TV 放送機における Differential Gain

東京芝浦電気株式会社 伊 藤 健 一

白黒用 TV 放送機をカラー用に使用する場合、あるいはカラー用放送機においてその特性を論ずる場合、問題となる特性すなわち「放送機のカラー特性」の主なるものとして (1) Differential Gain (2) Differential Phase (3) Envelope Delay の三つを考えることができる。本文はこれら三つのうち特に Differential Gain (以下簡単に Diff. Gain と略す) について考えたものであって、残留側波帯方式によるため本質的に Diff. Gain 特性が悪くなることを論じたものである。

Diff. Gain の測定法

Diff. Gain の測定法については、すでに詳細を御承知のことと思うが説明を進めていく上からも必要なことなので、ここにその概要を述べよう。

すなわち普通直線性試験器 (Linearity Checker) と呼ばれる装置を用い、第 1 図のような階段波形に 3.58Mc の副搬送波成分 (Subcarrier) をのせ、第 2 図のような波形を作り、これを放送機の変調器入力に導いて放送機を規定の変調度まで変調し、その時の被変調波を検波するのである。このようにして得られる検波波形は多少のひずみを受けてはいるが、大体第 2 図の波形に近い副搬送波を含んだ階段波形になって出てくるのである。以下この検波出力を普通行なわれている Diff. Gain の測定法に従って測定すればよいのであって、適当なフィルタを用いて低周波成分を取り去り、副搬送波のみを取り出してその大きさを測定することとなるのである。第 3 図にその算出方法を記載した。また第 4 図に放送機出力を検波して得られた第 2 図相当の波形より低周波成分を

除去した波形、すなわち第 3 図に相当する波形の実例を示した。

また参考までに以上述べてきたところをまとめ、第 5 図として放送機における Diff. Gain の測定回路を示しておこう。

残留側波帯との関係

前節までに述べたことを振り返ってみると「普通の映像機器における Diff. Gain の測定方法となんら変わりが無いではないか？」との疑問が出てくるかも知れない。一応無理からぬ疑問ではあるが、第 5 図に示された系統図と普通スタジオなどで使用される映像機器の場合とを比較してみると、その中間に電波が介在しているかどうかの違いがあることが判明するであろう。この電波が途中に入っていることこそが本文の論じようとするところなのであって、ここに多少普通の映像機器とは違ってくる原因があるのである。周知のように TV 電波は映像用としては振幅変調方式を採用してはいるが、帯域上

第 3 図 Diff. Gain
の計算式

$$\text{Diff. gain} = \frac{Y-X}{Y} \times 100(\%)$$

第 4 図 放送機
出力を検波して
得られた第 3 図に
相当する波形

第 1 図 同期信号を有する 第 2 図 第 1 図の階段波形
階段波形 に 3.58Mc を重畳した波形

“Effect of Vestigial Side Band Transmission on Differential Gain characteristics” by Kenichi Ito.

筆者紹介

い とう けん いち
伊 藤 健 一

昭和 20 年 9 月東京大学電気工学科卒業後、東京芝浦電気に入社。中波、ST リンク、テレビ放送機の設計研究に従事し今日に至る。現在電子機器技術部放送機課主任。正会員

第5図 Diff. Gain の測定回路

の問題よりしていわゆる「残留側波帯方式」を用いているのである(第6図参照)。特にTVカラー放送においては、3.58Mcの副搬送波を伝達せねばならないので、したがって映像搬送波は当然3.58Mcを以て振幅変調を受けることと成ってくるわけである。そうして副搬送波たる3.58Mcを以て映像搬送波を変調すると振幅変調であるゆえ上下にそれぞれ3.58Mc離れた所に側波帯を生ずるのであるが、残留側波帯方式であるためここにちょっとやっかいな問題が発生するのである。すなわち上側波帯は、そのまま空中に発射されるが、下側波帯は残留側波帯フィルタ(V.S.B.Filter)により切り落とされ、空中に発射されないのである。このことを表現方法を変えてみると、3.58Mcについては上側波帯しか伝送されぬ単側波帯通信方式(S.S.B方式)(Single Side Band System)と考えてよいわけであって、これを普通に検波したのでは、ひずみが発生するではないかと当然予想されるところなのである。そうしてこのひずみが第2高調波とか第3高調波とかいうような普通の意味におけるひずみならばすでにいろいろ論ぜられているので、いまさらここに述べる必要もないのであるが、非常にわずかな直線性の曲り方を論じているDiff. Gainに対して果し

(1) 放送機振幅周波数特性

(2) 受信機(復調器)振幅特性

第6図 残留側波帯方式

第8図 副搬送波に対するベクトル図

復調器で検波する場合のベクトル図(左)
直線検波器で検波する場合のベクトル図(右) ➡

第7図 放送機を変調した場合の波形

てどんな影響があるであろうか。以下に少し数式を用いて計算してみよう。

復調器で検波する場合

第7図において搬送波振幅零の点より**b**だけ離れた階段上に振幅**a**の副搬送波が重畳されているものとする。この第7図のような波形で放送機を変調した場合を考えてみると、前節で述べたように3.58Mcに対しては、上側波帯しか電波とし発射されぬのであるから、大きさの**a/2**の上側波帯を考えればよいこととなる。一方これを第6図(2)のような特性を持っている復調器で検波するものとする、低周波成分も同時に半分となるからベクトルを以て表わすと第8図(左)のようになるのである。

幾何学的に計算を進めると

$$A_d^2 = (b/2 + a/2 \cos \theta)^2 + (a/2 \sin \theta)^2 = 1/4 (a^2 + b^2 + 2ab \cos \theta) \text{ によって}$$

$$A_d = b/2 \sqrt{1 + h^2 + 2h \cos \theta} \quad (1)$$

$A_d^2 = \left(\frac{b}{2} + \frac{a}{2} \cos \theta\right)^2 + \left(\frac{a}{2} \sin \theta\right)^2$	$A_L^2 = \left(b + \frac{a}{2} \cos \theta\right)^2 + \left(\frac{a}{2} \sin \theta\right)^2$
$A_d = \frac{b}{2} \sqrt{1 + h^2 + 2h \cos \theta}$ 但し $h = \frac{a}{b}$	$A_L = b \sqrt{1 + g^2 + 2g \cos \theta}$ 但し $g = \frac{a}{2b}$
$A_d = \frac{b}{2} (a_{0d} + m_d \cos \theta)$	$A_L = b (a_{0L} + m_L \cos \theta)$

但し $h=a/b$ となる。

ここで純粋な AM であれば振幅 A_a は、正弦的に変化するわけであるが、(1)式はそうは変化しないのである。すなわちひずみを発生するのである。事実 h が小さければ、すなわち a が小さければ

$A_a = b/2 \sqrt{1+h^2+2h\cos\theta} \div b/2 \sqrt{1+2h\cos\theta} \div b/2 (1+h\cos\theta)$ となり、ひずみがないということになるのであるが、 h が大きいと話が簡単にはいかななくなってくるのである。

さて、ここで(1)式のひずみを計算しようとするのであるが、それには(1)式を Fourier 級数に展開すればよいことはもちろんである。

いま、 A_a を Fourier 級数に展開したとき

$$A_a = b/2 (a_{0a} + m_a \cos\theta + \dots) \quad (2)$$

で表わされるものとする。ここで a_{0a} 直流分 m_a が基本波成分を表わすことはもちろんである。まず直流分 a_{0a} は

$$\begin{aligned} a_{0a} &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \sqrt{1+h^2+2h\cos\theta} d\theta \\ &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{1+h^2+2h\cos\theta} d\theta \end{aligned}$$

ここで $k^2 = \frac{4h}{(1+h)^2}$ とすれば $a_{0a} = \frac{2(1+h)}{\pi} \int_0^{\pi/2} \sqrt{1-k^2\sin^2\phi} d\phi$ となる。 $\int_0^{\pi/2} \sqrt{1-k^2\sin^2\phi} d\phi$ はいわゆる完全楕円積分というものであって通常 E で表わされるから、

$$a_{0a} = \frac{2(1+h)}{\pi} E \quad (3)$$

となり表を用いれば計算できる。次に基本波成分 m_a について考えよう。

A_a は(1)式によると $\theta=0$ につき対称である故、 $\cos$ 成分のみを考えればよいので

$$m_a = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \sqrt{1+h^2+2h\cos\theta} \cdot \cos\theta d\theta \quad (4)$$

この(4)式を計算すると

$$\begin{aligned} m_a &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{1+h^2+2h\cos\theta} \cdot \cos\theta d\theta \\ &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} \sqrt{1+h^2+2h\cos 2\phi} \cdot \cos 2\phi d\phi \\ &= \frac{2}{\pi} (1+h) \int_0^{\pi/2} \sqrt{1-k^2\sin^2\phi} (1-\sin^2\phi) d\phi \\ &= \frac{2}{\pi} (1+h) [E - 2 \int_0^{\pi/2} \sqrt{1-k^2\sin^2\phi} \cdot \sin^2\phi d\phi] \quad (5) \end{aligned}$$

を得る。但し E は完全楕円積分

さて、 $\int_0^{\pi/2} \sqrt{1-k^2\sin^2\phi} \cdot \sin^2\phi d\phi$ を計算するには、級数に展開すればよいのであるが、それより(3)式を Simpson の 8/3 法則にでもよって数値積分した方が早そうだという結論に到達し、積分した結果が第1表になっ

第1表 復調器ならびに直線検波器で検波した時の Diff. Gain

	a_{0l}	m_l	$\frac{m_l}{\left(\frac{a}{b}\right)} = 1-D$	$m_{1l} = \frac{m_l}{a_{0l}}$	$D(\%)$	
$\frac{a}{b}$	a_{0d}	m_d	$\frac{m_d}{\left(\frac{a}{b}\right)} = 1-D$	$m_{1d} = \frac{m_d}{a_{0d}}$	$D(\%)$	$\frac{a}{b}$
0.00	1.000	0.0000	1.0000	0.0000	0.00	0.00
0.05	1.001	0.0500	0.9999	0.0500	0.01	0.10
0.10	1.003	0.0999	0.9987	0.0996	0.12	0.20
0.15	1.006	0.1496	0.9972	0.1487	0.28	0.30
0.20	1.010	0.1990	0.9950	0.1970	0.50	0.40
0.25	1.016	0.2480	0.9922	0.2442	0.78	0.50
0.30	1.023	0.2965	0.9883	0.2899	1.17	0.60
0.35	1.031	0.3445	0.9843	0.3342	1.57	0.70
0.40	1.040	0.3918	0.9796	0.3766	2.04	0.80
0.45	1.051	0.4383	0.9740	0.4169	2.60	0.90
0.50	1.064	0.4835	0.9671	0.4547	3.29	1.00
0.55	1.077	0.5306	0.9647	0.4926	3.53	↑ 直線検波器の値は用いる値を用いる
0.60	1.092	0.5716	0.9527	0.5233	4.73	
0.65	1.109	0.6135	0.9439	0.5533	5.61	
0.70	1.127	0.6538	0.9340	0.5802	6.60	
0.75	1.146	0.6925	0.9233	0.6040	7.67	
0.80	1.168	0.7290	0.9112	0.6242	8.88	
0.85	1.191	0.7632	0.8979	0.6408	10.2	
0.90	1.216	0.7947	0.8830	0.6535	11.7	
0.95	1.243	0.8233	0.8666	0.6630	11.3	
1.00	1.273	0.8488	0.8488	0.6662	15.1	

復調器により検波した時は (a/b) の値は左端の列の値を使用のこと

表の用い方：(1)復調器を用い $a=90V$ $b=150V$ の時

$a/b=0.6$ より $a_{0d}=1.092$ $m_d=0.5716$

(2)直線検波器を用いた時 $a=90V$ $b=150V$ ならば

$a_{0l}=1.023$ $m_l=0.2965$

た。この計算結果は論文⁽¹⁾に記載されているものと同じであるが、Diff. Gain を計算するため、より詳細な数値を必要としたので計算をなおした次第である。なお文献⁽¹⁾のカーブでは

$$m_{1d} = m_d/a_{0d} \quad (6)$$

なる関係の成立する m_{1d} なる量を以てカーブを画いている点、注意する必要がある。一般に TV 放送機の周波数帯域は、せいぜい搬送周波数より高い方の周波数に対しては、4~5Mc 程度しか取ってないため 3.58Mc の第2高調波は (3.58Mc×2=7.16Mc) となって存在し得ないわけであって、したがって第2高調波以降の高調波は計算する必要がないのである。

直線検波器で検波する場合

前節においては、復調器すなわち第6図(2)のような特性を有するもので検波した場合について考えたが、直線検波器を用いる場合には、一体どのような結果になるであろうか。第4節の場合には、3.58Mc の副搬送波の振幅 a も搬送波の振幅 b も共にその大きさ半分になりベクトルの表わすと第8図(左)のようになったが、直線検波器の場合には、残留側波帯方式の特色によって 3.58Mc の副搬送波の振幅 a は、半分の $a/2$ となるが搬

第9図 復調器で検波した場合の各種数値

第10図 直線検波器で検波した場合の各種数値

送波の振幅 b はそのままであるので、これをベクトルの的に考えると第8図(右)のようになるのである。復調器の場合と同様に計算すると

$$A^2 I = (b + a/2 \cos \theta)^2 + (a/2 \sin \theta)^2$$

より

$$AI = b \sqrt{1 + g^2 + 2g \cos \theta} \quad (7)$$

但し $g = a/2b$

なる関係を得る。この AI を前の A_a と同じように Fourier 級数に展開すれば

よいのであるが、(7)式と(1)式とを比較すると、式の型は同じであって g と h の規定の使い方が違うだけである。

よって前と同じ方式により

$$AI = b(a_0 I + m_1 \cos \theta + \dots) \quad (8)$$

で表わし計算することができる。計算した結果をまとめて第1表に示す。またこれらを図に画いて第9図、第10図に示す。

第2表 各種測定法ならびに検波方法による場合のTV放送機の Diff. Gain の値

検波器		復調器 (Demodulator)		直線検波器 (Linear Detector)	
変調波形		A方式	B方式	A方式	B方式
0番目	a	6.25	5.68	6.25	5.68
	b	75	75	75	75
	a/b	0.0833	0.07573	0.0833	0.07573
	m_d 又は m_l	0.0833	0.07573	0.0417	0.03796
	Z_1	3.12	2.839	3.12	2.839
10番目	a	6.25	5.68	6.25	5.68
	b	12.5	18.2	12.5	18.2
	a/b	0.5000	0.3121	0.5000	0.3121
	m_d 又は m_l	0.4835	0.3081	0.2480	0.1556
	Z_2	3.02	2.804	3.10	2.832
Diff. Gain = $\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1}$		3.2%	1.0%	0.6%	0.3%

Z_1 および Z_2 は0番目および10番目の階段につき復調器の時は $b/2 m_d$ 直線検波器の際には $b m_l$ の値を示す。

第11図 TV放送機の Diff. Gain 測定用各種波形

Diff. Gain の計算

現在、放送機の Diff. Gain を測定する場合いかなる階段波形を用いるべきであるか明確でないので、ここでは現在実用に供せられている数種の波形について論じてみよう(第11図参照)。

Diff. Gain を計算する際、前節で大体判明したことであるが、0番目すなわち pedestal の位置に入った副搬送波と、第10番目、すなわち一番搬送波振幅零に近い階段に入った副搬送波の二つについて考えればよく、1番目より9番目まではそれぞれその中間に属することが推察される。以下 Diff. Gain の計算に当っては、0番目と10番目に着目し計算した結果を表にまとめて第2表とした。

この第2表よりわかるように放送機自体の特性が理想的であって、Diff. Gain が零であったとしても残留側波帯方式により必然的に Diff. Gain が劣化するのである。これは通信方式の根本に基因するものであって、どうしようもないものである。しかもこの Diff. Gain は、測定法ならびに検波方式により異なってくることもこの際あわせて銘記すべき事柄であろう。以下注意すべき点をあげてみよう。

(1) 変調度の深いほど急激に Diff. Gain が劣化する。例えば A 方式では Diff. Gain が復調器で 3.2% であって B 方式に比較して相当悪い値を得ているが、もし仮りに A 方式に第 11 番目の階段があるとし、そこまで変調すると第 11 図を参照して第 11 番目の階段に対しては、 $b=a=6.25$ より $a/b=1.0$ となり、復調器で検波した時には、 $m_a=0.8488$ から $Z_2=2.65$ を得

$$\text{Diff. Gain} = (3.12 - 2.65) / 3.12 = 15.1\%$$

となり、直線検波器で検波すると $m_i=0.4835$ から $Z_1=3.02$ となり、 $\text{Diff. Gain} = (3.12 - 3.02) / 3.12 = 3.2\%$ となる。すなわち復調器の場合の 15.1% などという値はきわめて悪いものであり実際にはあり得ないが、要するに変調度により Diff. Gain が大幅に違ってくることを知るである。

(2) 復調器で測定すると直線検波器を用いる場合より悪い値を得る。一般に復調器は、直線検波器に比し使用真空管の数も相当多く、そのためか、なかなか直線性のよいものが得られないのが現状であり、事実数多くのデータを見ても直線検波器で測定した Diff. Gain の値の方がよい値を与えていることが多いのである。そしてただ無反省にやはり放送機の Diff. Gain は、直線検波器で測定しなければならないと割り切ってしまう場合が多いのである。しかしながらいままで述べてきたように残留側波帯方式による Diff. Gain の劣化ということが判明した現在、やはり放送機というものは、あくまで受像機を対象として考えるべきであり、そのためにはできる限り特性のよい復調器を用いて測定しなければならぬということができると思う。さらに一步進めて論ずれば、理想的な復調器を仮定し、それによって測定した Diff. Gain が零になるようにあらかじめ放送機自身において残留側波帯通信方式による Diff. Gain の劣化分だけ Pre-distortion を与えた電波を発射するようにしなければならないのではあるまいか。

第 12 図 Diff. Gain 簡易計算図表

第 3 表 Diff. Gain の計算

検波器	復調器		直線検波器	
変調波形	A 方式	B 方式	A 方式	B 方式
a	6.25	5.68	6.25	5.68
b	12.5	18.2	12.5	18.2
a/b	0.500	0.312	0.500	0.312
Diff. Gain	3.3%	1.2%	0.78%	0.3%

Diff. Gain の簡易計算図表

前節においては、各種変調波形に対する Diff. Gain を計算したわけであるが、いかにも厄介であり、実用的な方法と思えない。そこで前節のようにいちいち計算した値よりは多少悪い値を示すが、殆んど実際問題として誤差がないといえる簡易な計算図表を作り第 12 図として示した。

本図表は第 1 表によって a/b を横軸に D を縦軸にして曲線としたものであって、理論的には 0 番目の階段の b が非常に大きいと仮定し、0 番目の副搬送波振幅 a が不変であるものとして計算されたものである。この表を用い前節の Diff. Gain を計算すると次のようになり、この第 12 図で十分実用に差し支えないことを表わしている。

む す び

以上 TV 放送機における Diff. Gain について論じてきたが、要約すると残留側波帯方式にもとづく Diff. Gain の劣化という本質的な問題があるため、普通の映像機器の場合と違った見方をしなければならないということになるのである。しかしながら、測定法そのものを工夫しこの残留側波帯による影響をある程度まで避けることもできるのであって、それには階段の数を従来行なわれている 10 階段より増したり、あるいは副搬送波の振幅を小さくしたりすればよいのであるが、それらにも自ら限度というものがあり、スタジオ用映像機器とのデータの比較などの問題もあり、種々の制約があることはもちろんである。ごく近い将来カラーの標準方式が正式決定されようとしている現在、本文が TV 放送機のカラー特性の測定法の一助にならんことを希望しつつ筆をおくものである。

【参 考 文 献】

- (1) Fredendall and Morrison; Effect of Transmitter Characteristics on NTSC Color Television Signals, Proceeding of the IRE, Jan. 1954 p.104~105.

(昭和 35 年 3 月 29 日受付)