三素子形固体映像変換器の一考察

株式会社 松下電器東京研究所 鈴木 紀夫
小橋 忠雄

EL (エレクトロルミネッセンス) と PC (光導電体) との組合せによる、いわゆる光 (映像) 増幅器の解析は、EL と PC のみからなる二素子の場合については従来からなされている。本研究では、EL, PC の他にもうひとつのインピーダンス素子を含み、映像増幅、反転ばかりでなく、出力像の白黒比、ガンマなども可変にできる三素子形固体映像変換器について、これを等価回路により解析し、あわせて素子実験も行ない、解析結果と比較した。

1. ま え が き

EL (エレクトロルミネッセンス) と PC (光導電体) との組合せによる、いわゆる光増幅器は、原理的に EL と PC とが直列接続の場合には正性特性を示し¹⁾、EL と PC との並列素子に、それと直列にインピーダンス層を含む回路を構成する場合には負性特性、すなわち映像反転特性を示す²⁾。これらの光 (映像) 増幅器および反転器は、すでに各所において各種の構成方法によってパネルに作られ、実現されており、また、その特性解析³⁾⁴⁾ も行なわれている。

これら映像増幅ないしは映像反転のみの単能動作の映像変換器の他に、1つの映像板 (パネル) で映像増幅、反転ばかりでなく、出力映像の白黒比、ガンマなども可変にしようる万能形の映像変換器がある⁵⁾⁶⁾。この種の映像変換器は、実際にパネルとして構成する場合には、いくつか換のパネル構造があるが、基本的には EL と PC との他にもうひとつのインピーダンス層 (素子) を含み、中央の電極が有隙性である3電極、2電源からなる三素子構造を有するものである⁷⁻¹⁰⁾。実際のパネルにおいては、中央の有隙電極の効果により、複雑な映像特性を示すため、組合せ素子による回路では、その完全な特性を表わすことはできないのであるが、正性、負性、その他のだいたいの動作特性の傾向を示すことは可能である。そこで、EL と PC を含む三素子回路の一方式について解析し、あわせて素子実験も行ない、解析結果と比較した。

2. EL-PC を含む三素子回路の特性

電気的には EL は容量 C として働き、PC は容量 C と

図1 等価回路
Equivalent circuit.

光によって変化する抵抗分 R との並列素子として働く。この EL-PC の他に、もうひとつのインピーダンス素子として容量を含み、図1のような三素子回路を構成する場合について、PC への光入力 L_1 と EL からの光出力 L_2 との関係を考察する。なお、PC は焼結形素子のように電圧-光電流特性がほぼ直線近似のできるものとする。また、電流波形は完全な正弦波ではないが、正弦波と仮定して解析する。

図1において $G_P (=1/R_P)$ は PC (光導電体) 素子のコンダクタンス分、 C_P は容量分、 C_E は EL 素子の容量、 C_T はインピーダンス素子の容量である。 $\dot{V}_1$, $\dot{V}_2$ は電源電圧で、両者の周波数は同じであり、また、両者間の位相差を θ とし、次のように定める。

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_0, \quad \dot{V}_2 = S \dot{V}_0 e^{j\theta} = S \dot{V}_0 (\cos \theta + j \sin \theta) \quad (1)$$

ただし、 $S = \frac{|\dot{V}_2|}{|\dot{V}_1|}$ (S は零または正の任意の値)

このとき、EL に印加される電圧を $\dot{V}_{EL}$ とすると、

$$\dot{V}_{EL} = \frac{(G_P + j\omega C_P) + S j\omega C_T (\cos \theta + j \sin \theta)}{G_P + j\omega (C_P + C_E + C_T)} \dot{V}_0 \quad (2)$$

ここで $G_P/\omega C_P = q$, $C_T/C_E = p$, $C_T/C_P = r$ とおくと、

"Study of Three-Element Type Solid State Image Converter" by Norio Suzuki and Tadao Kohashi (Matsushita Research Institute Tokyo, Inc., Kawasaki). テレビ用電子管研究委員会発表 (昭 40.7)

$$\dot{V}_{EL} = \frac{(1+rS \cos \theta) + j(rS \sin \theta - q)}{(1+r+p) - jq} \dot{V}_0 \quad (3)$$

EL は印加電圧の絶対値によって発光するから、

$$|\dot{V}_{EL}| = \left\{ \frac{(1+rS \cos \theta)^2 + (rS \sin \theta - q)^2}{(1+r+p)^2 + q^2} \right\}^{1/2} |\dot{V}_0| \quad (4)$$

また、EL の発光式は一般には

$$L = L_{20} \omega^\beta \exp \left(\frac{-C}{V |\dot{V}_{EL}|} \right)$$

(ただし、印加電圧 $|\dot{V}_{EL}|$ 、周波数 f として $\omega = 2\pi f$, L_{20} , β , C は定数) で表わされるが、近似的に、

$$L = L_{20} \omega^\beta |\dot{V}_{EL}|^b \quad (b \text{ は定数}) \quad (5)$$

が成立するので、計算の簡単化のため (5) 式を用いる。

したがって、(4) 式を (5) 式に代入して、 $L_{20} \omega^\beta |\dot{V}_0|^b = L_0$ とおくと、

$$L_2 = L_0 \left\{ \frac{(1+rS \cos \theta)^2 + (rS \sin \theta - q)^2}{(1+r+p)^2 + q^2} \right\}^{b/2} \quad (6)$$

(4) 式および (6) 式が、前記三素子回路の EL 素子に印加される電圧および EL の発光の基本式となる。以下種々の場合につき検討する。

2.1 $\dot{V}_1$, $\dot{V}_2$ が逆位相関係 ($\theta = \pi$) にある場合の特性

(1) 正性特性

(6) 式において $\theta = \pi$ とおくと、

$$L_2 = L_0 \left\{ \frac{(1-rS)^2 + q^2}{(1+r+p)^2 + q^2} \right\}^{b/2} \quad (7)$$

(7) 式が $\theta = \pi$ の場合の発光の基本式である。まず $\dot{V}_2 = 0$ で $\dot{V}_1$ のみ印加の場合を考えると、 $S = 0$ であるから、

$$L_2 = L_0 \left\{ \frac{1+q^2}{(1+r+p)^2 + q^2} \right\}^{b/2} \quad (8)$$

ここで、 $q = G_F / \omega C_F$ は入力光 L_1 に対して、一般に $q = q_0 L_1^a$ の形で変化するので、暗時においては、そのコンダクタンスを G_a として、 $q_a = G_a / \omega C_F$ とし、一般には $q_a \approx 0$ と考えられる。したがって、 $q = q_a \ll 1$, r , p である“低入力光領域”での発光は (8) 式より、

$$L_2 \approx L_0 \left(\frac{\sqrt{1+q_a^2}}{1+r+p} \right)^b \quad (9)$$

$q_a \approx 0$ の暗時では、

$$L_2 \approx L_0 \left(\frac{1}{1+r+p} \right)^b \quad (10)$$

$q < 1$, r , p で、しかも $q = q_0 L_1^a$ で変化する“中入力光領域”では、

$$L_2 \approx L_0 \left(\frac{\sqrt{1+(q_0 L_1^a)^2}}{1+r+p} \right)^b \quad (11)$$

$q \gg 1$, r , p である“高入力光飽和領域”では、

$$L_2 \approx L_0 \quad (12)$$

次に $\dot{V}_1$ に対して逆位相 ($\theta = \pi$) の $\dot{V}_2$ を印加した場合を考える。(7) 式より、

$$\frac{dL_2}{dS} = (-) \left\{ \frac{(1-rS)^2 + q^2}{(1+r+p)^2 + q^2} \right\}^{(b-2)/2} \times r b (1-rS) L_0 \quad (13)$$

したがって、

$$1 > rS \text{ すなわち } |\dot{V}_1| > r |\dot{V}_2| \text{ の場合には } \frac{dL_2}{dS} < 0 \quad (14)$$

$$1 = rS \text{ すなわち } |\dot{V}_1| = r |\dot{V}_2| \text{ の場合には } \frac{dL_2}{dS} = 0 \quad (15)$$

$$1 < rS \text{ すなわち } |\dot{V}_1| < r |\dot{V}_2| \text{ の場合には } \frac{dL_2}{dS} > 0 \quad (16)$$

(14)~(16) 式より、 $\dot{V}_1$ に対して逆位相なる $\dot{V}_2$ を次第に印加していくと、 $|\dot{V}_1| > r |\dot{V}_2|$ の範囲では、 $\dot{V}_2$ を印加するにつれて (7) 式に示す L_2 は次第に小さくなり、発光が減少していき、 $|\dot{V}_1| = r |\dot{V}_2|$ でその発光は最小、 $L_2 = L_0 \{q^2 / (1+r+p)^2 + q^2\}^{b/2}$ となり、 $|\dot{V}_1| < r |\dot{V}_2|$ となると発光は再び増加することになる。したがって、 $\dot{V}_2$ の加減により、入力光一定の場合 (暗時も含む) でも、その出力光をコントロールできるわけである。

いま、 $|\dot{V}_1| = r |\dot{V}_2|$ ($rS = 1$) なる場合を考えると、(7) 式は、

$$L_2 = L_0 \left\{ \frac{q^2}{(1+r+p)^2 + q^2} \right\}^{b/2} \quad (17)$$

したがって、 $q \ll 1+r+p$, $q = q_a$ である暗時においては、

$$L_2 = L_0 \left\{ \frac{q_a}{1+r+p} \right\}^b \quad (18)$$

すなわち、 $\dot{V}_2$ によるコンベンションを行なうことによって、暗時では、 $\dot{V}_2$ を印加しない場合 ((9) 式) に比較して、

$$\frac{[L_2]_{|\dot{V}_1| = r |\dot{V}_2|}}{[L_2]_{|\dot{V}_2| = 0}} = \left\{ \frac{q_a}{\sqrt{1+q_a^2}} \right\}^b \approx (q_a)^b \quad (19)$$

も発光を下げるができる。

$q \ll 1+r+p$, $q = q_0 L_1^a$ である“中入力光領域”では、

$$L_2 \approx L_0 \left\{ \frac{q_0 L_1^a}{1+r+p} \right\}^b \quad (20)$$

さらに $\gamma (\text{ガンマ}) = d(\log L_1) / d(\log L_2)$ は (20) 式より

$$\gamma = \frac{d(\log L_2)}{d(\log L_1)} = ab \quad (21)$$

したがって $|\dot{V}_2| = |\dot{V}_1| / r$ なる最大コンベンションを行なったときの γ は、 $\gamma = ab$ で与えられる。

$q \gg 1+r+p$ である“高入力光飽和領域”では、

$$L_2 \approx L_0 \quad (22)$$

これは (12) 式の $\dot{V}_2$ によるコンベンションがない場合と同じである。したがって、逆位相なる $\dot{V}_2$ のコン

ペンセーションによって“高入力光領域”での発光を低下させることなく，“低入力光領域”の発光のみを下げることで、暗時発光を下げ、コントラストを強めることができるわけである。 $|\dot{V}_2|=0$ および最大コンペンセーションの場合以外では，“低入力光領域”での発光は、

$$L_2 \approx L_0 \left\{ \frac{\sqrt{(1+rS)^2}}{1+r+p} \right\}^b \quad (23)$$

“中入力光領域”での発光は、

$$L_2 \approx L_0 \left\{ \frac{\sqrt{(1-rS)^2 + q_0 L_1^a}}{1+r+p} \right\}^b \quad (24)$$

“高入力光領域”では、

$$L_2 \approx L_0 \quad (25)$$

以上をまとめると、 L_1-L_2 の関係は図2のようになり、また $\dot{V}_2$ を変化させた場合の“低入力光領域”特に“暗時”における発光特性は図3のようになる。

なお、周波数 ($f=\omega/2\pi$) を変えた場合については、PC の特性に対する周波数の影響は $q=G_P/\omega C_P$ に含まれるため、解析上は特性の形には関係しない。また、ELの発光は $L=L_{20}\omega^a |\dot{V}_{EL}|^b$ で変化するが、 f を変化させた場合には、単に輝度のレベルを変化させるのみで、特性の形にはあまり影響しない。したがって、これ

図2 $\theta=\pi$ における正性特性
Positive characteristics at $\theta=\pi$.

図3 $\theta=\pi$ における“暗時”の $|\dot{V}_2|-\log L_2$ 特性
 $|\dot{V}_2|-\log L_2$ characteristics at dark.

も特性解析は一定として取扱った。以下についても同様である。

(2) 負性特性

$\dot{V}_2$ を一定とし、 $\dot{V}_2$ と逆位相なる小さい $\dot{V}_1$ を印加した場合を考える。この場合には、 $\dot{V}_2=\dot{V}_0$ 、 $\dot{V}_1=1/S \cdot \dot{V}_2=1/S \cdot \dot{V}_0$ において考える ($S \gg 1$ とする)。

このとき(6)式は次のようになる。

$$L_2 \approx L_0 \left\{ \frac{(1-rS)^2 + q^2}{(1+r+p)^2 + q^2} \times \frac{1}{S} \right\}^b \quad (26)$$

これが逆位相の場合の負性特性の基本式である。

$q \ll 1+r+p$ 、 $(1-rS)^2 \gg q^2$ である“低入力光領域”では、

$$L_2 \approx L_0 \left\{ \frac{rS-1}{1+r+p} \times \frac{1}{S} \right\}^b \quad (\because 1-rS < 0) \quad (27)$$

$(1-rS)^2 > q^2$ でしかも $q=q_0 L_1^a$ で変化する“中入力光領域”では、

$$L_2 \approx L_0 \left\{ \frac{rS-1}{\sqrt{(1+r+p)^2 + (q_0 L_1^a)^2}} \times \frac{1}{S} \right\}^b \quad (28)$$

$(1-rS)^2 \ll q^2$ で、 $1+r+p \ll q$ である“高入力光飽和領域”では、

$$L_2 \approx L_0 \left(\frac{1}{S} \right)^b \quad (29)$$

特に $|\dot{V}_1|=0$ の場合、すなわち上式で $S=\infty$ とおくと、

“低入力光領域”では、

$$L_2 \approx L_0 \left(\frac{r}{1+r+p} \right)^b \quad (30)$$

“中入力光領域”では、

$$L_2 \approx L_0 \left\{ \frac{r}{\sqrt{(1+r+p)^2 + (q_0 L_1^a)^2}} \right\}^b \quad (31)$$

“高入力光飽和領域”では、

$$L_2 \approx 0 \quad (32)$$

ただし、 $q \gg 1+r+p$ であっても、まだ $q=q_0 L_1^a$ で変化している領域では、(31)式より、

$$L_2 \approx L_0 \left(\frac{r}{q_0 L_1^a} \right)^b \quad (33)$$

γ は、

$$\gamma = \frac{d(\log L_2)}{d(\log L_1)} = -ab \quad (34)$$

したがって、 $|\dot{V}_1|=0$ の場合の負性特性の“高入力光領域”では、その γ は $-ab$ で与えられる。以上をまとめると、図4のようになる。

2.2 $\dot{V}_1$ 、 $\dot{V}_2$ が同位相関係 ($\theta=0$) にある場合の特性

(1) 正性特性

(6)式において $\theta=0$ とおくと、

$$L_2 = L_0 \left\{ \frac{(1+rS)^2 + q^2}{(1+r+p)^2 + q^2} \right\}^{b/2} \quad (35)$$

図 4 $\theta = \pi$ における負性特性
Negative characteristics at $\theta = \pi$.

(35) 式が $\theta = 0$ で, $\dot{V}_1 = \dot{V}_0$, $\dot{V}_2 = S \dot{V}_0$ の場合の基本式である.

$q \ll 1+r+p$, $1+rS$ である“低入力光領域”では,

$$L_2 \approx L_0 \left(\frac{1+rS}{1+r+p} \right)^b \quad (36)$$

$q < 1+r+p$, $q = q_0 L_1^a$ である“中入力光領域”では,

$$L_2 = L_0 \left\{ \frac{\sqrt{(1+rS)^2 + (q_0 L_1^a)^2}}{1+r+p} \right\}^b \quad (37)$$

$q \gg 1+r+p$, $1+rS$ である“高入力光飽和領域”では,

$$L_2 \approx L_0 \quad (38)$$

したがって, S が小さく $(1+rS)/(1+r+p) \leq 1$ の場合には図 5 のような正性特性を示す.

図 5 $\theta = 0$ における正性特性
Positive characteristics at $\theta = 0$.

(2) 負性特性

正性特性(1)における S の充分大きい場合に相当するのであるが, $\dot{V}_2 = \dot{V}_0$ を一定基準にとり, $\dot{V}_1 = (1/S) \dot{V}_0$ (S は充分大きい) なるよう $\dot{V}_1$ を変化させた場合を考える. この場合の発光は,

$$L_2 = L_0 \left\{ \frac{(1+rS)^2 + q^2}{(1+r+p)^2 + q^2} \times \frac{1}{S} \right\}^b \quad (39)$$

$q \ll 1+r+p$, $1+rS$ なる“低入力光領域”では,

$$L_2 \approx L_0 \left\{ \frac{1+rS}{1+r+p} \times \frac{1}{S} \right\}^b \quad (40)$$

$q < 1+rS$, $q = q_0 L_1^a$ なる“中入力光領域”では,

$$L_2 \approx L_0 \left\{ \frac{1+rS}{\sqrt{(1+r+p)^2 + (q_0 L_1^a)^2}} \times \frac{1}{S} \right\}^b \quad (41)$$

$q \gg 1+r+p$, $1+rS$ なる“高入力光飽和領域”では,

$$L_2 \approx L_0 \left(\frac{1}{S} \right)^b \quad (42)$$

(40) 式で S が充分大きく, $rS \gg 1$ の場合には,

$$L_2 \approx L_0 \left(\frac{r}{1+r+p} \right)^b \quad (43)$$

したがって“低入力光領域”では S の大きい場合には, S を変化させても, 出力光はほとんど低下しないが, “高入力光飽和領域”では(42)式が示すように S を変化させることにより, 出力光を大幅に変化させることができる. すなわち, S (したがって $\dot{V}_1$) の変化により, 白黒比および γ を調節することができる(図 6).

図 6 $\theta = 0$ における負性特性
Negative characteristics at $\theta = 0$.

2.3 $0 < \theta < \pi$, $\pi < \theta < 2\pi$ の場合の特性

L_2 の q に対する変化を考える. $f = dL_2/dq$ とおくと, f は $0 < \theta < \pi$ の範囲では q が大きくなるに従い, 負から正の値に変化し, 正の値において 0 に近づき, また $\pi < \theta < 2\pi$ の範囲では正から負の値に変化し, 負の値において 0 に近づく. したがって, L_2 の変化は $0 < \theta < \pi$ では V 字状特性を示し, $\pi < \theta < 2\pi$ では逆 V 状特性を示す.

$q = 0$ における L_2 の値は,

$$\{L_2\}_{q=0} = \left\{ \frac{\sqrt{(1+rS \cos \theta)^2 + (rS \sin \theta)^2}}{1+r+p} \right\}^b L_0 \quad (46)$$

$q = \infty$ における L_2 の値は,

$$\{L_2\}_{q=\infty} \approx L_0 \quad (47)$$

したがって, S が充分小さい場合には, $0 < \theta < \pi$ では正性に近い特性, $\pi < \theta < 2\pi$ では負性に近い特性を示し, S が充分大きい場合には, $0 < \theta < \pi$ では負性に近い特性

図 7 V 状特性
V-shaped characteristics.

図 8 逆 V 状特性
Inverted V-shaped characteristics.

$\pi < \theta < 2\pi$ では正性に近い特性を示す(図 7, 図 8)。

2.4 位相制御動作特性

前節までは V_1, V_2 間の位相差は変えずに、電圧 V_1 ないし V_2 の振幅を変えた場合の特性について述べたが、この節では逆に電圧振幅は一定にしておいて、両電圧間の位相差を変えた場合の特性変化について考える。

(6) 式を再掲すると、

$$L_2 = L_0 \left\{ \frac{(1+rS \cos \theta)^2 + (rS \sin \theta - q)^2}{(1+r+p)^2 + q^2} \right\}^{b/2}$$

L_2 の θ に対する変化を考えるため、 $g = dL_2/d\theta$ とおくと、 $r, S, b, L_0 \neq 0$ であるから、 $g = dL_2/d\theta = 0$ を与える θ は、

$$\alpha = \tan^{-1}(q) \quad (49)$$

として、

$$\theta = n\pi - \alpha \quad (50)$$

したがって、“低入力光領域”で $q \approx 0$ の場合には $\alpha \approx 0$ 。よって $\theta = n\pi$ となり、 $\theta = 0, \pi, 2\pi$ で極値をもち、 $\theta = \pi$ では極小点、 $\theta = 0, 2\pi$ では極大点をとる。一方“高入力光領域”では q が大きくなると(49)式より α が大きくなり、極値を与える θ は $n\pi$ より小さいほうへずれる。

$q \ll 1+r+p$, $(1 \pm rS)$ である“低入力光領域”では、 $\theta = 0$ において、

$$L_2 \approx L_0 \left(\frac{1+rS}{1+r+p} \right)^b \quad (51)$$

$\theta = \pi$ において、

$$L_2 \approx L_0 \left\{ \frac{\sqrt{(1-rS)^2}}{1+r+p} \right\}^b \quad (52)$$

また“高入力光飽和領域”では、 $q \gg 1 \pm rS$, $1+r+p$ であるので、 $\theta = 0, \theta = \pi$ の両者とも、

$$L_2 \approx L_0 \quad (53)$$

したがって、 S が小さく $(1+rS)/(1+r+p) < 1$ あるいは $\sqrt{(1-rS)^2}/(1+r+p) < 1$ の場合には正性特性を示し、 S が充分大きく $(1+rS)/(1+r+p) > 1$ あるいは $\sqrt{(1-rS)^2}/(1+r+p) > 1$ となる場合には負性特性となる(図 9, 図 10)。

次に、 θ を変化させることにより L_1-L_2 特性がどのように変化するかを考察するため、上記特性において θ をいくつかの値に固定して考えてみる。

$$(1) \quad \theta = \frac{\pi}{2}$$

$q \ll 1+r+p$, rS である“低入力光領域”では、

図 9 位相特性 (正性)
 θ - $\log L_2$ characteristics. (positive)

図 10 位相特性 (負性)
 θ - $\log L_2$ characteristics. (negative)

図 11 位相特性 (正性)
Phase controlled $\log L_1$ - $\log L_2$
characteristics. (positive)

図 12 位相特性 (負性)
Phase controlled $\log L_1$ - $\log L_2$
characteristics. (negative)

3. 電子計算機による特性の計算

2章の(6)式より発光 L_2 は V_1 を基準にした場合には、

$$L_2 = L_0 \left\{ \frac{(1+rS \cos \theta)^2 + (rS \sin \theta - q)^2}{(1+r+p)^2 + q^2} \right\}^{b/2}$$

で与えられ、 V_2 を基準にする場合 (負性特性) には、

$$L_2 = L_0 \left\{ \frac{(1+rS \cos \theta)^2 + (rS \sin \theta - q)^2}{(1+r+p)^2 + q^2} \times \frac{1}{S} \right\}^{b/2}$$

で表わされる。両式において $L_0=1$ とし、また EL の実際の発光特性から $b=4$ とおく。また、一例として $r=0.5$, $p=1.5$ として計算させた結果の一部を図 14 に示す。ここで $q=G_P/\omega C_P$ であり、 G_P は $G_P=G_d+G_0 L_1^a$ にしたがって L_1 の増加とともに増加するので、 $a=1$ (実際にも $0.5 \sim 1$ 程度) とすれば、 q の変化はほぼ入力光 L_1 の変化とみられる。なお、計算機は MADIC-IIA (松下通信工業製) を使用した。

4. 組合せ素子による実験結果および考察

EL 素子、PC 素子およびコンデンサを用いて図 13 に示す回路を構成して、実際の特性の実験を行なった。EL 素子は緑色発光 EL 板で、容量 250pF 、PC 素子は焼結形 CdS セルで、暗時抵抗 $800\text{M}\Omega$ 、容量 8pF 。なお、

図 13 組合せ素子実験回路
Experimental circuit.

$$[L_2]_{\theta=\pi/2} \approx L_0 \left\{ \frac{\sqrt{1+(rS)^2}}{1+r+p} \right\}^b \quad (54)$$

$q \ll 1+r+p$ である“中入力光領域”では、

$$[L_2]_{\theta=\pi/2} \approx L_0 \left\{ \frac{\sqrt{1+(rS-q)^2}}{1+r+p} \right\}^b \quad (55)$$

$q \gg 1+r+p$, rS である“高入力光飽和領域”では、

$$[L_2]_{\theta=\pi/2} \approx L_0 \quad (56)$$

$$(2) \quad \theta = \frac{3}{2}\pi$$

$q \ll 1+r+p$, rS である“低入力光領域”では、

$$[L_2]_{\theta=3\pi/2} \approx L_0 \left\{ \frac{\sqrt{1+(rS)^2}}{1+r+p} \right\}^b \quad (57)$$

$q \ll 1+r+p$ である“中入力光領域”では、

$$[L_2]_{\theta=3\pi/2} \approx L_0 \left\{ \frac{\sqrt{1+(rS+q)^2}}{1+r+p} \right\}^b \quad (58)$$

$q \gg 1+r+p$, rS である“高入力光飽和領域”では、

$$[L_2]_{\theta=3\pi/2} \approx L_0 \quad (59)$$

したがって、 $\theta=3\pi/2$ と $\theta=\pi/2$ とでは“暗時”および“飽和領域”での出力光は同じ値をとるが、“中入力光領域”においては、(54)、(58)式より $[L_2]_{\pi/2}$ は q の増加とともに急には増加せず、一度減少してから再び増加する。一方 $[L_2]_{3\pi/2}$ は q の増加とともにすぐ増加する。そのため、前者は sharp cut off な特性、後者は remote cut off な特性を示す。 $\theta=0, \pi$ における特性はすでに示した。

また S の値により“低入力光領域”での L_2 と L_0 との大小関係が異なる。 $S < (r+p)/r$ の場合には、“暗時”の L_2 が“飽和時”の $L_2=L_0$ よりも小さくなり、一般には正性特性 (V 状、逆 V 状を含む) を示す (図 11)。

$S > (2+r+p)/r$ の場合には“暗時”の L_2 が“飽和時”の $L_2=L_0$ よりも大きくなるので、一般には負性特性 (V 状、逆 V 状を含む) を示す (図 12)。

図 14 計 算 値

Theoretical calculations.

- (a) positive characteristics at $\theta=\pi$, (b) negative characteristics at $\theta=\pi$,
(c) V-shaped characteristics, (d) phase controlled characteristics.

この容量では実際の光増幅器の場合の容量に対して小さすぎるので、175 pF のコンデンサを並列に接続した。インピーダンス素子としては 80 pF のコンデンサを用いた。したがって、 $p=C_E/C_P=1.4$ 、 $r=C_T/C_P=0.45$ である。電源周波数については、焼結形 PC の感度は $f=50\sim 5000$ Hz 程度の範囲ではほとんど変化せず、また EL の輝度は f を大きくするとともに増加するが、レベルを上げるだけで特性の形にはほとんど影響しないため、 $f=1000$ Hz を用い測定した。入力光は色温度 2,854°K の W 光を用い、フォトセルにて測光した。入力光調節は絞りにより行なった。出力光もフォトセルにて測光した。

組合せ素子の実験結果を計算結果と対応させて図 15 に示す。理論計算では max. compensation の場合の γ は $b=4$ 、 $a=1$ として (21) 式より $\gamma=ab=4$ と計算した。実際の素子では $b=4$ 、低入力光域では $a=0.95$ である

ので、計算上 $\gamma=ab=3.8$ となり、実際の特性でも $\gamma=3.7$ とほぼ一致する。高入力光域では $a=0.7$ であるので負性特性での γ ((34) 式) は計算上 $\gamma=-ab=-2.8$ となり、実際の特性でも $\gamma=-2.6$ が得られている。その他の素子実験特性の傾向も理論計算における特性とほぼ一致する。ただし、素子実験で $\theta=\pi$ の場合の正性特性において $\dot{V}_2$ を max. compensation 以上にした場合に、いくぶん V 状特性を示す傾向がある。これは理論計算には考慮しなかったフォトキャパシティブな効果により、光の増加に伴い、PC の容量分がいくぶん増加するためと考えられる。

5. む す び

EL と PC とを含む三素子回路の一方式について理論計算を行ない、あわせて素子実験を行なって理論計算が

図 15 組合せ素子実験結果
Experimental results.

(a) positive characteristics at $\theta = \pi$, (b) negative characteristics at $\theta = \pi$,
(c) V-shaped characteristics, (d) phase controlled characteristics.

ほぼ正しいことを確かめた。この理論式は素子実験のように、理想的な回路を形成しうる場合にはよく一致するが、実際の固体映像変換器のように、線電極効果が入ってくる場合の等価回路とは必ずしもなりえない。しかし、原理的にこのような三素子回路を構成するものであれば、本文で述べ、また素子実験で確認されたような、正性、負性、V状などの各特性や、ガンマ、白黒比の変化などの特性を表わすことが推測され、また、実際の固体映像変換器でそれらの諸特性が得られている⁵⁾⁷⁾⁻¹¹⁾。

終りに、種々ご指導いただいた当所 宮地常務取締役
に感謝の意を表します。

(昭和43年5月6日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) B. Kazan, F. H. Nicoll: Proc. IRE, **43** (1955) 1888
- 2) 小橋: 昭35年信学会全大予, 284
- 3) G. Diemer, et al: Phil. Res. Rept., **10** (1955) 401
- 4) 小橋: 昭37年信学会全大予, 101
- 5) 小橋: 昭36年電気四学会連大予, 1382
- 6) 佐竹: テレビ誌, **15** (1961) 388
- 7) T. Kohashi, K. Miyaji: Electronics, **36**, Sept. 20 (1963) 30
- 8) T. Kohashi: Proc. IEEE, **51**, 12 (1963) 1794
- 9) T. Kohashi, N. Suzuki: Proc. IEEE, **53**, 5 (1965) 549
- 10) T. Kohashi, T. Nakamura et al: Adv. Elect. and Elect. Phys., **22**, 683
- 11) 小橋: 昭37年電気四学会連大予, 612