

درس منابع تغذیه سوییچینگ

مدرس: امیر بکتاش

Email: amir.baktash@gmail.com

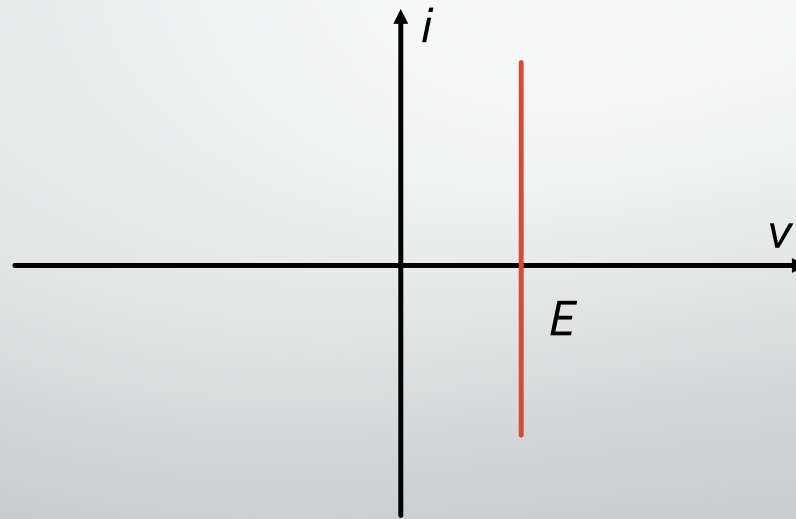
منابع تغذیه سوئیچینگ



نویسنده: دکتر ادیب ابریشمی فر

فصل 1: مقدمه

- منابع الکتریکی ایده آل: 1- منبع ولتاژ 2- منبع جریان



- منبع تغذیه: مداری برای تامین یک ولتاژ مطلوب به صورت تنظیم شده (رگوله) از یک منبع دیگر.

به طور عام تامین ولتاژ dc مطلوب رگوله از برق شهر

- رگولاسیون یعنی تغییرات ولتاژ خروجی در سطح مطلوب خود، با تغییرات حرارت، بار خروجی و ولتاژ ورودی مدار در سطح محدودی باقی بماند.

- انواع منابع تغذیه:

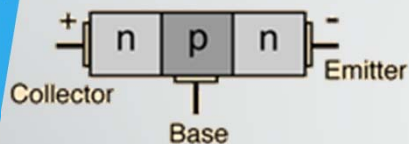
- 1- خطی (Linear Power Supply): عموماً یک المان نیمه هادی در ناحیه خطی خود کار میکند.

- 2- سویچینگ (Switching Power Supply): یک المان نیمه هادی در ناحیه غیرخطی خود و به عنوان یک سویچ کار میکند.

- نواحی کاری یک ترانزیستور معمولی BJT

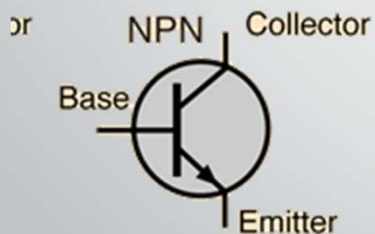
1- ناحیه قطع : جریان اعمالی به بیس کافی نیست و ترانزیستور خاموش (قطع) می باشد.

$$V_{CE} > 0 \quad , \quad i_C = 0$$



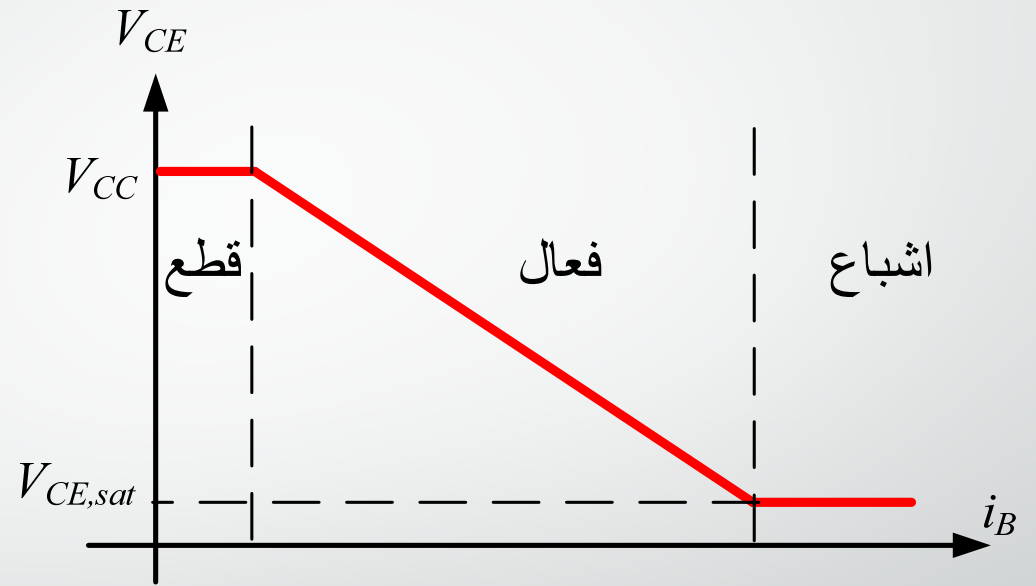
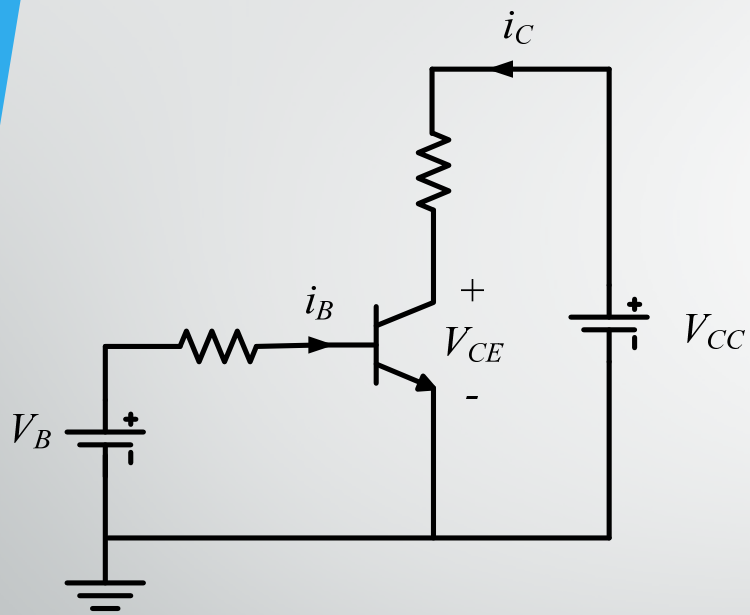
2- ناحیه فعال: ترانزیستور مانند یک تقویت کننده عمل کرده و رابطه خطی بین جریان بیس و کلکتور برقرار است.

$$V_{CE} > 0 \quad , \quad i_C = \beta i_B > 0$$



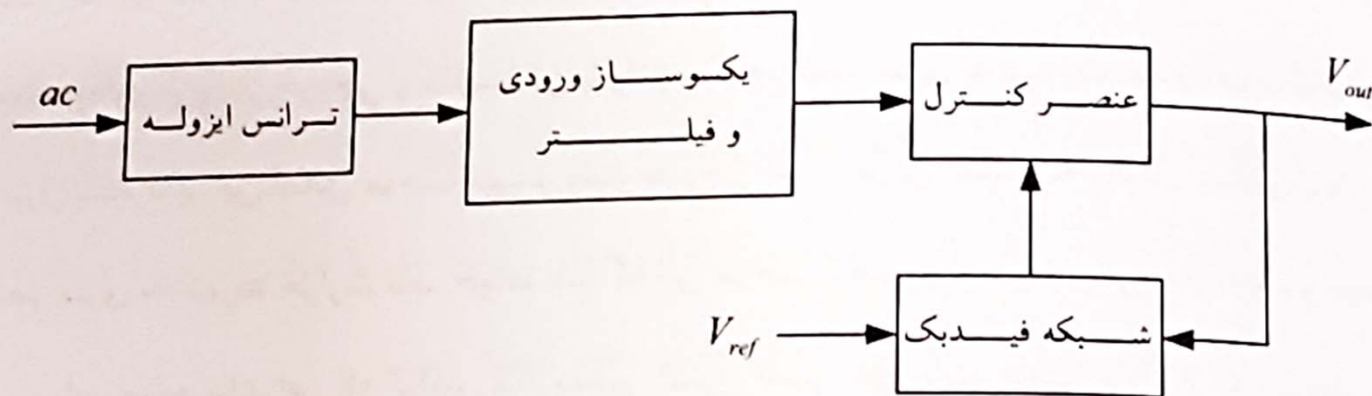
3- ناحیه اشباع : رابطه جریان بیس و کلکتور از حالت خطی خارج شده و ولتاژ کلکتور- امیتر کمترین مقدار خود را دارد.

$$V_{CE} = V_{CE,sat} \quad , \quad i_C < \beta i_B$$

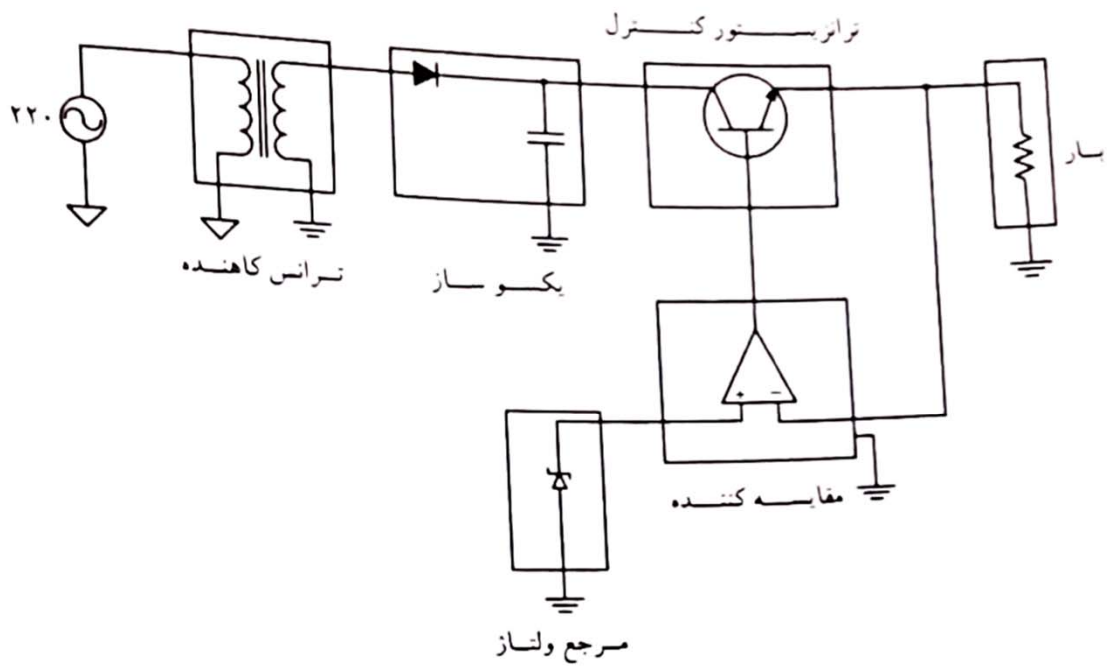


منبع تغذیه خطی:

- عنصر کنترل در ناحیه خطی خود کار میکند.
- به صورت سری یا موازی با بار بوده و با دریافت فیدبک از ولتاژ خروجی، آن را کنترل میکند.
- معمولا عنصر کنترلی یک BJT است که با تنظیم جریان بیس، ولتاژ خروجی تنظیم میشود.



شکل ۱-۱ بلوک دیاگرام ساده شده یک منبع تغذیه خطی.



شکل ۱-۲ شمای مداری یک منبع تغذیه خطی ساده.

مزایای منابع تغذیه خطی

1. پایداری زیاد
2. نویزپذیری پایین
3. تثبیت عالی
4. نوسان خروجی کم

معایب منابع تغذیه خطی

1. بازده کم : به خصوص در توانهای بالا به دلیل افت ولتاژ

2. حجم و وزن بالا:


1- ترانس بزرگ

برای داشتن ایزولاسیون و به منظور کاهش ولتاژ برای کاهش تلفات از ترانس استفاده میشود.

توان مبدل تقریباً با مجذور سطح مقطع هسته ترانس متناسب است.

2- نیاز به گرماگیر

برای انتقال بهتر حرارت ایجاد شده به دلیل تلفات

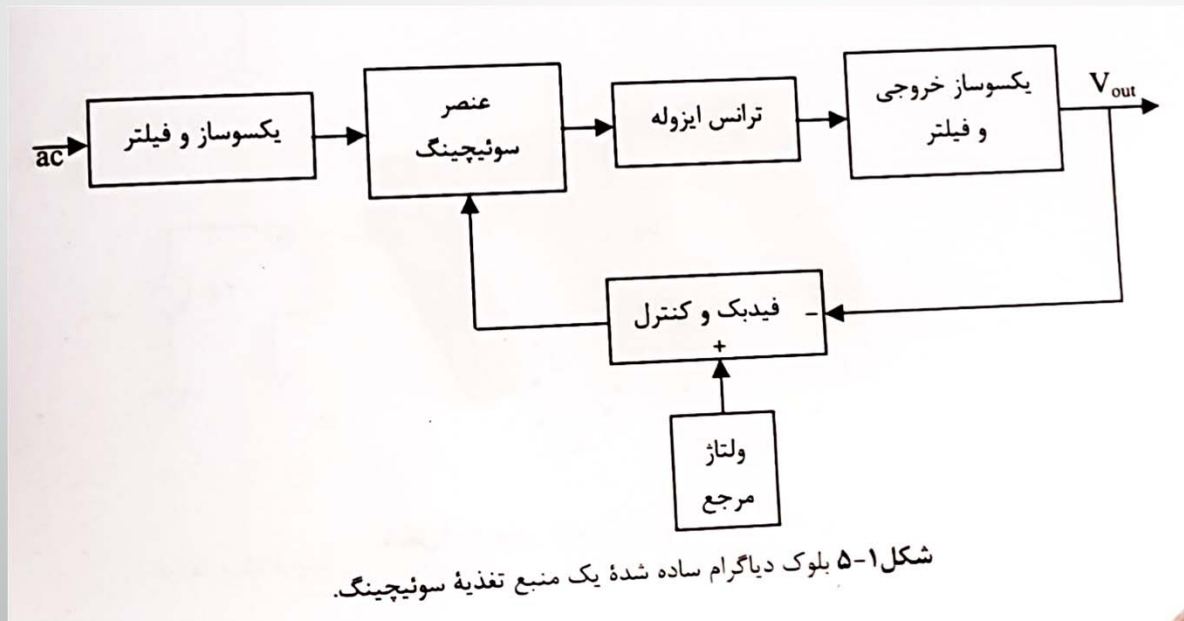


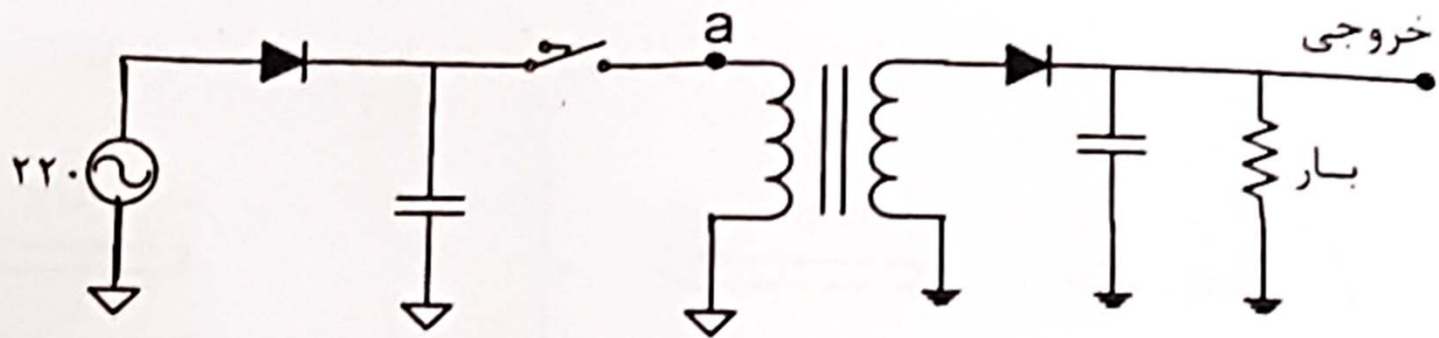
3. زمان نگهداری نسبتاً کم:
زمان کوتاه انتقال انرژی پس از قطع ورودی

4. مناسب برای ولتاژهای کم:

منبع تغذیه غیرخطی (سوئیچینگ)

- معایب منابع تغذیه خطی می تواند توسط منابع سوئیچینگ کاهش یافته یا رفع شود.





شکل ۱-۶ شمای مداری کاملاً ساده شده یک منبع تغذیه سوئیچینگ بدون کنترل.

مزایای منبع تغذیه سویچینگ

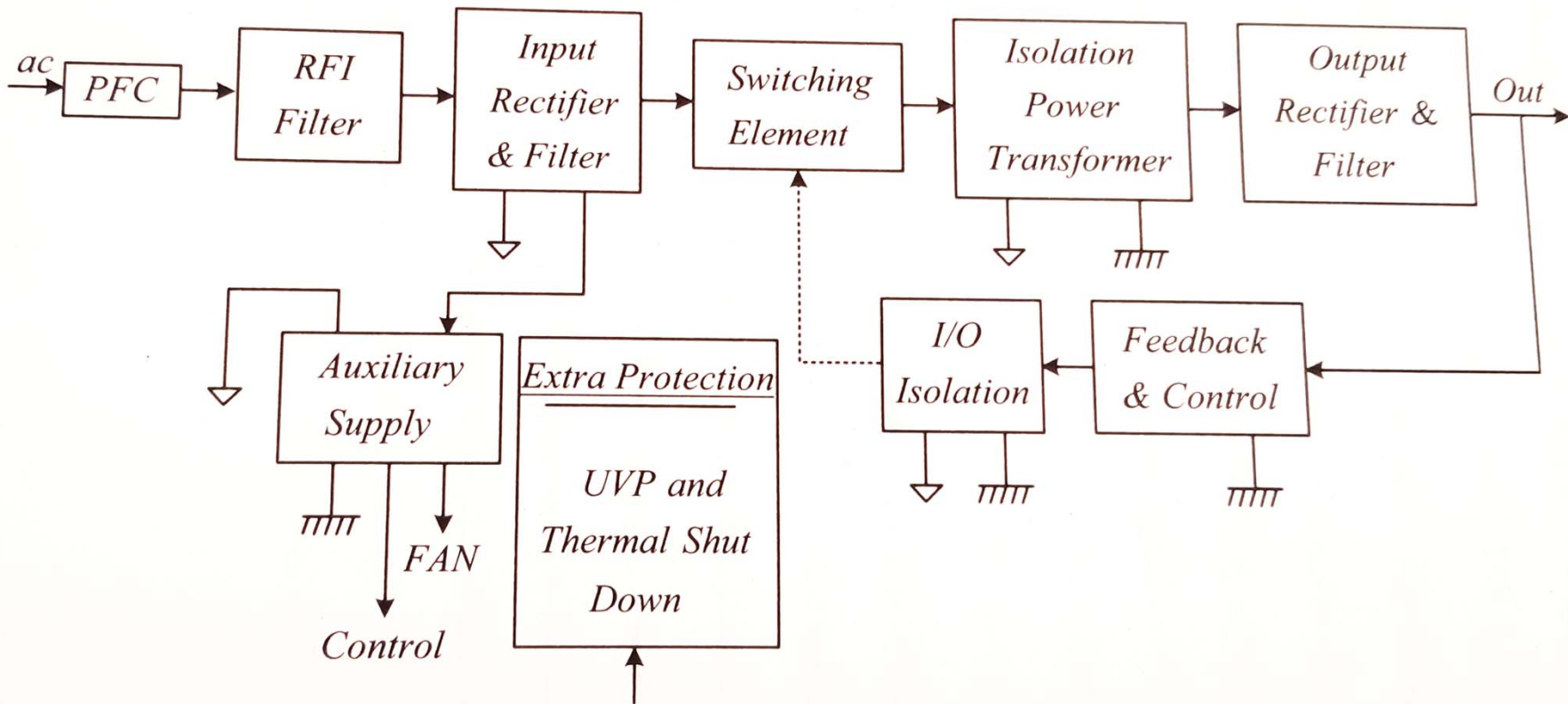
- راندمان بزرگتر از 50%
- عموماً راندمان حدود 70 تا 80 درصد است زیرا المان نیمه هادی در حالت قطع و اشباع کار میکند نه در ناحیه فعال.
- ابعاد کوچک ترانس
- در این منابع فرکانس کاری ترانس بالاست و به همان نسبت اندازه آن کوچکتر میشود.
- سبک، کوچک و فشرده بودن
- ورودی با محدوده تغییرات وسیع
- زمان نگهداری بیش از 5 میلی ثانیه

معایب منبع تغذیه سویچینگ

- به دلیل نوع فیدبک موجود در شکل قبل، ایزولاسیون از بین می رود.
- با توجه به تغییرات ولتاژ و جریان در نقطه a تشعشعات مغناطیسی منتشر میشود و تلفات نیز بالا می رود.
- در این منابع اضافه جریان باعث اتصال کوتاه عنصر نیمه هادی میشود.
- افزایش ولتاژ خروجی با قطع فیدبک وجود دارد.
- جریان هجومی ورودی زیاد است.

بلوک دیاگرام کاملتر منبع سوئیچینگ

- برای جلوگیری از اضافه ولتاژ موقع قطع فیدبک، از مدار حفاظت اضافه ولتاژ استفاده میشود.
- برای حذف نویز هدایتی تولید شده توسط ترانس سوئیچینگ، از فیلتر EMI در ورودی استفاده میشود تا این نویز به شبکه منتقل نگردد.
- واحد حفاظت اضافه جریان، برای جلوگیری از آسیب دیدن المانها ناشی از جریان بیش از مقدار مجاز استفاده میشود.
- برای رسیدن به ایزولاسیون کامل باید مدار فیدبک نیز دارای ایزولاسیون باشد.
- منبع کمکی برای تامین انرژی اولیه سیستم کنترلی استفاده میشود.

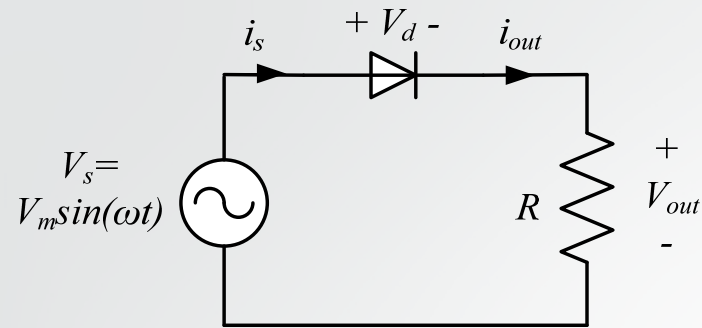


شکل ۱-۱۲: بلوک دیاگرام کامل تر منبع تغذیه سوئیچینگ قطع خط

فصل 2: یکسوساز و فیلتر ورودی

- در ورودی منبع تغذیه از یک فیلتر برای حذف نویز هدایتی و سپس یکسوساز برای تامین برق dc ورودی استفاده میشود.
- عموماً از دو مدل یکسوساز نیم موج و تمام موج دیودی استفاده میشود.

یکسوساز نیم موج تکفاز

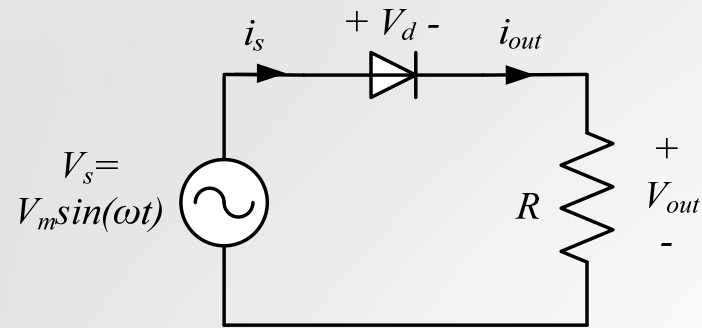


در نیم سیکل اول (نیم سیکل مثبت) ولتاژ دیود مثبت شده، دیود وصل شده و ولتاژ منبع روی بار می افتد.

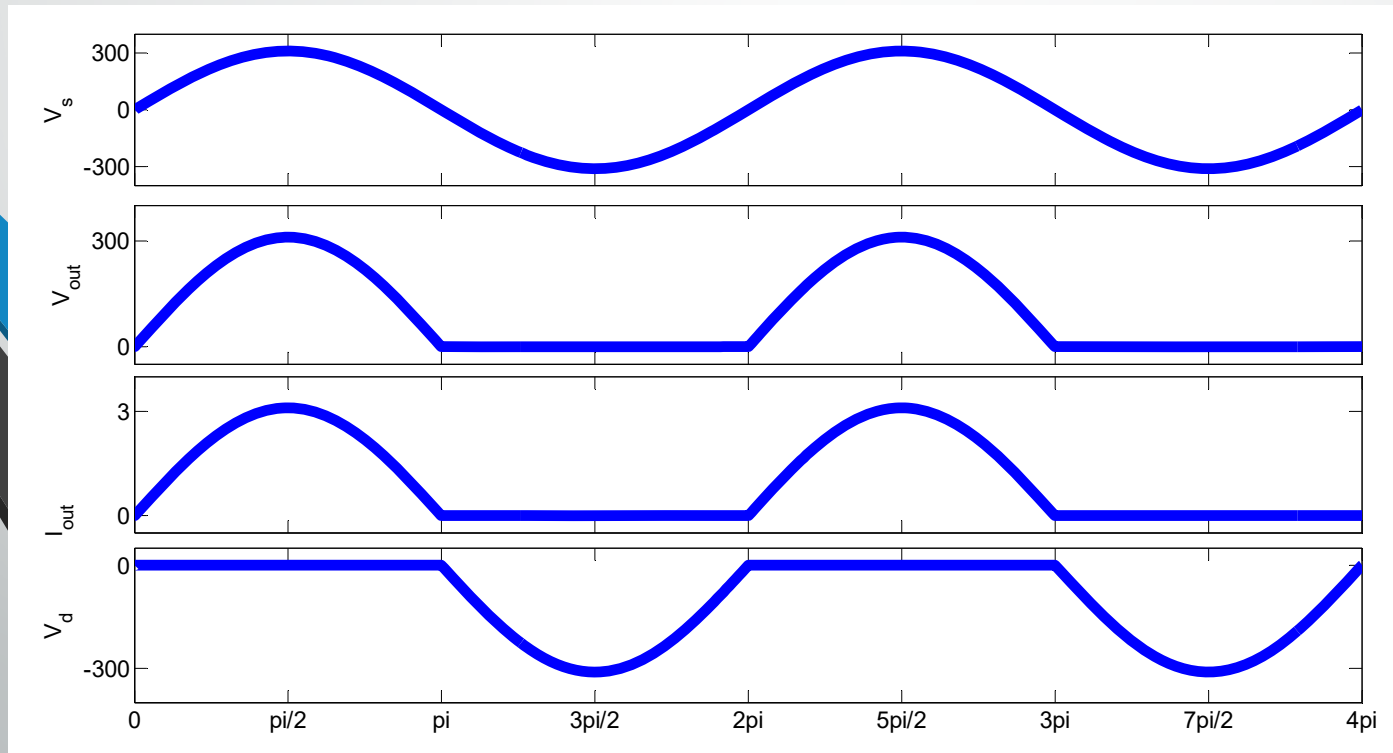
$$V_s = V_d + V_{out}$$

در نیم سیکل دوم (نیم سیکل منفی) ولتاژ دیود منفی شده، دیود قطع شده و ولتاژ منبع روی دیود می افتد.

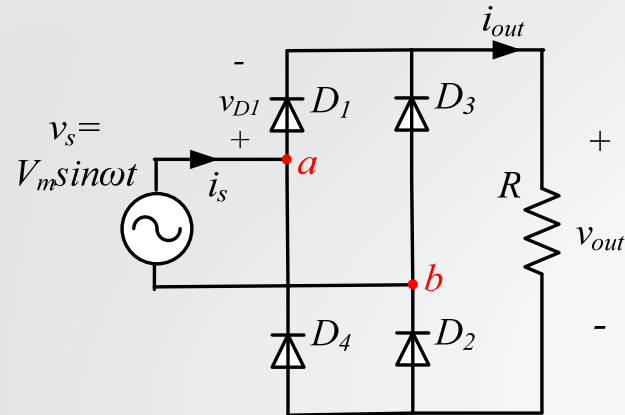
یکسوسازهای دیودی



یکسوساز نیم موج تکفاز

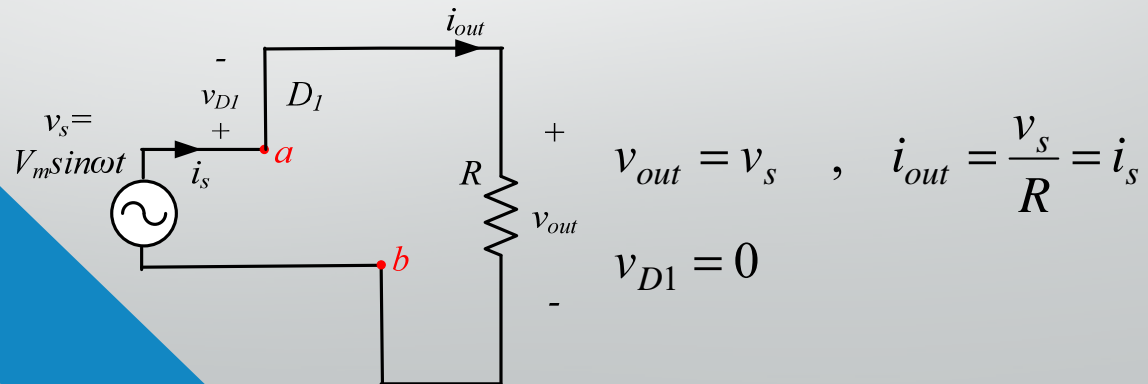


یکسوسازهای دیودی

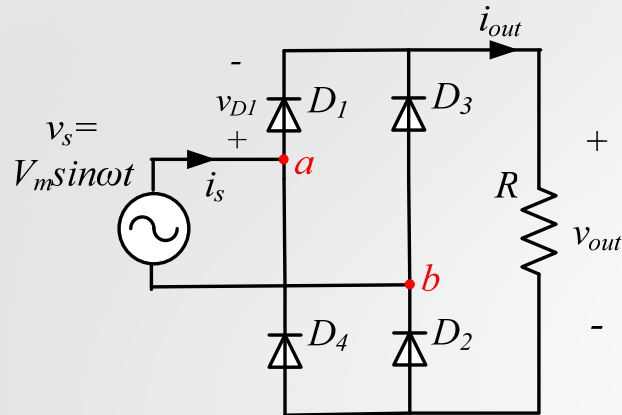


یکسوساز تمام موج تکفاز

در نیم سیکل مثبت از ولتاژ منبع، نقطه **a** بیشترین ولتاژ مدار را داشته و نقطه **b** کمترین ولتاژ مدار را دارد. بنابراین دیودهای ۱ و ۲ در بایاس مستقیم بوده و دیودهای ۳ و ۴ در بایاس معکوس قرار دارند.

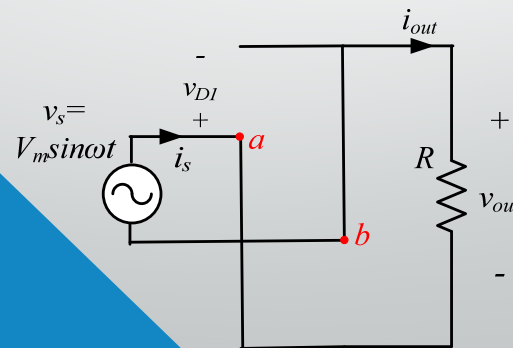


یکسوسازهای دیودی



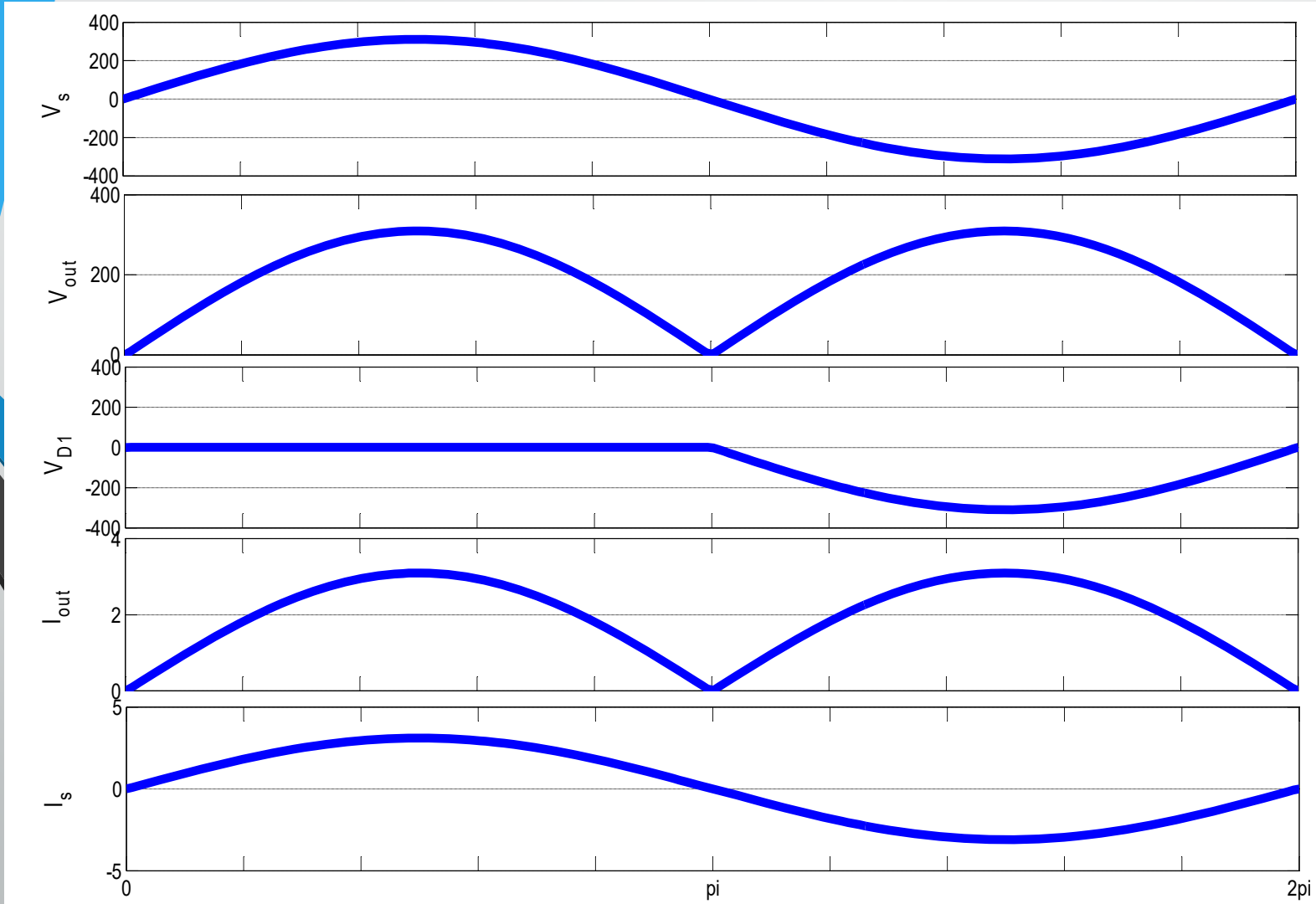
یکسوساز تمام موج تکفاز

در نیم سیکل منفی از ولتاژ منبع، نقطه b بیشترین ولتاژ مدار را داشته و نقطه a کمترین ولتاژ مدار را دارد. بنابراین دیودهای ۳ و ۴ در بایاس مستقیم بوده و دیودهای ۱ و ۲ در بایاس معکوس قرار دارند.

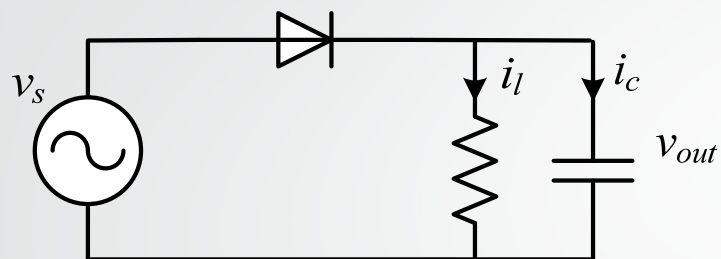


$$v_{out} = -v_s \quad , \quad i_{out} = \frac{-v_s}{R} = -i_s$$

$$v_{D1} = -v_{out} = v_s$$

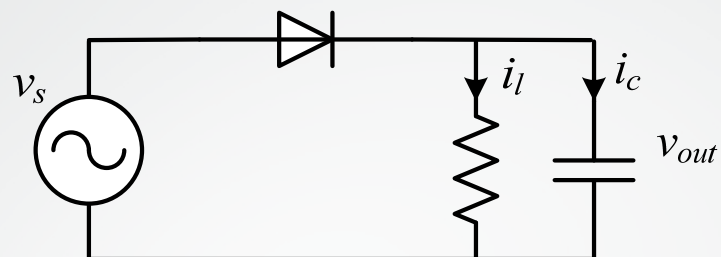


فیلتر خازنی



یکسوساز نیم موج تکفاز

استفاده از فیلتر خازنی در خروجی یکسوسازها باعث صافتر شدن ولتاژ خروجی آنها می‌گردد.

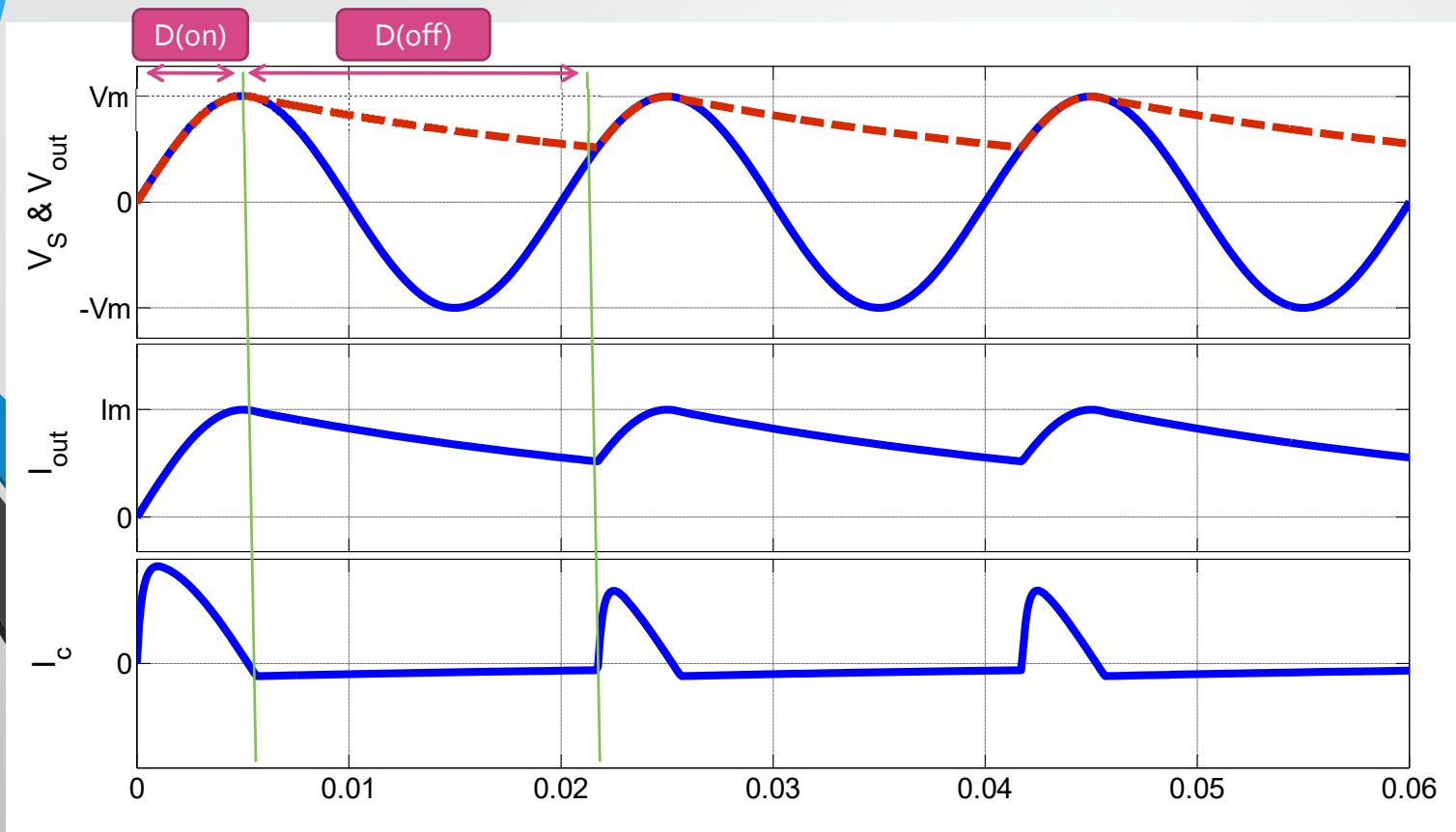


هرگاه ولتاژ منبع از ولتاژ خازن بیشتر باشد دیود روشن می شود. در اینصورت ولتاژ منبع انرژی بار را تامین کرده و خازن را شارژ می کند:

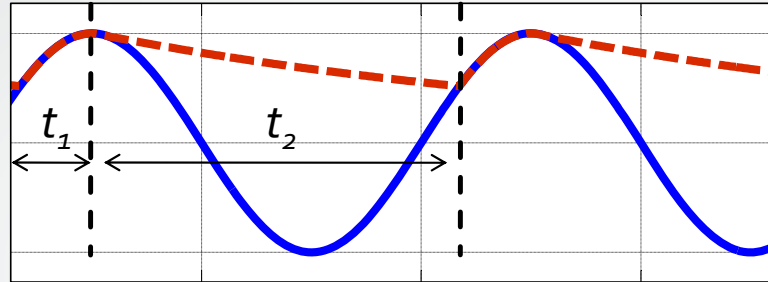
$$v_{out} = v_s = V_m \sin \omega t \quad , \quad i_s = i_c + i_l$$

هرگاه ولتاژ منبع کمتر از ولتاژ خازن گردد، دیود قطع شده و خازن شارژ شده انرژی بار را تامین میکند. در اینصورت ولتاژ خازن به شکل نمایی شروع به کاهش میکند.

$$v_{out} = v_c = V_m e^{-t/RC} \quad , \quad i_s = 0 \quad , \quad i_c = -i_l$$



اگر t_1 زمان شارژ خازن و t_2 زمان تخلیه آن باشد.



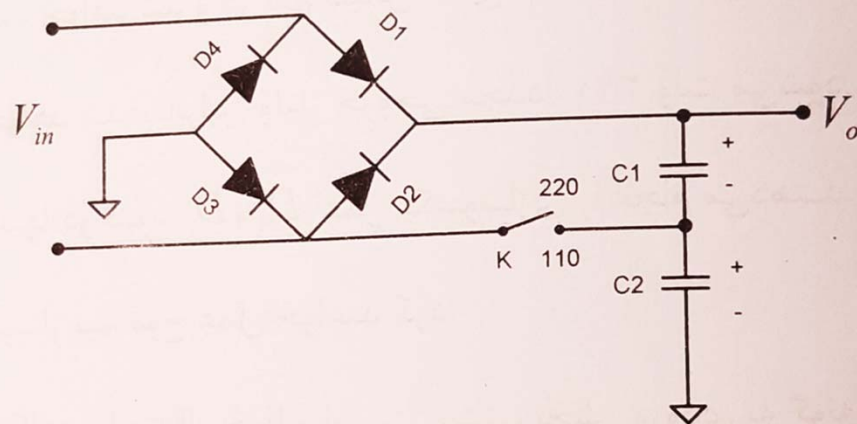
$$v_{out}(t_1) = V_m \quad \rightarrow \quad v_{out}(t) = V_m \cdot \exp\left(\frac{-t}{RC}\right)$$

$$v_{r(p-p)} = v_{out}(t_1) - v_{out}(t_2) = V_m \left[1 - \exp\left(\frac{-t_2}{RC}\right) \right] \quad \rightarrow$$

$$e^{-x} \approx 1 - x$$

$$v_{r(p-p)} \approx \frac{V_m}{fRC} \quad V_{dc} = V_m - \frac{v_{r(p-p)}}{2}$$

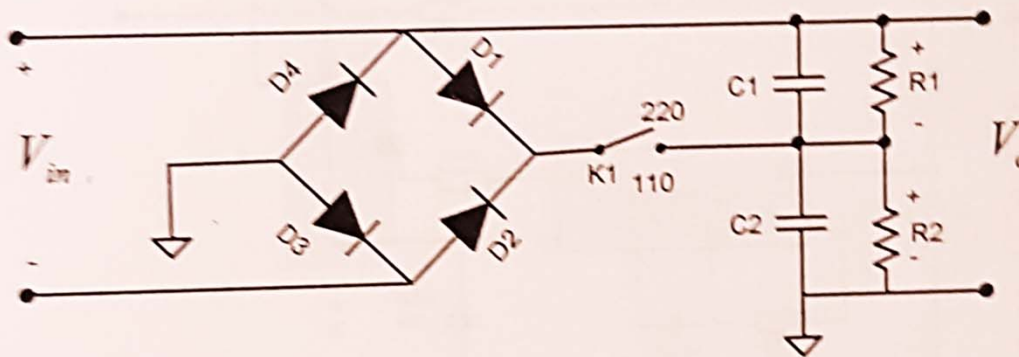
برای استفاده منبع در هر دو شبکه 110 و 220 ولت از مدار دلون استفاده میشود.
در این مدار برای کار با برق 220 ولت سویچ قطع شده و یویدها مانند یک یکسوساز تمام موج کار کرده و ولتاژ dc 311 ولت را روی خازنهای می افتد.
در صورت بستن کلید در نیم سیکل مثبت دیود D1 روشن شده و مانند یک یکسوساز نیم موج ولتاژ dc شده روی C1 می افتد و در نیم سیکل منفی D4 روشن شده و ولتاژ dc روی C2 می افتد. بنابراین ولتاژ دو خازن مجدداً همان 311 ولت خواهد شد.



شکل ۱-۲ نمای واحد یکسوساز ورودی و مدار دلون.

مشکلات واحد یکسوسازی

- با قطع ورودی از برق شهر خازنهای فیلتر نمی توانند تخلیه شوند و تا مدت‌ها برق دار باقی می‌مانند.
- برای حل این مشکل از مقاومت بزرگ موازی با خازن‌ها استفاده می‌شود تا به تخلیه آنها کمک کند.



شکل ۲-۸ استفاده از مقاومت موازی با خازن ورودی برای افزایش ایمنی بخش ورودی.

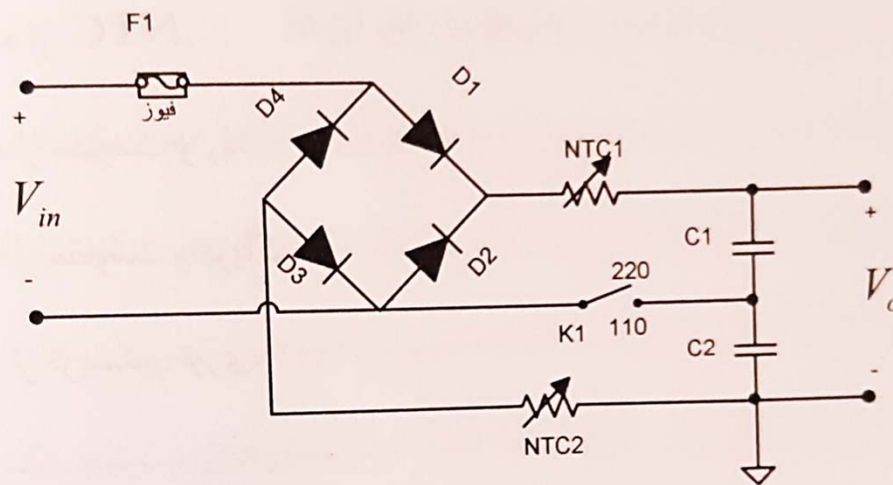
- هنگام روشن کردن منبع به دلیل خالی بودن خازن‌ها، جریان هجومی بزرگی پدید می‌آید.

- برای حل این مشکل از راه‌های زیر می‌توان استفاده کرد:

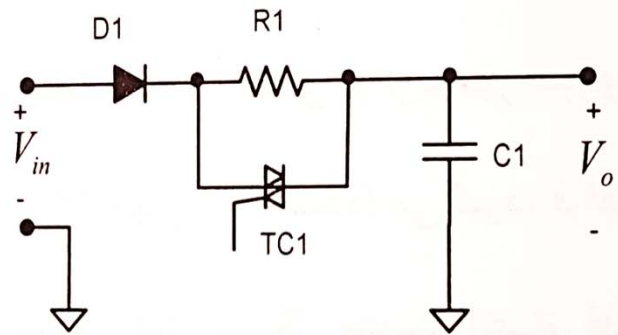
- استفاده از NTC

- استفاده از مقاومت و رله

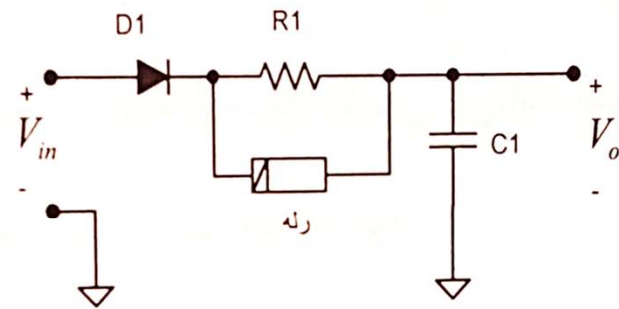
- استفاده از مقاومت و تریاک



شکل ۲-۹ کاهش جریان یورشی با استفاده از NTC در بخش ورودی.



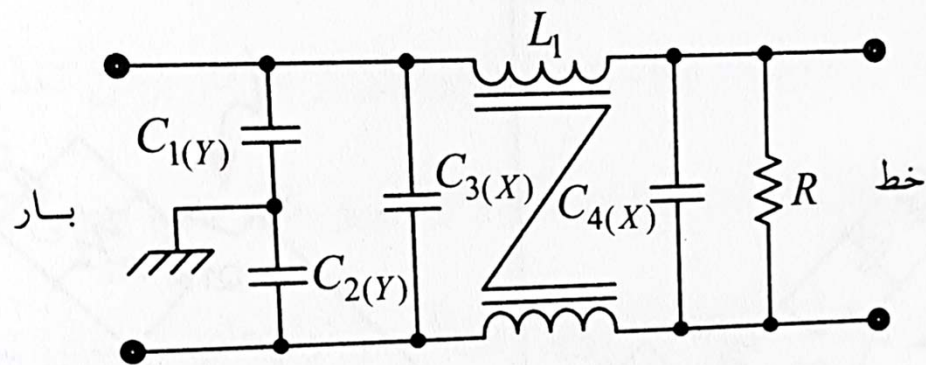
شکل ۲-۱۱ کاهش جریان یورشی به روش مقاومت و تریاک.



شکل ۲-۱۰ کاهش جریان یورشی به روش مقاومت و رله در بخش ورودی.

فیلتر ورودی RFI/EMI

- رایج ترین روش حذف نویز در ورودی، استفاده از فیلتر LC می باشد.
- این فیلتر از سلف تزویج شده روی هر دو خط AC و خازنهای بین خط و بین خط و زمین تشکیل شده است.



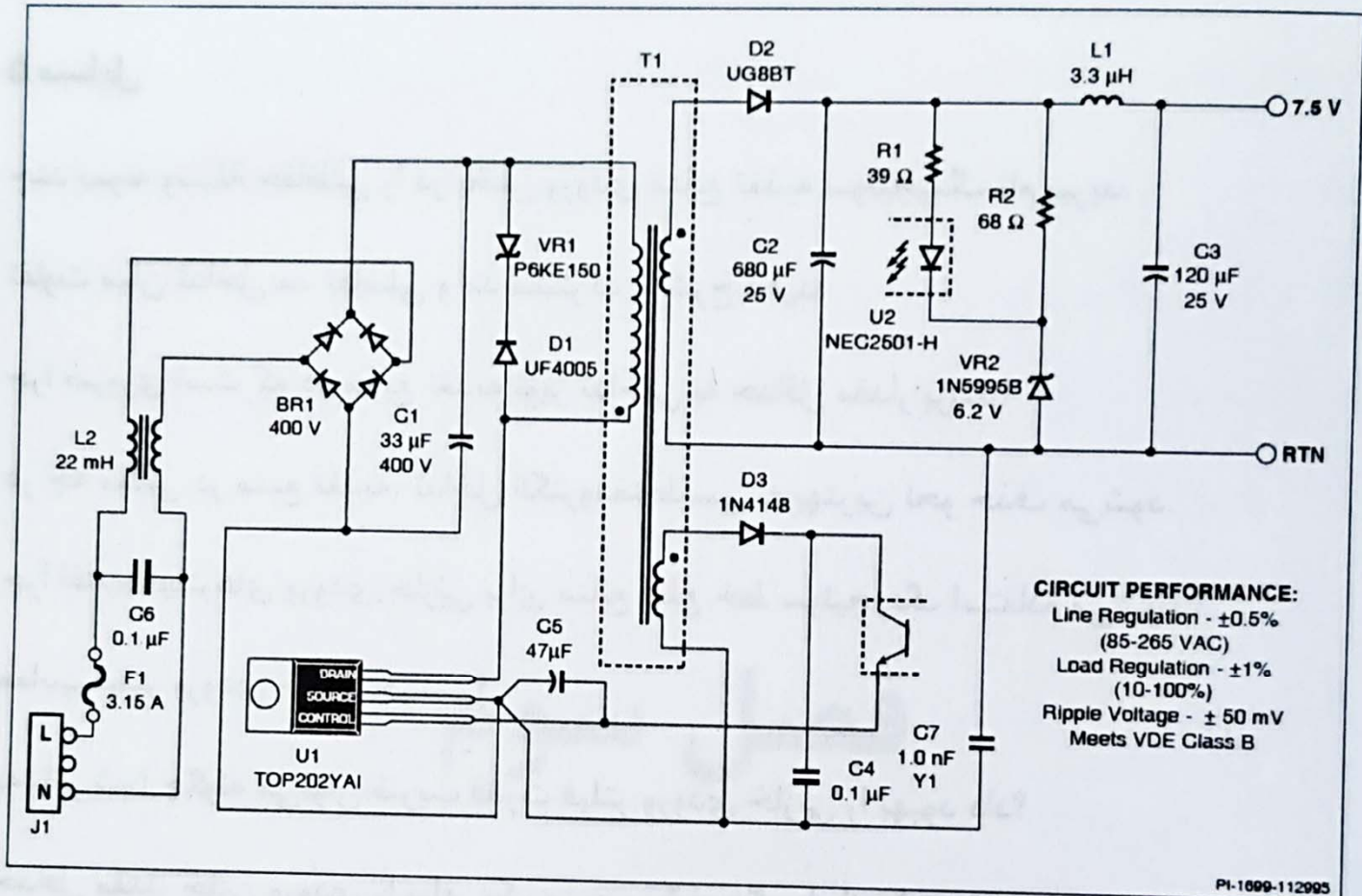
شکل ۲-۱۳ فیلتر LC ورودی.

$$C_X = 0.1 \mu F - 2 \mu F$$

$$C_Y = 2.2 nF - 33 nF$$

$$L = 1.8 mH - 47 mH$$

$$R = \frac{1}{2.21(C_{3X} + C_{4X})}$$



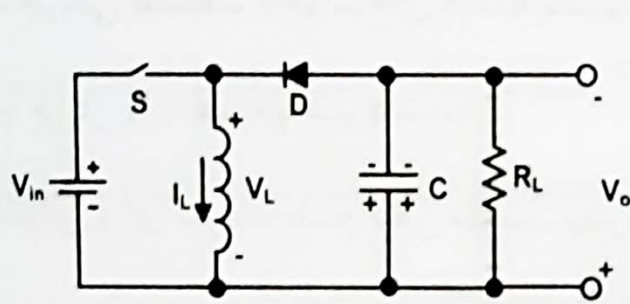
شکل ۲-۱۴ نمونه‌ای از مدار سوئیچینگ که در آن ساختار کلی فیلتر ورودی مشاهده می‌شود.

فصل 3: مبدل‌های قدرت سویچینگ

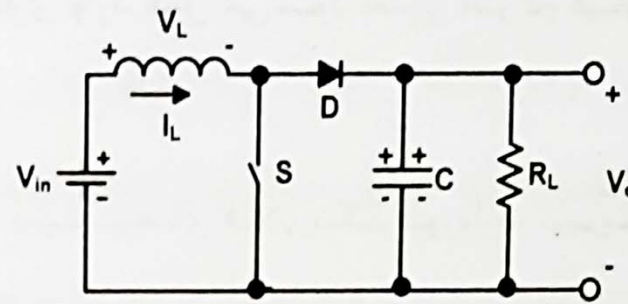
- انواع مختلفی از مبدل‌های سویچینگ وجود دارد که می‌توان در منابع تغذیه از آنها استفاده نمود.
- برخی از انواع رایج این مبدل‌ها عبارتند از:
 - فلای بک
 - فوروارد
 - پوش- پوش
 - نیم پل و تمام پل
 - تشدید
 - ...

مبدل فلای بک غیرایزوله

- ساختاری ساده و حجم کمی دارد. انواع مختلفی از آن وجود دارد. شکل الف مبدل بوست (Boost) نام دارد و شکل ب مبدل باک-بوست (Buck-Boost).
- دو مبدل نشان داده شده هر دو غیر ایزوله هستند و پلاریته خرجی آنها برعکس یکدیگر است.



(ب)

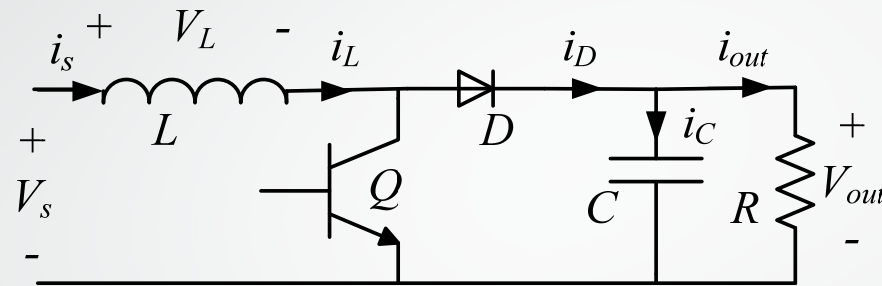


(الف)

شکل ۲-۳ دو نمونه مبدل فلای بک (الف) قطبیت ولتاژ ورودی - خروجی یکسان (ب) قطبیت ولتاژ ورودی - خروجی مخالف.

مخالف.

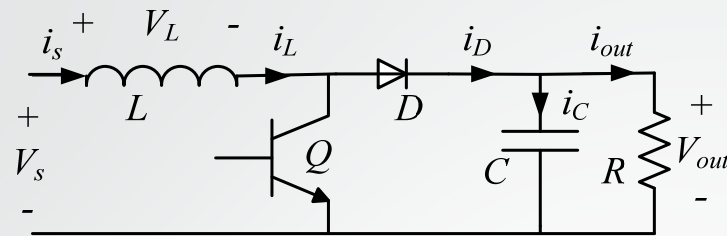
رگولاتور افزایشده (BOOST)



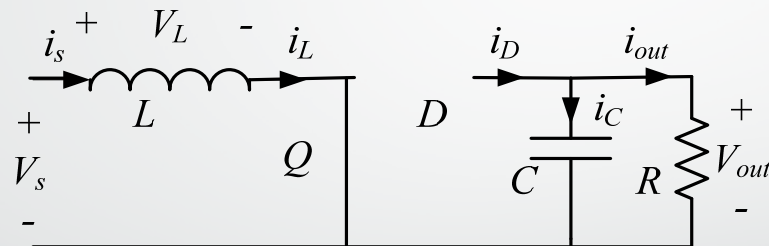
در این رگولاتور متوسط ولتاژ خروجی بیشتر از ورودی میباشد.

تغییر سطح ولتاژ با ذخیره انرژی الکتریکی در سلف و آزادسازی آن در خازن صورت میگیرد.

رگولاتور افزایشده (BOOST)



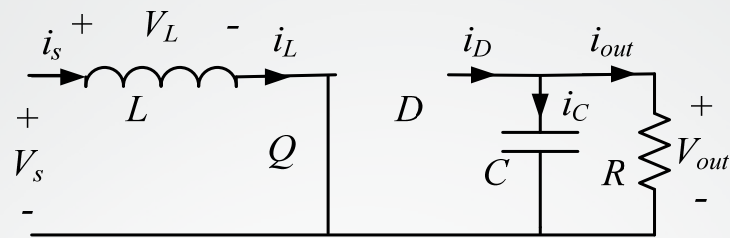
برای تحلیل عملکرد رگولاتور دو حالت وصل و قطع کلید را فرض می کنیم.



اگر کلید Q وصل باشد آنگاه:

کلید اتصال کوتاه و دیود حتماً قطع است.

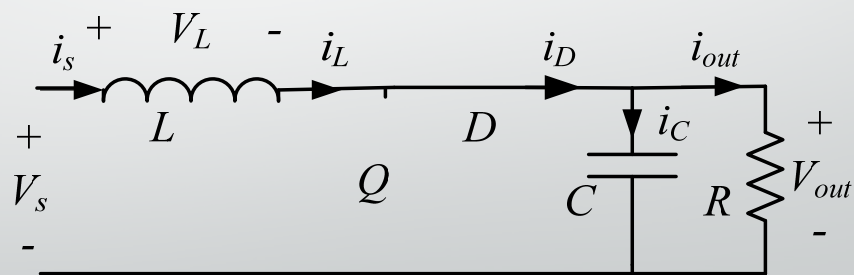
$$i_s = i_L \quad , \quad i_C = -i_{out} \quad , \quad V_L = V_s$$



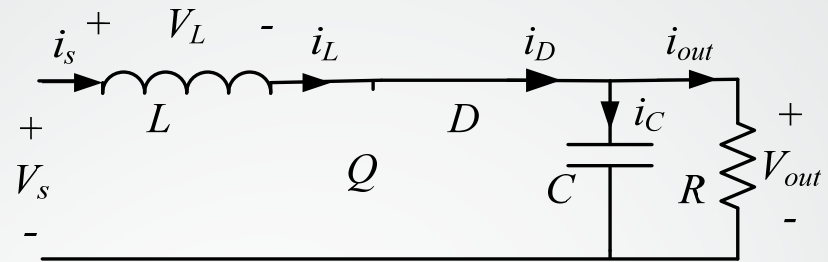
1

$$V_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} = L \frac{\Delta i_L}{t_1} \rightarrow \Delta i_L = \frac{t_1}{L} V_s, (\Delta i_L = I_2 - I_1)$$

اگر کلید Q قطع باشد پس دیود حتماً روشن میشود.



$$i_s = i_L = i_D, \quad i_D = i_C + i_{out}, \quad V_L = V_s - V_{out}$$



$$V_L = V_s - V_{out} = L \frac{di'_L}{dt} = L \frac{\Delta i'_L}{t_2} \rightarrow$$

$$\textcircled{2} \Delta i'_L = \frac{t_2}{L} (V_s - V_{out}) \quad , (\Delta i'_L = I_1 - I_2 = -\Delta i_L)$$

$$\textcircled{\frac{91}{2}} \Delta i_L = \frac{t_1}{L} V_s = \frac{t_2}{L} (V_{out} - V_s) \rightarrow V_{out} = \frac{1}{1-k} V_s$$

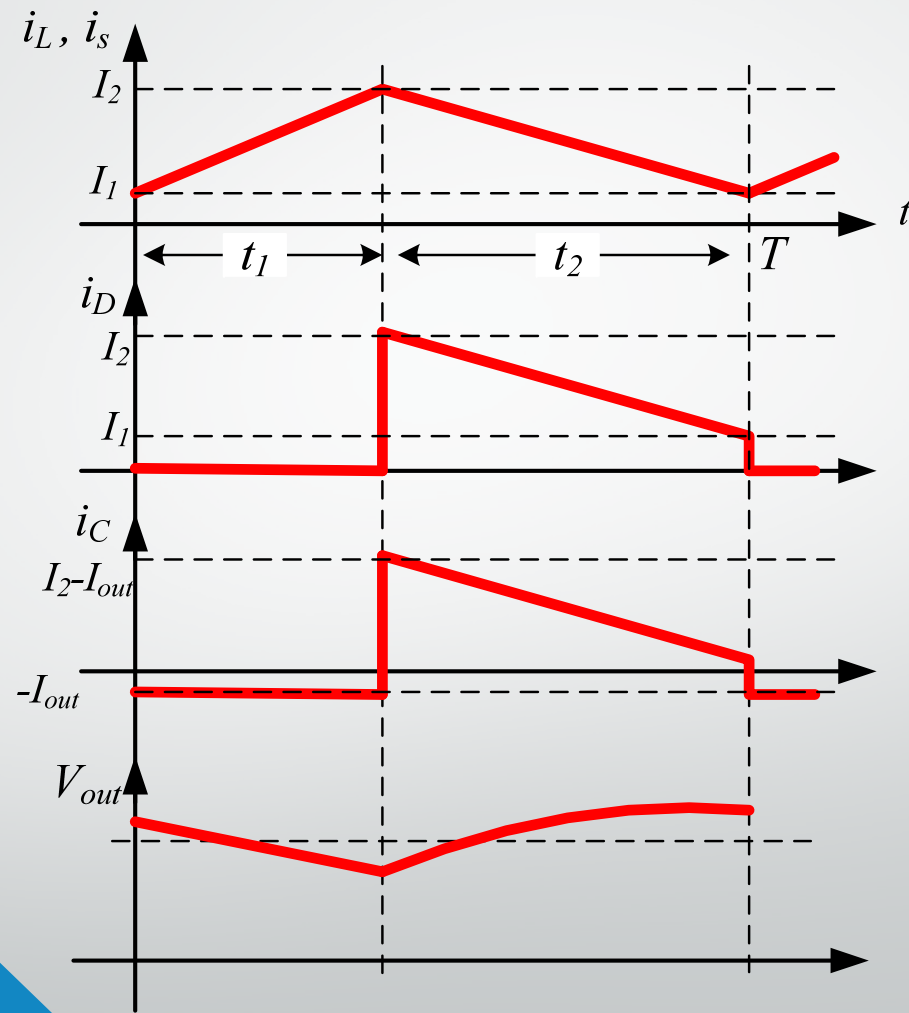
$$k = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \rightarrow V_{out} = \begin{cases} V_s \\ \infty \end{cases} \quad i_s = \frac{1}{1-k} i_{out}$$

91
2

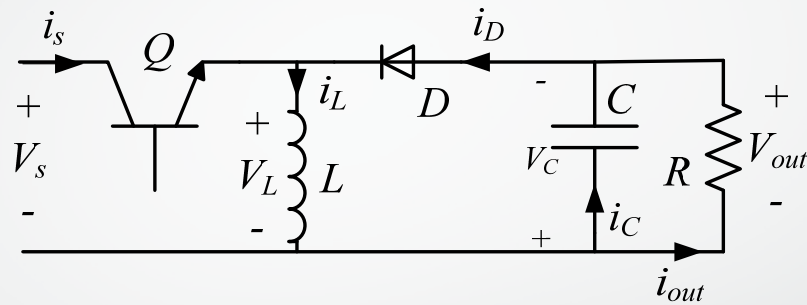
$$T = t_1 + t_2 = \frac{1}{f} \rightarrow \Delta i_L = \frac{V_s \cdot k}{fL}$$

$$\Delta V_C = \Delta V_{out} = \frac{I_{out} \cdot k}{fC}$$

- ❖ بدون استفاده از ترانسفورمر ولتاژ خروجی را افزایش میدهد.
- ❖ برای ایجاد تعادل انرژی و پایداری باید حتما در خروجی بار باشد تا انرژی جذب شده توسط سلف و خازن با انرژی منتقل شده برابر گردد.
- ❖ برای اجتناب از اشباع هسته و به علاوه به دلیل وجود مقاومتهای سری در مدار، ضریب k را نمیتوان به هر اندازه افزایش داد.

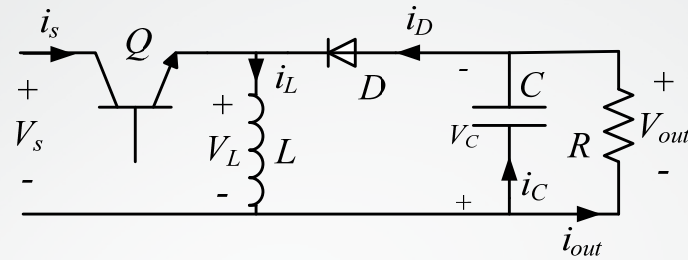


رگولاتور کاهشنده - افزایشنده (Buck-Boost)

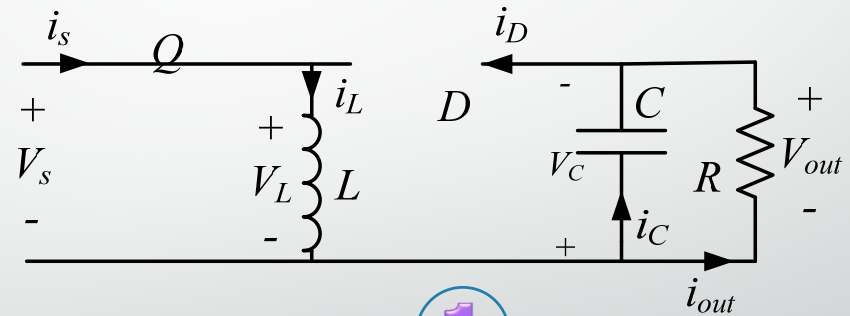


در این رگولاتور متوسط ولتاژ خروجی میتواند بیشتر یا کمتر از ورودی باشد.

پلاریته ولتاژ خروجی عکس پلاریته ولتاژ ورودی است.

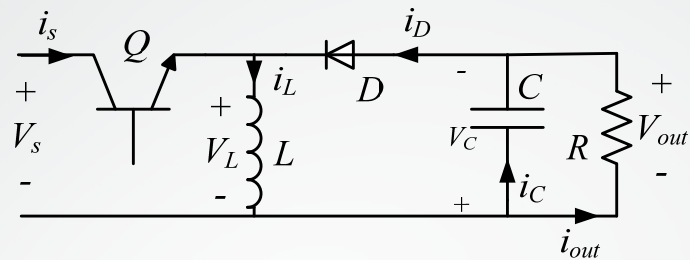


اگر کلید وصل باشد، دیود حتماً قطع است.

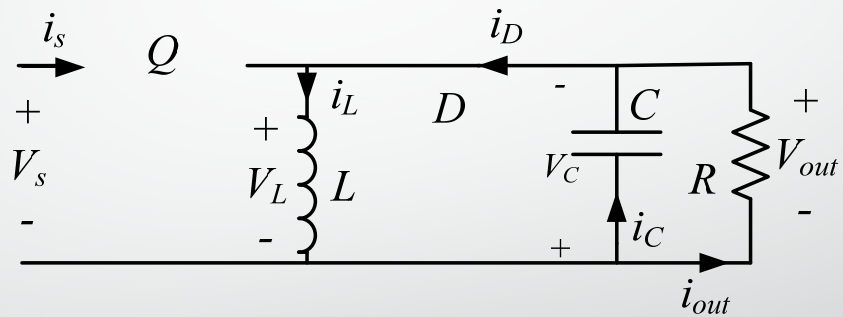


1

$$V_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} = L \frac{\Delta i_L}{t_1} \rightarrow \Delta i_L = \frac{t_1}{L} V_s, (\Delta i_L = I_2 - I_1)$$



اگر کلید قطع شود، دیود حتماً روشن می شود.



$$V_L = V_{out} = L \frac{di'_L}{dt} = L \frac{\Delta i'_L}{t_2} \rightarrow \Delta i'_L = \frac{t_2}{L} V_{out} \quad \textcircled{2}$$

$$(\Delta i'_L = I_1 - I_2 = -\Delta i_L)$$

91
2

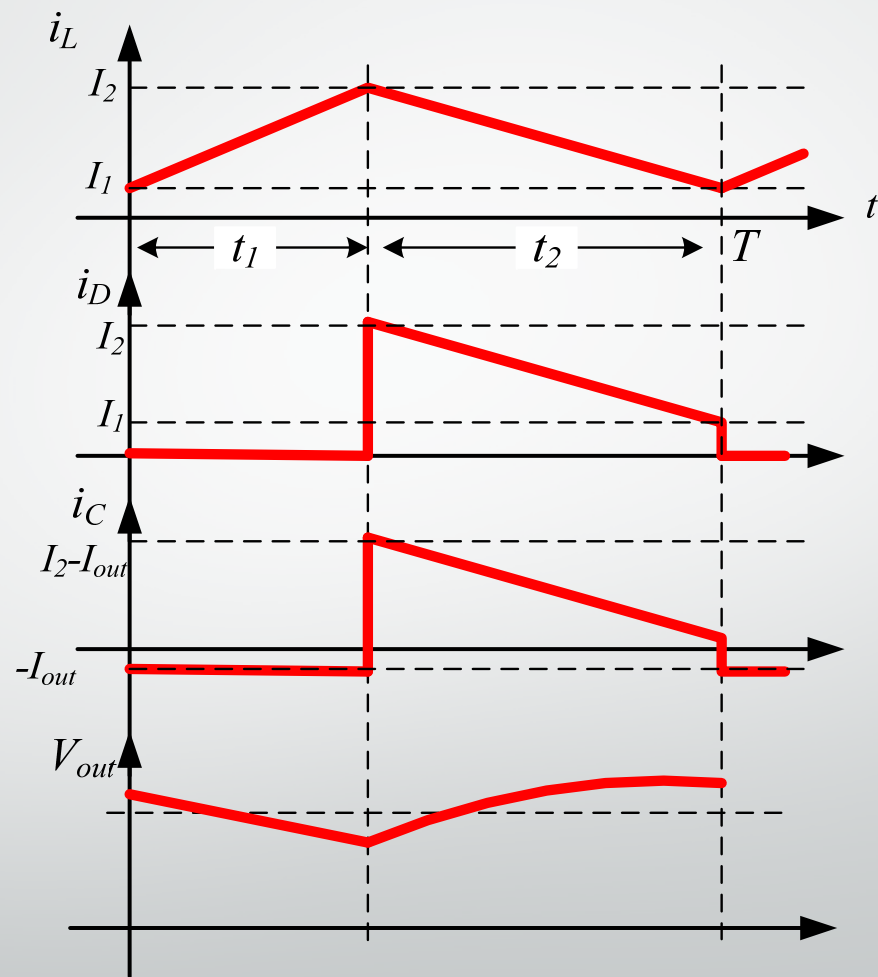
$$\Delta i_L = \frac{t_1}{L} V_s = -\frac{t_2}{L} V_{out} \rightarrow V_{out} = -\frac{k}{1-k} V_s$$

$$k = \begin{cases} 0 \\ 0.5 \\ 1 \end{cases} \rightarrow V_{out} = \begin{cases} 0 \\ -V_s \\ -\infty \end{cases} \quad i_s = \frac{-k}{1-k} i_{out}$$

91
2

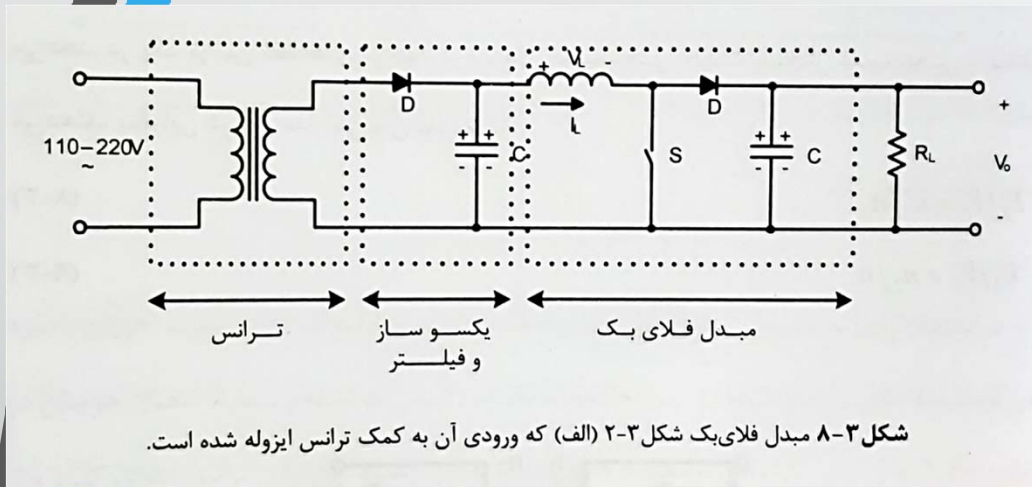
$$T = t_1 + t_2 = \frac{1}{f} \rightarrow \Delta i_L = \frac{V_s \cdot k}{fL}$$

$$\Delta V_C = \Delta V_{out} = \frac{I_{out} \cdot k}{fC}$$

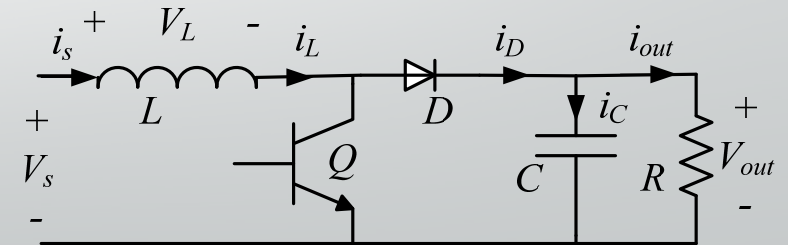


ایزوله کردن مبدل

- استفاده از ترانس در ورودی



ایزوله کردن سلف



شکل ۳-۹ مبدل فلای بک شکل ۳-۲ (الف) با سلف ایزوله شده. به مکان سرهای نقطه دار ترانس توجه گردد.

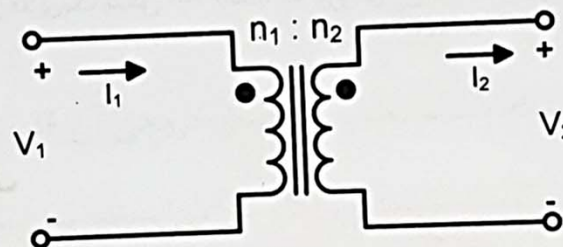
ترانس ایده آل

$$I_2/I_1 = n_1/n_2$$

(۸-۳)

$$V_2/V_1 = n_2/n_1$$

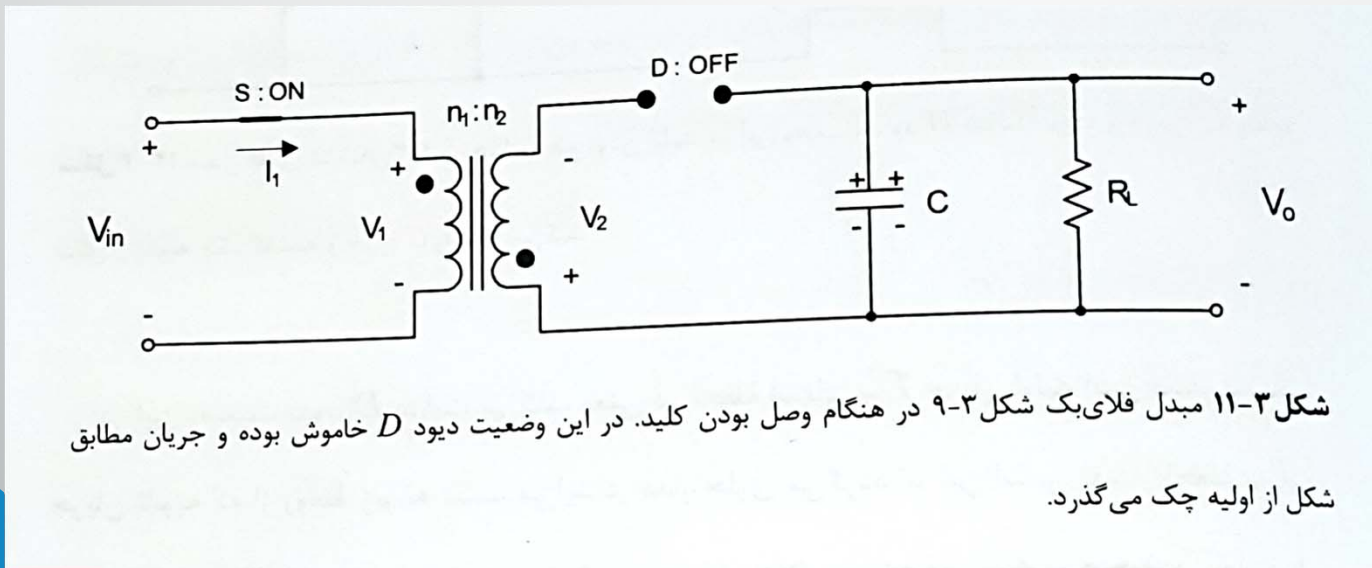
(۹-۳)



شکل ۳-۱۰ یک ترانس ایده آل با جهت های قراردادی ولتاژها و جریان ها. به سرهای نقطه دار در این شکل توجه گردد.

مبدل فلای بک با سلف ایزوله

- اگر سویچ وصل باشد.
- جریان در اولیه جاری شده و به دلیل پلاریته معکوس دیود قطع میشود.



$$W_1 = 1/2 L_1 I_1^2$$

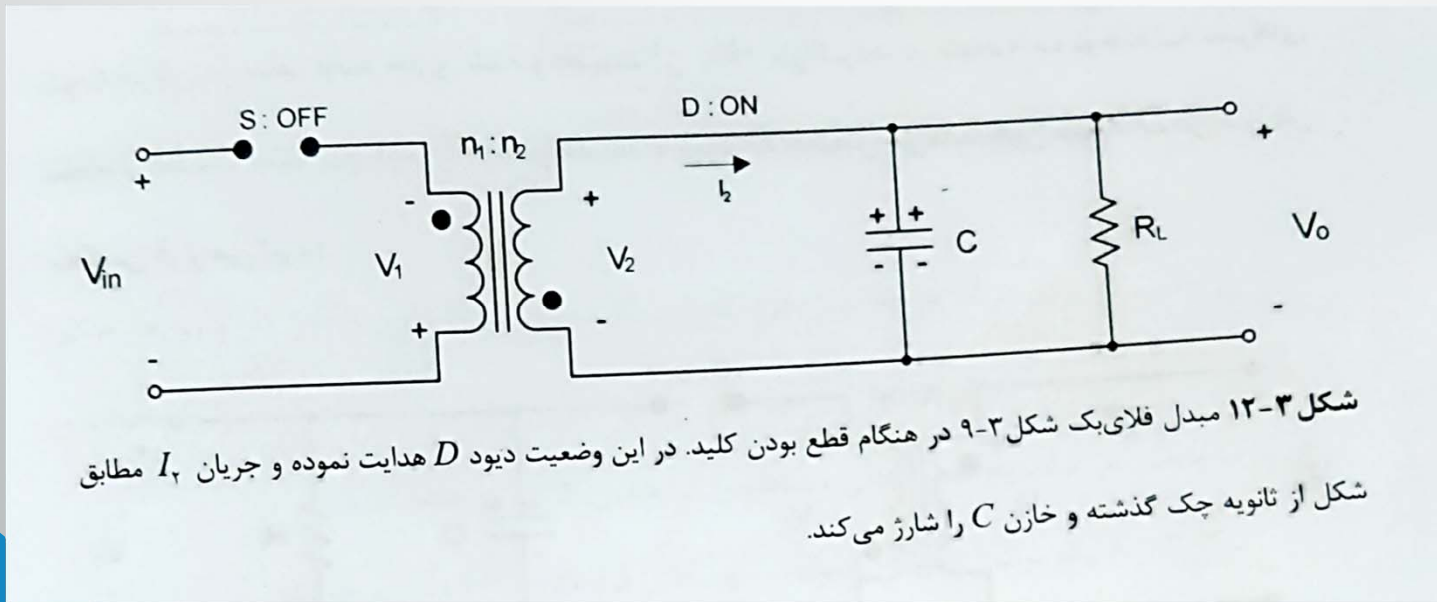
$$W_2 = 1/2 L_2 I_2^2$$

$$I_2 = \sqrt{L_1/L_2} I_1$$

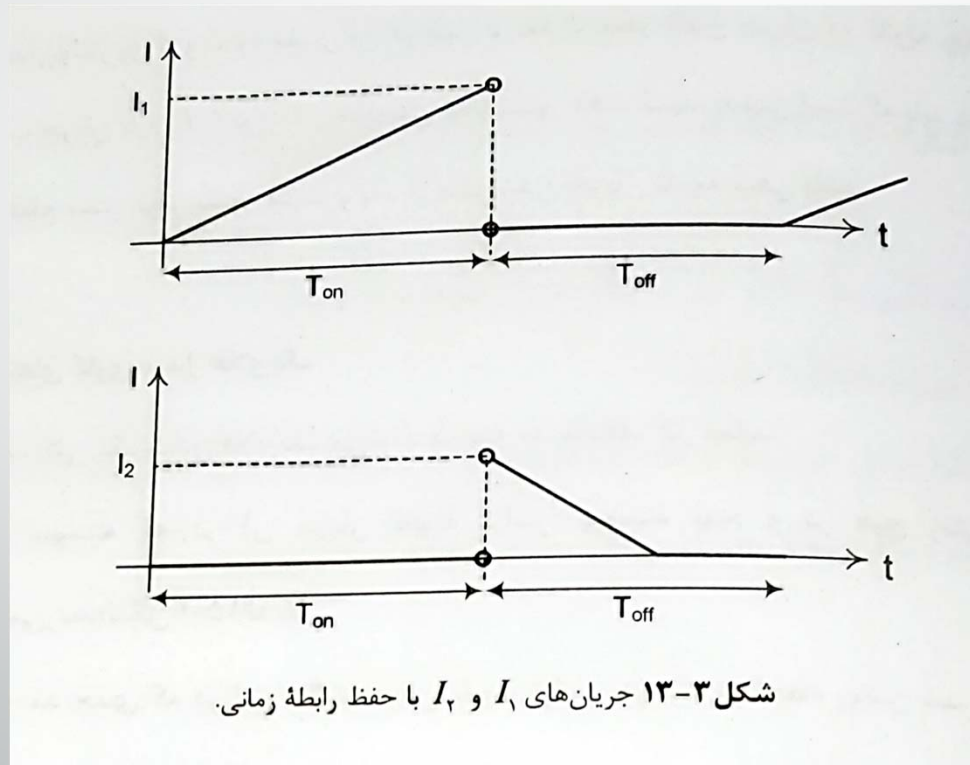
$$\Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

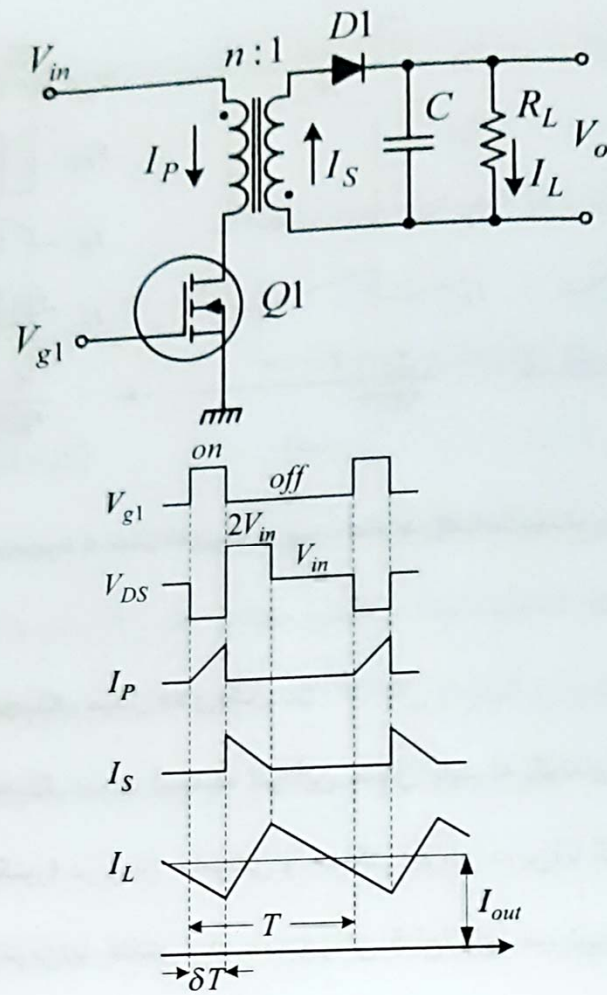
• اگر سویچ قطع شود.

• سلف ثانویه دیود را وصل میکند.



• جریانهای اولیه و ثانویه با حفظ بازه زمانی

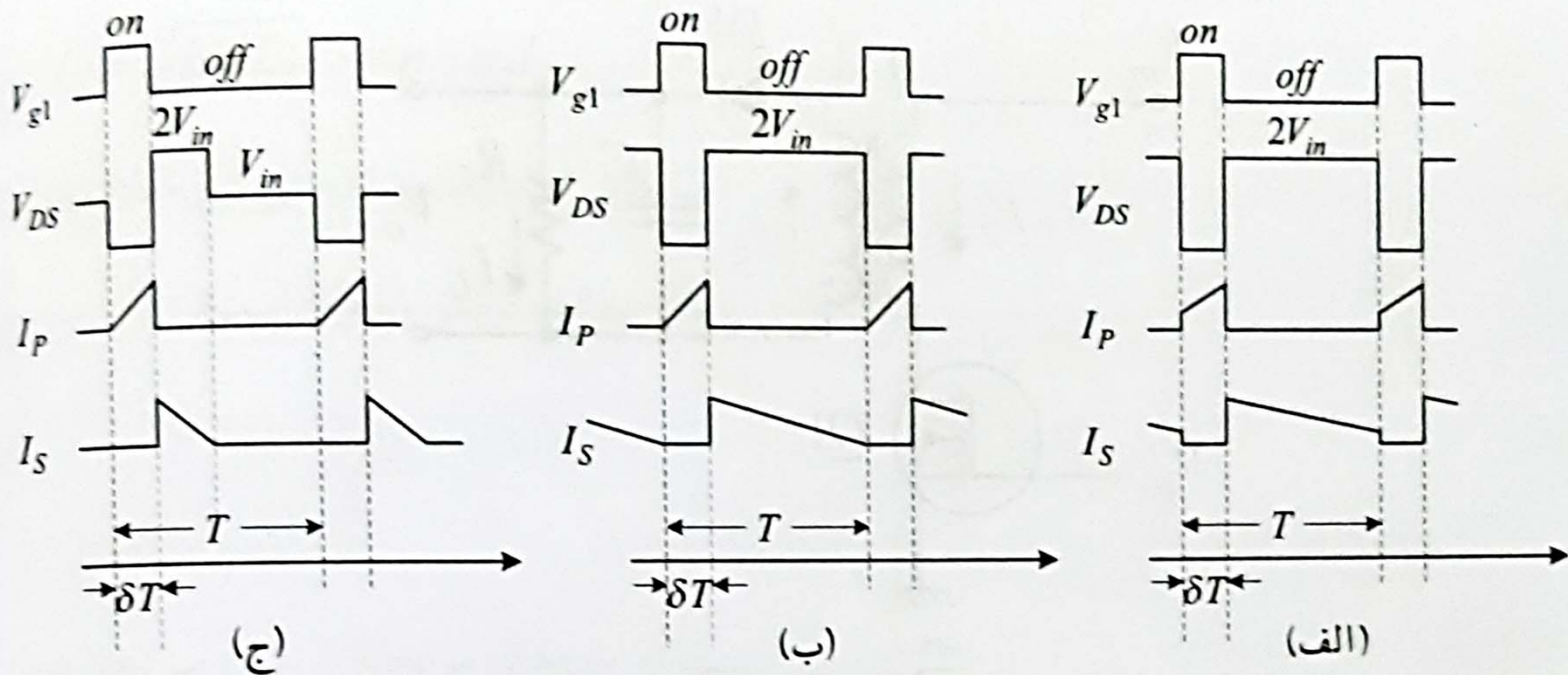




شکل ۳-۱۴ مبدل فلای بک ترانزیستوری ایده آل و شکل موج های مربوطه (در مد ناپیوسته).

• مدهای کاری مبدل فلای بک

1. مد پیوسته 2. مد حدی 3. مد ناپیوسته



شکل ۳-۱۵ شکل موج‌های مربوط به مبدل فلای بک در سه مد مختلف. الف) مد پیوسته ب) مد حدی ج) مد ناپیوسته.

• رابطه ولتاژ خروجی در مبدل فلای بک:

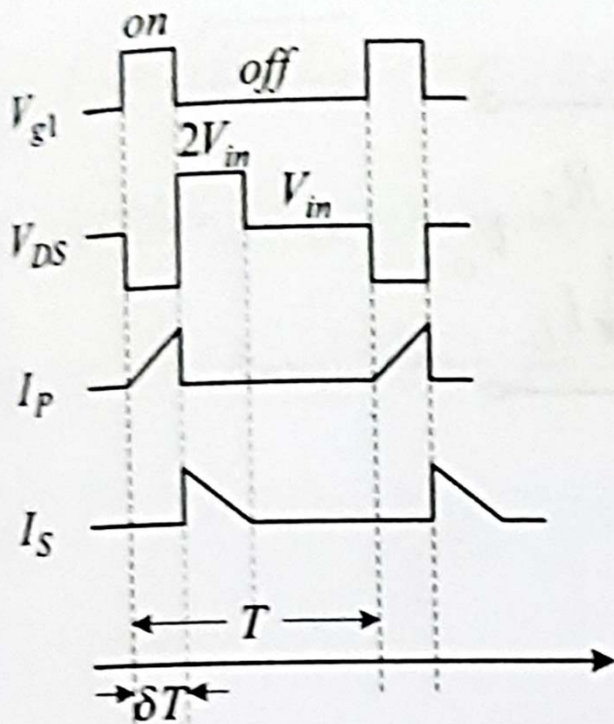
در زمان وصل:

$$V_{in} = L_p \frac{di}{dt} = L_p \frac{I_p}{\delta T} \rightarrow L_p = \frac{\delta T V_{in}}{I_p}$$

در زمان قطع:

$$V_o = L_s \frac{n I_p}{(1-\delta)T}, \quad L_s = \frac{L_p}{n^2} \rightarrow$$

$$V_o = \frac{L I_p}{n(1-\delta)T} = \frac{\delta V_{in}}{n(1-\delta)}$$



- ترانزیستور مبدل فلای بک
- باید تحمل حداکثر ولتاژ زمان خاموشی را داشته باشد.

$$V_{DS,max} = V_{in} + nV_o \rightarrow V_{DS,max} = \frac{V_{in}}{1-\delta}$$

با افزایش دوره کاری، ولتاژ ماکزیمم روی سوییچ بسیار زیاد میشود پس در عمل حداکثر دوره کاری برای 0/55 نگه داشته میشود تا ولتاژ سوییچ از 2/2 برابر ورودی بیشتر نشود. برای ولتاژ 220 ولت متناوب باید از سوییچ با ولتاژ بالاتر از حدود 700 ولت استفاده کرد.

- باید تحمل حداکثر حداکثر جریان زمان روشنی را داشته باشد.

$$I_{D,\max} = I_p = \frac{I_s}{n}$$

- توان خروجی بر حسب انرژی سلف اولیه عبارت است از:

$$P_{out} = \frac{\eta E_{in}}{T} = \frac{\eta 0.5 L I_p^2}{T}$$

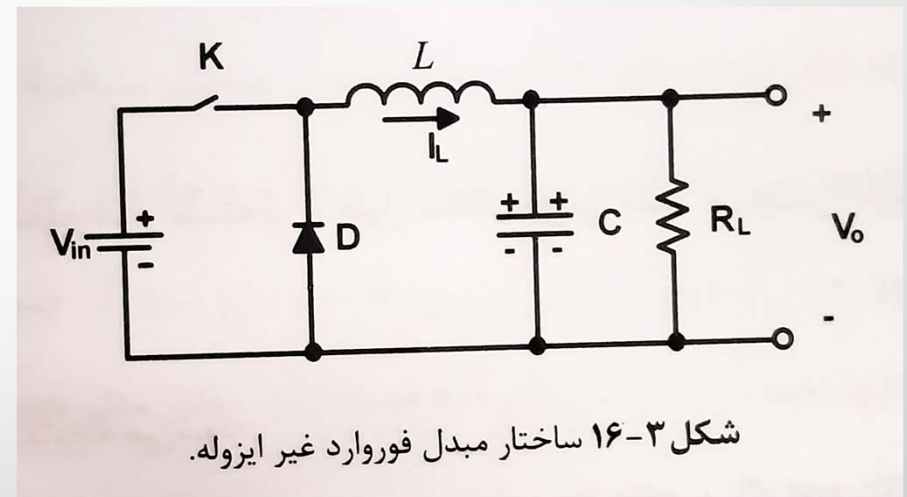
- از رابطه صفحه قبلی برای اندوکتانس اولیه استفاده می کنیم.

$$P_{out} = \eta 0.5 V_{in} \delta I_p \rightarrow I_p = \frac{2 P_{out}}{\eta \delta V_{in}} = I_{D,\max}$$

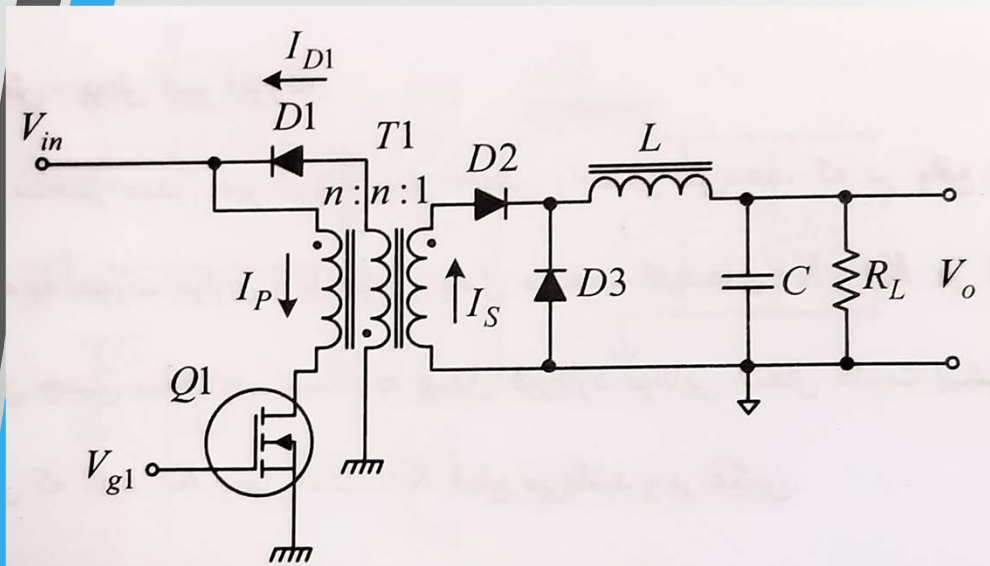
- با فرض راندمان 80 درصد و دثره کاری 40 درصد داریم:

$$I_{D,\max} = 6.2 \frac{P_{out}}{V_{in}}$$

انواع دیگر مبدل ها

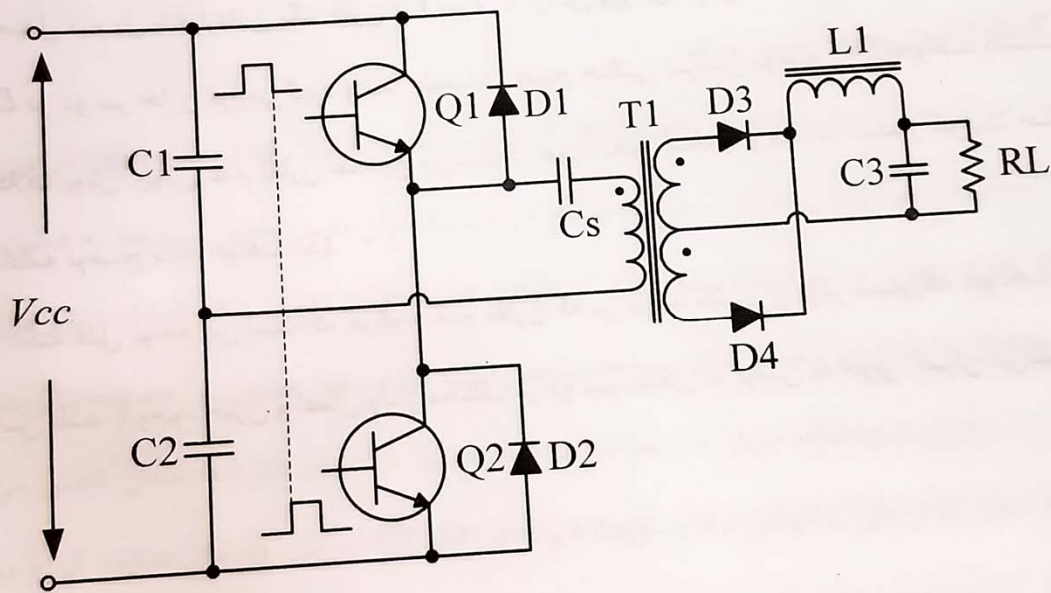


فوروارد غیر ایزوله



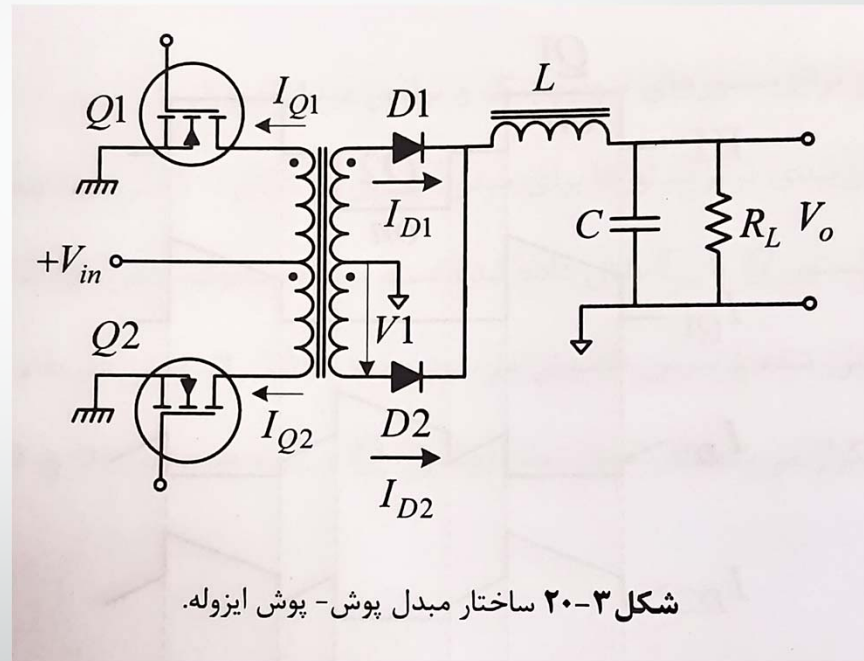
فوروارد ایزوله

انواع دیگر مبدل ها



شکل ۳-۲۲ ساختار مبدل نیم پل.

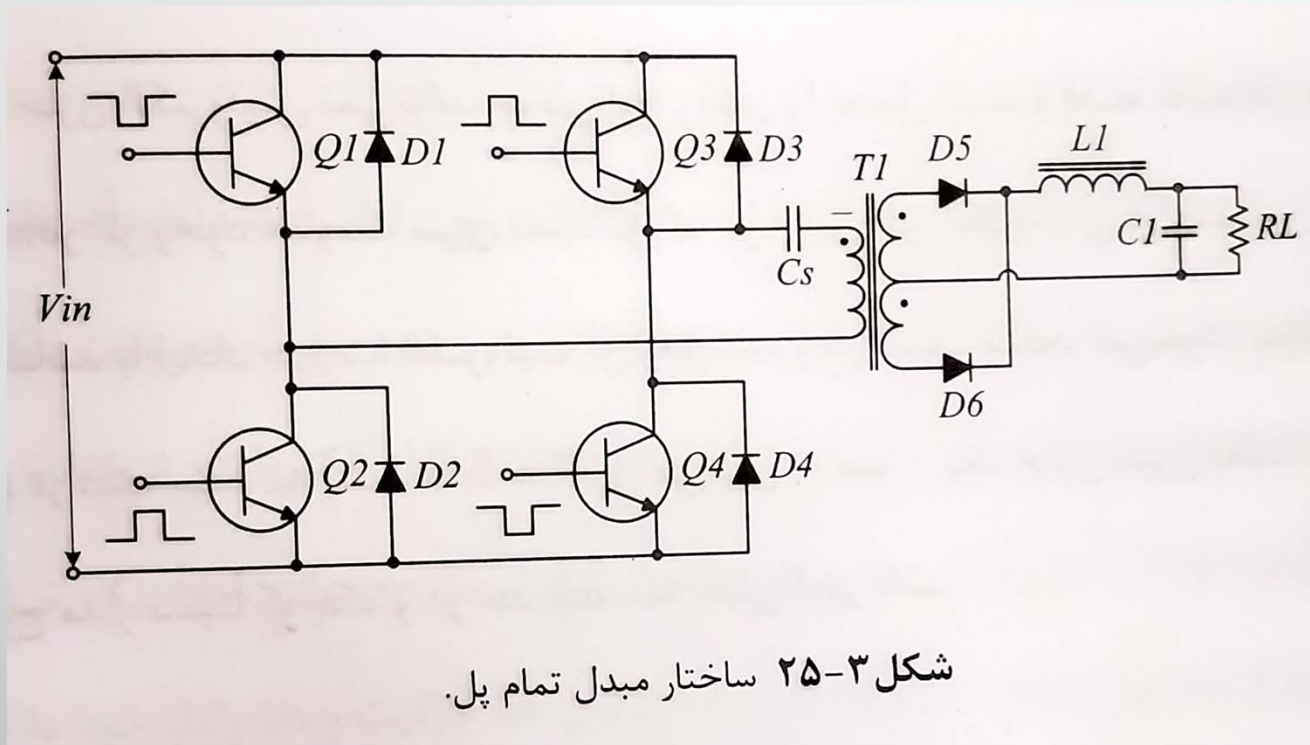
نیم موج



شکل ۳-۲۰ ساختار مبدل پوش-پوش ایزوله.

پوش-پوش

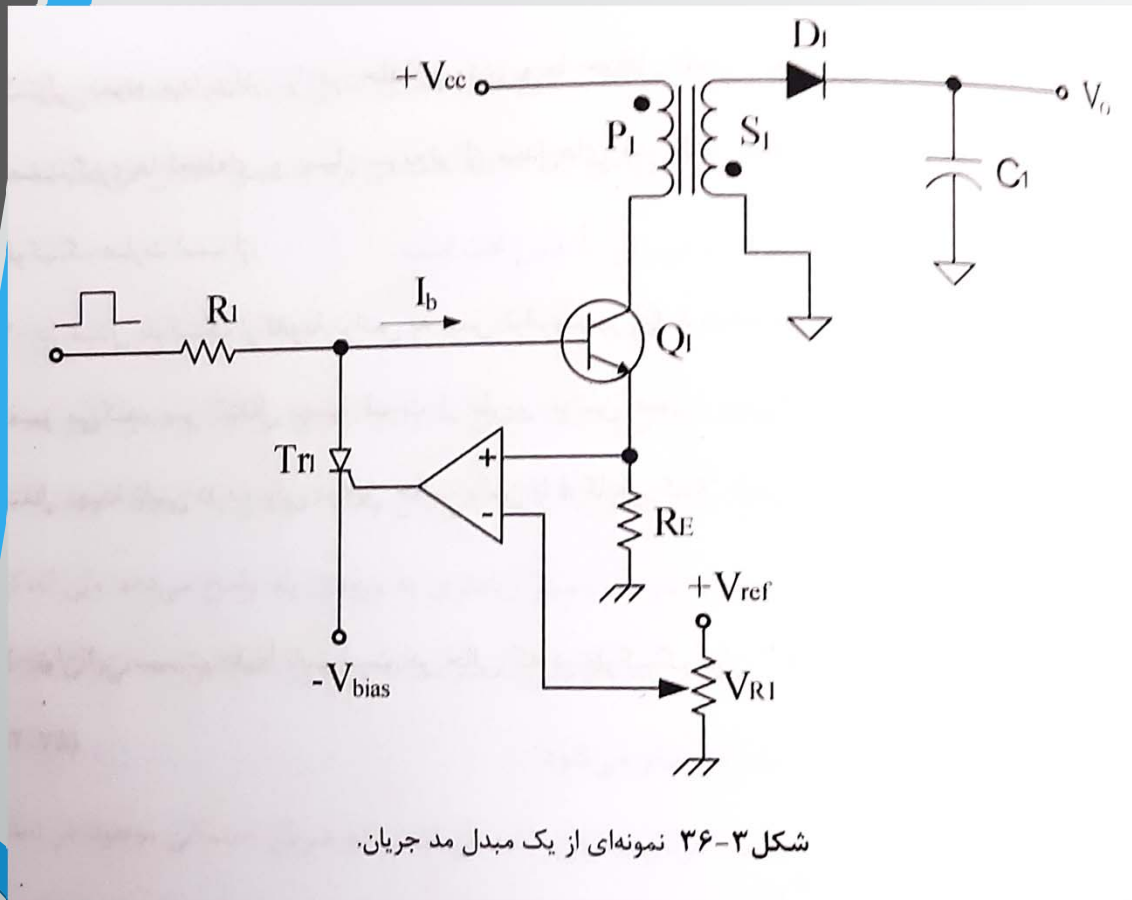
انواع دیگر مبدل ها



شکل ۳-۲۵ ساختار مبدل تمام پل.

تمام موج

انواع دیگر مبدل ها



مد جریان

فصل 4: ادوات قدرت سویچینگ

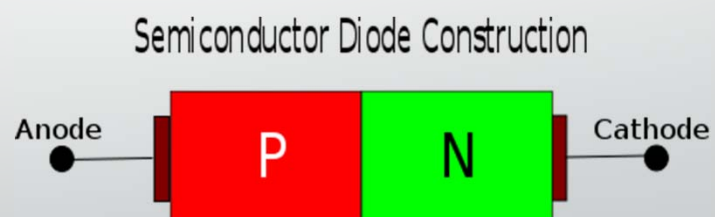
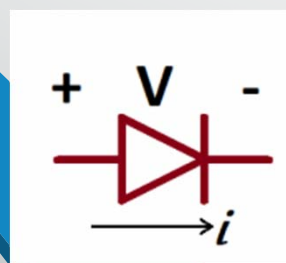
دیودهای قدرت

- به عنوان یک کلید کنترل نشده استفاده گسترده ای در مدارات قدرت دارد.
- دیودهای قدرت توانایی کار در محدوده ولتاژ-جریانی بالاتری را نسبت به دیودهای سیگنال دارند.

دیود

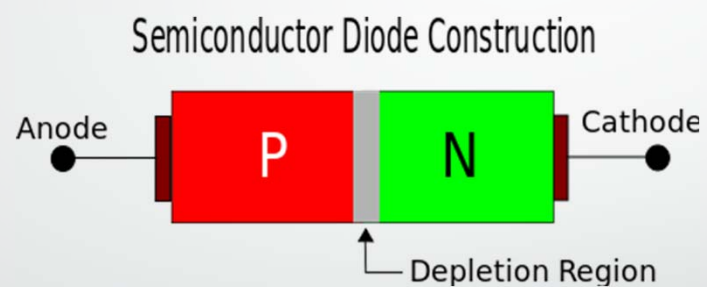
المانی که از اتصال دو نیمه هادی نوع P و N تشکیل شده.

فقط در یک جهت به جریان اجازه عبور داده و از عبور جریان در جهت عکس ممانعت میکند.



دیود

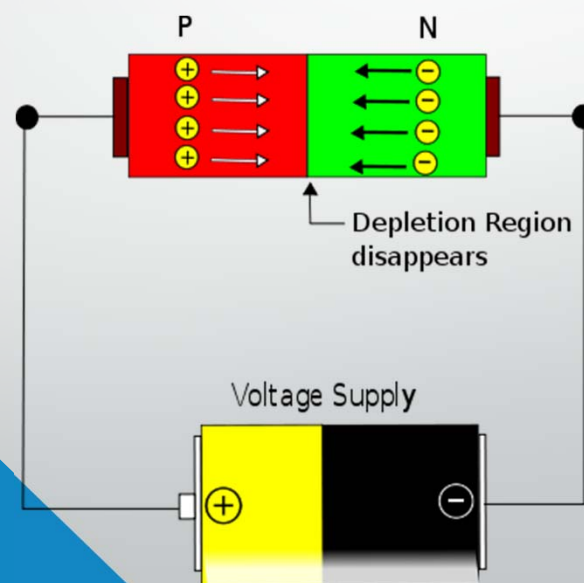
در محل اتصال دو نیمه هادی، حفره ها و الکترون ها با هم ترکیب شده و یک ناحیه تهی تشکیل می شود که مقاومت بالایی دارد.



دیود

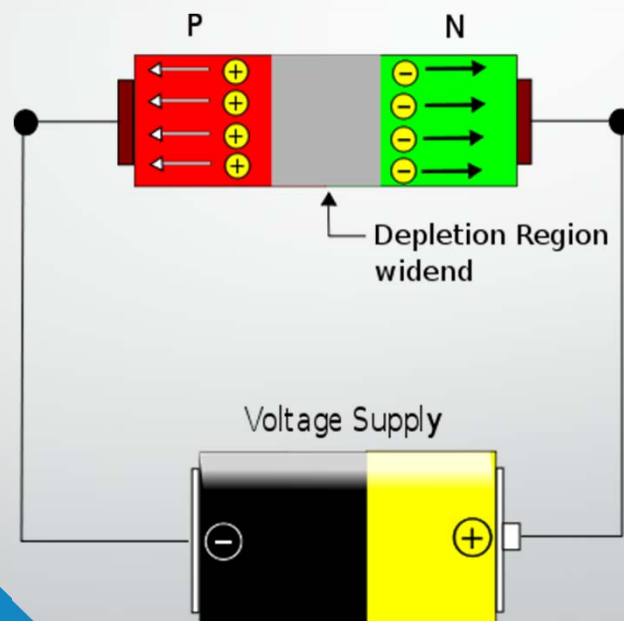
اتصال مستقیم باعث حذف ناحیه تهی شده و جریان جاری می شود.

ولتاژ لازم برای حذف ناحیه تهی در این اتصال V_f می باشد.



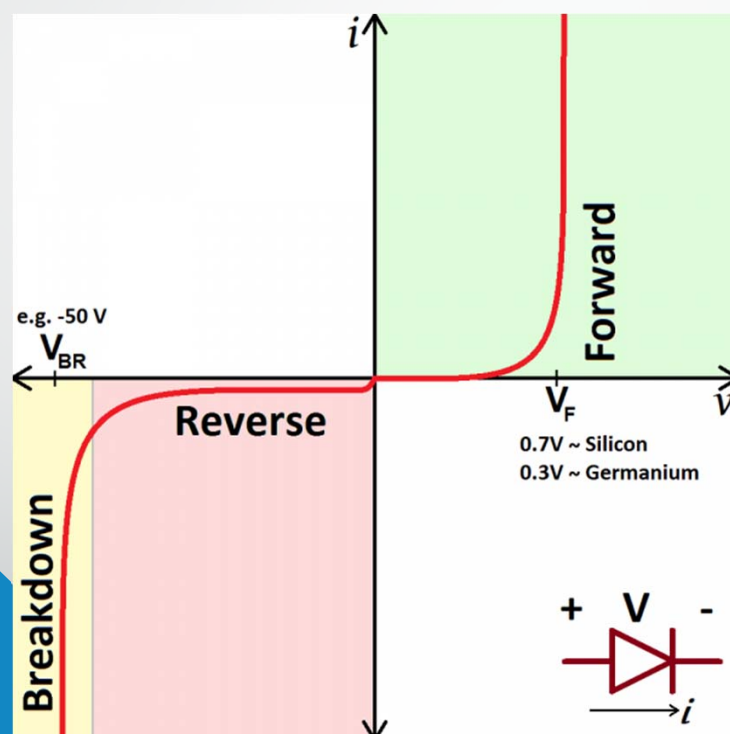
دیود

اتصال معکوس باعث گسترش ناحیه تهی شده و جریان مسدود می شود.



دیود

مشخصه ولتاژ- جریان دیود



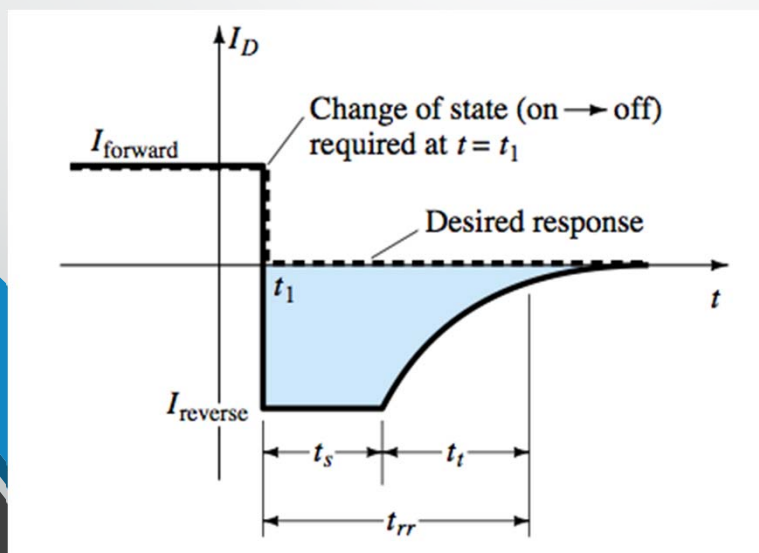
دیود



دیود

زمان بازیابی معکوس: t_{rr} Reverse recovery time

با صفر شدن جریان، دیود سریعاً خاموش نشده و تا الکترون‌ها و حفره‌ها وضعیت خود را بازیابی کنند، مدتی طول میکشد.



دیود

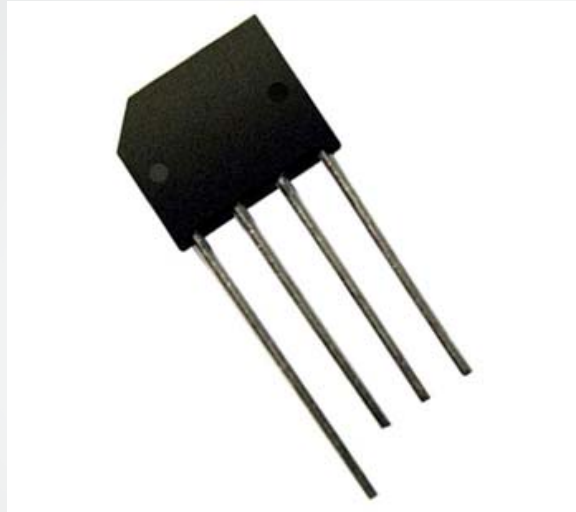
انواع دیودها بر اساس زمان بازیابی معکوس

۱- دیودهای عمومی (General): زمان بازیابی معکوس نسبتاً بالایی داشته (بیشتر از ۲۰ میکروثانیه) ولی رنج ولتاژ و جریان آنها نیز بالا میباشد.

۲- دیودهای سریع (Fast): زمان بازیابی معکوس در آنها کوچک میباشد (معمولاً کمتر از ۵ میکروثانیه) و نرخ ولتاژ و جریان آنها نیز کمتر است.

۳- دیودهای شاتکی (Schottky): زمان بازیابی معکوس آنها صفر است و نرخ ولتاژ و جریان آنها نیز پایین است.

دیود



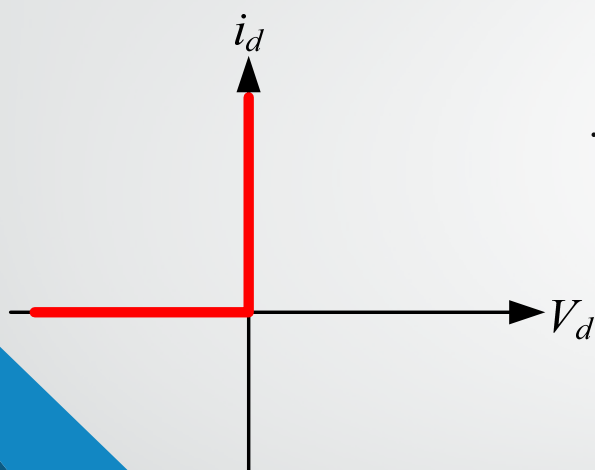
ديود



دیود

دیود ایده آل:

- اگر ولتاژ دو سر آن مثبت شود، وصل میشود.
- اگر وصل باشد، افت ولتاژی ندارد.



- با صفر شدن جریان، خاموش میشود.
- در حالت خاموش جریان آن صفر است.

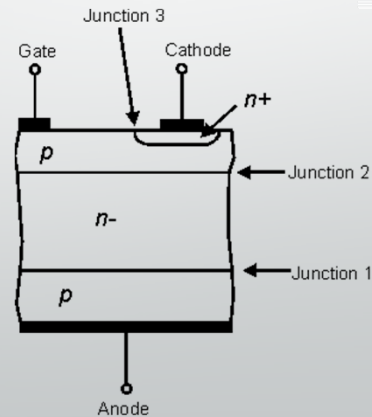
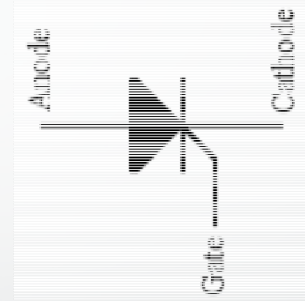
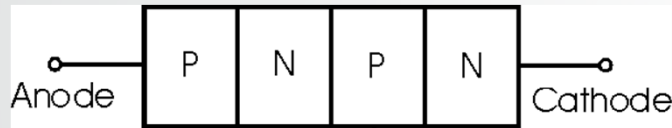
- پس از ولتاژ مستقیم، مقاومت دیود، جریان معکوس، ولتاژ شکست و زمان بازیابی صرفنظر میکنیم.

جدول ۴-۱ مشخصات مربوط به چندین نمونه دیود یکسوساز قدرت.

شماره	حداکثر ولتاژ نامی	جریان متوسط نامی	V_F	حداکثر زمان بازیابی معکوس (t_r)	حداکثر زمان بازیابی مستقیم (t_f)
یکسوسازهای بازیابی سریع					
MUR415	150	4A	0.88V	35n	25n
1N3913	400	30A	1.1V	400n	
SD453N25S20PC	250V	400A	2.2V	2 μ s	
یکسوسازهای بازیابی فوق سریع					
MUR815	150V	8A	0.975V	35ns	
MUR1560	600V	15A	1.2V	60ns	
RHRU100120	1200V	100A	2.6V	60ns	
یکسوسازهای شاتکی					
MBR6030L	30V	60A	0.48V		
444CNQ045	45V	440A	0.69V		
30CPQ150	150V	30A	1.19V		

تریستور

المانی که از اتصال چهار نیمه هادی نوع P و N تشکیل شده.



ترانزیستورهای قدرت

ترانزیستورهای قدرت کلیدهایی هستند که روشن و خاموش شدن آنها، هر دو کنترل شده می باشد.

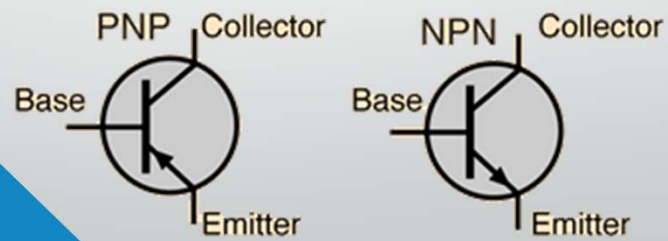
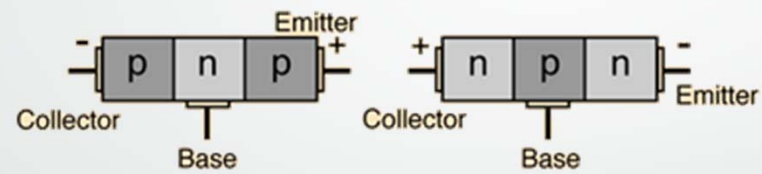
۱- ترانزیستورهای پیوند دوقطبی BJT

۲- ترانزیستورهای اثر میدانی با نیمه هادی اکسید فلزی MOSFET

۳- ترانزیستورهای دوقطبی با گیت عایق شده IGBT

: BJT

دارای سه لایه نیمه هادی به فرم PNP یا NPN می باشد.



دارای سه ناحیه کاری است.

۱- ناحیه قطع: جریان اعمالی به بیس کافی نیست و ترانزیستور خاموش (قطع) می باشد.

$$V_{CE} > 0 \quad , \quad i_C = 0$$

۲- ناحیه فعال: ترانزیستور مانند یک تقویت کننده عمل کرده و رابطه خطی بین جریان بیس و کلکتور برقرار است.

$$V_{CE} > 0 \quad , \quad i_C = \beta i_B > 0$$

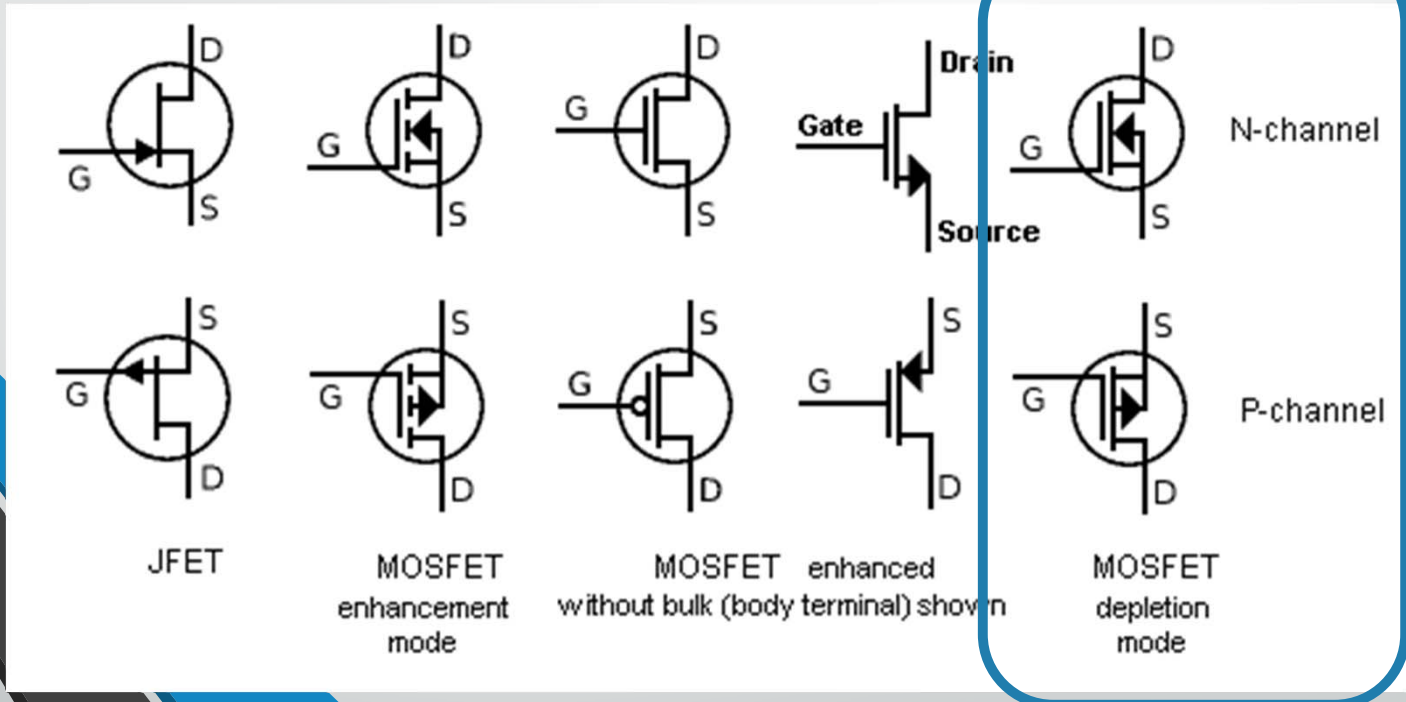
۳- ناحیه اشباع: رابطه جریان بیس و کلکتور از حالت خطی خارج شده و ولتاژ کلکتور-امیتر کمترین مقدار خود را دارد.

$$V_{CE} = V_{CE,sat} \quad , \quad i_C < \beta i_B$$

جدول ۲-۴ مشخصات مربوط به چندین نمونه ترانزیستور دوقطبی قدرت.

t_f	t_{stg}	t_{on}	V_{CEsat}	$P_C _{T_a=25^\circ C}$	I_C	V_{EBO}	V_{CEO}	V_{CBO}	شماره
300ns	2 μ s	500ns	1V	1.5W	5A	7V	400V	600V	2SC5355
300ns	3 μ s	500ns	1V	1W	2A	7V	370V	600V	2SC5548
1 μ s	2.5 μ s	1 μ s	1V	1.5W	7A	7V	400V	500V	2SC2335
140ns	500ns	300ns	1V	1.75W	8A	5V	80V	-	KSH44H11
300ns	50ns	400ns	0.7V	2W	1A	5V	40V	40V	TIP29C
500ns	2.5 μ s	1 μ s	-	2W	7A	8V	400V	450V	2SC4242

: MOSFET



دارای سه ناحیه کاری است.

۱- ناحیه قطع: $V_{GS} < V_T$

۲- ناحیه فعال: $V_{DS} \leq V_{GS} - V_T$

۳- ناحیه اشباع: $V_{DS} \geq V_{GS} - V_T$

V_T ولتاژ آستانه ترانزیستور نام دارد و حداقل ولتاژ مورد نیاز برای روشن شدن است.

جدول ۳-۴ مشخصات مربوط به چندین نمونه ماسفت قدرت.

شماره	V_{DSS}	$R_{DS(on)}$	I_D	V_{GS}	$PD _{T=25^{\circ}C}$	t_{don}	t_r	t_{doff}	t_f
IRF540N	100V	44m Ω	33A	$\pm 20V$	130W	11ns	35ns	39ns	35ns
IRF7103	50V	130m Ω	3A	$\pm 20V$	2W	9ns	8ns	45ns	25ns
RFG50N06	60V	22m Ω	50A	$\pm 20V$	131W	12ns	55ns	37ns	13ns
IRF740	400V	550m Ω	10A	$\pm 20V$	125W	14ns	27ns	50ns	24ns
IRFZ44N50	60V	24m Ω	50A	$\pm 20V$	126W	20ns	16ns	68ns	70ns

مقایسه MOSFET و BJT :

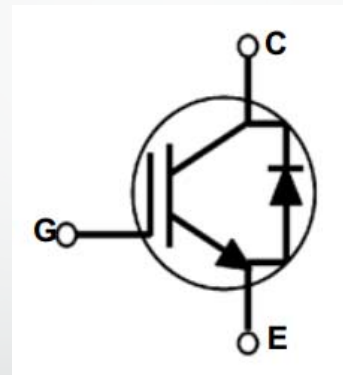
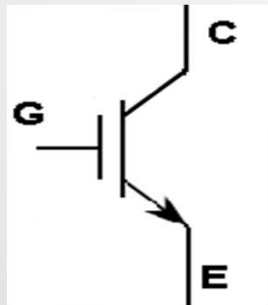
۱- BJTها المانهای کنترل شونده با جریان هستند و MOSFETها با ولتاژ.

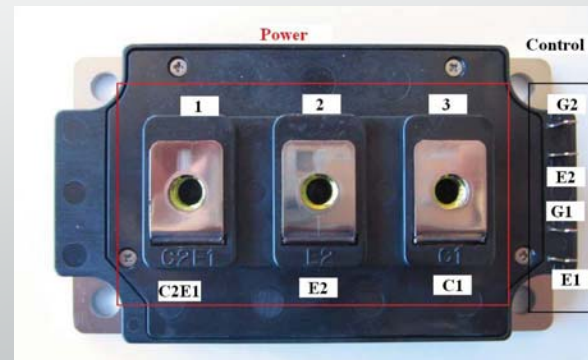
۲- MOSFETها تلفات هدایت بیشتر و تلفات کلیدزنی کمتری نسبت به BJTها دارند.

۳- MOSFETها فرکانس کلیدزنی بالاتری دارند و BJTها نرخ ولتاژ-جریان بالاتری دارند.

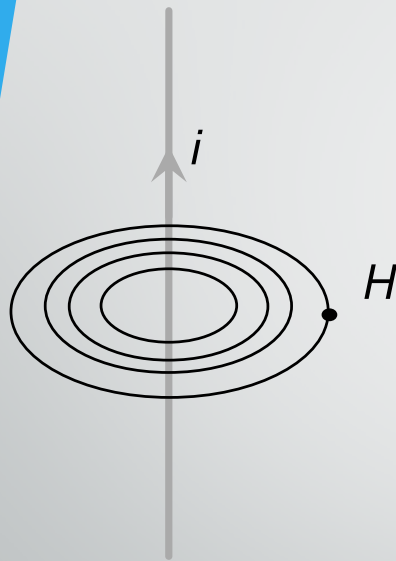
:IGBT

ساختار آنها ترکیبی از ساختار MOSFET و BJT است و از مزایای هر دو برخوردار است.





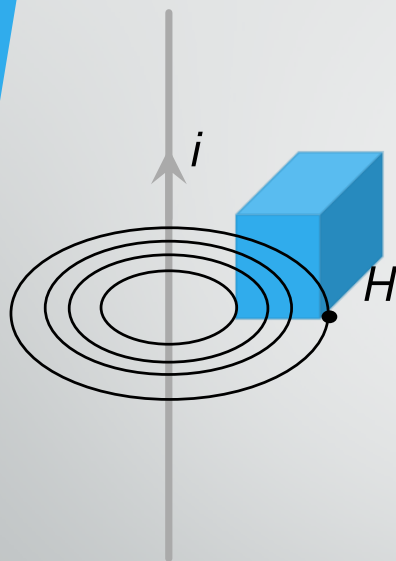
فصل ۵: طراحی مغناطیسی



۱- شدت میدان مغناطیسی $H(A/m)$

- عامل ایجاد میدان مغناطیسی جریان میباشد.
- میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان به صورت خطوط دایره ای بسته نشان داده میشوند.
- شدت میدان روی هر دایره (یا هر نقطه از فضا) با H نشان داده میشود.
- طبق قانون آمپر $H.l = I_{tot}$ که در این رابطه H همانش شدت میدان نقطه مورد نظر، l طول مسیر مغناطیسی (که در اینجا همان محیط دایره است) و I_{tot} نیز مجموع جریان های محصور شده در دایره مورد نظر است.

۲- شار مغناطیسی $\phi(wb)$



- هرگاه جسمی درون این میدان قرار گیرد، تعدادی از خطوط میدان از درون آن عبور میکنند. تعداد این خطوط را شار مغناطیسی گویند.
- شار گذرا از سطح جسم خارجی به عوامل زیر وابسته است:
- شدت میدان - سطح مقطع ماده - جنس ماده

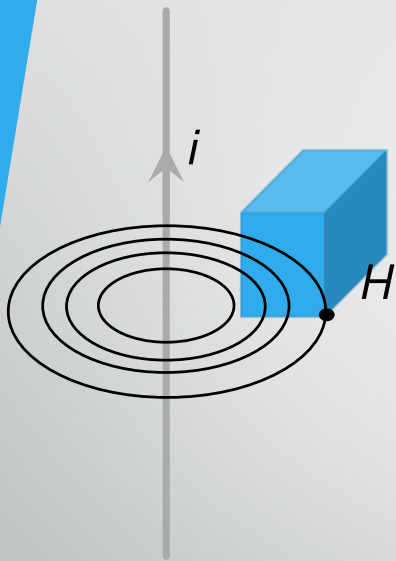
$$\phi = \mu H A$$

پس مینویسیم:

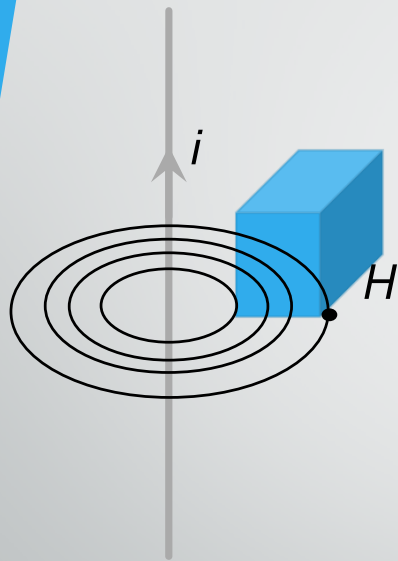
- که در این رابطه H همان شدت میدان، A سطح مقطع مورد نظر ماده و μ میزان نفوذپذیری ماده در برابر میدان مغناطیسی است.

۳- نفوذپذیری مغناطیسی μ

- یک کمیت خاص مرتبط با جنس ماده است و صرفاً از روی اندازه‌گیری تعیین می‌گردد.
- مواد فرومغناطیس دارای نفوذپذیری بسیار بالاتری نسبت به مواد دیگر می‌باشند.
- فقط آهن، نیکل و کبالت فرومغناطیس هستند به علاوه آلیاژها و ترکیبات آنها مثلاً نفوذپذیری آهن تقریباً ۱۰۰۰ بار بیشتر از هوا است.
- نفوذپذیری هوا برابر با نفوذپذیری مس، آلومینیوم، طلا و ... بوده که برابر است با $4\pi \times 10^{-7}$ است که با μ_0 نشان می‌دهند.
- عموماً نفوذپذیری مواد را به صورت نسبی بر حسب نفوذپذیری هوا مطرح میکنند. مثلاً برای یک ماده خاص نفوذپذیری را ۱۲۰۰ می‌گویند یعنی ۱۲۰۰ بار بیشتر از هوا.



۴- چگالی شار مغناطیسی $B(T)$

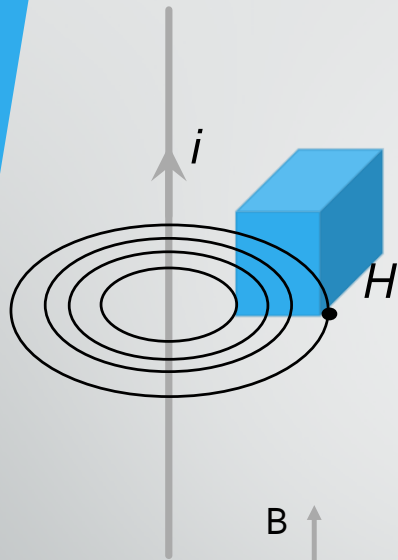


• چگالی شار، همان شار است که به سطح ماده تقسیم شده است. پس داریم :

$$B = \frac{\varphi}{A} = \mu H$$

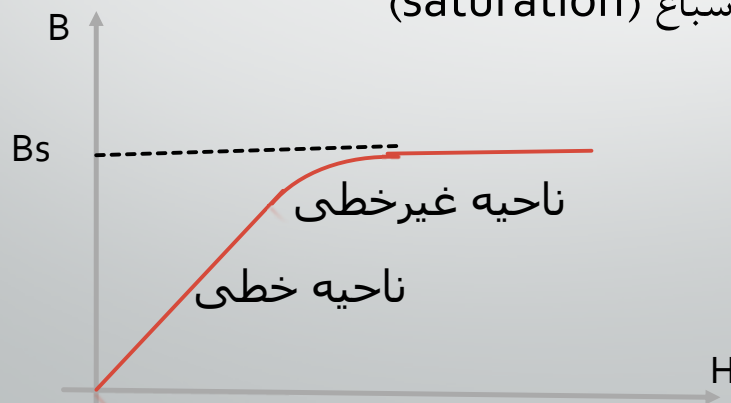
• در این رابطه H شدت میدانی است که ماده مورد نظر در آن قرار گرفته و B میزان مغناطیس شدگی ماده تحت میدان را نشان می دهد.

مشخصه مغناطیس شونده ماده

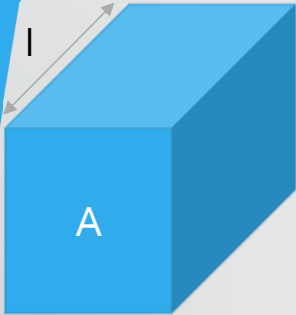


- با توجه به رابطه $B = \mu H$ می توان ادعا کرد که رابطه بین H و B یک رابطه خطی است. یعنی هرچه شدت میدان H بیشتر شود، میزان مغناطیس شدگی B ماده نیز بیشتر میشود.

- در واقعیت هر ماده فرومغناطیس تا سطح مشخصی مغناطیسی شده و بیشتر از آن نمی تواند مغناطیسی شود. به این پدیده اشباع (saturation) میگویند.



۵- مقاومت مغناطیسی یا رلوکتانس R



- هرگاه ماده ای تحت میدان قرار گیرد، در برابر عبور میدان از خود مقاومت میکند. میزان این مقاومت به جنس ماده و ابعاد هندسی آن وابسته است که: $R = \frac{l}{\mu A}$
- برای شار داریم:

$$\varphi = \mu A H = \mu A \left(\frac{I_{tot}}{l} \right) = \frac{I_{tot}}{l / \mu A} = \frac{I_{tot}}{R}$$

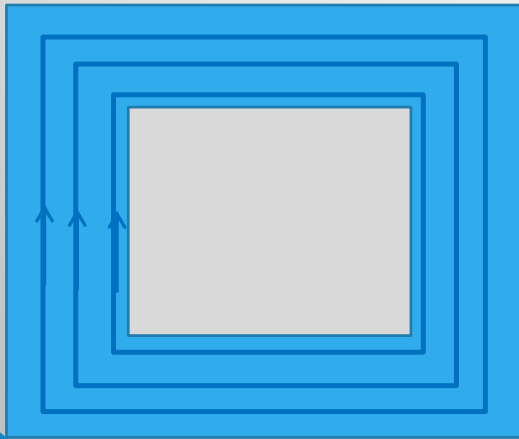
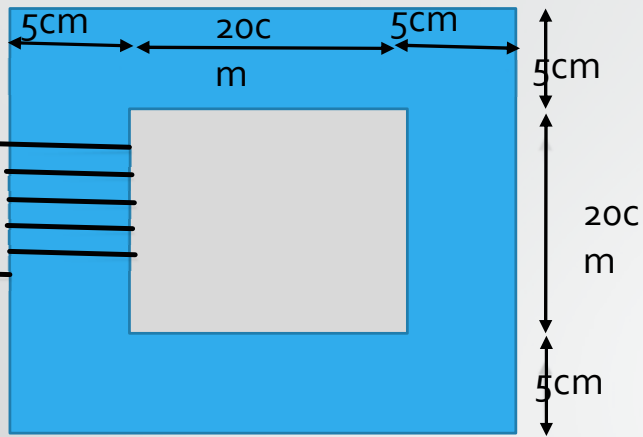
پس می توانیم بنویسیم: $R\varphi = I_{tot}$

چون عموماً به جای یک سیم، یک دسته سیم (سیم پیچ) N دور داریم که از همه آنها جریان I عبور میکند، پس به جای I_{tot} می توانیم بنویسیم NI پس در حالت کلی رابطه مهم روبرو را داریم:

$$NI = R\varphi = Hl$$

مثال: در شکل روبرو یک هسته مغناطیسی با سطح مقطع مربعی داده شده است. اگر نفوذپذیری هسته ۱۰۰۰ برابر هوا باشد و جریان سیم پیچی ۱۰۰ دوری برابر ۲ آمپر باشد، شار هسته را تعیین کنید.

• در اینجا شکل ۲ بعدی یک هسته مکعبی نشان داده شده است که یک سیم پیچی دور یکی از بازوهای آن قرار دارد. با توجه به شکل سیم پیچی، میدان باید از درون سیم پیچ بگذرد، یعنی از سطح مقطع بازو عبور میکند. از طرف دیگر چون میدان مسیر بسته دارد و آسانترین مسیر هم خود هسته است (چون نفوذپذیری خیلی بهتری نسبت به هوا دارد) پس همه شار از درون هسته عبور میکند مطابق شکل زیر.

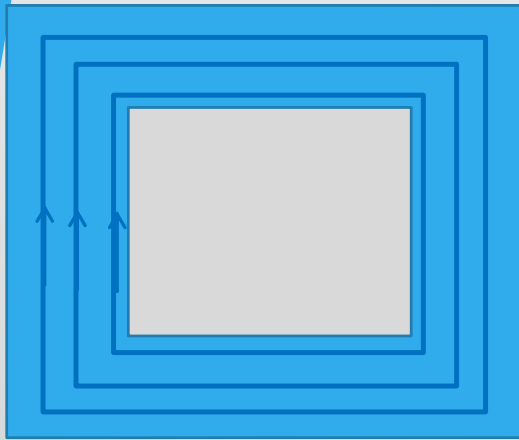


• سطح مقطع هسته با توجه به اطلاعات داده شده برابر است با:

$$A = 5\text{cm} \times 5\text{cm} = 25\text{cm}^2 = 25 \times 10^{-4}\text{m}^2$$

شار از همه جای سطح مقطع هسته عبور میکند مشابه هر سه مسیری که در شکل نشان داده شده است ولی ما در محاسبات همیشه مسیر وسط را لحاظ میکنیم. این مسیر برای هر ضلع برابر است با

$$20\text{cm} + 2.5\text{cm} + 2.5\text{cm} = 25\text{cm}$$



پس طول مسیر مغناطیسی برابر میشود با: $l = 4 \times 25\text{cm} = 100\text{cm} = 1\text{m}$

نفوذپذیری هسته نیز برابر است با: $\mu = 1200 \times \mu_0 = 12.56 \times 10^{-4}$

پس در اینصورت رلوکتانس هسته برابر است با: $R = \frac{l}{\mu A} = 31.8 \times 10^4$

و شار هسته میشود: $R\phi = NI \rightarrow \phi = \frac{NI}{R} = 6/29 \times 10^{-4}\text{wb}$

۶- شار-دور یا شار پیوندی

$$\lambda(wb)$$

- شار پیوندی در واقع کل شار دیده شده توسط یک سیم پیچ می باشد. از آنجایی که هر دور سیم پیچی شار φ را میبیند پس کل شار دیده شده توسط سیم پیچی برابر است با:

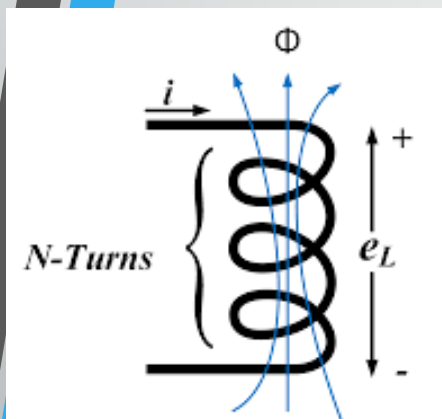
$$\lambda = N\varphi$$

۷- ولتاژ القایی $e(V)$

- ولتاژ القایی که عموماً با حرف e نمایش داده میشود، ولتاژی است که بر اثر القای مغناطیسی بوجود آمده باشد. طبق قانون فارادی هرگاه یک هادی در معرض میدان مغناطیسی متغیر با زمان قرار گیرد، درون هادی ولتاژ القا میگردد. پس اگر میدانی که از درون یک سیم پیچی عبور میکند متغیر با زمان باشد (مثلاً سینوسی باشد) دو سر سیم پیچی ولتاژی القا میگردد که مقدار آن برابر است با:

$$e = \frac{d\lambda}{dt} = N \frac{d\varphi}{dt}$$

۸- اندوکتانس یا ضریب خودالقایی $L(H)$



- اندوکتانس ضریبی است که نشان می‌دهد در یک سیم پیچ چه ارتباطی بین جریان آن سیم پیچ و شار آن وجود دارد (یا به عبارت دیگر در یک سیم پیچ با جریان مشخص چه مقدار انرژی مغناطیسی ذخیره می‌گردد). اندوکتانس بر حسب هانری اندازه گیری میشود و رابطه آن عبارت است از:

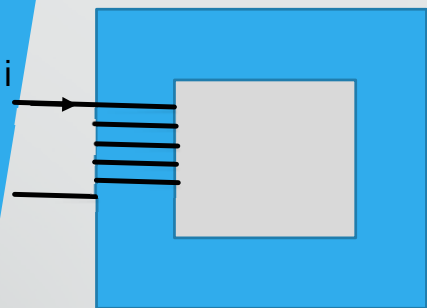
$$L = \frac{\lambda}{i} = \frac{N^2}{R}$$

- بر اساس رابطه فوق برای ولتاژ یک سلف (V_L) میتوانیم بنویسیم:

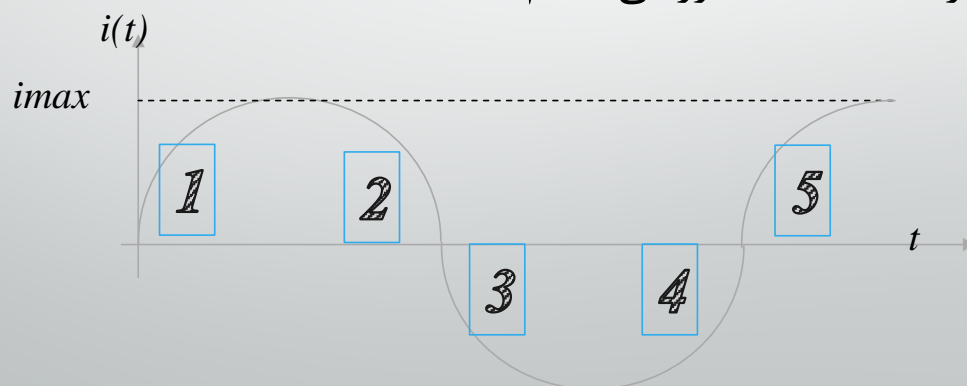
$$\lambda = Li$$

$$V_L = \frac{d\lambda}{dt} = L \frac{di}{dt}$$

پسماند

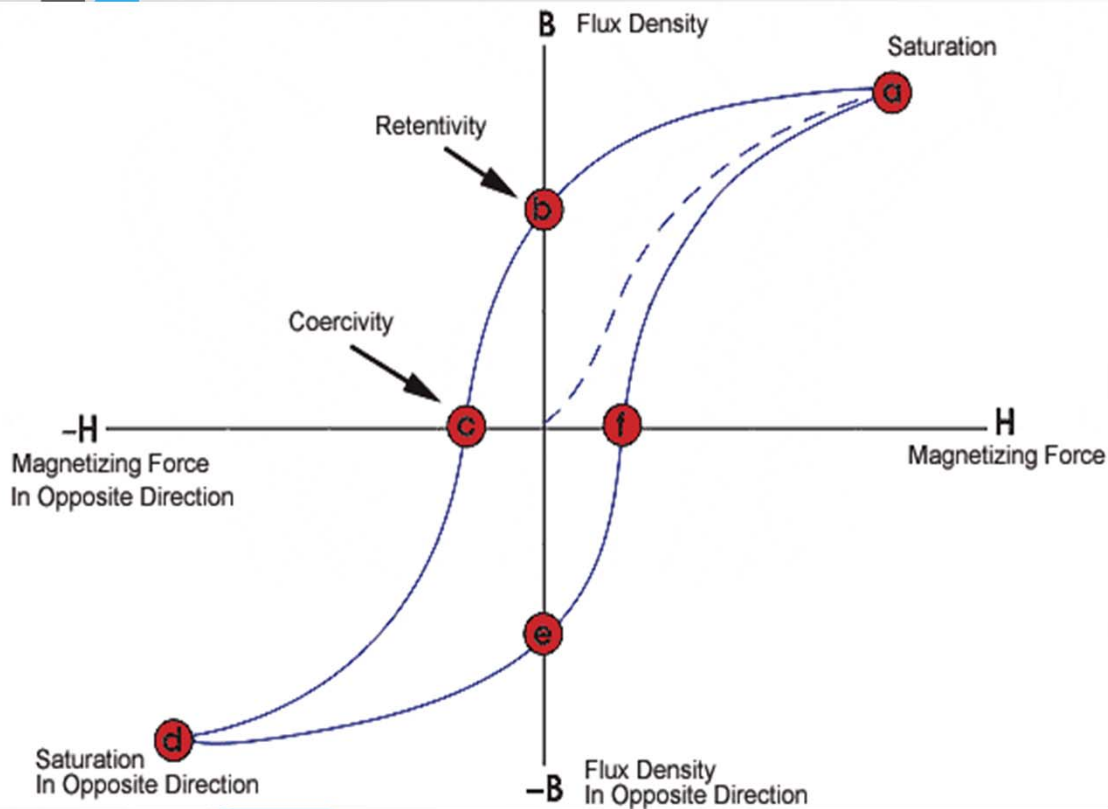


- یک سیستم مغناطیسی ساده مانند روبرو در نظر بگیرید.
- با اعمال جریان به سیم پیچی، میدان و شار متناسب با جریان در هسته بوجود می آید.
- چنانچه جریان تغییرات سینوسی داشته باشد، تغییرات چگالی شار هسته نیز سینوسی میگردد. میخواهیم یک سیکل این تغییرات را از ناحیه ۱ تا ۵ بررسی کنیم.



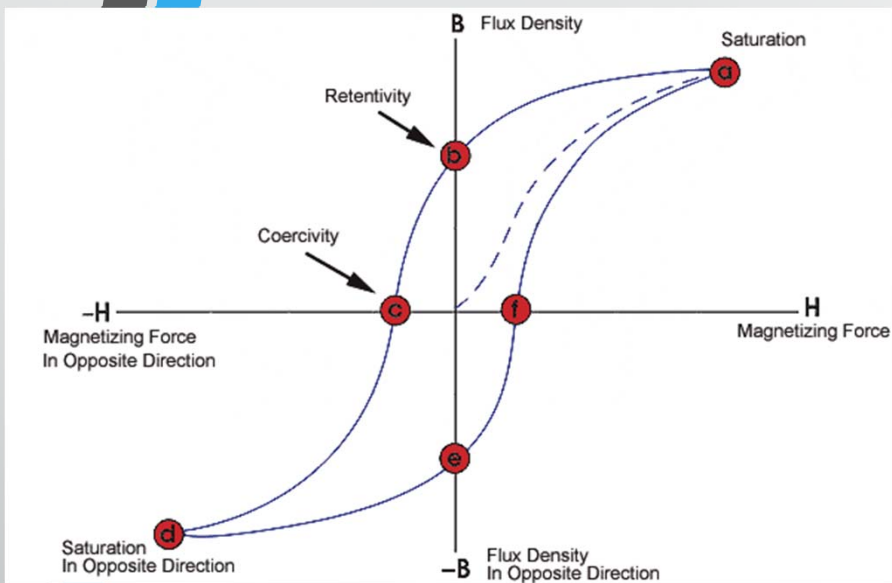
در ناحیه ۱ جریان از ۰ تا مقدار ماکزیمم تغییر می کند، پس میدان H نیز متناسب با آن از صفر تا ماکزیمم تغییر میکند.

با تغییر میدان، چگالی شار نیز از صفر تا ماکزیمم تغییر میکند ولی با توجه به اشباع این تغییر صرفاً خطی نیست (از مبدا تا نقطه a).



در ناحیه ۲ جریان از ماکزیمم دوباره به صفر بر میگردد و شدت میدان هم همینطور رفتار میکند و میدان درون هسته صفر میشود.

ولی با توجه به شکل روبرو چگالی شار از a به b میرسد. یعنی با حذف میدان، خاصیت مغناطیسی هسته حذف نشده و به اندازه b خاصیت مغناطیسی حفظ میگردد. به این پسماند مغناطیسی میگویند.



- در ناحیه ۳ مجدداً جریان و میدان از صفر به ماکزیمم میروند ولی در خلاف جهت قبل.
- در اینصورت هسته ابتدا خاصیت مغناطیسی قبلی خود را از دست میدهد (از b تا c) و سپس در جهت عکس شروع به زیاد شدن میکند (از c تا d).
- نقطه c جایی است که خاصیت مغناطیسی قبلی هسته از بین رفته است.

- در ناحیه ۴ جریان و میدات از ماکزیمم منفی به صفر بر میگردند.

- در اینصورت چگالی شار (خاصیت مغناطیسی) هسته نیز کاهش مییابد ولی کاملاً از بین نمیروود حتی با صفر شدن میدان (از d تا e).

- در ناحیه ۵ جریان و میدان مانند ناحیه ۲ دوباره ماکزیمم میگردند.

- پس چگالی شار ابتدا صفر شده (از e تا f) و سپس در جهت مثبت به ماکزیمم میرسد (از f تا a).

به این حلقه حاصل از تغییرات سینوسی میدان، حلقه پسماند یا هیستریزیس میگویند.

تلفات مغناطیسی

- تلفات مغناطیسی یا هسته یا آهنی به مقدار توان تلف شده به واسطه میدان مغناطیسی درون هسته میگویند.
- این تلفات به دو عامل تقسیم میشوند.

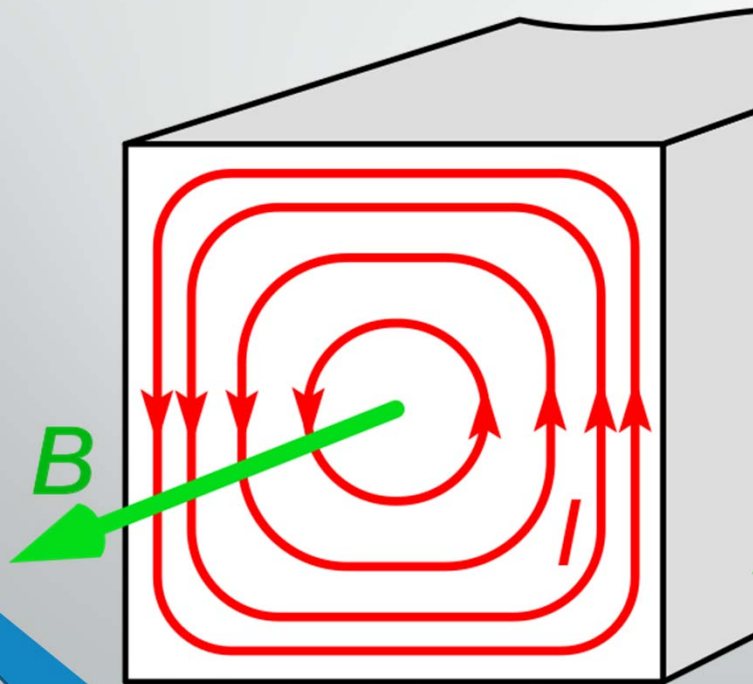
۱- تلفات پسماند یا هیستریزیس: هنگامی که میدان درون هسته تغییرات سینوسی داشته باشد، ذرات درون ماده (دوقطبی های مغناطیسی) نیز متناسب با آن تغییر وضعیت میدهند. پس بخشی از انرژی میدان صرف چرخاندن ذرات درون ماده متناسب با تغییرات میدان میشود. این انرژی یا توان را تلفات هیستریزیس میگوییم.

- تلفات هیستریزیس متناسب با فرکانس جریان، حجم ماده، چگالی شار ماکزیمم هسته و مساحت حلقه هیستریزیس ماده میباشد.

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_m^n$$

- در این رابطه k_h و n ضرایب متناسب با جنس ماده، f فرکانس میدان و B_m نیز چگالی شار ماکزیمم است.

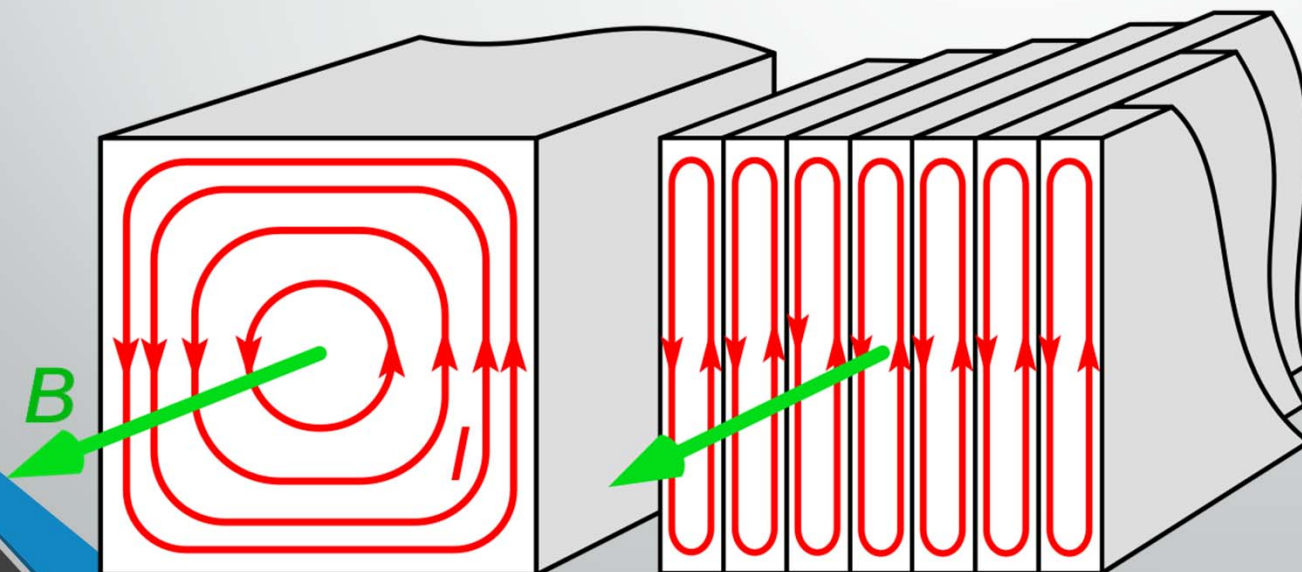
۲- تلفات گردابی یا فوکو: طبق قانون فارادی میدان متغیر با در زمان در هادی ولتاژ القا میکند. این هادی میتواند سیم پیچی دور هسته باشد و یا خود هسته (به شرط اینکه هسته از جنس رسانا باشد). با القا شدن ولتاژ در هسته جریانهایی گردابی نیز در هسته ایجاد میشوند که این جریانهها باعث تلفات میشوند. این تلفات همان تلفات فوکو هستند.



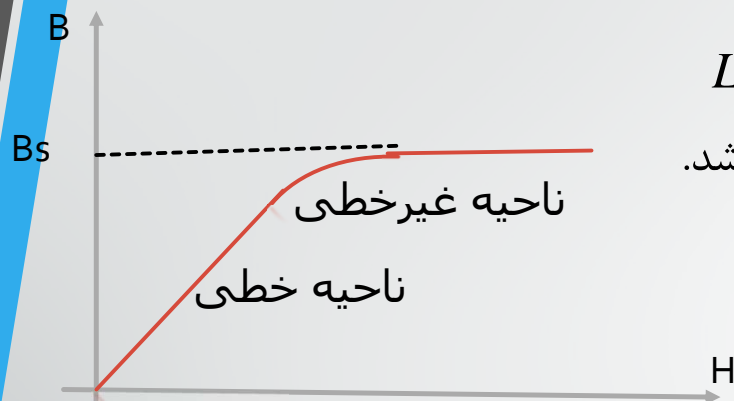
$$P_e = K_e \cdot f^2 \cdot B_m^2$$

f ضریب متناسب با جنس ماده، k_e در این رابطه نیز چگالی شار ماکزیمم است. B_m فرکانس میدان و

- در یک هسته مغناطیسی با میدان سینوسی هر دو نوع تلفات حضور دارند و تلفات هسته مجموعه آنها میباشد.
- برای کاهش تلفات پسماند، جنس ماده را اصلاح میکنند مثلاً با افزودن مقدار کمی سیلیسیوم به آلیاژ هسته تا حلقه هیستریزیس ماده لاغرتر شده و سطح آن کوچکتر گردد.
- برای کاهش تلفات گردابی، جنس هسته را به نحوی تغییر میدهند تا رسانایی آن کمتر شده و جریان گردابی کوچکتری تولید گردد. به علاوه با ورقه ورقه کردن هسته و عایق کردن آنها نسبت به هم میتوان از تولید جریانهای بزرگ اجتناب کرد.



طراحی سلف



$$L = \frac{\lambda}{i} = \frac{N^2}{R}$$

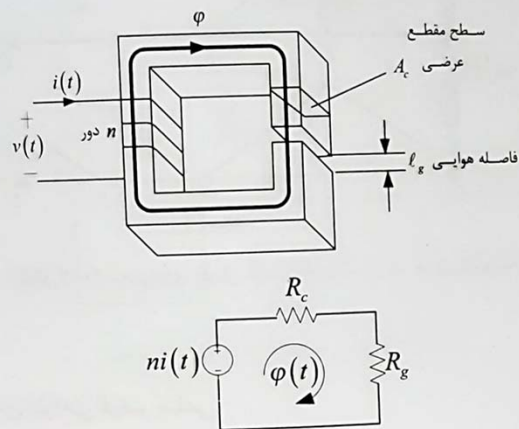
• کلیدی ترین تصمیم در طراحی سلف، انتخاب هسته هسته مناسب می باشد.

• چگالی شار اشباع بالا ($B = \frac{\phi}{A} = \mu H$), تلفات کم

• هسته آهنی، هسته پودر آهن، هسته فریت

$$NI = R\phi = Hl$$

• برای طراحی سلف باید از هسته با فاصله هوایی استفاده کرد تا از اشباع هسته جلوگیری شود.



شکل ۷-۱۲ مدار مغناطیسی معادل فیلتر سلفی.

- برای طراحی سلفی با اندوکتانس L ابتدا رابطه $Nl=Hl$ را می نویسیم

$$Ni = Hl = H_c l_c + H_g l_g \rightarrow Ni \approx H_g l_g \rightarrow$$

$$Ni_{\max} = B_{\max} \frac{l_g}{\mu_0}$$

- با فرض اینکه یک هسته انتخاب کرده باشیم، در این رابطه هم N و هم l_g مجهول هستند.

- از طرف دیگر برای اندوکتانس L داریم:

$$L = \frac{N^2}{R} \approx \frac{N^2}{R_g} = \frac{\mu_0 A_c N^2}{l_g}$$

- در این رابطه هم مجدداً N و l_g مجهول هستند. پس یک دستگاه دو معادله و مجهولی داریم.

- روند گام به گام طراحی سلف:

- ۱- ابتدا از هسته های در دسترس یک هسته مناسب با توجه به فرکانس کاری انتخاب میکنم. اکنون مقادیر B_{max} و A_c مشخص هستند.

- ۲- با استفاده از دو رابطه قبلی مقادیر N و l_g را بدست میاوریم.

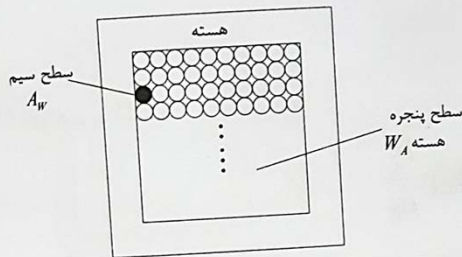
- ۳- با دانستن جریان سلف، ضخامت سیم را مشخص میکنیم. (چگالی جریان را حدود 5 A/mm^2) فرض میکنیم. از روی ضخامت میتوان قطر سیم و شماره آن را مشخص نمود.

- ۴- جایگذاری سیم N دوری درون پنجره هسته را بررسی میکنیم. چنانچه اشکال داشت هسته بزرگتری انتخاب کرده و به مرحله ۱ بر میگردیم.

- ۵- مقدار مقاومت سیم پیچ (و تلفات هسته مغناطیسی) را حساب میکنیم.

$$\begin{cases} Ni_{\max} = B_{\max} \frac{l_g}{\mu_0} \\ L = \frac{\mu_0 A_c N^2}{l_g} \end{cases}$$

$$a_{cu} (\text{mm}^2) = \frac{i(\text{A})}{j(\text{A/mm}^2)}$$



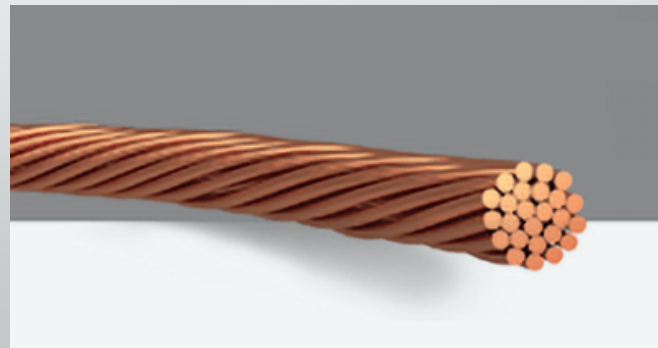
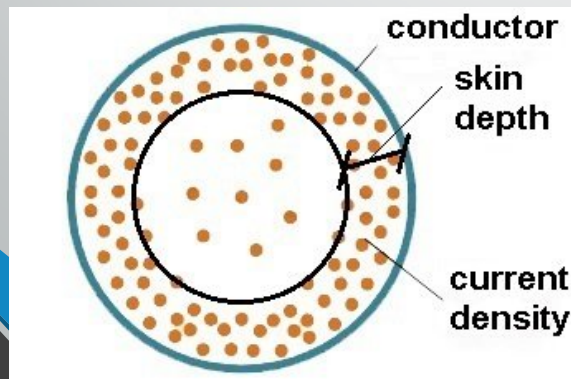
شکل ۷-۱۳ نمایی از سیم پیچی هسته.

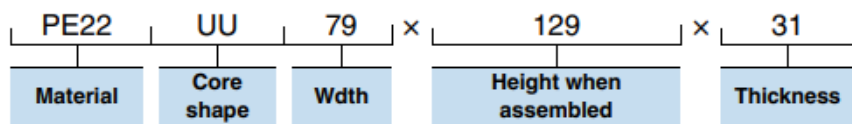
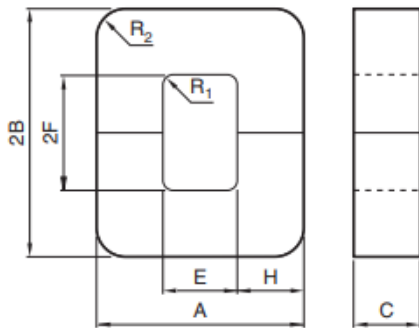
اگر دیتاشیت هسته در دسترس باشد کمیتی به عنوان AL داده میشود که مقدار اندوکتانس سلف ساخته شده از این هسته بر حسب میلی هانری به ازای ۱۰۰۰ دور (یا یک دور) سیم پیچی می باشد.

در اینصورت تعداد دور سیم پیچی با توان دو در مقدار اندوکتانس تاثیرگذار است.

همچنین براساس جداول داده شده مقدار فاصله هوایی مناسب نیز قابل استحصال است.

مهم: برای کاهش مقاومت سیم پیچی در فرکانس بالا از سیم لیتز استفاده میشود.





Part No.	Dimensions (mm)									
	A	2B	C	E	2F	H	R ₁	R ₂	E×2F(mm ²)	
PE22 UU79×129×31 PC40 UU79×129×31	79.0±2.5	129.0±2.5	31.5±1.0	34.0min.	85.0±1.5	22.0±1.0	5	22	2980	
PE22 UU100×151×30 PC40 UU100×151×30	100.0±3.0	151.0±2.5	30.0±1.0	39.0min.	90.0±1.5	30.0±1.5	5	30	3600	
PE22 UU101×115×25 PC40 UU101×115×25	101.0±3.0	115.0±2.5	25.4±1.0	50.0min.	64.0±1.5	25.0±1.0	5	25	3260	
PE22 UU120×160×20 PC40 UU120×160×20	120.0±3.0	160.0±2.5	20.0±1.0	59.0min.	100.0±1.5	30.0±1.5	5	35	6000	
PE22 UU80×150×30N PC40 UU80×150×30N	80.0±2.5	150.0±2.5	30.0±1.0	39.0min.	110.0±1.5	20.0±1.0	1	0	4400	

تمرین) با استفاده از هسته های فریت شرکت TDK یک سلف با اندوکتانس ۱۵ میلی هانری برای فرکانس ۱ کیلوهرتز و جریان ماکزیمم ۵ آمپر طراحی کنید.

طراحی ترانس

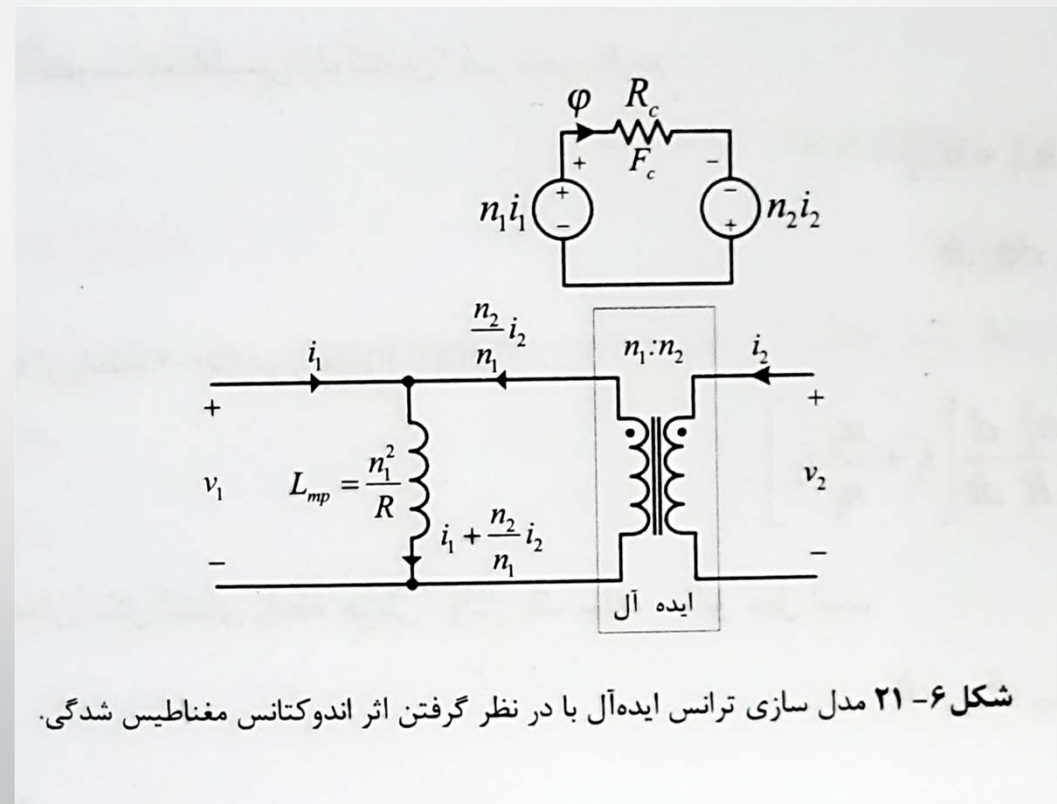
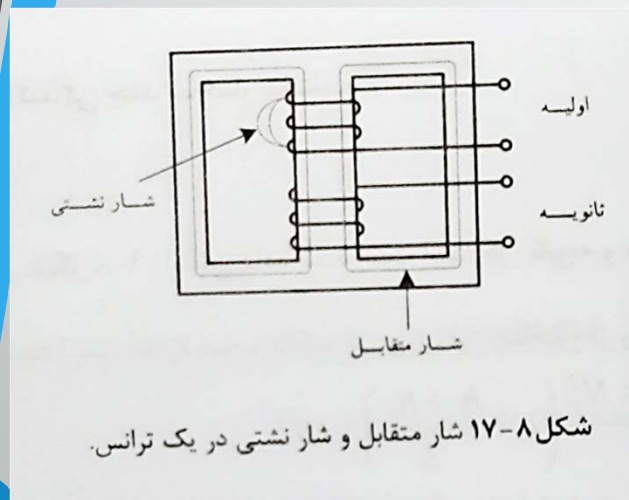
- در یک ترانس ایده آل شار دیده شده توسط هر دو سیم پیچی یکسان است. پس داریم:

$$e = \frac{d\lambda}{dt} = N \frac{d\phi}{dt} \rightarrow \begin{cases} e_1 = N_1 \frac{d\phi_1}{dt} \\ e_2 = N_2 \frac{d\phi_2}{dt} \end{cases} \rightarrow \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

- با فرض اینکه توان ورودی و خروجی در ترانس یکسان است داریم

$$P_1 = P_2 \rightarrow e_1 \cdot i_1 = e_2 \cdot i_2 \rightarrow \frac{e_1}{e_2} = \frac{i_2}{i_1}$$

ولی در واقعیت باید مقاومت سیم پیچی و اندوکتانس نشتی ترانس را در سمت اولیه و ثانویه نیز لحاظ کنیم. در اینصورت مدل واقعی ترانس به صورت زیر در می آید.



- روند گام به گام طراحی ترانس:

- ۱- ابتدا از هسته های در دسترس یک هسته مناسب با توجه به فرکانس کاری انتخاب میکنم. اکنون مقادیر B_{max} و A_c مشخص هستند.

$$e = N \frac{d\phi}{dt} = NA_c \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

- ۲- با توجه به اینکه ولتاژ سمت اولیه مشخص است پس برای اولیه e_1 معلوم است. همچنین با فرض اینکه زمان اعمال این ولتاژ حداکثر نصف دوره تناوب کلیدزنی باشد پس DT نیز معلوم است. با اعمال ولتاژ ورودی به اولیه شار هسته از مقدار $-B_{max}$ به $+B_{max}$ به طور خطی تغییر می یابد. پس $DB=2B_{max}$ در اینصورت مقدار N_1 مشخص میگردد.

- ۳- از روی ولتاژ ثانویه و اولیه میتوان N_2 را نیز حساب کرد. برای لحاظ کردن افت ولتاژ ترانس میتوان N_2 را کمی بالاتر از مقدار محاسبه شده انتخاب نمود.

- ۴- از روی مقدار جریان هر سمت، سطح مقطع سیم در آن سمت تعیین شده و سیم مناسب انتخاب میگردد.

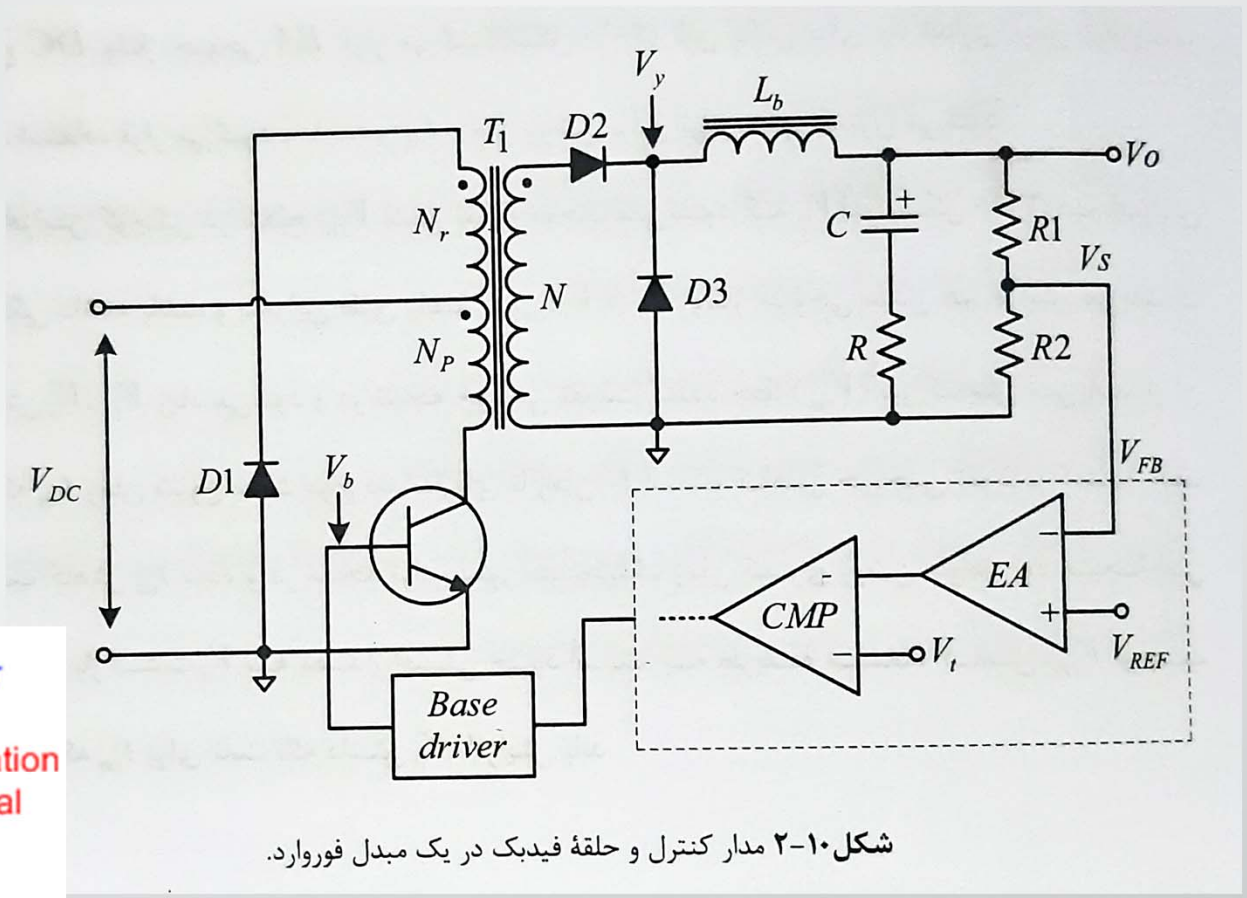
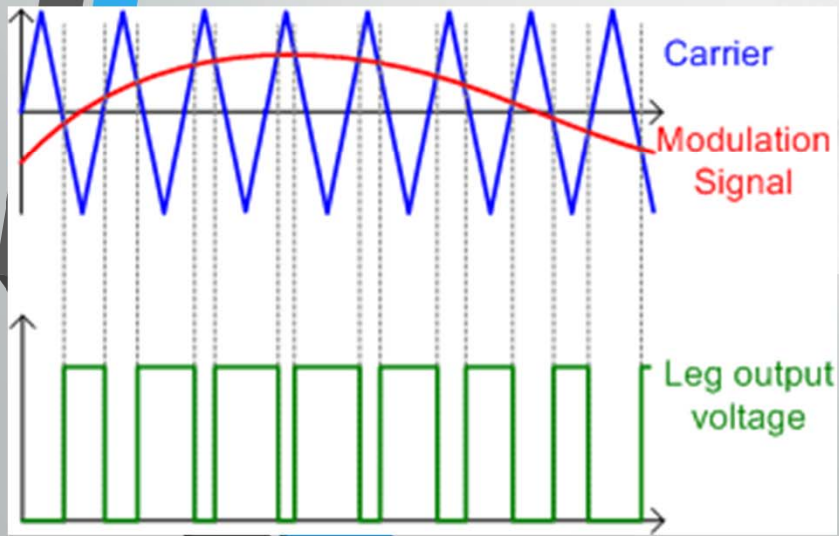
- ۵- با داشتن تعداد دور سیم پیچی ها و سطح مقطع آنها، جایگذاری سیم پیچ ها درون پنجره ترانس بررسی میگردد. در صورت خطا، یک هسته بزرگتر انتخاب شده و دوباره از شماره ۱ تکرار میشود.
- ۶- تلفات هسته و تلفات مسی ترانس بررسی میشود، اگر بالاتر از حد مجاز بودند باید هسته بزرگتری انتخاب شده و دوباره از مرحله ۱ شروع شود.

فصل ۶: واحد کنترل PWM

- واحد کنترل بسیاری از منابع تغذیه سویچینگ از نوع PWM می باشد. در این روش دوره کاری (Duty Cycle) برای تثبیت ولتاژ خروجی در یک محدوده از پیش تعیین شده تغییر می کند.
- از مزایای این روش تثبیت خوب بار و پایداری می باشد.
- در سالهای اخیر مدارهای مجتمع توسعه یافته زیادی برای این منظور ارائه شده اند.
- این مدارهای مجتمع بر اساس مد ولتاژی یا مد جریانی کار می کنند.

• نحوه کنترل PWM :

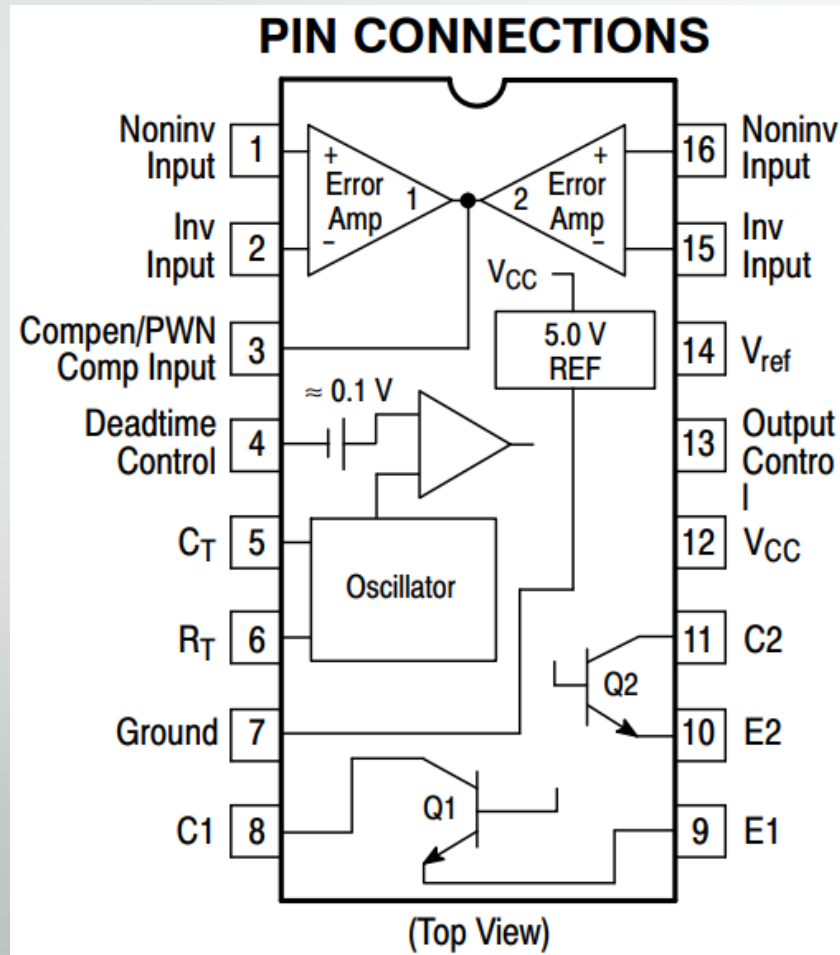
- در این روش از یک پالس با پهنای متغیر جهت کم یا زیاد کردن زمان هدایت ترانزیستور سویچینگ قدرت استفاده میشود. به این ترتیب ولتاژ خروجی تثبیت میشود.
- ساختار کنترلی این مدارها عموماً به این صورت است که ولتاژ فیدبک از خروجی در یک تقویت کننده خطا، با مقدار مرجع مقایسه شده و براساس آن سیگنال خطا ساخته میشود. این سیگنال با یک پالس دندانه‌اره‌ای مقایسه شده و سیگنال خروجی برای اعمال به سویچ استفاده میشود.



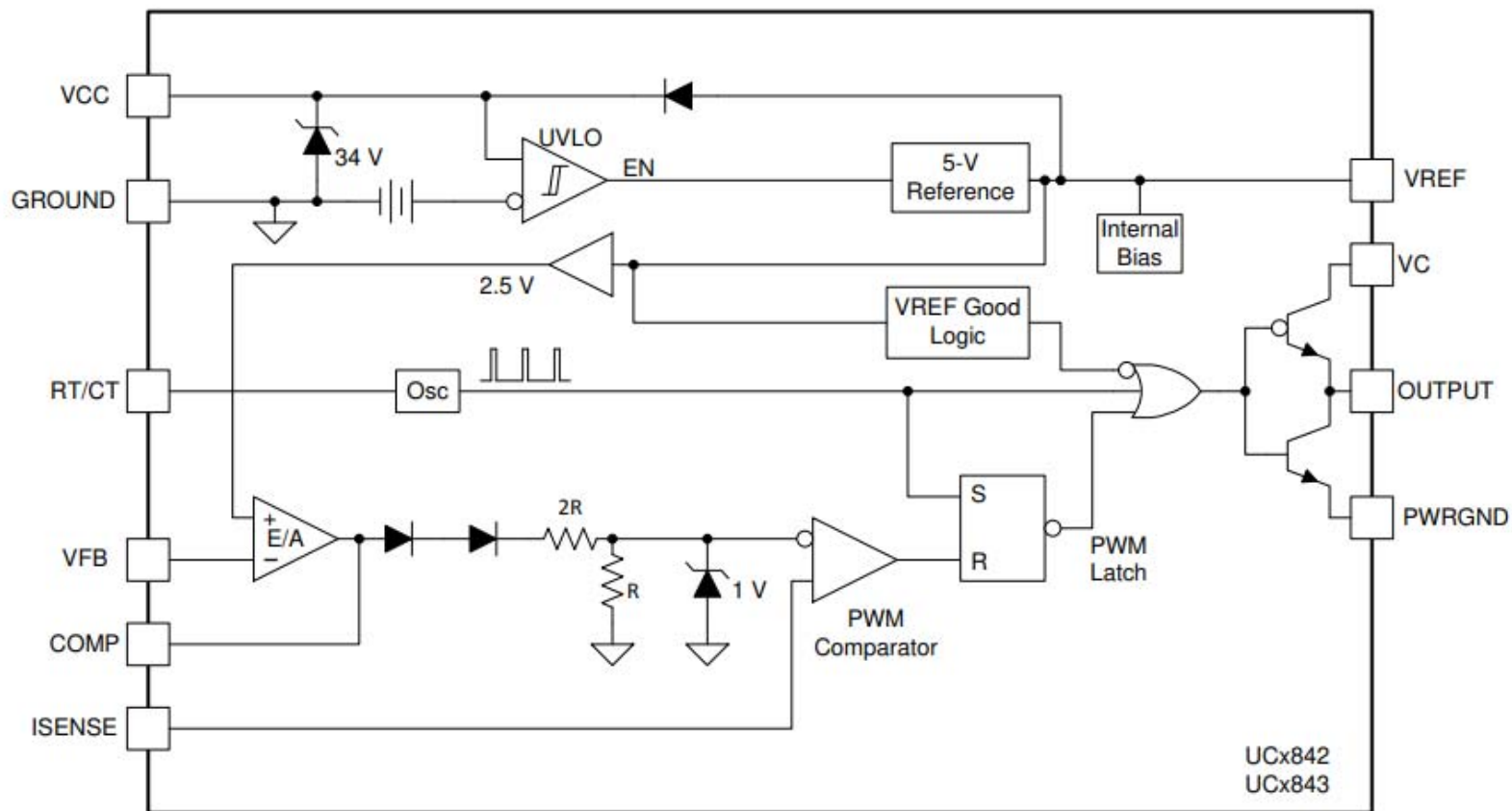
شکل ۱۰-۲ مدار کنترل و حلقه فیدبک در یک مبدل فوروارد.

معرفی چند مدار مجتمع

:TL494

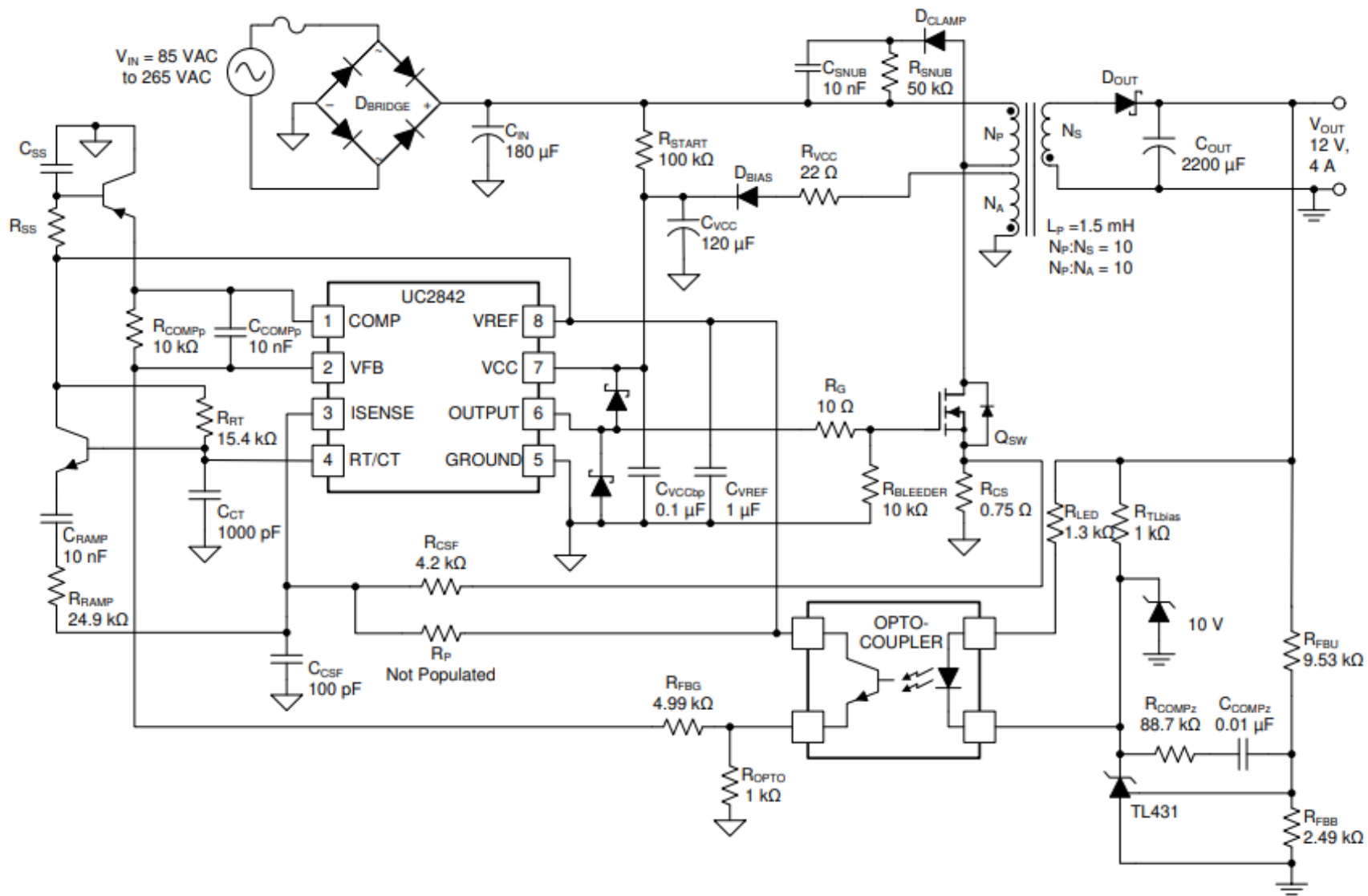


:UC384X



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

Figure 11. UCx842 and UCx843 Block Diagram, No Toggle



مدار مجتمع TOPxxx:

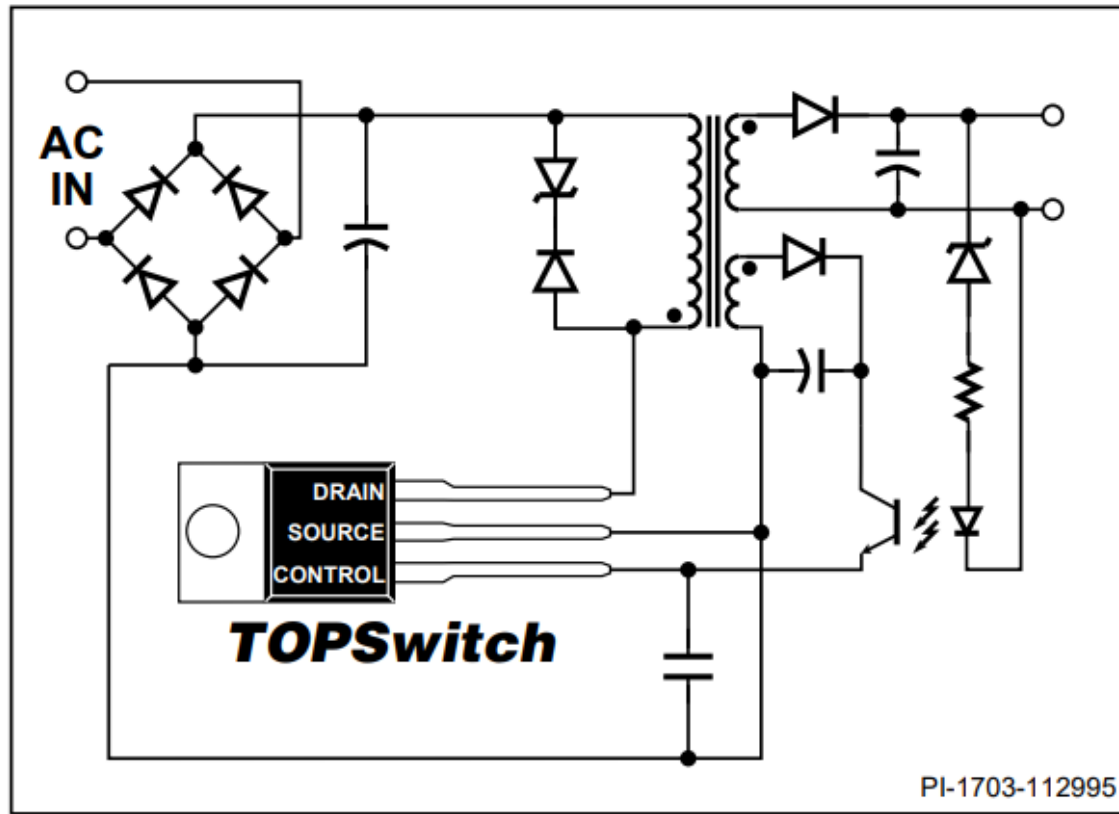


Figure 1. Typical Application.

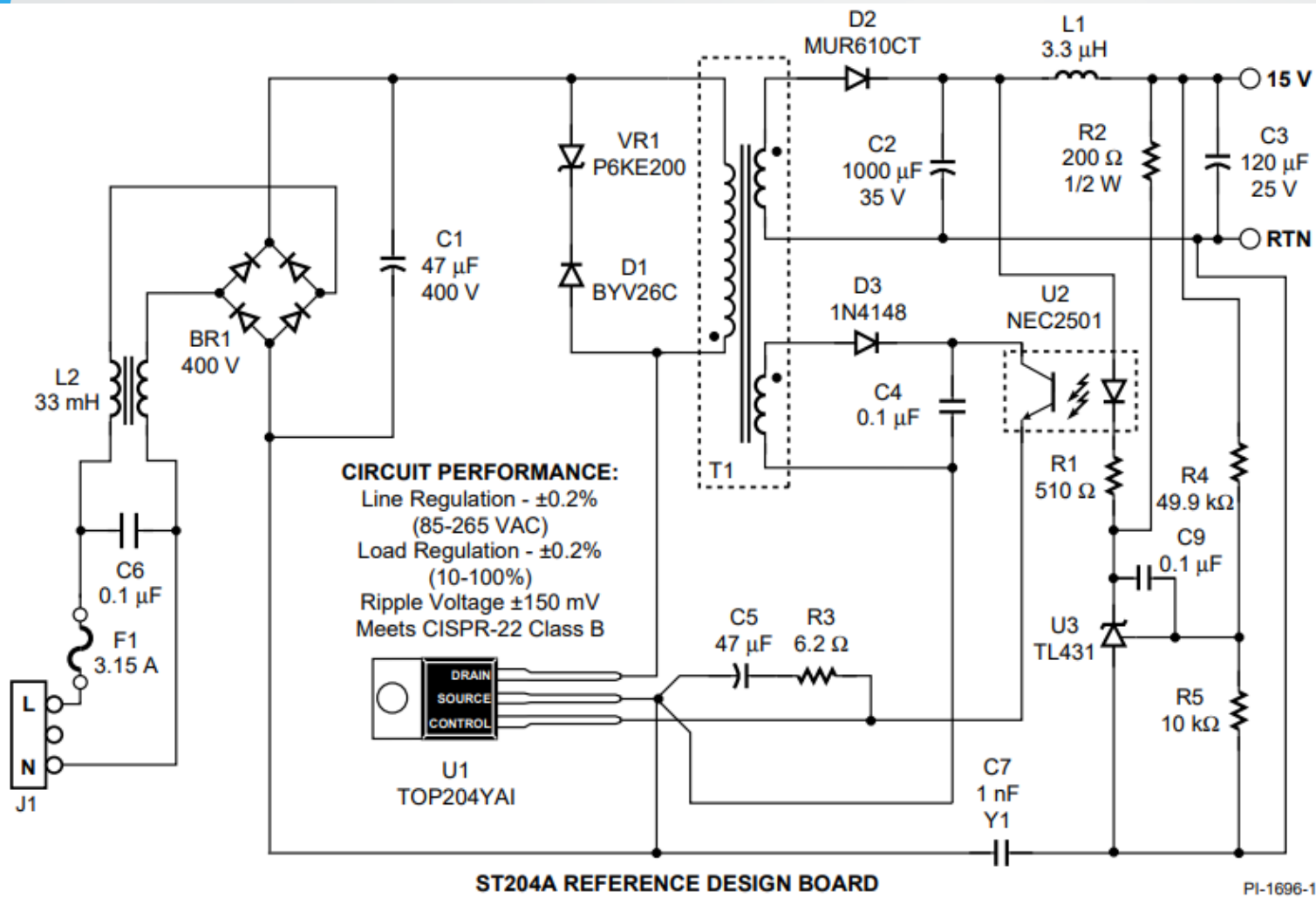


Figure 9. Schematic Diagram of a 30 W Universal Input Power Supply Utilizing the TOP204 and Accurate Optocoupler Feedback.