

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

**نام درس: الکترونیک صنعتی**

**جلسه ۶: یکسو کننده های نیم موج**

ارائه دهنده: علی دستفان

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

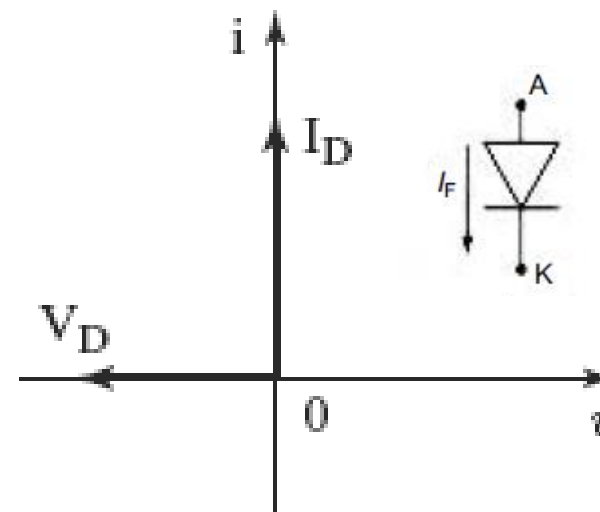
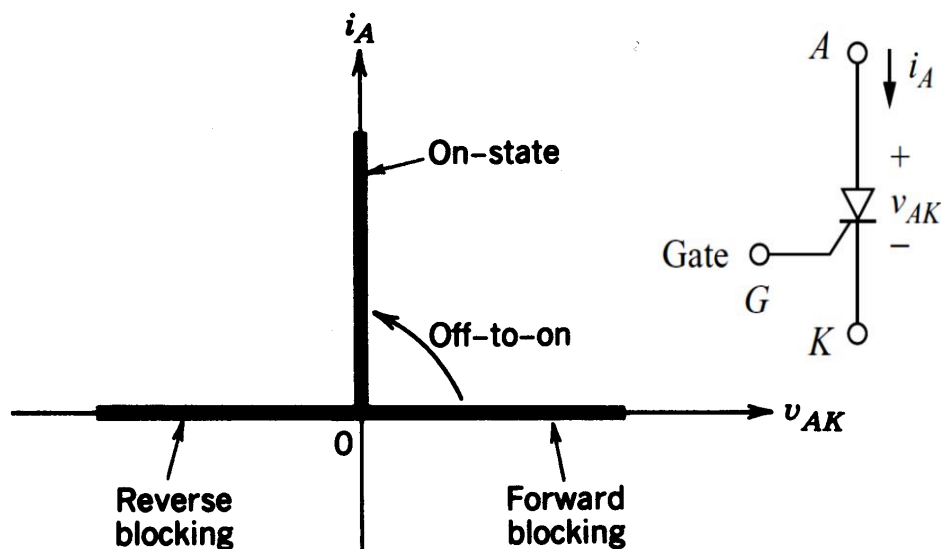
## فهرست مطالب

- یکسوکننده های نیم موج تک فاز دیودی
- یکسوکننده های نیم موج تک فاز تریستوری
- یکسوکننده های نیم موج سه فاز دیودی
- یکسوکننده های نیم موج سه فاز تریستوری

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

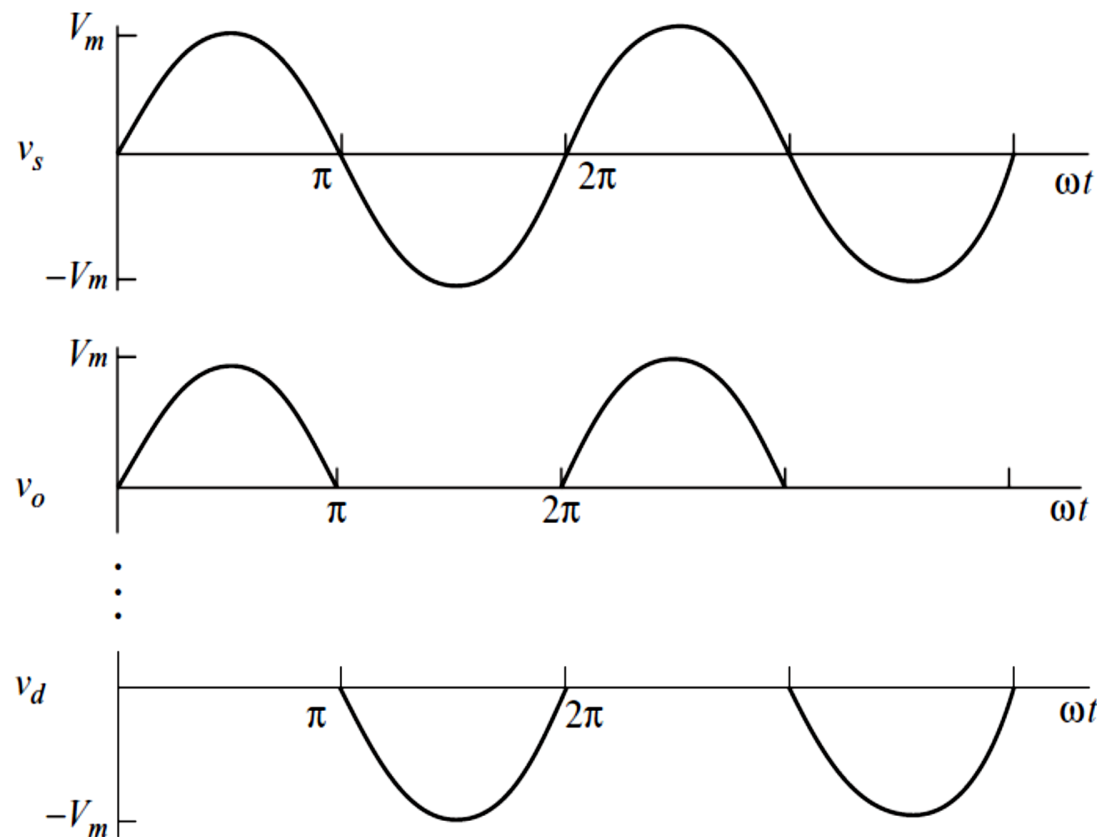
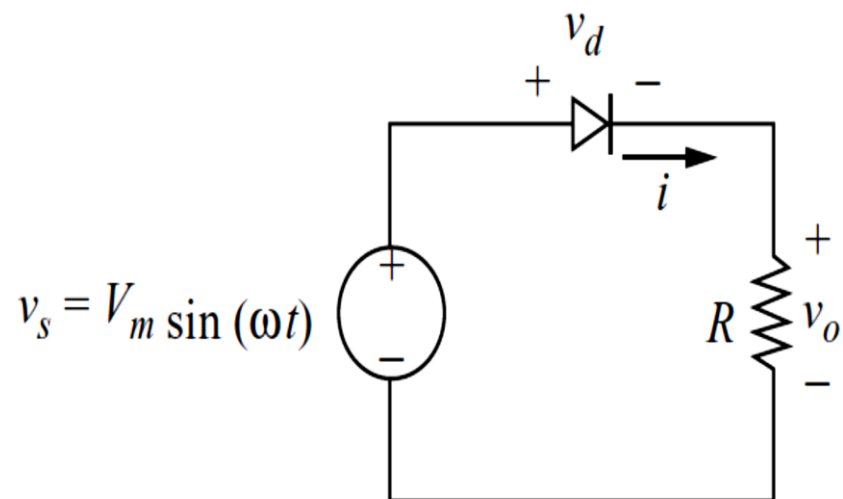
## مقدمه

- یک یکسوساز، AC را به DC تبدیل می کند. هدف یک یکسوکننده ممکن است تولید یک خروجی صرفاً DC باشد و یا ممکن است هدف آن تولید یک شکل موج جریان یا ولتاژ باشد که دارای مؤلفه DC مشخصی باشد.
- هدف از این فصل معرفی یکسو کننده های نیم موج تک فاز و سه فاز دیودی و تریستوری به همراه تجزیه و تحلیل این مبدلها برای بارهای مختلف است.



# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## نیم موج تک فاز دیودی با بار اهمی



# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## نیم موج تک فاز دیودی با بار اهمی

$$V_o = V_{avg} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{V_m}{\pi}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = \frac{V_m}{\pi R}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} [V_m \sin(\omega t)]^2 d(\omega t)} = \frac{V_m}{2}$$

$$pf = \frac{P}{S} = \frac{P}{V_{s,rms} I_{s,rms}}$$

$$I_{rms} = \frac{V_m}{2R}$$

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

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مثال ۱

در یکسوساز نیم موج دیودی با بار اهمی، منبع یک سینوسی  $V_{120}$  با فرکانس  $60\text{ Hz}$  می باشد. مقاومت بار  $5\Omega$  است. مطلوبست تعیین: (الف) جریان متوسط بار، (ب) توان متوسط جذب شده توسط بار و (ج) ضریب قدرت مدار.

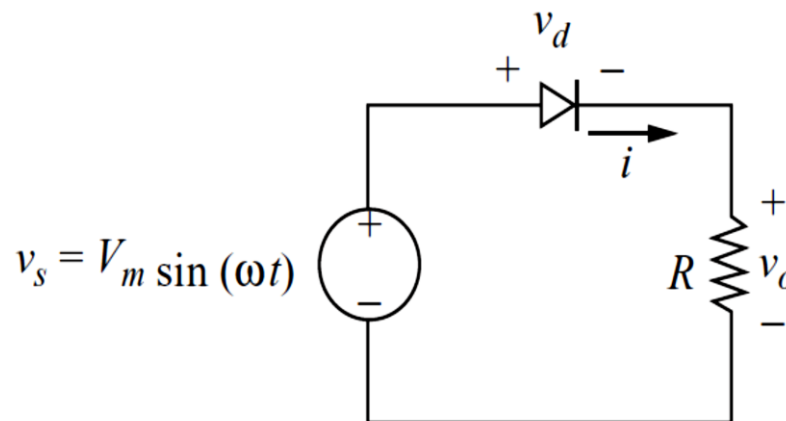
حل:

$$V_m = 120\sqrt{2} = 169.7 \text{ V}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = \frac{V_m}{\pi R} = \frac{\sqrt{2}(120)}{5\pi} = 10.8 \text{ A}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2} = \frac{\sqrt{2}(120)}{2} = 84.9 \text{ V}$$

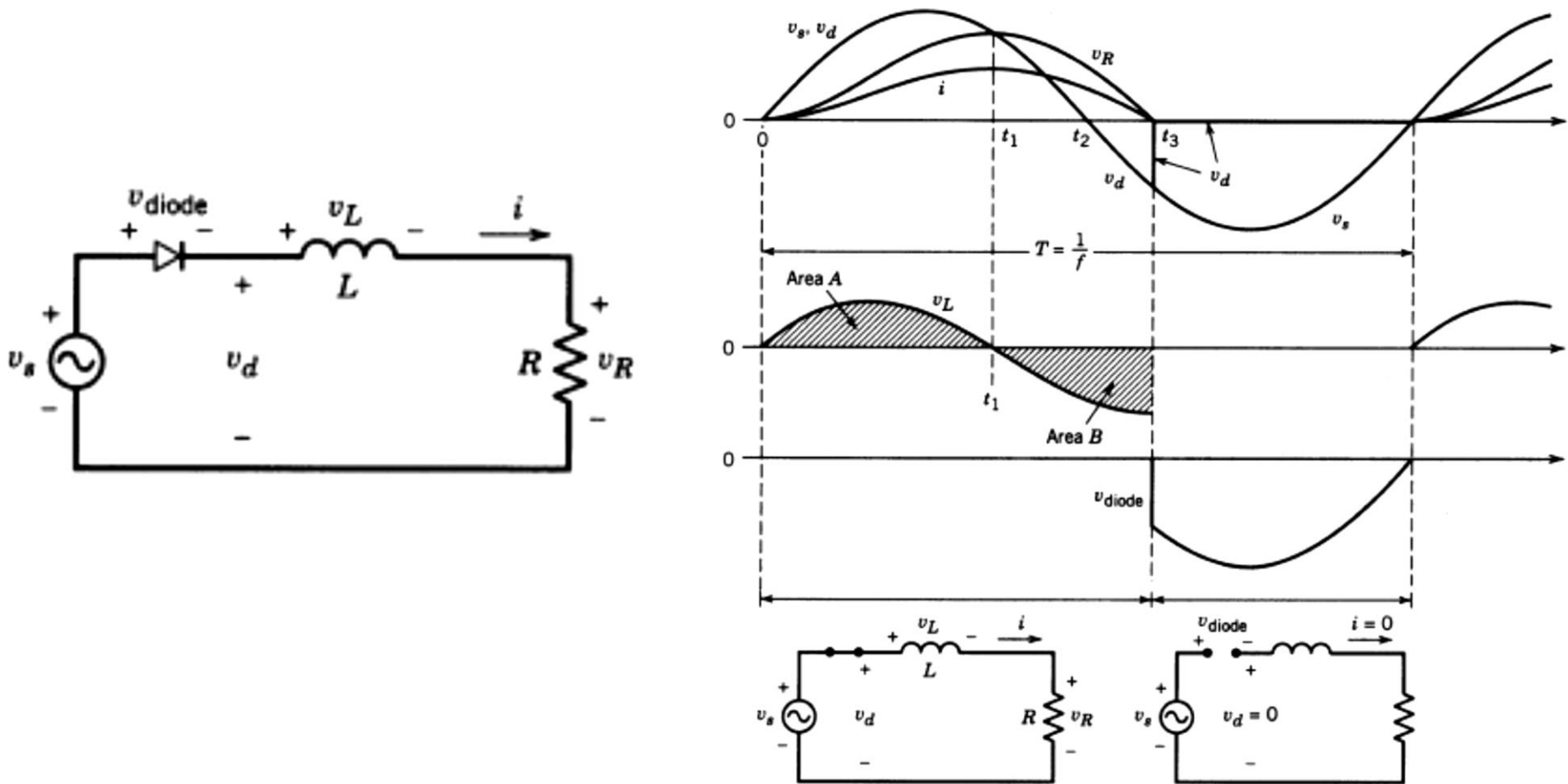
$$P = \frac{V_{rms}^2}{R} = \frac{84.9^2}{4} = 1440 \text{ W}$$



$$\text{pf} = \frac{P}{S} = \frac{P}{V_{s,rms} I_{s,rms}} = \frac{1440}{(120)(17)} = 0.707$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## نیم موج تک فاز دیودی با بار RL



# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## نیم موج تک فاز دیودی با بار RL

$$V_m \sin(\omega t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt}$$

$$Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} = 0 \quad i_n(t) = Ae^{-t/\tau}$$

$$i(t) = i_f(t) + i_n(t)$$

$$i(0) = \frac{V_m}{Z} \sin(0 - \theta) + Ae^0 = 0$$

$$A = -\frac{V_m}{Z} \sin(-\theta) = \frac{V_m}{Z} \sin \theta$$

$$i_f(t) = \frac{V_m}{Z} \sin(\omega t - \theta)$$

$$i(t) = \frac{V_m}{Z} \sin(\omega t - \theta) + \frac{V_m}{Z} \sin(\theta) e^{-t/\tau}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\omega L}{R} \right) \quad Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

$$= \frac{V_m}{Z} [\sin(\omega t - \theta) + \sin(\theta) e^{-t/\tau}]$$

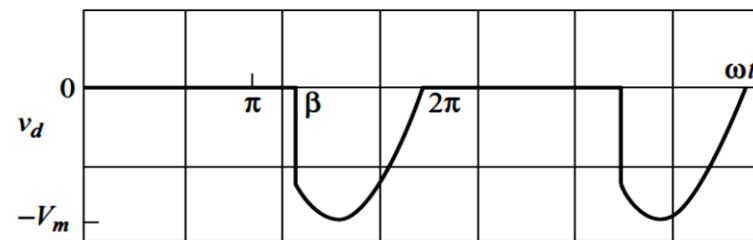
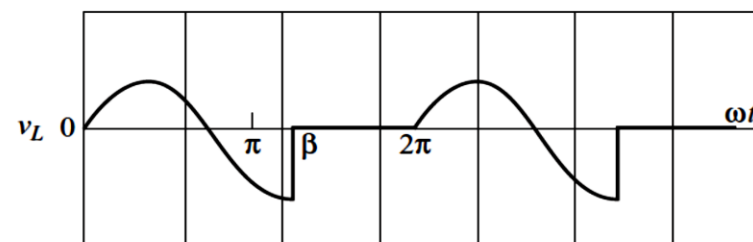
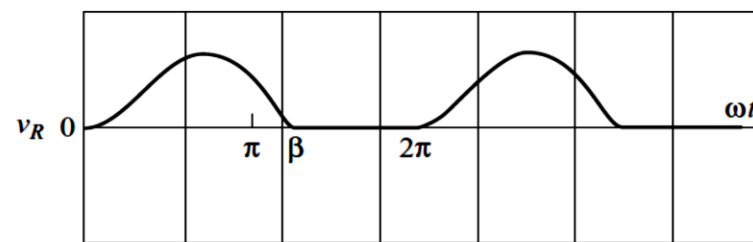
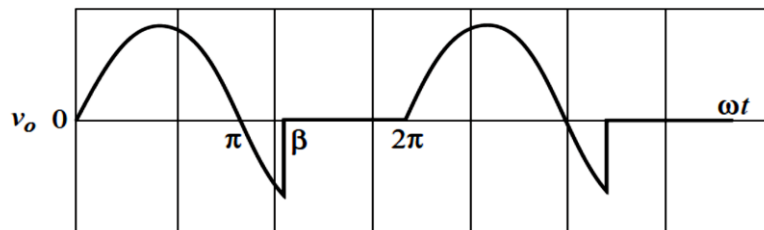
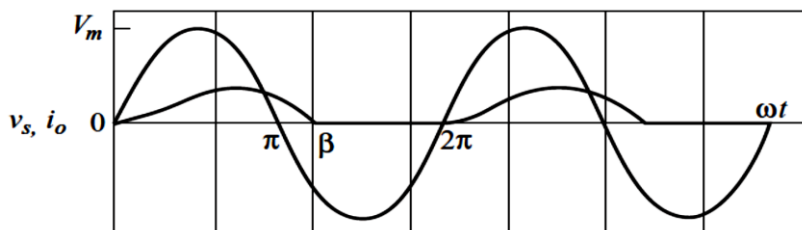


# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## نیم موج تک فاز دیودی با بار RL

$$i(\beta) = \frac{V_m}{Z} [\sin(\beta - \theta) + \sin(\theta)e^{-\beta/\omega\tau}] = 0$$

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\beta V_m \sin(\omega t) d(\omega t)$$



# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## نیم موج تک فاز دیودی با بار RL

$$i(\omega t) = \begin{cases} \frac{V_m}{Z} [\sin(\omega t - \theta) + \sin(\theta)e^{-\omega t / \omega \tau}] & \text{for } 0 \leq \omega t \leq \beta \\ 0 & \text{for } \beta \leq \omega t \leq 2\pi \end{cases}$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i^2(\omega t) d(\omega t)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\beta} i^2(\omega t) d(\omega t)}$$

ایراد:

وابستگی ولتاژ و جریان خروجی به بار

$$I_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\beta} i(\omega t) d(\omega t)$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مثال ۲

در یکسوساز نیم موج شکل ۳-۲ (الف)،  $R=100\ \Omega$ ،  $L=0.1\ \text{H}$ ،  $\omega=377\ \text{rad/s}$  و  $V_m=100\ \text{V}$  می باشد. مطلوبست تعیین: (الف) یک عبارت برای جریان در این مدار، (ب) جریان متوسط (ج) جریان rms، (د) توان جذب شده توسط بار  $RL$  و (ر) ضریب قدرت.

$$Z = [R^2 + (\omega L)^2]^{0.5} = 106.9\ \Omega$$

$$\theta = \tan^{-1}(\omega L / R) = 20.7^\circ = 0.361\ \text{rad}$$

$$\omega t = \omega L / R = 0.377\ \text{rad}$$

$$i(\omega t) = 0.936 \sin(\omega t - 0.361) + 0.331 e^{-\omega t / 0.377}\ \text{A} \quad 0 \leq \omega t \leq \beta$$

$$\sin(\beta - 0.361) + \sin(0.361) e^{-\beta / 0.377} = 0$$

با استفاده از یک برنامه عددی برای یافتن ریشه،  $\beta$  مقدار برابر  $3/5\ \text{rad}$  یا  $20.1^\circ$  بدست می آید.

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## ادامه مثال ۲

$$I_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{3.50} [0.936 \sin(\omega t - 0.361) + 0.331 e^{-\omega t / 0.377}] d(\omega t) = 0.308 \text{ A}$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{3.50} [0.936 \sin(\omega t - 0.631) + 0.331 e^{-\omega t / 0.377}]^2 d(\omega t)} = 0.474 \text{ A}$$

$$P = I_{rms}^2 R = (0.474)^2 (100) = 22.4 \text{ W}$$

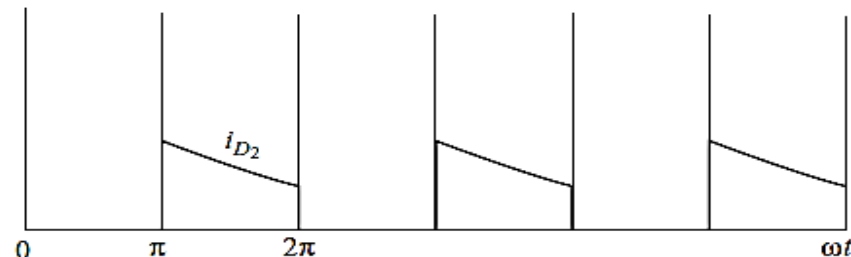
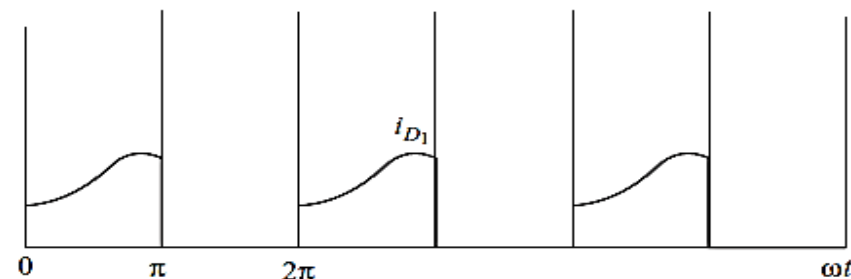
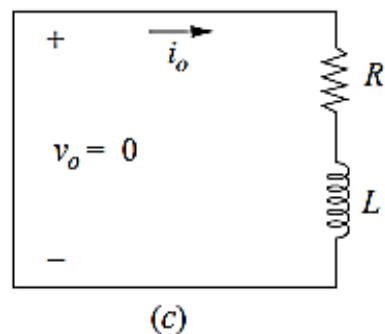
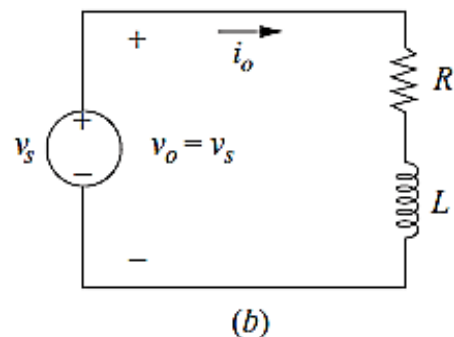
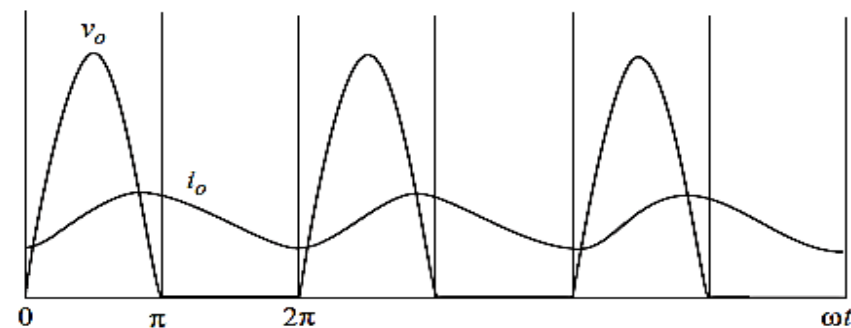
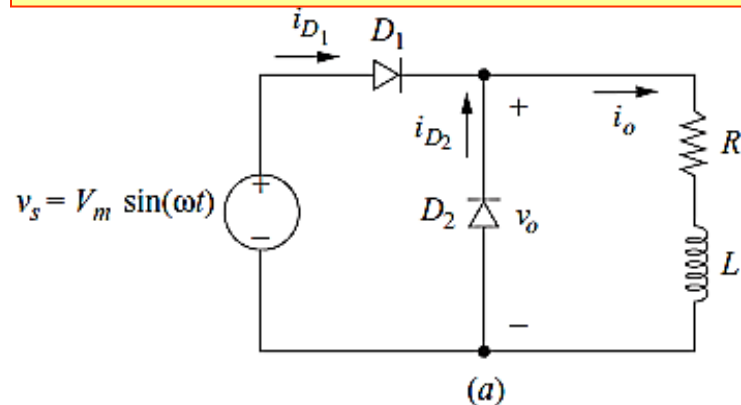
$$P = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} p(\omega t) d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v(\omega t) i(\omega t) d(\omega t) \quad \text{pf} = \frac{P}{S} = \frac{P}{V_{s,rms} I_{rms}} = \frac{22.4}{(100/\sqrt{2})0.474} = 0.67$$

$$= \frac{1}{2\pi} \int_0^{3.50} [100 \sin(\omega t)] [0.936 \sin(\omega t - 0.361) + 0.331 e^{-\omega t / 0.377}] d(\omega t)$$

$$= 22.4 \text{ W}$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## بار RL با دیود هرزگرد

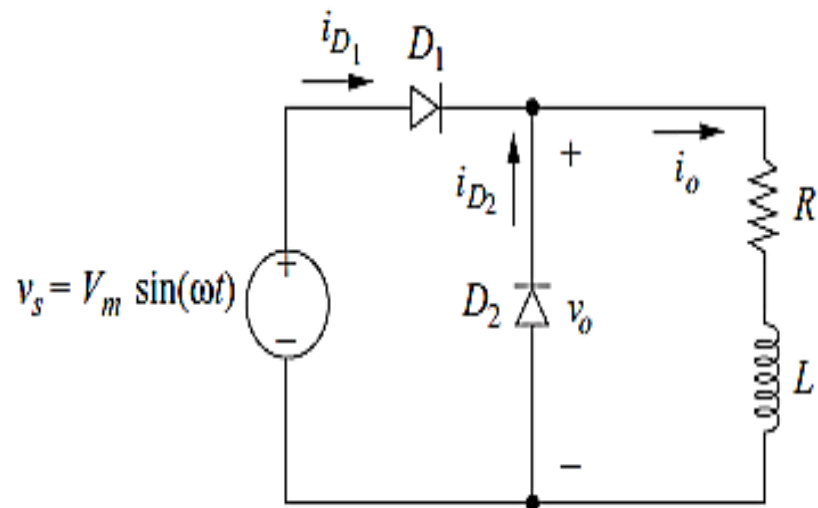


$$v(t) = \frac{V_m}{\pi} + \frac{V_m}{2} \sin(\omega_0 t) - \sum_{n=2,4,6,\dots}^{\infty} \frac{2V_m}{(n^2 - 1)\pi} \cos(n\omega_0 t)$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مثال ۳

مطلوبست محاسبه مقدار متوسط ولتاژ و جریان بار و تعیین توان جذب شده متوسط توسط مقاومت در مدار شکل ۳-۷ (الف) که در آن  $R = 2 \Omega$ ،  $L = 0.25 \text{ mH}$  و  $V_m = 100 \text{ V}$  می باشد و فرکانس نیز  $60 \text{ Hz}$  است.



$$V_o = \frac{V_m}{\pi} = \frac{100}{\pi} = 31.8 \text{ V}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = \frac{31.8}{2} = 15.9 \text{ A}$$

$$V_1 = \frac{V_m}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ V}$$

$$V_2 = \frac{2V_m}{(2^2 - 1)\pi} = 21.2 \text{ V}$$

$$V_4 = \frac{2V_m}{(4^2 - 1)\pi} = 4.24 \text{ V}$$

$$V_6 = \frac{2V_m}{(6^2 - 1)\pi} = 1.82 \text{ V}$$

$$Z_n = |R + jn\omega_0 L| = |2 + jn377(0.025)|$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## ادامه مثال ۳

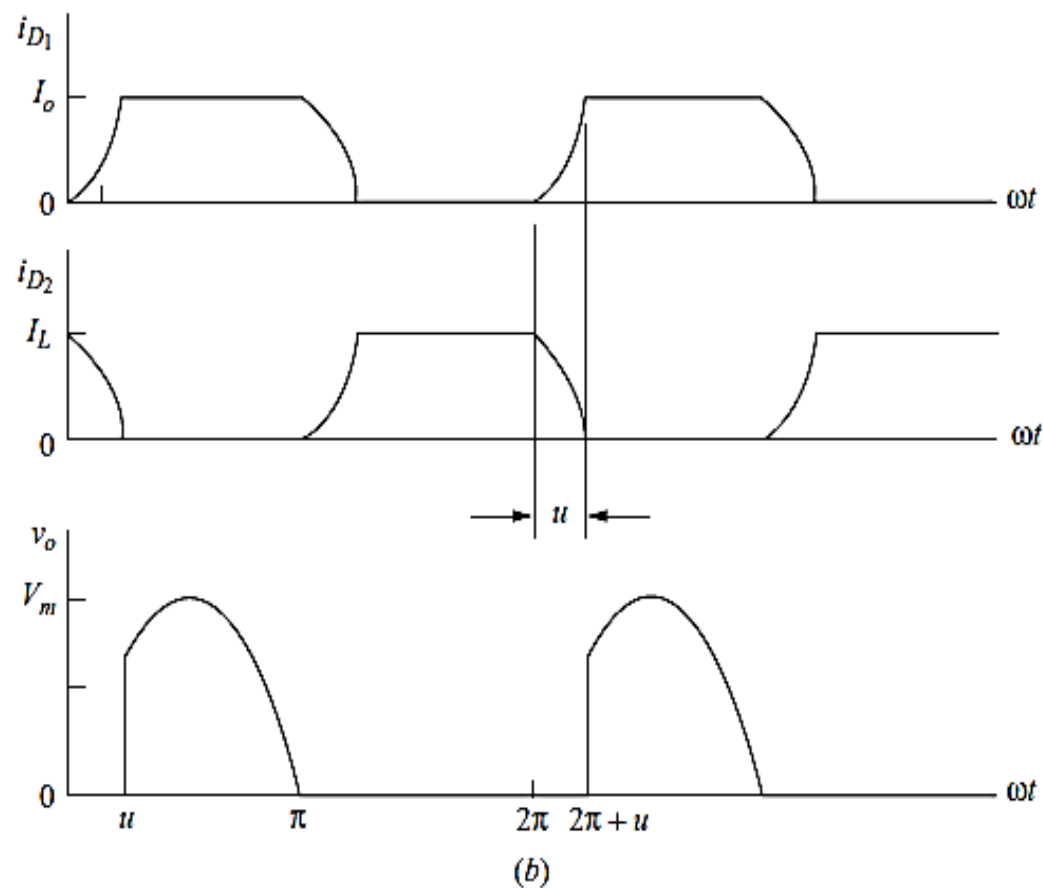
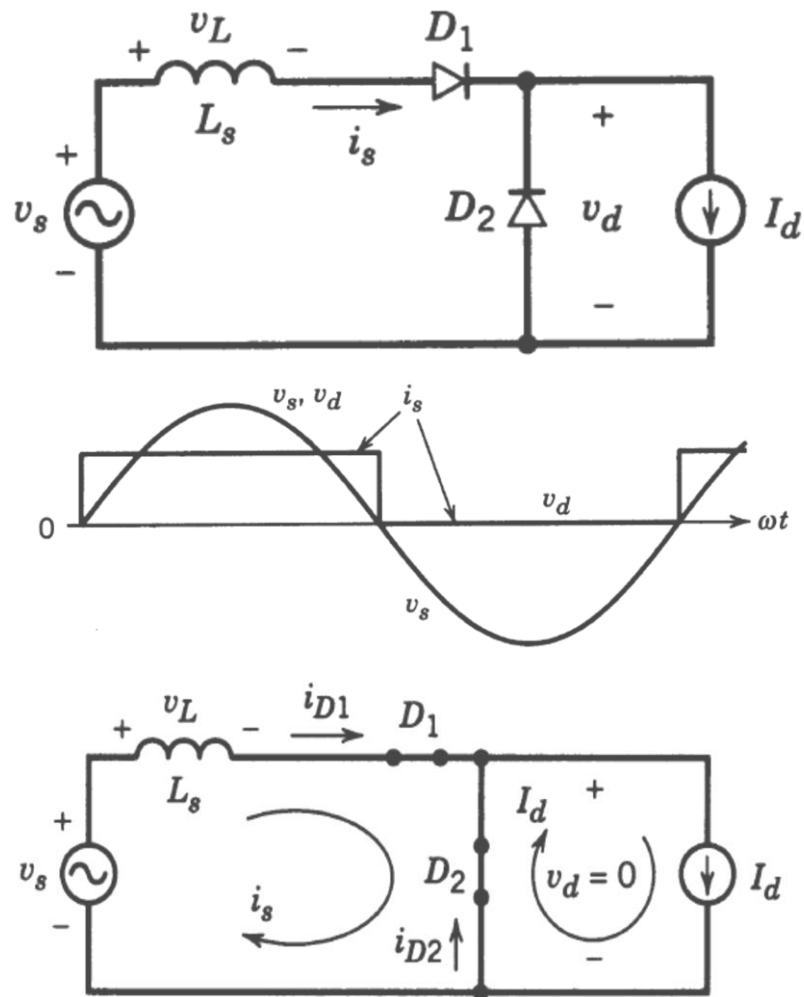
| $n$ | $V_n$ (V) | $Z_n$ ( $\Omega$ ) | $I_n$ (A) |
|-----|-----------|--------------------|-----------|
| ۰   | ۳۱,۸      | ۲,۰۰               | ۱۵,۹      |
| ۱   | ۵۰,۰      | ۹,۶۳               | ۵,۱۹      |
| ۲   | ۲۱,۲      | ۱۸,۹۶              | ۱,۱۲      |
| ۴   | ۴,۲۴      | ۳۷,۷۵              | ۰,۱۱      |
| ۶   | ۱,۸۲      | ۵۶,۵۸              | ۰,۰۳      |

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} I_{k,rms}^2} \approx \sqrt{15.9^2 + \left(\frac{5.19}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{1.12}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0.11}{\sqrt{2}}\right)^2} = 16.34 \text{ A}$$

$$I_{rms}^2 R = 2(16.34)^2 = 534 \text{ W}$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## کموتاسیون در یکسوکننده





# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## کموتاسیون در یکسوکننده

$$v_L = \sqrt{2}V_s \sin \omega t = L_s \frac{di_s}{dt} \quad 0 < \omega t < u \quad \sqrt{2}V_s \sin \omega t d(\omega t) = \omega L_s di_s$$

$$\int_0^u \sqrt{2}V_s \sin \omega t d(\omega t) = \omega L_s \int_0^{I_d} di_s = \omega L_s I_d$$

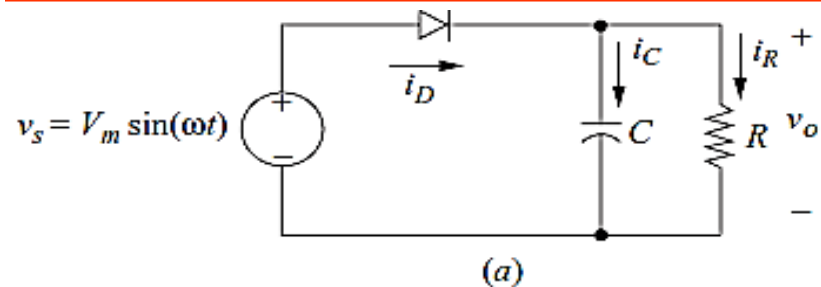
$$A_u = \int_0^u \sqrt{2}V_s \sin \omega t d(\omega t) = \sqrt{2}V_s(1 - \cos u) \quad A_u = \sqrt{2}V_s(1 - \cos u) = \omega L_s I_d$$

$$\cos u = 1 - \frac{\omega L_s I_d}{\sqrt{2}V_s} \quad V_d = \frac{1}{2\pi} \int_u^\pi \sqrt{2}V_s \sin \omega t d(\omega t)$$

$$V_d = 0.45V_s - \frac{\text{area } A_u}{2\pi} = 0.45V_s - \frac{\omega L_s}{2\pi} I_d$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## بار با فیلتر خازنی



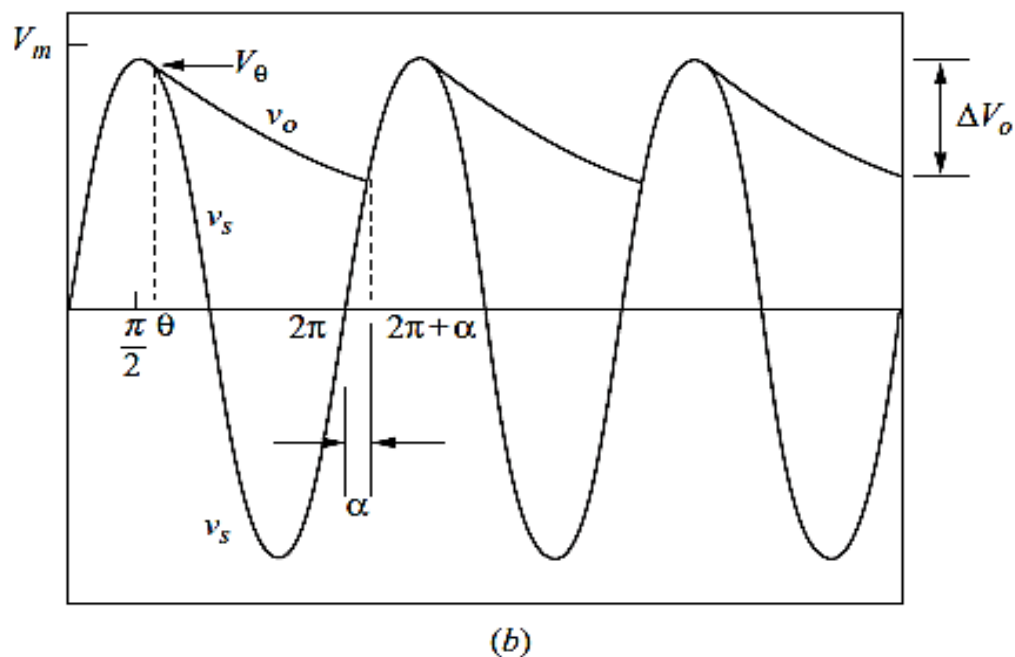
$$v_o(\omega t) = \begin{cases} V_m \sin \omega t & \text{diode on} \\ V_\theta e^{-(\omega t - \theta)/\omega RC} & \text{diode off} \end{cases}$$

$$V_\theta = V_m \sin \theta$$

$$i_C(t) = C \frac{dv_o(t)}{dt}$$

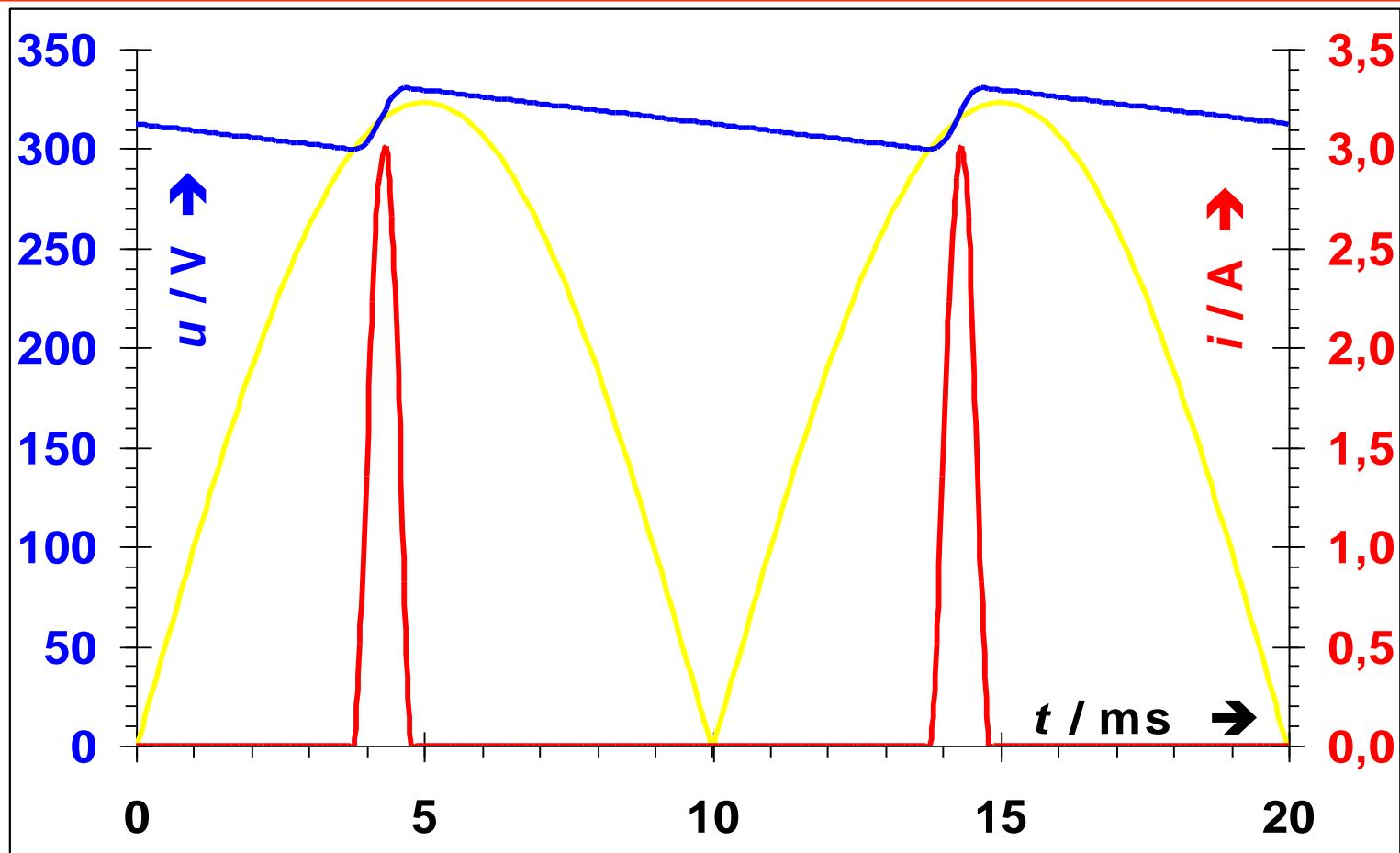
$$\Delta V_o \approx V_m \left( \frac{2\pi}{\omega RC} \right) = \frac{V_m}{fRC}$$

$$C \approx \frac{V_m}{fR(\Delta V_o)}$$



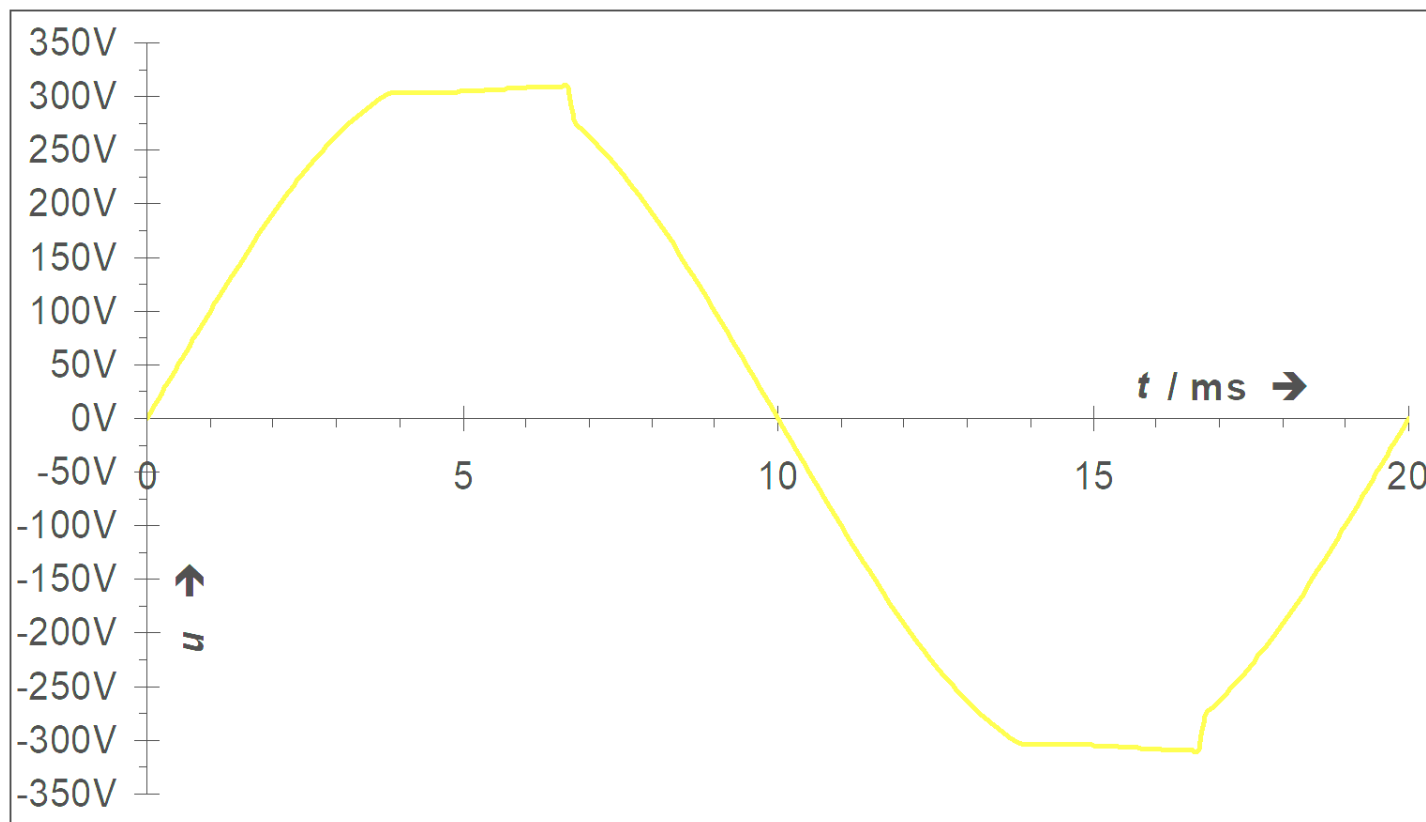
# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## بار با فیلتر خازنی



# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## بار با فیلتر خازنی



# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مثال ۱

یکسوساز نیم موج با فیلتر خازنی به یک منبع ولتاژ  $220\text{ V}$  در فرکانس  $50\text{ Hz}$  و بار مقاومتی  $R = 500\ \Omega$  متصل است. مطلوبست محاسبه  $C$  بنحوی که ریپل ولتاژ خروجی به  $2\%$  محدود شود.

$$C \approx \frac{V_m}{fR(\Delta V_o)}$$

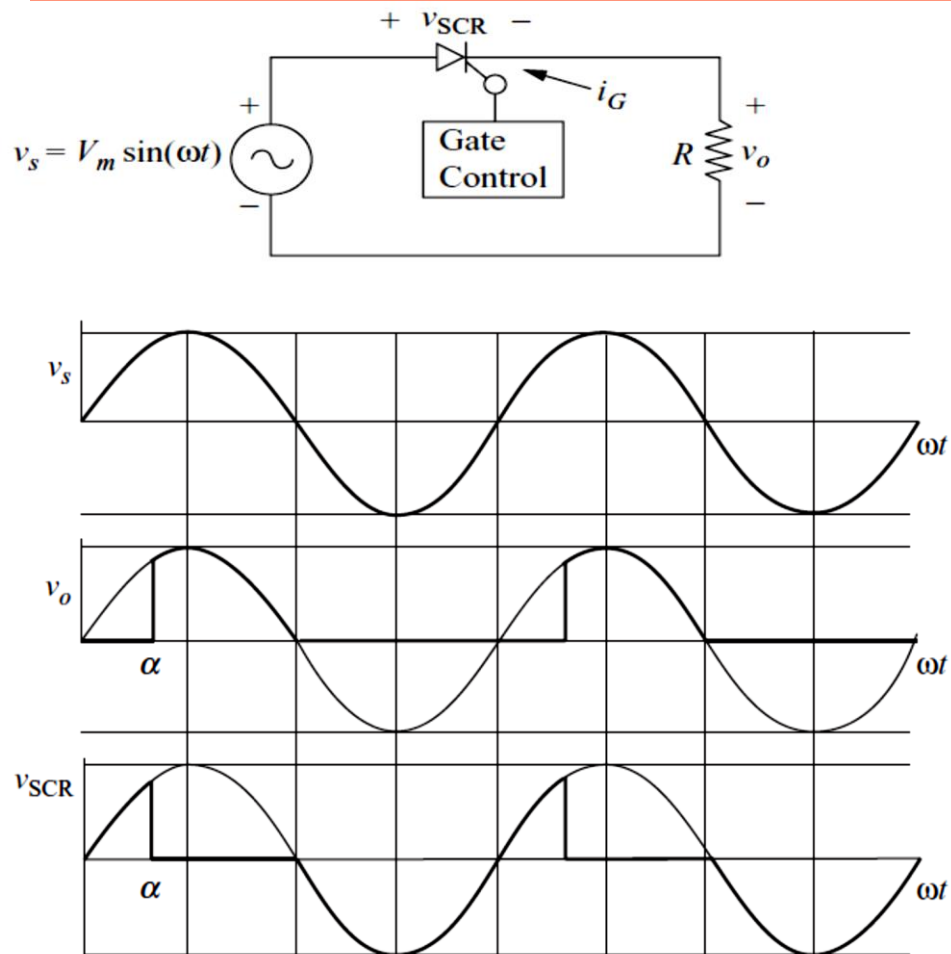
# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## نیم موج تک فاز تریستوری

- یکسوسازهای نیم موجی که در فصل قبلی مورد بررسی قرار گرفتند به عنوان یکسوسازهای کنترل نشده (دیودی) دسته‌بندی می‌شوند. در این مبدل زمانی که پارامترهای بار و منبع تعیین شده باشند، سطح DC خروجی و توان منتقل شده به بار کمیت‌های ثابتی می‌باشند.
- یک روش برای کنترل خروجی یکسوساز، استفاده از تریستور به جای دیود می‌باشد. دو شرط زیر باید برآورده شود تا تریستور هدایت کند:
  - تریستور باید بایاس مستقیم باشد ( $V_{SCR} > 0$ ).
  - یک جریان باید به گیت تریستور اعمال گردد.
- بر خلاف مبدل دیودی، در هنگامی که منبع مثبت شود، تریستور خود به خود شروع به هدایت نمی‌کند. هدایت هنگامی صورت می‌گیرد که یک جریان گیت اعمال گردد که این اساس استفاده از تریستور به عنوان یک قطعه کنترل کننده می‌باشد. هنگامی که تریستور هدایت می‌کند، جریان گیت را می‌توان قطع نمود و تریستور روشن می‌ماند تا زمانی که جریان آن به صفر برسد.

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## یکسوکننده نیم موج تریستوری تک فاز با بار اهمی



$$V_o = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

$$\begin{aligned} V_{rms} &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_o^2(\omega t) d(\omega t)} \\ &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} [V_m \sin(\omega t)]^2 d(\omega t)} \\ &= \frac{V_m}{2} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}} \end{aligned}$$

$$P_R = \frac{V_{rms}^2}{R}$$

$$\text{pf} = \frac{P}{S} = \frac{P}{V_{s,rms} I_{rms}}$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مثال ۲

مداری را طراحی کنید که یک ولتاژ متوسط  $40V$  را دو سر یک بار مقاومتی  $100\Omega$  با استفاده از یک منبع AC با ولتاژ  $120V$  در فرکانس  $60Hz$  فراهم کند. مطلوبست تعیین توان جذب شده توسط مقاومت و محاسبه ضریب قدرت.

$$\frac{V_m}{\pi} = \frac{120\sqrt{2}}{\pi} = 54 \text{ V}$$

اگر دیودی استفاده شود:

$$\alpha = \cos^{-1} \left[ V_o \left( \frac{2\pi}{V_m} \right) - 1 \right]$$

$$= \cos^{-1} \left\{ 40 \left[ \frac{2\pi}{\sqrt{2}(120)} \right] - 1 \right\} = 61.2^\circ = 1.07 \text{ rad}$$

$$V_{rms} = \frac{\sqrt{2}(120)}{2} \sqrt{1 - \frac{1.07}{\pi} + \frac{\sin[2(1.07)]}{2\pi}} = 75.6 \text{ V}$$

$$P_R = \frac{V_{rms}^2}{R} = \frac{(75.6)^2}{100} = 57.1 \text{ W}$$

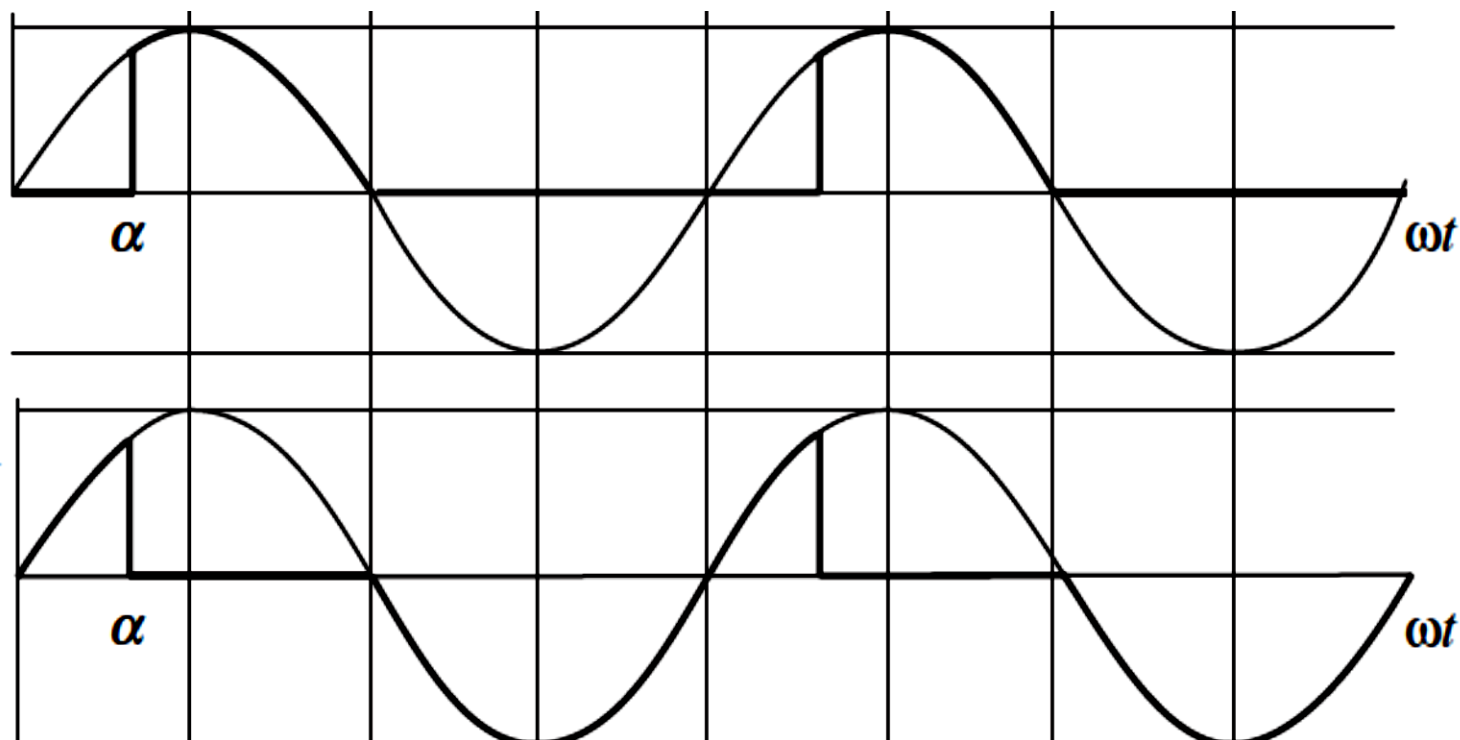
$$\text{pf} = \frac{P}{S} = \frac{P}{V_{S,rms} I_{rms}} = \frac{57.1}{(120)(75.6/100)} = 0.63$$

مشخصات تریستور؟



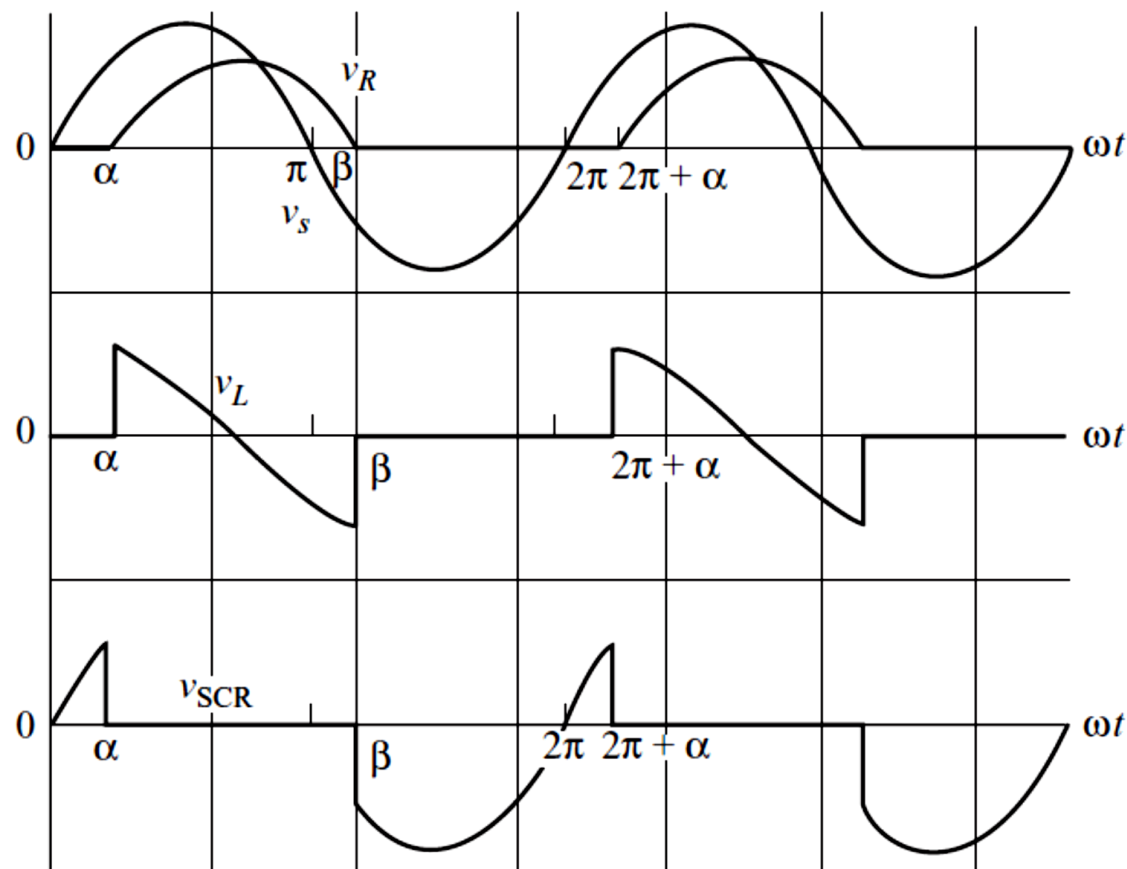
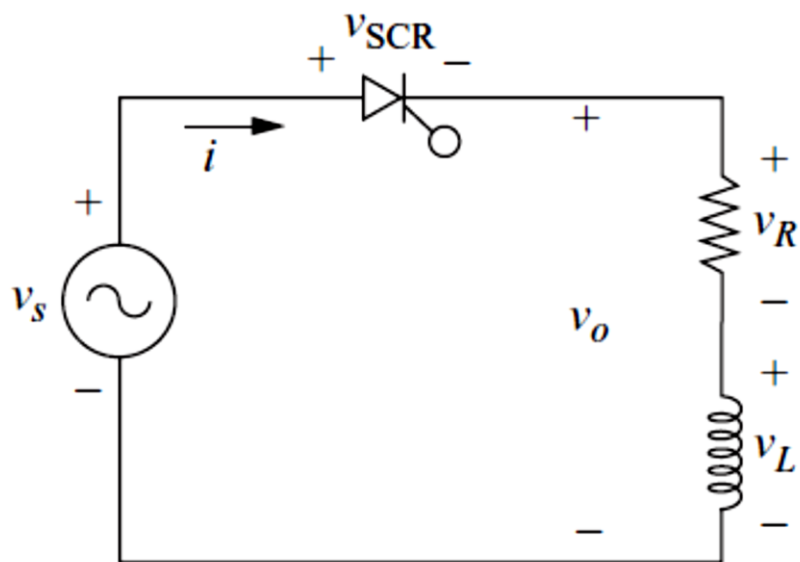
# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

مثال ۲ (ادامه)



# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## یکسوکننده نیم موج تریستوری تک فاز با بار RL



# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## یکسوکننده نیم موج تریستوری تک فاز با بار RL

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

$$i(\beta) = 0 = \frac{V_m}{Z} \left[ \sin(\beta - \theta) - \sin(\alpha - \theta) e^{(\alpha - \beta)/\omega\tau} \right]$$

$$V_o = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{V_m}{2\pi} (\cos \alpha - \cos \beta)$$

$$I_o = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} i(\omega t) d(\omega t) \quad I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} i^2(\omega t) d(\omega t)}$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مثال ۳

در مدار شکل ۳-۱۴ (الف)، منبع دارای ولتاژ  $V_{rms} = 120$  در فرکانس  $60\text{ Hz}$  می باشد و  $R = 20\ \Omega$  ،  $H$  و  $L = 0.04$  و زاویه تاخیر  $45^\circ$  می باشد. مطلوبست: (الف) عبارتی برای  $i(\omega t)$ ؛ (ب) جریان متوسط؛ (ج) توان جذب شده توسط بار و (د) ضریب قدرت.

$$V_m = 120\sqrt{2} = 169.7\text{ V}$$

$$Z = [R^2 + (\omega L)^2]^{0.5} = [20^2 + (377 * 0.04)^2]^{0.5} = 25.0\ \Omega$$

$$\theta = \tan^{-1}(\omega L / R) = \tan^{-1}(377 * 0.04 / 20) = 0.646\text{ rad}$$

$$\omega\tau = \omega L / R = 377 * 0.04 / 20 = 0.754$$

$$\alpha = 45^\circ = 0.785\text{ rad}$$

$$i(\omega t) = 6.78 \sin(\omega t - 0.646) - 2.67 e^{-\omega t / 0.754}\text{ A for } \alpha \leq \omega t \leq \beta$$

این معادله از  $\alpha$  تا  $\beta$  معتبر است که  $\beta$  به صورت عددی با مساوی قرار دادن معادله با صفر و حل آن برای  $\omega t$  بدست می آید که نتیجه آن  $\beta = 3.97\text{ rad} = 227^\circ$  می گردد. زاویه هدایت برابر می شود با:  $3.01\text{ rad} = 172^\circ$

$$\gamma = \beta - \alpha = 3.97 - 0.785 = 3.185\text{ rad} = 182^\circ$$

## دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

مثال ۳ (ادامه)

$$I_o = \frac{1}{2\pi} \int_{0.785}^{3.79} \left[ 6.78 \sin(\omega t - 0.646) - 2.67 e^{-\omega t / 0.754} \right] d(\omega t) = 2.19 \text{ A}$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{0.785}^{3.79} \left[ 6.78 \sin(\omega t - 0.646) - 2.67 e^{-\omega t / 0.754} \right]^2 d(\omega t)} = 3.26 \text{ A}$$

$$P = I_{rms}^2 R = (3.26)^2 (20) = 213 \text{ W}$$

$$\text{pf} = \frac{P}{S} = \frac{213}{(120)(3.26)} = 0.54$$