

4脚形磁気論理回路

三 浦 守

1. ま え が き

各種の工業プロセスや鉄道信号などのシーケンス制御においては信頼度が高く、雑音など周囲の影響を受けない論理回路が要求される。この目的に対して、従来はフェライト磁心の複雑な形状のもの等が種々報告されている。1)~5)ここでは50%Ni—Feの短冊磁心を多脚形に組み合わせることによって、各種の論理機能を容易に実現できる磁気回路の構成が可能であることを見出したので、その1例として4脚形磁気回路の動作機構およびFail-Safe論理回路を実現するための一方法などについて報告する。この論理回路はフェライトを用いる場合²⁾に比べ製作が容易で(特に巻線の手数など)温度上昇に強いなどの利点を有する。

2. 回路および動作

4脚形磁気論理回路を図1に示す。Leg 1~4のうちLeg 1~2はInput—Leg, Leg 3~4はOutput—Legで、それらはすべて同一の断面積 (A_L) を有する。

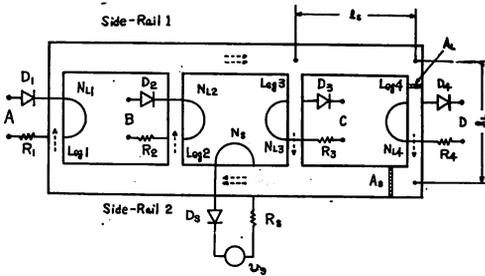


図1 4脚形磁気論理回路

Side—Rail 1~2の断面積も等しく (A_s), その大きさはLegの合計の断面積の半分かそれ以上となるようにする ($A_s \geq n_L A_L / 2$, n_L :脚数)。読出し電源電圧 V_s は各Legの磁束を図示の破線矢印のように反転させる。書込み(入力)電圧はそれと逆方向の磁束変化を生ずるように作用し、入力AまたはBのどちらか一方が存在するときには、入力側から見たLeg 3とLeg 4を通る磁路のリラクタンスの差異により、Leg 3が磁束変化を起こす。Leg 4が磁束変化を起こすのは入力A, B

の両方が存在するときである。書込み電圧と読出し電圧は半サイクル毎に交互に磁心に作用するようにし(ダイオードと巻線の極性を適当に選ぶ)、出力としては読出し期間における誘起電圧を利用する。

書込み電圧と読出し電圧の有無をそれぞれ "1", "0" で表示すれば、図1の回路の動作は表1のようになる。従ってLeg 3からは入力A, Bの "Inclusive OR" ($C = A + B$) 出力をLeg 4からは "AND" ($D = A \cdot B$) 出力を取ることができる。また出力Cと

A	B	C	D	E
0	0	0	0	0
0	1	1	0	1
1	0	1	0	1
1	1	1	1	0

表1
$$\begin{pmatrix} C = A + B \\ D = A \cdot B \\ E = A \oplus B \end{pmatrix}$$

A	B	C	D	E'
0	1	1	0	1
1	1	1	1	0

表2 $E' = \bar{A}$

Dを差動接続すれば(この出力をEとする)、出力Eは "Exclusive OR" ($E = A \oplus B$) 出力であり、出力Dと出力Eを用いることによって、half—adderの論理機能が簡単に実現できる(出力Dはcarry, 出力Eはsumとなる)。さらに、入力Bに常時 clock 信号を印加しておけば、差動出力E'は入力Aの "NOT" ($E' = \bar{A}$) 出力となる。(表2参照)

写真1~4は読出し電源電圧 V_s , 読出し時磁化電流および出力電圧等の波形で、写真1は入力A, Bが共に存在しないとき、同2は入力Bのみが存在するとき、同

3は入力Aのみと入力Bのみの場合の比較, 同4は入力A, Bが共に加わった場合を示している。

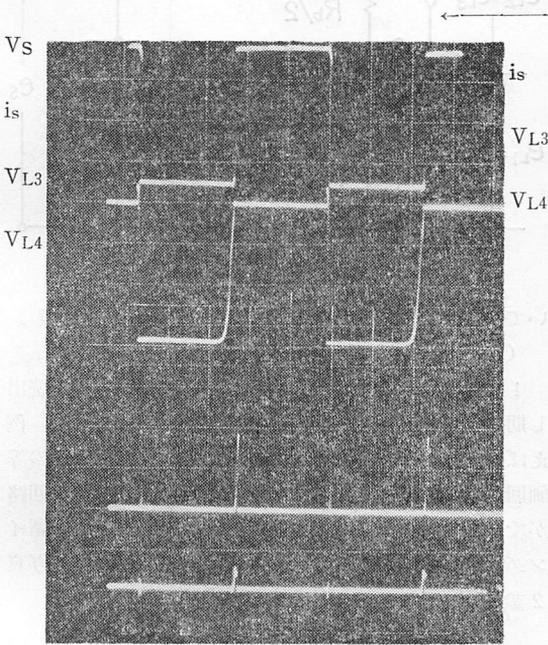


写真1 入力なし

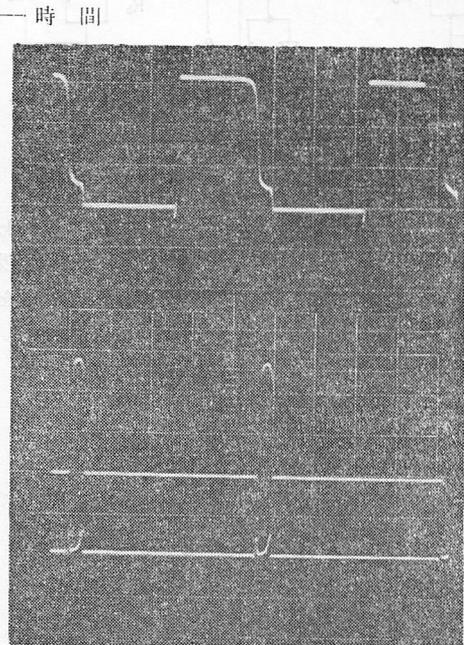


写真2 1入力(入力B)

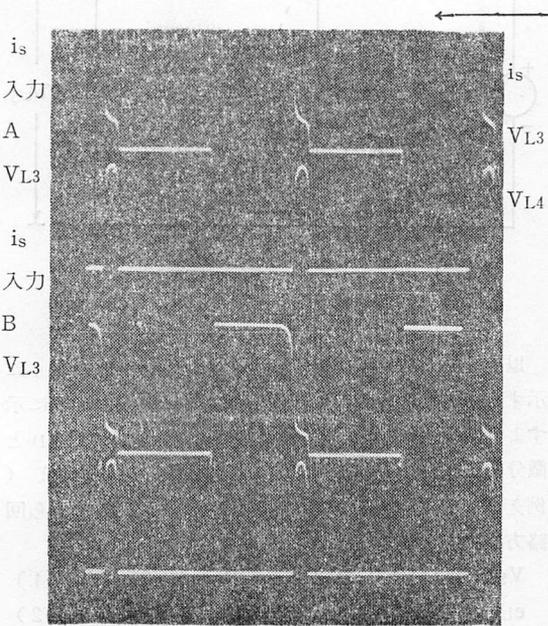


写真3 1入力

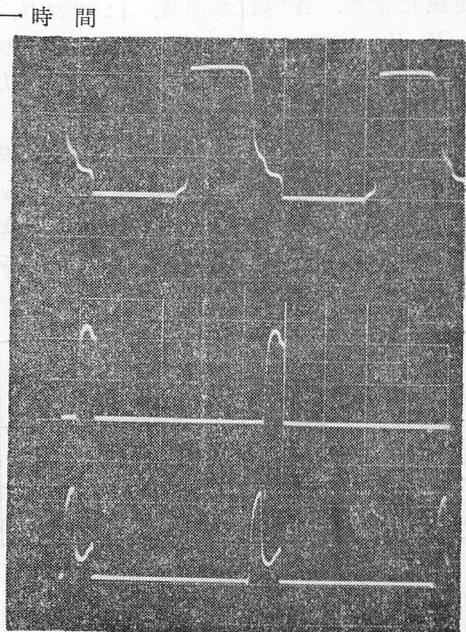


写真4 2入力

3. 等価回路

一般に複雑な磁気回路の動作を解明するためには, その電気等価回路を求めると便利であり, 6)~11) 多脚形磁

気回路の等価回路変換法についてはすでに報告したので詳細は文献12)~14)を参照されたい。

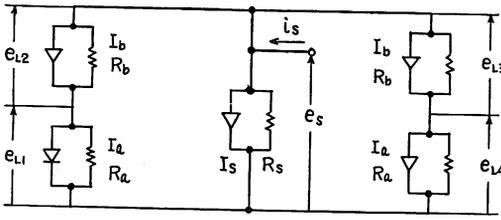


図2 4脚形磁気論理回路の等価電気回路

図1の4脚形回路の等価電気回路は図2のように表わされ、同図中で Δ の記号は磁心の定磁化電流分(電流吸収源)を示し、 $\text{---}\text{---}$ の記号は磁心の等価抵抗分を表わしている。以下 Leg については L の添字を用い、Side-Rail については S の添字を用いることにする。ここに、

e_{Lj} ($j: 1, 2 \dots 4$): Leg の巻線の誘起電圧,

e_s : 巻線 N_s の誘起電圧

$R_a = 1 / (1/R_{oL} + 2/R_{oS})$, $R_b = R_{oL}$,

$R_s = R_{oS} / 2$,

$I_a = I_{oL} + 2I_{oS}$, $I_b = I_{oL}$, $I_s = 2I_{oS}$,

$R_{oL} = N^2 \cdot \lambda_L \cdot A_L / l_L$, $R_{oS} = N^2 \cdot \lambda_S \cdot A_S / l_S$,

$I_{oL} = H_{oL} \cdot l_L / N$, $I_{oS} = H_{oS} \cdot l_S / N$

$N = N_{L1} = N_{L2} = N_{L3} = N_{L4} = N_s$,

I_0 : 定磁化電流, A : 磁心断面積, l : 磁路長,
 λ : $B / (H - H_0)$ 磁心の単位断面積 \times 単位磁路長当りの等価抵抗, H : 磁化力 (磁化の強さ), H_0 : 定磁化力 ($= F_0 / l$), F_0 : 定起磁力である。

等価回路の回路定数を求めるために、磁心の磁束制御特性を用いる方法を考え、便宜上磁心の定電流リセット特性 (御御磁化特性¹⁵⁾) を測定して、 λ および H_0 を算出した。¹⁶⁾ 表3には実験に使用した二つの資料についての結果を示す。

資料	寸法 (mm) 厚さ \times 幅 \times 長さ	λ ($\Omega/\text{cm}/T^2$)	H_0 (AT/cm)
A	0.1 \times 5 \times 90	1.74	0.127
B	0.1 \times 10 \times 95	2.90	0.184

表3 磁心寸法および磁束制御特性

4. 読出し期間の特性

読出し回路から見た場合、図2に示すように左右対称であるので、これは図3に示すように簡単化できる。なお書込み電圧は書込み期間中に完全に各 Leg の最大磁束量 ϕ_m を反転できるものとする。(書込みの特性につ

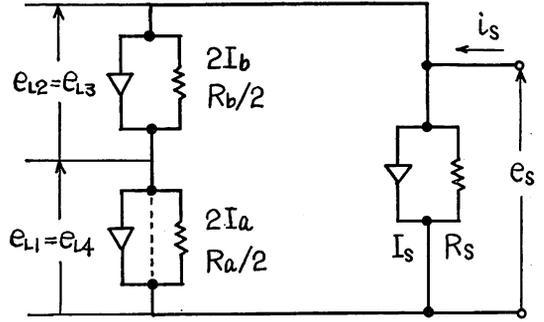


図3 簡単化等価電気回路

いてはここでは述べないがすでに一部を報告した。¹⁷⁾

(4-1) 1入力の場合 ("OR" 出力)

1入力の場合 Leg 4 の磁束は反転されないで、読出し期間においては巻線 N_4 に誘起電圧を発生しない。例えば入力 b が存在したときについて考えれば、図3の等価回路において理想的には破線で示したように短絡回路ができたものと仮定してよい。(実際には磁心の残留インダクタンスが存在するので、 $e_4 = 0$ とならない。写真2参照)

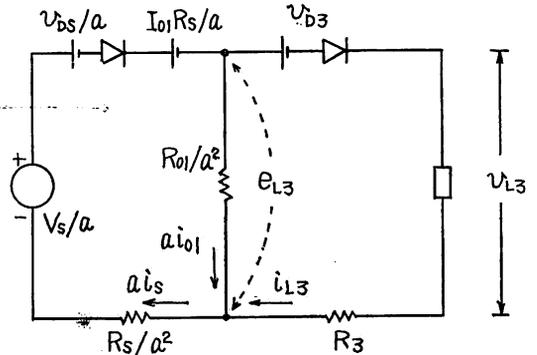


図4 読出し時等価回路 $a = \frac{N_s}{N_3}$

以上をもとに、読出し回路を含めた等価回路は図4に示すものとなる。ここに図中のダイオードは図5に示すように理想ダイオードとし、特性は不感帯電圧 V_D と微分抵抗 R_D をもって近似し、 R_D は回路の直列抵抗 (例えば R_s , R_3 など) に含めるものとする。これから回路方程式を立てると、

$$V_s/a = (V_{DS} + I_{01}R_s + i_s R_s) / a + e_{L3}, \quad (1)$$

$$e_{L3} = i_{01}R_{01}/a = V_{L3} + V_{D3} + R_{3i}I_s \quad (2)$$

$$a i_s = a i_{01} + i_{L3} \quad (3)$$

ここに a : 巻線比 ($= N_s / N_3$), $I_{01} = 2(I_{oL} + I_{oS})$, $R_{01} = R_{oL} \cdot R_{oS} / 2 (R_{oL} + R_{oS})$ である。以上の3式をもとにして、

$$e_{L3} = K (V_a - R_s \cdot i_{L3}/a) / a \quad (4)$$

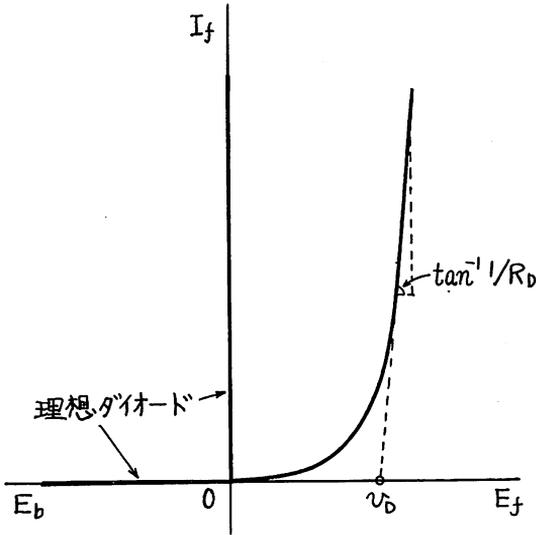


図5 ダイオード静特性の近似

ここに $K = R_{01} / (R_{01} + R_s)$, $V_a = V_s - V_{D3} - I_{01} R_s$ である。

$$V_{L3} = K V_a / a - V_{D3} - (R_3 + K R_s / a^2) I_{L3} \quad (5)$$

出力電圧の時間幅 t_1 は

$$t_1 = N_3 \phi_m / e_{L3} = N_s \phi_m / K (V_a - R_s / a) I_{L3} \quad (6)$$

また出力電圧平均値 E_L と負荷電流平均値 I_L との関係は

$$E_L = E_K (1/a - V_{D3} / K \cdot V_a) - (R_3 + V_{D3} R_s / a V_a) I_L \quad (7)$$

ただし 7) 式が成立つ範囲は、読出しの半サイクル内に Leg 3 の磁束反転が完了する条件

$$e_{L3} \geq 2f N_3 \phi_m = 2 E_K / a \quad (8)$$

を用いて

$$I_L \leq a \{ V_a / 2R_s - E_K / K \cdot R_s \} \quad (9)$$

ここに $E_K = f N_s \phi_m$, f は電源周波数である。 $e_{L3} \leq 2 E_K / a$ ならば、 E_L は

$$E_L = (K V_a - V_{D3}) / 2 - (R_3 + K R_s / a^2) I_L \quad (10)$$

(4-2) 2入力の場合 ("AND" 出力)

このときの等価回路は図4と同じで、各定数を下記のように変換するとよい。

$I_{01} \rightarrow I_{01}' (= 2 I_{0L} + 6 I_{0S})$, $i_s \rightarrow i_s'$, $e_{L3} \rightarrow e_{L4}$, $R_{01} \rightarrow R_{01}' (= R_{0S} \cdot R_{0L} / (2 R_{0S} + 6 R_{0L}))$, $V_a \rightarrow V_a'$, $a = N_s / N_4 = N_s / N_3$, $i_{01} \rightarrow i_{01}'$, $K \rightarrow K'$, $t_1 \rightarrow t_2$, $V_{D3} \rightarrow V_{D4}$, $R_3 \rightarrow R_4$ 。

また 1) ~ 7) 式までは同様に用いることができる。例えばこのときの出力電圧は

$$E_L = E_K (1/a - V_{D4} / K' V_a') - (R_4 + V_{D4} R_s / a V_a') I_L \quad (11)$$

なお、Leg 4 の磁束の反転が完了する条件は、 $(T/2 - t_1) \geq t_2$ 即ち $T/2 - N_3 \phi_m / e_{L3} \geq N_4 \phi_m / e_{L4}$ 。

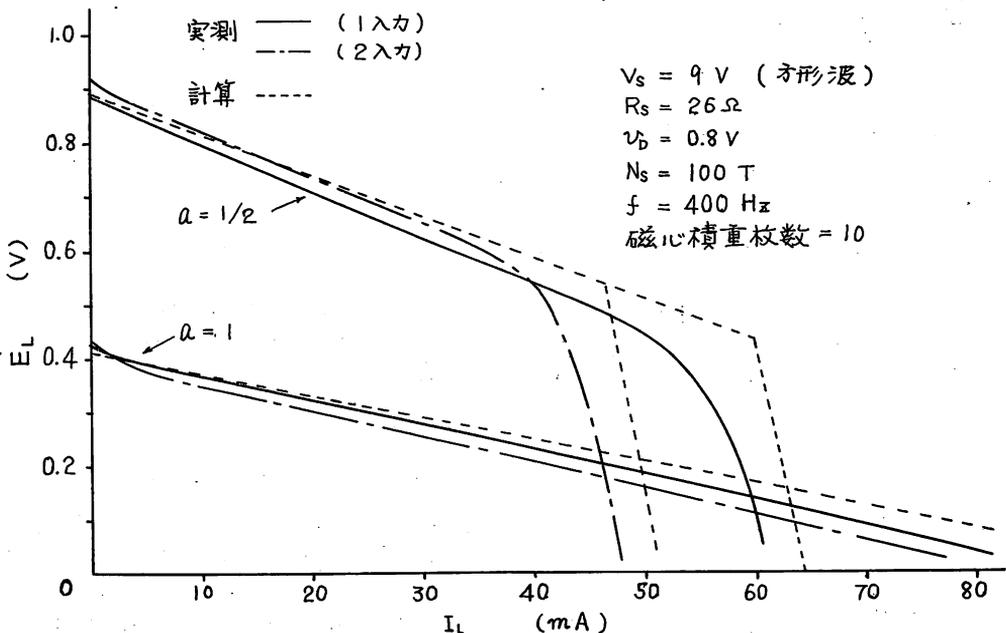


図6 負荷特性

“OR”出力の負荷電流を零とすれば、 $e_{L3} = KV_a/a$ となり (ここに $T = 1/f$),

$$e_{L4} \geq (2EK/a) (1 - 2EK/KV_a). \quad (12)$$

これから

$$I_L < a \left\{ \frac{V_a'}{2RS} Q - \frac{EK}{K'RS} \right\}. \quad (13)$$

ただし,

$$Q = (1 - 2EK/KV_a). \quad (14)$$

また $e_{L4} \leq (2EK/a) Q$ ならば,

$$E_L = Q (K'V_a'/a - V_{D4}) / 2 - (R_4 + K'RS/a^2) I_L. \quad (15)$$

以上の解析結果 ((7)式~(15)式) から1例として出力電圧 E_L - 負荷電流 I_L 特性を算出した結果が図6である。

5. Fail-Safe 論理回路

各構成要素に破壊または特性劣化が生じた場合、出力が減衰する方向に向うことを目的とし、ここではすべての巻線 N_s, N_1, N_2, N_3, N_4 と直列に補助磁心を挿入

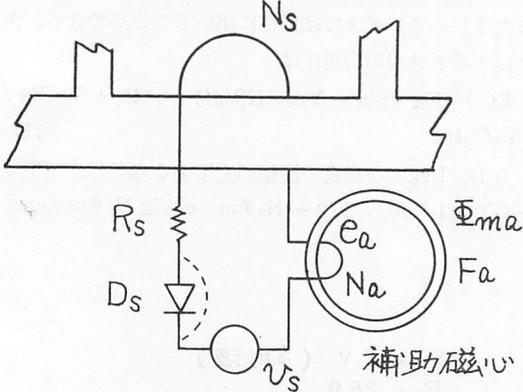


図7 Fail-Safe回路の構成

する方式を見出した。(参考までに読出し回路について図7に示す。) 供給電源 V_i から見た論理回路の定起磁力を F_i , 巻線数を N_i , 補助磁心の最大磁束量を ϕ_{ma} . 巻線数を N_a , 定磁化力を F_a とする。現実にかかる可能性の最も大きいのはダイオードの破壊である。1例としてダイオードが短絡する場合について述べると、正常時は一方向電流が流れているので補助磁心を挿入しても論理動作に大きな影響を及ぼさないが、ダイオードが短絡すると交流電流が流れることになる。このとき次の条件が満足されるならば、電源 V_i はほとんど補助磁心に作用し、論理動作は不可能となる。(図8および写真5参照)

$$\left. \begin{aligned} \int_0^{T/2} V_i dt < N_a \phi_{ma} \\ F_a / N_a < F_i / N_i \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

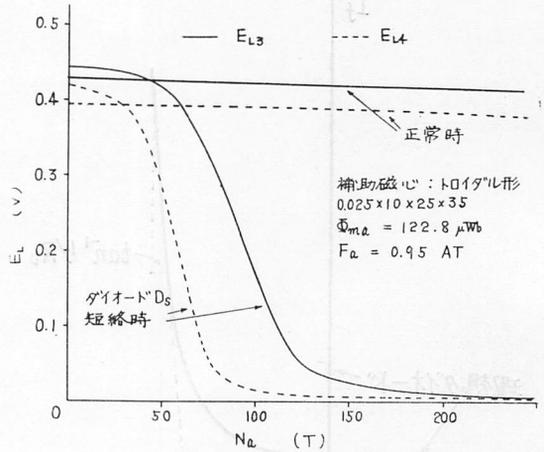


図8 Fail-Safe回路の動作

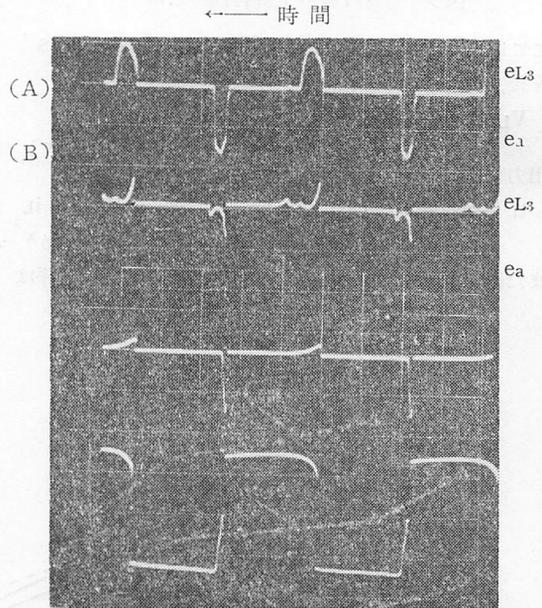


写真5 Fail-Safe回路の動作

正常時(A)とダイオード短絡時(B)の磁心誘起電圧波形

6. 温度特性

図9は周囲温度上昇に対する出力電圧変動の関係で、磁気回路だけを恒温槽に入れて実験した場合、出力ダイオードのみを除いて同様に実験した場合および全回路の場合と分けて行った。この結果全回路の場合温度の影響が非常に少いのはダイオードと磁心の温度特性が互に打消す方向に働くためである。

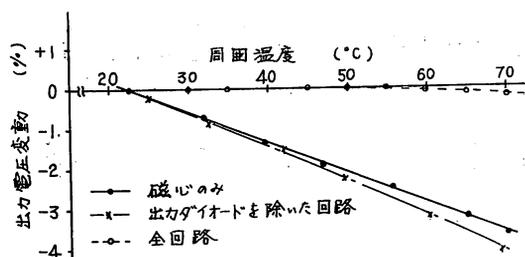


図9 出力電圧変動一周囲温度特性

7. む す び

4脚形磁気論理回路の読出し特性および Fail-Safe 回路の一方などについて述べたが、等価電気回路による特性の解析は実測値とほぼ一致することがわかった。今後は6脚形磁気回路をはじめ Laddic など他の論理回路についても解析を行う予定である。

終りに本研究は筆者が東北大学工学部電子工学科電子制御工学講座に在職中に行った研究の一部であり、終始ご指導いただく同講座菊地正教授に深謝の意を表わす。

8. 文 献

- 1) Rajchman J. A., Lo A. W. : RCA Rev., June 1955
- 2) Lockhart N. F. : IRE Natl. Conv. Record 1958
- 3) Gianola U. F., Crowley T. H. ; B.S.T. J. vol 38. 1959
- 4) Crane H. D. ; Proc. IRE. January 1959
- 5) Wanlass C.L.他 ; Proc. Western Joint Computer Conf., 1959
- 6) Kron G : (Book) Equivalent Circuit of Electric Machinery 1951
- 7) 高井, 天野 : 電学誌 74巻 昭29
- 8) 高橋 : (Book) 双対と類推 (共立) 昭35
- 9) 宮入 : (Book) エネルギー変換工学入門 昭38
- 10) 猪狩 : 電学誌 83巻 昭38
- 11) 別所 : 電学会非線形磁気応用委資料 昭42
- 12) 三浦・菊地 : 東北支部連大 5B-20 昭42
- 13) 三浦・菊地 : 電気連大 2720 昭43
- 14) 三浦・菊地 : 計測自動制御東北支部研究集会 昭43
- 15) 菊地 : エレクトロニクス 8月号 昭35
- 16) 三浦・菊地 : 東北支部連大 5B-21 昭42
- 17) 三浦・菊地 : 電気連大 2784 昭42