

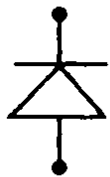
بسم الله الرحمن الرحيم

مباحث ویژه در سیستم های قدرت 1 (انواع عناصر)

(CONTENTS)

- 1- عناصر نیمه هادی کنترل نشده
- 2-عناصر کنترل شده
- 3-مشخصات مهم کلید نیمه هادی قدرت
- 4- انواع مبدل های قدرت - مبدل های منبع ولتاژی و منبع جریانی
- 5- کلیات در مورد نحوه تبادل توان در این نوع از مبدل ها

Cathode



Anode

1- کلید نیمه هادی کنترل نشده :

دیود Diode

آشنایی با دیود همگانی است لذا از ساختار آن لازم نیست سخن گفت فقط آن را می توان کلید حساس به ولتاژ دانست

کاربرد:

1- مبدل AC به DC (یکسوسازهای دیودی) ارزان قیمت بودن خصیصه اقتصادی انتخاب

2- تسریع درقطع عناصر کلیدزنی دیگر (دیودهای موازی معکوس - هرزگرد) Free Wheeling

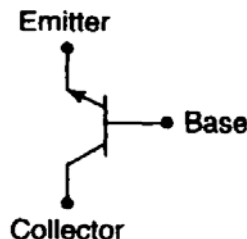
3- برای افزایش ولتاژ معکوس کلید



دانشکده مهندسی برق

2- کلید نیمه هادی کنترل شده :

الف - ترانزیستورها



1- ترانزیستورهای BJT

خصوصیات BJT:

1) فرکانس کار نسبتاً بالایی دارند (سرعت قطع و وصل) - کاهش دادن هارمونیک بوسیله قطع و وصل سریعتر فراهم می شود

2) مقاومت در حالت وصل پایینی دارند (مشخصه خروجی مناسبی دارند)

3) تلفات سوئیچینگ به مقاومت کلکتور - امیتر آن بستگی دارد

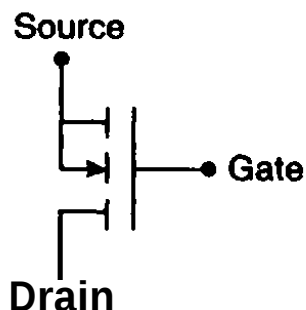
عیب BJT:

3) امپدانس ورودی پایین دارند- جریان بیس بالایی دارند و در نتیجه تلفات در آنها زیاد است (اصطلاحاً مشخصه ورودی مناسبی ندارند)

2- کلید نیمه هادی کنترل شده :

الف - ترانزیستورها

2- ترانزیستورهای MOSFET



خصوصیات MOSFET:

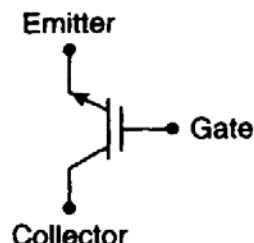
- 1) فرکانس سوئیچینگ بالایی دارند (سرعت قطع و وصل).
- 2) امپدانس ورودی بالایی دارند (مشخصه ورودی مناسبی دارند)
- 3) مقاومت در حالت وصل بالایی دارند (مشخصه خروجی نامناسبی دارند)
- 4) چگالی جریان پایین دارند

عیب MOSFET:

احتیاج به مدارهای جانبی برای راه اندازی این ترانزیستورهای MOSFET دارند (مدار ایزولاسیون و درایو مانند ICIR2113)

2- کلید نیمه هادی کنترل شده :

الف - ترانزیستورها



3- ترانزیستورهای IGBT

خصوصیات IGBT

1) مزایای مناسب MOSFET ها و BJT ها در این ترانزیستور جمع شده است.

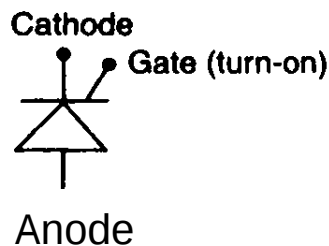
2- امپدانس ورودی بالایی دارند (مشخصه ورودی مناسبی دارند)

3- امپدانس خروجی کمی دارند (مشخصه خروجی نامناسبی دارند)

4- چگالی جریان خوبی دارند

عیب IGBT:

احتیاج به مدارهای جانبی برای راه اندازی و حفاظت در IGBT وجود دارد (مدار ایزولاسیون و درایو و مدار حفاظتی مانند: HCPL316J



2- کلید نیمه هادی کنترل شده :

الف - تریستورها

1- تریستور معمولی (Silicon Controlled Rectifier) SCR

فقط لحظه ی وصل قابل کنترل هستند و خاموش شدن آنها بوسیله کاهش جریان عبوری و نیز اعمال ولتاژ معکوس در دوسر آنها میسر می شود.

2- تریستور نوری (Light Activited SCR) LASCR

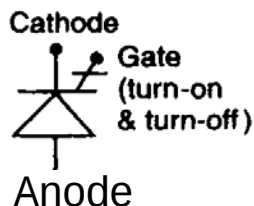
با تابش نور فعال می شوند بر روی آنها به جای پایه گیت یک دریچه برای دریافت نور تعبیه شده است.

3- تریستور با امکان هدایت معکوس (Reverse Conducting Thyristor) RCT

با دیودی که موازی معکوس با تریستور بسته شده است امکان هدایت بدون کنترل در نیم سیکل منفی نیز مهیا شده است.

4- تریاک TRIAC

- ❖ امکان هدایت کنترل شده در هر دو نیم سیکل مثبت و منفی در آن فراهم است.
- ❖ جهت روشن کردن تریاک جهت ولتاژ اعمالی به گیت مهم نیست.
- ❖ مشکل آنها یکسان نبودن مشخصه ی آنها در نیم سیکل مثبت و منفی است.
- ❖ در فرکانس ها ی زیاد امکان عملکرد ندارند.

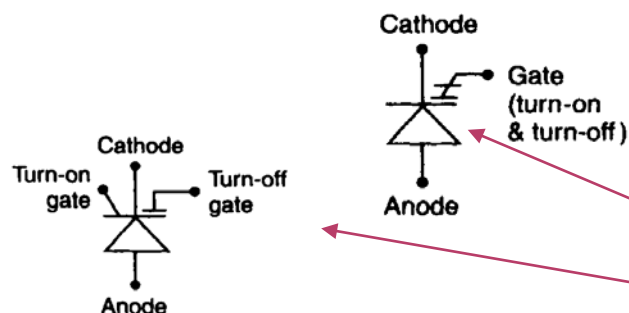


2- کلید نیمه هادی کنترل شده :

الف - تریستورها

5- تریستور قابل کنترل دوطرفه (Gate Turn- OFF Thyristor) GTO

- ❖ با اعمال پالس مثبت به گیت روشن و با اعمال پالس منفی (50- 75% جریان آند) خاموش می شوند.
- ❖ دارای زمان خاموشی بزرگی هستند و این امر باعث افزایش تلفات می گردد.
- ❖ فرکانس کاری بالایی ندارند



5-1- MCT (MOS Controlled Thyristor) :

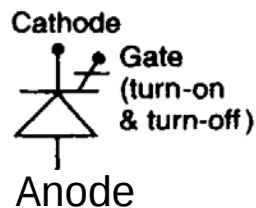
5-2- MTO (Mos controlled Thyristor)

5-3- MTO (Mos Turn Off Thyristor)

5-4- ETO (Emitter Turn Off Thyristor)

5-5- IGCT (Integrated Gate commutated Thyristor) :

- ❖ از نوع تریستورهای GTO هستند.
- ❖ دارای زمان خاموشی کمتری هستند.
- ❖ تمام این انواع بدنبال بهتر شدن عملکرد این نوع تریستورها هستند.

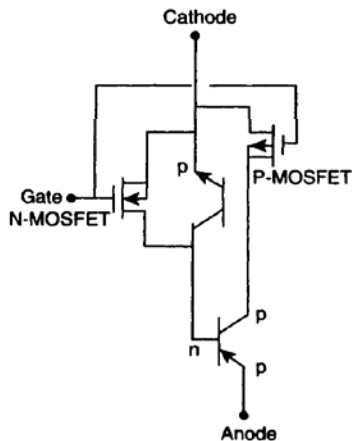


2- کلید نیمه هادی کنترل شده :

الف - تریستورها

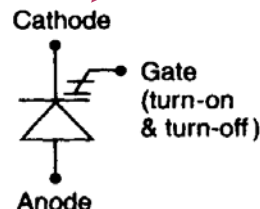
5- تریستور قابل کنترل دوطرفه (GTO) (Gate Turn- OFF Thyristor)

- ❖ با اعمال پالس مثبت به گیت روشن و با اعمال پالس منفی (50- 75% جریان آند) خاموش می شوند.
- ❖ دارای زمان خاموشی بزرگی هستند و این امر باعث افزایش تلفات می گردد.
- ❖ فرکانس کاری بالایی ندارند

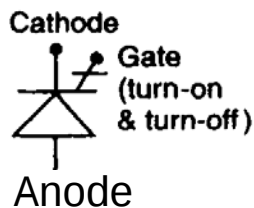


5-1- MCT (MOS Controlled Thyristor) :

5-2- MTO (Mos controlled Thyristor)



- ❖ از نوع تریستورهای GTO هستند.
- ❖ دارای زمان خاموشی کمتری هستند.
- ❖ تمام این انواع بدنبال بهتر شدن عملکرد این نوع تریستورها هستند.



2- کلید نیمه هادی کنترل شده :

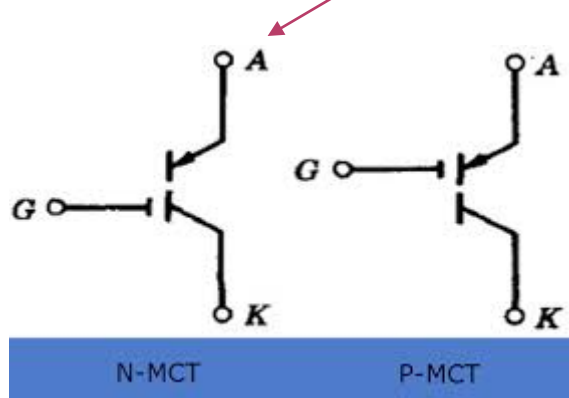
الف - تریستورها

5- تریستور قابل کنترل دوطرفه (Gate Turn- OFF Thyristor) GTO

- ❖ با اعمال پالس مثبت به گیت روشن و با اعمال پالس منفی (50- 75% جریان آند) خاموش می شوند.
- ❖ دارای زمان خاموشی بزرگی هستند و این امر باعث افزایش تلفات می گردد.
- ❖ فرکانس کاری بالایی ندارند

5-1- (MOS Controlled Thyristor) MCT:

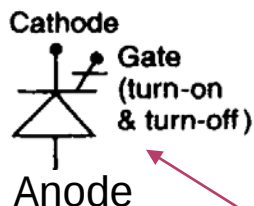
5-2- (Mos controlled Thyristor) MTO



- ❖ از نوع تریستورهای GTO هستند.
- ❖ دارای زمان خاموشی کمتری هستند.
- ❖ تمام این انواع بدنبال بهتر شدن عملکرد این نوع تریستورها هستند.

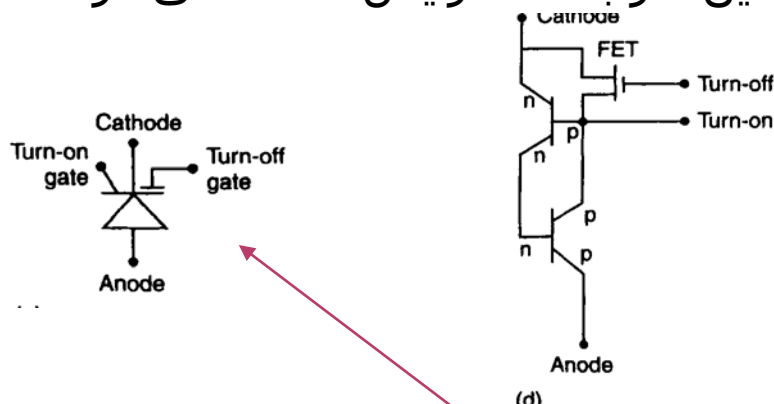
2- کلید نیمه هادی کنترل شده :

الف - تریستورها



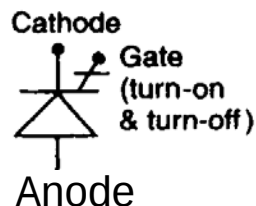
5- تریستور قابل کنترل دوطرفه (GTO) (Gate Turn- OFF Thyristor)

- ❖ با اعمال پالس مثبت به گیت روشن و با اعمال پالس منفی (50-75% جریان آند) خاموش می شوند.
- ❖ دارای زمان خاموشی بزرگی هستند و این امر باعث افزایش تلفات می گردد.
- ❖ فرکانس کاری بالایی ندارند



3-5 MTO (Mos Turn Off Thyristor)

- ❖ از نوع تریستورهای GTO هستند.
- ❖ دارای زمان خاموشی کمتری هستند.
- ❖ تمام این انواع بدنبال بهتر شدن عملکرد این نوع تریستورها هستند.

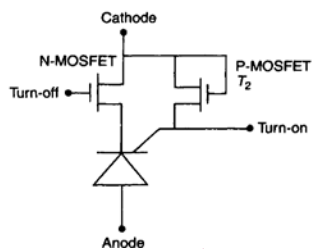


2- کلید نیمه هادی کنترل شده :

الف - تریستورها

5- تریستور قابل کنترل دوطرفه (Gate Turn- OFF Thyristor) GTO

- ❖ با اعمال پالس مثبت به گیت روشن و با اعمال پالس منفی (50- 75% جریان آند) خاموش می شوند.
- ❖ دارای زمان خاموشی بزرگی هستند و این امر باعث افزایش تلفات می گردد.
- ❖ فرکانس کاری بالایی ندارند



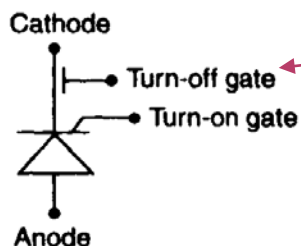
5-1- MCT (MOS Controlled Thyristor):

5-2- MTO (Mos controlled Thyristor)

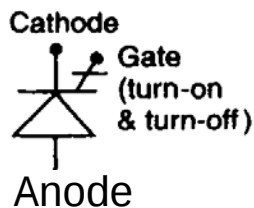
5-3- MTO (Mos Turn Off Thyristor)

5-4- ETO (Emitter Turn Off Thyristor)

5-5- IGCT (Integrated Gate commutated Thyristor):



- ❖ از نوع تریستورهای GTO هستند.
- ❖ دارای زمان خاموشی کمتری هستند.
- ❖ تمام این انواع بدنبال بهتر شدن عملکرد این نوع تریستورها هستند.

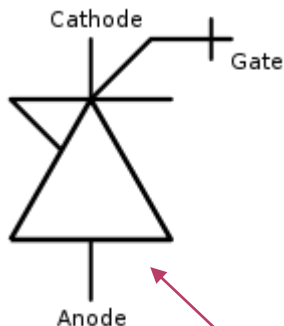


2- کلید نیمه هادی کنترل شده :

الف - تریستورها

5- تریستور قابل کنترل دوطرفه (Gate Turn- OFF Thyristor) GTO

- ❖ با اعمال پالس مثبت به گیت روشن و با اعمال پالس منفی (50- 75% جریان آند) خاموش می شوند.
- ❖ دارای زمان خاموشی بزرگی هستند و این امر باعث افزایش تلفات می گردد.
- ❖ فرکانس کاری بالایی ندارند



5-1- (MOS Controlled Thyristor) MCT :

5-2- (Mos controlled Thyristor) MTO

5-3- (Mos Turn Off Thyristor) MTO

5-4- (Emitter Turn Off Thyristor) ETO

5-5- (Integrated Gate commutated Thyristor) IGCT :

The gate-commutated thyristor (GCT) is a hard-switched GTO involving very fast

- ❖ از نوع تریستورهای GTO هستند.
- ❖ دارای زمان خاموشی کمتری هستند.
- ❖ تمام این انواع بدنبال بهتر شدن عملکرد این نوع تریستورها هستند.

مقایسه بین IGBT و GTO و SCR:

سطح ولتاژ	تحمل ولتاژ معکوس	افت ولتاژ در حالت وصل
8-10 kV	SCR	↑ SCR
5-8 kV	GTO	GTO
3-5 kV	IGBT	IGBT

اتصال سری و موازی عناصر سوئیچینگ :

برای افزایش تحمل ولتاژ معکوس - اتصال سری

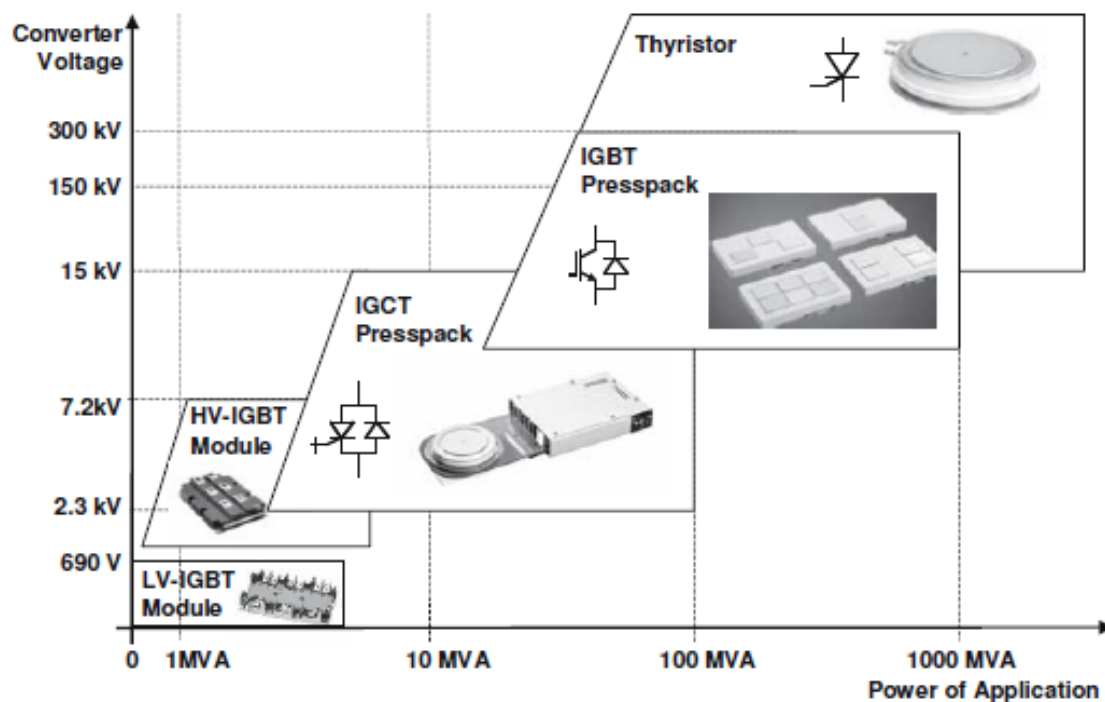
برای افزایش جریان عبوری - اتصال موازی

نکته 1 : حتما در سری و موازی کردن باید پالس های همه کلیدها باید همزمان اعمال شود تا جریان یا ولتاژ به یک یا چند کلید تنها تحمیل نشود

نکته 2 : برای تقسیم مساوی جریان (در موازی) یا ولتاژ (در سری) می توان از مقاومت کوچک (برای جریان) و مقاومت بزرگ (برای ولتاژ) استفاده نمود

مقایسه بین IGBT و GTO و SCR:

سطح ولتاژ	تحمل ولتاژ معکوس	افت ولتاژ در حالت وصل
8-10 kV	SCR	↑ SCR
5-8 kV	GTO	GTO
3-5 kV	IGBT	↑ IGBT



مشخصات مهم برای کلید نیمه هادی قدرت:

1- افت ولتاژ کم در حالت وصل 2- چگالی جریان بالا

3- توان راه اندازی کم (جریان کلکتور و بیس کم)

4- تحمل ولتاژ معکوس بالا 5- سرعت قطع و وصل بالا

6- تلفات کلیدزنی پایین 7- قابلیت اطمینان بالا

نکته : برای تریستورها باید قطار پالس مهیا شود و یک پالس کافی نیست

وسایل جانبی مبدل ها:

1- مدارهای اسنابر (Snubber):

وظیفه این مدارها حفاظت کلیدها در مقابل dV/dt و di/dt است که
 dV/dt باعث روشن شدن نابهنگام (حذف کنترل)
 di/dt باعث سوختن کلید (حذف کلید)

2- مدارهای درایو

3- فیلترهای خروجی

4- خنک کننده ها (Heat Sink)

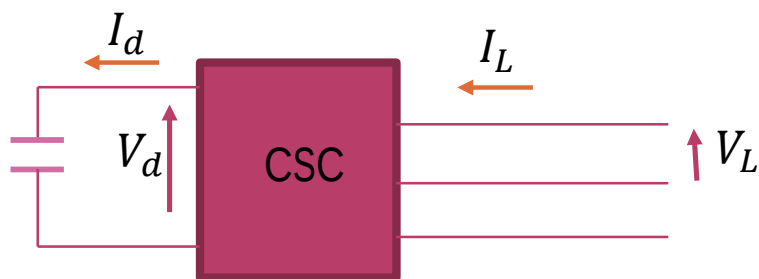
انواع مبدل های قدرت:

- ❖ مبدل های منبع ولتاژ (Voltage Source Converter) VSC
- ❖ مبدل های منبع جریان (Current Source Converter) CSC

- ✓ برای مبادله توان بایستی جریان در مبدل دو طرفه باشد لذا کلید ها باید دوطرفه باشند.
- ✓ ساخت ولتاژ ثابت به مراتب ساده تر از ساخت جریان ثابت است ، لذا از مبدل های منبع ولتاژ بیشتر استفاده می شود.
- ✓ در مبدل های ولتاژ بایستی رفتاری مشابه منبع ولتاژ ایده آل (ماشین سنکرون) داشته باشند. یعنی بتوان هم دامنه و هم فاز ولتاژ خروجی را کنترل نمود.
- ✓ خروجی مبدل ولتاژ را نمی توان به صورت مستقیم به شبکه وصل کرد چون باعث ایجاد جریان های هارمونیکی می شود.

راه حل :

- ✓ استفاده از راکتور در خروجی سمت AC (در مبدل VSC)
- ✓ - استفاده از راکتور در سمت DC (در مبدل CSC)



کلیاتی در مورد نحوه تبادل توان :

الف - در مبدل CSC:

- اگر مبدل بدون اتلاف باشد:

$$P = V_d * I_d = \sqrt{3} V_L * I_L * \cos \varphi_L$$

با فرض $I_L = \frac{K}{\sqrt{3}} * I_d$ $V_d = K * V_L * \cos \varphi_L$

- چون اینورتر منبع جریان است، I_d همیشه دارای جهت ثابت و مثبت است

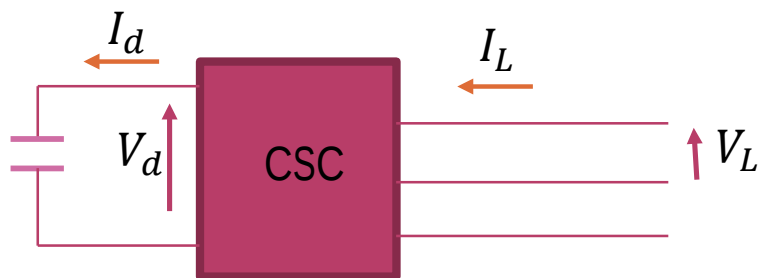
- برای اینکه مبادله توان صورت گیرد، باید P مثبت و منفی بشود با توجه به اینکه I_d همیشه مثبت است بنابراین V_d بایستی تغییر علامت دهد

$$V_d = K * V_L * \cos \varphi_L$$

تنها این ترم می تواند مثبت و منفی شود

$$\left. \begin{array}{l} \text{اگر } 0 < \varphi < \frac{\pi}{2} \rightarrow \cos \varphi_L > 0 \rightarrow V_d > 0 \\ I_d > 0 \end{array} \right\} \rightarrow P > 0$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{اگر } \frac{\pi}{2} < \varphi < \pi \rightarrow \cos \varphi_L < 0 \rightarrow V_d < 0 \\ I_d > 0 \end{array} \right\} \rightarrow P < 0$$



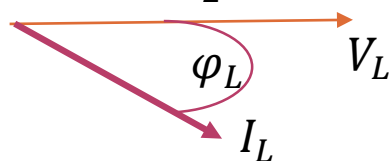
کلیاتی در مورد نحوه تبادل توان :

الف - در مبدل CSC:

- در این حالت مبدل به صورت یکسوساز عمل می کند $0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$

$$P = V_d * I_d = \sqrt{3} V_L * I_L * \cos \varphi_L$$

$$\left. \begin{array}{l} 0 < \varphi < \frac{\pi}{2} \rightarrow \cos \varphi_L > 0 \rightarrow V_d > 0 \\ I_d > 0 \end{array} \right\} \rightarrow P > 0$$



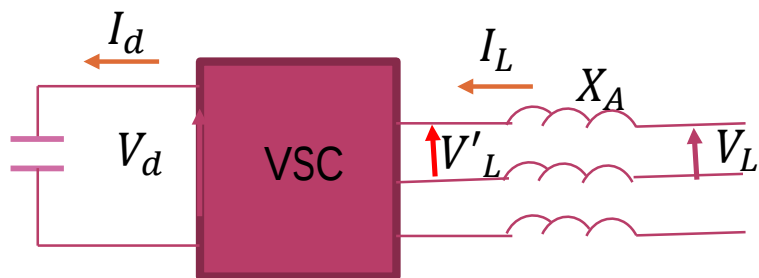
جریان به صورت پس فاز بوده و این به معنای این است که مجموعه CSC و قسمت DC به صورت مصرف کننده توان راکتیو هستند.

- در این حالت مبدل به صورت اینورتر عمل می کند $\frac{\pi}{2} < \varphi < \pi$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\pi}{2} < \varphi < \pi \rightarrow \cos \varphi_L < 0 \rightarrow V_d < 0 \\ I_d > 0 \end{array} \right\} \rightarrow P < 0$$



جریان به مثابه پیش فاز بوده و این به معنای این است که مجموعه CSC و قسمت DC به صورت تولید توان راکتیو دارند.



کلیاتی در مورد نحوه تبادل توان :

ب - در مبدل VSC:

- اگر مبدل بدون اتلاف باشد:

$$P = V_d * I_d = V_L * \frac{V'_L}{X_A} * \sin \delta \quad \delta < V_L, V'_L$$

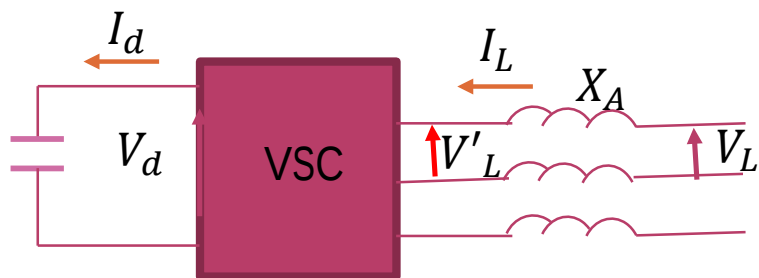
با فرض $V'_L = K * V_d$ $\rightarrow I_d = \frac{K * V_L}{X_A} * \sin \delta$

- برای اینکه مبادله توان صورت گیرد، باید P مثبت و منفی بشود با توجه به اینکه V_d همیشه مثبت است بنابراین I_d بایستی تغییر علامت دهد

$$I_d = \frac{K * V_L}{X_A} * \sin \delta$$

تنها این ترم می تواند مثبت و منفی شود

$$\begin{aligned} \text{اگر } \delta > 0 & \rightarrow \sin \delta > 0 \rightarrow V_d > 0 \\ & \rightarrow I_d > 0 \} \rightarrow P > 0 \\ \text{اگر } \delta < 0 & \rightarrow \sin \delta < 0 \rightarrow V_d < 0 \\ & \rightarrow I_d < 0 \} \rightarrow P < 0 \end{aligned}$$



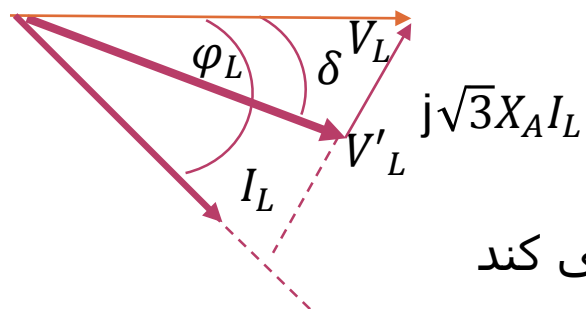
کلیاتی در مورد نحوه تبادل توان :

ب - در مبدل VSC:

$$P = V_d * I_d = V_L * \frac{V'_L}{X_A} * \sin \delta \quad \delta < V_L, V'_L$$

با فرض $V'_L = K * V_d$

$$\rightarrow I_d = \frac{K * V_L}{X_A} * \sin \delta$$

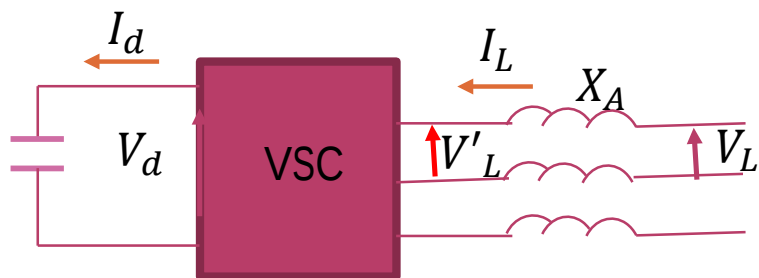


حالت اول : $\delta > 0$

- در این حالت مبدل به صورت یکسوساز عمل می کند

اگر $\delta > 0$

$$\rightarrow \sin \delta > 0 \quad \rightarrow \left. \begin{array}{l} V_d > 0 \\ I_d > 0 \end{array} \right\} \rightarrow P > 0$$



کلیاتی در مورد نحوه تبادل توان :

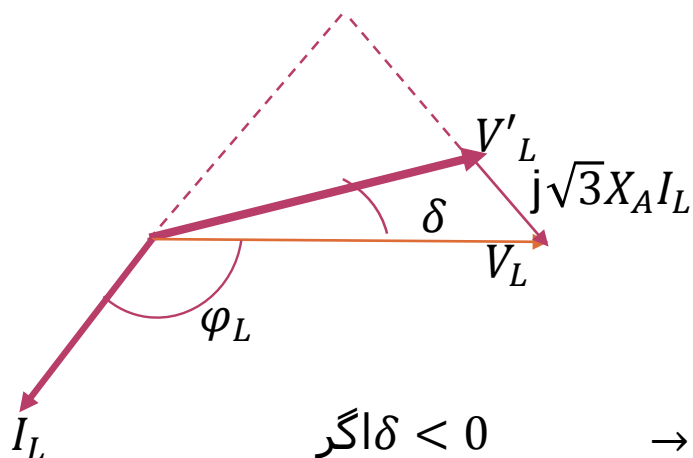
ب - در مبدل VSC:

$$P = V_d * I_d = V_L * \frac{V'_L}{X_A} * \sin \delta \quad \delta < V_L, V'_L$$

با فرض: $V'_L = K * V_d$

$$\rightarrow I_d = \frac{K * V_L}{X_A} * \sin \delta$$

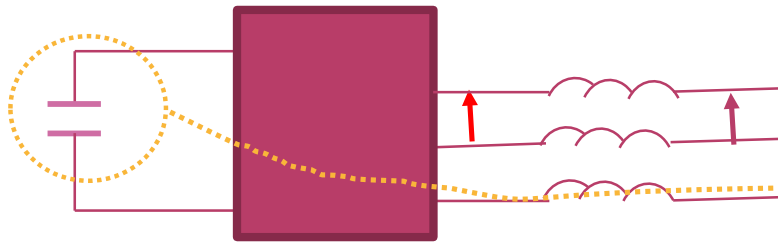
حالت دوم: $\delta < 0$



- در این حالت مبدل به صورت اینورتر عمل می کند

$$\left. \begin{array}{l} \text{اگر } \delta < 0 \rightarrow \sin \delta < 0 \rightarrow V_d < 0 \\ I_d > 0 \end{array} \right\} \rightarrow P < 0$$

کلیاتی در مورد نحوه تبادل توان :



■ در سمت DC مبدل هایی که در ادوات FACTS بکار گرفته می شوند می توان از:

1- خازن ← مبدل با شبکه AC فقط مبادله توان راکتیو انجام می دهد

2- باتری ← مبدل با شبکه AC فقط مبادله توان اکتیو انجام می دهد

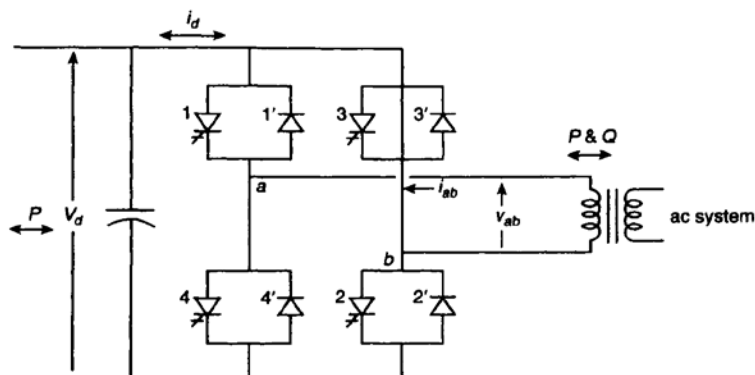
3- ژنراتور AC مجهز به یکسوساز

4- شبکه AC مجهز به یکسوساز

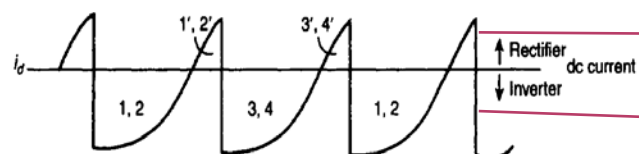
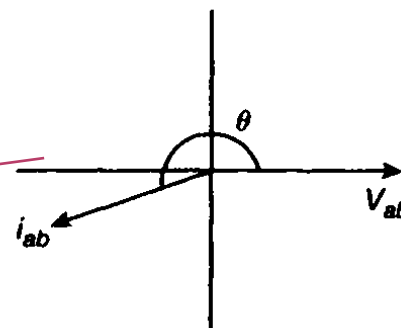
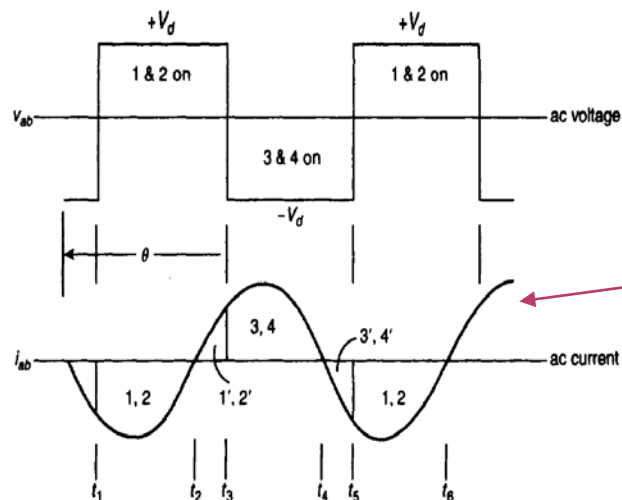
5- منابع تولید پراکنده (سیستم های فتو ولتاییک PV ، توربین بادی)

کلیاتی در مورد نحوه تبادل توان :

مبادله توان با شبکه AC در مبدل های VSC :



هرچه کلید ها بیشتر روشن باشند ، عمل اینورتری بر یکسو سازی رجحان پیدا می کند و در نهایت مبدل به صورت متوسط به صورت اینورتری عمل می کند.



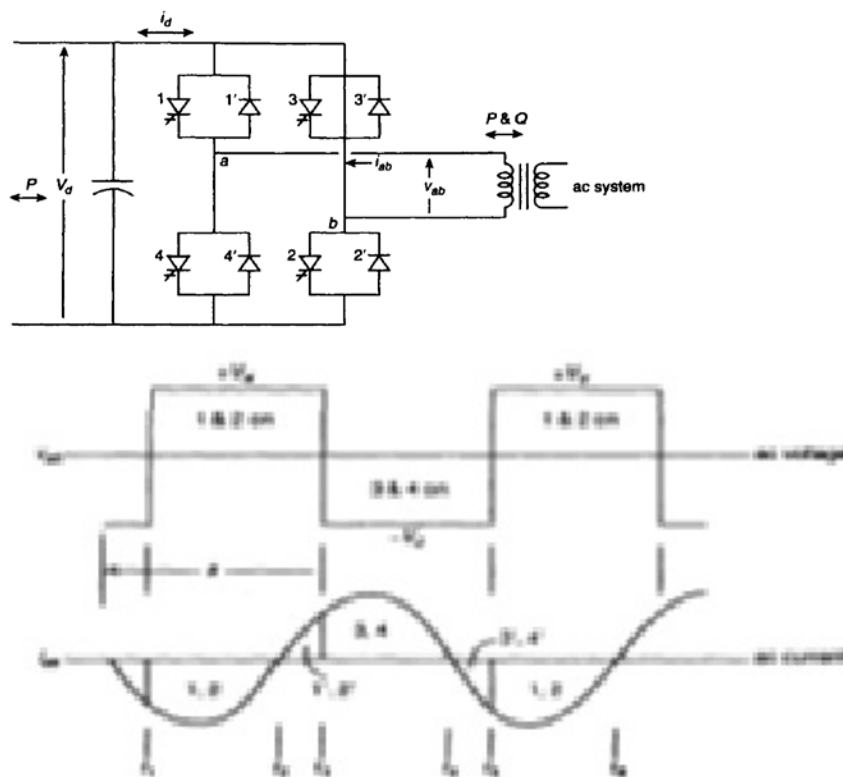
$P_{dc} > 0$ یکسو ساز

$P_{dc} < 0$ اینورتر



کلیاتی در مورد نحوه تبادل توان :

مبادله توان با شبکه AC در مبدل های VSC :



هرچه کلید ها بیشتر روشن باشند ، عمل اینورتری بر یکسو سازی رجحان پیدا می کند و در نهایت مبدل به صورت متوسط به صورت اینورتری عمل می کند.

$P_{ac} > 0$ یکسو ساز

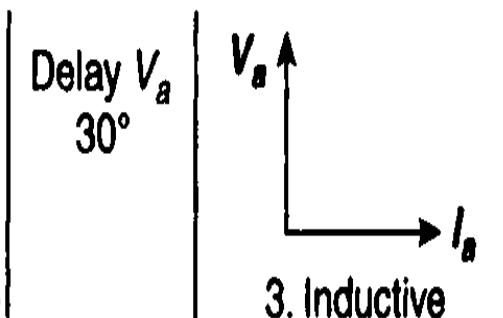
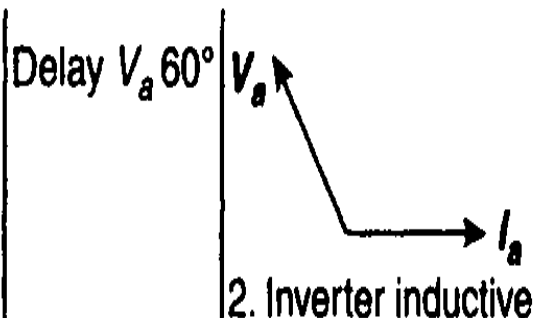
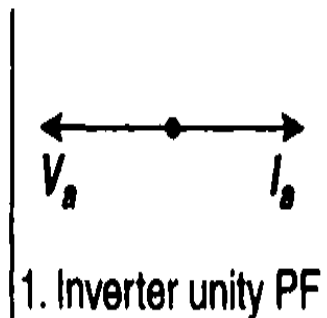
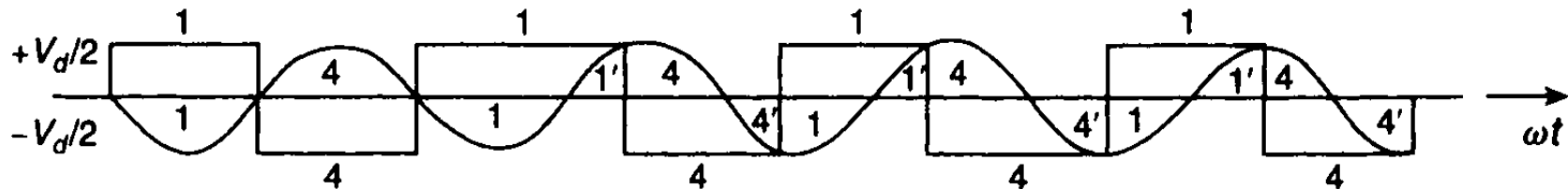
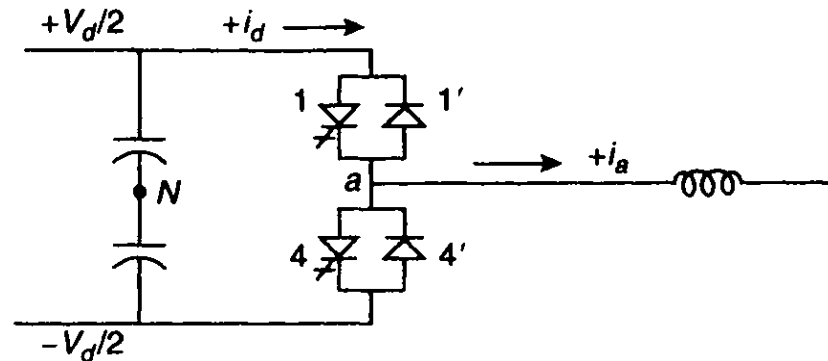
$P_{ac} < 0$ اینورتر

Devices	V_{ab}	Current Flow	Conducting Devices	Conversion
1 & 2 on, 3 & 4 off	Positive	Negative	1 & 2	Inverter
1 & 2 on, 3 & 4 off	Positive	Positive	1' & 2'	Rectifier
1 & 2 off, 3 & 4 on	Negative	Positive	3 & 4	Inverter
1 & 2 off, 3 & 4 on	Negative	Negative	3' & 4'	Rectifier

کلیاتی در مورد نحوه تبادل توان :

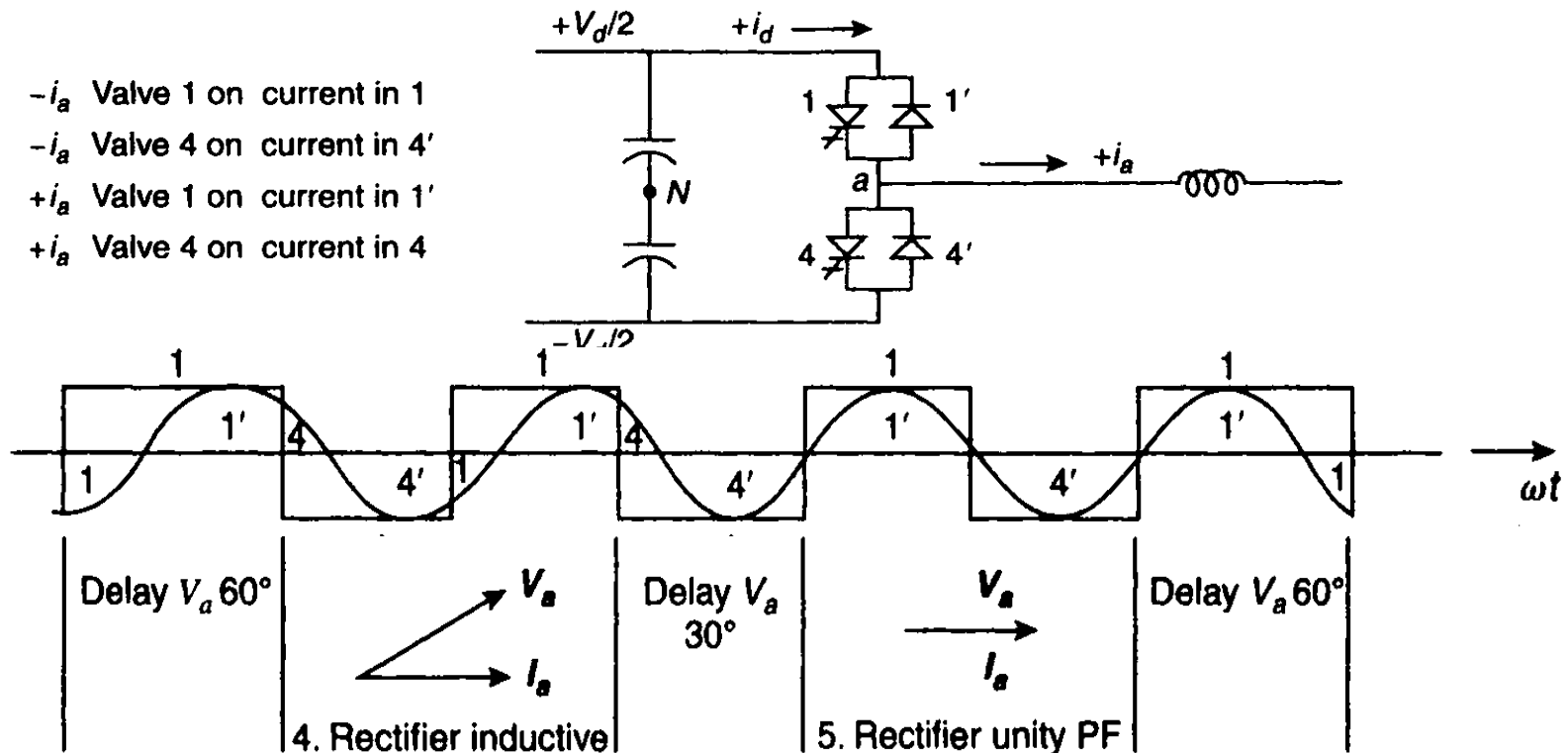
مبادله توان با شبکه AC در مبدل های VSC :

- $-i_a$ Valve 1 on current in 1
- $-i_a$ Valve 4 on current in 4'
- $+i_a$ Valve 1 on current in 1'
- $+i_a$ Valve 4 on current in 4



کلیاتی در مورد نحوه تبادل توان :

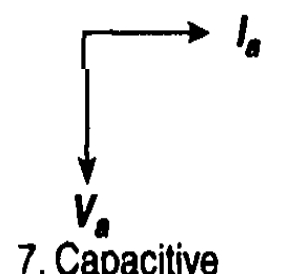
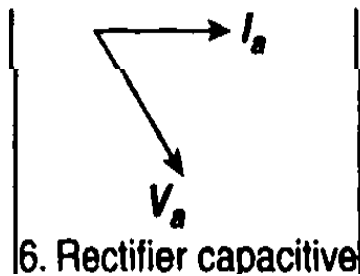
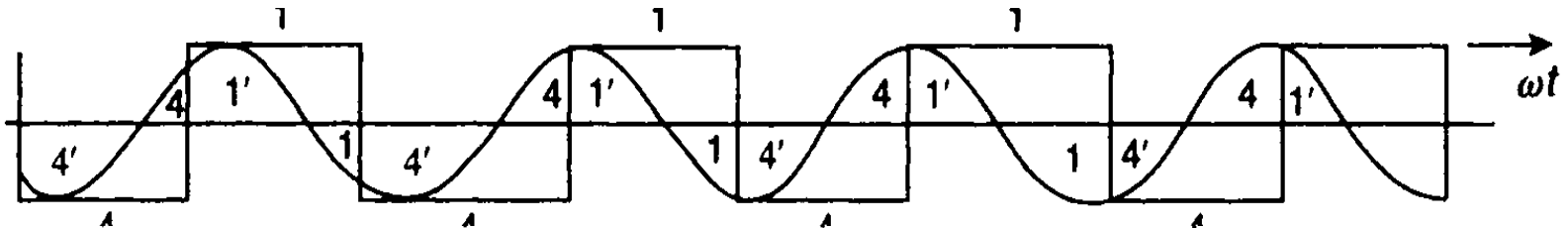
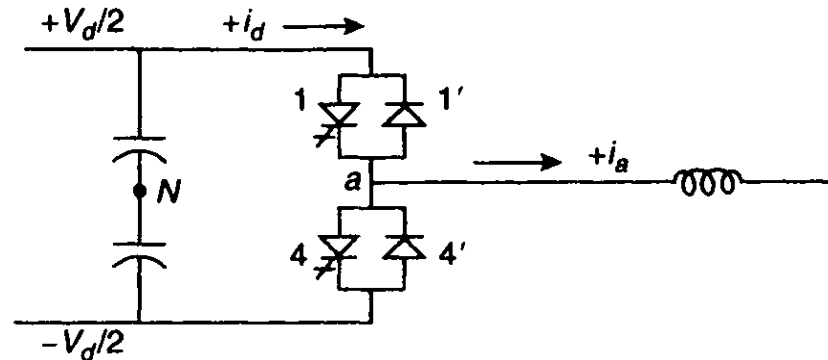
مبادله توان با شبکه AC در مبدل های VSC :



کلیاتی در مورد نحوه تبادل توان :

مبادله توان با شبکه AC در مبدل های VSC :

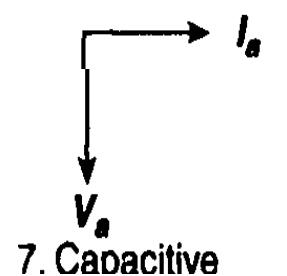
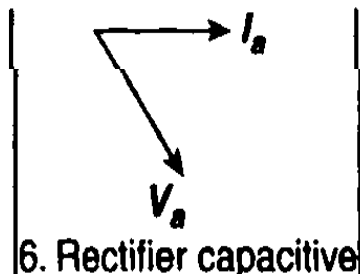
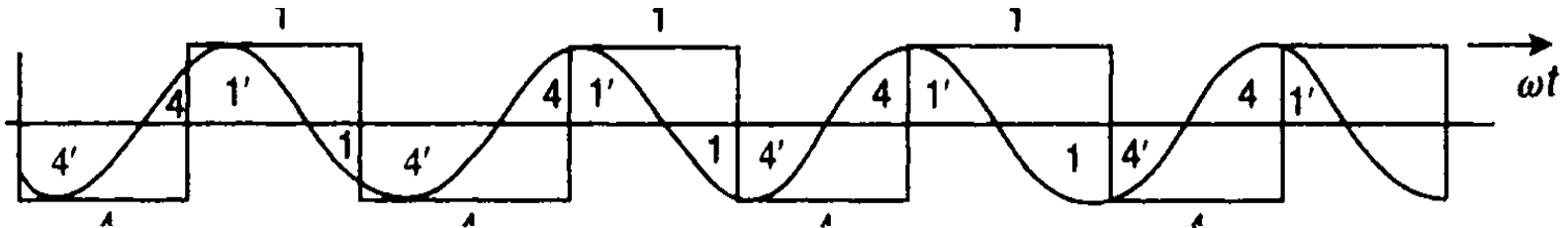
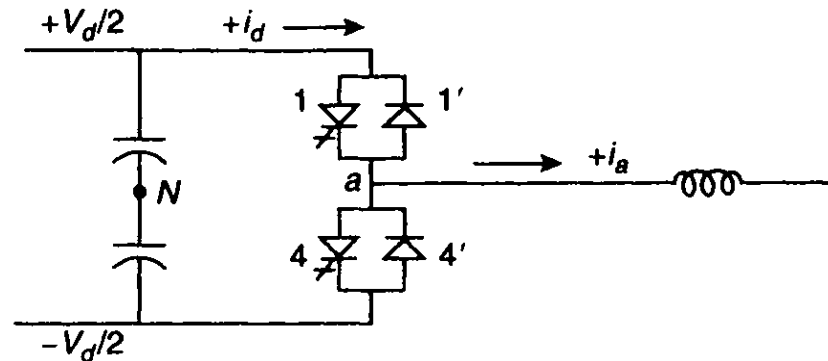
- $-i_a$ Valve 1 on current in 1
- $-i_a$ Valve 4 on current in 4'
- $+i_a$ Valve 1 on current in 1'
- $+i_a$ Valve 4 on current in 4



کلیاتی در مورد نحوه تبادل توان :

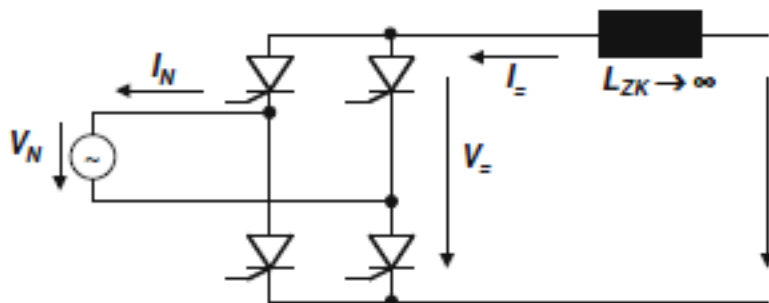
مبادله توان با شبکه AC در مبدل های VSC :

- $-i_a$ Valve 1 on current in 1
- $-i_a$ Valve 4 on current in 4'
- $+i_a$ Valve 1 on current in 1'
- $+i_a$ Valve 4 on current in 4



کلیاتی در مورد نحوه تبادل توان :

مبادله توان با شبکه AC در مبدل های VSC :



$P_{dc} > 0$ یکسو ساز

$P_{dc} < 0$ اینورتر

هرچه کلید ها بیشتر روشن باشند ، عمل اینورتری بر یکسو سازی رجحان پیدا می کند و در نهایت مبدل به صورت متوسط به صورت اینورتری عمل می کند.

