

TV 用 63.5 μsec 遅延回路

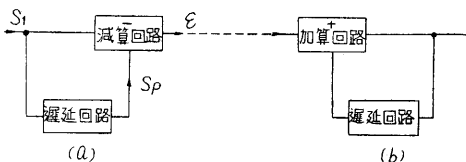
高 木 昇 ・ 尾 上 守 夫

1. は し が き

TV の普及に伴って、その中継回線の進展もめざましく、大阪のナイターを東京で見るときは日常の茶飯事となってきた。この TV の映像信号の伝送には少なくとも 4Mc の周波数帯域巾が必要である。この帯域巾は普通の電話ならば 1,000 回線以上も送れる広さであって、中継回線の周波数経済の上からみると、大変勿体ない気がする。いくら広くとも実際にそれだけ必要ならば仕方がないが、最近の情報理論によれば、冗長度を完全に省けば $\frac{1}{20}$ 程度の帯域巾で、しかも S/N 比を下げずに伝送できるといわれているからなおさらである。

もちろんこの理想値の実現はなかなか大変であるが、それにしても現在の TV 信号は冗長度の多いものであり、その圧縮が重要な課題となっていることはうなずける。

TV 信号の冗長度を省く方法はいろいろ提案されているが、その一つに直線性予測⁽¹⁾がある。



第 1 図 予測回路

これは送信側に第 1 図 (a) のような回路を設けて現在の入力信号 S_1 と遅延された過去の入力信号 S_p との差のみを伝送するようにしたもので、差信号 ϵ は原信号に比し著しく冗長度の少ないものになる。受信側ではちょうど逆の特性の (b) の回路を通して原信号を復原する。問題はここで使用している遅延回路の遅延時間である。

周知のように TV の画面は 525 本の水平な走査線からなり、一つの走査線は (解像力の点から) 約 500 箇の絵素からなっていると考えるとよい。大まかな言い方であるが、隣同志の絵素の明暗は最も相関が高く、従って第 1 図 (a) の回路で隣同志の絵素に対応する信号の差をとるのが冗長度圧縮の上に効果がある。水平方向に隣り合った絵素の信号の差をとるためには遅延時間は約 $\frac{1}{36} \mu\text{sec}$ でよい。これに反して垂直方向に隣り合った絵素の信号の差をとるには一走査線分すなわち約 63.5 μsec の遅延時間が必要である。前者は通常の電磁遅延回路で容易に実現できるが、後者は遅延時間が長いため超音波遅延回路

によらなければならない。超音波遅延回路は電気的信号を変換子によって一度弾性波 (超音波) に変え、適当な媒質内を一定距離伝播させた後にふたたび変換子によって電気的信号に直してとり出すものである。弾性波の速度は電磁波のそれに比べて著しく遅いから、上記のような長大な遅延も容易に実現できるわけである。

前おきが長くなったけれども本稿はこの 63.5 μsec 遅延に関する考察であって、変換子および媒質の選択、形状の選定、期待しうる特性の限度を明かにしたものである。

2. 媒質および変換子の選択

超音波遅延回路の主要構成要素は変換子と遅延媒質とであって使用目的に応じて適当なものを選ばなければならない。選択にあたっては遅延時間、同温度特性、挿入損失等を考慮しなければならないことはもちろんであるが、さらに現在の目的に対しては TV 信号を伝送するに足る充分広い帯域巾が要求されることおよび後述の往復多重反射を極力抑えねばならないことが第一義的に重要な点である。

(2・1) 媒質の選択

気体は超音波の減衰が大きいので使用し得る媒質は液体か固体である。帯域巾を広くするためには後の解析で明かになるように中心周波数を高くしなければならない。一方媒質の超音波に対する減衰は周波数とともに増大するから多くの媒質は使用に耐えず、現在のところ可能性のあるものは水銀と熔融石英とである。両者の性質は第 1 表に示してあるが、その比較を行うと、

第 1 表 遅延媒質の定数

振動姿態	単位面積の音響インピーダンス	遅延	温度係数	減衰	
	$10^5 \frac{\text{g}}{\text{sec} \cdot \text{cm}^2}$				μsec
水銀	縦波	19.8	6.90	3×10^{-4}	$7.0 \times 10^{-5} f^2 \text{Mc} (27^\circ \text{C})$
熔融石英	縦波	13.1	1.68	-1.08×10^{-4}	$1 \times 10^{-3} f \text{Mc}$
	横波	8.3	2.66	-1.08×10^{-4}	$1 \times 10^{-3} f \text{Mc}$

(1) 音響インピーダンスは水銀の方が高く、したがって周波数特性も若干優れている。

(2) 単位長当りの遅延時間は水銀の方がはるかに大きく、従って小型にできる。63.5 μsec に対して水銀ならば 9.2cm であるが、熔融石英では縦波に対して 37.8cm、

横波に対して 23.8cm となる。

(3) 温度係数は水銀の方が3倍大きい。遅延の温度係数は固体ならば速度の温度係数と線膨脹係数との差であり、液体ならばさらに容器の温度特性が関与してくる。しかし一般に後者は前者より一桁位小さいので、速度の温度係数と遅延の温度係数とは同一視してよい。

遅延時間が 2×10^{-9} 変動すると第1図(a)の回路で比較すべき相手が一線素分だけずれてしまう。熔融石英ならばこれは $\pm 20^\circ\text{C}$ の温度変化に相当するが、水銀では $\pm 7^\circ\text{C}$ 位になってしまって大分使いにくいことが判る。

(4) 超音波の単位遅延当りの減衰は、水銀では周波数の2乗に、石英では1乗に比例して増大する。したがって 14Mc 以下では水銀の方が、以上では石英の方が減衰が少ない。しかし 63.5 μsec の遅延に対しては、この減衰は多くとも数 db であって変換損失に比して無視できる。

(5) 水銀は縦波しか伝播しないので寄生反射が少ない。

(6) 水銀では変換子はただ接触させるだけでよいが、石英では変換子との接合が問題になる。

(7) 上述の項と関連するが、水銀では変換子の位置、傾きの調整が自由である。

(8) 石英では異常減衰、寄生反射の原因となるような内部の不均一、局部歪、傷、等ができるおそれがあるが、水銀ではその心配がない。

(9) 水銀は外気に汚染されやすい。

(10) 水銀では変換子の表面に気泡がたまらないようにする必要がある。

(11) 水銀では水密容器、膨脹弁等を要する。

(12) 水銀では変換子の両面の電極を短絡せず、しかも両面の液圧が等しくなるような構造が必要である。

(13) 水銀では音速度、したがって遅延が圧力、加速度等によって影響をうける。

(14) 水銀を使用すると、石英の縦波使用の場合に比べて約50%、横波使用の場合に比べて約140%重くなる。

以上の諸点を考慮すると接着、調整等製造上の問題が解決できれば石英の方が取扱い便利である。しかし特性は温度特性を除けばそう大きな差はない。

(2・2) 振動状態の選択 水銀では縦波しか伝播しないから選択の余地はないが、石英では横波も使用できる。この比較を行うと

(1) 前節(2)に示したように横波の方が小型にできる。

(2) 横波の方が媒質内の波長が短く、したがって境界の影響を受けにくい。

(3) 横波では送受変換子の偏波面を一致させる必要

がある。しかしそれによって S/N比は向上するといわれる。

(4) 変換部の周波数特性は横波の方が若干悪い。

(5) 接着は横波の方が難しい。

以上の諸点からこれも接着の問題さえ解決つけば、横波の方が有利である。

(2・3) 変換子の選択 変換子としては普通水晶、ADP、チタバリ等の厚味振動を利用している。変換能率をよくするためには、共振周波数を搬送波の中心周波数に合せて使う必要がある。従って現在の目的のように中心周波数が高いものでは、変換子の厚味は著しく薄くなり、機械的強度加工等の点から水晶によらざるを得ない。

水銀に対しては縦波を使うから X板になる。石英に対しては横波を使うから Y板または R₁板になる。R₁板の方が若干周波数特性もよく、往復多重反射も少ないが、変換損失は Y板より大きくなる。第2表は各変換子の定数を示したものである。

第2表 変換子の定数

		振動 状態	単位面積の音響 インピーダンス	周波数 定数	変換係数	容量係数
			10 ⁵ g/cm ² ·sec	Mc-cm	10 ⁻² S ² cm ² f _{MC} ² ($\frac{g}{\text{sec} \cdot \Omega}$)	f _{MC} Scm ² (PF)
水晶	X板	縦波	15.2	0.288	2.95	1.41
	Y板	横波	10.4	0.197	6.30	2.05
	R ₁ 板	横波	8.8	0.166	2.66	2.44

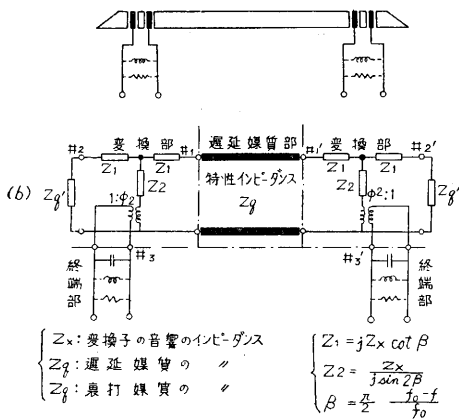
(2・4) 媒質の形状 遅延時間が長くなると水銀では折曲げ型、石英ではブロック型のように、超音波の伝播経路を2次元的に折曲げた形状のものが必要になるが、63.5 μsec 程度のものなら単なる棒状で充分である。

媒質の径が余り小さいと速度の分散による波形歪や寄生反射、減衰等が生じてくる。周波数が 10Mc 附近で媒質内波長は 10⁻²cm の程度であるから、直径 1cm 程度にとれば充分である。

また変換子の径も同程度にすれば指向性も充分鋭く(1°以下)、球面波に起因する減衰は考える必要はない。ただ送受変換子の面が正しく対向し、かつその軸が相互に一致するようにしなければならない。

3. 電気的特性

(3・1) 等価回路、装荷 電気的特性は第2図の等価回路によって論じるのが便利である、この場合変換子の両面がそれぞれ機械端子になりうるから電気端子と併せて全体として第2図(b)に示すように6端子となる。遅延媒質に接するのはと反対側の面を空気にさらしておくかあるいは他の媒質を裏打ちするかによってそれぞれ片面装荷、両面装荷という。前者の場合空気の音響インピーダンスは非常に小さいので2端子は事実上短絡されたことになる。両面装荷は片面装荷の場合に比して送受合算して 12db だけ挿入損失は増すけれども帯域巾は約 50% 広く



第 2 図 等価回路

換されるけれども、他は反射されて媒質内を逆行する。送端でも同様であるから、結局受端の出力は正規の遅延時間の信号以外に、3, 5, 7……倍の遅延時間の信号が重なって現われてくる。この往復多重反射の現象は現在の目的に対してはもちろん極力抑えねばならない。いまの場合遅延媒質内の減衰が小さいから、対策は送受端における反射率を下げるより仕方がない。片面装荷ではこの反射率は極めて 1 に近く、S/N 比は数 db 程度になってしまう。両面装荷では遅延媒質の側からきた進行波は共振伝送の形で裏打媒質内に透過してしまうのでこの点非常に有利である。実際は終端の電気回路の影響、周波数特性等も考慮する必要があるが、詳しい計算の示すところでは X 板と水銀または Y 板と石英の組合せに対しては 20db 以上、R₁ 板と石英の組合せに対しては 50db 以上の S/N 比が期待できる。

以上の諸点から両面装荷の採用は絶対に必要と思われる。

裏打媒質としては遅延媒質と音響インピーダンスが等しく、かつ一度進入してきた弾性波は反射しないような構造にしなければならない。簡単には遅延媒質と同一媒質を用い、端を斜に切落して無反射端にしたものでよい。

(3・2) 周波数特性 水晶は電気機械結合度が小さいから全体の特性を第 2 図 (b) に区分したように終端部、変換部、遅延媒質部に分けて別々に計算することができる。このうち媒質部の周波数特性は現在の場合無視して差支えない。

変換部の特性は変換子の共振周波数 f_0 を中心にして左右対称であり、主として変換子と媒質との音響インピーダンスの比 Z_q/Z_x によって形がきまる。中心周波数を基準にして表わすと両面装荷に対しては送受合算して

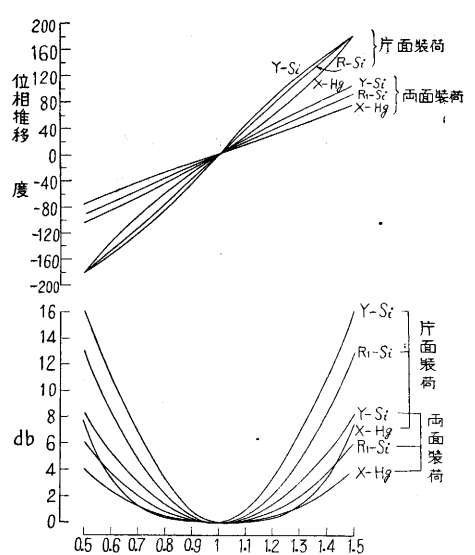
$$B_0 = \left[1 - j \left(\frac{Z_x}{Z_q} \right) \cot \alpha \right]^2$$

$$\text{ただし } \alpha = \frac{\pi}{2} \frac{f}{f_0}$$

となる。これは常に単峰特性で、媒質の音響インピーダ

なる。媒質中を進行してきた弾性波のエネルギーは受端において一部電気的出力に変

換子が変換子のそれにして高いほど帯域巾は広がる。第 3 図は媒質が水銀および、石英の場合の計算値である。



第 3 図 変換部 f/f_0 周波数特性 (送受合算)

これには参考のために片面装荷の場合の特性も記入してある。

媒質と変換子とが与えられると比帯域巾は定まってしまうから、帯域巾の絶対値を広くするためには共振周波数 f_0 を高くとらなければならない。これはすでに述べたように変換子の厚味の点で制限され、15Mc 位が限度である。変換子の高調波振動を利用すると中心周波数は上るけれども、比帯域巾が高調波次数に逆比例して減少するので帯域巾の絶対値は改善されない。

終端部の特性はそのままでは単なる容量の周波数特性と同じであるため全体としての周波数特性を著しく非対称ならしめる。それで普通点線で示した並列インダクタンスで容量を打消し、さらに低抵抗 R で終端する。 R を下げれば帯域巾はひろがるが、当然挿入損失は増大する。この間の事情はちょうど真空管増巾器と相似であって、広帯域化のための種々の段間結合回路もそのまま利用できる。しかしこれらの手段を尽し、あるいは挿入損失を犠牲にして R を下げても全体としての帯域巾は変換部のそれより拡げられないことはもちろんである。したがって場合によっては逆の周波数特性の等化回路を使うことも必要である。並列インダクタンスで容量を打消した場合の終端部の周波数特性はこれも送受合算して

$$B_1 = \left[1 - jQ \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) \right]^2$$

したがって全体としての周波数特性は $B_0 \cdot B_1$ となる。

(3・3) 挿入損失 中心周波数における挿入損失は現在の場合変換部と終端部との不整合損失が大部分で、これに媒質中の減衰その他が附加される。両面装荷の場合

$$B_0 \approx e^{AL} \cdot \frac{Z_q}{2\phi^2 R}$$

の形になる。ここで e^{AL} は媒質の減衰を表わす項であ

る。変換子の面積を $S(\text{cm}^2)$ 、共振周波数を $f_0(\text{Mc})$ 、終端抵抗を $R(\text{k}\Omega)$ とすれば不整合損失を表わす第2項は次のように書直せる。

$$\frac{Zq}{2\phi^2 R} = \frac{K_b}{S \cdot f^2 \cdot R}$$

ここで $K_b = 6600$ Y板——石英
 $= 15600$ R₁板——石英
 $= 33560$ X板——水銀

これによるとX板—水銀の挿入損失が大きい、X板は並列容量が小さいために同一帯域巾に対して終端抵抗を高くとれるので総合としては石英と大差ない。

(3・5) 数値例 以上の解析に基づいて 63.5μscc の遅延回路に対して期待できる特性を計算してみると第3表の如くなる、ただし変換子の共振周波数は 15Mc の基本波動作、直径 1cm とした。

実際には漂游容量があるので帯域巾 6Mc に対する終端抵抗の値はさらに下げなければならない。

協働する真空管回路に遅延回路の送受端に近い場合はよいが、そうでないときはこの抵抗では一旦インピーダンス変換を行う必要がある。そのような時には 75Ω で直接終端してしまっても差支えない。この際挿入損失はかなり増加するが、総合帯域巾はほぼ変換部の帯域巾一ぱいにまでひろがる。

謝 辞

本研究はNHK放送技術研究所よりの依頼研究として

第3表 63.5μsec 遅延回路の特性 (両面装荷)

変換子	Y板	R ₁ 板	X板
媒 質	熔融石英	熔融石英	水 銀
全 長	23.8	23.8	9.2 cm
変換子の厚味	0.013	0.011	0.019 cm
同並列容量	24.2	28.8	16.6 pF
変 換 部	(3db 帯域巾 第3図参照)		
	9.0	10.8	13.2 Mc
媒質内損失	0.95	0.95	1 db
総合の帯域巾が 6Mc になるような終端抵抗の値	480	460	890 Ω
その際の挿入損失 (媒質内損失を除く)	40	48	49 db
75Ω 終端の際の挿入損失 (媒質内損失を除く)	56	63	70 db

行われたもので、NHK技研における測定ではほぼ予期の特性が得られている。ご援助ご討論いたがいた鈴木桂二、安東平一郎両氏に深く感謝上げるとともに、実際の製作に当られた金石舎松木五郎、品田敏雄両氏に厚く感謝上げる次第である。(1955.8.20)

文 献

- (1) C. W. Harrison; Experiment with linear prediction in television, B. S. T. J. 31, 764 (July, 1952)

次号予告 (11月号)

研究解説	橋梁設計上の最近の傾向につ いて	福田武雄
	西海橋のスパン測量について	丸安隆和
	全方向微風測計とその応用につ いて	勝田高司 後藤 滋
	トルクコンバーターの伸線機 への応用	鈴木 弘
	架設応力の測定について	岡本舜三
研究速報	蒸着ニッケル触媒による油脂 の水素添加	浅原照三 三好淑子

正 誤 表 (9月号)

頁	段	行	種別	正	誤
14	右	下11	式	$L = \frac{4\pi N_s^2 u}{l} \left(\Delta + \frac{\Sigma a}{3} \right) \times 10^{-9}$ (H)	$L = \frac{4\pi N_s^2 u}{l} \left(\Delta + \frac{\Sigma a}{p} \right) \times 10^{-9}$ (H)
"	"	下8	式	$L = \frac{4\pi N_s^2 u}{l} \left(\Delta_1 + \frac{\Delta_2 + \Sigma a}{4} + \frac{\Sigma a}{3} \right) \times 10^{-9}$ (H)	$L = \frac{4\pi N_s^2 u}{l} \left(\Delta + \frac{\Delta^2}{L} + \frac{\Sigma a}{3} \right) \times 10^{-9}$ (H)
16	左	下14	本文	500Ω とを	500Ω のを
17	左	第12図		横軸に単位(v)を入れる	(正の欄に脱落の事項記載)
22	左	上16	本文	250g/mm ²	250g/cm ²
"	"	上22	"	10 ⁻⁶ cm	10 ⁻⁶ /cm
"	"	上24	"	r	ε