دسته بندی کلیدهای نیمه هادی

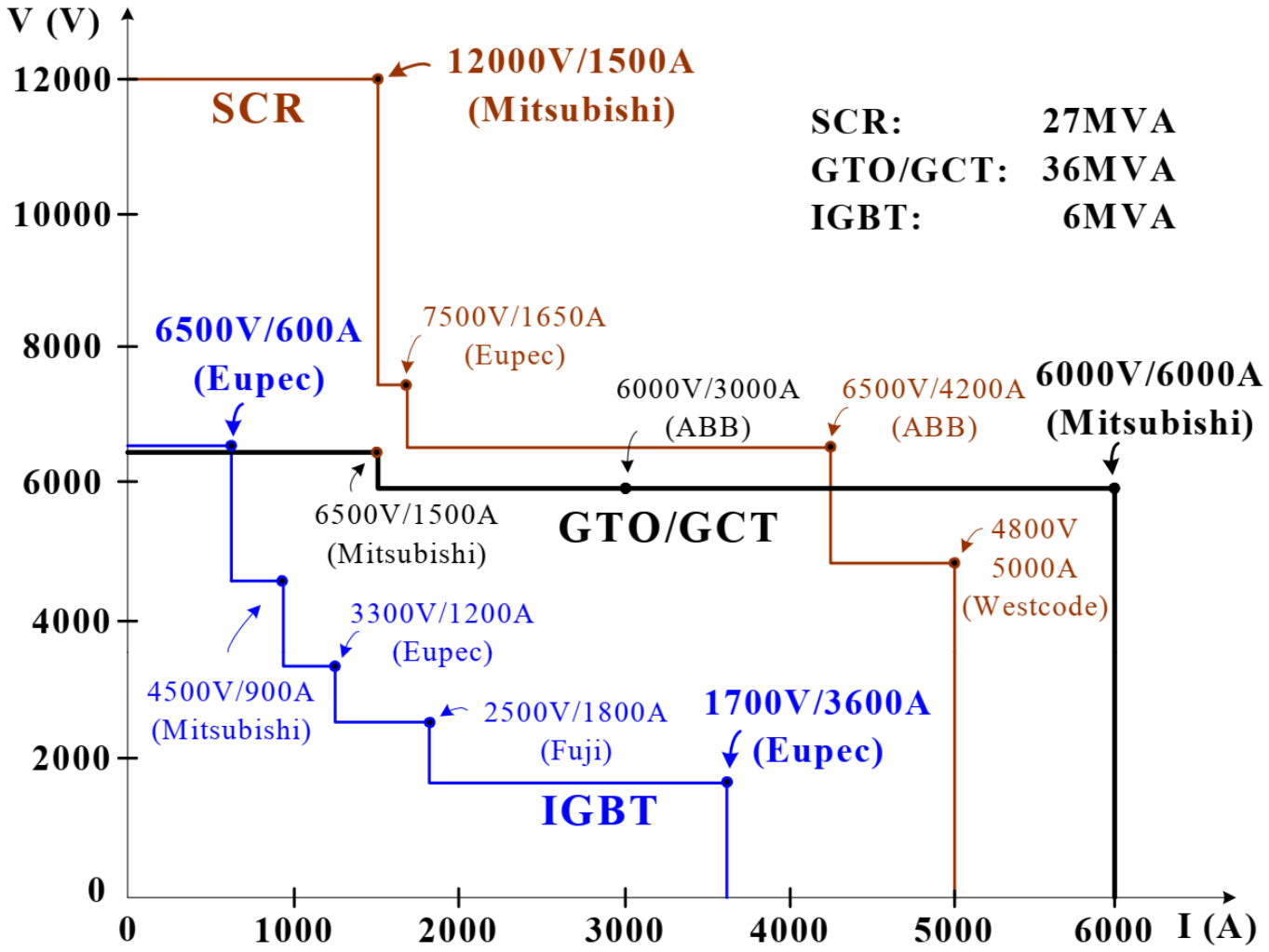
- مبدل های الکترونیک قدرت بسته به عملکردشان می توانند به دو دسته فرکانس پایین و فرکانس بالا تقسیم شوند.

- در مبدل های فرکانس پایین یا فرکانس خط کنترل مبدل بصورت کموتاسیون طبیعی در فرکانس خط (۵۰ یا ۶۰ هرتز) اتفاق می افتد.

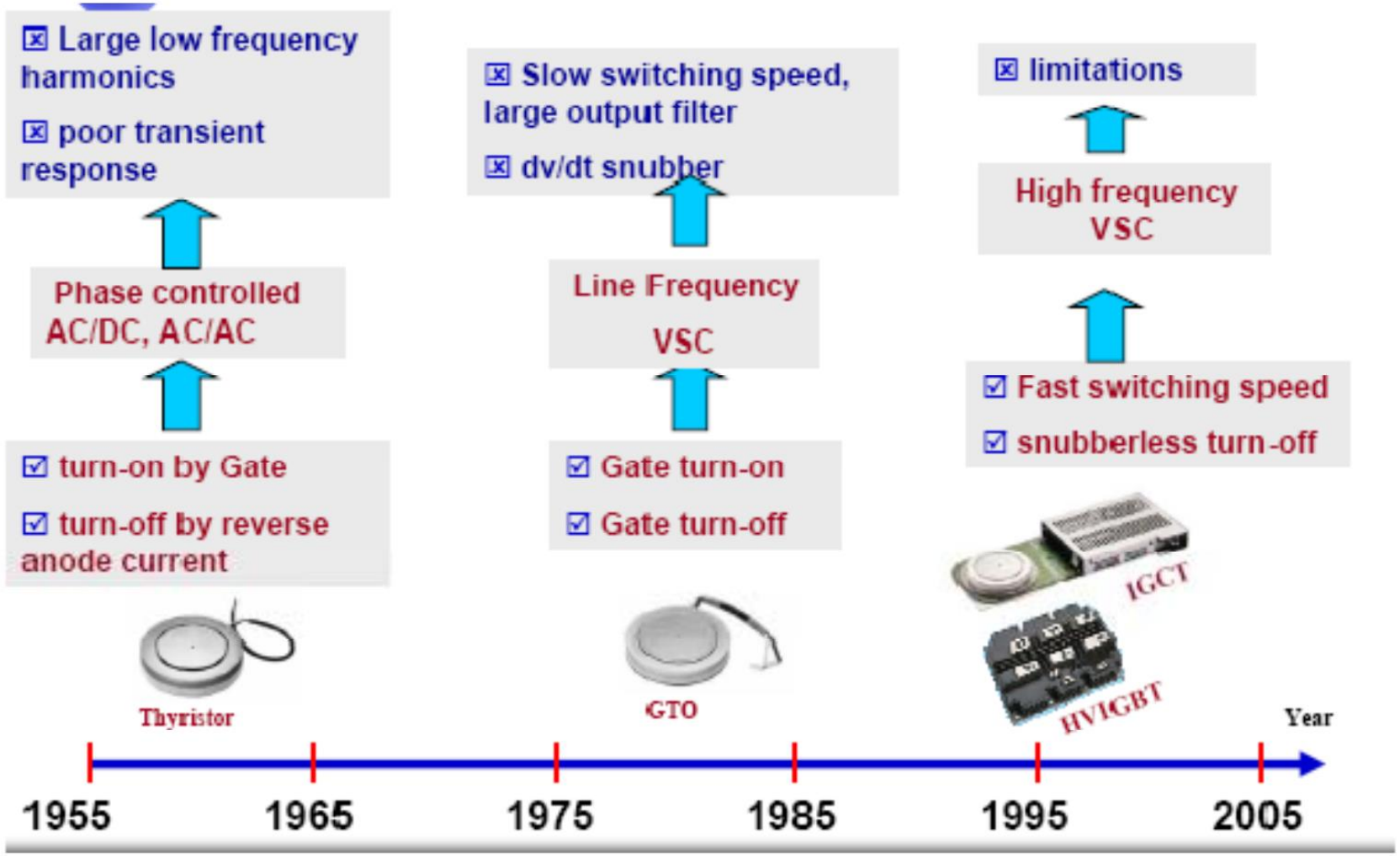
- در مبدل های فرکانس بالا بر اساس فرکانس کلیدزنی مورد نظر که بیشتر از فرکانس طبیعی هستند کلیدهای مبدل خاموش و روشن می شوند.

دسته بندی کلیدهای نیمه هادی

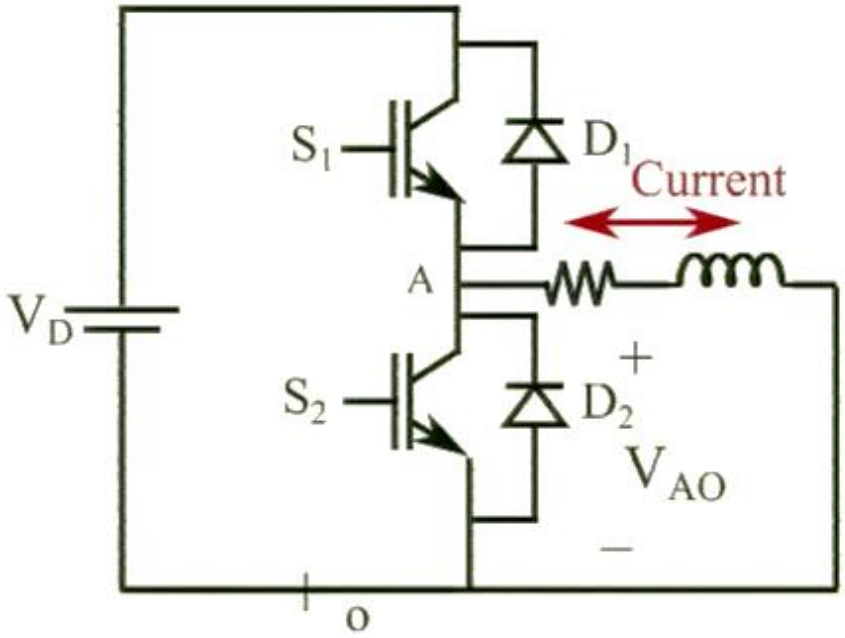
- کلیدهای قدرت به دو خانواده اصلی تقسیم بندی میشوند: کلیدهای تریستوری و کلیدهای ترانزیستوری



تکامل کلیدهای نیمه هادی



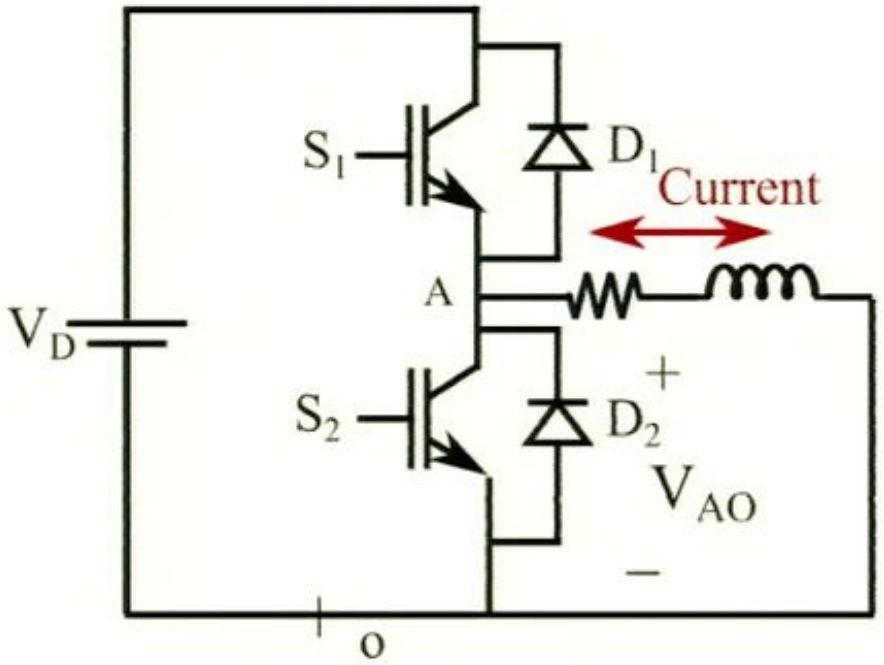
مبدل نیم پل (Half bridge converter)



مبدل نیم پل

- این مبدل می‌تواند ولتاژ یک‌طرفه‌ای بر روی بار ایجاد کند.
- این مبدل می‌توان یک جریان دوطرفه را برقرار کند.
- تمام چهار کلید می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند.

مبدل نیم پل (Half bridge converter)

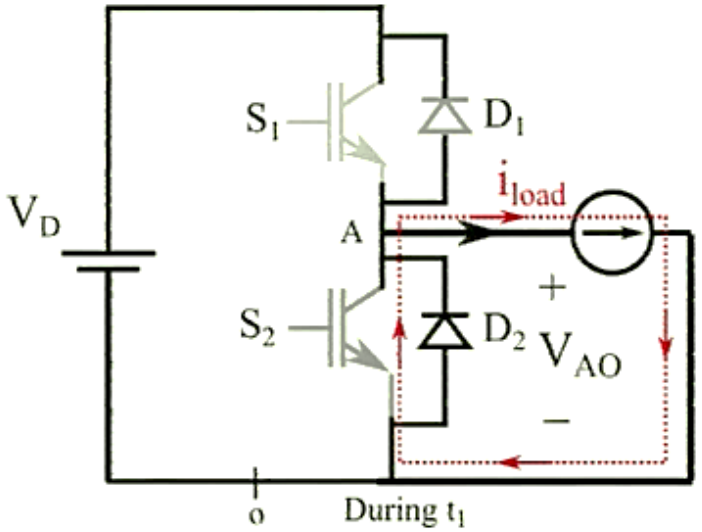


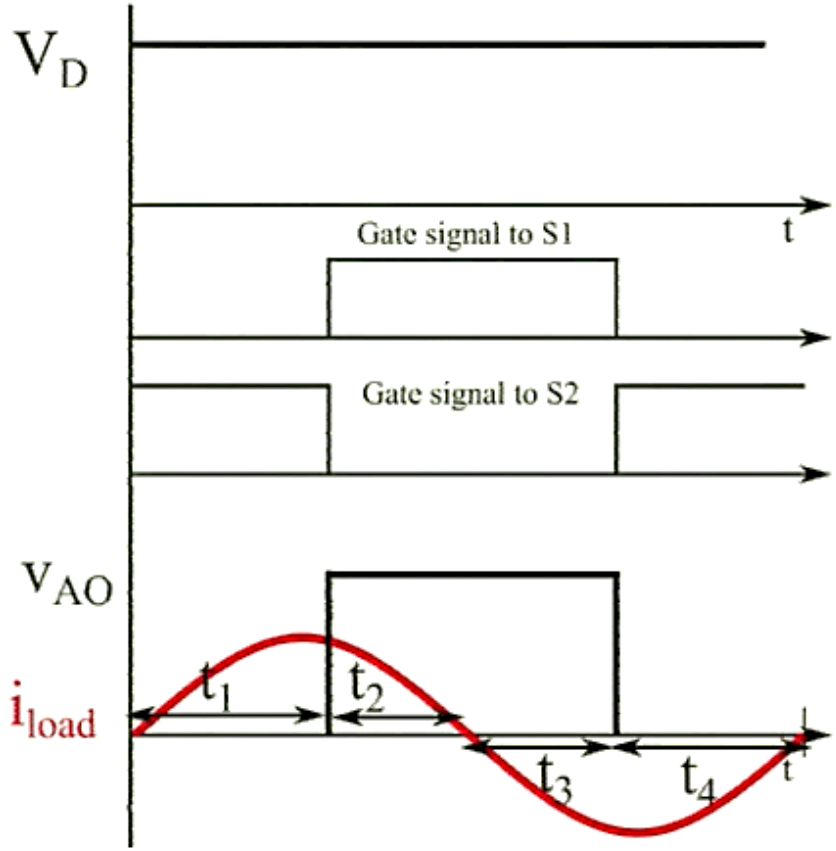
مبدل نیم پل

V_{AO}	Operating Switches
V_D	S_1 or D_1
0	S_2 or D_2

عملکرد ۴ سوییچ در مبدل نیم پل

During t_1





- During t_1 time interval:

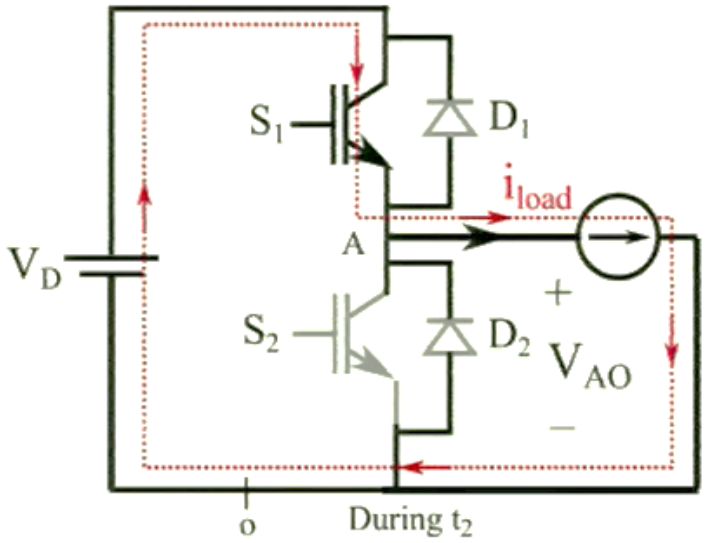
  (i) IGBT switch S_2 is ON.

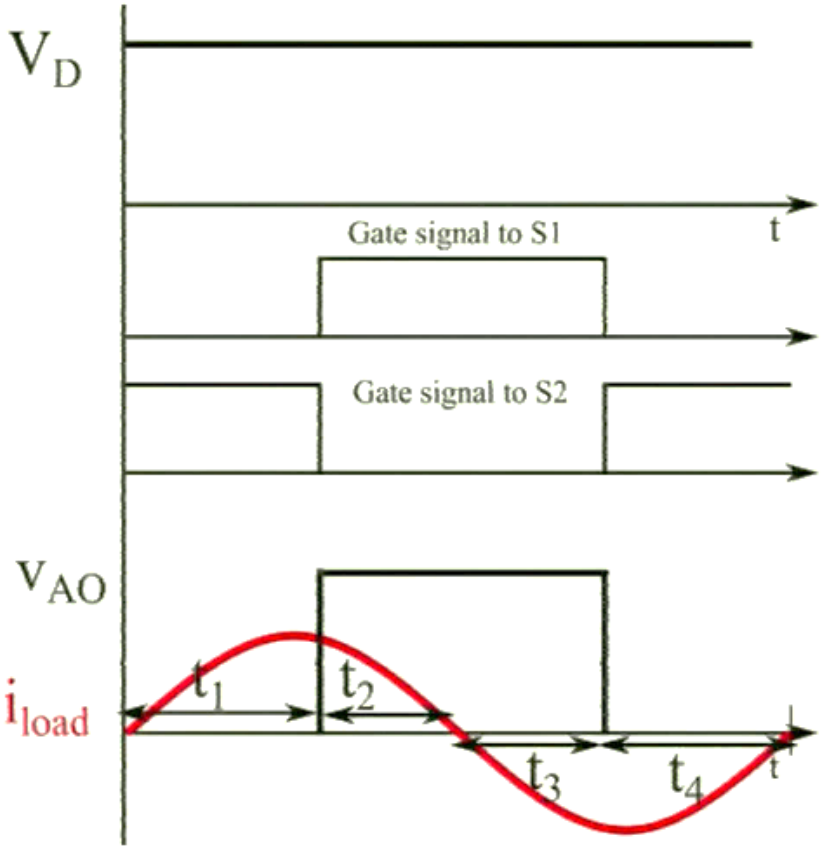
  $V_{AO}=0$

  (ii) current direction is (+)ve, so it flows through D_2.

عملکرد ۴ سوییچ در مبدل نیم پل

During t_2





- During t_2 time interval:

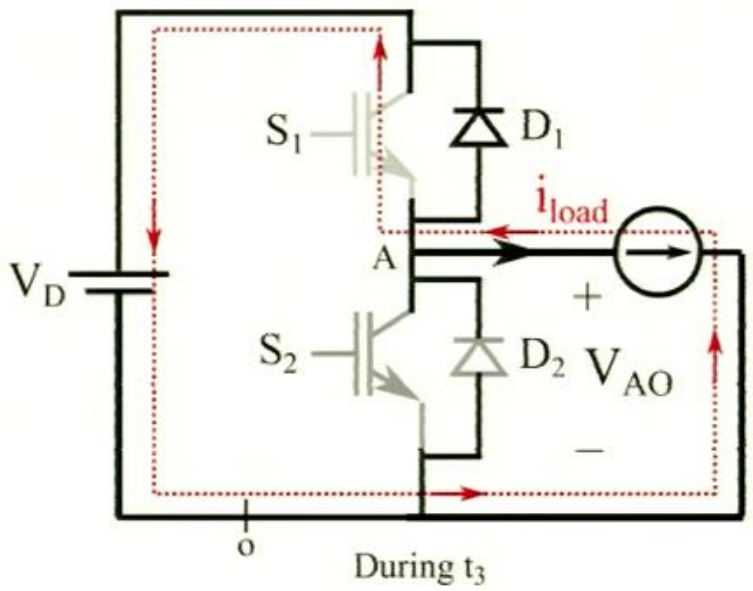
  (i) IGBT switch S_1 is ON.

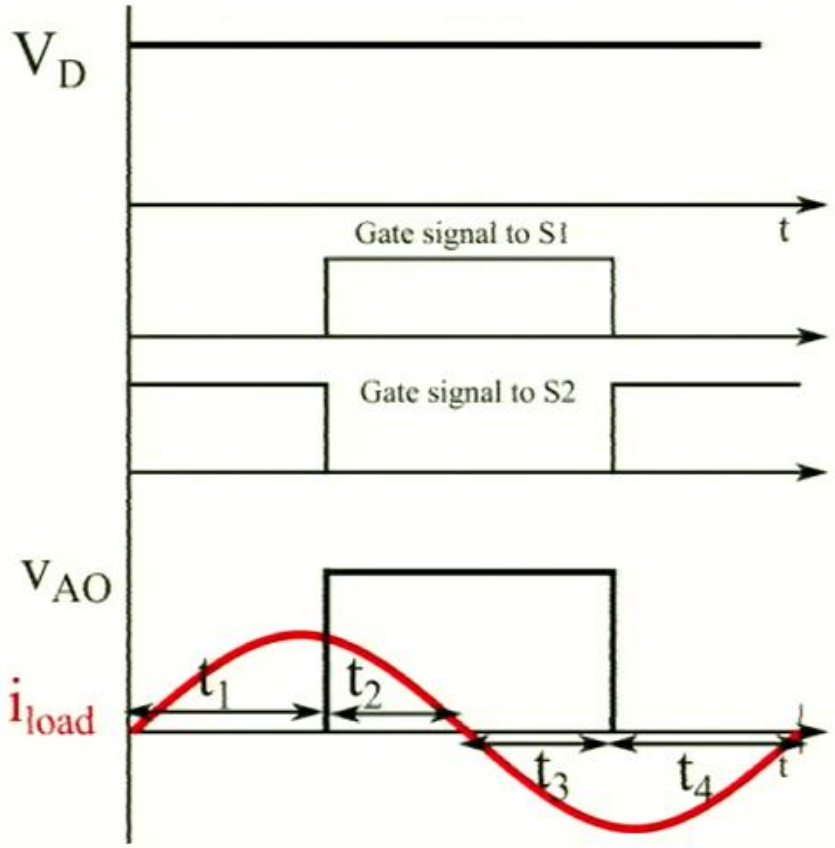
  $$V_{AO}=V_D$$

  (ii) Current direction is (+)ve, so it flows through S_1.

عملکرد ۴ سوییچ در مبدل نیم پل

During t_3





- During t_3 time interval:

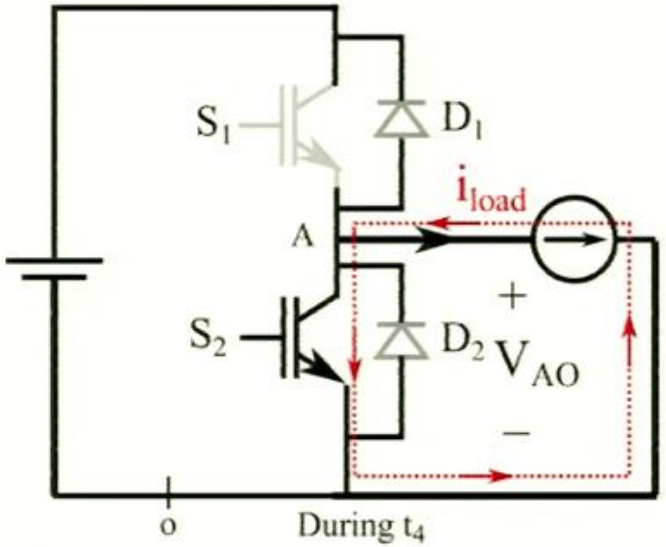
  (i) IGBT switch S_1 is ON.

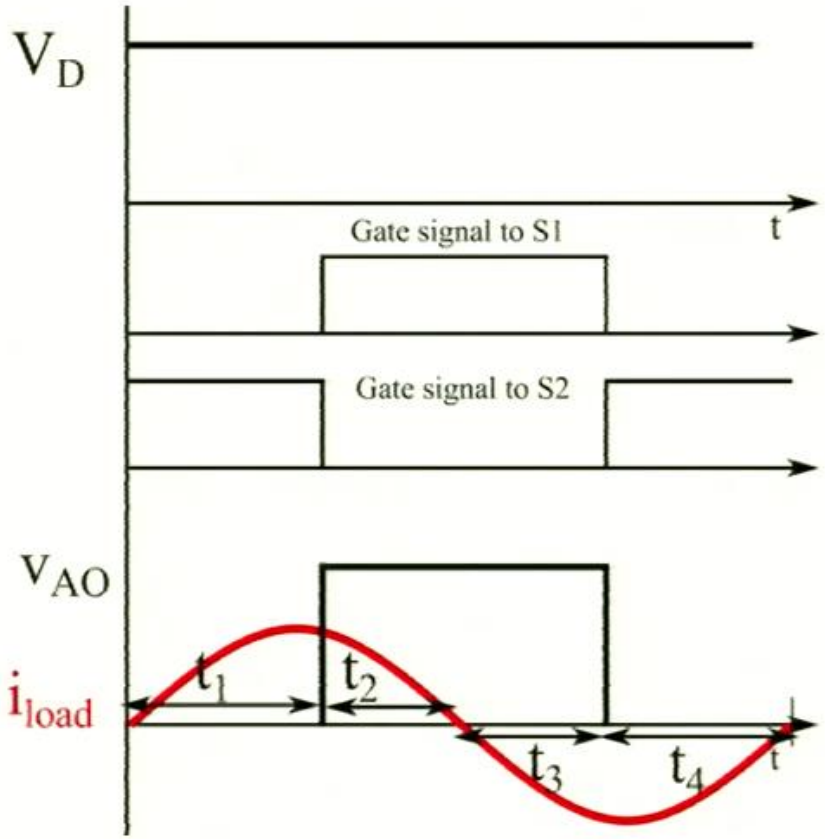
  $$V_{AO}=V_D$$

  (ii) Current direction is (-)ve, so it flows through D_1.

عملکرد ۴ سوییچ در مبدل نیم پل

During t_4





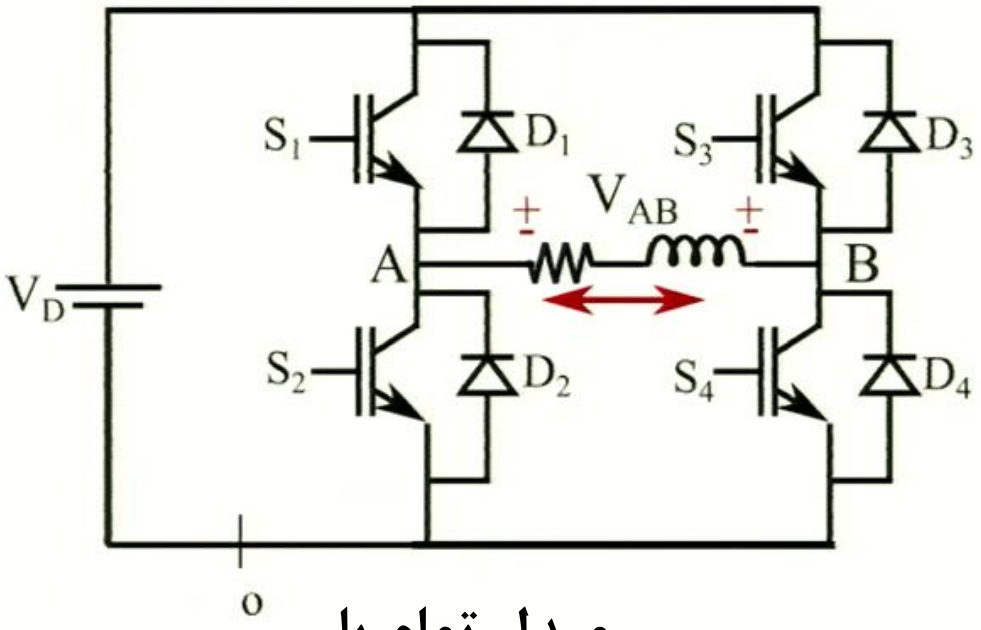
- During t_4 time interval:

  (i) IGBT switch S_2 is ON.

  $V_{AO}=0$

  (ii) Current direction is (-)ve, so it flows through S_2.

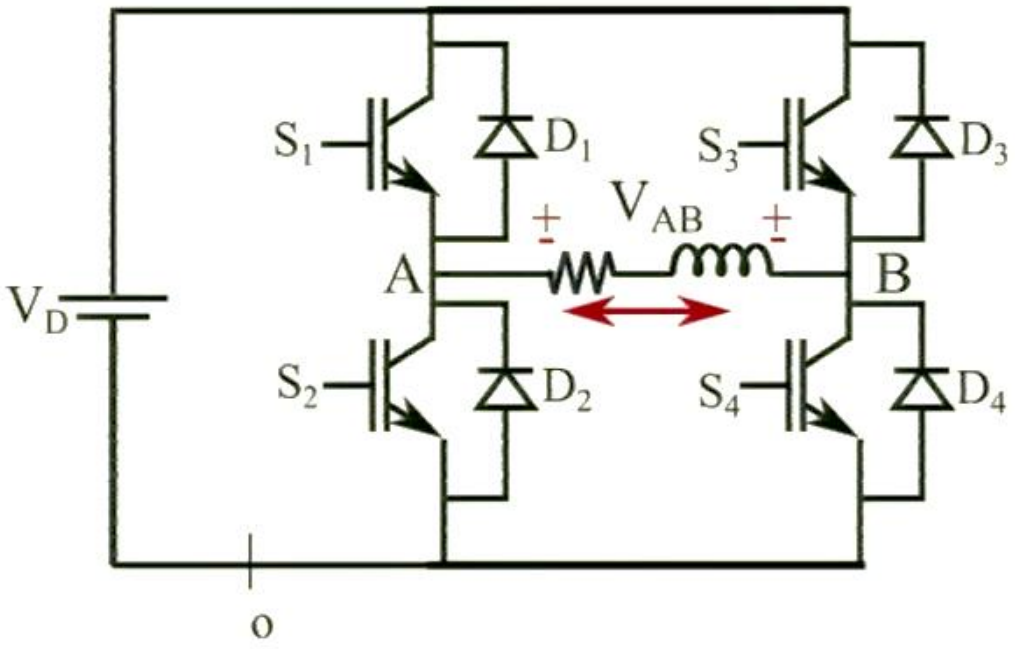
مبدل تمام پل (Full bridge converter)



مبدل تمام پل

- با افزودن یک ساق به مبدل نیم پل امکان ایجاد ولتاژ دو طرفه بر روی بار فراهم می‌شود.
- به این مبدل، مبدل تمام پل گفته می‌شود.
- درمبدل تمام پل علاوه بر ولتاژ دو طرفه امکان ایجاد جریان دو طرفه وجود دارد.
- هر ۸ سوییچ در مبدل تمام پل می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

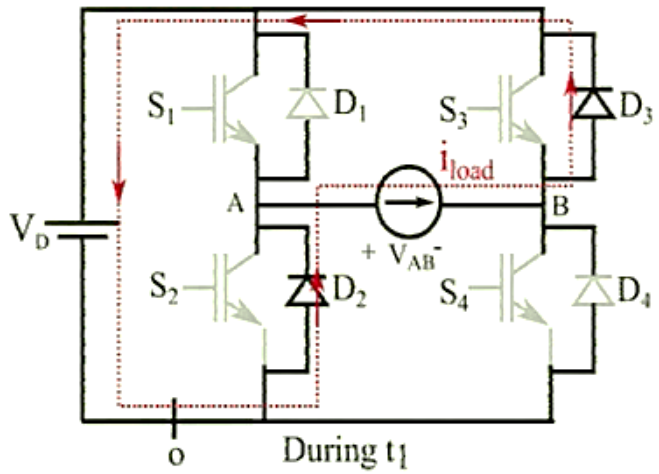
مبدل تمام پل (Full bridge converter)

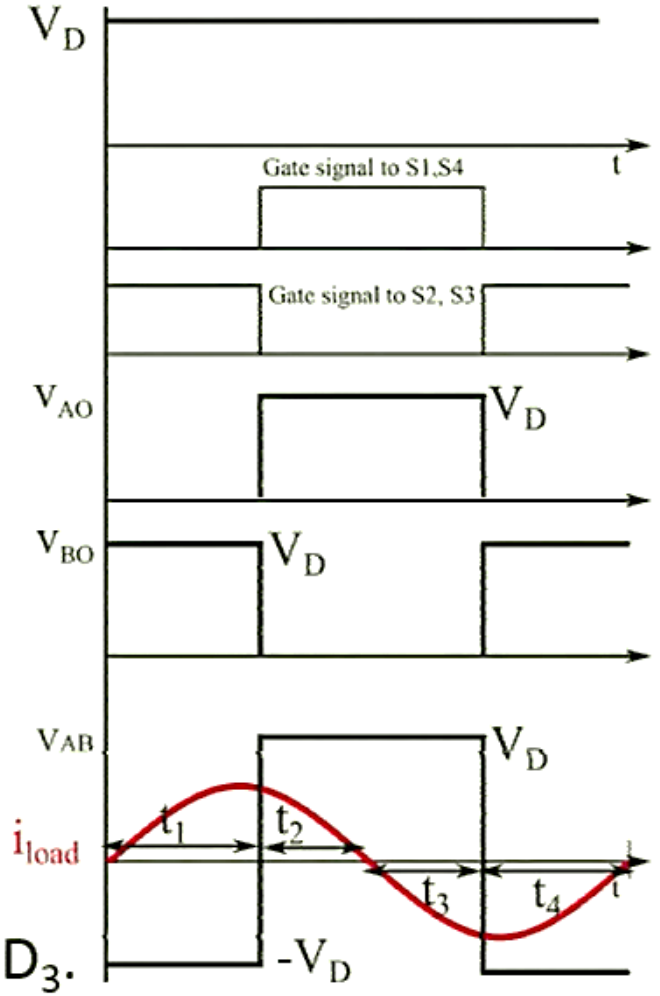


V_{AB}	Operating Switches
V_D	S_1S_4 or D_1D_4
0	S_1D_3 or D_1S_3 or S_2D_4 or D_2S_4
$-V_D$	S_2S_3 or D_2D_3

عملکرد ۸ سوییچ در مبدل تمام پل

During t_1





- During t_1 time interval:

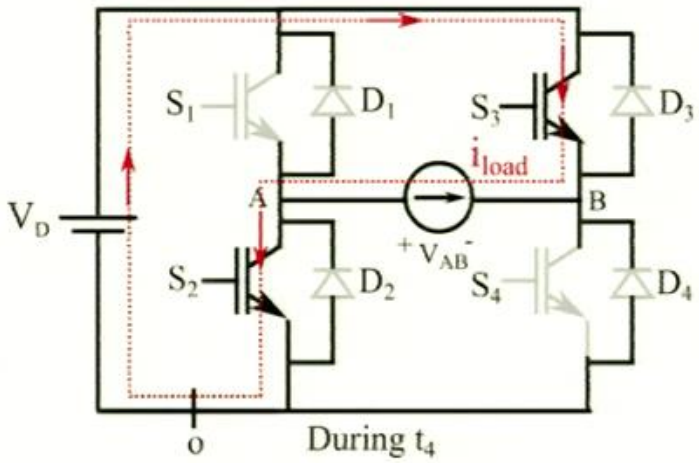
  (i) IGBT switches S_2,S_3 are ON.

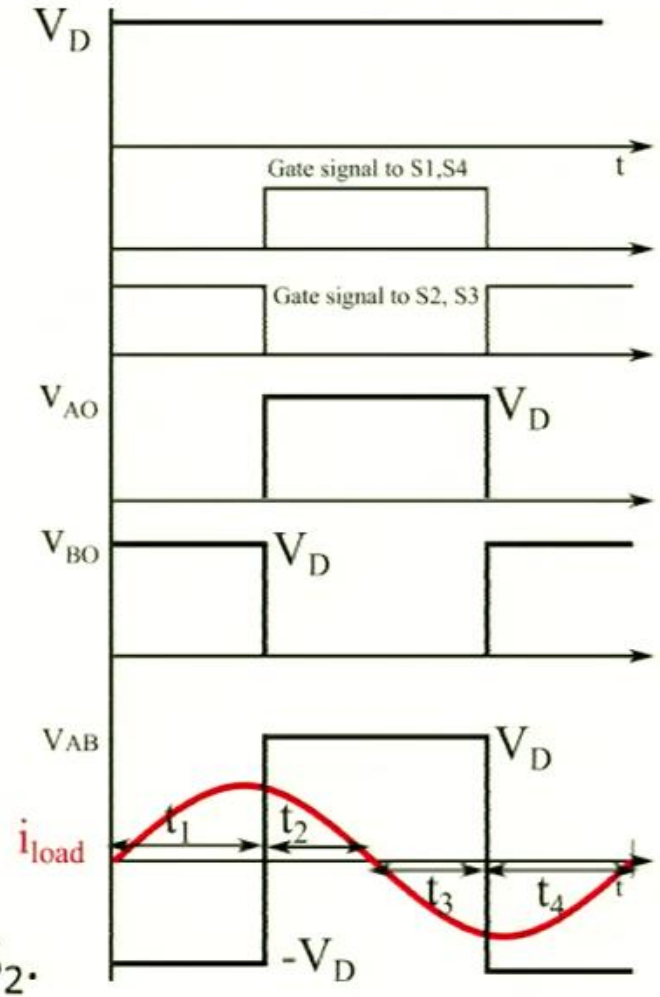
  $V_{AB} = -V_D$

  (ii) Current direction is left to right, so it flows through D_2,D_3.

عملکرد ۸ سوییچ در مبدل تمام پل

During t_4





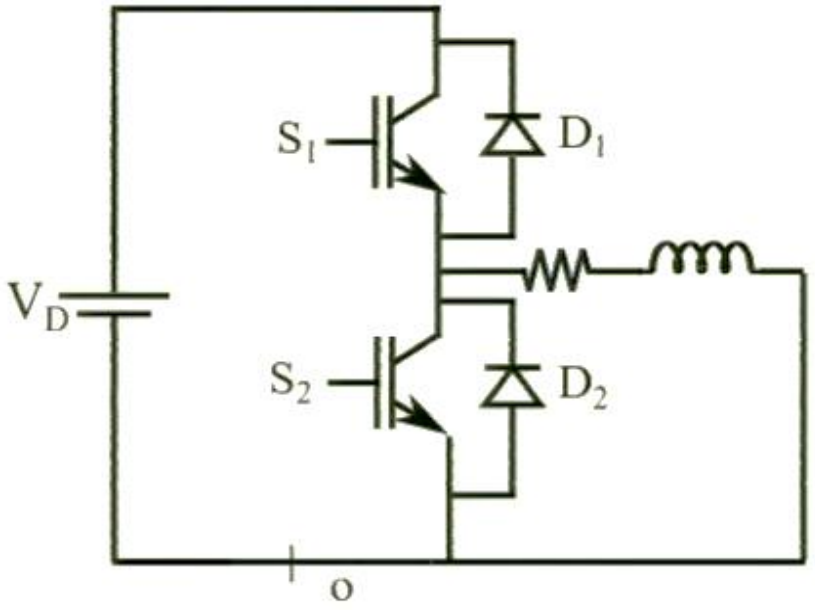
- During t_4 time interval:

  (i) IGBT switches S2,S_3 are ON.

  $V_{AB} = -V_D$

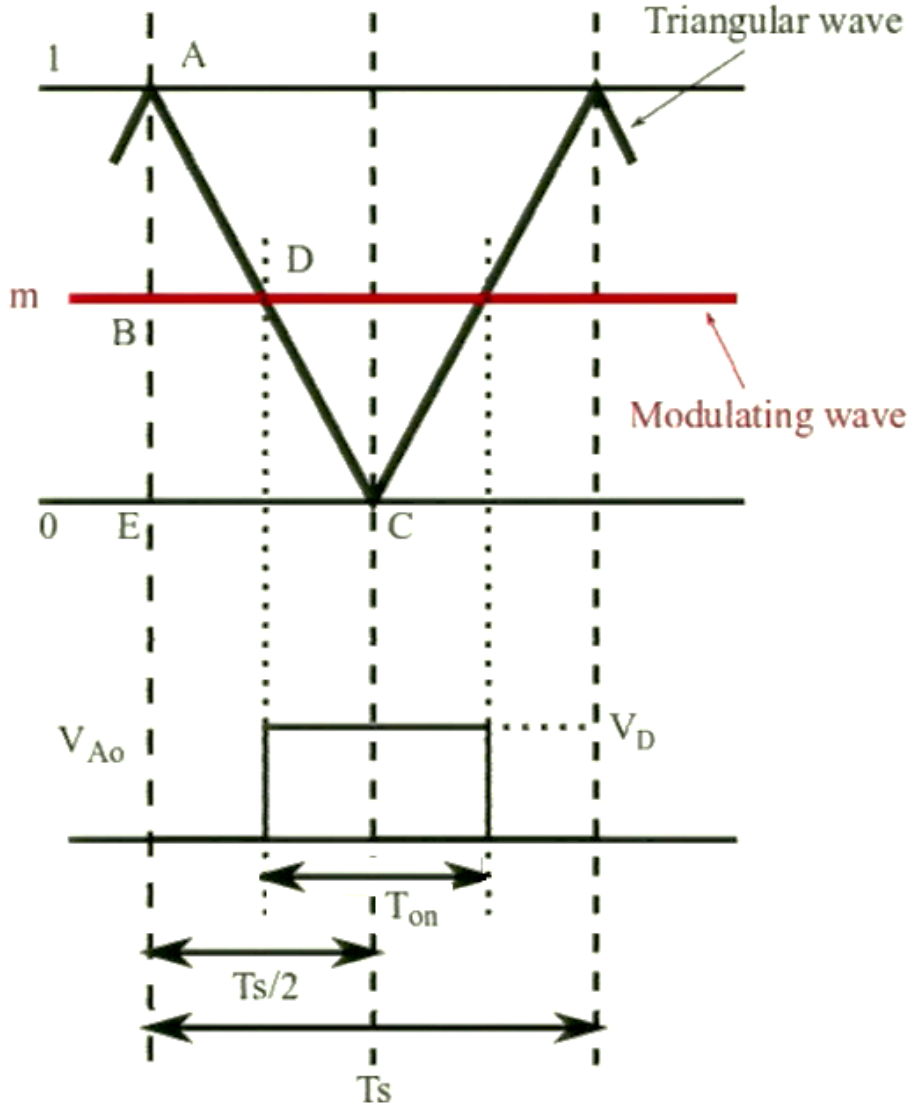
  (ii) Current direction is right to left, so it flows through S_3,S_2.

مدولاسیون پهنای پالس (PWM)



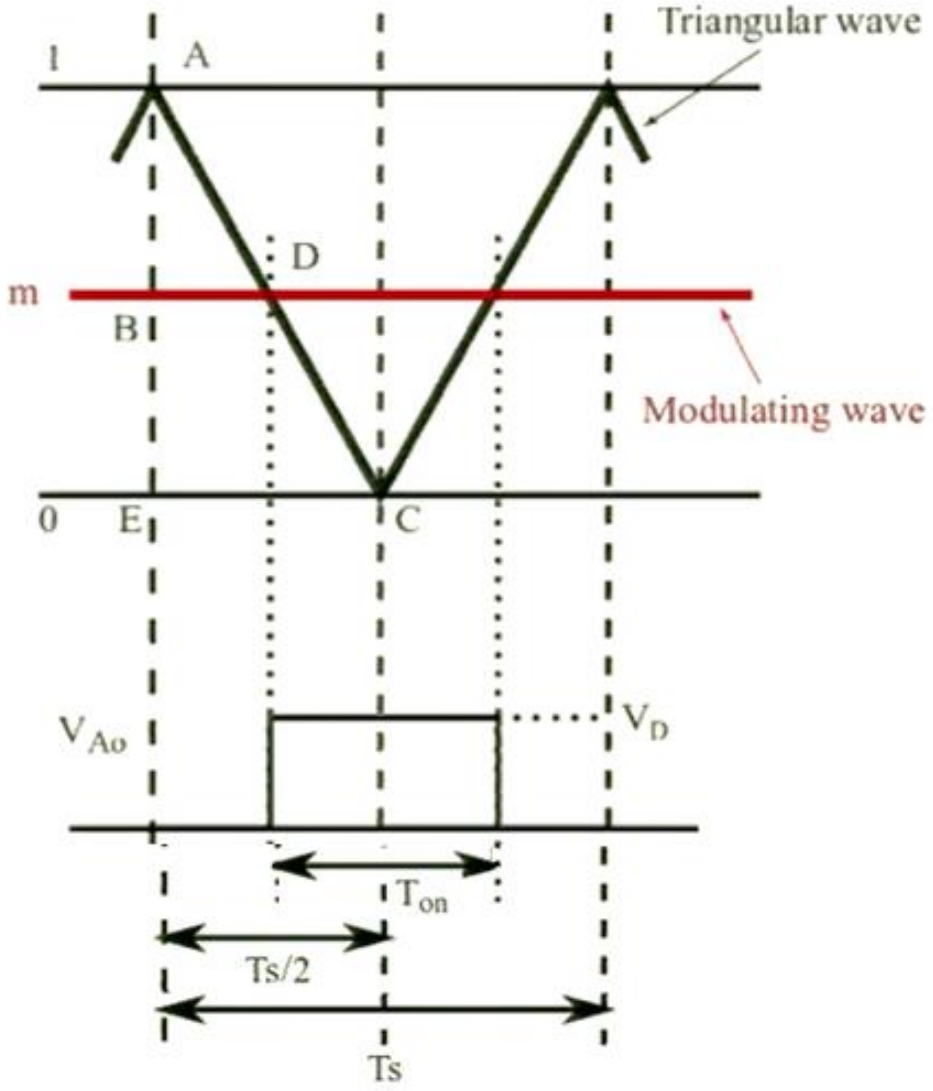
- با استفاده از مدولاسیون PWM امکان کنترل دامنه ولتاژ فراهم می‌شود

مدولاسیون پهنای پالس (PWM)



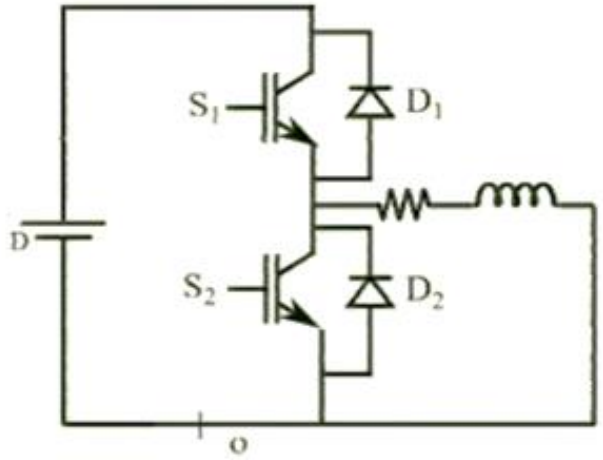
- در این روش امکان کنترل دامنه ولتاژ خروجی با کنترل پهنای پالس ولتاژ فراهم می‌شود.
- با مقایسه سیگنال حامل فرکانس بالا (مثلثی) و سیگنال کنترل (مرجع) که می‌تواند dc یا ac باشد خروجی PWM ایجاد می‌شود.
- ارتفاع سیگنال حامل برابر ۱ و سیگنال مرجع برابر m فرض شود.

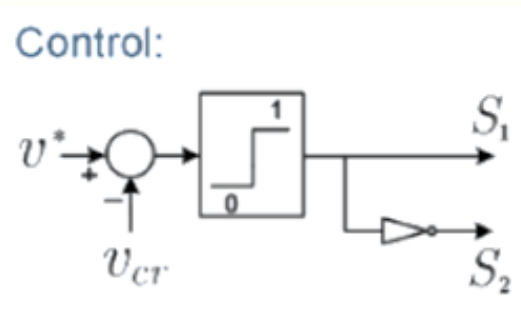
مدولاسیون پهنای پالس (PWM)



- منطق کنترلی PWM:

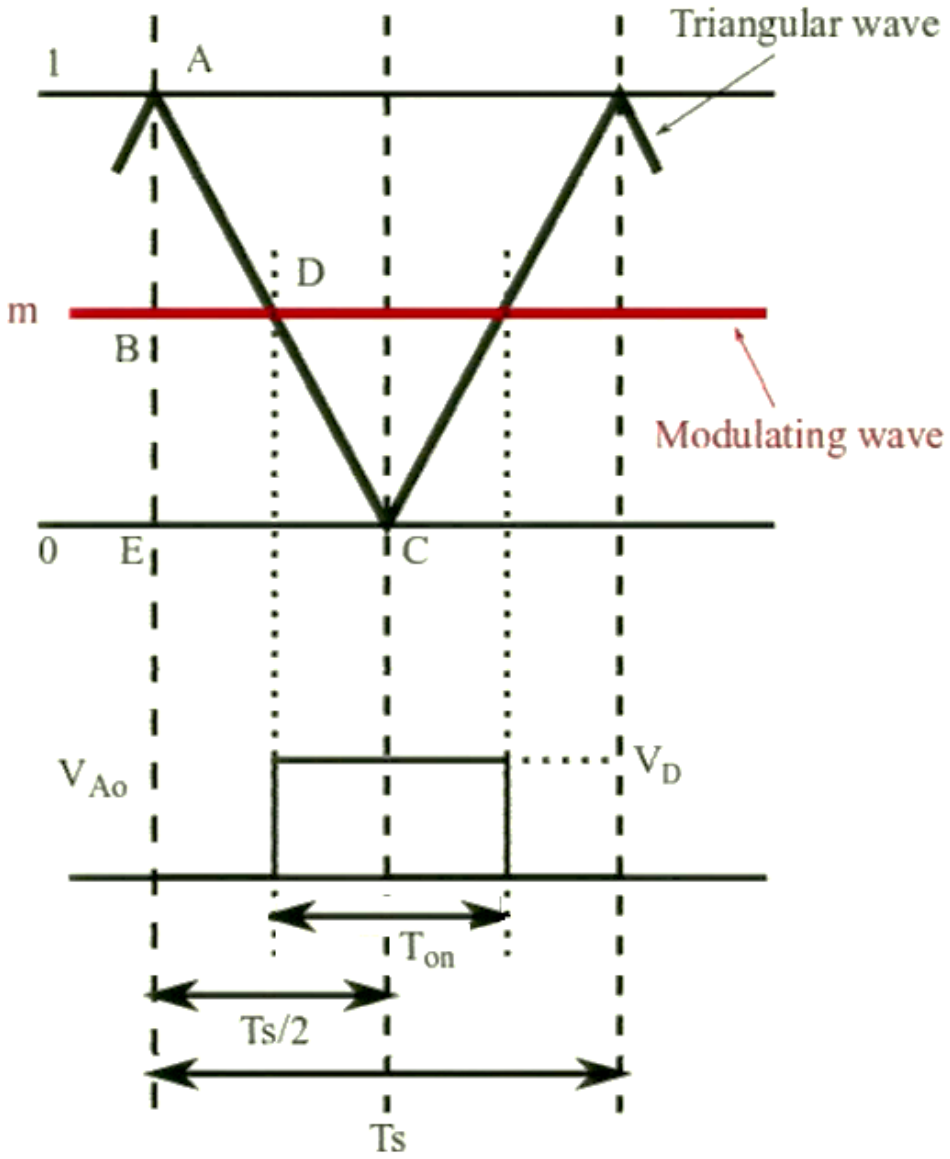
```
If mod_wave > tri_wave,
    S1=on;
else,
    S2=on;
```





- مقدار متوسط ولتاژ V_{AO} در طول سیکل کلیدزنی Ts ؟

مدولاسیون پهنای پالس (PWM)



- از هندسه داریم:

$$\frac{AB}{BD} = \frac{AE}{EC} \Rightarrow \frac{1-m}{\frac{T_S}{2} - \frac{T_{on}}{2}} = \frac{1}{\frac{T_S}{2}}$$

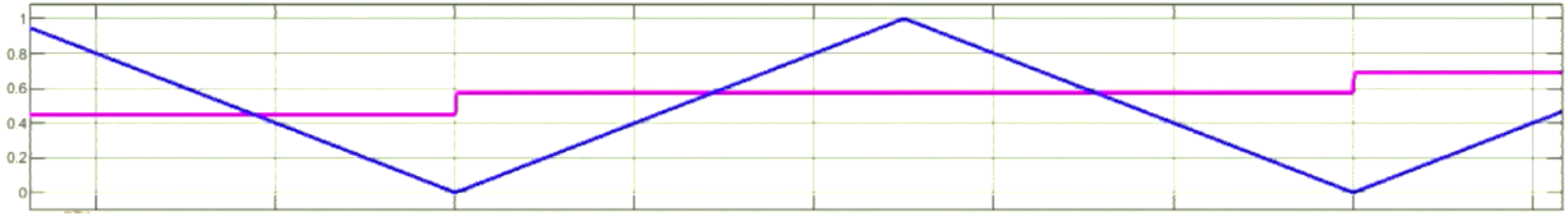
- $m = \frac{T_{on}}{T_S}$ = duty ratio.

- مقدار متوسط ولتاژ V_{AO} در طول سیکل کلیدزنی Ts:

$$v_{AO(av)} = V_D \frac{T_{on}}{T_S} = mV_D$$

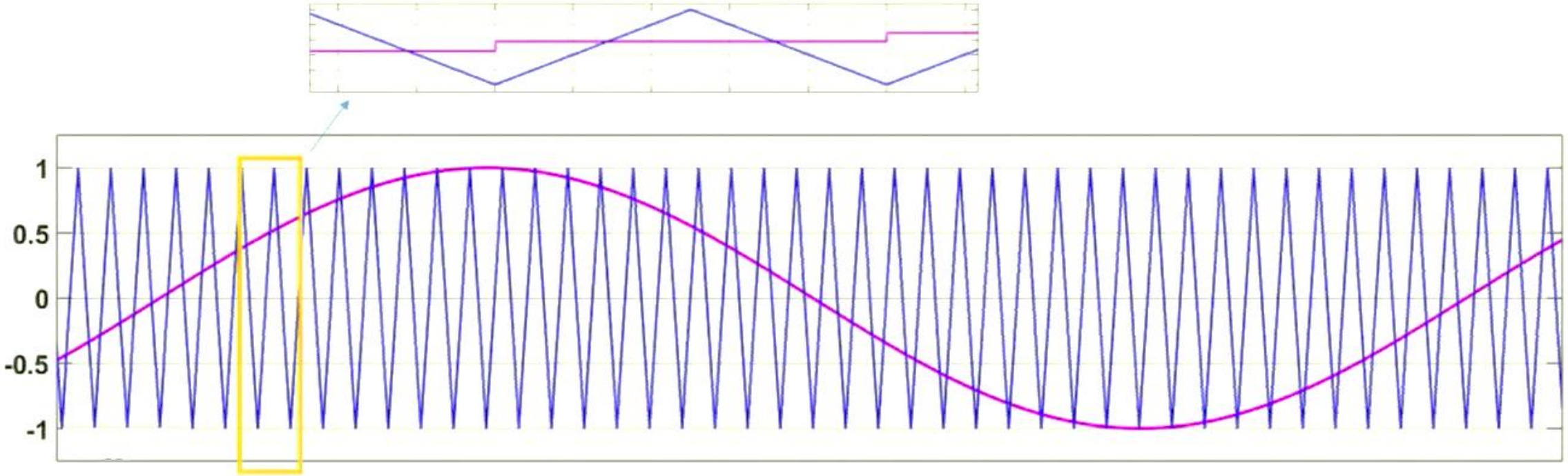
مدولاسیون پهنای پالس (PWM)

- اگر تغییرات m در هر سیکل به صورت تدریجی تغییر کند بنابراین مقدار متوسط ولتاژ نیز به صورت تدریجی تغییر می‌کند.



مدولاسیون پهنای پالس سینوسی (SPWM)

- اگر تغییرات m به صورت سینوسی باشد و بصورت آهسته تغییر کند مقدار متوسط $v_{AO(av)}$ ولتاژ نیز به صورت تدریجی و سینوسی تغییر می‌کند.
- بنابراین می‌توان گفت یک ولتاژ سینوسی در خروجی مبدل ایجاد شده است.
- فرکانس موج مثلثی می‌تواند به مراتب بیش از فرکانس سیگنال مرجع باشد.



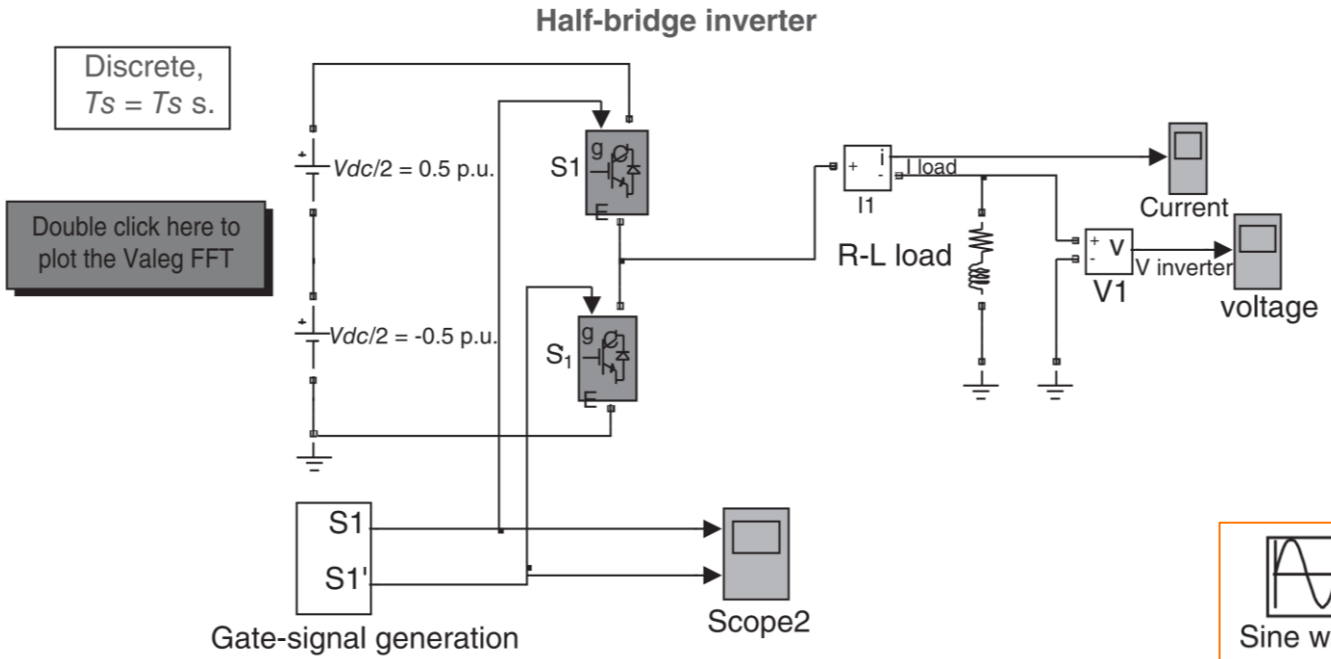
مدولاسیون پهنای پالس سینوسی (SPWM)

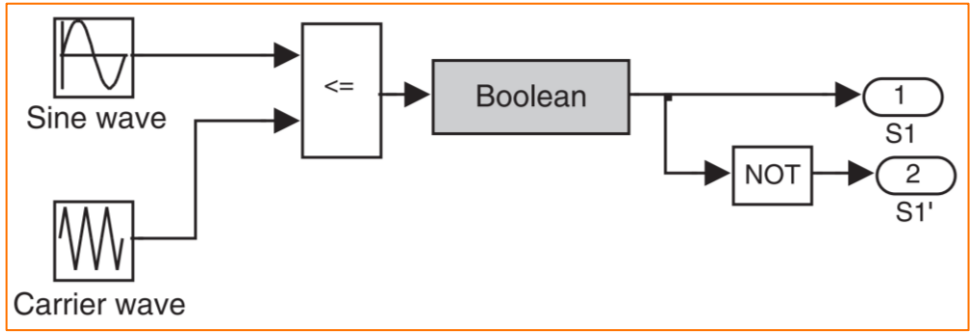
- می توان گفت:

$$v_{AO}(t) = \frac{(m \sin \omega t)V_D}{2} + \frac{V_D}{2}$$

- اگر ولتاژ مرجع را ولتاژ بین خازن لینک dc درنظر میگرفتیم (یعنی بین vdc/2– و vdc/2) مقدار DCیعنی VD/2 در ولتاژ فاز منبع ظاهر نمی‌شد. ولی به هر حال در هر کدام از دوحالت انتخاب مرجع مقدار dc در ولتاژ خط و ولتاژ فاز بار وجود ندارد.
- در حالت مدولاسیون خطی 0<m<1 است.

مدل مبدل نیم پل در شبیه سازی

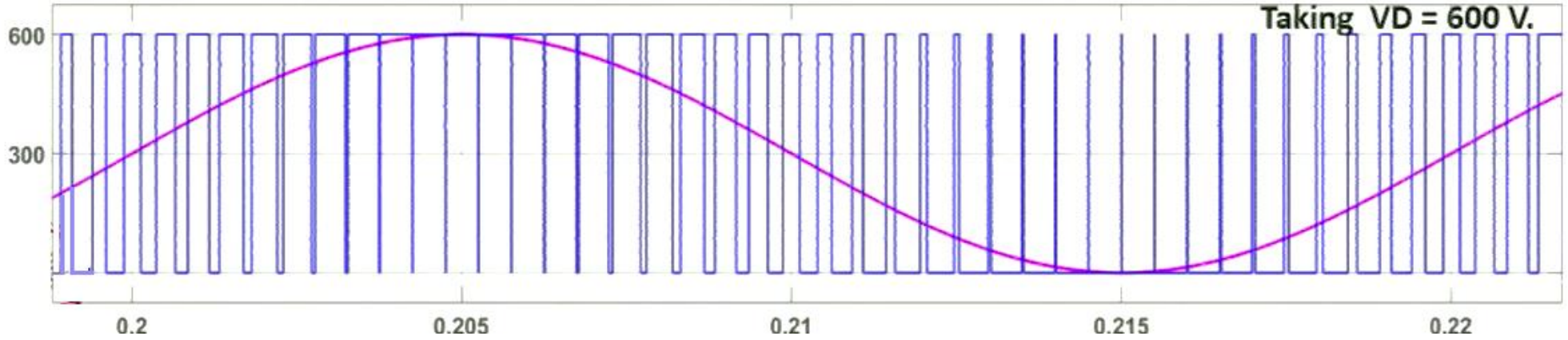




مدولاسیون خطی

- با تغییر 0<m<1 دامنه مولفه اصلی ولتاژ خروجی نیز بصورت خطی در حال تغییر است. بنابراین به این ناحیه مدولاسیون خطی گفته می‌شود.
- در مبدل نیم پل داریم:

- If m=0, $v_{AO_fund_pk} = 0$. If m=1, $v_{AO_fund_pk} = V_D/2$.
- If m=1, $v_{AO_fund_rms} = V_D/(2\sqrt{2}) = 0.35V_D$.



فوق مدولاسیون

- اگر m>1 باشد دامنه مولفه اصلی ولتاژ خروجی بیش از VD/2 خواهد بود.
- به این ناحیه فوق مدولاسیون گفته می‌شود. در ناحیه فوق مدولاسیون تغییرات ولتاژ اصلی با m خطی نیست.
- در ناحیه فوق مدولاسیون هارمونیک‌های مرتبه پایین (۵ام، ۷ام و ...) در خروجی ظاهر می‌شود.
- با افزایش m در ناجیه فوق مدولاسیون بیشترین دامنه ولتاژ در حالت موج مربعی حاصل می‌شود. در اینحالت برای مبدل نیم پل داریم:

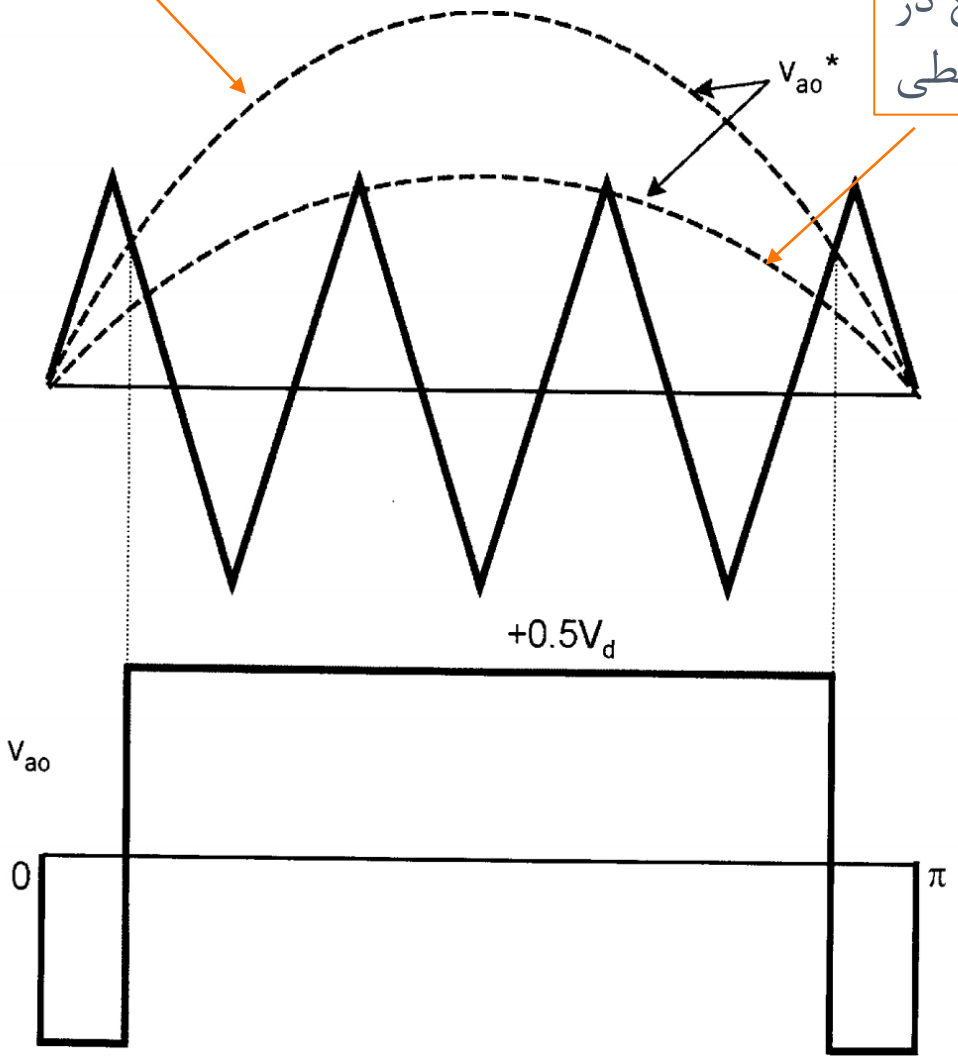
$$v_{AO_fund_pk_sq} = \frac{4}{\pi}\frac{V_D}{2}$$ =1.27 برابر دامنه ولتاژ در مدولایون خطی

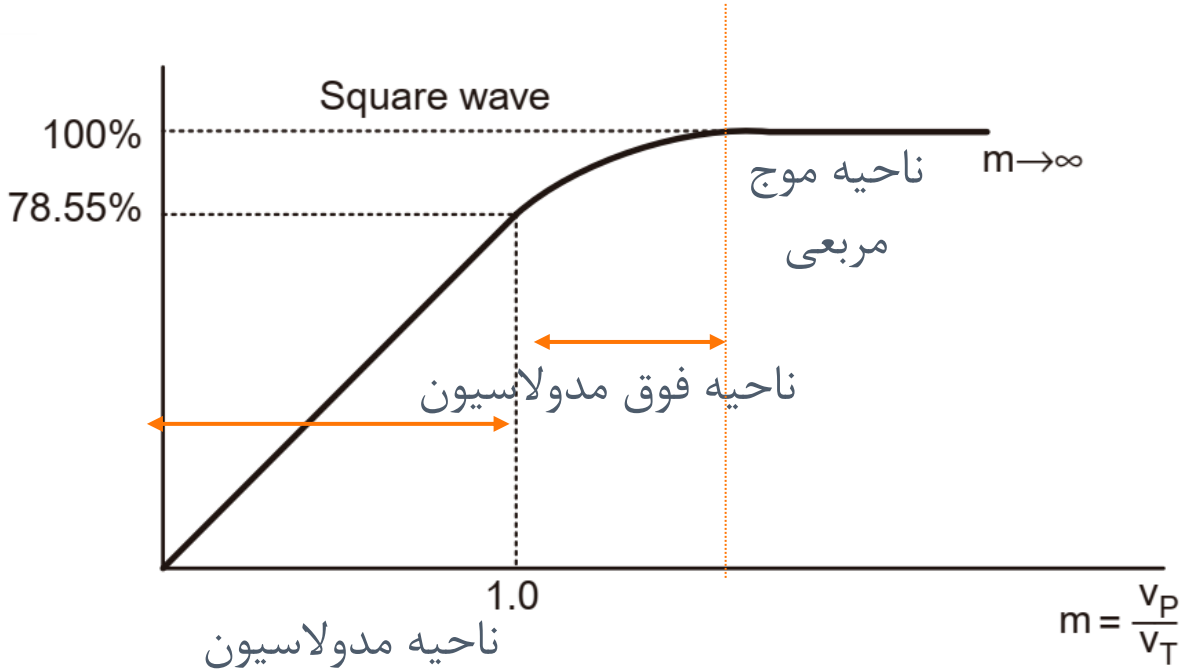
- با استفاده از روش‌هایی نظیر تزریق هارمونیک سوم امکان افزایش دامنه ولتاژ در مدولاسیون خطی وجود دارد.

فوق مدولاسیون

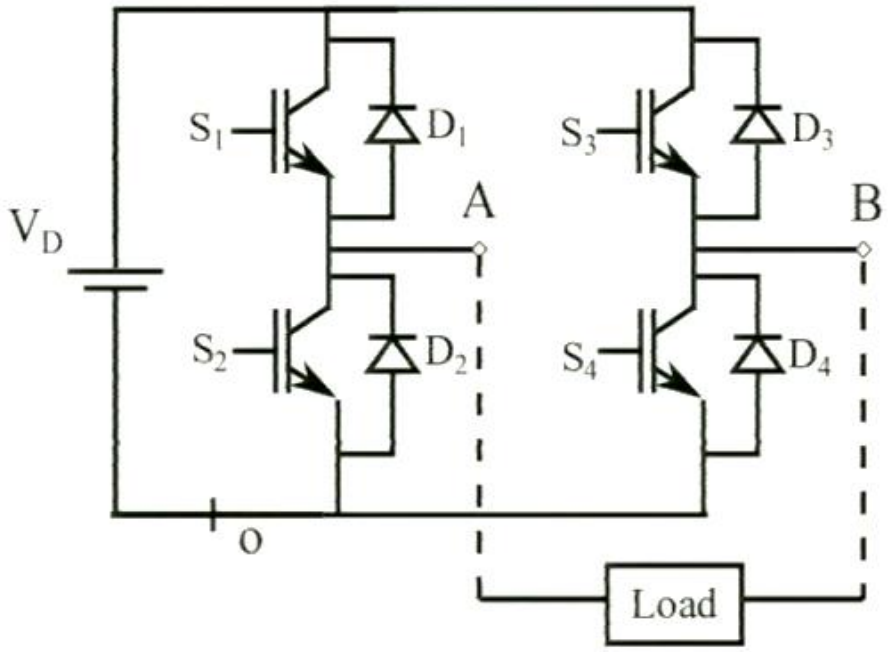
سیگنال مرجع در
فوق مدولاسیون

سیگنال مرجع در
مدولاسیون خطی





مبدل تمام پل



- در یک مبدل نیم پل ماکزیمم دامنه ولتاژ مولفه اصلی برابر VD/2 بود
- در مبدل تمام پل داریم:

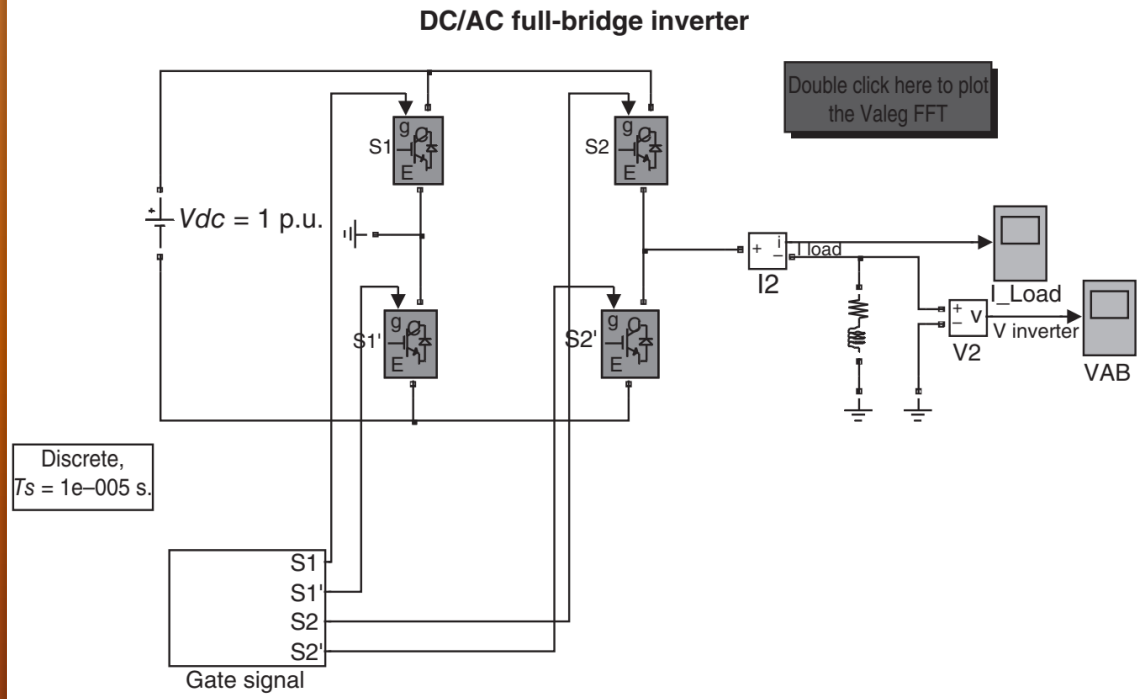
$$v_{AB_fund_pk} = v_{AO_fund_pk} - v_{BO_fund_pk}$$

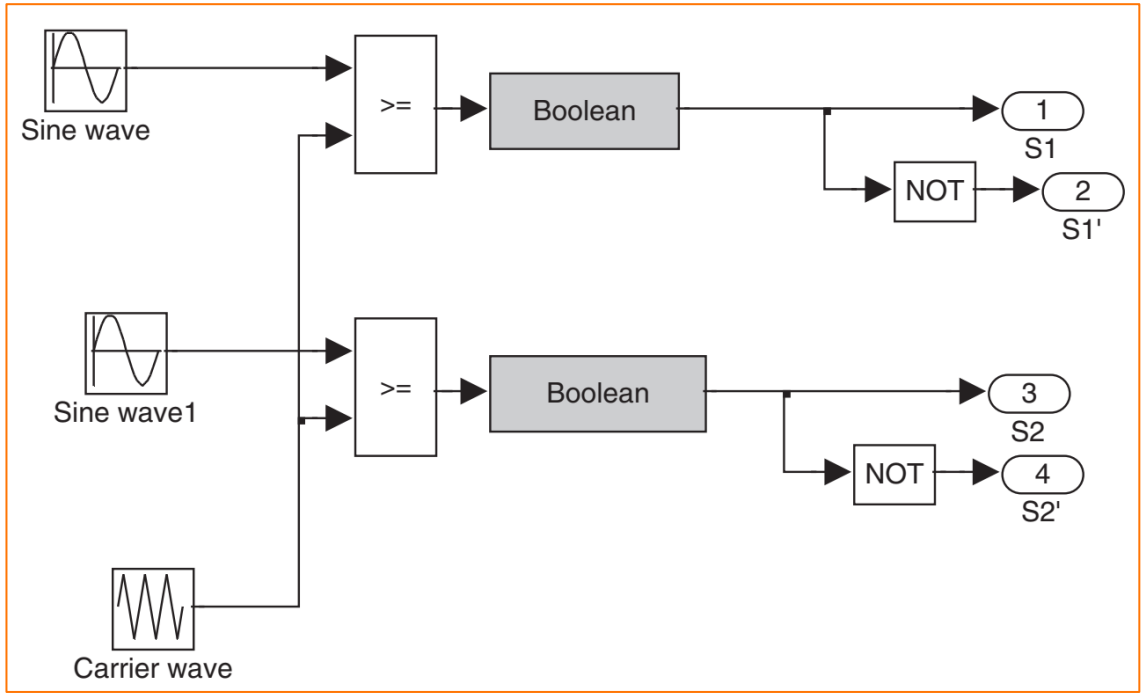
- اگر ساق A نسبت به ساق B ۱۸۰ درجه شیفت ولتاژ داشته باشد خواهیم داشت:

$$v_{AB_fund_pk} = V_D.$$

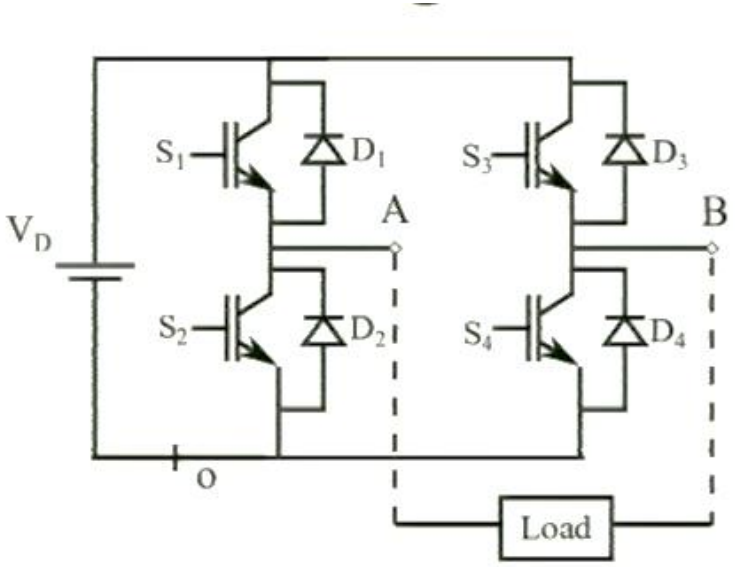
- در این مبدل ساق A مستقل از ساق B کنترل می‌شود.

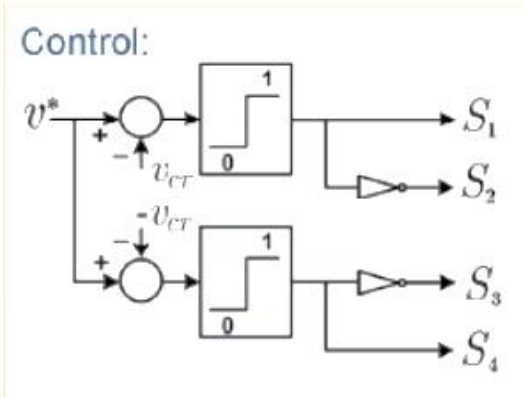
مدل مبدل تمام پل در شبیه سازی

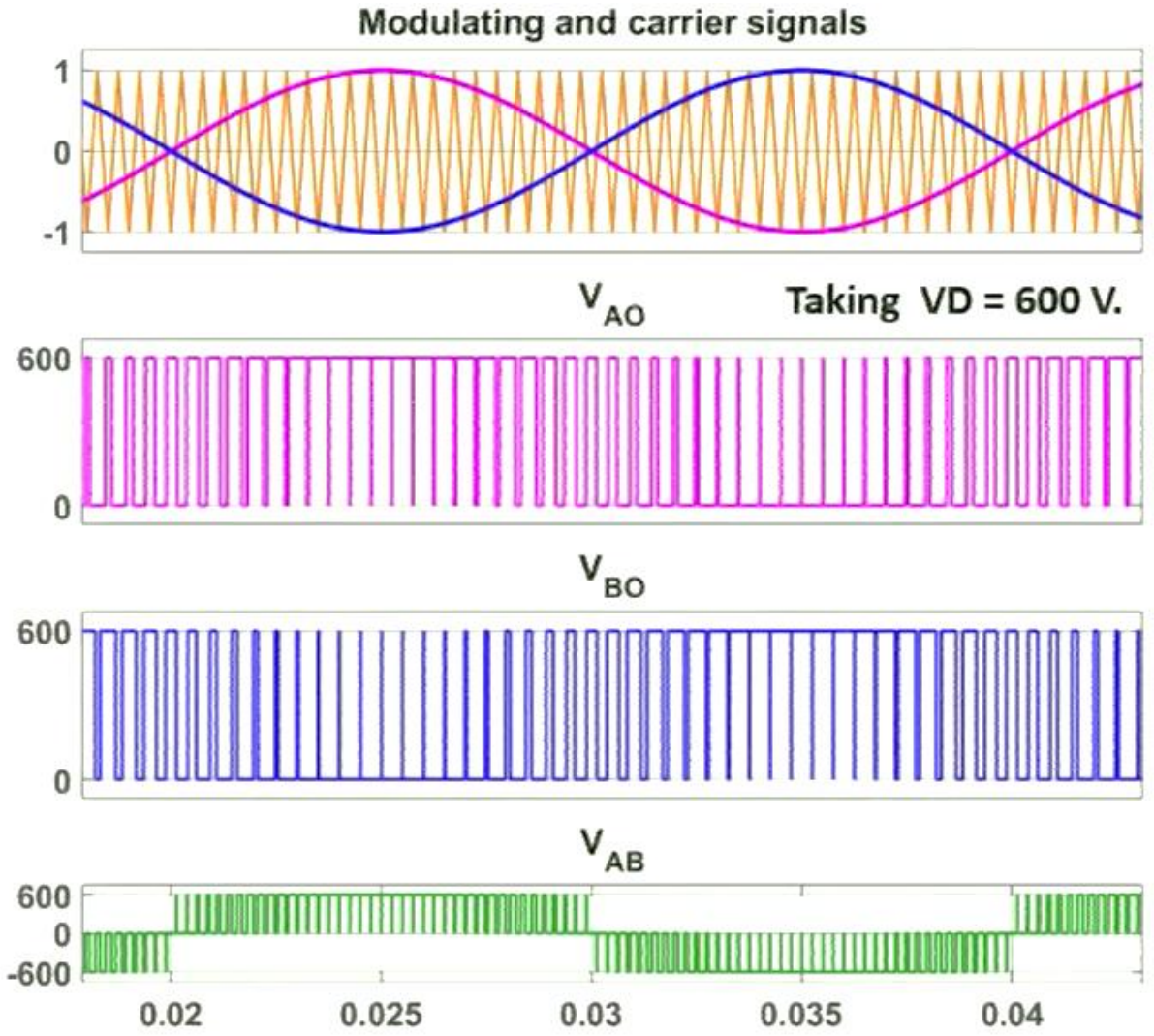




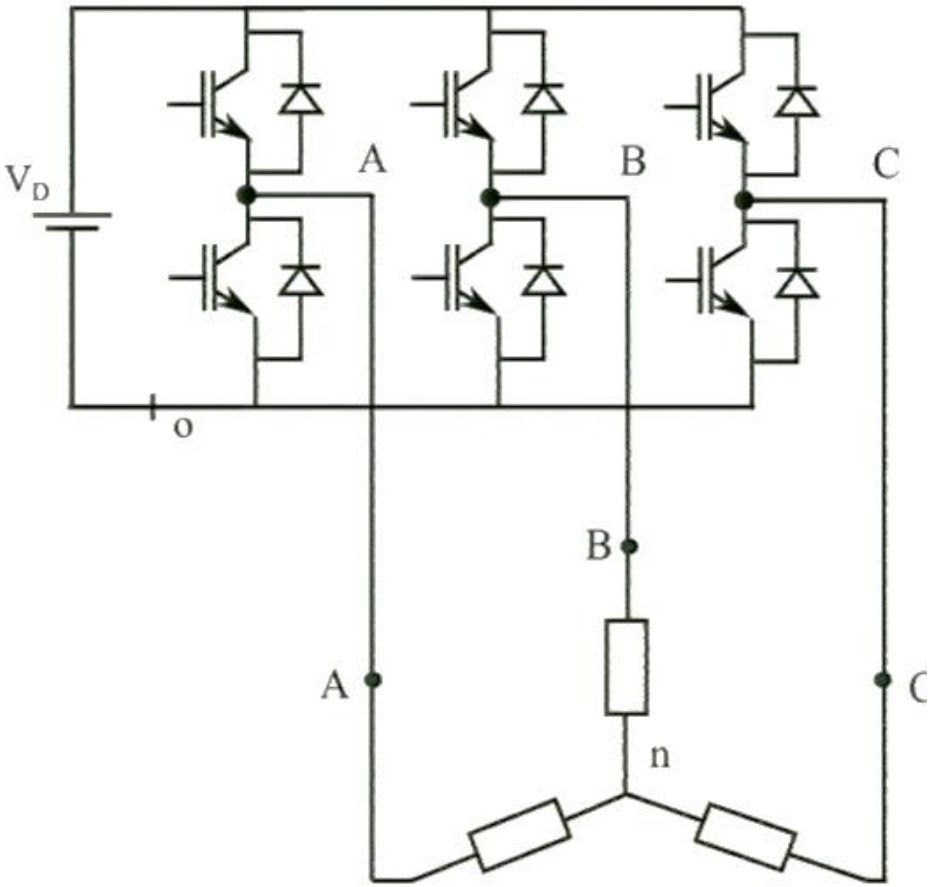
شکل موج مبدل تمام پل





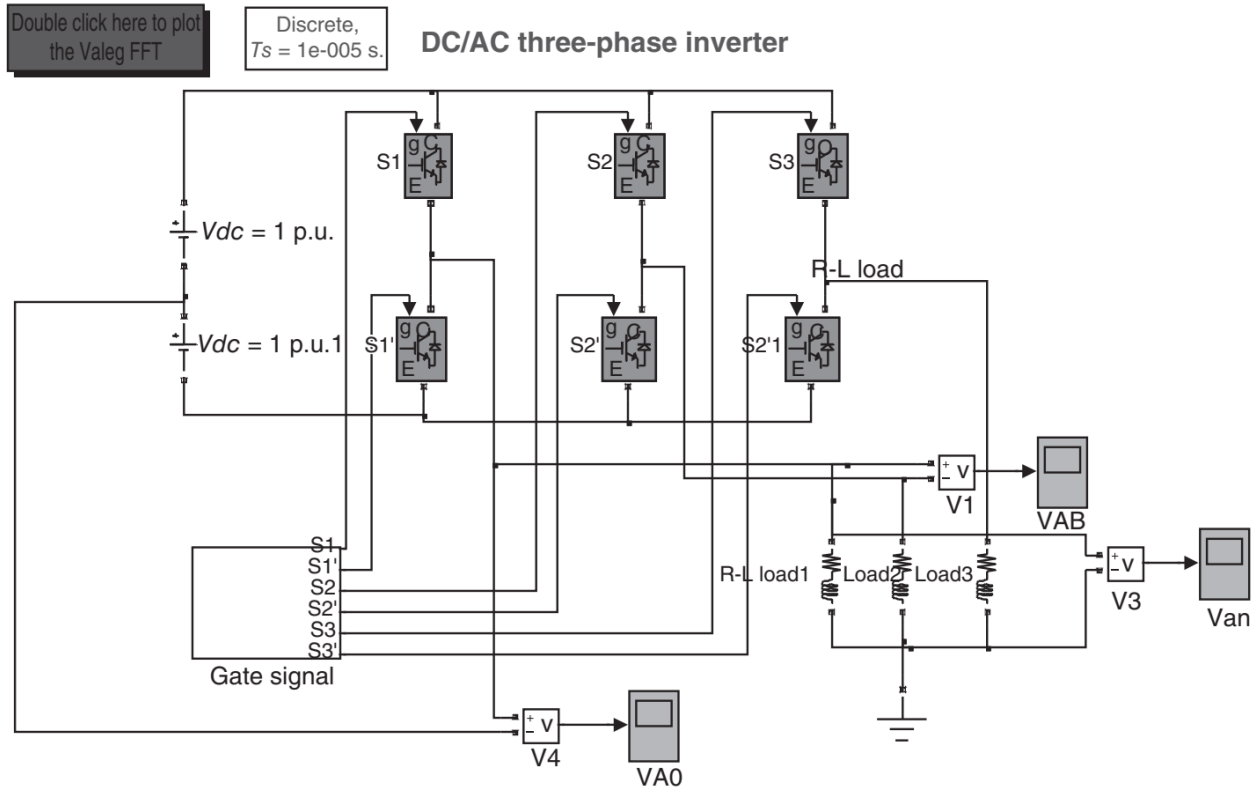


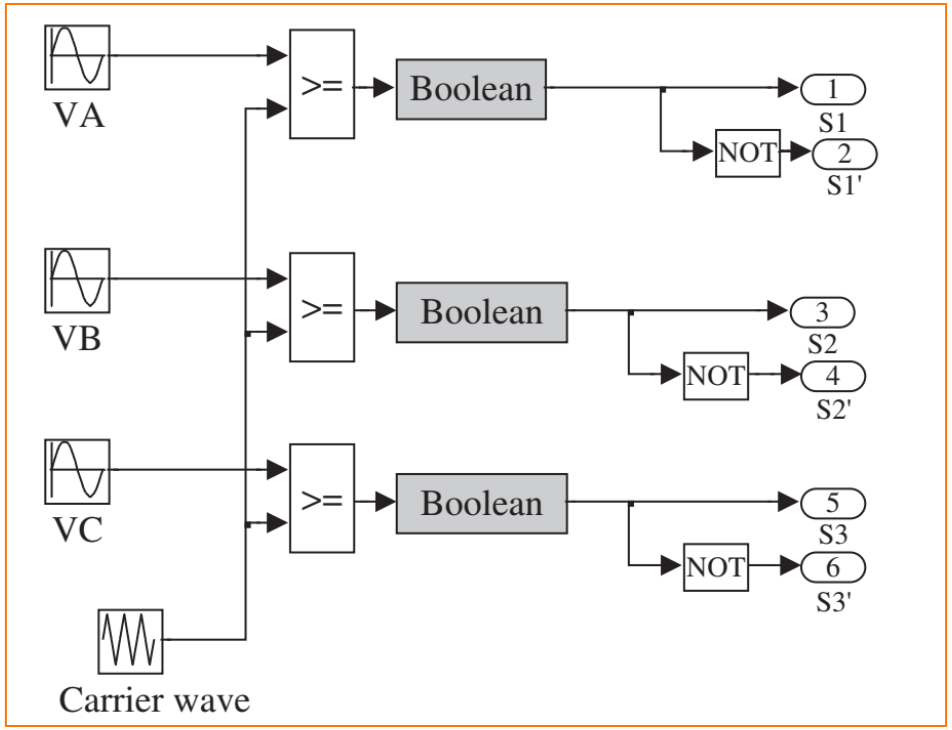
مدار اینورتر سه فاز



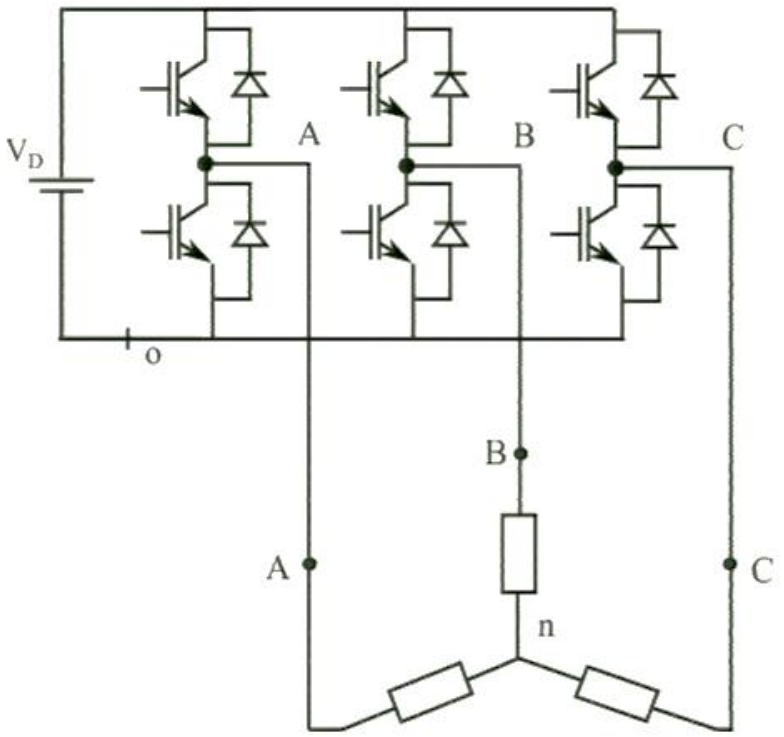
- در مدار سه فاز از سه مبدل نیم پل استفاده می‌شود.
- در مدولاسیون PWM سه فاز از سه سیگنال مرجع با اختلاف ۱۲۰ درجه استفاده میشود.

مدل اینورتر دو سطحی در شبیه سازی با مدولاسیون SPWM

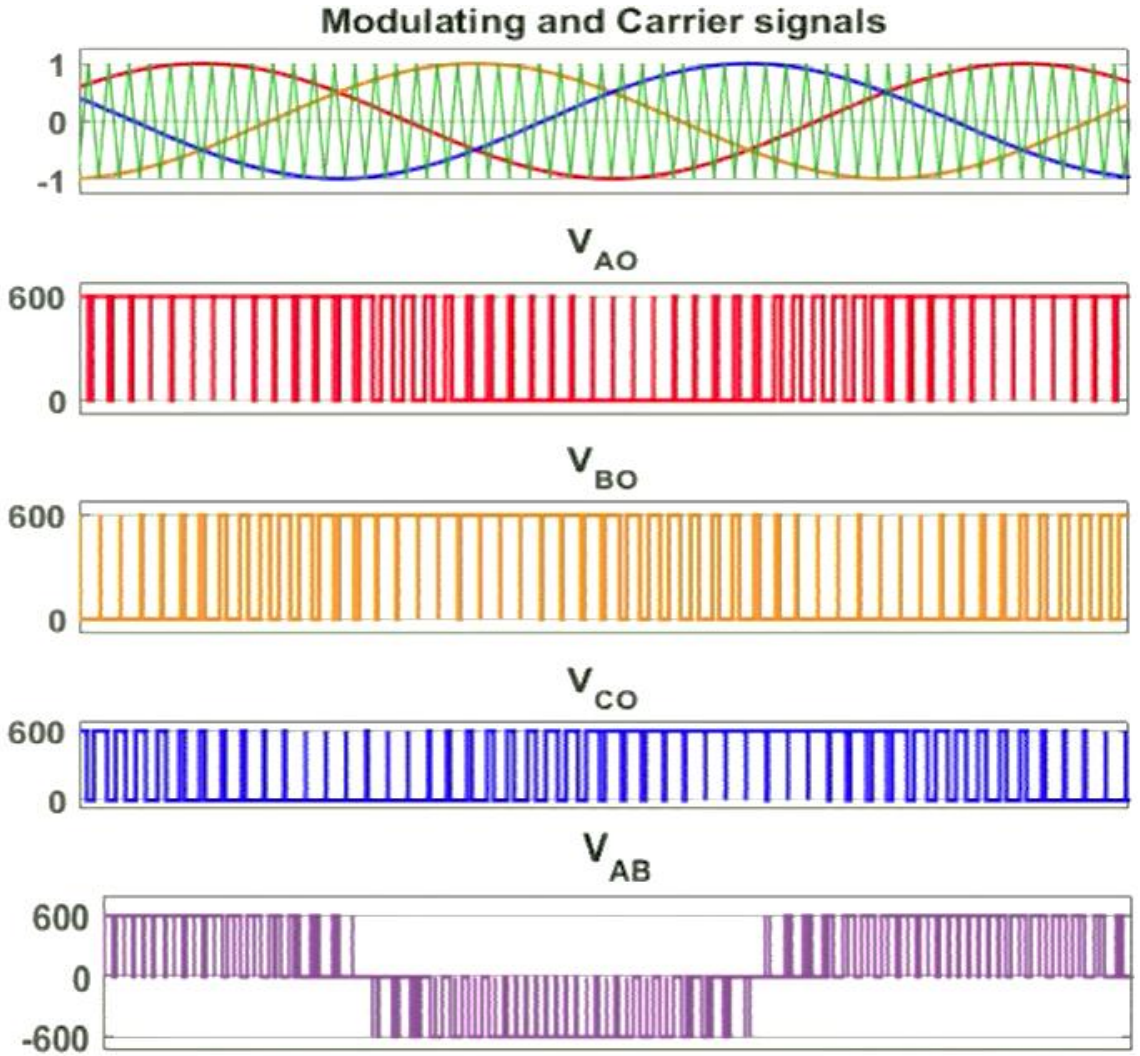




شکل موج مدار اینورتر سه فاز



Taking VD = 600 V.



مقایسه دامنه ولتاژ بار انواع اینورتر

Circuit	Peak Pole voltage	RMS load voltage	RMS line voltage
Half Bridge	$mV_D/2$	$mV_D/(2\sqrt{2})=0.35V_D$	
Full Bridge	mV_D	$mV_D/(\sqrt{2})=0.7V_D$	
3 phase	$mV_D/2$	$mV_D/(2\sqrt{2})=0.35V_D$ (per phase)	$\sqrt{3}mV_D/(2\sqrt{2})=0.6V_D$