Shunt-Regulated Cathode Follower

の大振幅動作

NHK 中央研修所 安田 一 次
新 免 朗

カラーのサブキャリアーのような高域周波数、大振幅の映像信号が SRCF の入力に加えられ、出力の負荷が容量と非直線抵抗の並列回路であるような場合の動作の図式解法につき述べている。特徴はレギュレーターの真空管の E_p-I_p 静特性曲線にカソードフォロワーの陽極抵抗直線を重ねることであって、直接作図で正確に動作点が求められるのみならず、さらにカソードフォロワーの陽極負荷によるレギュレーター管の格子の励振の動作状態が図面上に一目でわかるので、設計あるいは調整にも有効に利用できる。

1. ま え が き

Shunt-Regulated Cathode Follower (SRCF) は Cooper により考案されたもので¹⁾、2組の真空管をあたかもプッシュプルのように AB 級として大振幅動作を行なわせるので、直線性がよく、しかも single end で使用されるので、格子変調のテレビ送信機の変調器として広く利用されている。この場合、変調器の負荷として被変調管の格子電流による非直線抵抗ならびに変調、被変調回路の静電容量が変調器出力に接続されるものと考えられる。

SRCF を変調器として使用する際の設計、調整で最も重要なことは、その大振幅動作を知ることである。従来、SRCF 変調器の容量負荷の大振幅動作について、いくつか報告されている²⁾³⁾。清水、島崎の論文は SRCF のカソードフォロワーとレギュレーター管との静特性とを同一 E_p-I_p 平面上に組合せて描き、その平面上に大振幅の

動作軌跡を求め、その結果と小振幅解析から得られた周波数特性、各電極電圧、電流につき比較検討を行なったものである²⁾。大田の論文は、容量負荷の場合、格子電流の流れる限界までの動作ならびに設計を図式解法について述べ、実験結果との比較を行なっている³⁾。

本文では、真空管の非直線特性によつて生ずる平均電流の増加が、真空管の動作基点を移動せしめ、しかもその移動の早さがカソードフォロワーとレギュレーター管との結合容量 C の時定数の影響によってきめられる事実を指摘し、カラーの送信で従来問題となっていた、カラーのサブキャリアーに対して変調器の負荷が大きくなるような実際の動作状態測定、調整ならびに設計に適する図式解析法を述べる。

SRCF の大振幅動作について、入力にサブキャリアーが加えられた直後の準定常状態と、その後の定常状態とに分けて考え、従来、明確でなかった動作基点なるものをこれら2つの状態、準定常および定常の状態につき定義することによって、入力のない静止状態を動作基点とする従来の考え方²⁾³⁾は、準定常状態に相当することを示している。次に、動作基点からの変化分を考え、新しい作図による動作の解析法を提案する。この方法によって図式解析が容易に行なえるようになったと同時に、各部の動作がいつそう明確にとらえられるようになった。

現在までに、容量負荷の場合には、入力を与えて出力を求める方法は残念ながらまだ見出されていない。したがって、本文では (i) 出力波形を正弦波と仮定したとき、いかなる入力がかえられているかという問題、(ii) 出力波形が測定されたときの SRCF の動作状態を求める

筆者紹介

やすだ いちじ
安田 一 次 昭和 10 年、北海道大学工学部電気工学科卒業。同年、NHK 大阪放送局へ勤務、昭和 12 年、技術研究所へ勤務、受信機の研究、SHF、UHF の研究、TV 放送機の開発に従事し、昭和 37 年以降研究企画に従事した。昭和 40 年 1 月より NHK 中央研修所教授、工学博士、正会員。

しんめん あきら
新免 朗 昭和 12 年、目黒高等無線工学校卒業。同年、NHK 技術研究所入所、電子管、TV 送信機の研究に従事し、現在、NHK 中央研修所勤務、正会員。

“High Amplitude Operation of Shunt-Regulated Cathode Follower”
by Ichiji Yasuda and Akira Sinmen (NHK Central Training Institute, Tokyo). テレビジョン回路研究委員会発表 (昭 41. 8)

なお本文では、SRCF の静特性の作図法について述べていないが、文献 4) に詳細に説明してあるので参照されたい。

SRCF を送信機の格子変調用の変調器として用いることを考える。図 1 は SRCF の回路を示す。入力 V_1 の格子に印加され出力は V_1 のカソードから取り出される。したがって、 V_1 はカソードフォロワーのように動作する。一方、 V_1 の陽極負荷抵抗 R に生じた電圧は容量 c を通して V_2 の格子に加えられ、出力は V_2 の陽極から取り出されているので、 V_2 はあたかも容量結合の増幅器のような動作をする。この場合、陽極電源は被変調管の格子偏倚電圧を与えるため、図のように接続される。

て、静止の状態と同じ E_c の値をしばらく維持していると考えられるような、準定常状態を想像することができる。

実際のカラーテレビのときも、サブキャリアーが同じ
振幅で長く継続することは少なく、せいぜい数 μs から
数十 μs ぐらいであろう。変調器では、たとえば $c=0.2$
 μF , $r=0.5\text{ M}\Omega$ 程度で $cr=0.1\text{ sec}$ となるので、充分
この仮定は成立する。

周期的な入力信号が V_1 の格子に加えられ、 V_1 および V_2 の陽極電流 $I_1(t)$ および $I_2(t)$ が周期的変化をしているときの V_2 の格子電圧の瞬時値 $E_{g2}(t)$ および負荷電流 $I_0(t)$ は

で表わされる。仮定により E_c は静止状態と同じであるので、入力信号を止めればただちに静止状態にもどる。いま静止状態の I_1 を I_{10} , I_2 を I_{20} , I_0 を I_{00} とすると、仮定により (1) と同一の E_c を用いて

で表わされる。いま

とおくと、(3)を(1)に代入し(2)と比較すると

$$i_0(t) = i_1(t) - i_2(t) \quad (5)$$

なる関係が求まる。準定常状態を考える場合、(2)式の静止状態を動作基点とし、(3)式により動作基点からの変動分 $e_{q2}(t)$, $i_1(t)$, $i_2(t)$, $i_0(t)$ を定義すると、これらの変動分の間には(4), (5)式の関係があることを知る。

いま、真空管 V_2 の格子電圧に対する陽極電流特性曲線を図 2 のようなものとする。この特性曲線上の動作基点は $E_{g2} = E_G$ および I_{20} で定まる点 Q にあり、 V_2 の陽極電圧 E_{p2} は点 Q を通る曲線に対する値をとっている。いま動作点が A なる点にある瞬間 t を考えてみると $E_{g2}(t) = E_G + e_{g2}(t)$, $I_2(t) = I_{20} + i_2(t)$ となり、また陽極電圧は A 点を通る $E_{p2}(t)$ の値をとっている。

テレビジョン

図 2 準定常状態の動作点の軌跡の作図

Q は動作基点を示す。これは静止点と一致している。A および B は時刻 t の瞬間におけるそれぞれ $E_{g2}-I_2$ および $E_{g2}-I_1$ 平面上の動作点を示す。

Drawing of the operating locus in quiescent state. Q shows a reference point of the operation which coincides with the quiescent point, A and B shows of the operation located on $E_{g2}-I_2$ and $E_{g2}-I_1$ planes respectively at the instant of time t .

ると $\vec{CB}$ は $i_1(t)$, $\vec{CA}$ は $i_2(t)$ であるので, $i_0(t) = i_1(t) - i_2(t)$ なる関係から $\vec{AB}$ は $i_0(t)$ であることがわかる。このようにして動作基点を与えれば, $E_{g2}-I_2$ 特性上の任意の瞬間の動作点に対して, 動作基点からの変化分の値がすべて定まったことになる。したがって, 動作基点 $E_{G_2}, I_{10}, I_{20}, I_{00}$ が与えられていれば(3)により $E_{g2}(t), I_1(t), I_2(t), I_0(t)$ の瞬間値が定まる。いいかえれば, $E_{g2}-I_2$ 特性曲線上に t をパラメーターとして任意の動作軌跡を画けば(1)式は完全にきまったことになる。なお, 出力電圧を $E_0(t)$ とすると

$$E_0(t) = E_{g2}(t) - E_{B2} \quad (6)$$

なる関係がある。

4. 準定常状態容量負荷の場合

SRCF を変調器として使用する場合, 問題となるのは,

その負荷が容量の場合である。負荷容量を C_0 で表わすと

$$I_0(t) = C_0 \frac{dE_0(t)}{dt} \quad (7)$$

なる関係がある。この場合, 出力電圧 $E_0(t)$ の最大および最小の瞬間では, 出力波形のいかにかわからず(7)式より

$$I_0 = I_1 - I_2 = 0 \quad \text{あるいは} \quad I_1 = I_2 \quad (8)$$

となり, 両電流は一致する。容量負荷に流れる電流の直流成分は $I_{00} = 0$ なるゆえ, $I_{00} = I_{10} - I_{20} = 0$ より

$$I_{10} = I_{20} \quad (9)$$

となり, 図 2 の縦軸の $I_2(t)$ がそのまま $I_1(t)$ にも適用される。したがって, $I_1(t)$ の動作軌跡は $I_2(t)$ と同一の原点から測った励振直線上にあることがわかる。また

$$I_0(t) = I_{00} + i_0(t) = i_0(t) \quad (10)$$

なるゆえ, 図 2 の $\vec{AB}$ が負荷電流の瞬時値 $I_0(t)$ を示している。実際例として, 次のような SRCF の回路につき考察しよう。

V_1 : 2B46 (5 極管接続) 2 本

V_2 : 2B46 (5 極管接続) 3 本

$E_{s2} = 300 \text{ V}$

$E_{B1} = +75 \text{ V}$

$E_{B2} = 350 \text{ V}$

$R = 200 \Omega$

これらの値に対する SRCF の特性曲線を図 3 に, また $E_{g2}-I_2$ の特性曲線を図 4 に示す。いま負荷容量 C_0 および入力信号の周波数 f をカラーのサブキャリアーと考えて次のように選ぶ。

$C_0 = 200 \text{ pF}$

$f = 3.58 \text{ Mc}$

以上の値は 1 kW 出力段の格子変調を行なうときの変調器の場合に相当する。

図 3 1 kW 送信機の SRCF 変調器の動作軌跡

Operating locus on E_p-I_p plane in S.R.C.F. modulator used to the 1 kW transmitter.

図 4 図 3 の動作点はこの $E_{g2}-I_2$ および $E_{g2}-I_1$ 平面上の作図によって求められる

Operating points in Fig 3 are obtained from the drawing on this $E_{g2}-I_2$ and $E_{g2}-I_1$ plane.

表 1 出力電圧 $E_o(t)$, 電流 $I_o(t)$ を表に示されているような正弦波と仮定する

Output voltage $E_o(t)$ and current $I_o(t)$ are assumed to be sinusoidal having values shown in this table.

動作点表示	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
$2\pi ft$ (radian)	0	$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/4$	π	$5\pi/4$	$3\pi/2$	$7\pi/4$
$E_o(t)$ (V)	-155	-85	-55	-85	-155	-225	-255	-225
$I_o(t)=i_o(t)$ (A)	0.45	0.311	0	-0.311	-0.45	-0.311	0	0.311

ただし $E_o(t) = -155 + 100 \sin 2\pi ft$, $I_o(t) = 2\pi f C_o \times \cos 2\pi ft$

ここでは (i) の場合, すなわち, 出力電圧波形を正弦波と仮定したとき, いかなる入力に加えられているかという問題を, 準定常状態について図式解法によって求めよう. 準定常状態ということから, 動作基点を静止点と等しくとる. いま静止点を

$$E_G = -39 \text{ V}, \quad I_o = I_{o0} = 100 \text{ mA}$$

$$E_o = -155 \text{ V}, \quad E_i = -190 \text{ V}$$

とする. 出力の正弦電圧の振幅を 100 V とすると, $2\pi ft = 0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4, \pi, 5\pi/4, 3\pi/2, 7\pi/4$ (radian) に対して E_o と I_o は表 1 のようになる. これらの E_o, I_o について前記の図式解法により動作軌跡を求める. 図 4 の $E_{g2}-I_2$ 平面について静止点 Q は, $E_{g2} = -39 \text{ V}$, $I_{20} = 100 \text{ mA}$ にある. Q 点を通り横軸を V で縦軸を mA で表わしたグラフ目盛の比が $R = 200 \Omega$ となるような励振直線を描く. いま ㉔, ……㉖, ㉗, ……を V_1 の, またこれらに対応する a, ……c, d, ……を V_2 の動作点を表わすことにすると, ○印のあるほうは励振直線上にあり, ないほうは $E_o(t)$ に対応する $E_{g2}-I_2$ 特性曲線上にある. まず $E_o = -155 \text{ V}$ の特性曲線上の a 点と R の直線上の ㉔ との間隔が $I_o(t) = i_o(t) = 450 \text{ mA}$ となるよ

図 5 図 3 から得られた電圧-電流波形
Current and voltage wave forms obtained from fig. 3.

うな点を求めると, 図 4 中には描かれていないはるか左側にこれらの動作点があり, a については $I_2(t) = 0$ となりカットオフとなっていることがわかる. b についても同様にカットオフである. ㉕ と ㉖ との間で $I_2(t)$ が流れ出す曲線を interpolate, extrapolate して $E_o = -70 \text{ V}$, $E_{g2} = -55 \text{ V}$ で $I_2 = 0$ のカットオフの点とすると, $i_o(t) = I_o(t) = 180 \text{ mA}$ であることがわかる. $E_o(t) = -55 \text{ V}$ では E_o が最大となるので, (8), (10) 式より $I_o(t) = i_o(t) = 0$ となり ㉖ と c とは一致する.

$E_o(t) = -85 \text{ V}$ の瞬間では特性曲線上の点 d と, R の直線上の点 ㉗ とは, その距離が $i_o(t) = I_o(t) = -311 \text{ mA}$ なるように選べばよい. 以下同様に他の動作点が求まる.

このようにして得られた図 4 の動作点を図 3 の上に移せばよい. 図 3 上の V_1 の動作点 ㉔, ㉕, ㉖ ……が求まると, ただちに V_1 の格子電圧 E_{g1} ならびに入力電圧 E_i が求まるので, $2\pi ft$ の各瞬時値に対し入力波形を描くことができる. 図 5 はこのようにして得られた電圧および電流の値を, 電気角 $2\pi ft$ に対して描いたものである.

5. 定常状態の動作軌跡

いままでは準定常状態を取り扱ってきたが, 今度は周期的信号が入力に加えられて, 十分に長い時間経過した後の定常状態を取り扱うことにする. 準定常状態と定常状態との相違をわかりやすくいうと, 準定常状態では E_c の値が静止の場合と動作状態の場合と等しいと考えているので, V_1 と V_2 の結合容量 c の代りに起電力 E_c の電池に置き換えたのと等価である. このような状態で入力を零にすると, ただちに静止状態にもどる. したがって, 動作基点として静止の点を選んだのである.

これに対し定常状態とは, 静止状態から一定の入力が加わり cr の時定数で E_c が E_c' という異なった一定値に達した状態をいうのであって, この状態で入力を急に零にしても, ただちには静止状態の E_c にはもどらない. しかし, その直後再び入力が増えると, ただちに定常状態になるということから, 動作基点は定常状態の c の端子電圧 E_c' に保って, 入力零としたときの状態を動作基点にとる. 今度は V_1 と V_2 との結合容量 c の代りに電池 E_c' に置き換えた場合である.

このように考えると, 定常状態と準定常状態との取り扱い上の相違は, 単に一定電圧 E_c' と E_c の値が異なるだけであるということがわかる. 実際上の相違は, 静止状態を動作基点とする場合は, 回路の状態の測定が容易であるが, 定常状態では E_c' が時定数で変わるので, 動作基点を瞬時に記録してしまわなければならないので,

それだけ困難さをとまなうことである。

以上のように、定常状態の動作基点を選ぶと、形式的には準定常状態とまったく同様に扱うことを示そう。周期的な入力信号が V_1 の格子に加えられ、 $I_1(t)$ および $I_2(t)$ が周期的変化をしているときの定常状態では、 V_2 の格子電圧の瞬時値 $E_{g2}(t)$ および負荷電流 $I_0(t)$ は (1) 式と形は同じであるが異なった E_c' について

$$\left. \begin{aligned} E_{g2}(t) &= -I_1(t)R + (E_{B2} + E_{B1} - E_c') \\ I_0(t) &= I_1(t) - I_2(t) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

で表わされる。

定常状態で動作しているとき、入力を零としたときの V_1 の陽極電流を I_{10}' 、 V_2 の格子電圧を E_{g20} 、陽極電流を I_{20}' 、負荷に流れる電流を I_{00}' とすると、これらは静特性上の動作基点を表わす。動作基点について

$$\left. \begin{aligned} E_{g20} &= -I_{10}'R + (E_{B2} + E_{B1} - E_c') \\ I_{00}' &= I_{10}' - I_{20}' \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

なる関係がある。

いま、 $i_1(t)$ 、 $i_2(t)$ 、 $i_0(t)$ および $e_{g2}(t)$ を定常状態の動作基点からの変化分

$$\left. \begin{aligned} E_{g2}(t) &= E_{g20} + e_{g2}(t) \\ I_1(t) &= I_{10}' + i_1(t) \\ I_2(t) &= I_{20}' + i_2(t) \\ I_0(t) &= I_{00}' + i_0(t) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

とおくと (11)、(12)、(13) 式より、変化分間の関係

$$e_{g2}(t) = -i_1(t)R \quad (14)$$

$$i_0(t) = i_1(t) - i_2(t) \quad (15)$$

が求まる。このように動作基点が定まると、変化分のみに着目すればよい。(1)～(5) 式を (11)～(15) 式と比較すると、 E_c を E_c' に、また動作基点 ($E_G, I_{10}, I_{20}, I_{00}$) の代りに ($E_{g20}, I_{10}', I_{20}', I_{00}'$) に置き換えたにすぎないことがわかる。したがって、図 3、図 4 に示されている準定常状態の動作基点を、改めて定常状態の動作基点であると考えれば、まったく定常状態にもあてはまる。

容量負荷の場合、4. の (7)、(8) 式が同様に成り立つ。動作基点では容量に流れる電流 $I_{00}' = 0$ なるゆえ、 $I_{00}' = I_{10}' - I_{20}' = 0$ および $I_0(t) = I_{00}' + i_0(t)$ より

$$I_{10}' = I_{20}', \quad I_0(t) = i_0(t)$$

なる関係がある。

実際上は特性曲線上の動作基点 ($E_{g20}, I_{10}', I_{20}', I_{00}'$) を知ることは手数であるので、動作状態で直接測定 of 容易な別の動作基点を考えてみよう。

入力信号の周期を T とし、(11) 式の両辺を

$\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \sim dt$ してフーリエ級数の直流成分 (波形の平均値) を求める。結合コンデンサ c は直流を導通しないので、周期的入力に対する $E_{g2}(t)$ の平均値 $\bar{E}_{g2}$ は格子偏倚電圧 E_G に等しく、一方 $I_1(t)$ および $I_2(t)$ は周期的

に変動しているが、一般に波形は必ずしも正弦波ではないので、 $I_1(t)$ および $I_2(t)$ のフーリエ級数の直流成分を $\bar{I}_1$ および $\bar{I}_2$ で表わすと、図 1 中の線形受動定数回路の直流成分についての電圧の平衡および電流の連続を示す式

$$\left. \begin{aligned} \bar{E}_{g2} &= E_G = -\bar{I}_1 R + (E_{B2} + E_{B1} - E_c') \\ \bar{I}_0 &= \bar{I}_1 - \bar{I}_2 \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

が得られる。(16) 式は直流成分の間の関係を示しており、時間を含んでいない。(16) 式の中に現われている平均値は、必ずしも V_2 の $E_{g2}-I_2$ の特性曲線上にあるとは限らない。今度は平均値を動作基点と考えて

$$\left. \begin{aligned} E_{g2}(t) &= E_G + e_{g2}(t) \\ I_1(t) &= \bar{I}_1 + i_1(t) \\ I_2(t) &= \bar{I}_2 + i_2(t) \\ I_0(t) &= \bar{I}_0 + i_0(t) \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

とおいて (11)、(16)、(17) 式より

$$\left. \begin{aligned} e_{g2}(t) &= -i_1(t)R \\ i_0(t) &= i_1(t) - i_2(t) \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

が得られる。容量負荷ならば $\bar{I}_0 = 0$ 、 $I_0(t) = i_0(t)$ 、 $\bar{I}_0 = \bar{I}_1 - \bar{I}_2 = 0$ 、 $\bar{I}_1 = \bar{I}_2$ となり、平均値を動作基点として変化分を考えても前記とまったく同じ作図に帰着され、 $E_{g2}-I_2$ 平面の縦軸が I_1 に対しても同一の原点によって示される。

以上の結果を利用し、容量負荷の場合、任意の周期的波形が入力に加えられたとき定常状態の出力波形 $E_0(t)$ と V_1 の陽極直流電流計の読み $\bar{I}_1$ とを知って、SRCF の動作軌跡を求める手順を示そう。

$E_0(t)$ が与えられているので $I_0(t)$ は (7) 式により求められる。問題としている SRCF の静特性図 3 から、 V_2 に関する $E_{g2}-I_2$ 特性曲線を図 4 のように描く。この曲線群のパラメーターは種々の E_{g2} に対する値であるが、時刻 t なる瞬間の値を $E_{g2}-I_2$ 平面上に考えるので $E_{g2}(t)$ を意味する。 $E_0(t)$ が与えられる場合は $E_0(t) = E_{g2}(t) - E_{B2}$ によりパラメーターを $E_0(t)$ で表わすほうが便利であろう。 $E_{g2}-I_2$ 平面上の作図を図 6 について説明しよう。 $\bar{I}_1$ が与えられ、 E_G はわかっているとして、座標 $(E_G, \bar{I}_1)$ の点を求め、これを P で示すと P 点を通る縦軸と $\theta = \tan^{-1} R$ なる傾斜の直線を引く。すると (17)、(18) 式より $E_G - E_{g2}(t) = -e_{g2}(t) = i_1(t)R$ あるいは $\tan \theta = \{E_G - E_{g2}(t)\} / i_1(t)$ なるゆえ、図のように $i_1(t)$ が定まり $I_1(t) = \bar{I}_1 + i_1(t)$ なるゆえ DB が $I_1(t)$ なることがわかる。容量負荷の場合は $\bar{I}_1 = \bar{I}_2$ 、 $I_0(t) = i_0(t)$ なるゆえ、図において AB の長さが $I_0(t)$ 、DA の長さが $I_2(t)$ なることがわかる。

いまの場合は $E_0(t)$ 、 $I_0(t)$ がわかっているもので、図の $E_{g2}-I_2$ 特性曲線の $E_0(t)$ の曲線と、 $(E_G, \bar{I}_1)$ を通る

図6 容量負荷の定常状態の E_{g2} - I_2 および E_{g2} - I_1 平面上の作図
Drawing on the E_{g2} - I_2 and E_{g2} - I_1 plane in stationary state loaded with a capacity.

R の直線に平行で $I_0(t)$ だけ垂直方向にずらせた直線との交点Aが、時刻 t における E_{g2} - I_2 特性曲線上の動作点 $(E_{g2}(t), I_2(t))$ を与える。同じ時刻 t の直空管 V_1 の陽極電流 $I_1(t)$ は E_{g2} - I_1 励振直線上のB点で示される。このようにして図4の実際の E_{g2} - I_2 特性曲線について横軸 $E_0(t)$ に対応して点をとれば、これが求める動作点である。種々の時刻 t について上記の方法を行えば、動作軌跡を描くことができる。

6. 動作基点の検討

定常状態の E_{g2} - I_2 特性曲線上の動作基点と平均値の動作基点との関係をしらべてみよう。(12), (16)式より

$$E_{g2o} - E_G = (\bar{I}_1 - I_{1o}')R = \{(\bar{I}_1 - I_{1o}') - I_{2o}'\}R \quad (19)$$

なる関係が得られる。したがって E_{g2} - I_2 平面上の座標 $(E_G, \bar{I}_1 - I_{1o}')$ を通る垂直軸に $\tan^{-1} R$ なる傾斜をもつ励振直線を引き、この直線が $E_{p2} = \text{const}$ なる特性曲線と交わる点が (E_{g2o}, I_{2o}') の点を与えることを(19)式は示している。特に図6の容量負荷の場合を考えると、 $I_{1o}' = 0$ であるので平均値の動作基点 $(E_G, \bar{I}_1)$ を通る励振直線が静特性曲線上の動作基点 (E_{g2o}, I_{2o}') すなわち図6のO点を通る。いいかえると、容量負荷の場合は両動作基点を通る励振直線は一致するのである。

前に述べたように、図4の動作基点 (E_G, I_{1o}) を同一の正弦波出力に対する定常状態の動作基点 (E_{g2o}, I_{1o}') と考えれば V_1, V_2 の動作軌跡はまったく同じはずである。したがって、図5の電圧-電流波形がそのまま定常状態に適用される。

この図について V_1 の陽極電流の平均値 $\bar{I}_1$ を図から求めると約 165 mA となる。したがって、図4に示してあるように励振直線上の 165 mA に対する E_G は -52 V となる。すなわち、この定常状態を与える格子偏倚電池電圧が -52 V であることがわかる。なお、このとき

の静止点は、図ではほとんどカットオフの点にあるが、静止点については次に述べる。

そこで、準定常状態の動作基点と定常状態の2つの動作基点の3つの関係を述べよう。図6に E_0 を同一としたときの3つの動作基点をそれぞれ Q, O, P の点で示している。多くの場合、 V_2 として多極管が用いられるので、 E_{g2} - I_2 特性曲線の $E_{p2} = \text{const}$ の曲線群は近似的にほとんど1本の曲線で代表される。この場合は動作基点の E_{p2} 、すなわち E_0 に無関係と考えられる。もちろん、この場合でも定常状態の動作基点は入力交流振幅の大きさに変わる。図6から明らかなように、Qを通る $\tan^{-1} R$ の傾斜をもつ直線が準定常状態の動作軌跡を決定したのに対して、定常状態の場合、Pを通る直線となっており、入力交流振幅が大きければ大きいほど静止状態の I_{1o} より定常状態の $\bar{I}_1$ のほうが大きくなるので、定常状態の場合 V_1, V_2 とも動作点がA級に近くなり、真空管の内部損失が大きくなる。

7. 非直線抵抗容量負荷の場合

実際の送信機では、容量負荷にさらに被変調管の格子電流による非直線抵抗負荷が加わる。これらの両負荷は出力に並列に入ると考えられる。図7(a)は V_2 の陽極回路につき容量と非直線抵抗の並列負荷を取り出して示したものである。そこで非直線抵抗を負荷と考えると、 V_1, V_2 のほかに、さらに非直線素子が加わり、取り扱いが面倒になるので、 V_2 の特性曲線に含ませて考えることにする。

$$I_2' = I_2 + I_R$$

$$I_0 = I_1 - I_2'$$

なる I_2' を考え、 I_2 の代りに I_2' を用いれば、いままでの方法がすべて適用される。したがって E_{p2} - I_2 特性曲線の横軸 E_{p2} の代りに

$$E_0 = E_{p2} - E_{B2}$$

図7(a) 負荷容量と並列に接続された非直線抵抗負荷
A nonlinear load resistance connected in parallel with the load capacity.

8. む す び

以上、サブキャリアのような大振幅の高域映像周波数についての動作を、準定常状態と定常状態との2つに分けて取り扱ったが、実際のカラー信号は種々の振幅でサブキャリアが順次変化するのであって、簡単な方形波、あるいは階段波とは考えられない。しかし、準定常状態はサブキャリアの休止期間が動作期間に比し充分長いと考えられる場合、定常状態はその逆の場合に相当し、普通の使用状態はこの中間にあると考えればよいであろう。

以上、図式解法とその理論について述べたのであるが、実際の変調器について実験を行ない、以上の取り扱いの実用性を確かめる必要がある。

終わりにのぞみ、本研究についての機会を与えられたNHK 研修所島崎所長、林次長、動作基点について有益な討論助言をいただいた宇都宮敏男氏、ならびに 1kW 変調器の資料について助力いただいた副島末好、末永富康両氏に深謝する次第である。

(昭和 41 年 9 月 14 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) V. T. Cooper: Shunt-Regulated Amplifiers Television Modulator Applications, Wireless Engineer, XXVIII, 332, May(1951) 132
- 2) 清水威寛, 島崎重悟: 並列制御カソードホロワー, 電学誌, 10, 37 (1954)
- 3) 大田晃: Shunt Regulated Amplifier (Cathode follower type) の図式解析, テレビ誌, 9, 1 (1955)
- 4) 副島末好: 映像変調器(1)(2), 放送技術, 9/10 (1960)
- 5) 新免朗: 映像変調器, NHK 中央研修所教材 (1962.5)

図 7(b) 非直線抵抗を含めた真空管 V_2 の合成 $E_{p2}-I_2'$ 特性曲線

The composite $E_{p2}-I_2'$ characteristics curves of the tube V_2 including the nonlinear resistance.

に目盛りを変えて E_0-I_2' 特性曲線を用いればよい。図 7(b) は非直線抵抗 R を含めた新しい E_0-I_2' 特性曲線である。このようにして動作軌跡が求まれば、容量と非直線抵抗の並列負荷に流れる電流 $I_0'(t)$ は $I_R(t)R(t) = E_0(t)$ なるゆえ

$$I_0'(t) = I_0(t) + I_R(t) = I_0(t) + \frac{E_0(t)}{R(t)}$$

より求まる。

実際の格子変調の送信機の場合は、たとえ被変調管の静特性がわかっているとしても、非直線抵抗負荷 R の値を知ることが容易でないで、実際使用状態の一定振幅の高周波で励振されている被変調管の格子変調入力電圧に対する変調電流の比を非直線抵抗 R として、実測により求めておかなければならないであろう。多くの場合、この抵抗値が負となることが想像される。

今月の表紙

NEC TT-4 型 テレビジョン テープレコーダ

—TT-4 が各地で活躍を始めています—

3 か月間にわたる本装置の全国巡回展示は、各地で大きな反響を呼び、今や第一線で続々活躍を始めています。

優秀な変調器・記録再生増幅器などの採用により波形歪が少なく、S/Nが高い等。鮮明な画質、優秀なカラー特性は高い評価を得ました。また、回路を全半導体化すると同時に充分な検討を加えており、そのきわめて高い信頼度と十二分な耐震性は自ら実証するところとなりました。小型軽量で、かつ操作保守点検が容易であり、スタジオ内はもちろん、移動用車載用として、きわめて機動性に富む運用が可能です。

なお、本装置は、ビルディング・ブロック方式を採用しており、使用目的により種々の機能構成を組むことができ、回路系の追加も簡単であります。また、シンクロック装置、

映像位相安定器、電子レゾルバー方式カラー位相安定器、キュー信号装置等も内蔵させることができます。

日本電気株式会社