放電灯用安定器巻線温度上昇の 1 測定法

正 会 員 高 橋 光 雄

A New Method for Measuring the Temperature Rises of Discharge-Lamp Ballast Coils

By Mitsuo Takahashi (Member)

(Faculty of Engineering, Osaka City University)

ABSTRACT

A new method described herein, achieves the same end as the conventional resistance method which is widely used to determine the temperature rises of discharge-lamp ballast coils.

The usual procedure is to calculate the coil temperature from coil resistance values obtained at room temperature (cold resistance) and after shutdown (hot resistance).

The new method makes possible the measurements of the hot resistance and the determination of coil temperatures while the ballasts are operating under actual load conditions in four circuits as outlined in this paper, one of them is shown in Fig 3.3 and is most widely applicable for anytype of ballasts. Referring to this figure, it is assumed that a current limiting reactor L_1 has very high inductance but low resistance and C-L is a series resonance circuit composed of a condenser and a reactor. The points where the Wheatstone bridge is connected, are of nearly same alternating potential so that the bridge is not damaged. No bridge current (d. c.) flows into the source by virtue of a condenser bank C_1 inserted in the circuit. The reading obtained on the bridge will give a combined series resistance value of the ballast and the current limiting choke coil windings. Since the resistance of L_1 is very low and of known value, the ballast coil resistance is easily obtained.

Figs 5.2 and 5.3 show the heating or cooling curves of ballast coils for 200 V 40 W fluorescent lamps.

It is believed that this new resistance method is particularly convenient to obtain the temperature rise curves of ballast coils under various conditions.

1. 緒 言

けい光灯用ならびに高圧水銀灯用安定器巻線の温度上昇測定法としては、日本工業規格^{1),2)}にしたがって、いずれも抵抗法が一般に採用されている。これは巻線に通電し、温度上昇が安定した状態になってから電源を切ると同時に、時間に対する抵抗変化を測定して、電源を切ったときの抵抗を曲線上に求めるという方法である。

ここに紹介する温度上昇測定法も、やはり1つの抵抗法であるが、供試安定器を実際の負荷状態で、通電しながら、電源を切らずに抵抗を測定する点が、普通の抵抗法と異なっている。この意味で、本法を負荷時抵抗法とよぶこととする。

負荷時抵抗法は電源を切る必要がないので、運転中、ときどき、抵抗測定を行って、安定器巻線の温度上昇曲線を求めることができる。したがって、温度試験の際、温度上昇が安定したか否かの監視が容易であるのみならず、普通の抵抗法のように電源を切ると同時に急いで測定器の読みを取る必要もなく、落ち着いて正確な測定がやれる。また、電源電圧、周波数、負荷電流、あるいは使用状態の変化が温度上昇に及ぼす影響など、安定器の温度特性の測定に応用すれば、手軽で便利であると思われる。

本稿は、まず、負荷時抵抗法の基本原理から始めて、実施方法の種類とその得失、実際の測定例などにつき、今までの経験³⁾⁻⁸⁾を取りまとめて紹介したものである。なお、本文では便宜上、主として、安定器としては最も

* 大阪市立大学工学部

簡単なチョークコイル形のみを取り上げることとするが、負荷時抵抗法は、漏洩変圧器形³⁾、あるいはラビッドスタート形⁴⁾など、他の形にも同様に適用できるのであって、これら安定器の巻線毎の温度上昇が求められる。

2. 負荷時抵抗法の原理

負荷時抵抗法における抵抗測定器としては、けい光灯用安定器に対しては、普通の抵抗法の場合と同様、ホイートストンブリッジを利用するのもよし、また電圧降下法によってもよい。高圧水銀灯用安定器は抵抗が低いので、ダブルブリッジが適当である⁵⁾。なお、一般に抵抗法には、温度上昇測定用として特に組立てた抵抗変化率ブリッジが便利である。

抵抗測定器として、いずれを利用するにせよ、負荷時抵抗法を行なうには、次の2つの条件を同時に満足するよう、通電中の安定器に抵抗測定器を接続しなければならない。

(1) 抵抗測定器に電源電圧など交流電圧が加わらないこと

(2) 電源測回路や他の回路が、供試巻線と並列回路を形成しないこと

抵抗測定器に電源電圧など高い交流電圧がかかると、焼損するおそれがあるのみならず、それ程高くなくとも計器指針が振動して読み取れない。また、供試巻線に対して、抵抗値不明の他の回路が並列に接続されると、供試巻線の抵抗は算出できない。

要するに、負荷時抵抗法を実施するためには、抵抗測定器自身に交流電圧が加わらないように、また、測定器からの直流電流が供試巻線だけを流れるように、回路の構成接続を考慮すればよいのである。

3. 負荷時抵抗法の種類

安定器巻線に対して、今までに実施してきた負荷時抵抗法の種類をあげると次の通りである。

- (1) 並列法³⁾ (第3.1図参照)
- (2) 直列法³⁾ (第3.2図参照)
- (3) リアクトル法⁴⁾ (第3.3図参照)
- (4) 抵抗変化計法⁵⁾ (第3.4図参照)

第3.1図は、並列法の接続を示す。これは、ちょうど、2灯用フリッカレス回路の遅相側にもコンデンサを挿入して、進相回路ばかりにした形になる。図中、 Ch_1 および Ch_2 はチョークコイル、 C_1 および C_2 は進相用コンデンサ、 FL_1 および FL_2 はけい光ランプで、いずれもほぼ特性の相等しいものとする。W はホイートストンブリッジで、そのX端子を図のB、E間に接続する。B点とE点とは明らかに同じ交流電位にあるから、ブリッジWには交流電圧はかからない。また、ブリッジから

第3.1図 並列法

めるときは、スイッチ S_1 を閉じてランプ FL_1 を連続点灯する。ランプ FL_2 の方は、ときどき、スイッチ S_2 を閉じて点灯し、上述のごとく、 Ch_1 および Ch_2 の合成抵抗を測定する。 Ch_2 は測定するとき、短時間通電するだけであるから、その抵抗は不変とみなせば、ブリッジの読みから Ch_2 の抵抗を差引いて、 Ch_1 の抵抗を求めることができる。

風袋抵抗と考えられる Ch_2 の値が変化する場合もあるときは、図中点線で示すごとく、ブリッジを切りかえてその抵抗値をチェックすればよい。また、コンデンサ C_1 に分路スイッチを挿入し、抵抗測定時だけこれを開くようにすれば、安定器に遅相電流が流れたときの温度上昇が求められる。

第3.2図 直列法

に便利である。図中、Bはチョークコイル Ch_1 および Ch_2 を有する2灯用安定器で、測定は、入力端子 T_1 T_2 間に2倍の定格電圧を加え、2つのランプ FL_1 および FL_2 を直列点灯して行う。ブリッジWは、図に示すように、両チョークコイルの接続点Fと補助チョークコイルAの midpoint Mとの間に挿入する。明らかに、F点とM点とは同じ交流電位にあるから、ブリッジWには交流電圧はかからない。また、図のG点およびH点は同じ直流電位にあ

るので、ブリッジの直流は電源側へは流れない。ゆえに、ときどき、スイッチ S を閉じてブリッジの読み R を取れば、チョークコイルの抵抗は

$$R_1 = 4R - A \dots\dots\dots (1)$$

で求められる。ここに、 R_1 は Ch_1 および Ch_2 の合成抵抗、 A は補助チョークコイルの抵抗である。補助チョークコイルとしては、インダクタンスの大きい、抵抗の小さいものがよく、スイッチ S を閉じて、けい光灯回路の電流がほとんど変わらず、また、短時間の電圧印加によって温度上昇をきたさないものを使用する。

第 3.3 図 リアクトル法

低抵抗のリアクトル、 C および L は互に共振関係にあるコンデンサとリアクトルで、その両端にホイートストンブリッジ W の X 端子を接続する。 C_1 は、第 3.1 図の C_1 と同じ役目をする直流阻止用コンデンサで、分路開閉器 S を閉じればランプ電流は遅れ力率となり、開けば進み力率となる。安定器巻線抵抗を測定するため、

スイッチ S_1 を閉じて、高インダクタンスのリアクトル L_1 の回路には電流がほとんど流れず、ランプ回路の電流もほとんど影響されない。共振回路 $C-L$ の両端の交流電位差はゼロであるからブリッジ W には交流電圧はかからない。抵抗測定時には、ランプに直列にコンデンサ C_1 を挿入してブリッジの直流電流が電源側へ分流するのを阻止する。安定器巻線抵抗は、ブリッジの読みからリアクトル L_1 および接続電線などの抵抗を差引いて求められる。

本法は、上述のごとく、リアクトル L_1 によってブリッジ側に分流する交流を極力おさえると同時に、共振回路 $L-C$ によってブリッジの X 端子に交流電圧がかからないようにしたもので、便宜上リアクトル法とよぶ。

なお、ブリッジの X 端子に並列に接続される C と L は、1 組の大容量コンデンサでおきかえてもよく、むしろの方が実際には便利でもある。第 5.1 図はこの場合の接続を示す。抵抗測定の際、ランプに直列に挿入されるコンデンサ C_1 もまた、並列法と同様、大容量コンデンサを使用しても差支えない。

最後に、第 3.4 図は抵抗変化計法の接続を示す。これ

は上述のリアクトル法において、ホイートストンブリッジの代りに電圧降下法の原理を応用し、温度上昇による抵抗変化分だけを 1 つのミリボルト

第 3.4 図 抵抗変化計法

計で測定するもので、かりに抵抗変化計法とよぶこととする。

図中、 FL はけい光ランプ。 Ch_1 は安定器で、この温度上昇を測定する。 L_1 と L および C は、リアクトル法における電流制限用リアクトルと互に共振するリアクトルおよびコンデンサである。この $L-C$ の両端 E, F 点間の交流電位差はゼロであるから、この 2 点を経て電池 B から安定器 Ch_1 、リアクトル L_1 および可変抵抗 Rh_1 の形成する回路 I に直流電流を流す。回路 II を形成する Ch_2 および L_2 はそれぞれ、回路 I の Ch_1 および L_1 と等しい安定器およびリアクトルである。いま、スイッチ S_3 を閉じ、電池 B から可変抵抗 Rh_2 を経て、回路 II に回路 I と相等しい直流電流を供給すれば、ミリボルト計 M の接続されている 2 点 H および G の直流電位は相等しくなり、ミリボルト計 M はゼロを指してふれない。温度上昇によって安定器 Ch_1 の抵抗だけが增加すれば、 H, G 間に電位差が生じ、ミリボルト計はふれ始める。可変抵抗 Rh_1 (したがって Rh_2) の値を安定器 Ch_1 の抵抗に比べて十分高い値にえらんでおけば、温度上昇により Ch_1 の抵抗が変化しても、回路 I の直流電流の値は常にはほぼ一定であって、ミリボルト計 M は、供試安定器 Ch_1 の抵抗変化を指示する。最終温度上昇によって計器が最大目盛を指すよう、あらかじめ回路電流なり、計器の選定なりを行なっておけば、本法によって感度よく温度上昇の測定が可能となる。

本法でも、前述のリアクトル法と同様に、共振回路 L, C の代りに大容量コンデンサを使用することができる。また、回路 II を形成する Ch_2 と L_2 とは、回路 I の Ch_1 および L_1 の抵抗の和に等しい 1 つの抵抗でおきかえても差支えないのであるが、 Ch_2 および L_2 は交流に対して大きいリアクタンスとして作用するので、単なる抵抗を使用する場合に比べて、ミリボルト計 M を交流電源側の影響からまもる効果が大いという利益がある。

4. 各種方法の比較

安定器に適用できる負荷時抵抗法として、4種の方法を掲げたのであるが、これらの方法の得失を比較すると大体下記の通りである。

(1) 並列法は、特性のほぼ相等しい安定器、コンデンサおよびランプが2組必要であるが、リアクトル法のような特別なものをなんら必要としない。たとえ、短時間の測定中でも、チョークコイル Ch_2 には全負荷電流が流れ温度上昇を来すので、手早く測定することが望ましい。

(2) 直列法は、2灯用安定器に適用すると便利であるが、直列点灯するので、200 V、40 W 用安定器の場合には400 Vの電源電圧が必要となって不便である。また、第3.2図のままで、各巻線の温度上昇を別々に求めることはできない。しかし、大容量コンデンサを、第3.2図に点線で示すように、補助リアクトル側と電源側にそれぞれ1組宛挿入すれば、一応この欠点はとりのぞくことができる。

(3) リアクトル法は、最も一般的な方法であるが、適当な交流電流制限用リアクトルおよび進相用あるいは直流阻止用コンデンサが必要である。けい光灯用安定器の抵抗は比較的高いので、電流制限用リアクトルとしては、小容量柱上変圧器の高圧巻線でも十分に合うし、選定に左程困難を感じない。共振回路を形成するLとCの代りに、1組の大容量コンデンサを使用する方法は共

第4.1表 チューブラ電解コンデンサ
(交流電圧25 V)

容 量	100F μ	300 μ F
直径D(mm)	22	28
長さL(mm)	58	70
重さ (g)	20	50

(4) 並列法や直列法は、漏洩変圧器形安定器に適用困難であるが、リアクトル法によれば、簡単にその各巻線の温度上昇が求められる。

(5) 抵抗変化計法は、ブリッジのような零位法によることなく、温度上昇による供試巻線抵抗の変化分だけを電圧の形で検出し、この電圧を計器目盛りばいにふらせて読み取るので、電圧降下法であるにかかわらず、感度よく測定することができる。また、測定は1箇の計器を読むだけであるから測定者は1人でよい。しかし、測定開始後、電池電圧が変動したり、直流回路の電流が変化したりすると、温度上昇試験を最初からやり直す必

要があるので、本法実施の際は、十分気をつけなければならない。

(6) リアクトル法では、供試巻線抵抗に比較して電流制限用リアクトルの抵抗(風袋抵抗)は、なるべく低いことが望ましく、これがリアクトル選定上の1条件となるが、抵抗変化計法では比較的自由に選定してよろしく、これは抵抗変化計法のすぐれた特長である。

5. 40 W 用安定器の温度上昇測定例

負荷時抵抗法による温度上昇測定例として、200 V、40 W 用安定器の温度上昇を、リアクトル法によって求めた実例を紹介する。

第5.1図 200 V 40 W 用安定器
温度上昇測定回路

接続図は第5.1図の通りで、端子、 T_1 、 T_2 間に200 V 50 c/s 交流電圧を加え、供試安定器 Ch に定格電流435 mA を通じてその温度上昇曲線を求めた。コンデンサ C_1 の容量を3.3 μ F に

えらべば、ちょうど定格値の進み電流が得られた。供試安定器は、約20 Ω の抵抗を有するので、リアクトル L_1 には、小容量柱上変圧器の高圧巻線でも十分に合う

第5.1表 電流制限用リアクトル特性表

接 続	励磁電流(A) 60c/s 100V	直流抵抗 (Ω)
両脚並列 U_1V_2 $-U_2V_1$	0.0268	0.285
片 脚 U_1-U_2	0.0268	0.565
片 脚 V_1-V_2	0.0267	0.570

が、ここでは特別に設計製作した高リアクタンス、低抵抗のリアクトルを使用した。その特性を第5.1表に示す。ホイートストンプリッジ W の X 端子に並列に接続されたコンデンサ C には、第4.1表に示す、25 V、300 μ F チューブラ電解コンデンサを20ないし25箇

並列に接続したコンデンサ群を使用した。

第5.2図は、供試安定器を机上に放置した状態で得た測定結果を示すもので、図中曲線(1)は負荷時抵抗法による巻線の温度上昇曲線、(2)は鉄心に近く、コイルの最下層と次の層との間に挿入した銅コンスタンタン熱電対による温度上昇曲線、(3)は棒状温度計による安定器表面の温度上昇曲線である。本例では、負荷時抵抗法による測定結果が最も高く、最終温度上昇は46.2 $^{\circ}$ Cを示し、

第 5.2 図 200 V 40 W 用安定器
温度上昇測定例

金属容器内に取り付け、実際の使用状態にして、負荷時抵抗法で求めた温度上昇曲線は、第 5.3 図中 A に示す通りである。最終温度上昇は 51.2°C に達し、机上に放置した場合に比較して 5°C 高い。本図には、温度上昇後、電源を切り、第 5.1 図の接続のまま、抵抗法により測定した温度下降曲線をもあわせ示した。

第 5.3 図 B 曲線は、前例と同様、第 5.1 図の接続に

第 5.3 図 200 V 40 W 用安定器温度上昇測定例

より、負荷時抵抗法で温度上昇曲線を求めた別の例で、200 V、60 c/s、40 W 用安定器を机上に放置し、定格電流 435 mA を流して測定した結果を示す。

上記の各曲線は、いずれも、よく知られている最も簡単な指数関数の式

$$\theta = \theta_f (1 - e^{-t/T}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

でよくあらわされ、これら温度上昇曲線の最終温度上昇 θ_f および熱的時定数 T の値は、第 5.2 表の通りである。参考のため、上記各図に、これら実験式による温度上昇

曲線を点線で挿入した。

第 5.2 表 200 V、40 W 用
安定器巻線の最終
温度上昇と熱時定数

温度上昇曲線	最終温度上昇 θ_f (°C)	熱時定数 T (分)
第 5.2 図(1)	46.2°C	32 分
第 5.3 図(A)	51.2°C	32 分
第 5.3 図(B)	35.5°C	52 分

熱電対および棒状温度計による最終温度上昇との差はそれぞれ 4.2 °C および 9.9 °C である。

上記の供試安定器を

けい光灯用

定器温度が一定値に達したか否かのチェックができるし、最終温度上昇の値も、普通の抵抗法のように推定によることなく、落着いて実測することができる便宜がある。また、連続して抵抗を測定し温度上昇曲線が求められるので、種々の条件のもとにおける供試品の温度特性を調査するのにも便利である。

負荷時抵抗法では、供試巻線の抵抗をブリッジその他で直接測ることはできない。いずれの方法によるにせよ、供試巻線に直列に挿入された他のリアクトル抵抗、すなわち、風袋抵抗との和を測定することになるのである。したがって、温度上昇による供試巻線の抵抗変化を感度よく測定するためには、この直列リアクトルの抵抗（風袋抵抗）はなるべく小さいことが望ましい。

いま、供試巻線の抵抗を R_1 、温度上昇による供試巻線の抵抗変化を ΔR_1 、風袋抵抗を R_L 、ブリッジの最初の読みを $R(R=R_1+R_L)$ とし、次式であらわされる S

$$S = (\Delta R_1/R) / (\Delta R_1/R_1) \quad \dots\dots\dots (4)$$

を比感度とよべば

$$S = 1 / (1 + R_L/R_1) \quad \dots\dots\dots (5)$$

となり、第 6.1 表に示すように、風袋抵抗 R_L の値が R_1 に比べて大きくなるほど S の値は小さく R_1 を直接測る

第 6.1 表 比 感 度 の 値

R_L/R_1	0	1/2	1	1.5	2
S	1	0.67	0.5	0.4	0.33

合に比べて測定しにくくなることをあらわす。この点から負荷時抵抗法では、供試巻線抵抗の大小によって電流制限用リアクトルの選定に大きく束縛を受けるわけである。抵抗変化計法は、リアクトル法に比べてこの点有利であることは前述の通りである。

抵抗測定時には、電流制限用リアクトル L_1 その他が供試安定器と並列に接続されることになる。これが、安定器およびランプ回路の電流へ大きく影響するようになっては、正確な温度上昇の測定は望まれない。したがって L_1 としては、前述のごとく、なるべく低抵抗であると同時にそのリアクタンスが安定器のリアクタンスに比べて非常に高いものを使用しなくてはならない。上記の測定例で使用したリアクトルは、第 1 表の特性表にある通り、十分この条件を満足すると考えられる。

第 5.2 図に示した測定例では、ランプに直列に容量 3.3 μ F のコンデンサ C_1 を挿入し、定格値の進み電流が流れるようにして負荷時抵抗法を試みたのであるが、 C_1 としては前述の如く、大容量コンデンサを使用しても差し支えない。実験の結果では、前述の 300 μ F 電解コンデンサを 5 箇以上使用すれば、 C_1 挿入によるランプ電流の変化は、はなはだ小さくなり、その影響をほとんど無視することができる。

6. 考 察

緒言でも述べたように、負荷時抵抗法によれば、温度試験の途中において、安

負荷時抵抗法では、供試巻線に負荷交流電流が流れている状態で抵抗を測定するのであるから、供試巻線には抵抗測定用直流電流が重畳して流れる。このため、供試安定器のリアクタンスが減少して安定器電流の増加を招くおそれがある。ことに、抵抗変化計法やダブルブリッジ法による測定の場合には、この点に留意して直流電流を適当な値に選らばねばならない。

第6.1図は200 V, 60 c/s, 40 W 用安定器(第5.3図測定例)の電圧電流特性におよぼす直流電流の影響を示す。本例では、直流電流を数 mA 以下におさえれば、ほとんど影響がないし、また実際、抵抗変化計法によって測定する場合、この程度の直流電流が使用できれば、

第6.1図 安定器の電圧、電流特性

十分である。したがって、本測定例は、最終温度上昇を、負荷時抵抗法で求める場合と普通の抵抗法で求める場合との比較に利用することができる。前者によれば、温度上昇曲線の最終値をとればよいし、後者によれば、温度下降曲線を時間的に逆にさかのぼって θ_f を推定すればよいのであるが、後者の場合には電力遮断後、できるだけ速やかに、かつ、測定点を数多く求めれば、両者はよく一致する。

7. 結 言

JISによれば、安定器巻線の温度上昇は、抵抗法によって求めるよう規定されているので、本稿では、安定器巻線温度上昇の1測定法として、負荷時抵抗法につき、その大要を述べた。負荷時抵抗法によれば、普通の抵抗法では得られない安定器巻線の温度上昇曲線が求められ、安定器の種々の温度特性を検討する研究面に応用すると、はなはだ便利である。実用的には、最終温度上昇さえわかればよく、温度上昇曲線は必要ではないが、最

終温度上昇にしても、普通の抵抗法では、多かれ少なかれ、推定によって求めるのであって、実測値ではない。この点、負荷時抵抗法は実測値が得られる便宜がある。

本稿では、安定器巻線に負荷時抵抗法を適用する方法として4種類を掲げたが、並列法や直列法に比べて、リアクトル法は応用に便利であり、温度上昇測定例も本法によるもののみを示した。抵抗変化計法は、最終温度上昇を予想して上手に実施すれば、計器の最大目盛まで広く活用して、感度よく測定できるのみならず、電流制限用リアクトル選択の点ではリアクトル法より、かえってすぐれているのであるが、リアクトル法のように、同時に多数の巻線の抵抗を切替えて測定し、温度上昇を求めるということとはできない。

リアクトル法に用いる抵抗測定器としては、普通のホイートストンブリッジで十分間に合うのであるが、特に温度上昇測定用として設計した特殊ブリッジ(抵抗変化率ブリッジ)を用いれば、リアクトル法はさらに便利に実施できる。

なお、リアクトル法や抵抗変化計法は、本稿で取扱った安定器のほか、変圧器、電動機など各種低圧巻線の温度上昇測定にも利用できる。⁹⁾ また、さらに本法を拡張して、3 kVあるいは6 kV 高圧巻線の温度上昇をも、同様に求められることを附言しておく^{10), 11)}。

終りに臨み、実験資料を提供され、かつ本稿を御校閲頂いた重台五郎氏に深甚の謝意を表する。また、日頃御鞭達賜る本学田中通雄、平井平八郎両教授に深謝すると共に、実験に協力された本学竹内宏君、本学卒業生加藤治郎、玉谷進の両君、および本学々生熊田哲夫、中谷直、西村善明の諸君に厚く御礼申し上げます。

(昭34.8.6受付)

参 考 文 献

- (1) JIS C 8108
- (2) JIS C 8110
- (3) 高橋：昭31 関西支部連大 106
- (4) 高橋：昭32 連大 527
- (5) 高橋：昭32 関西支部連大 126
- (6) 高橋 加藤：昭33 連大 722
- (7) 高橋 加藤：昭33 関西支部連大 137
- (8) 高橋 加藤：昭34 連大 675
- (9) 高橋：昭32 東海支部連大 74
- (10) 高橋：昭33 東海支部連大 43
- (11) 高橋：昭34 連大 483