写真 1 全トランジスタ化同時式工業用カラーテレビ装置

大形スクリーンに映出される投写形カラーテレビの場合には、特に高解像度が要求されるが、それに対向するための全トランジスタ化同時式工業用カラーカメラ装置を試作し、600 本以上の解像度を得た。また、ガンマ補正を可変にして ND フィルタを取り除き、SN 比と色調の改善をはかった。

論文

UDC 621.397.9:621.397.132:621.382.3

全トランジスタ化同時式工業用カラーテレビジョン

松下電器産業 中央研究所 中 野 稔
志 村 達 哉
大 沢 弘 治

1. ま え が き

閉回路で使用する工業用カラーテレビには各種の方式が提案されているが、大形スクリーンに投写映出される高解像度、高性能の3色同時式カラーテレビジョン装

筆者紹介

なか の みのる
中 野 稔 昭和 26 年、東京工業大学電気工学科卒業、同年松下電器産業株式会社に入社、通信機工場にて FM 超短波無線機の研究に従事、昭和 31 年、同社中央研究所に移りカラーテレビ送受像方式に関する研究を担当、現在に至る。正会員。

し む ら た つ や
志 村 達 哉 昭和 29 年、九州大学工学部通信工学科卒業後、同教室助手、昭和 32 年、松下電器産業株式会社中央研究所に入社。以後同所において工業用テレビ、カラーテレビ受像機、テレビジョン送像機の研究を行ない、現在テレビ伝送方式の研究に従事。正会員。

お お さ わ こ う じ
大 沢 弘 治 昭和 34 年、京都大学工学部電子工学科卒業、同年、松下電器産業株式会社中央研究所に入社し、カラー TV 受像機開発研究、全 TR 式カラー I TV 開発研究に従事した。現在引き続き TV 装置の主に同期偏周系の改良研究などを行なっている。正会員。

置に関して、筆者らの試作した概要は先に若干報告したが^{1),2),3)}、その後改善したことなどを含めまとめて報告する。カメラ部および付属の各制御機器はすべてトランジスタ化することにより小形軽量で低消費電力のものとした。撮像管はビジコンを3本使用し、ズームレンズをはじめ、すべての操作をリモートコントロール式とした。

本装置は昭和 38 年度東京国際見本市に出品し、実演公開されたものである。

2. 構成、装置の概要

2.1 構成

この装置は次の3個のユニットに分かれている。(写真1参照)①カラーカメラ、②制御ラック、③カラーモニタ、また制御ラックには、同期信号発生器、プロセス増幅器、カメラ制御器、波形モニタ、映像モニタがそれぞれ独立したシャーシで組み込まれており、カラーエンコーダは、NTSC 方式受像機のために随意付属する。図1に全体の系統図を示す。

カメラ制御器では、撮像管のターゲット電圧、ビーム電流調節、集束調節、位置調整のほか、ズームレンズのズームリング、光学焦点、絞りなどの調整が遠隔制御できる。カメラの重ね合わせは、主としてカメラ側で行なうが、調整用としてカメラヘッド、カメラ制御器の間にイ

“Transistorized Simultaneous Industrial Color Television” by Minoru Nakano, Tatsuya Shimura and Koji Osawa (Matsushita Electric Industries Ltd. Central Research Laboratory, Osaka)

インターカム装置をそなえている。

2.2 装置の概要

本装置は、3原色同時式であって、大形の投写装置での映出を対象にして、特に高解像度、高性能を設計の主眼点とした。後述の投写装置では、4m×3mのスクリーンに拡大投写されるので、21形またはそれ以下の大きさの受像管に映出する場合に比べると、非常に高性能が要求され、特に解像度とレジストレーションにおいて著しい。また工業用、医学用としての用途を考慮すると、操作簡易、保守容易であることも必要であるが、そのために、カメラをできるだけコンパクトにし、ほとんどの回路にプラグインユニット方式を採用した。カラーモニタを除くカメラ系統に使用したトランジスタは約260石、ダイオードは約120石であるが、サーミスタ、バリスタを多く使って、-10°C から +45°C まで各回路とも、正常に動作することを確かめている。表1に全体の性能概要を示す。

2.2.1 カメラヘッド

カメラヘッドには、ズームレンズ、3色分解光学系、撮像管、前置増幅器のほかに、水平垂直の偏向回路、スキュー回路、低圧定電圧安定回路、集束電流安定回路などを内蔵している。トランジスタ6石の前置増幅器は帯域を10Mcまでとり、初段には特

表1 主要性能表

方式	3ピジョン同時式
走査規格	日本の標準方式
撮像管	ピジョン 7735A
レンズ	$f=25\sim100\text{mm}$ $F:1.8$ リモートコントロールズーム
信号出力	各原色信号 1V _{p-p} 映像正、または NTSC 複合信号
映像特性	
(1)帯域特性	前置増幅器: 10Mc -2dB プロセス増幅器: 10Mc -2dB
(2)アパーチャ補償	ブースト周波数 4.5Mc 0~14dB 可変
(3)ガンマ補正	ガンマ 1~2 の間で可変
(4)シェーディング補正	水平、垂直のきよ歯状波または、パラボラ、最大 50%
解像度	600本 (600本の方形波レスポンス 25%)
SN比	34dB ただし、被写体照度 5000 Lux
寸法 (mm)	カメラヘッド: 250(高)×370(幅)×800(全長) 制御ラック: 1650(高)×550(幅)×520(奥行)
重量	カメラヘッド: 25kg カメラ: 120W プロセス増幅器: 6W 波形モニタ: 10W 映像モニタ: 50W 同期発生器: 9W
消費電力	

に選別した 2SA 242 を使って SN 比の改善をはかっている。水平偏向には、ブートストラップ回路と、2SD12 の A 級増幅を用いており、偏向ひずみは 2% 以下である。一般にカラーカメラの場合、撮像管の交換が煩雑であるが、このカメラでは、3本の撮像管およびそのアセンブリが1枚の板に取り付けられ、そのまま回転できるようにして、撮像管の交換、点検を容易ならしめている。

2.2.2 カメラ制御器

カメラ制御器にはカメラに供給する各種電源および撮像管の調節器があって、カメラヘッドとの間は 54 芯のカメラケーブル1本で接続されている。カメラヘッドの主電源 -12V は、カメラ制御器の整流回路で -18V を送り出し、カメラヘッド内に定電圧回路を設けているが、その他の電源もすべてトランジスタまたはツェナーダイオードで安定化されている。カメラ制御器にはこのほかにズームレンズの操作器、インターカムなどが付属している。

図1 カメラおよび制御ラック系統図

2.2.3 プロセス増幅器

一般に撮像管を3本使ったカラーカメラの場合、各撮像管の入射光量は、光源の色温度、3色分解系の特性などによって相当異なっている。したがってフィルムカメラでは、NDフィルタによって各撮像管の入射光量をバランスさせているが、この方法では入射光量最低のチャンネルに合わせることで、十分な光量を期待できないITVカメラでは適当でない。本装置では、NDフィルタを全然使用せず、プロセス増幅器に可変ガンマ補正回路を設けて、撮像管の入射光量の差によるガンマの差を補正しSN比と色調の改善をはかっている。またこのようにすれば、撮像管によるガンマのバラツキ、波長によるガンマの差も合わせ補正できる。プロセス増幅器ではこのほか変調シェーディング補正、アパーチャ補償のそれぞれの補正回路を有し、カメラからの3原色信号にそれぞれの補正をし、セットアップレベルを与えている。なおこの増幅器ではクランプ回路をすべてフィードバッククランプ回路として装置の安定性を高めている。

2.2.4 波形モニタ

75mmの観測用ブラウン管を使ったこの波形モニタは、3原色信号をブラウン管面上に一列に並べて監視できるとともに、NTSC複合映像信号の水平または垂直の同期部分を拡大監視することもできる。赤緑青の信号を観察するためには、図2のように2段のフリップフロップで水平または垂直の駆動パルスを逆降し、その矩形波出力の組み合わせによって、赤、緑、青のゲートパルスと帰線消去パルスを作っている。このようにすれば、垂直周期を観察する場合には、ブラウン管の水平走査は15

図2 波形モニタ映像切換パルス発生

図3 前置増幅器

c/s となるが、フリッカーはほとんど目立たないし、複合映像信号と切り換えの場合も含めて、回路が簡略化し安定でもある。

2.2.5 映像モニタ

カラーカメラの重ね合わせを行なうため、映像モニタの画面サイズは大きい方が望ましいが、水平偏向トランジスタの定格、他の機器とともに制御ラックに取り付けることなど考慮して、ここでは12形CRTを使用した。3原色重ね合わせのためには、プッシュボタンスイッチにより、3原色を選別あるいは2色信号または全体を混合して監視することができる。また、同期分離回路をもって、他の複合映像信号を監視することも可能である。画面走査は、正常とアンダスキャンがプッシュボタンで切り換えられ、調整に便ならしめている。

2.2.6 同期信号発生器

この同期信号発生器の出力は、すべて日本の標準方式に準じたもので、回路構成に関しては、NHK技研で開発されたものを参考にさせていただいた⁴⁾。出力パルスとしては、水平・垂直の駆動パルス、帰線消去パルス、複合同期パルスの他に、格子縞信号も得られる。主発振として、31.5 Kcの水晶発振器を使用するが、NTSCカラーエンコーダを使用する場合には外部同期も可能である。

3. 映像回路

3.1 カメラ前置増幅器

前置増幅器は図3に示すように合金接合形トランジスタ6石で構成される。最初の3段は多段帰還回路であって、利得と周波数特性の変動をおさえ、あわせてSN比の改善を行なっている。

発振を起こすことなく、できるだけ大きな帰還を行なうために、入力側へ戻す帰還通路を二つに分けた。まず、発振を起こしやすい高周波域を、位相がまだ180°まで

廻り切らない2段目のエミッタから小さなコンデンサ C_f を通して帰還し、低周波域はさらに増幅した後、 T_2 のコレクタから $68\text{ K}\Omega$ の抵抗を通し約 20 dB の帰還を行なっている。

ビジコンカメラのターゲット負荷は SN 比の関係から数十 $\text{K}\Omega$ から数百 $\text{K}\Omega$ という非常に大きな値であるため、ちょっとした配線の引回しによる浮遊容量によっても前置増幅器の周波数特性は大きく変わる。しかし、 C_f によって高周波域での帰還がかなりかかっているため、本増幅器は入力回路の浮遊容量を 10 pF ぐらい変えても、ほとんど周波数特性に変化なく、互換性の上で有利な条件となっている。

ビジコンは非常に SN 比のよい撮像管であって、カメラ出力映像信号の走査期間における雑音はほとんど前置増幅器、特に初段トランジスタの内部で発生するものである。トランジスタ雑音そのものは、コレクタ電流およびコレクタ電圧が小さいほど減少するが、 β や f_T も同時に減少するので、初段トランジスタには雑音の点からみた最適点がある。

図4、図5は、2SA242を初段に使用した場合の直流バイアスと増幅器の SN 比の関係を測定したもので、これから $V_{CE} = -6\text{ V}$ 、 $I_C = -120\text{ }\mu\text{A}$ を最適バイアス点と決定した。なお、測定の際常に周波数特性を監視して、 10 Mc で -2 dB の特性を保つように留意した。図は $V_{CE} = -6\text{ V}$ 、 $I_C = -120\text{ }\mu\text{A}$ を $S/N = 0\text{ dB}$ と規格化してある。

3.2 アパーチャ補償回路^{5),6)}

撮像管の走査ビームが、画素の大きさに比べて十分細く集束されないために生ずる映像出力信号の高周波特性の劣化を補償するには、信号を位相ひずみなく高周波域

図4 前置増幅器初段トランジスタ (2SA242) のエミッタ電流と SN 比の関係 ($V_{CE} = -6\text{ V}$)

図5 前置増幅器初段トランジスタ (2SA242) の V_{CE} と SN 比の関係 ($I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$)

図6 開口補償増幅器

をブーストする必要がある。そのために通常伝送線路の特性を利用した回路が用いられるが、低周波域での利得を変えずにブースト量を可変にするために、コレクタ回路に2連可変抵抗器を使用したものが多い。本機では可変抵抗器が1個ですむこと、可変抵抗器を挿入する点のインピーダンスが低いことから、図6に示す回路構成とした。回路の入出力特性は、入出力電圧をそれぞれ e_i 、 e_o として次式のようになる。

$$\frac{e_o}{e_i} = -\varepsilon \cdot j\omega \tau \cdot \frac{R_o}{R_e} \left\{ 1 + \frac{R_e}{R_x + R'} (1 - \cos \omega \tau) \right\} \quad (1)$$

すなわち

$$\text{電圧利得} = -R_o/R_e \quad (2)$$

$$\text{アパーチャ補償量} = 1 + \frac{2R_e}{R_x + R'} \text{ 倍} \quad (3)$$

$$\text{ブースト周波数 } f_B = 1/2\tau \quad (4)$$

なお、 τ は伝送線路の遅延時間である。

前置増幅器の周波数特性が平坦で SN 比が良好であれば、ブースト周波数 f_B を与えた時、最も見やすいブースト量が決まる。EIA解像度チャートを撮像して、 10 Mc 以上平坦な特性をもつ14形白黒モニタで受像して遅延線を取り替え、数名の技術者の観察によって、与えられた f_B に対する最適ブースト量を決定した。この結果を図7に示す。

図8の曲線上に図7の最適補償点を打ち、これらを曲線(図8上の点線)で結ぶことによって、雑音をも考慮に入れたアパーチャ補償の設計が行なえる。すなわち、要求される最終 SN 比と補償回路の入力信号の SN 比から許容されるアパーチャ補償回路での SN 比低下を求め、図8を横にたどって行った最適補償曲線上の点の f_B とブースト量が求めるものである。

本装置ではアパーチャ補償回路で許容された SN 比の低下は 6 dB であったので、 $f_B = 4.5\text{ Mc}$ で約 9 dB の補償を行なっているが、さらに感度のよいビジコンが得られ、また、雑音の少ない前置増

図 7 SN 比が良好な場合の最適ブースト量

幅器初段用トランジスタが得られる場合には、図 8 の最適補償曲線にそって f_B とブースト量を高めることができる。

3.3 ガンマ補正⁷⁾

本機は映像出力信号のガンマを 1 に規定しているので、ビジコン管の白づまり的ガンマ特性 ($\gamma=0.5\sim0.8$) を補正するには、白伸張的な補正が必要である。また白黒調整を確実にするためにガンマ補正回路は可変でありたい。簡単に行なうにはリモートカットオフ真空管や半導体非直線素子のバイアスををえるが、ガンマの変化と同時に映像出力振幅が変化して調整に不便をきたす。

以上の要求を満足させる本機のガンマ補正回路は図 9 のブロック線図の構成になっている。入力映像信号は黒レベルをクランプした後、直線増幅器と自乗増幅器に入る。両増幅器の出力を白ピーク値で等しくしておき、両出力電圧をポテンショメーターで適当な比に分割して取

図 8 開口補正による SN 比の低下

り出すことにより、 $1\leq\gamma\leq2$ の範囲内の任意の値でガンマ補正された映像出力を得ることができる。この場合、白ピーク値でポテンショメーター両端の電圧は等しいから、ポテンショメーターの摺動接点での電圧は摺動接点がどの位置にこようと一定であり、このことはガンマの値を変化させても出力振幅が変化しないことを意味している。

もちろんこの増幅器で得られるガンマ特性は、正確な指数関数曲線ではなく、あくまで近似であるが、その近似は実用上十分の精度を有することを確かめた⁷⁾。

自乗増幅回路は、エミッタとアースの間に自乗 V—I 特性を有するゲルマニウムダイオードを順方向に入れることにより実現した。

3.4 フィードバック・クランプ回路⁸⁾

トランジスタを直流増幅部に使用したクランプ回路は、パラメータや I_{co} の温度依存性のために不安定であるため、本機ではフィードバック・クランプを採用して直流レベルの安定化をはかった。

一般にフィードバック・クランプは、クランプされた映像信号出力のクランプ点における直流電位を、標準電位と比較してその差電圧に応じたパルス電圧に変換し、増幅してクランプレベルに負帰還するが、この検出部 (D-A 変換部) にもトランジスタを使用することから、この部分の温度特性が問題となる。

図 10 にわれわれが開発した検出器を示す。 V_1 を映像信号の消去期間における直流電位、 V_2 を基準直流電位とする。キーイングパルスはクランプパルスより若干幅の広いパルスで、この期間 T_3 を導通せしめ、回路は差動増幅器として働く。

T_1 , T_2 のパルス出力電流は、 T_3 出力電流を I として

$$I_{c1} \doteq I_{e1} = -I_{e01}^a \cdot \exp[q(V_1 - V_0)/KT] \quad (5)$$

$$I_{c2} \doteq I_{e2} = -I_{e02}^a \cdot \exp[q(V_2 - V_0)/KT] \quad (6)$$

$$I = I_{e1} + I_{e2} \quad (7)$$

T_1 , T_2 両コレクタ出力電流差 i を求めると

$$i = I_{c1} - I_{c2} = \frac{A \cdot \exp(qv/KT) - 1}{A \cdot \exp(qv/KT) + 1} \cdot I \quad (8)$$

ただし、 $v = V_1 - V_2$, $A = I_{e01}^a / I_{e02}^a$ である。 I_{e01}^a , I_{e02}^a は温度によりかなり変化するが、同種のトランジスタにつ

図 9 ガンマ補正増幅器ブロック線図

これについてはループゲインと帰還余裕を十分みておけば問題はない。

4. 受像機部

4.1 カラーモニタ

写真1に示されるカラーモニタ受像機は、17形角形シャドウマスク3色受像管を使用している。入力信号は、赤、緑、青の原色信号（ $1V_{p-p}$ ）および複合同期信号（ $-4V_{p-p}$ ）である。3色信号は三つの映像増幅回路で別々に増幅される。帯域幅は6Mcまで平坦で、4.5Mcで3dBのピークをもってカラー受像管のアパーチャ補償を行ない、解像度は約500本できわめて高品位の画質を得ている。また、プッシュボタンにより白黒像も得られるように、3色信号は入力側でマトリックスされ、その出力は前述の3映像回路に等しい電圧で加えられている。ここで、マトリックス回路で得られる輝度信号 E_Y は次式で示されるように設計されている。

$$E_Y = 0.3E_R + 0.59E_G + 0.11E_B \quad (12)$$

使用真空管数は25本で、プッシュボタンにより3原色中の任意の単色または2色の合成された画像および全色像を任意に選択できる。調整の容易さのためにコンバーゼンス、白バランス、コントラストなどの調整つまみはすべて前面に設けられている。また、NTSC信号の受像のためには、復調回路を別に設け、モニタ前面のプッシュボタンで選択できる。

本機の特長として写真2に示されるように、トランジスタ化したカラーバー発生器およびドットバー発生器を内蔵している。すなわち、複合同期入力パルスより水平帰線消去パルスを分離し、その後縁を利用して緑バーさらに赤、青バーを作って明度順のカラーバー信号を作り、ドットバー信号は縦横縞信号発振器をそれぞれ水平、垂

写真2 17形カラーモニタ背面

上部隅にカラーバーおよびドットバー発生器が組み込まれている。

図10 フィールドバック・クランプ検出回路

いては、任意の2個の I_o の比 A はほとんど一定値を示す。したがって $v=0$ の時は、正規化出力電流差 J は

$$J = \frac{i}{I} = \frac{A-1}{A+1} \quad (9)$$

となって温度に無関係である。

I_{eo}^a の測定方法等については文献9)に詳述されているが、その値からの理論値と実用回路の実測値を図11に対照させたが、両者は非常によく一致する。

実際には $A \neq 1$ の時 $J=0$ になるように $v=0$ から若干外したところにセッティングすることになるが、その値は

$$v_0 = -(KT/q) \cdot \log A \quad (10)$$

であり温度特性をもつが、理論的には $1 \leq A \leq 1.9$ に選別すれば $0^\circ \sim 40^\circ \text{C}$ において v_0 の変動を2mV以内に収めることができる。

なお、感度は図11の傾斜である。 J について計算すると

$$S = \frac{dJ}{dv} = \frac{2Aq/KT}{(1+A)^2} \quad (11)$$

となり、トランジスタのバラツキを $1 \leq A \leq 2$ とし、前述の温度変化に対する感度の変化は30%ほどであるが、

図11 直流検出器変換特性

写真 3 投写形マンモスカラータレビ
(フィリップス社製)

直同期信号でトリガーすることにより作っている。これに使用したトランジスタ数は 31 石、ダイオード数は 19 石である。

4.2 投写形マンモスカラータレビ装置

以上述べてきた工業用カラータレビ装置は、大形スクリーンを使用した投写形マンモスカラータレビにも映出するように考慮されているが、ここで使用対象となったフィリップス社製マンモスカラータレビを簡単に述べる¹⁰⁾。

スクリーン寸法は 4m×3m で、7 フートランバートの輝度を有している。5 インチの投写用陰極線管が 3 本並列に並べられ、各陰極線管は赤、緑、青の発色をするが、赤のみは黄色けい光体に赤のフィルタを使用し、他はけい光体自身が発色するため解像度はきわめて良好で、600 本以上が容易に解像でき、また色彩画像も高圧 50 kV の高安定化のためあって、シャドウマスク形に比べていちじるしくすぐれている。各陰極線管は別々の筐体に収まり光学系も別になっている。シュミット光学系が使用され、反射凹面鏡（直径 40 cm）、補正レンズ（直径 28 cm）から成っていて、そのレンズの明るさを示す実効 F 値は 0.7 である。映像回路の周波数帯域特性は、陰極線カソードの出力部において 8 Mc まで平坦、10 Mc で 3 dB 低下となっている。3 色別々にガンマ補正回路、黒部分のクランプ回路および白レベル制限回路が付加されている。高圧回路は油槽に収納され 40 Kc の発振波形を 6 倍圧整流することにより 50 kV を得る。これの安定化のために電圧電流帰還が三重に施されている。概

観を写真 3 に示す。

5. す び む

3 本のビジコンを使用した同時方式カラータレビ装置について、筆者等の試作した結果をまとめた。本機試作の前段として、プリズム式ダイクロイックミラーを使用したカメラを試作し、一部はすでに報告済みであるが¹⁾、その後本文に記載したようによりかなり改善がなされたが、部分的にはまだ十分とはいえない点がある。その一つに大形スクリーンに投写した場合、周辺部の解像度不足およびフレアーが若干あり、これはカメラに使用されたレンズ系に欠かんがあることがわかっている。また、レンズ系での光量の損失も大きく、そのために被写体照度もかなり必要である。また、ビジコンを使用しているため残像があり、速く動く物体の撮像には適していないなどの問題がある。しかし、これに関しては最近フィリップス社で開発された新しい撮像管プランビコンがあり、今後はこれを使用した高感度、低残像による画像品位の改善を研究したいと思っている。

また、本文には記載されなかったが、全トランジスタ化されたカラーエンコーダーに関しては別途報告する予定である。

終わりに、本研究の機会を与えられるとともに種々のご助言を得た当所電気部安岡真衛部長に感謝します。また本研究に協力された斉藤照雄、平井義雄君をはじめ多くの人に感謝する次第です。（昭和 38 年 11 月 9 日受付）

〔参考文献〕

- 1) 中野, 志村, 大沢ほか: 工業用カラータレビ装置, 電気四学会連合大会 (昭 37) No. 1302.
- 2) 中野, 志村, 斉藤ほか: トランジスタ化工業用カラータレビ装置 (第Ⅱ報), 信学会全国大会 (昭 37) No. 605.
- 3) 中野, 志村, 斉藤: 同時方式工業用カラータレビ装置 (第Ⅲ報), 電気四学会連合大会 (昭 38) No. 1865.
- 4) 三井: トランジスタ化した同期信号発生器, 放送技術, 12 (昭 34) 100—105.
- 5) R. C. Dennison: Aperture Compensation for Television Cameras, RCA Rev., Dec. (1953) 569—585.
- 6) 大沢, 志村, 中野: ビジコンカメラの開口補償, 電気四学会連合大会 (昭 37) No. 1295.
- 7) 大沢, 志村: 可変ガンマ補正の一方法, 電気四学会関西支部連合大会 (昭 37) No. 18—3.
- 8) 大沢, 志村: フィードバック・クランプの検出回路, 電気四学会連合大会 (昭 38) No. 1846.
- 9) 渡辺昭典: 合金接合トランジスタの直流大域動作, 信学誌 (昭 37—6 月) 14—22.
- 10) 中野: 大形投写式カラータレビ装置, テレビ学会色彩研究資料, No. 3—2 (昭 36).