مروری بر مبدلهای الکترونیک قدرت

مبدل کنترل شده – کموتاسیون طبیعی

- **مبدل کنترل شده با کنترل فاز (phase controlled)**:
  - اندازه ولتاژ یا جریان خروجی با تنظیم کردن ***زاویه فاز روشن شدن کلید***، کنترل می شود.

- **کموتاسیون طبیعی یا کموتاسیون خط**
  (natural commutation or line-frequency converter)
  - کلیدها زمانی خاموش می شوند که جریان بار عبوری از آنها صفر شود.
  - پس فرکانس روشن و خاموش شدن کلیدها با فرکانس ولتاژ سمت ac ، برابر است.

- برای سادگی به

line-frequency phase-controlled converter

مبدل کنترل فاز می گوییم.

اصول کار مبدل کنترل فاز

- یک مبدل دوربعی، که در دوحالت کاری یکسوسازی (rectifier) و اینورتری (inverter) کار می کند.

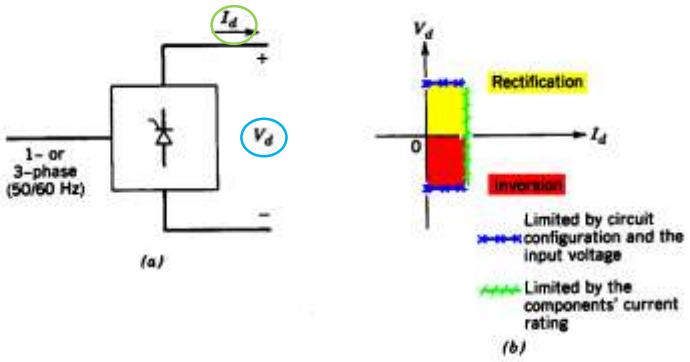
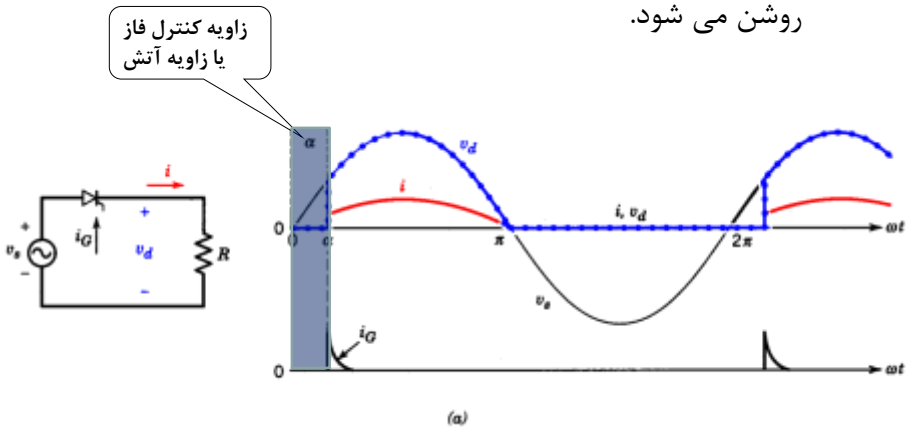


Figure 6-1 Line-frequency controlled converter.

اصول کار مبدل کنترل فاز (ادامه)

- **بار اهمی**
  - با اعمال جریان به گیت، چون ولتاژ دوسر کلید مثبت است، کلید روشن می شود.



اصول کار مبدل کنترل فاز (ادامه)

- **بار اهمی**
  - پالس گیت را α درجه بعد از شروع نیم سیکل مثبت اعمال می کنیم. با این کار ولتاژ خروجی کنترل می شود. α زاویه آتش نامیده می شود.

  - در انتهای نیم سیکل مثبت، جریان صفر می شود و ولتاژ دوسر کلید می خواهد منفی شود. پس کلید دیگر روشن نمی شود و تا ارسال پالس گیت بعدی خاموش باقی می ماند.

اصول کار مبدل کنترل فاز (ادامه)

- **بار اهمی**
  - پارامترهای طراحی:
    - حداکثر ولتاژ دوسر کلید در حالت قطع یا ولتاژ پیک معکوس (Peak Inverse Voltage): برابر حداکثر ولتاژ منبع ($PIV=V_s$)
    - حداکثر جریان کلید: V_s/R
    - جریان موثرکلید: از روی شکل موج جریان محاسبه می شود.

$$\frac{1}{R}\left\{\frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\pi}[\hat{V}\sin(wt)]^2\cdot d(wt)\right\}^{1/2}=\frac{\hat{V}}{2R}\cdot\left\{\frac{1}{\pi}[(\pi-\alpha)+\frac{1}{2}\cdot\sin 2\alpha]\right\}^{1/2}$$

    - جریان گیت و حرارت تولید شده در کلید(که به جریان موثر بستگی دارد)

اصول کار مبدل کنترل فاز (ادامه)

- پارامترهای طراحی:
  - توان مقاومت:

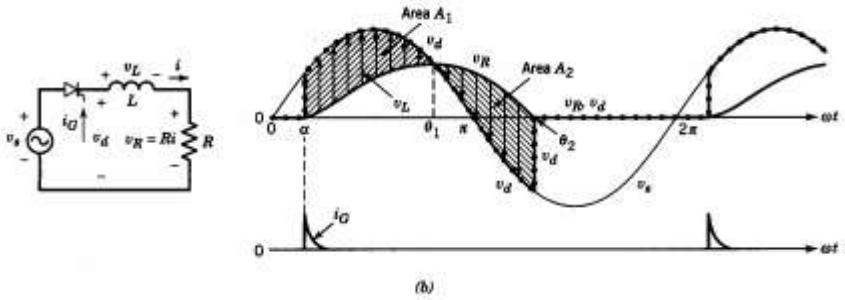
$$\frac{1}{2\pi R}\int_{\alpha}^{\pi}[\hat{V}\sin(wt)]^2\cdot d(wt)=\frac{\hat{V}^2}{4\pi R}\cdot\left\{(\pi-\alpha)+\frac{1}{2}\cdot\sin 2\alpha\right\}$$

- در برخی کاربردها، مثل کاربردهای ولتاژ بالا، مهم است که اجزا مدار تحمل ولتاژ را داشته باشند و از روی سطح قطعات قوس زده نشود.

- طراحی فیلترها: معمولا برای کمترین ولتاژ خروجی طراحی می شوند.

اصول کار مبدل کنترل فاز (ادامه)

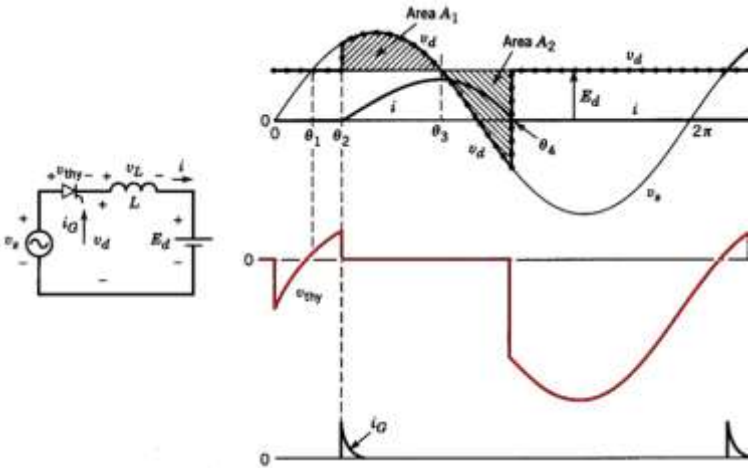
- **بار اهمی-القایی**
  - V_R با جریان متناسب است.
  - تا وقتی که V_L مثبت است، جریان در حال افزایش است و مادامیکه V_L منفی است، جریان کاهش می یابد.



  - جریان در نیم سیکل منفی تداوم دارد تا زمانیکه مساحت ۱ با ۲ برابر شود.

اصول کار مبدل کنترل فاز (ادامه)

- **وجود back-emf در سمت DC**



  - ولتاژ دوسر کلید (PIV) تا V_s+E_d افزایش می یابد.

تولید پالسهای گیت

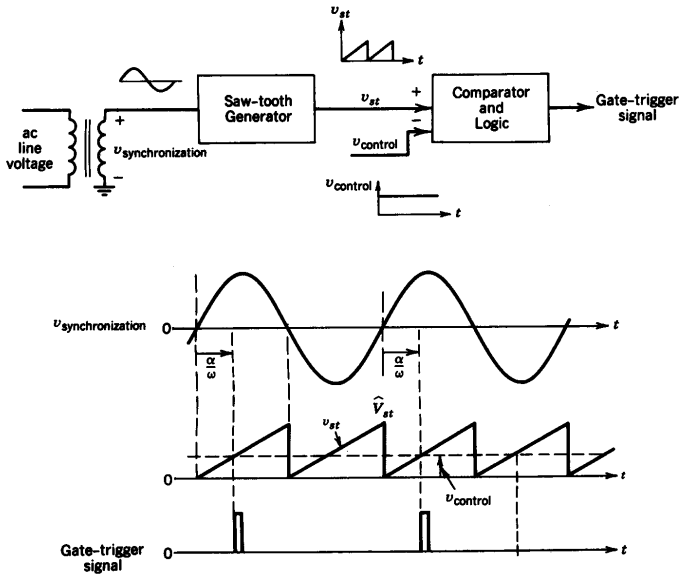


Figure 6-3 Gate trigger control circuit.

نمونه های عملی تر مبدل کنترل شده

- مبدل تمام پل تکفاز یا سه فاز

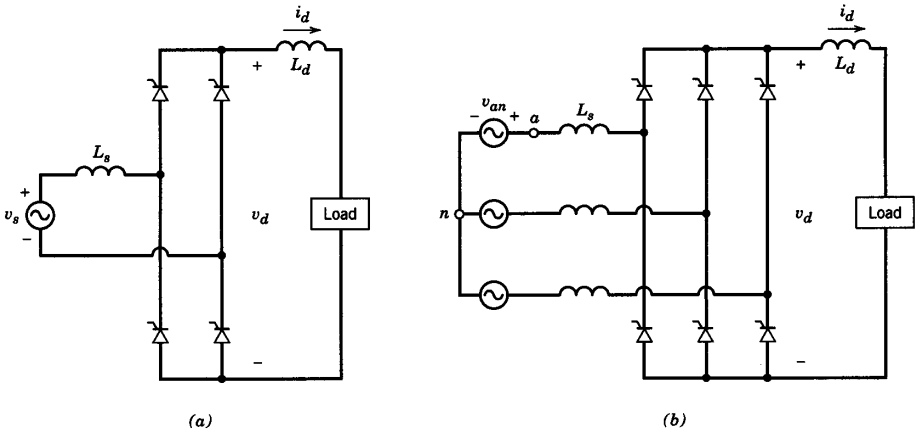


Figure 6-4 Practical thyristor converters.

مبدل تمام پل کنترل شده تکفاز

- **دو ساق دارد و در هر ساق دو تایریستور**
- **با فرضهای ایده آل کننده زیر، مدار را بررسی می کنیم:**
  - جریان بار، DC و ثابت
  - اندوکتانس سمت ac صفر فرض شده

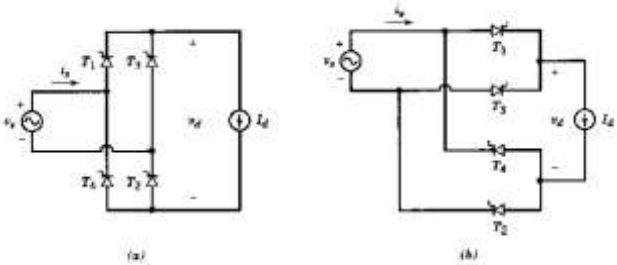
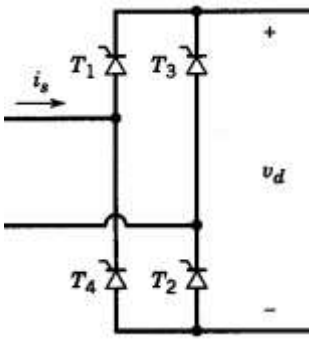


Figure 6-5 Single-phase thyristor converter with $L_s = 0$ and a constant dc current.

مبدل تمام پل کنترل شده تکفاز

- **توجه:** ***این آرایش کلیدها*** **می تواند به صورت مبدل کنترل فاز با کموتاسیون طبیعی استفاده شود یا در حالتهای دیگر، که این حالت ها در بخشهای بعدی بررسی می شوند.**



مبدل تمام پل کنترل شده تکفاز

- عملکرد مبدل کنترل فاز در شرایط ایده آل (جریان بار ثابت – اندوکتانس منبع صفر):

زاویه آتش صفر:
ولتاژ سمت بار – جریان سمت منبع

اگر زاویه آتش غیر صفر:
ولتاژ سمت بار،
جریان بار dc و ثابت است

زاویه آتش غیر صفر:
ولتاژ سمت ac – جریان سمت ac

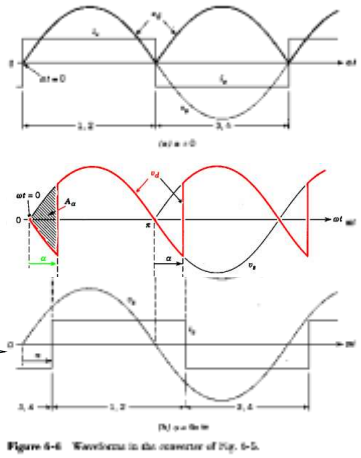
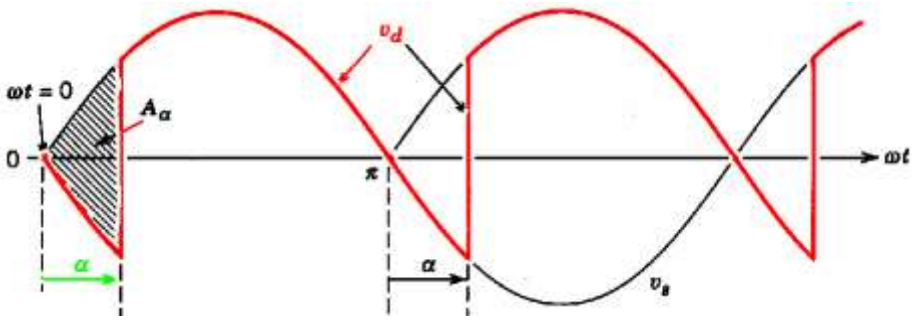


Figure 6-6 Waveforms in the converter of Fig. 6-5.

- مقدار متوسط ولتاژ سمت dc:

$$V_{d\alpha} = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sqrt{2}\cdot\hat{V}\sin(\omega t)\cdot d(\omega t) = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}\hat{V}\cdot\cos\alpha = 0.9\cdot\hat{V}\cdot\cos\alpha$$



- **تغییرات مقدار متوسط ولتاژ سمت dc بر حسب زاویه آتش:**
  - مقدار V_d بر حسب ماکزیمم خود نرمالیزه شده است.

$$\frac{V_{d\alpha}}{V_{d0}} = \frac{0.9\cdot\hat{V}\cdot\cos\alpha}{0.9\cdot\hat{V}\cdot\cos 0} = \cos\alpha$$

$$\Delta V_{d\alpha} = V_{do} - V_{d\alpha} = 0.9V_s(1 - \cos\alpha)$$

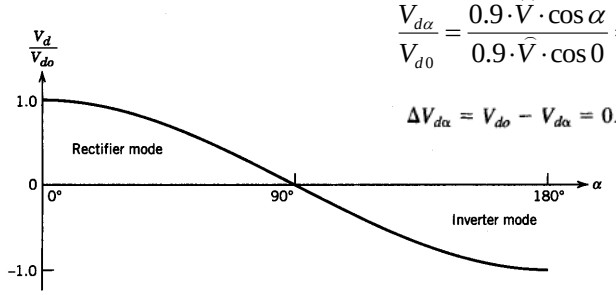


Figure 6-7 Normalized V_d as a function of α.

- **جریان خط سمت ac:**
  - مربعی شکل
  - دارای هارمونیک
  - لحظه عبور از صفر جریان در زاویه α

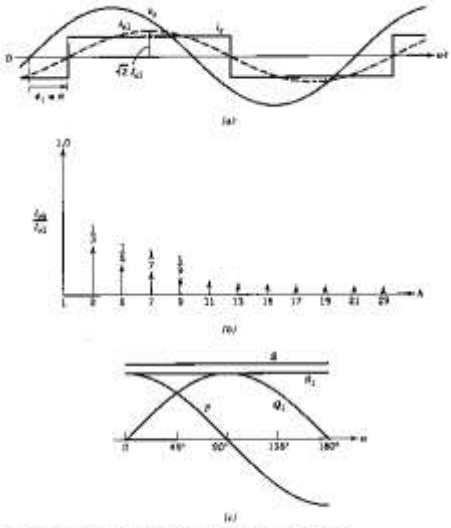


Figure 6-8 The ac-side quantities in the converter of Fig. 6-5.

- **اثر اندوکتانس منبع:**
  - مقاومت منبع قابل چشم پوشی است.
  - اندوکتانس منبع باعث می شود که:
    - در لحظه انتقال جریان از یک ساق به ساق دیگر، یک زاویه همپوشانی و هدایت همزمان بین دو ساق بوجود آید.
    - ایجاد افت ولتاژ و کاهش ولتاژ متوسط خروجی

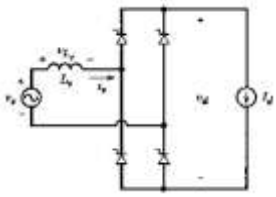


Figure 6-9 Single-phase thyristor converter with a finite L_s and a constant dc current.

- با افزایش زاویه آتش، زاویه همپوشانی کاهش می یابد.

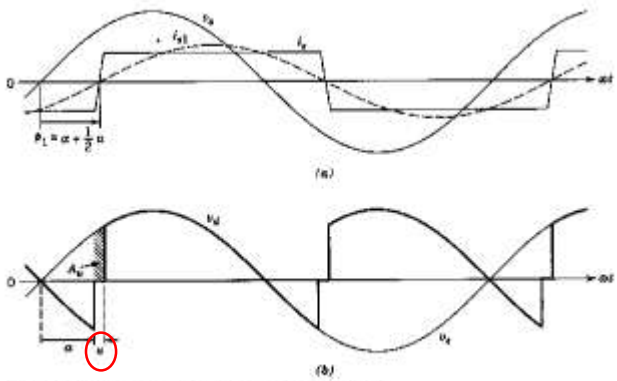


Figure 6-10 Waveforms in the converter of Fig. 6-9.

this commutation process is similar to that in diode bridge rectifiers discussed in Chapter 5. During the commutation interval, all four thyristors conduct, and therefore, $v_d = 0$ and the voltage $v_{L_s} = v_s$ in Fig. 6-9:

$$v_s = v_{L_s} = L_s \frac{di_s}{dt} \tag{6-20}$$

Multiplying both sides by $d(\omega t)$ and integrating over the commutation interval yield

$$\int_{\alpha}^{\alpha+u} \sqrt{2}V_s \sin \omega t \, d(\omega t) = \omega L_s \int_{-I_d}^{I_d} (di_s) = 2\omega L_s I_d \tag{6-21}$$

The left side of Eq. 6-21 is the area A_u (in volt-radians) in Fig. 6-10*b*:

$$A_u = \int_{\alpha}^{\alpha+u} \sqrt{2}V_s \sin \omega t \, d(\omega t) \tag{6-22}$$

Carrying out the integration in Eq. 6-22 and combining with Eq. 6-21 give

$$A_u = \sqrt{2}V_s[\cos \alpha - \cos(\alpha + u)] = 2\omega L_s I_d \tag{6-23}$$

and

$$\cos(\alpha + u) = \cos \alpha - \frac{2\omega L_s I_d}{\sqrt{2}V_s} \tag{6-24}$$

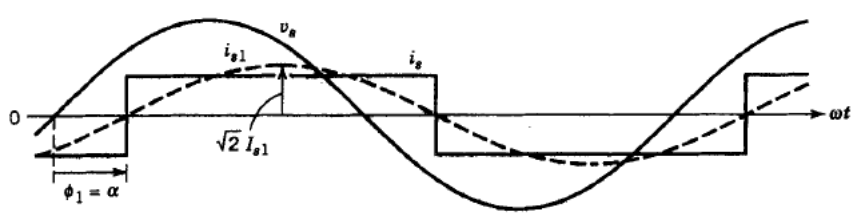
For $\alpha = 0$, Eq. 6-24 is identical to Eq. 5-32 for diode rectifiers. The effect of α on u is shown in Example 6-1.

Comparing the waveforms for v_d in Figs. 6-6*b* and 6-10*b*, we note that L_s results in an additional voltage drop ΔV_{dx}, proportional to the volt-radian area A_u:

$$\Delta V_{dx} = \frac{A_u}{\pi} = \frac{2\omega L_s I_d}{\pi}$$

$$V_d = 0.9V_s \cos \alpha - \frac{2}{\pi} \omega L_s I_d$$

■ ***Example 6-1*** In the converter circuit of Fig. 6-8*a*, L_s is 5% with the rated voltage of 230 V at 60 Hz and the rated volt-amperes of 5 kVA. Calculate the commutation angle u and V_d/V_{do} with the rate input voltage, power of 3 kW, and $\alpha = 30°$.



(*a*)

Solution

The rated current is

$$I_{\text{rated}} = \frac{5000}{230} = 21.74 \text{ A}$$

The base impedance is

$$Z_{\text{base}} = \frac{V_{\text{rated}}}{I_{\text{rated}}} = 10.58\ \Omega$$

Therefore,

$$L_s = \frac{0.05 Z_{\text{base}}}{\omega} = 1.4 \text{ mH}$$

The average power through the converter can be calculated using Eq. 6-26:

$$P_d = V_d I_d = 0.9 V_s I_d \cos\alpha - \frac{2}{\pi}\omega L_s I_d^2 = 3 \text{ kW}$$

Using the given values in the above equation gives

$$I_d^2 - 533.53 I_d + 8928.6 = 0$$

Therefore,

$$I_d = 17.3 \text{ A}$$

Using this value of I_d in Eqs. 6-24 and 6-26 results in

$$u = 5.9^\circ \quad \text{and} \quad V_d = 173.5 \text{ V}$$

- **اثر بار:**
  - اندوکتانس کوچک یا بارهای سبک:
    جریان بار ثابت نیست
    افت ولتاژ ناشی از اندوکتانس منبع باز هم بیشتر

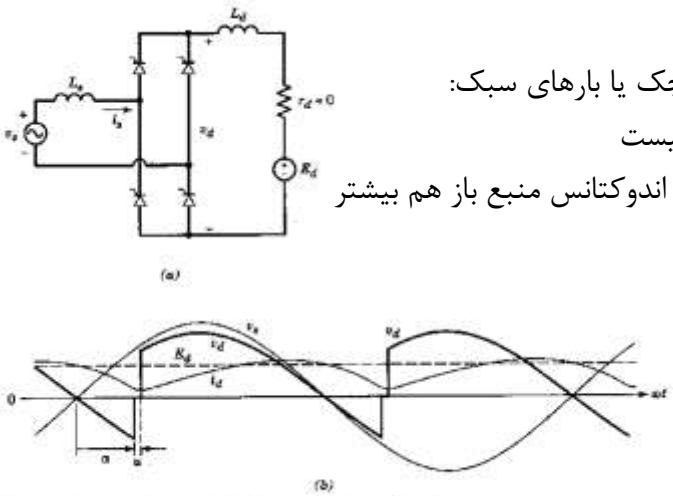


Figure 6-11 (a) A practical thyristor converter. (b) Waveforms.

- **اثر بار:**
  - اندوکتانس کوچک یا بارهای سبک:

    ممکن است جریان پیوسته نشود.

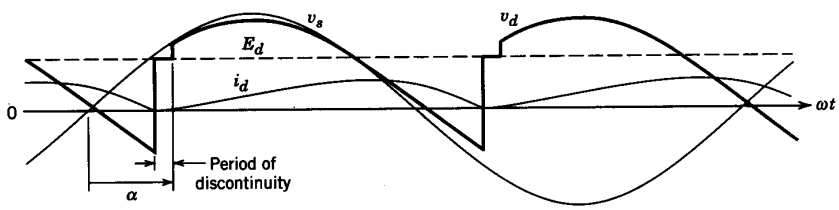


Figure 6-13 Waveforms in a discontinuous-current-conduction mode.

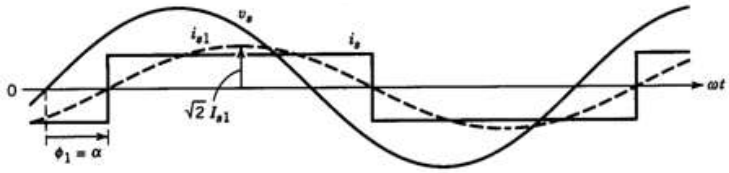
- **یادآوری:**
  - در یک سیستم بدون تلفات، توان برابر است با:

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)\,dt = \frac{1}{T}\int_0^T v_d i_d\,dt$$

$$P = 0.9 \cdot \widehat{V} \cdot I_d \cdot \cos\alpha$$

With a constant dc current ($i_d = I_d$),

$$P = I_d\left(\frac{1}{T}\int_0^T v_d\,dt\right) = I_d V_d = 0.9 V_s I_d \cos\alpha$$



(a)

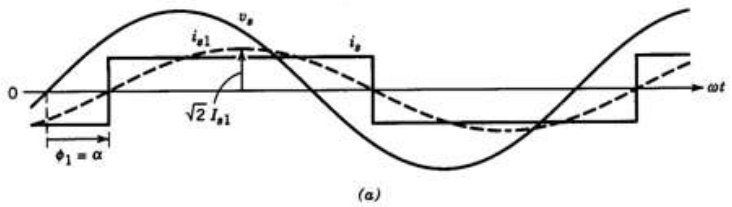
- **یادآوری:**

– ضریب جابجایی: اختلاف فاز بین مولفه اصلی جریان و ولتاژ سینوسی

Displacement power factor:

$$DPF = \cos\varphi$$

– در حالت سینوسی بدون هارمونیک، DPF همان ضریب توان است.



(a)

– ضریب توان:

– Power Factor:

$$PF = \frac{I_{s1}}{I_s}\,\mathrm{DPF} = 0.9\cos\alpha$$

$$PF = \frac{I_1}{I_s}\cdot DPF$$

– ضریب شکل: نسبت مقدار rms به مقدار dc یک شکل موج

– Form Factor:

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}}$$

– ضریب هارمونیک جریان (یا اعوجاج هارمونی کل برای یکسوساز):

$$HF = \sqrt{\frac{I_s^2 - I_1^2}{I_1^2}}$$

• که I_s مقدار موثر و I_1 مقدار موثر مولفه اصلی است.

– ضریب هارمونی nام برای اینورتر:

$$HF_n = \frac{V_n}{V_1}$$

– که V_1 و V_n مقدار موثر مولفه اصلی و هارمونیک nام هستند.

– اعوجاج هارمونی کل برای اینورتر:

– Total Harmonic Distortion:

$$THD = \frac{1}{V_1} \cdot \left(\sum_{n=2,3,\ldots}^{\infty} V_n^2 \right)^{1/2}$$

– اگر از فیلتر استفاده کنیم تاثیر هارمونیکهای مرتبه بالا کاهش می یابد و هر چه مرتبه هارمونیک بالاتر باشد، بیشتر کاهش می یابد. لذا ضریب اعوجاج را به جای THD استفاده می کنیم:

– Distortion Factor:

$$DF = \frac{1}{V_1} \cdot \left(\sum_{n=2,3,\ldots}^{\infty} \left(\frac{V_n}{n^2}\right)^2 \right)^{1/2}$$

– ضریب اعوجاج هارمونی nام:

$$DF_n = \frac{V_n}{V_1 \times n^2}$$