エレクトロルミネセンス素子電力測定用 電子管式電力計

専門会員 石 川 太 郎*

An Electronic Watt Meter for Electric Power Measurement of an Electroluminescent Cell

by Taro Ishikawa (Fellow Member)
(Nagoya Institute of Technology)

ABSTRACT

In the measurement of electric Power consumption, it is impossible to use the commercially available measuring instruments. The reasons are (a) that EL cell itself is of low power factor load ($\cos \phi = 0.1 \sim 0.4$), (b) that the frequency range for the working of the cell is comparatively wide, (c) that the power consumption of the cell is little at present, (d) that there is a distortion in the voltage and current waveform of the cell, and so on. Therefore, the correct method of measurement of electric power has been variously studied in many quarters. In this report, there are described the materials which we have recently studied about this subject and which we submitted to the Japanese Investigation Committee on EL of Illuminating Engineering Institute and No. 125 Committee of Japanese Science Promotion Conference, etc. The contents of this study are the operating principles of the instantaneous indicating type electronic watt meter, for the trial manufacture of which we spent two years, and its properties, the examples of measurement of electric power by this meter, the comparison with the other methods of measurement, the representative EL properties from an applied example of electric power measurement, etc.

1. 結 言

エレクトロルミネセンス（以下ELと略称）素子の消費電力の測定には、次のような問題点がある。

1) 電気的にはEL素子は比較的大きな損失角を示す複合誘電体を有する電気容量であり、低力率（0.1～0.4ぐらい）の進み負荷である。

2) 測定のための電源電圧、周波数が比較的広範囲に行なわれる。現在の応用面からは20kc以上は可視光への変換効率や寿命の点から用いられていないが、大体可聴周波域で用いられ、電圧も数十～数百Vの範囲にわたっている。

3) 素子の大きさ、種類、点灯条件で異なるが、その電力消費は数 mW 程度の小電力である場合も多い。

4) その他、比較的高インピーダンスであり、非線形素子である。

以上のような条件下で電力を測定するには、電力に関連する他の量を測って計算する間接法と、直接電力を指示する電力計を用いる法が考えられ、日本学振第125委員会、照明学会EL調査委員会、同関西支部EL委員会

でも研究テーマとして取り上げられた¹⁾。

ここでは直接測定法に関する研究の一環として行なった電子管式瞬時電力計について、その試作結果を報告する。

2. EL素子の瞬時および平均電力

いま、問題にしているEL素子は第1図(a)に示すような基本構造のものであるが、これが簡単のため同図(b)のように実効抵抗分Rと等価容量分Cの直列よりなる等価回路を仮定する。

そこでEL素子への印加電圧 e が

$$e = E_m \sin \omega t$$

第1図 EL素子の基本構造と簡単な等価回路

* 名古屋工業大学

(E_m は印加電圧最大値, ω はその角周波数) で表わされるものとする, 素子電流 i は

$$i = \{E_m / \sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2}\} \sin(\omega t + \varphi)$$

となり

位相角 $\varphi = \tan^{-1}(1/\omega C)$ だけ印加電圧より進む. よって素子の瞬時電力 p は

$$p = e \cdot i = \{\omega C E_m^2 / 2 \sqrt{1 + (\omega C R)^2}\} \{\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)\} \dots \dots (1)$$

$$\begin{aligned} \text{瞬時有効電力 } P_R &= i^2 R = [R E_m^2 / 2 \{R^2 + (1/\omega C)^2\}] \\ &\{1 - \cos 2(\omega t + \varphi)\} \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

(1), (2)式で示される電力の平均値 P は等しく

第2図 EL素子の印加電圧, 電流, 瞬時および平均電力の波形

$$P = \{\omega C E_m^2 / 2 \sqrt{1 + (\omega C R)^2}\} \cos \varphi = E I \cos \varphi \dots (3)$$

ここに E, I , は印加電圧および素子電流の実効値.

第2図はこれら e, i, p, p_R, P の関係を示す.

3. 電子管式瞬時電力計の試作²⁾³⁾⁴⁾

3.1 回路構成とその要点

この電力計の原理は二乗差式乗算器に基づくもので, 負荷の両端の電圧 e と負荷電流 i にそれぞれ比例した電圧を取り出し, 電子管乗算器によりその積に比例する出力電圧すなわち負荷電力比例値を得ようとするもので, その回路構成は第3図に示すとおりである.

すなわち, 負荷端の電圧は抵抗分割および真空管 V_{1B} のカソードホロパ回路で適当な電圧 $k_1 e$ に, また負荷に直列に小抵抗を入れ, 負荷電流に比例した電圧降下を得る. これを真空管 V_{1A} で位相反転し, 真空管 V_{2A} および V_{2B} で増幅し, $+k_2 i$ および $-k_2 i$ なる電圧を得る (k および k_2 は定数). これに前の $k_1 e$ を加えて $k_1 e + k_2 i$ および $k_1 e - k_2 i$ なる電圧を作り, 真空管 V_{3A}, V_{4A}, V_{4B} および V_{3B}, V_{5A}, V_{5B} よりなる二乗回路にそれぞれを入れ, その出力 E_0 を差動回路で取り出すと

$$E_0 = \gamma \{(k_1 e + k_2 i)^2 - (k_1 e - k_2 i)^2\} = 4\gamma k_1 k_2 e i \dots (4)$$

を得る (ただし γ は二乗比例係数).

すなわち出力 E_0 は入力電圧, 電流の瞬時の積に比例し, EL 素子の場合は (1) 式のような瞬時電力 P を指示させることができる. また (4) 式の平均値 E_0' を直流計器で指示させると,

$$E_0' = (1/\pi) \int_0^\pi E_0 d\theta = K E I \cos \varphi = K P \dots \dots \dots (5)$$

なる平均電力比例値を得ることができる.

ここに $\theta = \omega t, K$ は定数.

実際の試作では第4図に見られるように全回路を一つの筐体に収めるので, 特に入力回路に周波数補償が必要

第3図 電子管式瞬時電力計の回路図

第 4 図 電子管式瞬時電力計の外観

となる。これは浮遊容量などの増加のため測定周波数によって入力減衰度および位相が変化し誤差を生ずる。

また加減算回路で V_{2A} および V_{2B} の負荷に得られる k_{2i} および $-k_{2i}$ に k_{1e} を加えるが、これによる電流が真空管 V_2 に流れ誤差の原因となるので、さらに V_2 のカソード側に k_{1e}/n を加えてその影響を少なくしている (n は定数で調整.)。この回路の安定度は最も重要であるから特に低周波数に対して強負帰還をかける。

二乗回路は入力を同相および 180° 位相の異なる電圧に変換しパラフェーズ増幅を行なう方式を用いた。この回路ではグリッド偏倚を各真空管ごとに調整し得るようにしておくと、真空管特性の相違がある程度補償できる。

3.2 試作機 の 特 性

(a) 入出力特性 回路より取り出す電圧は最大 0.3 V, (R. M. S.) として入力切換えレンジを決定した。電圧は 50, 150, 500, 1,500 V とし、電流は 1, 3, 10,

第 5 図 入力電流・電圧対出力電圧特性

30, 100, 300, 1,000, 3,000 mA レンジとしてある。入力電流、出力電圧特性として、入力電圧をパラメータと

し、入力同相の場合について第 5 図に示す。ただし電源周波数は 60 c/s である。

(b) 周波数特性 周波数特性は、第 3 図の回路で

第 6 図 出力周波数特性

CAL レンジにおいて電圧入力 3.9V, 電流入力は 0.3V (いずれも R. M. S. 値) の正弦波を加えて測定したもので、第 6 図に示すとおりである。

(c) 種々の位相差の入力に対する乗算出力波形

周波数は 1,000 c/s, 電圧分は CAL レンジで 3.1V (R. M.

第 7 図 種々の位相差の入力に対する乗算波形と
入力のリサーチェ図形

S. 値), 電流分は電源を R_1, R_2 なる抵抗で分割し, R_2 より CAL レンジで 0.2 V (R. M. S. 値) を得るようにし、さらに R_2 に並列容量 C を入れ、 R_1, R_2, C を変化させ種々の位相差入力に対する乗算出力波形を観察した。第 7 図にこれを示す。なおこれと対応させて入力位相差を

第8図 種々の力率の負荷の電力測定値

示すリサージュ図形を示した。

(d) 試作機による電力測定例 第8図は市販高周波抵抗と容量を直列にした既知インピーダンスの消費電力を種々の力率，電圧，周波数について測定し，計算値と比較したものである。値のバラツキは電力計自体の誤差もあるが使用負荷の計算精度にもある。

第9図は実際の試料 EL 素子（電極間隔44 μ ，発光面積 42 cm²，ZnS : Cu，Al けい光体をメラミン樹脂中に埋蔵）に100～2,000c/s，150 V（2000 cs だけ120 V）の電圧を印加した場合の発光波形と電力波形を比較したもので，電力波形は試作機により，発光波形は RCA 931 A

第9図 EL素子の発光波形(左)と電力波形(右)。

(カッコン内は電力計のレンジ)

光電増倍管を用いた輝度計により測定した。

第10図は同種の試料 EL 素子の発光特性を消費電力を主体として表示したものである。周知のように EL 素子

第10図 EL 素子発光特性例

を完全拡散面と考えると光束発散度 $H(\text{rlx})$, 単位面積当たりの消費電力 $P_A(\text{W/m}^2)$, 効率 $\eta (\text{lm/W})$ の間には

$$\log \eta = \log H - \log P_A \dots\dots\dots(6)$$

なる関係があるから両対数目盛りで縦軸に η , 横軸に P_A を目盛ると, $\log \eta$ と $\log P_A$ の交点を通る 135° の直線が $\log H$ となる.

4. 誤差に対する吟味

前記の方式の電力計の測定誤差のおもな原因として次のようなことが考えられる.

(1) 二乗回路における二乗特性よりのずれについて

第 3 図の回路図に示される真空管 V_{4A} と V_{4B} あるいは V_{5A} と V_{5B} の特性が同じでプレート電流 i_p はグリッド入力電圧 e_g (グリッド偏倚 E_{g0} を基準にして) の級数に展開して

$$i_p = \alpha + \beta e_g + \gamma e_g^2 + \delta e_g^3 + \dots\dots\dots(7)$$

で表わされるものとすれば, パラフェーズ増幅出力電圧 e_0 は負荷抵抗を R とすると

$$e_0 = R(i_{p1} + i_{p2}) = 2R(\alpha + \gamma e_g^2 + \dots\dots\dots)(8)$$

となる. ここに i_{p1} は V_{4A} , V_{5A} のプレート電流, i_{p2} は V_{4B} , V_{5B} のプレート電流を示す. ここで右辺第 1 項の直流分を打ち消すようにすれば第 3 項以下は第 2 項に比べ小さいので無視することができ, e_g^2 に比例した出力を得ることができる. 直流分の打ち消しの不完全な場合および動作点の不適當な選定などは二乗特性からのずれを大きくするので, このような場合の誤差に注意を要する.

(2) 両二乗回路の比例係数 γ の差異による誤差

二つの二乗回路の出力電圧 e_0 および e_0' が入力電圧 e_g に対して

$$e_0 = \gamma e_g^2, \quad e_0' = \gamma' e_g^2$$

のように一致していない場合 $\gamma > \gamma'$ として相対誤差 ε は

$$\begin{aligned} \varepsilon &= (E - E')/E \\ &= [4\gamma k_1 k_2 e i - \{\gamma'(k_1 e + k_2 i)^2 - \gamma(k_1 e - k_2 i)^2\} / 4\gamma k_1 k_2 e i] \\ &= \{1 - (\gamma'/\gamma)\} \{1 - (k_1 e / k_2 i) \cos \varphi\} / 4(k_1 e / k_2 i) \cos \varphi \end{aligned} \dots\dots\dots(9)$$

となる. (9) 式で誤差を無くするためには

$$k_1 e / k_2 i = 1 / \cos \varphi \dots\dots\dots(10)$$

なる関係を満足させる必要がある.

5. 結 言

以上は EL 素子電力測定のため試作した電子管式瞬時電力計について概要を述べたが, 特長として微少電力測定が可能であり, 瞬時値, 平均値の指示が可能で, 測定周波数域も広い点があげられる. 一方部品, 真空管の安定性が必要であり, 調整(試作時における)がめんどろな欠点もある. なおこの電力計はけい光放電管その他の電力測定にも適用できることはもちろんである.

最後に研究にあたってご教示ご検討いただいた京大 大谷教授, 阪口教授始め照明学会 EL 調査委員会, 同関西支部 EL 委員会各位および試作に協力された金子, 黒田両氏に深く感謝いたします.

文 献

- (1) 大谷, 坊: 日本学振第 125 委員会資料 43(1960)
 - (2) 石川, 金子: 電気四学会東海支, 連大 56(1959)
 - (3) 石川, 黒田: 電気四学会東海支, 連大 44(1960)
 - (4) 石川: 日本学振第 125 委員会 資料 46(1960)
- (受付 昭 38.2.18)