

# ワイヤスプリングリレーの動的特性について

## Dynamic Characteristics of the Wire Spring Relay

鈴木 弘 也\*  
Hiroya Suzuki

### 内 容 梗 概

リレーの動作、復旧時間は、回路設計上リレーコードの選択基準となる重要な特性値であり、通常リレー単体が完全に静止した状態から動作したときおよび完全に動作した状態から復旧したときの時間値をもって示す。通常動作、復旧時間はリレーに直列、または並列にそう入する抵抗値によって変化するが回路設計上この関係が必要なので、計算によって求め実測結果と比較した。

### 1. 緒 言

動作時間、復旧時間はリレーの代表的な特性値として、作動電流値とともに回路設計上リレーコードを選択する基準となる重要な数値であって、回路が所定の機能を満足するか否かを検討するに用いられ、またしばしば他の形式のリレーと性能を比較する際の特性値にあげられる。一般にリレー単体について完全に静止した状態から接点が動作するまでの時間を動作時間といい、また完全に動作した状態から接点が復旧するまでの時間を復旧時間という。この時間特性は回路の条件が複雑である場合には回路定数によって影響をうける。したがって回路検討にあたって、たとえば不感動電流値以下の電流があらかじめ流れている状態からリレーが動作するときの動作時間が必要な場合、通常はこれを実験によって求めるのが普通である。もしこの場合の動作時間がある程度正確に計算で推定できれば、回路動作の検討、リレーの選択は相当容易になり、リレー設計上にも資するところが大きい。

このような観点からリレーの動作、復旧時間と回路条件との関係を計算で求めることを試み、一例としてインパルス中継回路における動作復旧時間を算出して、別に行なった実測結果と比較したので以下にこれを報告する。

なお計算と実測との比較をワイヤスプリングリレーについて行なったのは、同リレーが交換機一般用リレーとしてもっとも代表的であり、かつカード駆動方式を採用しているため計算上取り扱いに問題が少ないと考えたからであるが、他のリレーに対しても同様な考え方が適用できる。

### 2. 検 討 の 方 針

#### 2.1 計算の方針

動作、復旧時間の計算には、いろいろの方法が用いられているが<sup>(1-4)</sup>、ここでは電磁氣的待時間と機械的運動時間とに分けて、かつ、たとえばリレーの有効磁束が初感動アンペアターン相当値となったときにアーマチュアが運動をはじめるとして計算を行なった。この方法はすでに篠原氏によって発表されている<sup>(2)</sup>が、本報ではさらに回路条件の影響を加えてこれを解いた。また計算はリレーに直接 48 V を加えたときを標準条件として、このときの作動時間と任意の回路条件における作動時間の比を計算で求めることにした。標準条件における作動時間値は各リレーに対する実測資料が求められているので、これに上述の係数を乗ずるほうが推定精度が高くなると考えたからである。

#### 2.2 実測方法の概要

計算式による推定値と実測値との比較にあたっては、インパルス中継回路に対して行なった実験結果を用いた。

\* 日立製作所戸塚工場

同実験の概要は次のとおりである。

#### (1) 回 路

代表的インパルス中継リレー WJ-916 (ワイヤスプリングリレー) による第 1 図の中継回路を用いた。

#### (2) 特性値および測定法

カム接点を 10 インパルス/秒で駆動し、A リレーを動作させ、この動作復旧時間を待時間と運動時間に分けて測定した。3 現象観測用ブラウン管面に第 2 図のようにコイル電流、アーマチュア変位、接点 a の開閉を同時に描かせて、この相対位置から時間  $t_1, t_2, t_3, t_4$  を求めた。アーマチュアの変位はアーマチュアの陰で光束を変化させ、光電管で電流に変換してオシロ入力とした。

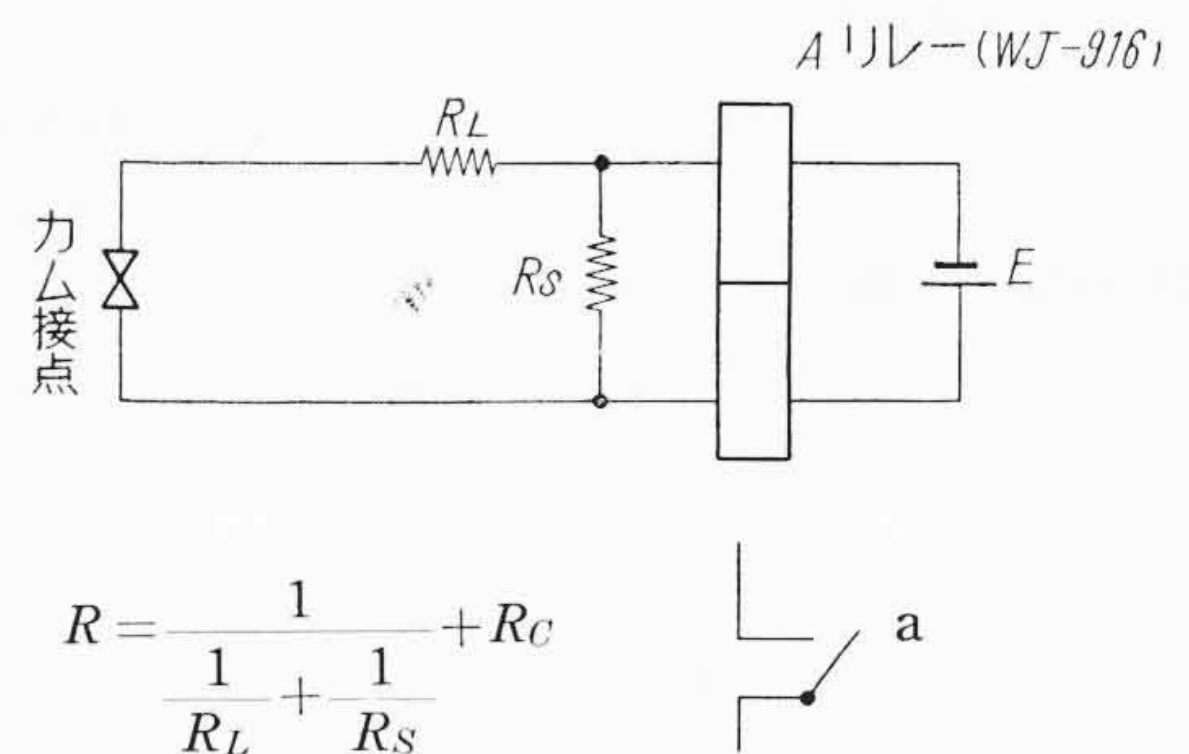
#### (3) 回路条件

回路条件は第 1 表の要因を多元配置法により組み合わせた。

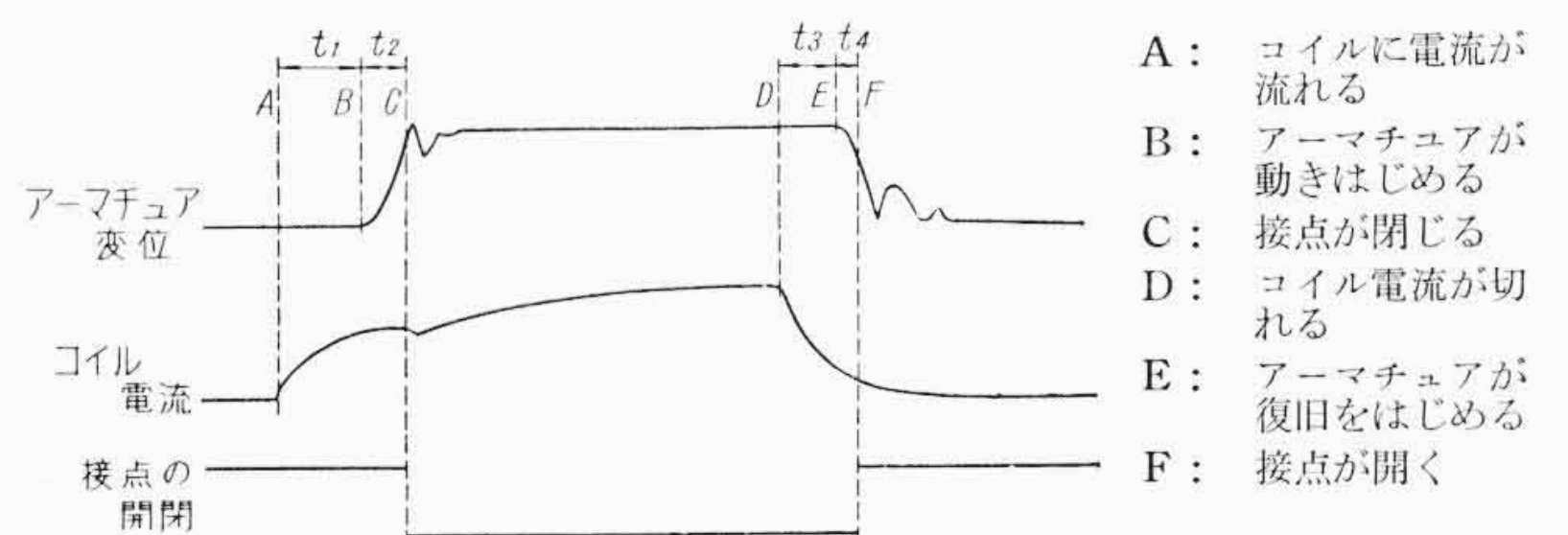
### 3. 動作時間の検討

#### 3.1 待時間の計算

コイル回路が閉じ電流が流れはじめてから、吸引力がバックテンションに等しくなってアーマチュアがバックストップをはなればじ



第 1 図 実験に用いたインパルス中継回路



第 2 図 動作復旧時間の測定波形

第 1 表 実験に組み合わせた回路条件

要 因	水 準			
$R_L$ ( $\Omega$ )	0	500	1,000	1,500
$R_S$ ( $k\Omega$ )	$\infty$	10		
$E$ (V)	42	48	54	



めるまでの時間を電磁氣的待時間  $t_1$  とする。電磁氣回路に対して成立する方程式は、 $0 \leq t \leq t_1$  においては、

$$i + (G + G_E) \frac{d\phi}{d\lambda} \cdot \frac{d\lambda}{dt} - i_m = 0 \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

- $i$  : 有効アンペアターンの瞬時値
- $i_m = \frac{NE}{R}$  : 定常状態における印加アンペアターン
- $N$  : コイルの巻数
- $E$  : 印加電圧
- $G = \frac{N^2}{R}$  : 動作時のコイル回路のコイル定数
- $G_E$  : 渦流によるコアのコイル定数
- $\phi$  : 動作時コイルにリンクする平均磁束
- $t$  : 時間

また、 $d\phi/d\lambda$  はこの状態ではほぼ一定とし、これを  $\lambda_0$  とおいて (1) を解くと、

$$t_1 = \lambda_0 (G + G_E) \ln \frac{i_m - i_s}{i_m - i_0} \dots\dots\dots (2)$$

- ただし、 $i_0$  : リレーの初感動アンペアターン
- $i_s = \frac{NE}{R_c + R_s}$  : コイル回路が開いているとき ( $t=0$ ) の  $R_s$  に基因するアンペアターン

第 1 図のインパルス中継回路の場合、この回路定数を用いると、

$$t_1 = \lambda_0 \left( \frac{N^2}{R} + G_E \right) \ln \frac{\frac{E}{R} - \frac{E}{R_c + R_s}}{\frac{E}{R} - I_0} \dots\dots\dots (3)$$

- ただし、 $I_0$  : リレーの初感動電流
- また標準条件のときの待時間をとくに  $t_{1s}$  とすれば、

$$t_{1s} = \lambda_0 \left( \frac{N^2}{R_c} + G_E \right) \ln \frac{\frac{48}{R_c}}{\frac{48}{R_c} - I_0} \dots\dots\dots (4)$$

(3), (4) より  $t_1/t_{1s}$  を任意の回路条件に対して計算することができる。回路条件が第 1 表の水準によって変化したときの  $G_E$  の変化は、これを一定として取り扱ったとき  $t_1/t_{1s}$  に対して最大 3% 程度の誤差を与えると推定されるがここでは  $G_E$  は一定とみなした。

3.2 運動時間の計算

次にアーマチュアがバックストップを離れてから、接点が動作するまでの機械的運動時間  $t_2$  を求める。すでに知られているように、機械系に対しては

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + K(x) - F(x, i) = 0 \dots\dots\dots (5)$$

が成立し、これを解くと近似的に

$$t_2 = \sqrt[3]{\frac{6m(x_1 - x_0)}{\left(\frac{\partial F}{\partial i}\right)_{x_0, i_0} \left(\frac{di}{dt}\right)_{t_1}}}} \dots\dots\dots (6)$$

となる。ただし

- $m$  : 可動部分の等価質量
- $x_1$  : 接点が動作するときのアーマチュアの位置
- $x_0$  : 静止状態におけるアーマチュアの位置
- $K(x)$  : アーマチュアの負荷となるバネ系の反抗力
- $F(x, i)$  : 電磁石の吸引力

(6) において、回路条件によって変わるのは  $(di/dt)_{t_1}$  である。

(1) より

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{t_1} = \frac{i_m - i_0}{\lambda_0 (G + G_E)}$$

これを用いれば、

$$t_2 = \sqrt[3]{\frac{6m(x_1 - x_0)}{\left(\frac{\partial F}{\partial i}\right)_{x_0, i_0} \left\{ \frac{i_m - i_0}{\lambda_0 (G + G_E)} \right\}}} \dots\dots\dots (7)$$

したがってこれを第 1 図の回路定数で表わし、 $t_2$  と標準条件における運動時間  $t_{2s}$  との比を求めると

$$\frac{t_2}{t_{2s}} = \sqrt[3]{\frac{\left(\frac{N^2}{R} + G_E\right) \left(\frac{48}{R_c} - I_0\right)}{\left(\frac{N^2}{R_c} + G_E\right) \left(\frac{E}{R} - I_0\right)}} \dots\dots\dots (8)$$

が得られる。

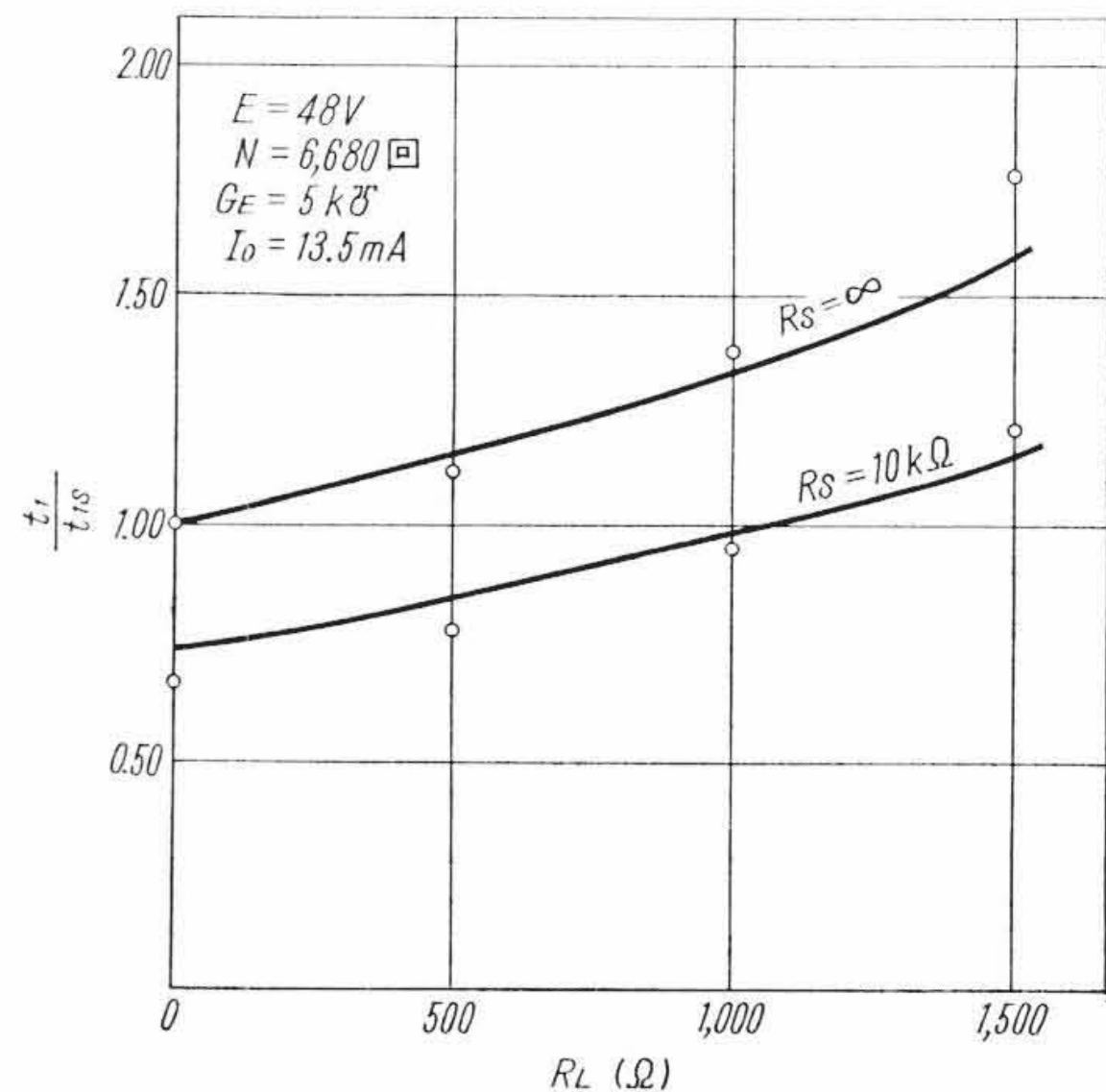
なお本計算例の範囲では (6) の近似性は十分であった。

3.3 実測値との比較

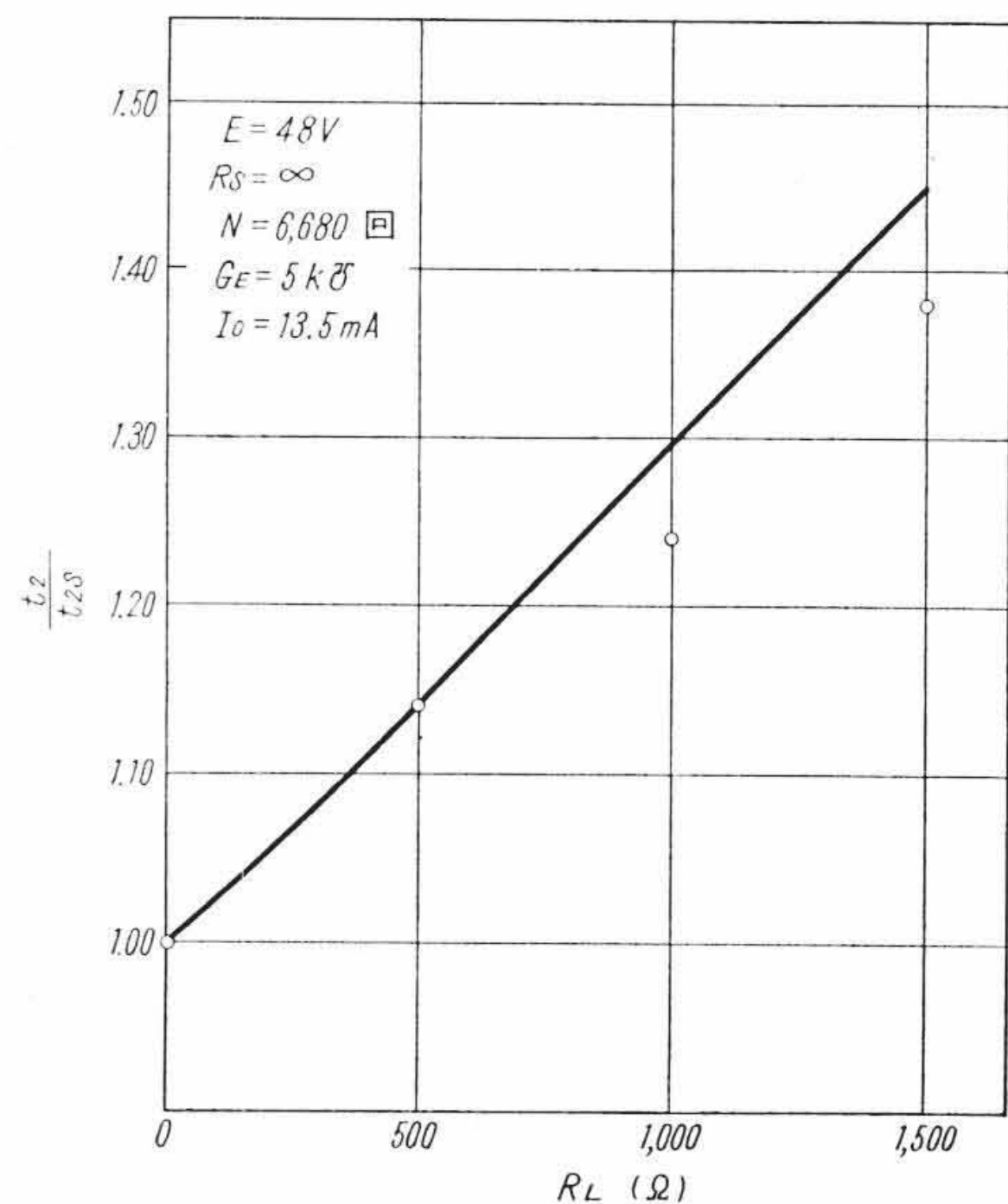
第 3 図は (3), (4) から計算した  $t_1/t_{1s}$  と実測値を比較した一例であって標準条件から、 $R_L, R_s$  が変化した場合の  $t_1$  の値がほぼ推定できることがわかる。

また第 4 図は  $t_2/t_{2s}$  に対する比較結果を示す。(8) から、 $R_L$  に比べ  $R_s$  が十分高ければ、 $t_2/t_{2s}$  は  $R_s$  にほとんど関係しないことが明らかである。 $t_2$  に対する実測でも要因  $R_s$  の変動は小さく、 $E, R_L$  の変動の合計の約 3.7% にしかすぎなかった。第 2 表は分散分析結果を示す。

第 3, 4 図で特に  $R_L$  の大きいとき計算と実測との差が相当大となるが、これは  $G_E$  だけの影響とは考えられずさらに広範囲に実験を行ない検討する予定である。



第 3 図  $t_1/t_{1s}$  の計算値と実測値

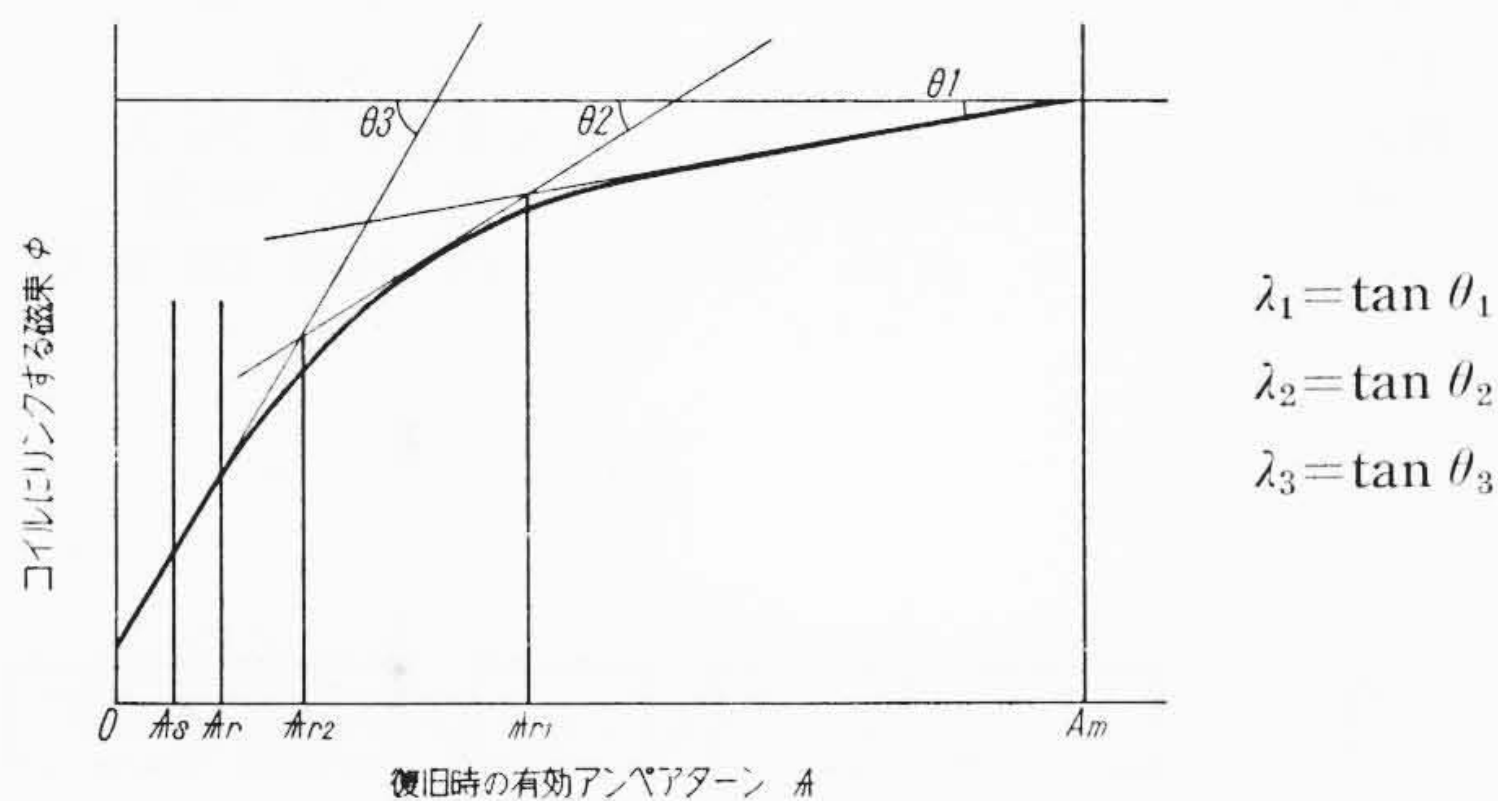


第 4 図  $t_2/t_{2s}$  の計算値と実測値



第2表  $t_2$  に対する分散分析結果

特性値 = $t_2 \times 10$						
要因	S.S.	自由度	M.S.	F	判定	$\sigma$
$E$	3,262	2	1,631.0	68.0	**	0.49
$R_L$	9,106	3	3,035.3	126.5	**	
$R_s$	458	1	458.0	19.1	**	
火花消去回路	5	1	5.0	0.21		
インパルス	331	6	51.8	2.16	*	
$e$	7,721	322	24.0			
計	20,863	335	5,025.1			



第5図  $\phi$  と  $A$  の関係の折線による近似

4. 復旧時間の検討

4.1 待時間の計算

コイル回路が開いて磁束が減少をはじめてから、残留吸引力がバネ系の動作時の負荷に等しくなってアーマチュアが復旧運動をはじめまでの時間を復旧時の待時間  $t_3$  とする。この場合  $0 \leq t \leq t_3$  に対して(1)と同様の関係が成立する。すなわち

$$A + (G_s + G_E) \frac{d\phi}{dA} \frac{dA}{dt} - A_s = 0 \dots\dots\dots (9)$$

ただし、

$$G_s = \frac{N^2}{R_c + R_s} : \text{復旧時のコイル回路のコイル定数}$$

$$\phi : \text{復旧時にコイルにリンクする平均磁束}$$

である。これより

$$t_3 = -(G_s + G_E) \int_{A_m}^{A_r} \frac{\left(\frac{d\phi}{dA}\right)}{A - A_s} dA \dots\dots\dots (10)$$

ここで復旧時の  $d\phi/dA$  は一定として取り扱おうと誤差が大きくなるので第5図のように  $\phi$  と  $A$  の関係を折線で近似して解を求めることが多い。第1図記載の定数を用いて(10)を計算すると

$$t_3 = (G_s + G_E) \left\{ \lambda_1 \ln \frac{A_m - A_s}{A_{r1} - A_s} + \lambda_2 \ln \frac{A_{r1} - A_s}{A_{r2} - A_s} + \lambda_3 \ln \frac{A_{r2} - A_s}{A_r - A_s} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

ただし(10), (11)で  $A_r$  = リレーの初開放アンペアターンである。これより前節と同様にして  $t_3/t_{3s}$  を求めることができる。ただし、 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  は  $A_m$  の関数である。

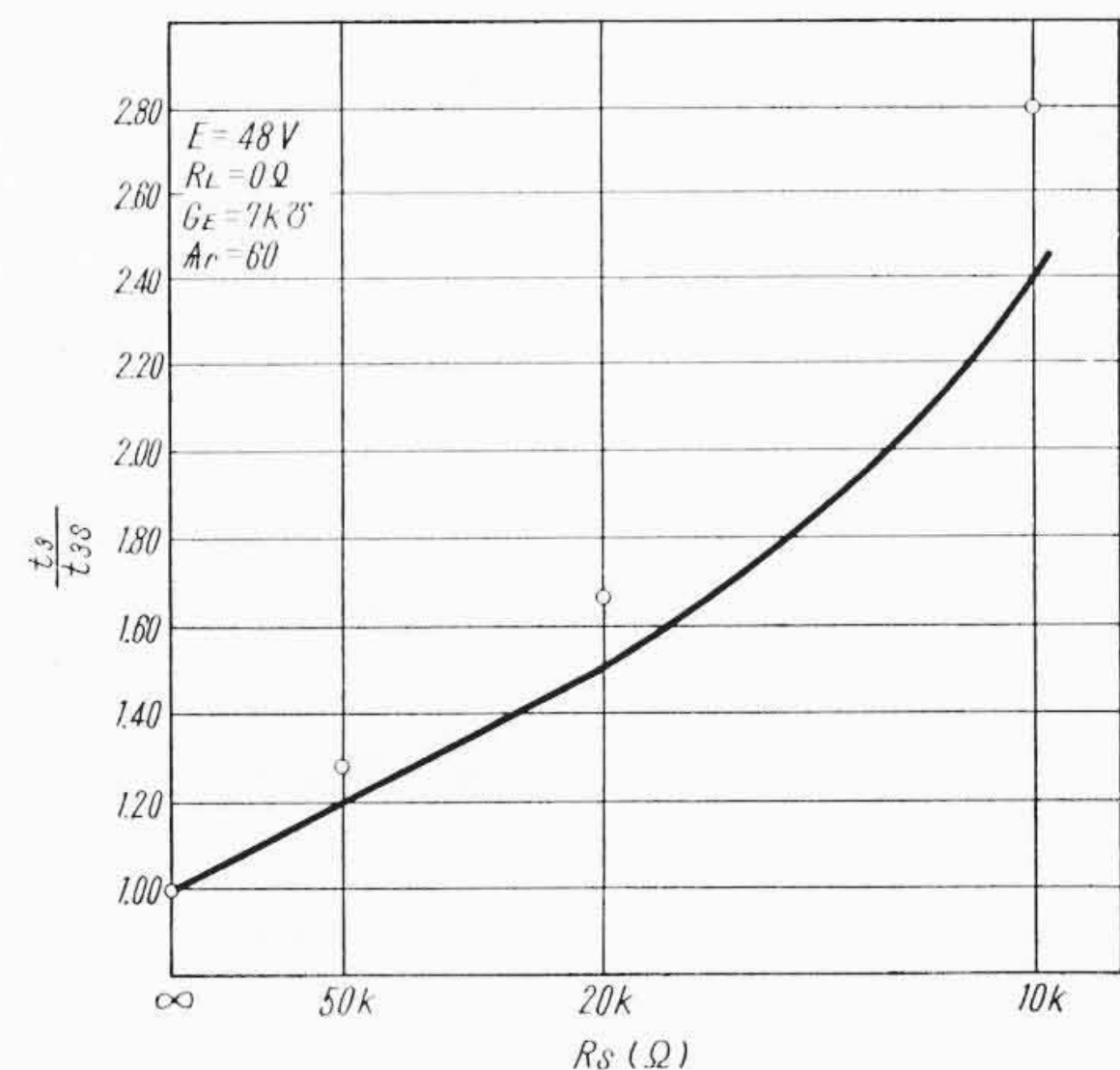
4.2 運動時間の計算

アーマチュアが復旧運動をはじめてから、接点が復旧するまでの機械的運動時間  $t_4$  は(5)と同様の基本式から計算される。

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + F(x, A) - K(x) = 0 \dots\dots\dots (12)$$

これから、

$$t_4 = 3 \sqrt{\frac{6m(x_2 - x_f)}{\left(\frac{\partial F}{\partial A}\right)_{x_f, A_f} \left(\frac{dA}{dt}\right)_{t_3}} \dots\dots\dots (13)$$



第6図  $t_3/t_{3s}$  の計算値と実測値

となる。ただし

$x_2$ : 接点が復旧するときのアーマチュアの位置 (動作のときと  $x$  のとり方が異なる)

$x_f$ : 動作状態におけるアーマチュアの位置

3.2節と同様の方法によって、標準条件における運動時間  $t_{4s}$  と  $t_4$  の比が求められる。すなわち(13)において回路条件によって変化する値は

$$\left(\frac{dA}{dt}\right)_{t_3} = \frac{A_s - A_r}{\lambda_r (G_s + G_E)}$$

だけである。これを(13)に代入すれば

$$t_4 = 3 \sqrt{\frac{6m(x_2 - x_f)}{\left(\frac{\partial F}{\partial A}\right)_{x_f, A_f} \left\{ \frac{A_s - A_r}{\lambda_r (G_s + G_E)} \right\}}} \dots\dots\dots (14)$$

$$\frac{t_4}{t_{4s}} = 3 \sqrt{\frac{\lambda_r \left( \frac{N^2}{R_c + R_s} + G_E \right) I_r}{\lambda_{rs} G_E \left( I_r - \frac{E}{R_s} \right)}} \dots\dots\dots (15)$$

ただし、

$I_r$ : リレーの開放電流

$\lambda_r$ : 一般の回路条件に対する  $\left(\frac{d\phi}{dA}\right)_{A_r}$

$\lambda_{rs}$ : 標準条件に対する  $\left(\frac{d\phi}{dA}\right)_{A_r}$

である。

4.3 実測値との比較

第6図は  $t_3/t_{3s}$  に対して計算値と実測値を比較した一例である。この実測値に限り  $R_s$  を  $\infty, 50, 20, 10 \text{ k}\Omega$  の4段階に変え、 $E=48 \text{ V}$ ,  $R_L=0$  として測定を行なった。 $R_s$  が小さいときには推定の精度が相当低下しているが、別の実験結果からこの原因は(11)の { } 内の項にあると考えられる。

また(15)は、もし  $R_s = \infty$  であれば  $\sqrt[3]{\frac{\lambda_r}{\lambda_{rs}}}$  となり、ほとんど  $E, R_L$  には無関係となることが予想されるが、実験でも  $E, R_L$  による変動はそのほかの変動の 5.2% にすぎず、同様な結果となった。 $E=48 \text{ V}$ ,  $R_L=0$ ,  $R_s=10 \text{ k}\Omega$  に対する  $t_4/t_{4s}$  の計算値は 1.65 で、実測値 1.74 と比較的よく一致する。

5. 結 論

前述の計算式から異なった回路条件に対して

(1) リレーの作動時間を近似的に推定することができ、回路設計時におけるリレーの選択、回路定数決定の参考となる。

(2) リレーの作動時間に対する諸因子の影響程度を算定することができ、回路構成、リレー設計上の方針決定の資料となる。



(3) 実測値を整理するとき諸因子の影響のしかたが明らかとなり、精度の高い実験式を作ることができる。

6. 結 言

以上ワイヤスプリングリレーに対する動作、復旧時間と回路条件との関係式を求め実測結果と比較して示した。この式だけで時間値を完全に決定するには不十分な点があり、また接点組数が多く、アーマチュアヘジテーションを生ずるような場合についてはさらに考慮を要するが、従来一般に実測のみによっていた時間の推定を本論文の計算法により行なうことができ、検討能率を向上することができる。

今後リレー特性の理論的追求とともにその結果の取り扱いの容易化をはかり、使用者各位のご要求にこたえるよう努力するつもりである。

ある。

終に常にご指導いただいている日本電信電話公社、電気通信研究所、窪小谷調査役、関屋主任の各氏をはじめ、本検討にあたり種々ご激励いただいた戸塚工場の各位に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 岡田, 窪小谷, 篠原: 無極継電器の動作解析, 電気試験所記念論文集 (1948)
- (2) 篠原: 電磁継電器に関する研究, 通研研究実用化報告第 8 巻第 1 号 (1959)
- (3) 篠原: 電磁継電器の動特性, 通学誌 41, 2 (昭 33-3)
- (4) Switching Relay Design D. Van Nostrand Co., Inc. (1955)
- (5) 小林, 篠原: WA 系継電器, 通研月報 (昭 32-8)
- (6) 篠原: ワイヤスプリング継電器, 電気通信学会 (昭 35)
- (7) 小林, 田島, 三井, 鈴木: 日立評論, 40, 385 (昭 33-3)
- (8) 三井, 鈴木, 三谷, 清水: 日立評論, 43, 1020 (昭 36-8)



特 許 の 紹 介



特 許 第 275550 号

安 藤 卓 郎

空 気 遮 断 器

この発明は、常時遮断用圧縮空気を充気した遮断室内に固定接触子および可動接触子を備え、この可動接触子は遮断用圧縮空気系とは異なる他の操作用圧縮空気系の送気圧により駆動操作される駆動ピストンに連結されるとともに、このピストンの後方には 1 個の弁孔と遮断時一時的にこれを開放し、後で時限的に閉成する吹付衝流発生用主弁とを備えたことを特長とするものである。

図は遮断器投入用プランジャ 28 を付勢してレバー 26 を回転させ遮断操作弁室 24 の弁 24v を閉成するとともに、投入操作弁室 25 の弁 25v を開放し可動接触子 6 の駆動シリンダ 7 内および主弁駆動シリンダ 16 内を絶縁通気管 22 を通して遮断用圧縮空気だめ 1 内に連通し、各シリンダ 7, 16 内の圧力を遮断用圧縮空気圧とほぼ等しくし、これにより駆動シリンダ 7 のピストン 8 を圧縮バネ 9 のバネ圧により前方へ駆動し、よって可動接触子 6 を固定接触子 5 へ投入した遮断器の閉路状態を示すものである。

今、上述のような閉路状態より遮断器を開路しようとするには当初、遮断用プランジャ 27 を付勢し、レバー 26 を回転させて、投入操作弁室 25 の弁 25v を開放するので、操作用圧縮空気だめ 20 内の圧縮空気は、絶縁通気管 22 を通って各シリンダ 7 および 16 に送気され、これにより可動接触子駆動シリンダ 7 のピストン 8 は圧縮バネ 9 のバネ圧に抗して後方に駆動され、可動接触子 6 を固定接触子 5 より開離し、これら両接触子間にアークを発生する。

ところが、可動接触子 6 の開離後退とともに主弁駆動シリンダ 16 内にも駆動シリンダ 7 と同時に送気されているため、ピストン 18 は圧縮バネ 17 のバネ圧に抗して前方へ駆動され、それに連結された主弁 15 を前方へ駆動して弁孔 14 を開放する。弁孔 14 の開放によって遮断室 2 内の圧縮空気は大気中に放流するが、このとき接触子 5, 6 間に衝流を発生し、そこに発生しているアークを吹いてクーラ 13 を経て弁孔 14 より大気放出口を通して大気中へ放出される。

このときピストン 8 は主弁 15 の尾部にささえられ、接触子 5, 6 の開路距離が適当なアーク長になるように保ち、吹付けられる。

このようにして接触子間のアークは消弧され、消弧後は絶縁に十分な距離までピストン 15 の運動につれて開離後退し、駆動シリンダ 7 内に圧縮空気が充気されている間はピストン 8 によってその位置に保持される。

両接触子 5, 6 間のアークが消滅した後は、主弁駆動シリンダ 16 内の a 室および b 室はピストン 18 の時限開孔 19 を通して圧力が平衡し、このためピストン 18 は操作用圧縮空気がシリンダ 16 内に充気されているにもかかわらず、圧縮バネ 17 によってピストン 8 と連動しながら再び後方へ駆動され、したがって主弁 15 は弁孔 14 を閉成し、遮断室 2 内の圧縮空気の放流を阻止し、遮断器は遮断動作を終了し開路状態におかれるものである。

この発明によれば、可動接触子 6 は投入時には遮断用圧縮空気を

充気した状態で、圧縮バネ 9 により緩衝的に操作され、また遮断時には、操作用圧縮空気圧によって操作されることになり、可動接触子 6 に無理な力が加圧されずすむとともに、特に主弁 15 は 1 個の弁孔 14 の開閉によって吹付消弧を行なうことができ、これとあいまって可動接触子 6 の駆動操作機構および主弁機構を遮断室 3 の一方へ配置したことから遮断器全体の単位長を短縮することができる。(須田)

