

低背型アイソレータ／サーキュレータにおけるバイアス磁場印加方法の検討

(山口大工) 下光敬子、山本節夫、栗巢普揮、松浦 満

1. はじめに

携帯電話端末や無線 LAN など、準マイクロ波帯を利用した移動体通信機器の小型化・薄型化・高機能化が進んでいる。電磁波の進行方向を制御するアイソレータ／サーキュレータは送信増幅器の最終段を安定に動作させるための必須の素子として移動体通信機器で使用されている。他の素子が 1mm 程度の高さにまで低背化が進んでいる中、アイソレータ／サーキュレータの現行製品は 1.6~2.5mm もの高さがあり、一層の薄型化が要求されている。このような状況の中、筆者らは、高さが 1mm 以下のアイソレータ／サーキュレータの開発を進めている。アイソレータ／サーキュレータを低背化するために永久磁石を薄型化すると、必要な強度のバイアス磁場が得られなくなることが危惧される。

そこで、本研究では薄型の永久磁石を使用して、アイソレータ／サーキュレータの正常動作に必要な 2000 Oe 以上のバイアス磁場を得るための方法について、電磁界解析シミュレーションを用いて検討した。

2. 設計および考察

図 1 に、アイソレータ（サーキュレータも同様な構造）の現行製品の構造を示す。永久磁石としてフェライト磁石が用いられ、軟磁性フェライト（イットリウム鉄ガーネット (YIG) フェライト) にバイアス磁場を印加している。軟磁性フェライト中のスピン磁気モーメントはバイアス磁場方向を軸に歳差運動を行うが、その時にバイアス磁場に対して垂直面内に印加された右回り高周波磁場（マイクロ波）と左回り高周波磁場に対する応答が異なる性質によって、電磁波の進行方向が曲げられ、3つの電極間での信号の入出力に非相反性が発生し、アイソレータ／サーキュレータとしての動作が実現される。素子の高さを 1mm 以内にするためには、現行製品では薄いものでも 0.6mm ある永久磁石と軟磁性フェライトの厚みを、0.4mm 程度以下にする必要がある。

磁場解析シミュレーションには、(株)日本総合研究所の磁場解析用有限要素法ソフトウェア『JMAG-Studio』を用いた。

まず、ヨークを付加しない単独の永久磁石について、永久磁石の厚みを減少させたときに、外部に発生する磁場強度の変化について調べた。永久磁石として、現在得られる最強の磁石である NdFeB 系希土類磁石 [日立金属(株)製、半径が 2.5mm の円板状] を想定し、永久磁石の厚みを 0.6mm から減少させた時に、永久磁石の表面から 0.05mm ほど離れた外部における磁場の強さの変化を調べた。図 2 のように、0.6mm の厚さでは 1519 Oe ほどあった磁場は、磁石の厚みの減少と共に急激に減少し、0.4mm の厚さでは 988 Oe にまで減ることがわかった。これは、永久磁石を薄くすると、減磁界によって残留磁化が減少するためである。よって、最強の永久磁石を用いても磁石単独では十分な強度のバイアス磁場を得ることは不可能であり、ヨークを用いて閉磁路構にして減磁作用を低減することが必要である。

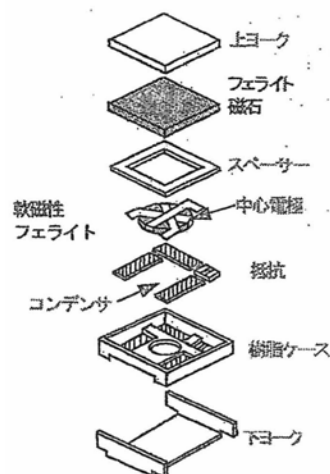


図 1 アイソレータ（現行製品）の構造

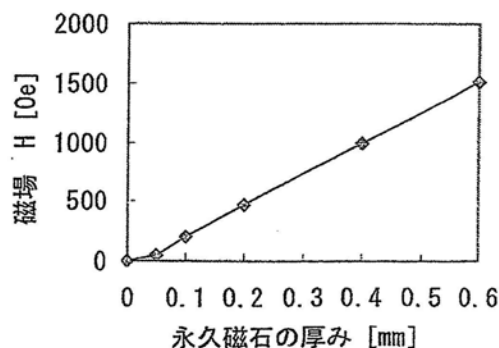


図 2 永久磁石の厚みとバイアス磁場の関係

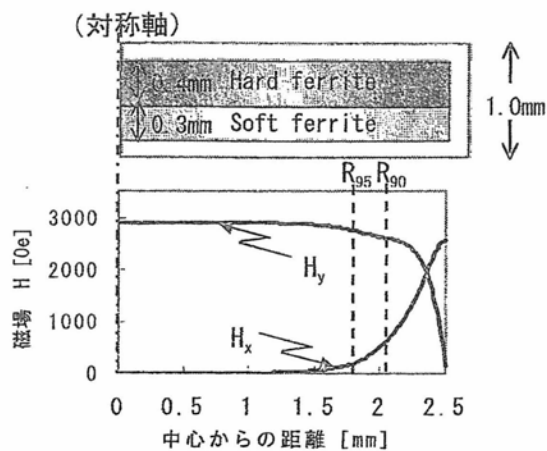


図3 解析モデルとバイアス磁場の分布(1)

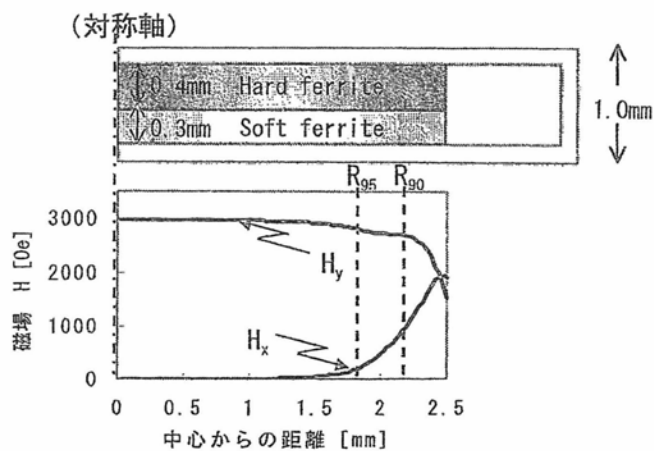


図4 解析モデルとバイアス磁場の分布(2)

そこで、図3のように、永久磁石 (NdFeB系希土類磁石、厚さが0.4mmで半径が2.5mmの円板状) と軟磁性フェライト (当研究室において放電プラズマ焼結法で製造したYIGフェライト、厚みは0.3mm、半径は2.5mm) を重ね、その周囲をヨーク (材料は鉄、上下部分の厚みは0.15mm) で囲んだ構造について、軟磁性フェライトの中央における半径方向への磁界分布を調べた。図3中、 H_y は厚み方向の磁場成分、 H_x は半径方向の磁場成分を示している。 R_{95} および R_{90} はそれぞれ、 H_y の強度が中心部での値の95%および90%となる半径位置である。中央部では2896 Oeの磁場強度が得られているものの、外周に近づくにしたがって、 H_y は急激に減少し、 H_x は増加しており、磁場強度の変動が大きい。これは、強力な永久磁石を用いたことによって、外周部のコアが磁気飽和をおこしたためである。

そこで図4のように、外周部のコアを永久磁石とYIGフェライトから離れた構造について、磁場解析を行った。その結果、図4に示すように、YIGフェライトの中心部分での磁場強度 (2963 Oe) を低下させることなく、磁場の均一性を図3の解析モデルよりも大幅に改善できることがわかった。

実際のアイソレータ/サーキュレータにおいては、図1のように、永久磁石とYIGフェライトの間に、信号を入出力するための中心電極が入るので、隙間が多少生じる。そこで、図4の構造の解析モデルについて、永久磁石とYIGフェライトの間に隙間を設けたときの、磁場の変化を調べた。その結果、図5に示すように、0.2mm程度の隙間を設けても2700 Oe以上の十分に強いバイアス磁場が得られることがわかった。

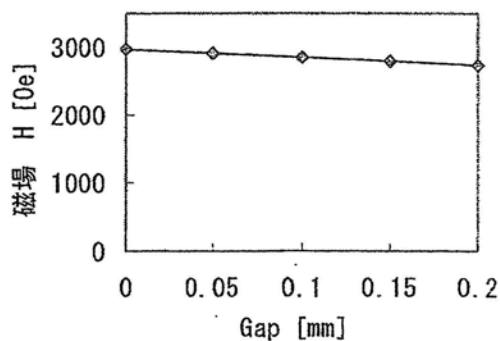


図5 隙間を設けた場合の磁場の変化

以上は、軸対象モデルとして検討を行ったが、実際の構造では、ヨークに電極を引き出すための窓が必要で、完全な軸対称構造ではない。そこで、図4の結果を踏まえて、より実際の3次元構造のモデルについても磁場解析シミュレーションを実施し、その場合でも、2833 Oeのバイアス磁場をYIGフェライトに印加できることを確認した。

3. おわりに

アイソレータ/サーキュレータの素子全体の厚みを1mmと減少させた場合でも、永久磁石としてNdFeB系希土類磁石を使用し、その構造を最適化すれば、2500 Oeを超える実用上十分な強度のバイアス磁場を印加できることがわかった。

本研究を遂行するにあたって貴重な助言をいただいた日立金属(株)の藤井重男氏および(財)中国技術振興センターの大城和宣氏に、心から感謝します。