'12.8.25 1版
片山 昌作

電気理論

1. ベクトルの方向を判別する ベクトルオペレータ j

1-1. リアクタンス X

1-2. 一般に言われる 遅れ電流と進み電流

1-3. インピーダンス $\dot{Z}$ は、抵抗 R とコイル L・コンデンサ C を分けて合成で計算する。
直列回路

1-4. 並列回路

2. 回路電流の計算

2-1. 並列回路の抵抗 R に流れる電流 I_R

2-2. 並列回路の各素子に流れる電流

2-3. 回路電流 I から 誘導リアクタンス X_L の値

2-4. 回路素子の電圧から電流値を知り、X_L の値を求める。

2-5. 印加電圧 E と回路電流 I を求める。

2-6. 抵抗 R が消費する電力 P[W] と回路力率 $\cos\theta$ の値を求める。
計算による位相 j の変化を考える。 P.9

2-7. 直並列回路の抵抗 R の両端の電圧 V_2 を求める。その手順

2-8. 直並列回路の抵抗 R に流れる $\dot{I}_R$ の値、抵抗 R を変化させても $\dot{I}_R$ が一定になる条件での $\dot{I}_C$ の値

2-9. 実効値 100[V] の電流の零点で電圧瞬時値 $50\sqrt{2}$[V] の時、この負荷の力率

2-10、ひずみ波交流電圧の波形ひずみ率

3. 三相交流の計算

3-1. 三相平衡負荷の全消費電力 P から負荷の抵抗値 R を求める。

3-2. 負荷電流の値と、力率100%になる並列接続のコンデンサ容量。

3-3. 三相平衡回路の負荷力率を求める。

3-4. 三相平衡回路の力率が1になった時の L と C を式で表わす。

4. 直流回路

4-1. (ブリッジの中間) b-c間に $R=80\Omega$ を接続した時の全電流 I の値

4-2. ブリッジの中間に接続された抵抗 R に流れる電流 I_R の値.

4-3. ブリッジ回路の R_5 に流れる電流 I_5 の値

4-4. a-b間の電圧 V_{ab} はいくらか? 帆足ミルマンの定理

4-5. R_3 に流れる電流 I_3 の値

4-6. OPアンプ 加算増幅回路の出力電圧を式で表す。

5. 電界・静電容量

5-1. 空気中に孤立した半径 r の導体球に帯電できる最大電荷 Q

5-2. 真空中に半径 6.378×10^{6} m の導体球の静電容量 C は?

5-3. 真空中の 2m 離れた2点の電荷間に働く力 F は?

5-4. A,B 2つの点電荷を通る直線上に有る点Pの電界がゼロである時、A−P間の距離 l はいくらか?

5-5. 平行板コンデンサの間に導体平板を挿入して、電極へ直流電圧 $V=120$ [V] を印加した。挿入板の電圧 V_0 を求めよ。

5-6. 平行板コンデンサC1から誘電体を1/2引き出したものがC2である。C1とC2の容量比は? 誘電体の比誘電率 $\varepsilon_s=3$ とする。

5-7. 直並列回路に直流電圧 V_1, V_2 を加えたら両回路の総静電エネルギー W [J] は等しくなった。直列回路の V_c と並列回路の V_2 の電圧比はいくらか?

5-8. スイッチSが開いている時、$C_1=0.004$ [F] $Q_1=0.3$ [C], $C_2=0.002$ [F] $Q_2=0$ [C] であった。スイッチSを閉じて抵抗Rで消費されたエネルギ W [J] は?

6. 誘導

6-1. 直線導体に電流を流した時、その導体から離れた点の磁界の強さ H

6-2. 正方形の中心点の磁界の大きさ H_1、円の中心点の磁界の大きさ H_2
この磁界の大きさの比 $\frac{H_1}{H_2}$

6-3. 環状鉄心の磁気抵抗、起磁力、磁束

6-4. 環状鉄心の巻線Nに直流電流 I を流した時 鉄心中に発生した磁束密度 B の時、巻線のインダクタンス L はいくらか。

6-5. エアギップのある環状鉄心で、ギップの磁束密度 B はいくらか?

6-6. 平均磁路 l が 95 [cm]、断面積 S が 6 [cm²]、比透磁率 $\mu_r=2500$ の環状鉄心に 2つのコイルが巻かれている。漏れ磁束が無い時、両コイルの相互インダクタンス M [H] の値は?

6-7. 円柱鉄心に巻かれた2つのコイルを順方向に接続して直流電流を流した時、接続されたコイルの両端に蓄えられたエネルギー W [J]

6-0. 磁気回路

以上

電気理論

1. ベクトルの方向を判別する ベクトルオペレータ j

1-1. リアクタンス X

コイルの場合 $X_L = \omega L$ 電流 $I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{V}{\omega L} = \frac{V}{j\omega L} = -j\frac{V}{\omega L}$

コンデンサの場合 $X_C = \frac{1}{\omega C}$ 電流 $I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{V}{\frac{1}{\omega C}} = \omega CV = j\omega CV$

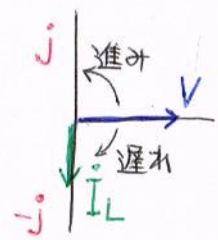
1-2. 一般に言われる遅れ電流と進み電流

遅れ電流とは、コイルに流れる電流で電圧を基準にして遅れとなる。
遅れか進みかは ω に j を付加することで判別する。

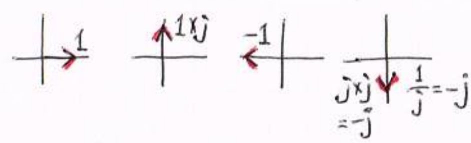
$\dot{I}_L = \frac{V}{j\omega L} = -j\frac{V}{\omega L}$ … $-j$ は、負なので遅れ電流になる。

$\dot{I}_C = j\omega CV$

… j は、正なので
進み電流になる。



ベクトルは左回転になり、



(抵抗Rに流れる)電流 I を基準にすると、X_L と X_C は、ωL と $\frac{1}{\omega C}$ の関係から、
$\frac{V}{j\omega L}$ と $j\omega CV$ は、$-j$ と j の関係になる

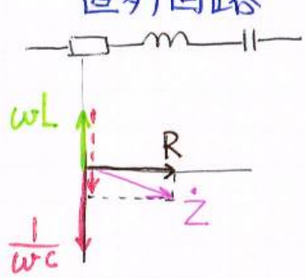
※ ベクトルを表わす時は、$\dot{I}$ の様に頭に点を付加する。

Q1. I_L のベクトルは電圧に対して何度か？ $-90°$ です。

Q2. I_C のベクトルは電圧に対して何度か？ $90°$ です。

1-3. インピーダンス $\dot{Z}$ は、抵抗 R と コイルL・コンデンサC を分けて 合成で計算する。

直列回路



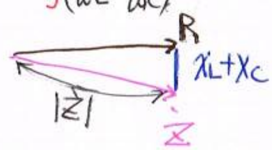
抵抗Rは、電力を消費する。 力率 $\cos\theta = 1$, 角度 $\angle\theta \quad \theta = 0°$

コイルLは、電力を消費しない。

コンデンサCは、電力を消費しない。

よって、抵抗Rと電力を消費しない L・Cは分けて計算する。

$$\dot{Z} = R + (X_L - X_C)$$
$$= j\omega L + \frac{1}{j\omega C}$$
$$= j(\omega L - \frac{1}{\omega C})$$

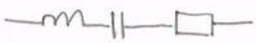


直列回路は、$X = \omega L + \frac{1}{\omega C} = j\omega L - j\frac{1}{\omega C}$ となる。

ベクトルの有る Z は $\dot{Z}$ と書き、ベクトルの無いスカラ量は $Z = |\dot{Z}|$ となる。

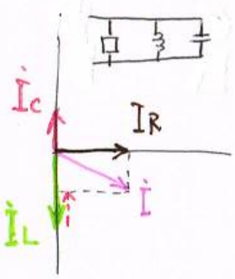
$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)} = \sqrt{R^2 + (j\omega L - j\frac{1}{\omega C})^2}$$
$$= \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$$

ちなみに 順序が変っても



結果は同じです。

1-4. 並列回路



並列回路は、直列の様に LとCの加算ができないが、電流値は加算できる。

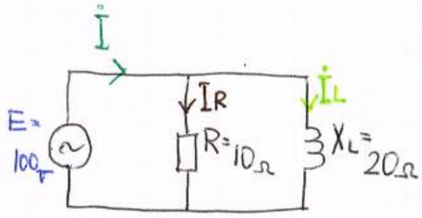
つまり、$\underbrace{\text{RLCの逆数の和}}_{\text{アドミタンス }\dot{Y}}$の逆数がインピーダンス $\dot{Z}$ となる。

$$\dot{Z} = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{X_L} + \frac{1}{X_C}} = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{\omega L} + \frac{1}{\frac{1}{\omega C}}} = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L} + j\omega C} = \frac{1}{\frac{1}{R} + j(\omega C - \frac{1}{\omega L}}$$

$\frac{1}{\dot{Z}} = \frac{1}{R} + j(\omega C - \frac{1}{\omega L})$ インピーダンス Z の逆数を Y に定め、アドミタンスと言う。

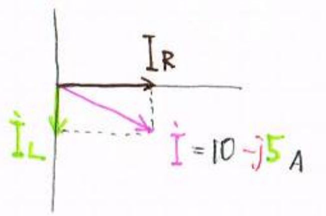
$$\dot{Y} = \frac{1}{R} + j(\omega C - \frac{1}{\omega L})$$

2.回路電流の計算



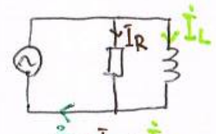
2-1. 並列回路は各素子に同じ電圧Eが印加される。よって抵抗Rに流れる電流I_Rは、

$$I_R = \frac{E}{R} = \frac{100}{10} = 10\ [A]$$



コイルLに流れる電流$\dot{I}_L$は、

$$\dot{I}_L = \frac{E}{X_L} = \frac{100}{20} = j5\ [A] \qquad \dot{I}_L = \frac{E}{j\omega L} = -j\frac{E}{\omega L}$$



$\dot{I} = I_R + \dot{I}_L$

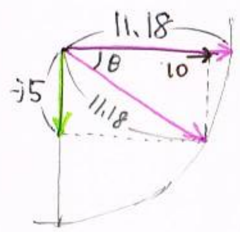
回路電流$\dot{I}$は、I_Rと$\dot{I}_L$の合計となり

$$\dot{I} = I_R + \dot{I}_L = 10 - j5\ [A]$$

絶対値$|\dot{I}|$は、三角関数の式から次の様になる。

$$|\dot{I}| = |I_R + \dot{I}_L| = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

$$= \sqrt{10^2+5^2} = \sqrt{100+25} = \sqrt{125} = 11.18\ [A]$$



回路電流の大きさIに 位相角度θを付加して表わす。

$\dot{I} = 11.18\angle -27°$　　角度$\theta = \tan^{-1}\frac{I_L}{I_R} = \frac{-5}{10} \fallingdotseq 27°$

（関数表で角度を求める。）

$$\dot{I}_R = \frac{E}{Z}\cdot\frac{X_L}{R+X_L} = \frac{100}{\frac{1}{\frac{1}{10}+\frac{1}{j20}}}\cdot\frac{j20}{10+j20} = \frac{100}{\frac{1}{\frac{2}{20}+\frac{1}{j20}}}\cdot\frac{j20}{10+j20}$$

$$= \frac{100}{20}(2+j1)\times\frac{j200}{500}(1-j2)$$

$$= \cancel{5}(2+j1)\times j\frac{2}{\cancel{5}}(1-j2)$$

$$= (2+j1)(j2+4)$$

$$= j4+8-2+j4$$

$$= 6+j8\ [A]$$

$$|\dot{I}_R| = \sqrt{6^2+8^2} = \sqrt{36+64} = \sqrt{100}$$

$$= 10\ [A]$$

$$I_R = \frac{E}{Z}\cdot\frac{X_L}{R+X_L} = \frac{100}{\frac{1}{\frac{1}{10}+\frac{1}{20}}}\times\frac{20}{10+20} = 100\left(\frac{2}{20}+\frac{1}{20}\right)\times\frac{20}{30}$$

$$= 100\left(\frac{3}{20}\right)\times\frac{20}{30} = 10\ [A]$$

$$\dot{I}_L = \frac{E}{Z}\cdot\frac{R}{R+X_L} = \frac{100}{\frac{1}{\frac{1}{10}+\frac{1}{j20}}}\cdot\frac{10}{10+j20} = \frac{100}{\frac{1}{\frac{2}{20}+\frac{1}{j20}}}\cdot\frac{10}{10+j20}$$

$$= \frac{100}{20}(2+j1)\times\frac{100}{500}(1-j2)$$

$$= \cancel{5}(2+j1)\times\frac{1}{\cancel{5}}(1-j2)$$

$$= (2+j1)(1-j2)$$

$$= 2-j4+j1+2$$

$$= 4-j3\ [A]$$

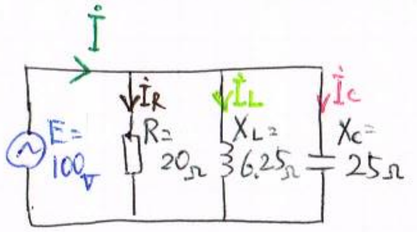
$$|\dot{I}_L| = \sqrt{4^2+3^2} = \sqrt{16+9} = \sqrt{25}$$

$= 5$ [A] ---> $-j5$になる。

$$I_L = \frac{E}{Z}\cdot\frac{R}{R+X_L} = \frac{100}{\frac{1}{\frac{1}{10}+\frac{1}{20}}}\times\frac{10}{10+20} = 100\left(\frac{2}{20}+\frac{1}{20}\right)\times\frac{10}{30}$$

$$= 100\left(\frac{3}{20}\right)\times\frac{10}{30} = 5\ [A]$$

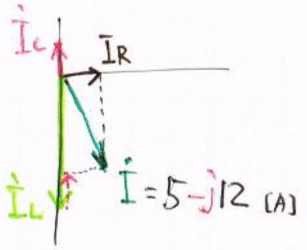
2-2. 並列回路の各素子に流れる電流



$$I_R = \frac{E}{R} = \frac{100}{20} = 5 \ [A]$$

$$\dot{I}_L = \frac{E}{j\omega L} = -j\frac{100}{6.25} = -j16 \ [A]$$

$$\dot{I}_C = j\omega CE = j\frac{1}{25}\times 100 = j4 \ [A]$$

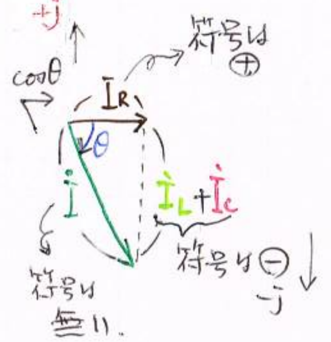


回路の合成電流

$$\dot{I} = I_R + \dot{I}_L + \dot{I}_C = 5 + (-j16) + (j4) = 5 - j12 \ [A]$$

$$|\dot{I}| = \sqrt{5^2+12^2} = \sqrt{25+144} = \sqrt{169} = 13 \ [A]$$

$$\dot{I} = 13\angle -67.5^\circ \quad 角度\theta = \tan^{-1}\frac{\dot{I}_L+\dot{I}_C}{I_R} = \frac{-12}{5} \fallingdotseq -67.5^\circ$$



別の表現（指数関数 e）にすると、

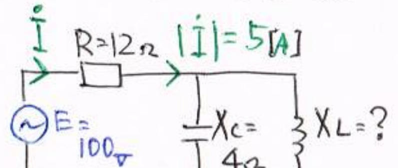
$$\dot{I} = 13e^{j-67.5^\circ}$$

$$= 13\cos -67.5^\circ + j13\sin -67.5^\circ$$

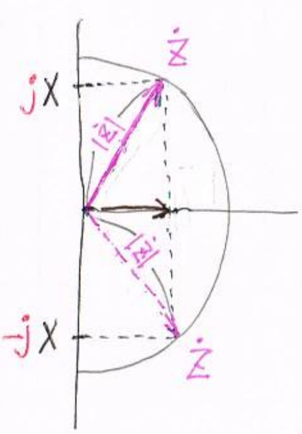
$$= 13\times 0.3827 + j13\times -0.9239 = 4.9751 - j12.0107$$

$$\fallingdotseq 5 - j12 \ [A]$$

2-3. 回路電流 I から誘導リアクタンス X_L の値を求める



インピーダンス Z からリアクタンス X 分を求め、その誘導分が答となる。



$$|\dot{Z}| = \frac{V}{|\dot{I}|} = \frac{100}{5} = 20 \ [\Omega]$$ 　Ż は R と X の合成 Z=R+X であるから

$$X = \sqrt{Z^2-R^2} = \sqrt{20^2-12^2} = \sqrt{400-144} = \sqrt{256} = 16 \ [\Omega]$$

左図より X は jX と -jX の方向が有ることが分かり.

$$X = \frac{1}{\frac{1}{X_L}+\frac{1}{X_C}} \Rightarrow \frac{1}{X} = \frac{1}{X_L}+\frac{1}{X_C} \Rightarrow \frac{1}{X} - \frac{1}{X_C} = \frac{1}{X_L}$$

jX の場合は、

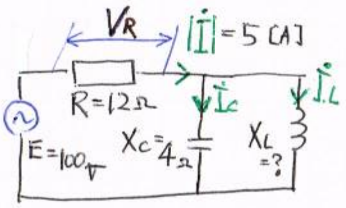
$$X_L = \frac{1}{\frac{1}{jX} - \frac{1}{-jX_C}} = \frac{1}{-j\frac{1}{16} - j\frac{1}{4}} = \frac{1}{-j\frac{1+4}{16}} = j\frac{16}{5} = j3.2 \text{ [Ω]}$$

$\hookrightarrow \frac{1}{j\omega C} = -j\frac{1}{\omega C} = -jX_C$　　$\hookrightarrow -\frac{1}{-jX_C} = -\left(j\frac{1}{X_C}\right) = -j\frac{1}{X_C}$

$-jX$ の場合は、

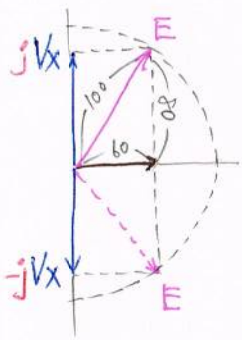
$$X_L = \frac{1}{\frac{1}{-jX} - \frac{1}{-jX_C}} = \frac{1}{j\frac{1}{16} - j\frac{1}{4}} = \frac{1}{j\frac{1-4}{16}} = -j\frac{16}{-3} = j5.333 \text{ [Ω]}$$

2-4。回路素子の電圧から電流値を知り、X_Lの値を求める。



抵抗Rの両端の電圧V_Rは、

$V_R = |\dot{I}| R = 5 \times 12 = 60$ [V]

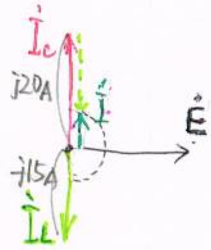


リアクタンスXの両端の電圧V_Xは、電圧の合成 $E = V_R + V_X$ から

$V_X = \sqrt{E^2 - V_R^2} = \sqrt{100^2 - 60^2} = \sqrt{10000 - 3600} = \sqrt{6400} = 80$ [V]

X_Cに流れる電流I_Cは、

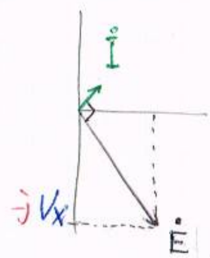
$I_C = \frac{V_X}{X_C} = \frac{80}{4} = 20$ [A]　　コンデンサに流れるのは進み電流であるから、$j20$ [A] となる。

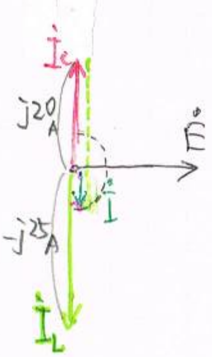


$\dot{I}$が進み電流の場合（容量性電流）

$\dot{I}_L = j\dot{I} - j\dot{I}_C = j5 - j20 = -j15$ [A]

$X_L = \frac{V_X}{-j\dot{I}_L} = \frac{80}{-j15} = j5.333$ [Ω]

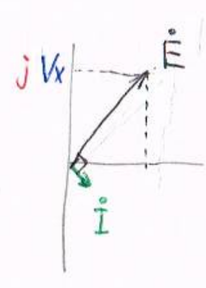




$\dot{I}$が遅れ電流の場合（誘導性電流）

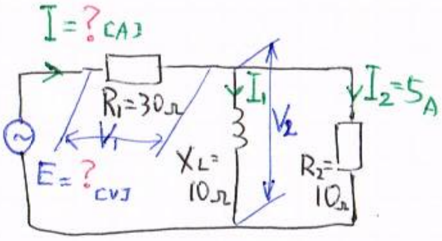
$\dot{I}_L = -j\dot{I} - j\dot{I}_C = -j5 - j20 = -j25$ [A]

$X_L = \frac{V_X}{-j\dot{I}_L} = \frac{80}{-j25} = j3.2$ [Ω]



$\dot{I} = j\dot{I}_C + (-j\dot{I}_L)$ ⇨ $j\dot{I}_L = j\dot{I}_C - j\dot{I}$

2-5. 印加電圧 E [V] と回路電流 I [A] を求める。



EとIのどっちと先に求めるのか？

$E = \dot{V}_1 + \dot{V}_2 = \dot{I}R_1 + \dot{I}_2 R_2$

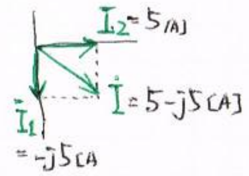
↳ Iを求めなければ $\dot{V}_1$ が分からない

$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2$ が必要になり、$\dot{I}_1$ を求める。

$\dot{I}_1 = \dfrac{\dot{V}_2}{X_L} = \dfrac{\dot{I}_2 R_2}{X_L} = \dfrac{5\times 10}{j\,10} = \dfrac{5}{j1} = -j5$ [A]

ベクトルjを付ける

$\dot{I}_2 = \dfrac{\dot{V}_2}{R_2} = \dfrac{50}{10} = 5$ [A]

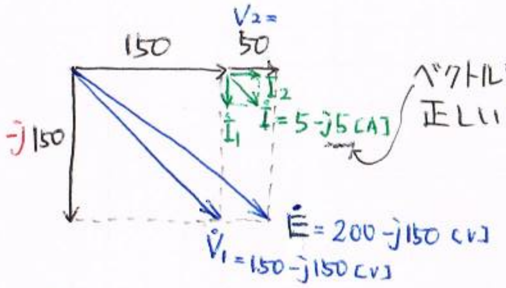


ベクトルを付けて計算すると…○

$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = -j5 + 5$ [A]

$\dot{E} = \dot{V}_1 + \dot{V}_2 = (-j5+5)\times 30 + 5\times 10$

$= -j150 + 150 + 50 = 200 - j150$ [V]



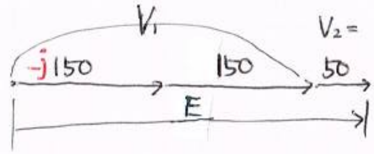
ベクトルを付けることで正しい値になる

ベクトルを付けないまま計算すると、…×

$I = I_1 + I_2 = 5 + 5 = 10$ [A] になり、

$E = V_1 + V_2 = IR + I_2R_2 = 10\times 30 + 5\times 10$

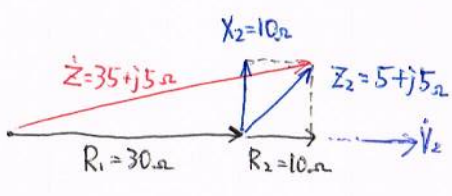
$= 350$ [V] になる。



EはV₁, V₂をすべて直線にならべた値となりNGである。

$|\dot{E}| = |200 - j150| = \sqrt{200^2 + 150^2} = \sqrt{40000 + 22500} = \sqrt{62500} = 250$ [V]

インピーダンス $\dot{Z}$ を計算して $\dot{E}$ を求める。



$\dot{Z}_2 = \dfrac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{X_L}} = \dfrac{R_2 X_L}{X_L + R_2} = \dfrac{10\times j10}{j10 + 10} = \dfrac{j10(-j1+1)}{(j1+1)(-j1+1)} = \dfrac{10+j10}{1+1}$

$= 5 + j5$ [Ω]

$\dot{Z} = R_1 + \dot{Z}_2 = 30 + 5 + j5 = 35 + j5$ [Ω]

先に求めた $\dot{I}$ から

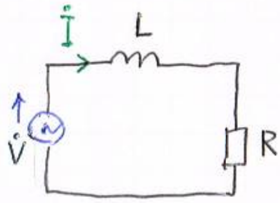
$E = \dot{I}\dot{Z} = (-j5+5)(35+j5) = -j175 + 175 + 25 + j25$

$= 200 - j150$ [V]

$\dot{V}_1 = \dot{I}R_1 = (-j5+5)\times 30 = -j150 + 150$ [V]

$= 150 - j150$ [V]

2-6. 抵抗Rが消費する電力P[W]と回路力率 $\cos\theta$ の値を求める。



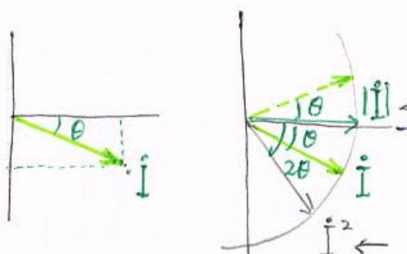
皮相電力 $S_{[VA]}$ = 有効電力 $P_{[W]}$ + 無効電力 $Q_{[var]}$

$$S = \dot{V}\dot{I} = \underbrace{(R + j\omega L)}_{\dot{Z}}\dot{I}\dot{I} = R\dot{I}^2 + j\omega L\dot{I}^2 \rightarrow j\omega L \cdot -j\dot{I} \cdot -j\dot{I}$$

$j \times -j = 1$

$1 \times -j$

$$S = \underbrace{R|\dot{I}|^2}_{P} \cancel{+} \underbrace{-j\omega L|\dot{I}|^2}_{Q}$$

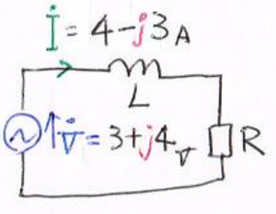


← ベクトル無くして $\dot{I}$ を2乗すると角度0の電流 I^2 になる。

→E

無効電力Qは、電流と同じベクトルになり、電圧に対して遅れる $-j$ の場合を無効電力の正と定義する。

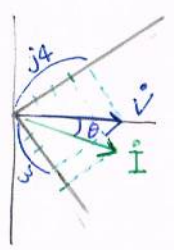
$\dot{I}^2$ ← ベクトルの有る $\dot{I}$ を2乗すると $\dot{I}$ の角度は2倍になり、2θ となる。よって $\dot{I}^2$ は角度が変るので正しい電力計算ができないことが分かる。



$\dot{V} = 3 + j4$ [V] ----基準ベクトル

$\dot{I} = 4 + j3$ [A] ----基準ベクトルに対して遅れている。

抵抗Rの消費する電力Pと回路力率を求めると、

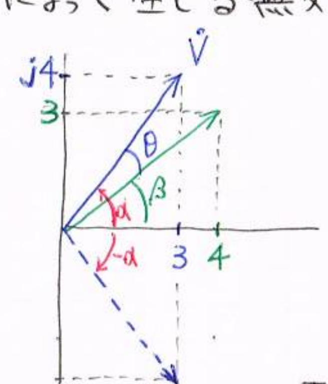


$S = \dot{V}\dot{I} = (3 + j4)(4 + j3)$ ---> 電圧の角度と電流の角度が加算される。

$= \bar{V}\dot{I} = (3 - j4)(4 + j3) = 12 + j9 - j16 + 12 = 24 - j7$ [VA]

$S = P + Q$ なので $P = 24$ [W] となる。

電力は、$\dot{V}$ と $\dot{I}$ を乗算するが、電圧を逆位相にすると、誘導Lによる遅れ電流によって生じる無効電力を正と定義しているので通合良い。



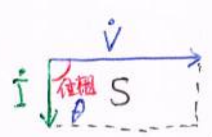
$\dot{V} = 3 + j4 = 5\angle 53.13°$ $\bar{V} = 5\angle -53.13°$

$\dot{I} = 4 + j3 = 5\angle 36.87°$

$S = \bar{V}\dot{I} = 5\angle -53.13° \times 5\angle 36.87° = 5 \times 5\angle -53.13° + 36.87° = 25\angle -16.26°$ [VA]

角度を式にすると $\theta = -\alpha + \beta =$

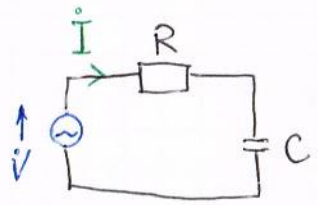
※1 電圧を絶対値にして電力(S)を求めても、位相θが定まらないので正しい値にはならない。



$S = |\dot{V}|\dot{I} = 5 \times (4 + j3) = 20 + j15 = 25\cancel{\angle 36.36°}$ [VA]

※2 電流の位相を逆にして電力Sを求めると、Lによって遅れ電力となるものが進み電力となってしまう為誤りである。

$S = \dot{V}\bar{I} = (3 + j4)(4 - j3) = 12 - j9 + j16 + 12 = 24 \cancel{+ j7}$ [VA]

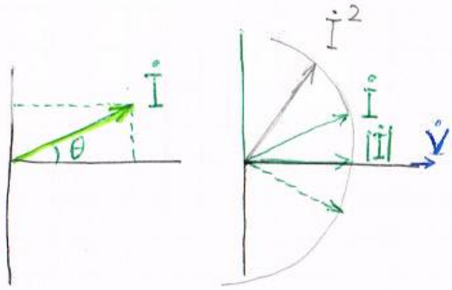


$$S = \dot{V}\dot{I} = \left(R - j\frac{1}{\omega C}\right)\dot{I}\dot{I} = R\dot{I}^2 \underbrace{- j\frac{1}{\omega C}\dot{I}^2}\;\; \underbrace{\underbrace{-j\frac{1}{\omega C}\cdot j\dot{I}\cdot j\dot{I}}_{-j\times j\,=\,1}}_{1\times j}$$

⇩

$$S = \underbrace{R|\dot{I}|^2}_{P} \cancel{-} + \underbrace{j\frac{1}{\omega C}|\dot{I}|^2}_{Q}$$

無効電力Qは、電流と同じベクトルになり、電圧に対して進む j となるので、遅れの無効電力が「正」と定義されているので、進みは無効電力の負となる。



計算による位相 j の変化を考える。

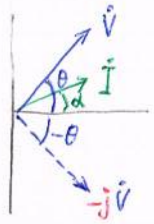
1) 皮相電力 $S = V\dot{I}$ 進み電流から $= V(\bigcirc + j\odot)$

$$= \frac{V^2}{\dot{Z}} = \frac{V\dot{I}\dot{Z}}{\dot{Z}} = \frac{V(\bigcirc + j\odot)(\triangle - j\triangle)(\triangle + j\triangle)}{(\triangle - j\triangle)(\triangle + j\triangle)} = V(\bigcirc + j\odot)$$

$$= \dot{I}^2\dot{Z} = \underbrace{\dot{I}\dot{I}\dot{Z}}_{\text{NG例です。}} = (\bigcirc + j\odot)(\bigcirc - j\odot)(\triangle - j\triangle)$$

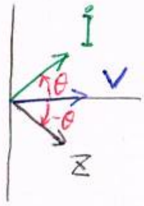
$$= (\bigcirc^2 + \odot^2)(\triangle - j\triangle)$$ --- 電流を共役すると位相が変る。

皮相電力 S の無効分 Q は、電圧 V を基準に進み(電流)、+j になると、「負の無効電力」と言う。



$$S = \dot{V}\dot{I} = \overline{V}\dot{I} = (\bigcirc - j\bigcirc)(\bigcirc + j\bigcirc) = V\angle{-\theta} \times I\angle\alpha$$

電流 $\dot{I}$ が進みならば、インピーダンス Z は遅れになる。



$$\dot{Z} = \frac{V}{\dot{I}} = \frac{V}{(\bigcirc + j\bigcirc)} = \frac{V(\bigcirc - j\bigcirc)}{(\bigcirc + j\bigcirc)(\bigcirc - j\bigcirc)} = V(\bigcirc - j\bigcirc) = \frac{V\angle 0^\circ}{I\angle\theta}$$

$$\dot{I} = \frac{V}{\dot{Z}} = \frac{V}{(\triangle - j\triangle)} = \frac{V(\triangle + j\triangle)}{(\triangle - j\triangle)(\triangle + j\triangle)} = V(\triangle + j\triangle) = \frac{V\angle 0^\circ}{Z\angle{-\theta}}$$

$$V = \dot{I}\dot{Z} = (\bigcirc + j\bigcirc)(\triangle - j\triangle) = \underbrace{I\angle\theta \times Z\angle{-\theta}}_{\text{角度が相殺されて0°になる}} = IZ$$

2) 皮相電力 $S = V\dot{I}$ が遅れ電流なら $= V(\bigcirc - j\bigcirc)$

$$= \frac{V^2}{\dot{Z}} = \frac{V\dot{I}\dot{Z}}{\dot{Z}} = \frac{V(\bigcirc - j\bigcirc)(\triangle + j\triangle)(\triangle - j\triangle)}{(\triangle + j\triangle)(\triangle - j\triangle)} = V(\bigcirc - j\bigcirc)$$

$$= \dot{I}^2\dot{Z} = \dot{I}\dot{I}\dot{Z} = (\bigcirc - j\bigcirc)(\bigcirc - j\bigcirc)(\triangle + j\triangle) = -j\bigcirc \times (\triangle + j\triangle)$$

$$= \square - j\square$$

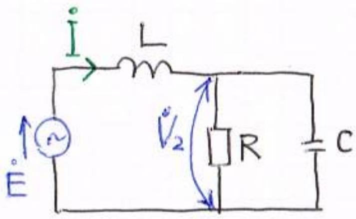
$-j\bigcirc\triangle + (-j\bigcirc \times j\triangle)$

$-j\bigcirc\triangle + \bigcirc\triangle$

$$(A - jB)(C - jD) = AC - jAD - jBC - BD$$
$$= AC - BD - j(AD + BC)$$
$$= -j(AD + BC) \Rightarrow -j\bigcirc$$

無効分 Q は、電圧 V を基準に遅れ(電流) $-j$ になると、「正の無効電力」と言う。

2-7. 直並列回路の抵抗Rの両端の電圧V_2を求める。その手順は?



インピーダンス$\dot{Z}$を求め、電流$\dot{I}$の式を導びく。
並列CR部分の$\dot{Z}_p$と電流$\dot{I}$の積で求まる。

$$\text{インピーダンス}\ \dot{Z} = X_L + \frac{1}{\frac{1}{R}+\frac{1}{X_C}} = j\omega L + \frac{1}{\frac{1}{R}+\frac{1}{\frac{1}{j\omega C}}} = j\omega L + \frac{R}{\frac{R}{R}+j\omega CR} = j\omega L + \frac{R}{1+j\omega CR}$$

$$= j\omega L + \frac{R\,(1-j\omega CR)}{(1+j\omega CR)(1-j\omega CR)} = j\omega L + \frac{R-j\omega CR^2}{1+\omega^2C^2R^2} = \frac{R+j\omega(L+\omega^2C^2R^2L-CR^2)}{1+\omega^2C^2R^2}$$

$1+\omega^2C^2R^2$ を Uに置き替えると、

$$= \frac{R+j\omega(LU-CR^2)}{U}$$

$$\text{電流}\ \dot{I} = \frac{E}{\dot{Z}} = \frac{E}{\frac{R+j\omega(LU-CR^2)}{U}} = \frac{EU\{R-j\omega(LU-CR^2)\}}{\{R+j\omega(LU-CR^2)\}\{R-j\omega(LU-CR^2)\}}$$

$$= \frac{EU\{R-j\omega(LU-CR^2)\}}{R^2+\omega^2(LU-CR^2)^2}$$

$$\text{電圧}\ \dot{V}_2 = \dot{I}\cdot\frac{1}{\frac{1}{R}+\frac{1}{X_C}} = \frac{E\cancel{U}\{R-j\omega(LU-CR^2)\}}{R^2+\omega^2(LU-CR^2)^2}\cdot\frac{R(1-j\omega CR)}{\cancel{U}}$$

$$= \frac{ER\{R-j\omega(LU-CR^2)-j\omega CR^2-\omega^2CR(LU-CR^2)\}}{R^2+\omega^2(LU-CR^2)^2}$$

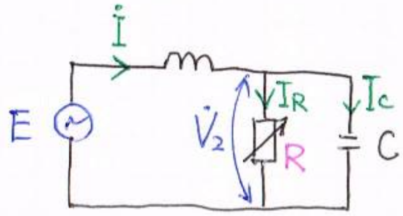
$$= \frac{ER\{R-j\omega LU+\cancel{j\omega CR^2}-\cancel{j\omega CR^2}-\omega^2CRLU+\omega^2C^2R^3\}}{R^2+\omega^2(LU-CR^2)^2}$$

$$= \frac{ER^2\{1+\omega^2C^2R^2-\omega^2CLU-j\frac{\omega LU}{R}\}}{R^2+\omega^2(LU-CR^2)^2}$$

$$= \frac{ER^2(U-\omega^2CLU-j\frac{\omega LU}{R})}{R^2+\omega^2(LU-CR^2)^2} = \frac{ER^2U(1-\omega^2CL-j\frac{\omega L}{R})}{R^2+\omega^2(LU-CR^2)^2}$$

$$= \frac{ER^2(1+\omega^2C^2R^2)(1-\omega^2CL-j\frac{\omega L}{R})}{R^2+\omega^2\{L(1-\omega^2C^2R^2)-CR^2\}^2}$$

2-8. 直並列回路の 抵抗Rに流れる電流 $\dot{I}_R$ の値は？



$\dot{I}_R$は RとXcの比で分流される。

$$電流\ \dot{I}_R = \dot{I}\cdot\frac{X_c}{R+X_c} = \frac{E}{\dot{Z}}\cdot\frac{X_c}{R+X_c} = \frac{E}{j\omega L+\frac{1}{\frac{1}{R}+j\omega C}}\cdot\frac{\frac{1}{j\omega C}}{R+\frac{1}{j\omega C}} \rightarrow \frac{1}{j\omega CR+1}$$

$$= \frac{E}{j\omega L+\frac{R}{1+j\omega CR}}\cdot\frac{1}{j\omega CR+1} = \frac{E}{-\omega^2 LCR + j\omega L + R}$$

式①

$$= \boxed{\frac{E}{R(1-\omega^2 LC)+j\omega L}} = \frac{E\{R(1-\omega^2 LC)-j\omega L\}}{\{R(1-\omega^2 LC)+j\omega L\}\{R(1-\omega^2 LC)-j\omega L\}}$$

$$= \frac{E\{R(1-\omega^2 LC)-j\omega L\}}{R^2(1-\omega^2 LC)^2+\omega^2 L^2}\ [A]$$

抵抗Rを変化させても $\dot{I}_R$ が一定になる条件は、 $\omega = \boxed{}$ である。

$R(1-\omega^2 LC)+j\omega L$ から $R=0$ になる為には、$1-\omega^2 LC=0$ なので、

$\omega^2 LC = 1 \Rightarrow \omega^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ が答えになる。

$\dot{I}_R$が一定の時の $\dot{I}_c$ の値は？　　式①に $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ を代入する。

$$\dot{I}_R = \frac{E}{R(1-\sqrt{\frac{1}{LC}}^2 LC)+j\sqrt{\frac{1}{LC}}\cdot L} = \frac{E}{R(1-\frac{1}{LC}\times LC)+j\sqrt{\frac{L^2}{LC}}} = \frac{E}{R\times 0+j\sqrt{\frac{L}{C}}}$$

$$= \frac{E}{j\sqrt{\frac{L}{C}}} = -j\sqrt{\frac{C}{L}}\cdot E\ [A]$$

$\dot{I}_c$ はインピーダンスの比で分配される。

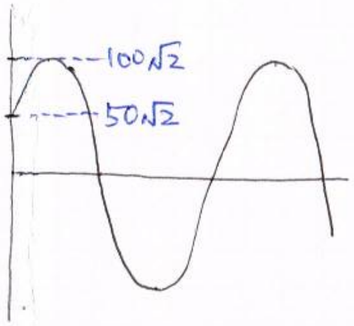
$$\frac{\dot{I}_R}{\dot{I}_c} = \frac{\frac{\frac{1}{j\omega C}}{R+\frac{1}{j\omega C}}\dot{I}}{\frac{R}{R+\frac{1}{j\omega C}}\dot{I}} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R} = \frac{1}{j\omega CR} \qquad \dot{I}_R = \frac{\dot{I}_c}{j\omega CR}$$

ωに$\sqrt{\frac{1}{LC}}$を代入する

$$\dot{I}_c = \dot{I}_R\cdot j\omega CR = -j\sqrt{\frac{C}{L}}\cdot E\cdot j\omega CR = \sqrt{\frac{\cancel{C}}{L}}\cdot\sqrt{\frac{1}{L\cancel{C}}}\cdot CRE = \sqrt{\frac{1}{L^2}}\cdot CR\cdot E = \frac{CR}{L}\cdot E$$

[A]

2-9. 実効値 100[V] の正弦波交流電源から電流の零点において電圧の瞬時値は $50\sqrt{2}$ [V]であった。この負荷の力率はいくらか?

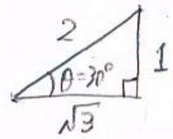


電圧 $e = E_m \sin(\omega t + \theta)$

$i = 0$, $\omega t = 0$ が電流の零点で電圧は、

$e = 50\sqrt{2} = 100\sqrt{2}\sin(0+\theta) = 100\sqrt{2}\sin\theta$

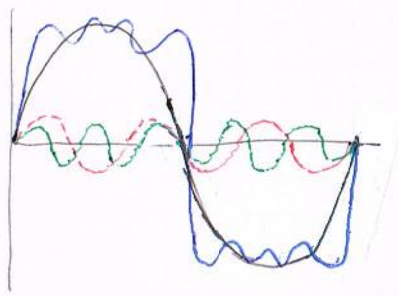
$\sin\theta = \dfrac{50\sqrt{2}}{100\sqrt{2}} = \dfrac{1}{2}$　　$\theta = \sin^{-1}\dfrac{1}{2} = 30°$



力率 $\cos\theta = \cos 30° = \dfrac{\sqrt{3}}{2} = 0.866$

$1 = \sin\theta + \cos\theta$ から $\cos\theta = \sqrt{1-(\sin\theta)^2} = \sqrt{1-0.5^2} = \sqrt{0.75} = 0.866$

2-10. 次に表わす ひずみ波交流電圧の波形ひずみ率はいくらか?



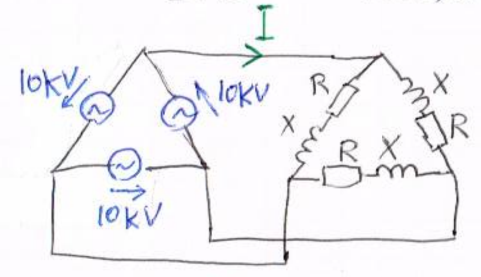
$v = 200\sin\omega t + 40\sin 3\omega t + 30\sin 5\omega t$

ひずみ率 $d = \dfrac{\text{高調波の実効値}}{\text{基本波の実効値}} = \dfrac{\sqrt{E_{m3}^2 + E_{m5}^2}}{E_{m1}}$

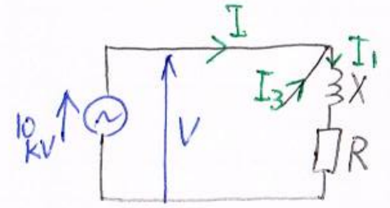
$$d = \frac{\dfrac{\sqrt{40^2+30^2}}{\sqrt{2}}}{\dfrac{200}{\sqrt{2}}} = \frac{\sqrt{1600+900}}{200} = \frac{50}{200} = 0.25 \Rightarrow 25[\%]$$

3. 三相交流の計算

3-1. 三相平衡負荷の全消費電力が 200 [kW] で、線電流 I のスカラ量が 20[A]の時、抵抗 R の値は?



一相分のインピーダンス Z [Ω] と三相分の皮相電力 S [kVA] を計算し、力率 $\cos\theta$ から R が分かる。X の値は $\sin\theta$ から分かる。



一相で考えると、

相間電圧 V は 電源電圧 10kV になる。

相電流 I_1は、線電流 I の $1/\sqrt{3}$ になる。

皮相電力 S_1 は、VI_1、三相なら $S=\sqrt{3}VI$

$$Z_1=\frac{V}{I_1}=\frac{V}{I/\sqrt{3}}=\frac{10\times10^3}{20/\sqrt{3}}=500\sqrt{3}\ [\Omega]$$

$$S=\sqrt{3}VI=\sqrt{3}\times10\times10^3\times20=200\sqrt{3}\ [\mathrm{kVA}]$$

$$\cos\theta=\frac{P}{S}=\frac{200}{200\sqrt{3}}=\frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$R=Z\cos\theta=500\sqrt{3}\times\frac{1}{\sqrt{3}}=500\ [\Omega]$$

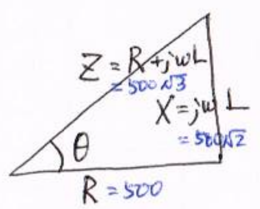
皮相電力 $S_{[VA]}$ は 有効電力 $P_{[W]}$ と 無効電力 $Q_{[var]}$ のベクトルである。

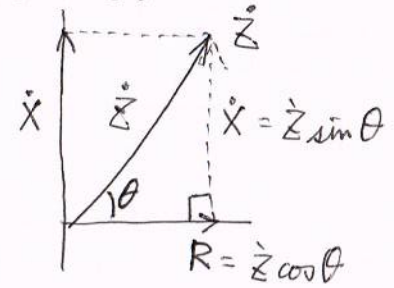
$$S=P+Q \qquad S=S\cos\theta+S\sin\theta$$

$$I^2\dot{Z}=I^2R+I^2\dot{X}$$

上式の電流 I を除くと

$$\dot{Z}=R+\dot{X}$$ になり、





インピーダンスの三角形から

$$X=\sqrt{Z^2-R^2}=\sqrt{(500\sqrt{3})^2-500^2}=500\sqrt{\sqrt{3}^2-1}=500\sqrt{2}\ [\Omega]$$

記合法から求めると、

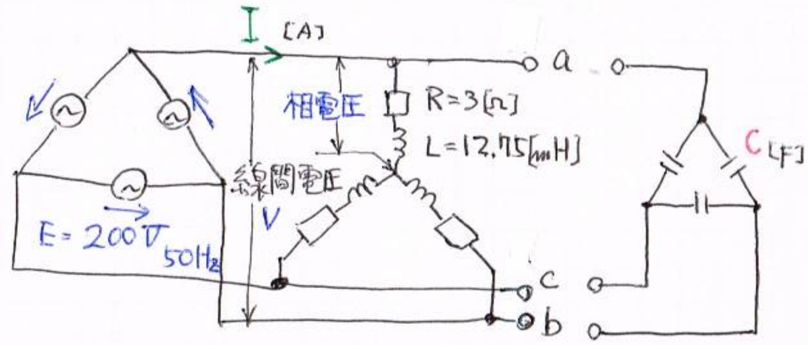
$$X=\underbrace{Z\sin\theta}_{\text{記号法の書き方}}=500\sqrt{3}\times\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}=500\sqrt{2}\ [\Omega]$$

ピタゴラスの定理

$c^2=a^2+b^2$

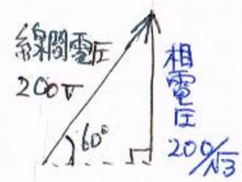
斜辺の2乗は、他の2辺の2乗の和に等しい。

3-2. 負荷電流 $\dot{I}$ [A] の値は？

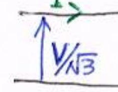


負荷インピーダンス $\dot{Z}$ の値から線間電圧 $V_{[V]}$ より求める。

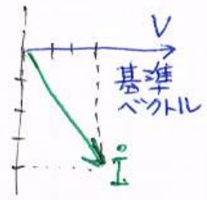
$$\dot{Z} = R + jX = R + j\omega L$$
$$= 3 + j\,2\times 3.1416\times 50\times 12.75\times 10^{-3}$$
$$= 3 + j4.00\cancel{58}\ [\Omega]$$



$$\dot{I} = \frac{V}{\dot{Z}} = \frac{200/\sqrt{3}}{3+j4} = \frac{200}{\sqrt{3}}\cdot\frac{3-j4}{(3+j4)(3-j4)} = \frac{200}{\sqrt{3}}\cdot\frac{3-j4}{3^2+4^2}$$
$$= \frac{\overset{8}{\cancel{200}}(3-j4)}{\sqrt{3}\times\underset{1}{\cancel{25}}} = \frac{8}{\sqrt{3}}(3-j4)\ [A]$$



一相分で考える。



$$|\dot{I}| = \left|\frac{8}{\sqrt{3}}(3-j4)\right| = \frac{8}{\sqrt{3}}|3-j4| = \frac{8}{3}\sqrt{3^2+4^2} = \frac{8\times 5}{\sqrt{3}} = 23.09\ [A]$$

力率が100%になる為に負荷へ並列接続するコンデンサの容量は？[F]

負荷電流 $\dot{I}$ の誘導分が零になれば力率100%になる。
誘導分を相殺する容量(遅れ電流)分をコンデンサに流す。

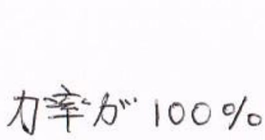
$$\dot{I} = \frac{8}{\sqrt{3}}(3-j4) = \frac{24}{\sqrt{3}} - j\frac{32}{\sqrt{3}}$$

誘導分電流 $-j$

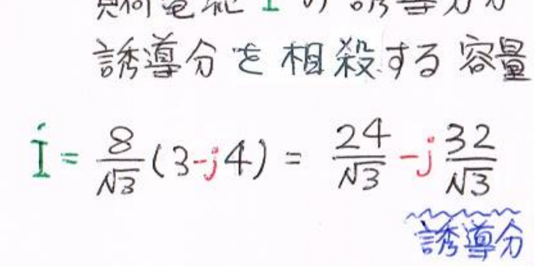
求めるコンデンサに流れる電流は、$\dot{I}_c = +j\dfrac{32}{\sqrt{3}}$ である。 $0 = -j\frac{32}{\sqrt{3}} + j\frac{32}{\sqrt{3}}$

$$\dot{I}_c = \frac{V}{\frac{1}{j\omega C}} = j\omega CV \qquad C = \frac{\dot{I}_c}{j\omega V} = \frac{j\frac{32}{\sqrt{3}}}{j\,2\times 3.1416\times 50\times 200/\sqrt{3}} = \frac{\overset{16}{\cancel{32}}}{\underset{1}{\cancel{2}}\times 3.1416\times 10^4}$$
$$= 5.09\overset{3}{\cancel{88}}\times 10^{-4}\ [F] = 509.3\ [\mu F]$$

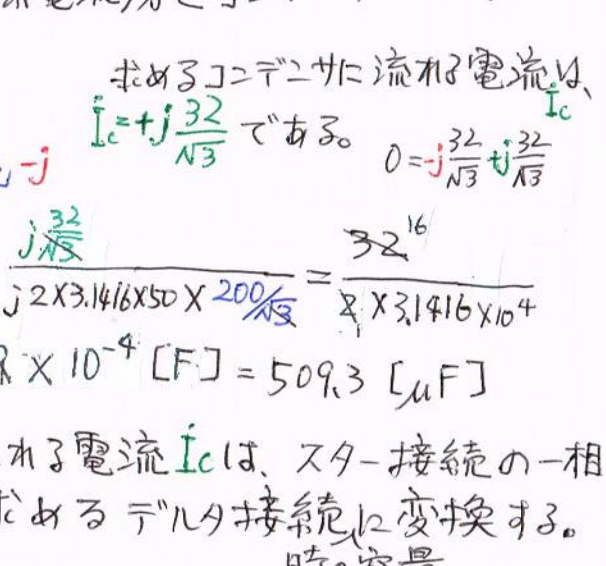
回路図.



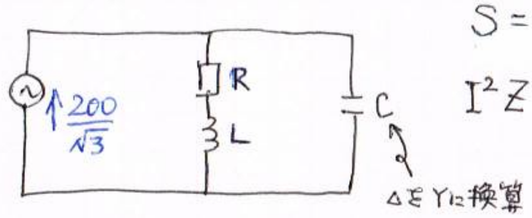
コンデンサに流れる電流 $\dot{I}_c$ は、スター接続の一相なので、問が求めるデルタ接続に変換する。時の容量



$$C_\Delta = \frac{C}{3} = \frac{509.3}{3} = 169.7\overset{7}{\cancel{666}}\ [\mu F]$$



参考 3-2.項 無効電力Qから力率100%になる並列接続するコンデンサCを求める方法



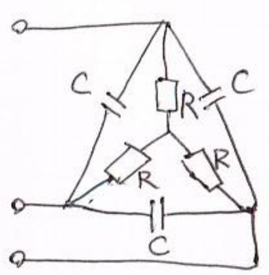
$S = P + Q$

$I^2 Z = I^2 R + \underbrace{I^2 X}_{I^2 \cdot \frac{1}{\omega C}}$ → 遅れ電流を打ち消す同じ大きさの進み電流が流れると力率100%になる。

$Q = \frac{I^2}{\omega C}$　　$C = \frac{I^2}{\omega Q}$

$Q = \frac{V^2}{X} = V^2 \cdot \omega C$　　$C = \frac{Q}{V^2 \cdot \omega}$ [F]

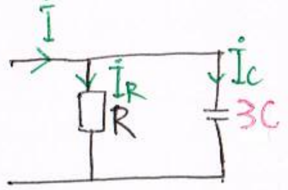
3-3. 平衡三相回路の負荷力率は？電源の角周波数をω[rad/s]とする。



コンデンサCをΔ→Y変換してYの1相として考える。

力率 $\cos\theta = \frac{R}{Z} = \frac{I_R}{I}$

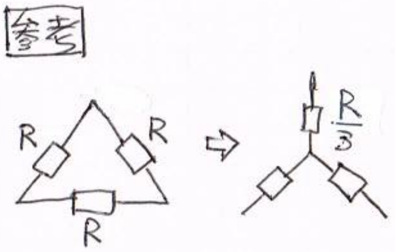
$\dot{I} = \dot{I}_R + \dot{I}_C = \dot{I}\cos\theta + \dot{I}\sin\theta$



$$\cos\theta = \frac{I_R}{I} = \frac{I_R}{\sqrt{I_R^2 + I_C^2}} = \frac{\frac{V_P}{R}}{\sqrt{\left(\frac{V_P}{R}\right)^2 + \left(\frac{V_P}{\frac{1}{3\omega C}}\right)^2}} = \frac{V_P}{R\sqrt{\frac{V_P^2}{R^2} + V_P^2 \cdot 9\omega^2 C^2}}$$

$$= \frac{\cancel{V_P}}{R \cdot \cancel{V_P}\sqrt{\frac{1}{R^2} + 9\omega^2 C^2}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{R^2}{R^2} + 9\omega^2 C^2 R^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 9\omega^2 C^2 R^2}}$$

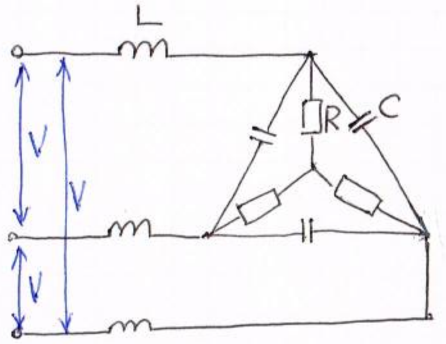
参考



コンデンサのΔ→Y変換は $C_\Delta \Rightarrow 3C_\Delta = C_Y$

抵抗の　〃　は、$R_\Delta \Rightarrow \frac{1}{3}R_\Delta = R_Y$

3-4. 三相平衡負荷の力率が1になった時のインダクタンス L [H] とコンデンサ C [F] の値を式で表わす。



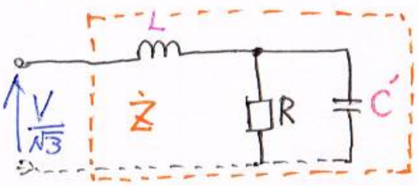
インピーダンス $\dot{Z}$ [Ω] を求め、リアクタンス X [Ω] 分がゼロになる様にする。

$$\dot{Z} = j\omega L + \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{\frac{1}{j\omega C'}}} = j\omega L + \frac{R}{\frac{R}{R} + j\omega C'R} = j\omega L + \frac{R}{1 + j\omega C'R}$$

$$= j\omega L + \frac{R(1 - j\omega C'R)}{(1 + j\omega C'R)(1 - j\omega C'R)} = j\omega L + \frac{R - j\omega C'R^2}{1 + \omega^2 C'^2 R^2}$$

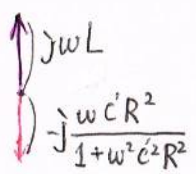
C を Δ→Y 変換し、デルタ1相の回路で計算する。（C'）

$$= \frac{R}{1 + \omega^2 C'^2 R^2} + j\omega L - j\frac{\omega C' R^2}{1 + \omega^2 C'^2 R^2}$$



抵抗分は有効電力となる。　リアクタンス分は無効電力となる。

力率が1になる為には、リアクタンス分が零になるので



$$j\omega L - j\frac{\omega C' R^2}{1 + \omega^2 C'^2 R^2} = 0$$

$C' = 3C$ になるので

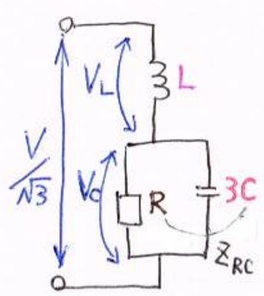
$$j\omega L = j\frac{\omega C' R^2}{1 + \omega^2 C'^2 R^2}$$

$$L = \frac{C' R^2}{1 + \omega^2 C'^2 R^2} = \frac{3CR^2}{1 + 9\omega^2 C^2 R^2} \text{ [H]}$$

$$C = \frac{L(1 + 9\omega^2 C^2 R^2)}{3R^2} \text{ [F]}$$

力率1の時のコンデンサ C の端子間電圧 V_c [V] は？

インピーダンスの比による電圧比で V_c を求める。

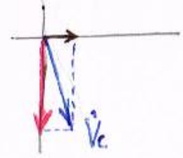


$$V_c = \frac{\dot{Z}_{RC}}{\dot{Z}} \cdot \frac{V}{\sqrt{3}} = \frac{\frac{R}{1 + j\omega 3CR}}{\frac{R}{1 + \omega^2 9C^2 R^2} + \boxed{j\omega L - j\frac{\omega 3CR^2}{1 + \omega^2 9C^2 R^2}}} \cdot \frac{V}{\sqrt{3}} = \frac{1 + 9\omega^2 C^2 R^2}{1 + j3\omega CR} \cdot \frac{V}{\sqrt{3}}$$

この部分は力率1の為"0"となるので消す。

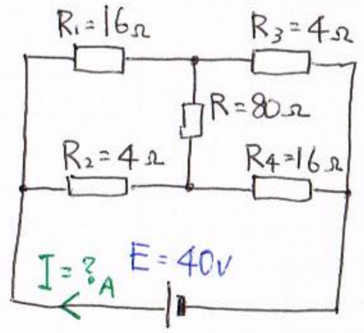
$$= \frac{\cancel{(1 + 9\omega^2 C^2 R^2)}(1 - j3\omega CR)}{\cancel{(1 + j3\omega CR)(1 - j3\omega CR)}} \cdot \frac{V}{\sqrt{3}} = (1 - j3\omega CR) \cdot \frac{V}{\sqrt{3}}$$

$$V_c = |\dot{V}_c| = \left|(1 - j3\omega CR)\frac{V}{\sqrt{3}}\right| = \frac{V}{\sqrt{3}}\sqrt{1^2 + (3\omega CR)^2} = \frac{V}{\sqrt{3}}\sqrt{1 + 9\omega^2 C^2 R^2} \text{ [V]}$$



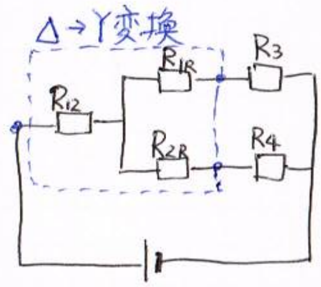
4. 直流回路

4-1. (ブリッジの中間) b-c間に $R = 80\,[\Omega]$ を接続した時の全電流 $I\,[A]$ は?



全体の抵抗値 R_0 を Δ→Y変換で求め、

$\frac{E}{R_0}$ で I を求める。

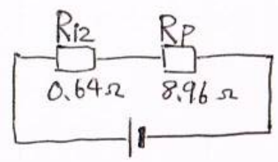


左図の様に Δ→Y変換して抵抗値を求めると、

$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R} = \frac{16 \times 4}{16+4+80} = \frac{64}{100} = 0.64\,[\Omega]$$

$$R_{1R} = \frac{R_1 \cdot R}{R_1 + R_2 + R} = \frac{16 \times 80}{16+4+80} = \frac{1280}{100} = 12.8\,[\Omega]$$

$$R_{2R} = \frac{R_2 \cdot R}{R_1 + R_2 + R} = \frac{4 \times 80}{16+4+80} = \frac{320}{100} = 3.2\,[\Omega]$$



並列部分の抵抗値 R_p を求める

$$R_p = \frac{(R_{1R}+R_3)(R_{2R}+R_4)}{(R_{1R}+R_3)+(R_{2R}+R_4)} = \frac{1}{\frac{1}{(R_{1R}+R_3)} + \frac{1}{(R_{2R}+R_4)}}$$

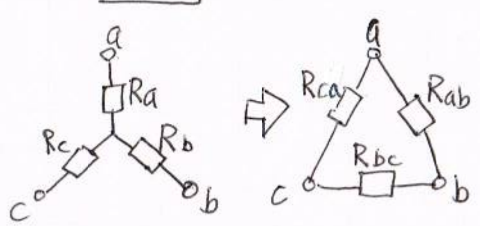
$$= \frac{1}{\frac{1}{12.8+4} + \frac{1}{3.2+16}} = \frac{1}{\frac{1}{16.8} + \frac{1}{19.2}} = \frac{1}{\frac{19.2+16.8}{16.8 \times 19.2}}$$

$$= \frac{16.8 \times 19.2}{19.2+16.8} = \frac{322.56}{36} = 8.96\,[\Omega]$$

全体の抵抗値 $R_0 = R_{12} + R_p = 0.64 + 8.96 = 9.6\,[\Omega]$

電流 $I = \frac{E}{R_0} = \frac{40}{9.6} = 4.166\overset{7}{\cancel{6}}\,[A]$

参考



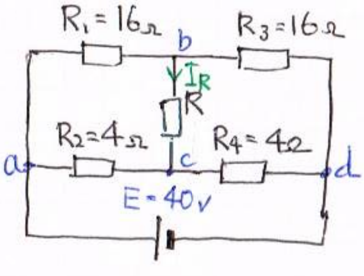
Y→Δ変換

$$R_{ab} = \frac{R_aR_b + R_bR_c + R_cR_a}{R_c}$$

$$R_{bc} = \frac{R_aR_b + R_bR_c + R_cR_a}{R_a}$$

$$R_{ca} = \frac{R_aR_b + R_bR_c + R_cR_a}{R_b}$$

4-2. ブリッジの中間に接続された抵抗Rに流れる電流 I_R の値は？



ブリッジ回路が平衡しているかを調べ、平衡していれば b-c間の電位は"0"になるので I_R は流れない。

平衡は、$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$ が成り立つとき。

$16 \times 4 = 4 \times 16$ であるから $I_R = 0$ である。

d点を基準に b点とc点の電位が同じであれば2点間の電位差は"0"である。

$V_{bc} = V_{bd} - V_{cd} = 0$ ならば、

$V_{bd} = V_{cd}$ になる。

$$V_{bd} = \frac{R_3}{R_1+R_3} \cdot E$$

$$V_{cd} = \frac{R_4}{R_2+R_4} \cdot E$$

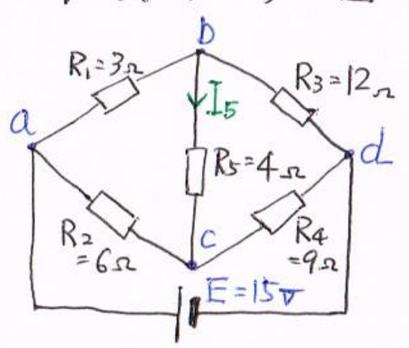
$$\frac{R_3}{R_1+R_3} \cdot \cancel{E} = \frac{R_4}{R_2+R_4} \cdot \cancel{E}$$

$$R_3(R_2+R_4) = R_4(R_1+R_3)$$

$$R_3R_2 + \cancel{R_3R_4} = R_4R_1 + \cancel{R_4R_3}$$

$R_3R_2 = R_4R_1$ ‥‥平衡している。

4-3. ブリッジ回路の R5に流れる電流 I_5 [A]の値は？



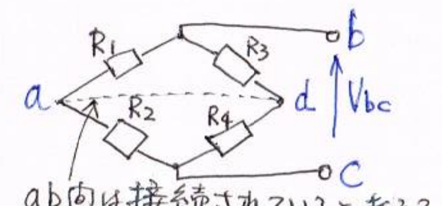
b-c間の電位差を求め、bとcを外部から見ることで内部抵抗と考え、そのb-c間に外部からR5を接続して流れ出る電流が I_5 と考える。

4-2項の式から

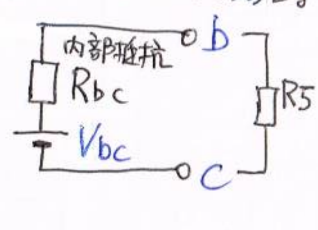
$$V_{bc} = V_{bd} - V_{cd} = \frac{12}{3+12} \times 15 - \frac{9}{6+9} \times 15 = 12 - 9 = 3 \text{ [V]}$$

$$R_{bc} = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1+R_3} + \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2+R_4} = \frac{3 \times 12}{3+12} + \frac{6 \times 9}{6+9} = \frac{36+54}{15} = 6 \text{ [Ω]}$$

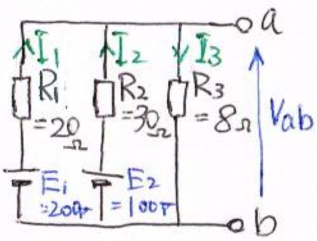
$$I_{bc} = I_5 = \frac{V_{bc}}{R_{bc}+R_5} = \frac{3}{6+4} = \frac{3}{10} = 0.3 \text{ [A]}$$



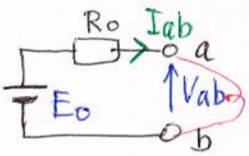
ab間は接続されていると考える



4-4. a-b間の電圧 Vab [V] はいくらか？



a-b間の電圧は、a-b間を結線した時に流れる電流Iab と、a-b間の内部抵抗R₀から求める。



結線された a-b間に電流が（Iab）流れ出ると仮定し、

$$I_{ab} = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{(E_3)}{R_3} = \frac{200}{20} + \frac{100}{30} + \frac{0}{8}$$

$$= 10 + 3.333 + 0 = 13.333 \text{ [A]}$$

a-b間の内部抵抗R₀は、並列接続の合成なので、

$$R_0 = \frac{1}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{20}+\frac{1}{30}+\frac{1}{8}} = \frac{1}{\frac{30\times8+20\times8+20\times30}{20\times30\times8}} = \frac{4800}{240+160+600} = \frac{4800}{1000}$$

$$= 4.8 \text{ [}\Omega\text{]}$$

$$V_{ab} = I_{ab} R_0 = 13.333 \times 4.8 = 63.998 \fallingdotseq 64 \text{ [V]}$$

$$\boxed{V_{ab} = \frac{\frac{E_1}{R_1}+\frac{E_2}{R_2}+\frac{E_3}{R_3}}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}} \quad \text{帆足ミルマンの定理}}$$

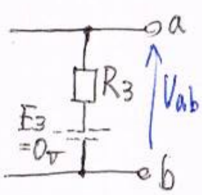
4-5. R₃に流れる電流 I₃ の値は？

a-b間の電圧Vab から 内部電源の電圧を差し引いたものを同じライン の抵抗で割ると電流値となる。

$$I_3 = \frac{V_{ab} - E_3}{R_3} = \frac{64-0}{8} = 8 \text{ [A]}$$

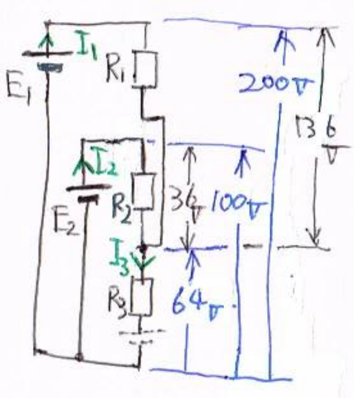
$$I_1 = \frac{V_{ab} - E_1}{R_1} = \frac{64-200}{20} = -6.8 \text{ [A]}$$

$$I_2 = \frac{V_{ab} - E_2}{R_2} = \frac{64-100}{30} = -1.2 \text{ [A]}$$



上記で求めた I₃ を確認する。

$I_3 = I_1 + I_2 \qquad I_1 = I_3 - I_2$



$$E_1 = R_1 I_1 + R_3 I_3 = R_1(I_3 - I_2) + R_3 I_3$$

$$\overset{50}{\cancel{200}} = \overset{5}{\cancel{20}}(I_3 - I_2) + \overset{2}{\cancel{8}} I_3 = 5I_3 - 5I_2 + 2I_3$$

$$50 = 7I_3 - 5I_2 \Rightarrow \overset{1}{\cancel{5}} I_2 = \overset{1.4}{\cancel{7}} I_3 - \overset{10}{\cancel{50}}$$

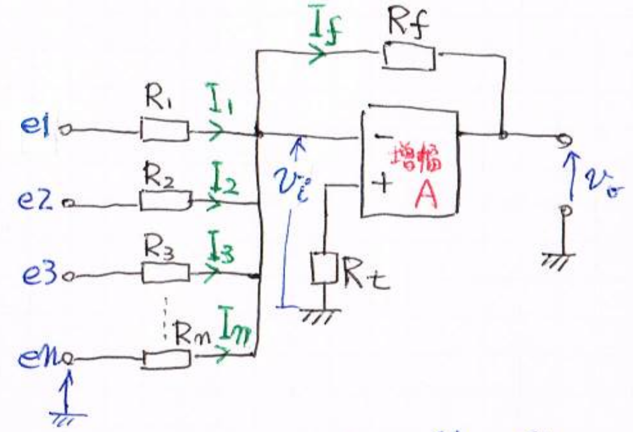
$$E_2 = R_2 I_2 + R_3 I_3 = 30(1.4I_3 - 10) + 8I_3$$

$$100 = 42I_3 - 300 + 8I_3 = 50I_3 - 300$$

$$2 = I_3 - 6 \qquad I_3 = 8 \text{ [A]} \qquad I_2 = 1.4\times8 - 10 = 1.2 \text{ [A]}$$

$$I_1 = 8 - 1.2 = 6.8 \text{ [A]}$$

4-6. OPアンプ　加算増幅回路の出力電圧を式で表す。



$$I_1 = \frac{e1 - v_i}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{e2 - v_i}{R_2}$$

$$\vdots$$

$$I_n = \frac{en - v_i}{R_n}$$

$$v_o = -A v_i$$

$$\Downarrow$$

$$v_i = \frac{v_o}{-A} = -\frac{v_o}{A}$$

$$I_f = \frac{v_i - v_o}{R_f} \quad \Rightarrow \quad I_f = \frac{-\frac{v_o}{A} - v_o}{R_f} = \frac{-v_o\left(\frac{1}{A}+1\right)}{R_f}$$

$$I_f = I_1 + I_2 + I_3 \cdots + I_n$$

$$\frac{-v_o\left(\frac{1}{A}+1\right)}{R_f} = \frac{e1 - v_i}{R_1} + \frac{e2 - v_i}{R_2} \cdots + \frac{en - v_i}{R_n}$$

$$= \frac{e1}{R1} + \frac{e2}{R2} \cdots + \frac{en}{Rn} - v_i\left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} \cdots + \frac{1}{Rn}\right)$$

$$-\frac{v_o}{R_f}\left(\frac{1}{A}+1\right) + v_i\left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} \cdots + \frac{1}{Rn}\right) = \frac{e1}{R_1} + \frac{e2}{R_2} \cdots + \frac{en}{R_n}$$

$$-\frac{v_o}{R_f}\left(\frac{1}{A}+1\right) - \frac{v_o}{A}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \cdots + \frac{1}{R_n}\right) =$$

$$-v_o\left\{\frac{1}{R_f}\left(\frac{1}{A}+1\right) + \frac{1}{A}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \cdots + \frac{1}{R_n}\right)\right\} =$$

$$-v_o = \frac{\frac{e_1}{R_1} + \frac{e_2}{R_2} \cdots + \frac{e_n}{R_n}}{\frac{1}{A} \times \frac{1}{R_f} + \frac{1}{R_f} + \frac{1}{A}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \cdots + \frac{1}{R_n}\right)}$$

$$v_o = -\frac{\frac{e_1}{R_1} + \frac{e_2}{R_2} \cdots + \frac{e_n}{R_n}}{\frac{1}{R_f} + \frac{1}{A}\left(\frac{1}{R_f} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \cdots + \frac{1}{R_n}\right)}$$

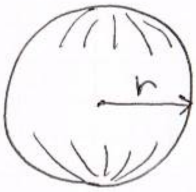
Aが十分大きく、$R_1 = R_2 = \cdots = R_n = R_f = 10\text{K}\Omega$であれば、

$$v_o = -\frac{\frac{e_1}{10k} + \frac{e_2}{10k} + \cdots + \frac{e_n}{10k}}{\frac{1}{10k} + \underbrace{\frac{1}{100}\left(\frac{1}{10k} + \frac{1}{10k} + \frac{1}{10k} + \cdots + \frac{1}{10k}\right)}_{\text{無視できるほど小さい値}}}$$

$$v_o \fallingdotseq -(e_1 + e_2 + \cdots + e_n)$$

5. 電界・静電容量.

5-1. 空気中に孤立した半径 r [m] の導体球に帯電できる最大の電荷 Q[C] の値は？



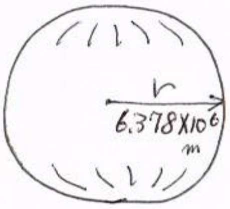
空気の絶縁耐力　E_m [V/m]　　約 3×10^{6} [V/m]

空気の誘電率　　ε_0 [F/m]　　8.854×10^{-12}

電界は、電荷などの静電力がおよぶ空間のことを言い、電荷の中心から離れるほど電位は低くなり、電位の傾きでも現わすことができる。
絶縁破壊によって導通すると電位は"ゼロ"になる。よって空気の絶縁耐力が最大の電荷となる。

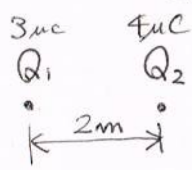
$$E_m = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\ [\mathrm{V/m}], \quad Q = 4\pi\varepsilon_0 r^2 E_m\ [\mathrm{C}]$$

5-2. 真空中(宇宙)に半径 6.378×10^{6} [m] の導体球(地球)が有る。この静電容量 C [F] は？



$$C = 4\pi\varepsilon_0 r\ [\mathrm{F}]$$
$$= 4\times3.1416\times8.854\times10^{-12}\times6.378\times10^{6} = 709.6348\times10^{-6}$$
$$= 0.71\times10^{-3}\ [\mathrm{F}]$$

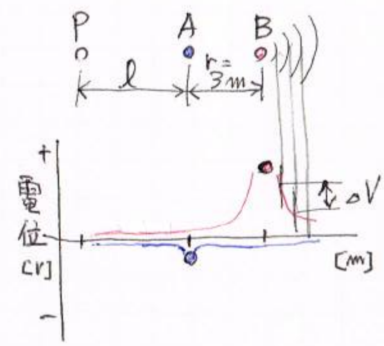
5-3. 真空中の2m 離れた2点に電気量が 3μC と 4μC の点電荷があるとき、両電荷間に働く力 F [N] はいくらか？



$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = 9\times10^{9}\times\frac{Q_1 Q_2}{r^2}\ [\mathrm{N}]$$

$$= \frac{3\times10^{-6}\times4\times10^{-6}}{4\times3.1416\times8.854\times10^{-12}\times2^2} = \frac{12\times10^{-12}}{445.05\times10^{-12}} = 0.02696\ [\mathrm{N}]$$

5-4. 点Aの電界$Q_1 = -2\times10^{-6}$[C]，点Bは$Q_2 = 10\times10^{-6}$[C]、その直線上の点Pの電界がゼロである時、P-A間の距離ℓ[m]はいくらか?



点Pの電界は、AP間とBP間の電界の合成が「ゼロ」なので

$$E_{AP} + E_{BP} = 0$$

$$\frac{Q_1}{4\pi\varepsilon_0 \ell^2} + \frac{Q_2}{4\pi\varepsilon_0 (\ell+r)^2} = 0$$

$$\frac{Q_1}{\ell^2} = -\frac{Q_2}{(\ell+r)^2} \qquad \frac{Q_1}{Q_2} = -\frac{\ell^2}{(\ell+r)^2} = \frac{-2\times10^{-6}}{10\times10^{-6}}$$

$$-\frac{\ell^2}{(\ell+r)^2} = -\frac{1}{5} \qquad 5\ell^2 = (\ell+3)^2 = \ell^2+6\ell+9 \qquad 5\ell^2-\ell^2-6\ell-9=0$$

$r = 3m$

$$\ell = \frac{-6\pm\sqrt{6^2-4(-4\times9)}}{2\times-4} \qquad \sqrt{36+144}$$

$$= \frac{-6\pm\sqrt{180}}{-8} = \frac{6\pm13.4164}{8}$$

$$= \frac{19.416}{8}, \frac{-7.416}{8} = 2.427, -0.927$$

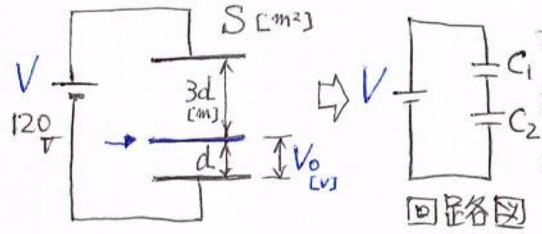
図の点PはAの左側なので $\ell = 2.427$

電位 $U = 9\times10^9 \frac{Q}{r}$ [V]

電界 $E = \frac{\Delta V}{\Delta r}$ [V/m]

電位の傾き

5-5. 平行板コンデンサの間に導体平板を挿入して電極へ直流電圧 V=120 [V] を印加した。挿入板の電圧V_0を求めよ。

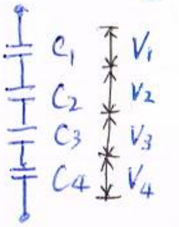


コンデンサ容量

$$C_1 = \frac{\varepsilon_0 S}{3d} \text{ [F]}, \quad C_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{d} \text{ [F]}$$

$$V_0 = \frac{V}{C_2\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\right)} = \frac{V}{\frac{\cancel{\varepsilon_0 S}}{d}\left(\frac{1}{\frac{\cancel{\varepsilon_0 S}}{3d}}+\frac{1}{\frac{\cancel{\varepsilon_0 S}}{d}}\right)} = \frac{120}{\frac{1}{d}(3d+d)} = \frac{120}{\frac{4\cancel{d}}{\cancel{d}}} = 30 \text{ [V]}$$

合成容量(C)の電荷(Q)は直列接続の場合、個々のコンデンサの電荷と等しい。



$Q = C_1V_1$

$Q = C_2V_2$

$Q = C_3V_3$

$Q = C_4V_4$

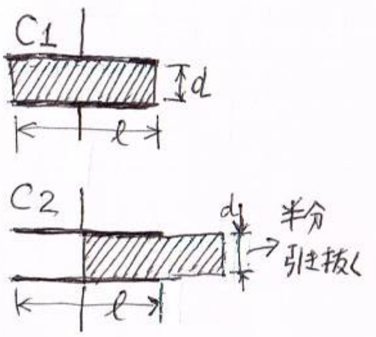
$$V = V_1+V_2+V_3+V_4 \qquad Q = CV$$

$$= \frac{Q}{C_1}+\frac{Q}{C_2}+\frac{Q}{C_3}+\frac{Q}{C_4}$$

$$= Q\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}+\frac{1}{C_4}\right) \longrightarrow = \frac{1}{\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}+\frac{1}{C_4}\right)} \cdot V$$

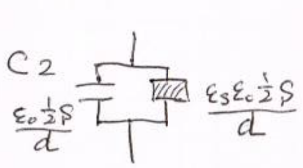
$$\therefore V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{CV}{C_1} = \frac{V}{C_1\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}+\frac{1}{C_4}\right)}$$

5-6. 平行板コンデンサC1から誘電体を½引き出したものがC2である。C1とC2の容量比は? 誘電体の比誘電率$\varepsilon_s = 3$とする。



$$C1 = \frac{\varepsilon_s \varepsilon_0 S}{d} \text{ [F]}, \quad C_2 = \frac{\varepsilon_0 \frac{1}{2}S}{d} + \frac{\varepsilon_s\varepsilon_0\frac{1}{2}S}{d}$$

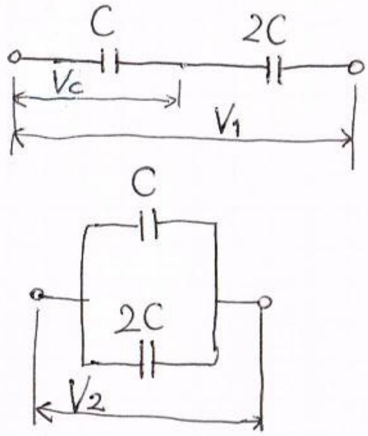
$$= \frac{\varepsilon_0 S}{2d}(1+\varepsilon_s)$$



$$\frac{C1}{C2} = \frac{\frac{\varepsilon_s\varepsilon_0 S}{d}}{\frac{\varepsilon_0 S}{2d}(1+\varepsilon_s)} = \frac{2\varepsilon_s}{1+\varepsilon_s} = \frac{2\times 3}{1+3} = \frac{6}{4} = \frac{3}{2}$$

$$C1 : C_2 = 3 : 2$$

5-7. 直並列回路に直流電圧 V_1, V_2 を加えたら両回路の総静電エネルギー W [J] は等しくなった。直列回路の V_c と V_2 の電圧比はいくらか?



直列回路の静電容量 C_S

$$C_S = \frac{1}{\frac{1}{C}+\frac{1}{2C}} = \frac{1}{\frac{2C+C}{2C^2}} = \frac{2C^2}{2C+C} = \frac{2C}{2+1} = \frac{2}{3}C \text{ [F]}$$

並列回路の静電容量 C_P

$$C_P = C + 2C = 3C \text{ [F]}$$

電圧

$$V_c = \frac{V_1}{\left(\frac{1}{C}+\frac{1}{2C}\right)C} = \frac{V_1}{\left(\frac{2C+C}{2C^2}\right)C} = \frac{V_1}{\frac{3}{2}} = \frac{2}{3}V_1 \Rightarrow V_1 = \frac{3}{2}V_c$$

電荷

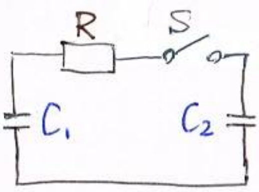
$$W = \frac{1}{2}C_S V_1^2 = \frac{1}{2}C_P V_2^2 = \frac{1}{2}\times\frac{2}{3}C\times\left(\frac{3}{2}V_c\right)^2 = \frac{1}{2}\times 3C\times V_2^2$$

$$= \frac{1}{\cancel{2}1}C\times\frac{\cancel{9}3}{4}V_c^2 = \frac{3}{2}C\times V_2^2 \quad \frac{3}{4}CV_c^2 = \frac{3}{2}CV_2^2$$

$$\frac{V_c^2}{V_2^2} = \frac{\frac{3}{2}\cancel{C}}{\frac{3}{4}\cancel{C}} = \frac{2}{1} \qquad \frac{V_c}{V_2} = \sqrt{2} \qquad V_c : V_2 = \sqrt{2} : 1$$

5-8. スイッチSが開らいている時、$C_1 = 0.004$ [F]、$Q_1 = 0.3$ [C]

$C_2 = 0.002$ [F]、$Q_2 = 0$ [C] であった。



スイッチSを閉じて抵抗R [Ω] で消費されたエネルギー W [W] は?

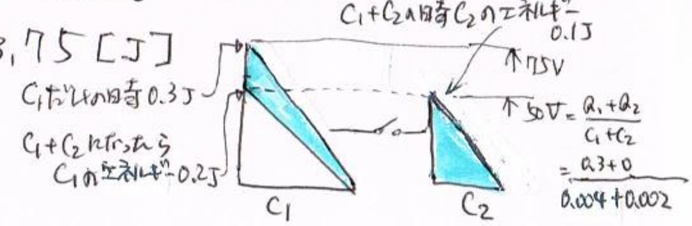
$$Q = CV \text{ [C]} \qquad W = \frac{1}{2}CV^2 \text{ [J]} = \frac{1}{2}C\left(\frac{Q}{C}\right)^2 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} \text{ [J]}$$

C_1 に蓄えられたエネルギー W_1 は、スイッチを閉じるとコンデンサは並列接続になり、$C_1 + C_2$ の合計で蓄えられ W_2 となり、その差が消費エネルギー W となる。

$$W_1 = \frac{1}{2}\frac{Q_1^2}{C_1} = \frac{1}{2}\times\frac{0.3^2}{0.004} = \frac{0.09}{0.008} = 11.25 \text{ [J]}$$

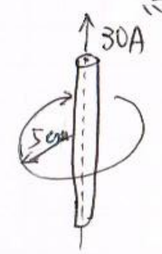
$$W_2 = \frac{1}{2}\frac{(Q_1+Q_2)^2}{C_1+C_2} = \frac{1}{2}\frac{(0.3+0)^2}{0.004+0.002} = \frac{1}{2}\times\frac{0.09}{0.006} = \frac{0.09}{0.012} = 7.5 \text{ [J]}$$

$$W = W_1 - W_2 = 11.25 - 7.5 = 3.75 \text{ [J]}$$



6. 誘導

6-1. 直接導体に30Aの電流 I を流した時、その導体から5[cm]離れた点の磁界の強さ H [A/m] はいくらか？



磁界の強さ $H=\dfrac{I}{l}=\dfrac{I}{2\pi r}$ [A/m]

$$=\frac{30}{2\pi\times5\times10^{-2}}=\frac{30\times10^{2}}{3.1416\times10^{1}}=\frac{300}{3.1416}=95.49\overset{3}{\cancel{2}}\cancel{7}\ \text{[A/m]}$$

6-2. 図1の正方形の中心点 O_1 の磁界の大きさ $H1$、図2の円の中心点 O_2 の磁界の大きさ H_2 [A/m]、磁界の大きさの比 $\dfrac{H1}{H2}$ の値は？

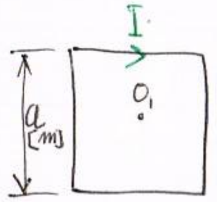


図1

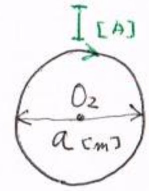


図2

図3の長さ a [m] の直線導体に直流電流 I [A] が流れている時、導体から r [m] 離れた点Pにおける磁界の大きさ H [A/m] は、

$$H=\frac{I}{4\pi r}(\cos\theta_1+\cos\theta_2)$$ で求められる。

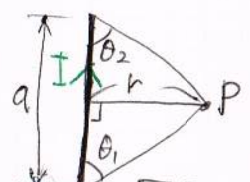
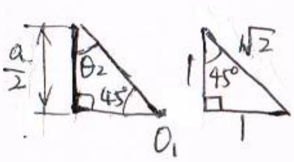


図3



1辺の導体に流れる電流 I がつくる点 O_1 の磁界の大きさ H_1 は、4辺の導体の中心にあるので、

$$H_1=4H=4\times\frac{I}{4\pi r}(\cos\theta_1+\cos\theta_2)=\frac{I}{\pi\underbrace{\frac{a}{2}}_{r分}}\left(\cos\frac{\pi}{4}+\cos\frac{\pi}{4}\right)$$

$$=\frac{2I}{a\pi}\times2\cos\frac{\pi}{4}=\frac{4I}{a\pi}\times\frac{1}{\sqrt{2}}=\frac{4I\times\sqrt{2}}{a\pi\sqrt{2}\times\sqrt{2}}=\frac{2\sqrt{2}}{a\pi}I\ \text{[A/m]}$$

円の中心 O_2 の磁界の大きさ H_2 は、

$$H_2=\frac{I}{2r}=\frac{I}{2(\frac{a}{2})}=\frac{I}{a}\ \text{[A/m]}$$

$$\frac{H_1}{H_2}=\frac{\frac{2\sqrt{2}}{a\pi}\cancel{I}}{\cancel{\frac{I}{a}}}=\frac{2\sqrt{2}}{\pi}=0.9001=0.9\ \text{[A/m]}$$

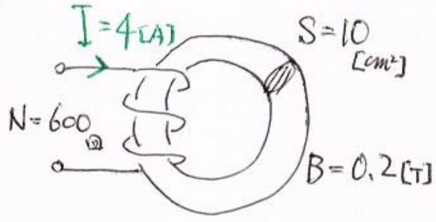
6-3. 環状鉄心の磁気抵抗は$\mathcal{R} = \frac{l}{\mu S}$ [A/Wb]である。コイルの電流 I [A] とした時、起磁力 F = $\boxed{}$ [A]であり、磁束は $\Phi = \boxed{}$ [Wb]となる。鉄心及びコイルに漏れ磁束は無い。

$$F = NI \text{ [A]}$$

$$\Phi = \frac{\mu S N I}{l} \text{ [Wb]}$$

$$\Phi = \frac{NI}{\frac{l}{\mu S}} = \frac{NI}{\mathcal{R}} = \frac{F}{\mathcal{R}} \text{ [Wb]} \quad \mathcal{R} = \frac{NI}{\Phi} = \frac{F}{\Phi} \text{ [A/Wb]}$$

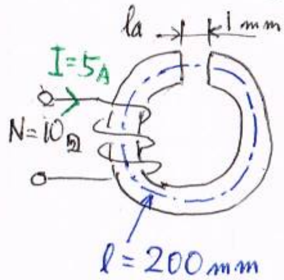
6-4. 断面積Sが10 [cm²]の環状鉄心に、巻線N = 600 [回]へ直流電流Iを4 [A]流した時、鉄心中に発生した磁束密度Bは0.2 [T]であった。コイルのインダクタンス L [mH]はいくらか?



磁束 $\Phi = BS = 0.2 \times 10 \times \underbrace{10^{-2} \times 10^{-2}}_{\text{cm}^2\text{の為}} = 0.2 \times 10^{-3}$ [Wb]

$$L = \frac{N\Phi}{I} = \frac{600 \times 0.2 \times 10^{-3}}{4} = 30 \times 10^{-3} = 30 \text{ [mH]}$$

6-5. 1mmのエアギップがある全長lが200mmの環状鉄心で、ギャップの磁束密度B [T]はいくらか?
鉄心の透磁率μsは2000;真空中の透磁率μ₀は$4\pi \times 10^{-7}$ [H/m]とする。



合成磁気抵抗$\mathcal{R}$ = ギャップの磁気抵抗$\mathcal{R}a$ + 鉄心$\mathcal{R}i$

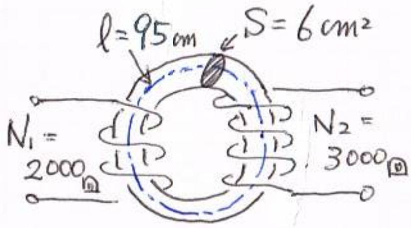
$$\mathcal{R} = \frac{1}{\mu_0 S}\left(la + \frac{l - la}{\mu s}\right) \quad \mathcal{R}a = \frac{la}{\mu_0 S} \quad \mathcal{R}i = \frac{l - la}{\mu_0 \mu_s S}$$

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{IN/\mathcal{R}}{S} = \frac{IN}{S\mathcal{R}} = \frac{IN}{\cancel{S} \cdot \frac{1}{\mu_0 \cancel{S}}\left(la - \frac{l - la}{\mu_s}\right)}$$

$$= \frac{5 \times 10}{\frac{1}{4\pi \times 10^{-7}}\left(1 \times 10^{-3} + \frac{(200-1) \times 10^{-3}}{2000}\right)} = \frac{5 \times 10 \times 4\pi \times 10^{-7}}{\left(1 + \frac{199}{2000}\right) \times 10^{-3}} = \frac{628.32 \times 10^{-4}}{1.0995}$$

$$= 571.459 \times 10^{-4} = 57.146 \times 10^{-3} \text{ [T]}$$

6-6. 平均磁路 l が 95 [cm], 断面積 S は 6 [cm²], 比透磁率 $\mu_r = 2500$ の環状鉄心に2つのコイルが巻かれている。漏れ磁束が無い時、両コイルの相互インダクタンス M [H] の値は？



真空中の透磁率 $\mu_0 = 4\times10^{-7}$ [H/m] とする。

コイル $N_1 \cdot N_2$ のインダクタンス $L_1 \cdot L_2$ を求め、相互インダクタンス M を計算する。

$$L_1 = \frac{\mu_0\mu_s S N_1^2}{l} = \frac{4\pi\times10^{-7}\times2500\times6\times10^{-4}\times2000^2}{95\times10^{-2}} = \frac{60000\pi\times10^{-11}\times4\times10^{6}}{95\times10^{-2}}$$

$$= \frac{60\pi\times4}{95} = 7.93\cancel{66}^{7}\ [H]$$

インダクタンスLは、コイル巻数Nの2乗に比例する。 $L_1 : L_2 = \frac{\mu_0\mu_s S N_1^2}{l} : \frac{\mu_0\mu_s S N_2^2}{l}$

$L_1 : L_2 = N_1^2 : N_2^2$

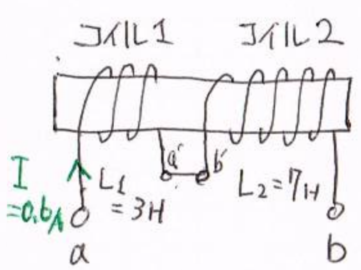
$$L_2 = L_1\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 = 7.937\times\left(\frac{3000}{2000}\right)^2 = 7.937\times1.5^2 = 17.858\cancel{2}\ [H]$$

相互インダクタンス $M = k\sqrt{L_1 L_2} = 1\sqrt{7.937\times17.858} = \sqrt{141.74} = 11.905\cancel{4}$ [H]

$\boxed{参考}$ 鉄心の半径 r は、

$$l = 2\pi r \qquad r = \frac{l}{2\pi} = \frac{0.95}{2\times3.1416} = 0.151\cancel{2} = 15.1\ [cm]$$

6-7. 端子a-b間に蓄えられたエネルギー W [J] の値は？



自己インダクタンス コイル1は $L_1 = 3$ [H]

コイル2は $L_2 = 7$ [H]

コイル1と2の結合係数 $k = 0.8$

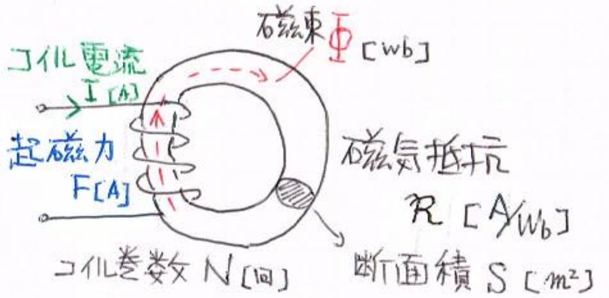
相互インダクタンス M は、 図から同じ巻き方向なので和動結合でインダクタンスLを計算し、コイルのエネルギーWを求める。

$$M = k\sqrt{L_1L_2} = 0.8\sqrt{3\times7} = 0.8\times4.582\cancel{87}^{6} = 3.666\ [H]$$

$$L = L_1 + L_2 + 2M = 3 + 7 + 2\times3.666 = 17.332\ [H]$$

$$W = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2}\times17.332\times0.6^2 = 3.1\cancel{197}^{2}\ [J]$$

6-0. 磁気回路



磁束は NからS極へ向かう。

1ガウスは 0.0001テスラ
(0.1ミリテスラ)

磁界の強さ [A/m]

起磁力 $F = IN = \Phi\mathcal{R} = BS\mathcal{R} = \mu_0\mu_s H \cdot S \cdot \dfrac{l}{\mu_0\mu_s S}$

$= \mu_0\mu_s \dfrac{IN}{l} \cdot S \cdot \dfrac{l}{\mu_0\mu_s S}$ [A]

磁束密度 $B = \mu_0\mu_s H$ [T]

磁束 $\Phi = BS = \dfrac{IN}{\mathcal{R}} = \dfrac{F}{\mathcal{R}}$

インダクタンス $L = \dfrac{N\Phi}{I} = \dfrac{NBS}{I} = \dfrac{N\mu_0\mu_s HS}{I} = \dfrac{N\mu_0\mu_s \cdot \frac{IN}{l} \cdot S}{I}$

$= \dfrac{\mu_0\mu_s S N^2}{l} = \dfrac{N^2}{\mathcal{R}}$

磁気抵抗 $\mathcal{R} = \dfrac{l}{\mu S} = \dfrac{l}{\mu_0\mu_s S}$ [A/Wb]　$\mathcal{R} = \dfrac{IN}{\Phi}$