

応用電力変換工学

舟木剛

第9回 本日のテーマ

整流回路

平成17年12月14日

単相全波整流回路

- フルブリッジ
 - 抵抗負荷
- 回路図
 - 電圧・電流波形の図

－出力直流電圧

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

$$\begin{aligned} E_d &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e_d d\omega t \\ &= \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{\pi} v d\omega t + \int_{\pi}^{2\pi} -v d\omega t \right] = \frac{2}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}V \sin \omega t d\omega t \\ &= \frac{\sqrt{2}V}{\pi} \left[-\cos \omega t \right]_0^{\pi} \\ &= \frac{\sqrt{2}V}{\pi} [1 + 1] \\ &= \frac{2\sqrt{2}V}{\pi} \end{aligned}$$

単相全波整流回路

- 抵抗負荷

- 出力電圧波形の周波数スペクトル

- 出力電圧 e_d のフーリエ級数展開

$$\begin{aligned} E_{dk} &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e_d e^{-jk\omega t} d\omega t \\ &= \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{\pi} ve^{-jk\omega t} d\omega t + \int_{\pi}^{2\pi} -ve^{-jk\omega t} d\omega t \right] \\ &= \frac{\sqrt{2}V}{\pi} \left[\int_0^{\pi} \sin \omega t e^{-jk\omega t} d\omega t - \int_{\pi}^{2\pi} \sin \omega t e^{-jk\omega t} d\omega t \right] \\ &= \frac{V}{j2\sqrt{2}\pi} \int_{0,2\pi}^{\pi,\pi} \left[e^{j(1-k)\omega t} - e^{-j(1+k)\omega t} \right] d\omega t \end{aligned}$$

単相全波整流回路

- 抵抗負荷

- 出力電圧波形に含まれる高調波

- 出力電圧 e_d のフーリエ級数展開

$$k \neq \pm 1 \quad E_{dk} = \frac{V}{j2\sqrt{2}\pi} \left[\frac{e^{j(1-k)\omega t}}{j(1-k)} + \frac{e^{-j(1+k)\omega t}}{j(1+k)} \right]_{0,2\pi}^{\pi,\pi}$$

$$k = 1 \quad \begin{aligned} E_{dk} &= \frac{V}{j2\sqrt{2}\pi} \int_{0,2\pi}^{\pi,\pi} [1 - e^{-j2\omega t}] d\omega t \\ &= \frac{V}{j2\sqrt{2}\pi} \left[\omega t + \frac{1}{j2} e^{-j2\omega t} \right]_{0,2\pi}^{\pi,\pi} = 0 \end{aligned}$$

$$k = -1 \quad \begin{aligned} E_{dk} &= \frac{V}{j2\sqrt{2}\pi} \int_{0,2\pi}^{\pi,\pi} [e^{j2\omega t} - 1] d\omega t \\ &= \frac{V}{j2\sqrt{2}\pi} \left[\frac{1}{j2} e^{j2\omega t} - \omega t \right]_{0,2\pi}^{\pi,\pi} = 0 \end{aligned}$$

単相全波整流回路

- 誘導負荷

- 電圧・電流の振る舞い

- 回路図

- 電源電圧 $v = \sqrt{2}V \sin \omega t$
 - 導通角 360度
 - 周期定常状態

- D1, D1'導通時 ($0 \leq \omega t \leq \pi, v \geq 0$)

- 電圧波形

$$e_d = L \frac{d}{dt} i_d + R i_d = v$$

- D2, D2'導通時 ($\pi \leq \omega t \leq 2\pi, v \leq 0$)

$$e_d = L \frac{d}{dt} i_d + R i_d = -v$$

- 半波対称

$$e_d(\omega t) = e_d(\omega t + \pi) = e_d(\omega t + 2\pi)$$

- 転流時 ($\omega t = \pi$) に電流は連続

$$i_d(0) = i_d(\pi)$$

単相全波整流回路

- 誘導負荷

- 電圧・電流の振る舞い

- 周期定常状態

$$v = \sqrt{2}V \sin \omega t = L \frac{d}{dt} i_d + R i_d$$

$$v_{t=0} = 0$$

$$\sqrt{2}V \frac{\omega}{s^2 + \omega^2} = L s I_d - L i_{d0} + R I_d$$

$$i_{dt=0} \neq 0 \text{ 連続導通}$$

$$I_d (Ls + R) = \frac{\sqrt{2}V\omega}{s^2 + \omega^2} + L i_{d0}$$

$$I_d = \sqrt{2}V \frac{\omega}{s^2 + \omega^2} \frac{1}{Ls + R} + \frac{L i_{d0}}{Ls + R}$$

$$I_d = \frac{\sqrt{2}V}{R^2 + \omega^2 L^2} \left(\frac{\omega L}{s + \frac{R}{L}} - \omega L \frac{s}{s^2 + \omega^2} + R \frac{\omega}{s^2 + \omega^2} \right) + \frac{i_{d0}}{s + \frac{R}{L}}$$

単相全波整流回路

- 誘導負荷

- 電圧・電流の振る舞い

- 周期定常状態

$$\begin{aligned} i_d &= \frac{\sqrt{2}V}{R^2 + \omega^2 L^2} \left(\omega L e^{-\frac{R}{L}t} - \omega L \cos \omega t + R \sin \omega t \right) + i_{d0} e^{-\frac{R}{L}t} \\ &= \frac{\sqrt{2}V}{R^2 + \omega^2 L^2} \left[\omega L \left(e^{-\frac{R}{L}t} - \cos \omega t \right) + R \sin \omega t \right] + i_{d0} e^{-\frac{R}{L}t} \end{aligned}$$

- 半波対称・電流連続条件

$$i_d(0) = i_{d0} = i_d(\pi) = \frac{\sqrt{2}V}{R^2 + \omega^2 L^2} \left[\omega L \left(e^{-\frac{R}{L}\pi} - \cos \pi \right) + R \sin \pi \right] + i_{d0} e^{-\frac{R}{L}\pi}$$

$$i_{d0} \left(1 - e^{-\frac{R}{\omega L}\pi} \right) = \frac{\sqrt{2}V \omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} \left(1 + e^{-\frac{R}{\omega L}\pi} \right)$$

単相全波整流回路

- 誘導負荷

- 電圧・電流の振る舞い

- 周期定常状態

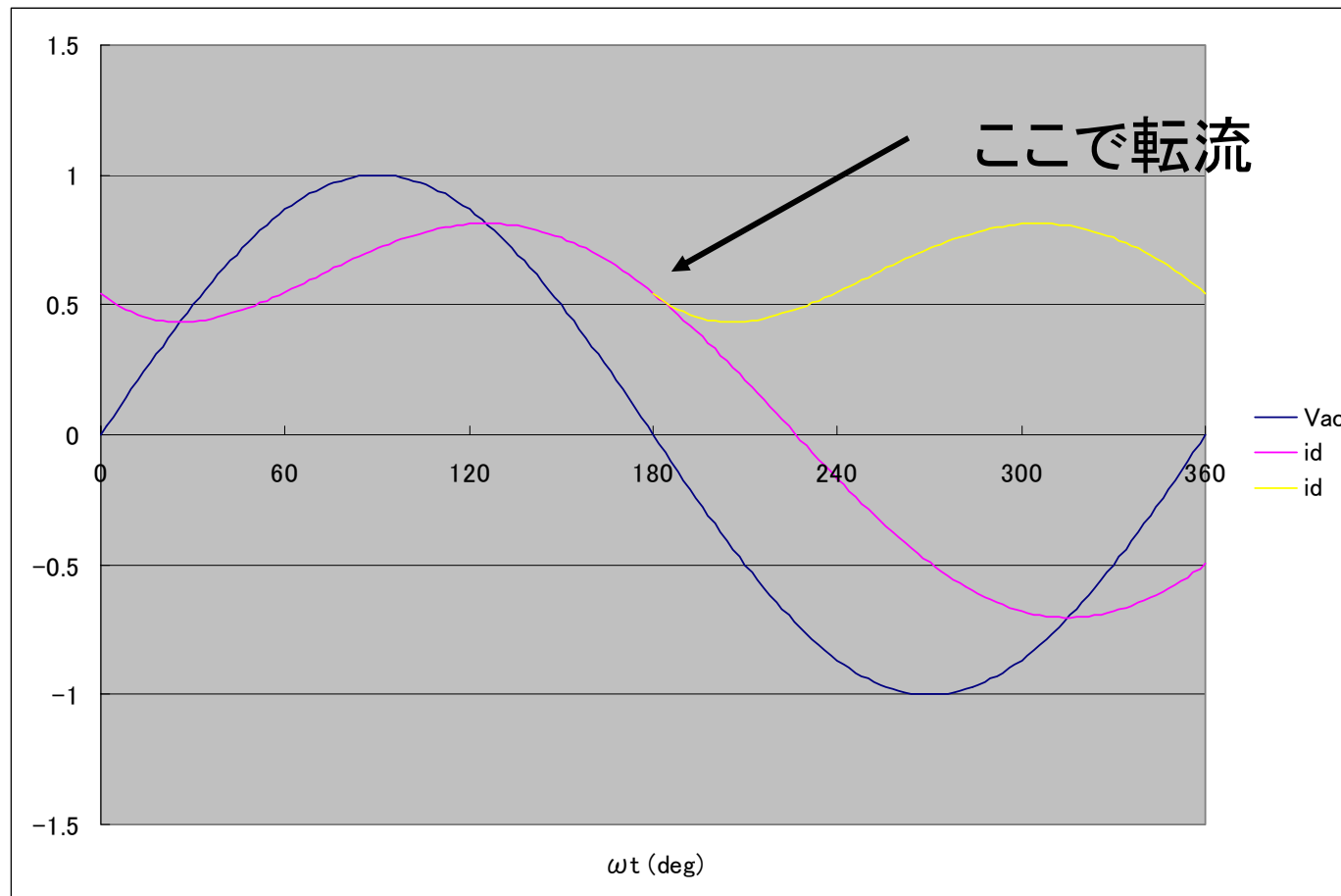
- 電流初期値 $i_{d0} = \frac{\sqrt{2}V\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} \frac{1 + e^{-\frac{R}{\omega L}\pi}}{1 - e^{-\frac{R}{\omega L}\pi}}$

$$\begin{aligned} i_d &= \frac{\sqrt{2}V}{R^2 + \omega^2 L^2} \left[\omega L \left(e^{-\frac{R}{L}t} - \cos \omega t \right) + R \sin \omega t \right] + \frac{\sqrt{2}V\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} \frac{1 + e^{-\frac{R}{\omega L}\pi}}{1 - e^{-\frac{R}{\omega L}\pi}} e^{-\frac{R}{L}t} \\ &= \frac{\sqrt{2}V}{R^2 + \omega^2 L^2} \left[\omega L \left(e^{-\frac{R}{L}t} \left\langle 1 + \frac{1 + e^{-\frac{R}{\omega L}\pi}}{1 - e^{-\frac{R}{\omega L}\pi}} \right\rangle - \cos \omega t \right) + R \sin \omega t \right] \\ &= \frac{\sqrt{2}V}{R^2 + \omega^2 L^2} \left[\omega L \left(\frac{2}{1 - e^{-\frac{R}{\omega L}\pi}} e^{-\frac{R}{L}t} - \cos \omega t \right) + R \sin \omega t \right] \end{aligned}$$

- 電流波形

単相全波整流回路

- 誘導負荷
 - 電圧・電流の振る舞い
 - 出力電流波形



単相全波整流回路

- 誘導負荷

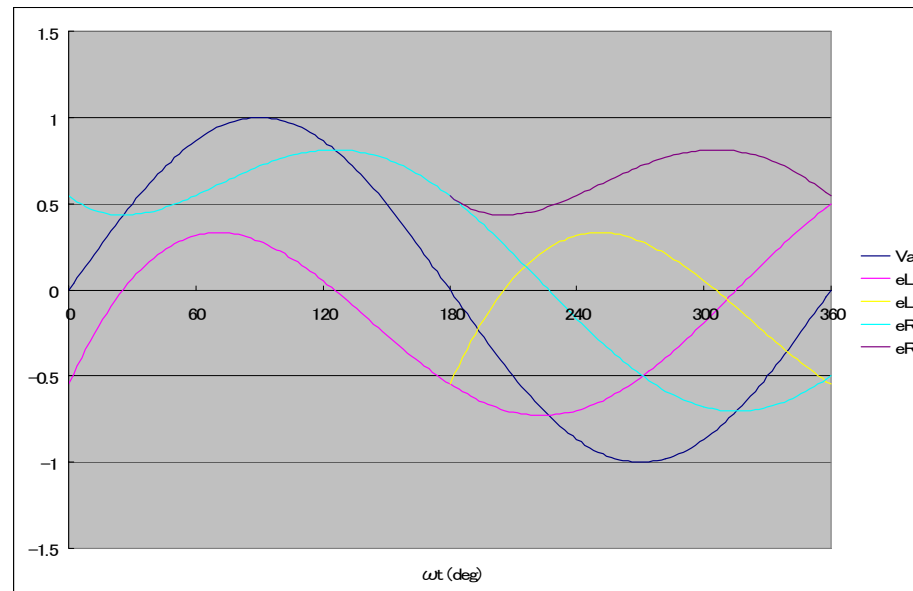
- 各部の電圧波形を求める

- 負荷抵抗電圧

- 電流と相似波形 $e_R = Ri_d$

- インダクタ電圧

$$e_L = L \frac{d}{dt} i_d = \frac{\sqrt{2}\omega LV}{R^2 + \omega^2 L^2} \left[-R \left(\frac{2}{1 - e^{-\frac{R}{\omega L}\pi}} e^{-\frac{R}{L}t} - \cos \omega t \right) + \omega L \sin \omega t \right]$$



単相全波整流回路

- 誘導負荷

- 直流出力電圧平均値

- インダクタ電圧

- 定常状態では, エネルギーの入出力が均衡

$$\begin{aligned} E_L &= \frac{1}{\pi} \int_0^\pi e_L d\omega t \\ &= \frac{1}{\pi} \frac{\sqrt{2}\omega LV}{R^2 + \omega^2 L^2} \left[-R \left(\frac{2}{1 - e^{-\frac{R}{\omega L}\pi}} \frac{-\omega L}{R} e^{-\frac{R}{L}t} - \sin \omega t \right) - \omega L \cos \omega t \right]_0^\pi \\ &= \frac{1}{\pi} \frac{\sqrt{2}\omega LV}{R^2 + \omega^2 L^2} \left[R \left(\frac{2}{1 - e^{-\frac{R}{\omega L}\pi}} \frac{\omega L}{R} \left\langle e^{-\frac{R}{\omega L}\pi} - 1 \right\rangle \right) - \omega L (-1 - 1) \right] \\ &= \frac{1}{\pi} \frac{\sqrt{2}\omega^2 L^2 V}{R^2 + \omega^2 L^2} [-2 + 2] = 0 \end{aligned}$$

単相全波整流回路

- 誘導負荷
 - 直流出力電圧平均値
 - 負荷抵抗電圧
 - 電流と相似波形

$$\begin{aligned} E_d &= \frac{1}{\pi} \int_0^\pi e_d d\omega t = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi R i_d d\omega t \\ &= \frac{R}{\pi} \frac{\sqrt{2}V}{R^2 + \omega^2 L^2} \left[\omega L \left(\frac{2}{1 - e^{-\frac{R}{\omega L}\pi}} - \frac{\omega L}{R} e^{-\frac{R}{\omega L}t} - \sin \omega t \right) - R \cos \omega t \right]_0^\pi \\ &= \frac{R}{\pi} \frac{\sqrt{2}V}{R^2 + \omega^2 L^2} \left[\omega L \left(\frac{2}{1 - e^{-\frac{R}{\omega L}\pi}} - \frac{\omega L}{R} \langle e^{-\frac{R}{\omega L}\pi} - 1 \rangle \right) - R(-1 - 1) \right] \\ &= \frac{R}{\pi} \frac{\sqrt{2}V}{R^2 + \omega^2 L^2} \left[2 \frac{\omega^2 L^2}{R} + 2R \right] = R \frac{2\sqrt{2}V}{\pi} \quad \text{抵抗負荷時と同じ} \end{aligned}$$

単相全波整流回路

- 容量負荷

• 回路図

- 電圧・電流の振る舞い

- 電源電圧

$$v = \sqrt{2}V \sin \omega t$$

- 導通期間中, 負荷電圧は電源電圧と等しい

- オンは, 電源電圧と負荷電圧が等しくなった時点

- オン時, Cを充電するため大電流が流れる(可能性)

$$e_d = v \quad i_d = i_C + i_R = C \frac{d}{dt} e_d + \frac{e_d}{R}$$

- 非導通期間中, RCで閉回路を構成

- Rを介してCが放電

$$i_C = -i_R \quad i_R = -C \frac{d}{dt} e_d$$

単相全波整流回路

- 容量負荷

- 出力波形(半周期分)

- 導通開始点 θ_{on}

- コンデンサ電圧初期値を v_{c0} とする

$$v = v_{C0} = \sqrt{2}V \sin \theta_{on}$$

- 導通終了点 θ_{off}

- i_d が0となる

- 導通期間中 $e_d = v$

$$i_d(\omega t = \theta_{off}) = C \frac{d}{dt} e_d + \frac{e_d}{R} = 0$$

$$C\sqrt{2}V\omega \cos \theta_{off} + \frac{\sqrt{2}V \sin \theta_{off}}{R} = 0$$

$\frac{\pi}{2} < \theta_{off}$ になるので

$$\therefore \theta_{off} = \pi - \arctan R\omega C$$

単相全波整流回路

- 容量負荷

- 出力波形

- 非導通期間中

$$i_R = -C \frac{d}{dt} e_d \quad \frac{e_d}{R} = -C \frac{d}{dt} e_d$$

$$\frac{E_d}{R} = -C(sE_d - e_{d0}) \quad \text{但し} \quad e_{d0} = \sqrt{2}V \sin \theta_{\text{off}}$$

$$E_d = \frac{e_{d0}}{s + \frac{1}{RC}}$$

- 非導通開始点 θ_{off}

- 出力電圧 $e_d = e_{d0} e^{-\frac{1}{R\omega C}(\omega t - \theta_{\text{off}})}$

- 波形の図

単相全波整流回路

- 容量負荷

- 出力波形

- v_{c0} と e_{d0} の接続条件(非導通→導通時点)

$$e_d(\omega t = \pi + \theta_{on}) = e_{d0} e^{-\frac{1}{R\omega C}(\pi + \theta_{on} - \theta_{off})} = v_{c0}$$

$$v_{c0} = e_{d0} e^{-\frac{1}{R\omega C}(\pi + \theta_{on} - \theta_{off})}$$

$$v_{C0} = \sqrt{2}V \sin \theta_{on} \quad e_{d0} = \sqrt{2}V \sin \theta_{off} \quad \text{より}$$

$$\sqrt{2}V \sin \theta_{on} = \sqrt{2}V \sin \theta_{off} e^{-\frac{1}{R\omega C}(\pi + \theta_{on} - \theta_{off})}$$

$$\sin \theta_{on} = \sin \theta_{off} e^{-\frac{1}{R\omega C}(\pi + \theta_{on} - \theta_{off})}$$

の解として θ_{on} が求まる

単相全波整流回路

- 容量負荷

- リップル(脈動)成分

- 直流出力電圧最大値 $e_{d-\max} = \sqrt{2}V$
- 直流出力電圧最小値 $e_{d-\min} = \sqrt{2}V \sin \theta_{on}$
- 電圧脈動幅 $\Delta V = e_{d-\max} - e_{d-\min} = \sqrt{2}V - \sqrt{2}V \sin \theta_{on}$
 $= \sqrt{2}V(1 - \sin \theta_{on})$
- 仮定により簡略化し, 脈動幅を求める
 - 仮定 平滑コンデンサ容量が十分大きい $\theta_{off} \cong \frac{\pi}{2}$
 $\theta_{on} \cong \frac{\pi}{2}$

$$\sin \theta_{on} = \sin \theta_{off} e^{-\frac{1}{R\omega C}(\pi + \theta_{on} - \theta_{off})} = \sin \frac{\pi}{2} e^{-\frac{1}{R\omega C}(\pi + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2})} = e^{-\frac{\pi}{R\omega C}}$$

- 電圧脈動幅 $\Delta V = \sqrt{2}V(1 - \sin \theta_{on}) = \sqrt{2}V(1 - e^{-\frac{\pi}{R\omega C}})$
» RC大で脈動が小さくなる

$$e^{-\frac{\pi}{R\omega C}} \cong 1 - \frac{\pi}{R\omega C} \quad \Rightarrow \quad \Delta V \cong \sqrt{2}V \frac{\pi}{R\omega C}$$

単相全波整流回路

- 容量負荷

- ダイオード電流ピーク値

- 整流回路は容量負荷にパルス状の電流を流す

- ダイオード電流

$$i_d = i_R + i_c = \frac{e_d}{R} + C \frac{d}{dt} e_d = \frac{1}{R} \sqrt{2} V \sin \omega t + C \omega \sqrt{2} V \cos \omega t$$

» 導通期間が小さい場合 $i_d \cong \frac{1}{R} \sqrt{2} V + C \omega \sqrt{2} V \cos \omega t$
T = $\pi/2$ 付近

- ダイオードの導通期間 Δt を求める

$$\sqrt{2} V \sin\left(\frac{\pi}{2} - \omega \Delta t\right) = \sqrt{2} V \cos \omega \Delta t = \sqrt{2} V - \Delta V \cong \sqrt{2} V \left(1 - \frac{\pi}{R \omega C}\right)$$

$$\cos \omega \Delta t \cong 1 - \frac{\pi}{R \omega C}$$

$$\cos x \cong 1 - \frac{1}{2} x^2 \quad \longrightarrow \quad 1 - \frac{1}{2} (\omega \Delta t)^2 \cong 1 - \frac{\pi}{R \omega C} \quad \longrightarrow \quad \Delta t \cong \sqrt{\frac{2\pi}{R \omega^3 C}}$$

単相全波整流回路

- 容量負荷

- ダイオード電流

- ダイオード平均電流 i_{c-ave}

- 平滑コンデンサへの充電電荷

$$Q_{charge} = C\Delta V = i_{c-ave}\Delta t$$

$$i_{c-ave} = C \frac{\Delta V}{\Delta t} = C \frac{\sqrt{2}V \frac{\pi}{R\omega C}}{2\sqrt{\frac{\pi}{R\omega^3 C}}} = V \sqrt{\frac{\pi\omega C}{2R}}$$

- ダイオードピーク電流

$$\begin{aligned} i_{d-max} &= i_d\left(\frac{\pi}{2} - \Delta t\right) = C\omega\sqrt{2}V \cos \omega\Delta t + \frac{\sqrt{2}V}{R} \\ &= C\omega\sqrt{2}V\left(1 - \frac{\pi}{R\omega C}\right) + \frac{\sqrt{2}V}{R} \\ &= \sqrt{2}V\left(\omega C - \frac{\pi}{R} + \frac{1}{R}\right) \end{aligned}$$

負荷の性質に対する単相全波整流回路の比較

- 抵抗負荷
 - 導通角 = 360度 (全導通)
- 誘導性負荷
 - 導通角 = 360度 (全導通)
 - 出力電圧平均値は抵抗負荷と同じ
 - 抵抗負荷より脈動成分小
 - 抵抗負荷より出力電圧・電流に含まれる高調波小
- 容量性負荷
 - 導通角 < 360度
 - 平滑コンデンサへの入力電流に含まれる高調波大
 - 平滑コンデンサが, 出力電圧の高調波を低減

電圧・電流の実効値

- 周期電圧波形の実効値は，抵抗負荷の平均電力により表される

- 直流電圧の場合

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

- 周期電圧波形の場合

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

電力の式より

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T v(t)i(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{v(t)^2}{R} dt = \frac{1}{R} \left[\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 dt \right]$$

$$P = \frac{V_{eff}^2}{R} = \frac{1}{R} \left[\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 dt \right]$$

したがって，実効値は次のように表される

$$V_{eff}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 dt \quad V_{eff} = V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 dt}$$

電流も同様

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i(t)^2 dt}$$

皮相電力(Apparent power)と 力率(Power factor)

- 皮相電力は実効値で表した電圧・電流積として定義

- 変圧器の定格表示等で使用
- 交流回路では複素電力の振幅に相当

$$S = V_{rms} I_{rms}$$

- 力率は皮相電力に対する平均電力の比として定義

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

- 交流回路では電圧・電流の位相差に対する余弦で表される

$$pf = \cos \theta$$

正弦波交流回路における電力

- 線形回路・定常状態

- 電圧 $v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta)$

- 電流 $i(t) = I_m \cos(\omega t + \phi)$

- 瞬時電力 $p(t) = v(t)i(t) = [V_m \cos(\omega t + \theta)][I_m \cos(\omega t + \phi)]$

$$\cos A \cos B = \frac{1}{2} [\cos(A + B) + \cos(A - B)] \quad \text{より}$$

変形して

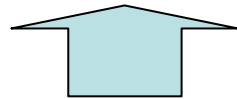
$$p(t) = \frac{V_m I_m}{2} [\cos(2\omega t + \theta + \phi) + \cos(\theta - \phi)]$$

正弦波交流回路における電力

– 平均電力

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{V_m I_m}{2} \int_0^T [\cos(2\omega t + \theta + \phi) + \cos(\theta - \phi)] dt$$

$$= \frac{V_m I_m}{2} \cos(\theta - \phi) = V_{rms} I_{rms} \cos(\theta - \phi)$$



力率

但し $V_{rms} = \frac{V_{rm}}{\sqrt{2}}, I_{rms} = \frac{I_{rm}}{\sqrt{2}}$

– 無効電力

- 1/2サイクルで溜まって, 1/2サイクルで放出されるエネルギー

$$Q = V_{rms} I_{rms} \sin(\theta - \phi)$$

複素電力

$$S = P + jQ = \bar{V}_{rms} \bar{I}_{rms}^*$$

非正弦波周期波形に対する電力

－ フーリエ級数として表す

一般的な
表記

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t)]$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) dt, a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \cos(n\omega_0 t) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \sin(n\omega_0 t) dt$$

別表記

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \sin(n\omega_0 t + \theta_n)$$

$$C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad \theta_n = \tan^{-1} \left(\frac{a_n}{b_n} \right)$$

$f(t)$ の実効値のフーリエ級数表示

$$F_{rms} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} F_{n,rms}^2} = \sqrt{a_0^2 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{C_n}{\sqrt{2}} \right)^2}$$

フーリエ級数による平均電力の表示

– 電圧
$$v(t) = V_0 + \sum_{n=1}^{\infty} V_n \cos(n\omega_0 t + \theta_n)$$

– 電流
$$i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cos(n\omega_0 t + \phi_n)$$

– 電力
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t)i(t)dt$$

$$P = \sum_{n=1}^{\infty} P_n = V_0 I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} V_{n,rms} I_{n,rms} \cos(\theta_n - \phi_n)$$

正弦波電源と非線形負荷

- 電圧(正弦波) $v(t) = V_1 \cos(\omega_0 t + \theta_1)$

- 電流(非正弦波) $i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cos(n\omega_0 t + \phi_n)$

- 電力
$$P = V_0 I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{V_n I_n}{2} \cos(\theta_n - \phi_n)$$
$$= 0 I_0 + \frac{V_1 I_1}{2} \cos(\theta_1 - \phi_1) + \sum_{n=2}^{\infty} \frac{V_n I_n}{2} \cos(\theta_n - \phi_n)$$
$$= \frac{V_1 I_1}{2} \cos(\theta_1 - \phi_1) = V_{1,rms} I_{1,rms} \cos(\theta_1 - \phi_1)$$

- 力率
$$pf = \frac{P}{S} = \frac{P}{V_{rms} I_{rms}} = \frac{V_{1,rms} I_{1,rms}}{V_{1,rms} I_{rms}} \cos(\theta_1 - \phi_1) = \frac{I_{1,rms}}{I_{rms}} \cos(\theta_1 - \phi_1)$$

但し

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_{n,rms}^2} = \sqrt{I_0^2 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{I_n}{\sqrt{2}}\right)^2}$$

歪率

- 歪率
 - 波形実効値に対する基本波成分実効値
- 歪率と力率の関係
 - 歪により力率が悪化する
- 総合歪率
 - 基本波成分に対するそれ以外の成分
- 総合歪率と歪率の関係
- Distortion Volt-Ampare

$$DF = \frac{I_{1,rms}}{I_{rms}}$$

$$pf = [\cos(\theta_1 - \phi_1)]DF$$

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{n \neq 1}^{\infty} I_{n,rms}^2}{I_{1,rms}^2}} = \sqrt{\frac{I_{rms}^2 - I_{1,rms}^2}{I_{1,rms}^2}}$$

$$DF = \sqrt{\frac{1}{1 + (THD)^2}}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$$

但し

$$D = V_{1,rms} \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_{n,rms}^2}$$

- Form Factor
- Crest Factor

$$\frac{I_{rms}}{I_{avg}}$$
$$\frac{I_{peak}}{I_{rms}}$$

宿題

- 整流回路の検討
 - 検討ケース(直流負荷)
 - 抵抗負荷
 - 誘導負荷
 - 容量負荷
 - 検討項目
 - 理論値との比較検討
 - 直流出力電圧・電流平均値
 - 直流出力電圧・電流の周波数スペクトル
 - » シミュレーション波形はFFT解析
 - 交流入力諸量の検討
 - » 電圧・電流
 - » 有効・無効電力
 - » 力率
 - » ひずみ率
 - 容量負荷時の力率改善についての検討
 - 力率改善方法を考え, 計算機シミュレーションにより効果を確認