

1. はしがき

船の自動操縦は舵手が操縦するかわりにジャイロコンパスで船の指定針路からの偏角を検出して、自動操舵装置で舵を自動的に動かし船を指定針路に保つことである。自動操縦は人力を節約し、そのうえ正しく調節された装置は舵手の疲労などを考えると手動の場合にくらべて鋭敏確実に働か操舵の能率を向上することができる。

わが国でも戦前すでに自動操舵装置は製作されて優秀船に装備されていたが、現在ではその装備をもつ船は数隻を数えるにすぎない。しかしながら将来はますます自動化される傾向にあり、自動操舵装置の製作も最近ふたび開始されている。こゝにその原理と実際について概説することにしよう。

2. 自動操縦の原理

自動操縦の原理を説明するにあつて、一般制御理論の方式にしたがつて、被制御系の特性、制御法則、制御経過と順を追つて説明することにする。被制御系の特性とはこの場合船の回轉運動の運動方程式である。制御法則とは被制御量が豫定の希望値からはずれた場合に制御装置がどのような訂正動作を行うかを示すもので、この場合は船が指定針路からはずれたときにジャイロコンパスによつて検出された偏角に應じて自動操舵装置が舵をどのように動かすかを示している。制御経過は被制御系の特性と制御法則とを結びつけて得られるが、これについて制御の安定、不安定が判別される。

(1) 被制御系の特性 船の重心の周りの回轉運動は前進運動と關係するが、方向制御の特性として考える場合には近似的に回轉運動を前進運動とは獨立に取扱つて解析を容易にする。この場合作用するモーメントとしては水の制動モーメント、舵のモーメントおよび風、潮流、波浪などによる妨害モーメントを考える。指定針路からの偏角を θ とすれば水の制動モーメントは船の角速度に比例するとして、 $-D\dot{\theta}$ 、舵のモーメントは舵角 μ に比例するとして $R\mu$ とおかれる。妨害モーメントを Q 、船の慣性モーメントを I とすれば、船の回轉運動の方程式は

$$I \ddot{\theta} + D\dot{\theta} = R\mu + Q$$

兩邊を R で割つて

$$b_2 \ddot{\theta} + b_1 \dot{\theta} = \mu + \eta \dots \dots \dots (1)$$

たゞし $b_2 = I/R$, $b_1 = D/R$, $\eta = Q/R$

実際には水の制動モーメントは慣性にくらべるとはるかに小さいから

$$b_2 \dot{\theta} = \mu + \eta \dots \dots \dots (2)$$

これが“針路型”被制御系の特性を表わす。

(2) 制御法則と制御経過 舵の位置が偏角に比例する場合は定位制御 (proportional control) で、

$$-\mu = s\theta \dots \dots \dots (3)$$



船の自動操縦の原理を明かにするため、船の結果の運動の安定、不安定の別を吟味し、得るかどうか、實用されている装置の構造がどで表わされる。こゝに負號は船を指定針路に戻そうとするむきに舵が動かされることを意味する。

舵の移動速度が偏角に比例する場合は無定位制御 (floating control) で、

$$-\dot{\mu} = f\theta \dots \dots \dots (4)$$

で表わされる。

(3) または (4) 式と (2) 式とから μ を消去して定位、無定位の場合の制御経過を求めると持続振動または發散となつて不安定であることがわかる。定位制御の場合に水の制動モーメントを考慮すれば、(1) 式と (3) 式とから

$$b_2 \ddot{\theta} + b_1 \dot{\theta} + s\theta = \eta$$

これは減衰であるが、慣性があり大きいために充分な減衰が得られないのである。そこで定位または無定位の式 (3) または (4) に船の角速度および角加速度に比例する追加信號を加える方式が考えられる。定位の式 (3) に船の角速度に比例する追加信號を加える方式は、

$$-\mu = s\theta + r\dot{\theta} \dots \dots \dots (5)$$

この制御経過は、

$$b_2 \ddot{\theta} + r\dot{\theta} + s\theta = \eta$$

で安定である。

さらに船の角加速度に比例する信號を加えると

$$-\mu = s\theta + r\dot{\theta} - a\ddot{\theta} \dots \dots \dots (6)$$

この制御経過は、

$$(b_2 - a)\ddot{\theta} + r\dot{\theta} + s\theta = \eta$$

であつて、角加速度に比例する信號 $a\ddot{\theta}$ によつて船の實効慣性モーメントを適當に減少して減衰効果を大きくすることができる。この方式は Minorsky,⁽¹⁾ Henderson⁽²⁾ が提案している。定位制御では一定の擾亂が作用したとすれば船は指定針路でなく、 $\theta = \eta/s$ の新しい平衡位置に靜定し擾亂に應じた變動量を生ずるから、無定位の式 (4) に追加信號を加える方式

$$-\dot{\mu} = f\theta + s\dot{\theta} + r\ddot{\theta} \dots \dots \dots (7)$$

の有利なことを Minorsky がすでに 1922 年にその論文⁽³⁾ で發表している。この場合の制御経過は、

$$b_2 \ddot{\theta} + r\dot{\theta} + s\theta + f\dot{\theta} = 0$$

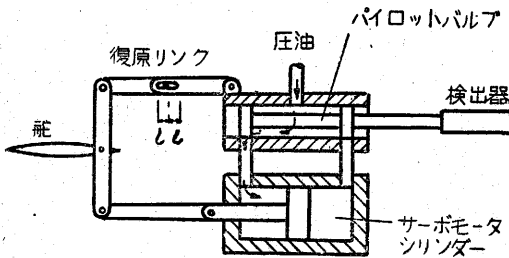
縦について

康次郎 (精密)

回轉運動方程式から出發して、舵角の取り方、理論上の方式を決定する。更に之が具體化されるうなつてゐるかについて述べる。

で Hurwitz の條件によつて $rs > b_2 f$ ならば安定であるから、 r, s, f を適當に選ぶのである。

(3) Sperry ジャイロパイロットの空動き 以上に述べ



第1圖 Sperry ジャイロパイロットの模型圖

た追加信號を加える方式は理論的には完全であつても、それを實際の装置に應用する場合に構造が複雑になるので、實用されている自動操舵装置は Sperry, Anschütz ともに定位制御の復原機構の途中にことさらに遊隙を設けてこの所謂空動き (lost motion) によつて減衰効果を得ている。その原理を模型的に画けば第1圖のようになる。

圖においてパイロットバルブがジャイロコンパスからの信號によつていずれかの方向にある量だけ動かされたとすれば、壓油はサーボモータのシリンダーのいずれかの側に入りそのピストンを動かす。この運動が舵を動かすのであるが、同時にそれは復原リンクを介して辨のスリブを動かし、ピストン辨を追尾させる。そしてこの運動は辨のポートが閉じるまで繼續する。いま復原リンクの途中の遊隙を考えなければ舵の動きは検出器からの信號すなわち船の偏角に比例することになる。復原機構に設けられた遊隙による空動きの効果については Sperry 会社はかつてその完全な説明を公表したことがないとのことである。さらに Sperry 会社の技師 Dr. A.L. Rawlings はこの空動きは數學的解析を拒絶する非科學的なゴマカシであると極言したとさえ云われている。(4) なおこの空動きの効果について半圖式的説明を加えた例(5)もあるがその性質を明瞭に説明するには至つてい

ない。

筆者は適當な假定のもとにその性質を明かにすることができた。以下それについて述べよう。第1圖で空動きは復原リンクの途中に設けられたピンと溝の機構によつて與えられる。ピンは $2l$ だけの空動きをすることができる。最初船が指定針路にあり空動き機構のピンが溝の中央の位置にある状態でなんらかの原因によつて船が指定針路からはずれたとすれば、ジャイロコンパスはこの偏角を検出しその大きさに應じてパイロットバルブを動かす。すると前述のように舵が動くが空動き l に相當する舵角 δ をとる間は復原機構が働かずピンが溝の端に接して後復原が働き偏角に比例した舵角 $s\theta$ をとるから、結局舵角 θ は正のむきに運動が起つたとすれば、

$$-\mu = s\theta + \delta$$

である。そして船の運動にくらべて舵の移動速度がかなり大きいと考えることができるから、このような平衡状態を保ちながら舵の動きが船の運動に追尾すると假定することができる。舵が効いて偏角 θ が正の極大値に達して減少に轉ずるとき舵も逆向きに動き始めるが、ふたたび空動きによつて $2l$ に相當する舵角 2δ をとる間は復原が働かずピンが溝の他端に接して始めて復原が働くから舵角は、

$$-\mu = s\theta + \delta - 2\delta = s\theta - \delta$$

である。したがつてこの場合の制御法則は、

$$-\mu = s\theta \pm \delta, \begin{cases} \dot{\theta} > 0, & +\delta \\ \dot{\theta} < 0, & -\delta \end{cases} \dots\dots\dots (8)$$

制御経過は擾亂 η を除いて考えれば、

$$\begin{aligned} b_2 \ddot{\theta} &= -(s\theta \pm \delta) \\ \ddot{\theta} &= -n^2(\theta \pm \rho) \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

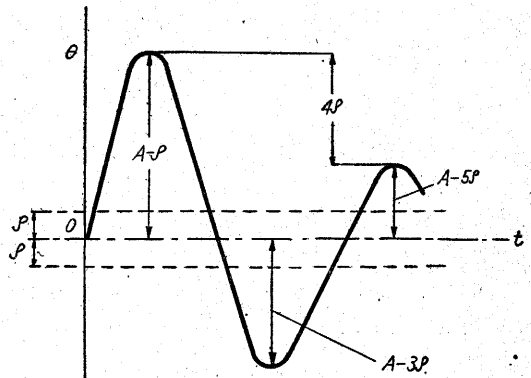
ただし $n^2 = s/b_2, \rho = \delta/s$

この式は固體摩擦の働く振動の方程式を表わす。したがつて空動きは固體摩擦的減衰効果を有することが明かになつた。

擾亂を衝撃的なものと考えれば初期條件として、

$$t=0, \theta=0, \dot{\theta}=\omega$$

とすることができる。ただし ω は衝撃的擾亂によつて定



第2圖 固體摩擦的減衰

まる初速度である。ω を正のむきとすれば方程式 (9) の +ρ をとつて解は、

$$\theta + \rho = A \sin(nt + \varphi)$$

ただし $A = \sqrt{\rho^2 + \left(\frac{\omega}{n}\right)^2}$, $\varphi = \tan^{-1} \rho n / \omega$

これは $\theta = -\rho$ を基準とした正弦曲線である。極大値

の制御法則を適用すると制御経過は、

$$b_1 \dot{\theta} = -(s\theta \pm \delta)$$

$$\ddot{\theta} = -n^2(\theta \pm \rho)$$

ただし $n^2 = s/b_1$, $\rho = \delta/s$

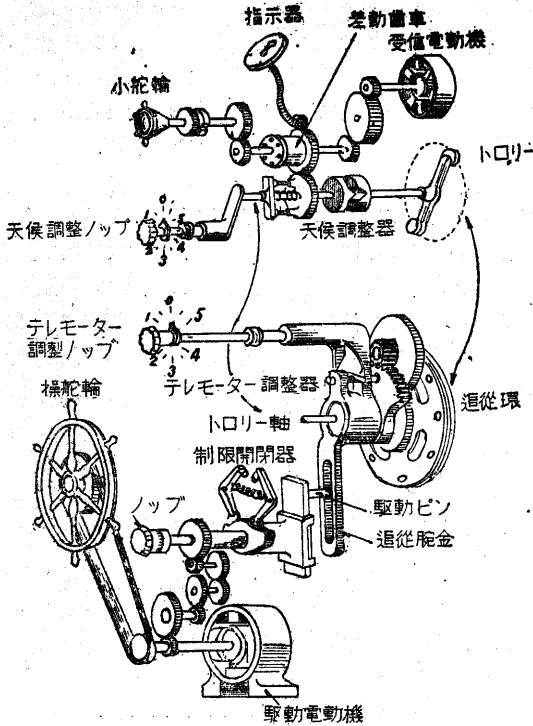
となつてジャイロパイロットの空動きと同じ固体摩擦的減衰が得られるであろうことがわかる。勿論このような不連続的な方法は變化が比較的緩慢なしたがつて時定數 b_1 の比較的大きい系にしか應用できないであろうし、この制御法則の機構化が實用に適しているかどうか問題である。

3. 自動操舵装置の實際

自動操縦の原理が明かになつたから、以下實用自動操舵装置についてその構造、機能を概説することにしよ。

(1) Sperry ジャイロパイロット Sperry ジャイロパイロットには自動操舵装置を単一のユニットにまとめこれで操舵輪を動かして操舵する single unit system と自動操舵装置を管制部と動力部の 2 部に分けた two unit system とがある。前者では手動、自動ともに操舵輪を動かすのであつて、それからさきはテレモータによつて船尾にある操舵機を働かせて操舵するのであつて、クラッチによつて手動、自動の切換ができる。後者では手動、自動は全く別系統で手動は操舵輪、テレモータにより操舵機を働かせるのに對して自動は自動操舵装置の動力部が操舵機を働かせるのである。

ここでは single unit system だけについて述べることにする。第 3 圖で受信電動機はマスターコンパスに追従して回轉し、齒車系をへて、天候調整器を介してトロリーを回轉する。圖では切りはなして描かれているが、實際にはトロリー軸は追従環の中にはまつている (この部の詳細は第 4 圖参照)。追従環には互に絶縁された導體片があつて、船が指定針路にあるときは、トロリーは絶縁部にあるが、指定針路からはずれると導體片のいずれか一方と接して電路が閉じそれに應じたむきに駆動電動機が回轉し、操舵輪を動かすとともに齒車系、追従腕金、



第 3 圖 Sperry ジャイロパイロット

(A-ρ) に達すると θ 減少のむきに運動が起るから方程式 (9) の -ρ をとつて

$$t=0, \theta = A-\rho, \dot{\theta} = 0$$

の初期条件より解は、

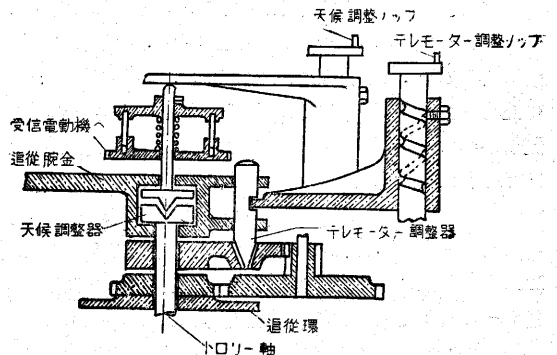
$$\theta - \rho = (A-2\rho) \cos nt$$

これは $\theta = \rho$ を基準とし (A-2ρ) の振幅をもつ。負の極大値 -(A-3ρ) に達すると増加に轉じ以下同様にして振幅が 2ρ づつ減少しついに ±ρ の範囲内におちつくのである (第 2 圖)。以上で Sperry ジャイロパイロットの空動きの効果が明かになつたが、このような考え方を利用すれば、自動操舵の問題と關係はないが、θ を被制御量の偏差、μ を調節部の位置、η を擾亂として 1 次の特性

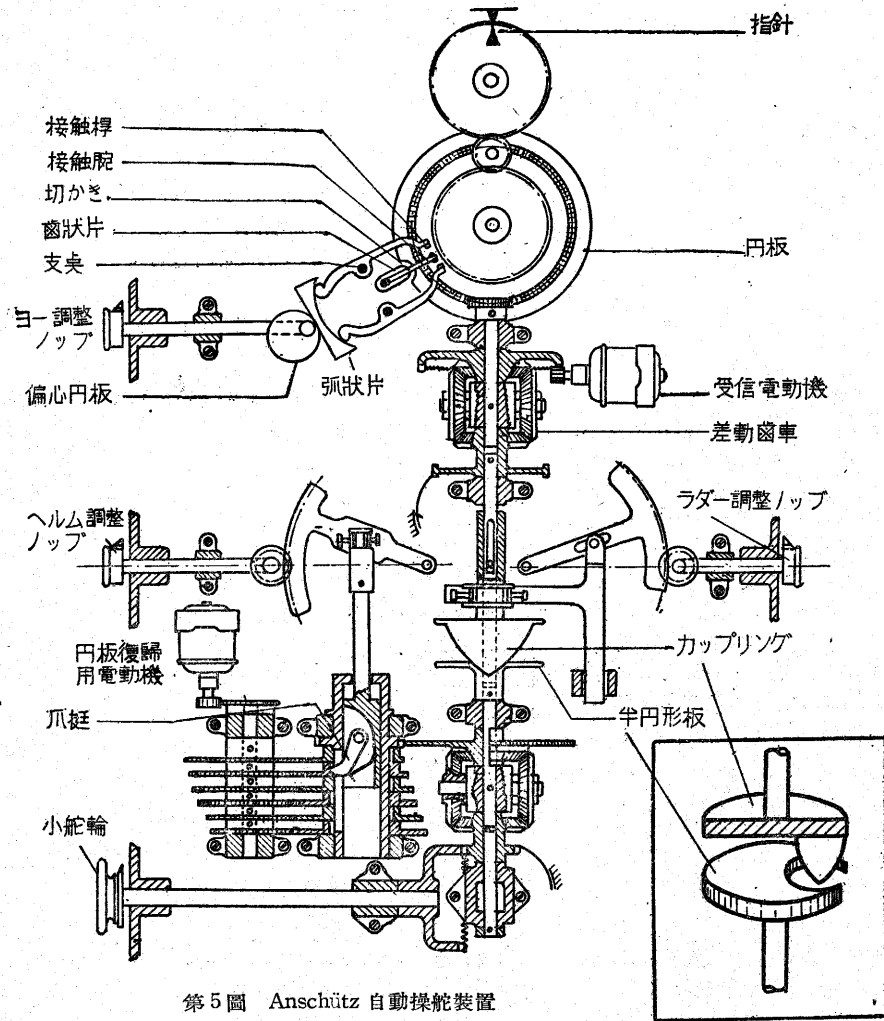
$$b_1 \dot{\theta} = \mu + \eta$$

をもつ被制御系に對して、

$$-\dot{\mu} = s\theta \pm \delta \begin{cases} \dot{\theta} > 0, & +\delta \\ \dot{\theta} < 0, & -\delta \end{cases}$$



第 4 圖 テレモーター調整器と天候調整器



第5圖 Anschütz 自動操舵装置

整は荒天の場合に船が強制的にヨーイングさせられるが、このとき自動操舵装置が鋭敏に動くとかえつて不良の結果を生ずるから、受信電動機とトロリーの間に遊隙を設けて、船が指定針路からある程度はずれても自動操舵装置が働かないようにするのである。舵角調整は式(8)におけるsの値を変更して舵の効きを加減するのであつて、第3圖で舵角調整ノブを回轉すると駆動ピンが追従腕金の溝の中で動き復元の途中の回轉の比率が變更されるのである。

(2) Anschütz 自動操舵装置 Anschützの自動操舵装置も原理的にはSperryのそれと全く同様である。第5圖で受信電動機はマ

テレモータ調整器を介して追従環を回轉しトロリーを追尾させる。前掲模型圖(第1圖)と比較してトロリーと追従環がパイロットバルブに、駆動電動機がサーボモータに、駆動電動機から追従環までが復原リンクに相當する。針路の指定は小舵輪によつて與えられる。駆動電動機がある限度以上に回轉すると操舵機を損傷するから、これを防ぐための制限開閉器がありカム装置によつて回路を切斷する。また駆動電動機の回轉によつて追従環をトロリーに追尾させるときトロリーが追従環の絶縁部にきて回路が開いたときモータはただちに停止すべきであるが慣性のために行過ぎようとするから、これを阻止するためモータに電氣制動をかけるよになつてゐる。

つぎにこの装置にはテレモータ調整、天候調整、舵角調整の三つの調整装置が設けられてゐる。テレモータ調整は前述の空動きの遊隙の大きさを調整するのである。第4圖でテレモータ調整ノブを回轉するとネジ溝とピンの機構によつてテレモータ調整ピンが圓錐孔に對して動かされ、その間の遊隙の大きさが加減される。天候調

スターコンパスに追従して回轉し差動歯車を介して圓板を回轉させる。圓板には切かきがあつて歯状片とかみあつてゐるから接觸腕が回轉させられ接觸桿のいずれか一方と接觸する。すると駆動電動機の電機子回路が閉じるからモータは回轉し操舵すると同時にセルシン発信器を回轉するから、その受信セルシンである圓板復帰用電動機が回轉する。この回轉は齒車系、半圓形板、カップリング、差動歯車を介して圓板を受信電動機による回轉とは逆向きに回轉させるから接觸腕は中央の位置に復歸し駆動電動機の回路を開く。空動きはカップリングと半圓形板によつて與えられる。

Anschützではこれをラダー調整(rudder adjustment)と稱してゐる。ラダー調整ノブを回轉するとカップリングが半圓形板に對して上下させられ、その間の遊隙の大きさが加減される。Sperryの天候調整に相當するのがヨー調整(Yaw adjustment)で、ヨー調整ノブを回轉すると偏心圓板が回轉し弧状片が出入させられ接觸桿の間隙が調整される。Sperryの舵角調整に相當する

のがヘルム調整 (helm adjustment) で、ヘルム調整ノブを回轉すると爪が上下されて6組の齒車の中のいずれか1組が押しつけられてかみあい回轉比が變更される。針路の指定は小舵輪によつて與えられる。(1949.11.28)

引用文献

- (1) Minorsky: Directional Stability of Automatically Steered Bodies.
 Jour. Am. Soc. Naval Eng., 1922 p. 280
 (2) Henderson: The Automatic Control of the

Steering of Ships and Suggestion for its Improvement. Engineering, 1934. p. 413

(3) (1) に同じ。

(4), (5) The Principles and Practice of Automatic Control. Engineer, Jan.~Apr. 1937.

邦譯 (青木保): 精密機械 9卷5號~10卷1號

参考文献

- (1) 寒川 武: 自動制御の理論と實際 上, 下巻.
 (2) 高橋安人: 自動制御.
 (3) 井關 貢: 新航用測器

速報 9

振動容量式電位計による
 金屬單極電位の靜電測定

小川岩雄・辻 泰
 (應物) (物工)

電氣化學においてふつう電極電位と呼ばれている量は、何か他の標準半電池と組合わせて電位差計により閉じた回路について測定されたもので、このためその値は (i) 相對値に過ぎず、(ii) 閉回路をつくる場合の金屬間 VOLTA 接觸電位差をも含んでいることはよく知られている通りである。ある金屬がその金屬イオンの溶液と接する界面でつくる單極電位の絕對値を直接測定するには、電極を含む回路を閉じない状態で靜電測定を行う必要がある。

筆者らはその一人が先に試作報告^{(1), (2)}した舌片共振型振動容量式電位計を用い、銀の單極電位の絕對値を、一組の靜電的測定値から2, 3の假定の下に決定する方法を工夫し、實測を試みている。

方法の要點は、銀電極を浸した硝酸銀溶液面と、銀電極面との間の靜電電位差から、金電極を浸した同じ銀イオン溶液面と、金電極面との間の靜電電位差を差し引いて、FRUMKIN^{(3), (4)}等によつて存在が主張されている2つの溶液界面(自由表面及び金屬との接觸面)における電氣的二重層の影響を實驗的に消去するにある。ただしこの場合に假定として

- (i) 金電極を銀イオン溶液に浸しても可逆的電氣化學過程は生じない(またはきわめて小さい)。
- (ii) 溶液金屬の接觸面におけるFRUMKIN二重層は金屬の種類には影響されず、溶液固有の大きさをもち、しかも電氣化學的なNERNST二重層と'直列'に合成できる。

等を用いているがこれにはなお検討の餘地がある。

データは一應 $[Ag|Ag^+]$ の絕對値として -0.13 VOLT. (電極の方が正)

と出ているが、實驗に際し、金や銀の生地面の表面電位を大氣中で測定したために氣體(特に水分子)吸着の影響等がかなり効いていると思われ、まだ正確な値とはいえない。むしろ測定原理について大方の御批判を得たい。(1949.11.2)

引用文献

- (1) 小川岩雄: 機械の研究, 1 (1949), 262.
 (2) 小川岩雄: 生産研究, 昭和25年3月(掲載豫定)
 (3) A. FRUMKIN: Zeits. f. physikal. Chem. 109(1924), 34.
 (4) A. FRUMKIN: Journ. Chem. Phys. 7 (1939), 552.

速報 10

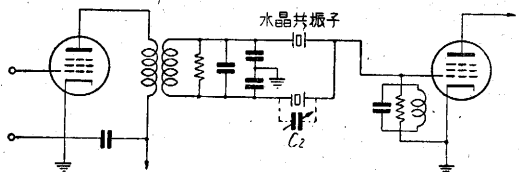
水晶共振子2箇を用いた
 狭帯域濾波器

高木 昇・尾上守夫 (電氣)

先に(本誌1月號)共振子1箇を用いた濾波器についてふれたが、減衰特性に對する要求が厳しくなつてそれでは充し得なくなつた場合には圖示のような共振子2箇を用いた回路を用うことが考えられる。これによれば通過帯域の特性が改善されて、いわゆる帯域濾波特性が得られ、またさきに示したものと違つて中心周波數の移動する惧れない。

前同様入力變成器が理想變成器でない Jaumann 接続とみて等價梯子形回路を求めることができ、これに基いて減衰極周波數特性、終端抵抗の影響、終端インピーダンスのリアクタンス分の影響等について詳細な解析を行い、これを實驗と比較した。

その結果、減衰傾度を上げることが要求される場合はさきに述べた共振子1箇を用いた濾波器を縱續接続するより、本濾波器を用うべきであり、その回路として種々の變形回路中圖示のものが優れていることがわかつた。入力側出力側の同調回路は適當に抵抗を負荷し



水晶共振子2箇を用いた狭帯域濾波器

てその共振インピーダンスを所要の値に近くさせないと通過域の特性が悪化する。出力最大より3db下つたところの帯域幅は理論的通過域の約70%であり、終端抵抗を中心周波數の影響インピーダンスより低目にえらんでおけば C_2 を變化して兩側の減衰極を移動させても通過域の特性はほとんど變化しない。これによつて減衰傾度の可變の濾波器が得られたわけである。一例をあげれば通過帯域幅約400 ω , 中心周波數は470kc, それから450 ω , 離れたところで減衰を13~40dbに變化できる。(1949.11.10)