

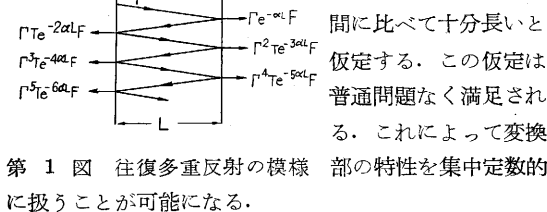
## 超音波遅延回路における往復多重反射

尾 上 守 夫

1. 緒言 超音波遅延回路において弾性波が媒質中を伝播する際受端で完全に吸収されず、一部のエネルギーは反射されて逆行する。これが送端でも繰返されるため往復多重反射が生じることになる。この現象は水晶遅延棒（レーブロック）等の応用には望ましいことであるが、他の多くの応用においてはできるだけ抑圧する必要がある。

変換子の遅延媒質に接するのと反対側の面を媒質と同じ音響インピーダンスの物質で裏打ちする。いわゆる両面装荷を施すことは上記の往復反射を抑圧する上に非常に有効である。これは変換子が機械的に共振伝送を行う形になって媒質側からきた弾性波は反射せずにそのまま裏打物質内に進入してしまうからだと言われる。しかし実際には(1)圧電現象を介してきてくる終端の電気回路の影響、(2)周波数特性を考慮する必要がある。ここでは以上の点を考慮して二、三具体的な例について計算した結果を報告する。

2. 反射係数 超音波遅延回路では信号をパルスの形で伝送するが、その継続時間が変換子の厚さを弾性波が伝播する時間に比べて十分長いと仮定する。この仮定は普通問題なく満足される。これによって変換部の特性を集中定数的に扱うことが可能になる。



往復多重反射の様相は透過係数  $T$ 、反射係数  $\Gamma$  を使用すれば、送電線の理論にならって第1図のように表わすことができる。ここで

$$T = \frac{2Z_{in}}{Z_q + Z_{in}} \quad (1)$$

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_q}{Z_{in} + Z_q} \quad (2)$$

$Z_q$ : 媒質の音響インピーダンス

$Z_{in}$ : 媒質側から見た変換子の入力インピーダンス

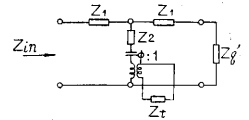
$\alpha$ : 媒質の減衰定数

$L$ : 媒質の長さ

当面の問題は電気側の影響をも考慮して  $\Gamma$  の周波数特性を求めることにある。

3. 入力インピーダンス 変換部の特性は第2図の等

価回路で表わし得る。裏打媒質の音響インピーダンスを  $Z_q'$  として入力インピーダンス  $Z_{in}$  を計算すると



第2図 変換部の等価回路

$$Z_{in} = \frac{2Z_1Z_2' + Z_1^2 + Z_1Z_q' + Z_2^2Z_q'}{Z_1 + Z_q' + Z_2'} \quad (3)$$

ここに  $Z_1 = jZ_2 \cot \beta$

$$Z_2 = \frac{Z_x}{j \sin 2\beta}$$

$$Z_2' = Z_2 + z$$

$$z = j \frac{\phi^2}{\omega C_{11}} + \phi^2 Z_1 \approx \phi^2 Z_1$$

$Z_x$ : 変換子の音響インピーダンス

$C_{11}$ : 変換子の等価並列容量

$Z_1$ : 終端インピーダンス ( $C_{11}$  を含む)

$\phi$ : 変成比

4. 反射特性(終端部の影響無視) 終端部の影響を無視すると  $Z_2'$  は  $Z_2$  に等しいと見てよいから(3)式の入力インピーダンスは次式のようになる。

$$Z_{in} = \frac{Z_x^2 + jZ_x Z_q' \cot 2\beta}{Z_q' + jZ_x \cot 2\beta} \quad (4)$$

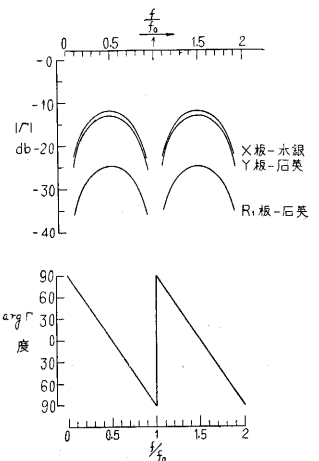
普通裏打媒質の音響インピーダンスは遅延媒質のそれと等しくえらぶ。この場合の反射係数を(2)(4)式から求めると

$$\Gamma = \frac{X - \frac{1}{X}}{X + \frac{1}{X} + j \cot 2\beta} \quad (5)$$

ここに  $X = Z_x/Z_q$ 。

変換子として水晶の  $X$  板,  $Y$  板,  $R_1$  板, また媒質として水銀, 熔融石英を使用したものについて計算したのが, 第3図である。位相特性は三者がほとんど一致する。

比較のため裏打媒質を使用しないで単に空気にさらしたいわゆる片面装荷の場合を計算すると(2)(3)式で  $Z_q' = 0$  において



第3図 反射係数(両面装荷)

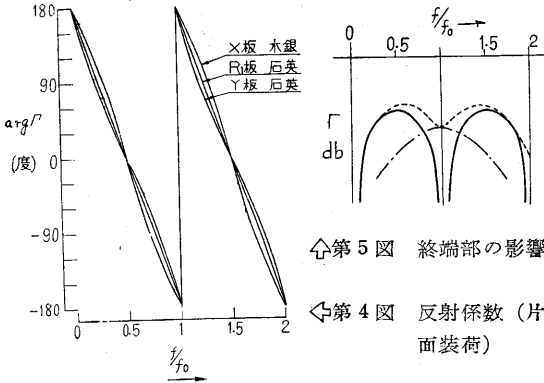
研究速報

$$\Gamma = \frac{X - j \cot 2\beta}{X + j \cot 2\beta} \quad (6)$$

を得る。この絶対値は常に1であり、位相特性は第4図の如くなる。

5. 終端部の影響 終端部の影響を見るには前節の  $Z_2$  の代りに  $Z_2'$  を使えばよい。すなわち(2)式から

$$\Gamma = \frac{X - \frac{1}{X} + \frac{2z}{Z_q} j \cot \beta}{X + \frac{1}{X} + j \cot 2\beta + \frac{2z}{Z_x} (1 + j X \cot \beta)} \quad (7)$$



$z$  は普通中心周波数から離れたところでは小さい。したがって反射特性は第5図点線の如く変化する。その詳細はもちろん(7)式から計算できるが、もっと簡便には  $f/f_0=1$  および  $0.5$  (または  $1.5$ ) の点を与えれば大略の特性が察知できるので実用には十分なことが多い。

$f/f_0=1$  に対しては

$$(\Gamma)_{f=f_0} = \frac{1}{1 + \frac{2z}{Z_q}} \approx \frac{2z}{Z_q} \quad (8)$$

しかるにこの超音波遅延回路の変換部の挿入損失は送受合算して  $8z/Z_q$  程度であるから、挿入損失から  $12\text{db}$  以下のものが期待できる反射係数 (db で表わした) ということになる。次に  $f/f_0=0.5$  (または  $1.5$ ) の場合は

$$(\Gamma)_{f=f_0/2} = \frac{X - \frac{1}{X} + j \frac{2z}{Z_q}}{X + \frac{1}{X} + \frac{2z}{Z_x} (1 + j X)} \approx \frac{X - \frac{1}{X}}{X + \frac{1}{X}} + j \frac{\frac{2z}{Z_q}}{X + \frac{1}{X}} \quad (9)$$

上式第2項が終端部の影響を表わしている。この際  $z$  は中心周波数における値より小さくなり、また位相角をもつようになる。この影響の大小は結局  $(X - \frac{1}{X})$  と  $(2z/Z_q)$  との大小比較になるわけであるが  $R_1$  板と石英との組合せのように  $(X - \frac{1}{X})$  が小さい ( $=0.12$ ) ものでも普通  $2\sim 3\text{db}$  の誤差で終端部の影響は無視できることが

判る。しかし  $X - \frac{1}{X} \approx 0$  のような場合は当然終端部の影響は大きくなり、反射係数全体の形は第5図破線の如くに単峰特性になる。

片面装荷の場合は

$$\Gamma = \frac{X - j \cot 2\beta + 2j \frac{z}{Z_q} \cot \beta - \frac{z}{Z_x}}{X - j \cot 2\beta + 2j \frac{z}{Z_q} \cot \beta - \frac{z}{Z_x}} \quad (10)$$

となる。これを検討してみると終端部の影響は全周波数にわたって大きくとも  $2\text{db}$  をこえることは稀であって普通  $1\text{db}$  以下である。すなわち反射係数は終端の如何に拘らず常に1とみてよい。このことは従来超音波探傷器においてよく経験されてきたところである。

6. 裏打媒質の音響インピーダンスの影響  $Z_q'$  が  $Z_q$  と異なる場合は

$$\Gamma = \frac{\frac{Z_x}{Z_q} - \frac{Z_q'}{Z_x} + j \left( \frac{Z_q'}{Z_q} - 1 \right) \cot 2\beta}{\frac{Z_x}{Z_q} + \frac{Z_q'}{Z_x} + j \left( \frac{Z_q'}{Z_q} + 1 \right) \cot 2\beta} + \frac{\frac{z}{Z_x} \left( \frac{Z_q'}{Z_q} - 1 \right) + \frac{2z}{Z_q} j \cot \beta}{\frac{z}{Z_x} \left( \frac{Z_q'}{Z_q} + 1 \right) + \frac{2z}{Z_q} j \cot \beta} \quad (11)$$

となつてかなり複雑であるが、次式によれば比較的容易に大略の特性が察知できる。すなわち中心周波数では

$$(\Gamma)_{f=f_0} \approx \frac{2z}{Z_q} + \frac{1}{2} \left( \frac{Z_q'}{Z_q} - 1 \right) \quad (12)$$

(8)式と比較すれば判るように第2項が裏打媒質の音響インピーダンスが違つたために生じた項である。また  $f/f_0=0.5$  (または  $1.5$ ) では

$$(\Gamma)_{f=f_0/2} \approx \frac{\frac{Z_x}{Z_q} - \frac{Z_q'}{Z_x}}{\frac{Z_x}{Z_q} + \frac{Z_q'}{Z_x}} + \frac{\frac{z}{Z_x} \left( \frac{Z_q'}{Z_q} - 1 \right) + j \frac{2z}{Z_q}}{\frac{z}{Z_x} + \frac{Z_q'}{Z_x} + \frac{2z}{Z_q} + \frac{Z_q'}{Z_x}} \quad (13)$$

となる。第3項は(9)式の第2項とほぼ同じ値になるが、第1、2項の値は(9)式の第1項とはかなり違う可能性がある。

謝辞 本研究に際して賜った高木昇教授のご指導に深く感謝申上げる。(1956. 3. 17)

文献

高木・尾上：生産研究 7, 247 (昭 30—10)  
尾上：電気通信学会誌 38, 495 (昭 30—6)  
超音波研究専門委員会資料 (昭 30—5)