

バリスターによる任意非線形関数発生装置

その他（別言語等） のタイトル	Nonlinear Function Generators with Varistor
著者	塚原 至, 北村 正一
雑誌名	室蘭工業大学研究報告
巻	5
号	1
ページ	91-103
発行年	1965-07-08
URL	http://hdl.handle.net/10258/3231

バリスターによる任意非線形関数発生装置

塚原 至・北村正一

Nonlinear Function Generators with Varistor

Itaru Tukahara and Shoichi Kitamura

Abstract

There have been strong demands for applying analog computers in many forms of nonlinear transfer characteristics. In this problem the technique of varistor function generators is a hopeful one. In the Douglas Aircraft Company's Quadratron function generators, varistors are used in generating the voltage transfer characteristics of the forms $X_0 = aX_i^n$ and $X_0 = bX_i^{1/n}$ in which exponent n is 2, 3, 4, 5 and 6.

In this paper, are presented some advanced techniques in which a portion of any nonlinear characteristic is approximated by the varistor function generators and then all portions of this nonlinear characteristic are connected in series. This technique may be provide more excellent approximation than diode function generators.

1. 緒 言

非線形特性を含む問題の解析にはアナログ計算機が優れた機能を有していることは周知の通りである。アナログ計算機の所有する非線形関数発生器としては、折線関数発生器、フォト・フォーマ、サーボ乗算器等が上げられるが、そのうち任意の非線形関数発生装置としては折線関数発生器かフォト・フォーマが実用されているのが現状である。しかし何れにしても関数設定法、製作費等に難点がある。筆者らは非線形要素としてSiCバリスターを用いた任意非線形関数発生装置について実験的考察を行なったのでここに報告する。

任意の関数を折線で近似させる方式では近似区間を狭く取る、即ち区間数を多くすることにより精度を高める事が可能であるが、あくまでも直線近似である点に問題がある。本装置の基本的な考え方は発生させたい任意の非線形関数を数区間に割り、SiCバリスターの指数関数特性と直線とで近似するもので関数設定は極めて容易となる。バリスターを用いた基礎的な関数の発生法としてかなりの研究^{1),2)}がなされているが、任意の関数の設定まで至っていない様であるので、この点について基本的な回路構成により曲線を近似させ、その任意性を検討したものである。

2. バリスターの特性

バリスターの直流電流特性として実用的には次の電圧・電流特性実験式が一般に用いられている。

$$I = KE^n \tag{1}$$

ここで E : 印加電圧, I : その時にバリスターに流れる電流, K : 1ボルトの時の電流を示す定数, n : 非直線性を示す指数で原料及び構造により異なる値を示し, 2~5程度のものが市販されている。

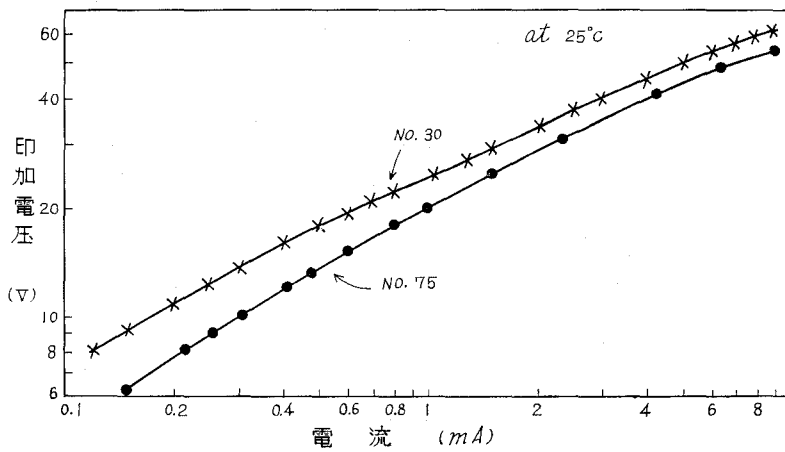


図-1 バリスター電圧・電流特性

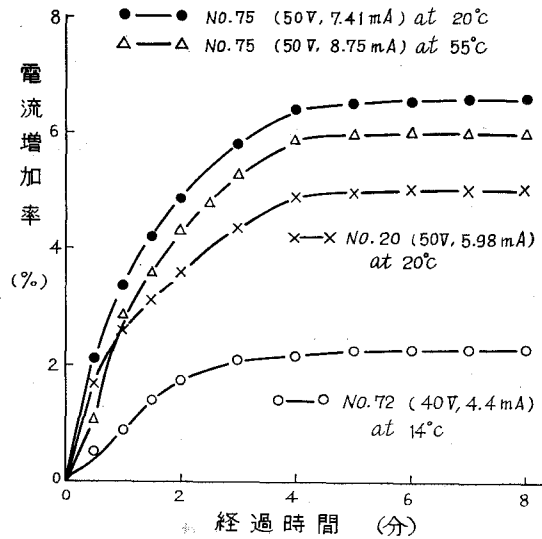


図-2 電流変化率

この様にバリスターは電流が印加電圧の中乗で変化する非直線抵抗器である。図-1はOSバリスター* No. 30, No. 75 の特性を両対数表に示したものであるが、図から明らかな様に非直線指数 n は一般に電圧が高くなるにつれて増加する傾向がある。しかしこの図には示していないが、更に著しく電圧の高い部分と低い部分では殆んどオームの法則に従う特性を示すことが知られている。

バリスターの抵抗温度特性は負であり、また金属整流素子に見られるクリープ特性の様な現象が見られる。即ちバリスターに一定電圧を印加した場合、抵抗値が時間と共に変化するもので図-2に示す如く安定するまでに数分間を要する。

3. バリスターの指数修正法

前述の如く市販のSiCバリスターの指数は2~5程度であるが、バラツキが多く希望する指数のものを得ることは難しい。しかし、バリスターに直並列に抵抗を挿入することによりある程度指数の修正が可能である。最適な抵抗値を決定するについて種々の方法³⁾が用いられているが、筆者らの用いた方法は狭い使用範囲での特性修正法として極めて簡単で比較的迅速に出来る点実用性があると考えられる。

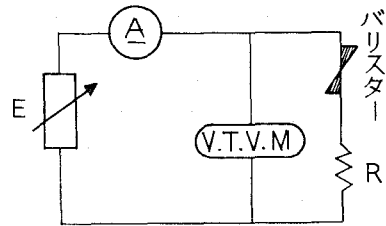


図-3 測定回路

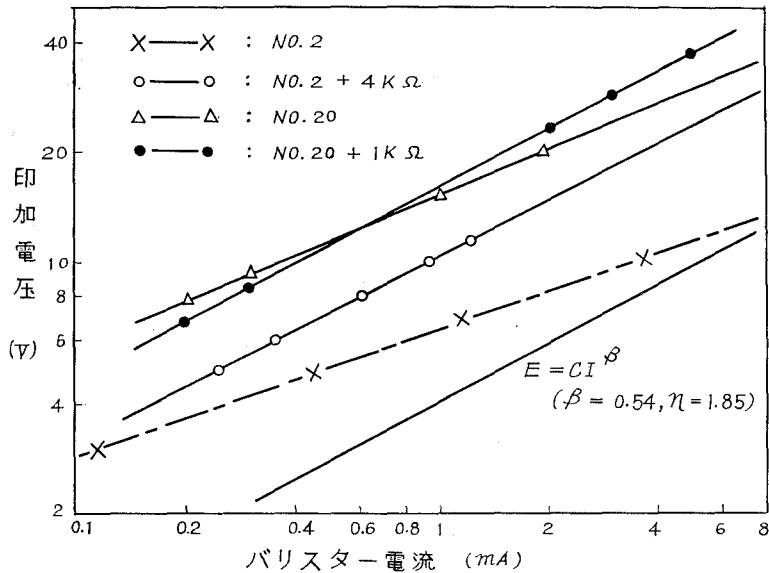


図-4 直列抵抗による特性修正

* 大泉製作所製 SiC バリスター特殊仕様

バリスターに直列に直線抵抗を挿入して、(1)式に示した電圧・電流特性を次のように変える。

$$E = IR_0 + CI^{1/n} \tag{2}$$

但し、 $C = 1/K^{1/n}$

ここで、希望する n をうるために正確な R_0 を求めることが必要となるが、簡略法として次の方法により R_0 を決定する。

(1)式より、

$$n = \frac{\log I_1/I_2}{\log E_1/E_2} \tag{3}$$

(3)式において、希望する n を、印加電圧 E_1, E_2 時のバリスター電流 I_1 と I_2 の比の値を R を変化することにより求める。図-4に示すのは $n = 1.85$ をうるために行なった測定結果で、先ず $E_1 = 50V, E_2 = 40V$ の2点において電流値を測定し、その比が $I_1/I_2 = 1.511$ になる様に直列抵抗を *trial and error* で決定した。測定回路を図-3に示す。図中 V・T・V・M: 真空管電圧計 (入力インピーダンス $11 M\Omega$), A: 直流電流計 (0.5 級), E: 直流可変型安定化電源を示す。本実験は指数 $2.2 \sim 2.7$ のもの約 100 個について行なったが、 R の値は $1 K\Omega \sim 4 K\Omega$ の範囲であった。

4. バリスター基本回路

図-5の様にバリスターに直列抵抗を付した場合の入出力電圧の関係について考察する。バリスターの電圧-電流特性が(1)式で表わされるので、図-5の直列抵抗 R の電圧降下は I に比例するからバリスター端子電圧を e_v とすると、 e_o は次式で示される。

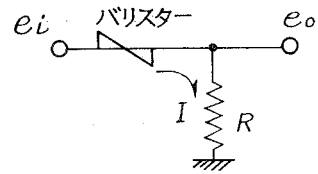


図-5 バリスター回路

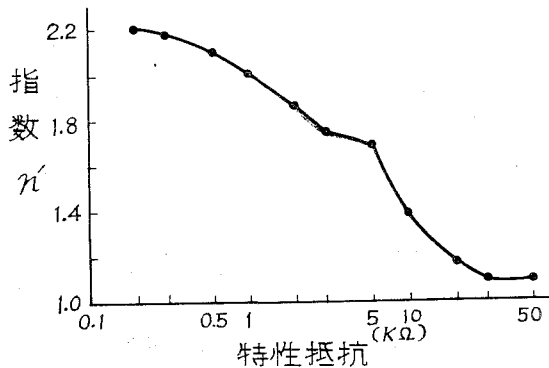


図-6 $n'-R$ 特性

$$e_0 = KR e_i^n \tag{4}$$

また、入力 e_i と出力 e_0 の間にも指数関係が存在するから、入出力間の非直線指数を n' 、係数を K' とすると

$$e_0 = K' e_i^{n'} \tag{5}$$

直列抵抗値による指数 n' の変化について、バリスター No. 66 を用いて行なった測定結果を図-6 に示す。これより (5) 式から K' の値を求めたのが表-1 である。これにより R の値を変化することにより指数をある程度変えることが可能であることが解るが、余り R を大きくすると入力電圧 e_i の小さい範囲での指数性を悪くする。これは前にも触れた様にバリスターの低電流域での指数の低下に帰因するものと考えられる。

表-1 抵抗値の変化に伴う指数の変化 (入力電圧 50 V)

抵抗値 R (k Ω)	指 数 n'	係 数 K'	出力電圧 (V)	抵抗値 R (k Ω)	指 数 n'	係 数 K'	出力電圧 (V)
0.5	2.14	6.3×10^{-4}	2.7	8	1.49	5.5×10^{-2}	15.8
1	2.02	1.7×10^{-3}	5.0	10	1.43	7.5×10^{-2}	20.0
2	1.84	6.0×10^{-3}	8.0	15	1.41	8.4×10^{-2}	20.5
3	1.76	1.1×10^{-2}	10.5	20	1.2	2.0×10^{-1}	21.0
4	1.73	1.4×10^{-2}	12.2	50	1.13	3.9×10^{-1}	32.5
5	1.68	1.9×10^{-2}	14.0	100	1.08	5.6×10^{-1}	37.5
6	1.60	3.0×10^{-2}	15.9	250	1.0	8.0×10^{-1}	40.0
7	1.57	3.4×10^{-2}	17.8	500	1.0	8.6×10^{-1}	43.0

注 バリスタ No. 66 ($n=2.2$, $K=2.8 \times 10^{-6} \Omega$)

5. 基礎関数発生回路 (図-7)

バリスターを用いた基礎的な関数発生回路を次に示す。これは任意指数関数発生装置の非線形部分を設定する基礎となる。之は文献¹⁾ にもあるが、我々もこの回路を利用する。

6. 任意非線形関数発生装置

A. 回路構成

回路図を図-8 に示す。指数近似 4 区間、直線近似 2 区間の構成である。

B. 関数設定法

関数の設定順序は次の通りである。ただし、 $j=1, 2, \dots, 4$

- ① P_{1j} で負のバイアスをかけて区間の始点を決定する。
- ② P_{2j} により区間幅を決める。

リミッタ出力点に於ける入力電圧と出力電圧の関係は図-9 に示す。

TRANSFER FUNCTION

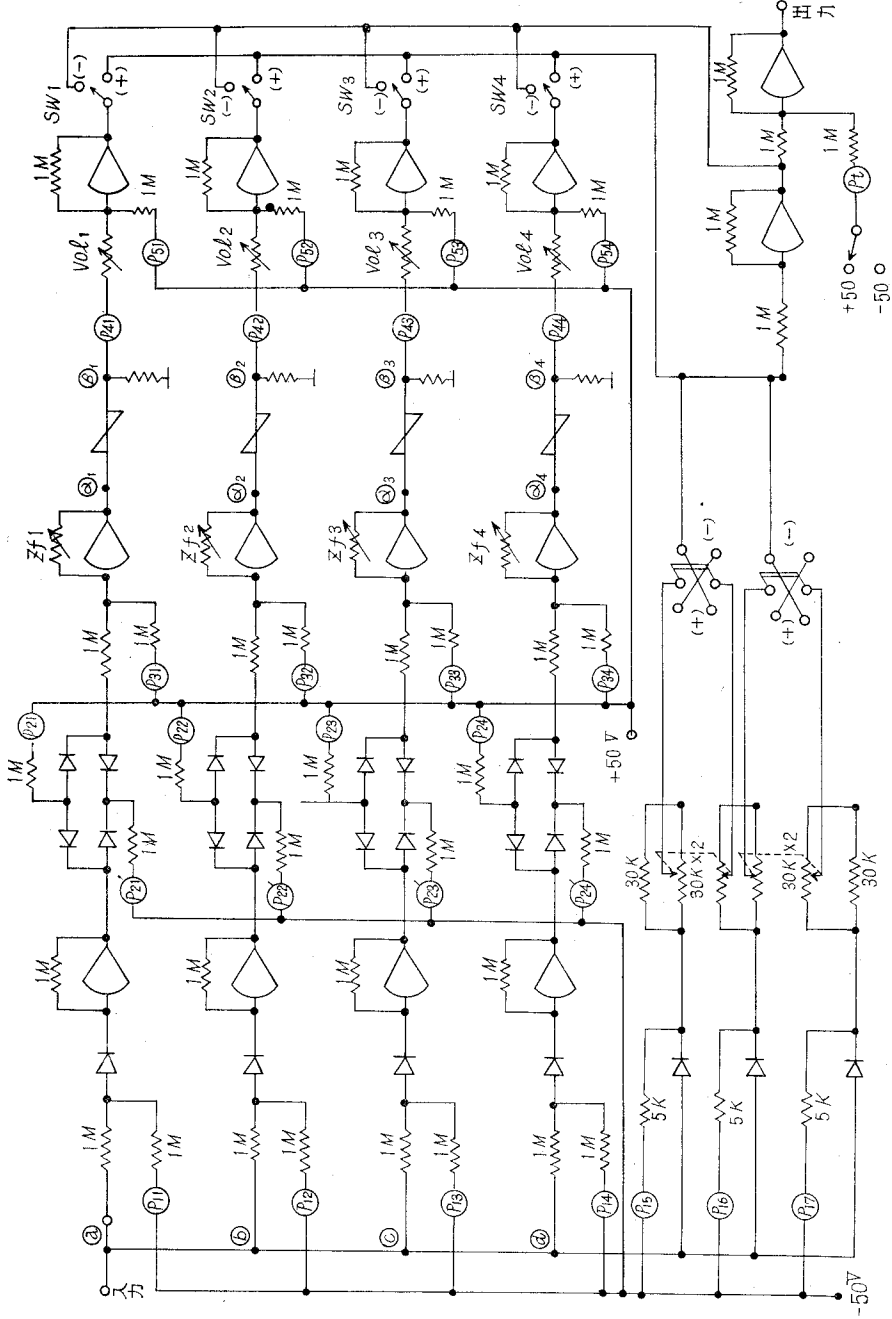
出力電圧波形

入力電圧波形

回路構成

<p>①</p>			$e_o = -Kei^2$
<p>②</p>			$e_o = -Kei^4$
<p>③</p>			$e_o = -Kei^{\frac{1}{2}}$
<p>④</p>			$e_o = -Kei^2$
<p>⑤</p>			$e_o = -Kei^2$

図-7 パリスター基本回路



図—8 任意非線形関数発生装置実験回路

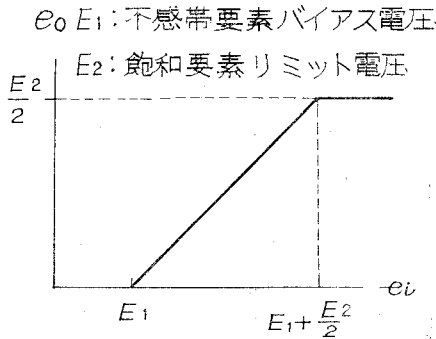


図-9 リミッタ特性

- ③ P_{sj} によりリミッタ回路出力に初期値を与える。
- ④ α_j 点での出力電圧を最大 $\pm 50V$ の範囲で出来るだけ大にする。
- ⑤ 適当な指数のバリスターを挿入する。
- ⑥ P_{sj} 及び Vol_j により入力インピーダンスを変え必要な出力値にする。
- ⑦ P_{sj} により各々加算に必要なレベルに調整する。
- ⑧ S_{wj} により正負勾配を決める。
- ⑨ P_i により出力値に初期値を与える。

C. 関数設定例

図-10 に示す様な曲線を区間指数 n の曲線で近似する。本実験では前半の立上り部分と後半の下降部分とに分けて設定している。

i) 立上り部分の設定

a) 第1区間の設定

- ① 先ず指数 n_1 のバリスターを α_1 - β_1 間に挿入する。

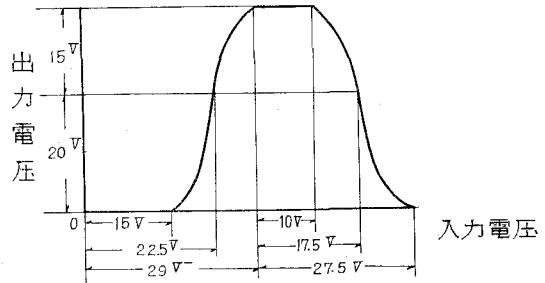


図-10 関数設定例任意曲線

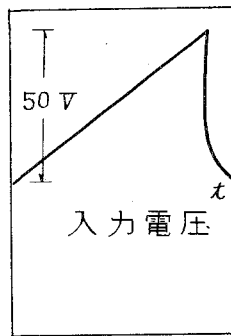


図-11 立上り部分の出力電圧波形

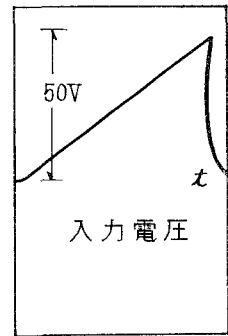
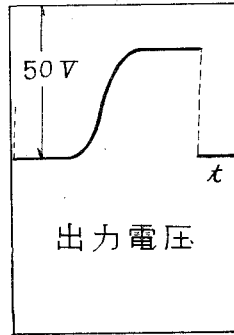
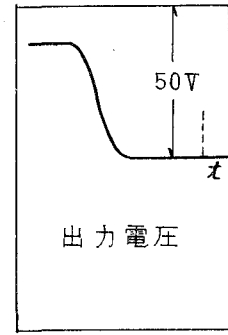


図-12 下降部分の出力電圧波形



出力電圧



出力電圧

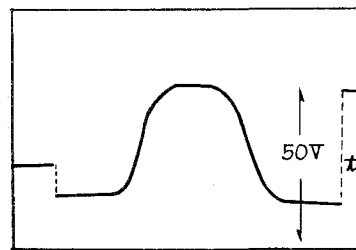


図-13 合成波形

- ② P_{ij} 及び P_i を零とする。但し、 $i=1, 2, \dots, 5, j=1, 2, \dots, 7$
- ③ $P_{11}=0.3$ とし始点を決める (15 V)。
- ④ $P_{21}=0.3$ とし区間幅を決める (7.5 V)。
- ⑤ 入力電圧 50 V を ㉑ 端子にのみ印加し、 $Z_{f1}=5.4 M\Omega$ に調整。
- ⑥ 入力電圧 +22.5 V の時出力電圧 20 V になる様に P_{41} を調整。
- ⑦ S_{w1} を (+) 側にし、勾配を決める。

第 1 区間設定時の各点の電圧波形を 図-14 に示す。

b) 第 2 区間の設定

- ① ㉑ 端子回路に n_2 指数のバリスターを挿入。
- ② $P_{12}=0.45, P_{22}=0.30$ に調整 (始点 22.5 V, 区間幅 7.5 V)。
- ③ 入力電圧を ㉑ 端子に接続し、 $Z_{f2}=4.9 M\Omega$ に調整。
- ④ $P_{32}=0.15, P_{52}=0.38$ とし、入力電圧 +32.5 V の時、出力電圧 15 V になる様に P_{42} 及び Vol_2 を調整。
- ⑤ S_{w2} を (+) 側にする。

第 2 区間の各点の電圧波形を 図-15 に示す。第 1 区間、第 2 区間設定後、入力電圧を ㉑ ㉑ 点に接続し、 P_i 調整後の立上り部分の出力電圧波形を 図-11 に示す。

ii) 下降部分の設定

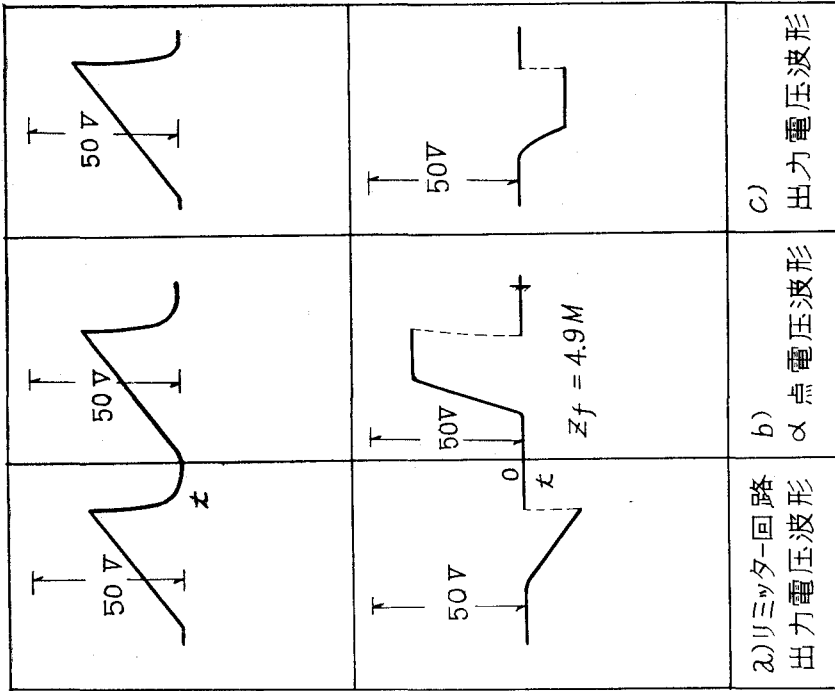
a) 第 3 区間の設定 (図-16)

- ① ㉑ 端子回路に n_2 指数のバリスタを挿入。
- ② $P_{13}=0.2, P_{23}=0.3$ に調整 (始点 10 V, 区間幅 0.75 V)
- ③ 入力電圧を ㉑ 端子に接続し、 $Z_{f3}=4.9 M\Omega$ に調整。
- ④ P_{53} 及び Vol_3 により入力電圧 17.5 V の時出力電圧を -15 V に調整。
- ⑤ S_{w3} を (-) 側にする。

b) 第 4 区間の設定 (図-17)

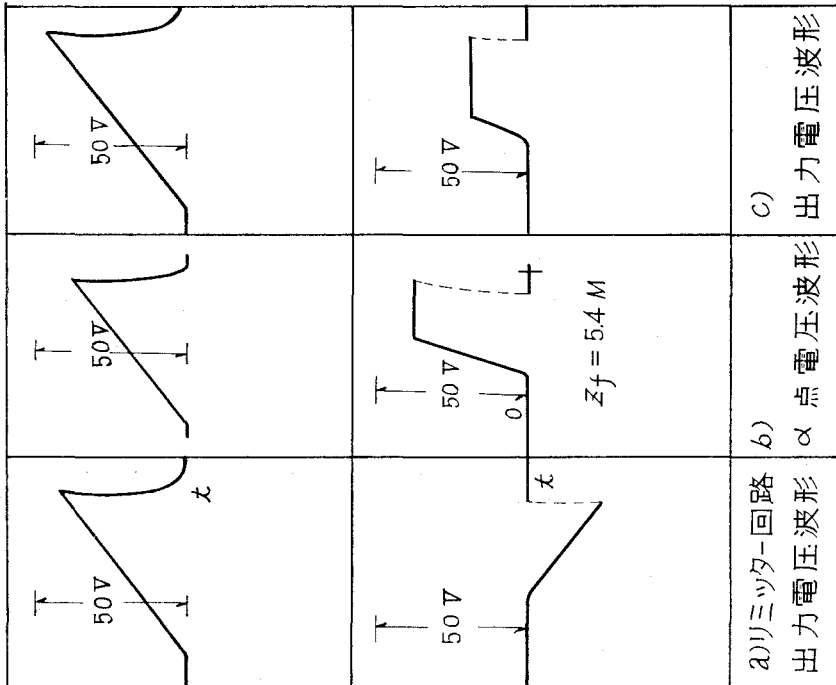
- ① ㉑ 端子回路に n , 指数のバリスタを挿入。
- ② $P_{14}=0.35, P_{24}=0.4$ に調整 (始点 17.5 V, 区間幅 10 V)
- ③ 入力電圧を ㉑ 端子に接続し、 $Z_{f4}=5.4 M\Omega$ に調整。
- ④ $P_{34}=0.20, P_{44}=0.47$ にし Vol_4 及び P_{44} を調整し、入力電圧 27.5 V の時の出力電圧を 20 V に調整する。
- ⑤ S_{w4} を (-) 側にする。

第 3 区間、第 4 区間設定後、入力電圧を ㉑ ㉑ 端子に接続し、 P_i により初期値を与えた時の出力電圧波形を 図-12 に示す。



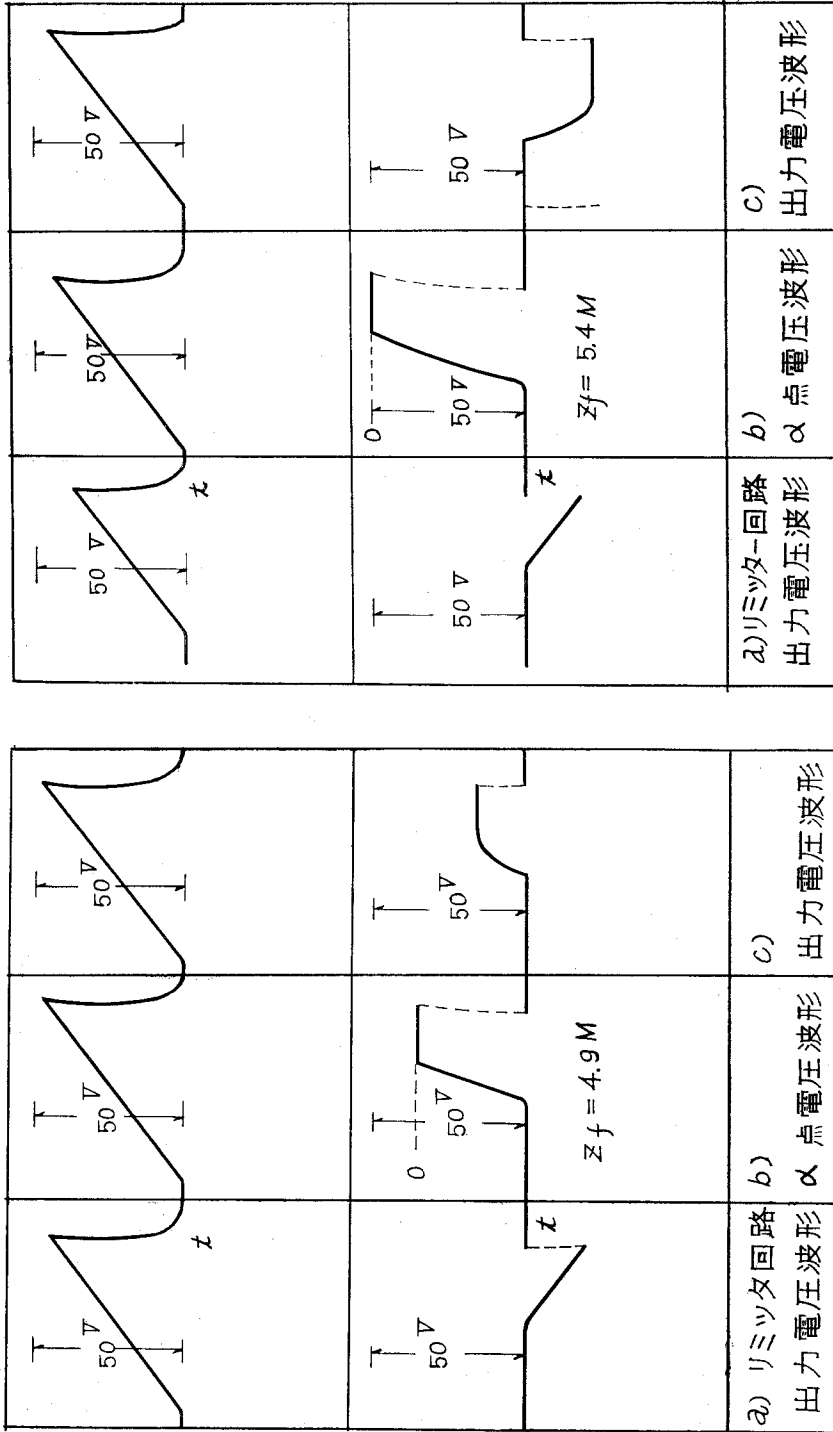
入力電圧波形

図-15 第2区間各点の電圧波形



入力電圧波形

図-14 第1区間各点の電圧波形



図一17 第4区間各点の電圧波形

図一16 第3区間各点の電圧波形

7. 考 察

この回路構成による関数発生器で関数を設定する場合、変曲点を n 個有する関数では、 $n+1$ 個の近似区間を必要とするので、任意性についての制限をうける。また、複雑な関数の近似では接続点での精度を高くする事は難しい。しかし、直線近似法と比較すると指数特性をうまく使用することにより、区間数が少なく精度を上げうる点において優れている。設定例に示す様に曲線は本装置では 4 区間設定で行なっているが、そのために要する直流増幅器の数は 12 個である。この曲線を直線近似法で行なうとすれば、3 個で足りる。しかし、近似区間は増加し、精度は落ちる。本実験では便宜上この回路要素を使用したがる、特性の揃ったバリスタが多数得られれば、リミッタ回路に増幅器を使用しないで図-18 の回路構成が可能となる。

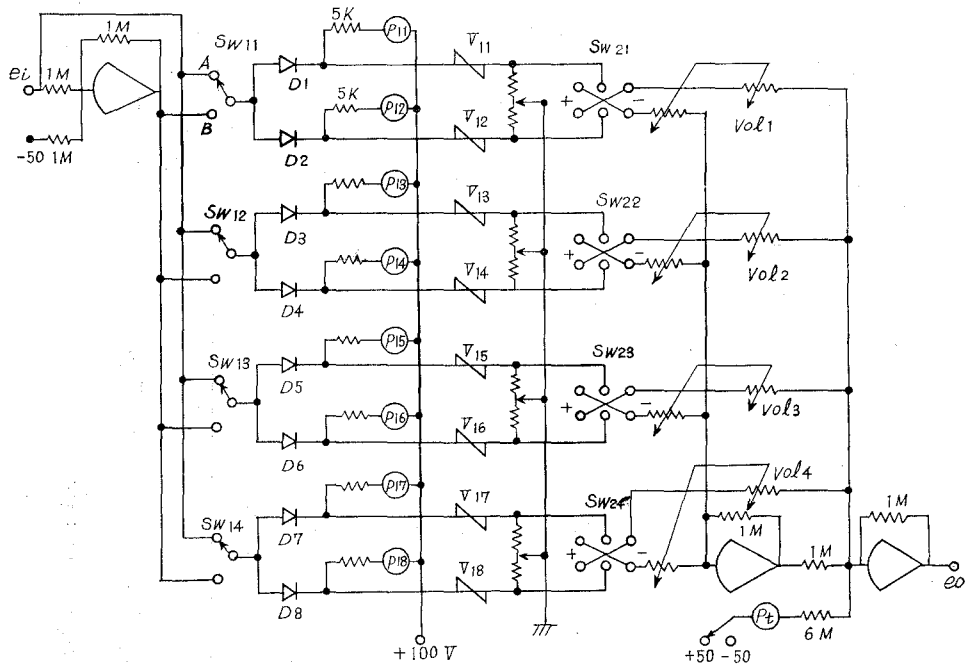


図-18 任意非線形関数発生装置回路図

8. 結 言

本装置の回路構成によれば、任意の非線形関数の発生と云う点では一応目的は達せられるわけであるが、実用化の点では問題が残る。先ず区間幅設定のリミッタ回路に直流増幅器を使用している点である。これは関数設定をわずらわしくしており、また経済的にも問題がある。今後、図-18 の様な直流増幅器の少ない回路構成について、研究を進める一方バリスタの温度特性等基本的な特性についても究明して行きたい。

最後に本実験のためにご協力された阪本紘一君，バリスター製作に御尽力下された大泉製作所及び文献資料をご提供下された石塚電子 K.K. の方々に深く感謝の意を表します。

(昭和40年4月30日受理)

文 献

- 1) L. D. Kovach and W. Comley: I. R. E. TEC, June (1958).
- 2) 平紗・中村: エレクトロニクス, 6, p. 665 (1960).
- 3) L. D. Kovach and W. Comley: I. R. E. TEC, June (1954).