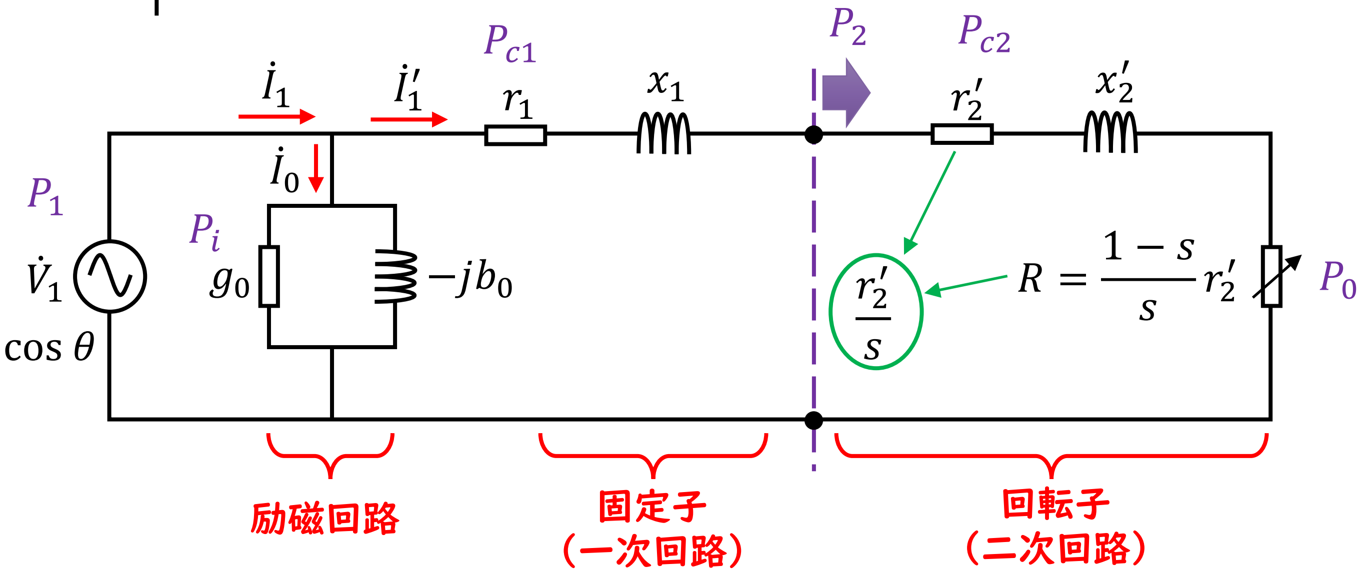
電験二種　オンライン講座

機械制御　誘導機

2022.10.23 Sun

誘導電動機のL型等価回路



$\dot{V}_1$: 入力電圧（相電圧）　$\dot{V}_{1l}$: 入力電圧（線間電圧）　$V_1 = \frac{V_{1l}}{\sqrt{3}}$

$\dot{I}_0$: 励磁電流　$\dot{I}_1$: 一次電流　$\dot{I}_1'$: 一次負荷電流

g_0: 励磁コンダクタンス　b_0: 励磁サセプタンス

r_1: 一次抵抗　x_1: 一次漏れリアクタンス

r_2': 二次抵抗（一次換算）

x_2': 二次漏れリアクタンス（一次換算）

$\cos\theta$: 入力力率　$\cos\theta = \frac{\mathrm{Re}[\dot{I}_1]}{I_1}$

P_1: 一次入力

P_i: 入力鉄損

P_{c1}: 一次銅損

P_2: 二次入力

P_{c2}: 二次銅損

P_0: 機械的出力

$$P_1 = P_i + P_{c1} + P_{c2} + P_0$$

$$P_i = 3 g_0 V_1^2$$

$$P_{c1} = 3 r_1 {I_1'}^2$$

$$P_2 = P_{c2} + P_0 \qquad P_2 = 3\frac{r_2'}{s}{I_1'}^2$$

$$P_{c2} = 3 r_2' {I_1'}^2 \qquad P_0 = 3\frac{1-s}{s} r_2' {I_1'}^2$$

$$P_2 : P_{c2} : P_0 = 1 : s : 1-s$$

$$I_1' = \frac{V_1}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

$$N_s = \frac{120f}{p} \qquad s = \frac{N_s - N}{N_s} \qquad N = (1-s)N_s$$

$$\omega_s = \frac{2\pi}{60}N_s \qquad \omega = (1-s)\omega_s$$

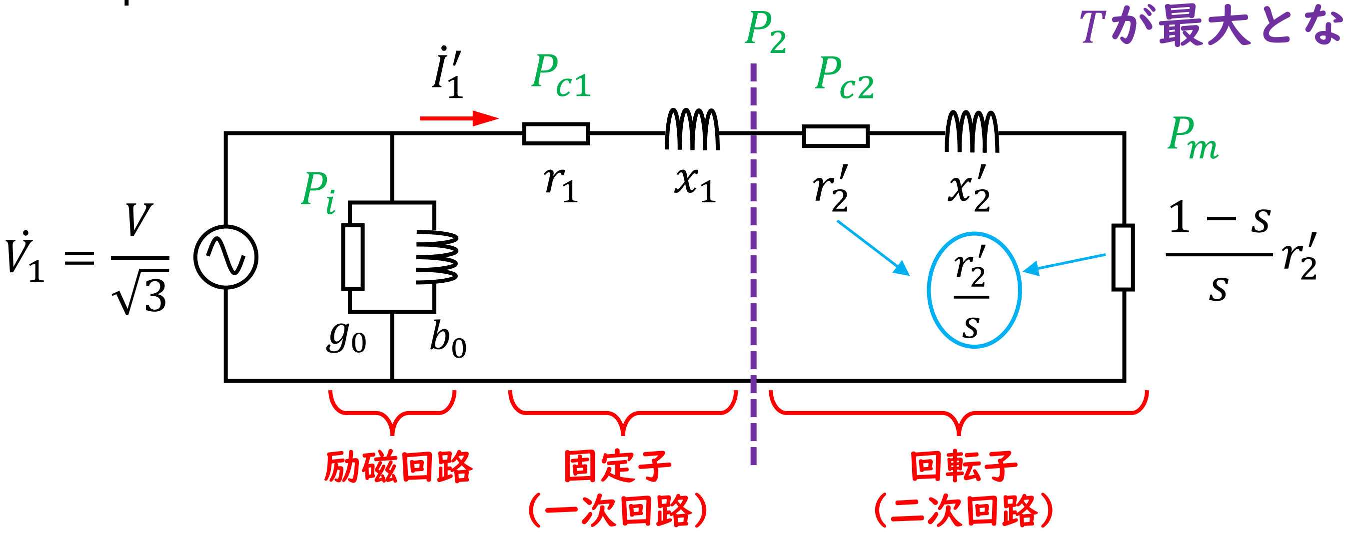
$$P_2 = 3\frac{r_2'}{s}{I_1'}^2 = 3\frac{r_2'}{s}\frac{V_1^2}{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2} = \frac{r_2'}{s}\frac{V_{1l}^2}{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2}$$

効率

$$\eta = \frac{P_0}{P_0 + P_i + P_{c1} + P_{c2}} \times 100\ [\%] = \frac{P_0}{P_1} \times 100\ [\%]$$

$$T = \frac{P_0}{\omega} = \frac{(1-s)P_0}{(1-s)\omega} = \frac{1-s}{\omega}\frac{P_0}{1-s} = \frac{P_2}{\omega_s} = \frac{60}{2\pi N_s}P_2$$

すべりとトルク



$$\dot{I}'_1 = \frac{V_1}{\sqrt{\left(r_1 + \dfrac{r'_2}{s}\right)^2 + (x_1 + x'_2)^2}}$$

$$T = \frac{P_2}{\omega_s} = \frac{1}{\omega_s}\left(3\frac{r'_2}{s}I'^2_1\right) = \frac{3}{\omega_s}\cdot\frac{r'_2}{s}\cdot\frac{V_1^2}{\left(r_1 + \dfrac{r'_2}{s}\right)^2 + (x_1 + x'_2)^2}$$

Tが最大となるsは

$$\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}s} = \frac{3}{\omega_s}r'_2V_1^2\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}s}\frac{\dfrac{1}{s}}{\left(r_1 + \dfrac{r'_2}{s}\right)^2 + (x_1 + x'_2)^2}$$

$$= \frac{3}{\omega_s}r'_2V_1^2\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}s}\frac{1}{s\left(r_1 + \dfrac{r'_2}{s}\right)^2 + s(x_1 + x'_2)^2}$$

$$\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}s} = 0 \rightarrow \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}s}\left\{s\left(r_1 + \frac{r'_2}{s}\right)^2 + s(x_1 + x'_2)^2\right\} = 0$$

$$\left(r_1 + \frac{r'_2}{s}\right)^2 + 2s\left(r_1 + \frac{r'_2}{s}\right)\left(-\frac{r'_2}{s^2}\right) + (x_1 + x'_2)^2 = 0$$

$$\left(r_1 + \frac{r'_2}{s}\right)^2 - 2\frac{r'_2}{s}\left(r_1 + \frac{r'_2}{s}\right) + (x_1 + x'_2)^2 = 0$$

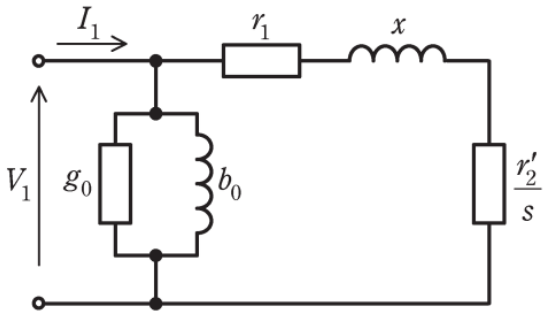
$$r_1^2 + 2\frac{r_1r'_2}{s} + \frac{r'^2_2}{s^2} - 2\frac{r_1r'_2}{s} - 2\frac{r'^2_2}{s^2} + (x_1 + x'_2)^2 = 0$$

$$r_1^2 - \frac{r'^2_2}{s^2} + (x_1 + x'_2)^2 = 0$$

$$\frac{r'^2_2}{s^2} = r_1^2 + (x_1 + x'_2)^2 \rightarrow s_m = \frac{r'_2}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x'_2)^2}}$$

R03 問1

問１　滑り s で運転している三相誘導電動機の星形結線一相当たりのＬ形等価回路を下図に示す。回路定数はそれぞれ以下のとおりである。ただし，等価回路の端子電圧（相電圧）を V_1，入力電流を I_1，電源周波数を f，極対数を p とし，等価回路の励磁コンダクタンス g_0 及び励磁サセプタンス b_0 は無視できるものとする。



g_0 ：励磁コンダクタンス

b_0 ：励磁サセプタンス

r_1 ：一次抵抗

r_2' ：一次換算二次抵抗

x ：漏れリアクタンス

次の問については，図に記載されている記号を用いて答えよ。

(1) 入力電流 I_1 の式を求めよ。

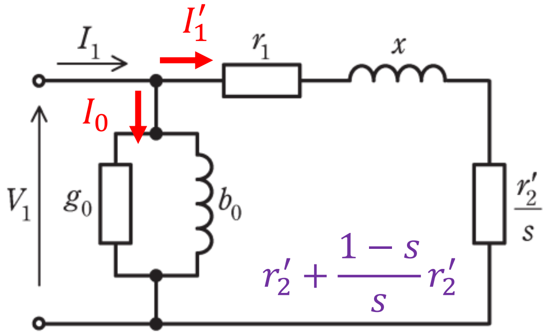
(2) 機械的出力 P_o の式を求めよ。

(3) 同期角速度 ω_s を電源周波数 f 及び極対数 p を用いて表せ。

R03 問1

e-DEN【イーデン】 × 電験どうでしょう Let me inject Energy to you!

問1　滑り s で運転している三相誘導電動機の星形結線一相当たりのL形等価回路を下図に示す。回路定数はそれぞれ以下のとおりである。ただし，等価回路の端子電圧(相電圧)を V_1，入力電流を I_1，電源周波数を f，極対数を p とし，等価回路の励磁コンダクタンス g_0 及び励磁サセプタンス b_0 は無視できるものとする。



g_0 ：励磁コンダクタンス
b_0 ：励磁サセプタンス
r_1 ：一次抵抗
r_2' ：一次換算二次抵抗
x ：漏れリアクタンス

次の問については，図に記載されている記号を用いて答えよ。

(1) 入力電流 I_1 の式を求めよ。

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_1' = (g_0 - jb_0)V_1 + \frac{V_1}{r_1 + \frac{r_2'}{s} + jx}$$

励磁コンダクタンスと励磁サセプタンスは無視できるので

$$\dot{I}_1 \sim \dot{I}_1' = \frac{V_1}{r_1 + \frac{r_2'}{s} + jx} \rightarrow I_1 = \frac{V_1}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + x^2}}$$

(2) 機械的出力 P_o の式を求めよ。

$$P_0 = 3\frac{1-s}{s} r_2' I_1^2 = 3\frac{1-s}{s} r_2' \frac{V_1^2}{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + x^2}$$

(3) 同期角速度 ω_s を電源周波数 f 及び極対数 p を用いて表せ。

同期速度をN_s極数をp'とすると同期角周波数ω_sは

$$\omega_s = 2\pi\frac{N_s}{60} = 2\pi\frac{1}{60} \times \frac{120f}{p'} = \frac{4\pi f}{p'}$$

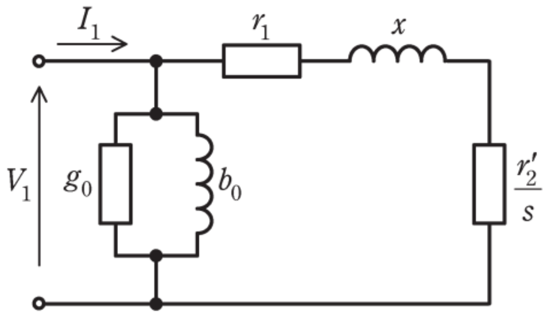
ここで極対数pと極数p'の関係は$p' = 2p$なので

$$\omega_s = \frac{4\pi f}{p'} = \frac{4\pi f}{2p} = \frac{2\pi f}{p}$$

R03 問1

問1　滑り s で運転している三相誘導電動機の星形結線一相当たりのL形等価回路を下図に示す。回路定数はそれぞれ以下のとおりである。ただし，等価回路の端子電圧（相電圧）を V_1，入力電流を I_1，電源周波数を f，極対数を p とし，等価回路の励磁コンダクタンス g_0 及び励磁サセプタンス b_0 は無視できるものとする。

次の問については，図に記載されている記号を用いて答えよ。



g_0：励磁コンダクタンス

b_0：励磁サセプタンス

r_1：一次抵抗

r_2'：一次換算二次抵抗

x：漏れリアクタンス

（4）この誘導電動機の発生トルク T の式を求めよ。

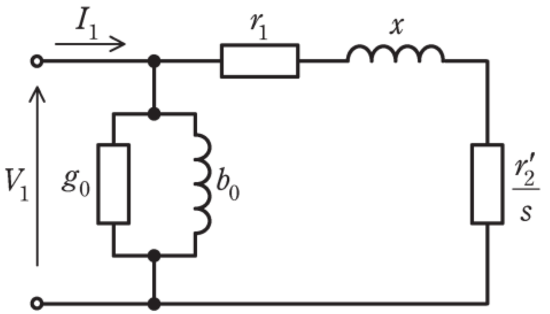
（5）最大トルクが得られる滑り s_m の式を求めよ。

（6）最大トルク T_m の式を求めよ。

R03 問1

問1　滑り s で運転している三相誘導電動機の星形結線一相当たりのL形等価回路を下図に示す。回路定数はそれぞれ以下のとおりである。ただし，等価回路の端子電圧(相電圧)を V_1，入力電流を I_1，電源周波数を f，極対数を p とし，等価回路の励磁コンダクタンス g_0 及び励磁サセプタンス b_0 は無視できるものとする。

次の問については，図に記載されている記号を用いて答えよ。



g_0 ：励磁コンダクタンス

b_0 ：励磁サセプタンス

r_1 ：一次抵抗

r_2' ：一次換算二次抵抗

x ：漏れリアクタンス

(4)　この誘導電動機の発生トルク T の式を求めよ。

$$T=\frac{P_0}{\omega}=\frac{P_0}{(1-s)\omega_s}$$

$$=\frac{1}{(1-s)\times\frac{2\pi f}{p}}\times 3\frac{1-s}{s}r_2'\frac{V_1^2}{\left(r_1+\frac{r_2'}{s}\right)^2+x^2}$$

$$T=\frac{3p}{2\pi f}\cdot\frac{r_2'}{s}\cdot\frac{V_1^2}{\left(r_1+\frac{r_2'}{s}\right)^2+x^2}$$

(5)　最大トルクが得られる滑り s_m の式を求めよ。

$$s_m=\frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2+(x_1+x_2')^2}}\rightarrow s_m=\frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2+x^2}}$$

(6)　最大トルク T_m の式を求めよ。

トルクの式に s_m を代入すると

$$T=\frac{3p}{2\pi f}\cdot\frac{r_2'}{s_m}\cdot\frac{V_1^2}{\left(r_1+\frac{r_2'}{s_m}\right)^2+x^2}=\frac{3p}{2\pi f}\cdot\frac{r_2'}{\frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2+x^2}}}\cdot\frac{V_1^2}{\left(r_1+\frac{r_2'}{\frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2+x^2}}}\right)^2+x^2}$$

$$=\frac{3p}{2\pi f}\cdot\sqrt{r_1^2+x^2}\cdot\frac{V_1^2}{\left(r_1+\sqrt{r_1^2+x^2}\right)^2+x^2}$$

$$=r_1^2+2r_1\sqrt{r_1^2+x^2}+r_1^2+x^2+x^2$$

$$=2r_1^2+2x^2+2r_1\sqrt{r_1^2+x^2}$$

$$=2\sqrt{r_1^2+x^2}\left(\sqrt{r_1^2+x^2}+r_1\right)$$

$$=\frac{3p}{2\pi f}\cdot\sqrt{r_1^2+x^2}\cdot\frac{V_1^2}{2\sqrt{r_1^2+x^2}\left(\sqrt{r_1^2+x^2}+r_1\right)}$$

$$=\frac{3p}{4\pi f}\cdot\frac{V_1^2}{\sqrt{r_1^2+x^2}+r_1}$$

R02 問1

問１　三相かご形誘導電動機に関して，次の問に答えよ。

4 極の三相かご形誘導電動機が 60 Hz の電源において 5 %の滑りで運転している。下記の数値を求めよ。なお，相対速度は単位[min^{-1}]を使って答えよ。

(1) 固定子巻線電流による回転磁界と固定子との相対速度の大きさ N_0

(2) 回転子と固定子との相対速度の大きさ N_m

(3) 固定子巻線電流による回転磁界と回転子との相対速度の大きさ N_s

(4) 回転子巻線を流れる電流の周波数 f_2

(5) 回転子巻線電流による回転磁界と回転子との相対速度の大きさ N_r

(6) 回転子巻線電流による回転磁界と固定子との相対速度の大きさ N_R

(7) 回転子巻線電流による回転磁界と固定子巻線電流による回転磁界との相対速度の大きさ N_{sr}

R02 問1

問1　三相かご形誘導電動機に関して，次の問に答えよ。

4極の三相かご形誘導電動機が 60 Hz の電源において 5 %の滑りで運転している。下記の数値を求めよ。なお，相対速度は単位[min^{-1}]を使って答えよ。

(1) 固定子巻線電流による回転磁界と固定子との相対速度の大きさ N_0

固定子巻線による回転磁界の速度：同期速度N_s'
固定子の速度：0（ゼロ）

$$N_0 = N_s - 0 = N_S = \frac{120f}{p} = \frac{120 \times 60}{4} = 1800\ \mathrm{min}^{-1}$$

(2) 回転子と固定子との相対速度の大きさ N_m

回転子の速度：N
固定子の速度：0（ゼロ）

$$N_m = (1 - s)N_s' = (1 - 0.05) \times 1800 = 1710\ \mathrm{min}^{-1}$$

(3) 固定子巻線電流による回転磁界と回転子との相対速度の大きさ N_s

固定子巻線による回転磁界の速度：同期速度N_s'
回転子の速度：N

$$N_s = sN_s' = 0.05 \times 1800 = 90\ \mathrm{min}^{-1}$$

(4) 回転子巻線を流れる電流の周波数 f_2

回転子巻線の電流の周波数：すべり周波数

$$f_2 = sf = 0.05 \times 60 = 3\ \mathrm{Hz}$$

(5) 回転子巻線電流による回転磁界と回転子との相対速度の大きさ N_r

回転子巻線による回転磁界の速度はすべり周波数f_2で決まる

$$N_r = \frac{120f_2}{p} = \frac{120 \times 3}{4} = 90\ \mathrm{min}^{-1}$$

(6) 回転子巻線電流による回転磁界と固定子との相対速度の大きさ N_R

回転子から見た回転子巻線による回転磁界の速度：N_r
固定子から見た回転子の速度：N_m

$$N_R = N_r + N_m = 90 + 1710 = 1800\ \mathrm{min}^{-1}$$

(7) 回転子巻線電流による回転磁界と固定子巻線電流による回転磁界との相対速度の大きさ N_{sr}

固定子から見た回転子巻線による回転磁界の速度：N_R
固定子巻線による回転磁界の速度：同期速度N_s'

$$N_{sr} = N_R - N_s' = 1800 - 1800 = 0\ \mathrm{min}^{-1}$$

H25 問1

問1　400〔V〕，60〔Hz〕，4 極の三相誘導電動機がある。二次側諸量を一次側に換算した星形 1 相分の T 形等価回路を図 1 に示す。図中の s は滑り，V は一次電圧(星形相電圧)であり，また，等価回路定数は次のとおりである。

$r_1=0.2$〔Ω〕，$x_1=0.5$〔Ω〕，$x_M=20$〔Ω〕

$r_2=0.1$〔Ω〕（一次側換算値），$x_2=0.2$〔Ω〕（一次側換算値）

次の問に答えよ。

(1) 図 1 の T 形等価回路は鳳・テブナンの定理によると，図 2 の回路で表される。

a．電動機に線間電圧 400〔V〕を印加し，同期速度で回転しているとき，図 1 の端子 A，B 間に現れる電圧 V_t〔V〕を求めよ。

b．図 1 で一次端子を短絡したとき，端子 A，B から一次側をみた合成インピーダンス $R+\mathrm{j}X$〔Ω〕を求めよ。

(2) 図 2 の回路から，始動時に二次回路に流れる電流 I_2〔A〕（一次側換算値）及び始動トルク T_s〔N·m〕を求めよ。

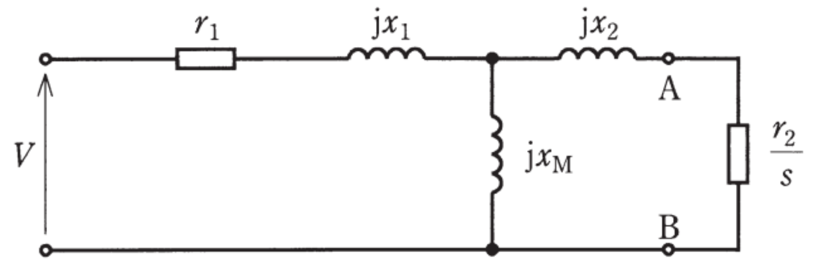


図 1

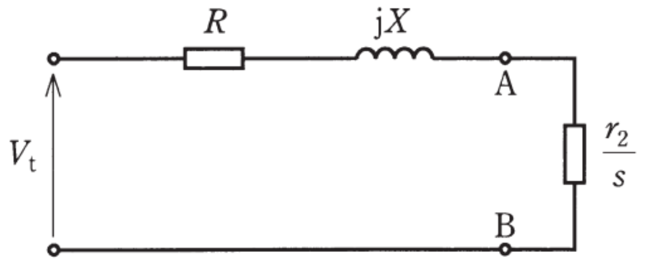


図 2

H25 問Ⅰ

問１　400〔V〕, 60〔Hz〕, 4 極の三相誘導電動機がある。二次側諸量を一次側に換算した星形１相分の T 形等価回路を図１に示す。図中の s は滑り, V は一次電圧（星形相電圧）であり, また, 等価回路定数は次のとおりである。

$r_1=0.2$〔Ω〕, $x_1=0.5$〔Ω〕, $x_M=20$〔Ω〕

$r_2=0.1$〔Ω〕（一次側換算値）, $x_2=0.2$〔Ω〕（一次側換算値）

次の問に答えよ。

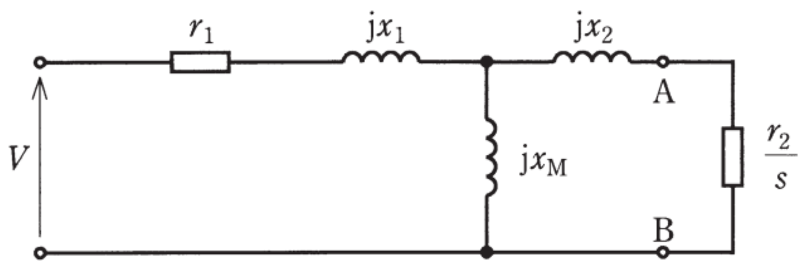


図 1

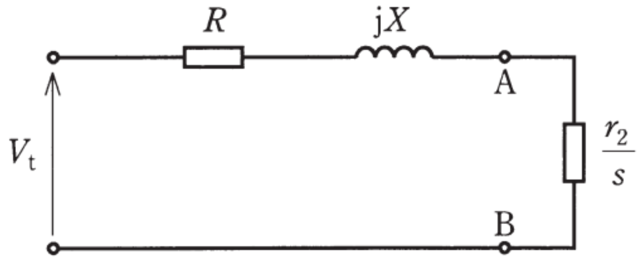


図 2

(1) 図１の T 形等価回路は鳳・テブナンの定理によると, 図２の回路で表される。

a. 電動機に線間電圧 400〔V〕を印加し, 同期速度で回転しているとき, 図１の端子 A, B 間に現れる電圧 V_t〔V〕を求めよ。

b. 図 1 で一次端子を短絡したとき, 端子 A, B から一次側をみた合成インピーダンス $R+jX$〔Ω〕を求めよ。

同期速度で回転しているとき、すべりが0（ゼロ）であり、負荷には電流が流れないので、端子AB間は開放と考えることができる

$$\dot{V}_t=\frac{jx_M}{r_1+jx_1+jx_M}\cdot\frac{V_l}{\sqrt{3}}=\frac{jx_M(r_1-jx_1-jx_M)}{r_1^2+(x_1+x_M)^2}\cdot\frac{V_l}{\sqrt{3}}$$

$$=\frac{j20\times(0.2-j0.5-j20)}{0.2^2+(0.5+20)^2}\cdot\frac{400}{\sqrt{3}}$$

$$=225.29+j2.20$$

$$V_t=\sqrt{225.29^2+2.20^2}=225.30\ \mathrm{V}$$

H25 問1

問1　400〔V〕，60〔Hz〕，4 極の三相誘導電動機がある。二次側諸量を一次側に換算した星形 1 相分の T 形等価回路を図 1 に示す。図中の s は滑り，V は一次電圧（星形相電圧）であり，また，等価回路定数は次のとおりである。

$r_1=0.2$〔Ω〕，$x_1=0.5$〔Ω〕，$x_M=20$〔Ω〕

$r_2=0.1$〔Ω〕（一次側換算値），$x_2=0.2$〔Ω〕（一次側換算値）

次の問に答えよ。

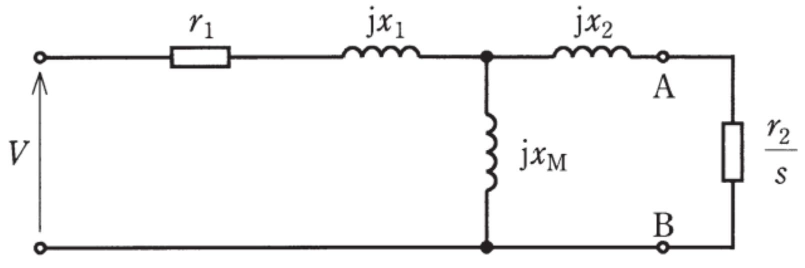


図 1

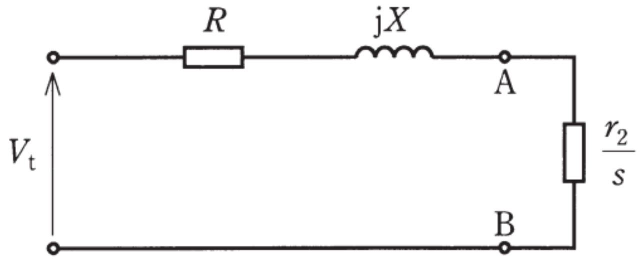


図 2

(1) 図 1 の T 形等価回路は鳳・テブナンの定理によると，図 2 の回路で表される。

a．電動機に線間電圧 400〔V〕を印加し，同期速度で回転しているとき，図 1 の端子 A，B 間に現れる電圧 V_t〔V〕を求めよ。

b．図 1 で一次端子を短絡したとき，端子 A，B から一次側をみた合成インピーダンス $R+\mathrm{j}X$〔Ω〕を求めよ。

$$Z_{AB}=jx_2+\frac{jx_M(r_1+jx_1)}{jx_M+r_1+jx_1}=jx_2+\frac{jx_M(r_1+jx_1)}{r_1+j(x_1+x_M)}$$

$$=jx_2+\frac{jx_M(r_1+jx_1)\{r_1-j(x_1+x_M)\}}{r_1^2+(x_1+x_M)^2}$$

$$=jx_2+\frac{jx_M\{r_1^2+x_1(x_1+x_M)+jr_1x_1-jr_1(x_1+x_M)\}}{r_1^2+(x_1+x_M)^2}$$

$$=\frac{r_1x_M(x_1+x_M)-r_1x_1x_M}{r_1^2+(x_1+x_M)^2}+j\left\{x_2+\frac{x_Mr_1^2+x_1x_M(x_1+x_M)}{r_1^2+(x_1+x_M)^2}\right\}$$

$$=\frac{0.2\times20\times(0.5+20)-0.2\times0.5\times20}{0.2^2+(0.5+20)^2}+j\left\{0.2+\frac{20\times0.2^2+0.5\times20\times(0.5+20)}{0.2^2+(0.5+20)^2}\right\}$$

$$=0.1903+j0.6897$$

H25 問1

問 1　400〔V〕，60〔Hz〕，4 極の三相誘導電動機がある。二次側諸量を一次側に換算した星形 1 相分の T 形等価回路を図 1 に示す。図中の s は滑り，V は一次電圧（星形相電圧）であり，また，等価回路定数は次のとおりである。

$r_1=0.2$〔Ω〕，$x_1=0.5$〔Ω〕，$x_M=20$〔Ω〕

$r_2=0.1$〔Ω〕（一次側換算値），$x_2=0.2$〔Ω〕（一次側換算値）

次の問に答えよ。

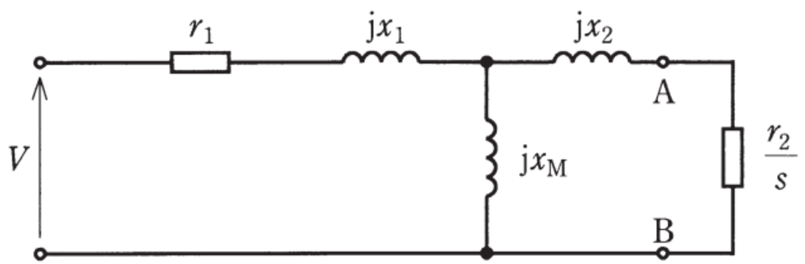


図 1

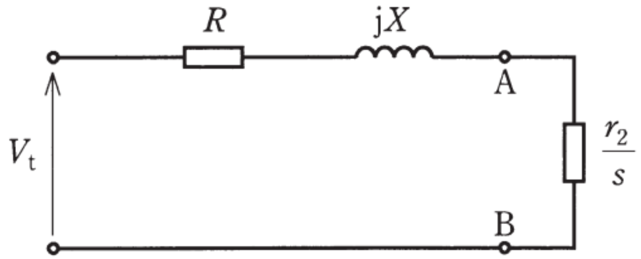


図 2

(2) 図 2 の回路から，始動時に二次回路に流れる電流 I_2〔A〕（一次側換算値）及び始動トルク T_s〔N·m〕を求めよ。

始動時なのですべり$s=1$として計算する

$$I_2=\frac{V_t}{\sqrt{(R+r_2)^2+X^2}}=\frac{225.30}{\sqrt{(0.1903+0.1)^2+0.6897^2}}=301.08\ \mathrm{A}$$

$$T=\frac{P_2}{\omega_s}=\frac{1}{\frac{2\pi}{60}\times\frac{120f}{p}}\times 3r_2I_2^2=\frac{1}{\frac{2\pi}{60}\times\frac{120\times 60}{4}}\times 3\times 0.1\times 301.08^2$$

$$T=144.27\ \mathrm{N\cdot m}$$

ご聴講ありがとうございました!!