Ｌ－Ｃ始動法の理論特性について

榊茂　忠，黒杭　宏，猪上　憲治

Numerical Analysis of the L–C Starting Method

By Shigetada SAKAKI, Hiroshi KUROKUI
and Kenji INOUE

We had reported about the theoretical equation and the experimental characteristics of the L–C starting method late of years. So in this paper, we discoursed the numerical-analysis method of it's.

L–C starting method is most unique in the starting method of the induction motor. But, starting circut become complex and it have the difficulty of the analysis in it's circuit, that is, we face the difficulty on the combination between the starting circuit and the motor circuit and the theoretical equation gat is nonliner. So we use the analog method to get the transient characteristics and the alternating-circuit method for steady state.

1. ま　え　が　き

我々はすでにＬ—Ｃ　始動法の実測値[1]，理論式[2]について発表してきたが，今回はこれの数値解析法及びその結果について報告する。

Ｌ—Ｃ　始動法は誘導電動機の始動法としてはユニークな方法であるが，一方，回路的には複雑になり，その回路には可飽和リアクトルのように非線型性を持って一段と解析をむつかしくしている。さらに電動機の解析にはある種の変換をほどこして行われるため，始動回路とこれ等の間の式の接続についても困難な問題がある。したがって上記の問題を解決して完成した理論式は少なくとも非線型となり解析的方法をとることが不可能であることは明らかである。そこで我々はこのような事実を考慮に入れて，すでに求めた理論式の始動回路と電動機の接続を行い近似解法によりその特性を得ることにした。

2. 始動回路と電動機の理論式

始動回路と電動機の理論式については広島工業大学紀要第８巻第２号128頁で述べたごとく，次式となる。

$$\begin{bmatrix} v_{ab} \\ v_{bc} \\ v_{ca} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} + \frac{1}{pC}\begin{bmatrix} i_{ac} \\ i_{bc} \\ i_{cc} \end{bmatrix} \quad \cdots\cdots(1)$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} + (R_d + pL_d)\begin{bmatrix} i_{ad} \\ i_{bd} \\ i_{cd} \end{bmatrix} + \frac{1}{pC}\begin{bmatrix} i_{bc} \\ i_{cc} \\ i_{ac} \end{bmatrix} \quad \cdots\cdots(2)$$

$$\begin{bmatrix} v_{0s} \\ v_{ds} \\ v_{qs} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0, & 0 &, & 0 &, & 0, & 0 &, & 0 \\ 0, & R_1+p(l_s+L_s), & & 0 &, & 0, & pL_s &, & -L_s p\theta \\ 0, & 0 &, & R_1+p(l_s+L_s), & & 0, & L_s p\theta &, & pL_s \\ 0, & 0 &, & 0 &, & 0, & 0 &, & 0 \\ 0, & pL_s &, & L_s p\theta &, & 0, & R_2'+p(l_s'+L_s), & & 0 \\ 0, & -L_s p\theta &, & pL_s &, & 0, & 0 &, & R_2'+p(l_s'+L_s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{0s} \\ i_{ds} \\ i_{qs} \\ i_0{}'_r \\ i_d{}'_r \\ i_q{}'_r \end{bmatrix} \quad \cdots\cdots(3)$$

始動回路の電流及び電動機のトルクについては,

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} i_{ad}-i_{cd} \\ i_{bd}-i_{ad} \\ i_{ad}-i_{bd} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} i_{ac} \\ i_{bc} \\ i_{cc} \end{bmatrix} \quad \cdots\cdots(4)$$

$$\tau = L_s \frac{3}{2}\{i_{qs}i_{dr}' - i_{ds}i_{qr}'\} \quad \cdots\cdots(5)$$

(1)式と(2)式を加えると,

$$\begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} = \frac{1}{2}\begin{bmatrix} v_{ab} \\ v_{bc} \\ v_{ca} \end{bmatrix} - \frac{R_d+pL_d}{3}\begin{bmatrix} i_{ad} \\ i_{bd} \\ i_{cd} \end{bmatrix} - \frac{1}{2pC}\begin{bmatrix} i_{ac}+i_{bc} \\ i_{bc}+i_{cc} \\ i_{cc}+i_{ac} \end{bmatrix} \quad \cdots\cdots(6)$$

(1)式と(2)式の差をとると,

$$\begin{bmatrix} v_{ab} \\ v_{bc} \\ v_{ca} \end{bmatrix} = -(R_d+pL_d)\begin{bmatrix} i_{ad} \\ i_{bd} \\ i_{cd} \end{bmatrix} + \frac{1}{pC}\begin{bmatrix} i_{ac}-i_{bc} \\ i_{bc}-i_{cc} \\ i_{cc}-i_{ac} \end{bmatrix} \quad \cdots\cdots(7)$$

$d-q$ 軸に変換するための行列は,

$$[\boldsymbol{A}_\theta] = \begin{bmatrix} 1 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 1 & \cos\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) \\ 1 & \cos\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \quad \cdots\cdots(8)$$

ゆえに $[\boldsymbol{A}_\theta]^{-1}$ は,

$$[\boldsymbol{A}_\theta]^{-1} = \frac{2}{3}\begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 & 1/2 \\ \cos\theta & \cos\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin\theta & -\sin\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \quad \cdots\cdots(9)$$

(6)式に(9)式を左乗すれば,

$$[\boldsymbol{A}_\theta]^{-1}\begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{0s} \\ v_{ds} \\ v_{qs} \end{bmatrix} = \frac{1}{2}[\boldsymbol{A}_\theta]^{-1}\begin{bmatrix} v_{ab} \\ v_{bc} \\ v_{ca} \end{bmatrix} - \frac{R_d+pL_d}{2}[\boldsymbol{A}_\theta]^{-1}\begin{bmatrix} i_{ad} \\ i_{bd} \\ i_{cd} \end{bmatrix} - \frac{1}{2pC}[\boldsymbol{A}_\theta]^{-1}\begin{bmatrix} i_{ac}+i_{bc} \\ i_{bc}+i_{cc} \\ i_{cc}+i_{ac} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} v_{0ss}/2 \\ v_{dss}/2 \\ v_{qss}/2 \end{bmatrix} - \frac{R_d+pL_d}{2}\begin{bmatrix} i_{0d} \\ i_{dd} \\ i_{qd} \end{bmatrix} - \frac{1}{2pC}\begin{bmatrix} i_{0c} \\ i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} \quad \cdots\cdots(10)$$

但し,

$$\begin{bmatrix} v_{ab} \\ v_{bc} \\ v_{ca} \end{bmatrix} = [\boldsymbol{A}_\theta]\cdot\begin{bmatrix} v_{0ss} \\ v_{dss} \\ v_{qss} \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} i_{ad} \\ i_{bd} \\ i_{cd} \end{bmatrix} = [\boldsymbol{A}_\theta]\cdot\begin{bmatrix} i_{0d} \\ i_{dd} \\ i_{qd} \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} i_{ac}+i_{bc} \\ i_{bc}+i_{cc} \\ i_{cc}+i_{ca} \end{bmatrix} = [\boldsymbol{A}_\theta]\cdot\begin{bmatrix} i_{0c} \\ i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix}$$

とする。同様な方法で(7)式を $d-q$ 変換すると，

$$\begin{bmatrix} v_{0ss} \\ v_{dss} \\ v_{qss} \end{bmatrix} = -(R_d+pL_d)[\boldsymbol{A}_\theta]^{-1}\begin{bmatrix} i_{ad} \\ i_{bd} \\ i_{cd} \end{bmatrix} + \frac{1}{pC}[\boldsymbol{A}_\theta]^{-1}\begin{bmatrix} i_{ac}-i_{bc} \\ i_{bc}-i_{cc} \\ i_{cc}-i_{ac} \end{bmatrix}$$

$$= -(R_d+pL_d)\begin{bmatrix} i_{0d} \\ i_{dd} \\ i_{qd} \end{bmatrix} + \frac{1}{pC}[\boldsymbol{A}_\theta]^{-1}[\boldsymbol{B}_{\theta 1}]\begin{bmatrix} i_{0c} \\ i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix}$$

$$= -(R_d+pL_d)\begin{bmatrix} i_{0d} \\ i_{dd} \\ i_{qd} \end{bmatrix} + \frac{1}{pC}\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\sqrt{3} \\ 0 & \sqrt{3} & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} i_{0c} \\ i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} \qquad \cdots\cdots(11)$$

ここに $[\boldsymbol{B}_{\theta 1}]$ は次のようにして求めた。

$$\begin{bmatrix} i_{ac}-i_{bc} \\ i_{bc}-i_{cc} \\ i_{cc}-i_{ac} \end{bmatrix} = -\sqrt{3}\begin{bmatrix} 0 & \sin\theta & \cos\theta \\ 0 & \sin\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) \\ 0 & \sin\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix}\begin{bmatrix} i_{0c} \\ i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} = [\boldsymbol{B}_{\theta 1}]\cdot\begin{bmatrix} i_{0c} \\ i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} \qquad \cdots\cdots(12)$$

但し，

$$\begin{bmatrix} i_{ac}+i_{bc} \\ i_{bc}+i_{cc} \\ i_{cc}+i_{ac} \end{bmatrix} = [\boldsymbol{A}_\theta]\cdot\begin{bmatrix} i_{0c} \\ i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix}$$

である。次に(4)式の $d-q$ 変換は，

$$\begin{bmatrix} i_{ad} \\ i_{bd} \\ i_{cd} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 1 & \cos\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) \\ 1 & \cos\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix} i_{0d} \\ i_{dd} \\ i_{qd} \end{bmatrix} \qquad \cdots\cdots(13)$$

であことを考慮すれば，

$$\begin{bmatrix} i_{ad}-i_{cd} \\ i_{bd}-i_{ad} \\ i_{cd}-i_{bd} \end{bmatrix} = -\sqrt{3}\begin{bmatrix} 0 & \sin\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) \\ 0 & \sin\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}\begin{bmatrix} i_{0d} \\ i_{dd} \\ i_{qd} \end{bmatrix} = [\boldsymbol{B}_{\theta 2}]\begin{bmatrix} i_{0d} \\ i_{dd} \\ i_{qd} \end{bmatrix} \qquad \cdots\cdots(14)$$

となる。さらに(10)式の右辺第3項と(12)式によると，

$$\begin{bmatrix} i_{ac} \\ i_{bc} \\ i_{cc} \end{bmatrix} = \frac{1}{2}\begin{bmatrix} i_{ac}+i_{bc} \\ i_{bc}+i_{cc} \\ i_{cc}+i_{ac} \end{bmatrix} - \frac{1}{2}\begin{bmatrix} i_{ac}-i_{bc} \\ i_{bc}-i_{cc} \\ i_{cc}-i_{ac} \end{bmatrix} = \frac{1}{2}[\boldsymbol{A}_\theta]\begin{bmatrix} i_{0c} \\ i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} + \frac{1}{2}[\boldsymbol{B}_{\theta 1}]\begin{bmatrix} i_{0c} \\ i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} \qquad \cdots\cdots(15)$$

となる。(4)式に $[\boldsymbol{A}_\theta]^{-1}$ を左乗して変形すると，

$$\begin{bmatrix} i_{0s} \\ i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} = [\boldsymbol{A}_\theta]^{-1}\begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix} = [\boldsymbol{A}_\theta]^{-1}[\boldsymbol{B}_{\theta 2}]\begin{bmatrix} i_{0d} \\ i_{dd} \\ i_{qd} \end{bmatrix} + \frac{1}{2}[\boldsymbol{A}_\theta]^{-1}[\boldsymbol{A}_\theta]\begin{bmatrix} i_{0c} \\ i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} + \frac{1}{2}[\boldsymbol{A}_\theta]^{-1}[\boldsymbol{B}_{\theta 1}]\begin{bmatrix} i_{0c} \\ i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3/2 & \sqrt{3}/2 \\ 0 & -\sqrt{3}/2 & 3/2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} i_{0d} \\ i_{dd} \\ i_{qd} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & \sqrt{3}/2 \\ 0 & -\sqrt{3}/2 & 1/2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} i_{0c} \\ i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} \qquad \cdots\cdots(16)$$

を得る。ここで始動回路，電動機回路はすべて平衡回路であり，これに平衡三相電圧を印加したとすれば0相分

はないので(10)，(11)，(16)式よりこれを除き(16)式(10)，(11)式に代入すると，

$$
\begin{aligned}
\begin{bmatrix} i_{dd} \\ i_{qd} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \frac{3}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{3}{2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \frac{3}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{3}{2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{1}{2\sqrt{3}} \\ \frac{1}{2\sqrt{3}} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{2\sqrt{3}} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} \qquad \cdots\cdots(17)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\begin{bmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \frac{v_{dss}}{2} \\ \frac{v^{b}{}_{ss}}{2} \end{bmatrix} - \frac{R_d+pL_d}{2} \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{1}{2\sqrt{3}} \\ \frac{1}{2\sqrt{3}} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} + \frac{R_d+pL_d}{2} \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{2\sqrt{3}} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} \\
&\quad - \frac{1}{2pC} \begin{bmatrix} i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} \qquad \cdots\cdots(18)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\begin{bmatrix} v_{dss} \\ v_{qss} \end{bmatrix} &= -(R_d+pL_d) \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{1}{2\sqrt{3}} \\ \frac{1}{2\sqrt{3}} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} + (R_d+pL_d) \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{2\sqrt{3}} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} \\
&\quad + \frac{1}{pC} \begin{bmatrix} 0 & -\sqrt{3} \\ \sqrt{3} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} \qquad \cdots\cdots(19)
\end{aligned}
$$

次式の関係を定義して，上三式を整理すると，

$$
\begin{bmatrix} y_{dc} \\ y_{qc} \end{bmatrix} = \frac{1}{p} \begin{bmatrix} i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} \qquad \cdots\cdots(20)
$$

$$
\begin{aligned}
\begin{bmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \end{bmatrix} &= \frac{1}{2} \begin{bmatrix} v_{dss} \\ v_{qss} \end{bmatrix} - \frac{R_d}{2} \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{1}{2\sqrt{3}} \\ \frac{1}{2\sqrt{3}} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} + \frac{R_d}{2} \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{2\sqrt{3}} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} \\
&\quad - \frac{pL_d}{2} \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{1}{2\sqrt{3}} \\ \frac{1}{2\sqrt{3}} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} + \frac{pL_d}{2} \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{2\sqrt{3}} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} - \frac{1}{2C} \begin{bmatrix} y_{dc} \\ y_{qc} \end{bmatrix} \qquad \cdots\cdots(21)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\begin{bmatrix} v_{dss} \\ v_{qss} \end{bmatrix} &= -R_d \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{1}{2\sqrt{3}} \\ \frac{1}{2\sqrt{3}} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} + R_d \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{2\sqrt{3}} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} - pL_d \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{1}{2\sqrt{3}} \\ \frac{1}{2\sqrt{3}} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} \\
&\quad + pL_d \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{2\sqrt{3}} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} + \frac{1}{C} \begin{bmatrix} 0 & -\sqrt{3} \\ \sqrt{3} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{dc} \\ y_{qc} \end{bmatrix} \qquad \cdots\cdots(22)
\end{aligned}
$$

さらに(3)，(5)式を(21)(22)式に加えて一つにまとめると，

$$
[\boldsymbol{C}_1]\,p\,[\boldsymbol{X}] = [\boldsymbol{A}_1][\boldsymbol{X}] + [\boldsymbol{B}_1][\boldsymbol{U}] \qquad \cdots\cdots(23)
$$

但し上記の記号は，

$$
[\boldsymbol{X}] = [y_{dc},\ y_{qc},\ i_{dc},\ i_{qc},\ i_{ds},\ i_{qs},\ i_{dr}{}',\ i_{qr}{}',\ w]_t \qquad \cdots\cdots(24)
$$

$$[\boldsymbol{C}_1]=\begin{bmatrix} 1, & 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & 1, & 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & L_d/2, & L_d/(2\sqrt{3}), & -L_d/2, & L_d/(2\sqrt{3}), & 0, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & -L_d/(2\sqrt{3}), & L_d/2, & -L_d/(2\sqrt{3}), & -L_d/2, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & L_d/4, & L_d/(4\sqrt{3}), & -\{l_s+L_s+L_d/4\}, & L_d/(4\sqrt{3}), & L_s, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & -L_d/(4\sqrt{3}), & L_d/4, & -L_d/(4\sqrt{3}), & -\{l_s+L_s+L_d/4\}, & 0, & L_s, & 0 \\ 0, & 0, & 0, & 0, & L_s, & 0, & (l_r'+L_s), & 0, & 0 \\ 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & L_s, & 0, & (l_r'+L_s), & 0 \\ 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & 1 \end{bmatrix} \qquad \cdots\cdots(25)$$

$$[\boldsymbol{U}]=[v_{dss},\ v_{qss}]_t \qquad \cdots\cdots(26)$$

$$[\boldsymbol{B}_1]=\begin{bmatrix} 0, & 0, & 1, & 0, & -1/2, & 0, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & 0, & 1, & 0, & -1/2, & 0, & 0, & 0 \end{bmatrix}_t \qquad \cdots\cdots(27)$$

$$[\boldsymbol{A}_1]=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{C} & -\frac{R_d}{2} & -\frac{R_d}{2\sqrt{3}} & \frac{R_d}{2} & -\frac{R_d}{2\sqrt{3}} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\sqrt{3}}{C} & 0 & \frac{R_d}{2\sqrt{3}} & -\frac{R_d}{2} & \frac{R_d}{2\sqrt{3}} & \frac{R_d}{2} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{2C} & 0 & -\frac{R_d}{4} & -\frac{R_d}{4\sqrt{3}} & R_1+\frac{R_d}{4} & -\frac{R_d}{4\sqrt{3}} & 0 & -L_s w & 0 \\ 0 & \frac{1}{2C} & \frac{R_d}{4\sqrt{3}} & -\frac{R_d}{4} & \frac{R_d}{4\sqrt{3}} & R_1+\frac{R_d}{4} & L_s w & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -L_s w & -R_2' & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & L_s w & 0 & 0 & -R_2' & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{3}{2}L_s i_{qs} & \frac{3}{2}L_s i_{ds} & 0 \end{bmatrix} \qquad \cdots\cdots(28)$$

ここ，で(23)式の両辺に $[\boldsymbol{C}_1]^{-1}$ を左乗すると

$$p[\boldsymbol{X}]=[\boldsymbol{C}_1]^{-1}[\boldsymbol{A}_1][\boldsymbol{X}]+[\boldsymbol{C}_1]^{-1}[\boldsymbol{B}_1][\boldsymbol{U}] \qquad \cdots\cdots(29)$$

を得る。上式において

$$[\boldsymbol{A}]=[\boldsymbol{C}_1]^{-1}[\boldsymbol{A}_1] \qquad [\boldsymbol{B}]=[\boldsymbol{C}_1]^{-1}[\boldsymbol{B}_1]$$

となり，一次連立非線形微分方程式の形となる。

3. ま　と　め

L―C始動回路を持つ電動機の理論式を求めたが， 両回路が線形要素で構成されているとして， 回路全体に $d-q$ 変換法を応用し，その特性を求めた。今回の計算した特性は過度特性を中心としたため，理論式を解析的に解くことができなかったが， Runge-Kutta 法を用いることにより充分な精度でその解を得ることができる。

最後にこの報告をまとめるにあたり，終始御指導いただいた東京電機大学電応研究所長機部直吉教授に心から

御礼申しあげます。

4.参　考　文　献

1）榊，猪上：L—C始動法について，広工大紀要，Vol. 7, No. 2
2）榊，黒杭，猪上：L—C始動法の解析，広工大紀要，Vol. 8, No. 2