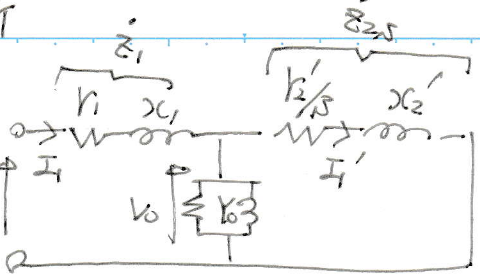
R7.2.3　電気工作物設備技術探究

山下電気保安管理事務所

誘導電動機の等価回路（T型、L型）



1図

T型等価回路

・T型（1図）1相分

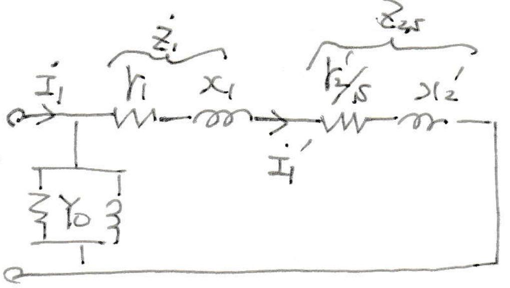
1次端子からみた $\dot{Z}$：$\dot{Z} = \dot{Z}_1 + \dfrac{\dot{Z}_{2s}}{1+\dot{Z}_{2s}\dot{Y}_0}$　(1)

1次電流 $\dot{I}_1 = \dfrac{\dot{V}_1}{\dot{Z}} = \dfrac{1+\dot{Z}_{2s}\dot{Y}_0}{\dot{Z}_1(1+\dot{Z}_{2s}\dot{Y}_0)+\dot{Z}_{2s}}\cdot\dot{V}_1$　(2)

$\dot{I}_1' = \dfrac{\dot{V}_1}{\dot{Z}_1(1+\dot{Z}_{2s}\dot{Y}_0)+\dot{Z}_{2s}}$　(3)　← $\dot{I}_1' = \dot{I}_1 \times \dfrac{\frac{1}{\dot{Y}_0}}{\dot{Z}_{2s}+\frac{1}{\dot{Y}_0}} = \dot{I}_1 \times \underbrace{\dfrac{1}{1+\dot{Z}_{2s}\dot{Y}_0}}$

$\dot{I}_0 = \dfrac{\dot{Z}_{2s}\dot{Y}_0\cdot\dot{V}_1}{\dot{Z}_1(1+\dot{Z}_{2s}\dot{Y}_0)+\dot{Z}_{2s}}$　(4)

(1)〜(4)は1図よりかんたんに求められる。



2図

L型等価回路

・L型（2図）1相分

$\dot{I}_1' = \dfrac{\dot{V}_1}{\dot{Z}_1+\dot{Z}_{2s}}$　(5)

$\dot{I}_0 = \dot{V}_1\dot{Y}_0 = \dot{V}_1(g_0 - jb_0)$

(7)　$\dot{I}_1 = \dot{V}_1\left(\dot{Y}_0 + \dfrac{1}{\dot{Z}_1+\dot{Z}_{2s}}\right) = \dot{V}_1\left\{\left(g_0+\dfrac{r_1+\frac{r_2'}{s}}{Z^2}\right) - j\left(b_0+\dfrac{x_1+x_2'}{Z^2}\right)\right\}$

ただし $\dot{Y}_0 = g_0 - jb_0$，$Z = \sqrt{\left(r_1+\frac{r_2'}{s}\right)^2+(x_1+x_2')^2}$ ← $\dot{Z} = \dot{Z}_1+\dot{Z}_{2s}$

2図の力率は $\dot{V}_1$ と $\dot{I}_1$ の位相差を φ とすると(7)式より

$\dfrac{\dot{V}_1}{\dot{I}_1} = \dfrac{1}{\left(g_0+\dfrac{r_1+\frac{r_2'}{s}}{Z^2}\right) - j\left(b_0+\dfrac{x_1+x_2'}{Z^2}\right)} = \dfrac{1}{A - jB}$ とおくと

$\dfrac{\dot{V}_1}{\dot{I}_1} = \dot{Z} = Z\angle\varphi$

$\cos\varphi = \dfrac{1}{A-jB} = \dfrac{A}{A^2+B^2} = \dfrac{g_0+\dfrac{r_1+\frac{r_2'}{s}}{Z^2}}{\left(g_0+\dfrac{r_1+\frac{r_2'}{s}}{Z^2}\right)^2+\left(b_0+\dfrac{x_1+x_2'}{Z^2}\right)^2}$

ここから

1次入力　$P_1 = m_1 V I_1 \cos\varphi$　(8)

2次入力　$P_2 = m_1 (I_1')^2 \dfrac{r_2'}{s}$　(9)

※1次巻線 m_1（相）
通常 $m_1 = 3$

NO. 2

DATE R7.2.3

1次銅損 $P_{1c} = m_1 (I_1')^2 r_1$

2次 〃 $P_{2c} = m_1 (I_1')^2 r_2'$ 又 $P_{2c} = m_2 (I_2)^2 r_2$ でもある。

かご型なら m_2 は多相

機械的出力 $P_M = m_1 (I_1')^2 \frac{1-s}{s} r_2'$

トルク $T = \frac{P_M}{\omega_m} = \frac{P_M}{2\pi n_s (1-s)} = \frac{P_M}{2\pi \frac{f}{p} (1-s)}$

$T = \frac{p}{2\pi f} \cdot m_1 (I_1')^2 \frac{r_2'}{s}$ ただし p は磁極対数

同期ワット（上記 T (N·m) で同期速度で回った時の電力）は、

$T \times \omega_s = T \times 2\pi n_s = T \times 2\pi \frac{f}{p} = P_a = \frac{P_M}{1-s}$

2次入力

・Tは $T = \frac{P_M}{\omega_m}$ で計算したが

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

∴ $T = \frac{P_a}{\omega_s}$ でも計算出来る

又 $P_{2c} = s P_a$ （2次銅損）

※ s（すべり）が小さい範囲についてのトルク T' は、上式より

$T' = P_a \fallingdotseq m_1 V_1^2 \frac{s}{r_2'}$ となる。

$P_a = m_1 (I_1')^2 \frac{r_2'}{s}$ で $I_1' \fallingdotseq \frac{V_1}{\frac{r_2'}{s}} = \frac{s V_1}{r_2'}$

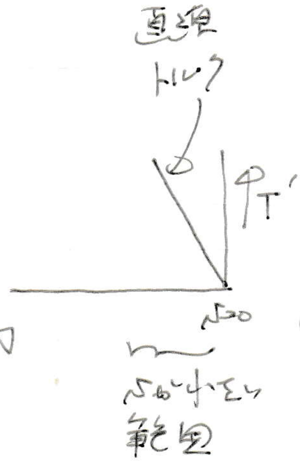
$(I_1')^2 = \frac{s^2 V_1^2}{(r_2')^2}$

説明

$P_a = m_1 \frac{s^2 V_1^2}{(r_2')^2} \times \frac{r_2'}{s} = m_1 \cdot V_1^2 \frac{s}{r_2'}$

$T' = P_a = m V_1^2 \frac{s}{r_2'}$ で $T' \propto s$ の関係。

とsの小さい範囲では



R.7.2.3

最大トルク $T_{max} = \frac{P_{a max}}{\omega_s}$ 時のすべり s_m は次式。 上式から まず P_a と s の関係式として求める。

$P_a = m_1 (I_1')^2 \cdot \frac{r_2'}{s}$ なので $|\dot{I}_1'| = \frac{V_1}{Z} = \frac{V_1}{\sqrt{(r_1+\frac{r_2'}{s})^2+(x_1+x_2')^2}}$

$P_a = m_1 V_1^2 \frac{r_2'/s}{(r_1+\frac{r_2'}{s})^2+(x_1+x_2')^2}$ $\qquad (I_1')^2 = \frac{V_1^2}{(r_1+\frac{r_2'}{s})^2+(x_1+x_2')^2}$

↓

$$P_a = \frac{m_1 V_1^2}{\frac{s}{r_2'}\left\{r_1^2+2r_1\frac{r_2'}{s}+\frac{(r_2')^2}{s^2}+x_1^2+2x_1x_2'+(x_2')^2\right\}}$$

$$P_a = \frac{m_1 V_1^2}{\frac{r_1^2}{r_2'}s+2r_1+\frac{r_2'}{s}+\frac{s}{r_2'}(x_1+x_2')^2} = \frac{m_1V_1^2}{B(s)}$$ とおく。

上式分母で $\frac{d}{ds}B=0$ として分母の最小値を求める。

$$\frac{d}{ds}B(s) = \frac{r_1^2}{r_2'} - \frac{r_2'}{s^2} + \frac{(x_1+x_2')^2}{r_2'} = 0$$

$$\frac{r_1^2+(x_1+x_2')^2}{r_2'} = \frac{r_2'}{s^2}$$

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

$s_m = -\frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2+(x_1+x_2')^2}}$ 発電機

∴ $s_m = \pm\frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2+(x_1+x_2')^2}}$ 時に $P_{a max}$ で T_{max} となる。 $\omega_s = 2\pi n_s$ 一定

上式 P_a より

$$P_{a max} = \frac{m_1V_1^2}{\frac{s_m}{r_2'}\{r_1^2+(x_1+x_2')^2\}+\frac{r_2'}{s_m}+2r_1} = \frac{m_1V_1^2}{(\pm\sqrt{r_1^2+(x_1+x_2')^2})+(\pm\sqrt{r_1^2+(x_1+x_2')^2})+2r_1}$$

$$P_{a max} = \frac{m_1V_1}{2\{r_1\pm\sqrt{r_1^2+(x_1+x_2')^2}\}}$$

± + 電動機
　− 発電機

同様 $T_{max} = \frac{P_{a max}}{\omega_s}$