

圧電圧磁 ジャイレータ

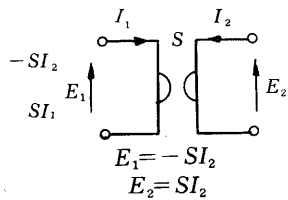
尾 上 守 夫

3個の電気機械変換子を機械的に一体に結合してジャイレータを実現し、それにさらに2個の抵抗を組み合わせてアイソレータをつかった。このアイソレータは逆方向の伝送が周波数に関せず一様に抑えられるのが特長である。3個の変換子のうち2個は圧電および圧磁変換子であって、これが電気系と機械系との間の一方通過特性を与える。第3の変換子は単なる駆動または検出用であって、全体としては電気-電気系のアイソレータが得られるようになっている。圧電セラミックおよびフェライトを使って試作したアイソレータは予期した特性が得られた。

1. はしがき

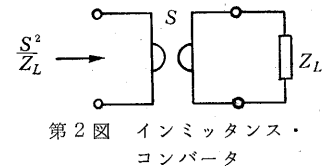
最近線形受動でありながら、しかも相反定理を満たさない回路網の研究が盛んである。Tellegen¹⁾はこのよう

な非相反回路の基本的素子として第1図のような伝送4端子を提案し、これを「ジャイレータ」と命名した。任意の線形受動非相反回路はジャイレータと相反回路の組合せによって実現できる。



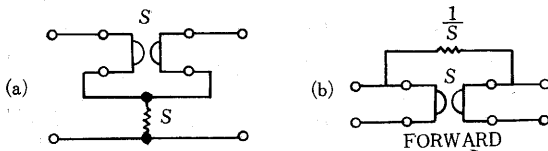
第1図 理想ジャイレータ

「インミッタンス・コンバータ」, 「アイソレータ」, 「サーキュレータ」である。「インミッタンス・コンバータ」は第2図のよう



第2図 インミッタンス・コンバータ

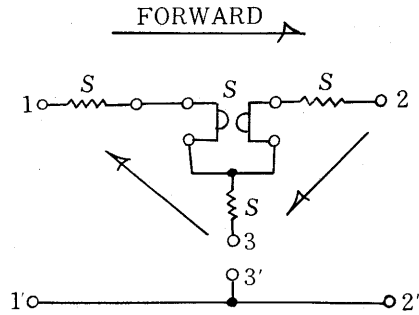
に、ジャイレータを通じて任意の2端子ZLの相対の2端子をうるもので、低周波で大きなインダクタンスを容量によって実現するなどの応用が考えられる。アイソレータは一方のみ信号の伝送をゆるす4端子であって、第3図に示すようにジャイレータと抵抗の



第3図 アイソレータ

組合せによって実現できる。サーキュレータは特定方向にのみ信号の伝送をゆるす6端子であって、やはり第4図のようにジャイレータと抵抗とで実現できる。この両者は負抵抗増幅器やハイブリッドに利用される。

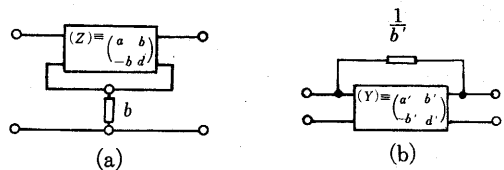
ジャイレータを実現するには ホール効果²⁾, フェラデ効果³⁾, 互いに相対な電気機械変換子の組合せなどの非相反性を利用する。このような現実のジャイレータの特



第4図 サーキュレータ

性は理想ジャイレータと若干の付加的素子との組合せであらわされ、それだけ使用範囲は制限される。とくに電気機械ジャイレータは機械振動を仲介するために本質的に広帯域のものは実現困難である。したがって、その応用はインミッタンス・コンバータよりもアイソレータ、サーキュレータの方面にあると思われる。本論文もアイソレータをおもな対象としている。

McMillan は電界型変換子とそれと相対な磁界型変換子を機械的に一体に結合して非相反4端子が得られ、さらに適当な素子(普通抵抗)と第5図のように組み合わせ



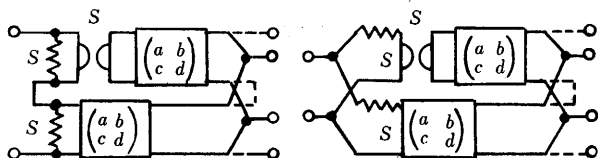
第5図 McMillan のアイソレータとその相対

せるとアイソレータが得られることを示した⁴⁾。このような非相反4端子は水晶とステンレスを結合したものが報告されているが⁵⁾, 最近高結合の圧電セラミックおよび、圧磁セラミック(フェライト)が得られるよう

* この研究は昭和 39 年度科学試験研究費の補助をうけた

になって、非常に特性のよいものが得られるようになった^{6,7)}。

McMillan のアイソレータは彼自身も指摘しているように逆方向の伝送はたかだか可付番個の点周波数で阻止できるのみである。蒲生は理想的でないジャイレータを使って、逆方向伝送を周波数に関せず、一様に阻止するようなアイソレータの構造を第6図のように与え、これを完全一方向通過系(アクロマチック・アイソレータ)と名付けた⁸⁾。



第6図 蒲生のアクロマチック・アイソレータ

第6図においてブロックは同一の相反4端子である。上側の通路はジャイレータが連続になっているので非相反となる。

まず、入力、出力とも電気系の場合を考えると、上側の側路はすでに述べたような相対の変換子を結合した振動子で実現できる。また、下側の側路は普通の圧電振動子(あるいは圧磁振動子)で実現できる。しかし、現実には上下2個の機械振動子の特性をマッチさせることは非常に困難である。

蒲生も指摘しているように第6図のいずれか一方の端子を機械系として、電気系と機械系との間の完全一方向通過系をつくることもできる。この機械系に第3の変換子をつけて電気系の端子を得るようにすれば、電気-電気系での一方向系が得られる。このように電気-機械-一方向系を仲介することによって機械振動子は1個ですみ、製作調整がいちじるしく容易になる。これが本論文のアイソレータの原理である⁹⁾。

2. 3変換子ジャイレータ

第7図は3個の変換子からなるジャイレータの構造を示したものである。圧磁変換子(1~1')と圧電変換子(2~2')は一方向系を構成する。第3の変換子(3~3')は圧電型でも圧磁型でもよいのだが、実際には圧電型の方が高結合のものが得られること、他の変換子との電氣的結合を抑えるのが容易であることなどの利点がある。

第7図(a), (b), (c)はカスケード型、(d), (e)はサンドイッチ型とよぶことにする。(c), (d)は圧電変換子に分割電極を採用して、機械的接合部をへらしている。

第8図は3変換子ジャイレータの等価回路である。 Z_M は振動子のメカニカル・インピーダンスで、普通直

列共振回路になる。 L_1 は圧磁変換子の束縛インダクタンス、 C_2 は圧電変換子の束縛容量である。(1~1'), (2~2')から(3~3')への伝送を阻止するためには次の条件が必要である。

$$\phi_1 I_1 + \phi_2 E_2 = 0 \quad (1)$$

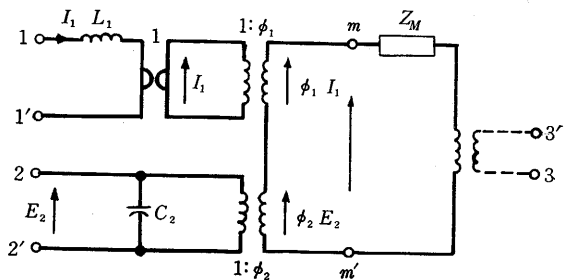
同一信号源から上式を満足する電流電圧の配分を得るためには、第9図のいずれかの回路を使えばよい。

ただし

$$\frac{L_1}{C_2} = R_1 R_2 \quad (2)$$

$$-\frac{\phi_1}{\phi_2} = R_1 \quad (3)$$

かくして得られた回路が第6図に相应していることはあきらかである。



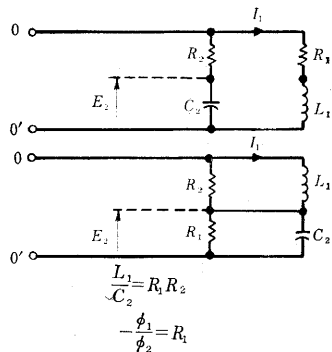
第8図 3変換子ジャイレータの等価回路

さて、(2), (3)式を満足するように構成されたアイソレータの等価回路は第9図(a), (b)に対応してそれぞれ第10図のようになる。とくに

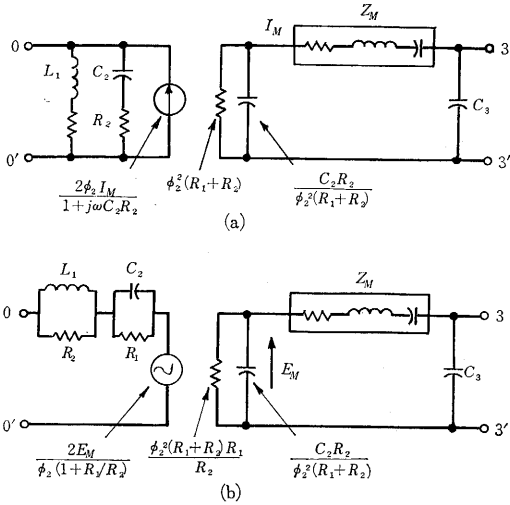
$$R = R_1 = R_2 \quad (4)$$

の場合には両者とも第11図の回路になり(0~0')端子からみた入力インピーダンスは純抵抗Rになる。

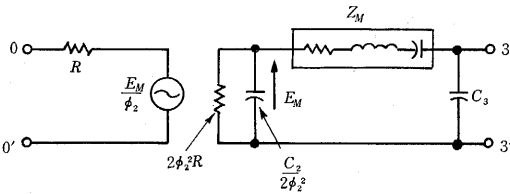
機械的損失を無視して、順方向挿入損失を求めてみよう。(3~3')端子において共振時に整合する信号源Eをつないだときの有能電力 P_0 は次式で与えられる。



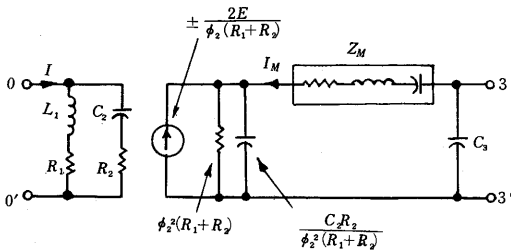
第9図 一方向性を与える終端回路



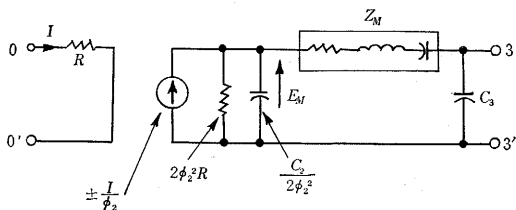
第10図 アクロマチック・アイソレータの等価回路 (I)



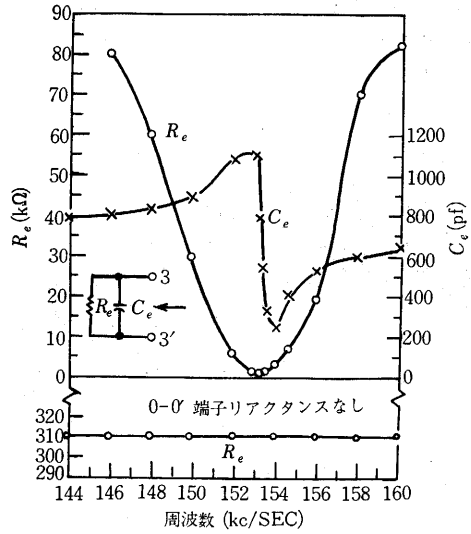
第11図 定抵抗条件を満足した場合の等価回路 (I)



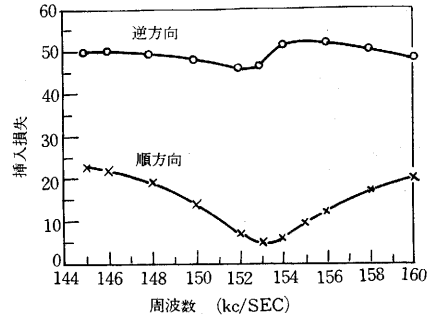
第12図 アクロマチック・アイソレータの等価回路 (II)
(複号+は φ₁ の, また-は φ₂ の極性反転)



第13図 定抵抗条件を満足した場合の等価回路 (II)
(複号は第12図と同じ)



第14図 駆動特性



第15図 挿入損失

$$P_0 = \frac{E^2}{4(2\phi_2^2 R)} \quad (5)$$

しかるに (0~0') 端子の整合負荷に与えられる電力 P₀ は

$$P_L = \frac{E_M^2}{4\phi_2^2 R} \quad (6)$$

しかるに

$$E = 2E_M \quad (7)$$

であるから

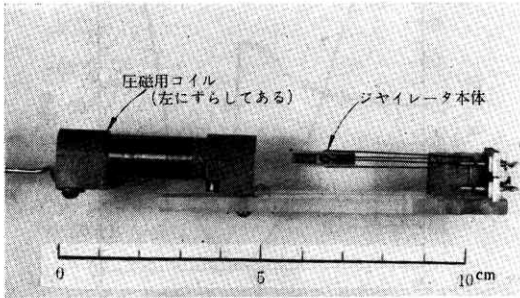
$$\frac{P_0}{P_L} = 2 \quad (8)$$

すなわち、順方向損失は最小 3dB になる。実際は機械的損失のためにこれより若干ふえる。

もし、φ₁ もしくは φ₂ いずれか一方の極性をかえると蒲生の指摘したように順方向、逆方向が反転する。この際の等価回路は第12, 13図に示すように第10, 11図とほぼ同様であって、ただ電圧源の位置が異なる。順方向最小損失はやはり 3dB である。

実験は PZT-5 圧電セラミックと Keafort N51 フェライトを結合して行ない、ほぼ理論どおりの結果が得ら

れた。第14図は駆動アトミッタンス、第15図は挿入損失の実測例であって、ジャイレータの構造は第7図(d)のサンドイッチ型である(写真1)。



圧電圧磁ジャイレータの試作例

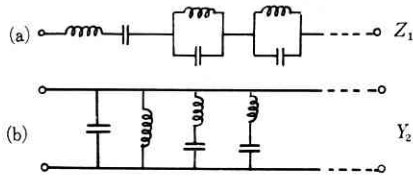
3. 順方向特性の改善

上記のアイソレータの順方向特性は振動子1個を用いた水晶フィルタと等価であるが、さらに高級な波特性を得るには次のようにすればよい。

一方向系を構成する2個の変換子と第3の変換子との間をメカニカル・フィルタと同様の構造にすればそれだけ特性が改善される。これはメカニカル・フィルタの技術の範囲内のことであるからここには立ち入らない。

次に終端回路について考えると第3の変換子の側は通常的水晶フィルタ、もしくはメカニカル・フィルタの終端とかかわるところはない。しかし(0~0')端子側の内側の部分は抵抗と容量の並列接続になっていて、ここで特性がおさえられる。

この点を改善するためには $L_1 \cdot C_2$ に相当するリアクタンス素子の階級を上げればよい。ただし $L_1 \cdot C_2$ は変換子の束縛リアクタンスに対応するものであるから、これらを含んだ形式の回路でなければならない。したがって、 L_1 の代わりに第16図(a)に示す直列型リアクタンス Z_1 を、 C_2 の代わりに第16図(b)に示す並列型アプ



第16図 高級な終端リアクタンス

スタンス Y_2 を採用すればよい。一方向性の条件は(3)

—22 ページよりつづく—

参考文献

- 1) 森脇義雄, 河村達雄 "高性能多チャネル型波高分析器" 生産研究, 14, 1, p.19 (1962-01)
- 2) 森脇義雄 "最近における波高分析器の進歩(2)" エレクトロニクス (1962-07)
- 3) 森脇義雄, 河村達雄, 寺川俊昭 "波高分析器用パルス分配回路" 昭和34年電気通信学会全国大会論文集 377 (1959-10)

式はそのまま(2)式の代わりに

$$\frac{Z_1}{Y_2} = R_1 R_2 \tag{9}$$

を満足すればよい。全体の等価回路第10~14図と同様でただ $L_1 \cdot C_2$ の代わりに $Z_1 \cdot Y_2$ とおいたものに等しい。したがって Y_2 として並列共振回路を使用すれば内部において定K型の終端ができるわけである。

4. 結 言

3個の変換子を機械的に一体に結合した型のジャイレータについて論じた。一組の圧電および圧磁変換子によって蒲生の提案した電気-機械完全一方向通過系を実現し第3の変換子で駆動することによって電気-電気系でのアイソレータが得られた。このアイソレータは逆方向の伝送が一様に阻止されるのが特長である。

終端を適当にすることによって、逆方向への駆動インピーダンスを純抵抗にすることができる。順方向挿入損失は最小 3dB である。

チタン酸ジルコン酸鉛圧電セラミックとフェライトとを結合したジャイレータを試作し、ほぼ理論どおりの結果を得た。

また機械系にメカニカル・フィルタの形式を取り入れること、および終端回路のリアクタンスを高級化することによって順方向特性が改善できることを示した。

(1964年11月5日受理)

文 献

- 1) B.D.H. Tellegen: Philips Res, Repts. **3**, 81 (1948-4)
- 2) W.P. Mason, et al.: J. Appl. Phys. **24**, 166 (1953-2)
- 3) C.L. Hogan: Bell sys. Tech. J. **31**, 1 (1952-1)
- 4) E.M. McMillan: J. Acoust. Soc. Am. **25**, 344 (1946-10)
- 5) L.J. Black, et al.: Ibid. **25**, 1137 (1953-11)
- 6) 尾上: チタバリ研究会資料, IX-50-277 (1961-3-29)
尾上, 沢辺: 音響学会講演論文集, 3-1-7 (1961-5), Proc. IRE **50**, 1967 (1962-9)
- 7) D.R. Curran: Proc. Electronic Comp. Conf. p. 24 (1961-5)
D.R. Curran, et al.: Proc. Nat. Elec. Conf p. 521 (1961-10)
- 8) 蒲生: 昭27連大, 9-1 (1952), 音響学会誌 **10**, 65 (1954), Trans. Int. Conf. on Circuit and Information Theory, p. 283 (1959)
- 9) 尾上: 昭38連大, 1187 (1963)

- 4) 森脇義雄, 高羽慎雄, 嶽沢雅徳 "パルス分配式多チャネル波高分析器" 昭和39年電気学会連合大会論文集 547 (1964-04)
- 5) 同上 "パルス分配式多チャネル波高分析器" 第6回日本アイソトープ会議論文抄録集 A/E-7 (1964-11)
- 6) 高羽慎雄, 生沼徳二 東京大学生産技術研究所電気談話会報告, 13, 7 (1964-09)
- 7) Pressman, A. "Design of Transistorized Circuits for Digital Computers" (1959)