = \frac{I}{6} \qquad I_{T_{rms}} = \frac{I}{2\sqrt{3}} \qquad . \ PIV = \sqrt{3}\ V_m$$

شکل جریان هر پالس $I/2$ و در $2\pi/3$ ، 0 است.

$$TUF_s = \frac{3\sqrt{3}\ V_m \cos\theta \times I \times \sqrt{2} \times 2\sqrt{3}}{\underbrace{2\pi \times 2 \times 3 \times V_m \times I}_{\text{مخرج } 3V_s I_s}}\Bigg|_{\theta=0} = \frac{3\sqrt{2}}{2\pi} = 0.67$$

ضریب استفاده ترانس نسبت به حالت قبل بهتر است. (TUF)

در واقع این مدار مثل دو مبدل سه فاز نیم موج ، به صورت موازی ، عمل می‌کند و جریان خروجی برای هر تریستور در بازه 120° وجود دارد.

در ضمن فرکانس ریپل برای این مبدل $6f$ است.

Subject: Date.

ریپل فاکتور (ضریب تموجات) :

این ضریب جهت ارزیابی کیفیت خروجی یکسوکننده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$R.F. = \frac{\text{مقدار مؤثر مؤلفه ac موج}}{\text{مقدار متوسط موج}} = \frac{V_{ac}}{V_{dc}} \longrightarrow (\text{Ripple Factor})$$

موج ایده‌آل است که R.F. برای آن مقدار صفر داشته باشد.

$$V_{rms} = \sqrt{V_{dc}^2 + V_{ac}^2}$$

V_{rms} : مقدار مؤثر موج

V_{dc} : مقدار متوسط موج

$$\Rightarrow V_{ac} = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{dc}^2}$$

V_{ac} : مقدار مؤثر مؤلفه ac موج

بنابراین :

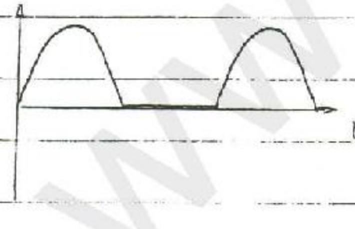
$$R.F. = \frac{V_{ac}}{V_{dc}} = \sqrt{\left(\frac{V_{rms}}{V_{dc}}\right)^2 - 1}$$

ضریب شکل :

$$F.F. = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} \longrightarrow \text{ضریب شکل (Form Factor)}$$

$$R.F. = \sqrt{(F.F)^2 - 1}$$

✓ برای یک مبدل یکفاز نیم‌موج :



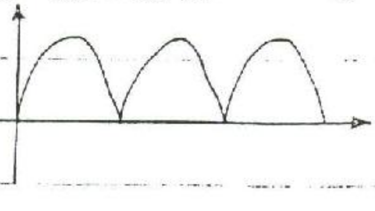
$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} \quad , \quad V_{rms} = \frac{V_m}{2}$$

این شکل بهترین حالت مبدل‌ها با زاویه آتش صفر است.

بنابراین : $F.F = \frac{\pi}{2}$

$$V_{ac} = \sqrt{\frac{V_m^2}{4} - \frac{V_m^2}{\pi^2}} \Longrightarrow R.F. = \frac{V_{ac}}{V_{dc}} = \sqrt{(\pi/2)^2 - 1} = 1.21$$

✓ برای مبدل دوفاز نیم‌موج :



$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} \quad , \quad V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$F.F. = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\pi}{2V_m} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11$$

$$R.F. = \sqrt{(1.11)^2 - 1} = 0.48$$

مبدل سه فاز و شش فاز نیم موج :

برای ۶ فاز . $R.F. = 0.04$

برای ۳ فاز $R.F. = 0.18$

اثرات وجود هارمونیک ها :

تداخل در خطوط مخابراتی — تشدید در سیستم های قدرت — ایجاد توان اضافی مضر

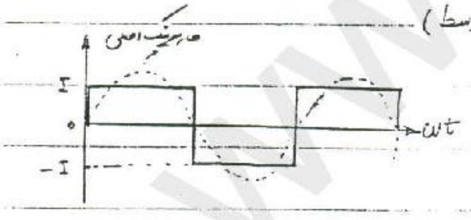
همانطور که ملاحظه کردیم ، جریان اخذ شده توسط مبدل از منبع ac یک جریان غیرسینوسی و دارای هارمونیک ([illegible]) است. این هارمونیک های جریان می توانند مشکلات عدیده ای را ایجاد کنند.

$$i_s = \sum_{n=1}^{\infty} i_n = \sum_{n=1}^{\infty} I_{nm} \sin(n\omega t - \varphi_n)$$

$$A_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} i_s \cos n\omega t \, d\omega t \quad , \quad B_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} i_s \sin n\omega t \, d\omega t \quad \leftarrow$$ ضرایب سری فوریه

$$I_{nm} = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \longrightarrow \varphi_n = -tg^{-1}\left[\frac{A_n}{B_n}\right]$$

جریان مبدل دو فاز نیم موج ، جریان منبع ac (جریان اولیه ترانس با اتصال سر وسط)



$$A_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} i_s \cos n\omega t \, d\omega t = 0$$

$$B_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} i_s \sin n\omega t \, d\omega t = \frac{1}{\pi}\left[\int_0^{I} I \cdots + \int_{\pi}^{2\pi} (-I) \cdots\right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow B_n = \frac{2}{\pi}\int_0^{\pi} I \sin n\omega t \, d\omega t = \frac{2I}{\pi}\left[-\frac{1}{n}\cos n\omega t\right]_0^{\pi} = \begin{cases} \frac{4I}{n\pi} & , n \text{ فرد} \\ 0 & , n \text{ زوج} \end{cases}$$

$$\varphi_n = -tg^{-1}\left(\frac{A_n}{B_n}\right) = 0$$

Subject:

Date. 1382-8-19

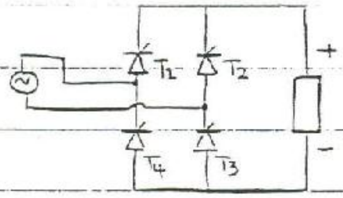
هر چقدر مرتبه هارمونیک بالا رود دامنه آن پایین می آید. $i_s = \sum_{n\,odd}^{\infty} \frac{4I}{n\pi} \sin(n\omega t)$

مبدلهای تمام موج :

در این نوع از مبدل از هر دو نیم سیکل موج استفاده می کنیم.

تکفاز

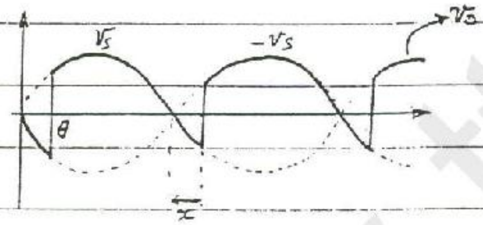
پل تکفاز



تفاوت نیم موج و تمام موج فقط این است که تعداد فازها دو برابر شده باشند.

T_1 و T_3 در نیم سیکل (+) هدایت می کنند.

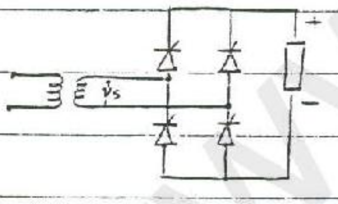
T_2 و T_4 در نیم سیکل (−) هدایت می کنند.



اگر بار یک بار سلفی باشد دیود هرزگرد نداریم در این صورت هر زمان که دو دیود

در سیکل مثبت واقع می شوند یکسوسازهای کنترل ها روشن می شوند

شکل موج خروجی در این حالت شامل نیم سیکلهای مثبت موج است



مبدل تمام کنترل شده تکفاز با ترانس

پیوسته بودن جریان در بار شرط داشتن شکل موج فوق است.

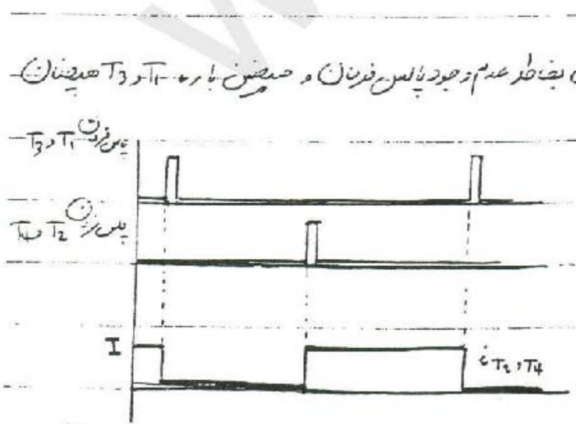
$\theta = \pi/2$ مرز حالت یکسو کنندگی و اینورتری است.

فرض پیوسته بودن جریان یعنی اندوکتانس بار قابل ملاحظه است و بنابراین به طوری $V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi}\cos\theta$

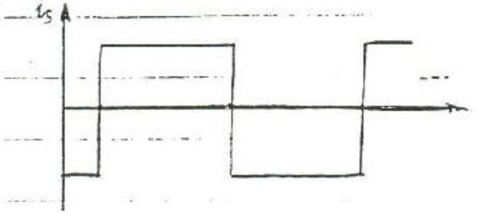
لحظه ای نمی تواند جریانش قطع شود.

بازه ای است که T_2 و T_4 در گرایش مستقیم قرار گرفته اند ولی به خاطر عدم وجود پالس فرمان و همچنین بار، T_1 و T_3 همچنان

هدایت می کنند.



$\longrightarrow I_{T(av)} = I/2 \;,\; I_{T(rms)} = \frac{I}{\sqrt{2}}$



$I_s = I$

پل	با ترانس سروسط
۴ عدد تریستور	۲ عدد تریستور
ترانس دو سیم پیچه ساده	ترانس با اتصال سروسط
$TUF_{s,p} = 0.9$	$TUF_s = 0.63$

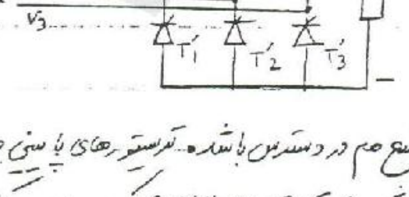
* از دید هسته و اولیه این دو مدار مشابهند نابرابر. TUF ثانویه در مدار پل مشابه اولیه در ترانس با سروسط است (تقریباً ثانویه‌اش با اولیه‌اش مساوی است)

$PIV = V_m$ (یک ولتاژ منبع به تریستور اعمال می‌شود) $PIV = 2V_m$ (چون کل ثانویه روی تریستور می‌افتد)

«در واقعیت ، افت ولتاژ به ازای تریستورها برابر دو ولتاژ افت یک تریستور است درصورتیکه در مدار با ترانس سروسط تنها یک افت در هر لحظه وجود دارد.»

پل	با ترانس سروسط
در هر لحظه دو عنصر یکسو کننده با هم سری هدایت می‌کنند پس افت ولتاژ هر دو را خواهیم داشت.	در هر لحظه تنها یک عنصر هدایت می‌کند و افت ولتاژ کمتر به آن خواهد بود.

یکسو کننده تمام موج سه فازه (پل سه فاز یا پل گرتز) :



در این مدار جریان از هر فازی که می‌آید باید به یکی از دو فاز دیگر برگردد که از طریق تریستور مربوط به آن این امر صورت می‌گیرد.

در مدار نیم موج برای وجود ایجاد جریان لازم بود که سر خنثی منبع هم در دسترس باشد. تریستورهای پایینی در این مدار زمانی هدایت خواهند کرد که ولتاژ فاز مربوط به آن نسبت به دیگر فازها کوچکتر باشد ولی تریستورهای بالایی به عکس عمل می‌کنند. بنابراین مدار زیر را به صورت ترکیب دو مدار نیم موج سه فاز که با هم ترکیب شده اند در نظر گرفت. زودترین زمان برای فرمان روشن شدن

www.ttnar.ir

نوسان کمتر یا سیون چلبی‌ها مدار است

تعیین برخی نکات :

ولتاژ خروجی یکسوکننده :

R.F. ضریب تموجات

✓ فرکانس ریپل ← فرکانسی که تموجات با آن فرکانس نوسان می‌کنند.

صاف‌تر شدن ← فیلتر نمودن موجی که دارای فرکانس ریپل بزرگتری است ساده‌تر است. مثلاً با قرار دادن یک C در مسیر می‌توان این مسئله صورت گیرد.

فرکانس ریپل در یکسوکننده نیم موج سه فاز ← 3f (f فرکانس اصلی)

جریان طرف ac (جریان منبع ac) :

هارمونیک‌های موجود

T.H.D. (Total Harmonic Distortion) : اعوجاج هارمونیکی کلی

$$T.H.D = \frac{\text{مؤثر کل مؤلفه‌های هارمونیکی}}{\text{مؤلفه اصلی هارمونیک‌ها}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{I^2 - I_1^2}}{I_1}$$

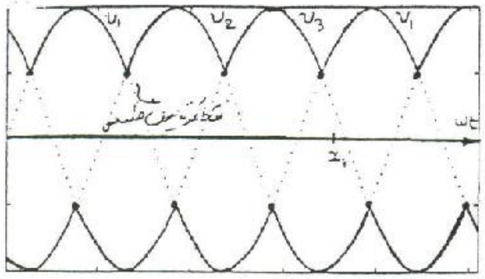
I : مقدار مؤثر کل جریان I_n : مقدار مؤثر هارمونیک n ام جریان I_1 : مقدار مؤثر مؤلفه اصلی جریان

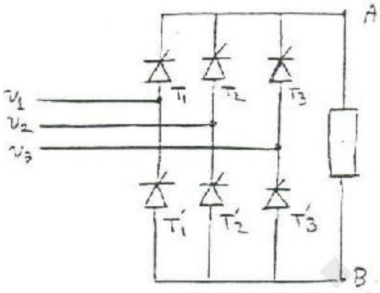
اعوجاج هارمونیکی کلی : $\frac{I_n}{I_1}$

* نسب مقادیر فوق بر اساس درصد بیان می‌شوند.

www.ttnar.ir

→ مبدل سه فاز تمام موج :





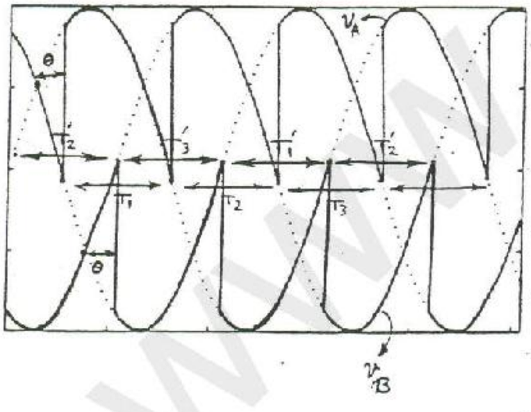
از نقاط کموتاسیون طبیعی به بعد است که تریستورها اگر پالس فرمان داشته باشند می‌توانند هدایت کنند.

در صورتی که مدار دیودی باشد دیود D_3 نمی‌تواند در زاویه $\frac{\pi}{6}$ هدایت کند در حالیست که اگر مدار تریستوری باشد در این صورت اگر پالس فرمان T_1 نیامده باشد، T_3 همچنان می‌تواند هدایت کند.

مرجع محاسبه ولتاژ در نقاط A و B، نقطه خنثی یا نول منبع است و در واقع این منحنی، منحنی ولتاژ فاز است.

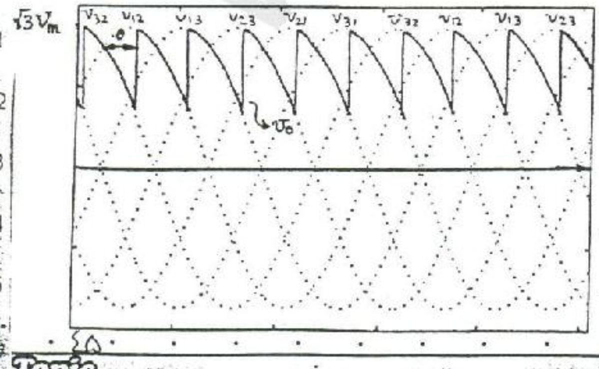
ولتاژ خروجی $v_0 = v_A - v_B$ است که ولتاژ خط است.

پیک منحنی ولتاژ v_0 برابر $\sqrt{3}V_m$ است (V_m پیک ولتاژ v_A یا v_B)



با اینکه منبع ما سه فاز بوده است ولی خروجی شکل موجی شبیه یک یکسوساز ۶ فاز دارد و در نتیجه فرکانس ریپل آن 6f است.

بنابراین از لحاظ کیفیت ولتاژ DC مبدل سه فاز تمام موج معادل یک مبدل ۶ فازه است. بنابراین این شکل موج می‌تواند شکل موج خروجی یک مبدل ۶ فاز نیم موج باشد البته به شرطی که پیک ولتاژ در سیستم ۶ فاز برابر $U_m = \sqrt{3}V_m$ باشد.



$$V_{dc} = \bar{V}_A - \bar{V}_B = 2\bar{V}_A$$

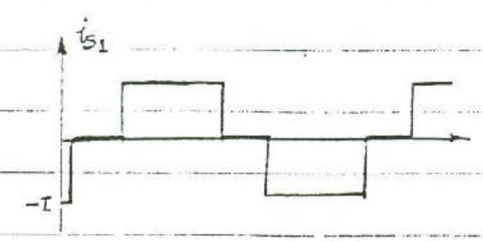
$$= 2\,\frac{\pi}{3} \times \sin\frac{\pi}{3} \times V_m \cos\theta$$

$$= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \cos\theta = 3 \times \frac{U_m}{\pi} \times \cos\theta$$

V_M : پیک ولتاژ فاز U_m : پیک ولتاژ خط

www.tinar.ir

از رابطه کلی قبلی هم می‌توان محاسبه کرد: $V_{dc} = \frac{6}{\pi} \sin\frac{\pi}{6} V_m \cos\theta = \frac{3}{\pi} V_m \cos\theta$



هرکدام از تریستورها °120 هدایت می‌کنند و °240 در حال استراحت هستند. میزان جریان متوسط خروجی ⅓ جریان بار است و جریان موثر $\frac{I}{\sqrt{3}}$ است.

از لحاظ کاری تریستورها مشابه حالت سه فاز هستند.

مقدار موثر موج جریان منبع v_1 ⟵ $I_s = \sqrt{\frac{2}{3}}\, I$

$$P_s = V_{dc} I_{dc} = \frac{3\sqrt{3}\, V_m \cos\theta}{\pi} \cdot I$$

$$S_s = 3 V_s I_s = 3\left(\frac{V_m}{\sqrt{2}}\right) I \sqrt{\frac{2}{3}} \longrightarrow P.f_s = \frac{P_s}{S_s} = \frac{3\sqrt{3}\, V_m I \cos\theta}{\pi\, 3\sqrt{2}\, V_m I \sqrt{2}} = \frac{3}{\pi}\cos\theta$$

$$\Rightarrow P.f_s = 0.955 \cos\theta \longrightarrow T.U.F = 0.955$$

این مقدار نشان می‌دهد که این مبدل از لحاظ موج ورودی هم خیلی خوب کار می‌کند.

درصورتیکه زاویه آتش بزرگ شود در این صورت T.U.F ما خراب می‌شود و کاهش می‌یابد. پس برای داشتن T.U.F بالا بهتر داشته باشیم مناسب‌تر بهتر است زاویه آتش به صفر نزدیک شود.

درصورتیکه زاویه آتش صفر انتخاب شود آنگاه R.F مشابه 6 فاز 4٪ خواهد بود.

بنابراین با توجه به مشخصه‌های فوق، در کاربردهای مختلف از این مبدل استفاده می‌شود و اگر از لحاظ هارمونیکی و دیگر مسائل حتی این بلوک برای ما مناسب نباشد ما از ترکیبات مختلف آنها استفاده می‌کنیم.

به طور مثال از سری کردن دو مبدل سه فاز فوق، باز مبدلی داریم که از لحاظ ورودی سه فاز است با یک خروجی که مشابه یک مبدل 12 پالسه است.

از لحاظ مدار فرمان، ۶ مدار فرمان داریم که از یکدیگر مشابه هستند با این تفاوت که هرکدام با پالس‌های مربوط به خود سنکرون شده‌اند.

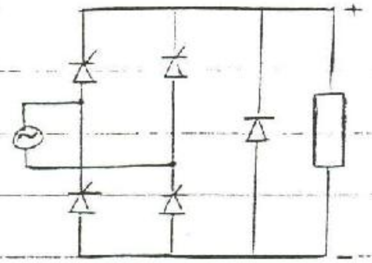
برای مثال در مورد T_1 از V_1 و در مورد T_2 از V_2 نمونه‌گیری صورت می‌گیرد و با آنها سنکرون می‌شود.

ضمناً از آنجایی که هیچ دو تریستور مشخصی به طور همزمان هدایت نخواهند کرد لذا باید ملاحظاتی در مورد مدار فرمان صورت گیرد.

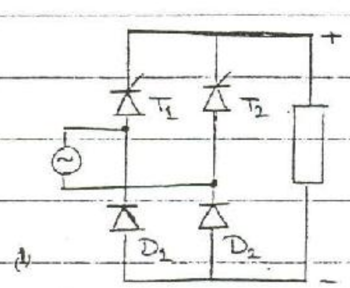
برای حل مشکل بیان شده، الزام است که هر پالس فرمان همزمان به یک تریستور اعمال شود و به طور فرعی به تریستور دیگری که همزمان با آن باید روشن باشد اعمال شود.

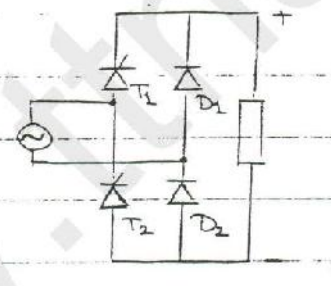
به طور مثال پالس فرمانی که به T_1 اعمال می‌شود به T_2' هم باید اعمال شود. اگر T_2' قبلاً روشن بوده باشد این پالس فرمان اثری در کارکرد T_2' نخواهد داشت و همچنین برای T_3' باید به T_2 هم فرمان داده شود و ...

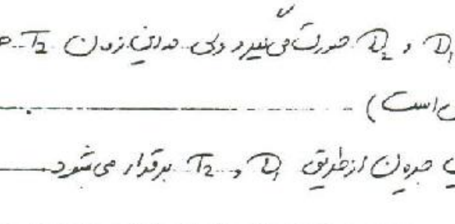
مبدل‌های نیمه کنترل شده:



این سه مدار از لحاظ کارکردی مشابه هستند.







در برایش مستقیم، جریان از طریق T_1 به بار می‌رسد و از طریق دیود D_2 برمی‌گردد.

سر مثبت منبع به آند T_1 و سر منفی آن به آند D_2 متصل است.

بلافاصله پس از تغییر جهت ولتاژ منبع D_1 شروع به هدایت می‌کند و این به منزله خاموش شدن D_2 است.

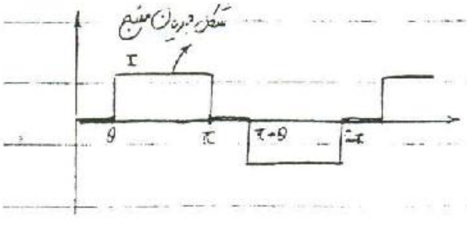
در لحظه عبور از صفر ولتاژ، یک کموتاسیون طبیعی بین D_1 و D_2 صورت می‌پذیرد ولی در آن زمان T_2 همچنان نمی‌تواند هدایت کند و T_1 همچنان در حال هدایت است (چون بار سلفی است).

در زاویه $\pi+\theta$ ، T_2 هم می‌تواند هدایت کند بنابراین جریان از طریق D_1 و T_2 برقرار می‌شود.

۲۵/

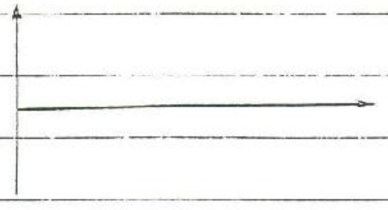
$V_{dc} = \frac{1}{\pi}\int_{\theta}^{\pi} V_m \sin\omega t \, d\omega t \longrightarrow V_{dc} = \frac{V_m}{\pi}(1+\cos\theta)$ —— PIV = V_m

هرکدام از دیودها و هرکدام از تریستورها در مدار (۱) به اندازه $180°$ کار هدایت جریان را برعهده می‌گیرند.



$I_s = I\sqrt{\frac{\pi-\theta}{\pi}} \longrightarrow$ مقدار مؤثر جریان منبع

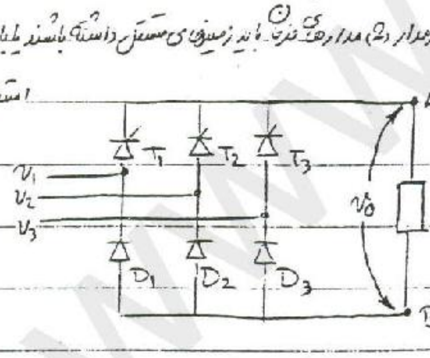
در مدار شماره ۲ به کموتاسیون طبیعی بین T_1 و D_1 و همچنین بین T_2 و D_2 صورت می‌گیرد. در این مدار، در زمان کموتاسیون‌ها دیودهای مدار هدایت می‌کنند و در فاصله زمانی وجود جریان θ است که تریستورها هدایت می‌کنند.



بنابراین مدار شماره ۲ بهتر از مدار (۱) است چون دیودها بیشتر هدایت می‌کنند و تریستور گرمش کمتری تلف می‌شود و این به سود ماست چون دیودها که بیشتر باید جریان تحمل کنند ارزانتر هستند.

اما از دید زمین مدار فرمان مدار (۱) بهتر است چون در مدار (۲) کاتد تریستورها در وضعیت‌های متفاوتی قرار دارند. (در مدار (۱) کاتد تریستورها به هم وصل است و زمین مدار فرمان در این نقطه قرار می‌گیرد و به ایزولاسیون نیازی نیست ولی در مدار (۲) مدارهای فرمان باید زمین‌های مستقل داشته باشند یا باید از ایزولاسیون استفاده کرد)

مبدل نیمه کنترل شده سه فازه :



بخاطر نکات ذکر شده در قسمت قبل بهتر است تریستورها در قسمت بالایی مدار جای گیرند.

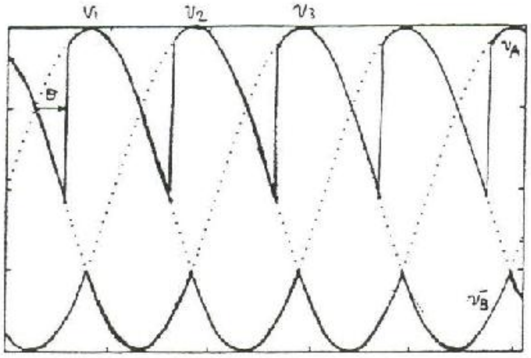
این مدار به سه پالس فرمان نیاز دارد.

$V_{dc} = \frac{3}{\pi}\sin(\frac{\pi}{3})V_m(\cos\theta+1)$ —— $V_o = V_A - V_B = 2V_{dc}$

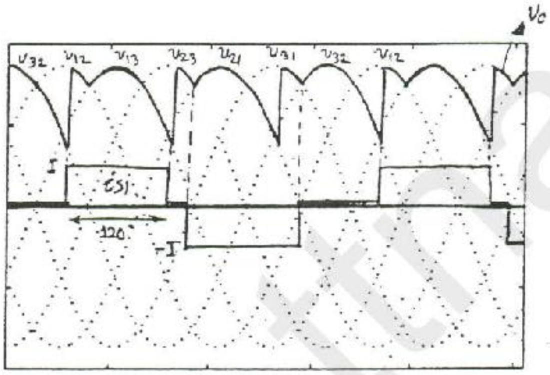
$= \left[\frac{3\sqrt{3}}{2\pi}V_m(1+\cos\theta)\right]\times 2 \longrightarrow V_{dc} = \frac{3}{\pi}U_m(1+\cos\theta)$

مهمترین اشکال این مدار نسبت به مدار قبلی فرکانس ریپل پایین آن است (3f). ضمناً بین دو نیم سیکل جریان برخلاف مدار قبلی ثابت نیست. تقارن قبلی وجود ندارد بنابراین هارمونیک‌های زوج هم در شکل موج جریان خروجی وجود دارد.

www.tinar.ir

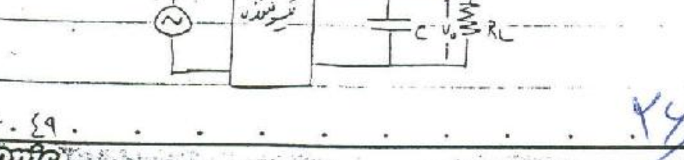


$v_0 = v_A - v_B$



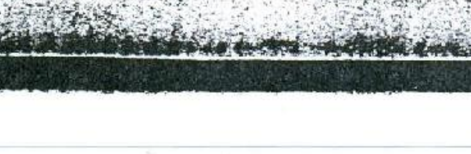
فیلتر:

ولتاژ خروجی و همچنین جریان گرفته شده از منبع دارای اعوجاج است ـــ در مبدل‌های استاتیک بنابراین از فیلتر در ورودی جهت جلوگیری از ورود هارمونیهای جریان استفاده می‌شود. همچنین فیلتری هم در طرف dc قرار می‌گیرد تا اعوجاج ولتاژ خروجی را تا حدی از میان ببرد و شکل موج خروجی را صاف نماید.


ورودی
فیلتر ac
مبدل استاتیک
فیلتر dc
بار dc

فیلتر dc :

حداقل فرکانس موجود در ولتاژ مبدل، فرکانس ریپل است و بقیه هارمونی های آن هستند.


یکسوکننده
C
V0
RL