http://levinic.com

فصل ۳

مدارهای یکسو کننده

۳-۱ مقدمه

دیودها و تریستورها در مدارهای الکتریکی والکترونیکی کاربردهای فراوانی دارند. همچنین این وسایل نیمه‌هادی بطور وسیع در مدارهای الکترونیک قدرت به منظور تبدیل توان الکتریکی از ac به dc مورد استفاده قرار می‌گیرند. مبدل ac - dc معمولاً به یکسو کننده[1] موسوم است و یکسو کننده‌های دیودی خروجی dc ثابت را فراهم می‌نمایند. به منظور بدست آوردن ولتاژ خروجی قابل کنترل، درمدارهای یکسو کننده بجای دیود از تریستور استفاده می‌شود. به این نوع مبدل قابل کنترل نیز مبدل ac-dc گفته می‌شود. در این فصل به بررسی این نوع مبدل پرداخته و بررسی سایر مبدلها را به فصول بعدی موکول می‌نمائیم.

۳-۲ انواع مدارهای یکسوکننده

مدار یکسو کننده[2] مداری است که یک منبع تغذیه ac را به یک بار dc متصل می‌کند، به عبارت دیگر ولتاژ متناوب تغذیه را به ولتاژ مستقیم تبدیل می‌نماید. ولتاژ مستقیم حاصل معمولاً نظیر ولتاژ باطری مسطح نمی‌باشد بلکه در برگیرنده مولفه ریپل (تموج)[3] است. مدارهای متعددی که تشریح خواهند شد اگر چه همگی خروجی dc را تولید می‌نمایند لیکن با توجه به میزان ریپل موجود در آنها و مقدار متوسط ولتاژ، ضریب بهره و اثربار[4] آنها بر روی سیستم تغذیه، با یکدیگر تفاوت دارند. مدارهای یکسو کننده بطور کلی به دو دسته مدارهای

1- Rectifier 2- Rectifier circuit 3- Ripple

4- Load effect

http://levinic.com

یکسو کننده نیم موج[1] و تمام موج[2] تقسیم می‌شوند. مدارهای نیم‌موج، مدارهایی هستند که درآنها بر روی هر خط منبع تغذیه ac یک وسیله یا عنصر یکسو کننده قرار دارد و کاتد این عناصر بهم متصل گردیده و بار dc را تغذیه می‌کنند و خط برگشت از بار به خط خنثای منبع تغذیه متصل می‌گردد. اصطلاح نیم‌موج بیانگر این حقیقت است که جریان در هریک از خطوط تغذیه ac در یک جهت است. جهت توصیف این مدارها می‌توان از اصطلاح ***یک راهه یا یکطرفه***[3] استفاده کرد.

مدارهای یکسوکننده تمام موج، مدارهایی هستند که درآنها عملاً دو مدار یکسوکننده نیم موج بطور سری قرار گرفته‌اند، یکی از آنها بار را تغذیه می‌نماید و مدار دیگر جریان بار را مستقیماً به خطوط ac برمی‌گرداند و در نتیجه نیازی به خط خنثای منبع ac نمی‌باشد. از اصطلاح تمام موج به این دلیل استفاده می‌گردد که در حقیقت جریان در هریک از خطوط تغذیه ac گرچه لزوماً متقارن نیست، متناوب می‌باشد. مدارهای یکسوکننده تمام موج عموماً، ***مدارهای پل***[4] نامیده می‌شوند و همچنین به ***مدارهای دو طرفه***[5] موسومند.

از نقطه نظر کنترل، مدارهای یکسوکننده را می‌توان در سه طبقه، ***کنترل نشده***،[6] ***تمام کنترل شده***[7] ***و نیمه کنترل شده***،[8] قرار دارد. در مدارهای یکسو کننده کنترل نشده فقط از دیود استفاده شده است و دامنه ولتاژ خروجی ثابت و به اندازه دامنه ولتاژ ورودی است. در مدارهای یکسو کننده تمام کنترل شده، عناصر یکسو کننده تریستورها یا ترانزیستورهای قدرت می‌باشند و در این مدارها ولتاژ خروجی dc، تابعی از دامنه ولتاژ تغذیه ac و زاویه آتش تریستورها ست. مدارهای نیمه کنترل شده شامل ترکیبی از دیودها و تریستورها هستند و درمقایسه با مدارهای تمام کنترل شده، کنترل ولتاژ خروجی آنها در سطح محدودتری انجام می‌گیرد. در مدارهای نیمه کنترل شده و کنترل نشده عبور توان فقط از منبع تغذیه ac به بار dc میسر است و به همین دلیل اغلب به عنوان ***مبدلهای یکطرفه***[9] توصیف می‌شوند. لیکن در مدارهای تمام کنترل شده می‌توان با کنترل زاویه آتش امکان عبور توان از بار به منبع تغذیه را فراهم کرد، بنابراین عبور توان در هر دو جهت میسر است و به همین دلیل اغلب به عنوان ***مبدلهای دو طرفه***[10] توصیف می‌شوند. در این مبدلها وقتی توان از منبع به بار انتقال می‌یابد گفته می‌شود که مبدل در حالت یکسوکنندگی کار می‌کند، و هنگامیکه توان از بار به منبع تغذیه انتقال

1- Half wave
2- Full wave
3- Single way
4- Bridge circuits
5- Double - way
6- Uncontrolled
7- Fully - Controlled
8- Half - Controlled
9- Unidirectional converters
10 - Bidirectional converters

http://levinic.com

می‌یابد گفته می‌شود که مبدل در حالت معکوس کنندگی کار می‌کند.

مدارهای یکسوکننده غالباً به وسیله تعداد پالس توصیف می‌گردند و تعداد پالس روشی است که براساس آن مشخصه خروجی یک مدار مفروض تعریف می‌شود و تعداد پالس بیانگر میزان تکرار یا تواتر در شکل موج ولتاژ مستقیم خروجی در خلال یک سیکل منبع تغذیه ac است و گاهی بر حسب فرکانس ریپل شکل موج بیان می‌گردد. تعداد پالس در حقیقت معرف تعداد عملیات سوئیچینگ (کلیدزنی) در خلال یک سیکل شکل موج تغذیه ac است که درآنها انتقال بار بین هر یک از دیودها، تریستورها و... صورت می‌گیرد.

۳-۳ دیود کموتاسیون [1]

همانطوریکه در فصل ۱ ملاحظه کردیم اگر برای تغذیه یک بار اندوکتیو از یک دیود یا تریستوراستفاده کنیم، ولتاژ بار در مدت زمان هدایت،معکوس می‌گردد. اگر مطابق شکل ۳-۱ یک دیود در دوسر بار قرارگیرد از معکوس شدن ولتاژ ممانعت می‌نماید. به چنین دیودی، دیود کموتاسیون گفته می‌شود که غالباً در مدارهای کنترل نشده یا نیمه کنترل شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین در خلال معکوس شدن ولتاژ دوسر بار، جریان بار از یکسوکننده اصلی به دیود انتقال می‌یابد و در نتیجه به تریستورها اجازه داده می‌شود تا دوباره حالت مسدود [2] خودشان را بازیابند. جریان دیود کموتاسیون به وسیله انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی اندوکتانس بار، حفظ می‌گردد. البته این دیود به صورتهای مختلف مانند **دیود هرزگرد** [3] **دیود بای پاس** [4] توصیف شده است لیکن بهترین توصیف همان دیود کموتاسیون (دیود انتقال دهنده یا جابجا کننده) است، زیرا به هنگام معکوس شدن ولتاژ بار، نقش انتقال دادن [5] جریان از یکسو کننده به دیود را به عهده می‌گیرد.

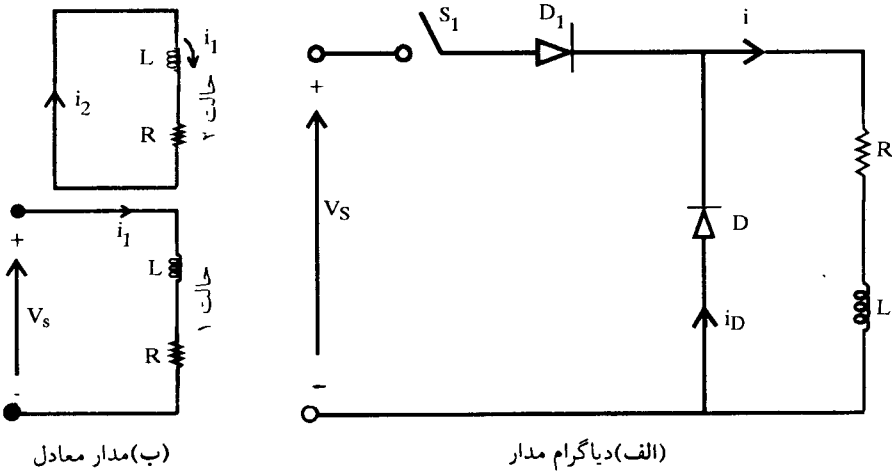
اگر در شکل ۳-۱ کلید S_1 برای مدت زمان t_1 بسته شود، جریان باربرقرار می‌شود و در هنگام باز شدن کلید مسیر عبور جریان بار توسط دیود D فراهم می‌گردد. بنابراین می‌توان مدارمعادل شکل ۳-۱ ب برای عملکرد دو حالت در نظر گرفت. جریانها برای دو حالت به ترتیب i_1 و i_2 در نظر گرفته شده است.

در خلال حالت (۱)، جریان عبوری از دیود برابر است با

$$i_1(t) = \frac{V_s}{R}\left(1 - e^{-t\,R/L_1}\right) \qquad (۱-۳)$$

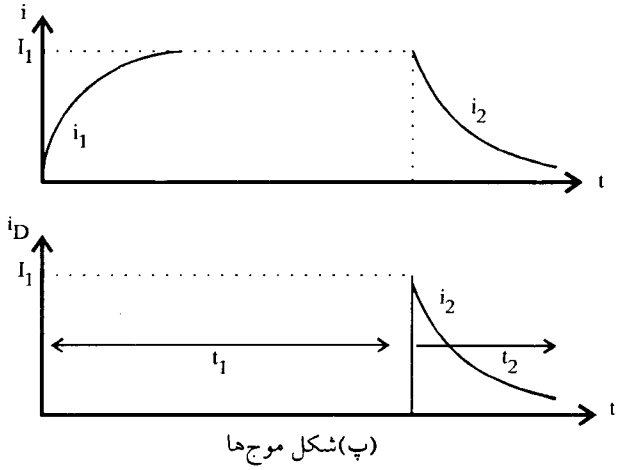
1- Commutating Diode
2- Blocking state
3- Freewheeling Diodes
4- By pass
5- Commutate

http://levinic.com



(الف)دیاگرام مدار

(ب)مدار معادل



(پ)شکل موج‌ها

شکل ۳-۱ مدار یکسو کننده همراه با دیودکموتاسیون

اگر کلید در لحظه $t_1 = t$ بسته شود، جریان در آن لحظه برابر خواهد شدبا

$$I_1 = \frac{V_s}{R}(1 - e^{-t_1 R/L}) \qquad (۲-۳)$$

اگر زمان t_1 به‌اندازه‌ای باشدکه جریان به مقدار ماندگار خود برسد جریان عبوری ازباربرابر $I = \frac{V_s}{R}$ خواهد بود.

http://levinic.com

در خلال حالت (۲)، با بازشدن کلید، جریان بار مدار خود را از طریق دیود کموتاسیون می‌بندد، و این جریان از معادله زیر بدست می‌آید.

$$Ri_2 + L\frac{di_2}{dt} = 0 \qquad (۳-۳)$$

با مقدار اولیه I_1، از حل معادله فوق مقدار جریان عبوری از دیود کموتاسیون بدست می‌آید، یعنی

$$i_2(t) = I_1 e^{-t\,R/L} \qquad (۴-۳)$$

با گذشت زمان جریان بطور نمایی تنزل می‌یابد و اگر $t_2 >> L/R$ باشد جریان در $t=t_2$ به صفر کاهش پیدا می‌کند. شکل موجها در شکل ۳-۱ پ نشان داده شده است.

۳-۴ پارامترهای ارزیابی رفتار مدار

از آنجائیکه با مدارهای متعدد یکسو کننده مواجه هستیم، نحوه عملکرد آنها به کمک پارامترهایی که محاسبه خواهند شد مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، این پارامترها عبارتنداز:

- مقدار متوسط یا میانگین ولتاژ خروجی (ولتاژ بار) V_{dc}
- مقدار متوسط جریان خروجی (جریان بار) I_{dc}
- توان خروجی dc P_{dc}
- مقدار rms ولتاژ خروجی V_{rms}
- مقدار rms جریان خروجی I_{rms}
- توان خروجی ac P_{ac}
- بازده (یا نسبت یکسوسازی) یک یکسوکننده، عددی است حائز اهمیت که میزان موثر بودن آن در یکسو کنندگی را بیان می‌کند و بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} \qquad (۵-۳)$$

که در آن

$$P_{dc} = V_{dc}\, I_{dc} \qquad (۶-۳)$$

$$P_{ac} = V_{rms}\, I_{rms} \qquad (۷-۳)$$

http://levinic.com

ولتاژ خروجی را می‌توان ترکیبی از دو مولفه در نظر گرفت، یکی مولفه dc و دیگری مولفه ac یا ریپل است.

● مقدار موثر یا (rms) مولفه ac ولتاژ خروجی برابر است با

$$V_{ac} = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{dc}^2} \qquad (۸-۳)$$

● ضریب شکل[1] که معیاری برای سنجش شکل موج ولتاژ خروجی است برابر است با

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} \qquad (۹-۳)$$

● ضریب ریپل (تموج)[2] که معیاری برای سنجش میزان ریپل موجود است به شکل زیر تعریف می‌شود.

$$RF = \frac{V_{ac}}{V_{dc}} \qquad (۱۰-۳)$$

باقرار دادن معادله (۳-۸) در معادله (۳-۱۰) ضریب ریپل به فرم زیر بیان می‌شود.

$$RF = \sqrt{\left(\frac{V_{rms}}{V_{dc}}\right)^2 - ۱} = \sqrt{FF^2 - ۱} \qquad (۱۱-۳)$$

● ضریب بهره‌برداری ترانسفورماتور[3] بصورت زیر تعریف می‌شود.

$$TUF = \frac{P_{dc}}{V_s I_s} \qquad (۱۲-۳)$$

که در آن V_s و I_s مقادیر rms ولتاژ و جریان ثانویه ترانسفورماتوراست.

● ضریب جابجایی[4] بصورت زیر بیان می‌شود.

$$DF = \cos \phi \qquad (۱۳-۳)$$

که در آن ϕ زاویه بین مولفه‌های اصلی جریان و ولتاژ ورودی است و زاویه جابجایی[5] نامیده می‌شود.

1- Form Factor
2- Ripple Factor
3- Transformer utilization factor
4- Displacement factor
5- Displacement angle

http://levinic.com

● **ضریب هارمونیک** [1] جریان ورودی به شکل زیر تعریف می‌شود.

$$HF=\left(\frac{I_s^2-I_1^2}{I_1^2}\right)^{\frac{1}{2}}=\left[\left(\frac{I_s}{I_1}\right)^2-1\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (۱۴-۳)$$

که در آن I_1 مقدار موثر مولفه اصلی و I_S مقدار موثر کل جریان ورودی است.

● **ضریب توان** [2] ورودی بصورت زیر تعریف می‌شود.

$$PF = \frac{V_s I_1}{V_s I_s} \cos\phi = \frac{I_1}{I_s} \cos\phi \qquad (۱۵-۳)$$

توجه !- اگر جریان ورودی سینوسی خالص باشد،$I_1 = I_s$و ضریب توان PF برابر ضریب جابجایی DF خواهد شد. در یک یکسوکننده ایده‌ال، پارامترهای فوق مقادیر زیر را خواهند داشت:

$PF = ۱$ و $HF = ۰$ و $TUF = ۱$ و $FF = ۱$ و $V_{ac} = ۰$ و $\eta = ٪۱۰۰$

۳-۵ یکسوکننده‌های غیرقابل کنترل

همان‌طوری که گفته شد بااستفاده از دیودها در مدارهای الکترونیک قدرت می‌توان ولتاژ ac را به ولتاژ ثابت dc تبدیل کرد. در این بخش به تشریح انواع این مدارهای یکسوکننده می‌پردازیم.

۳-۵-۱ یکسو کننده تکفاز نیم موج [3] (یکطرفه)

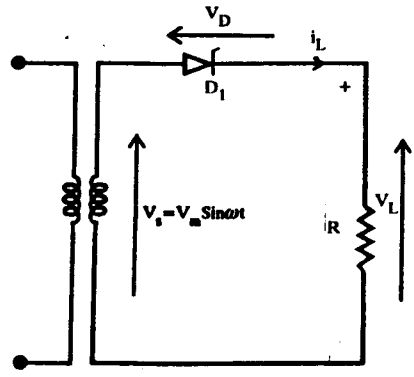
یک یکسوکننده تکفاز نیم موج ساده‌ترین نوع یکسو کننده است که بطور طبیعی در کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. لیکن از نقطه نظر فهمیدن اصول کار یکسوکننده، بررسی آن مفید خواهد بود. دیاگرام مداری آن برای یک بار مقاومتی در شکل ۳-۲ الف نشان داده شده است. در خلال نیم سیکل مثبت ولتاژ ورودی، دیود D_1 هدایت می‌کند و ولتاژ ورودی در دوسر بار ظاهر می‌شود. در خلال نیم سیکل منفی، دیود هدایت نمی‌کند و ولتاژ خروجی صفر است. شکل موجهای خروجی و ورودی در شکل ۳-۲ ب نشان داده شده است.

1- Harmonic factor

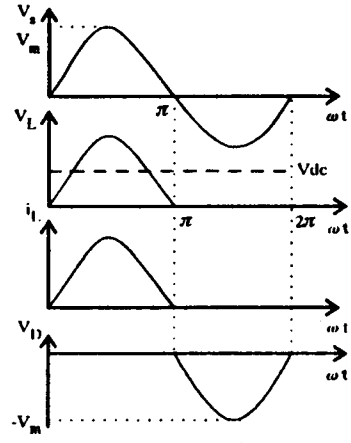
2- Power factor

3- Single-phase half-wave

http://levinic.com



(الف) دیاگرام مداری



(ب) شکل موجها

شکل ۳-۲ یکسو کننده تکفاز نیم موج با بار مقاومتی

مثال ۳-۱

در یکسوکننده شکل ۳-۲ مطلوب است محاسبه (الف)بازده (ب)ضریب شکل (پ) ضریب ریپل (ت) ضریب بهره‌برداری ترانسفورماتور (ث) پیک ولتاژ معکوس (PIV)[1] دیود D_1.

حل - مقدار متوسط ولتاژ خروجی V_{dc} برابر است با

1- Peak Inverse Voltage

http://levinic.com

$$V_{dc} = \frac{1}{T}\int_{0}^{T} v_L(t)dt \qquad (۱۶-۳)$$

همان طوری که در شکل ملاحظه می‌شود در فاصله $T \geq t \geq T/2$ ، $V_L(t)=0$ است بنابراین

$$V_{dc} = \frac{1}{T}\int_{0}^{T} V_m \sin \omega t \, dt = \frac{-Vm}{T}\left(\cos\frac{\omega T}{2} - 1\right)$$

با توجه به $f=\frac{1}{T}$ و $w = 2\pi f$ داریم :

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} = 0/318\ V_m \qquad (۱۷-۳)$$

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R} = \frac{0/318\ V_m}{R}$$

مقدار rms آن برابر است با

$$V_{rms} = \left[\frac{1}{T}\int_{o}^{T} v_L^2(t)\,dt\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (۱۸-۳)$$

بنابراین برای شکل موج سینوسی در فاصله $T/2 \geq t \geq 0$، مقدار rms ولتاژ خروجی برابراست با

$$V_{rms} = \left[\frac{1}{T}\int_{o}^{\frac{T}{2}} (V_m \sin \omega t)^2 dt\right]^{\frac{1}{2}} = \frac{V_m}{2} = 0/5\, V_m \qquad (۱۹-۳)$$

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{0/5\ V_m}{R}$$

با توجه به معادلات (۳-۶) و (۳-۷)،

$$P_{dc} = (0/318 V_m)^2/R \ , \ P_{ac} = (0/5 V_m)^2/R$$

http://levinic.com

با توجه به مقادیر محاسبه شده فوق مقادیر مورد نظر به شرح زیر بدست می‌آیند.

(الف) از معادله (۳-۵) $\eta = (۰/۳۱۸V_m)^۲ / (۰/۵V_m)^۲ = ٪۴۰/۵$

(ب) از معادله (۳-۹) $FF = ۰/۵\,V_m / ۰/۳۱۸V_m = ۱/۵۷$ یا ٪۱۵۷

(پ) از معادله (۳-۱۰) $RF = \sqrt{۱/۵۷^۲ - ۱} = ۱/۲۱$ یا ٪۱۲۱

(ت) مقدار rms ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور برابر است با

$$V_s = \left[\frac{۱}{T}\int_o^T (V_m \sin\omega t)^۲ dt\right]^{\frac{۱}{۲}} = \frac{V_m}{\sqrt{۲}} = ۰/۷۰۷V_m \qquad (۳-۲۰)$$

مقدار rms جریان ثانویه ترانسفورماتور همان جریان بار است یعنی

$$I_s = \frac{۰/۵V_m}{R}$$

بنابراین از معادله (۳-۱۲) $TUF = \frac{P_{dc}}{V_s I_s} = \frac{۰/۳۱۸^۲}{۰/۷۰۷\times۰/۵} = ۰/۲۸۶$

(ث) پیک ولتاژ معکوس یا ولتاژ مسدود برابر است با $PIV = V_m$

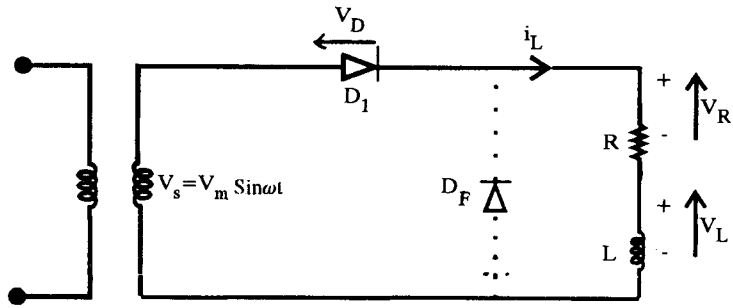
پارامترهای محاسبه شده نشان می‌دهند که این نوع یکسو کننده دارای ضریب تموج بالای ٪۱۲۱، بازده پائین ٪۴۰/۵ و TUF کم است. بعلاوه چون ترانسفورماتور جریان dc را از خود عبور می‌دهد، ممکن است منجر به مساله اشباع هسته ترانسفورماتور گردد. در حقیقت دراین نوع یکسوکننده فقط نیم سیکل انتقال می‌یابد و به همین دلیل بازده آن کم و ریپل آن زیاد است.

حال همان مدار یکسو کننده را در نظر می‌گیریم که در آن بار علاوه بر مقاومت اصلی دارای اندوکتانس می‌باشد (شکل ۳-۳ الف). غالباً در عمل با چنین باری مواجه هستیم. بواسطه وجود اندوکتانس، پریود هدایت دیود $D_۱$ از ۱۸۰ درجه فراتر می‌رود تا جایی که جریان به صفر برسد. شکل موج ولتاژ و جریان در شکل ۳-۳ ب نشان داده شده است.

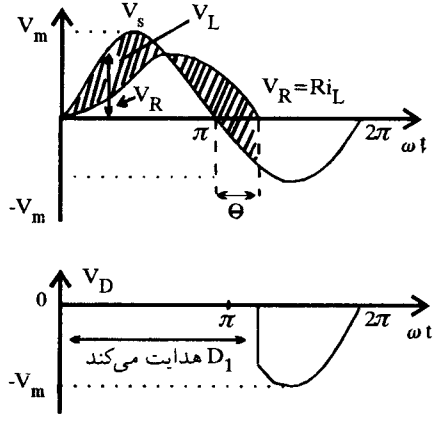
ملاحظه می‌شود که نه تنها در خلال سیکل مثبت ولتاژ تغذیه از بار جریان عبور می‌کند بلکه در خلال بخشی از ولتاژ منفی نیز جریان ادامه می‌یابد. در خلال هدایت دیود می‌توان نوشت:

$$V_m \sin\omega t = Ri_L + L\frac{di_L}{dt} \qquad (۳-۲۱)$$

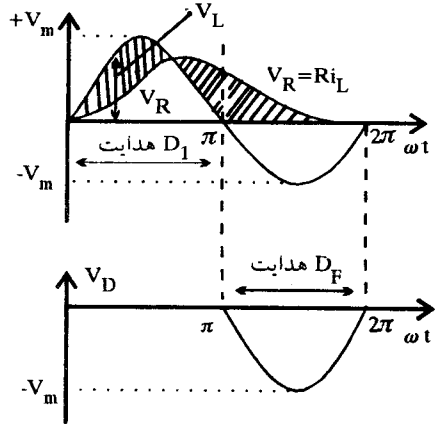
http://levinic.com



(الف) دیاگرام مداری



(ب) شکل موج‌های ولتاژ و جریان



(پ) شکل موج‌ها با دیود هرزگرد

شکل ۳-۳ یکسو کننده نیم موج بابار RL و دیود هرزگرد

http://levinic.com

از حل این معادله جریان بار i_L بدست می‌آید یعنی،

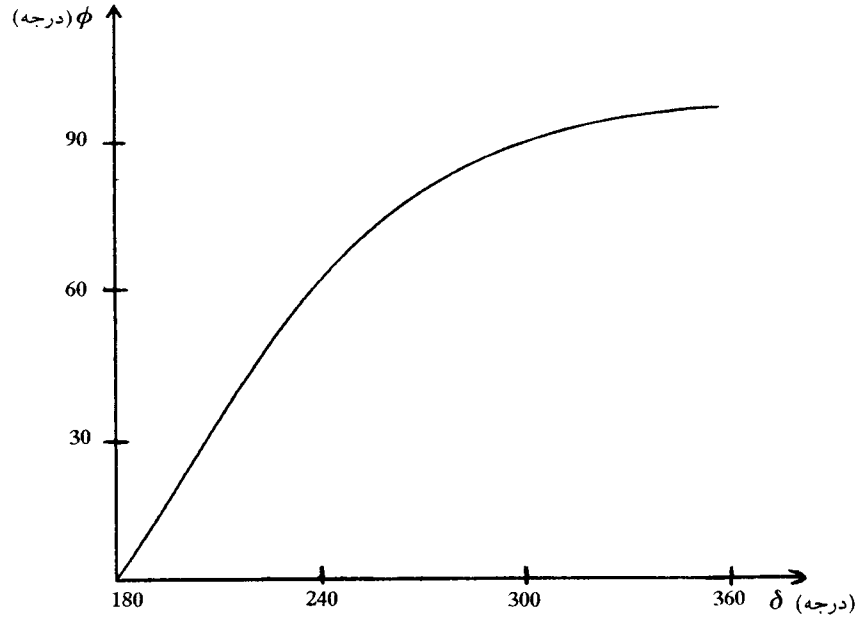
$$\begin{cases} i_L = \dfrac{V_m}{Z}\left[\sin(\omega t - \phi) + e^{\frac{-R}{L}t}\sin\phi\right] & \text{ویا} \\ i_L = \dfrac{V_m}{Z}\left[\sin(\omega t - \phi) + e^{-\omega t/\tan\phi}\sin\phi\right] & \\ i_L = 0 \qquad 0 \le \omega t \le \pi + \theta & \\ \qquad\quad \pi + \theta \le \omega t \le 2\pi & (۲۲-۳) \end{cases}$$

که در آن $Z = \sqrt{R^2 + L^2\omega^2}$ و $\phi = \tan^{-1}\dfrac{L\omega}{R}$ و $\omega = 2\pi f$ است.

اگر زاویه $\delta = \pi + \theta$ باشد با حل معادله فوق به ازاء $\omega t = \delta$ و $i = 0$ زاویه δ بدست می‌آید

$$\sin(\delta - \phi) + \sin\phi\, e^{-\delta/\tan\phi} = 0 \qquad (۲۳-۳)$$

از حل معادله فوق به ازاء مقدار معین ϕ، مقدار δ بدست می‌آید. در حقیقت می‌توان با روش تکراری معادله (۳-۲۳) را حل نمود. از دیاگرام شکل ۳-۴ می‌توان برای بدست آوردن زاویه δ به ازاء مقدار معین ϕ استفاده نمود.



شکل ۳-۴ زاویه امپدانس ϕ بر حسب زاویه δ

http://levinic.com

مقدار متوسط ولتاژ خروجی برابر است با:

$$V_{dc}=\frac{V_m}{2\pi}\int_{o}^{\pi+\theta} \mathrm{Sin}\omega t\, d(\omega t)=\frac{V_m}{2\pi}\left[1-\mathrm{Cos}(\pi+\theta)\right] \qquad (۲۴-۳)$$

مقدار متوسط جریان یکسو شده از رابطه زیر بدست می‌آید،

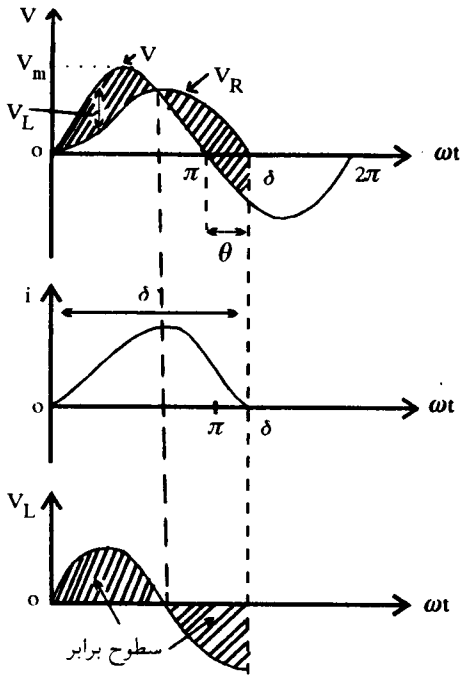
$$I_{dc}=\frac{1}{2\pi}\int_{o}^{\pi+\theta} i_L\, d(\omega t)=\frac{V_m}{2\pi R}\left[1-\mathrm{Cos}(\pi+\theta)\right] \qquad (۲۵-۳)$$

با فرض اینکه مقدار متوسط ولتاژ دو سراندوکتانس صفراست، نتیجه فوق را می‌توان از رابطه $V_{dc} = RI_{dc}$ نیز بدست آورد. در شکل ۳-۳ ب که درآن ولتاژها بر روی یک محور رسم شده‌اند، ولتاژ دوسر مقاومت (Ri_L) متناسب با جریان بار است و تفاضل آن با ولتاژ تغذیه برابر ولتاژ دو سر اندوکتانس خواهد بود که بصورت ناحیه هاشور زده شده در شکل مشخص شده است. ناحیه هاشور زده شده مثبت و منفی برابر است زیرا همانطوریکه گفتیم مقدار متوسط آن صفر می‌باشد. از این اطلاعات می‌توان در بدست آوردن شکل موج جریان بار کمک گرفت. در نقطه‌ای که شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت ولتاژ تغذیه را تلاقی می‌کند، ولتاژ دوسر اندوکتانس صفر است و بنابراین $di/dt = 0$ است یعنی منحنی جریان مقدار ماکزیمم خود را دارد مطابق این روش می‌توان شکل موجها را بدست آورد. این شکل موجها مجدداً در شکل ۳-۵ نشان داده شده‌اند.

همانطوریکه در شکل ۳-۳ ملاحظه می‌شود در مدار یکسوکننده با بار RL، جریان منفصل و دارای ریپل زیادی است. اگرچنانچه مقدار θ درمعادلات (۳-۲۴) و (۳-۲۵) برابر صفر باشد مقدار متوسط ولتاژ و جریان افزایش می‌یابد زیرا در واقع قسمت منفی موج ولتاژ دو سر بار حذف می‌گردد. افزودن دیود هرزگرد D_f مطابق شکل ۳-۳ الف از ظاهر شدن ولتاژ منفی در دوسر بار ممانعت می‌نماید، در نتیجه در خلال نیم سیکل منفی که دیود D_1 قطع می‌شود دیود D_f مسیر دیگری را برای عبور جریان فراهم می‌کند و جریان بار می‌تواند پیوسته گردد. یعنی تا لحظه $t = \pi/\omega$ جریان بار، جریانی است که از دیود D_1 می‌گذرد و از این لحظه به بعد جریان از دیود D_1 به دیود D_f منتقل می‌شود و جریان بار جریان عبوری از D_f می‌باشد(شکل ۳-۳ پ).
مقدار متوسط ولتاژ خروجی برابر است با

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} \qquad (۲۶-۳)$$

http://levinic.com



شکل ۳-۵ شکل موج جریان و ولتاژ در بار اندوکتو

مقدار rms ولتاژ بار برابر است با

$$V_{rms} = \frac{V_m}{۲} \qquad (۲۷-۳)$$

ضریب ریپل برابر است با

$$RF = \sqrt{(\frac{V_{rms}}{V_{dc}})^۲ - ۱} = \sqrt{(\frac{\pi}{۲})^۲ - ۱} = ۱/۲۱۱$$

پس از گذشت چندین سیکل جریان مطابق شکل ۳-۶ به شرایط ماندگار خود می‌رسد. جریان بار به شرح زیر محاسبه می‌شود. در فاصله $۰ \le \omega t \le \pi$ جریان بار برابر جریان منبع است و مقدار آن از حل معادله (۳-۲۱) با شرط اولیه $\omega t = ۰$ و $i_L = I_{۲\pi}$ بدست می‌آید، یعنی

$$i_L = \frac{V_m}{Z} \sin(\omega t - \phi) + A\, c^{-\omega t/\tan\phi}$$

$$I_{۲\pi} = -\frac{V_m}{Z} \sin\phi + A \rightarrow A = I_{۲\pi} + \frac{V_m}{Z} \sin\phi$$

http://levinic.com

با قرار دادن مقدار A در معادله فوق داریم:

$$i_L = \frac{V_m}{Z}\sin(\omega t - \phi) + (I_{2\pi} + \frac{V_m}{Z}\sin\phi)\, e^{-\omega t/\tan\phi} \qquad (۲۸-۳)$$
$$0 \le \omega t \le \pi$$

در فاصله $\pi \le \omega t \le 2\pi$ جریان بار برابر جریان دیود هرزگرد است که مقدار آن از حل معادله (۳-۲۱) به ازاء ورودی صفر و شرط اولیه $\omega t = \pi$ و $i_L = I_{1\pi}$ بدست می‌آید یعنی

$$i_L = A\, e^{-\omega t/\tan\phi}$$

$$i_{1\pi} = A\, e^{-\pi/\tan\phi} \quad \rightarrow A = I_{1\pi}\, e^{\pi/\tan\phi}$$

با قرار دادن مقدار A در معادله فوق داریم

$$i_L = I_{1\pi}\, e^{-(\omega t - \pi)/\tan\phi} \qquad (۲۹-۳)$$

به کمک روابط بالا مقادیر ثابت $I_{1\pi}$ و $I_{2\pi}$ که شرایط مرزی جریان هستند بدست می‌آیند. طبق معادله (۳-۲۹) مقدار جریان در $\omega t = 2\pi$ برابر $I_{2\pi}$ است بنابراین

$$I_{2\pi} = I_{1\pi}\, e^{-(2\pi - \pi)/\tan\phi} = I_{1\pi}\, e^{-\pi/\tan\phi}$$

ویا

$$I_{1\pi} = I_{2\pi}\, e^{\pi/\tan\phi} \qquad (۳۰-۳ \text{ الف})$$

طبق معادله (۳-۲۸) مقدار جریان در $\omega t = \pi$ برابر $I_{1\pi}$ است بنابراین

$$I_{1\pi} = \frac{V_m}{Z}\sin\phi + (I_{2\pi} + \frac{V_m}{Z}\sin\phi)e^{-\pi/\tan\phi}$$

$$I_{2\pi}\, e^{\pi/\tan\phi} = \frac{V_m}{Z}\sin\phi + I_{2\pi}\, e^{-\pi/\tan\phi} + \frac{V_m}{Z}\sin\phi\, e^{-\pi/\tan\phi}$$

ویا

$$I_{2\pi} = \frac{V_m}{Z}\sin\phi\, \frac{1 + e^{-\pi/\tan\phi}}{e^{\pi/\tan\phi} - e^{-\pi/\tan\phi}} \qquad (۳۰-۳ \text{ ب})$$

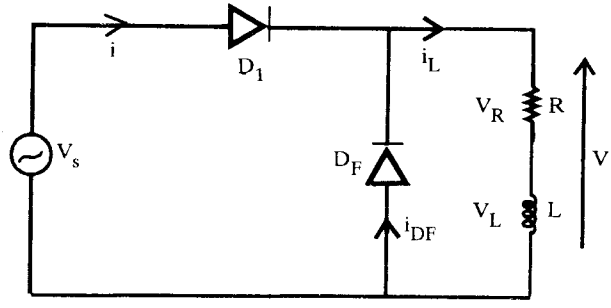
که در آن $Z = \sqrt{R^2 + L^2\omega^2}$ و $\tan\phi = \frac{L\omega}{R}$

http://levinic.com

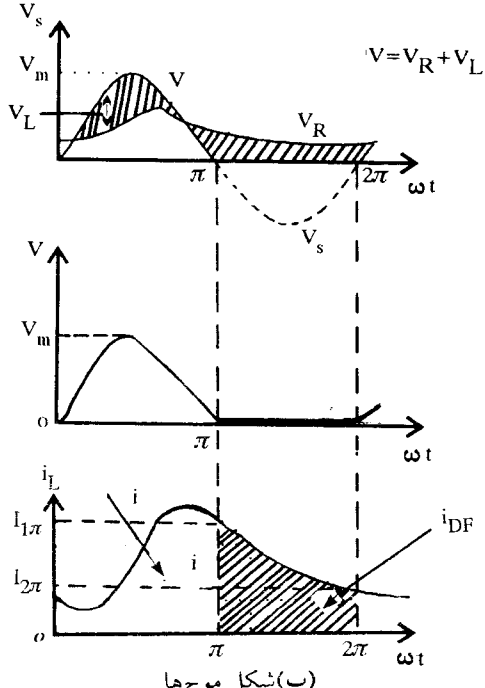
همانطوری که در شکل ۳-۶ ملاحظه می‌شود گرچه جریان بار پیوسته است لیکن جریان تغذیه منفصل و محتوی هارمونیک زیادی است.

مثال ۳-۲

در مدار شکل ۳-۶ ولتاژ تغذیه $V\ \sin(2\pi 50t)$ ۲۴۰√۲، $R = 10\Omega$ و $L = 50mH$ است مطلوبست محاسبه :



(الف) دیاگرام مداری



(ب)شکل موج‌ها

شکل ۳-۶ یکسوکننده نیم‌موج

http://levinic.com

الف) مقدار متوسط جریان بار I_{dc}

ب) جریانهای مرزی $I_{1\pi}$ و $I_{2\pi}$

حل - الف) با توجه به معادله (۳-۲۶)، مقدار متوسط ولتاژ خروجی برابراست با

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi}$$

در نتیجه مقدار متوسط جریان خروجی برابر است با

$$I_{dc} = \frac{V_m}{\pi R} = \frac{۲۴۰\sqrt{۲}}{\pi \times ۱۰} = ۱۰/۸ \text{ A}$$

ب) امپدانس بار برابر است با

$$Z=\sqrt{(R^۲ + L^۲\omega^۲)} = ۱۸/۶۲ \ \Omega \text{ و } \tan\phi = L\omega/R = ۱/۵۷$$

با توجه به معادلات (۳-۳۰) مقادیر جریانهای مرزی بدست می‌آید و برابراست با

$$I_{1\pi} = ۲۵/۲۲ \text{ A} \qquad \text{و} \qquad I_{2\pi} = ۳/۴۱ \text{ A}$$

۳-۵-۲ یکسو کننده دو فاز نیم موج[1] (یکطرفه)

مدار یکسو کننده دو فاز نیم موج با ترانسفورماتور دارای انشعاب میانی در شکل ۳-۷ الف نشان داده شده است. هر نیمه ترانسفورماتور همراه با دیود مربوطه بصورت یک یکسو کننده نیم موج عمل می‌کند. خروجی یکسو کننده تمام موج در شکل ۳-۷ ب نشان داده شده است. از آن جایی که از ترانسفورماتور مولفه dc عبور نمی‌کند، بنابراین مسأله اشباع هسته ترانسفورماتور وجود ندارد. مقدار متوسط ولتاژ خروجی برابر است با

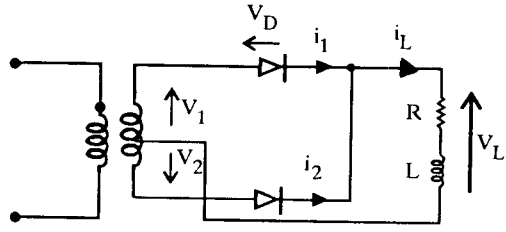
$$V_{dc}=\frac{۲}{T}\int_{o}^{\frac{T}{۲}} V_m \sin\omega t \, dt=\frac{۲V_m}{\pi} = ۰/۶۳۶۶ \, V_m \qquad (۳۱-۳)$$

اگربار یکسو کننده مقاومت اهمی خالص باشد، پارامترهای مربوطه را حساب می‌کنیم یعنی

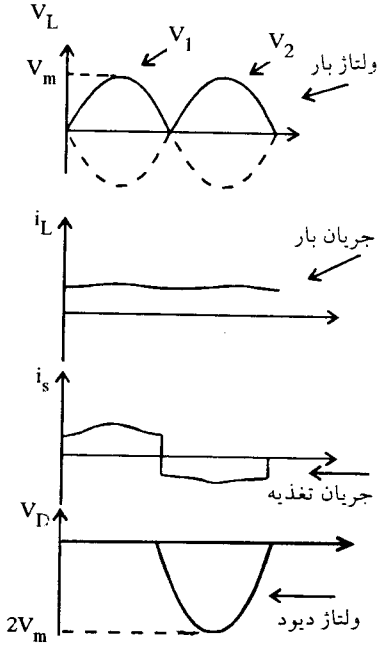
$$V_{dc} = \frac{۲V_m}{\pi} = ۰/۶۳۶۶ \, V_m$$

1- Bi-phase half wave

http://levinic.com



(الف) دیاگرام مداری



(ب)شکل موج‌ها

شکل ۳-۷ یکسوکننده دو فاز نیم‌موج

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R} = \frac{۰/۶۳۶\ V_m}{R} \qquad (۳۲-۳)$$

$$V_{rms} = \left[\frac{۲}{T} \int_{o}^{\frac{T}{۲}} (V_m \sin\omega t)^۲ dt \right]^{\frac{۱}{۲}} = \frac{V_m}{\sqrt{۲}} = ۰/۷۰۷ V_m \qquad (۳۳-۳)$$

http://levinic.com

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{۰/۷۰۷V_m}{R}$$

$$P_{dc} = (۰/۶۳۶۶V_m)^۲/R \quad و \quad P_{ac} = (۰/۷۰۷V_m)^۲/R$$

$$\eta = (۰/۶۳۶۶V_m)^۲ \; / \; (۰/۷۰۷V_m)^۲ = ٪۸۱$$

$$FF = ۰/۷۰۷V_m \; / \; ۰/۶۳۶۶V_m = ۱/۱۱$$

$$RF = \sqrt{۱/۱۱^۲ - ۱} = ٪۴۸/۲$$

$$V_s = V_m \; / \; \sqrt{۲} = ۰/۷۰۷ \; V_m$$

$$I_s = ۰/۵ \; V_m/R$$ مقدار موثر جریان در هر قسمت از سیم‌پیچ ثانویه

$$TUF = \frac{۰/۶۳۶۶^۲}{۲\times۰/۷۰۷\times۰/۵} = ٪۵۷/۳۲$$

$$PIV = ۲V_m$$

اگر مقادیر فوق را با آنچه که در مدار یکسوکننده نیم موج بدست آمد، مقایسه نمائیم ملاحظه می‌شود که در مدار تمام موج بهبود قابل ملاحظه‌ای حاصل شده است.

۳-۵-۳ پل تکفاز[1] (دوطرفه)

در یکسو کننده دوفاز نیم موج می‌توان بجای استفاده از ترانسفورماتور با انشعاب میانی، از چهار دیود مطابق شکل ۳-۸ الف،استفاده نمود. این مدار که به یکسوکننده پل معروف است، خروجی تمام موج را فراهم می‌کند و در مقایسه با مدار دو فاز نیم‌موج قبل، هر دیود ولتاژ معکوس کمتری را تحمل می‌کند (V_m). شکل موج جریان و ولتاژ در شکل ۳-۸ ب نشان داده شده است. برای ترسیم شکل موجهامی‌توان مشابه حالت قبل یک نقطه میانی خنثای N را در نظر گرفت و شکل موج ولتاژ هر طرف بار را نسبت به نقطه N بدست آورد و از تفاضل آنها v_L را

1- Single-phase Bridge