
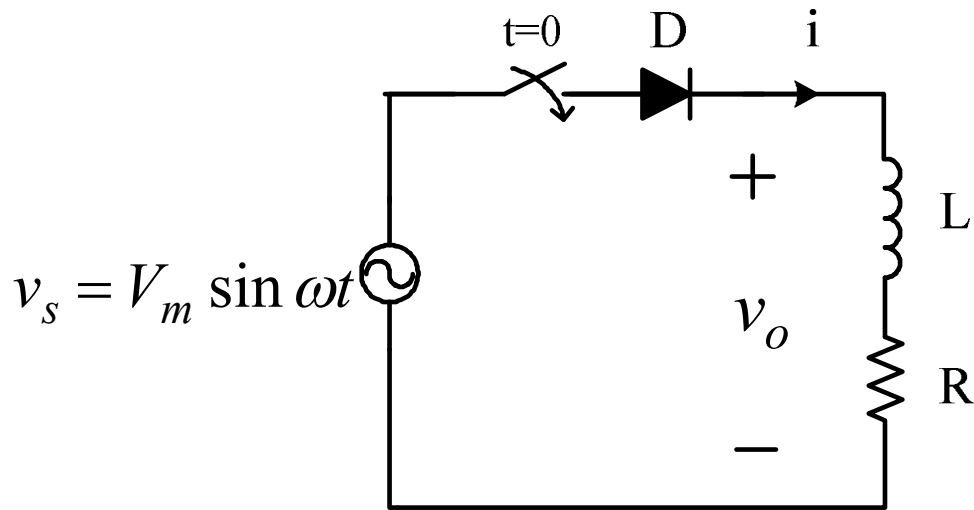


فصل دوم 

Rectifiers

یکسو کننده‌ها 



یکسو کننده‌ی نیم موج دیودی تکفاز 

$$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2} ; \phi = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R} ; \tau = \frac{L}{R}$$

$$\begin{cases} L \frac{di}{dt} + Ri = V_m \cdot \sin(\omega t) \\ i(\cdot) = \cdot \end{cases} \Rightarrow i = \frac{V_m}{Z} \cdot \sin(\omega t - \phi) + A \cdot e^{-t/\tau}$$

$$i(0) = 0 \Rightarrow A = \frac{V_m}{Z} \cdot \sin \phi \Rightarrow i = \frac{V_m}{Z} \left[\sin(\omega t - \phi) + e^{-t/\tau} \cdot \sin \phi \right]$$

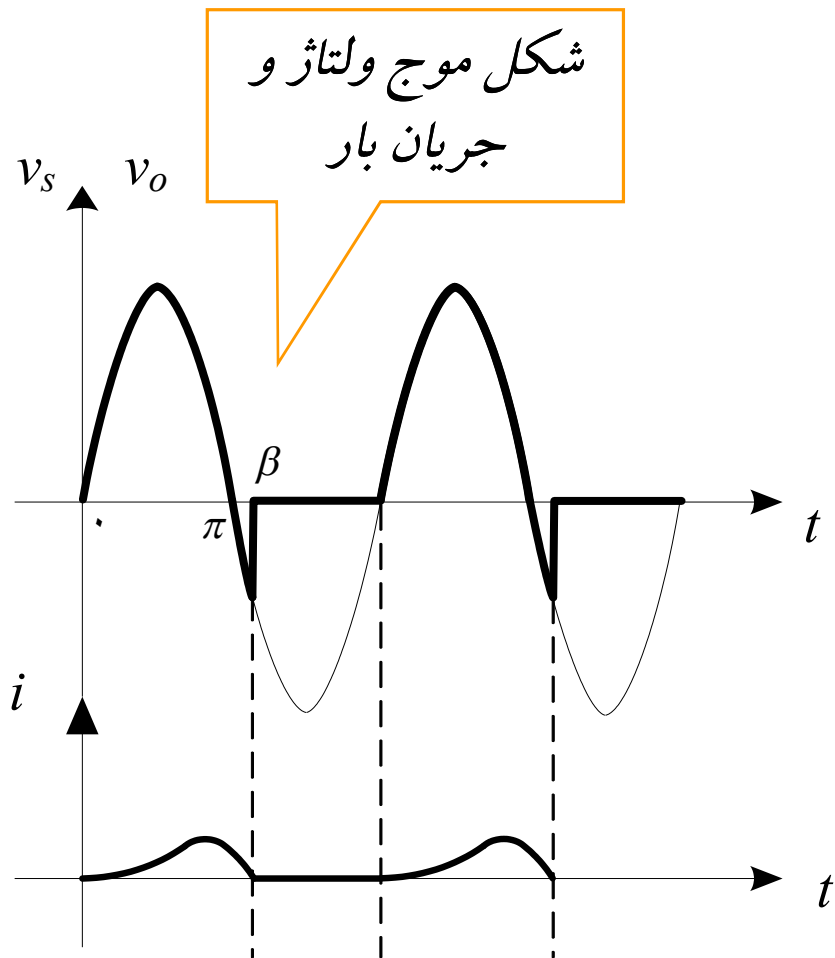
با توجه به اینکه دیود اجازه عبور جریان منفی را نخواهد داد، وقتی جریان در زاویه β صفر می‌شود، دیود خاموش خواهد شد

در این مدار برای یک مدت زمانی، ولتاژ منفی روی بار قرار می‌گیرد.

در طرف دوم DC یا متوسط جریان و ولتاژ مهم است:

$$V_{o,dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_o \cdot d(\omega t) =$$

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{\beta} V_m \cdot \sin(\omega t) \cdot d(\omega t) = \frac{V_m}{2\pi} (1 - \cos \beta)$$



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

یک روش محاسبه جریان متوسط، انتگرال گیری از معادله جریان می باشد، ولی راه حل ساده تر متوسط گیری از دو طرف معادله KVL مطابق روابط زیر است:


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

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{\beta} (L \frac{di}{dt} + Ri) \cdot d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\beta} (V_m \sin \omega t) \cdot d(\omega t)$$

$$Ri_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\beta} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) - \frac{1}{2\pi} \int_0^{\beta} L \frac{di}{dt} d(\omega t)$$

$$Ri_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} (1 - \cos \beta) - \frac{L\omega}{2\pi} \int_0^{\beta} \frac{di}{d(\omega t)} d(\omega t)$$

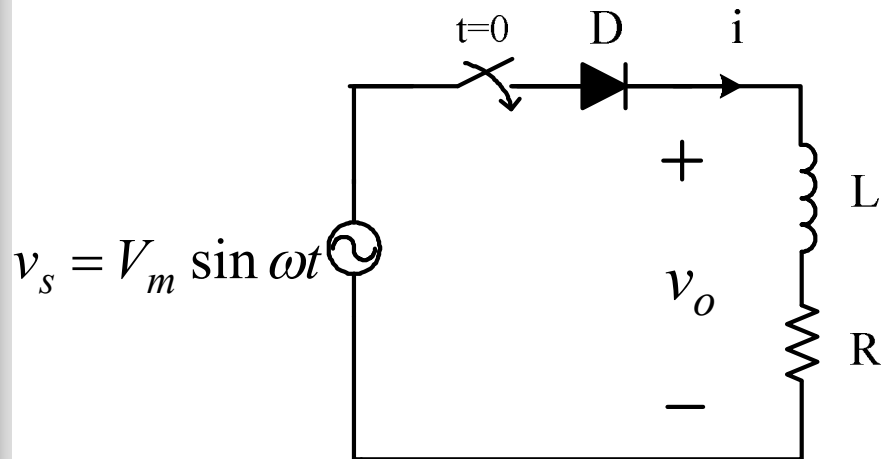
$$-\frac{L\omega}{2\pi} \int_0^\beta \frac{di}{d\omega t} d\omega t = -\frac{L\omega}{2\pi} \int_0^\beta di = -\frac{L\omega}{2\pi} (i(\beta) - i(0)) = 0$$

متوسط ولتاژ دو سر سلف صفر است: 

■ در رژیم پریودیک (در حالت ماندگار) مقدار جریان در ابتدا و انتهای سیکل ($i(0)$ و $i(\beta)$) با هم برابر اند.

■ قاعده کلی آن است که در رژیم پریودیک ولتاژ متوسط سلف صفر است.

■ کاربرد:



$$V_{o,dc} = V_{R,dc} + V_{L,dc} \Rightarrow \frac{V_m}{2\pi} (1 - \cos \beta) = Ri_{dc}$$

$$\Rightarrow i_{dc} = \frac{V_m}{2\pi R} (1 - \cos \beta)$$



تعیین زاویه خاموشی دیود β :

$$\sin \phi \cdot e^{\frac{-\beta}{\omega\tau}} + \sin(\beta - \phi) = 0$$

حل معادله غیر خطی

❖ برای حل این معادله غیر خطی سه روش وجود دارد:

👉 الف) روش اول: حل تقریبی

• چنانچه:

$$\frac{\beta}{\omega\tau} > 5 \quad \longrightarrow \quad \sin(\beta - \phi) \approx 0 \Rightarrow \beta - \phi \approx \pi \Rightarrow \beta \approx \phi + \pi$$

👉 به بیان دیگر اگر:

$$\frac{\phi + \pi}{\omega\tau} > 5 \quad \longrightarrow$$

$$V_{o,dc} \approx \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \phi) \quad , \quad i_{dc} \approx \frac{V_m}{2\pi R} (1 + \cos \phi)$$

ب) روش دوم: حل عددی

$$\sin \phi \cdot e^{\frac{-\beta}{\omega\tau}} + \sin(\beta - \phi) = 0$$

• حل معادله غیر خطی با روش عددی:

• یک حدس اولیه برای زاویه β

■ انجام یک فرایند تکرار با ارزیابی خطا نسبت به اصلاح حدس اولیه تا

رسیدن به جواب

با توجه به اینکه β در محدوده‌ی π و 2π قرار دارد، مقدار اولیه‌ی β برابر π در نظر گرفته می‌شود. مقدار عبارت سمت چپ رابطه‌ی (۱۱-۲) را برای β در هر مرحله با LHS نشان می‌دهیم که البته مقدار آن برای β جواب صفر می‌باشد. در هر مرحله اگر $LHS > 0$ باشد، β افزایش یافته و اگر $LHS < 0$ باشد، β کاهش می‌یابد که البته با افزایش تکرارها پله افزایش یا کاهش β کمتر می‌شود. این فرآیند آنقدر تکرار می‌شود تا LHS از یک مقدار خطا قابل قبول (برای مثال 10^{-6}) کمتر شود.

برای اجرای روش فوق در محیط MATLAB بصورت m-File نیاز به نوشتن یک تابع می-
باشد که جزئیات برنامه آن در زیر آورده شده است:

```
function beta = betasolv(phi)
beta = pi;
inc = pi/2;
LHS = 1;
while (abs(LHS) > 1e-6),
    LHS= sin(phi)*exp(-beta/tan(phi)) + sin(beta - phi);
    if LHS > 0,
        beta = beta + inc;
    else
        beta = beta - inc;
        inc = inc/2;
    end
end
end
```

اطلاعات ورودی تابع فوق، مقدار زاویه بار ϕ می‌باشد.

روش دیگر برای حل عددی معادله β استفاده از دستور `fsolve` است که بمنظور حل معادلات غیرخطی در برنامه MATLAB وجود دارد:

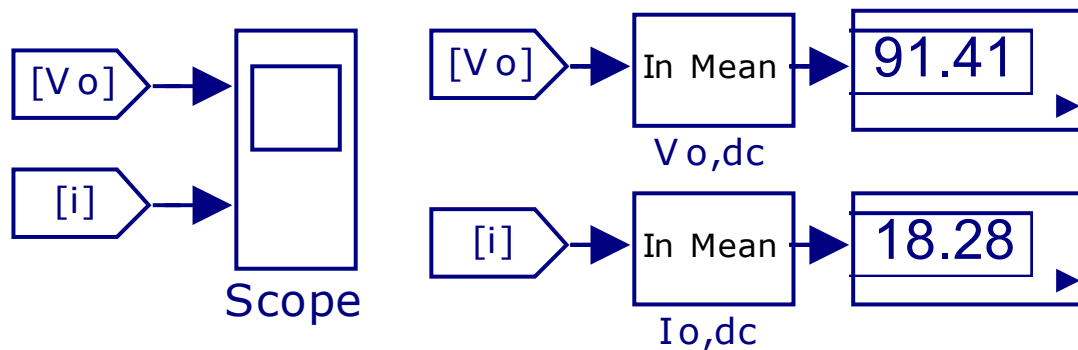
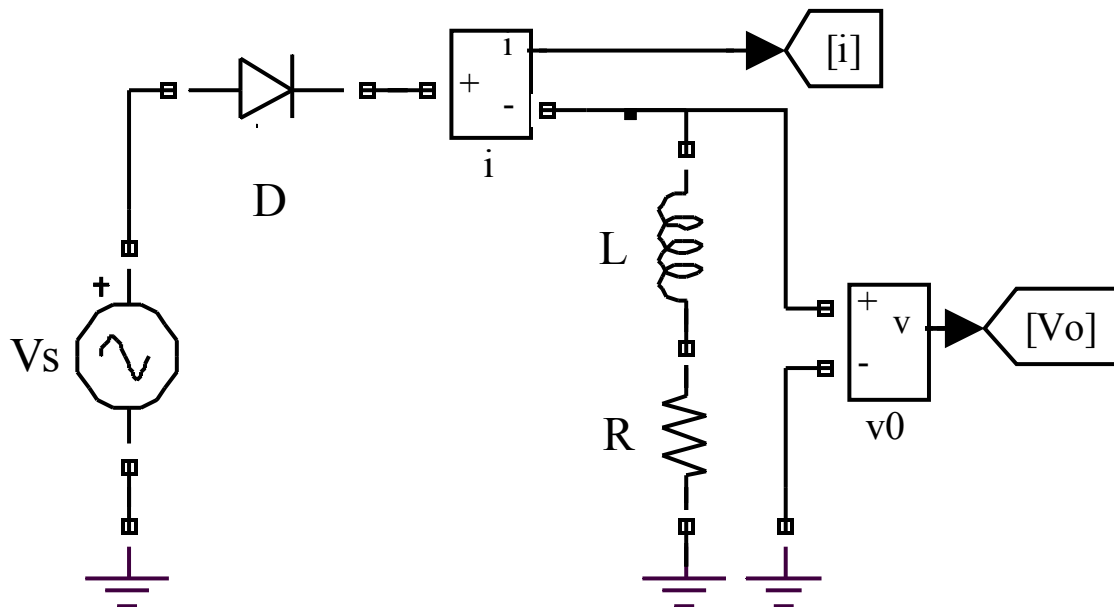
```
x=fsolve(@(x) sin(phi)*exp(-x/tan(phi))+sin(x-phi), [pi])
```

قبل از اجرای این دستور باید مقدار ϕ را تعیین نمود.

ج) روش سوم: شبیه سازی با نرم افزار

برای مشاهده شکل موجهای ولتاژ و جریان و همچنین محاسبه مقادیری مانند زاویه خاموشی دید، متوسط ولتاژ خروجی، متوسط جریان خروجی و ... میتوان با معرفی مدار به نرم افزارهایی از قبیل MATLAB یا Pspice آنرا شبیه سازی نمود.

شماتیک شبیه سازی یکسوکننده‌ی تکفاز نیم موج دیودی در محیط Simulink



مثال (۲-۱):

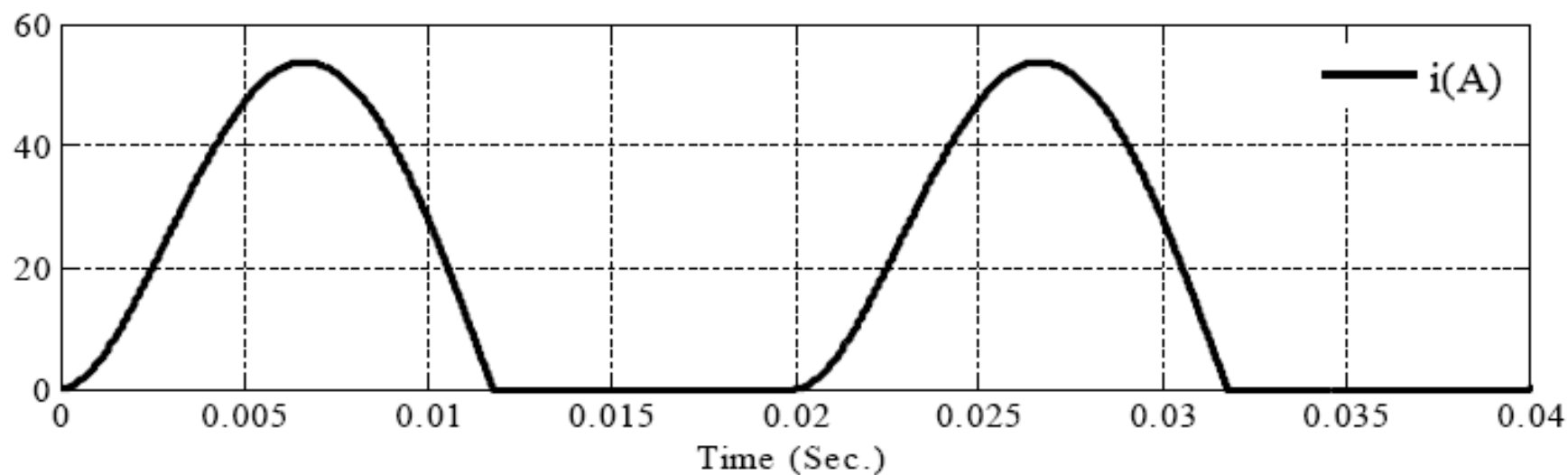
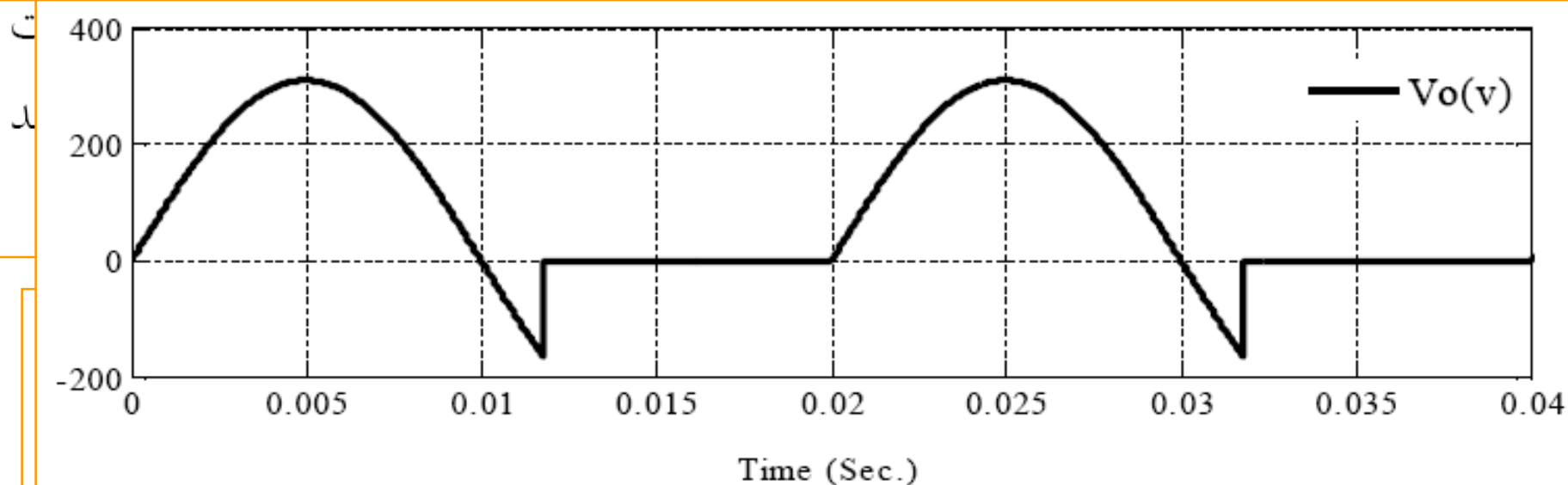
متوسط جریان بار را در یک مدار یکسو ساز نیم موج دیودی با منبع ۲۲۰ ولت موثر و فرکانس ۵۰^{Hz} یک بار $R-L$ با مقاومت $R=5\Omega$ را در دو حالت $L=10\text{ mH}$ و $L=100\text{ mH}$ محاسبه و اثر تغییرات L را بررسی نمایید.

حل:

اگر $L=10\text{ mH}$ باشد، با توجه به رابطه (۲-۲) $\omega\tau$ برابر 0.63 رادیان و ϕ نیز برابر 0.56 رادیان بدست می آید. حال با استفاده از رابطه تقریبی برای β داریم:

$$\beta \approx \phi + \pi = 3.701\text{ rad}, \quad \frac{\beta}{\omega\tau} = \frac{3.701}{0.63} = 5.87 > 5 \quad \Rightarrow \quad \text{تقریب قابل قبول است.}$$

$$i_{dc} = \frac{V_m}{2\pi R} (1 + \cos \phi) = 18.28\text{ A}$$

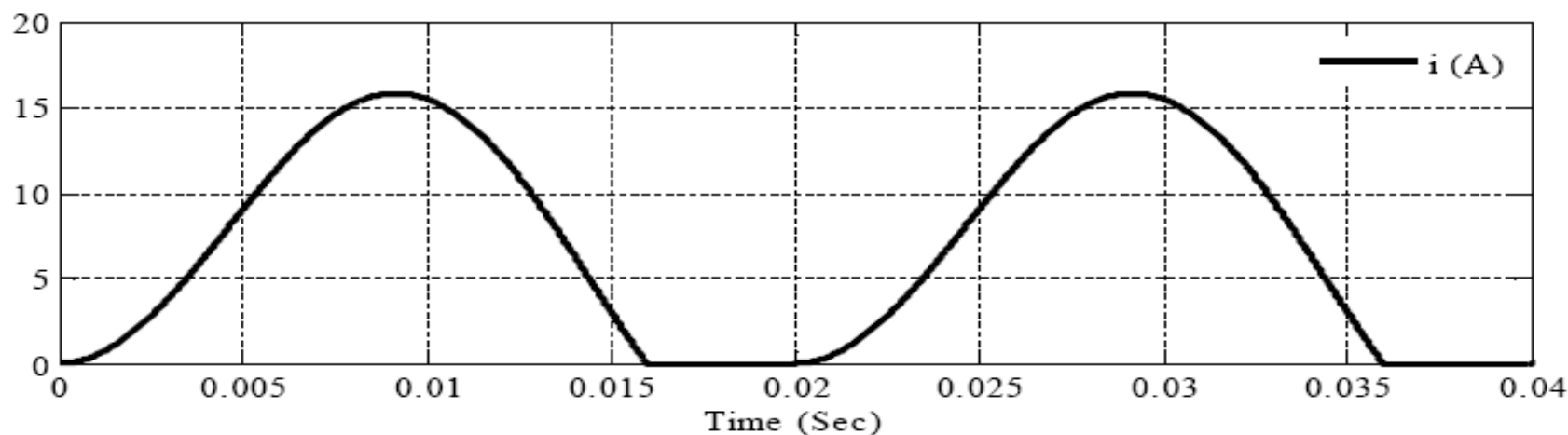
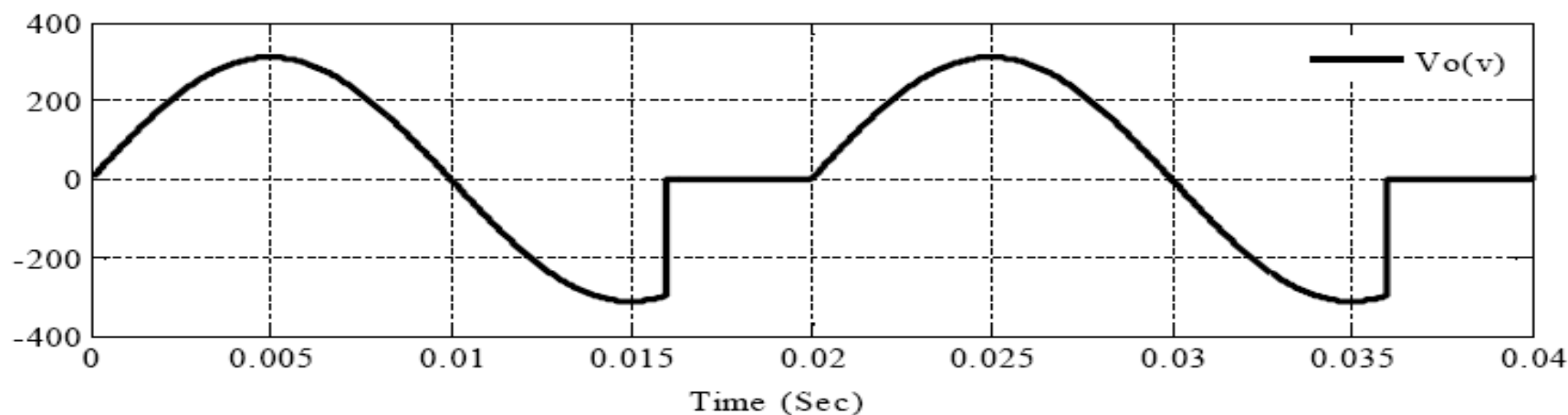


شکل (۲-۴): شکل موجهای ولتاژ و جریان بار مثال (۲-۱) برای $L=10 \text{ mH}$

حال اگر $L=100 \text{ mH}$ باشد، با توجه به رابطه (۲-۲) $\omega\tau$ برابر $6/3$ رادیان و ϕ نیز برابر $1/41$ رادیان بدست می آید. حال با استفاده از رابطه تقریبی برای β داریم:

$$\beta \approx \phi + \pi = 4/555 \text{ rad}, \quad \frac{\beta}{\omega\tau} = \frac{4/555}{6/3} = 0/723 < 5$$

که مشاهده می شود این تقریب قابل قبول نیست. لذا باید از روش دقیق استفاده شود که با کمک برنامه `betasolv` در محیط `MATLAB` مقدار β برابر $5/017$ رادیان بدست می آید و متوسط جریان بار برابر $6/94 \text{ A}$ بدست خواهد آمد.



شکل (۲-۵): شکل موجهای ولتاژ و جریان بار مثال (۲-۱) برای $L=100 \text{ mH}$

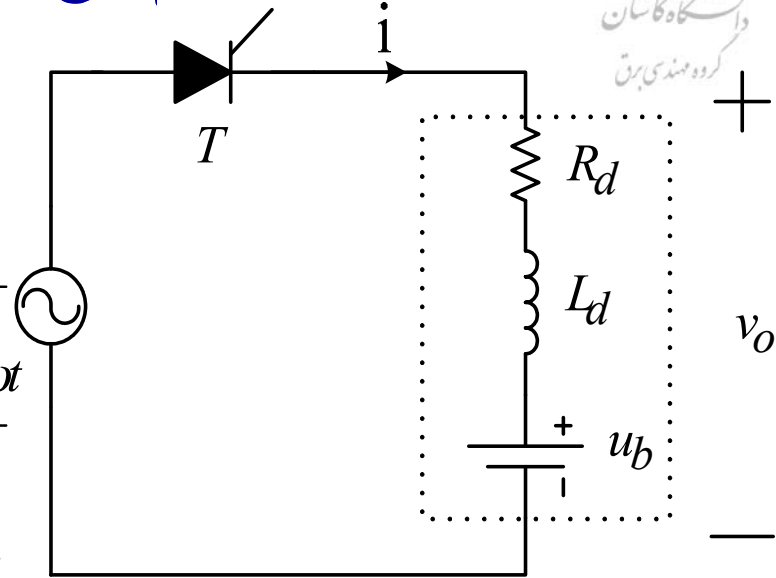
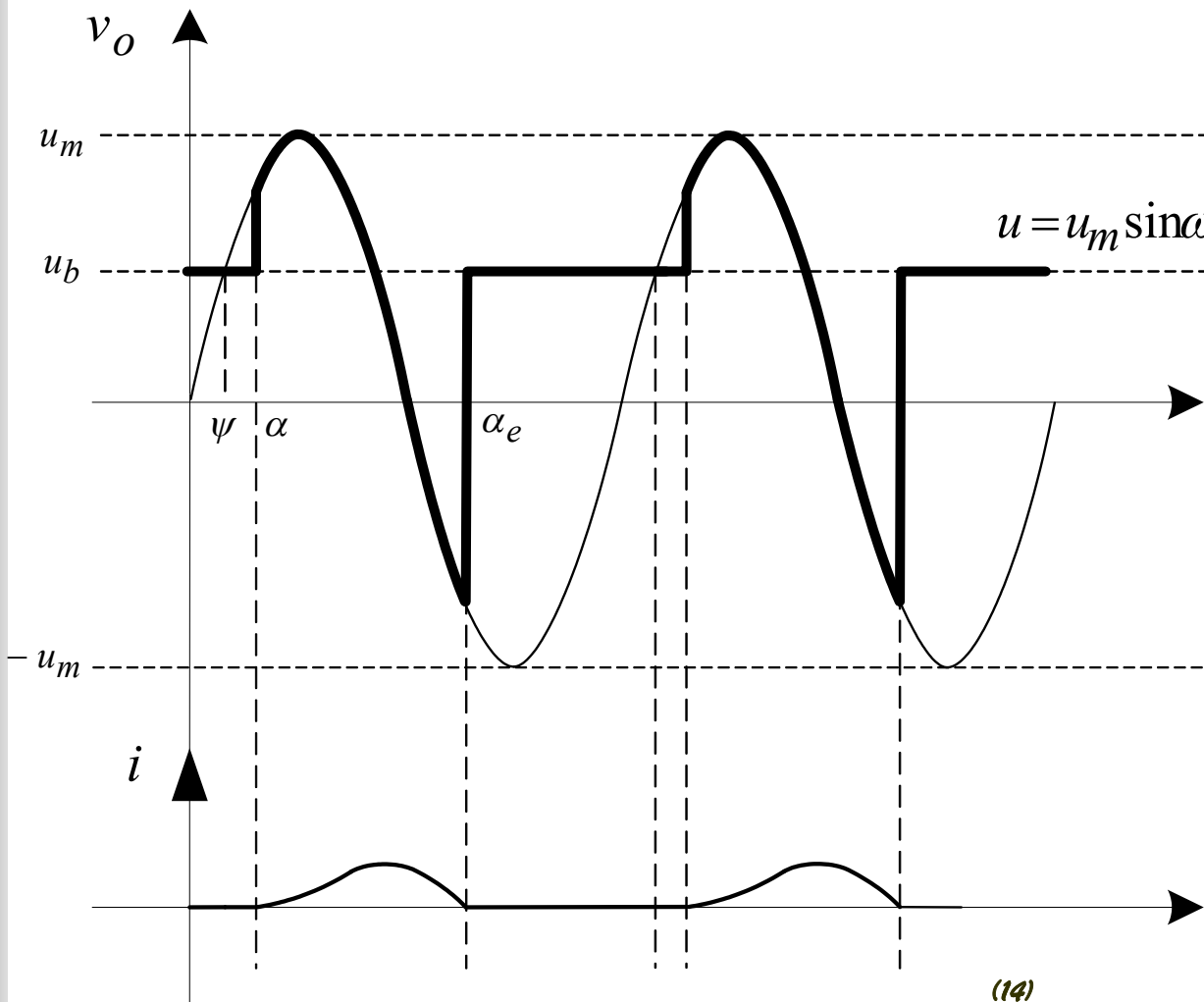
مشاهده می شود که هر چقدر سلف بار بیشتر باشد متوسط جریان بار محدود تر می شود.

یکسو کننده‌ها

یکسو کننده‌ی نیم موج تریستوری تکفاز 



دانشگاه کاشان
گروه مهندسی برق



$$\psi = \sin^{-1} \frac{U_b}{U_m}$$

با نوشتن معادله KVL در حالتی که تریستور روشن است،

$$U_m \sin \omega t = R_d i + L_d \frac{di}{dt} + U_b \quad ; \quad \alpha \leq \omega t \leq \alpha_e \quad \rightarrow \quad \begin{cases} i = \frac{U_m}{Z} \sin(\omega t - \phi) - \frac{U_b}{R_d} + A e^{-t/\tau} \\ Z = \sqrt{R_d^2 + (L_d \omega)^2}, \phi = \tan^{-1} \frac{\omega L_d}{R_d}, \tau = \frac{L_d}{R_d} \end{cases}$$

$$i(\omega t = \alpha) = 0 \quad \Rightarrow \quad A = \left(\frac{U_b}{R_d} - \frac{U_m}{Z} \sin(\alpha - \phi) \right) e^{\alpha / \omega \tau}$$

$$i = \frac{U_m}{Z} \sin(\omega t - \phi) - \frac{U_b}{R_d} + \left[\frac{U_b}{R_d} - \frac{U_m}{Z} \sin(\alpha - \phi) \right] \cdot e^{\alpha / \omega \tau} \cdot e^{-t/\tau}$$

تعیین زاویه خاموشی:

$$i(\omega t = \alpha_e) = \frac{U_m}{Z} \sin(\alpha_e - \phi) - \frac{U_b}{R_d} + \left[\frac{U_b}{R_d} - \frac{U_m}{Z} \sin(\alpha - \phi) \right] e^{\frac{-\alpha_e + \alpha}{\omega \tau}} = 0$$

$$\frac{U_m \cos \phi}{R_d} \sin(\alpha_e - \phi) - \frac{U_b}{R_d} + \left[\frac{U_b}{R_d} - \frac{U_m \cdot \cos \phi}{R_d} \sin(\alpha - \phi) \right] e^{\frac{(-\alpha_e + \alpha)}{\tan \phi}} = 0$$

$$\cos \phi \cdot \sin(\alpha_e - \phi) - \frac{U_b}{U_m} + \left(\frac{U_b}{U_m} - \cos \phi \cdot \sin(\alpha - \phi) \right) \cdot e^{\frac{(-\alpha_e + \alpha)}{\tan \phi}} = 0$$

$$\frac{U_b}{U_m} = k$$

$$\cos \phi \cdot \sin(\alpha_e - \phi) - k + (k - \cos \phi \cdot \sin(\alpha - \phi)) \cdot e^{\frac{(-\alpha_e + \alpha)}{\tan \phi}} = 0$$

معمولا پارامترهایی معلوم در معادله بالا α (یا زاویه آتش)، ϕ (یا زاویه بار) و k بوده و تنها α_e (زاویه خاموش شدن) مجهول است که بایستی از حل معادله غیر خطی (۲-۲۳) بدست آید.



```
function alpha_e= alpha_e_solv(alpha,phi,k)

alpha_e = pi+alpha;
inc = pi/2;
LHS = 1;
while (abs(LHS) > 1e-6),
    LHS= cos(phi)*sin(alpha_e - phi)-k+(k-cos(phi) ...
        *sin(alpha-phi)) *exp((alpha-alpha_e)/tan(phi));
    if LHS > 0,
        alpha_e = alpha_e + inc;
    else
        alpha_e = alpha_e - inc;
        inc = inc/2;
    end
end
```

اطلاعات ورودی تابع فوق، پارامترهای α ، φ ، k و خروجی آن زاویه خاموش شدن α_e بر حسب رادیان است.

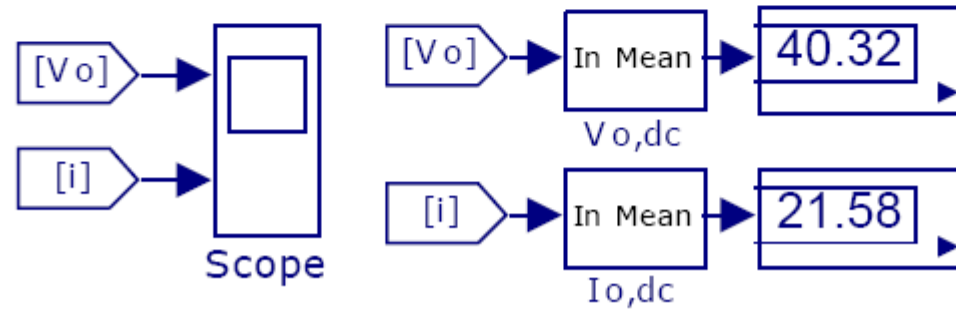
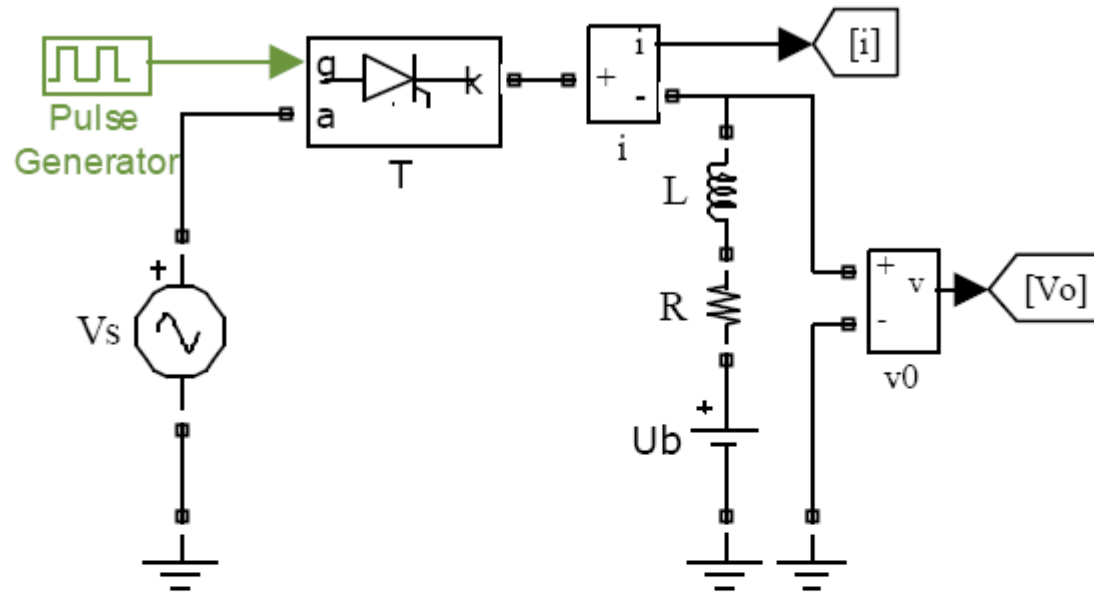
روش دیگر برای حل عددی معادله α_e استفاده از دستور `fsolve` است که بمنظور حل معادلات غیرخطی در برنامه MATLAB وجود دارد:

```
x=fsolve(@(x) cos(phi)*sin(x - phi)-k+(k-cos(phi) ...
*sin(alpha - phi))*exp((alpha -x)/tan(phi)), [pi+alpha])
```

که البته قبل از اجرای این دستور باید پارامترهای α ، φ ، k را تعیین نمود.

برای شبیه سازی این یکسوکننده توسط جعبه ابزار شبیه ساز سیستم قدرت (SimPower System) نرم افزار MATLAB در شکل (۲-۸) شماتیک مربوطه محیط Simulink نشان داده شده است.

یکسو کننده‌ها



شکل (۲-۸): شماتیک شبیه سازی یکسوکننده‌ی تکفاز نیم موج تریستوری در محیط Simulink

مثال (۲-۲):

یک باتری ۳۶ ولتی سری با یک مقاومت $0.2\ \Omega$ و سلف $6\ mH$ توسط یک مدار یکسو کننده نیم موج تریستوری با زاویه آتش 65° تغذیه میشود. منبع سینوسی دارای 50 ولت موثر و فرکانس $50\ Hz$ میباشد. متوسط جریان باتری را محاسبه نمایید. اگر مقدار سلف سری نصف شود، متوسط جریان باتری چقدر خواهد شد؟

حل:

برای حل این مسئله از روش حل عددی استفاده میکنیم. جزییات برنامه‌ی مورد نیاز بصورت m-File در زیر ارائه شده است:

```

clear all
Vs = 50;
f = 50;
Vm = Vs*sqrt(2);
Vb = 36;
R = 0.2;
L = 0.6e-3;
phi = atan(2*pi*f*L/R);
k = Vb/Vm;
alpha = 65*pi/180;
alpha_e = alpha_e_solv(alpha,phi,k);
th = linspace(alpha, alpha_e, 1024);
A0=Vm/R*exp(alpha/tan(phi))*(k-cos(phi)*sin(alpha-phi));
Ith=A0*exp(-th/tan(phi))+Vm/R*cos(phi)*sin(th-phi)-Vb/R;
Idc = 1/(2*pi)*trapz(th, Ith)

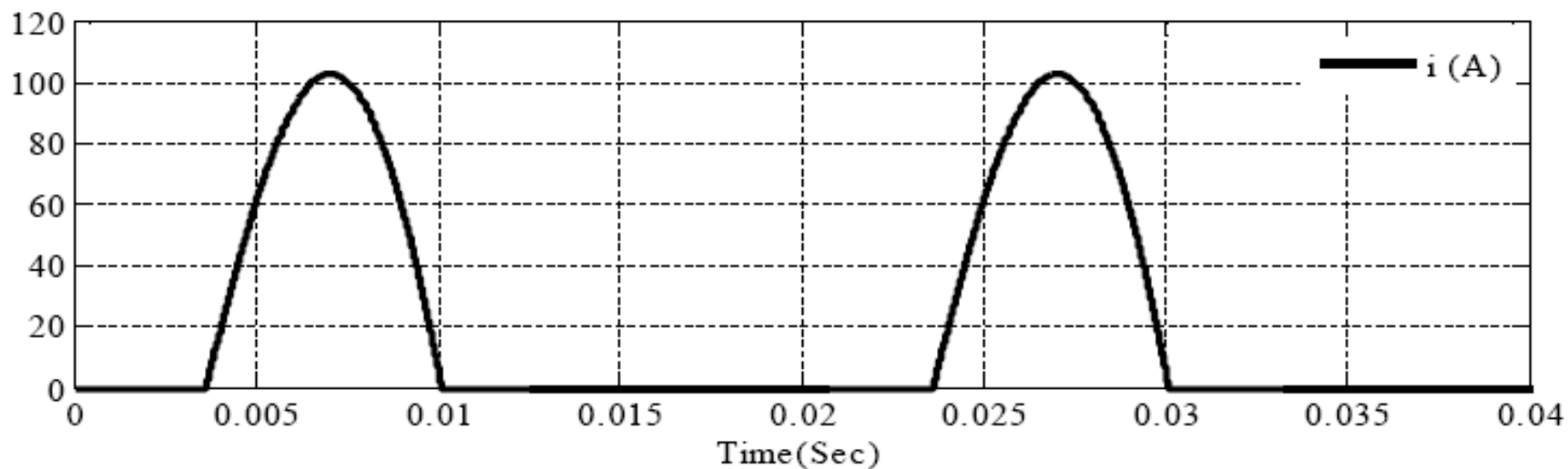
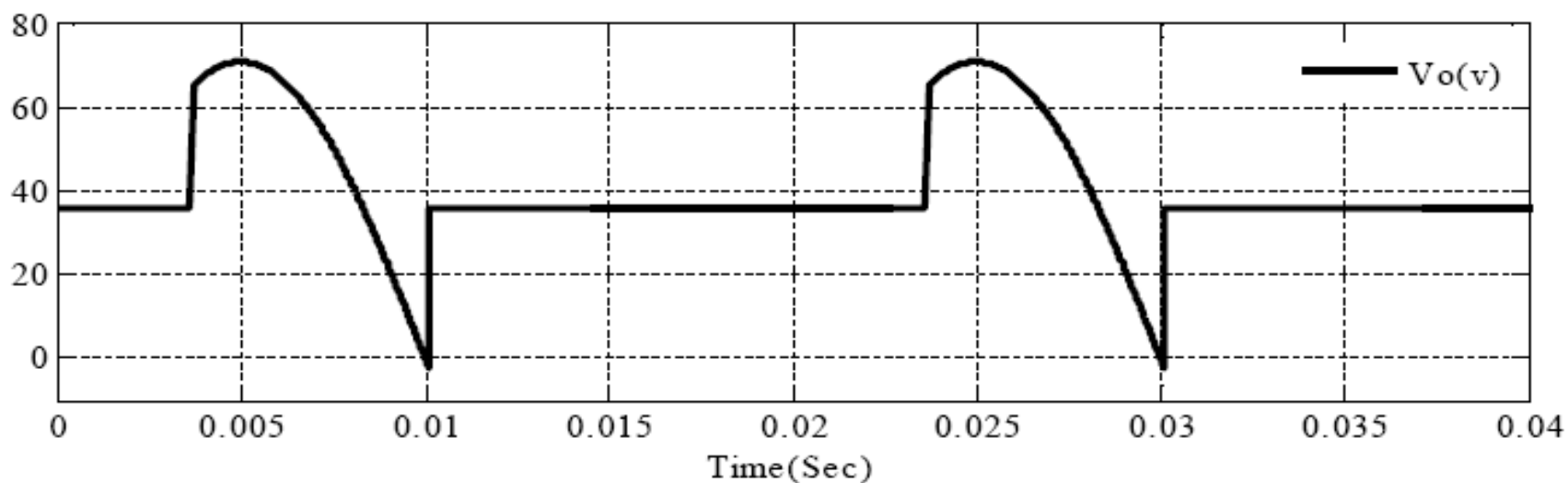
```

با اجرای این برنامه ی، زاویه خاموش شدن α_e برابر $3/174^{\text{rad}}$ یا $181/87^{\circ}$ و متوسط جریان باتری برابر $21/58^{\text{A}}$ بدست می آید.



شکل (۲-۱)

شکل (۲-۹)

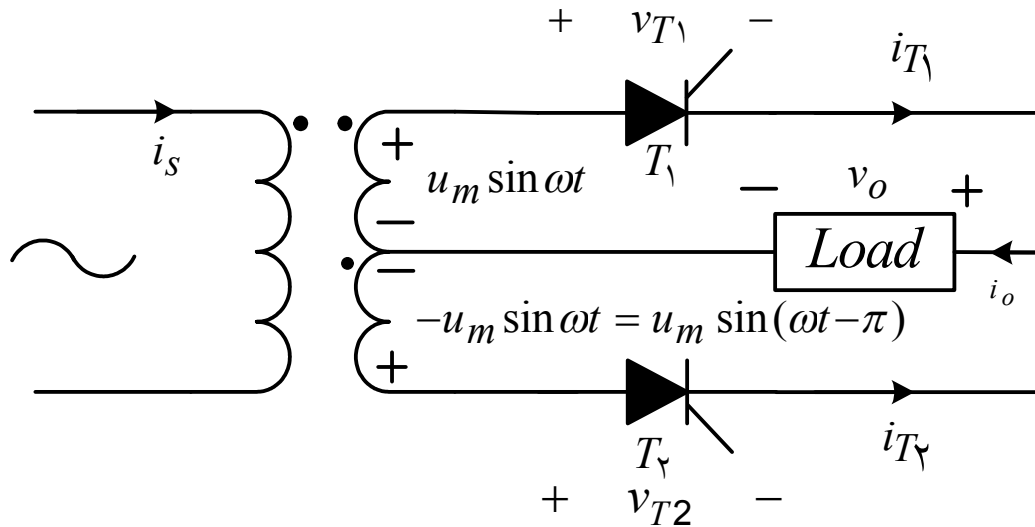


شکل (۲-۹): شکل موجهای ولتاژ و جریان بار مثال (۲-۲) برای $L=0.1\text{mH}$

حال چنانچه سلف بار را نصف شود با اجرای برنامه m-File زاویه خاموش شدن α_e برابر $2/98^{\text{rad}}$ یا $170/87^{\circ}$ و متوسط جریان باتری برابر $26/40^{\text{A}}$ بدست می آید که کاملاً با نتایج شبیه سازی در محیط Simulink همخوان است. با مقایسه متوسط جریان باتری در دو حالت می توان نتیجه گرفت که سلف بار اثر محدود کنندگی قابل ملاحظه ای در متوسط جریان شارژ باتری دارد.

یکسو کننده‌ها

یکسو کننده‌ی تکفاز تمام موج با ترانس سر وسط 



■ فرمان آتش T_1 و T_2 نسبت بهم 180° اختلاف فاز دارد بعبارت دیگر اگر در یک نیم سیکل T_1 با زاویه آتش α روشن شود، T_2 بایستی در نیم سیکل بعد با همان زاویه α ، روشن شود.

■ رعایت این نکته باعث متقارن شدن شکل موج i_s شده و از ایجاد جریانهای DC در تغذیه AC جلوگیری می‌نماید.

یکسو کننده‌ها

دو حالت ممکن است برای مدار رخ دهد:

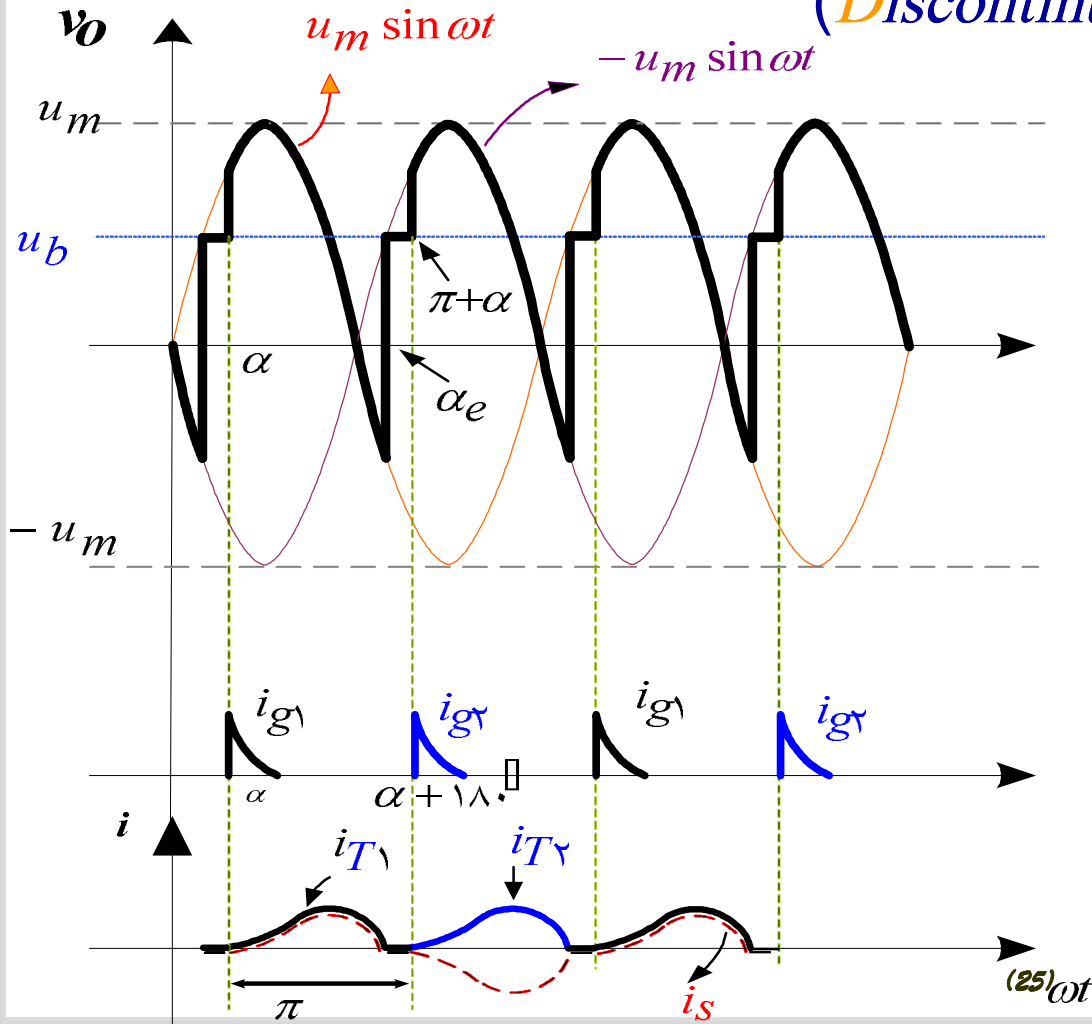
- (الف) وقتی یک تریستور را تریگر می کنیم، تریستور دیگر خاموش است.
- (ب) وقتی یک تریستور را تریگر می کنیم، تریستور دیگر هنوز روشن است.

مد هدایت ناپیوسته (Discontinuous Current Mode)

- وقتی یک تریستور می خواهد روشن شود، تریستور دیگر قبلاً خاموش شده است
- جریان بار در انتهای هر پریود، صفر میشود

$$\alpha_e \leq \pi + \alpha$$

متوسط I_s صفر است.

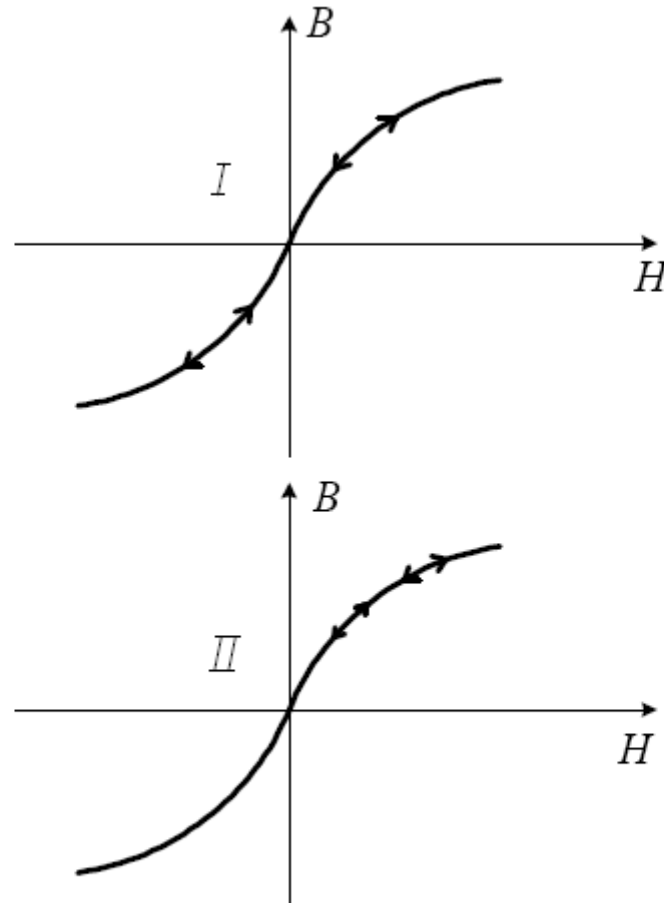


$$V_{odc} = \frac{1}{\pi} \left[\int_{\alpha}^{\alpha_e} [U_m \sin \omega t \cdot d(\omega t)] + U_b ((\pi + \alpha) - \alpha_e) \right]$$

$$V_{odc} = \frac{1}{\pi} [U_m (\cos \alpha - \cos \alpha_e) + U_b (\pi + \alpha - \alpha_e)]$$

$$V_o = U_b + L_d \frac{di}{dt} + R_d i$$

$$V_{odc} = U_b + R_d i_{dc} \Rightarrow i_{dc} = \frac{V_{odc} - U_b}{R_d}$$

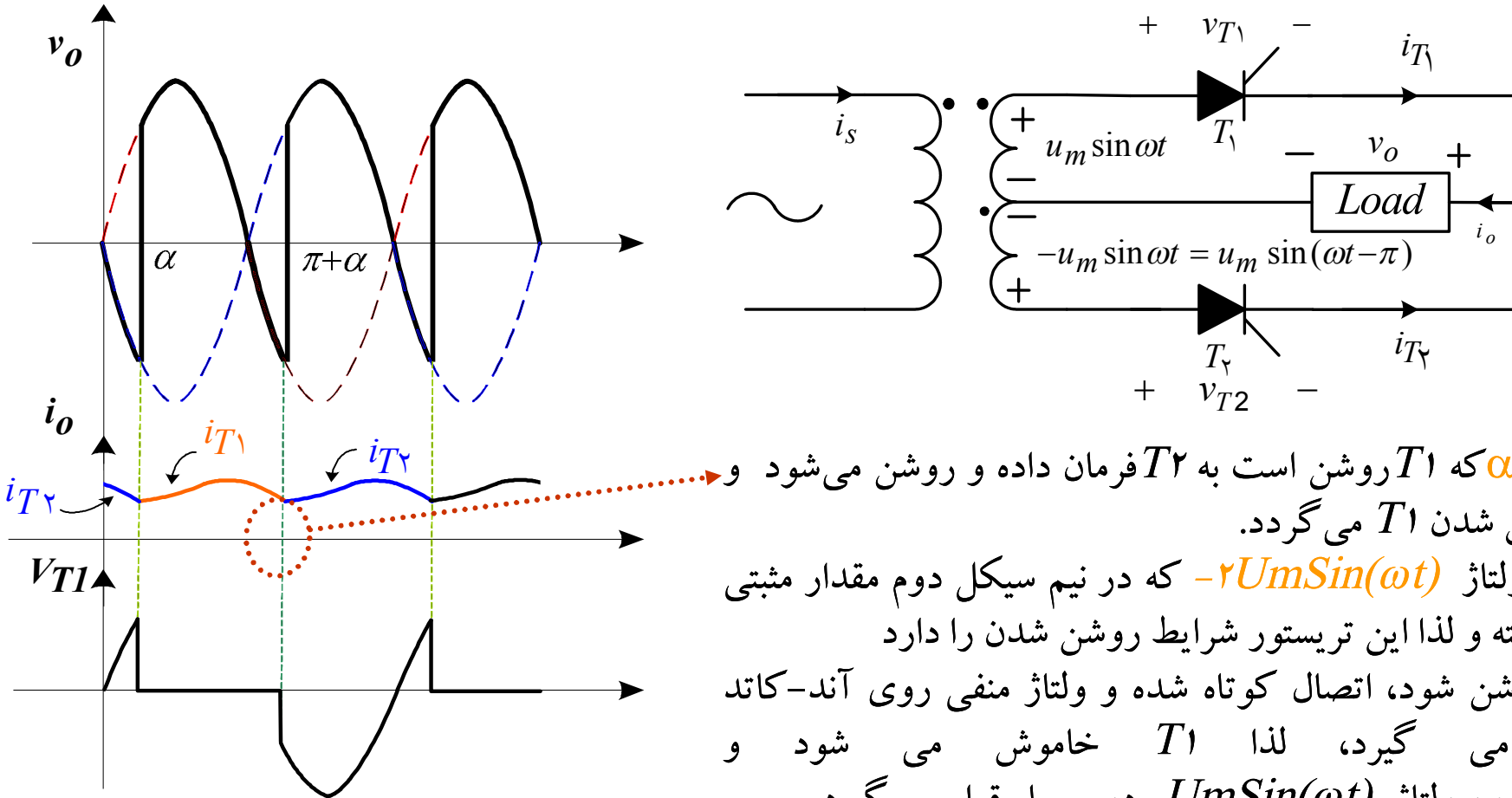


شکل (۲-۱۲): منحنی $B-H$ ترانسفورماتور و عبور جریان DC و AC

یکسوکننده‌ها

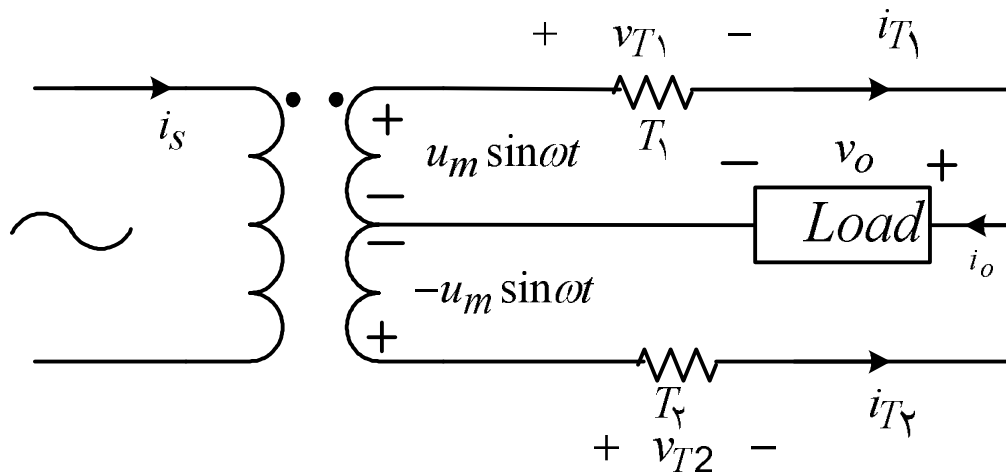
مد هدایت پیوسته (Continuous Current Mode)

- اگر سلف بار از حد معینی بزرگتر شود، هدایت پیوسته ایجاد می‌گردد.
- عبارت دیگر در این حالت جریان بار هیچگاه به صفر نمی‌رسد.



- در زاویه $\alpha + \pi$ که T_1 روشن است به T_2 فرمان داده و روشن می‌شود و موجب خاموش شدن T_1 می‌گردد.
- دو سر T_2 ولتاژ $-u_m \sin(\omega t)$ که در نیم سیکل دوم مقدار مثبتی دارد، قرار گرفته و لذا این تریستور شرایط روشن شدن را دارد
- وقتی T_2 روشن شود، اتصال کوتاه شده و ولتاژ منفی روی آند-کاتد T_1 قرار می‌گیرد، لذا T_1 خاموش می‌شود و T_2 هدایت کرده و ولتاژ $-u_m \sin(\omega t)$ دو سر بار قرار می‌گیرد.

کموتاسیون جریان در مد هدایت پیوسته



$$i_{T1} = \frac{2U_m \sin(\omega t)}{2r_{on}} + \frac{I_o}{2},$$

$$r_{on} \rightarrow 0 \Rightarrow i_{T1} \rightarrow -\infty \Rightarrow T1 : off$$

متوسط ولتاژ و جریان خروجی 

$$V_{o_{dc}} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} U_m \sin(\omega t) d(\omega t) \Rightarrow V_{o_{dc}} = \frac{2U_m}{\pi} \cos \alpha$$

$$i_{o_{dc}} = \frac{V_{o_{dc}} - u_b}{R_d}$$

$$0 < \alpha < 90^\circ \Rightarrow V_{o_{dc}} > 0 \quad (1)$$

$$90^\circ < \alpha < 180^\circ \Rightarrow V_{o_{dc}} < 0 \quad (2)$$

$$V_{o_{dc}} > 0$$

Rectifier

$AC \rightarrow DC$

$$V_{o_{dc}} < 0$$

Inverter

$AC \leftarrow DC$

👉 تعیین مرز بین هدایت پیوسته و ناپیوسته

■ برای تعیین حداقل مقدار سلف بار که باعث عبور جریان پیوسته می‌شود، بایستی حالت مرزی بین هدایت پیوسته و ناپیوسته را در نظر گرفت. در این شرایط زاویه خاموشی α_e برابر $(\alpha + \pi)$ خواهد شد.

$$-\cos \phi . \sin (\alpha - \phi) - k + (k - \cos \phi . \sin (\alpha - \phi)) . e^{\frac{(-\pi)}{\tan \phi}} = 0$$

👉 در این رابطه پارامترهای α (زاویه آتش) و k (نسبت دامنه ولتاژ منبع بار به پیک ولتاژ منبع سینوسی ثانویه) معلوم بوده و تنها مجهول این معادله ϕ (یا زاویه بار) است که بایستی برای تعیین آن از روشهای عددی استفاده نمود.

مثال (۲-۳):

یک باتری ۲۰ ولتی سری با یک مقاومت $0.2\ \Omega$ و یک سلف توسط یک مدار یکسو کننده تمام موج تریستوری با ترانس سر وسط با زاویه آتش 30° تغذیه میشود. ولتاژ ثانویه ترانس دارای ۳۰ ولت موثر و فرکانس $50\ \text{Hz}$ میباشد. حداقل مقدار سلف بار که باعث عبور جریان پیوسته باتری میشود را محاسبه نمایید.

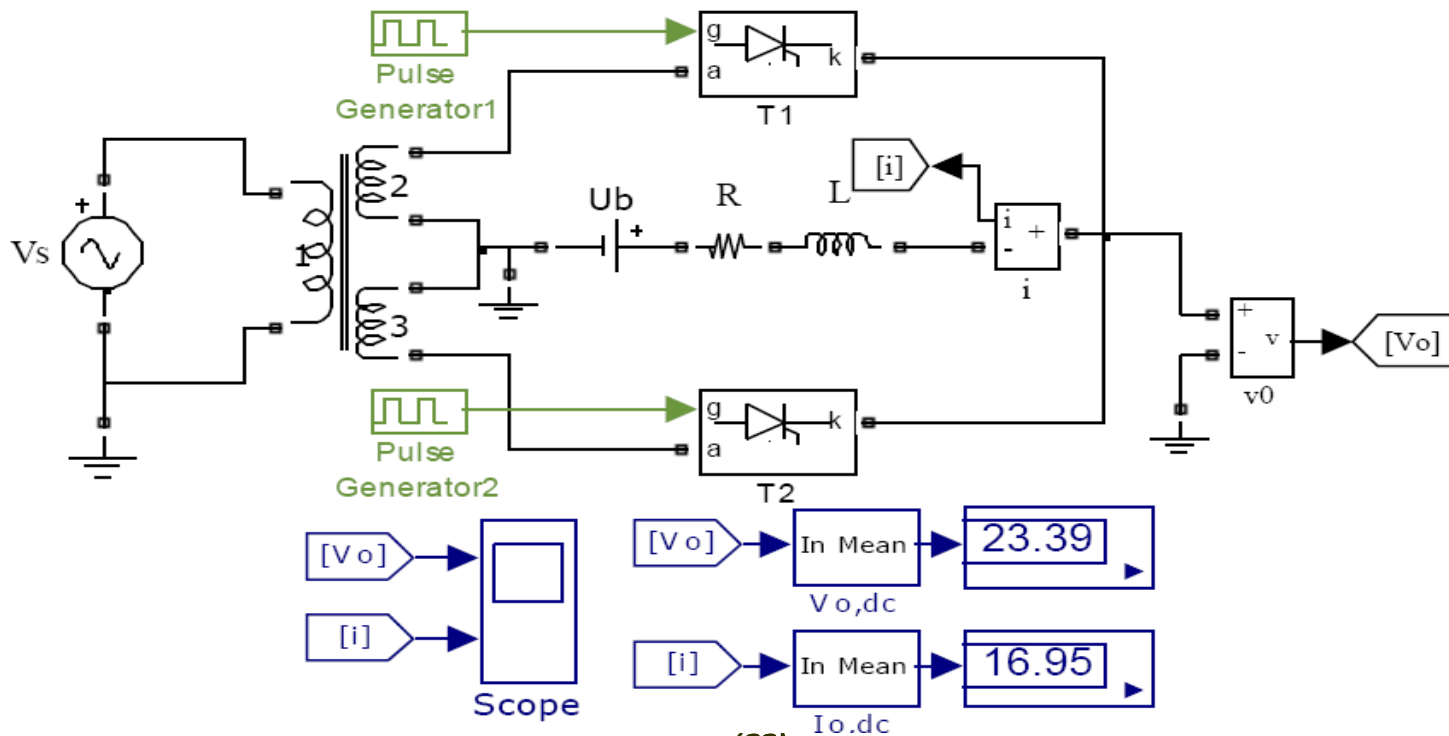
حل:

```
R = 0.2;
Vm=30*sqrt(2);
Vb=20;
alpha = 30*pi/180;
k = Vb/Vm;
x=fsolve(@(x) -cos(x)*sin(alpha-x)-k+(k-...
cos(x)*sin(alpha-x))*exp((-pi)/tan(x)), [pi/3]);
L=tan(x)*R/(100*pi);
```


یکسوکننده‌ها

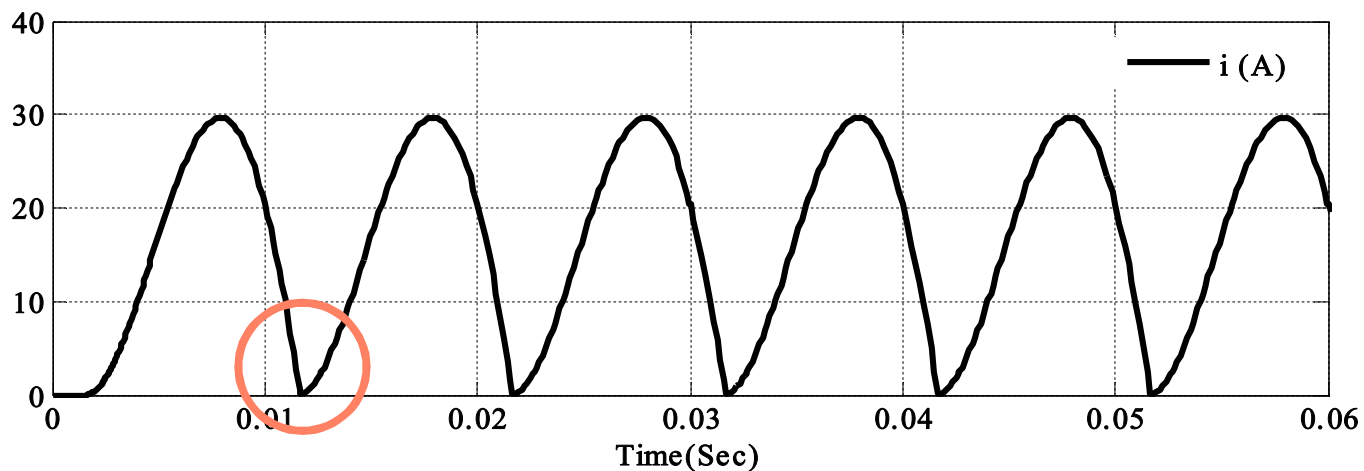
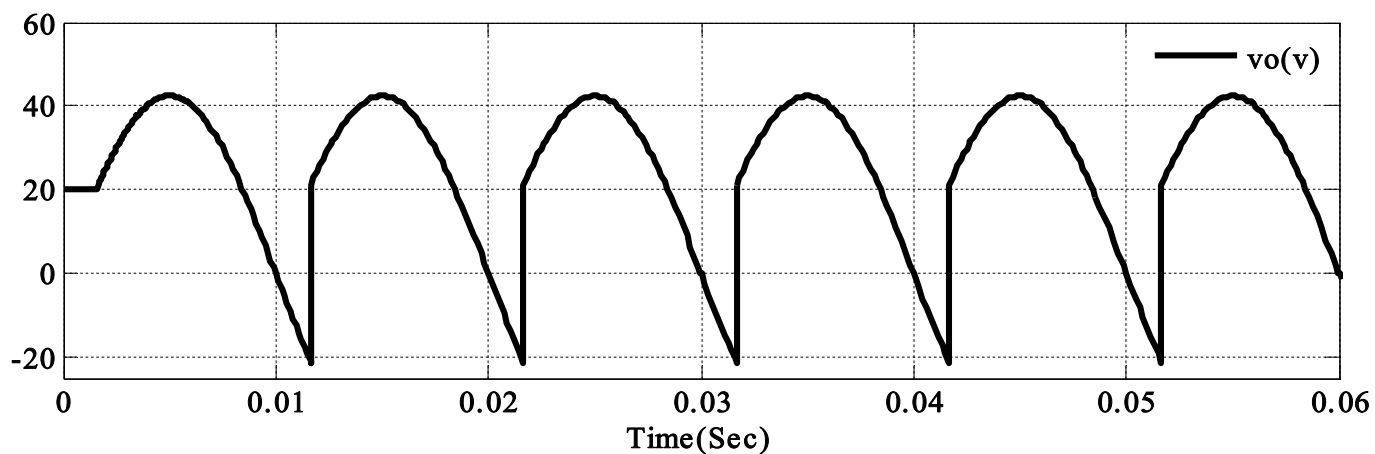
با اجرای این برنامه، زاویه بار ϕ برابر $1/3386^{\text{rad}}$ یا $76/70^{\circ}$ و مقدار حداقل سلف برابر $2/7^{\text{mH}}$ بدست می‌آید.


برای ارزیابی صحت این نتایج، این یکسوکننده با پارامترهای فوق را توسط جعبه ابزار شبیه ساز سیستم قدرت (SimPower System) نرم افزار MATLAB شبیه سازی می‌شود. در شکل (۲-۱۷) شماتیک مربوطه محیط Simulink نشان داده شده است.

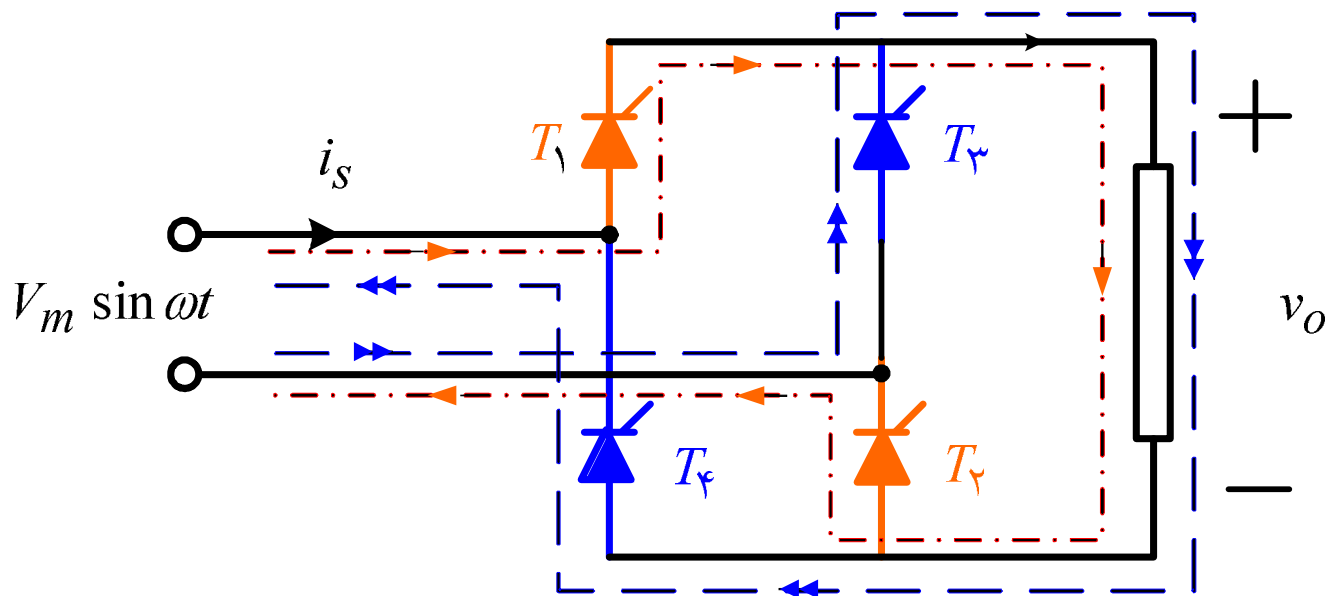



یکسو کننده‌ها

با شبیه سازی این مدار با مقدار سلف برابر 2mH در محیط Simulink نرم افزار MATLAB، متوسط جریان و ولتاژ بار بترتیب برابر 16.95A و 23.39V بدست می آید.

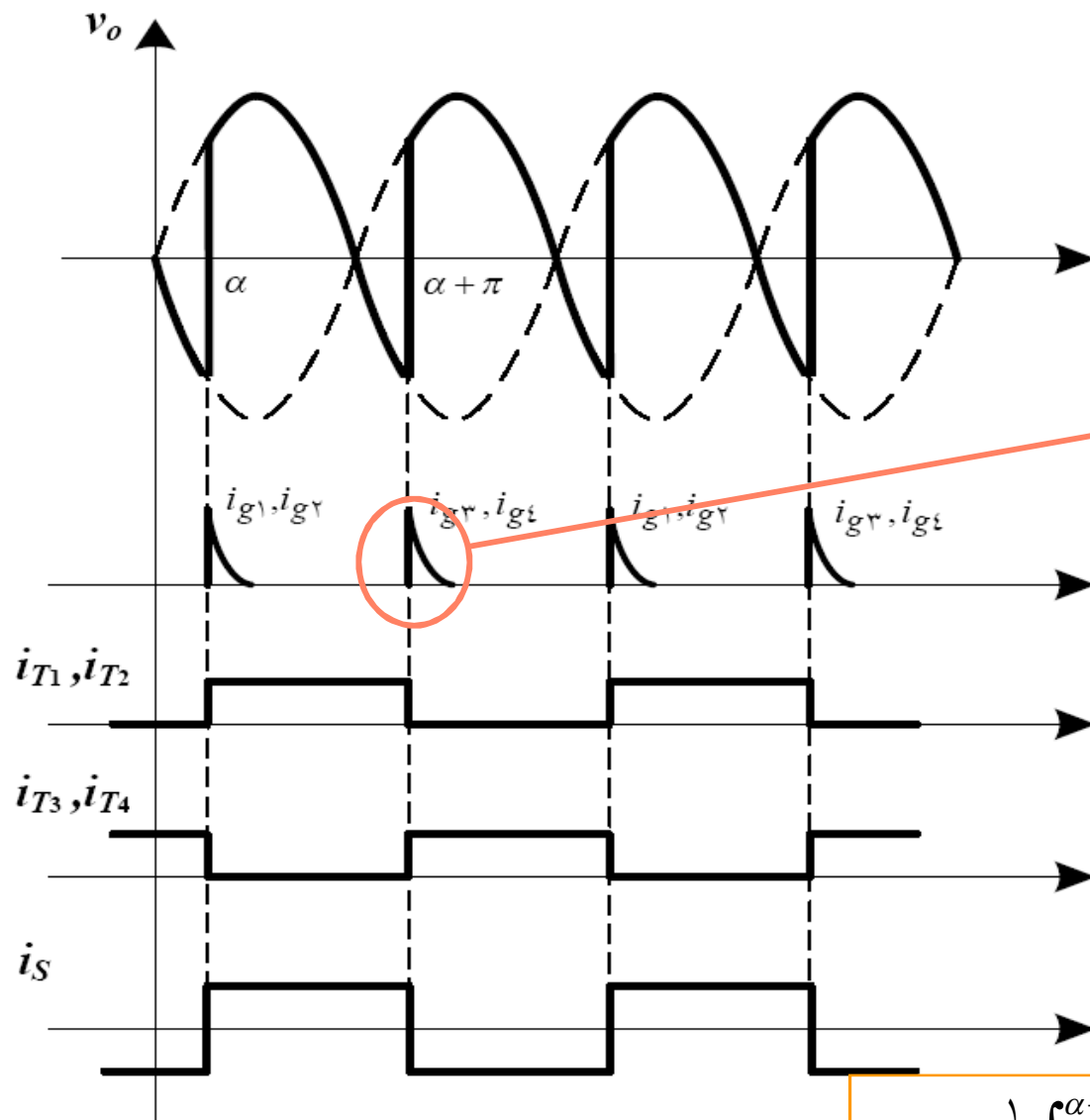


یکسو کننده‌ی تکفاز با پل تمام تریستوری 



فرمان تریستورها بدین ترتیب است که همواره T_1 و T_2 با هم روشن می‌شوند و با اختلاف فاز، T_3 و T_4 تریگر می‌شوند. 

مد هدایت پیوسته (CCM)



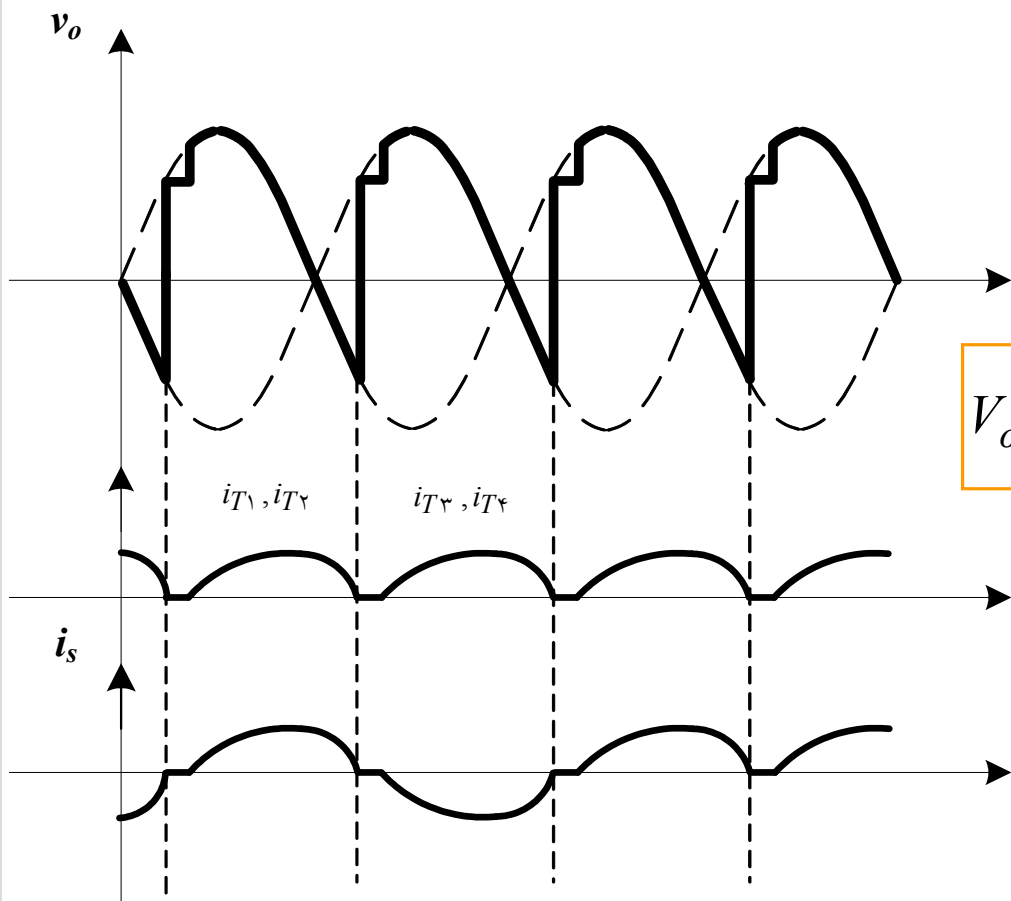
وقتی T_3 و T_4 تریگر شده و روشن شوند، T_1 و T_2 را خاموش می کنند (کموتاسیون خط).

متوسط ولتاژ دو سر بار

$$V_{o,dc} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) \Rightarrow V_{o,dc} = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha$$

مد هدایت ناپیوسته (DCM) 

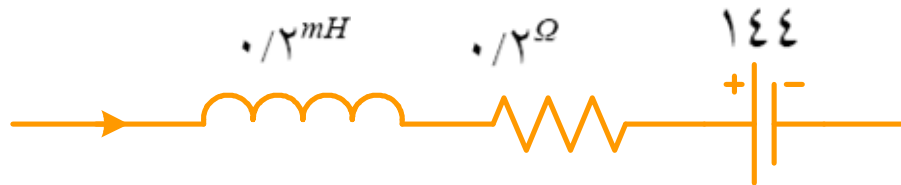
متوسط ولتاژ دو سر بار



$$V_{o dc} = \frac{1}{\pi} [U_m (\cos \alpha - \cos \alpha_e) + U_b (\pi + \alpha - \alpha_e)]$$

مثال :

یک مجموعه باتری ۱۴۴ ولتی سری با یک مقاومت 0.2Ω و سلف 0.2 mH توسط یک مدار یکسو کننده پل تمام موج تریستوری از طریق منبع 220 ولت موثر و فرکانس 50 Hz تغذیه میشود. حداکثر مقدار متوسط جریان مجموعه باتری را محاسبه نمایید.

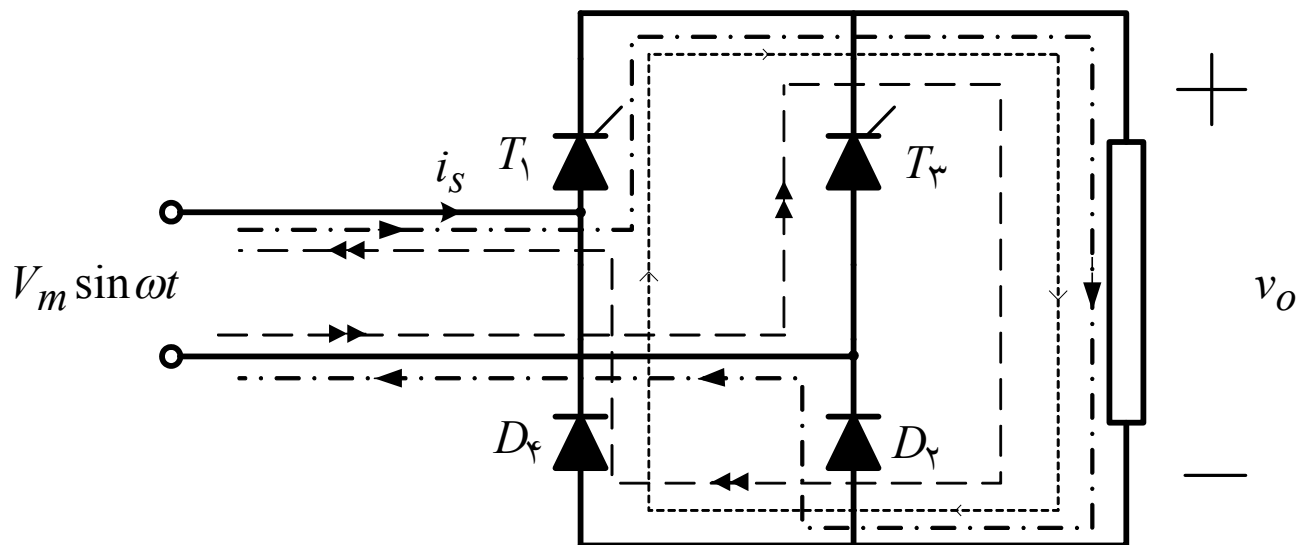


حل :

- حداکثر مقدار متوسط جریان بار \Leftarrow کمترین زاویه آتش $= \sin^{-1} \frac{U_b}{U_m} = \sin^{-1} \frac{144}{220\sqrt{2}} = 27/6^\circ$
- برای حالت مرزی با کمترین زاویه آتش \Leftarrow حداقل سلف 2 mH \Leftarrow مد هدایت ناپیوسته
- زاویه خاموشی $\Leftarrow 4/168^\circ$
- متوسط جریان بار $\Leftarrow 6/360$ آمپر

یکسو کننده‌ی تکفاز با پل تمام مختلط 

فرمان تریستورها: T_1 و T_3 با 180° درجه اختلاف فاز



- >--- مسیر جریان وقتی T_3 و D_4 هدایت می کنند
- .-.->-.-.- مسیر جریان وقتی T_1 و D_2 هدایت می کنند
- >----- مسیر جریان وقتی T_4 و T_1 هدایت می کنند

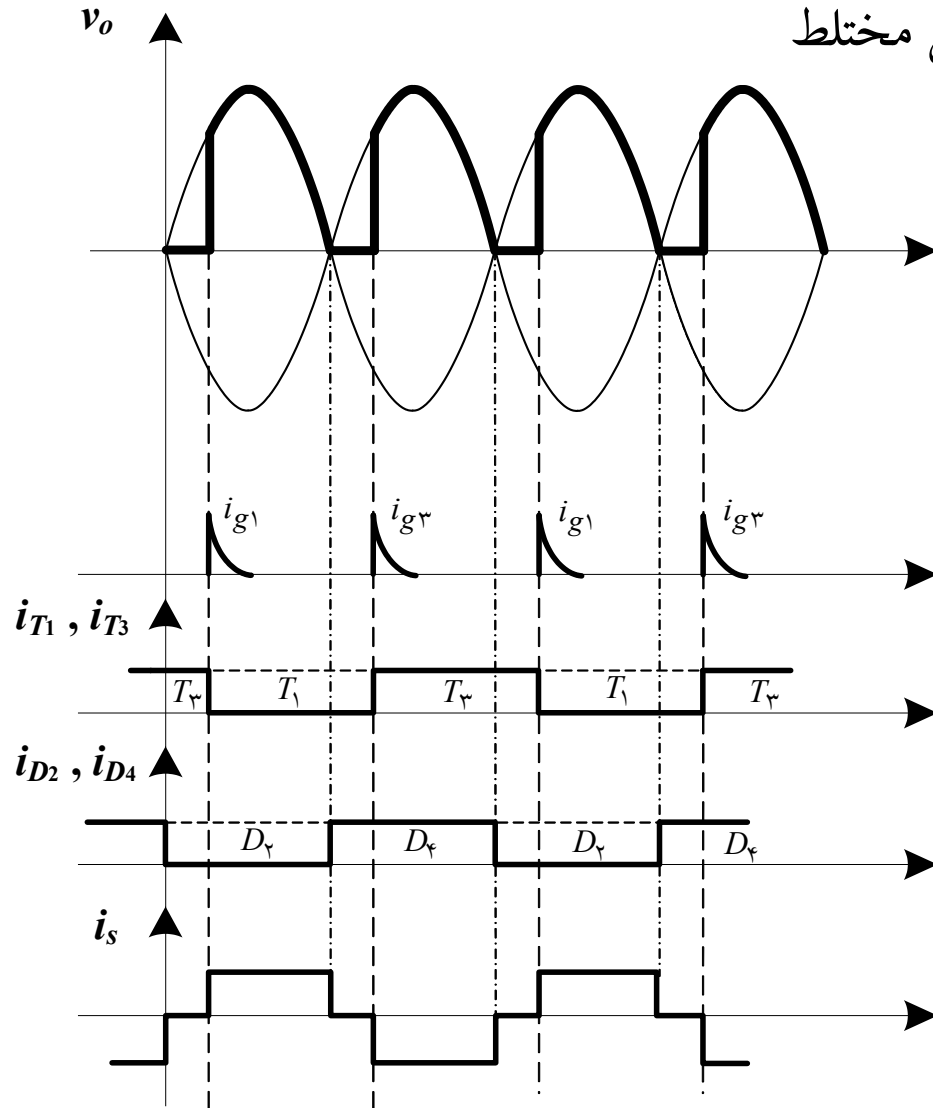
یکسو کننده‌ها

■ شکل موج های مبدل جریان تکفاز با پل مختلط

■ متوسط ولتاژ دو سر بار

$$V_{o_{dc}} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) \Rightarrow V_{o_{dc}} = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos\alpha)$$

$0 < \alpha < 180^\circ \Rightarrow V_{o_{dc}} > 0$



👉 **مزیت:** ولتاژ دو سر بار هیچگاه منفی نمی شود

👉 **عیب:** اعوجاج I_s نسبت به یکسو کننده‌ی تکفاز

با پل تمام تریستوری بیشتر است

مثال : 

یکسو کننده‌ها



یک باتری ۳۶ ولتی سری با یک مقاومت 0.2Ω و سلف $2/1 \text{ mH}$ توسط یک مدار یکسو کننده پل مختلط با زاویه آتش 30° تغذیه میشود. ثانویه ترانس تغذیه کننده پل دارای 50 ولت موثر و فرکانس 50 Hz میباشد.

الف) متوسط جریان باتری؟

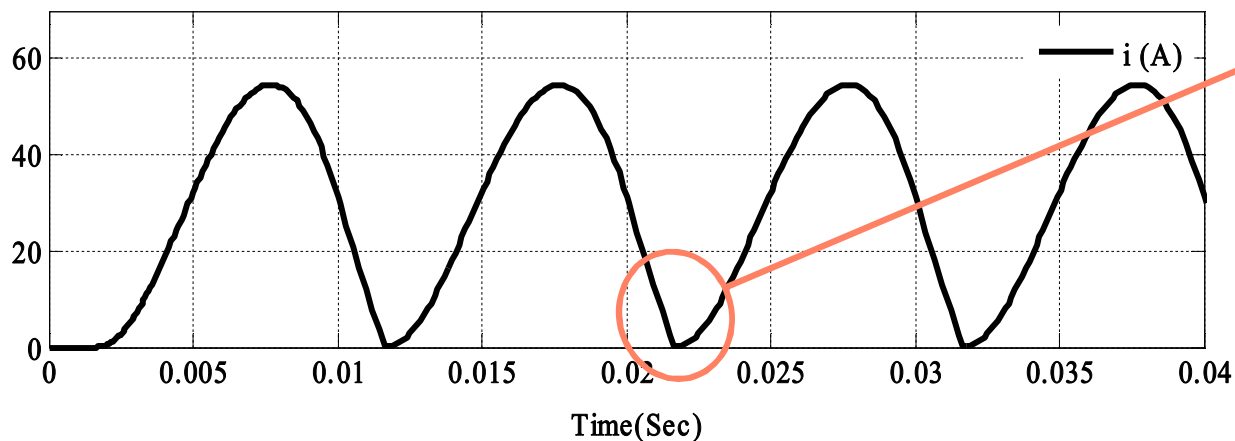
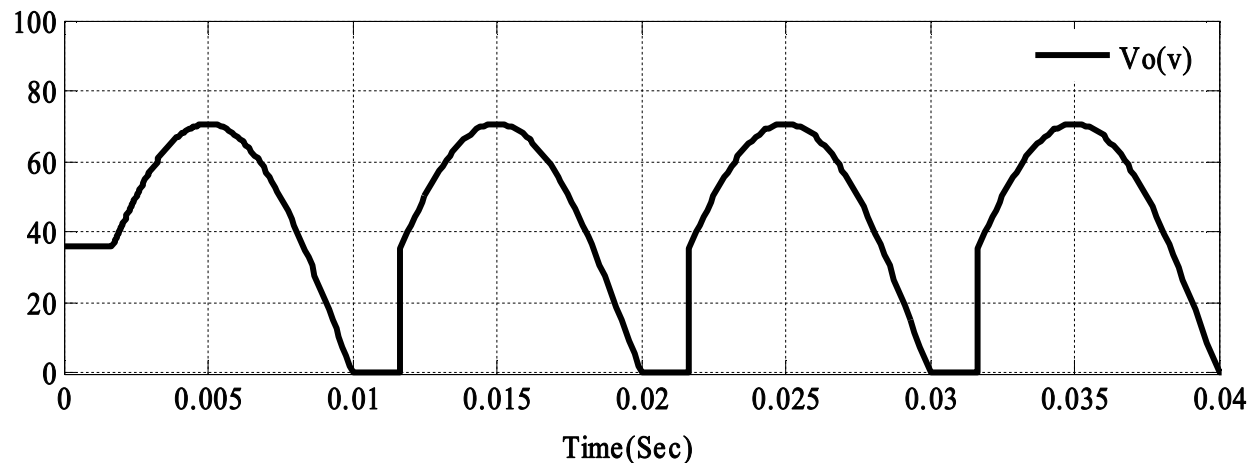
ب) اگر مقدار سلف سری دو برابر شود، متوسط جریان باتری؟

ج) اگر مقدار سلف سری نصف شود، متوسط جریان باتری؟

حل :

■ شبیه سازی مدار در محیط Simulink نرم افزار MATLAB

■ متوسط جریان و ولتاژ بار ترتیب برابر $30A$ و $42V$



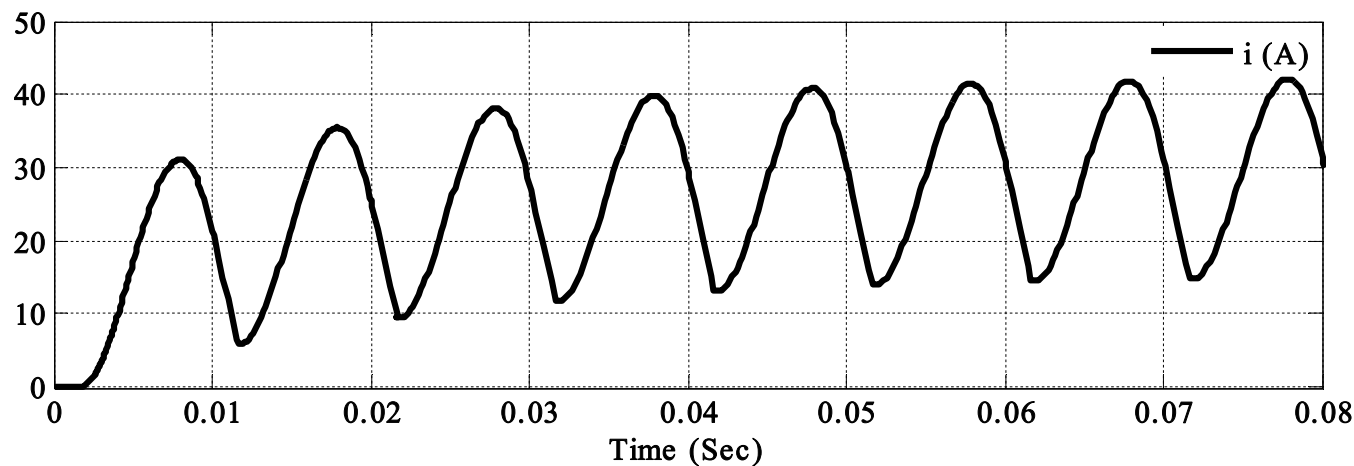
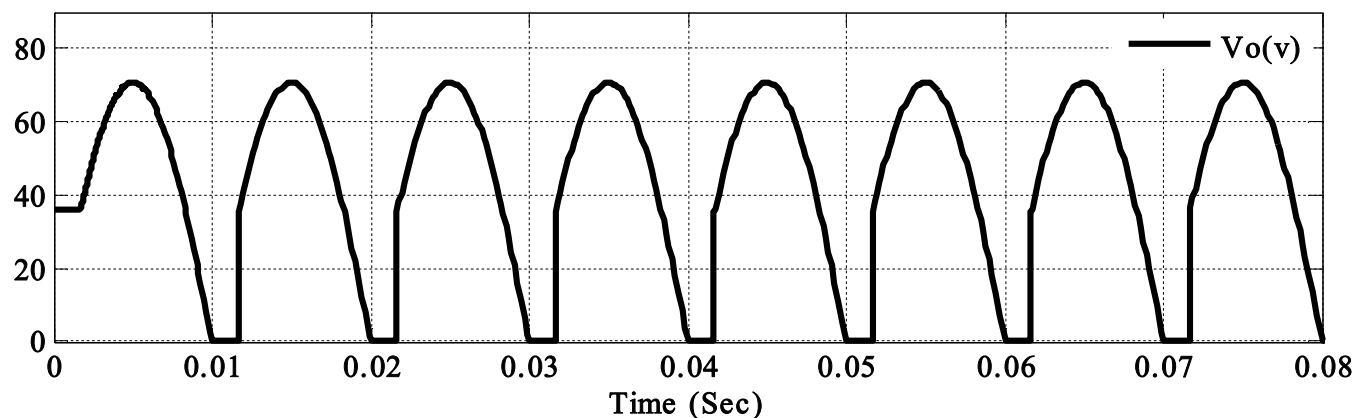
مرز هدایت پیوسته و ناپیوسته

یکسو کننده‌ها



■ اگر مقدار سلف سری دو برابر شود \Rightarrow مبدل کاملاً در مد هدایت پیوسته \Leftarrow متوسط ولتاژ و جریان بار برابر مقادیر قسمت قبل

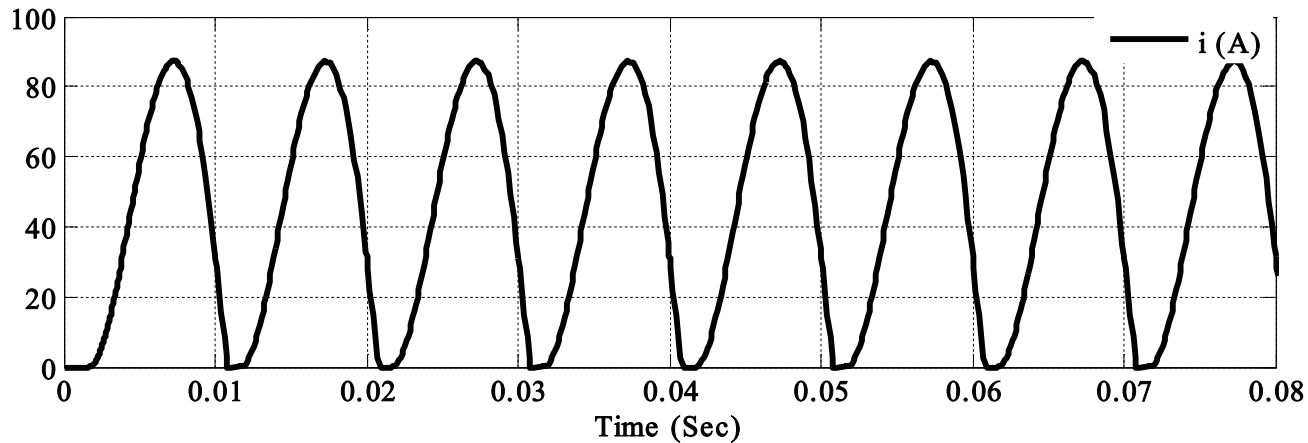
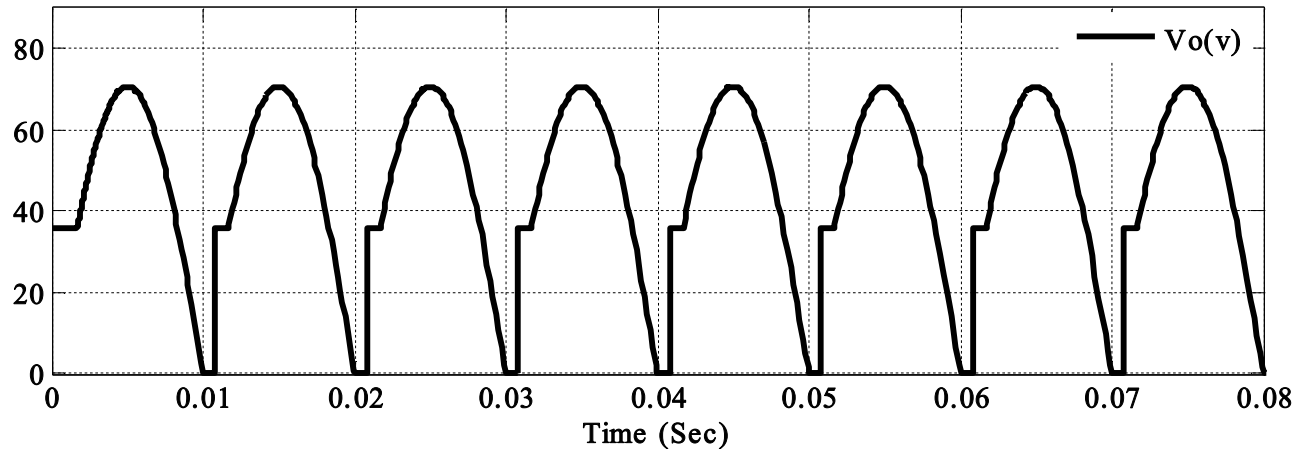
■ شکل موجهای ولتاژ و جریان بار:



یکسو کننده‌ها

■ اگر مقدار سلف سری نصف برابر شود \Rightarrow مبدل در مد هدایت ناپیوسته \Leftarrow متوسط ولتاژ و جریان بار برابر 45 V و 45 A

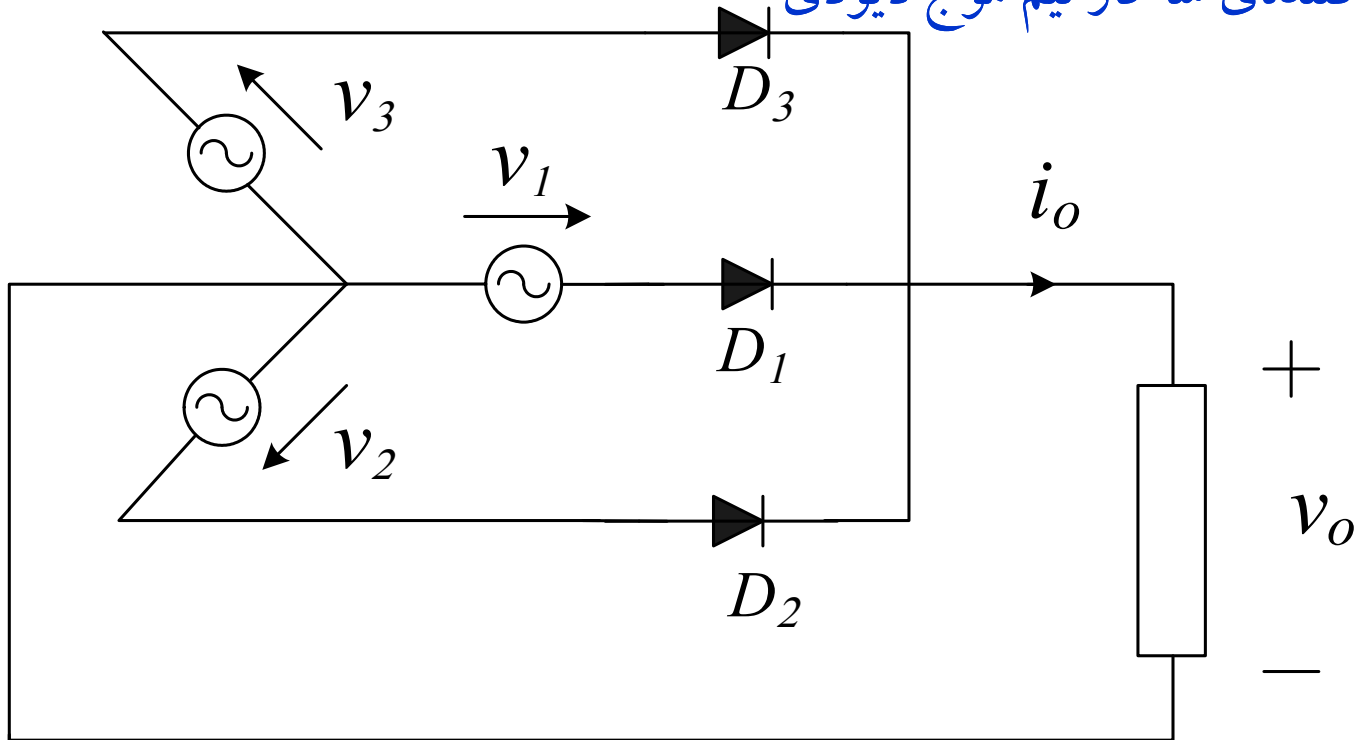
■ شکل موجهای ولتاژ و جریان بار:



یکسو کننده‌ها

یکسو کننده‌های سه فاز 

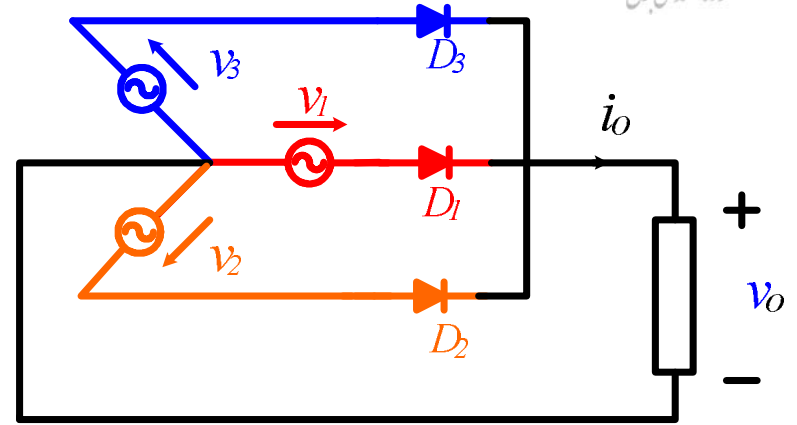
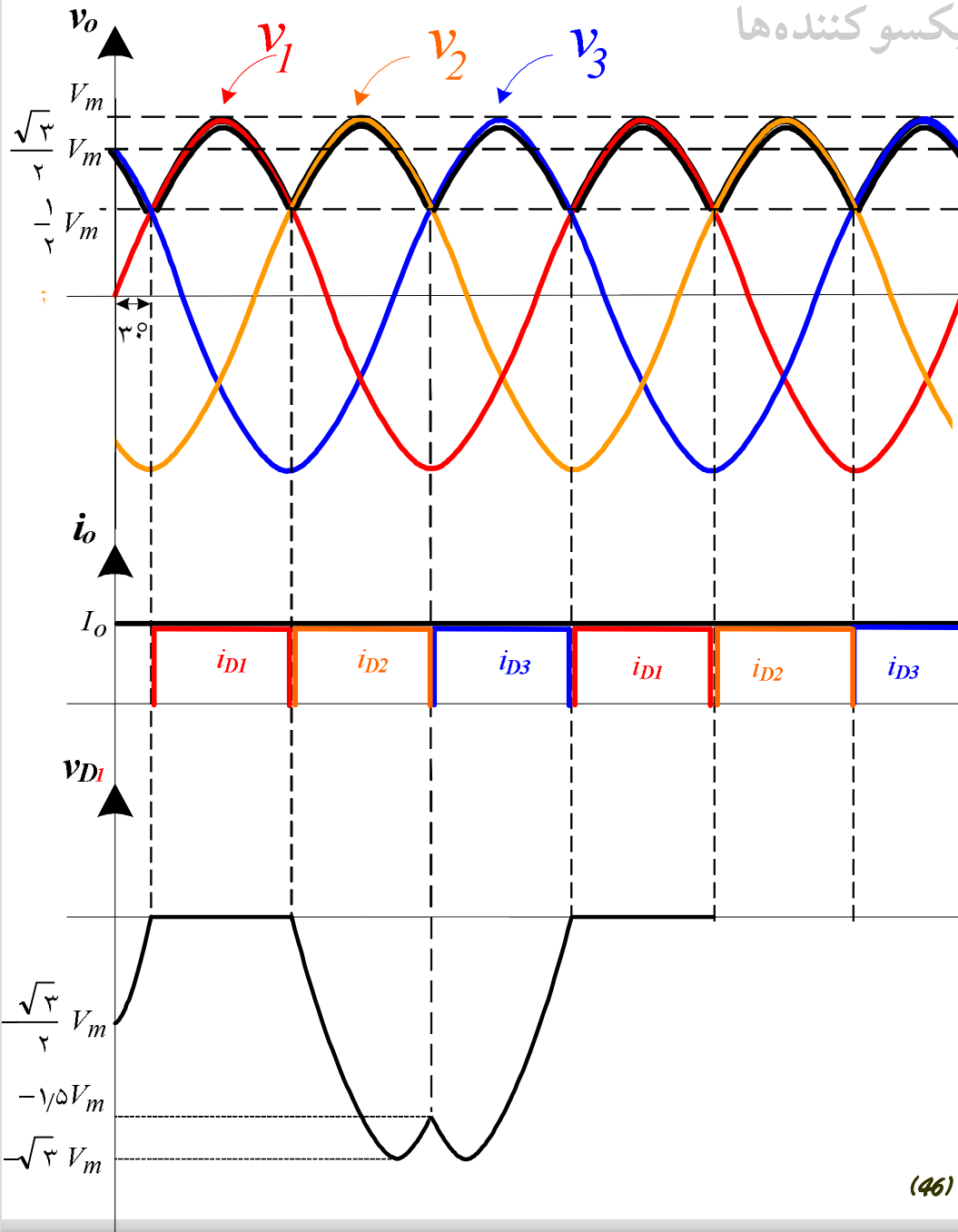
■ یکسو کننده‌ی سه فاز نیم موج دیودی



$$\begin{cases} V_1 = V_m \sin(\omega t) \\ V_2 = V_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ V_3 = V_m \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{cases}$$

■ منبع سه فاز متقارن متقارن فرض می شود

یکسو کننده ها



فرض می شود جریان بار ثابت باشد
(سلف بار بزرگ است)

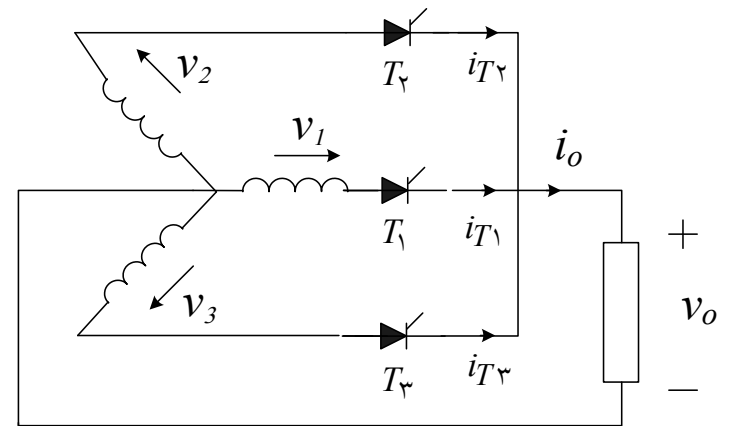
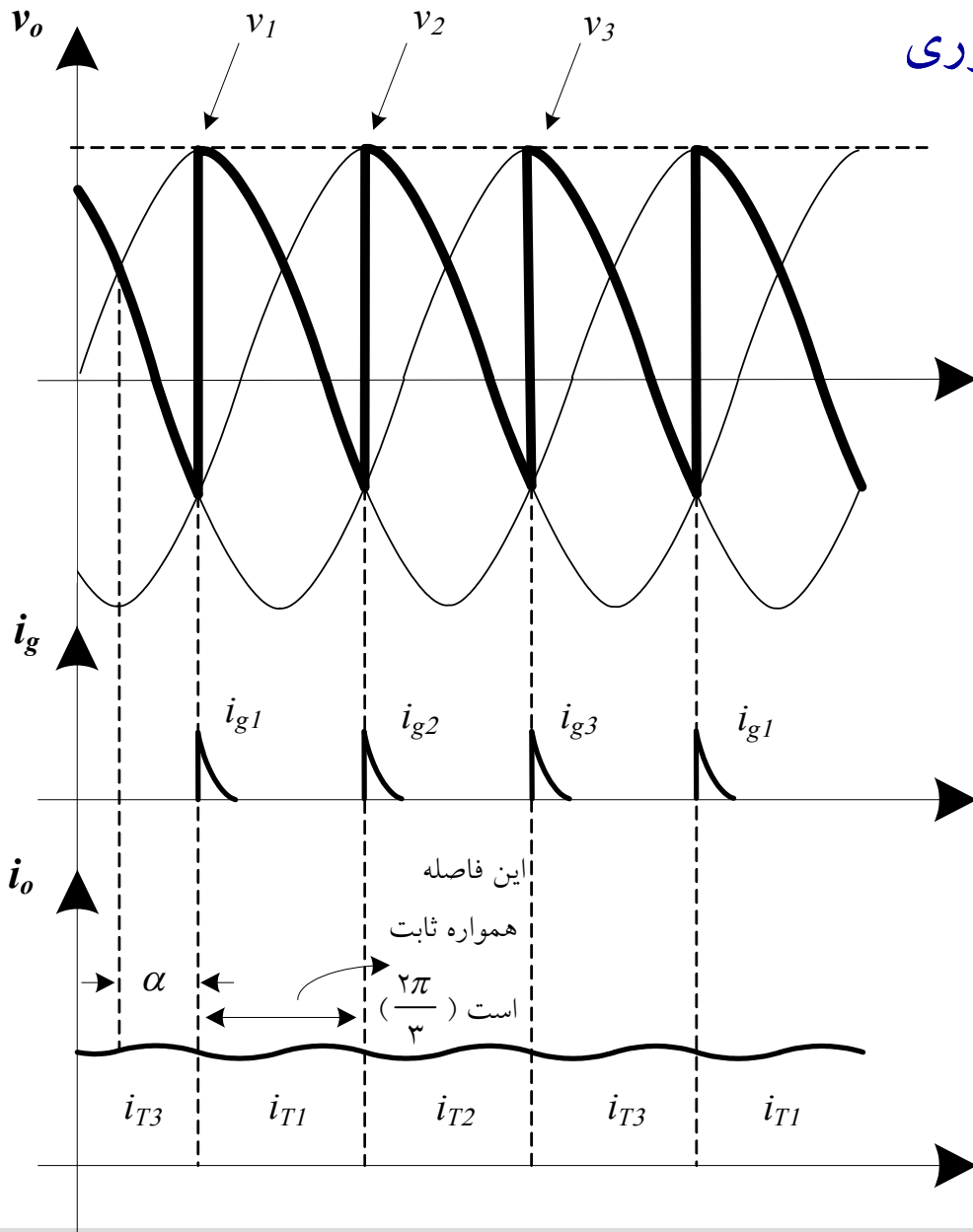
انتخاب دیود

$$i_{D_{ave}} = \frac{1}{3} I_o$$

$$i_{D_{rms}} = \frac{I_o}{\sqrt{3}}$$

$$V_{D_{BR}} > \sqrt{3} V_m$$

یکسو کننده‌ی سه فاز نیم موج تریستوری



• زاویه آتش نسبت به محل تلاقی ولتاز فازها، که نقاط کموتاسیون طبیعی نامیده می شوند، سنجیده می شود.

یکسو کننده‌ها

■ فرکانس شکل موج خروجی سه برابر فرکانس ورودی می باشد.

■ متوسط ولتاژ خروجی:

$$V_{o_{dc}} = \left(\frac{1}{\frac{2\pi}{3}} \right) \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{2\pi}{3} + \frac{\pi}{6} + \alpha} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) \Rightarrow V_{o_{dc}} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m \cos \alpha$$

$$0 < \alpha < 90^\circ$$

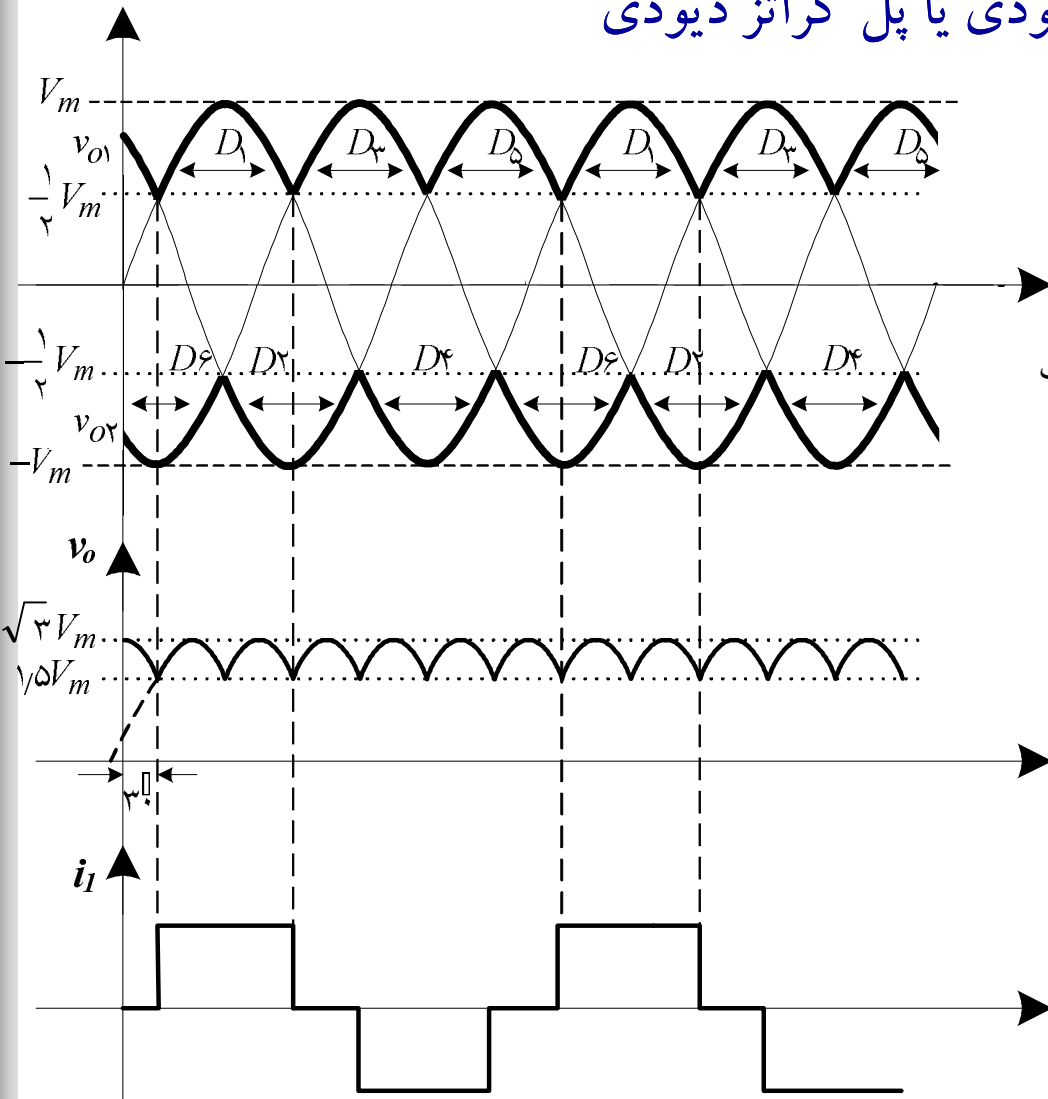
یکسو کننده

$$90^\circ < \alpha < 180^\circ$$

اینورتر

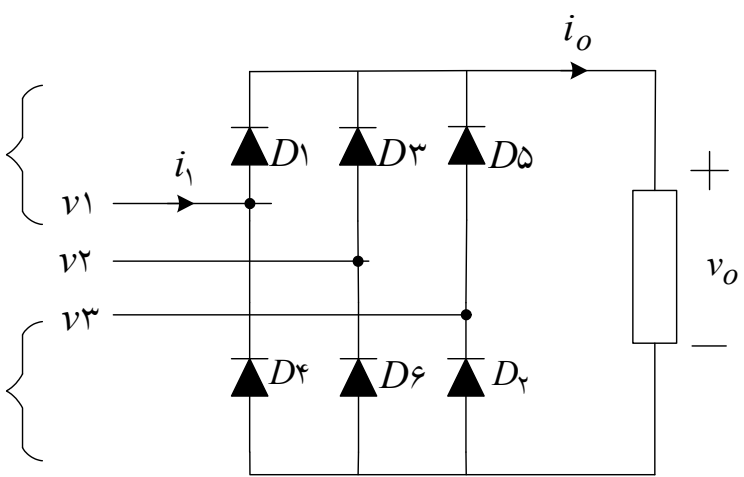
این مبدل دارای چندین اشکال است. اول اینکه به نقطه صفر سیستم سه فاز یا مرکز ستاره نیاز می باشد تا به سر بار وصل شود که البته همیشه نقطه صفر سه فاز در دسترس نیست. مشکل دوم این است که جریان فازها همواره غیر منفی است پس مقدار dc جریان هر فاز غیر صفر است و عبور جریان dc از منبع ac باعث ایجاد مشکل اشباع در ترانسفورماتور تغذیه خواهد شد.

یکسو کننده‌ی سه فاز تمام موج دیودی یا پل گراتز دیودی



دیودهای گروه مثبت

دیودهای گروه منفی



$$V_{Odc} = \frac{1}{\left(\frac{\pi}{3}\right)} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{3}} \sqrt{3} V_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) d(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m$$