

クロスカラー除去、高解像度カラー再生方式

NHK 総合技術研究所 藤 尾 孝

カラーテレビジョンでは視覚のフレーム周期に対する時間積分効果や走査線間の面積積分効果が充分でないため、画面上にあらわれる点状の輝度妨害や、輝度信号の高域成分によるクロスカラー妨害が目立ち、これがカラー再生画像に妨害を与える。本文では、カラーテレビ信号の復調プロセスでカラー信号のライン相関を利用して輝度信号、色信号を分離し、相互干渉のない高画質のカラー画像を再生する方式とその検討、試験結果について報告する。なお、新しく開発した NTSC 搬送色信号用の遅延線を用いて試験し、クロスカラー妨害を約 20 dB、そして搬送色信号による点状輝度妨害を除去した状態で水平解像度 400 本相当の高画質のカラー画像を再生した。

1. ま え が き

カラー信号は、搬送色信号を周波数インターリーピングの原理にしたがって輝度信号に内挿多重している。このため、眼の積分効果が充分大きいとき、輝度信号に対しては搬送色信号が、色信号に対しては輝度の高域成分による影響が、画面上で互いに打消されるような性質のものになっている。しかし、視覚はフレーム周期に対する時間積分効果や、走査線間の面積積分効果が充分でないため、搬送色信号を輝度チャンネルに多重していることによる影響が再生カラー画面上にあらわれる。

そのひとつは、搬送色信号によって生ずる輝度ひずみや輝度変化となってあらわれるドット妨害であり、いまひとつは、輝度の高域成分が色チャンネルを経て画面にあらわれるクロスカラー妨害である。

前者は、現在各受像機輝度信号系の高域周波数特性を減衰させてのがれているが、この結果としてカラー画像の解像度を低下させている。また、後者の妨害は送像側からの伝送信号によって定まるため、昨今ではカラーエンコーダーにおいて搬送色信号を多重する以前の輝度信号系にノッチフィルターを挿入し、カラー画像の解像度の犠牲のもとに軽減しているが、シーンによっては、なおかつこの妨害が目立ち、とくに分離輝度撮像方式のように輝度信号の解像度がよい場合問題となる。

このように色信号の多重化にともなう問題は、今後カ

ラー撮像系を主とした画像の尖鋭度改善に大きな制約を与えている。

本報告は、色信号を輝度信号に多重化して伝送する場合生ずる、これら帯域共有内信号相互間の妨害を軽減し、解像度のすぐれた色画像を再生するカラー再生系について、検討と試験結果について述べる。

2. 色チャンネルに混入した高域輝度成分の影響^{1) 7)}

いま、高域輝度信号成分が色副搬送周波数に近い単一正弦波成分であらわし得、伝送カラーテレビ信号が次式で与えられる場合について考える。

$$\begin{aligned} E_Y' + E_I' \cos(\omega_s t + 33^\circ) + E_Q' \sin(\omega_s t + 33^\circ) \\ + E_M \sin \omega_m t \\ = E_Y' + E_C' \cos\{\omega_s t + \phi(t)\} + E_M \sin \omega_m t \quad (1) \end{aligned}$$

ただし、 ω_s : 色副搬送波の角周波数

$$\omega_m: 30 \text{ MHz} < \frac{\omega_m}{2\pi} < 4.2 \text{ MHz}$$

$$(E_n')_{n=R,G,B} = (E_n'')_{n=R,G,B}$$

しかるとき、この信号を色再生系で復調し、発光変換特性が E'' であらわされるカラー受像管の3つの電子銃に加えてカラー画像を再生したとき、再生色の三原色刺激値は次式であらわされる。

すなわち、

$$\begin{aligned} R &= [E_R' + 1.14 E_M \sin \Delta\omega t + E_C' \cos\{\omega_s t \\ &\quad + \phi(t)\} + E_M \sin \omega_m t]^\gamma \\ G &= [E_G' - (0.58 E_M \sin \Delta\omega t + 0.40 E_M \cos \Delta\omega t) \\ &\quad + E_C' \cos\{\omega_s t + \phi(t)\} + E_M \sin \omega_m t]^\gamma \end{aligned}$$

"Color Image Reproduction System without Cross Color Interference and with High Resolution" by Takashi Fujio (NHK Technical Research Laboratories, Tokyo)

$$B = [E_B' + 2.03 E_M \cos \Delta\omega t + E_C' \cos \{\omega_s t + \phi(t)\} + E_M \sin \omega_m t]^\gamma$$

$$\text{ただし, } \Delta\omega = \omega_m - \omega_s \quad (2)$$

上各式の第3, 第4項は純輝度成分として画面にあらわれる搬送色信号成分および高域輝度成分ではあるが, これをLPF かノッチフィルタを用いて取り去った場合について考えると, 再生色は三原色表示で,

$$\begin{aligned} R &= (E_R^\Gamma + 1.14 E_M \sin \Delta\omega t)^\gamma \\ G &= (E_G^\Gamma - 0.58 E_M \sin \Delta\omega t - 0.40 E_M \cos \Delta\omega t)^\gamma \\ B &= (E_B^\Gamma + 2.03 E_M \cos \Delta\omega t)^\gamma \end{aligned} \quad (3)$$

で与えられる。

(3) 式を $E_M < (E_n^\Gamma)_{n=R,G,B}$ の条件のもとに展開し $\Gamma = 1/\gamma$ とすると,

$$\begin{aligned} R &= E_R + 1.14 \gamma \xi_R \sin \Delta\omega t + 0.325 \gamma (\gamma - 1) \eta_R \xi_R \\ &\quad - 0.325 \gamma (\gamma - 1) \eta_R \xi_R \cos 2 \Delta\omega t + \dots \\ &= E_R + \Delta E_{R1} + \Delta E_{R2} + \Delta E_{R3} + \dots \\ G &= E_G - \gamma \xi_G (0.58 \sin \Delta\omega t + 0.40 \cos \Delta\omega t) \\ &\quad + 0.123 \gamma (\gamma - 1) \eta_G \xi_G \\ &\quad - \gamma (\gamma - 1) \eta_G \xi_G (0.045 \cos 2 \Delta\omega t \\ &\quad - 0.115 \sin 2 \Delta\omega t) + \dots \\ &= E_G + \Delta E_{G1} + \Delta E_{G2} + \Delta E_{G3} + \dots \\ B &= E_B + 2.03 \gamma \xi_B \cos \Delta\omega t + 1.030 \gamma (\gamma - 1) \eta_B \xi_B \\ &\quad + 1.030 \gamma (\gamma - 1) \eta_B \xi_B \cos 2 \Delta\omega t + \dots \\ &= E_B + \Delta E_{B1} + \Delta E_{B2} + \Delta E_{B3} + \dots \end{aligned} \quad (4)$$

となる。

上式の各第1項は所要のカラー画像を与える三原色の刺激値であり, 第2項以下は輝度および色度誤差をあらわす項である。すなわち, 第2項は $\Delta\omega$ の角周波数で変化する色誤差成分であり, 第3項は直流分としての色誤差成分, 第4項は $2\Delta\omega$ の角周波数で変化する色誤差成分である。

いま, $E_M \sin \omega_m t$ を輝度信号の高域成分を代表するものとし, ω_m が水平走査角周波数の整数倍関係にある場合について考える。しかるとき,

$$f\{\omega_m(t - \tau_h)\} = f(\omega_m t)$$

ただし, τ_h : 線走査周期

の関係があり, 色副搬送波は

$$f\{\omega_s(t - \tau_h)\} = -f(\omega_s t)$$

なる関係を満足するので,

$$\begin{aligned} f\{\Delta\omega(t - \tau_h)\} &= -f(\Delta\omega) \\ f\{2\Delta\omega(t - \tau_h)\} &= f(2\Delta\omega) \end{aligned} \quad (6)$$

の関係が成立する。

走査線数が奇数本で線飛越走査を行なう標準方式については, 上式の τ_h の代わりに $(\tau_{fd} + \tau_h/2)$ または τ_{fm} を用いてもよい。

ここに, τ_{fd} : フィールド周期, τ_{fm} : フレーム周期を

あらわす。

(1) 第2項によるノイズ

(4) 式各第2項によるノイズは R, G, B 刺激量が,

$$\begin{aligned} \Delta E_{R1} &= 1.14 \gamma E_M E_R^{(1-1/\gamma)} \sin \Delta\omega t \\ \Delta E_{G1} &= -\gamma E_M E_G^{(1-1/\gamma)} (0.58 \sin \Delta\omega t \\ &\quad + 0.40 \cos \Delta\omega t) \\ \Delta E_{B1} &= 2.03 \gamma E_M E_B^{(1-1/\gamma)} \cos \Delta\omega t \end{aligned} \quad (7)$$

で与えられる妨害である。これらによって画面にあらわれる輝度妨害, 色度妨害は $\Delta\omega$ を角速度として変化するもので, 信号が(5)式の条件を満足し, 眼のフレーム周期に対する時間積分効果が充分なときは相殺される種類のものであるが, この効果が不充分のため, フィールド周期に対して1ライン(画面の1/525)移動し, 1/15 sec を周期とするような輝度と色度のちらつきとなって妨害する。

背景色が無彩色の場合は(7)式の輝度妨害は0となり, 第2項によるものは色度妨害のみとなる。しかし, 実際には受像管螢光体に NTSC 三原色と異なった色度のものを使用し, 基準白色も色温度の高い状態に調整する状態であれば, 無彩色上においてもこの輝度妨害を考慮しなければならない場合が生ずる⁸⁾⁹⁾。

(2) 第3項による色誤差

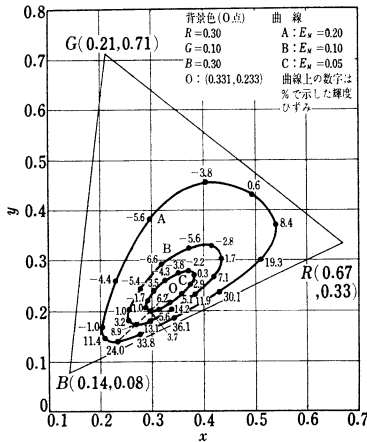
(4) 式の各第3項によるひずみは, 直流的に変位する輝度誤差と色度誤差を与える。しかし, 受像管の非線形特性が送像側で理想的に補正されている場合には, この誤差は0となる。

(3) 第4項による色誤差

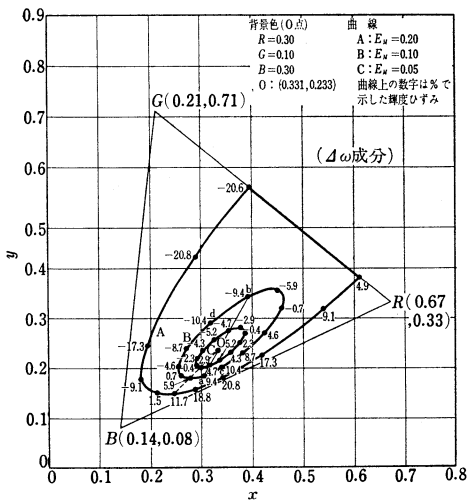
(4) 式の各第4項によるひずみは, 輝度の高域成分が(5)式の条件を満足するとき, 垂直方向上下に等しい色誤差を与える妨害となる。この場合, 生ずる輝度ノイズは無彩色上においても0とはならない。

図1は受像管のガンマが $\gamma = 2.0$ で, 背景色が $E_R = 0.3, E_G = 0.1, E_B = 0.3$ であらわされる画面上, E_M が 0.20, 0.10, 0.05 の場合, (a) 図は, 総合の輝度, 色度妨害, (b) 図は $\Delta\omega$ で変化する色妨害の軌跡を示したものであり, また図2は $E_R = E_G = E_B = 0.3$ で与えられる無彩色上についての, 同じクロスカラー妨害の軌跡を CIE 色度図上に描いたものである。

すなわち, 図1(b)について見ると, O点の色度を背景色とした画像上での高域輝度信号 $\Delta\omega$ の成分による妨害は, その背景色色度が E_M の値によって, の $\Delta\omega$ 角速度でおのおの A, B, C の楕円軌跡を描いて変わるような妨害となってあらわれ, この場合, 百分率であらわした輝度変化は曲線上の数値ようになる。そして, これはたとえばB曲線 a 点の位相では, a 点と $\bar{a}O$ の延長線がB曲線と交わる b 点の色度および輝度変化(ピーク



(a)



(b) $\Delta\omega$ 成分 $\Delta\omega$ component.

図 1 クロスカラーによる輝度ノイズ，色度ノイズ軌跡
Locus by cross color interference.

値 9.4%) が 1/60 sec に 1 ライン 上方向に移動するように見える目立った妨害となって画面上にあらわれる。

3. クロスカラー除去色再生方式¹⁾⁴⁾⁷⁾⁸⁾

テレビ信号を，図 3 (a) で示すようなパルス列で代表する。すなわち，周期 T_1 ，幅 T_0 のパルスが周期 T_2 のフィールド内に N 個あり，これが M フィールド列となっているとする。しかるとき，この信号に対する周波数分布関数はフーリエ積分により，

$$\begin{aligned} S(\omega) &= \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} \int_{T_1+mT_2-\frac{T_0}{2}}^{T_1+mT_2+\frac{T_0}{2}} G(t) \varepsilon^{-j\omega t} dt \\ &= \frac{2}{\omega} \sin \frac{\omega T_0}{2} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} \varepsilon^{j\omega n T_1} \varepsilon^{-j\omega m T_2} \end{aligned} \quad (8)$$

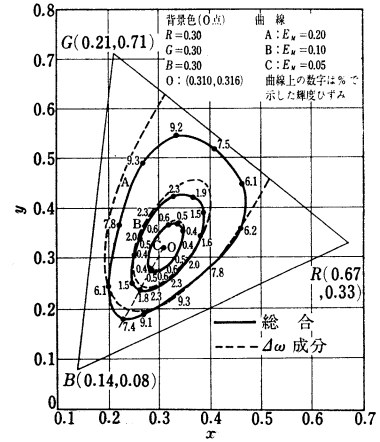
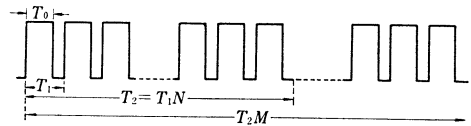
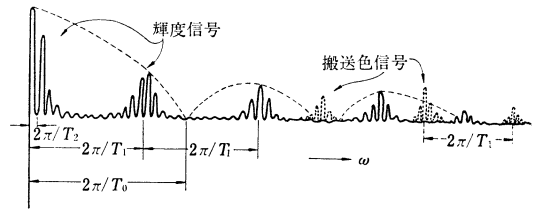


図 2 クロスカラーによる輝度ノイズ，色度ノイズ軌跡
Locus by cross color interference.



(a) 輝度信号パルス列



(b) カラー信号の周波数スペクトル

図 3 単純化したテレビ信号とカラー信号のスペクトル分布

Television signal and its frequency spectrum.

として求めることができ， $S(\omega)$ に対する値で正規化したスペクトルは，

$$\frac{\sin \frac{\omega T_0}{2}}{\frac{\omega T_0}{2}} \cdot \frac{\sin \frac{N\omega T_1}{2}}{\sin \frac{\omega T_1}{2}} \cdot \frac{\sin \frac{M\omega T_2}{2}}{\sin \frac{\omega T_2}{2}} \quad (9)$$

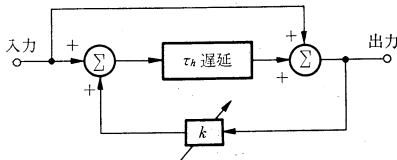
となる。これがカラーテレビの輝度信号を代表するものとし，その周波数スペクトルを描くと図 3 (b) の実線ようになり，また，インタリーブした色副搬送波をこれと同じ形のパルス列で変調したものを搬送色信号とすると，この周波数スペクトルは $\left[f_s = \frac{(2n+1)}{2} \cdot \frac{1}{T_1} \right]_{n=227}$ を中心とし， f_s の上下，その分布が (9) 式で与えられる図 3 (b) の点線で示すようなものになっている。

このため、クロスカラー妨害や画像輪郭部における輝度のちらつき現象など、色信号の多重化にともなう問題は

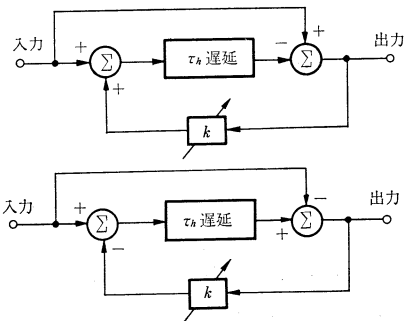
(i) 搬送色信号としては輝度の高域成分を除去し色信号の側波帯成分のみを分離して取り出す。

(ii) また、輝度信号のその高域成分としては色信号の側波帯成分を取り除き、輝度信号スペクトルのみを選択して取り出す。

ことによって、必ず解決される。



(a) Y形楕円フィルター



(b) C形楕円フィルター

図4 楕円フィルターの構成
Construction of comb filter.

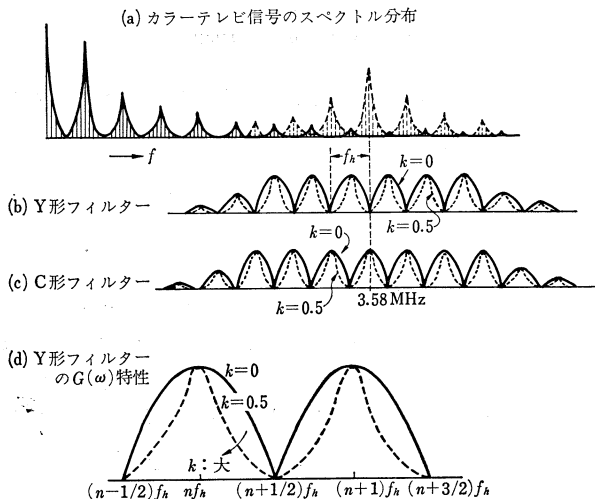


図5 楕円フィルターの特性
Frequency characteristics of comb filter.

これらには最大減衰点が f_h 周期でくり返されるような特性の楕円フィルターを用いればよい。このようなフィルターは $1/f_h = \tau_h \sec$ の遅延回路を用いて実現できる。

図4はこのフィルターの回路構成であり、これらY形、C形（仮称）フィルターの周波数特性はおおの

Y形フィルターの周波数特性：

$$\sqrt{2} \left(\frac{1 + \cos \omega \tau_h}{1 + k^2 - 2k \cos \omega \tau_h} \right)^{1/2} \quad (10)$$

C形フィルターの周波数特性：

$$\sqrt{2} \left(\frac{1 - \cos \omega \tau_h}{1 + k^2 + 2k \cos \omega \tau_h} \right)^{1/2} \quad (11)$$

で与えられ、その特性は図5(b), (c), (d)のようになる。このため、輝度信号の高域成分をY形回路で、搬送色信号をC形回路で分離すると、画面上においてクロスカラー妨害や輝度のちらつきを生じない、輝度信号および搬送色信号の分離が可能となる。

図4のY形、C形フィルターにおいて、その帰還量 k を大きくすることは、図5(d)に示すように、楕円フィルターの通過帯域を狭くすることであり、画面上ではその成分に対する垂直解像度が k に比例して低下するので、 $k=0$ の状態ですべての効果が得られれば、画質ならびに取り扱いが容易である点からも、図4の回路において $k=0$ の状態ですべての効果を形成することが望ましい。

図6は図4における帰還量 k を、 $k=0$ とした種々のクロスカラー除去色再生形式を示したものである。すなわち、

(i) 図6(a)は搬送色信号のみを $k=0$ の前記C形楕円フィルターを用いて分離したもので、垂直画像の輪郭部に妨害としてあらわれるクロスカラー妨害は除去できる。Y信号の帯域としては、LPF特性で色副搬送波3.58 MHzの減衰が十数dB必要である。

(a) の回路方式では τ_h の値を微調整して色副搬送波周期の1/30以上の精度におさえる必要がある。(b), (c)の方式はこれを改良したもので、

(ii) (b)の回路方式は2つの独立な色信号復調器を2組置き、 τ_h 遅延器の入出力信号から同一種類の色信号を復調し、復調後の信号をY形($k=0$)フィルターでクロスカラー妨害を除去するものである。この場合、2組の復調器間の基準副搬送波の位相は、おおののバースト信号の位相差を利用して自動的に調整し、遅延誤差による影響をなくす方式である。

(iii) (c)の回路方式は τ_h の遅延回路を2個使用したもので、搬送色信号に復調色信号に対応する各基準副搬送波を加え、2つの独立な色信号による振幅変調波を作ってこれを遅延させる。この各入出

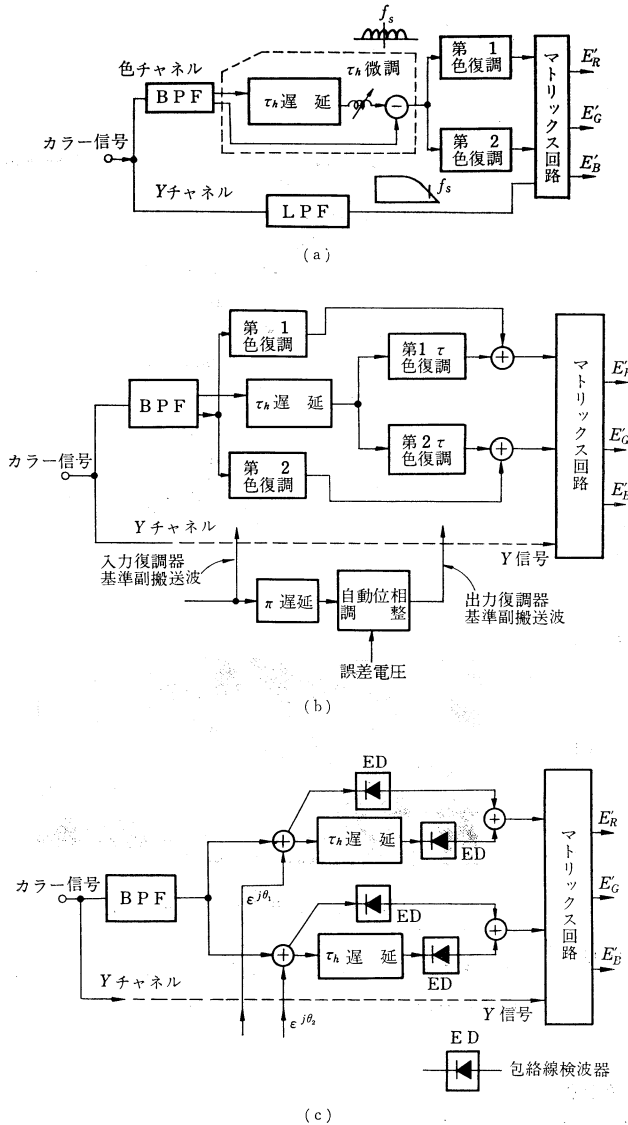


図 6 クロスカラー除去カラー再生方式
Block diagram of elimination circuit of cross color interference.

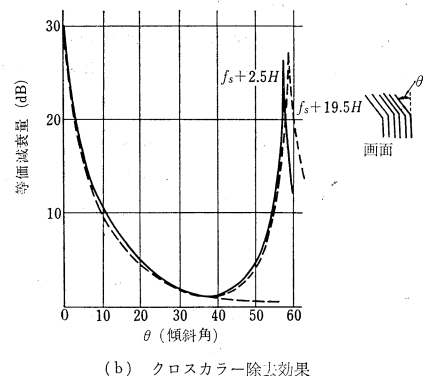
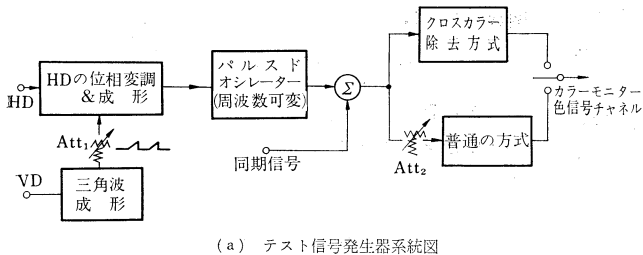


図 7 クロスカラー妨害テスト信号と試験結果
Test signal generator and elimination effect of cross color interference.

力信号を包絡線検波した信号を合成し，Y形フィルタ効果によってクロスカラー妨害を除く。

このように，(b) (c) の回路方式は，(a) の方式にくらべて τ_h 遅延線に要求される精度が，色副搬送波周期の数十分の 1 から，500 kHz 色信号帯域の立上り時間の 1/10 程度にまで緩和される。

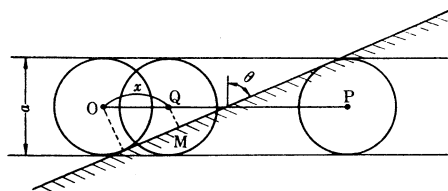
4. 高域輝度信号によるクロスカラー妨害除去効果の検討¹⁷⁾⁸⁾

4.1 テスト信号によるクロスカラー妨害の除去効果

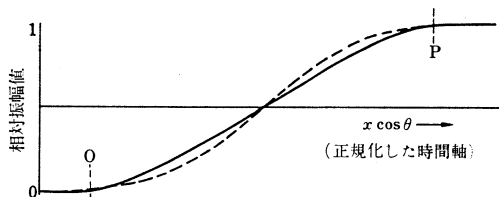
このクロスカラー除去方式は画像の垂直相関のみにたよっているので，その妨害除去効果は絵柄のいかんによる。図 7 (b) は輝度の高域信号を代表するものとし，(a) 図のような系統にしたがって，画面上垂直方向に配列した正弦波パターンで，その傾斜が任意に変わるような電気信号を作り，これを C 形楕形フィルタに加えてクロスカラー妨害除去効果を試験したものである。この結果，垂直のパターンが，たとえば 20° 程度傾斜すると，本方式によるクロスカラー妨害除去効果は 6 dB 程度のものとなる。しかし，実際の画像では垂直輪郭部が多く，撮像管のビームアパーチャーによって傾斜した画像に対する映像信号の高域スペクトルが急激に減少することによって，充分除去効果が期待できる。

4.2 傾斜した画像の出力信号と周波数分布関数

撮像管のビームアパーチャーは 0 でないため画像が横走査に対して垂直な場合とこれが傾斜



(a) 傾斜した画像とビーム走査



(b) ビームアパーチャーを考えた画像信号の立上り特性

図8 撮像管のビームアパーチャーとその出力信号
Beam aperture of pickup tube and its out put signal.

した場合とでは、その出力信号の立上りが異なったものになる。

図8(a)は走査線間隔に内接するような幅のビームで任意の傾斜画像を撮像したときの状態を示す。すなわち、垂直方向に対し角度 θ 傾斜した画像を半径 $a/2$ のビームで走査撮像する場合、その出力信号の立上りはビーム中心がO点にある位置からはじまり、Pの位置で完了する。

この場合の $\overline{OP}$ は、 $\overline{OP} = a \sec \theta$

で与えられ、また、ビームがOより x だけ進んだ状態におけるビーム中心と傾斜線との間隔 QM は、

$$QM = \left(\frac{a}{2} - x \cos \theta \right)$$

で与えられる。このため、傾斜角度が θ である画像の立上りは、垂直画像に対する立上りをただ横方向に $\sec \theta$ 倍伸長したものになる。

図8(b)の実線は(a)図においてビームの電流密度が一様分布の場合、 $x \cos \theta$ (正規化) に対する立上りを示したものである。

しかし、実際のビームの電流密度分布はこのような一様でなく、2つのガウス分布の和でよく近似しうるとされている⁶⁾が、これを半値幅が走査線間隔になるガウス曲線をビーム軸のまわりに回転した形のものとして取り扱えば、出力信号はこの回転体を X 軸に垂直で ZY 平面と平行な面で切断した点からの積分したものの

$$2 \int_0^\infty \int_x^\infty e^{-\left(\frac{K}{a}\right)^2 x^2} \cdot e^{-\left(\frac{K}{a}\right)^2 z^2} dx dz \quad (12)$$

ただし a : 走査線間隔

K : 1.57

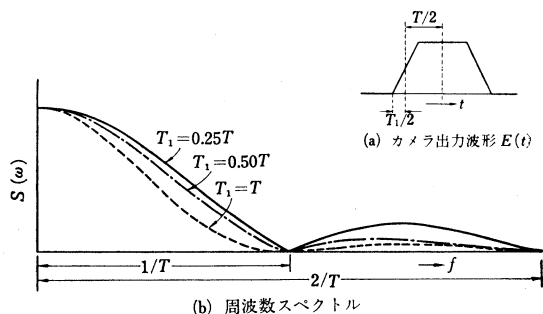
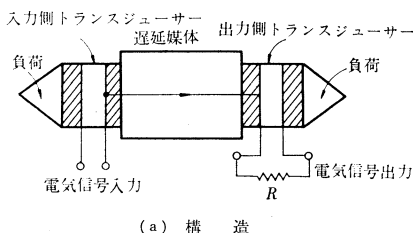
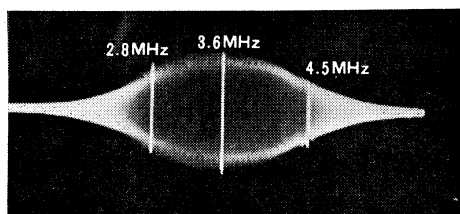


図9 傾斜波形とその周波数スペクトル
Television signal and its frequency spectrum.



(a) 構造



(b) 特性

図10 副搬送波用1ライン遅延線の特
Characteristics of 1H delay line for subcarrier.

で与えられる。そしてこの場合の時間軸を $x \cos \theta$ で正規化した出力信号は

$$1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{Kx}{a}} e^{-u^2} du \quad (13)$$

で与えられる。

図8(b)の点線はこれをプロットしたものである。このような波形に対する周波数分布関数はフーリエ積分によって求めることができるが、簡単のためこれを図9(a)のような波形で代表させたとき、その周波数分布関数 $S(\omega)$ は、

$$S(\omega) = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{T_1}{(T_1 \omega)^2} \sin \frac{\omega T}{2} \sin \frac{\omega T_1}{2} \quad (14)$$

で与えられ、これは図10(b)のようになって T_1 の増加に反比例して高域のエネルギーが減少する。

5. 1 ライン遅延線

5.1 構造と特性²⁾

K社と共同で媒体がフューズシリカ、トランスジュー

テレビジョン

サーに水晶を用いた遅延線を開発し，最近減衰量を除きほぼ満足な搬送色信号帯域の AM 信号を伝送する 1 ライン遅延線が製作できるようになった。

この構造は図 10 (a) に示すようなもので，電気信号を一方のトランスジューサーに加え，ここで超音波振動に変換し，遅延媒体を通す。この振動を受端のトランスジューサーで再び電気信号に変換し負荷抵抗 R の両端から遅延した出力信号を得る。

この場合の入力信号 E_{in} と出力信号 E_{out} 間の関係は

$$\frac{E_{out}}{E_{in}} = \frac{K^2 Q}{\pi} \cos^2 \frac{\pi}{2} \cdot \frac{f - f_0}{f_0} e^{-j2\pi f(T+1/2f_0)} \quad (15)$$

ただし， f_0 ：トランスジューサーの基本共振周

波数

$$Q: 2\pi f_0 RC$$

C ：トランスジューサーの容量

T ：接合部を含んだ媒体の遅延時間

で与えられる。

なお，これに対する仕様は NTSC 搬送色信号を対象としたもので，特にスプリアス抑圧比は搬送色信号に要求される echo 比から定めて設計した³⁾。試験用として使用した遅延線の特性を表 1 に示す。また (b) 図はこれの周波数特性である。

表 1 遅延線の特性
Characteristics of the delay line.

伝 送 方 式	AM 方 式
中心周波数	3.58 MHz
伝 送 帯 域	± 0.8 MHz
遅 延 時 間	63.6 μ s
挿 入 損 失	40 dB
ス プ リ ア ス	22 dB
入出力インピーダンス	1 k Ω
遅延誤差の温度係数	$3 \times 10^{-5}/\text{deg}$

5.2 遅延線の遅延誤差によるクロスカラー妨害除去効果への影響⁷⁾

画像の垂直相関を利用する場合，1 ライン画像間の相対的な遅延誤差が問題となる。この相対遅延誤差に寄与するのは水平走査周波数の偏差と遅延回路の誤差とが考えられるが，前者はその絶対偏差が 3×10^{-6} 以下におさまられているので，後者とくに遅延線の温度係数によるものを考えればよい。

一般に時間 $t=0$ で立上るパルス状の輝度信号をその帯域特性が ω_L から ω_H まで平坦な理想 BPF を通した場合，波形に着目したクロスカラー除去色再生回路の色復調器入力信号は，

$$S_i(\omega_H t) - S_i(\omega_L t) - S_i(\omega_H(t - \Delta t)) + S_i(\omega_L(t - \Delta t)) \quad (16)$$

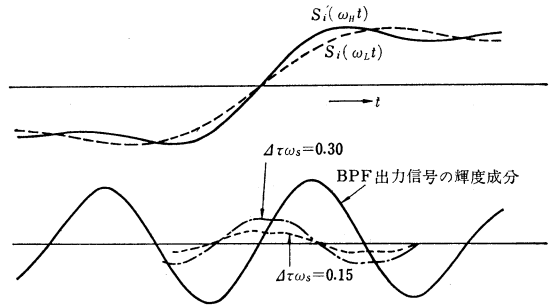


図 11 遅延誤差と高域輝度信号出力

Variation of out put signal due to delay time error.

ただし， $\Delta \tau$ ：遅延誤差

$$S_i(x): \text{正弦積分} \int_0^x \frac{\sin x}{x} dx$$

で与えられる。

図 11 は， $f_L = \omega_L/2\pi = 3.0$ MHz， $f_H = \omega_H/2\pi = 4.5$ MHz としたとき，従来の色再生方式における色復調器入力の色信号成分と，クロスカラー除去再生方式において相対遅延誤差が $\Delta \tau \omega_s = 0.30$ rad， $\Delta \tau \omega_s = 0.15$ rad に対する色復調器入力の色信号波形の計算値である。

一方，C 形フィルターの搬送色信号出力を考えるに，この信号は $E_c(t)_2 \sin \omega_s t$ なる色信号から $E_c(t)_1 \sin (\omega_s t + \zeta)$ なる色信号を 1 ライン遅延させて差引いたものであるため，

$$e_c(t)_0 = E_c(t)_2 \sin \omega_s t - E_c(t)_1 \sin (\omega_s(t - \tau_h - \Delta \tau) + \zeta) \quad (17)$$

ただし $\Delta \tau$ ：遅延線の遅延誤差

で与えられる。いま，この 2 つの line にまたがる色画像が同一内容のものであるとき，上式は

$$e_c(t)_0 = E_c(t) \sin \omega_s t - E_c(t) \sin \omega_s(t - \tau_h - \Delta \tau) \quad (18)$$

となる。

しかるに $\tau_h = \frac{2n+1}{2} \cdot \frac{1}{f_s}$ なるゆえ，前式は

$$\begin{aligned} e_c(t)_0 &= E_c(t) \sin \omega_s t + E_c(t) \sin (\omega_s(t - \Delta \tau)) \\ &= \sqrt{2} E_c(t) \sqrt{1 + \cos \theta} \cdot \sin [(\omega_s t - \phi)] \\ &= \eta E_c(t) \sin (\omega_s t - \phi) \end{aligned} \quad (19)$$

ただし θ ：副搬送波の位相であらわした遅延線の遅延誤差

$$\phi: \tan^{-1} \left(\frac{\sin \theta}{1 + \cos \theta} \right) \text{ で，この } \phi \text{ は大面積}$$

画像を考えると，静的なものであり，画面上の色度ひずみには寄与しない。

となり， θ に対する η の値は次のようになる。

表 2 遅延誤差と利得
Relation between delay time error and gain.

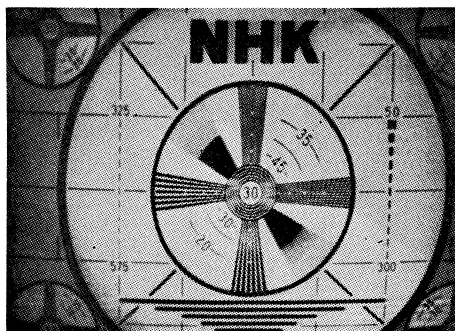
θ	0	10°	20°	30°	40°
η	2	1.99	1.97	1.93	1.88

この結果、図 11 の計算値と合わせ考え、垂直輝度画像に対するクロスカラー除去効果を 15 dB 以上保持するためには、相対遅延誤差を $\Delta\tau\omega_s$ の値として 0.3 rad 以下、これは副搬送波位相で約 17° 以下におさえなければならない。

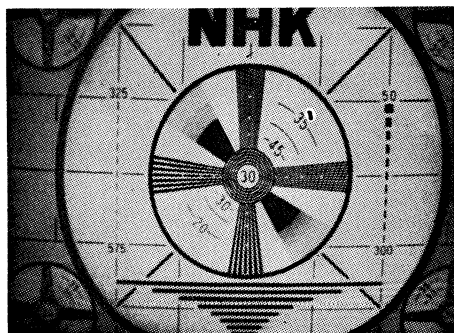
6. 高域輝度成分によるクロスカラー妨害の除去効果¹⁾⁷⁾⁸⁾

本方式によるクロスカラー妨害除去効果の試験は図 6 (a) の回路形式により、カットオフ周波数が $f_L=2.0$ MHz, $f_H=4.5$ MHz の 2 つの LPF で構成した BPF の出力信号を図 6 (a) の構成になる C 形フィルタに加え、この出力信号をカラーモニター色信号チャネルの色同期回路を含んだ色再生回路に供給する。SMPTE カラーライドを用いて試験した結果、クロスカラー妨害はほとんど垂直画像のもので定まり、この方式を用いることによって、クロスカラー妨害を約 20 dB 効果的に軽減することができた。写真 1 はモノスコープ信号によるクロスカラー除去効果を示したもので、(a) は従来の色再生系を通してカラー受像管上に再生された画像である (中央部解像度パターンが薄くむらになっている所)。また、(b) はクロスカラー除去回路を通してカラー受像管上に再生したモノスコープ画像である。また写真 2 は搬送色信号波形でその効果を比較したものである。すなわち、写真 2 (a) は従来の方式における搬送色信号用 BPF 出力波形、(b) 図はクロスカラー妨害除去回路を通った、(a) 図と同じ搬送色信号出力に対する色復調器入力波形を示す。

また、本方式の C 形楕円形フィルタは、1 ライン離れたテレビ画像の垂直相関を利用しているため、テレビ信号の高域成分に混入したランダムノイズが色チャネルを通過して画面にあらわれる色ノイズ妨害に対しては、電氣的に定義した SN 比で 3 dB の改善効果がある。一般に、この種平均化による SN 比の改善効果は、視覚的にはほとんど効果がないとされているが¹¹⁾、2 ラインの平均値により、これが輝度ノイズに変換される成分も少なくなるためであろう。画面上では視覚的にも充分 SN 比改善効果が認められる。これらは電界が低い受信状態など、色チャネルからのノイズ妨害が問題となるところでは、本方式のひとつの利点となる。



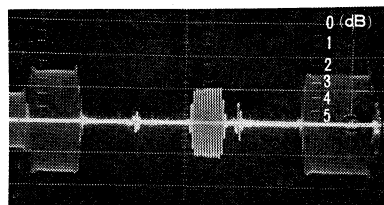
(a) 従来のカラー画面にあらわれたクロスカラー妨害 (中央部の薄くなっている所)



(b) クロスカラー妨害を除去した場合の再生画像

写真 1 クロスカラー妨害とその除去効果
Cross color interference and its elimination effect.

(a) 従来の色再生系による色復調器入力波形



(b) クロスカラー妨害を除去したときの色復調器入力波形

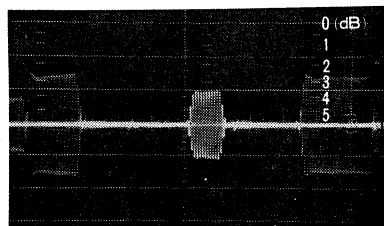


写真 2 クロスカラー妨害の除去効果
Cross color interference and its elimination effect.

なお、本方式の本質的な問題として、 $k=0$ の場合でも色信号の垂直解像度が 1/2 に低下する問題があるが、この場合の影響はまったく感知せず、特殊な画像をディスプレイし、特にその点を注視しない以上、認知し得ない³⁾。

7. 帰還形C形フィルターで分離した色信号画像とそのSN比改善効果

以上，C形フィルターを利用したクロスカラー妨害除去色再生方式は，図4(b)における $k=0$ の場合を主として取り扱ってきた。そしてC形フィルターによる搬送色信号のプロセスでは，Y形フィルターによる輝度信号のプロセスの場合と異なり，クロスカラー妨害除去回路が一般のランダムノイズに対しても，これの妨害を軽減させる効果がある。このため，帰還量 k の種々な値におけるC形フィルターで搬送色信号を分離した場合の再生カラー画質とSN比改善効果について検討する。

図4(b)のC形フィルターの伝達関数はおのこの

$$G(\omega)_{b-1} = (1 - \varepsilon^{-j\omega\tau_h}) / (1 + k\varepsilon^{-j\omega\tau_h}) \quad (20)$$

$$G(\omega)_{b-2} = (-1 + \varepsilon^{-j\omega\tau_h}) / (1 + k\varepsilon^{-j\omega\tau_h}) \quad (21)$$

で与えられる。このため電力密度が n'^2 のノイズに対する f_h 帯域内のノイズ電力 $\bar{n}^2$ は

$$\begin{aligned} \bar{n}^2 &= \int_{nf_h}^{(n+1)f_h} G(\omega)_{b-1} \cdot G(\omega)_{b-1}^* n'^2 d\omega \\ &= \int_{nf_h}^{(n+1)f_h} G(\omega)_{b-2} \cdot G(\omega)_{b-2}^* n'^2 d\omega \\ &= \frac{1}{\pi\tau_h} \int_{2\pi(n-\frac{1}{2})}^{2\pi(n+\frac{1}{2})} \frac{1 + \cos \mu}{1 + k^2 - 2k \cos \mu} n'^2 d\mu \quad (22) \end{aligned}$$

ただし $G(\omega)^*$: $G(\omega)$ の共役複素数となる。この結果，電力スペクトルが平坦なノイズに対しては，上式は

$$\frac{2}{\tau_h} \cdot \frac{1}{1-k} n'^2 \quad (23)$$

となり， f_c 帯域内のノイズ電力は，

$$\frac{2}{1-k} f_c n'^2 \quad (24)$$

で与えられる。一方，出力信号は(11)式より電圧利得で，

$$\sqrt{\frac{4}{(1-k)^2}} \quad (25)$$

で与えられるため，SN比改善効果は電力比で，

$$[4/(1-k)^2] / [2/(1-k)] = 2/(1-k) = A \quad (26)$$

で与えられる。

表3は，帰還量 k をパラメーターとしたSN比改善効果 $I_{(S/N)}$ と，この回路の利得 A (垂直方向の低周波成分に対する利得)を示したものである。

このように，電気的に定義したSN比は k の増大によって改善しうが，この場合2つの問題がある。そのひとつは， k を大きくするほど色信号の垂直解像度が低下するが，どの程度許容しうかという問題であり，いまひとつは，ランダムノイズの混入した信号を図4の系

表3 C形フィルターによるSN比改善作用

k	π	$I_{(S/N)} = 10 \log \pi$	A
0	2.0	3.0 dB	2.0
0.2	2.5	4.0	2.5
0.3	2.86	4.6	2.86
0.4	3.33	5.2	3.33
0.5	4.0	6.0	4.0
0.6	5.0	7.0	5.0
0.7	6.67	8.2	6.67
0.8	10.0	10.0	10.0

表4 C形フィルターによる色ノイズのSN比改善効果

k	$I_{(S/N)}$	カラーバー信号	ミス TASO	ホームコンサート
0	3 dB	1~1.5 dB	2.5 dB	2.0 dB
0.3	4.6	2~3	4.0	3.5
0.5	6.0	3.6~4.4	5.0	4.5

標準画像：楕円フィルターを通さないもの
ミス TASO，ホームコンサート：SMPTE 標準スライド

に加えると，もはや画面上のノイズはランダム性を失い， k を大きくするほど，垂直相関の大きいノイズ成分が画面にあらわれて，従来のノイズ妨害画像と対応しないものとなる。

表4はこの視覚的なSN比改善度を試験した結果を示したものである。すなわち4.5 MHz帯域で定義した複合カラー信号のSN比， $(S/N)_{dB} = 29$ dBの色ノイズを対象としたとき， $k=0$ で約2 dB， $k=0.3$ で3~4 dB， $k=0.5$ で4~5 dBの視覚的なSN比改善効果があることがわかる。

しかし一方，カラー画質の点から見た場合，輝度信号にライン遅延を与えず，原信号をそのまま使用する場合， $k=0.5$ では色信号のずれを感知し， k を0.3~0.4以下におさえることが条件となる。

8. 高解像度輝度信号の再生⁵⁾⁷⁾⁸⁾

従来，カラー受像機の輝度チャネルは搬送色信号によるドットストラクチャー妨害や，これが非直線回路を通ることによって生ずる輝度ひずみを除くため，LPFや帯域除波回路を用いている。このため，輝度信号の高域成分が有効に再生されていない。

しかし，図4(a)または，これの実際の構成として図12に示すようなY形楕円フィルター回路を用いるこ

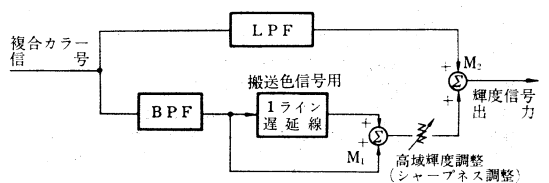


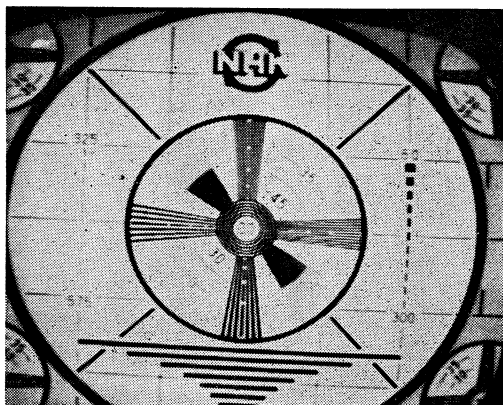
図12 搬送色信号用遅延線を用いた高域輝度信号の再生回路系統図

Reproducing circuit of high resolution color image.

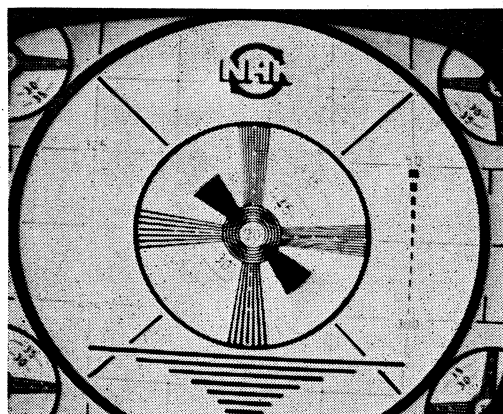
とにより、搬送色信号による妨害のない高域輝度信号を再生することができ、また、回路方式によってはカラー受像管のアパーチャー特性を等価的に補正し、カラー受像機の解像度を大幅に改善することができる。

映像信号の低域周波数成分からの信号をY形フィルターに加え、輝度信号画像の垂直解像度を低下させることは、これが画質の尖鋭度劣化に及ぼす影響は大きいですが、映像信号の2.0 MHz以上の成分のみを図4(a)のY形フィルターに加えて画像を再生する場合、Y形フィルターの帰還量 k は $k=0.3\sim 0.5$ 程度まで画質の劣化は僅少である。このため、カラー再生系に直接適用できる方法として図12のような回路構成にし、LPFの帯域を2.0~2.5 MHzに選び、この成分で標準の垂直解像度を与え、水平解像度は相関の大きい成分で再生する方法によれば、多重化した搬送色信号による輝度ひずみや点状妨害をなくし、かつ尖鋭度の高いカラー画像を再生することができる。

試験の結果、従来の輝度信号チャンネルの水平解像度が



(a) 従来のカラー再生系の輝度信号画像



(b) 高解像度再生画像

写真3 Y形フィルターを用いた高解像度再生画像
Reproduced high resolution picture by a type Y comb filter.

二百数十本程度であるのに対し、この方式を採用することにより400本の解像が可能となり、また、高域成分を数dBブーストすることにより、顕著なカラー画像の尖鋭度改善効果がある。

写真3は前記表1の特性の遅延線をカラー受像機に使用することを想定して試験した輝度信号の再生画像を比較したもので、(a)は従来のカラー受像機を代表するものとして、3.6 MHzの色副搬送波で約15 dBの減衰を与えるトラップを挿入したときのモノスコープ再生画像である。また(b)は、高解像度輝度信号再生方式としてY形濾形フィルターを用い、搬送色信号による点状妨害を実効的に約20 dB減衰させた状態で再生されたモノスコープ画像である。

本方式で高域成分を数dBブーストするとき、カラー受像管のアパーチャー特性による解像度不足を補うことができるが、SN比が低いときはノイズ妨害が強調される傾向となるので、その妥協点を見出す必要があり、できればこれを、たとえばシャープネス調整というような名称で半固定調整ができるようにすることがのぞましい。

なお、このY形濾形回路を用いると、水平方向にこまかい画像の垂直解像度は半分になってしまう。しかし、垂直解像度が必要なのは映像の低域周波数成分で、高域周波数成分ではこれを1/2に落しても視覚的にほとんど感知しないため、これによる弊害はまったくないといっ

9. む す び

現在のカラーテレビ信号は輝度信号の高域成分に、1/2ラインオフセット周波数の側波帯の形で色信号を内挿多重化している。これらは視覚の時間、面積積分効果が充分でないため高域輝度信号、色信号間の相互干渉が大きく、信号の多重化プロセスの段階で輝度信号の高域成分をあらかじめ減衰させたり、あるいはまた、色信号の受信、再生のプロセスで輝度信号の帯域特性に大きな制約を与えている。この結果、多重化カラー信号によって再生した画像は解像度が低く、また、クロスカラー妨害といったカラーテレビ特有の妨害があらわれ、これは受像管の非線形動作により、背景色の関数として色彩画面上では一般に輝度ノイズ成分をも伴うので、無視できない妨害が画面にあらわれる。

このようなカラーテレビ信号の受信再生プロセスの段階で、輝度信号の高域成分をY形フィルターに、また搬送色信号をC形フィルターを用いて分離し、これによって色信号の多重化にともなって生ずる相互干渉などの問題点を改善するカラーテレビ色再生の諸方式について提

案，検討し，さらに NTSC 搬送色信号を直接ライン遅延させるフューズシリカを媒体とした遅延線を開発して，これを一般カラー受像機にとり入れることにより，高画質のカラーテレビ信号の伝送，ならびに，画像の再生がきわめて効果的に行なえることを実験的に示した。

すなわち，これら提案になる方式をカラー受像機にとり入れることにより，伝送カラーテレビ信号としては搬送色信号帯域における輝度成分をあらかじめ減衰させる必要がなく，クロスカラー妨害をなくして，解像度，尖鋭度のよいカラー画像の伝送，および，これの再生が可能となる。また，輝度信号として搬送色信号によるドットストラクチャー妨害や輝度ひずみのない状態で，水平解像度400本以上のカラー画像を再生することができる。

以上，搬送色信号をそのまま伝送させる1ライン遅延線を試作開発し，これを用いて従来の色再生方式を改善したクロスカラー除去，高解像度カラー受像方式について述べた。これらは遅延線をさらに改良し，近い将来カラー受像機に適用して行きたい。このためには遅延線として減衰量の少ないものが必要であり，現在の目標はこれを 10 dB 前後において検討している。この種水晶遅延素子の製作が可能となると，受像機の本方式に関するプロセス回路も RF トランスのみを用いて構成でき，利用価値も大きい。

なお，本方式はすでに数年前に提案したものであり，図7の試験はその当時 30 MHz の FM 波伝送方式の遅

延装置を用いて検討したものである。これを再びテーマとして取り上げたのは，最近輝度信号の解像度特性の良好な分離輝度撮像方式が多く採用され，再生画面上にクロスカラー妨害が目立つ場合が多いので，これに対する改善を目的としたのと，安定，低廉な遅延素子の開発を行ない，これを用いて高画質を目的とした将来のカラーテレビ再生系の開発に対処したためである。

(昭和42年6月30日受付)

【参 考 文 献】

- 1) 藤尾：クロスカラー除去カラー受像方式（その2），NHK カラー受像機研究委資料，5-3（昭40.12）
- 2) B. P. Gibson: Ultrasonic Delay Line, London Liffe Book Ltd
- 3) 藤尾，中村：PAL カラーテレビ方式の検討，NTSC，PAL カラー方式の比較検討，NHK カラー受像機研究委資料（第8回），テレビ学会回路研委資料（昭42.2）
- 4) V. W. Bruch: Transcoder PAL-NTSC-Die Umwandlung eines PAL-Signals in ein NTSC-Signal und die Umkehrung NTSC in PAL, Telefunken-Zeitung, Jg 37 (1964) Heft 2
- 5) 藤尾：カラー信号の近傍相関を利用した輝度信号の分離，テレビ誌，19，8（1965）
- 6) 吉永：信号変換蓄積管の解像度，テレビ用電子管研委資料，129号
- 7) 藤尾：クロスカラー除去色再生方式，テレビ学会回路研委資料（昭41.8）
- 8) 藤尾：クロスカラー妨害を除去した高解像度カラー受像方式，NHK 技研月報，9，10（1966）
- 9) 藤尾：基礎刺激を変えた場合カラー再生系で生ずる色ひずみ，NHK カラー受像機研委資料，4-6（昭40.11）
- 10) 藤尾：カラー再生系の諸問題，NHK例報，No. 41-7（昭41.8）
- 11) 藤尾，田所，中村：楕円フィルターによる S/N 改善効果と映像信号のプロセス，テレビ談話会資料（昭42.3）
- 12) 藤尾：カラーテレビのノイズ，ひずみと画質，NHK 技研創立記念講演会予稿

テレビジョン1月号予定目次

【展 望】	テレビジョン技術の将来……………日本ビクター	高柳健次郎
【解 説】	網膜における視覚情報の伝送と処理……………NHK	樋渡 潤二
【論 文】	高記録速度直視蓄積管……………日本アビオトロンクス	高山寿夫・皆上 滋・星 光治
	集積回路を用いた番組伝送制御装置の試作……………NHK	山根久吉・遠藤次男・柳町昭夫
	ヘリウムネオンガスレーザ光によるテレビジョン信号の屋外伝送特性……………日電	伊藤猷顕・古川元章・石渡克洋・辰巳龍司
【資 料】	ビジコンカメラを用いた写真電送機……………東芝	本間 勉・近藤 稔
	変調 20T パルス発生装置……………毎日放送	阪本 修
【講 座】	テレビ技術者のための磁気録画技術 (13) 放送用ヘリカル VTR……………日本ビクター	田中富之