

電話交換機用継電器の巻線と動作時間特性

Winding and Operate Time Characteristics of Relay
for Telephone Switching Systems

菊 地 誠* 森 山 寛 美*

内 容 梗 概

自動電話交換機には磁氣的機械的構造を共通にした一般用継電器がつかわれる。一般用継電器に関する設計は回路上の要求からきまる接点バネ負荷を十分駆動することができ、必要な動作時間を実現できる巻線を設計することに要約される。本文には、感動アンペアターン、入力、コイル定数（電流立上の時定数に関係のある量）から動作時間を求めるノモグラムについて述べられているが、これはクロスバー交換機のマーカースタックのような高速度を必要とする継電器の設計、あたえられた入力に対して継電器をもつとも早く動作させる巻線、または、あたえられた動作時間に対してもつとも入力の少くすむ巻線の設計など、継電器巻線の経済設計になくてはならないものである。

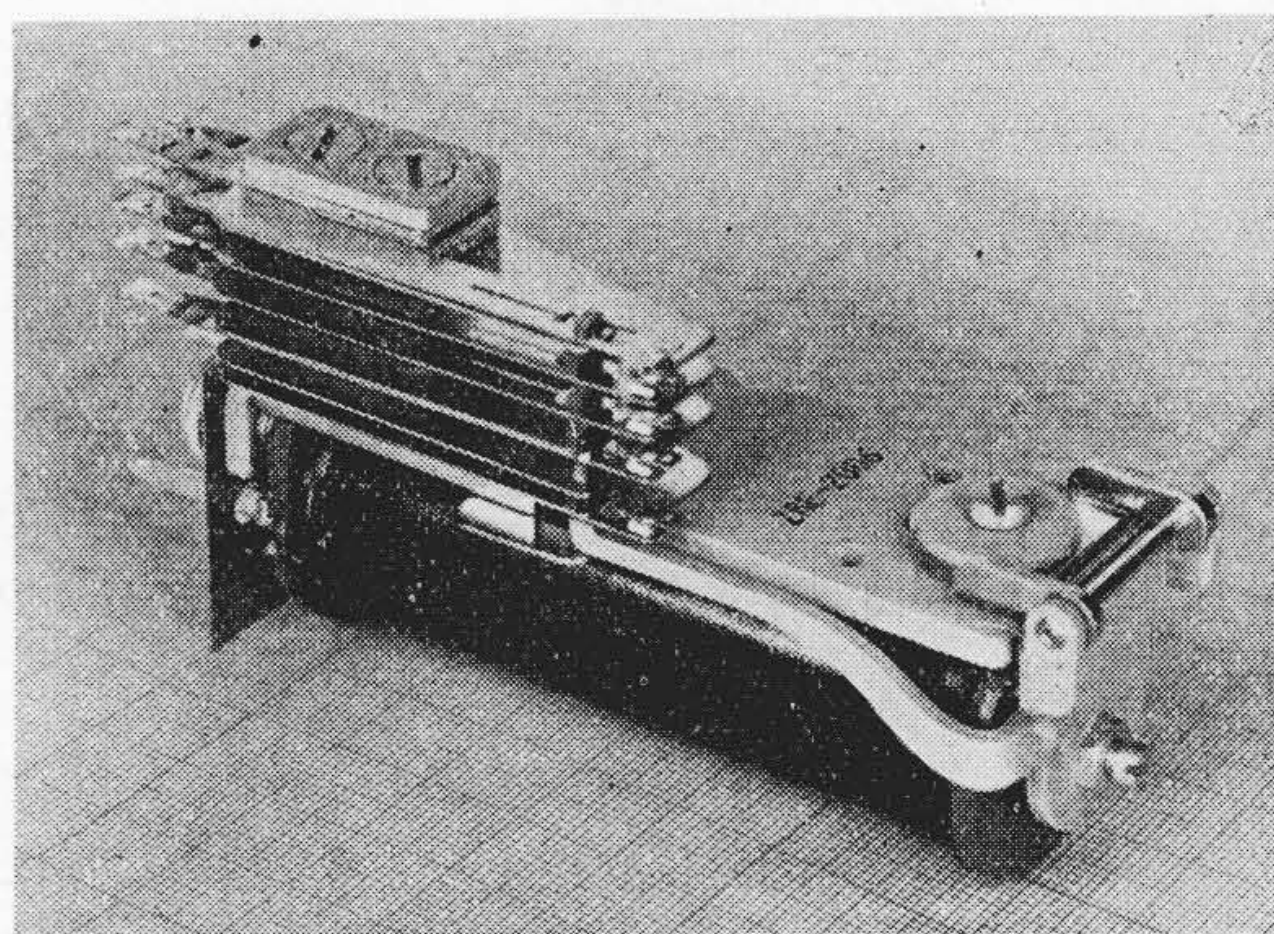
〔I〕 緒 言

自動電話交換機はその大部分の機能が継電器によつて果されているので、回路上の種々の機能に完全に適合した継電器を必要とする。しかし、各機能ごとに磁氣的機械的構造をことにする継電器を設計製作していたのでは、保守上にいちじるしく不便であるばかりでなく製作面においても好ましくない。このような観点から自動電話交換機には、一般用継電器と称し、接点バネ組と巻線とをのぞいて磁氣的機械的構造を共通にした継電器が使用される。水平形継電器、平形継電器、U,Y 形継電器、⁽¹⁾ワイヤ・スプリング・リレー⁽²⁾などがこれである。いかなる一般用継電器が最適であるかは回路方式や製造技術を十分に検討した結果決定されることであつて、すこぶる複雑で重要な問題である。

しかし、この一般用継電器が決定すれば、その後における狭義の継電器設計は、接点バネ組と巻線とをどのように決定し組合わせるかということになる。接点バネ組は回路機能および最大搭載限度から決定するものであつて、継電器設計者が実際に頭をつかうのは巻線の決定である。

われわれが継電器巻線を設計する場合、一般に経験にたよることが多い。これは継電器が非線形要素（コア、アーマチュアの磁氣的飽和、アーマチュア・ギャップに対して不連続な接点バネ負荷など）をもっているため解析困難で実用になるような簡単でしかも正確な公式がないからにほかならない。本文にあげた資料もすべて実験により求められたものであるが、その資料が実用になるか否かは実験の計画ならびにまとめ方にかかっていると見える。

巻線の設計とは、後述するように、規定の電圧で継電器が感動し、必要な時間内に継電器が動作する条件を巻



第1図 ZRE 形双子接点水平形継電器
Fig. 1. Type ZRE, Twin Contact Horizontal Type Relay

線にあたえることであるが、本文には紙面の都合上特につかみにくい動作時間と巻線との関係に重点をおき、第1図に示すような ZRE 形双子接点水平形継電器⁽³⁾を例として、巻線の諸定数、接点バネ負荷（感動アンペアターン）と動作時間との関係を見出せるノモグラムの作成について主として述べてある。

〔II〕 巻線設計の原理

継電器の磁氣的機械的構造が定まっている場合、継電器の動作特性を決定する要素は

- ①接点バネ負荷
- ②コイル定数（電流立上の時定数に関係のある量）
- ③入力

の3つである。①から感動アンペアターンがきまり、②③の3つから動作時間がきまる。

コイル定数は、巻数を N とし抵抗（巻線に直列に入る抵抗も含めて）を R とすると N^2/R であらわされるが、交換機では使用電圧が普通 48 V であるから②③のコイル定数と入力とは巻数 N と抵抗 R とに置換えることができる。結局、巻線の設計はあたえられた接点バ

* 日立製作所戸塚工場

ネ負荷をもとにして

(i) 感動アンペアターンの条件 (定常アンペアターン > 感動アンペアターン)

(ii) 動作時間の条件 (回路上の要求による)

とを満すような巻数 N と抵抗 R とをえらぶことに要約される。つぎに、この2項目について概括的に説明する。

なお発熱についての考察は特別の場合にしか問題にならないので本文では省略する。

(1) 感動アンペアターン

感動アンペアターンは、以下述べるように負荷特性と吸引力特性とを比較することによりえられる。接点バネ負荷とアーマチュア・ギャップとの関係、すなわち負荷特性は、接点バネが弾性限界内でつかわれるので比較的容易に解くことができる。一方、巻線のアンペアターンをパラメータにとつたアーマチュア・ギャップと吸引力との関係、すなわち吸引力特性は実験により求めることができる。これらの1例を第2図に示すが、負荷特性に接する吸引力特性が求める感動アンペアターンをあたえる。この方法は接点バネ組がことなるとに負荷特性を画かなければならず、簡便なものとはいえない。そこで、つぎのような簡便法を採用した。

第2図に x_1 で示される基準ギャップに関して、アンペアターンと吸引力との関係を求めると第3図のようになり、実用範囲内で

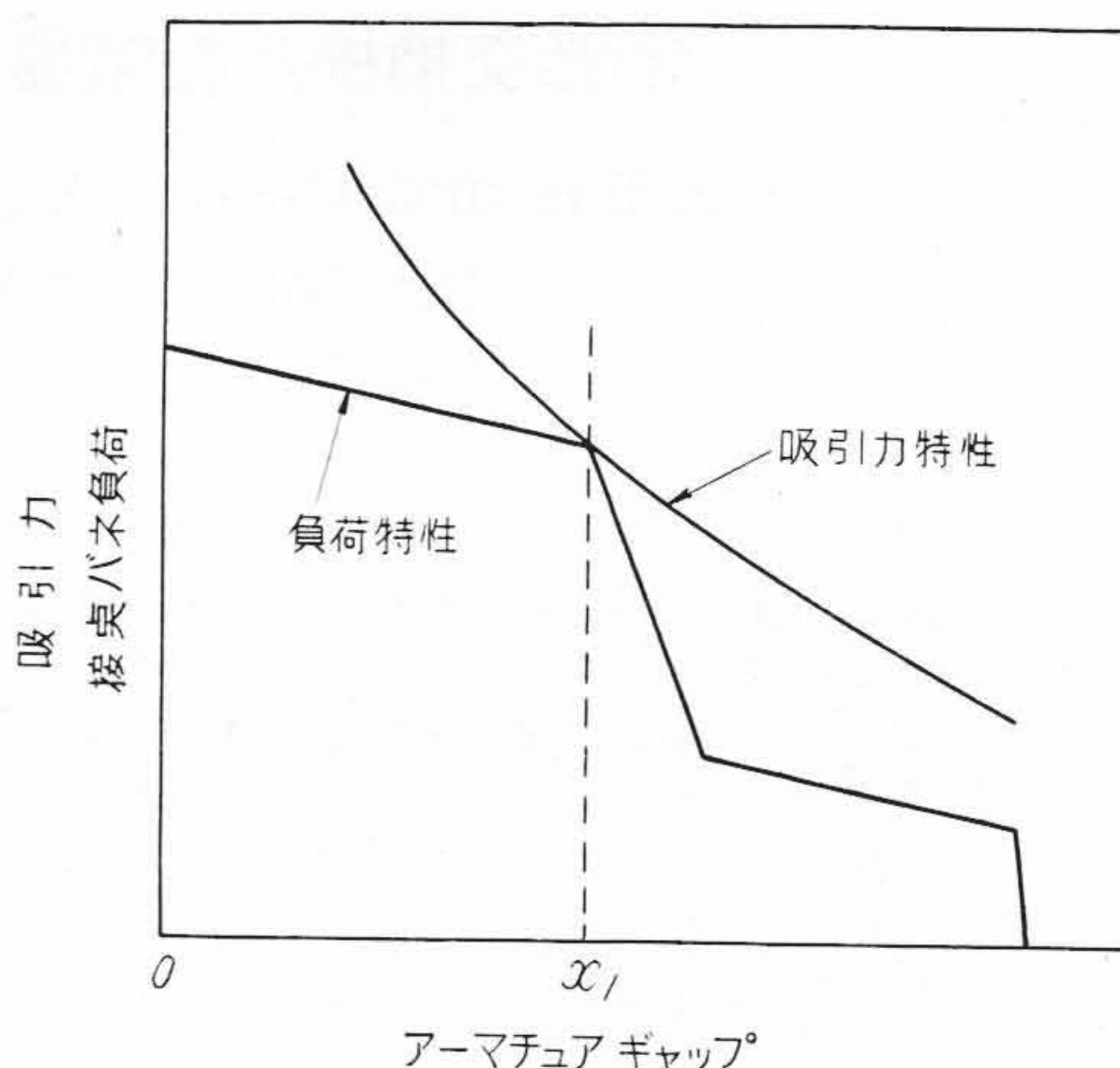
$$A = 70 + \frac{1}{2}x \dots\dots\dots (1)$$

のように非常に簡単な直線関係がえられることがわかる。これは磁気回路の飽和によるものである。一方、単位接点バネ負荷を適当な方法で基準ギャップの吸引力に換算し単位バネ負荷係数とすれば、あたえられたバネ組は単位バネ負荷係数の和に変換され、感動アンペアターンはバネ負荷係数を(1)式に代入することにより容易に計算することができる。

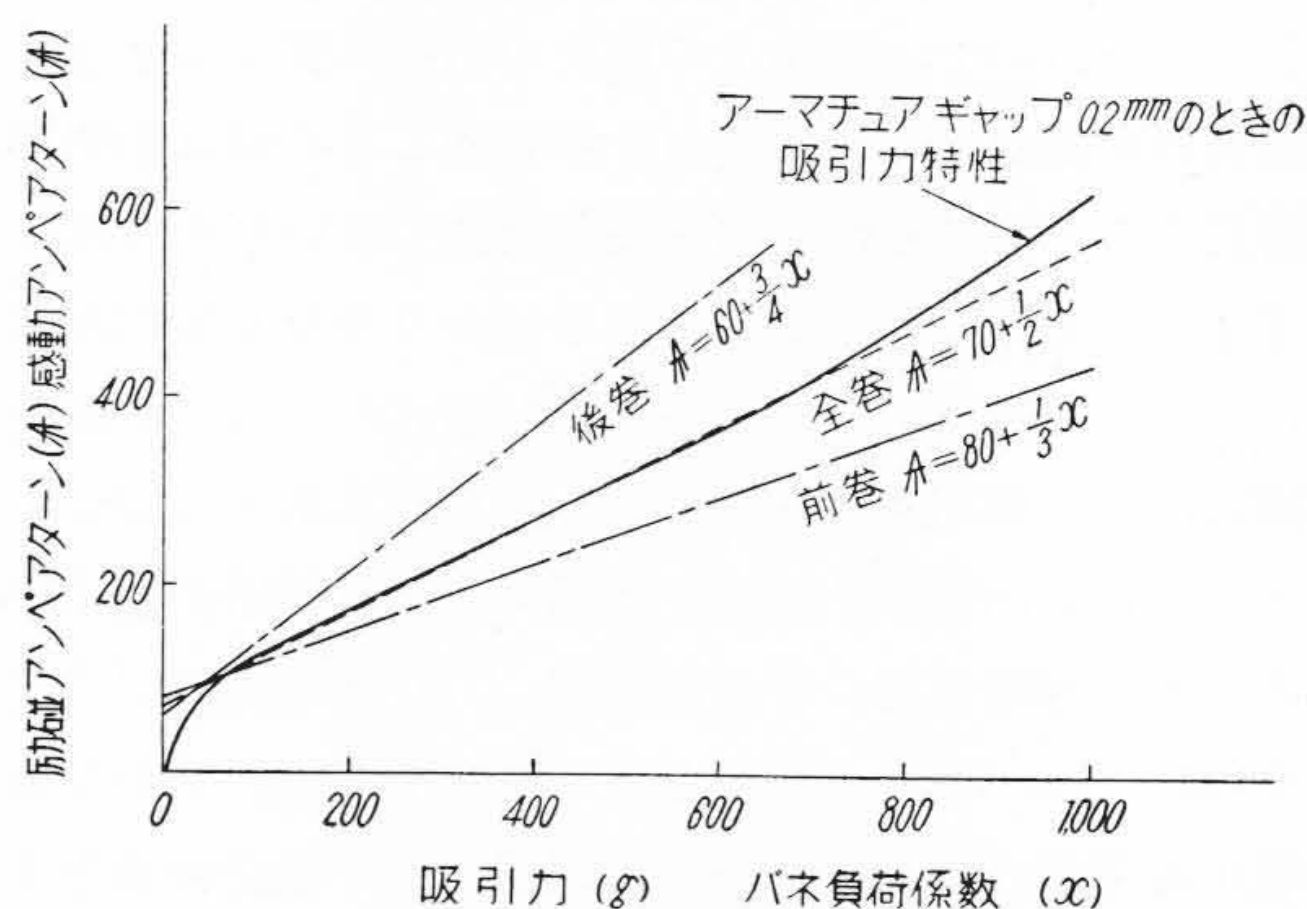
バネ負荷係数を求める方法はここでは紙面の都合で省略し、感動アンペアターンはあたえられたものとして取扱う。

(2) 動作時間

感動アンペアターンがきまると動作時間はコイル定数 N^2/R と入力との函数としてあたえられる。このとき電力消費の面から入力、したがって抵抗 R がおさえられたとき、動作時間をもつとも早くするようなコイル定数、したがって巻数 N が存在する。これが最適巻線⁽⁴⁾とよばれるものであるが、動作時間があたえられたときもつとも入力の少くてすむ巻線も存在し前者とまったく同じ考え方で解くことができる。これも最適巻線であるが、これら2つの巻線は一致する。最適巻線より巻数の少いとき



第2図 吸引力特性と負荷特性
Fig. 2. Pull and Load Characteristics



第3図 アーマチュアギャップ 0.2 mm のとき吸引力特性 (ZRE 形継電器)
Fig. 3. Pull Characteristics at Armature Gap 0.2mm (ZRE Type Relay)

は励磁アンペアターンが不足し動作時間は急におそくなるが、巻数が多いときは動作時間のおくれはそれほど大きくないので一般に最適巻線よりも多い巻数に巻線は設計される。したがって前述のアンペアターンの条件は動作時間を考えるときに包含されてしまう。

次章に感動アンペアターン、コイル定数、入力、動作時間の間の関係を求めるノモグラムの作成について述べるが、最適巻線がその手がかりとなつている。このノモグラムにより動作時間は容易に比較的正確に求めることができる。

〔III〕 巻線と動作時間

(1) 理 論

動作時間に関する比較的新しい文献⁽⁵⁾によれば、動作時間が主として接点バネ負荷によつて左右され、可動部分の質量には左右されない範囲の動作時間は次式により

あたえられる。

$$t_0 = \left(1 + \frac{t_1}{t_0}\right) L_1 (G_c + G_s + G'_E) \ln \frac{1}{1-v} \dots\dots (2)$$

ここで t_1/t_0 : アーマチュアの質量に左右される運動時間の補正項

L_1 : 1 ターン・インダクタンス

G_c : コイル定数 (N^2/R)

G_s : スリーブのコンダクタンス

G'_E : 実効渦流コンダクタンス

v : 感動アンペアターンと実際に投入する定常アンペアターンとの比 (NI_0/NI)

この式で、運動時間の補正 t_1/t_0 がないものとすれば、 L_1 , G_c , G_s , G'_E は磁気的特性および巻線の仕様でまってくるので、比較的簡単なノモグラムにより t_0 を求めることができる。しかし t_1/t_0 の補正は実験によつて決められるものであり、さらに L_1 が飽和のない領域での値であることから、前のノモグラムで求められた t_0 に飽和による補正をしなければならない。また、緒言でふれたような、ある入力に対してもつとも動作時間の早い巻線または、ある動作時間に対してもつとも入力の少ない巻線を求めるというときには、この式のままでは不適当である。

われわれが当面している現実の問題としては、運動時間による補正も飽和による補正も含まれた、しかも、容易に動作時間とほかの諸定数（入力、抵抗、巻数、負荷）との関係を見出せるノモグラムをうることである。

運動時間、飽和とも非常に複雑であり、理論的に導きえても非常に煩雑なものか、よくてある範囲でなりたつ近似でしかない。結局実験に頼らなければならないのであるが、実用になる資料がえられるか否かはその実験の方法、まとめ方にかかっているといつてよいと思う。

(2) 実用的な式の誘導

(2) 式において

(i) 動作時間が問題になるのは主として高速度動作のときであるから、緩復旧用のスリーブはないものとする。

(ii) コア内の渦流による効果はそれ程大くない。

(iii) 運動時間は実験結果に含まれる。

という理由で、 G_s , G'_E , t_1/t_0 をのぞいてしまうと

$$t_0 = L_1 G_c \ln \frac{1}{1-v} \dots\dots (3)$$

となる。これに

$$G_c = \frac{N^2}{R} = \frac{I^2 N^2}{I^2 R} = \frac{(NI)^2}{W}$$

$$= \frac{(NI_0)^2}{W} \frac{1}{v^2} \dots\dots (4)$$

を代入した式

$$t_0 = L_1 \frac{(NI_0)^2}{W} \left[\frac{1}{v^2} \ln \frac{1}{1-v} \right] \dots\dots (5)$$

で NI_0 , W を一定として $\frac{1}{v^2} \ln \frac{1}{1-v}$ は数値計算によると $v=0.715$ で最小値 2.5 となる⁽⁶⁾。

(3) 式で最低時間 t_m に着目して $v=0.715$ とおけば

$$t_m = 1.3 L_1 G_c \dots\dots (6)$$

となり、 t_m は G_c に正比例することがわかる。同様に (5) 式から

$$t_m = 2.5 L_1 \frac{(NI_0)^2}{W} \dots\dots (7)$$

の関係がえられる。結局入力 W と感動アンペアターン NI_0 がきまれば最低時間 t_m がきまり、 t_m がきまると t_0 は

$$t_0 = \frac{1}{2.5} t_m \left[\frac{1}{v^2} \ln \frac{1}{1-v} \right] \dots\dots (8)$$

となつて t_0 は $\left(\frac{1}{v^2} \ln \frac{1}{1-v} \right)$ できまる特定の曲線にしたがつて変化することになる。(4) 式から

$$v = \sqrt{\frac{(NI_0)^2}{W} \frac{1}{\sqrt{G_c}}}$$

$$= \sqrt{\frac{t_m}{2.5 L_1} \frac{1}{\sqrt{G_c}}} \dots\dots (9)$$

がえられるが、これを (3) 式に代入して

$$t_0 = L_1 G_c \ln \frac{1}{1 - \sqrt{\frac{t_m}{2.5 L_1} \frac{1}{\sqrt{G_c}}}} \dots\dots (10)$$

となり、 t_m がきまると t_0 は G_c のみの函数となる。

実験結果をまとめる方針としては、(7) 式にしたがい入力 W , 感動アンペアターン NI_0 で t_m を求め、(10) 式に示すように t_m がきまつたときに t_0 が G_c でどのように変化するかを見出すことにした。

(3) 実験および結果

磁気的機械的構造がきまつたときに動作時間に関する要素は (7) (10) 式からわかるように

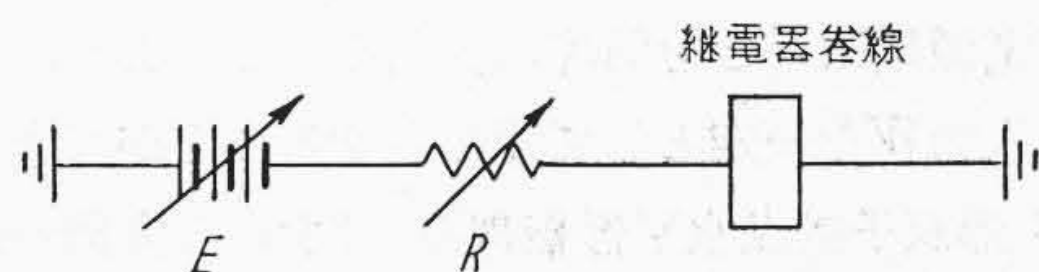
① コイル定数 ($G_c = N^2/R$)

② 入力 (W)

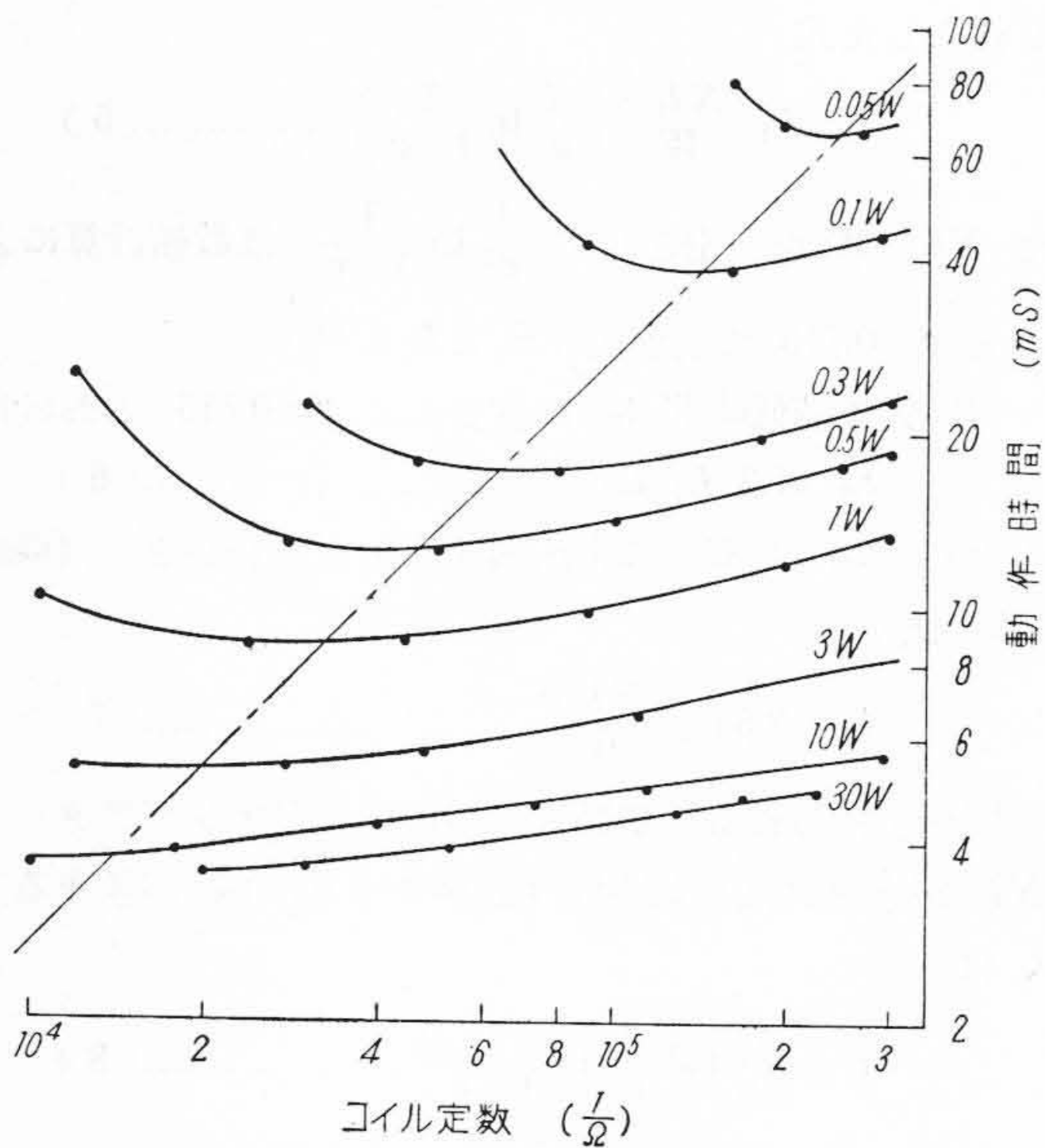
③ 感動アンペアターン (NI_0)

である。

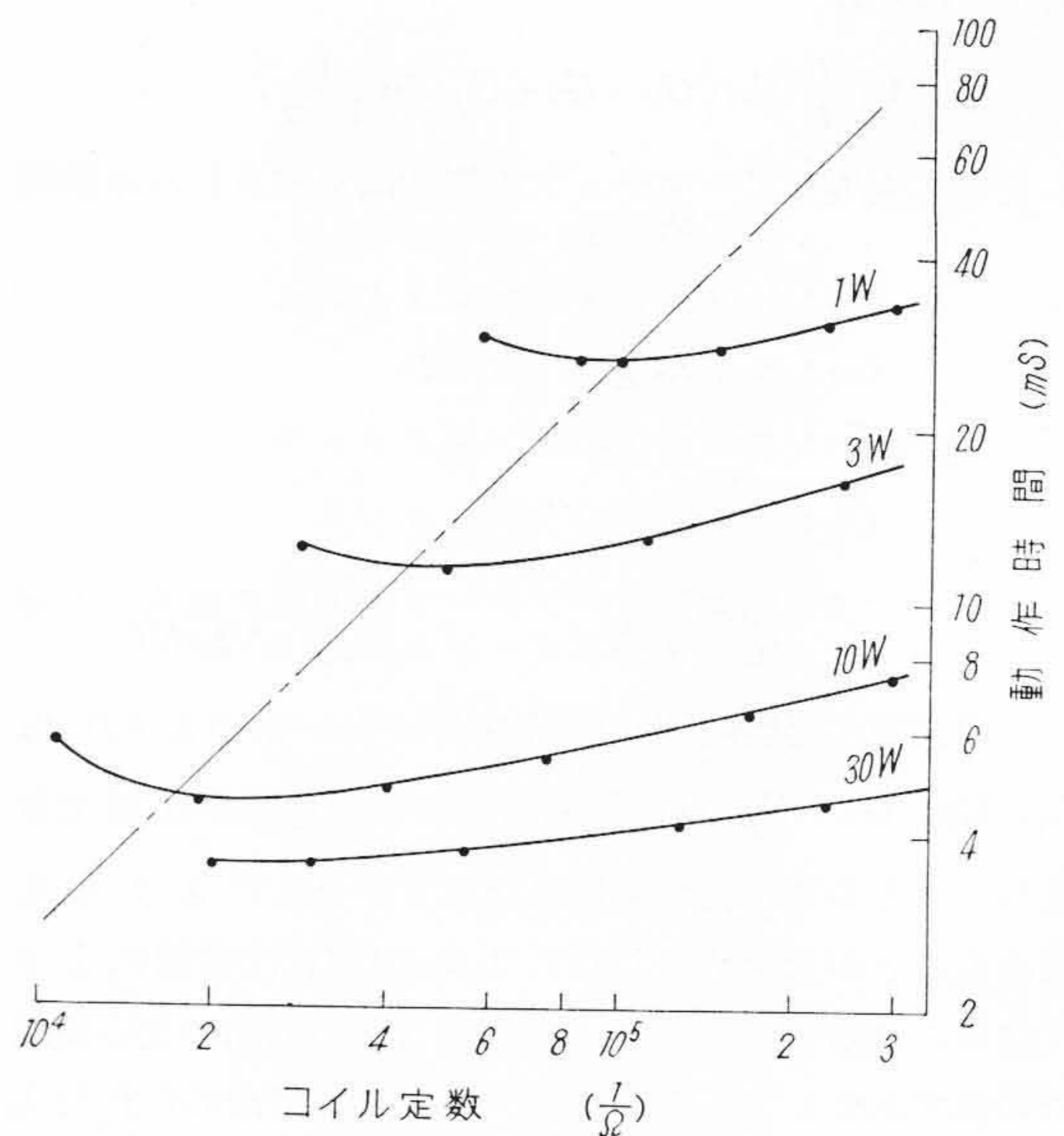
実験は感動アンペアターン、入力をパラメータとし、コイル定数を変数にして行つた。第4図のように、直列抵



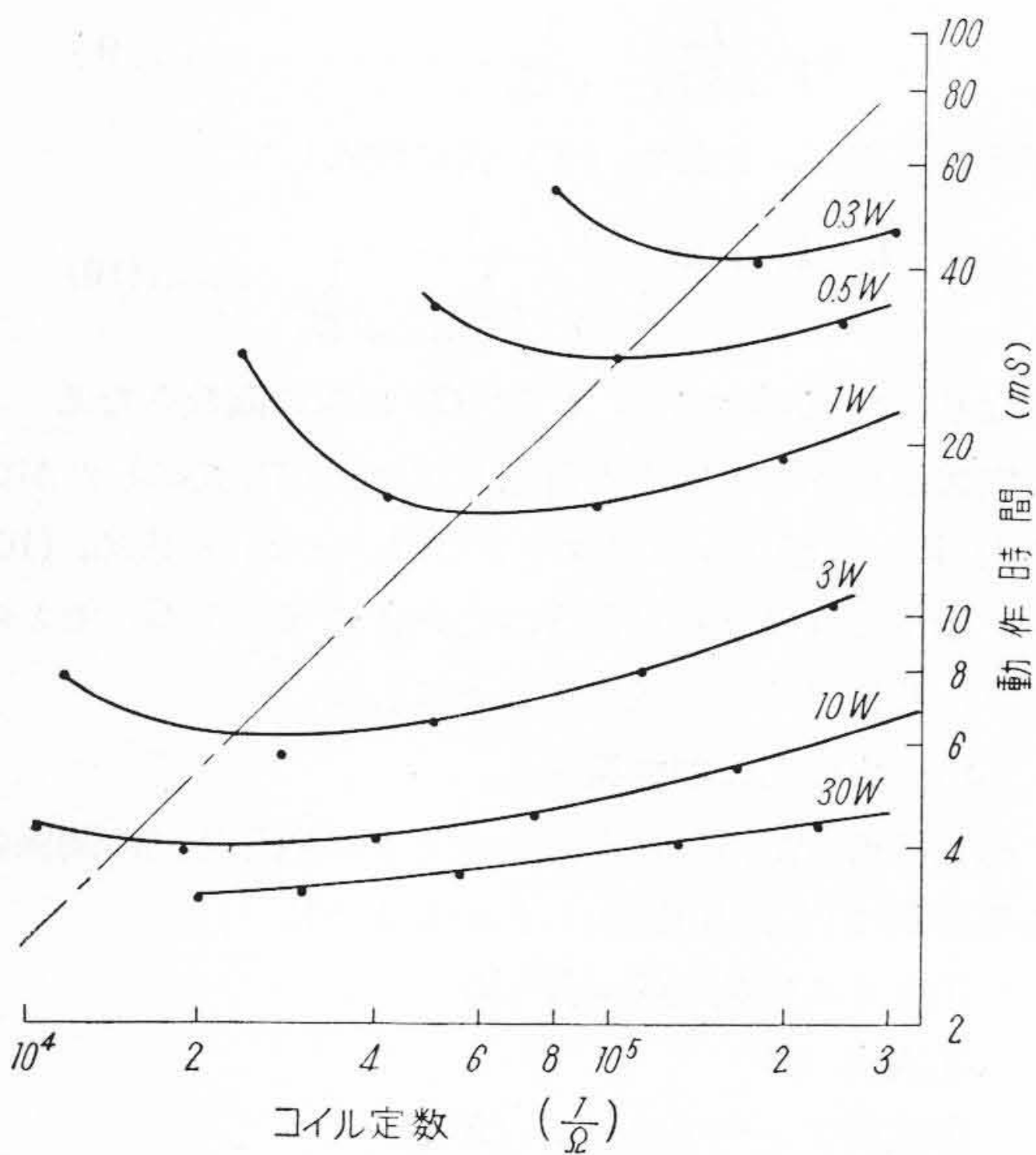
第4図 入力を一定にし N^2/R を変える回路
Fig. 4. The Circuit to Alter N^2/R without Changing the Input.



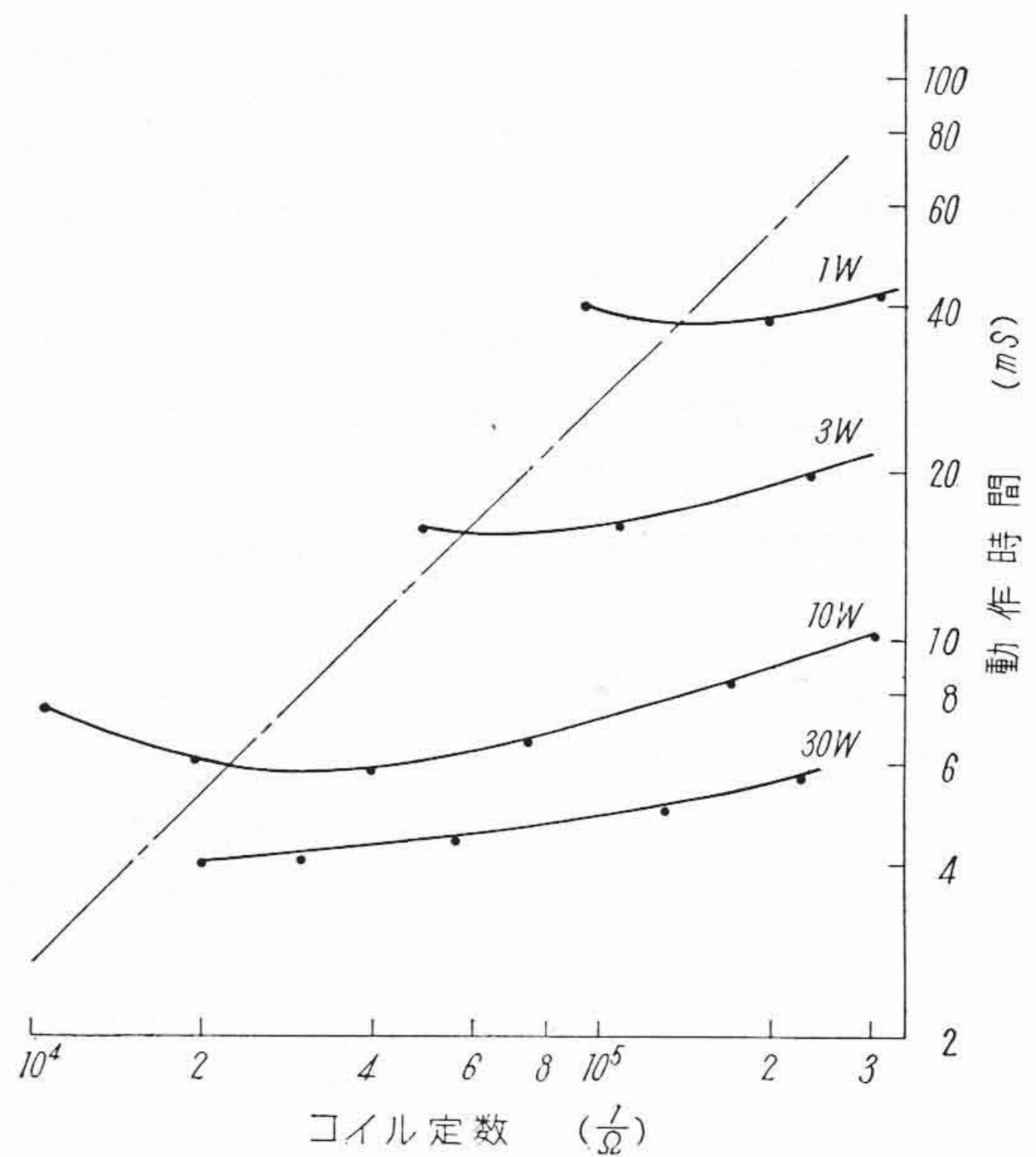
第5図 コイル定数と動作時間 (1)
 $NI_0=84$ ㏐
 Fig. 5. Coil Constant vs. Operate Time (1)
 $NI_0=84$ ㏐



第7図 コイル定数と動作時間 (3)
 $NI_0=196$ ㏐
 Fig. 7. Coil Constant vs. Operate Time (3)
 $NI_0=196$ ㏐



第6図 コイル定数と動作時間 (2)
 $NI_0=139$ ㏐
 Fig. 6. Coil Constant vs. Operate Time (2)
 $NI_0=139$ ㏐



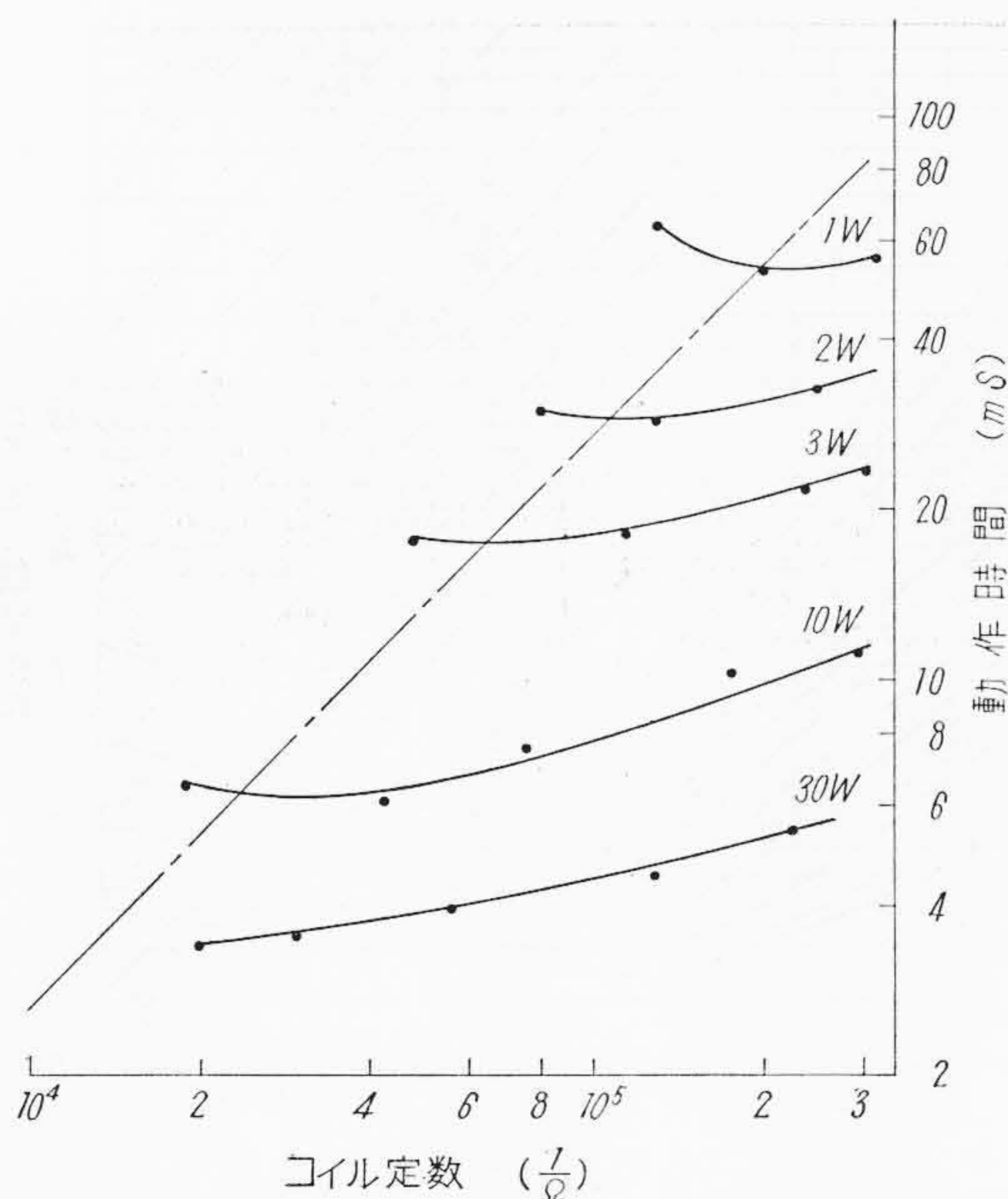
第8図 コイル定数と動作時間 (4)
 $NI_0=250$ ㏐
 Fig. 8. Coil Constant vs. Operate Time (4)
 $NI_0=250$ ㏐

抗 R と電源電圧 E とを同時に変えることにより、コイル定数は入力 W を一定として変化させることができる。

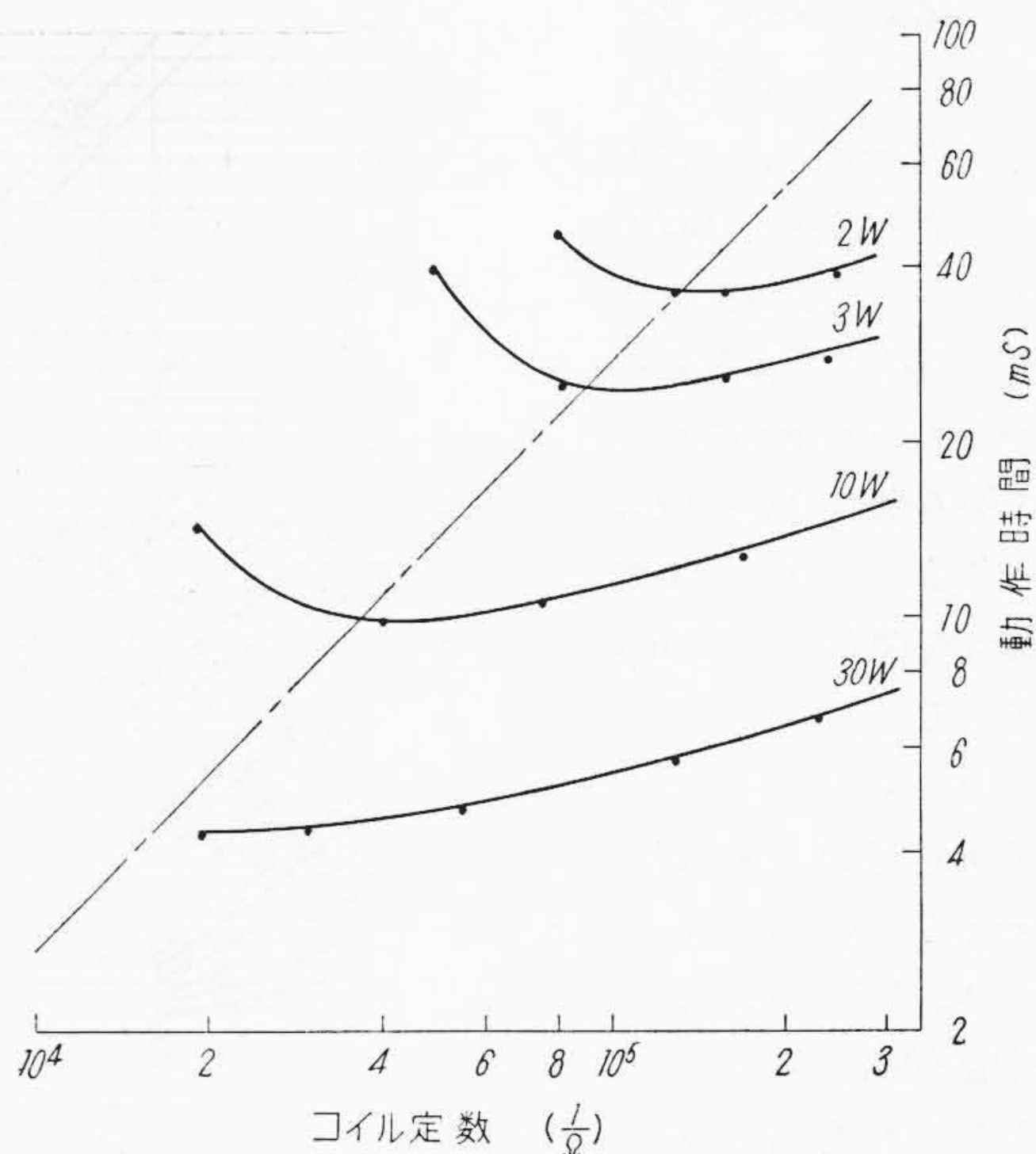
ZRE形双子接点水平形継電器に関する実験の例を第5図～第10図に示す。

これらは最低時間 t_m を結んだものがほぼ $+45^\circ$ の直線上にあるので t_m が G_c に比例し、しかも $+45^\circ$ の直

線、動作時間曲線の傾斜とも各感動アンペアターンについてほとんど一致しており、 t_m がきまると動作時間は G_c のみの函数となることを示している。 $+45^\circ$ の直線より左上の部分ではアンペアターンが不足し動作が不安定



第9図 コイル定数と動作時間 (5)
 $NI_0=302$ ㏐
 Fig. 9. Coil Constant vs. Operate Time (5)
 $NI_0=302$ ㏐



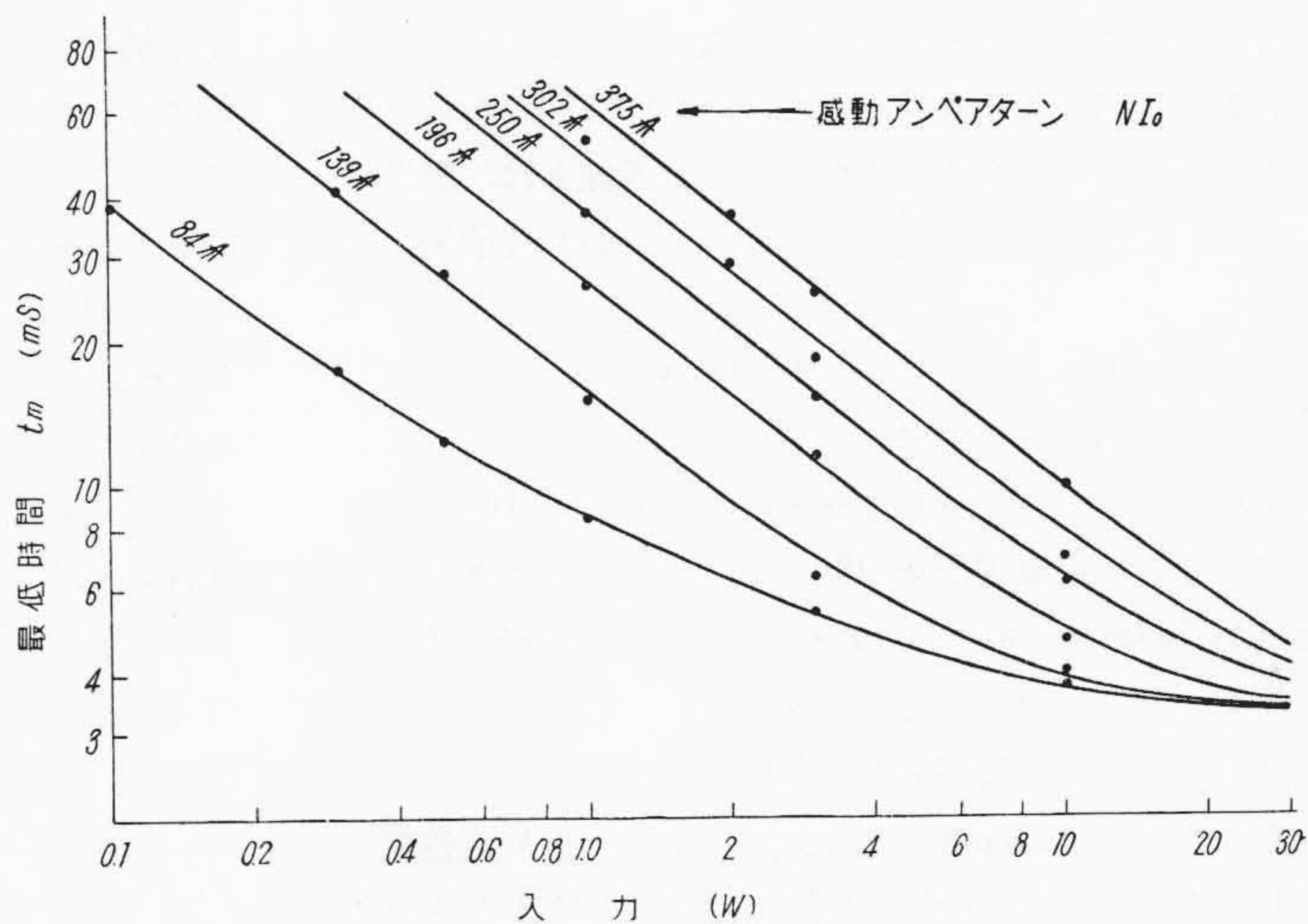
第10図 コイル定数と動作時間 (6)
 $NI_0=375$ ㏐
 Fig. 10. Coil Constant vs. Operate Time (6)
 $NI_0=375$ ㏐

になる領域で、この範囲では動作時間曲線はあまり一致していない。しかし、この範囲で継電器を動作させることはないから問題にする必要はない。

さて、各感動アンペアターンについて入力 W と最低時間 t_m との関係を求めると第11図のようになる。これらの曲線は t_m が小さくなると一致する傾向にある。これは、アーマチュアの運動時間によるもので、継電器の構造がきまつてしまった以上、動作時間はある値以下には到達できないことを示すものである。

第5図～第11図の結果をまとめ、さらに電源電圧と全抵抗から全入力を求める関係、全抵抗と巻数とからコイル定数を求める関係をつけ加えたのが第12図に示すノモグラムである。これは運動時間、飽和による効果が G_0-t_0 の曲線、 NI_0-W-t_m の曲線の両方に含まれているので、あらゆる場合に適用できるものであつて、このノモグラムから求めた動作時間に補正をする必要はない。

第12図について、ノモグラムの使用法を述べよう。



第11図 入力 W と最低時間 t_m
 Fig. 11. Input W vs. Minimum Operate Time t_m

(例1) 動作時間の求め方

まず、巻数、巻線抵抗、感動アンペアターンがわかつた継電器を、電源電圧と継電器巻線に直列に入る抵抗とがわかつた回路でつかうときの動作時間を求めてみる。たとえば、

巻数 : 10,000 ターン
 巻線抵抗 : 700 Ω

感動アンペアター

ン : 150 ㏐

電源電圧: 48 V

直列抵抗: 600 Ω

とすると、巻線抵抗と直列抵抗との和 1,300 Ω から①→②→③の順序に進み全入力が約 1.8 W とでる。このとき④で最低時間 t_m が 11.5 ms であることがわかる。一方、①→⑥→⑦でコイル定数は 7.8×10^4 となる。④で求められた t_m を⑤に移し動作時間曲線に沿って右にずらし⑦で求められたコイル定数との交点⑧を⑨に移して動作時間 12.5 ms が求める答である。

(例 2) 最適巻線の実現

巻線設計の原理でふれた、ある入力に対してもつとも早い動作時間をうる巻線、または、動作時間があたえられた場合、もつとも入力の少くてすむ巻線とは、動作時間が t_m になるような巻線である。したがって前例と同じく

入力 : 1.8 W

感動アンペアター: 150 ㏐

とすれば③→④→⑤→⑩でコイル定数が 4.2×10^4 ときまってしまう。電源電圧を 48 V とすれば③→②→①で全抵抗が 1,300 Ω , ③→②→⑪←⑩で巻数は 7,500 ターンとなる。

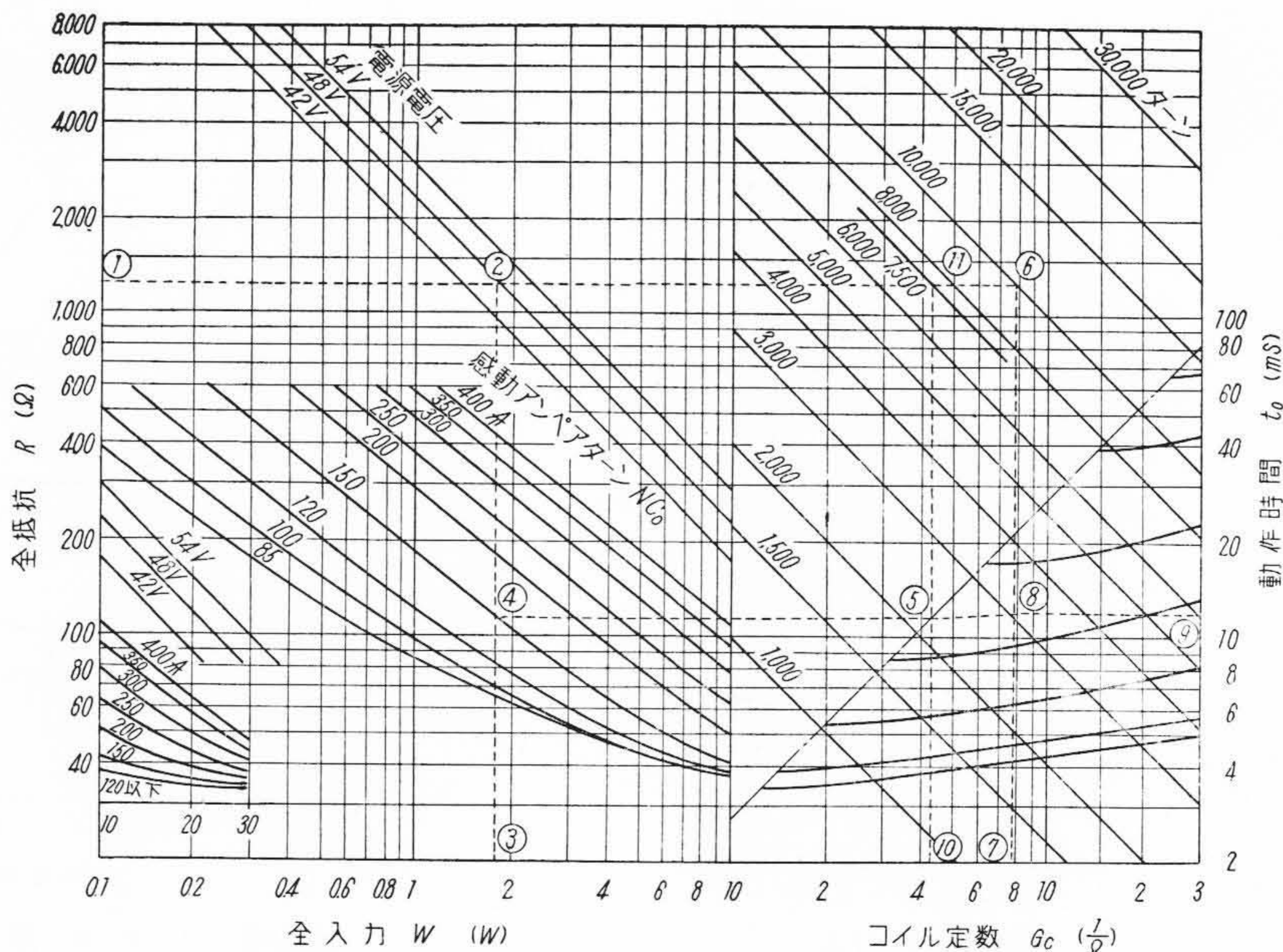
(例 3) 動作時間があたえられたとき

動作時間が 11.5 ms とあたえられ、これを最適巻線で実現するならば、⑤→⑩でコイル定数が 4.2×10^4 ⑤→④→②→①で全抵抗が 1,300 Ω , ①→⑪←⑩で巻数が 7,500 ターンとなる。

さて、このノモグラムによれば、電源電圧が変動したときとか、直列抵抗が変化したときの動作時間の変化をも容易にしらべることができる。電源電圧、直列抵抗の変化は、動作時間に対する基本要素である入力とコイル定数に、ノモグラム上で容易に変換できるからである。

〔IV〕 結 言

継電器巻線設計のうち、ここでは特に動作時間との関



第 12 図 動作時間を求めるためのノモグラム
Fig. 12. Nomogram for Seeking Operate Time

連について述べた。従来、継電器の動作時間は A 形自動交換機のようにシステムの設計ができてしまっているものについては考える必要にあまり迫られなかったこと、動作時間を容易正確に算出する手段がなかったことなどにより、継電器設計にはあまり取入れられていなかったように思われる。しかし最近のクロスバー交換方式で数 100 ms の間に数 10 段階の継電器を動作させなければならないマーカを設計するときなどは動作時間に無関心ではいられない。そのため、是が非でも動作時間を容易正確に見出す方法が用意されなければならない。筆者らの一方法もこの要求に応ずるものであるが、まだ不十分なところもあり、さらにつかひやすいものにするために工夫しなければならないと思う。御批判をいただければ幸いである。

終りにのぞみ、本実験に関し種々御指導をいただいた日立製作所戸塚工場研究課の二見氏に深甚なる謝意を表するしだいである。

参 考 文 献

- (1) W.C. Slauson: B.L.R. 29 466 (Oct., 1951)
- (2) H.M. Knapp: B.L.R. 31 417 (Nov., 1953)
- (3) 三井, 大沢, 山内: 日立評論 37 1307 (昭30—9)
- (4) M.A. Logan: B.S.T.J. 33 145 (Jan., 1954)
- (5) M.A. Logan: B.S.T.J. 33 149 (Jan., 1954)
- (6) R.L. Peek Jr: B.S.T.J. 33 126 (Jan., 1954)