パワーエレクトロニクス
第一回　パワエレ概論

平成30年4月11日

授業の予定
シラバスより

- パワーエレクトロニクス緒論
- パワーエレクトロニクスにおける基礎理論
- パワー半導体デバイス（2回）
- 整流回路（2回）
- 整流回路の交流側特性と他励式インバータ
- 交流電力制御とサイクロコンバータ
- 直流チョッパ
- DC-DCコンバータと共振形コンバータ
- 自励式インバータ（2回）
- 演習

授業の目的

- パワエレは省エネを支える基盤技術
  - 「パワエレとは何か？」についての基本を理解
  - 「如何にして電力変換する」かの原理を修得
- 概略
  - パワエレの基礎知識
  - パワー半導体デバイスとその動作
  - 受動素子の役割
  - 電力変換回路の動作

パワエレとは

- 半導体デバイスを用いた電力変換
  - 電圧･電流･周波数を異なる値に替える
    - ACアダプター，モーター制御，照明輝度
  - エネルギー保存則に従う
    - 理想的には入出力のエネルギは一致する
      - 実際は各部での損失が生じる
        - パワーデバイス，受動素子，配線
    - パワーは一致しない場合がある
      - 一時的に受動素子(L,C)にエネルギーを溜める

パワエレの対象

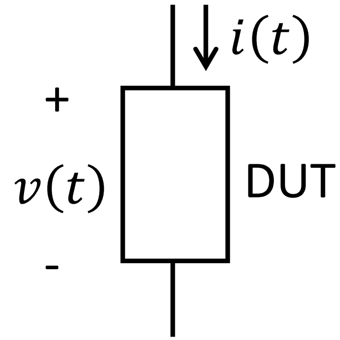
- 大電力(GW)
  - 電力機器　　直流送電
- 中電力(MW, kW)
  - 産業機器　　鉄道，メガソーラー，鉄鋼圧延ミル
  - 輸送機器　　EV,HEV
  - 家電機器　　エアコン，家庭用太陽光発電
- 小電力(W, mW)
  - IT機器　　PC，スマホ，IoT

パワエレの学問的位置づけ

- 複合領域
  - 回路理論　　アナログ回路兼デジタル回路
  - 制御理論　　出力制御
    - 計算機工学　　　デジタル制御
  - 電子工学　　半導体デバイス
  - 電磁気学　　トランス，インダクタンス
  - 電力工学　　系統連系
  - 電気機器　　モーター
  - 電気化学　　バッテリー，キャパシタ
  - 伝熱工学　　ヒートシンク

電力変換回路の状態量

- 電圧･電流･電力･エネルギー
  - 瞬時電力: $p(t)$[W]
    - $p(t) = v(t)i(t)$
      - 時刻tにおける電圧$v(t)$[V], 電流$i(t)$[A]
      - 電力を消費:$p(t) > 0$
      - 電力を発生:$p(t) < 0$
  - エネルギー:W[J]
    - $W = \int_{t_1}^{t_2} p(t)dt$
      - 時刻t_1からt_2の間に消費されたエネルギー



電力変換回路の状態量

- 電圧・電流・電力・エネルギー
  - 平均電力: P[W]
    - 周期的に変化する電圧・電流
    - $P = \frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_1+T} p(t)dt = \frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_1+T} v(t)i(t)dt$
      - 変化の周期:T[s]
    - 有効電力

電力変換回路の状態量

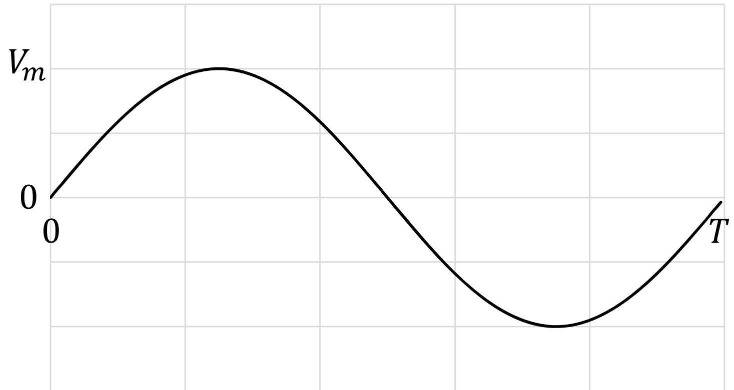
- 有効電力と実効値
  - 直流電圧V_{dc}に対する抵抗Rの消費電力
    - $P = \frac{{V_{dc}}^2}{R}$
  - 周期的変化する電圧$v(t)$に対する抵抗の平均消費電力
    - $P = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^T \frac{v(t)^2}{R}dt = \frac{{V_{eff}}^2}{R}$
      - V_{eff}:実効値
    - $P = \frac{{V_{dc}}^2}{R} = \frac{{V_{eff}}^2}{R}$

電力変換回路の状態量

- 実効値
  - 電圧の2乗平均の平方根(Root Mean Square) V_{rms}と電圧の実効値V_{eff}の関係
    - $V_{eff} = V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v(t)^2 dt}$
  - 電流の実効値I_{rms}
    - $I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i(t)^2 dt}$

電力変換回路の状態量

- 正弦波交流電圧の実効値



  - $V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T \{V_m \sin \omega t\}^2 dt}$

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

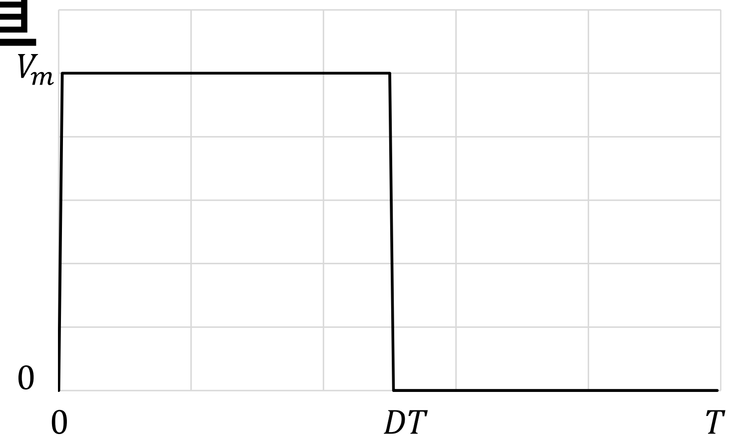
$$= V_m \sqrt{\frac{1}{2\pi}\left[\frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2\omega t}{4}\right]_0^{2\pi}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

    - V_m:振幅を，$\omega = \frac{2\pi}{T}$:角周波数
    - 電圧の実効値V_{rms}は振幅V_mの$\frac{1}{\sqrt{2}}$

電力変換回路の状態量

- 高さV_mの矩形波電圧の実効値
  - $v(t) = \begin{cases} V_m & 0 \le t < DT \\ 0 & DT \le t < T \end{cases}$
    - D :通流率,$0 \le D \le 1$
  - $V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v(t)^2 dt}$

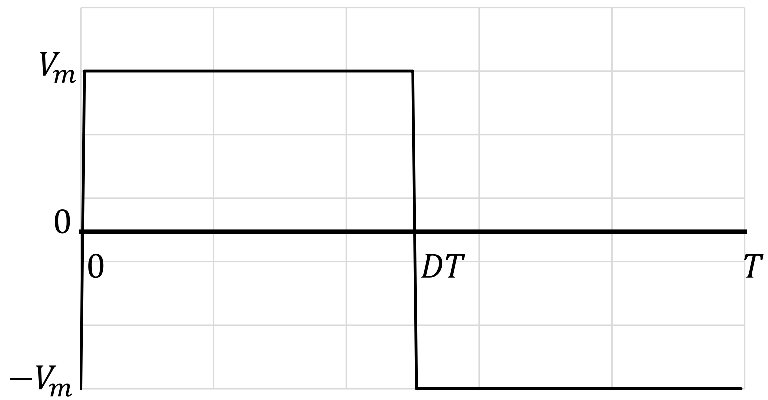
$$= \sqrt{\frac{1}{T}\left\{\int_0^{DT} {V_m}^2 dt + \int_{DT}^{T} 0^2 dt\right\}} = \sqrt{\frac{1}{T}{V_m}^2 DT} = V_m\sqrt{D}$$



- Dの平方根に比例

電力変換回路の状態量

- 振幅V_mの矩形波交流電圧の実効値



  - $v(t) = \begin{cases} V_m & 0 \le t < DT \\ -V_m & DT \le t < T \end{cases}$
  - $V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v(t)^2 dt}$

$$= \sqrt{\frac{1}{T}\left\{\int_0^{DT} {V_m}^2 dt + \int_{DT}^{T} (-V_m)^2 dt\right\}} = \sqrt{\frac{1}{T}{V_m}^2\{DT - DT + T\}}$$

$$= V_m$$

  - 実効値V_{rms}は直流電圧と等しい

電力変換回路の状態量

- 振幅V_mの三角波交流電圧
  - $v(t) = \begin{cases} \frac{2V_m}{t_1}t - V_m & 0 \le t < t_1 \\ \frac{-2V_m}{T-t_1}t + \frac{V_m(T+t_1)}{T-t_1} & t_1 \le t < T \end{cases}$
  - ${V_{rms}}^2 = \frac{1}{T}\left\{\int_0^{t_1}\left[\frac{2V_m}{t_1}t - V_m\right]^2 dt + \int_{t_1}^{T}\left[\frac{-2V_m}{T-t_1}t + \frac{V_m(T+t_1)}{T-t_1}\right]^2 dt\right\}$
    $= \frac{{V_m}^2}{T}\left\{\int_0^{t_1}\left[\frac{2}{t_1}t - 1\right]^2 dt + \frac{1}{(T-t_1)^2}\int_{t_1}^{T}[-2t + (T + t_1)]^2 dt\right\}$
    - 各項の中身

電力変換回路の状態量

- $\int_{t_1}^{T}[-2t+(T+t_1)]^2dt=\int_{t_1}^{T}[4t^2-4(T+t_1)t+(T+t_1)^2]dt$

$$=\left[4\frac{t^3}{3}-4(T+t_1)\frac{t^2}{2}+(T+t_1)^2t\right]_{t_1}^{T}$$
$$=\frac{4}{3}T^3-2(T+t_1)T^2+(T+t_1)^2T-\frac{4}{3}{t_1}^3+2(T+t_1){t_1}^2-(T+t_1)^2t_1$$
$$=\frac{4}{3}(T^3-{t_1}^3)-2(T+t_1)(T^2-{t_1}^2)+(T+t_1)^2(T-t_1)$$
$$=\frac{4}{3}(T-t_1)(T^2+Tt_1+{t_1}^2)-2(T+t_1)^2(T-t_1)+(T+t_1)^2(T-t_1)$$
$$=\frac{4}{3}(T-t_1)(T^2+Tt_1+{t_1}^2)-(T+t_1)^2(T-t_1)$$
$$=\frac{1}{3}(T-t_1)(4T^2+4Tt_1+4{t_1}^2-3T^2-6Tt_1-3{t_1}^2)$$
$$=\frac{1}{3}(T-t_1)(T^2-2Tt_1+{t_1}^2)=\frac{1}{3}(T-t_1)^3$$

電力変換回路の状態量

- 振幅V_mの三角波交流電圧
  - $${V_{rms}}^2 = \frac{{V_m}^2}{T}\left\{\frac{1}{3}t_1 + \frac{1}{(T-t_1)^2}\frac{1}{3}(T-t_1)^3\right\}$$
    $$= \frac{{V_m}^2}{3T}\{t_1 + (T-t_1)\} = \frac{{V_m}^2}{3}$$
    - 電圧の実効値電圧V_{rms}は振幅V_mの$\frac{1}{\sqrt{3}}$
    - $V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{3}}$