

科学技術庁監修 ■ 科学技術展望

1967

# 電子科学

# 6

昭和42年6月1日発行(毎月1回1日発行)第17巻第6号昭和29年1月23日第3種郵便物認可 昭和34年2月2日国鉄東局特別扱承認雑誌第435号

VOL.17 / NO.6

全頁特集

## シリコン・トランジスタの使い方

—1967年国産トランジスタ規格一覧付き—

発行 株式会社 産報

### リ研

## 新製品

### デジタル電圧 / 周波計

### TR-6154B



〈写真ニュース裏面説明参照〉

# TV偏向用 シリコン・トランジスタの使い方

鈴木 忠彦

トランジスタテレビが4インチ～6インチの小形テレビとして市場に現われてから数年を経過する。この間トランジスタ製造技術の進歩により、高耐圧、大電流のシリコン・トランジスタの入手が容易になり、7インチ～12インチはもちろん、19インチあるいはそれ以上の大形トランジスタテレビも市場に現われている。

本稿では、テレビ偏向回路の中で特に水平・垂直出力用シリコン・トランジスタについて選び方、使用する場合作の注意など実際の回路を例にあげ、ゲルマニウム・トランジスタと対比しながら話を進めていく。

## 1. 水平偏向出力回路の基本動作

図1に示す回路において水平偏向コイル  $L_H$  には、図2(a)に示すようなノコギリ波電流を流す必要がある。水平出力トランジスタ  $X_H$  をスイッチと考え、このスイッチを閉じると(トランジスタを飽和状態とする)  $L_H$  には時間とともに直線的に増加する電流  $i = V_{CC}/L_H \cdot t$  が流れる。  $t = t_2$  でスイッチを開く(トランジスタを遮断状態とする)と、共振コンデンサ  $C_R$  と  $L_H$  で定まる周波数で共振を始めるが1/2サイクル後には電流の極性が逆転し、  $t = t_3$  で負の最大値に達する。するとダンパ・ダイオードDが導通状態となり電流は直線的に増加し、  $t = t_4$  で  $t_1$  の状態に戻り、1サイクルを完了する。

帰線時間  $t_R$  に水平出力トランジスタのコレクタに加わるピーク電圧  $v_{cp}$  は次式で示される。

$$v_{cp} = V_{CC} \cdot \left\{ \frac{\pi}{2} \left( \frac{t_H}{t_R} - 1 \right) + 1 \right\} \dots \dots \dots (1)$$

一般のトランジスタテレビ受像機では  $t_R$  を  $t_H$  の16

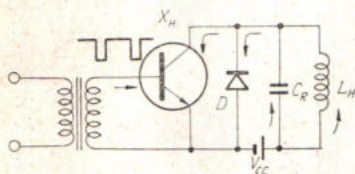


図1 トランジスタ水平偏向基本回路

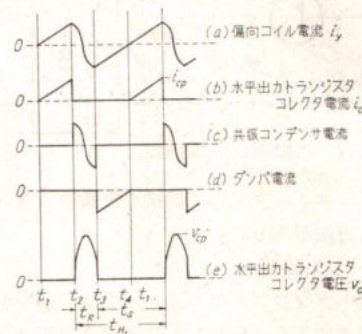


図2 水平偏向出力基本回路の動作波形

～22%に決定するから、  $v_{cp}$  は電源電圧  $V_{CC}$  の9.5倍～6.5倍となる。

水平偏向に必要な電力指数として、一般に  $P_H = L_H \cdot i_{cp}^2$  ( $\text{mH} \cdot \text{A}^2$ ) が使われる。これは使用するブラウン管のネック径・偏向角・アノード電圧などにより決定される。

$P_H$  が与えられると水平出力トランジスタのコレクタピーク電流  $i_{cp}$  は次式で与えられる。

$$i_{cp} = \frac{1}{2} \cdot \frac{P_H}{V_{CC} \cdot t_s} \dots \dots \dots (2)$$

## 2. トランジスタの特性と水平出力回路の動作

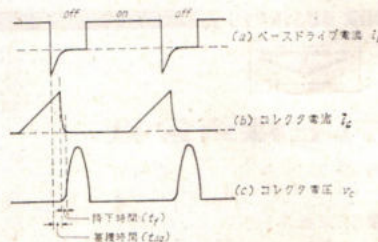


図3 水平偏向出力回路におけるトランジスタのスイッチング特性

トランジスタを水平偏向出力回路のようなスイッチング回路に使用する場合、(1)、(2)式で求められるコレクタピーク電流・電圧に十分耐えることはもちろんであるが、動作時に現われるトランジスタ特有の特性を考慮する必要がある。

## (1) スイッチング特性

コレクタ電流遮断時の動作波形は、図3に示すようにベース領域での少数担体蓄積効果のため生ずる蓄積時間  $t_{sg}$  および降下時間  $t_f$  を経て零になる。 $t_{sg}$  は時間的に位相遅れを生ずる。 $t_f$  にはコレクタ電圧が上昇するため、瞬時的に大きな損失を発生する。

(2) C-E 間飽和電圧:  $V_{CE(sat)}$ 

これはトランジスタの素材の固有抵抗、トランジスタの製法などにより決定され、 $V_{CE(sat)}$  が大きいと損失が増大するとともに偏向電流のヒズミの一因となり、受像画面上では左伸び右縮みの現象となって現われる。偏向ヒズミは、ほぼ次式で求められる。

$$d = \frac{1}{2} \cdot t_s \cdot \frac{V_{CE(sat)} + V_R}{V_{CC}} = \cdot t_s \cdot \frac{R}{L_H} \dots (3)$$

ただし  $V_R$ ...トランジスタ以外の回路抵抗による電圧降下の総和。

$R \cdot L_H$  の直流抵抗、トランジスタ・ダンパの内部抵抗、その他回路抵抗の総和。

## (3) 耐電圧特性

トランジスタの C-E 間耐圧は、そのトランジスタ固有の特性と回路条件により決定される。

- |              |            |           |
|--------------|------------|-----------|
| ① $BV_{CBO}$ | エミッタ開放     | C-B 間降伏電圧 |
| ② $BV_{CEX}$ | E-B 間逆バイアス | C-E 間降伏電圧 |
| ③ $BV_{CES}$ | E-B 間短絡    | C-E 間降伏電圧 |
| ④ $BV_{CER}$ | E-B 間抵抗接続  | C-E 間降伏電圧 |
| ⑤ $BV_{CEO}$ | ベース開放      | C-E 間降伏電圧 |

図4に示すように一般のトランジスタの各降伏電圧の大小関係は、 $BV_{CBO} > BV_{CEX} > BV_{CES} > BV_{CER} > BV_{CEO}$  となる。水平偏向出力トランジスタは、帰線時間に発生するコレクタピーク電圧に耐えるために、耐電圧の高い  $BV_{CEX}$  動作をするようにベースがドライブされている。

さらに降伏現象が進行すると、高電流領域で非常に低インピーダンスを呈する2次降伏に突入し、多くの場合トランジスタは破壊する。B-E 間が逆バイアス状態である  $BV_{CEX}$  は2次降伏に非常に突入しやすい。

2次降伏に突入する電流値の大小関係は

$$BV_{CER} > BV_{CES} > BV_{CEX} \text{ である。}$$

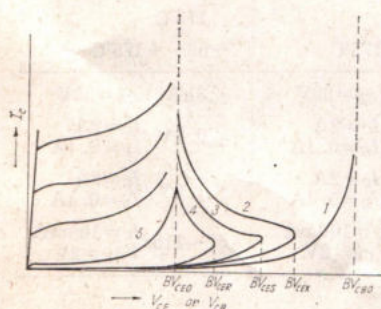


図4 トランジスタの1次降伏特性

トランジスタの安全動作領域 ASO は、直流的動作の場合には最大コレクタ損失、最大コレクタ電圧・電流により決定されるが、水平偏向出力回路のようなパルス動作の場合には2次降伏特性が非常に重要な意味を持つ。

## 3. 水平出力用トランジスタの選び方

水平偏向出力用トランジスタを決定する際に、シリコン・トランジスタ、ゲルマニウム・トランジスタを問わず、下記の特性が要求される。

- (1)  $BV_{CBO}$  および最大コレクタ許容電流が大きいこと。
- (2) スイッチング特性が良好であること
- (3)  $V_{CE(sat)}/V_{CC}$  が小さいこと
- (4) 許容コレクタ損失が大きいこと
- (5) 安全動作領域 ASO が広いこと
- (6)  $I_{CBO}$  が小さいこと

シリコン・トランジスタとゲルマニウム・トランジスタを比較すると、素材のエネルギーギャップの差 (Si 1.1eV, Ge 0.7eV) に起因して、シリコン・トランジスタの方が原理的に ①接合部の降伏電圧が高い、③接合部の許容される温度  $T_j$  が高い、⑤飽和電流が小さいなどの特長を示す。

水平出力用トランジスタに要求される特性の中で(1)(4)(5)(6)の各項は、シリコン・トランジスタの方が有利であるといえる。しかし、 $V_{CE(sat)}$  が高い、 $\beta$ 特性が悪い、一定のベース電流を流すのに必要なB-E間順方向電圧が高いなどの特性は、水平偏向出力回路を設計する際に十分考慮する必要がある。

## 4. 水平偏向回路設計上注意すべき事項

シリコン・トランジスタを使用して水平偏向回路を設計する場合の注意事項について、図5に示す『12インチトランジスタテレビ水平偏向回路』を例にとり、話を進めていく。この回路ではシリコン・トランジスタを、水平ドライブ (2SC291)、水平出力 (2SC41×2) に使用している。使用トランジスタの特性を表1に示す。

水平偏向出力回路用として、使用すべきトランジスタが与えられた場合には、(1)(2)式から  $i_{cP} \propto 1/V_{CC}$ 、 $v_{cP} \propto V_{CC}$  であることを考慮し、トランジスタがもっとも適正な動作を行なう電源電圧  $V_{CC}$  を決定する必要がある。

また  $V_{CC}$  が与えられた場合には(1)(2)式から求められる  $v_{cP}$ 、 $i_{cP}$  に十分耐え得るトランジスタを選ばなければならない。

シリコン・トランジスタはゲルマニウム・トランジスタよりも高耐圧のものが得やすいから、トランジスタの



$-I_C$  特性が直線的)な場合には重要な意味を持つが、シリコン・トランジスタのように $-I_C$ 特性が悪い( $V_{CE}$ が低くなると $V_{CE}-I_C$ 特性が曲ってしまう)と、 $h_{FE}$ は水平出力トランジスタを飽和させるのに必要なベース電流を決定する時の的確な目安とはなり得ない。

図5の回路例では、水平出力トランジスタが定格状態で十分に飽和し、電源電圧の変動、周囲温度の変化、水平発振周波数が変化した場合でも、ドライブ不足による破壊に至らないように

$$\frac{\text{コレクタピーク電流 } i_{cP}}{\text{ベースドライブ電流 } i_b} = \frac{4A_p}{0.6A_p} \approx 7$$

と決定している。

一方、ベース電流が多すぎると、トランジスタのスイッチング特性が悪くなり損失が増大するから、必要最小限にとどめるべきである。

ゲルマニウム・トランジスタを使用する場合には、ベースドライブ電流を流すのに必要な B-E 間順方向電圧  $V_{BE}=0.5V$  程度ですむが、シリコン・トランジスタの場合には  $V_{BE}=1V$  程度を必要とする。

図5の回路例の場合に、これだけの B-E 間電圧  $V_{BE}$  を得るために、約 5:1 のデューテールシオの水平ドライブパルスでドライブしている。そのため  $5V_p$  程度の逆パルスが B-E 間逆電圧として印加される。2SC41 は、この逆電圧に十分耐え得るだけの特性を有している。回路的には、この B-E 間逆パルス電圧により、トランジスタ遮断時に B-E 間に逆電流を流し、スイッチング特性を向上させるとともに、トランジスタを耐電圧の高い  $V_{CEX}$  動作状態にしている。

この際注意すべきことは、B-E 間逆パルス電圧のパルス幅が、帰線時間  $t_R$  より狭くなると、コレクタパルス電圧の発生している帰線時間  $t_R$  中に水平出力トランジスタが導通状態となり、トランジスタ内部損失が増大するから、このようなことは避けなければならない。

図5の回路例のように、許容電流容量を大きくするためにトランジスタを2本並列接続し、水平出力回路を構成する場合、特性のアンバランスによりコレクタ電流の配分が不均等になるのを防ぐためには、回路図に示すように、バランストランスを挿入することで解決できる。

(2) 水平ドライブ段……水平ドライブ回路のトランジスタは、水平出力回路と同じくスイッチング素子として動作する。動作の極性は出力回路が on の時ドライブ回路も on となる同極の場合と、出力回路が on の時ドライブ回路は off となる逆極の場合とがある。図5の回路例では、能率の良い逆極性ドライブを採用している。

すなわち、水平出力トランジスタのベース電流は、水平ドライブ・トランジスタが on の時ドライブトランス

に蓄えられたエネルギーにより供給される。

ドライブトランスの巻数比は次式より求まる。

$$n = \frac{V_{CC}}{v_{b2}} \dots\dots\dots(4)$$

ただし、 $v_{b2}$  は水平出力トランジスタ B-E 間逆電圧、またドライブ・トランジスタのコレクタピーク電流は、ベース逆電流  $i_{b2}$  を十分小さいとすると、次式より求まる。

$$i'_{cP} \approx \frac{i_{b1}}{n} \dots\dots\dots(5)$$

ただし、 $i_{b1}$  は水平出力トランジスタベース電流コレクタピーク電圧は、次式より求まる。

$$v'_{cP} = V_{CC} + n \cdot v_{b2} \dots\dots\dots(6)$$

スイッチング特性が良好で(5)、(6)式より求まる電流、電圧に十分耐え、適当なコレクタ許容損失があればドライブ・トランジスタとして使用できる。一般には中電力用シリコン・トランジスタが使用される。

実際の回路ではドライブトランスのインダクタンス  $L_2$  と、水平出力トランジスタの入力抵抗  $r_b'$  の比  $L_2/r_b'$  が十分大きくとれないため(特にシリコン・トランジスタの場合は不利である)、水平出力トランジスタのベース電流は指数関数的に減少し、コレクタ電流が最大の時ベース電流は最小になってしまう。このためドライブ・トランジスタの  $i_{cP}'$  は(5)式で求まる値よりも、相当多く流す必要がある。

ドライブ回路で過渡的に発生するパルス電圧を吸収し、ドライブパルス幅を適当にするために、ドライブトランスと並列に共振コンデンサを挿入している。また、この回路のようにドライブ・トランジスタのエミッタに抵抗を挿入する場合、トランジスタは完全な飽和状態とならず、相当大きな内部損失を生ずるから、放熱には十分に注意する必要がある。

(3) 水平出力トランジスタの破壊について……接合部の耐電圧および許容温度がゲルマニウム・トランジスタに比べ高いため、シリコン・トランジスタの方が破壊

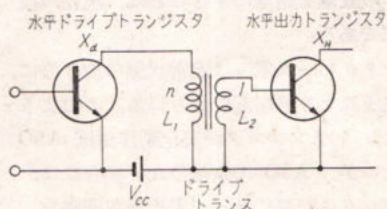


図6 水平ドライブ段基本回路

に対しては有利である。しかし、トランジスタを劣化や破壊させることなしに働かせられる安全動作領域は、トランジスタの製法、回路条件により大幅に変わるから、シリコン・トランジスタを使用する場合でも、十分なる

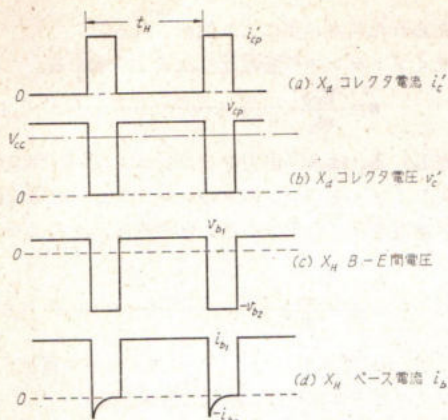


図7 水平ドライブ基本動作波形

注意が必要である。

水平出力トランジスタの破壊の主要原因として、次に示す3項目が考えられる。

①回路設計が不適当の場合……水平出力トランジスタのドライブ条件が不適当なため、ドライブ不足やスイッチング不良を起すと損失が増大し、熱破壊にまで至る場合がある。いままで述べてきた各注意事項を守ることにより避けることができる。

②トランジスタの特性不十分の場合……水平出力用トランジスタとしての要求特性を満足しない場合には、当然熱破壊、電圧破壊を起すことが予想される。

逆耐電圧  $BV_{CBO}$  に十分な余裕のないトランジスタを使用しなければならない場合には、フライバックパルスが逆耐電圧を起さないように、電源電圧を安定化したり、サージ電圧を吸収する回路などを採用して、トランジスタを保護する必要がある。また、最大電流に十分な余裕がない場合には、2本並列接続とすることにより、大幅に回路の信頼性を向上させることができる。

③高圧回路の放電による破壊……放電には、a) ブラウン管内部放電、b) 高圧整流管内部放電、c) フライバックトランスその他高電圧部の絶縁破壊などがある。この中でa)、b)の放電を絶無にすることは、現在の技術レベルでは困難である。

放電時にはコレクタピーク電流は定常状態の約3倍に、コレクタピーク電圧は1.5倍程度になり得る。このような異常な場合でも、トランジスタが安全動作領域ASO内にあれば問題ないが、ASOに余裕のない場合には、水平出力回路のコレクタ回路にサージ電圧吸収回路を、電源には電流制限回路などの保護回路を挿入してトランジスタを保護する必要がある。

## 5. 垂直偏向出力回路の基本動作

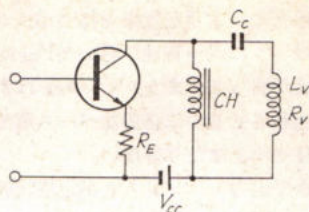


図8 トランジスタ垂直偏向基本回路

図8のトランジスタ垂直偏向出力回路で、垂直偏向コイルにノコギリ波電流を流すには、ベースに前段よりノコギリ波電圧を加え、A級増幅を行なって実現している。垂直コイルはインダクタンス  $L_V$  と、抵抗  $R_V$  の直列回路と考えられ、普通  $R_V$  = 数  $10\Omega$ 、 $L_V$  = 数  $10\text{mH}$  のものが使用されている。従って垂直偏向コイルは、走査時には、ほぼ純抵抗とみなせるが、帰線時にはインダクタンス  $L_V$  のため、パルス電圧を発生する。

垂直偏向に必要な電力指数としては、一般に  $P_V = R_V i_{pp}^2$  ( $\Omega \cdot A_{p-p}^2$ ) が使われる。これは水平の場合と同様に、ブラウン管の偏向角、ネック径、アノード電圧などにより決定される。

いま、垂直偏向コイルの  $R_V$ 、 $L_V$  および  $P_V$  が与えられると、偏向コイルに流すべき電流  $i_{p-p}$  が求まる。

$$i_{pp} = \left( \frac{P_V}{R_V} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (7)$$

また、コレクタに発生するパルス電圧のピーク値は、

$$v_{cp} = i_{p-p} \left( \frac{L_V}{t_R} - \frac{L_V}{t_s} + \frac{R_V}{2} \right) + V_{CC} \dots\dots\dots (8)$$

となる。

## 6. 垂直出力用トランジスタの選び方

走査時間  $t_s$  にはA級動作を行ない、帰線時にはパルス電圧の発生する垂直出力回路に使用するトランジスタには、ゲルマニウム、シリコンを問わず、下記各特性が要求される。

- (1) 低電流および大電流での  $h_{FE}$  がともに大きいこと。また  $h_{FE}$  の電流特性が良好であること。
- (2)  $\beta$  特性が良好であること。また出力抵抗が大きいこと。
- (3)  $BV_{CBO(sus)}$  が高いこと。
- (4) 許容コレクタ損失が大きいこと。
- (5)  $I_{CBO}$  が小さいこと。
- (6) 安全動作領域 ASO が広いこと。

一般的にいうと、シリコン・トランジスタは(3)~(6)がゲルマニウム・トランジスタよりもすぐれているが、(1)、(2)については劣る。シリコン・トランジスタでエピタキシャルなど製法上の工夫により(1)、(2)の特性を改善しようとする(6)に対して不利になり、破壊

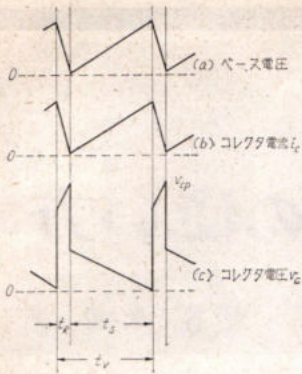


図9 垂直偏向出力基本回路の動作波形

しやすいトランジスタができてしまう場合がある。

従って垂直出力用シリコン・トランジスタを選ぶにあたっては、各要求特性を十分吟味し、決定しなければならない。

## 7. 垂直出力回路設計上注意すべき事項

シリコン・トランジスタを採用し垂直偏向出力回路を設計する際、特にトランジスタの特性に起因する注意事項につき、図10『12インチ・トランジスタテレビ垂直偏向回路』を例にとって説明する。

例にあげた回路では垂直出力にシリコン・トランジスタ 2SC299 を採用し、垂直偏向コイルに  $360\text{mA}_{p-p}$  のノコギリ波電流を供給している。トランジスタの動作状態はコレクタ電流  $400\text{mA}_{p-p}$  コレクタピーク電圧  $V_{CP} = 70\text{V}_P$ 、コレクタ損失  $2.4\text{W}$  となっている。

このように垂直偏向回路はA級動作のために能率が悪く、相当大きなコレクタ損失を生ずるから、放熱には十分注意して、シリコン・トランジスタを使用しても、接合部温度が極力低くなるようにして、信頼性の向上を図りたい。

トランジスタ増幅回路におけるバイアスの安定化は非常に重要である。バイアスを不安定にさせる要因は  $I_{CBO}$  および  $V_{BE}$  の温度依存性である。 $V_{BE}$  の温度特性はゲルマニウム、シリコンともに変わらず、 $-2.2\text{mV}/^\circ\text{C}$  と考えてよいが、 $I_{CBO}$  はゲルマニウムよりシリコンの方が2~3桁少なく、温度的に非常に安定である。シリコン・トランジスタでのバイアスの安定化は、 $I_{CBO}$  に対するよりもむしろ  $V_{BE}$  の温度特性に対する補正の意味が強い。

実際の回路では垂直出力トランジスタのエミッタに低抵抗を挿入し、安定度係数Sの向上を図るとともに、ベース・バイアス回路にサーミスタを挿入し、温度補正を行なう方法が使われている。

一般にシリコン・トランジスタでは、コレクタ電流が

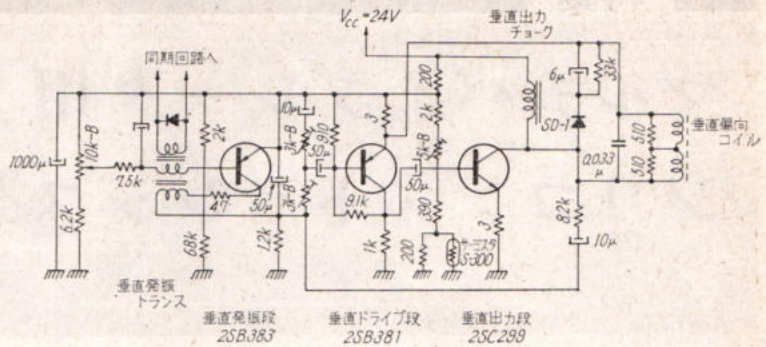


図10 12インチ・トランジスタテレビ垂直偏向回路

大きくなると、 $\beta$ 特性が悪くなる。すなわち低い  $V_{CE}$  で  $V_{CE}-I_C$  特性が曲る（出力抵抗が小さくなる）。従って、偏向電流の直線性を考慮し、あまり低い  $V_{CE}$  まで利用することができず、電圧の利用率はゲルマニウム・トランジスタに比べ悪くなる。エピタキシャル・シリコン・トランジスタを使用すれば、この問題は解決される。

水平偏向出力トランジスタの高耐圧化に伴い、垂直偏向出力用トランジスタとしても、高耐圧化の要求が強い。図10の回路でも、 $70\text{V}_P$  のコレクタパルス電圧が発生し、垂直発振周波数が低い方にずれたり、電源電圧の上昇があるとさらにこの電圧値は上昇するので、耐圧的に相当余裕のある 2SC299 を使用している。

垂直偏向出力回路のトランジスタを  $BV_{CEX}$  動作させると、耐圧は高くとれるが、2次降伏に突入しやすくなり、トランジスタの劣化、破壊の危険があるので、できるだけ  $BV_{CEO}$  動作に近い動作状態とし、パルス電圧が耐圧を越さぬように、保護回路を挿入する必要がある。

図10の回路では、ダイオード SD-1 および  $C=6\mu\text{F}$ 、 $R=33\text{k}\Omega$  より構成されるパルスクリップ回路を挿入し、トランジスタを保護している。

「電子科学」既刊特集号案内

### <特集>シリコン・トランジスタを使った 直流増幅回路の設計

1966年9月号、¥250

工業用直流増幅回路/オンシロ用直流増幅回路/アナコン用直流増幅回路/ME用直流増幅回路/etc

### <特集>シリコン・トランジスタを使った 低周波増幅回路の設計

1966年10月号、¥250

低雑音回路/小信号増幅回路/A級シングル出力回路/B級出力回路/HiFiプリアンプ/ドライバ/etc