U.C.C. 621.385.832 : 621.397

TV垂直偏向出力管の動作解析

Performance Analysis of the TV Vertical Deflection Out-put Tube

松　原　　豊*
Yutaka Matsubara

内　容　梗　概

TV垂直偏向回路は低周波出力回路に類似しているが，出力変成器一次インダクタンスの値が回路能率に関係している。すなわち，

（1） 最大出力を得る最適負荷抵抗値がある。これは真空管内部抵抗の約2倍の値である。

（2） 回路能率を最高にする出力変成器一次インダクタンスの最適値が存在する。

垂直偏向回路の解析は，

m＝負荷抵抗/最適負荷抵抗

n＝出力変成器一次インダクタンス/最適一次インダクタンス

をパラメータにすれば比較的容易に行うことが可能であり，その結果を利用して所要の出力管の最大定格をかなり正確に決定することができる。

1. 緒　　言

TV受像管の偏向角はしだいに広角化され，かつ陽極電圧も上がる傾向にある。これに伴い垂直偏向管に要求される最大定格もしだいに大きくなってきている。

事実，垂直偏向回路では電源電圧および回路定数の選び方が適当でないと，陽極損失が最大定格を越えることがある。したがって，できるだけ能率のよい偏向回路を設計することが重要である。能率を左右する因子としては電源電圧，負荷抵抗，出力変成器の一次インダクタンス，真空管パービアンスと出力変成器の一次巻線抵抗などがあるが，以下これらの間の関係について逐次解析していく。

2. 垂直偏向出力回路の動作解析

2.1 基礎関係式

第1図は垂直偏向出力回路の一例と，その出力変成器一次側に換算された等価回路を示す。**第2図**は等価回路各部の電流電圧波形である。偏向コイルは抵抗とインダクタンスの直列回路で表わされており，ここにのこぎり波状電流が流れる。したがって，この場合の各部の電流電圧の関係は次のようになる[1]。

$$i_0=I_{pp}\left(\frac{t}{T}-\frac{1}{2}\right) \quad \cdots\cdots(1)$$

$$i_1=I_{pp}\left\{\frac{1}{2}-\left(\frac{R_0}{2}-\frac{L_0}{T}\right)\frac{t}{L_1}+\frac{R_0}{2L_1T}t^2\right\} \quad \cdots\cdots(2)$$

$$i_b=I_{pp}\left\{\left(\frac{1}{T}-\frac{R_0}{2L_1}+\frac{L_0}{L_1T}\right)t+\frac{R_0}{2L_1T}t^2\right\} \quad \cdots\cdots(3)$$

$$I_b=I_{pp}\left(\frac{1}{2}-\frac{R_0T}{12L_1}+\frac{L_0}{2L_1}\right) \quad \cdots\cdots(4)$$

$$i_{b\max}=I_{pp}\left(1+\frac{L_0}{L_1}\right) \quad \cdots\cdots(5)$$

$$e_b=I_{pp}\left\{\left(\frac{R_0}{2}-\frac{L_0}{T}\right)-\frac{R_0}{T}t\right\}+E_{bb}-R_1i_b \quad \cdots\cdots(6)$$

$$e_{b\min}=E_{bb}-I_{pp}\left\{\left(\frac{R_0}{2}+\frac{L_0}{T}\right)+\left(1+\frac{L_0}{L_1}\right)R_1\right\} \quad \cdots\cdots(7)$$

ここに　i_1：出力変成器の一次インダクタンス中を流れる電流

i_b：陽極電流

$i_{b\max}$：陽極電流最大値

I_b：陽極電流平均値

e_b：陽極電圧

$e_{b\min}$：陽極電圧最小値

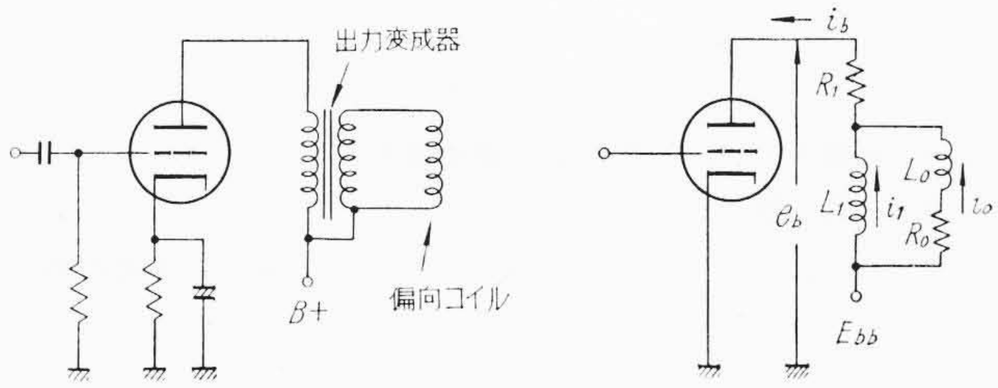
I_{pp}：偏向電流（せん頭-せん頭値）

t：時間

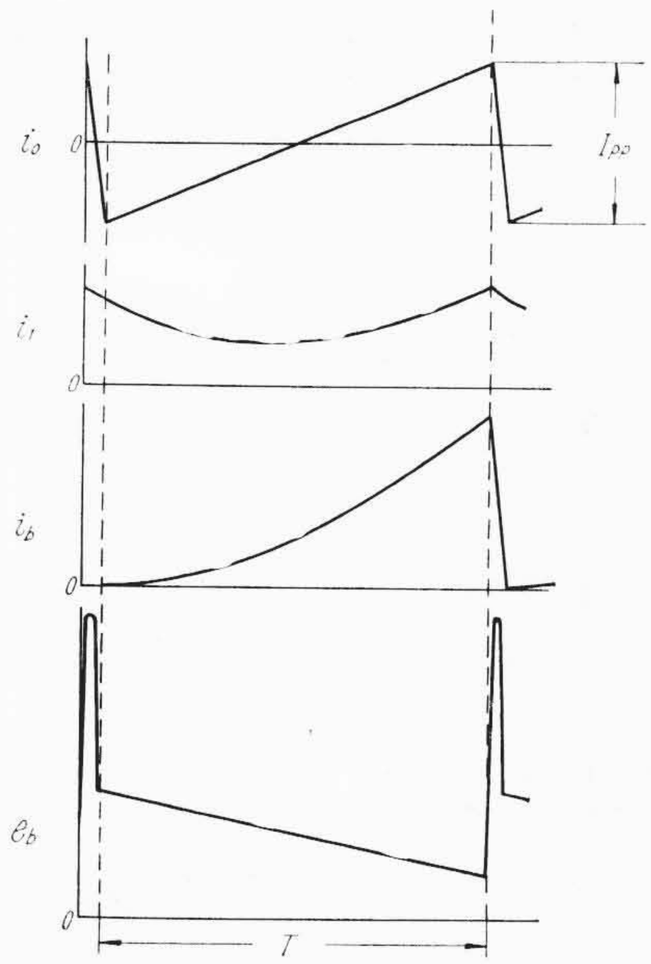
T：走査期間

E_{bb}：陽極電源電圧

L_1：出力変成器一次インダクタンス

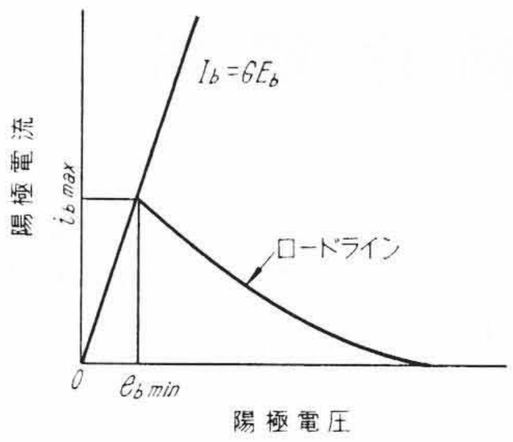


第1図　垂直偏向出力回路とその等価回路



第2図　i_0，i_1，i_b，e_bの各波形

* 日立製作所茂原工場



第3図　真空管の陽極特性とロードライン

R_1:　出力変成器一次巻線抵抗

L_0:　偏向コイルインダクタンス(一次換算)

R_0:　偏向コイル抵抗，または負荷抵抗(一次換算)

ここでは出力変成器一次漏えいインダクタンス，帰線期間などの影響は省略し，i_bは0から流れ始めると仮定した。(2.7 参照)

2.2　真空管の陽極特性と負荷曲線

真空管の陽極特性を単純化して，バイアスOVで，

$$I_b=GE_b \quad \cdots\cdots(8)$$

ここに　I_b:　陽極電流

G:　真空管パービアンス

E_b:　陽極電圧

とする。(3)(6)で表わされる負荷曲線は，$I_b=0$から始まって(8)で表わされる直線上で終るとする。したがって

$$e_{b\min}=\frac{1}{G}i_{b\max} \quad \cdots\cdots(9)$$

となる。(5)(7)(9)より負荷抵抗 R_1 は，次のようになる。

$$R_0=2\left\{\frac{E_{bb}}{I_{pp}}-\left(1+\frac{L_0}{L_1}\right)\left(R_1+\frac{1}{G}\right)-\frac{L_0}{T}\right\} \quad \cdots\cdots(10)$$

2.3　回路の入力，出力および陽極損失

2.3.1　回路入力

回路に入る電力 P_{in} は，陽極電源電圧と陽極平均電流の積である。

$$P_{in}=E_{bb}\cdot I_{pp}\left(\frac{1}{2}-\frac{R_0T}{12L_1}+\frac{L_0}{2L_1}\right) \quad \cdots\cdots(11)$$

2.3.2　出力

(1)　偏向に要する電力 P_0

これは偏向コイル抵抗によって消費される分と偏向コイルのインダクタンスにたくわえられる分との和である。後者は帰線期間および走査の初期においてダンピング回路および偏向コイル抵抗によって消費される。したがって，P_0 は次のようになる。

$$P_0=\frac{1}{12}I_{pp}^2R_0+\frac{1}{2T}I_{pp}^2L_0 \quad \cdots\cdots(12)$$

(2)　出力変成器一次インダクタンスにたくわえられる電力P^1

この電力も帰線期間中にダンピング回路，負荷抵抗で消費する。

$$P_1=\frac{1}{2T}I_{pp}^2\frac{L_0^2}{L_1} \quad \cdots\cdots(13)$$

(3)　変成器一次巻線抵抗により消費される電力 P_2

$$P_2=\frac{1}{T}\int_0^T R_1i_b^2dt$$

$$=R_1I_{pp}^2\left\{\frac{6(L_1+L_0)-R_0T}{12L_1}\right\}^2+R_1I_{pp}^2\left\{\frac{(L_0+L_1)^2}{12L_1^2}+\frac{R_0^2T^2}{720L_1^2}\right\} \quad \cdots\cdots(14)$$

2.3.3　陽極損失 P_p

陽極損失 P_p を計算すれば次のようになる。

$$P_p=\frac{1}{T}\int_0^T e_bi_bdt$$

$$=P_{in}-(P_0+P_1+P_2) \quad \cdots\cdots(15)$$

2.4　能率を最高にする条件

能率 η を P_0 と P_{in} の比として定義する。したがって

$$\eta=\frac{P_0}{P_{in}}$$

$$=\frac{I_{pp}\left(R_0+\frac{6L_0}{T}\right)}{12E_{bb}\left(\frac{1}{2}-\frac{R_0T}{12L_1}+\frac{L_0}{2L_1}\right)} \quad \cdots\cdots(16)$$

真空管は負の陽極電流が流せないから(3)の1次の項の係数は0または正である。また η は L_1 の増加とともに減少する。したがって

$$L_1\geq\frac{1}{2}(R_0T-2L_0) \quad \cdots\cdots(17)$$

となる。ここで

$$L_{1\,opt}=\frac{1}{2}(R_0T-2L_0) \quad \cdots\cdots(18)$$

とすれば，L_1 がこの値をとる時に η は最大になる。

ここで偏向コイルの時定数を k とすれば

$$L_0=kR_0 \quad \cdots\cdots(19)$$

変成器の一次インダクタンスを改めて次のようにおく。

$$L_1=nL_{1opt}$$

$$=\frac{1}{2}nR_0(T-2k) \quad \cdots\cdots(20)$$

2.5　P_0 を最大にする最適負荷抵抗

(10)(19)(20)より

$$P_0=\frac{(T+6k)R_0E_{bb}^2}{12T\left[\left(\frac{1}{2}-\frac{k}{T}\right)R_0+\left(R_1+\frac{1}{G}\right)\left\{\frac{nT-2(n-1)k}{n(T-2k)}\right\}\right]} \quad \cdots\cdots(21)$$

となる。P_0 を最大にする最適負荷抵抗 R_{0opt} を求めると

$$R_{0opt}=2\frac{\left(R_1+\frac{1}{G}\right)\left\{nT-2(n-1)k\right\}T}{n(T-2k)(T+2k)} \quad \cdots\cdots(22)$$

となる。ここで改めて負荷抵抗を次のようにおく。

$$R_0=mR_{0opt}$$

$$=\frac{2m\left(R_1+\frac{1}{G}\right)\left\{nT-2(n-1)k\right\}T}{n(T-2k)(T+2k)} \quad \cdots\cdots(23)$$

2.6　計算によって導かれる関係式

(19)(20)(23)を各関係式に代入すれば各種の結論が得られるが，ここではそのうちいくつかを列挙する。

$$i_{b\max}=\frac{E_{bb}}{(1+m)\left(R_1+\frac{1}{G}\right)} \quad \cdots\cdots(24)$$

$$e_{b\min}=\frac{E_{bb}}{(1+m)(R_1G+1)} \quad \cdots\cdots(25)$$

$$e_{b\max}=\left\{\frac{m(T-2k)}{(1+m)(T+2k)}+1\right\}E_{bb} \quad \cdots\cdots(26)$$

$$I_b=\frac{\{(3n-1)T-6(n-1)k\}E_{bb}}{6(1+m)\left(R_1+\frac{1}{G}\right)\{nT-2(n-1)k\}} \quad \cdots\cdots(27)$$

$$P_{in}=\frac{\{(3n-1)T-6(n-1)k\}E_{bb}^2}{6(1+m)\left(R_1+\frac{1}{G}\right)\{nT-2(n-1)k\}} \quad \cdots(28)$$

$$P_0=\frac{mn(T-2k)(T+6k)E_{bb}^2}{6(1+m)^2\left(R_1+\frac{1}{G}\right)\{nT-2(n-1)k\}(T+2k)} \quad \cdots(29)$$

$$P_1=aP_0 \quad \cdots(30)$$

$$P_2=\frac{bR_1}{m\left(R_1+\frac{1}{G}\right)}P_0 \quad \cdots(31)$$

$$\eta=\frac{mn(T-2k)(T+6k)}{(1+m)\{(3n-1)T-6(n-1)k\}(T+2k)} \quad \cdots(32)$$

$$P_p=\left\{\frac{1}{\eta}-1-a-\frac{bR_1}{m\left(R_1+\frac{1}{G}\right)}\right\}P_0 \quad \cdots(33)$$

$$a=\frac{12k^2}{n(T-2k)(T+6k)} \quad \cdots(34)$$

$$b=\frac{(T+2k)[5(n-1)(T-2k)\{(2n+1)T-4(n-1)k+6T^2]}{5n(T-2k)(T+6k)\{nT-2(n-1)k\}} \quad \cdots(35)$$

普通の回路では

$$P_1+P_2\fallingdotseq 0.2P_0 \quad \cdots(36)$$

である。したがって P_p は次のようになる。

$$P_p\fallingdotseq\left(\frac{1}{\eta}-1.2\right)P_0 \quad \cdots(37)$$

2.7 n ＜ 1 の場合

i_b が 0 から流れ始めるとすると，$n<1$ の場合負の陽極電流が必要となる。そこでロードラインを平行移動して陽極電流の最小値が 0 となり，かつロードラインが(8)で表わす直線上で終るようにすれば，i_b は 0 または正の値となり実現可能である(**第 4 図**)。このための陽極電流，陽極電源電圧の補正分をそれぞれ ΔI_b，ΔE_{bb} とすれば，

$$\Delta I_b=\frac{(n-1)^2(T-2k)^2E_{bb}}{4(1+m)\left(R_1+\frac{1}{G}\right)T\{nT-2(n-1)k\}} \quad \cdots(38)$$

$$\Delta E_{bb}=\left(R_1+\frac{1}{G}\right)\Delta I_b \quad \cdots(39)$$

となる。この結果，(24)(27)に ΔI_b を，(25)(26)に $\frac{1}{G}\Delta I_b$ を加えればよい。もちろん陽極電源電圧は ΔE_{bb} だけ高くかけておく必要がある。

この時の陽極損失 P_p は

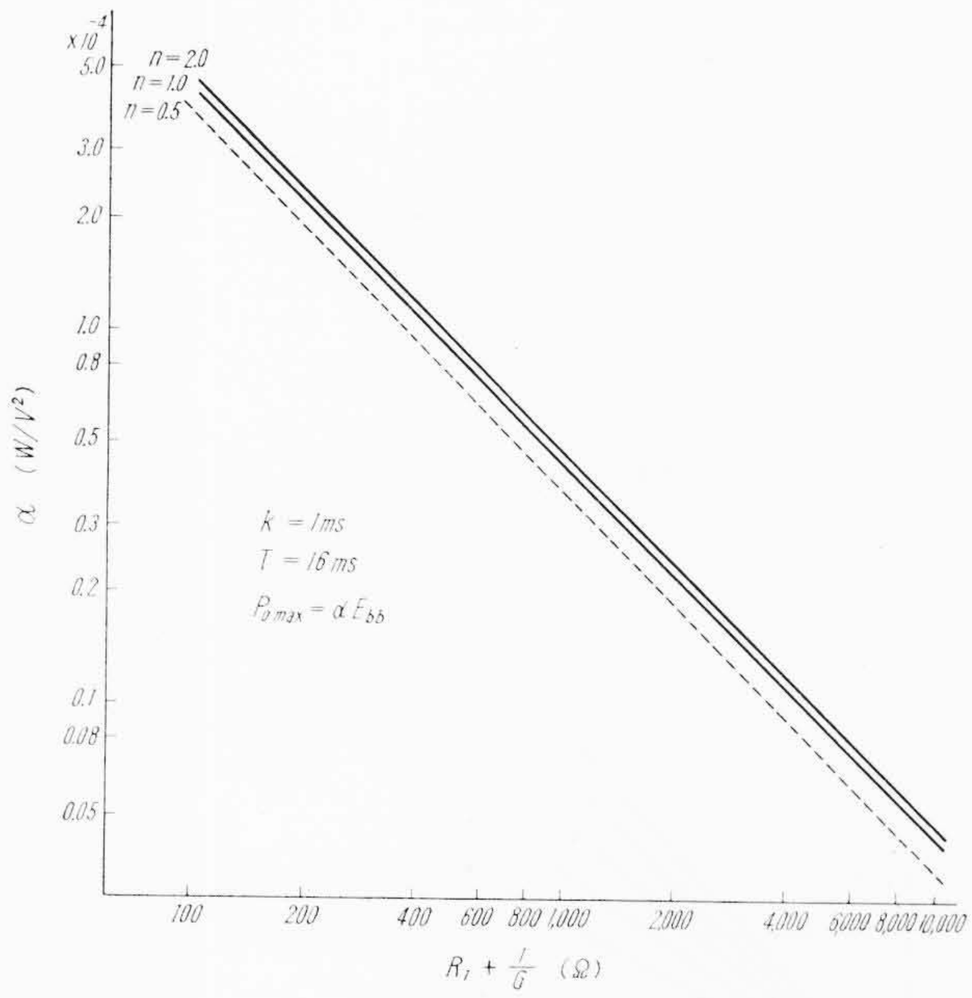
$$P_p=\left\{\frac{1}{\eta}-1-a-\frac{bR_1}{m\left(R_1+\frac{1}{G}\right)}\right\}P_0+\frac{1}{G}\{\Delta I_b^2+I_b\Delta I_b\}+E_{bb}\Delta I_b \quad \cdots(40)$$

と計算される。

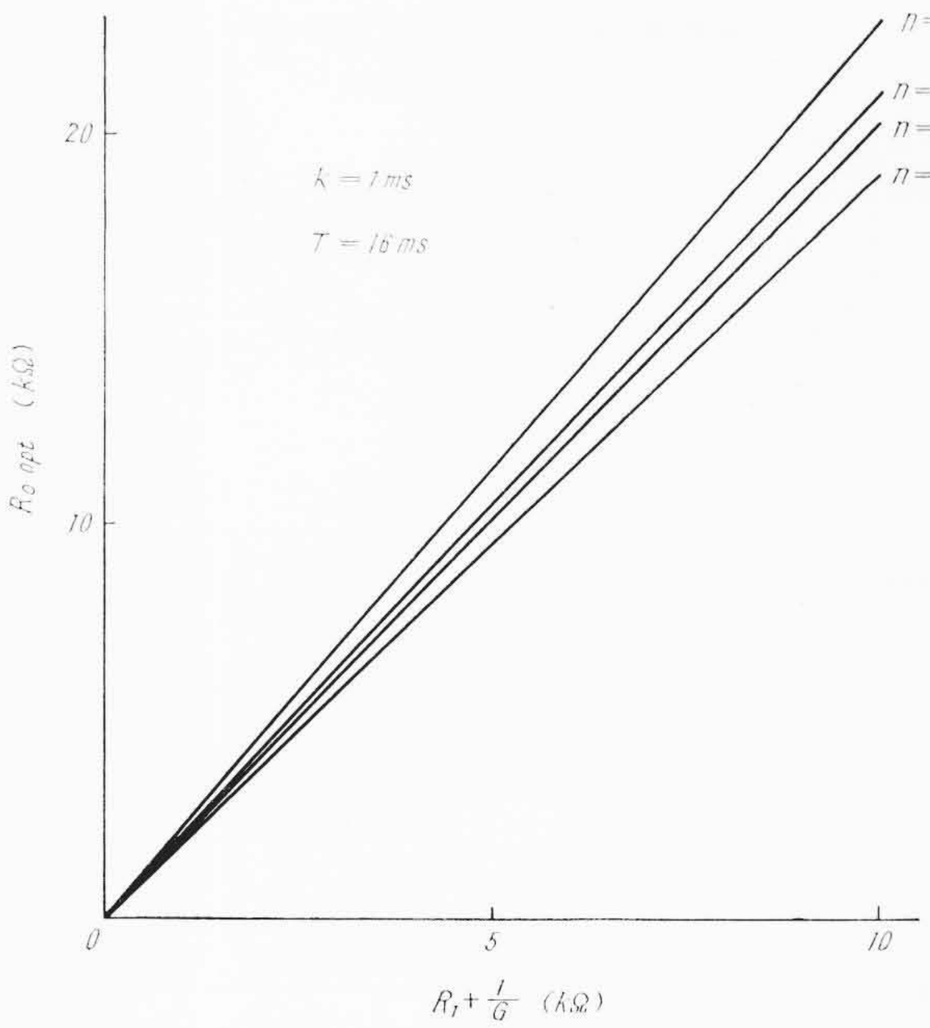
一般に**第 4 図**のようなロードラインとなるので回路的に実現困難となってくるが，能率は $n<1$ の範囲で最高値をとる。実際の回路では $n>0.8$ となっているようである。

2.8 計 算 図 表

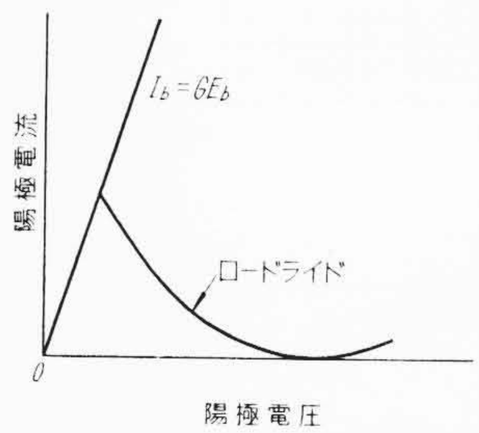
以上の関係式はそのままでは計算するのにやっかいであるので，実際の設計にあたってはあらかじめ必要な定数を与えて図表を作っておくと便利である。それらの例を **第 5～14 図** に示す。



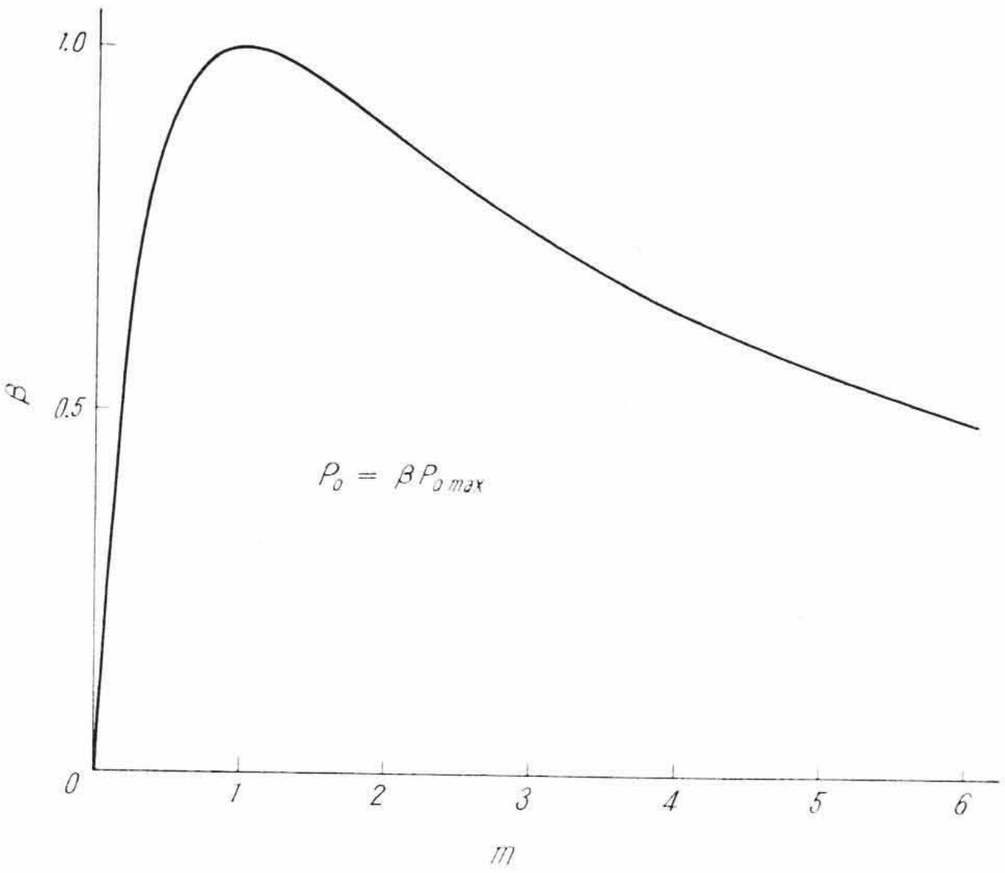
第 5 図　$R_1+\frac{1}{G}$ と最大出力の関係



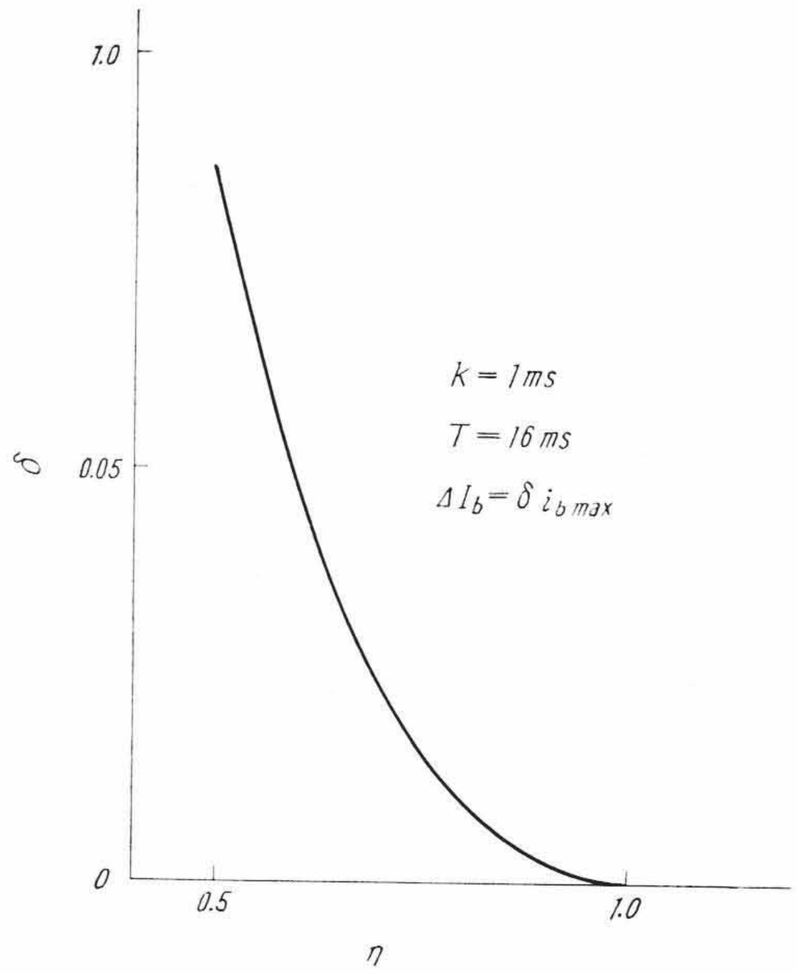
第 6 図　$R_1+\frac{1}{G}$ と最適負荷抵抗の関係



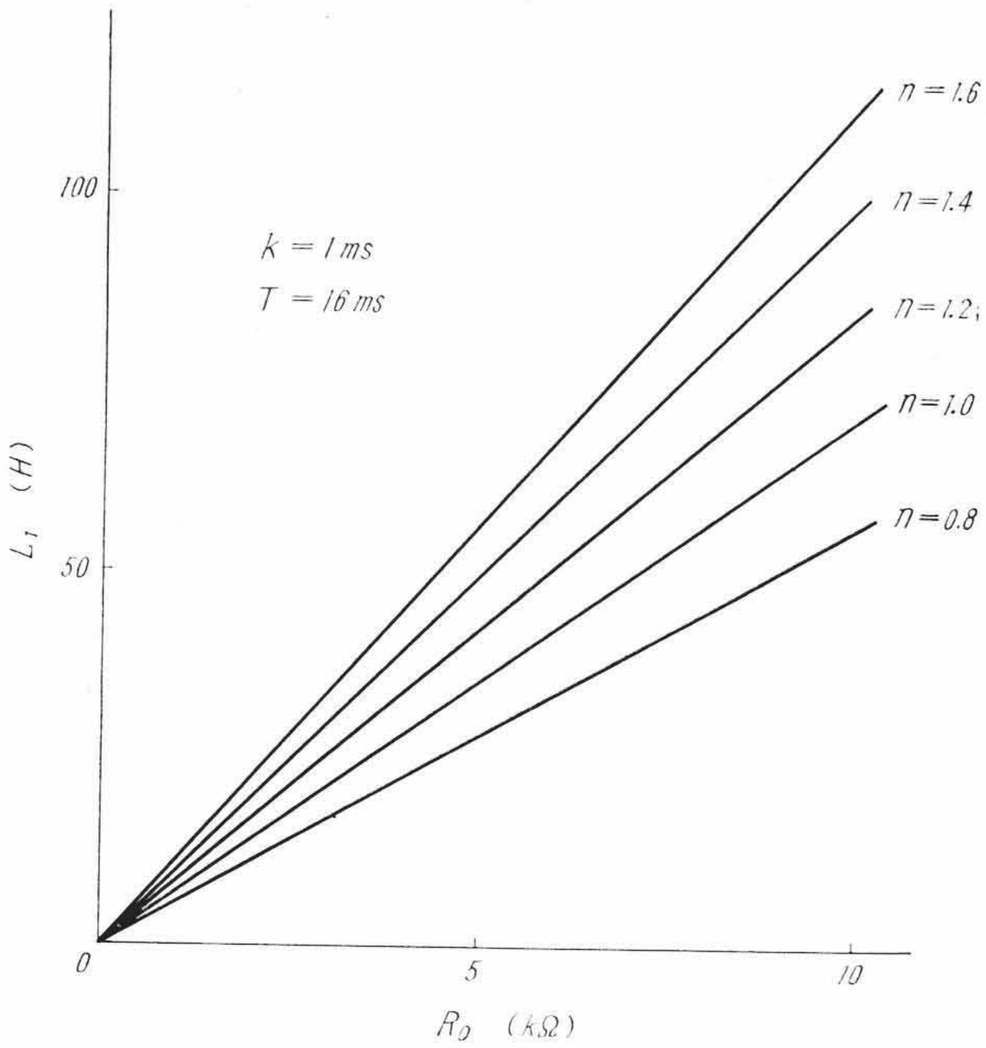
第 4 図　$n<1$ の場合のロードライン



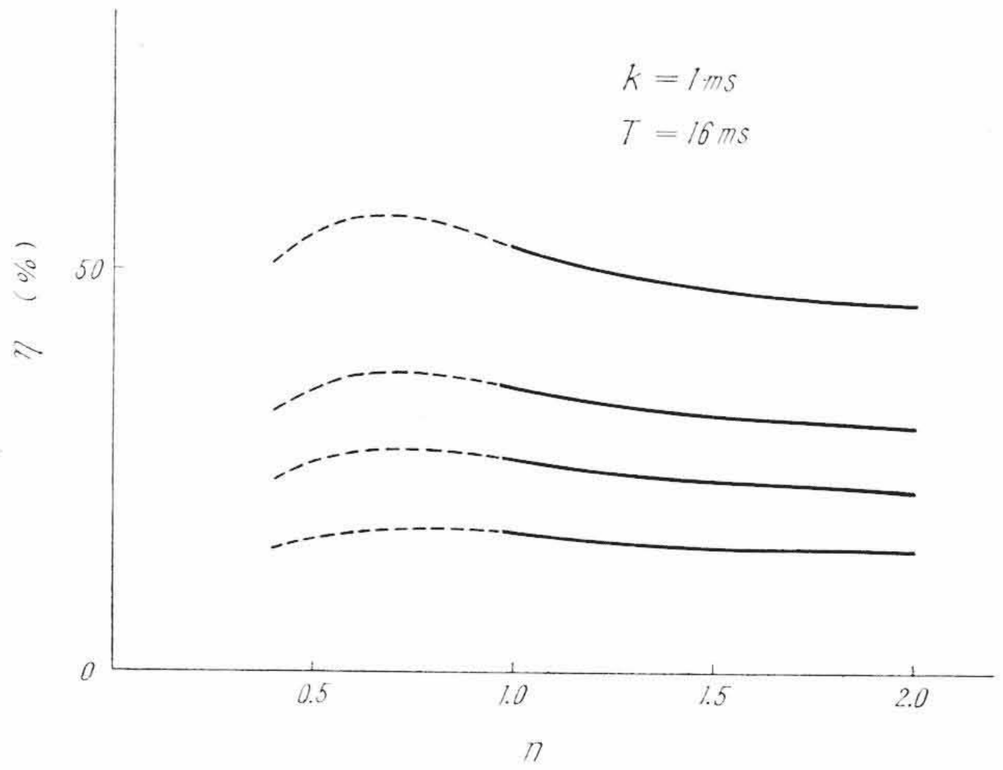
第7図　m と出力の関係



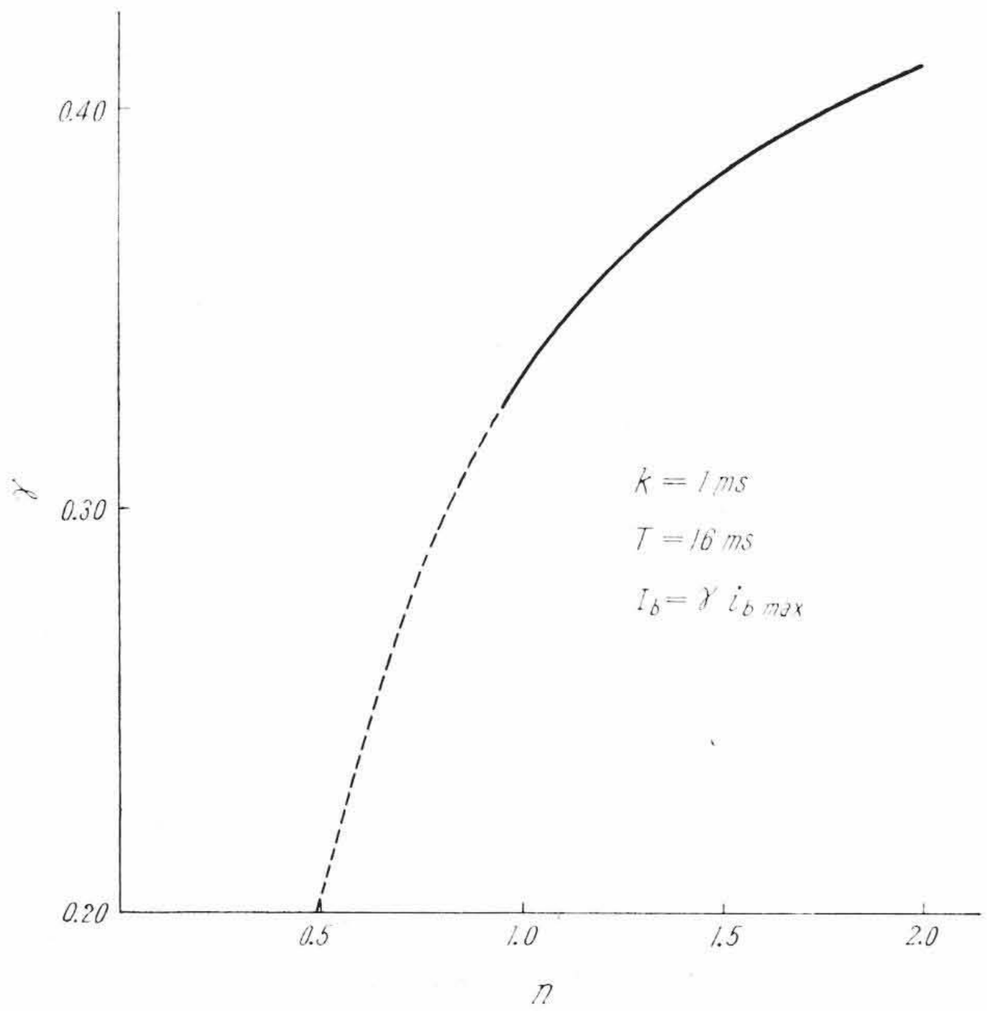
第10図　n と ΔI_b の関係



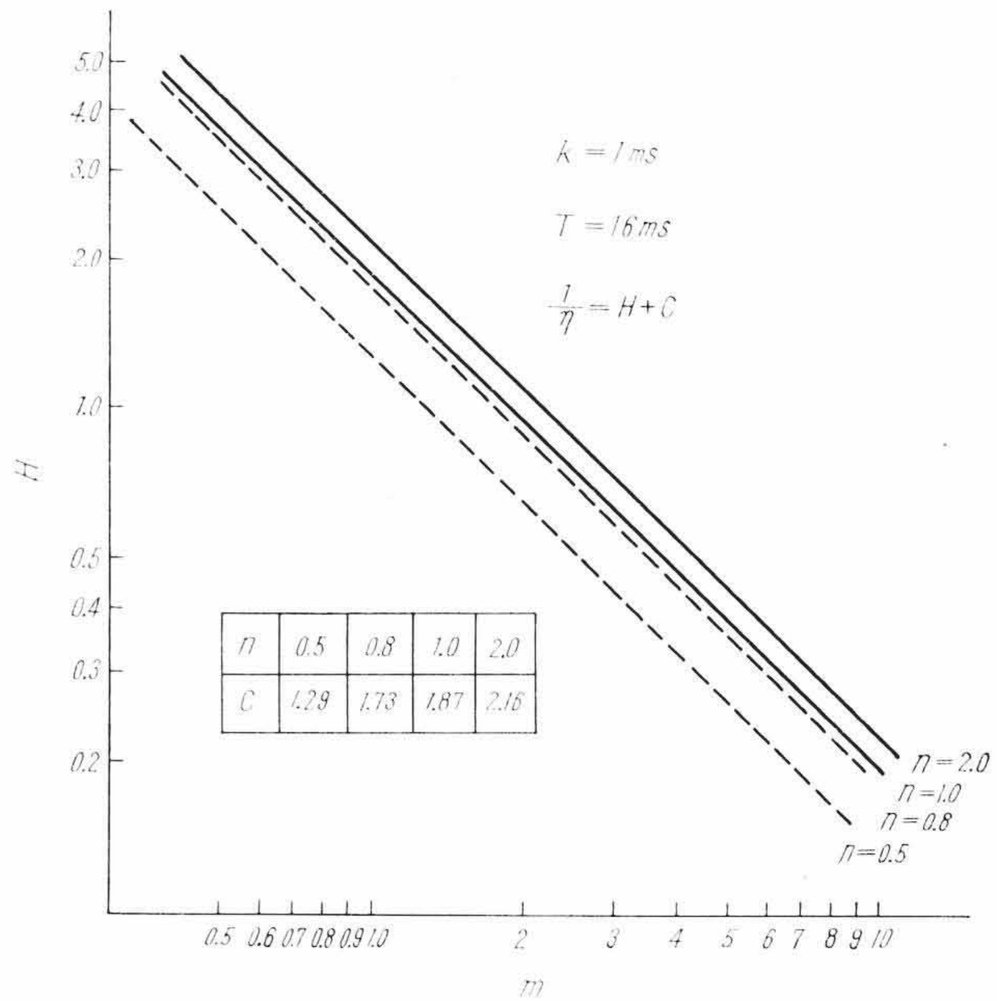
第8図　R_0 と L_1 の関係



第11図　n と能率 η の関係

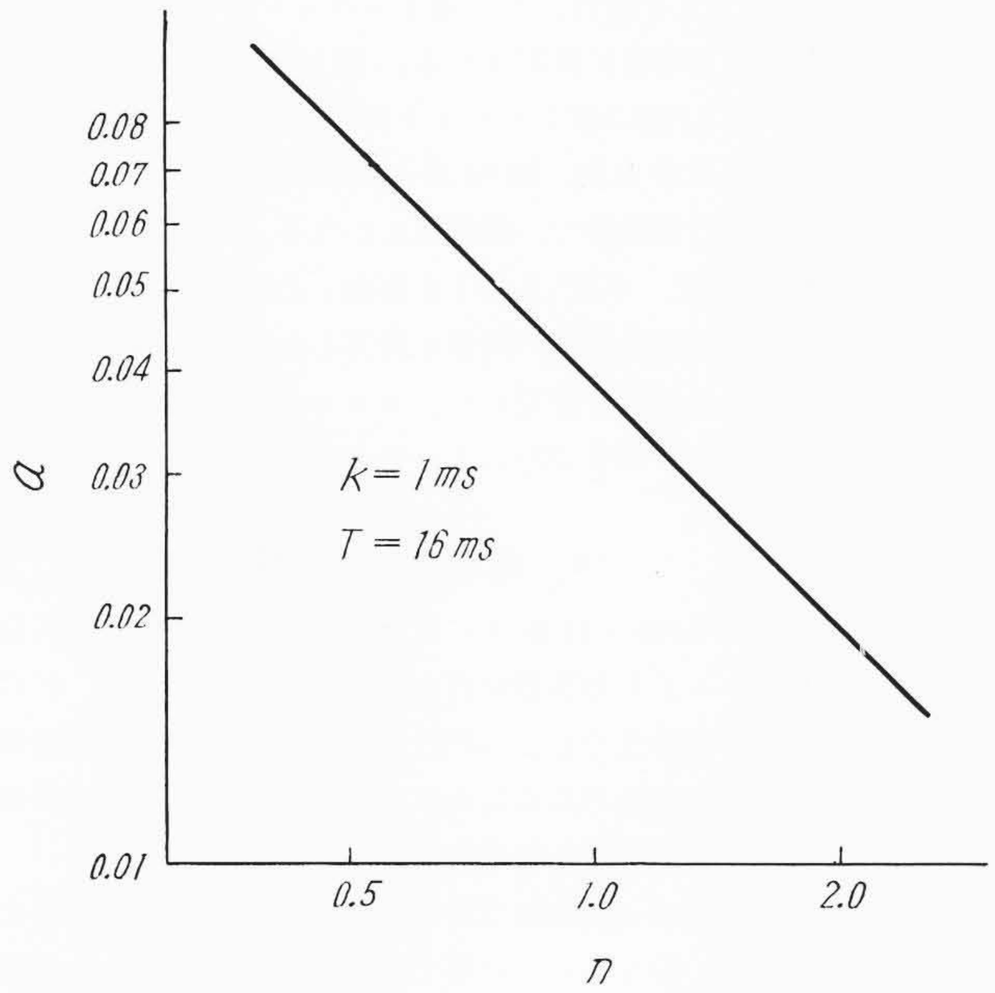


第9図　$i_{b\max}$ と I_b の関係

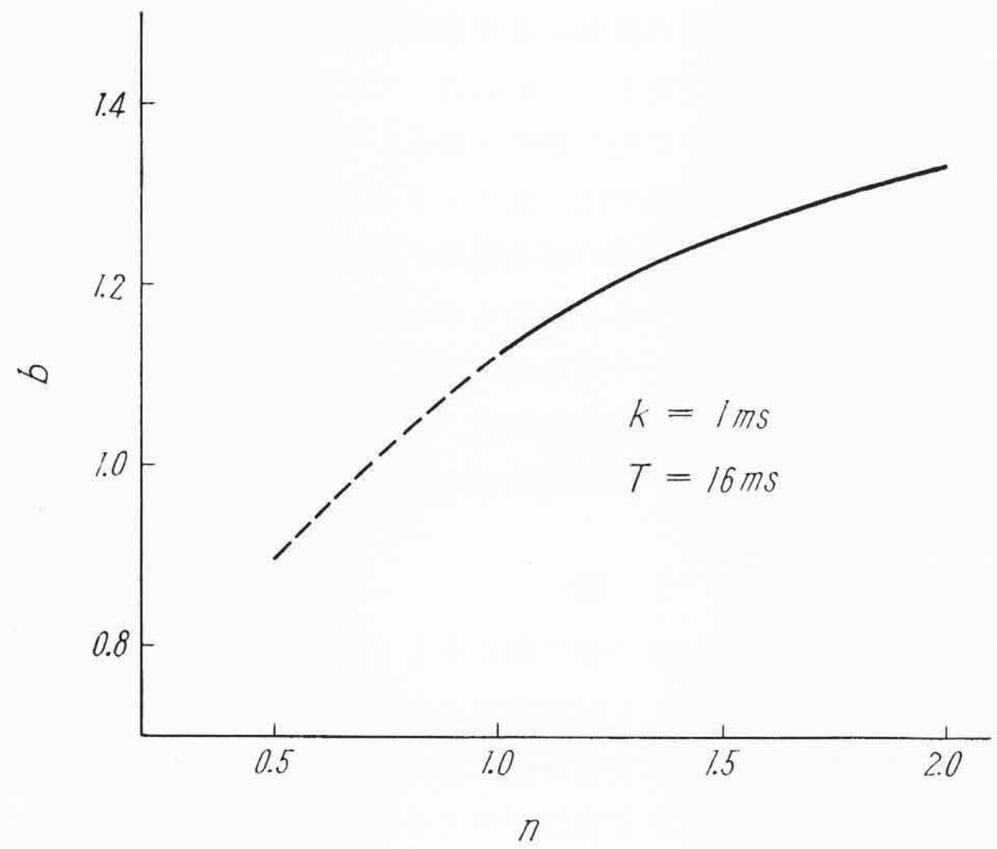


n	0.5	0.8	1.0	2.0
C	1.29	1.73	1.87	2.16

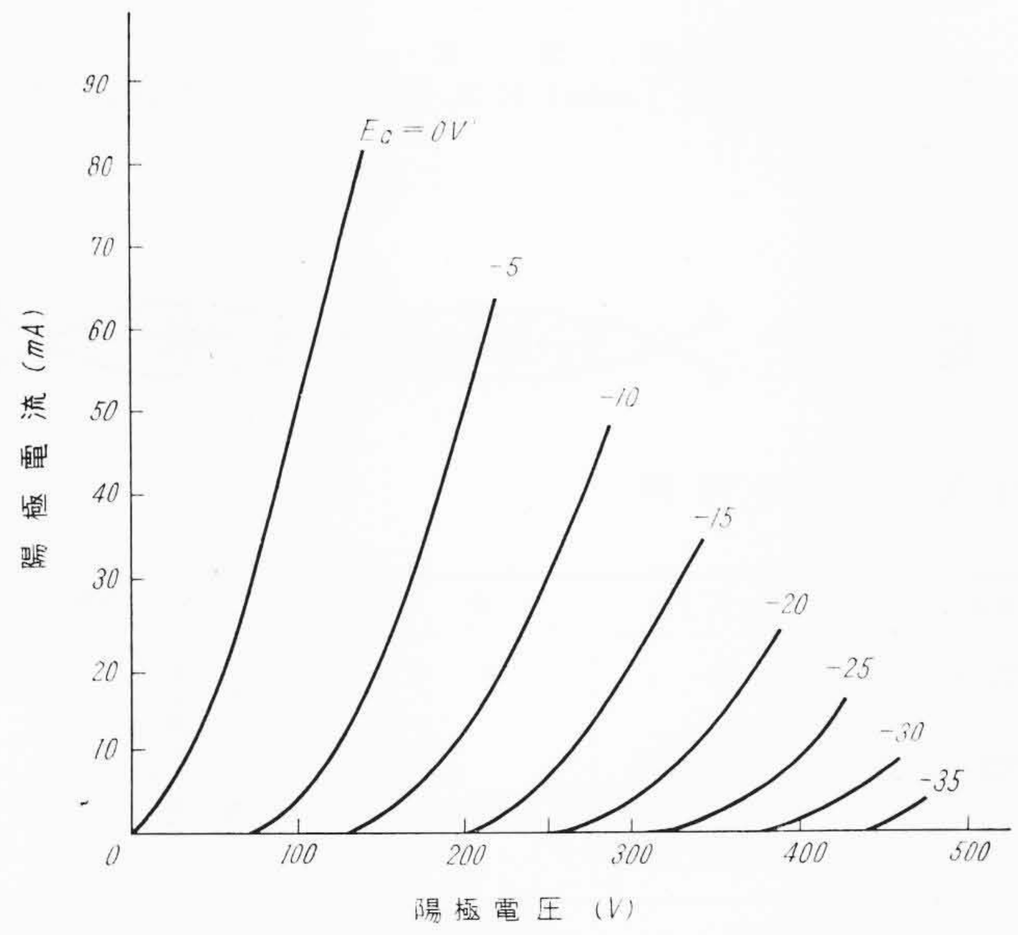
第12図　m と $\frac{1}{\eta}$ の関係



第13図　n と a の関係



第14図　n と b の関係



第15図　9R-AL1第2ユニット陽極特性

第1表　9 R-AL1定格

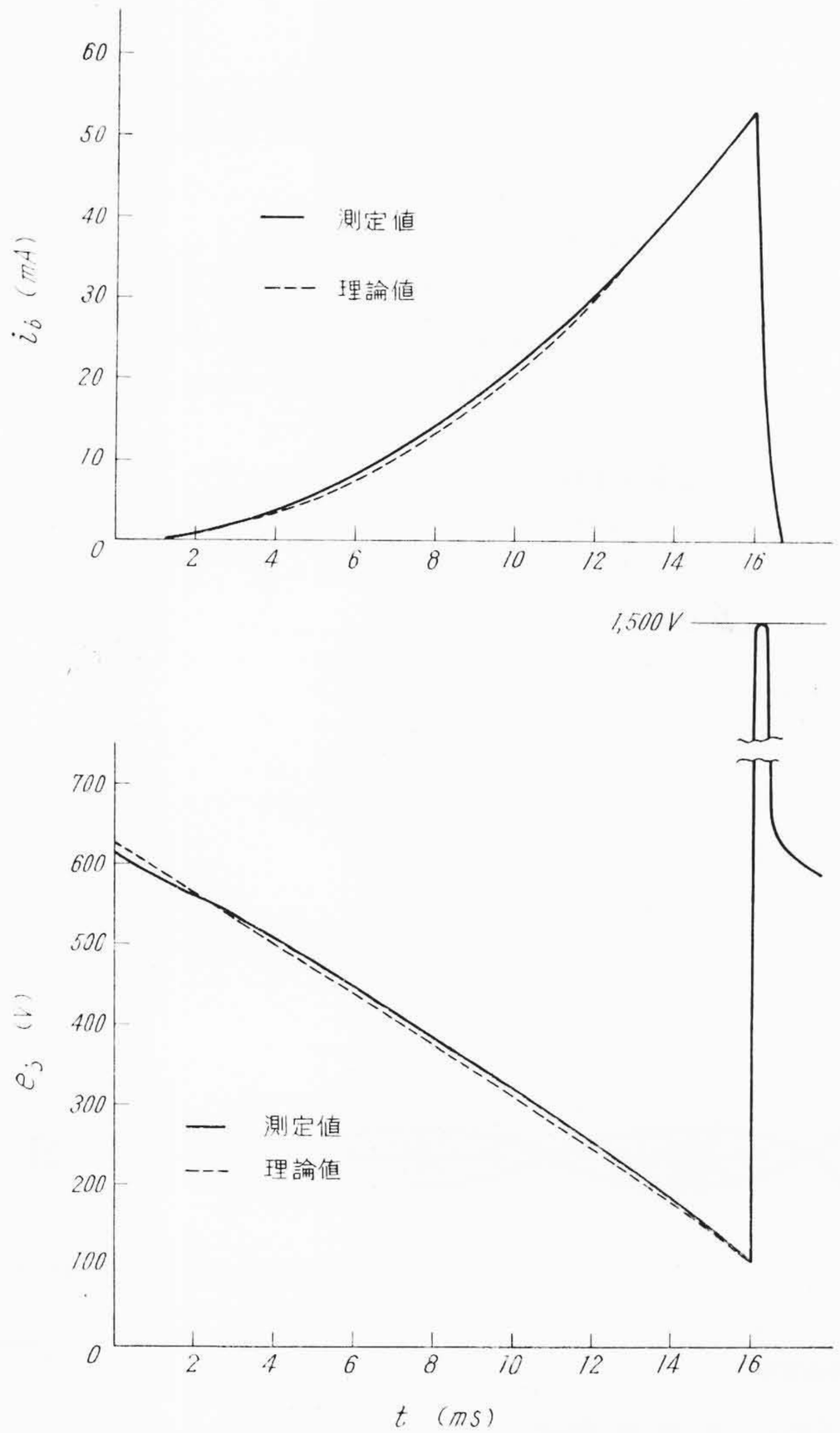
ヒータ電圧 (V)	9.0
ヒータ電流 (A)	0.6

最大定格（設計最大値）	第1ユニット	第2ユニット
陽極電圧 (V)	330	500
せん頭陽極電圧 (V)	—	2,000
陽極損失 (W)	1.5	8
平均陰極電流 (mA)	22	40
せん頭陰極電流 (mA)	77	140

第2表　9R-AL1 第2ユニット使用例

回路定数	項目	計算値	測定値
E_{bb} 420V	$i_{b\max}$ (mA)	53	52.5
G 0.5m℧	I_b (mA)	17.7	18.0
R_1 1KΩ	P_p (W)	4.2	4.3(注1)
m 1.64	$e_{b\min}$ (V)	10.6	約 105
n 1.0	$e_{b\max}$ (V)	623	約 620
R_0 10kΩ	η (%)	33.5	33
L_0 10H	P_0 (W)	2.5	(注2)
L_1 70H			

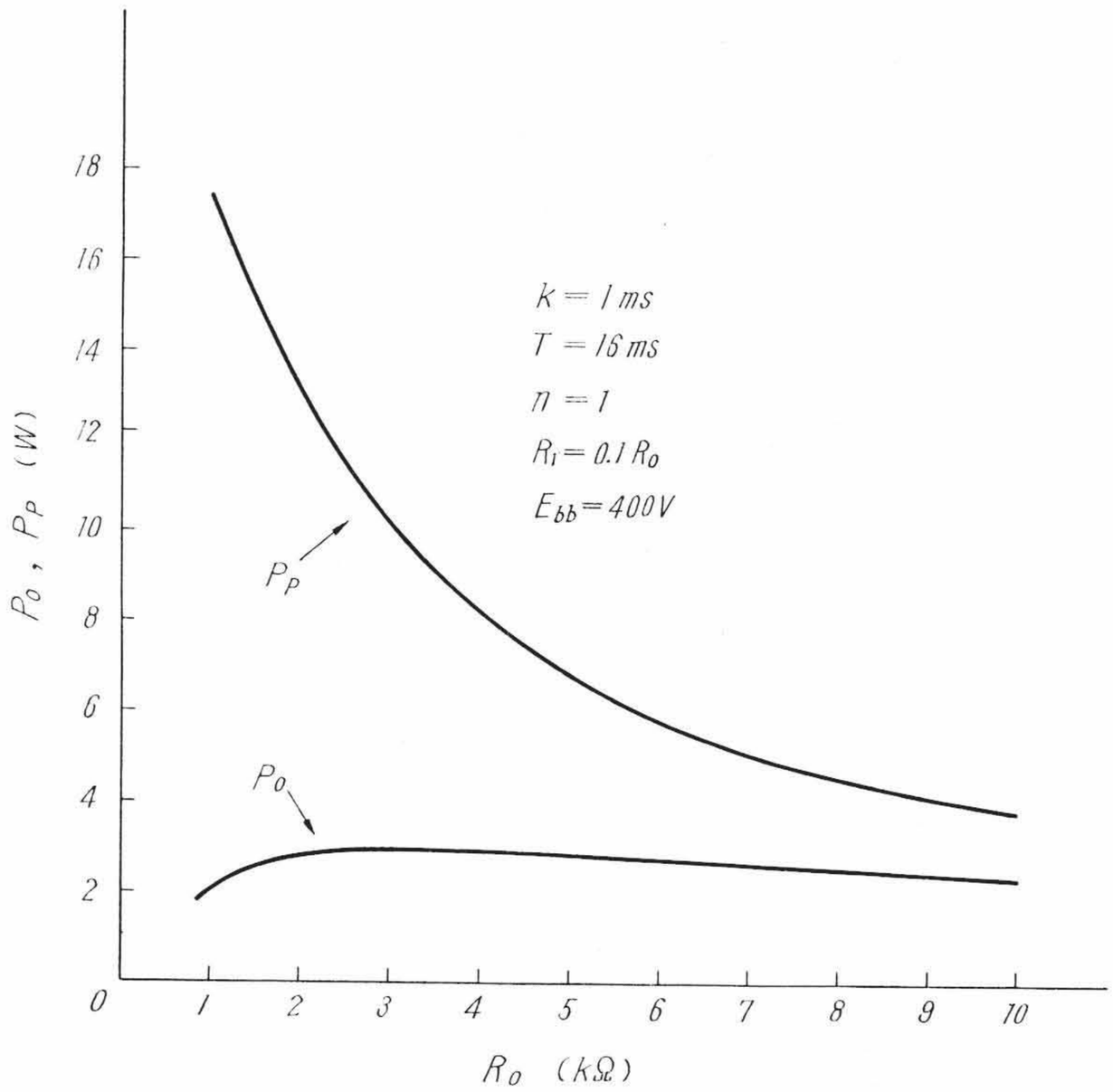
(注1)　陽極電流波形，電圧波形より図式計算で求めた。
(注2)　P_0=2.5Wになるように回路を調整。



第16図　陽極電流波形，陽極電圧波形

3. 垂直偏向出力管の最大定格設計例

ブースト電圧を使用した110度偏向用出力管について考えてみる。



（9R-AL1使用の場合の1例）
第17図　負荷抵抗による出力および陽極損失の変化

3.1 偏向所要電力

偏向コイル抵抗18Ω，インダクタンス18mHとする。ブラウン管陽極電圧15kV，10%過偏向のとき偏向電流はせん頭-せん頭値で1.1Aである。したがって偏向に要する電力P_0は，(12)により2.5Wと計算される。

3.2 出力管最大定格

陽極電源電圧を420Vとする。$m=n=1$とすれば，(27)(29)(37)より

$$I_b = 25\text{mA}$$

$$R_1 + \frac{1}{G} = 3{,}100\Omega$$

$$P_p = 6.5\text{W}$$

と計算される。したがって出力管の最大定格はこれらの値を十分満足するものであればよい。

3.3 出力管設計例

以上の定格を満足するものとして，9ピンミニアチュア複合管の9R-AL1を設計した。第1ユニットは発振，第2ユニットは出力増幅に使用される。**第1表**は9R-AL1の規格，**第15図**は第2ユニットの陽極特性を示している。

第2表は使用例，**第16図**はその時の陽極電流および陽極電圧の実測形で，理論値とかなりよくあっている。

第17図は，9R-AL1を使用した場合の負荷抵抗と出力および陽極損失の関係を計算したものである。$n=1$，$R_1=0.1R_0$と仮定した。グリッド入力はカットオフから0バイアスまで行っているとする。

4. 直線性の問題

実際の回路では往々にして出力線の直性が問題になる。グリッド入力波形が自由に変えられるならば，どのような相互特性でもよいわけであるが，入力波形は直線に近い指数曲線であるために，相互特性はほぼ2次曲線であることが必要となる。

相互特性が直線的である場合には画面の最上部がのび，上から20%ぐらいの所で縮まる傾向がある。これは走査期間に入っても球がカットオフされている時間が長く，このため帰線期間から走査期間の初期にかけて起った過渡現象の波形と走査期間中の波形がうまくつながらないためである。これに対しては，もっと2次曲線に近くなるように相互特性を修正してやればよい。

実際の回路では一次インダクタンスが最適値より小さいことが多いので，上部がのびる傾向がある。したがって相互特性としてはこれをも補正するようなものが要求されている。

直線性の関係で回路が予定された能率よりも低い状態で使用されている場合には，真空管の相互特性，グリッド入力波形，出力変成器一次インダクタンス，負荷抵抗値を再検討する必要がある。

5. 結　　言

以上垂直偏向出力回路の動作解析をもとにして，おもに真空管の最大定格とそれに関係した回路定数の決定法について述べた。合理的な回路定数を選べば真空管が過負荷になることはない。直線性の問題については今後も十分検討を加える予定である。

終りにのぞみ種々ご指導をたまわった日立製作所横浜工場テレビ設計課の諸氏に感謝する。

参　考　文　献

(1) K. W. Angel: Trans I. R. E. BTR-4, 4, p.3 (Sept. 1958)

特　許　の　紹　介

最近登録された日立製作所の特許

登録番号	名称	氏名	登録年月日	登録番号	名称	氏名	登録年月日
272211	制動装置用非常弁装置	田上八十次	36. 3. 13	272216	油圧プレス装置	中村昌夫 石渡欽之甫 水原康	36. 3. 13
272214	空気ばね台車用荷重応動ブレーキ装置	田上八十次	〃				
272224	ベルトコンベヤの水切装置	志田孝太郎	〃	272213	蛍光体	伴野正美 江本正之 東海竜男	〃
272232	緩衝装置	井上啓	〃				
272235	スキップ積込装置	若森俊郎	〃				