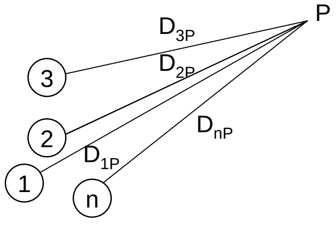
電力システム解析論

第3回　送電線路のインダクタンス2
平成20年10月17日

多条導体のインダクタンス

- 導体1,2,3･･･nの電流I1,I2,I3,･･･In
- 或る点Pから各導体の距離D1P,D2P,D3P･･･DnP
  - 電流I1による導体1に対する鎖交磁束ψ1P1(WbT/m)(内部鎖交磁束を含むが，点Pを超える部分の鎖交磁束を含まない)

$$\psi_{1P1} = I_1\left(\frac{1}{2} + 2\log_e \frac{D_{1P}}{r_1}\right)\times 10^{-7}$$
$$= I_1 2\times 10^{-7}\times \log_e \frac{D_{1P}}{r_1'}$$



多条導体のインダクタンス

- 電流I2による導体1に対する鎖交磁束ψ1P2(WbT/m)(点Pを超える部分の鎖交磁束を含まない)
  - 導体1を超え，点Pを越えない部分に鎖交する磁束

$$\psi_{1P2} = I_2 \log_e \frac{D_{2P}}{D_{12}} \times 2 \times 10^{-7}$$

- 全導体に流れる電流により，導体1に鎖交する全磁束ψ1P(WbT/m)(点Pを超える部分の鎖交磁束を含まない)

$$\begin{aligned}\psi_{1P} &= \psi_{1P1} + \psi_{1P2} + \psi_{1P2} \cdots + \psi_{1Pn} \\ &= \left(I_1 \log_e \frac{D_{1P}}{r_1'} + I_2 \log_e \frac{D_{2P}}{D_{12}} + I_3 \log_e \frac{D_{3P}}{D_{13}} \cdots + I_n \log_e \frac{D_{nP}}{D_{1n}} \right) \times 2 \times 10^{-7}\end{aligned}$$

多条導体のインダクタンス

- 対数の展開

$$\psi_{1P} = \begin{pmatrix} I_1 \log_e D_{1P} + I_2 \log_e D_{2P} + I_3 \log_e D_{3P} \cdots + I_n \log_e D_{nP} \\ + I_1 \log_e \dfrac{1}{r_1'} + I_2 \log_e \dfrac{1}{D_{12}} + I_3 \log_e \dfrac{1}{D_{13}} \cdots + I_n \log_e \dfrac{1}{D_{1n}} \end{pmatrix} \times 2 \times 10^{-7}$$

- 電流の条件

$$I_1 + I_2 + I_3 \cdots + I_n = 0 \quad \Longrightarrow \quad I_n = -\left(I_1 + I_2 + I_3 \cdots + I_{n-1} \right)$$

$$\psi_{1P} = \begin{pmatrix} I_1 \log_e D_{1P} + I_2 \log_e D_{2P} + I_3 \log_e D_{3P} \cdots \\ -\left(I_1 + I_2 + I_3 \cdots + I_{n-1} \right) \log_e D_{nP} \\ + I_1 \log_e \dfrac{1}{r_1'} + I_2 \log_e \dfrac{1}{D_{12}} + I_3 \log_e \dfrac{1}{D_{13}} \cdots + I_n \log_e \dfrac{1}{D_{1n}} \end{pmatrix} \times 2 \times 10^{-7}$$

$$= \begin{pmatrix} I_1 \log_e \dfrac{D_{1P}}{D_{nP}} + I_2 \log_e \dfrac{D_{2P}}{D_{nP}} D_{2P} + I_3 \log_e \dfrac{D_{3P}}{D_{nP}} D_{3P} \cdots + I_{n-1} \log_e \dfrac{D_{(n-1)P}}{D_{nP}} \\ + I_1 \log_e \dfrac{1}{r_1'} + I_2 \log_e \dfrac{1}{D_{12}} + I_3 \log_e \dfrac{1}{D_{13}} \cdots + I_n \log_e \dfrac{1}{D_{1n}} \end{pmatrix} \times 2 \times 10^{-7}$$

多条導体のインダクタンス

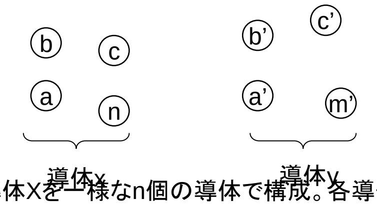
- P→∞として導体1に鎖交する磁束ψ1(WbT/m)

$$\lim_{P\to\infty}\log_e \frac{D_{iP}}{D_{nP}} = \log_e 1 = 0$$

$$\psi_1 = \left(I_1 \log_e \frac{1}{r_1'} + I_2 \log_e \frac{1}{D_{12}} + I_3 \log_e \frac{1}{D_{13}} \cdots + I_n \log_e \frac{1}{D_{1n}} \right) \times 2 \times 10^{-7}$$

多条導体送電線

- 細い電線インダクタンス大きい
- 太い電線インダクタンス小さい
  - 太い電線を使用するのは効果的でない
  - 等価的に電線を太くする方法
  - 単相2線式送電線路を考える



- 導体Xを一様なn個の導体で構成。各導体には電流I/n(A)が流れる
- 導体Yを一様なm個の導体で構成。各導体には電流-I/m(A)が流れる
- 導体間距離をDijと表す

多条導体送電線

- 導体xの素導体aに対する鎖交磁束ψa(WbT/m)

$$\psi_a = \frac{I}{n}\left(\log_e\frac{1}{r'_a} + \log_e\frac{1}{D_{ab}} + \log_e\frac{1}{D_{ac}} \cdots + \log_e\frac{1}{D_{an}}\right) \times 2\times 10^{-7}$$

$$-\frac{I}{m}\left(\log_e\frac{1}{D_{aa'}} + \log_e\frac{1}{D_{ab'}} + \log_e\frac{1}{D_{ac'}} \cdots + \log_e\frac{1}{D_{am}}\right) \times 2\times 10^{-7}$$

$$= I\log_e\frac{\sqrt[m]{D_{aa'}D_{ab'}D_{ac'}\cdots D_{am}}}{\sqrt[n]{r'_a D_{ab}D_{ac}\cdots D_{an}}} \times 2\times 10^{-7}$$

多条導体送電線

- 導体xの素導体aのインダクタンスLa(H/m)
  - 流れる電流がI/n(A)より

$$L_a = \frac{\psi_a}{I/n} = n\log_e\frac{\sqrt[m]{D_{aa'}D_{ab'}D_{ac'}\cdots D_{am}}}{\sqrt[n]{D_{aa}D_{ab}D_{ac}\cdots D_{an}}} \times 2\times 10^{-7} \qquad r'_a = D_{aa}$$

- 導体xの素導体bのインダクタンスLb(H/m)

$$L_b = \frac{\psi_b}{I/n} = n\log_e\frac{\sqrt[m]{D_{ba'}D_{bb'}D_{bc'}\cdots D_{bm}}}{\sqrt[n]{D_{ba}D_{bb}D_{bc}\cdots D_{bn}}} \times 2\times 10^{-7} \qquad r'_b = D_{bb}$$

- 導体xの素導体のインダクタンス平均値Lav(H/m)

$$L_{av} = \frac{L_a + L_b + L_c \cdots + L_n}{n}$$

多条導体送電線

- 導体xのインダクタンスLx(H/m)
  - 全ての素導体が等しいインダクタンスLav(H/m)を持つ
  - n本の素導体の並列接続
  - 総インダクタンスは平均インダクタンスLavの1/n

$$L_x = \frac{L_{av}}{n} = \frac{L_a + L_b + L_c \cdots + L_n}{n^2}$$

$$= \frac{\sqrt[mn]{(D_{aa'} D_{ab'} \cdots D_{am})(D_{ba'} D_{bb'} \cdots D_{bm}) \cdots (D_{na'} D_{nb'} \cdots D_{nm})}}{\sqrt[n^2]{(D_{aa} D_{ab} \cdots D_{an})(D_{ba} D_{bb} \cdots D_{bn}) \cdots (D_{na} D_{nb} \cdots D_{nn})}} \times 2 \times 10^{-7}$$

多条導体送電線

- 分子
  - 導体xのn個の素導体から導体yのm個の素導体への距離の積のmn乗根
    - 導体xと導体y間の幾何学的平均距離Dm(GMD: geometrical mean distance), 二導体間の相互GMD

$$D_m = \sqrt[mn]{(D_{aa'} D_{ab'} \cdots D_{am})(D_{ba'} D_{bb'} \cdots D_{bm}) \cdots (D_{na'} D_{nb'} \cdots D_{nm})}$$

- 分母
  - 導体xのn個の素導体から各素導体への距離の積のn2乗根
    - 素導体自身間の距離Diiは実効半径r'a
    - 導体xの幾何学的平均半径r'(GMR: geometrical mean radius), 導体の自己GMD:Ds

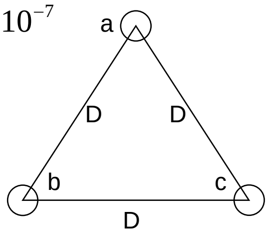
$$D_s = \sqrt[n^2]{(D_{aa} D_{ab} \cdots D_{an})(D_{ba} D_{bb} \cdots D_{bn}) \cdots (D_{na} D_{nb} \cdots D_{nn})}$$

$$L_x = \frac{D_m}{D_s} \times 2 \times 10^{-7}$$

三相送電線のインダクタンス 等間隔配置

- 導体aの鎖交磁束ψa(WbT/m)

$$\psi_a = \left(I_a \log_e \frac{1}{D_s} + I_b \log_e \frac{1}{D} + I_c \log_e \frac{1}{D} \right) \times 2 \times 10^{-7}$$



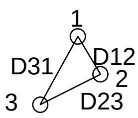
- 三相平衡
  - 電流条件 $I_a + I_b + I_c = 0$
    $I_a = -(I_b + I_c)$
- 導体aのインダクタンスLa(H/m)

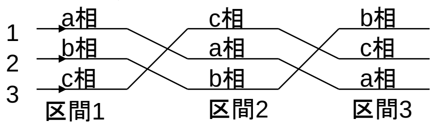
$$\psi_a = \left(I_a \log_e \frac{1}{D_s} - I_a \log_e \frac{1}{D} \right) \times 2 \times 10^{-7} = I_a \log_e \frac{D}{D_s} \times 2 \times 10^{-7}$$

$$L_a = \log_e \frac{D}{D_s} \times 2 \times 10^{-7}$$

三相送電線のインダクタンス 不等間隔配置・撚架

- 鉄塔に送電線を配置する場合，不等間隔配置となる





- a相の鎖交磁束
  - 区間1 $\psi_{a1} = \left(I_a \log_e \frac{1}{D_s} + I_b \log_e \frac{1}{D_{12}} + I_c \log_e \frac{1}{D_{31}} \right) \times 2 \times 10^{-7}$
  - 区間2 $\psi_{a2} = \left(I_a \log_e \frac{1}{D_s} + I_b \log_e \frac{1}{D_{23}} + I_c \log_e \frac{1}{D_{12}} \right) \times 2 \times 10^{-7}$
  - 区間3 $\psi_{a3} = \left(I_a \log_e \frac{1}{D_s} + I_b \log_e \frac{1}{D_{31}} + I_c \log_e \frac{1}{D_{23}} \right) \times 2 \times 10^{-7}$

三相送電線のインダクタンス 不等間隔配置・撚架

- a相の鎖交磁束平均値

$$\psi_a = \frac{\psi_{a1} + \psi_{a2} + \psi_{a3}}{3}$$

$$= \left(3I_a \log_e \frac{1}{D_s} + I_b \log_e \frac{1}{D_{12}D_{23}D_{31}} + I_c \log_e \frac{1}{D_{12}D_{23}D_{31}} \right) \times \frac{2\times 10^{-7}}{3}$$

- 三相平衡 $I_a = -(I_b + I_c)$

$$\psi_a = \left(3I_a \log_e \frac{1}{D_s} - I_a \log_e \frac{1}{D_{12}D_{23}D_{31}} \right) \times \frac{2\times 10^{-7}}{3}$$

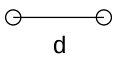
$$= I_a \log_e \frac{\sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}}}{D_s} \times 2\times 10^{-7}$$

GMD $D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}}$

送電線の多導体化

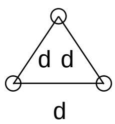
- 送電線の等価半径(GMR)を大きくしてコロナ放電を防ぐ
  - 二導体 GMR

$$D_s^b = \sqrt[4]{(D_s d)^2} = \sqrt{D_s d}$$



  - 三導体GMR

$$D_s^b = \sqrt[9]{(D_s dd)^3} = \sqrt[3]{D_s d^2}$$



  - 四導体GMR

$$D_s^b = \sqrt[16]{\left(D_s \sqrt{2} ddd\right)^4} \cong 1.09\sqrt[4]{D_s d^3}$$