EL セルの実用的等価回路表示について

名誉会員 尾 本 義 一* 専門会員 栗 田 正 一*

Practical Equivalent Circuit of EL Cell

Yoshikazu Omoto (Honorary Member), Syoichi Kurita (Fellow Member)

(Faculty of Engineering Keio University)

ABSTRACT

EL cell is one of the transducers that transform electrical energy into optical energy. Its electrical equivalent circuit contains not only linear elements but also a nonlinear element. With this considered this paper proposes a comparatively simple equivalent circuit which consists of resistance, nonlinear resistance and capacitance in series.

1. ま え が き

EL セルは、電気エネルギーを光エネルギーに変換する transducer と考えられるので、EL セルの応用を研究する上において、その実用的等価回路表示を考えることは必要と思う。本研究はこのような目的のために EL セルの動作状態における諸特性を基にして EL セル全体を巨視的に見た場合、実験結果とかなりよく合致する等価回路表示を提案したものである。

一般に transducer の電氣的等価回路は、必ずしも線形回路素子だけでは表わせず、非線形回路素子を含む場合が多い。EL セルの場合もその一つで、その等価回路には非線形回路素子を含んでいる。また EL セルのようにその構造上当然容量的特性をもつものの等価回路は、直列等価回路と並列等価回路の両方が考えられるが、ここでは実用的に使いやすい点を考えて、直列等価回路表示について考えを進めていく。

2. EL セルの電氣的諸特性

本研究に使用した EL セルは、次の3種類のものである。

試料 I 青色発光 (Blue)	} いずれも発光面積 = 6 cm × 4 cm = 24 cm, 耐圧 約 300 V, 厚さは ば一定 (数 10 μ)
試料 II 緑色発光 (Green)	
試料 III 橙色発光 (Orange)	

その動作状態（ここでは EL セルの発光している状態をいっている）における電氣的諸特性を、VAW メータによって測定した結果を次に示す。（静電容量の測定には簡易シェーリング、ブリッジを用いた）。

(a) 静電容量の電圧をパラメータとした場合の周波数特性を第1図、第2図、第3図に示す。

(b) 力率の電圧をパラメータとした場合の周波数特性

第 1 図

第 2 図

* 慶応義塾大学工学部

第 3 図

第 4 図

第 5 図

第 6 図

第 7 図

第 8 図

第 9 図

第 10 図

第 11 図

を第 4 図, 第 5 図, 第 6 図に示す。

(c) 電流の電圧をパラメータとした場合の周波数特性を第 7 図, 第 8 図, 第 9 図に示す。

(d) 消費電力の電圧をパラメータとした場合の周波数特性を第 10 図, 第 11 図, 第 12 図に示す。

3. EL セルの等価回路の求め方

今, EL セルのインピーダンスを Z とし, それを負荷とした場合の位相角を θ とする。

ここに,

$$|Z| = V/I$$

ただし, V : 印加電圧, I : 電流

$$Z \text{ の実数部} = R_e(Z) = Z \cos \theta$$

$$Z \text{ の虚数部} = I_m(Z) = Z \sin \theta$$

第 12 図

第 13 図

第 14 図

第 15 図

とおくと前記3種のEL, 試料I (Blue), 試料II (Gree), 試料III (Orange) に対する $R_e(Z)$, $I_m(Z)$ の周波数特性が第13図, 第14図, 第15図に示すように得られる。

これらのグラフより $R_e(Z)$, $I_m(Z)$ の実験式を求めてみる。 $R_e(Z)$ についてはグラフからわかるように, 両対数グラフに表わした場合, 周波数 f が低いときはほぼ直線であり, 周波数が高くなるに従ってこの直線から多少はずれていく,

この場合の実験式としては¹⁾

$$\log \{R_e(Z) - \beta\} = \log a + b \log f \quad \dots\dots\dots(1)$$

すなわち

$$R_e(Z) = \beta + af^b \quad \dots\dots\dots(2)$$

が想定される。

ここで a, b, β は f に関しては定数であるが電圧 V に関しては b, β はほぼ定数であるが, a は V によって変化する。各 EL セル試料に対する a, b, β を求めると $R_e(Z)$ は次のようになる。

試料 I (Blue)

$$100 \text{ V } R_e(Z) = 1.0 \times 10^3 + \frac{2.7 \times 10^6}{f} \quad \Omega$$

$$150 \text{ V } R_e(Z) = 1.0 \times 10^3 + \frac{3.6 \times 10^6}{f} \quad \Omega$$

$$200 \text{ V } R_e(Z) = 1.0 \times 10^3 + \frac{4.4 \times 10^6}{f} \quad \Omega$$

$$250 \text{ V } R_e(Z) = 1.0 \times 10^3 + \frac{5.3 \times 10^6}{f} \quad \Omega$$

上の結果からこの試料に関しては

$$b = -1, \quad \beta = 1.0 \times 10^3$$

$$a \doteq (17 \text{ V} + 1000) \times 10^3$$

ゆえに $R_e(Z)$ の式としては

$$R_e(Z) = 1.0 \times 10^3 + \frac{(17 \text{ V} + 1000)}{f} \times 10^3 \quad \Omega \quad \dots\dots\dots(3)$$

試料 II (Green)

$$100 \text{ V } R_e(Z) = 0.3 \times 10^3 + \frac{1.75 \times 10^6}{f} \quad \Omega$$

$$150 \text{ V } R_e(Z) = 0.3 \times 10^3 + \frac{2.6 \times 10^6}{f} \quad \Omega$$

$$200 \text{ V } R_e(Z) = 0.3 \times 10^3 + \frac{3.5 \times 10^6}{f} \quad \Omega$$

$$250 \text{ V } R_e(Z) = 0.3 \times 10^3 + \frac{4.3 \times 10^6}{f} \quad \Omega$$

上の結果からこの試料に関しては

$$b = -1, \quad \beta = 0.3 \times 10^3$$

$$a \doteq (17.5 \text{ V}) \times 10^3$$

ゆえに $R_e(Z)$ の式としては

$$R_e(Z) = 0.3 \times 10^3 + \frac{17.5 \text{ V}}{f} \times 10^3 \quad \Omega \quad \dots\dots\dots(4)$$

試料 III (Orange)

$$100 \text{ V } R_e(Z) = 0.5 \times 10^3 + \frac{2.3 \times 10^6}{f} \quad \Omega$$

$$150 \text{ V } R_e(Z) = 0.5 \times 10^3 + \frac{3.2 \times 10^6}{f} \quad \Omega$$

$$200 \text{ V } R_e(Z) = 0.5 \times 10^3 + \frac{4.0 \times 10^6}{f} \quad \Omega$$

$$250 \text{ V } R_e(Z) = 0.5 \times 10^3 + \frac{5.0 \times 10^6}{f} \quad \Omega$$

上の結果からこの試料に関しては

$$b = -1, \quad \beta = 0.5 \times 10^3$$

$$a \doteq (18 \text{ V} + 500) \times 10^3$$

ゆえに $R_e(Z)$ の式としては

$$R_e(Z) = 0.5 \times 10^3 + \frac{(18 \text{ V} + 500)}{f} \times 10^3 \quad \Omega \quad (5)$$

次に $I_m(Z)$ について考えてみる。

第 13 図, 第 14 図, 第 15 図より $I_m(Z)$ は電圧 V が変わってもあまり変化していない. そこで $I_m(Z)$ は電圧にはよらず周波数 f だけによって変化するものと考えられる.

グラフは直線になっているので $I_m(Z)$ は次の形の式が想定される.

$$I_m(Z) = af^b \dots\dots\dots(6)$$

ここに a, b は定数とする.

グラフより a, b の値を求めて各 EL セル試料について, 次の実験式を得る.

試料 I (Blue)

$$I_m(Z) = \frac{5.0 \times 10^7}{f} = \frac{1}{2\pi f \times 3.2 \times 10^{-9}} \quad \Omega \dots\dots(7)$$

試料 II (Green)

$$I_m(Z) = \frac{2.8 \times 10^7}{f} = \frac{1}{2\pi f \times 5.7 \times 10^{-9}} \quad \Omega \dots\dots(8)$$

試料 III (Orange)

$$I_m(Z) = \frac{4.4 \times 10^7}{f} = \frac{1}{2\pi f \times 3.6 \times 10^{-9}} \quad \Omega \dots\dots(9)$$

以上からインピーダンス Z は, $R_e(Z)$ という実負荷と $I_m(Z)$ という容量リアクタンスとの直列回路とみなすことができる. 以上の結果に基づいて, インピーダンス, および等価回路を考えると次のようになる.

各 EL セル試料について整理すると

試料 I (Blue)

$$Z(f) = 1.0 \times 10^3 + \frac{17 \text{ V} + 1000}{f} \times 10^3 \\ -j \frac{1}{2\pi f \times 3.2 \times 10^{-9}} \quad \Omega$$

試料 II (Green)

$$Z(f) = 0.3 \times 10^3 + \frac{17.5 \text{ V}}{f} \times 10^3 \\ -j \frac{1}{2\pi f \times 5.7 \times 10^{-9}} \quad \Omega$$

試料 III (Orange)

$$Z(f) = 0.5 \times 10^3 + \frac{18 \text{ V} + 500}{f} \times 10^3 \\ -j \frac{1}{2\pi f \times 3.6 \times 10^{-9}} \quad \Omega \dots\dots\dots(10)$$

となる.

等価回路としては, 次のようなものが考えられる.

一般形

試料 I (Blue)

試料 II (Green)

試料 III (Orange)

以上のインピーダンスの式においては, 第 2 項の非線形素子 R_x は電圧 V と周波数 f の関数という形で表わされているが, これを電圧 V と電流 I の関数の形で表わすと次のようになる.

前に第 7 図, 第 8 図, 第 9 図で示した電流特性のグラフを両対数グラフに書きかえると第 16 図, 第 17 図, 第 18 図のようになる. これらはいずれもきれいな直線となっているから, 電圧 V を一定とした場合, 電流 I と周波数 f の関係は今までと同様に

$$I = af^b \dots\dots\dots(11)$$

a, b は定数

第 16 図

第 17 図

第 18 図

となる。それゆえこれを各 EL セル試料について整理すると、実験式は次のようになる。

試料 I (Blue)

$$\begin{aligned} 100 \text{ V } I &= 2.0 \times 10^{-6} f \\ 150 \text{ V } I &= 3.1 \times 10^{-6} f \\ 200 \text{ V } I &= 4.2 \times 10^{-6} f \\ 250 \text{ V } I &= 5.5 \times 10^{-6} f \end{aligned}$$

試料 II (Green)

$$\begin{aligned} 100 \text{ V } I &= 3.2 \times 10^{-6} f \\ 150 \text{ V } I &= 5.1 \times 10^{-6} f \\ 200 \text{ V } I &= 7.2 \times 10^{-6} f \\ 250 \text{ V } I &= 9.7 \times 10^{-6} f \end{aligned}$$

試料 III (Orange)

$$\begin{aligned} 100 \text{ V } I &= 2.2 \times 10^{-6} f \\ 150 \text{ V } I &= 3.4 \times 10^{-6} f \\ 200 \text{ V } I &= 4.8 \times 10^{-6} f \\ 250 \text{ V } I &= 6.3 \times 10^{-6} f \end{aligned}$$

これらの式より f を求め、それを(3)式、(4)式、(5)式で求めた各試料の $R_e(Z)$ の式に代入してインピーダンス Z を求める。

試料 I (Blue)

$$\begin{aligned} 100 \text{ V } Z &= 1.0 \times 10^3 + \frac{5.4}{I} - j \frac{5.0 \times 10^7}{f} \Omega \\ 150 \text{ V } Z &= 1.0 \times 10^3 + \frac{11.3}{I} - j \frac{5.0 \times 10^7}{f} \Omega \\ 200 \text{ V } Z &= 1.0 \times 10^3 + \frac{18.5}{I} - j \frac{5.0 \times 10^7}{f} \Omega \\ 250 \text{ V } Z &= 1.0 \times 10^3 + \frac{29.2}{I} - j \frac{5.0 \times 10^7}{f} \Omega \end{aligned}$$

試料 II (Green)

$$\begin{aligned} 100 \text{ V } Z &= 3.0 \times 10^2 + \frac{5.6}{I} - j \frac{2.8 \times 10^7}{f} \Omega \\ 150 \text{ V } Z &= 3.0 \times 10^2 + \frac{13.3}{I} - j \frac{2.8 \times 10^7}{f} \Omega \\ 200 \text{ V } Z &= 3.0 \times 10^2 + \frac{25.2}{I} - j \frac{2.8 \times 10^7}{f} \Omega \\ 250 \text{ V } Z &= 3.0 \times 10^2 + \frac{41.7}{I} - j \frac{2.8 \times 10^7}{f} \Omega \end{aligned}$$

試料 III (Orange)

$$\begin{aligned} 100 \text{ V } Z &= 5.0 \times 10^2 + \frac{5.1}{I} - j \frac{4.4 \times 10^7}{f} \Omega \\ 150 \text{ V } Z &= 5.0 \times 10^2 + \frac{10.9}{I} - j \frac{4.4 \times 10^7}{f} \Omega \\ 200 \text{ V } Z &= 5.0 \times 10^2 + \frac{19.2}{I} - j \frac{4.4 \times 10^7}{f} \Omega \\ 250 \text{ V } Z &= 5.0 \times 10^2 + \frac{31.5}{I} - j \frac{4.4 \times 10^7}{f} \Omega \end{aligned}$$

上の各式において、第 2 項の分子だけが電圧 V ともに変化している。それゆえ分子を y とおき、 y と V との関係を 両対数グラフに表わすと、第 19 図に示すような直線で示される。

第 19 図

ゆえに実験式は

$$y = aV^b \dots\dots\dots (12)$$

a, b は定数

となる。

各 EL セル試料について整理すると

試料 I (Blue)

$$y = 1.56 \times 10^{-3} V^{1.8}$$

試料 II (Green)

$$y = 3.33 \times 10^{-4} V^{2.1}$$

試料 III (Orange)

$$y = 7.78 \times 10^{-4} V^{1.9}$$

となる。これを前のインピーダンス Z の式に代入すると各試料に対するインピーダンスの式は次のようになる。

試料 I (Blue)

$$\begin{aligned} Z &= 1.0 \times 10^3 + \frac{1.56 \times 10^{-3} V^{1.8}}{I} \\ &\quad - j \frac{1}{2\pi f \times 3.2 \times 10^{-9}} \Omega \end{aligned}$$

試料 II (Green)

$$\begin{aligned} Z &= 3.0 \times 10^2 + \frac{3.33 \times 10^{-4} V^{2.1}}{I} \\ &\quad - j \frac{1}{2\pi f \times 5.7 \times 10^{-9}} \Omega \end{aligned}$$

試料 III (Orange)

$$Z = 5.0 \times 10^2 + \frac{7.78 \times 10^{-4} V^{1.9}}{I} - j \frac{1}{2\pi f \times 3.6 \times 10^{-9}} \Omega \quad \dots\dots\dots (13)$$

したがって等価回路は次のように考えられる。

試料 I (Blue)

試料 II (Green)

試料 III (Orange)

3. 結 論

以上の(10)式, または(13)式で得られたインピーダンスをもつ等価回路の消費電力の計算値を実測値と比較するため, 前に示した第 10 図, 第 11 図, 第 12 図において, 実測値の実線に対して計算値を点線で示してある。

これによると全般的に周波数の低い範囲 (ほぼ 1,000

c/s 以下) では計算値と実測値がかなりよく一致するが, 周波数の高い範囲では一般に多少ずれている。

これは消費電力の計算に重要な役割をもつインピーダンスの実数部 $R_e(Z)$ の周波数の高い範囲での直線からのずれ (第 13 図, 第 14 図, 第 15 図参照) を $R_e(Z)$ の実験式が十分に補正してないからであるが, これを十分に補正しようすると実験式が複雑になり実用的でなくなる。

それに一般に EL セルは 1,000 c/s 以下で使用する人が多いから, 一応(10)式, (13)式で十分と思われる。

最後にこの等価回路の物理的意味を考えると, 第 1 項の抵抗分は導電硝子その他の Ohmic な抵抗を表わし, 第 2 項の非線形抵抗分は, 誘電体損失に基づく容量の等価直列抵抗および光出力に起因する抵抗を加え合わせたものを表わし, 第 3 項は EL セルの容量分を表わすと考えられる。

終わりに本研究に用いた EL セルを試作してくださった東京芝浦電気株式会社電灯技術部の安岡澄夫氏に感謝する。

参 考 文 献

- (1) 真島正市・磯辺 孝: 計測法概論 (上) 第 1 章

(受付 1965 年 9 月 9 日)