電力システム解析論

第1回　送電線路のモデルとインダクタンス1

平成27年10月13日

電力系統の構成

- 発電機（発電所）
- 負荷
- 変圧器（変電所）
- 送電線（送電・配電）
  - 架空線
  - ケーブル
    - 地中
    - 海底
    - ガス管路

送電線

- 要素
  - 抵抗
  - インダクタンス
  - キャパシタンス
  - コンダクタンス
- 材料の変化
  - 銅→アルミニウム
    - コスト
    - 重量
    - 同抵抗で断面積大
      - 導電率: 硬銅97.3%,Al61%
      - 撚りにより1～2%増
    - 導体表面での電界強度低くなる
    - コロナ放電がおきにくい

架空送電線

- AAC: All Aluminum conductors
- AAAC: All Aluminum Alloy conductors
- ACSR: Aluminum conductor, steel reinforced
- ACAR: Aluminum conductor, alloy reinforced
- 表皮効果があるので芯線の抵抗の影響小
  - 銅線の60Hzにおける表皮深さ:8.57mm
    - 表皮深さは抵抗率の平方根に比例
      - アルミのほうが表皮深さが深い
      - 表皮深さ:$d = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}}$,$\rho$:抵抗率,$\mu$:透磁率
        - » 電流が表面電流の1/eになる深さ

送電線の抵抗

- 直流抵抗
  - $R_0 = \frac{\rho l}{A}\Omega$
    - ρ:導体の抵抗率，l :導体長，A :導体断面積
  - 交流抵抗は異なる
    - 表皮効果，近接効果
- 温度特性
  - $\frac{R_2}{R_1} = \frac{T+t_2}{T+t_1}$
    - R_1, R_2:温度t_1, t_2の導体抵抗，T:温度

電磁気現象

- Maxwellの方程式(微分表示)

$$\begin{cases} \nabla \times E = -\mu_0 \dfrac{\partial H}{\partial t} \\ \nabla \times H = J + \varepsilon_0 \dfrac{\partial E}{\partial t} \\ \nabla \cdot \varepsilon_0 E = \rho \\ \nabla \cdot \mu_0 H = 0 \end{cases}$$

FDTD (Finite-difference time-domain)法
などで解く
(空間・時間領域での
差分方程式に展開して
逐次計算をすることで、
電場・磁場を求める)

分布定数回路

- 過渡回路と交流回路
  - 単位長あたり　3次元→1次元
    抵抗:R[Ω], インダクタンス:L[H],
    静電容量:C[F], 漏れコンダクタンス:G[S]

過渡回路

$$\begin{cases} \dfrac{\partial V}{\partial x} = -RI - L\dfrac{\partial I}{\partial t} \\ \dfrac{\partial I}{\partial x} = -GV - C\dfrac{\partial V}{\partial t} \end{cases}$$

交流回路

$$\begin{cases} \dfrac{d\dot{V}}{dx} = -(R + j\omega L)\dot{I} \\ \dfrac{d\dot{I}}{dx} = -(G + j\omega C)\dot{V} \end{cases}$$

ただし，交流の角周波数:ω[rad/s]

集中定数回路

- 単位長あたり
  - 直列インピーダンス[Ω/km]

$$\dot{Z} = R + j\omega L$$

  - 並列アドミタンス[S/km]

$$\dot{Y} = G + j\omega C$$

- 長さXの線路のインピーダンス，アドミタンス

$$X\dot{Z}, X\dot{Y}$$

  - T型，π型等価回路で模擬

送電線のインダクタンス

- 誘導電圧

$$e = \frac{d\tau}{dt}$$

- e:誘導電圧(V), τ:鎖交磁束 (Wbt)
  - Wbt:磁束(Wb)と鎖交する回路のターン数tの積
    - 二導体回路では各導体の外部磁束は他の回路に一回鎖交する
  - 透磁率一定の場合，鎖交磁束は電流に比例
    - 誘導電圧は電流変化率に比例

$$e = L\frac{di}{dt}$$

  - L:比例定数・回路のインダクタンス(H),di/dt:電流変化率(A/s)

$$L = \frac{d\tau}{di}$$

- 線形システムの場合
  - 鎖交磁束は電流に比例
    - 磁気回路は一定の透磁率を持つ

$$L = \frac{\tau}{i}$$