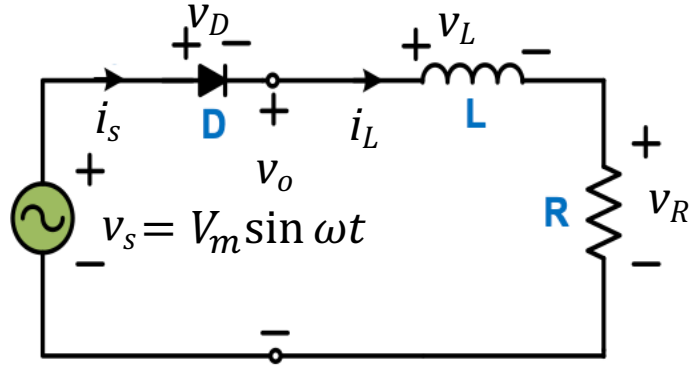


Güç Elektronik

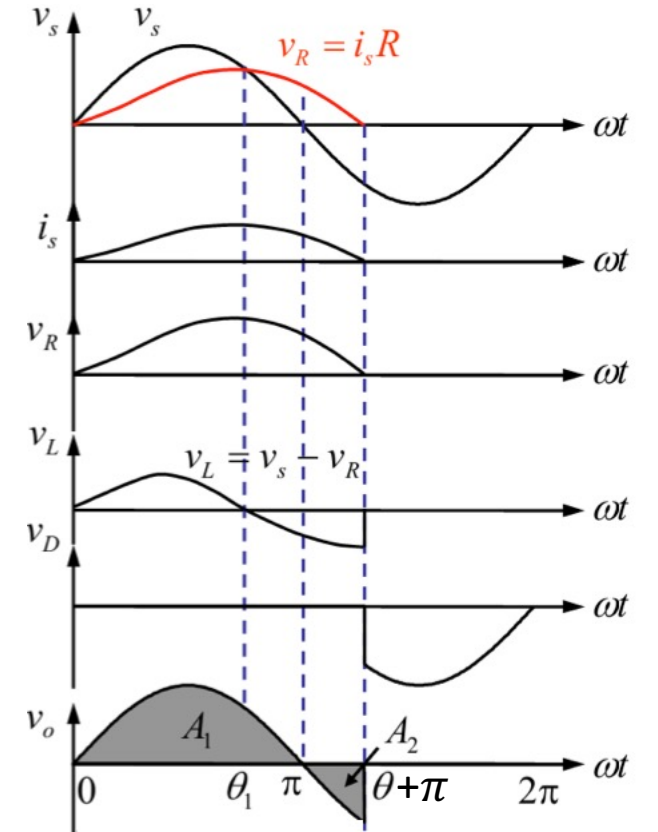
Fatih Evran

Tek Faz Yarım Dalga Doğrultucunun R-L ile Yüklenmesi



$\omega t = 0$ anında D ilettime geçer ve i_L akımı şu şekilde bulunmaktadır

$$i_L = Ae^{-t/\tau} + I_m \sin(\omega t - \phi), I_m = \frac{V_m}{|Z|} = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}, \phi = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}, \tau = \frac{L}{R}$$



Tek Faz Yarım Dalga Doğrultucunun R-L ile Yükleneşmesi

$$t = 0 \Rightarrow 0 = A - I_m \sin \phi \Rightarrow A = I_m \sin \phi$$

$$i_L = I_m \sin \phi e^{-t/\tau} + I_m \sin(\omega t - \phi)$$

i_L akımı $\omega t = \pi + \theta$ anında sıfır olmaktadır

$$0 = I_m \sin \phi e^{-\frac{\pi + \theta}{\omega L/R}} + I_m \sin(\pi + \theta - \phi)$$

$$\sin \phi e^{-\frac{\pi + \theta}{\omega L/R}} = \sin(\theta - \phi)$$

$$\theta - \phi = \sin^{-1} \left(\sin \phi e^{-\frac{\pi + \theta}{\omega L/R}} \right)$$

$$\theta = \phi + \sin^{-1} \left(\sin \phi e^{-\frac{\pi + \theta}{\omega L/R}} \right)$$

Tek Faz Yarım Dalga Doğrultucunun R-L ile Yüklenmesi

$$\theta = \phi + \sin^{-1} \left(\sin \phi e^{-\frac{\pi + \theta}{\omega L/R}} \right)$$

Akımın sıfır olduğu nokta, yukarıdaki eşitliğin ‘yineleme’ yöntemiyle çözülmesiyle bulunur. Bu noktada ($\omega t = \pi + \theta$) akım sıfır olduğu için diyot tıkamaya geçer. $\omega t = \pi$ ile $\omega t = \pi + \theta$ arasında, giriş gerilimi negatif olduğu halde, diyot iletimde kalır.

Çıkış gerilimin ortalama değeri:

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_o(\theta) d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi + \theta} V_m \sin \theta d\theta = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \theta)$$

Görüldüğü gibi ortalama gerilim yükün saf direnç olma durumundakinden daha düşüktür.

Akımın ortalama değeri:

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R} = \frac{V_m}{2\pi R} (1 + \cos \theta)$$

Tek Faz Yarım Dalga Doğrultucunun R-L ile Yüklenmesi

Örnek: $R=10\ \Omega$, $L=0.04\ \text{H}$, $f=50\ \text{Hz}$ ise diyotun tıkamaya geçtiği açıyı ve akımla gerilimin ortalama değerlerini bulunuz. ($V_m = 220\sqrt{2}\ \text{V}$)

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R} = \tan^{-1} \frac{2\pi f L}{R} = \tan^{-1} \frac{2\pi \times 50 \times 0.04}{10} = \tan^{-1} \frac{4\pi}{10} = \tan^{-1} 0.4\pi = 0.899\ \text{rad} = 51.49^\circ$$

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{0.04}{10} = 0.004\ \text{s} \quad I_m = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = \frac{220\sqrt{2}}{\sqrt{10^2 + (2\pi \times 50 \times 0.04)^2}} = 19.37\ \text{A}$$

$$i_L = I_m \sin \phi e^{-t/\tau} + I_m \sin(\omega t - \phi) = 15.16 e^{-t/0.004} + 19.37 \sin(\omega t - 0.899)$$

Tek Faz Yarım Dalga Doğrultucunun R-L ile Yüklenmesi

Akımın sıfıra düştüğü nokta: $\omega t = \pi + \theta$

$$i_L = 0 = 15.16e^{-\frac{\pi+\theta}{\omega 0.004}} + 19.37 \sin(\pi + \theta - 0.899)$$

$$15.16e^{-\frac{\pi+\theta}{0.4\pi}} = 19.37 \sin(\theta - 0.899)$$

$$\theta - 0.899 = \sin^{-1}\left(\frac{15.16}{19.37}e^{-\frac{\pi+\theta}{0.4\pi}}\right)$$

$$\theta - 0.899 = \sin^{-1}\left(\frac{15.16}{19.37}e^{-2.5}e^{\frac{-2.5}{\pi}\theta}\right)$$

$$\theta = 0.899 + \sin^{-1}\left(0.783 \times 0.0821 \times e^{\frac{-2.5}{\pi}\theta}\right)$$

$$\theta = 0.899 + \sin^{-1}\left(0.0642 \times e^{-0.7958\theta}\right)$$

Tek Faz Yarım Dalga Doğrultucunun R-L ile Yüklenmesi

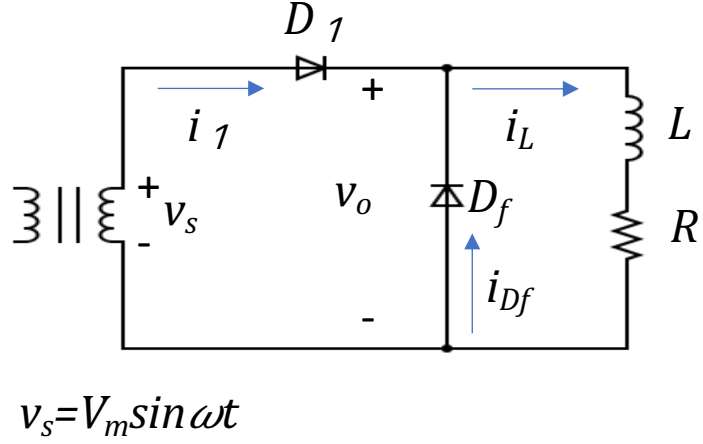
Yineleme yöntemi ile çözüm $\theta = 53.25^\circ = 0.9293$ rd olarak bulunur. Çıkış geriliminin ortalama değeri:

$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos\theta) = \frac{220\sqrt{2}}{2\pi} (1 + \cos 53.25^\circ) = 79.15 \text{ V}$$

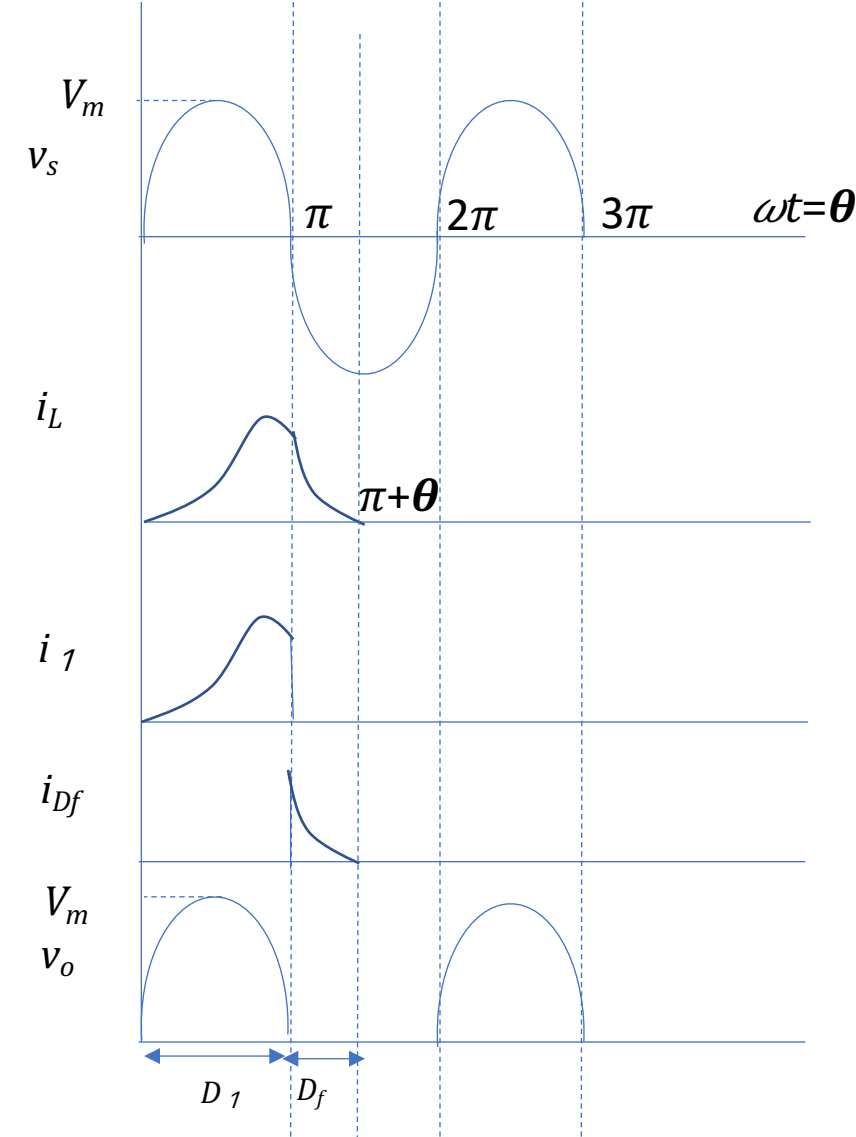
Çıkış akımının ortalama değeri:

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R} = \frac{79.15}{10} = 7.915 \text{ A}$$

Tek Faz Yarım Dalga Doğrultucunun R-L ile Yüklenmesi



Çıkış geriliminin ortalama değerinin R-L yüklü olması durumundaki düşüşünü önlemek için boşluk diyodu kullanılabilir. Giriş gerilimi (-) bölgeye geçtiğinde D_f iletim yönünde kutuplanmış olduğundan, iletme geçer. Böylece oluşan R-L- D_f döngüsünde, akım üstel olarak sıfıra düşer.



Tek Faz Yarım Dalga Doğrultucunun R-L ile Yüklenmesi

$$0 \leq \omega t \leq \pi \Rightarrow i_L(t) = I_m \sin \phi e^{-t/\tau} + I_m \sin(\omega t - \phi)$$

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

$$\omega t = \pi' de \Rightarrow i_L(\pi) = I_\pi = I_m \sin \phi e^{-\frac{\pi}{\omega L/R}} + I_m \sin(\pi - \phi)$$

$$I_\pi = I_m \sin \phi (e^{-\frac{\pi}{\omega L/R}} + 1)$$

$$\pi \leq \omega t \leq \pi + \theta \Rightarrow i_L(t) = I_\pi e^{-t/\tau} \quad (\omega t = \pi, t = 0 \text{ olarak alınır})$$

$\omega t = \theta$ anında akım sıfır olur.

$$0 = I_\pi e^{-\frac{\theta}{\omega L/R}}$$

Akımın sıfıra inmesi yaklaşık 5τ 'luk bir süre olur.

Tek Faz Yarım Dalga Doğrultucunun R-L ile Yüklenmesi

Bu devre için çıkış gerilimin ortalama değeri:

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_o(\theta) d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin \theta d\theta = \frac{V_m}{\pi}$$

Çıkış akımının ortalama değeri:

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R} = \frac{V_m}{\pi R}$$

Tek Faz Yarım Dalga Doğrultucunun R-L ile Yüklenmesi

Örnek: $R=10\ \Omega$, $L=0.005\ \text{H}$, $f=50\ \text{Hz}$ ise diyotun tıkamaya geçtiği açıyı bulunuz. ($V_m = 220\sqrt{2}\text{V}$)

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{0.005}{10} = 0.5\ \text{ms} \quad I_m = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = \frac{220\sqrt{2}}{\sqrt{10^2 + (2\pi 50 \times 0.005)^2}} = 30.74\ \text{A}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R} = \tan^{-1} \frac{2\pi f L}{R} = \tan^{-1} \frac{2\pi \times 50 \times 0.005}{10} = \tan^{-1} \frac{0.5\pi}{10} = \tan^{-1} 0.05\pi = 0.156\ \text{rad} = 8.93^\circ$$

$$0 \leq \omega t \leq \pi \Rightarrow i_L(t) = I_m \sin \phi e^{-t/\tau} + I_m \sin(\omega t - \phi) = 4.77e^{-t/\tau} + 30.74 \sin(\omega t - 0.156)$$

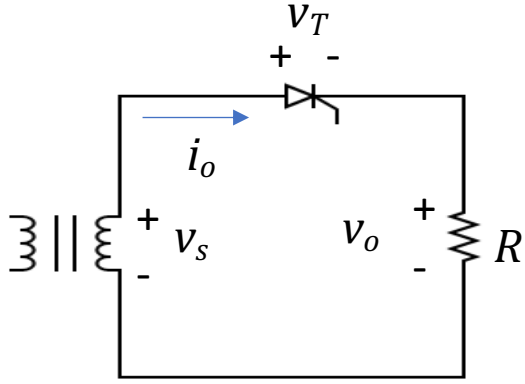
$$\omega t = \pi' de \Rightarrow i_L(\pi) = I_\pi = 4.77e^{-\pi/\omega\tau} + 30.74 \sin(\pi - 0.156) \approx 4.77\ \text{A}$$

$$\pi \leq \omega t \Rightarrow i_L(t) = 4.77e^{-t/\tau}$$

$$t = 5\tau = 2.5\ \text{ms} \Rightarrow i_L(t = 5\tau) = 4.77e^{-5\tau/\tau} = 0.03\ \text{A} \approx 0$$

$$\theta = 360^\circ \frac{2.5\ \text{ms}}{20\ \text{ms}} = 45^\circ$$

Tristörlü Tek Yollu Doğrultucu

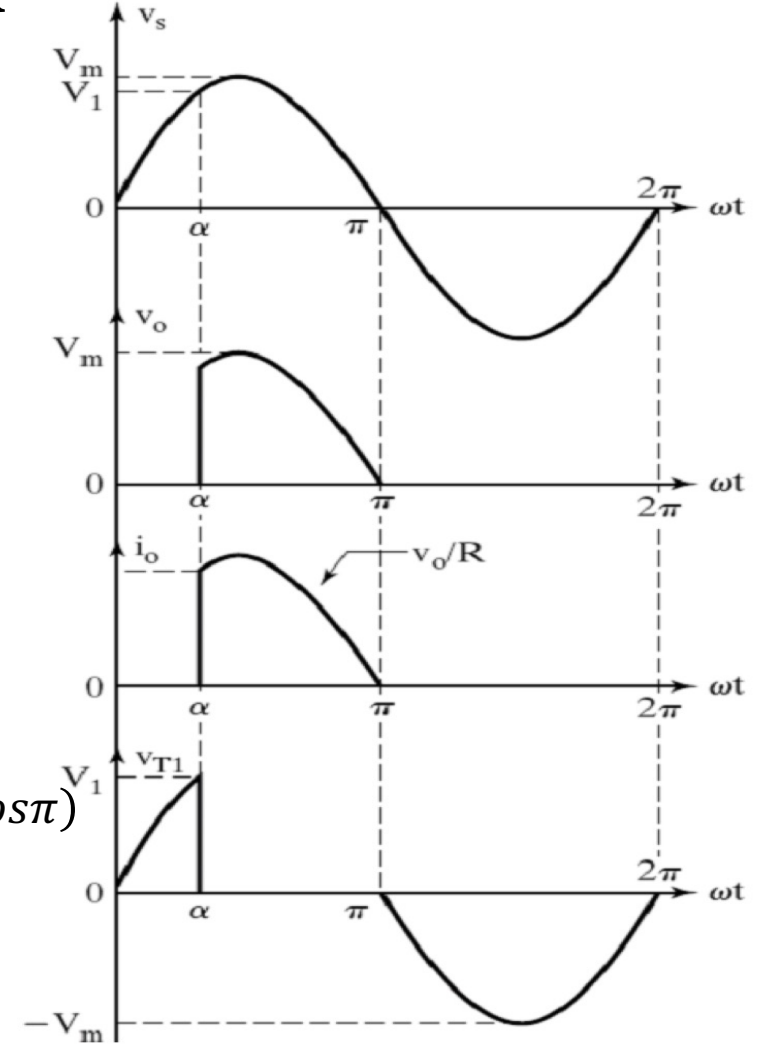


$$v_s = V_m \sin \omega t$$

Tek yollu doğrultucuda diyot yerine tristör kullanılarak yük geriliminin ortalama değeri ayarlanabilir

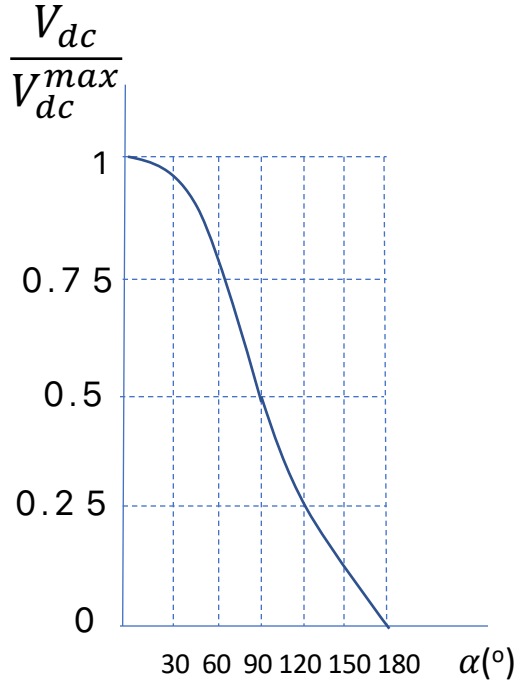
$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_o(\theta) d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \theta d\theta = \frac{V_m}{2\pi} (-\cos \theta) \Big|_{\alpha}^{\pi} = \frac{V_m}{2\pi} (\cos \alpha - \cos \pi) \\ &= \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = V_{dc}^{max} \frac{(1 + \cos \alpha)}{2} \quad (V_{dc}^{max} = \frac{V_m}{\pi}) \end{aligned}$$

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R} = \frac{V_m}{2\pi R} (1 + \cos \alpha)$$



α : Tetikleme açısı

Tristörlü Tek Yollu Doğrultucu



Görüldüğü gibi $\alpha=0$ diyot çalışmasına karşılık gelip, en büyük gerilimin elde edildiği açıdır. α 'nın değeri artırıldıkça ortalama yük gerilimi azalır. $\alpha=180^{\circ}$ teorik olarak ulaşılacak en büyük açıdır.

$$\begin{aligned} V_{rms} &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_o(\theta)^2 d\theta} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m^2 \sin(\theta)^2 d\theta} = \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \frac{1 - \cos 2\theta}{2} d\theta} \\ &= \sqrt{\frac{V_m^2}{4\pi} \left(\theta - \frac{\sin 2\theta}{2} \right) \Big|_{\alpha}^{\pi}} = \sqrt{\frac{V_m^2}{4\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)} \\ &= V_s \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{4\pi}} \end{aligned}$$

Tristörlü Tek Yollu Doğrultucu

Çıkış dc güç:

$$P_{dc} = V_{dc}I_{dc} = \left(\frac{V_m}{2\pi}\right)^2 \frac{(1 + \cos\alpha)^2}{R} = \frac{V_s^2}{2\pi^2} \frac{(1 + \cos\alpha)^2}{R}$$

Çıkış ac güç:

$$P_{ac} = V_{rms}I_{rms} = \frac{V_s^2}{R} \left(\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{4\pi}\right)$$

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = \frac{(1 + \cos\alpha)^2}{2\pi^2 \left(\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{4\pi}\right)}$$

Çıkış geriliminin değişken bileşenin etkin değeri:

$$V_{ac} = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{dc}^2} = \sqrt{V_s^2 \left(\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{4\pi}\right) - \frac{2V_s^2}{4\pi^2} (1 + \cos\alpha)^2} = V_s \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{4\pi} - \frac{1}{2\pi^2} (1 + \cos\alpha)^2}$$

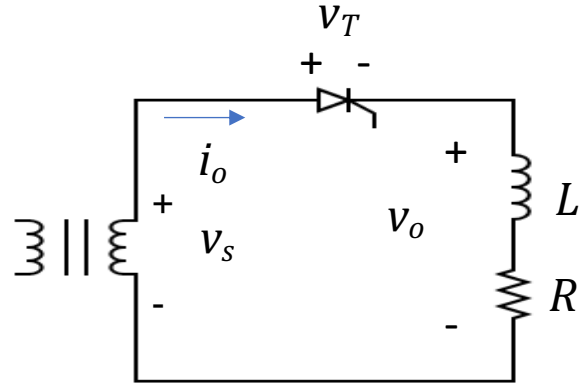
Tristörlü Tek Yollu Doğrultucu

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{4\pi}}}{(1 + \cos \alpha) / \pi \sqrt{2}}$$

$$RF = \frac{V_{ac}}{V_{dc}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{4\pi} - \frac{1}{2\pi^2} (1 + \cos \alpha)^2}}{(1 + \cos \alpha) / \pi \sqrt{2}} = \frac{\sqrt{\pi^2 - \pi \alpha + \pi \frac{\sin 2\alpha}{2} - (1 + \cos \alpha)^2}}{1 + \cos \alpha}$$

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

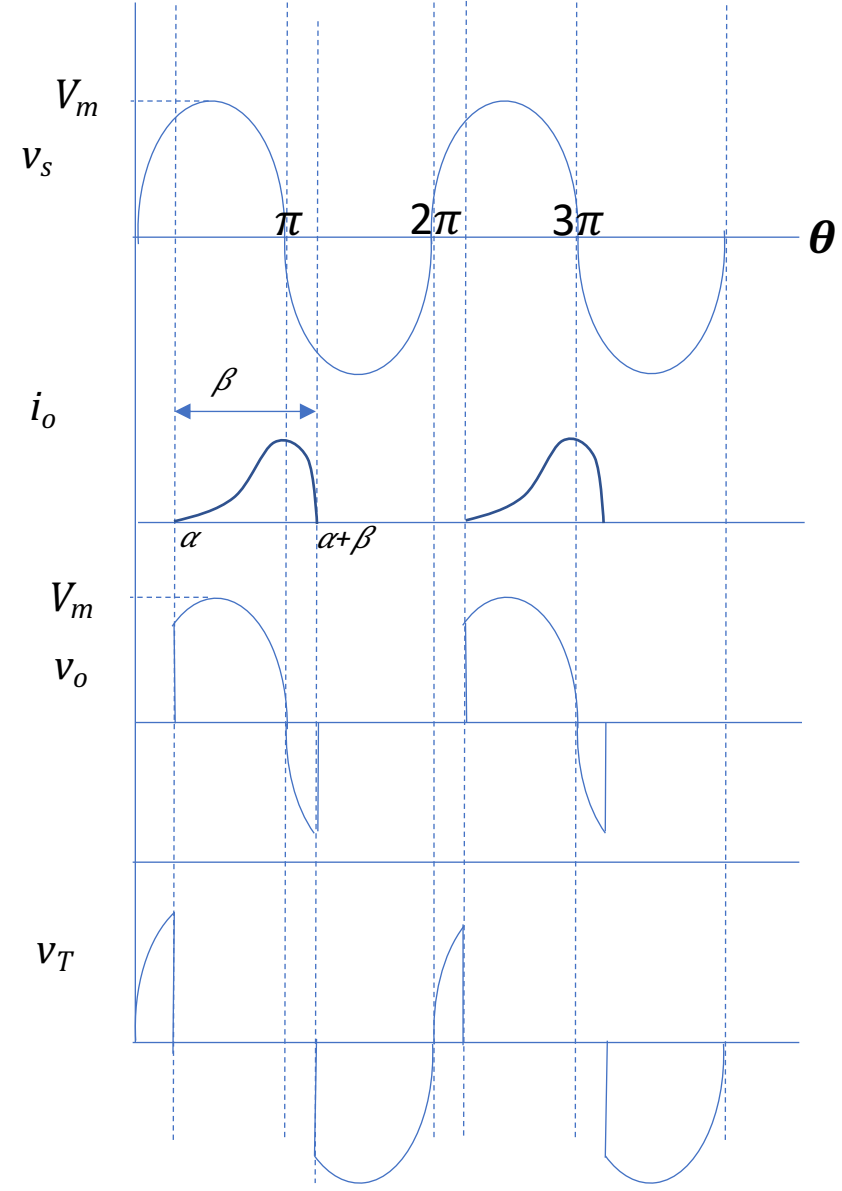
Tek Faz Kontrollü Yarım Dalga Doğrultucunun R-L ile Yüklenmesi



$$v_s = V_m \sin \omega t$$

Yük omik-endüktif olduğundan, gerilim sıfır olsa bile akım akmaya sürdürür. Akım sıfır olunca tristör susar.

β : Anahtarın iletimde kalma açısı



Tek Faz Kontrollü Yarım Dalga Doğrultucunun R-L ile Yükleneşmesi

Çıkış geriliminin ortalama değeri:

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_o(\theta) d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_\alpha^{\alpha+\beta} V_m \sin \theta d\theta = \frac{V_m}{2\pi} (-\cos \theta) \Big|_\alpha^{\alpha+\beta} = \frac{V_m}{2\pi} (\cos \alpha - \cos(\alpha + \beta))$$

Akım:

$$i_o(t) = Ae^{-t/\tau} + I_m \sin(\omega t - \phi), I_m = \frac{V_m}{|Z|} = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}, \phi = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}, \tau = \frac{L}{R}$$

$$\omega t = \alpha \Rightarrow i_o = 0 = Ae^{-\frac{\alpha}{\omega\tau}} + I_m \sin(\alpha - \phi) \Rightarrow A = -I_m \sin(\alpha - \phi) e^{\frac{\alpha}{\omega\tau}}$$

$$i_o(t) = -I_m \sin(\alpha - \phi) e^{\frac{\alpha}{\omega\tau}} e^{-t/\tau} + I_m \sin(\omega t - \phi) = I_m (\sin(\omega t - \phi) - \sin(\alpha - \phi) e^{-\frac{t-\frac{\alpha}{\omega}}{\tau}})$$

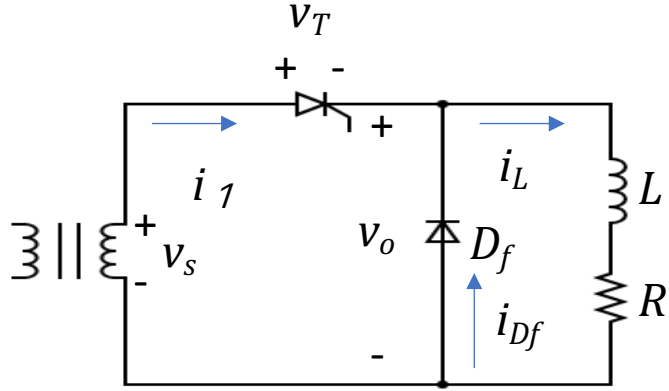
Tek Faz Kontrollü Yarım Dalga Doğrultucunun R-L ile Yüklenmesi

Akım $\omega t = \alpha + \beta$ 'da sıfır olur. İletim açısı (β)'nin değeri şu biçimde bulunur.

$$i_o(t) = I_m(\sin(\omega t - \phi) - \sin(\alpha - \phi) e^{-\frac{t - \frac{\alpha}{\omega}}{\tau}})$$
$$\omega t = \alpha + \beta \Rightarrow 0 = I_m \left(\sin(\alpha + \beta - \phi) - \sin(\alpha - \phi) e^{-\frac{\alpha + \beta - \alpha}{\omega \tau}} \right)$$
$$\sin(\alpha + \beta - \phi) = \sin(\alpha - \phi) e^{-\frac{\beta}{\omega \tau}} = \sin(\alpha - \phi) e^{-\frac{\beta}{\tan \phi}}$$
$$\sin(\alpha + \beta - \phi) = \sin(\alpha - \phi) e^{-\frac{\beta}{\tan \phi}}$$
$$\beta = \tan \phi \ln \frac{\sin(\alpha - \phi)}{\sin(\alpha + \beta - \phi)}$$

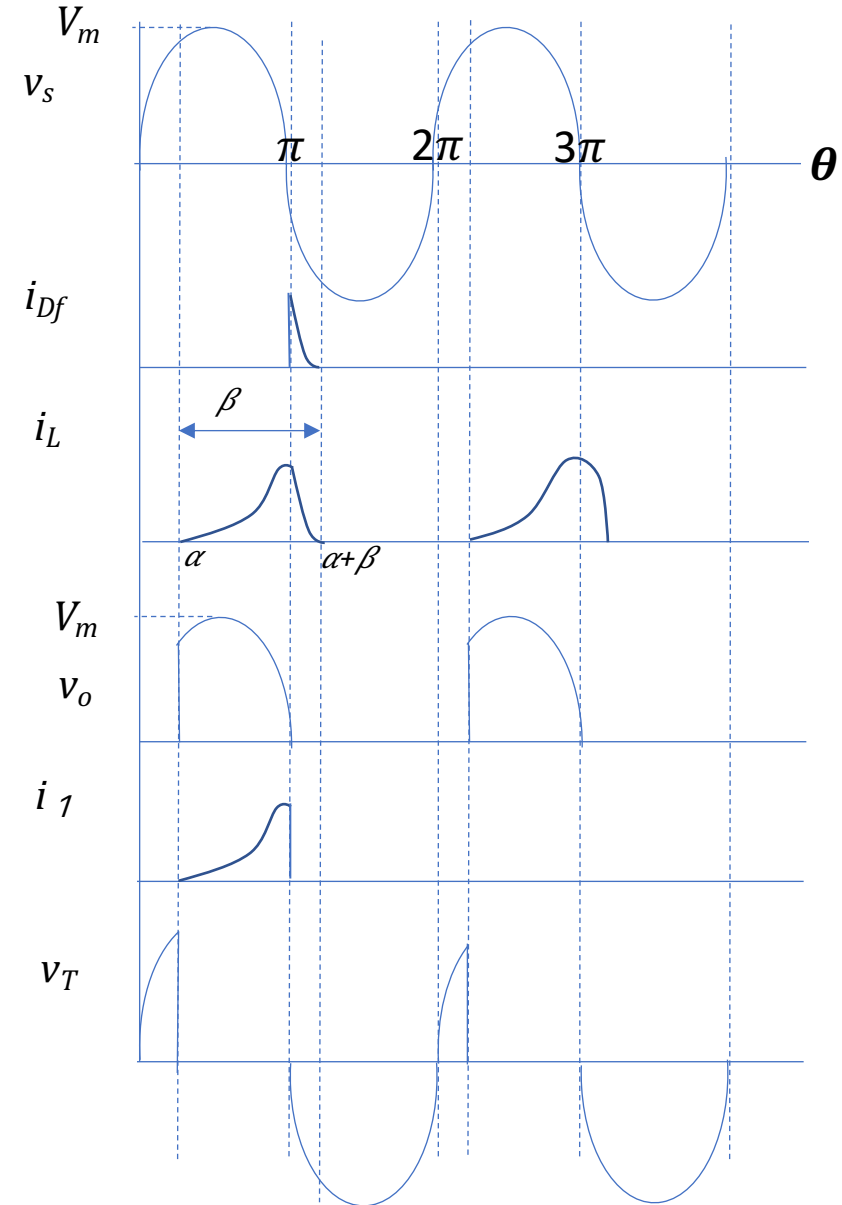
Yukarıdaki eşitlik yineleme yöntemiyle çözülerek β değeri bulunur.

Tek Faz Kontrollü Yarım Dalga Doğrultucunun R-L ile Yüklendiği



$$v_s = V_m \sin \omega t$$

Giriş gerilimi eksi bölgeye geçince D_f iletme geçer. Yük akımı D_f üzerinden akar.



Tek Faz Kontrollü Yarım Dalga Doğrultucunun R-L ile Yüklenmesi

Çıkış geriliminin ortalama değeri:

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_o(\theta) d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \theta d\theta = \frac{V_m}{2\pi} (-\cos \theta) \Big|_{\alpha}^{\pi} = \frac{V_m}{2\pi} (\cos \alpha - \cos \pi) = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$