

アイソレータ

(1960年代～現在)

Key-words: 携帯電話, 非可逆回路素子, マイクロフェライト, フェリ磁性共鳴, YIG

注1 交流磁界を印加された磁気モーメントが首振り運動（歳差運動ともいう）を起こす現象。交流磁界の周波数が磁気モーメントの歳差運動のもつ固有周波数と一致した場合に磁気共鳴が発生する。

注2 異なる周波数成分 ω_1 と ω_2 を含む信号が伝送系に入力したとき、その整数倍の周波数の和、または差の周波数成分を持った信号($\omega = n\omega_1 \pm m\omega_2$)を発生する現象。受信感度の抑圧等を引き起こす。

注3 無線通信で使用する高周波信号を処理する部分

アイソレータ（図1）はマイクロ波フェライトのジャイロ磁気現象^{注1}を応用した非可逆回路素子である。1970年代末に運用が始まった移動体通信端末では、アンテナ側から戻る反射波がパワーアンプ（送信電力増幅器）に影響を及ぼし動作が不安定になったり、またアンテナを介して進入する不要電波がパワーアンプに進入し、相互変調歪み（IMD）^{注2}を発生する恐れがあった。アイソレータは順方向の信号は伝送するが、逆方向の信号は伝送しない非可逆特性を有していることから、主にアンテナの負荷変動からパワーアンプを保護する目的で導入され、現在も広く使用されている。

1. 製品適用分野

移動体通信用端末および基地局

2. 適用分野の背景

フェライトのマイクロ波用途への応用は1950年代にアメリカで始まった。当初は主にスピネル型フェライトが使われたが、1956年フランスで希土類ガー

ネット型フェライトが発見され、磁気損失が飛躍的に改善されることが確認されると、その後はガーネット型フェライトが一般的に使用されるようになった。一方、移動体通信は1979年に日本電信電話公社（当時、現NTT）が日本における運用を開始した自動車電話に始まり、その後持ち運びが可能なショルダーホンを経て、1987年にハンディタイプの携帯電話が登場し急

速に普及が進んだ。

携帯電話では、人体などの影響でアンテナのインピーダンスが変動すると、出力信号の一部がアンテナで反射してパワーアンプに戻るため、パワーアンプの電力効率が低下したり、隣接チャンネル妨害波などの不要な信号が発生したりする弊害が起こる。アイソレータは順方向の信号は通過させるが、逆方向の信号は遮断する機能を有しているため、アンテナのインピーダンス変動に対して実効的な負荷変動を小さくすることができる。アイソレータは主に携帯電話内部のRF部^{注3}に使われる。一般的なRF部の回路ブロック図を図2に示す。

3. 製品の構成

アイソレータの基本動作は図3(a)に示す3ポートサーキュレータで説明される。図3(b)はサーキュレータの1つのポートに終端抵抗を接続したものであり、アイソレータとして動作し、負荷側からの反射波を送信側であるポート①へは伝送させ

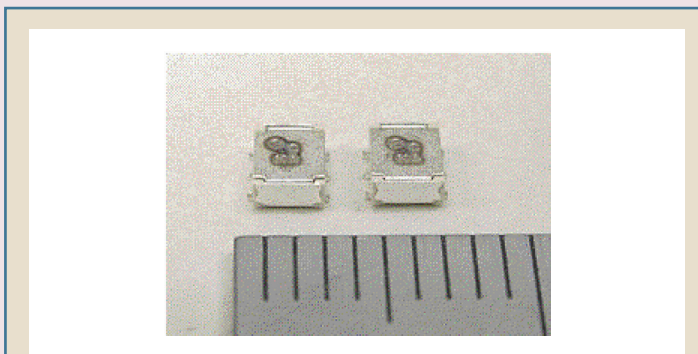


図1 集中定数型アイソレータの外観

携帯電話の小型・軽量化に伴い、搭載されるアイソレータのサイズも小型・軽量化が要求された。（縦3.2mm×横2.5mm×最大高さ1.2mm）

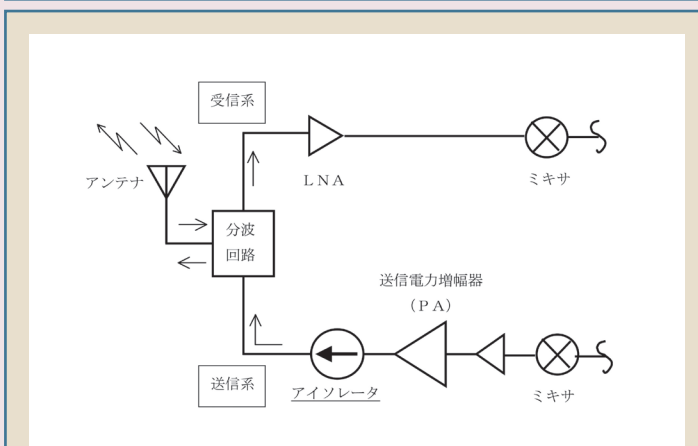
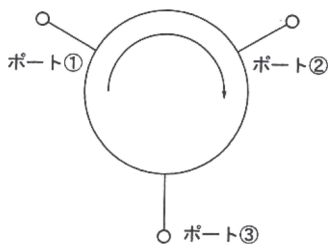
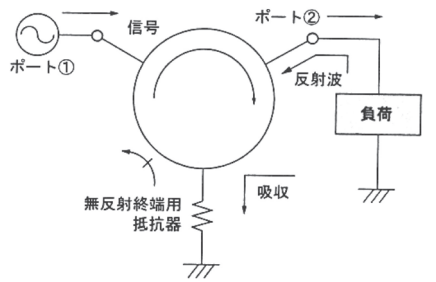


図2 携帯電話のRF部のブロック回路図

アイソレータは主に携帯電話内部のRF部に使われ、アンテナの負荷変動からパワーアンプ（送信電力増幅器）を保護する目的で導入された。アンテナの負荷変動を回避することにより、パワーアンプの電力効率の低下を防止し、消費電流を減少させ、携帯電話の連続通話時間の低下を抑える効果がある。



(a) 3ポートサーキュレータ



(b) 2ポートアイソレータ

図3 アイソレータの基本動作

- (a) 信号をポート①に入力すると、その信号は矢印の進行方向にのみ伝送し、ポート②に出力される。同様の関係がポート②→③およびポート③→①についても成り立つ。
- (b) ポート①からポート②へ信号が伝送し、負荷側から反射波が戻ってきた場合、その反射波は矢印の方向に伝送し、終端抵抗で吸収される。

注4 マイクロ波帯におけるフェライトの磁気損失を示す指標のこと。マイクロ波で磁気共鳴が起こると、高周波磁界のエネルギーを吸収し、磁気損失が発生する。共鳴周波数付近で磁気損失は最大となるが、集中定数型アイソレータでは共鳴周波数から離れた周波数で動作させるため、強磁性共鳴半値幅が小さいフェライトほど磁気損失の影響を少なくすることができる。

ない機能をもつ。

当初は、導波管タイプや接合タイプの分布定数型アイソレータが用いられたが、分布定数型アイソレータは必要とするフェライトの大きさが周波数に反比例するため携帯電話の通信周波数帯である800MHz～2GHz付近では直径数cmのフェライトが必要となり素子の小型化が困難であった。そこで、携帯電話の送信回路路としては、小型化が可能な集中定数型アイソレータが採用された。集中定数型アイソレータの基本構成を図4に示す。直流磁界が印加されたフェライト上に互いに120°の角度をなした中心電極が電気的に絶縁されて重ね合わさった構造となっている。

4. セラミックの特徴

アイソレータ用マイクロ波フェライトに要求される性能としては、

- 1) 磁氣的損失が小さいこと。すなわち材料定数 ΔH (強磁性共鳴半値幅)^{注4)}が小さいこと。
- 2) 飽和磁化の温度係数がバイアス用磁石の温度係数に近いこと。

などがあげられる。1)は1W程度の比較的高電力の高周波信号を通過させるので挿入損失を小さくしてフェライトの発熱量を小さくする必要があるからである。2)の理由は以下の通りである。外部磁界が印加されたフェライトに外部磁界と直交する高周波磁界を印加した場合、フェライトの円偏波透磁率 μ_{\pm} はフェライトの飽和磁化(M_s)と内部直流磁界(H_n)に影響される(図4参照)。そこで、磁石の残留磁束密度の温度係数とマイクロ波フェライトの温度係数を揃えることにより相対的に温度変化に対して電気特性を安定化

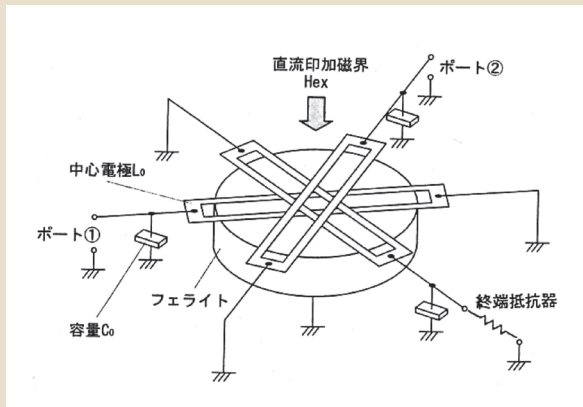


図4 集中定数型アイソレータの基本構成

外部直流磁界 Hex を印加した状態で、Hex と直交した高周波磁界を加えるとマイクロ波フェライトの磁気モーメントは歳差運動を行う。円偏波透磁率 μ_{+} 、 μ_{-} は次式で表される。

$$\mu_{+} = 1 + |\gamma| Ms / (\mu_0 |\gamma| H_n - \omega) \quad \dots \text{正円偏波透磁率}$$

$$\mu_{-} = 1 + |\gamma| Ms / (\mu_0 |\gamma| H_n + \omega) \quad \dots \text{負円偏波透磁率}$$

M_s はフェライトの飽和磁化、 γ はジャイロ磁気定数、 μ_0 は真空の透磁率、 H_n は内部直流磁界、 ω は高周波磁界の角周波数

高周波磁界が正円偏波(右回り)のときは、磁気モーメントの歳差運動と回転方向が一致するため、大きな磁化が発生するが、負円偏波(左回り)のときは回転方向が反対となるため、あまり磁化は発生しない。その結果、偏波方向によって位相のずれが生じ、マイクロ波の進行方向が曲げられる。

させる必要がある。

以上の理由によりアイソレータ用マイクロ波フェライトには一般的にYIG(イットリウム・アイアン・ガーネット)が用いられる。YIGは ΔH が小さく、かつ、組成比を選ぶことにより飽和磁化の温度係数を制御できるからである。

5. 製法

マイクロ波フェライトの基本製造プロセスを以下に記す。Fe₂O₃, Y₂O₅等の原料を秤量・混合し、所定の温度で仮焼した後、ボールミルで粉碎しバインダーを加えて造粒する。これをプレス機で押し固め、所定の形状に成型したものを高温で焼成し、マイクロ波フェライトの焼結体を得る。このマイクロ波フェライトを用いて、図5に示すような構成に組み立てることでアイソレータが得られる。

6. 将来展望

携帯電話は、伝送速度の高速化と機能の増加により、部品点数や消費電流が増加する傾向にある。また、使用する周波数帯を従来の2バンドから3バンドに変更することも検討されており、部品点数がますます増加

する傾向にある。このような状況から携帯電話のRF部に使用されるアイソレータは小型低背、軽量化、消費電流低減に貢献できる高性能化の要求がますます強くなると予想される。今後、基本構造の見直し、フェライト部の高精度電極形成技術やセラミック多層基板の特徴を生かした構造設計などにより、アイソレータのさらなる小型低背・高性能化が期待される。

文献

- 1) 小西良弘, 電気通信学会雑誌, 48, 899-908 (1965).
- 2) 橋本忠志, “マイクロ波フェライトとその応用技術”, 総合電子出版社 (1997) pp.74-109.

[連絡先] 児玉 高志
(株)村田製作所
長岡京市東神足1-10-1

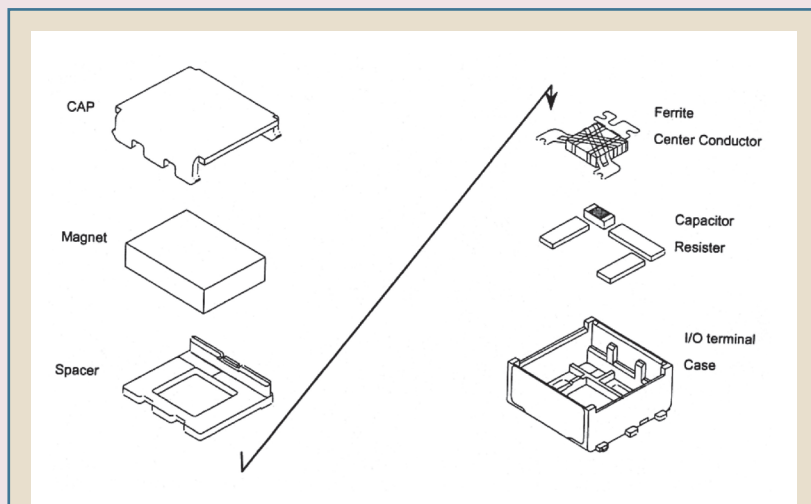


図5 携帯電話用小型アイソレータの分解図

アイソレータは、バイアス磁界印加用永久磁石、中心電極を形成したマイクロ波フェライト、インピーダンス整合用キャパシタ、終端用抵抗体、外部ケース等から構成される。