論 文

621.327 : 621.3.015.1

けい光燈回路における電圧配分について*

正会員 山 下 博 典**

On the Voltage Allotments in Hot-Cathode Fluorescent-Lamp Circuits

By Hirosuke Yamashita (member)

(Engineering Laboratory, Mitsubishi Electric Manufacturing Co. Ltd.)

It plays an important roll in the selection of fluorescent-lamps and their series ballasts to determine the voltage allotments in the hot-cathode fluorescent-lamp circuits. Problems are confined to the conventional low power factor lamp circuits, inductive ballasts in series. Lamps having several different arc gap lengths and outer diameters, and ballasts capable to vary their iron-core sectional area and number of turns are used for following measurements.

The effective values of sinusoidal line voltage, lamp terminal voltage and ballast impedance drop are designated as U_N , U_L and U_R respectively. Some relations between these voltages were investigated by R. F. Hays and D. S. Gustin experimentally and H. Stranch theoretically, but these results cannot be applied satisfactorily to many actual cases.

Combining several kinds of lamps and ballasts, following results are obtained in the wide range of lamp currents.

$$U_L + U_R = (1.23 \pm 0.03) U_N \quad (3)$$

By keeping a lamp current constant and varying the U_R/U_N values, nearly constant lamp voltage U_L is obtained for large U_R/U_N value, except steep increase at a critical value of U_R/U_N . From these experiments, the next condition is derived.

$$U_R/U_N \geq 0.58 \pm 0.02 \quad (5)$$

In accord with the variation of line voltage U_N , the lamp current I varies following the lamp and ballast characteristics. Now the so-called current variation R_e is defined by the next equation

$$R_e = \frac{dI}{I} \bigg/ \frac{dU_N}{U_N}$$

The relation between U_R/U_N values and R_e shows that R_e increases steeply at a critical value of U_R/U_N . From these conditions,

$$U_R/U_N \geq 0.66 \pm 0.02 \quad (6)$$

can be obtained. When $U_R/U_N < 0.66$, the lamp terminal voltage wave form has a steep peak-head and the current wave form tends to have some pausal durations. From equation (3) and (6),

$$U_L/U_N \leq 0.57 \pm 0.02 \quad (7)$$

is obtained. Equations (3), (6) and (7) are desirable conditions for the lamp life and ballast design.

From these relations we can obtain the methods of deciding the lamp length, the design of ballast capacity and many other conclusions.

現在実用されている熱陰極けい光燈の管径、管長、管

電流値等の諸元は種々の条件を考慮して選定されているものであるが、十分吟味してみると、他の機器にみられるような比較的確然たる根拠に基づいて導出されたものでないことが明らかとなる。

* 本文の要旨は電気三学会関西支部連合大会(昭和 27 年 10 月)に紹介した。

** 三菱電機株式会社研究所

けい光燈の製作技術の進歩並びに使用範囲の拡大に伴ない。これら諸元について改めて考慮し、今後著しい進展の期せられるに当たって再検討を試みる必要があると思われる。

筆者は熱陰極けい光燈について設計論的に考察を施してみたが、そのうちリアクタを直列バラストとする最も基本的なけい光燈点燈回路において電源電圧と管電圧、バラスト降下等の間に存在する関係について実験的に取扱った結果を報告する。

1. 緒 論

熱陰極けい光燈の最も基本的な交流点燈回路として第1図のリアクタバラストの回路を考え、電源電圧、バ

第 1 図

スト並びにけい光放電管端子電圧を、それぞれ U_N, U_R, U_L とすれば、これら諸量の間に成立する関係を見出すことにより、けい光燈の管長、バラストの大きさ等の決定の目安がつけられ、かつけい光放電管使用上考慮すべき条件が明らかとなる。

厳密に言えば、管径・電極間隔・管電流等の与えられたけい光放電管の端子電圧 U_L だけを取上げてみても室温・けい光放電管の配置等の測定条件により異なり、また電極構造・封入ガスの種類並びに圧力・製作条件等に従っても相当異なるから簡単に規定できない。同様のこ

とはバラスト降下 U_R についてもいい得る。しかしながら現在実用のけい光燈構造と実用上要求される諸点を考慮すれば、必要とされる諸関係が大体合理的に求められるから、この結果に基づいて諸種の結論を導くことにする。

測定に供したけい光放電管は管径 12.5~54mm で種種の管長を有する白色けい光燈である。供試バラストは鉄心断面積および巻数を可変とするもので、各測定において磁束密度等を現用バラストに可及的に近いように選定した。けい光放電管は 20°C に近い室温において水平に配置し自然対流の状態において測定した。

2. 電源電圧とけい光放電管、バラスト電圧の関係

第1図において、実効値 U_N [V] の正弦波形電圧を印加したとき、リアクタ並びにけい光放電管端子にかかる電圧の実効値をそれぞれ U_R [V] および U_L [V] とすれば、リアクタの抵抗を無視し、けい光放電管力率を 1 とすれば

$$U_N^2 = U_R^2 + U_L^2 \quad (1)$$

しかるに一般にバラスト損失、けい光放電管電圧の波形その他複雑な関係により式 (1) は成立しない。

R.F. Hays 等⁽¹⁾ は T-8, 15W および 30W けい光放電管について実測結果より下式の成立することを報告しているが、種々の例について検討してみると適合し難いことが既に知られている。

$$U_L = \sqrt{U_N^2 - 1.83U_R^2} \quad (2)$$

筆者はこの関係を確かめるため、種々の特性を有するリアクタと管径、管長の異なる種々のけい光放電管を用い

第1表 電圧配分測定結果の1例

使用リアクタ		No. 4				No. 7				No. 4			
け放 い電 光管	内径[mm]	36.5				36.4				24.3			
	電極 間隔[mm]	1410				262				1430			
管電流[mA]		U_N	U_L	U_R	$\frac{U_N+U_R}{U_N}$	U_N	U_L	U_R	$\frac{U_L+U_R}{U_N}$	U_N	U_L	U_R	$\frac{U_L+U_R}{U_N}$
100		266	177	44.5	1.20								
200		278	144	80	1.24	148	44.2	75.5	1.24	358	219	87	1.17
300		295	135	115	1.23	188	41.3	110	1.24	391	200	118	1.23
400		340	130	144	1.24	195	40.0	145	1.18	410	184	149	1.23
500		362	129	168	1.22	248	39.4	169	1.19	421	167	173	1.21
600		373	124	187	1.20	272	38.2	191	1.19	437	157	190	1.26
700		389	122	205	1.19	296	37.2	208	1.21	449	152	207	1.25
800		407	120	220	1.19	319	36.8	224	1.22	454	150	224	1.21
900		423	119	233	1.20	332	36.5	240	1.20	487	146	247	1.24
1000		431	118	244	1.19	349	36.0	252	1.21	497	143	261	1.23

それぞれの数値を測定した。その結果の 1 例を第 1 表に示す。

各電圧間には式 (2) の成立する場合もあるが、第 1 表に示すように、 $U_R + U_L$ なる代数和をとってみると、実用上式 (3) の関係の成立することが認められる。

$$U_R + U_L \cong (1.23 \pm 0.03) U_N \quad (3)$$

U_N が正弦波であっても、 U_R および U_L は第 2 図に示すような位相関係と複雑な波形を有するから、式 (3) の有する物理的意義を見出すのは困難であるが、広い範囲の測定において成立し、現用の種々のけい光放電管についてもほとんど完全に適用できるので、式 (3) を実用上便利一種の実験式と考えよう。

第 2 図

第 3 図

この関係を利用すれば、たとえば次のような手段が可能となる。今一定電源電圧 U_N の下に、管電圧 U_L およびリアクタ降下 U_R の電流による変化が第 3 図 (a) に表わされる特性を示すけい光放電管とバラストを直列に接続したとき、管電流 I は図式的に式 (3) を満足する I_1 および I_2 の 2 点となることが決定される。実際にこのいずれの値をとるかは各電流に対する安定度を考慮して決定されるものであるが、けい光燈点燈においていわゆる微光放電なる安定域の存在することは、このような点も考えて考察する必要がある。また点燈用昇圧変圧器を有する場合のごとく電源に電圧変動率を加味する必要のある場合も、第 3 図 (b) に示すように式 (3) を図式的に満足する電流値 I_1 が決定される。

3. 電圧配分とけい光放電管の端子電圧の関係

式 (3) より $U_L/U_N = 1.23 - U_R/U_N$

U_L/U_N は電源電圧に対するけい光放電管端子電圧の利用程度を示すもので、 U_N が与えられたとき、 U_L をできるだけ大きく、すなわちたとえばけい光放電管の長

さをできるだけ長くとることが望ましいのは自明であるが、一般にけい光放電管回路において、この値をある限度以上にとるとは、点燈開始特性、管電圧等の異常変化並びに電源電圧等の変化に伴う管電流変動率の点から制限されることも既に知られている。

インダクタンスバラストの場合、管電圧を矩形波と仮定して解析し、電流休止期間の生ずる条件よりこの限界として⁽²⁾ 下式が求められている。

$$U_L/U_N \leq 0.74 \quad (4)$$

しかしながら前述のように、一般にけい光燈において、けい光放電管並びにリアクタはこの解析に当て仮定されたような簡単な性質を有しないから、一般に式 (4) の関係は満足されない。

第 4 図

けい光放電管に可変インダクタンスリアクタを接続し一定管電流において各部分の電圧配分を調べると、1 例として第 4 図のような関係が得られる。本図は管径 38.0 mm、電極間隔 1130 mm のけい光放電管を管電流 300 mA に保った場合である。すなわち U_R/U_N の大きい間はほとんど一定の U_L 値を示すが、 $U_R/U_N = 0.58$ 附近より U_L は次第に大となり、これを境界として明らかに差異が認められる。

種々の管径と電極間隔を有するけい光放電管について管電流 200~700 mA の範囲において第 4 図と同様の関係を求め U_L の上昇する U_R/U_N の限界値 $(U_R/U_N)_G$ を決定すると第 5

図のごとく、多少の差異は認められるが、大体 $U_R/U_N = 0.57 \sim 0.60$ の範囲にある。よってこの方法により限界値を求めると

第 5 図

$$U_R/U_N \geq 0.58 \pm 0.02 \quad (5)$$

第 6 図

$U_R/U_N=0.58$ を境とする両側において U_L および管電流 I の波形を観測すれば第6図に示すように、 U_R/U_N 値の減少に伴ない U_L の立上り部分に鋭い尖頭が出現し管電流もこれにつれて電流休止期間を増していることが認められる。

4. バラストの電流安定作用について

電源電圧 U_N の変化に対する管電流 I の変化はできるだけ小さいことがけい光放電管寿命その他に対して望ましい条件である。

今たとえ第4図の測定条件において管電流 $I=300\text{mA}$ を中心として変化したとき、これに應ずる電源電圧 U_N の変化を求めると、第7図のような変化を示し、本図より電流変動率 $R_e = \frac{dI}{I} / \frac{dU_N}{U_N}$ を U_R/U_N に対して示すと第8図のようになる。すなわちこの場合 R_e 値は $U_R/U_N=0.64$ 附近を境としてこれより小さい値に対し急増している。種々のけい光放電管について調査してみると、境界の明確でない場合もあるが、 $U_R/U_N=0.62\sim0.68$ 、平均 0.66 に限界値の存することが認められる。

R_e を何程にとるかはけい光放電管電極構造、バラストの許容温度上昇その他より決定される処であるが、一応この限界値をとることにすると、

$$U_R/U_N \geq 0.66 \quad (6)$$

第8図において式(6)の条件の成立する場合は、 $R_e=2.8$ すなわち $U_N=200\text{V}$ 、 $I=300\text{mA}$ とすると、電源電圧の5Vの変化に対し管電流は30mA程度の変動を来すことになる。式(3)、式(5)および式(6)より

$$U_L/U_N \leq 0.57 \quad (7)$$

第 7 図

第 8 図

以上求められた式(3)、式(6)および式(7)は、われわれの求める電圧配分の目安を与える結果である。

5. けい光放電管設計への応用について

上記の実験結果をけい光放電管設計へ適用する場合の簡単な諸例について述べる。

現在わが国で実用されている 40W (T-12) けい光燈は管電流 $I=420\text{mA}$ において大体次の値が標準とされている。

$$U_N=200\text{V}, \quad U_R=142\text{V}, \quad U_L=108\text{V}$$

すなわち $U_R/U_N=0.710$ であるが、今式(3)、式(6)、式(7)を適用すると、

$$U_R=132\text{V}, \quad U_L=112\text{V}$$

となる。 U_L の大きいため管長は約 50 mm 長くとり得る。このことにより現在の定格値に比し次のような変化が期待される。

けい光放電管入力	: 40 W → 41.7 W
けい光放電管発生光束	: 2 300 lm → 2 390 lm
けい光放電管効率	: 57.5 lm/W

すなわちけい光放電管効率を低下させないで発生光束を 4% 程度増加し得ることとなる。

現用 40W (T-12) けい光放電管の電源電圧に対する管電流の変化は第 9 図 (1) のごとくであるが、上記の条

第 9 図

件を満足するけい光放電管およびリアクタを試作すれば同図 (2) に示す通りの特性を示し、前者において $R_e = 2.2$ 、後者において 2.8 に増加するに過ぎないから、実用上ほとんど差支えない。

すなわち現在の 40W (T-12) けい光放電管は筆者の結論から今少しく有利な改良の余地がある。

次に任意のけい光燈を設計する場合について考えるに今電源電圧 U_N 、管電流 I [mA] を与えられたものとする。管径 D [mm]、電極間隔 l_f [mm] なるけい光放電管の管電圧 U_L は、電極降下を V_e [V] とすれば一般に

$$U_L = l_f \cdot F(D, I) + V_e \quad (8)$$

で与えられる。ここに $F(D, I)$ は陽光柱電位傾度を表わす実験式、 V_e は実用上管電流にほとんど無関係に一定と見なされる。

よって、式 (3)、式 (6)、式 (7) と組合わせて

$$U_R = 0.66 U_N \quad l_f = \frac{0.57 U_N - V_e}{F(D, I)}$$

として、けい光放電管の長さおよびバラストが決定される。

6. 結 言

熱陰極けい光燈の基本回路において、 U_N 、 U_L および U_R の電圧配分決定の基本について実験的に調査し大体合理的と思われる実験式 (3)、式 (6) および式 (7) を得た。現象が複雑なため単に決定範囲の目安を与えたにすぎないが、未だ明確でなかったこの種の問題について一指針となるものと信ずる。

なお本文並びに他の調査結果を総合してけい光放電管の一般のおよび経済的設計方針等への応用については別に論ずる予定である。

終りに当り、終始御指導を賜わる三菱電機会社研究所大野才三参事に謝意を表する次第である。

文 献

- (1) R.F.Hays & D. S. Gustin: T. I. E. S. 35, 935 (1940)
- (2) H. Strauch: Arch. f. Elektrot. 33, 505 (1939)

(28-1-9 受付)

照明界のトピック

東京芝浦電気会社の新組織

6月1日を期し、旧東芝販売会社および全国8地区の電気実業会社を打って一丸とした東芝商事会社が設立、東芝製品の通信機および重電機を除く各種軽電機関係の見込生産商品の販売を一手に引受けることになった。これとともに東京芝浦電気会社では全面的な組織変更を行った。異動のあった照明関係者の新所属を掲げる。

青木 孝一	取締役、電機事業部次長(九州支部評議員)
鳥居 誠	取締役、東芝商事会社取締役(関西支部評議員)
今井 孝	販売部長兼電球部長、けい光燈部長、ラジオ部長
砂田 茂	販売部副部長兼レントゲン部長(本部評議員)
桑本 良治	けい光燈部副部長兼照明課長(会計理事)
水沢三千雄	けい光燈部照明課長代理(普及委員会幹事)
黒瀬 英雄	家庭電機部開発課長代理(総務理事)
本城 巖	技術部副部長兼マツダ研究所長、応用研究部長(元副会長)
黒沢京之助	マツダ研究所主任研究員兼けい光燈部長代

理(本部評議員)

井口 茂	名古屋営業所長、東芝商事会社名古屋支店次長(東海支部評議員)
蜂谷 保七	広島営業所長、東芝商事会社広島支店次長(中国支部評議員)
川井 武夫	東芝商事会社サービス部長
伊藤 大二	東芝商事会社サービス部々長代理(東京支部評議員)
伊藤 義雄	東芝商事会社サービス部サービス事務課長(東京支部長)
柳瀬 駿	東芝商事会社サービス部サービス技術課長
保 実	東芝商事会社大阪支店特販部けい光燈課長(関西支部庶務幹事)
笠原 襄	東芝商事会社大阪支店特販部けい光燈課長代理
北島 英二	東芝商事会社福岡支店業務部機器課長(九州支部庶務幹事)
月田 留吉	東芝商事会社札幌支店営業部々長代理兼特販課長、サービス課長(北海道支部会計幹事)