

蛍光灯の点灯特性について

On the Starting Characteristic of Fluorescent Lamps

中道松郎*
Matsuro Nakamichi

内 容 梗 概

蛍光灯の点灯電圧は種々の要因に影響される。その中でも湿度はその影響の程度も大きく、特にラピッドスタート回路では重要な問題となり、いろいろ検討され現在種々の対策が実用化されている。またその現象についても種々の説明が試みられている。

本報告は蛍光灯を一つの分布定数回路として取り扱うことによって主として湿度の影響に関連した蛍光灯の点灯特性を解釈しようとしたものである。すなわち蛍光灯の管壁電位分布が点灯電圧と密接な関係があることが種々の実験の結果明らかになったので、その管壁電位分布がどのような因子によりどのように影響されるかを等価回路によって解析した結果湿度の影響のみならず周囲物体、電源周波数などが点灯電圧に及ぼす影響も結局は管壁電位分布の変化によるもので、それら各要因の相互関係などについて一貫した説明ができることが判明した。

1. 緒 言

蛍光灯の点灯電圧は放電管および安定器設計上の基礎的な重要要素である。しかしその点灯電圧は多くの要因に左右されるため点灯についての適格な資料を得、適切な判断を下すことは困難な場合が多い。

たとえば今まで知られている要因の主なものを便宜的に放電管、回路、外部気象条件の三つに大別してあげると次のようになる。

- (1) 放電管の構成要素
 - (A) 管長⁽¹⁾、管径、形状 (B) 気体の種類、圧力⁽²⁾ (C) 電極材料⁽³⁾、構造 (D) 特殊点灯補助装置⁽⁴⁾
- (2) 外部回路条件
 - (A) 印加電圧の種類⁽⁵⁾(波形、周波数など) (B) 回路素子 (C) 予熱電流⁽⁶⁾ (D) 近接導体⁽⁷⁾
- (3) 外部気象条件
 - (A) 温度⁽⁸⁾ (B) 湿度⁽⁹⁾ (C) 放射線⁽¹⁰⁾

実際の蛍光放電管の点灯電圧は以上の各要因の組合せによって決定され、しかも各要因に相互関係があり、一見説明に困難な場合もある。特に湿度の影響に関連した要因においてその感が深い。本報ではこれら各要因を管壁電位分布の立場から検討する。

2. 管壁電位分布と点灯電圧の基礎的な関係

2.1 点灯電圧と管壁電位分布の関係

管壁電位分布をいろいろ変えて実験した結果、一般に管壁上のある特定箇所における電圧降下または管壁上の電位傾度が最大になる点における電位傾度の大きさが問題になることがわかった。すなわち管壁のある部分の電位傾度がある一定の値になったとき点灯し、したがって

* 日立製作所亀戸工場

管両端にかかる全印加電圧の何割が管壁の一部に局部的に加わるかによって、つまり電圧の集中の度合によってその場合の点灯電圧がきまってくる。

したがって予熱電流その他の条件が一定の場合には近似的に点灯電圧 V_{st} は (1) 式で表示できる。

$$V_{st} \doteq Eg Kg = Eg \left\{ \frac{V}{\left(\frac{\Delta V}{\Delta l} \right)_{\max}} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

ただし

Eg : 管壁上のある部分における点灯に要する平均電位傾度

$\left(\frac{\Delta V}{\Delta l} \right)_{\max}$: 管両端にかかる電圧が V なるときの管壁長さ方向 Δl の範囲内における平均電位傾度の最大値

またある特定箇所における電圧降下が問題になる場合は (2) 式で表示できる。

$$V_{st} \doteq V_0 K_0 = V_0 \left\{ \frac{V}{\Delta V} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

ただし

V_0 : 管壁上のある特定箇所における点灯に要する電圧降下

ΔV : 全印加電圧が V なるときのある特定箇所における電圧降下

しかし以上のような考えは管壁上の $\left(\frac{\Delta V}{\Delta l} \right)$ の符号が位置によって異なり、かつ電位分布が極端に不規則な場合には成立せず、また $\left(\frac{\Delta V}{\Delta l} \right)$ の符号が等しくかつ $\left(\frac{\Delta V}{\Delta l} \right)_{\max}$ が同一でもその $\left(\frac{\Delta V}{\Delta l} \right)_{\max}$ の存在範囲および位置によっても点灯に要する最大電位傾度すなわち Eg の値は異なる。普通は管端に $\left(\frac{\Delta V}{\Delta l} \right)_{\max}$ がある場合に最も点灯しやすい。また Eg または $\left(\frac{\Delta V}{\Delta l} \right)_{\max}$ の大

きさ、その管壁上の位置による相異などは予熱電流特に先行放電の有無によってかなり変動する。

2.2 最小点灯電圧および最大点灯電圧

最大電位傾度 $(\frac{\Delta V}{\Delta l})_{\max}$ または局所的な電圧降下 ΔV は蛍光灯の点灯には必要な条件ではあるが必ずしも十分な条件でなく管の一部を電離させるに要する電圧はあっても全印加電圧が放電を維持しうる電圧に達しない場合には点灯不可能である。また局所的な電離にとどまって放電が進展しない場合も同様である。すなわち蛍光灯を点灯させるためには少なくとも点灯直後の管電圧以上のある一定電圧（放電維持電圧）がなければならない。このような点灯に必要な最小の電圧をかりに最小点灯電圧 $V_{st \min}$ と呼ぶ。また管壁の電位分布が最も点灯に都合の悪い条件になった場合、つまり管壁各部の電位傾度が各部分とも同時に点灯に必要な値になる場合に最大点灯電圧 $V_{st \max}$ になると考えられる。本報では今後これら $V_{st \min}$, $V_{st \max}$ を念頭において点灯電圧の大きさ、すなわち管壁電位分布の影響の程度を考えていく。

3. 分布定数回路による蛍光灯管壁電位分布の解析

3.1 蛍光灯の等価分布定数回路

以上蛍光放電管の点灯電圧は管外壁の電位分布に影響されることを述べたが実際の蛍光放電管においては管壁電位分布の各種因子による影響のされ方を検討するため、蛍光放電管とその周りの物体を含めて一つの近似的な等価分布定数回路を考えた。

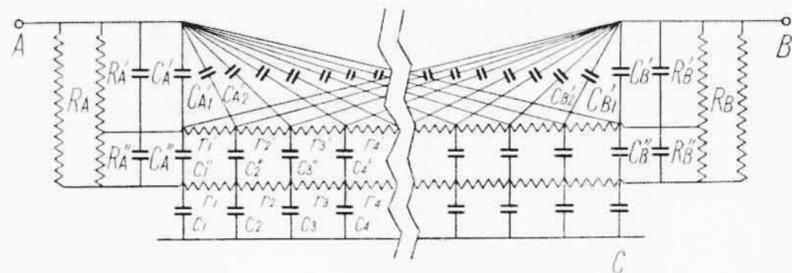
すなわち蛍光放電管は比較的細長く、管壁はガラスで、その表面には漏洩抵抗が分布しかつその値が大幅に変化すること、また放電管の周囲には必ず物体が存在し管壁と周囲物体間の容量が無視できなくなる場合があること、そのほか電極と管内壁間容量、管内壁面漏洩抵抗、そのほかを考慮に入れると第1図のような一つの分布定数回路が形成される。なおガラスの体積固有抵抗、管壁各部間の容量も存在するがここでは一応無視できるものとして省略して考える。

第1図の回路において普通は $C_1'', C_2'' \dots \gg C_{A1}'$, $C_{A2}' \dots$, C_{B1}' , $C_{B2}' \dots$, $r' \gg r$ と考えられかつ $C_{A1}' \dots$, $C_{B1}' \dots$ については電極に近い部分だけを考えると第2図のように簡略化される。

さらに $r_1 = r_2 = \dots \equiv r$, $Z_1 = Z_2 = \dots \equiv Z$, $C_1 = C_2 = \dots \equiv C$ としかつ C' を無視すると第3図のようになる。本報では第3図の簡略等価回路をもとにして解析を進め、必要に応じて第2図、第1図の回路を参照する。

3.2 分布定数回路による基礎的解析

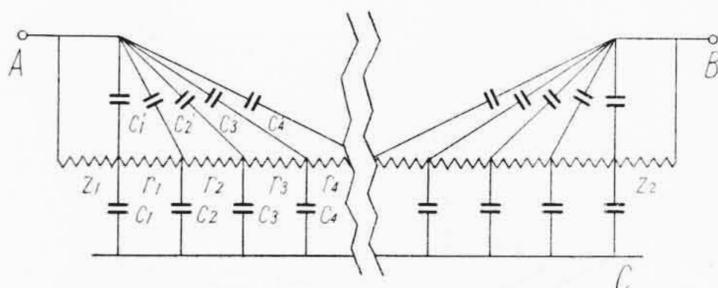
(1) 簡略等価回路においてCのみ考慮した場合



上図において

- R_A, R_B : 電極 A および B と管外壁間表面漏洩抵抗
- $R_{A'}, R_{B'}$: 電極 A および B と管内壁間表面漏洩抵抗
- $R_{A''}, R_{B''}$: 管内外壁間抵抗 (管端部における)
- C_A, C_B : 電極 A および B と管内壁管端部間等価容量
- $C_{A'}, C_{B'}$: 管端部管内壁間容量
- $C_{A1}', \dots, C_{B1}' \dots$: 電極 A および B と管内壁間分布容量
- $r_1', r_2' \dots$: 管内壁表面漏洩抵抗
- $C_1', C_2' \dots$: 管内外壁間分布容量
- $C_1, C_2 \dots$: 管外壁と周囲物体 C 間容量
- $r_1, r_2 \dots$: 管外壁表面漏洩抵抗

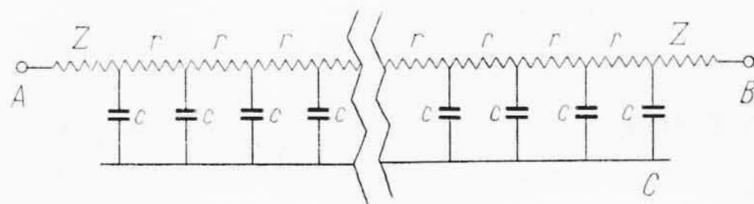
第1図 基礎等価回路



上図において

- Z_1, Z_2 : 電極口間等価インピーダンス ($C_{A1}', C_{A1}'', R_A, R_{A'}, R_{A}'', R_{B1}', R_{B1}'', R_B, R_{B'}, R_{B}'', R_{B1}'', R_{B2}'', \dots$ をまとめてそれぞれ一つの等価インピーダンスにおきかえたもの以後 Z で代表させる)
- $C_1, C_2 \dots$: 管壁周囲物体間容量 (C で代表させる)
- $C_1', C_2' \dots$: 電極管壁間等価容量 (C' で代表させる)
- $r_1, r_2 \dots$: 管壁表面漏洩抵抗 (r で代表させる)

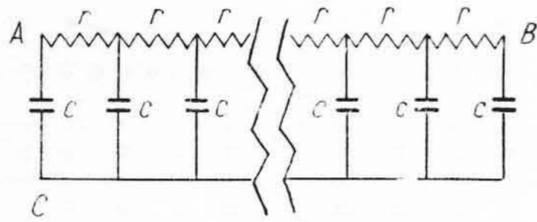
第2図 簡略等価回路 (その1)



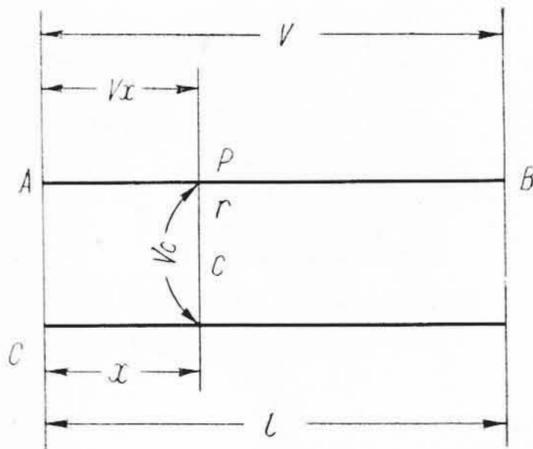
第3図 簡略等価回路 (その2)

簡略等価回路において r が高くなってくると C の影響が大きくなり、Z の影響が小さくなる。このような場合に対応してここでは便宜上 $Z=0$ として解析する。

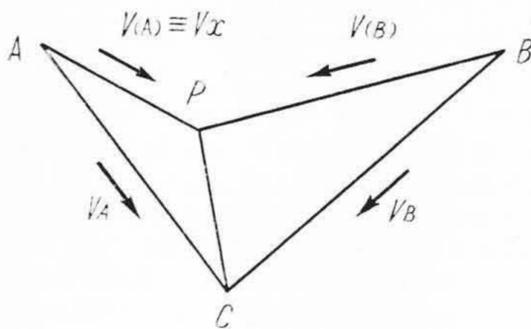
すなわち第4図 (A) の等価回路で周囲物体電位、印加電圧などが同図 (B) (C) に示すような場合には管壁電位分布の基本式は送電線の RC 分布回路すなわち理想ケーブルまたはトムソンケーブルの場合とまったく同様に (3) 式で示される。つまり電極 A と周囲物体 C 間の電圧 V_A が与えられる場合 (このときの電極 B と C 間の電圧を V_B, C と今考えている管壁上の一点 P 間の電圧を V_C , P 点と電極 A および B との間の電圧をそれぞれ $V(A), V(B)$ とす) 管端から x なる距離



(A) 簡略等価回路 (その3)



(B) 電位分布説明図



(C) 電圧ベクトル図

第 4 図 Z, C' を無視した場合の等価分布定数回路および電圧ベクトル図

の点 P の A 点を基準にした場合の電圧 $V_{(A)}$ を V_x なる記号で示すものとすれば V_x は次のようになる⁽¹¹⁾。

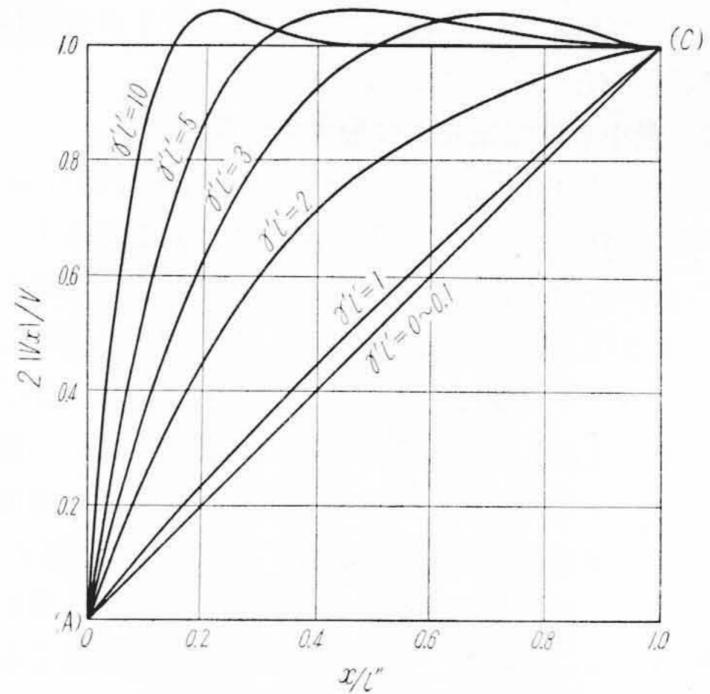
$$V_x = V_A - \frac{1}{\sinh \gamma l} \{ V_A \sinh \gamma (l-x) + V_B \sinh \gamma x \} \dots (3)$$

ただし

$$\gamma = \sqrt{j\omega cr} = \sqrt{\frac{1}{2} \omega cr} = j\sqrt{\frac{1}{2} \omega cr} \equiv \gamma'(1+j) \dots (4)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (f: \text{周波数}) \dots (5)$$

実際の場合 V_A と V_B は周囲物体の電位によって変



第 5 図 Z, C' を無視した場合の管壁電位分布

る。したがって種々の V_A および V_B について検討する必要があるが、ここでは周囲物体に故意に電位を与えない場合について考える。この場合は周囲物体電位は管壁中央電位になる。

すなわち管両端にかかる電圧が V の場合には (3) 式において

$$V_A = -V_B = \frac{V}{2} \dots (6)$$

とおけばよい。したがってこのときの管壁電位分布は (7) 式で示される。

$$V_x = \frac{V}{2} \left\{ 1 - \frac{\sin h \gamma (l-x)}{\sin h \gamma l} \right\} \dots (7)$$

ただし、この場合は

$$l^* = \frac{l}{2} \dots (8)$$

* 注: (7) および (8) 式は一般には周囲物体電位 V_A, V_B によって異なってくる。しかし、紙面の都合でその詳細は省略するが、多くの場合 V_A, V_B にもとづく $|V_x|$ したがって V_{st} の変化は近似的に (9) および (10) 式における l' の変化に対応させて考えることができる。たとえば $V_A = V/2$ の場合は $l' = \frac{l}{2}$, $V_A = V$ の場合は $l' = l$ のごとくである

(7) 式より $|V_x|$ を計算して図示すると第 5 図のようになる。

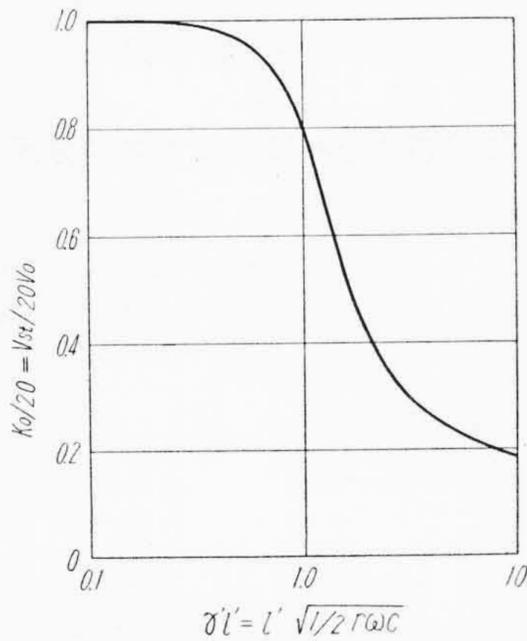
$$|V_x| = \frac{V}{2} \sqrt{\frac{\{\sinh \gamma' l' \cos \gamma' l' - \sinh \gamma' (l-x) \cos \gamma' (l-x)\}^2 + \{\cosh \gamma' l' \sin \gamma' l' - \cosh \gamma' (l-x) \sin \gamma' (l-x)\}^2}{(\sinh \gamma' l' \cos \gamma' l')^2 + (\cosh \gamma' l' \sin \gamma' l')^2}} \dots (9)$$

$$V_{st} = V_0 K_0' = 2V_0 \sqrt{\frac{(\sinh \gamma' l' \cos \gamma' l')^2 + (\cosh \gamma' l' \sin \gamma' l')^2}{\{\sinh \gamma' l' \cos \gamma' l' - \sinh \gamma' (l-x_0) \cos \gamma' (l-x_0)\}^2 + \{\cosh \gamma' l' \sin \gamma' l' - \cosh \gamma' (l-x_0) \sin \gamma' (l-x_0)\}^2}} \dots (10)$$

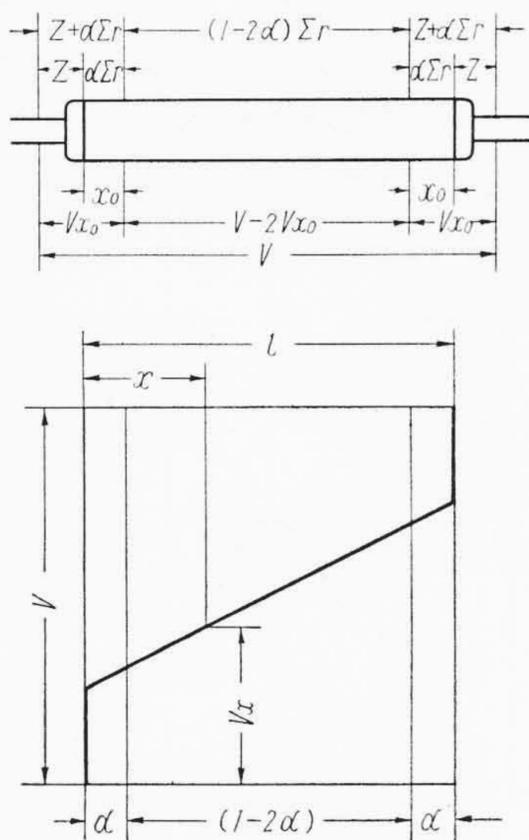
第5図から電位分布が $\gamma'V'$ によって変わってくる事が知れる。

ところでこの場合には管端部に最大電位傾度が存在しかつ管端部の電位傾度が点灯に密接に関係するので、今管端から x_0 の距離の点までの電圧降下の絶対値がある一定値 V_0 になったとき点灯するものと仮定すると V_{st} は (10) 式で示される。

今 $x_0 = \frac{l}{20}$ として V_{st} を計算しこれを図示すると第6図のようになる(また一般に最大電位傾度は $x=0$ の点にあり、その値がある一定値 Eg になったとき点灯するとも第6図とほぼ同様の結果が得られる。なお計算によって c, r, ω, l から $\gamma'V'$ を求めると実際の蛍光



第6図 $V_{st} \sim \gamma'V'$ 関係図 ($Z=0$)



第7図 C, C' を無視した場合の管壁電位分布

放電管の V_{st} の変化にほぼ対応した値が得られる。すなわち c は 1 PF/cm 前後, r は 0.1~1,000M Ω /cm, $l'=60$ cm, $\omega=314$ とすると $\gamma'V'$ は 0.1~数10程度となる。管外壁抵抗は数十万M Ω 以上にもなり得るが、この場合には管内壁抵抗が無視できなくなると考えられ、管外壁抵抗増加による V_{st} の低下には限度があり、 V_{st} をある程度以下にするためには c および周囲物体電位をある程度以上大にする必要がある)。

(2) 等価分布定数回路において Z のみ考慮した場合次に Z を考慮に入れかつ r が低い場合を考える。この場合には c の影響は無視でき電位分布は第7図のようにほとんど抵抗分布で定まる。すなわち管端から x なる点までの電圧を V_x とすれば

$$V_x \doteq V \left\{ \frac{Z + \Sigma r \left(\frac{x}{l} \right)}{\Sigma r + 2Z} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

さらに V_Z と V の位相差を無視すれば

$$|V_x| \doteq V \left\{ \frac{|Z + \Sigma r \left(\frac{x}{l} \right)|}{\Sigma r + 2|Z|} \right\} \dots\dots\dots (11')$$

ただし

V : 全印加電圧, l : 管長, Σr : 管壁全抵抗 ($\Sigma r = rl$)

この場合には一般に管端部の電圧降下が大であるので、この部分の電圧が全印加電圧の何割になるかによって V_{st} がきまる。前と同様管端から x_0 までの電圧降下が V_0 になったとき点灯するものとすれば

$$V_{st} = V_0 K_0'' = V_0 (2 + k') \dots\dots\dots (12)$$

ただし

V_0 : 点灯に要する管端部電圧降下

$$k' = \frac{(1-2\alpha)\Sigma r}{Z + \alpha\Sigma r} = \frac{(1-2\alpha)k}{1 + \alpha k} \dots\dots\dots (13)$$

$$k = \frac{\Sigma r}{Z} \dots\dots\dots (14)$$

$$\alpha = \frac{x_0}{l} \dots\dots\dots (15)$$

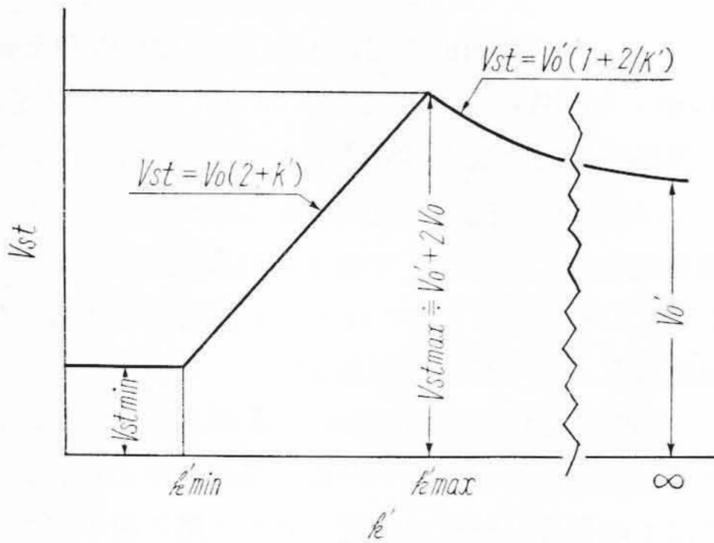
また V_{x_0} が V_0 に達する前に $V-2V_{x_0}$ がある一定値 V_0' に達し点灯する場合もあり、この場合の点灯電圧は次のようになる。

$$V_{st} \doteq V_0' \left(1 + \frac{2}{k'} \right) \dots\dots\dots (16)$$

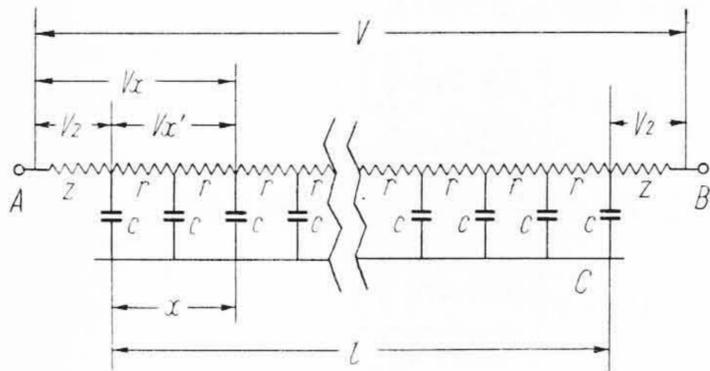
ただしこれらの式が成立する範囲は第8図に示す。

(3) 等価分布定数回路において Z, C を同時に考慮した場合

以上二つの極端な場合について考えてきたが、実際の場合には Z, C を同時に考慮しなければならない。すなわち第9図において電極間にかかる全電圧を V, Z



第8図 $V_{st} \sim k'$ 関係図 ($C=0$)



第9図 C' を無視した場合の等価分布定数回路

を除いた管端から他方の管端までの電圧を V' 、電極口金間等価インピーダンス Z における電圧降下を V_Z 、一方の管端から x までの電圧降下を $V_{x'}$ とすれば、この場合の電位分布は (17) 式で示される。

$$V_x = V_Z + V_{x'}$$

$$= V \frac{\left\{ \frac{Z}{rl} \left\{ \frac{\gamma l' \cosh \gamma l'}{\sinh \gamma l'} \right\} + \frac{1}{2} \left\{ 1 - \frac{\sinh \gamma (l' - x)}{\sinh \gamma l'} \right\} \right\}}{\left\{ 2 \frac{Z}{rl} \left\{ \frac{\gamma l' \cosh \gamma l'}{\sinh \gamma l'} \right\} + 1 \right\}} \quad \dots (17)$$

したがって

$$|V_x| = \left| \frac{\frac{Z}{rl} \left\{ \frac{\gamma l' \cosh \gamma l'}{\sinh \gamma l'} \right\} + \frac{1}{2} \left\{ 1 - \frac{\sinh \gamma (l' - x)}{\sinh \gamma l'} \right\}}{2 \frac{Z}{rl} \left\{ \frac{\gamma l' \cosh \gamma l'}{\sinh \gamma l'} \right\} + 1} \right| \quad \dots (18)$$

これまでと同様に管端から x_0 までの電圧の絶対値 $|V_{x_0}|$ がある一定値 V_0 になったとき点灯するものと仮定すれば V_{st} は次式で示される。

$$V_{st} = V_0 K_0 = V_0 \frac{\left\{ 2 \frac{Z}{rl} \left\{ \frac{\gamma l' \cosh \gamma l'}{\sinh \gamma l'} \right\} + 1 \right\}}{\left\{ \frac{Z}{rl} \left\{ \frac{\gamma l' \cosh \gamma l'}{\sinh \gamma l'} \right\} + \frac{1}{2} \left\{ 1 - \frac{\sinh \gamma (l' - x_0)}{\sinh \gamma l'} \right\} \right\}} \quad \dots (19)$$

したがって K_0 が計算できれば V_{st} が求まるが、この計算は一般には面倒であるので今特に V_Z 、 V_{x_0} 、 V の位相差を無視すれば

$$V_{st} \equiv V_0 K_0''' \doteq$$

$$2 \frac{\left| \frac{Z}{rl} \left\{ \frac{\gamma l' \cosh \gamma l'}{\sinh \gamma l'} \right\} \right| + 1}{\left| \frac{Z}{rl} \left\{ \frac{\gamma l' \cosh \gamma l'}{\sinh \gamma l'} \right\} \right| + \frac{1}{2} \left\{ 1 - \frac{\sinh \gamma (l' - x_0)}{\sinh \gamma l'} \right\}} \quad \dots (20)$$

となり、今までの (10) (12) 式の計算結果を用いて計算できる。

なお (20) 式で

$$Z \doteq 0 \text{ ならば } K_0''' \doteq K_0'$$

$$\text{また } \gamma l' \doteq 0 \text{ ならば } K_0''' \doteq K_0''$$

でかつ一般に $K_0''' \leq K_0'$ または K_0'' である。したがって大ざっぱにいうと r が小さい場合には主として k' をまた r が大きい場合には $\gamma l'$ を、 r が中位の場合には k' 、 $\gamma l'$ を同時に考慮することによっておおよその V_{st} が第10図のように予想できる。

なお以上の解析をもとにし、それにさらに C' の影響を考慮し、蛍光放電管の管壁電位分布の Σr 、または $\gamma l'$ による変化の概略を図示すると第11図のようになる。

4. 管壁電位分布に及ぼす各種要因

今まで等価分布定数回路を用いて管壁電位分布がどのような因子によりどのように変化するか概略の考察を行ってきたが、結局蛍光灯の点灯電圧は定性的に次式のような形で示されることがわかった。

$$V_{st} = V_0 \cdot K_0 \quad \dots (21)$$

$$\text{または } V_{st} = V_{st \max} \cdot K_{00} \quad \dots (22)$$

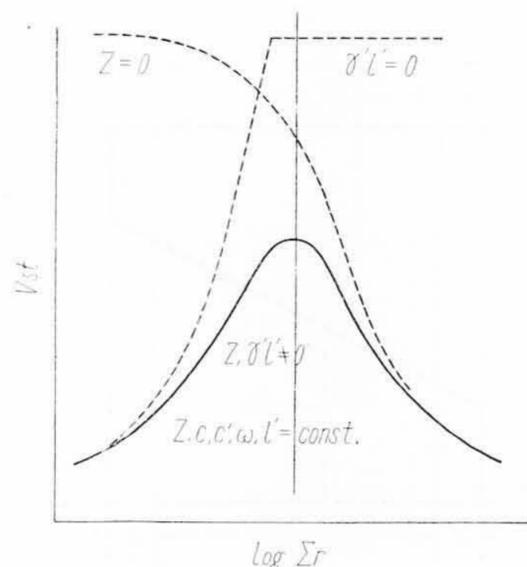
ただし

K_0 または

$$K_{00} = F(\gamma l', k', \dots) = F(\gamma, \omega, C, C', l', Z, \dots) \quad \dots (23)$$

$$V_0 \text{ または } V_{st \max} = F'(\text{管径, 管長, 気体状態, 電極状態} \dots) \quad \dots (24)$$

上式において F 、 F' は右辺と左辺の関数関係を示す。(21) (22) 式において K_0 または K_{00} は管壁電位分布の状態を示すいわば管壁電位分布係数とも称すべきものである。つまり点灯電圧は管壁電位分布の影響とその



第10図 $V_{st} \sim \Sigma r$ 関係図

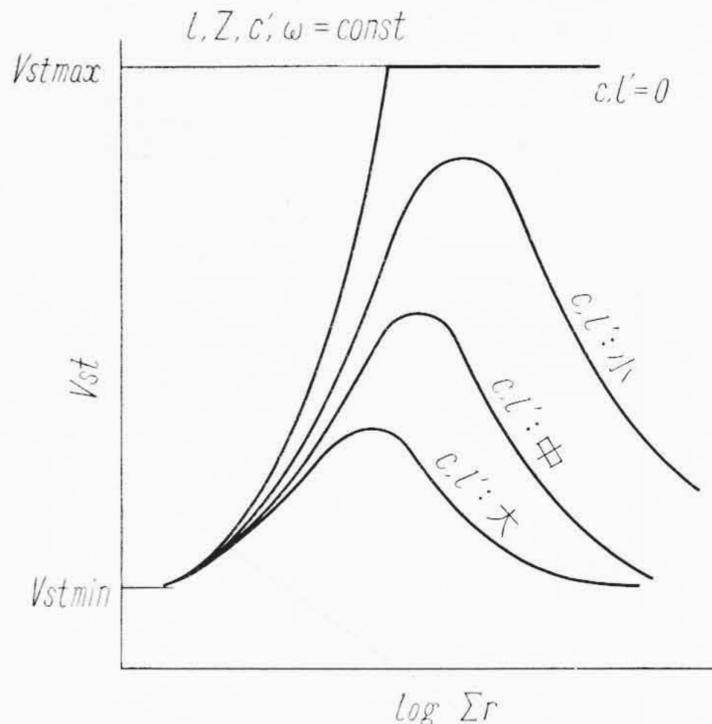
分類記号	管壁抵抗	k or k'	$\gamma l'$ or $(\gamma l')^2$	最大電位傾度	点灯電圧	電位分布表示法	管壁電位および電位傾度分布図	
							$V_A = 0.5V$	$V_A = V$
(A)	極小	小	小	大	小	$ V_x $		
							$\frac{dV_x}{dx}$	
(B)	小	中	小	中	中	$ V_x $		
							$\frac{dV_x}{dx}$	
(C)	中	大	小	小	大	$ V_x $		
							$\frac{dV_x}{dx}$	
(D)	大	大	中	中	中	$ V_x $		
							$\frac{dV_x}{dx}$	
(E)	極大	大	大	大	小	$ V_x $		
							$\frac{dV_x}{dx}$	

第11図 蛍光放電管管壁電位分布予想図

ほかの放電管自身に関する要因の影響と分けて考えた方が便利である。ここでは管壁電位分布が実際の蛍光放電管ではどのような因子によって影響されるかをある程度具体的に説明する。すなわち今までは $\gamma l'$, k' を二大要因として考えてきたが、これを (23) 式のようにさらに分解して考える。

4.1 湿度（管壁抵抗）の影響

湿度の影響についてはすでに各方面で研究⁽⁷⁾⁽⁹⁾され、その原因は管壁抵抗の変化によることが明らかになっている。これは次のように説明される。すなわち (21) 式において $Z = \text{const}$ として r による V_{st} の変化を求めると第10図のようになる。湿度による Σr の変化は40Wの放電管の場合で数十万 $M\Omega$ ~ 数百乃至数十 $M\Omega$ の間でこれに対する V_{st} の変化は普通は第10図の $V_{st \text{ max}}$ より右側の部分になり一般には湿度が高くなるにつれて V_{st} も高くなる。しかし管壁抵抗が極端に低くなったりすると逆の変化も起り得る。なお管壁抵抗による V_{st} の変化も他の要因 ω , C , l' , C' , Z などによってかなり異なり、また管壁抵抗値が一定でも抵抗分布が異なると V_{st} が変化する。したがって湿度に対する対策としては湿度にかかわらず Σr を非常に高く保つか、あ



第12図 周囲物体の影響

るいは逆に低く保てばよい。現在その両方法⁽¹²⁾ が実用化されている。

4.2 管長、管径などの影響

管長によっては l' , 管径によっては C , C' , Z が変化する。また管径が大きくなると管壁電位分布そのものの影響が少なくなってくるのが予想されるので点灯電圧もそれに従って変化する。

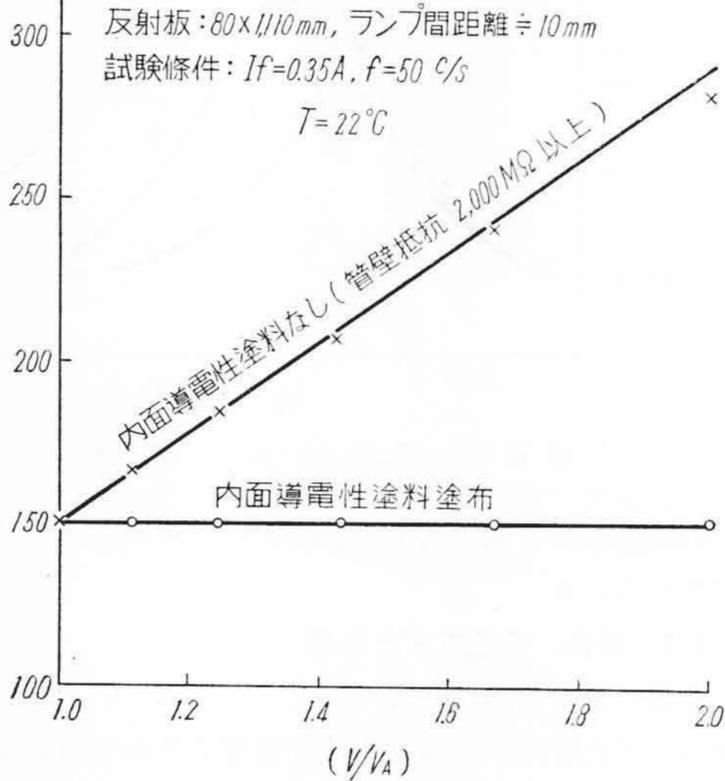
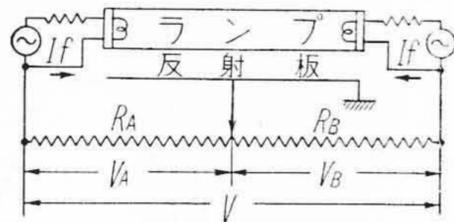
4.3 周囲物体（反射板、導電板など）の影響

周囲物体の大きさ、管との距離は C に直接関係する。またその電位も管壁電位分布に影響する。この影響の仕方は電位により l' を一定とし V' が変化すると考えた方が便宜である。たとえば電位が2倍になれば電圧の位相その他によって多少異なるが V' もほぼ2倍になると考えてよい。その変化の概略を示すと第12図のごとくで管壁抵抗がある程度以上高い場合には反射板ランプ間容量 C の大きいほど、また反射板電位が高いほど点灯電圧が低くなるのがわかる。しかし管壁抵抗が低い場合には多くの場合影響の程度が少ない。今反射板電位による点灯電圧の変化の一例を示すと第13図のようになる。なお管壁に密接した金属板を特に導電板と称することになると、その導電板もその大きさ、位置および電位によって V_{st} に大きく影響する。導電板の影響は不規則な管壁電位分布をも対象とせねばならず現象的には興味のあることであるがここでは紙面の都合で省略する。詳細については別の機会に報告したい。

4.4 電極および予熱電流の影響⁽⁶⁾

電極の大きさおよびその位置は C' , Z に関係し、そのほか x_0 にも関係してくる。特に先行放電がある場合には電極近傍がイオン化され、導電性を帯びるので第14図のようにあたかも電極がのびたと同じような効果を生じ、 C' および x_0 が大幅に変化し点灯電圧が低下する。

供試ランプ：日立ラピッドスタートランプ
供試回路



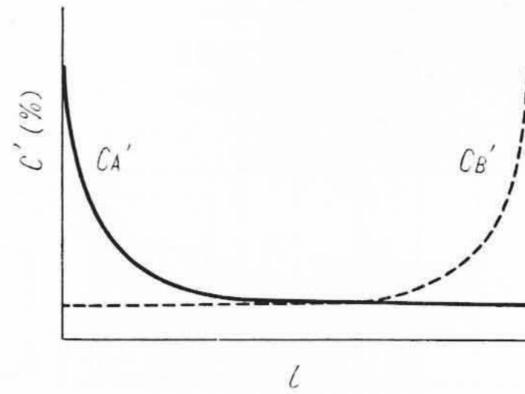
第 13 図 反射板電位による点灯電圧変化の一例

なおこのときののび方はランプの長さにはあまり関係しないため管長の短いものほど点灯電圧低下の割合が大で、20 W 以下の管長では先行放電でほとんど管内がつながってしまい、湿度の影響をほとんど受けなくなる場合がある。この場合には予熱電流と印加電圧の位相差が問題になる。

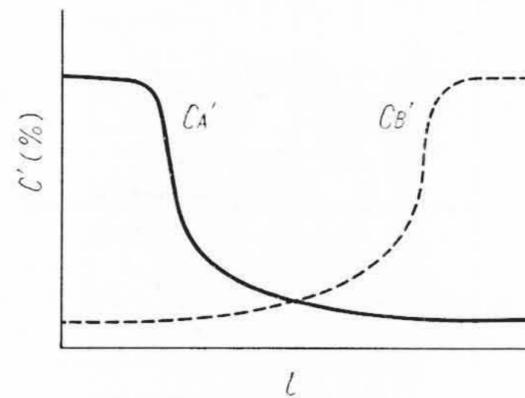
4.5 印加電圧の種類

蛍光灯を点灯させる場合の印加電圧は普通は直流，交流，過渡電圧に分けられる。なお直流も交流で $\omega=0$ の特別な場合と考えれば交流，過渡電圧の 2 種に大別される。しかし管壁電位分布の観点から考えると電圧を徐々に印加した場合，あるいはそれに近似の状態，たとえばラピッドスタートのようにフィラメントトランス方式で電圧印加後フィラメントがある温度に達するまでの時間的余裕のある場合つまり点灯時の管壁電位分布を定常状態の分布で近似的に取り扱える場合を総称して交流定常電圧(点灯)とし，電源電圧のいかんにかかわらず過渡的な電圧によるもの，たとえば直流電圧の急激印加方式，グロースタータ，サーマルスタータなどの過渡電圧によるものを総称して過渡電圧(点灯)とし区別して考える方が便利である。

本報での基礎解析は前者の交流定常電圧を対象として定常的管壁電位分布を考えてきた。したがってここでもこのような場合について主として考える。つまり定常的



(A) 先行放電のない場合



(B) 先行放電のある場合

第 14 図 C' の分布図

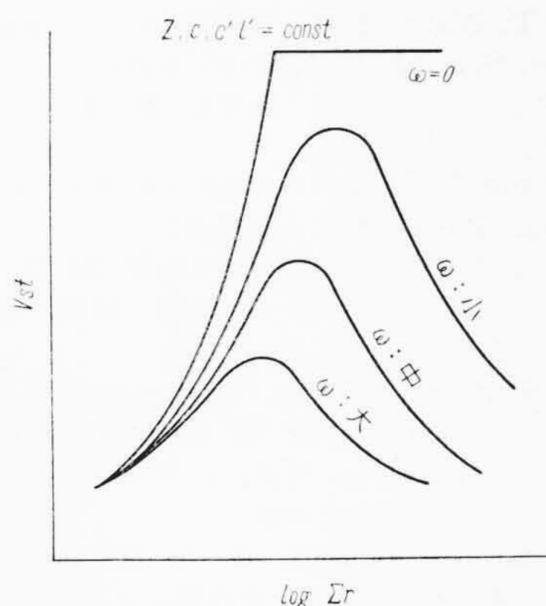
管壁電位分布を考慮する場合の要素はその周波数 f (すなわち ω) で， f による点灯電圧の変化は既述の点灯電圧表示式より推察できる。すなわち Z, C, C', V が一定の場合は第 15 図に示すようになり，一般に f が大になるにつれて V_{st} が低下し，その変化の程度は r, Z, C, V などに影響される。たとえば Σr について考えると Σr が小さい場合は ω の影響はほとんどなく， Σr が中程度では商用周波数程度のところの変化が大きく， Σr が極端に大きい場合には f が低い場合の変化率が大で，商用周波数以上ではあまり変化はない。なお実際の放電管では f が高くなると Z が小になる場合があり， f が大になると V_{st} がかえって増大する場合もある。また交流の波形によっても変化する。

過渡電圧による場合の管壁電位分布は本報よりさらに一般的な解析をする必要があるが(これについては別の機会に報告する予定)交流定常電圧による場合と所要点灯電圧が異なってくる。しかしこの場合には過渡電圧の波形，すなわち立ち上がり速度，電圧持続時間(放電の遅れに関係すると考えられる)などに影響され，その定量的な取り扱いとは簡単ではない。

5. 管壁電位分布以外の要因との関連性

5.1 点灯電圧に及ぼす要因の再分類

蛍光放電管の点灯現象も結局は気体中の放電現象で



第15図 ω の影響 ($Z = \text{const}$ の場合)

Paschen, Penning らの法則に従う。ただ管径に比し管長が長いので管壁の影響が大きく、従来主としてその研究の対象であった平等電界中での放電と多少様相を異にする。その相異点は放電開始直前および開始から終了までの管内の電位分布に基因するものが大部分と考えられ、その管内電位分布が管外壁の電位分布に大きく影響されるため点灯電圧が大幅に影響されると考えられる。

(その影響の程度を $V_{st \min}$ と $V_{st \max}$ の比で表示すれば、管長、予熱電流などによって変るが 1:5~10 程度である)。以上の点を除外すれば今までの気体中の放電と同一の観点からその点灯開始現象を取り扱うことができると考えられる。すなわちすでに述べたように管壁電位分布をある特定の状態にしておき、そのときの点灯電圧に及ぼす各種要因と管壁電位分布の影響とを分けて考えた方が便利である。その特定の状態としては最大点灯電圧(または最小点灯電圧)になるような管壁電位分布をとればよい。この時の点灯電圧はすでに述べたように(22)式で示される。以上のような考えに基づいて蛍光灯の点灯電圧に及ぼす要因を再分類すると次のようになる。

- (A) 気体状態に基因するもの
 - (a) 気体の種類, 圧力 (b) 温度 (c) 放射線
- (B) 電極状態に基因するもの
 - (a) 電極の材料, 構造 (b) 予熱電流
- (C) 電極間距離に基因するもの
 - (a) 管長 (b) 電極および先行放電
- (D) 管壁電位分布に基因するもの
 - (a) 湿度(管壁抵抗) (b) 管径, 管長, 形状
 - (c) 周囲物体(反射板, 導電板) (d) 印加電圧の種類 (e) 電極および予熱電流

5.2 管壁電位分布以外の要因

蛍光放電管の点灯電圧に及ぼす管壁電位分布以外の要因については、すでに多数の人々によって研究されてい

るが、それらの概略を述べると次のようになる。

(A) 気体状態に関係するもの

一般に蛍光放電管の封入気体としては Hg と A が主で、最近の高出力ランプなどでは A の代わりに Ne, Kr などの使用が試みられているが、これら混合気体の種類による相異は気体の圧力などによって異なり一概にはいえない。また不純ガスが入ると点灯電圧が著しく高くなることもある。A, Kr などの気体の圧力と点灯電圧の関係はほぼ Paschen の法則に準じ、ある圧力で点灯電圧が最低になる。通常点灯電圧が最低に近くなるように設計されている。周囲温度は気体の圧力特に Hg の圧力に関係し、一般に低温になるほど点灯電圧が高くなる。そのほか外部放射線たとえば紫外線などによっても影響を受け、一般に波長の短い光源ほどその影響が大きいといわれている⁽¹⁰⁾。

(B) 電極状態に関係するもの

電極は一般にタングステンフィラメントに ϕ (仕事函数) の小さい材料 (Ba の酸化物) を塗布し、点灯を容易にしている。また電極に予熱電流を流しその温度をある程度以上にあげ点灯を容易にする方法がとられる場合が多い。その上先行放電を起さしてさらに点灯を容易にする場合もある。

(C) 電極間距離

蛍光放電管はその出力に応じていろいろの長さのものがあるが、一般に長さが長ければ点灯電圧も大になる。なお電極に先行放電を起させるとすでに述べたようにあたかも電極がのびたと同じような結果になり、点灯電圧が低下する。しかしこのときの $V_{st \max}$ ならしめる電位分布は先行放電のない場合とかなり様相が異なってくる。

(D) 最小点灯電圧について

最小点灯電圧は安定器設計の場合には重要な要素で、過渡電圧がいかに大であっても電源電圧が放電維持電圧に達しない場合は点灯できない。また最小点灯電圧は放電維持電圧したがって点灯中の管電圧と密接な関係にあり、放電管の電流電圧特性と安定器の特性に関係してくる。すなわちすでに述べた気体、電極に関係する要因のほか印加電圧の周波数、回路の電流電圧特性に左右される。

6. 結 言

以上蛍光灯の点灯特性を管壁電位分布を主眼にして概略検討した。結局放電管が細長いいためその点灯電圧は放電管自身に関係する要素たとえば管長、管径、気体の種類、圧力、電極などに影響されるほかに電圧のかかり方すなわち管壁の電位分布に大きく左右される。その電位分布はいろいろの要因に影響される。その際各要因は独

立に点灯電圧に影響を与えるほかに各要因間に相互関係が存在するため、点灯現象をいっそう複雑化せしめている。

その主な要因としてはすでに述べたように (1) 管壁抵抗値およびその分布 (2) 管長, 管径 (3) 周囲物体の大きさ, 位置とその電位 (4) 電極および予熱電流 (5) 印加電圧の種類などが考えられ, これらの要因がそれぞれお互いに影響し合い管壁電位分布を変え, 点灯電圧を変化させる。

また逆にいうと蛍光放電管およびその周囲の物体を考慮した等価分布定数回路で考察することによって以上の要因の影響は管壁電位分布の観点から統一できる。たとえば管壁抵抗値と反射板電位の関係なども管壁電位分布から説明でき商用周波のラピッドスタート点灯方式における内面導電性塗料塗布ランプのように管壁抵抗値の低いランプは反射板の影響を受けない点で, 管壁抵抗の高いものより有利であることが理解できる。

なお本報での解析はさらに一般化する必要がある, また定量的に点灯電圧を表示するためにはまだまだ検討すべき点が多いので今後とも検討を続ける予定である。

終りに臨み本研究に際しいろいろ御指導をいただきあるいは御協力をお願いした日立製作所中央研究所中村主任研究員, 日立ランプ株式会社日野西重役, 谷口課長ならびに日立製作所亀戸工場松井部長, 鈴木課長, 野崎主任, 西岡主任その他の方々に対し厚く感謝する。

参 考 文 献

(1) R. H. Mc Farland, C. A. Bell, John Ladesich :

Illum. Eng. 52, 8 (1957-8)
 D. T. Waigh L. C. Wiltshire: Trns. Illum. Eng. Soc. 22, 5 (1957-5) その他
 (2) 松本, 金岡, 田中: 照学誌 39, 9 (昭 30-9) その他
 (3) Harold Jacobs, Armond La Rocque: J. of Appl. Phys. 18, 2 (1947-2)
 (4) 松田, 阪口: 電学誌 73, 12 (昭 28-12) 田中他: 照学誌 41, 4 (昭 32-4) 阿部, 神原, 成瀬: 照学誌 38, 6 (昭 29-6) その他
 (5) G. S. Evans: Illum. Eng 45, 3(1950-3) その他
 (6) A. R. Lensmers, W. W. Brooks: Illum. Eng. 47, 11 (1952-11) 竹田, 山下: 電気四学会連大予稿 (昭 33-5) その他
 (7) Richard N. Thayer, D. D. Hinman: Illum. Eng. 40, 9 (1952-9) その他
 (8) R. F. Townsend. H. E. Bachman: Illum. Eng. 47, 4 (1952-4) その他
 (9) Linder John A.: Trans. Electrochem. Soc. 84 (1945) Mc. Farland Robert H. Sargent: Illum. Eng. 45, 6 (1950-6) Robert H. Mc. Farland: Illum. Eng: 46, 6 (1951-6) その他
 (10) 浅田, 中谷, 真室: 応用物理 22, 6 (昭 27-6) 23-2 (昭 28-2), 23, 10 (昭 28-10)
 (11) 福田: 電気回路, 河出書房 (昭 21-1) その他
 (12) J. H. Campbell: Elec. Eng. 70, 6 (1951-6), Elenbaas T. Holmes: Philips Tech. Rev. 12 11 (1950-11), 山下, 竹田: 三菱電機 31, 8 (昭 32-8), 31, 9 (昭 32-9), 大坪, 谷口, 西岡, 中道: 日立評論 別冊 17 号 (昭 31-11), R. N. Thayer. A. C. Barr: G. E. Rev. 55, 3 (1952-3) 野村, 橋本: 東芝レビュー 10, 3(昭 30-3)

Vol. 20	日 立	No. 12
目	次	
◎家庭電化への希望.....奥むめお	◎生活と金属 (V) (自動車部品の話)	
◎冬の赤城山とケーブルカー	◎ビデオコントロールのできるテレビ	
◎アイロンの話	◎粉末冶金 "ニッカロイ"	
◎暮しの科学	◎ポンプを利用したジェット船	
◎日本最大のしゅんせつポンプ	◎日 立 だ よ り	
◎ショールーム (お歳暮のしおり)	◎新 しい 照 明 施 設	
◎明日への道標 (センジマーミル)		
誌 代 1 冊 ¥ 60 (〒 16)		
発行所 日立評論社	東京都千代田区丸ノ内1丁目4番地	振替口座東京 61824 番
取次店 株式会社オーム社書店	東京都千代田区神田錦町3丁目1番地	振替口座東京 20018 番