パワーエレクトロニクス

（舟木担当分）

第一回

ダイオード整流回路

平成22年6月7日 月曜日　3限目

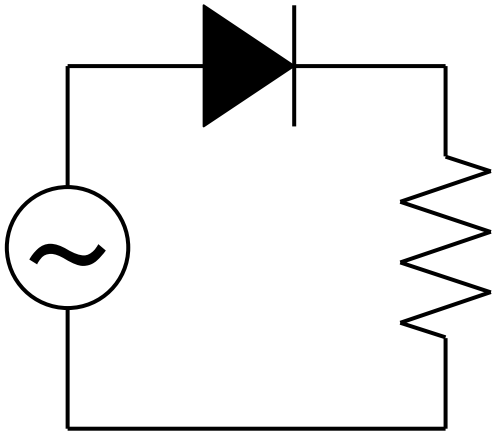
ダイオードを用いた整流回路

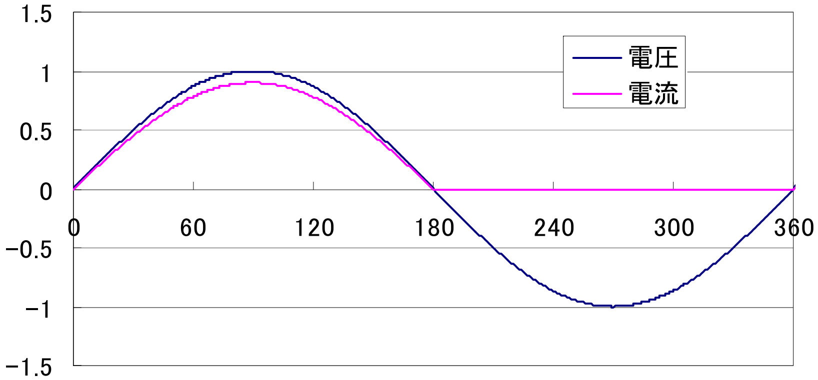
- 相数
  - 単相
  - 多相(三相)
- 交流波形の利用形式
  - 全波整流回路
  - 半波整流回路
- その他
  - 倍電圧整流回路

- 負荷
  - 抵抗
  - 誘導性
  - 容量性

整流回路は，電子機器の電源に不可欠な技術

単相半波整流回路(抵抗負荷)





ダイオードが順バイアスされた時に導通

導通角180度

出力電圧の脈動大(不連続)

ダイオードの耐圧　→　電源電圧×1

単相半波整流回路(抵抗負荷)

- 出力直流電圧
  - 電源電圧 $v = \sqrt{2}V \sin \omega t$
  - 直流出力電圧e_dの平均値E_d

$$E_d = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} e_d d\omega t = \frac{1}{2\pi}\left[\int_0^{\pi} v d\omega t + \int_{\pi}^{2\pi} 0 d\omega t\right]$$

$$= \frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} \sqrt{2}V \sin \omega t d\omega t$$

$$= \frac{V}{\sqrt{2}\pi}\left[-\cos \omega t\right]_0^{\pi} = \frac{V}{\sqrt{2}\pi}\left[1+1\right]$$

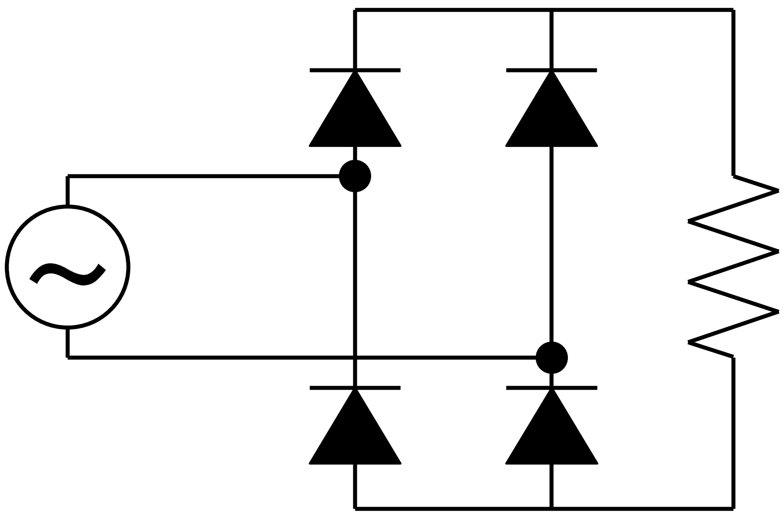
$$\therefore E_d = \frac{\sqrt{2}V}{\pi}$$

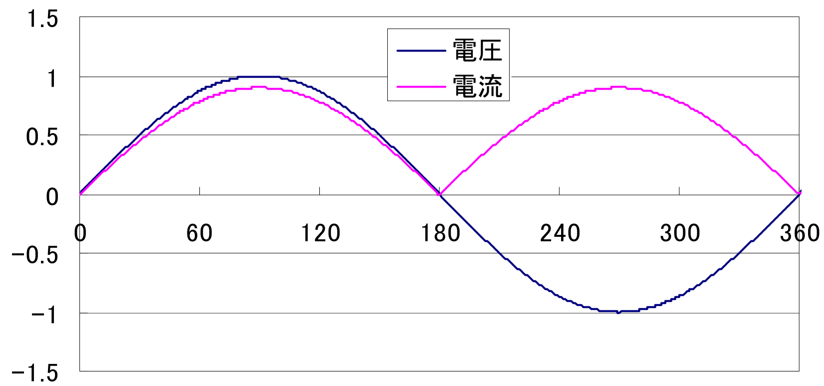
  - 直流電流の平均値I_d

$$\therefore I_d = \frac{E_d}{R}$$

単相全波整流回路(抵抗負荷)

Hブリッジ





ダイオードが順バイアスされた時に導通
導通角180度×2=360度
ダイオードの耐圧 → 電源電圧/2

単相全波整流回路(抵抗負荷)

- 出力直流電圧
  - 電源電圧 $v = \sqrt{2}V\sin\omega t$
  - 直流出力電圧e_dの平均値E_d

$$E_d = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} e_d\, d\omega t = \frac{1}{2\pi}\left[\int_0^{\pi} v\, d\omega t + \int_{\pi}^{2\pi} -v\, d\omega t\right]$$

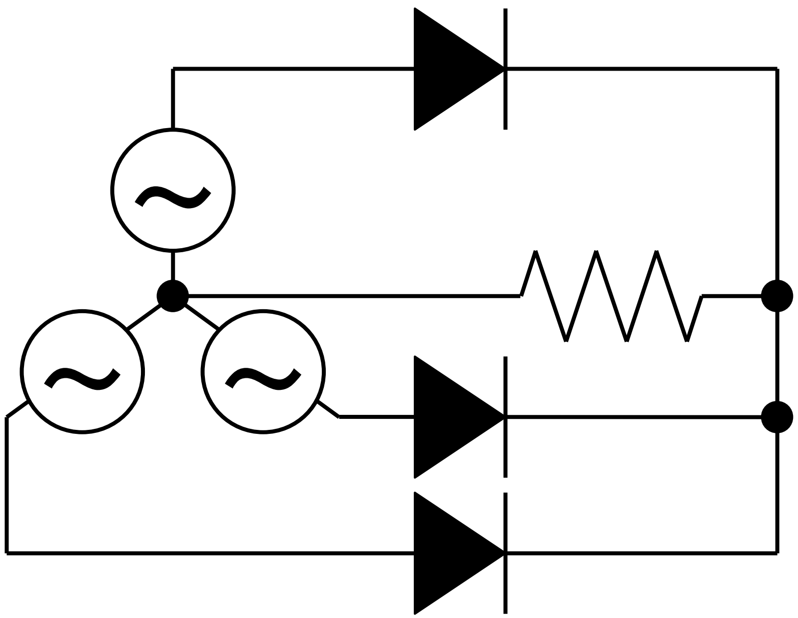
$$= \frac{2}{2\pi}\int_0^{\pi} \sqrt{2}V\sin\omega t\, d\omega t$$

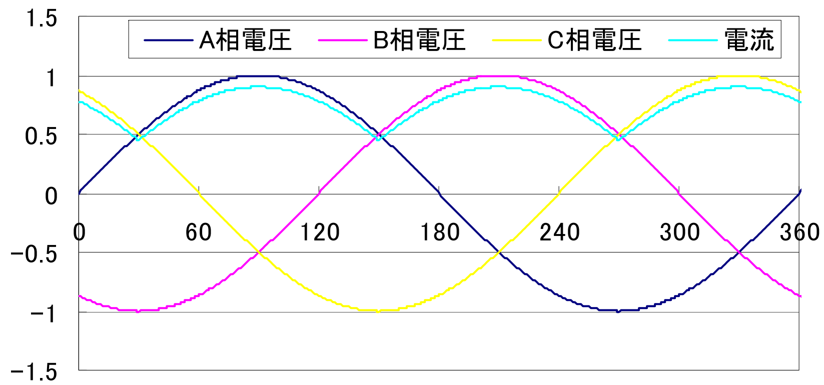
$$= \frac{\sqrt{2}V}{\pi}\left[-\cos\omega t\right]_0^{\pi} = \frac{\sqrt{2}V}{\pi}\left[1+1\right]$$

$$\therefore E_d = \frac{2\sqrt{2}V}{\pi}$$

半波整流回路の
2倍電圧

三相半波整流回路(抵抗負荷)





アノード電位が最も高い相が導通
導通角120度×3=360度
単相全波整流回路より脈動小
ダイオードの耐圧　→　電源電圧×1

三相半波整流回路(抵抗負荷)

- 電源電圧
- 直流平均電圧

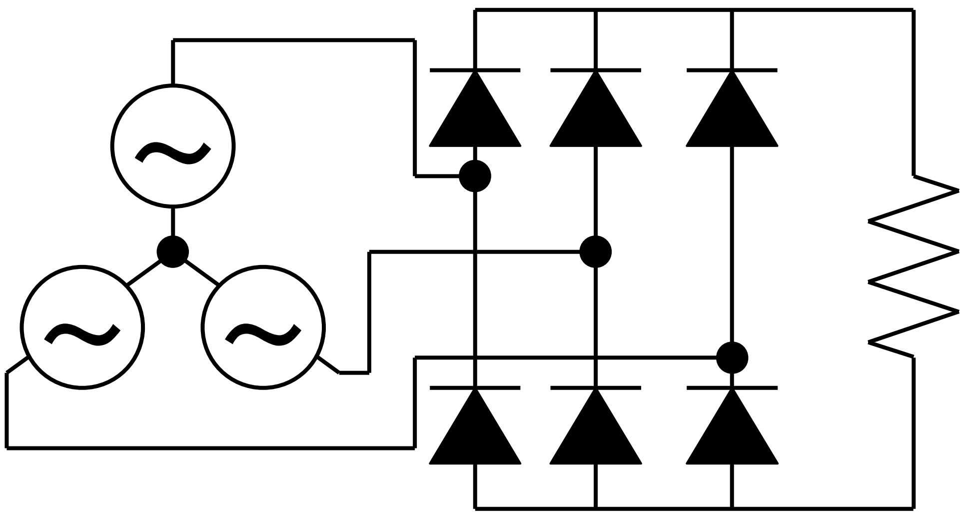
$$\begin{cases} v_{sa} = \sqrt{2}V\sin\omega t \\ v_{sb} = \sqrt{2}V\sin\left(\omega t - \tfrac{2}{3}\pi\right) \\ v_{sc} = \sqrt{2}V\sin\left(\omega t + \tfrac{2}{3}\pi\right) \end{cases}$$

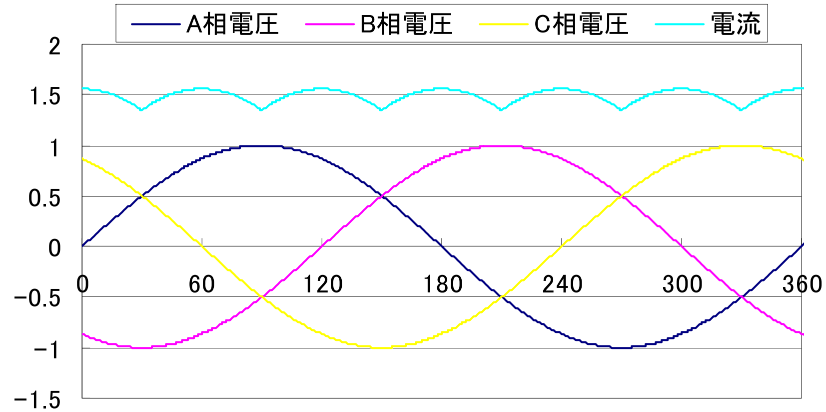
$$\begin{aligned} E_d &= \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} e_d\,d\omega t \\ &= \frac{1}{2\pi}\left[\int_0^{\frac{\pi}{6}} v_{sc}\,d\omega t + \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5}{6}\pi} v_{sa}\,d\omega t + \int_{\frac{5\pi}{6}}^{\frac{3}{2}\pi} v_{sb}\,d\omega t + \int_{\frac{3}{2}\pi}^{2\pi} v_{sc}\,d\omega t\right] \\ &= \frac{3}{2\pi}\int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5}{6}\pi}\sqrt{2}V\sin\omega t\,d\omega t = \frac{3V}{\sqrt{2}\pi}\left[-\cos\omega t\right]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5}{6}\pi} = \frac{3V}{\sqrt{2}\pi}\left[\tfrac{\sqrt{3}}{2} + \tfrac{\sqrt{3}}{2}\right] \\ &= 3\sqrt{\frac{3}{2}}\frac{V}{\pi} \end{aligned}$$

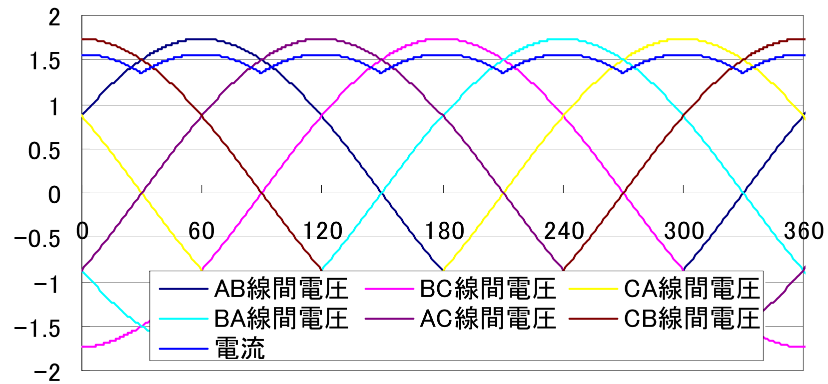
$$\therefore E_d = 3\sqrt{\frac{3}{2}}\frac{V}{\pi}$$

三相全波整流回路(抵抗負荷)

グレエツ結線







線間電圧の最も高い相間が導通
導通角60度×6=360度
三相半波整流回路よりさらに脈動小
ダイオードの耐圧 → 電源電圧/2

三相全波整流回路(抵抗負荷)1

- 三相交流電圧

$$\begin{cases} v_a = \sqrt{2}V \sin \omega t \\ v_b = \sqrt{2}V \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) \\ v_c = \sqrt{2}V \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi\right) \end{cases} \qquad \begin{cases} v_{cb} = v_c - v_b = \sqrt{6}V \cos \omega t \\ v_{ac} = v_a - v_c = \sqrt{6}V \cos\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) \\ v_{ba} = v_b - v_a = \sqrt{6}V \cos\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi\right) \end{cases}$$

- 直流平均電圧

$$E_d = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} e_d \, d\omega t$$

つづく

三相全波整流回路

- 直流平均電圧

$$E_d = \frac{1}{2\pi}\left[\int_0^{\frac{\pi}{6}} v_c - v_b d\omega t + \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} v_a - v_b d\omega t + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{5\pi}{6}} v_a - v_c d\omega t\right.$$

$$\left. + \int_{\frac{5\pi}{6}}^{\frac{7\pi}{6}} v_b - v_c d\omega t + \int_{\frac{7\pi}{6}}^{\frac{3\pi}{2}} v_b - v_a d\omega t + \int_{\frac{3\pi}{2}}^{\frac{11\pi}{6}} v_c - v_a d\omega t + \int_{\frac{11\pi}{6}}^{2\pi} v_c - v_b d\omega t\right]$$

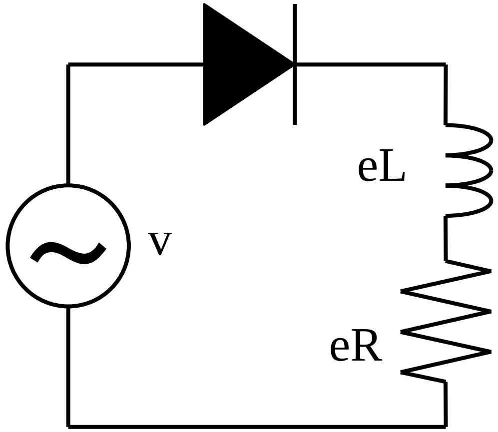
$$= \frac{6}{2\pi}\int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}}\left[\sqrt{2}V\sin\omega t - \sqrt{2}V\sin\left(\omega t - \tfrac{2}{3}\pi\right)\right]d\omega t$$

$$= \frac{3\sqrt{2}V}{\pi}\left[-\cos\omega t + \cos\left(\omega t - \tfrac{2}{3}\pi\right)\right]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} = \frac{3\sqrt{2}V}{\pi}\left[-0 + \tfrac{\sqrt{3}}{2} + \tfrac{\sqrt{3}}{2} - 0\right] = \frac{3\sqrt{6}V}{\pi}$$

$$\therefore E_d = \frac{3\sqrt{6}V}{\pi}$$

三相半波整流回路の2倍の直流電圧

整流回路誘導負荷



- 定電流電源用途
- 電圧・電流の振る舞い
  - 電源電圧 $v = \sqrt{2}V \sin \omega t$
  - ダイオードの導通期間中，電圧はL,Rが分担
    - Lの印加電圧 $e_L = L \dfrac{d}{dt} i_d$
    - Rの印加電圧 $e_R = Ri_d$
    - 印加電圧
      - 導通期間中 $e_d = e_L + e_R = v$
      - 非導通期間中 $e_d = e_L + e_R = 0$

整流回路誘導負荷

- 出力電流波形
  - ダイオード導通開始点をt=0とする

$$v = e_L + e_R = L\tfrac{d}{dt} i_d + R i_d$$

$$\sqrt{2}V \frac{\omega}{s^2 + \omega^2} = LsI_d + RI_d \qquad v_{t=0} = 0, i_{dt=0} = 0$$

$$I_d = \sqrt{2}V \frac{\omega}{s^2 + \omega^2} \frac{1}{Ls + R}$$

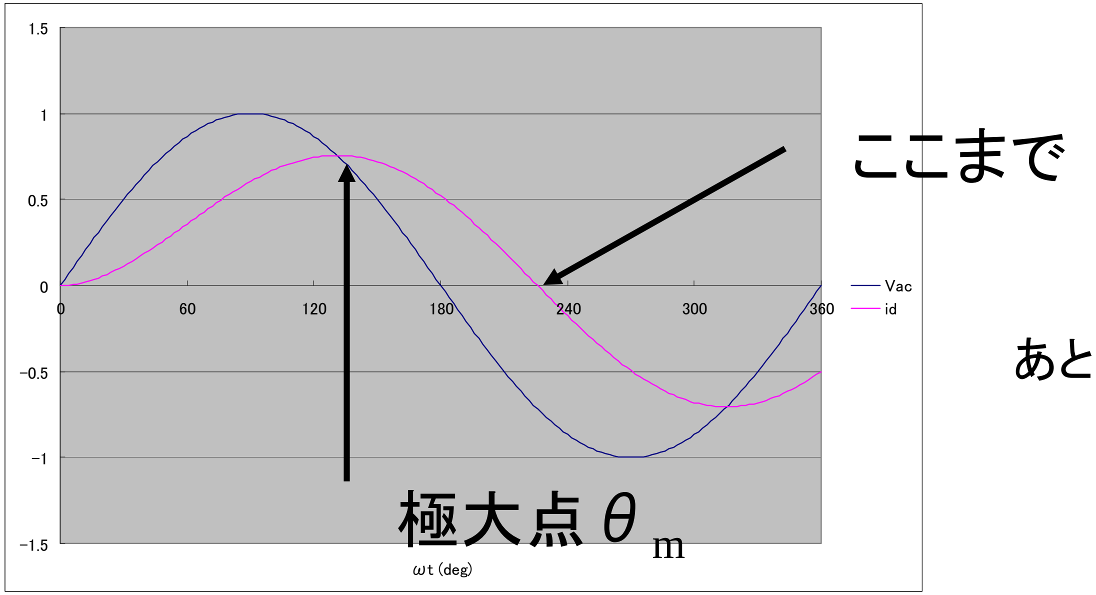
$$I_d = \frac{\sqrt{2}V}{R^2 + \omega^2 L^2} \left(\frac{\omega L}{s + \frac{R}{L}} - \omega L \frac{s}{s^2 + \omega^2} + R \frac{\omega}{s^2 + \omega^2} \right)$$

整流回路誘導負荷

- 出力電流波形

$$i_d = \frac{\sqrt{2}V}{R^2+\omega^2 L^2}\left(\omega L e^{-\frac{R}{L}t} - \omega L\cos\omega t + R\sin\omega t\right)$$

$$= \frac{\sqrt{2}V}{R^2+\omega^2 L^2}\left[\omega L\left(e^{-\frac{R}{L}t} - \cos\omega t\right) + R\sin\omega t\right]$$



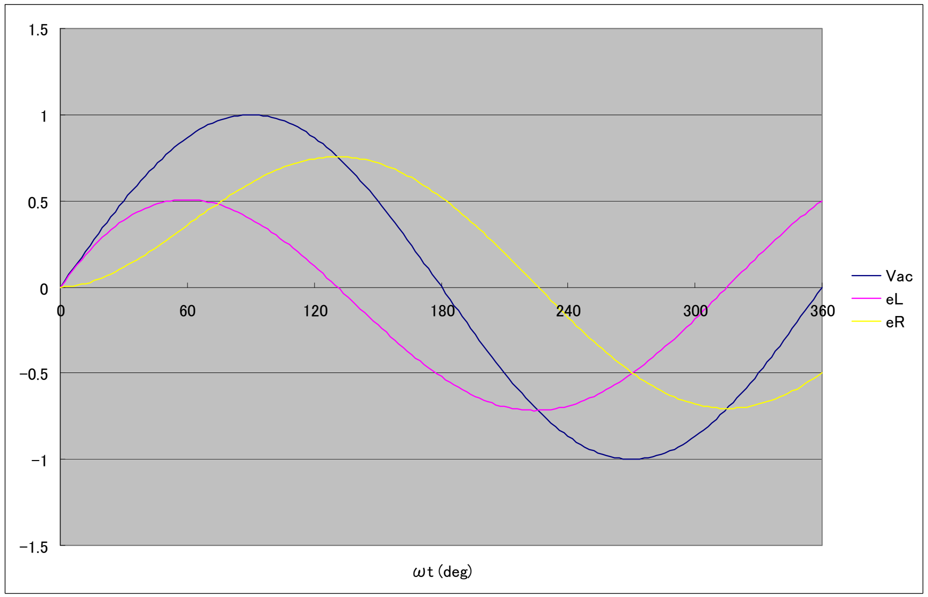
あとで求める

整流回路誘導負荷

- 各部の電圧波形
  - 負荷抵抗電圧
    - 電流と相似波形
  - インダクタ電圧

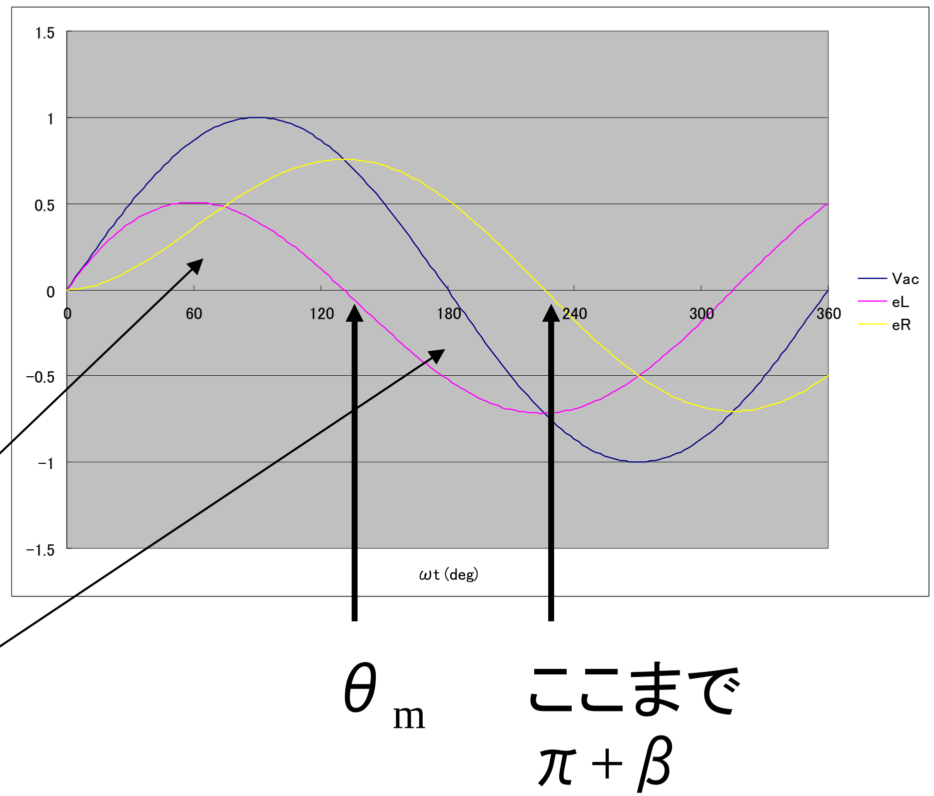
$$e_R = Ri_d$$

$$e_L = L\frac{d}{dt}i_d = \frac{\sqrt{2}\omega LV}{R^2+\omega^2L^2}\left[-R\left(e^{-\frac{R}{L}t} - \cos\omega t\right) + \omega L\sin\omega t\right]$$



整流回路誘導負荷

- 各部の電圧波形を求める
  - e_Rはθ_mで電源電圧と同じになる
  - e_Lはθ_mで0
    - これ以降，負の値
      - Id>0の間はオン
  - $\omega t=\pi+\beta$でオフ
    - βを消弧角
    - Lのエネルギー蓄積
      - 0〜θ_mの面積
磁束増加
      - θ_m〜$\pi+\beta$の面積
磁束減少
      - 両者の面積は等しくなる



整流回路誘導負荷

- 消弧角 β を求める
  - 消弧（ダイオードオフ）時の条件　$i_d\left(\omega t=\pi+\beta\right)=0$

$$\frac{V}{R^2+\omega^2L^2}\left[\omega L\left(e^{-\frac{R}{\omega L}\{\pi+\beta\}}-\cos\{\pi+\beta\}\right)+R\sin\{\pi+\beta\}\right]=0$$

$$\omega L\left(e^{-\frac{R}{\omega L}\{\pi+\beta\}}+\cos\beta\right)-R\sin\beta=0$$

$$e^{-\frac{R}{\omega L}(\pi+\beta)}+\cos\beta=\frac{R}{\omega L}\sin\beta$$

数値的に求解

- インダクタ電圧が0となる点 θ_m を求める
  - e_Lが0となる条件　$e_L\left(\omega t=\theta_m\right)=0$

$$\frac{\omega LV}{R^2+\omega^2L^2}\left[-R\left(e^{-\frac{R}{\omega L}\theta_m}-\cos\theta_m\right)+\omega L\sin\theta_m\right]=0$$

$$e^{-\frac{R}{\omega L}\theta_m}-\cos\theta_m=\frac{\omega L}{R}\sin\theta_m$$

数値的に求解

整流回路誘導負荷

- 電圧･電流波形
  - 直流出力電圧e_dの平均値E_d

$$E_d = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} e_d d\omega t = \frac{1}{2\pi}\left[\int_0^{\pi} v d\omega t + \int_\pi^{2\pi} 0 d\omega t\right]$$

$$= \frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} \sqrt{2}V \sin \omega t d\omega t$$

$$= \frac{V}{\sqrt{2}\pi}\left[-\cos \omega t\right]_0^{\pi} = \frac{V}{\sqrt{2}\pi}\left[1+1\right] \qquad \therefore E_d = \frac{\sqrt{2}V}{\pi}$$

  - 直流電流の平均値は同様に

$$\therefore I_d = \frac{E_d}{R}$$