

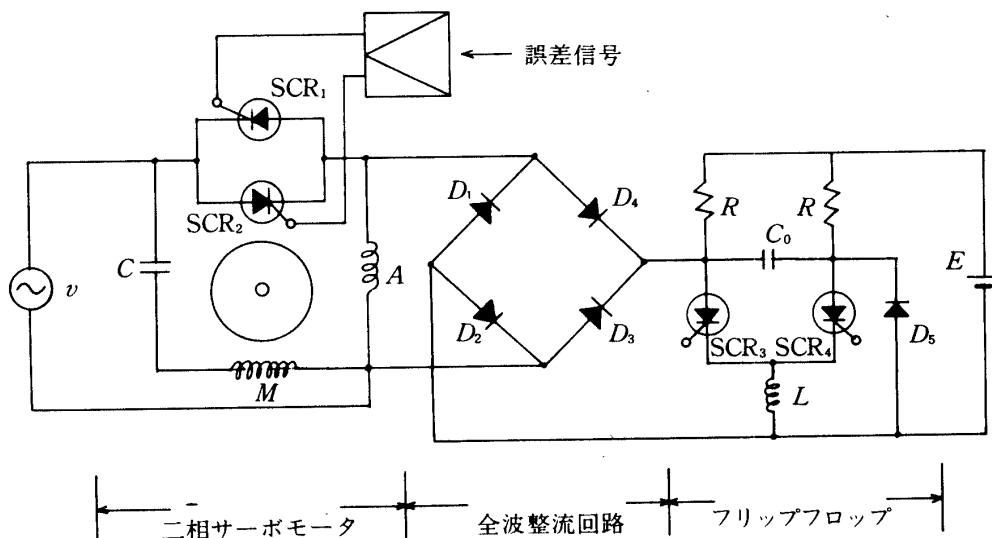
田 辺 孝 一 加 戸 光 朗

Koichi TANABE and Akira KADO

1 はしがき

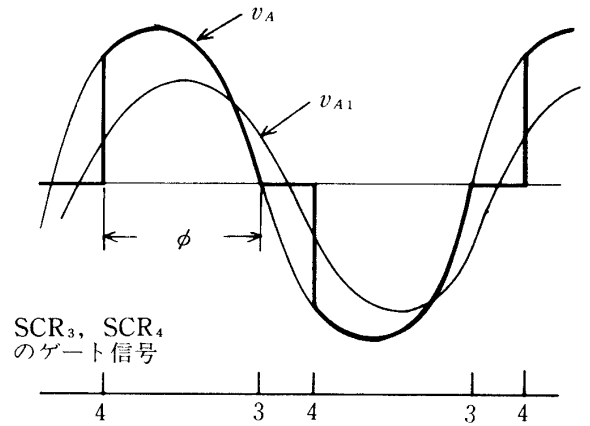
二相サーボモータの制御方式には電圧制御と位相制御がある。本論文はサイリスタを用いた、⁽¹⁾いわゆる混用制御の場合のトルク一回転数特性を解析し、検討を加えたものである。

二相誘導電動機の一相に正弦波電圧を加え、他相にサイリスタ制御された裁断波を加えると両者の同一調波成分にもとづく電磁作用により、一定方向のトルクを発生する。この発生トルクの主量は巻線に加える電圧の基本波成分の相互作用によるものである。さて、回転機械をサイリス



第1図 (a)モータの混用制御回路⁽¹⁾

タで制御するときの電圧波形は、静止回路と異り、回転子残留電流による固定子巻線への誘導作用も加わり、甚だ複雑である。従って、その波形を分析することも甚だ困難である。しかるにサイリスタ素子で制御する電圧といえども、素子の不点弧時は、モータ巻線を短絡し、点弧時は開放するように工夫された回路を用いるか、Aに純抵抗を並列に接続すれば制御巻線に加わる電圧は、第1図⁽¹⁾に示すように正確な裁断波 v_c となる。

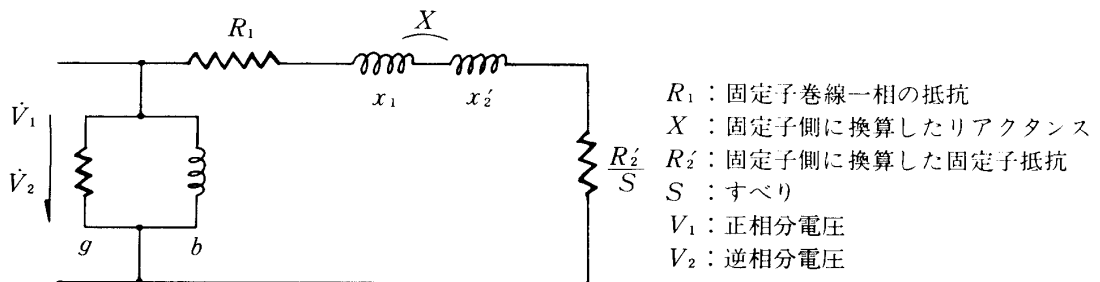


第1図 (b)制御角とゲート信号

以下に記すものは、このように制御した制御巻線電圧 v_c をフーリエ級数に展開して、基本波成分 v_{c1} を抽出し、励磁巻線に加わる正弦波電圧 v_e との対称分電圧を算出し、多相誘導電動機等価回路の理論を用いて発生トルクを解析することになっている。

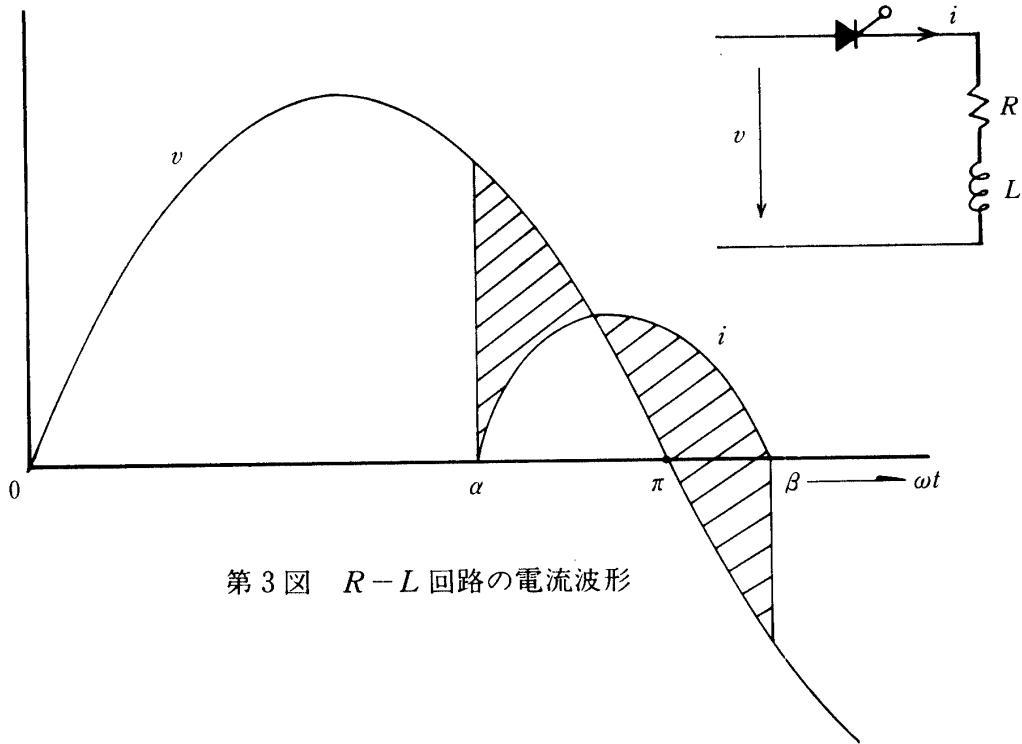
さて、サイリスタ素子不点弧時の回路を考察すると巻線は電源から切離されるので、点弧角が深くなる程、等価的な電源の内部インピーダンスは増大し、これとモータ巻線とのインピーダンスの比が大となる。このことは「トルク-回転数」特性の直線的垂下特性を損い、サーボモータとしての良好な総合的性能が期待できない。よって素子の不点弧時には巻線を短絡し、点弧時には開放するような回路を附加することが必要となる。

第1図(a)は、以上の現象を考慮して工夫された宮入式結線で、その運転状態における電圧関係を(b)に示す。図から明らかなように点弧角 α を制御すると制御巻線に加わる電圧 v_{c1} は大きさ、位相共に変化し、モータの回転数を制御できるが、これの解析にあたって考慮しなければなら



第2図 1相の近似等価回路

らないことは、第2図の等価回路が示すように、モータの滑り S と共に出力抵抗 R_2/S が変るから、サイリスタ消弧角 β にも影響するということである。しかし、3の計算例に示すようにサーボモータの回転子抵抗分は、動力用モータより、はるかに大きく作られているので第3図にみるように、 $\phi = \tan^{-1} \frac{X}{R}$ が小さいと、 β は広い範囲に一定である。又、サーボモータの運転は低速領域であるから励磁巻線のインピーダンス変化幅も小さい。従って特性計算にあたっては、これらは $S = 1$ における値を採用した。さて、 v_e と v_{c1} により構成する不平衡二相電圧を対称分電圧に換算すると、



第3図 R-L 回路の電流波形

$$\left. \begin{aligned} \text{正相分電圧 } \dot{V}_1 &= \frac{1}{2}(V_e + jV_{c1}) \\ \text{逆相分電圧 } \dot{V}_2 &= \frac{1}{2}(V_e - jV_{c1}) \end{aligned} \right\} \dots\dots (1)$$

第2図の記号を用いて一相分の出力 P' を示すと

$$P' = \frac{V^2}{\left(R_1 + \frac{R'_2}{S}\right)^2 + X^2} \cdot \frac{R'_2}{S} = \frac{V^2}{\frac{R_1^2 + X^2}{R'_2} + 2R_1 + \frac{R'_2}{S}} \dots\dots (2)$$

停動トルクに対する滑り S_m は $\frac{dP'}{dS} = 0$ より

$$S_m = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X^2}} \dots\dots (3)$$

(2)式に(3)式を代入し、 V_1 と V_2 による発生トルクを合成 T すると、

$$T = T_1 - T_2 = \frac{4}{W_s \sqrt{R_1^2 + X^2}} \left\{ \frac{V_1^2}{\frac{S}{S_m} + \frac{S_m}{S} + S_c} - \frac{V_2^2}{\frac{2-S}{S_m} + \frac{S_m}{2-S} + S_c} \right\} \dots\dots (4)$$

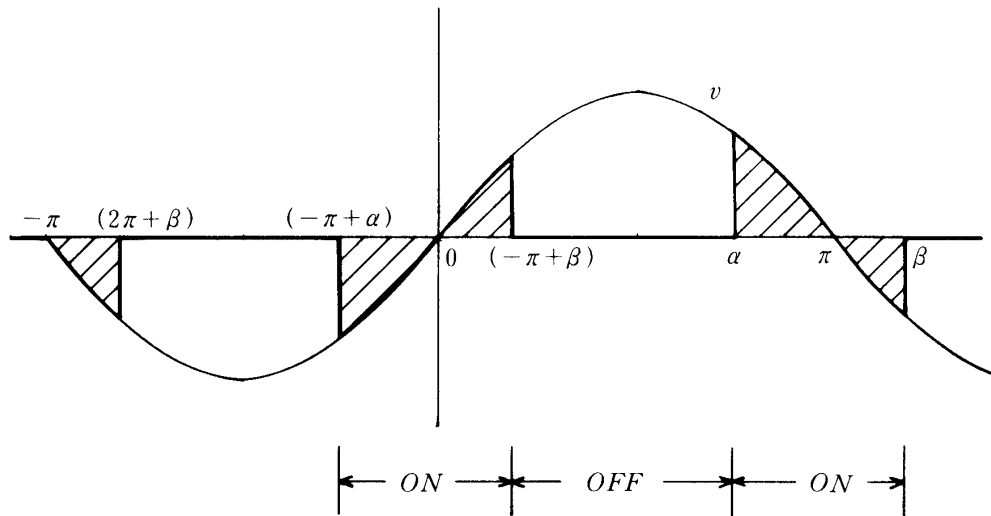
ただし、 W_s = 同期角速度、 $S_c = \frac{2R_1}{\sqrt{R_1^2 + X^2}}$

T_1 = 正相分トルク、 T_2 = 逆相分トルク

(4)式に点弧角 α に対する V_1 を代入すれば全域すべりに対する $T-\alpha$ 特性を計算することができる。次に V_1 、 V_2 について述べる。

3 サイリスタ点弧角と基本波電圧

L を含むサイリスタ回路は、 α で点弧して電流 i が流れ始めると $\omega t = \pi$ において電圧 v が零となっても i は停止せず第3図の斜線部分の面積が等しくなる β 点まで流れて、停止する。従って $R-L$ 回路は $0 \rightarrow \alpha$ 区間は OFF で $\alpha \rightarrow \beta$ 区間は ON の状態となる。この現象のため点弧角 α は回路定数 $\phi = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}$ より小さい範囲では位相制御はできない。今、サイリスタ素子を逆並列につないだ第一図(a)をみると、上述の現象より、第4図の斜線を施した区間が導通区間となる。



第4図 A巻線に加わる電圧波形

周期関数はすべて Fourier 級数に展開でき、第4図の波形も

$$v_c = \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos n\theta + b_n \sin \theta] \quad \dots\dots (5)$$

の形となる。本題において対照は基本波のみであるから(5)式の a_1 , b_1 のみ必要である。

よって

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \frac{\sqrt{2}}{\pi} V \left[\int_{\pi}^{(-2\pi+\beta)} \int_{(-\pi+\alpha)}^{(-\pi+\beta)} \int_{\alpha}^{\pi} \sin \theta \cos \theta d\theta \right] \\ b_1 &= \frac{\sqrt{2}}{\pi} V \left[\int_{-\pi}^{(-2\pi+\beta)} \int_{(-\pi+\alpha)}^{(-\pi+\beta)} \int_{\alpha}^{\pi} \sin \theta \sin \theta d\theta \right] \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots (6)$$

(6)式より

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \frac{\sqrt{2}}{\pi} V \left[\frac{\cos 2\beta - \cos 2\alpha}{2} \right] \\ b_1 &= \frac{\sqrt{2}}{\pi} V \left[(\beta - \alpha) - \frac{\sin 2\beta - \sin 2\alpha}{2} \right] \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots (7)$$

β は消弧角で、この値の決定は

$$\alpha > \tan^{-1} \frac{X}{R_1 + \frac{R'_2}{S}} = \phi$$

の範囲では

$$\sin(\alpha - \phi) \cdot \epsilon^{-\frac{R(\beta - \alpha)}{X}} = \sin(\beta - \alpha) \quad \dots\dots (18)$$

$$\text{ただし } R = R_1 + \frac{R'_2}{S}$$

ϕ , R 共に滑り S の関数であるから, その決定は困難である。 ϕ , R 一定のときの α に対する β の値は第5図に示されている。

$$\left. \begin{aligned} v_{c1} &= \sqrt{a_1^2 + b_1^2} \cos(\theta - \lambda) \\ &= \sqrt{2} V_{c1} \cos(\theta - \lambda) \end{aligned} \right\} \dots (9)$$

$$\dot{V}_{c1} = V_{c1} \cdot \epsilon^{-j\lambda}$$

ただし

$$\left. \begin{aligned} V_{c1} &= \frac{V}{\pi} \sqrt{\left(\frac{\cos 2\beta - \cos 2\alpha}{2} \right)^2 + \left((\beta - \alpha) - \frac{\sin 2\beta - \sin 2\alpha}{2} \right)^2} \\ \lambda &= \tan^{-1} \frac{b_1}{a_1} \\ &= \tan^{-1} \frac{2(\beta - \alpha) - (\sin 2\beta - \sin 2\alpha)}{\cos 2\beta - \cos 2\alpha} \end{aligned} \right\} (10)$$

励磁巻線に加わる電圧 V_e は近似的に

$$V_e = V \frac{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{S}\right)^2 + X^2}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{S}\right)^2 + (X - X_c)^2}} \quad \dots(11)$$

$S = 0$ において $V_e = V$ となり, $X_c \gg X$ であるから, $S = 1$ において $V_e < V$ となる。

4 計 算 例

下記の定数をもった AC サーボモータの特性計算を2の(4)式を用いて計算する。

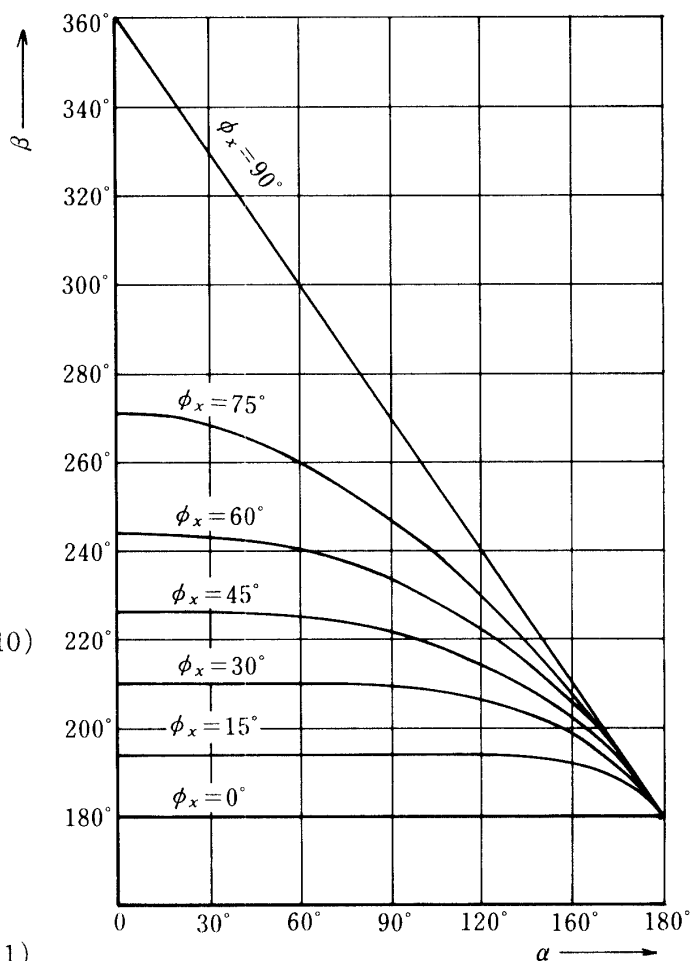
サーボモータ (玉川精機製)

2 P, 30W, 60Hz,

$R_1 = 130 (\Omega)$, $R'_2 = 670 (\Omega)$

$X = 270 (\Omega)$, $C = 2 (\mu F)$

停動トルクを発生する滑りは(3)式より,



第5図⁽²⁾ 点弧角と消弧角の関係

$$S_m = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X^2}} = \frac{670}{\sqrt{130^2 + 270^2}} = 2.23$$

$$S_c = \frac{2R_1}{\sqrt{R_1^2 + X^2}} = \frac{2 \times 130}{\sqrt{130^2 + 270^2}} = 0.866$$

$$\omega_s = 2\pi \cdot \frac{3600}{60} = 377 \text{ rev/s}$$

$S = 1$ におけるモータの力率角は

$$\phi = \tan^{-1} \frac{X}{R_1 + R'_2} = \tan^{-1} \frac{270}{800} = 18.64^\circ$$

消弧角 β は点弧角 α と滑り S の関数であるが、第5図より $\beta = 200^\circ$ 一定と仮定して計算すると

第1表 点弧角 α と基本波電圧

α	30°	45°	60°	90°	120°	150°	165°
β	200°	200°	200°	200°	200°	200°	200°
V_{c1}	98.8	92.5	83.7	58.1	28.7	25.8	1.67
λ	2.45°	7.56°	13.9°	28.9°	45.0°	48.5°	72.3°

第2表 点弧角 α と対称分電圧

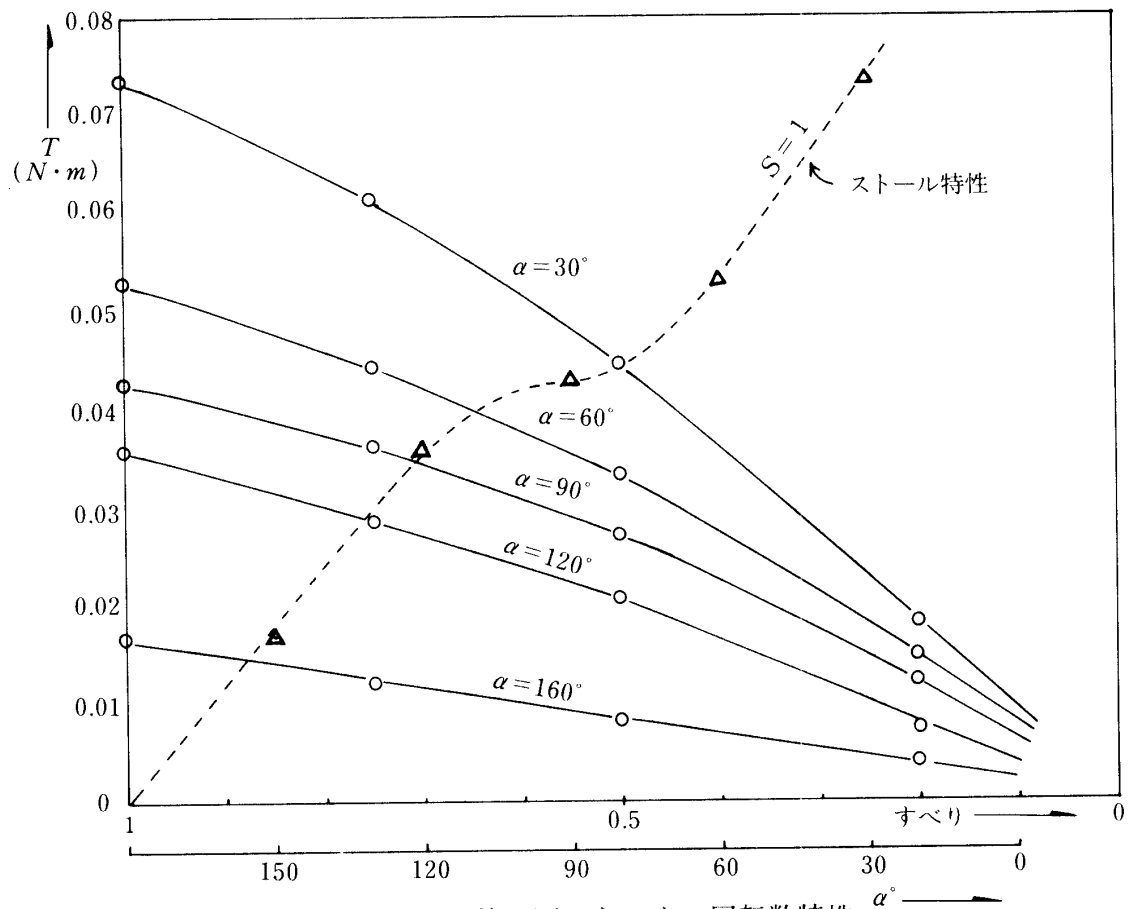
消弧角	点弧角	正相分電圧	逆相分電圧
β	α	V_1	V_2
200°	30°	80.1	19.5
—	60°	73.3	10.6
定	90°	65.7	6.1
	120°	63.0	20.0
	150°	46.5	22.0

(4)式より点弧角 α をパラメータとして、滑り S と発生するトルクを計算すると、

第3表 点弧角 α° に対する滑りと発生トルク ($N \cdot m$)

α°	30°	60°	90°	120°	150°
$T_{(S=1)} N \cdot m$	0.0732	0.0526	0.0426	0.0356	0.0167
$T_{(S=0.75)}$	0.0606	0.0441	0.0360	0.0284	0.0120
$T_{(S=0.5)}$	0.0449	0.0330	0.0270	0.0206	0.0081
$T_{(S=0.2)}$	0.0180	0.0144	0.0120	0.0067	0.0004

第3表より、トルク—回転数特性および停止時における、トルク—制御角（点弧角）特性を曲線に描くと第6図となる。



第6図 トルクー回転数特性

5 む す び

以上の計算例は、AC サーボモータのサイリスタによる混用制御時におけるトルク等の計算例であるが、この計算結果、得られた第6図より、その「すべりートルク」特性曲線は、電圧制御の場合とほぼ同一の垂下特性をもつことが、計算上わかった。なお、この結果については、今後実験的に確めていくつもりである。

参 考 文 献

- (1) エネルギー変換工学入門(下) 宮入庄太著 丸善
- (2) SCR 回路理論と電動機制御への応用 竹内寿太郎著 オーム社