

دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

نام درس: الکترونیک صنعتی

جلسه ۱۱: مبدل‌های AC به AC

ارائه دهنده: علی دستفان

دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

مقدمه

مبدل‌های AC به AC، که کنترل‌کننده ولتاژ AC نیز نامیده می‌شود، مبدلی است که ولتاژ، جریان و توان متوسط انتقال یافته از یک منبع AC به یک بار AC را کنترل می‌کند. کلیدهای الکترونیکی، اتصال منبع و بار را در فاصله زمانی‌های معین قطع و وصل می‌کنند. در یک روش کلیدزنی که کنترل فاز نامیده می‌شود، عمل کلیدزنی در طول هر دوره تناوب منبع اتفاق می‌افتد تا بخشی از شکل موج منبع را قبل از این که به بار برسد حذف کند. این نوع مبدل‌ها فقط قادر به کنترل دامنه خروجی هستند. دسته مهم دیگری از این مبدل‌ها، سیکلوانورترها هستند که علاوه بر دامنه خروجی، بر روی فرکانس خروجی نیز کنترل دارند.

مبدل‌های AC به AC استفاده‌های عملی مختلفی دارد که شامل مدارهای دیمر روشنایی، کنترل سرعت موتورهای القایی، کاربرد در تب خروجی ترانسهای قدرت می‌باشد.

دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

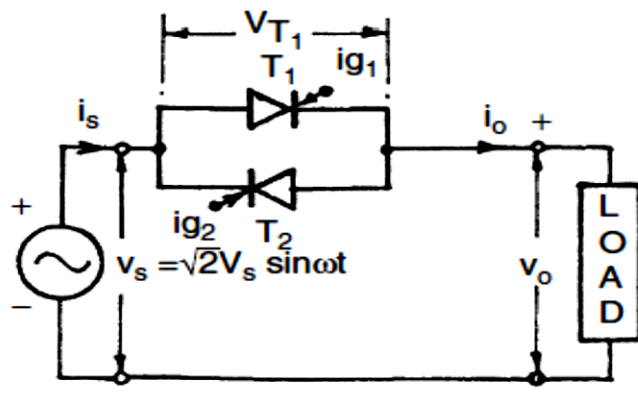
مقدمه

- هدف تبدیل سیگنال AC به AC فقط با یک مبدل است.
- کنترل (تغییر) دامنه و فرکانس از اهداف است.
- در تمامی این مبدلها نیاز به کلید دو طرفه هست.

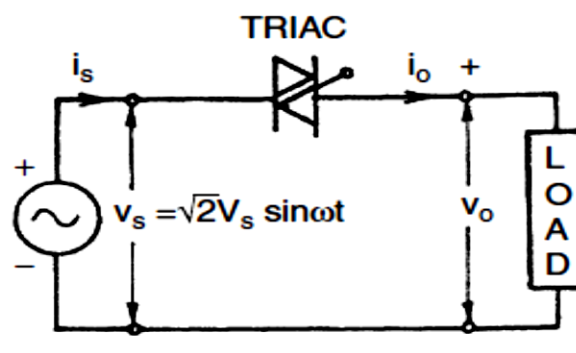
- مبدل‌های کنترل فاز
 - تک فاز
 - سه فاز
- چاپرهای (برشگرهای) AC
- سیکلوانورترها
- مبدل‌های ماتریسی

دانشگاه صنعتی شاهرود - دانشکده مهندسی برق

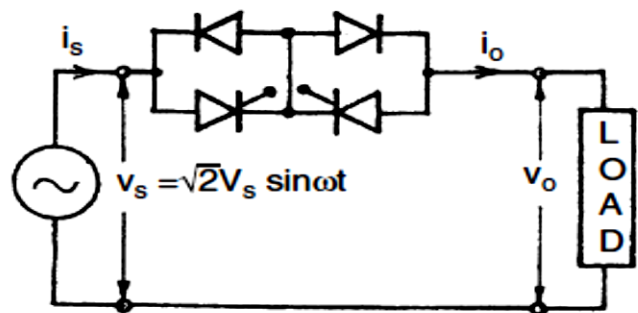
کلید دو طرفه



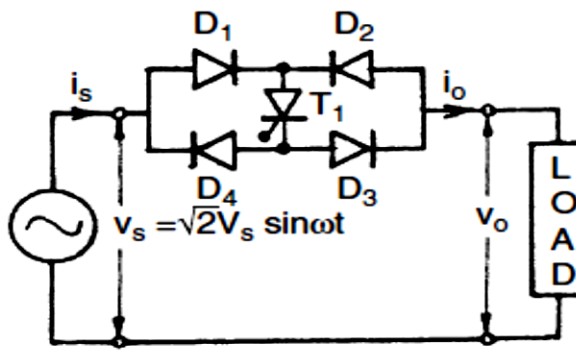
(a)



(b)



(c)



(d)

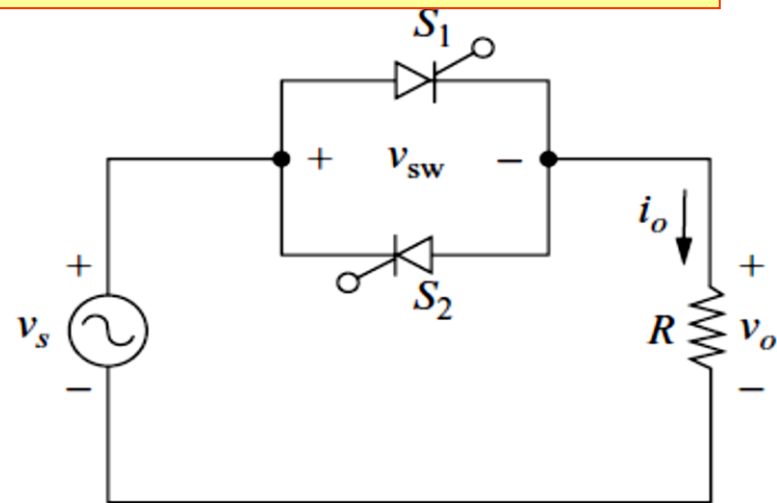
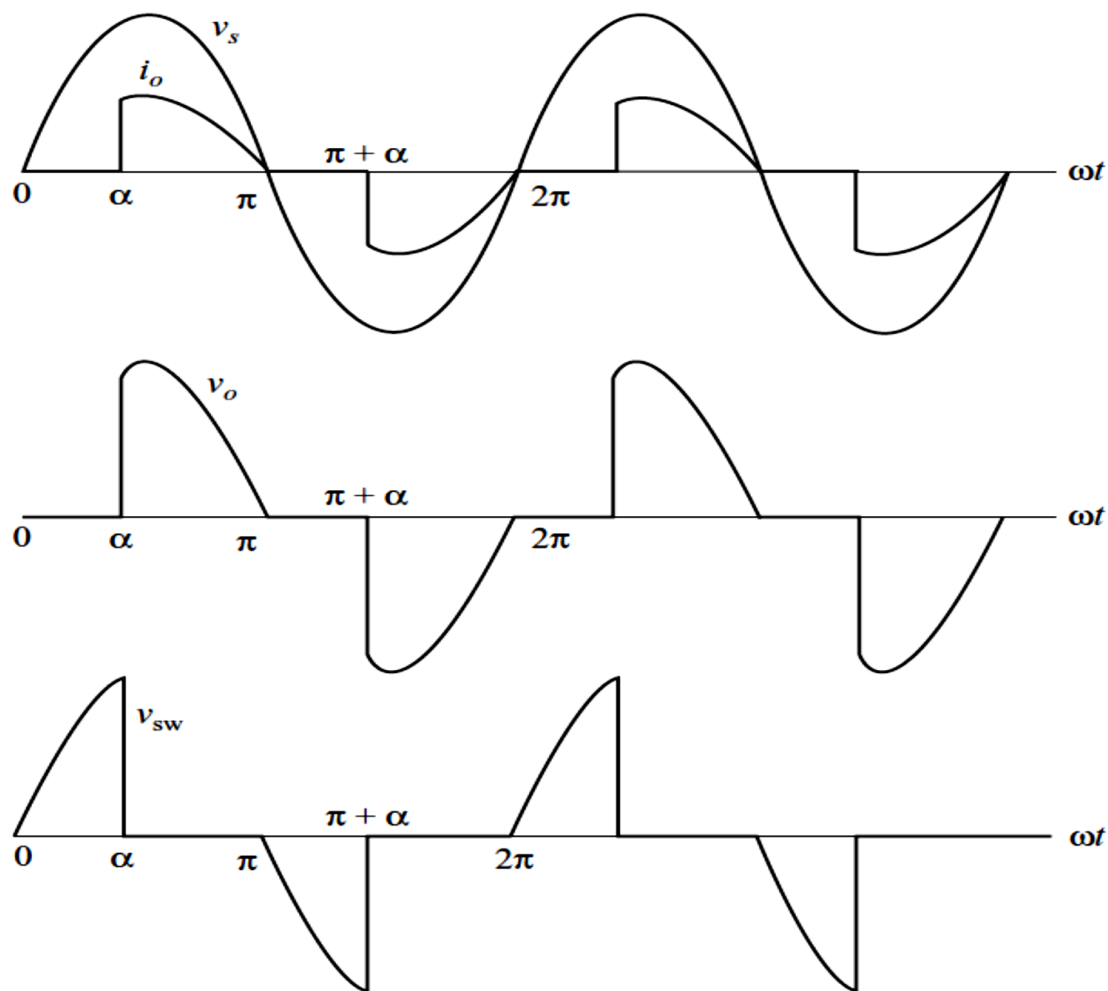
دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

نکات مهم

- تریستورها نمی توانند به طور همزمان هدایت کنند.
- هنگامی که هر کدام از تریستورها روشن باشند، ولتاژ بار برابر ولتاژ منبع می باشد. هنگامی که هر دو تریستور خاموش باشند، ولتاژ بار صفر می باشد.
- ولتاژ کلید هنگامی که هر کدام از تریستورها روشن باشد صفر است و زمانی که هیچ کدام روشن نباشند معادل ولتاژ منبع است.
- اگر دو تریستور برای فاصله زمانی یکسان روشن باشند، جریان متوسط در منبع و بار صفر است. جریان متوسط در هر تریستور صفر نیست زیرا جریان تریستور یک طرفه است.
- اگر دو تریستور برای فاصله زمانی یکسان روشن باشند، جریان RMS در هر تریستور برابر جریان RMS بار می باشد.

دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

بار اهمی

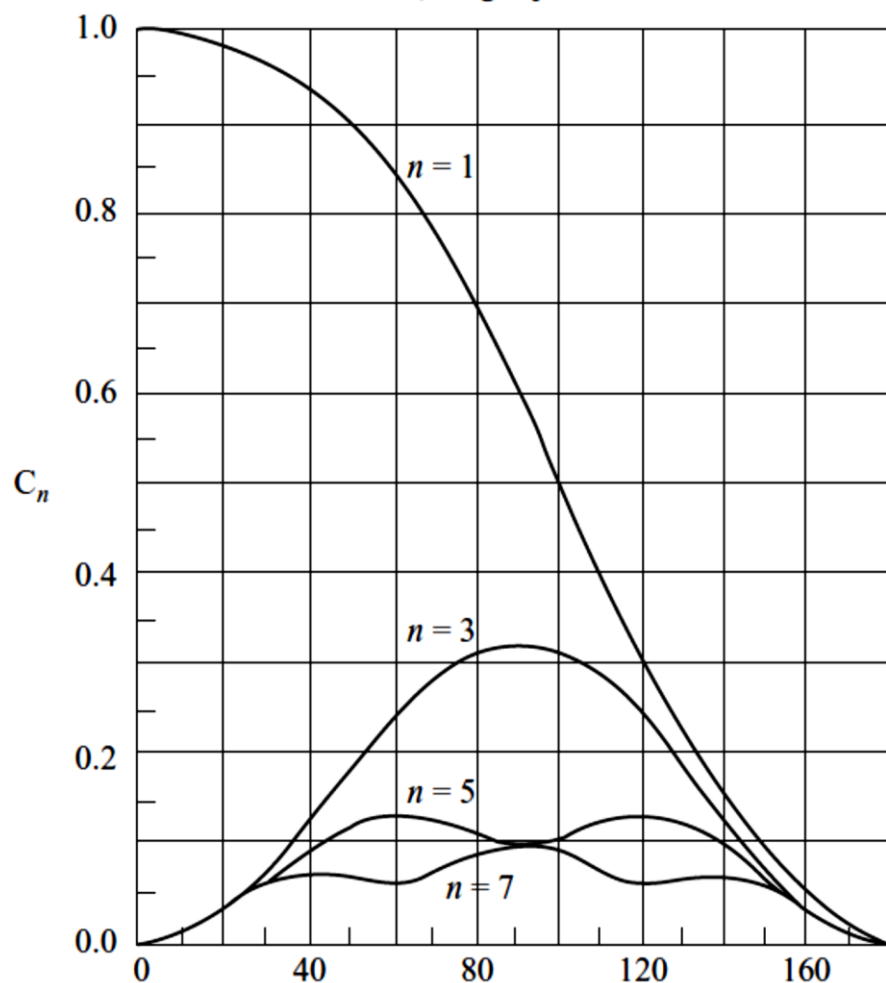


$$V_{o,rms} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} [V_m \sin(\omega t)]^2 d(\omega t)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}}$$

دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

محتوای هارمونیک نرمالیزه شده در بار اهمی

Harmonics, Single-phase Controller



$$I_{SCR,avg} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \frac{V_m \sin(\omega t)}{R} d(\omega t) = \frac{V_m}{2\pi R} (1 + \cos \alpha)$$

$$I_{o,rms} = \frac{V_{o,rms}}{R} \quad I_{SCR,rms} = \frac{I_{o,rms}}{\sqrt{2}}$$

$$pf = \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}}$$

دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

مثال ۱

کنترل کننده ولتاژ AC تک فاز شکل ۵-۱ (الف)، یک منبع با 120 V RMS و فرکانس 60 Hz دارد. مقاومت بار $15\ \Omega$ می باشد. مطلوبست تعیین: (الف) زاویه تأخیر مورد نیاز برای انتقال 500 W به بار، (ب) جریان RMS منبع، (ج) جریان های متوسط و RMS در تریستورها، (د) ضریب قدرت و (ر) اعوجاج هارمونیکی کلی (THD) برای جریان منبع.

$$P = \frac{V_{o,rms}^2}{R}$$

حل:
(الف)

$$V_{o,rms} = \sqrt{PR} = \sqrt{(500)(15)} = 86.6\text{ V}$$

$$86.6 - 120 \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}} = 0$$

$$\alpha = 1.54\text{ rad} = 88.1^\circ$$

(ب)

$$I_{o,rms} = \frac{V_{o,rms}}{R} = \frac{86.6}{15} = 5.77\text{ A}$$

دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

مثال ۱ (ادامه)

(ج)

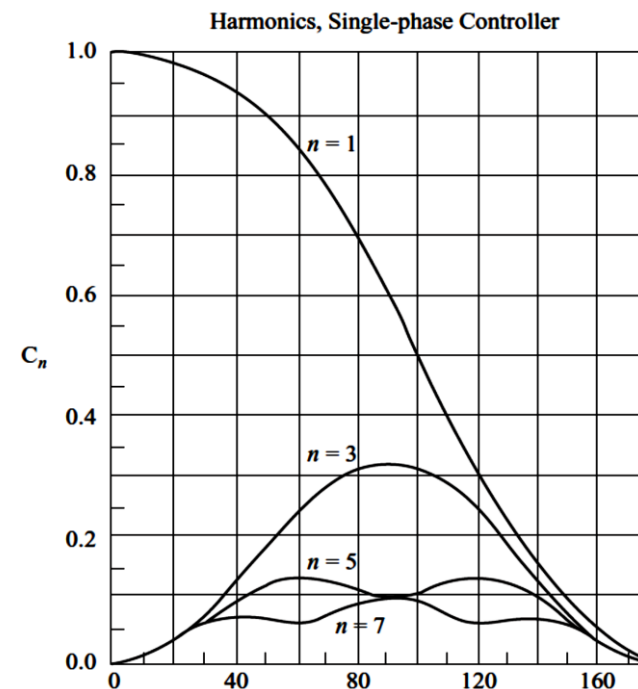
$$I_{SCR,rms} = \frac{I_{rms}}{\sqrt{2}} = \frac{5.77}{\sqrt{2}} = 4.08 \text{ A} \quad I_{SCR,avg} = \frac{\sqrt{2}(120)}{2\pi(15)} [1 + \cos(88.1^\circ)] = 1.86 \text{ A}$$

$$pf = \frac{P}{S} = \frac{500}{(120)(5.77)} = 0.72 \quad (د)$$

$$I_{base} = \frac{V_{s,rms}}{R} = \frac{120}{15} = 8.0 \text{ A} \quad (ر)$$

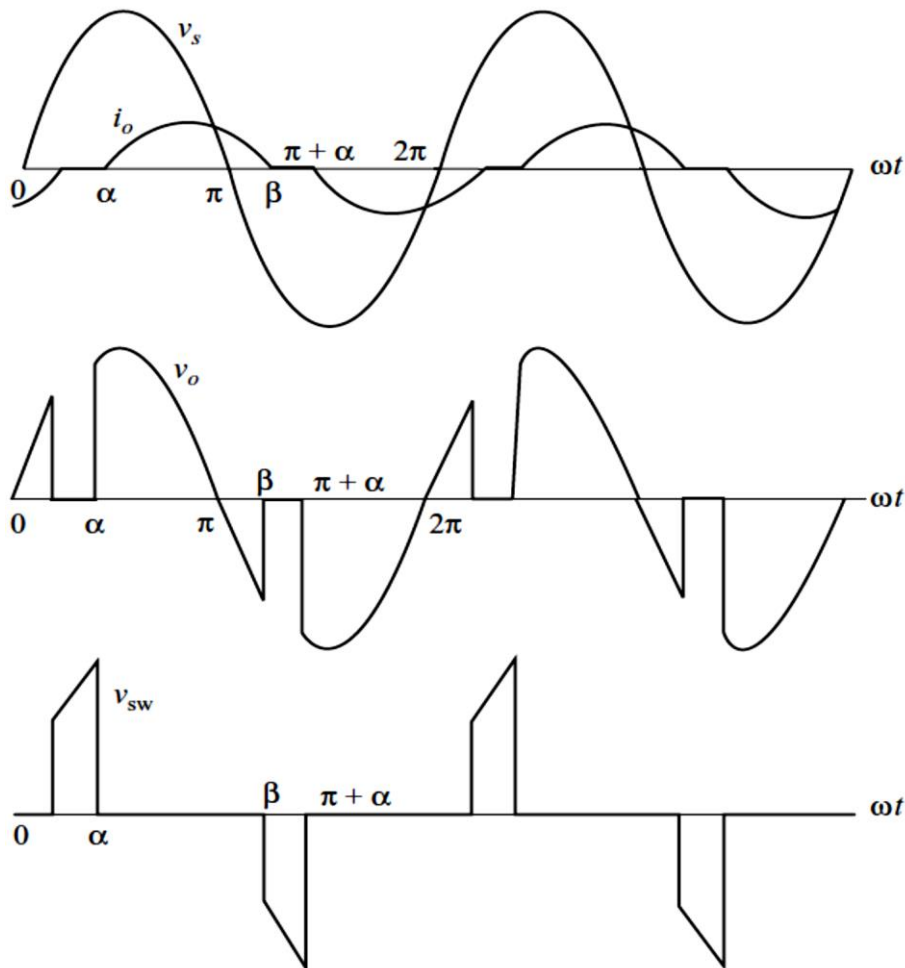
$$C_1 \approx 0.61 \Rightarrow I_{1,rms} = C_1 I_{base} = (0.61)(8.0) = 4.9 \text{ A}$$

$$THD = \frac{\sqrt{I_{rms}^2 - I_{1,rms}^2}}{I_{1,rms}} = \frac{\sqrt{5.77^2 - 4.9^2}}{4.9} = 0.63 = 63\%$$



دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

بار RL



$$V_m \sin(\omega t) = Ri_o(t) + L \frac{di_o(t)}{dt}$$

$$i_o(\omega t) = \begin{cases} \frac{V_m}{Z} [\sin(\omega t - \theta) - \sin(\alpha - \theta)e^{(\alpha - \omega t)/\omega\tau}] & \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\alpha \geq \beta - \pi$$

$$I_{o,rms} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\beta} i_o^2(\omega t) d(\omega t)}$$

دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

مثال ۲

برای کنترل‌کننده ولتاژ تکفاز شکل ۵-۴ (الف)، منبع دارای $V_{RMS} = 120$ در فرکانس 60 Hz می‌باشد. بار یک مجموعه سری RL می‌باشد که $R = 20\ \Omega$ و $L = 50\text{ mH}$ است. زاویه تأخیر، α ، 90° درجه است. مطلوب‌ست محاسبه: (الف) عبارتی برای جریان بار برای اولین نیم دوره تناوب، (ب) جریان بار RMS ، (ج) جریان تریستور RMS ، (د) جریان متوسط تریستور، (ر) توان منتقل شده به بار و (ز) ضریب توان.

حل: الف)

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{(20)^2 + [(377)(0.05)]^2} = 27.5\ \Omega$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\omega L}{R} \right) = \tan^{-1} \frac{(377)(0.05)}{20} = 0.756\text{ rad}$$

$$\omega \tau = \omega \left(\frac{L}{R} \right) = 377 \left(\frac{0.05}{20} \right) = 0.943\text{ rad}$$

$$\frac{V_m}{Z} = \frac{120\sqrt{2}}{27.5} = 6.18A \quad \alpha = 90^\circ = 1.57\text{ rad}$$

دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

مثال ۲ (ادامه)

$$\frac{V_m}{Z} \sin(\alpha - \theta) e^{\alpha / \omega \tau} = 23.8 \text{ A}$$

$$i_o(\omega t) = 6.18 \sin(\omega t - 0.7565) - 23.8 e^{-\omega t / 0.943} \quad \text{A} \quad \text{for } \alpha \leq \omega t \leq \beta$$

$$\beta = 3.83 \text{ rad} = 220^\circ$$

زاویه هدایت 130°

$$I_{o,rms} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{1.57}^{3.83} [6.18 \sin(\omega t - 0.756) - 23.8 e^{-\omega t / 0.943}] d(\omega t)} = 2.71 \text{ A} \quad \text{RMS جریانی بار (ب)}$$

$$I_{SCR,rms} = \frac{I_{o,rms}}{\sqrt{2}} = \frac{2.71}{\sqrt{2}} = 1.92 \text{ A} \quad \text{RMS جریانی تریستور (ج)}$$

دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

مثال ۲ (ادامه)

(د) جریان متوسط تریستور،

$$I_{SCR,avg} = \frac{1}{2\pi} \int_{1.57}^{3.83} [6.18 \sin(\omega t - 0.756) - 23.8 e^{-\omega t / 0.943}] d(\omega t) = 1.04 \text{ A}$$

(ر) توان منتقل شده به بار

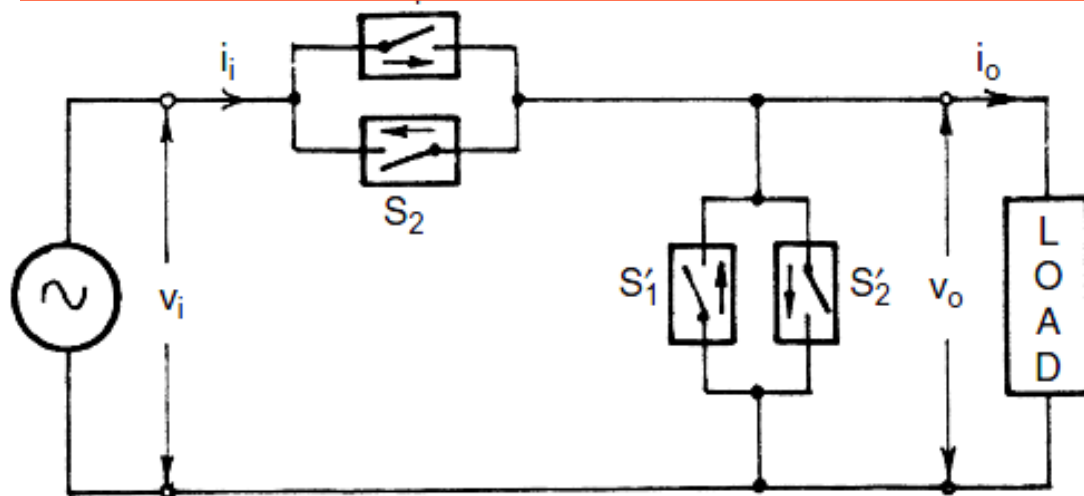
$$P = I_{o,rms}^2 R = (2.71)^2 (20) = 147 \text{ W}$$

(ز) ضریب توان

$$pf = \frac{P}{S} = \frac{P}{V_{s,rms} I_{s,rms}} = \frac{147}{(120)(2.71)} = 0.45 = 45\%$$

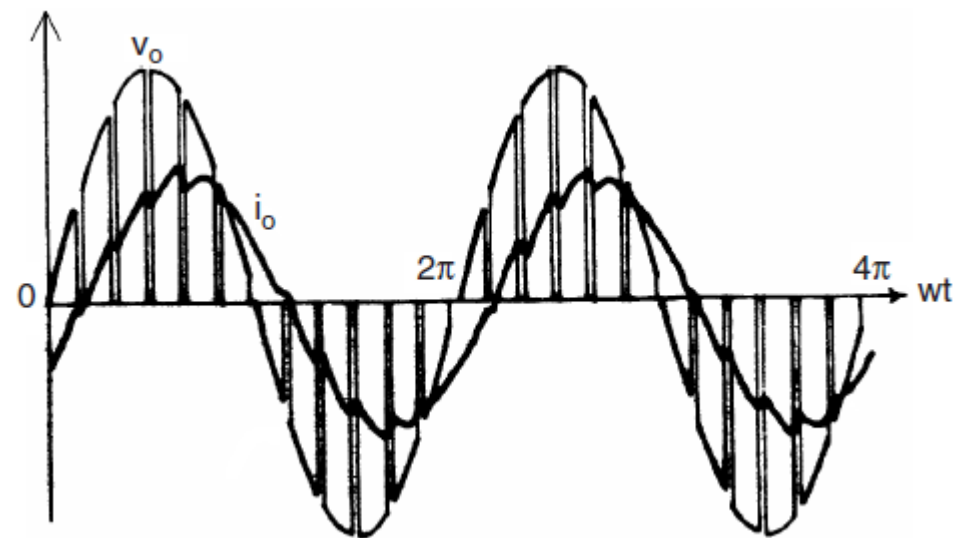
دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

چاپر (برشگر) AC



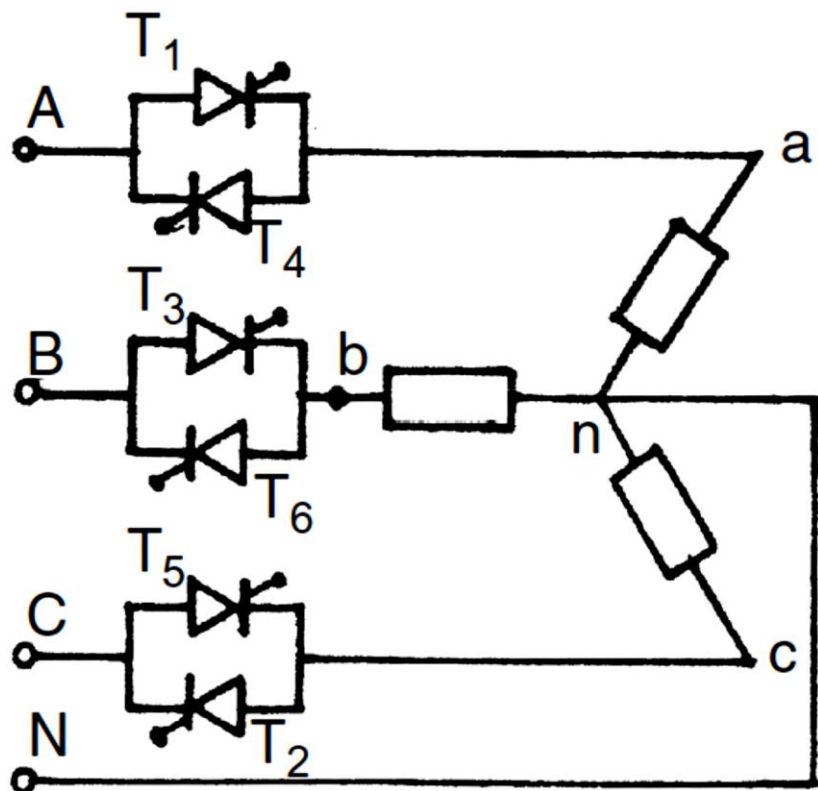
مزایا

- کاهش هارمونیک در ولتاژ خروجی
- کاهش هارمونیک در جریان ورودی
- بهبود ضریب قدرت ورودی



دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

مبدل‌های کنترل فاز سه فاز



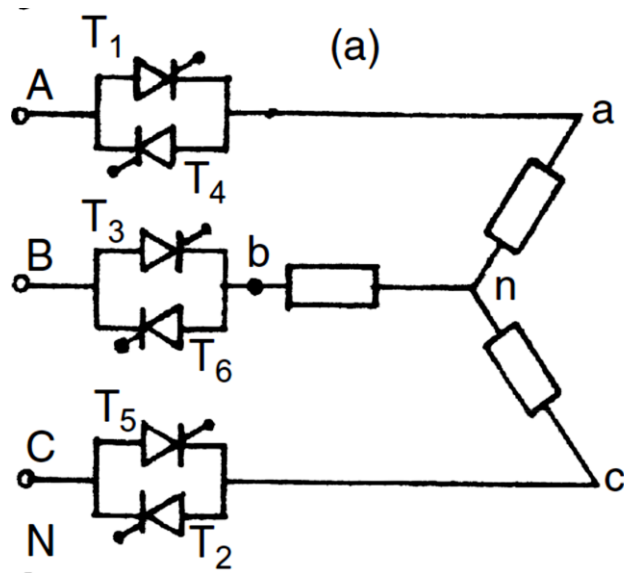
مبدل‌های کنترل فاز (سه فاز) با اتصال ستاره

اگر نقطه اتصال مشترک به نول وصل باشد، هر فاز بصورت مجزا قابل کنترل است.

تجزیه و تحلیل این مدار مشابه کنترل فاز تک فاز هست

دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

مبدل‌های کنترل فاز سه فاز



اگر نقطه اتصال مشترک به نول وصل نباشد، در این صورت بایستی بر اساس هدایت تریستورها وضعیت ولتاژ خروجی را به دست آورد.

- زمانی که سه تریستور روشن هستند (در هر فاز یکی)، هر سه فاز خروجی به منبع وصل می‌شوند. در این حالت ولتاژ دو سر هر فاز بار همان ولتاژ فاز ورودی می‌باشد.
- هنگامی که دو تریستور روشن باشند، ولتاژ خط به خط آن دو فاز به طور مساوی بین دو مقاومت باری که متصل شده‌اند تقسیم می‌گردد.
- اگر هیچ تریستوری روشن نباشد، خروجی صفر است.

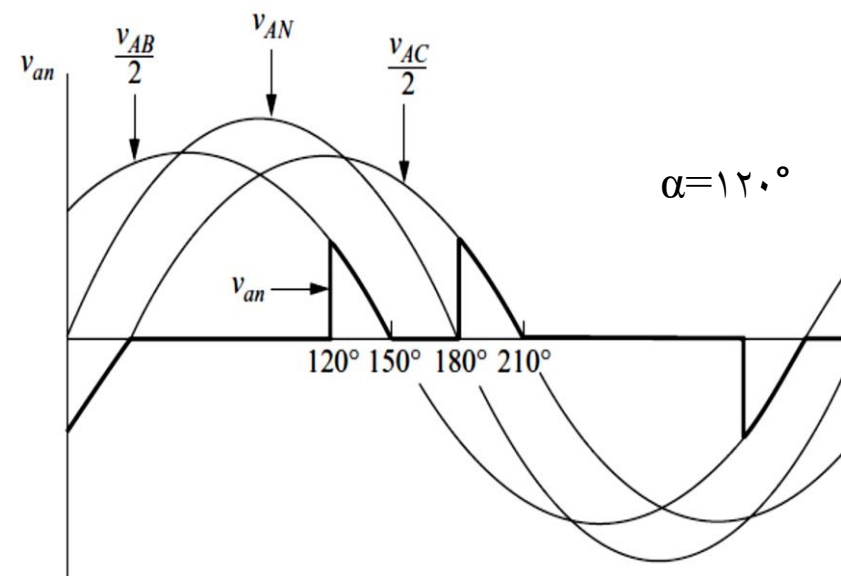
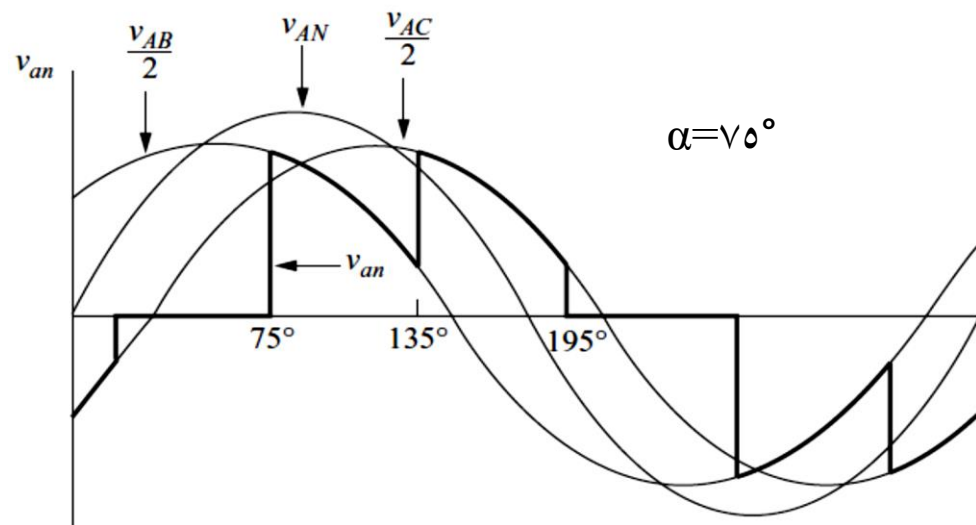
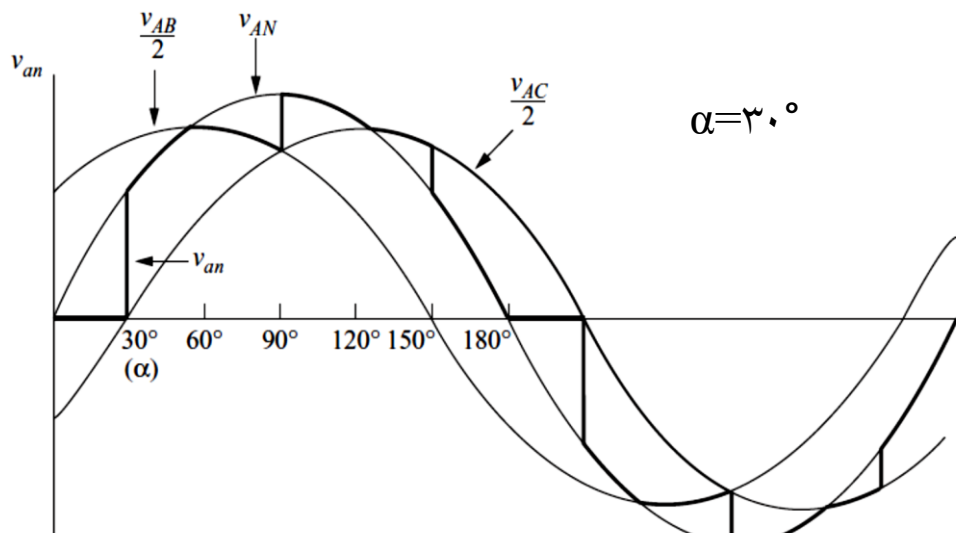
می‌توان با رسم فرمان گیتها به شش تریستور با توجه به زاویه آتش، وضعیت ولتاژ خروجی در فازها را یافت.

اینکه کدام تریستورها هدایت می‌کنند، به زاویه تاخیر و به ولتاژهای منبع در یک لحظه خاص بستگی دارد.

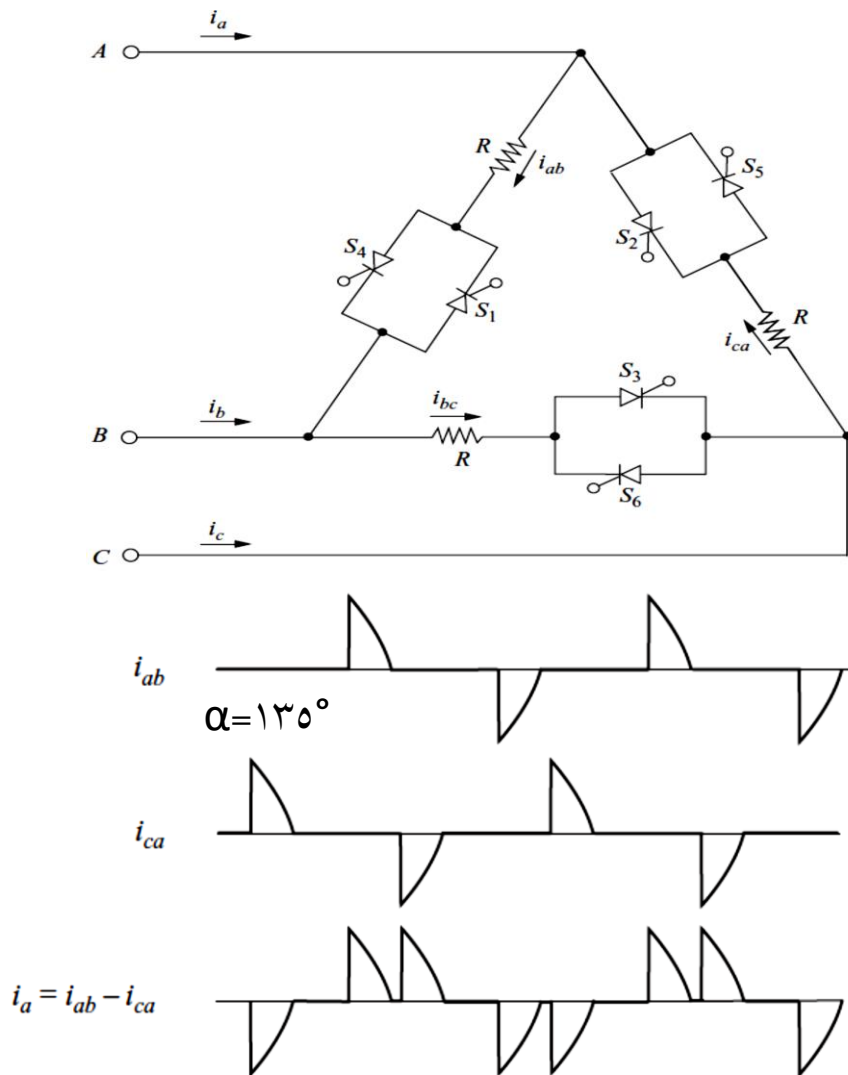
rms ولتاژ فازهای خروجی با توجه به شکل موج بدست آمده، محاسبه می‌شود.

دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

چند نمونه ولتاژ خروجی با زوایای مختلف آتش



دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق



$$i_a = i_{ab} - i_{ca}$$

$$i_b = i_{bc} - i_{ab}$$

$$i_c = i_{ca} - i_{bc}$$

$$\sqrt{2} I_{\Delta, rms} \leq I_{L, rms} \leq \sqrt{3} I_{\Delta, rms}$$

