カラー・テレビジョン受像機における漏話現象

東京工業大学 岸 源 也
横 河 電 機 石 川 宏 俊
東京工業大学 中 沢 恭 一

カラーテレビジョン受像機において発生する漏話現象，特に明度信号の急変に起因する色度信号の変動について数値的な検討を行った．解析に際しては中間周波増幅器の特性および色度信号分離用フィルタの影響を考慮した．この結果，現実の受像機で発生すると思われる過渡的な漏話現象の時間的波形を得ることができた．

NTSC 方式に準拠するカラーテレビジョンにおいては，明度信号の他に色度信号を 6 Mc/s の周波数帯域内で伝送する．したがって白黒テレビジョンの場合と異なり，多重伝送に伴って発生する問題に特に注意する必要がある．すなわち明度信号および色度信号をそれぞれ忠実に伝送するとともに，色度信号が共存するために明度信号が受ける妨害と，逆に明度信号が共存するために色度信号が受ける妨害とを軽減する必要がある．

これらのうち明度信号自身を忠実に伝送する問題は，白黒テレビジョンの場合にも当然要求されることであり，本質的に同一の問題である．明度信号に対する伝送ひずみは，特に映像中間周波増幅器などの（検波以前に受けた）非対称側波帯伝送の影響が最も主要な因子と考えられる．この種のひずみは一般に変調された信号に対する線型伝送路の影響が検波によって非線型なひずみとして定着してしまう点に最大の特徴をもつ．このような機構で発生するひずみを軽減するためには，中間周波増幅器などの検波以前の回路の遅延特性の平坦化が有効な手段の一つであることが知られている¹⁾．

明度信号に対して色度信号が及ぼす影響はもちろんカラーテレビジョンに特有の問題であるが，同時に白黒テレビジョン受像機にとっても compatibility の立場から重要である．しかしこの点に関しては NTSC 方式ではかなりの注意が払われ，frequency interlace によって相当の効果を挙げているといえよう．

色度信号自身の伝送については，受像機中で色度信号が最も複雑な伝送系統をもつことからみても，問題が単純ではないことがうかがわれる．特に色度信号自身の伝

送規準，たとえば伝送すべき所要周波数帯域幅などについても多少不明確な点を残している．現在色度信号の伝送系統で最も大きなひずみを発生している所は，恐らく同期検波部であり，基準位相を与えるバースト信号によって injection carrier を制御する際に生ずる位相誤差が色度信号のひずみの大部分を決定している．

最後に色度信号に明度信号が及ぼす影響について考えてみよう．この影響は特に明度信号が急激な変化をしたときにいちじるしく，その発生機構は概括的にはつぎのように考えることができよう．すなわち明度信号が急激な変化をするためには，高い周波数の振動成分が必要である．この振動成分の一部が搬送波から 3.58 Mc/s はなれた副搬送波付近に分布すると，色度信号分離用の帯域増幅器を通過して同期検波されてしまう．換言すると，本来明度信号の側波帯成分であるべき振動成分があたかも副搬送波の側波帯の一部であるかのように誤認されてしまうわけである．このような機構で発生する色度信号のひずみについてはすでに研究報告が行なわれている²⁾．しかしこの研究では中間周波増幅回路の特性を 3 次の振幅平坦型に限定しており，また色度信号分離用の帯域増幅器の演ずる役割について明確な検討が行なわれていないように思われる．このような点を補足するために行なった筆者らの計算結果の概要を述べ，この種の漏話現象についてあらためて注意を喚起しておきたい．

解析の対象と計算方法

NTSC 方式に準拠するカラーテレビジョン受像機について，映像信号が伝送される諸回路をブロック図で示すと第 1 図のようになる．第 1 図において受信アンテナからチューナに導びかれた映像信号は増幅され，周波数変

“Cross-talk in color television receiver” by Genya Kishi, Hirotoishi Ishikawa & Kyoichi Nakazawa

換を受けた後、中間周波増幅回路を通過して、検波回路によって包絡線が検出される。このようにして復調された映像信号は第1映像増幅器を通過するとき二つの部分に分離され、明度信号は遅延回路を経て第2映像増幅器に送られる。一方第1映像増幅器から3.58 Mc/sの副搬送波を平衡変調している色度信号が帯域増幅器によって取出される。この色度信号はカラーバースト信号から作られた injected carrier によって同期検波される。このようにして得られた明度および色度信号は一般には変換回路に加えられ、受像管上に画面を再生するために必要な変換や増幅をうける。

このように映像信号が通過する伝送系統はかなり複雑であり、各部分回路においてそれぞれ発生機構を異にする伝送ひずみが生じ、これがカラーテレビジョンの画質低下の原因となっている。本文においては、これらの伝送ひずみのうち、特に検波回路の復調作用によって生ずる色度信号への漏話現象について考察することにしよう。

明度信号から色度信号への漏話現象を考察する場合にまず注意しなければならない点は、この両信号が映像中間周波増幅回路によって非対称測波帯伝送をうけるという事実である。このため映像中間周波増幅回路の出力端、すなわち第1図中のB点においては、明度信号および色度信号はそれぞれ同相成分の他に一般には直交成分を伴うことになる。いまB点における明度信号波形を $f_1(t)$ とし、同相成分 $R_1(t)$ および直交成分 $S_1(t)$ を用いて

$$f_1(t) = R_1(t) \cos(\omega_1 t + \theta_1) - S_1(t) \sin(\omega_1 t + \theta_1) \quad (1)$$

と書くことにしよう。もちろん ω_1 は映像搬送波の角周波数である。色度信号波形 $f_2(t)$ についても同様な表示方法が可能である。すなわち

$$f_2(t) = R_2(t) \cos(\omega_2 t + \theta_2) - S_2(t) \sin(\omega_2 t + \theta_2) \quad (2)$$

が得られる。

ここで検波回路には $f_1(t) + f_2(t)$ が入力信号として印加されることとなる。もちろん通常受像機の検波回路は包絡線検波方式であるから、理想的に復調が行なわれた場合には $f_1(t) + f_2(t)$ の包絡線が検波出力として得られることとなる。普通の状態では色度信号より明度信号の方が大振幅であると考えてよいから、明度信号を基準

として $f_1(t) + f_2(t)$ の包絡線波形 $E(t)$ を求めてみると

$$E(t) = \{E_1^2(t) + E_2^2(t) + 2E_1(t)E_2(t)\cos\gamma(t)\}^{1/2} \quad (3)$$

$$E_1(t) = \{R_1^2(t) + S_1^2(t)\}^{1/2}$$

$$E_2(t) = \{R_2^2(t) + S_2^2(t)\}^{1/2}$$

$$\gamma(t) = -\omega_d t + \theta_2 - \theta_1 + \tan^{-1} \frac{S_2(t)}{R_2(t)} - \tan^{-1} \frac{S_1(t)}{R_1(t)} \quad (4)$$

のように書くことができる。ただし

$$\omega_d = \omega_1 - \omega_2 \quad (5)$$

は映像搬送波と副搬送波の角周波数差で、ほぼ $2\pi \times 3.58$ Mc/s である。

ここで (3) 式を変形して

$$E = E_1(1 + \eta^2 + 2\eta \cos \gamma)^{1/2} \quad (6)$$

$$\eta = E_2/E_1 \quad (7)$$

とおく。(6) 式に対しては $|\eta| < 1$ の下でつぎのような展開式が知られている³⁾。すなわち

$$(1 + \eta^2 + 2\eta \cos \gamma)^{1/2} = a_0 + a_1 \cos \gamma + a_2 \cos 2\gamma + \dots \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= 1 + \frac{\eta^2}{4} + \frac{\eta^4}{64} + \frac{\eta^6}{256} + \frac{25\eta^8}{16384} + \dots \\ a_1 &= \eta \left(1 - \frac{\eta^2}{8} - \frac{\eta^4}{64} - \frac{5\eta^6}{1024} - \frac{35\eta^8}{16384} - \dots \right) \\ a_2 &= -\frac{\eta^2}{4} \left(1 - \frac{\eta^2}{4} - \frac{5\eta^4}{128} - \frac{7\eta^6}{512} - \frac{105\eta^8}{16384} - \dots \right) \\ &\dots \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

である。

(8) 式を利用すると色度信号への明度信号の漏話を求めることができる。すなわち (8) 式右辺第2項は副搬送波3.58 Mc/sを変調した信号であり、この項は第1図の色度信号分離用帯域増幅器を通過し得ることとなる。

このように考えるとこの帯域増幅器の入力信号 $f_3(t)$ は

$$f_3(t) = E_1 a_1 \cos \gamma = a_1 E_1 \cos(-\omega_d t + \theta_2 - \theta_1 + \phi_2 - \phi_1) \quad (10)$$

としてよい。(10) 式を変形すると

$$\begin{aligned} f_3(t) &= a_1 E_1 \{ \cos \phi_1 \cos(\omega_d t + \theta_1 - \theta_2 - \phi_2) \\ &\quad - \sin \phi_1 \sin(\omega_d t + \theta_1 - \theta_2 - \phi_2) \} \\ &= a_1 R_1 \cos(\omega_d t + \theta_1 - \theta_2 - \phi_2) \\ &\quad - a_1 S_1 \sin(\omega_d t + \theta_1 - \theta_2 - \phi_2) \end{aligned} \quad (11)$$

となる。(11) 式第1項および第2項はそれぞれ色度信号としての同相および直交成分を示しているわけであ

り、これが明度信号の同相成分 $R_1(t)$ および直交成分 $S_1(t)$ に関係することとなる。したがって当然(11)式で表わされる波形を入力信号としたときの帯域増幅器出力信号も明度信号に關係して定まることとなり、

第1図 映像信号の伝送系統

漏話現象が生ずることとなる。一方明度信号の同相成分および直交成分は映像中間周波増幅回路の特性によって大きな影響を受けることはよく知られている¹⁾。したがってこの漏話現象も当然中間周波増幅回路の特性によって変化することになる。

これらの事情を明確にするためにつぎのような条件の下で数値計算を行なってみた。すなわち

(i) 中間周波増幅回路の特性：振幅平坦型回路（3次～5次）および遅延平坦型回路（3次～5次）の2種6通り。

(ii) 明度信号：中間周波増幅回路入力端（第1図A点）において第2図に示すような跳躍を示す波形

(iii) 色度信号：中間周波増幅回路入力端において一定不変の振幅

(iv) 明度信号と色度信号の大きさ：検波回路入力端（第1図B点）において、明度信号の $t \rightarrow \infty$ における定常振幅と色度信号の定振幅の比が 1 : 0.23

このような仮定の下でまず検波回路出力端（第1図C点）における色度信号への漏話を算出した。計算はつぎの順序で行なった。

(i) (1) 式の $R_1(t) S_1(t)$ を求める¹⁾。ただしこのとき $R_1(t)$ の定常値を1となるようにしておく。

(ii) (4) 式により $E_1(t)$ を求める。

(iii) $E_2=0.23$ として (7) 式から η を求める

(iv) (9) 式により a_1 を求める。

(v) $a_1 R_1, a_1 S_1$ を求める。

振幅平坦型回路における漏話

映像中間周波増幅回路の特性を振幅平坦型 (Butterworth 型とも呼ばれる) にし、その 6 dB—3 dB の帯域幅を 3 Mc/s にしておく¹⁾。このような状態で映像搬送波周波数を 6 dB 減衰点に一致させたときの漏話波形の同相成分 $a_1 R_1$ および直交成分 $a_1 S_1$ を求めてみた。この結果を図示したものが第3～5図である。

第3～5図において、同相成分 $a_1 R_1$ の $t=0$ における値と $t \rightarrow \infty$ における値とがわずかに異なっている。この現象は包絡線検波の非直線性に起因するものであり、 $t=0$ における値は (3) 式で $E_1=0.3$ 、 $E_2=0.23$ としたときの基本波成分で、また $t \rightarrow \infty$ における値は (3)

第2図 明度信号の跳躍

第3図 振幅平坦型回路 ($n=3$) における色度信号への漏話

式で $E_1=1$ 、 $E_2=0.23$ としたときの基本波成分でそれぞれ決定される。もちろんこの両者は等しくない。第3～5図から明らかなように振幅平坦型回路における漏話の直交成分 $a_1 S_1$ の大きさは同相成分 $a_1 R_1$ の定常値の 70～90 %程度に達する。また特に直交成分 $a_1 S_1$ 持続時間がかなり長いことも注意を要する点であろう。

もちろんこの波形は第1図C点における色度信号成分を示したもので、実際にはこの波形は第1映像増幅回路である程度忠実に増幅され、第1図C'点に達し、ここで色度信号分離用帯域増幅回路を通過する。このため第1図D点における同相および直交成分は帯域増幅器によってかなり変化をうけることになる。この影響について

第4図 振幅平坦型回路 ($n=4$) における色度信号への漏話

第5図 振幅平坦型回路 ($n=5$) における色度信号への漏話

は後節において見られたい。

遅延平坦型回路における漏話

映像中間周波増幅回路の特性を遅延平坦型にし、その 6 dB—3 dB の帯域幅を 3 Mc/s にしておく¹⁾。このような状態で映像搬送波周波数を 6 dB 減衰点に一致させたとき、前節で述べた漏話波形の同相成分 $a_1 R_1$ および直交成分 $a_1 S_1$ を算出した。この結果を図示したものが第 6～8 図である。

第 6～8 図において、同相成分 $a_1 R_1$ の $t=0$ における値と $t \rightarrow \infty$ における値との差異が生ずる理由は振幅平坦型の場合とまったく同様である。第 6～8 図から明らかなように、遅延平坦型回路における漏話の直交成分は同相成分の定常振幅の 65% 程度であり、振幅平坦型回路の場合と比較するとやや小さい。もちろん図からも明らかなように直交成分 $a_1 S_1$ の持続時間は大幅に短縮されて同様の傾向が同相成分 $a_1 R_1$ についても認められる。したがって遅延平坦型回路における色度信号への漏話現象は振幅平坦型回路の場合に比してより高い周波数成分を含んだ、より早い現象であることがわかる。この点は色度信号分離用帯域増幅器の影響をも考慮すると重要な差異である。すなわち帯域増幅器が ± 1 Mc/s もしくはそれ以下の通過幅域をもっている場合には、たかだ

第 6 図 遅延平坦型回路 ($n=3$) における色度信号への漏話

第 7 図 遅延平坦型回路 ($n=4$) における色度信号への漏話

第 8 図 遅延平坦型回路 ($n=5$) における色度信号への漏話

か 0.4 μ sec 以内で終了する過渡的な振幅変化を出力側に忠実に伝送することは困難であり、遅延平坦型回路における漏話信号はかなり帯域増幅器で吸収されてしまう。これに対して振幅平坦型回路における漏話は持続時間がより長く、したがって低い周波数成分をより豊富に含んでいる。このため同一の帯域増幅器で減衰をうける割合はより少ないことが予想される。

なお以上に述べた比較は振幅平坦型回路と遅延平坦型回路とは同一の 6 dB—3 dB 通過帯域幅をもつという条件で行なったものである。しかしこの条件の下では遅延平坦型回路が通過帯域外でより低い減衰量を示すことになる。この点を考慮して、逆に漏話信号が直観的にほぼ同じ持続時間となるように遅延平坦型回路の帯域幅を狭くしてみよう。この一例として 5 次の遅延平坦型回路の 6 dB—3 dB 通過帯域幅を 5 次の振幅平坦型回路の帯域幅の 1/1.78 にとってみよう。この場合の漏話信号を図示したものが第 9 図である。第 9 図から明らかなように両者の持続時間はほぼ同じ程度であるが、遅延平坦型の漏話の大きさが小さく、同相成分において約 50%，直交成分において約 70% である。一方このときの両回路の振幅特性は文献 (1) 第 10 図に示すとおりであり、ほとんどすべての周波数において遅延平坦型回路の方が

第 9 図 遅延平坦型と振幅平坦型の 3 dB—6 dB 帯域幅を 1:1.78 としたときの色度信号への漏話の比較

第10図 色度信号分離用帯域増幅器を cosine square 特性 (3 dB 帯域を ± 0.5 Mc/s) としたとき、第9図の入力信号に対する出力波形

大きい減衰を示している。

色度信号分離用帯域増幅器の影響

上述したように検波回路の出力端で見られる漏話信号は第1映像増幅器を通して色度信号分離用帯域増幅器に加えられる。このとき帯域増幅器入力信号の変化は帯域増幅器の帯域幅 (通常 ± 1 Mc/s もしくはそれ以下) にくらべて急峻である。このため帯域増幅器による平均化が起り、出力波形にくらべてより平滑化されるとともに、持続時間が長くなっていく。もちろんこの具体的な効果は帯域増幅器の伝送関数を指定しないと求めることはできない。しかし入力信号スペクトラムが帯域増幅器の通過帯域幅に比してある程度広いことはたしかであるから、帯域増幅器の選択度をあまり急峻にしたり、位相特性の非直線性が顕著になったりすると、出力信号でリングングが生じたりして持続時間が長くなる。このような点から帯域増幅器の特性としては過渡現象の良好なもの、たとえば Gauss 特性や cosine-square 特性などに近いものが望ましいことになる。また漏話出力を小さくするためには帯域増幅器の通過帯域幅をあまり広くすることは得策ではない。

このような諸点を考慮して、ここでは cosine-square

特性 (位相特性は零) の帯域増幅器を仮定し、この増幅器の 3 dB 帯域幅を $3.58 \text{ Mc/s} \pm 0.5 \text{ Mc/s}$ にとった。このような特性をもつ色度信号分離用帯域増幅器に対して第9図所載の同相成分および直交成分が印加されたとき、帯域増幅器出力信号を求めた。なお計算に際しては、入力信号の帯域が制限されているものとして、標本化定理を応用した⁴⁾。この結果を図示したものが第10図である。第10図と第9図とを比較すると明らかなように、漏話信号の大きさは帯域増幅器の影響で約半分、持続時間は約2倍となっている。このように帯域増幅器の出力端で考えると、明度信号の最大跳躍に対する漏話信号の大きさとしては同相成分の定常値 0.23 を規準として、同相成分で約 20% 程度、直交成分で約 40% 程度を考えておかねばならないということになる。

む す び

カラーテレビジョン受像機で明度信号から色度信号への漏話が生じ、特に明度信号が急激に明るさを変えたときに過渡的な漏話が発生する。この現象は現在の段階ではあるいは量的にあまり問題にならないかも知れないが、現在のカラーテレビジョンの画質改善が進むにつれて当然検討しなければならない事項となるであろう。小文はこの過渡的な漏話が実際にどの程度の量でどのような時間的波形を示すものであるかについて検討したものである。カラーテレビジョン受像機的设计その他の面で御参考になれば幸いである。(昭和36年12月14日受付)

【参 考 文 献】

- 1) 岸：残留側波方式による映像信号のひずみ，TV誌15, 552—557, 1961—9
- 2) Murakami, T. & Sonnenfeldt, R. W.: Transient cross modulation in the detection of asymmetric side-band signals, RCA Rev. 19, 455—472, 1959—9
- 3) Corrington, M. S.: Frequency Modulation Distortion Caused by common and adjacent channel interference, RCA Rev. 7, 552—560, 1946—12
- 4) 岸：通信伝送，コロナ社，(1961) 第5章

テレビジョン学会雑誌編集委員

編集長	鈴木	木村	桂	二	N	H	K	委	員	中	野	道	夫	電	機	大
幹事	新高	井俊	清俊	治彦	東	京	放	送	員	野	口	嘉	彦	N	H	K
"	"	三木	義昌	昌友	N	H	K	"	"	樋	渡	二	達	N	H	K
"	"	十束	康	弥	日	大	研	"	"	藤	野	英	男	通	研	
"	"	三宅	郁	輝	通	H	K	"	"	牧	丸	太	郎	N	H	K
委員	"	山宮	義	夫	N	H	K	"	"	村	橋	秀	雄	ビ	ク	タ
"	"	吉永	庸	東	東	芝	"	"	"	山	田	達	也	東	芝	
"	"	荒木	辰	雄	日本	レ	ビ	"	"	油	井	重	樹	日	立	
"	"	池田	敏	夫	東	大	"	"	"	吉	田	順	作	N	H	K
"	"	宇都	恒	義	早	大	"	地方委員	"	木	村	生	朝	日	放	送
"	"	大島	啓	郎	日	電	"	"	"	佐	藤	利	三	東	北	大
"	"	小原	秀	郎	電	技	"	"	"	杉	多	重	雄	三	菱	
"	"	黒田	重	雄	電	技	"	"	"	宮	脇	一	男	阪	大	