

マイクロ波フィルタの技術と応用

Technology and Applications of Microwave Filters

吉田 和明
Kazuaki Yoshida

要 旨

無線機においてフィルタは必要不可欠な回路である。当社では、特に送受信機とアンテナの間に配置される、多種多様なマイクロ波帯のフィルタを開発している。本稿では、レーダーシステムと多重無線装置で用いられているフィルタの事例を紹介する。これらシステムで用いるフィルタは低損失を要求されることから、導波管回路を用いたフィルタに関して述べる。

Abstract

Microwave filter is an essential component for radio and wireless system. JRC has been developing various types of microwave filters located between front-end module and antenna. In this paper, we describe the microwave filters focused on the equipment of Radar system and Multiplex radio communication system. These system requires quite low loss characteristics for filters realized utilizing waveguide component.

1. まえがき

無線機には装置の周波数帯や用途に応じて様々なフィルタが用いられるが、本稿ではレーダーシステムと多重無線装置を題材として、送受信機とアンテナの間に配置されるフィルタに関して述べる。

図1と図2に送信系と受信系それぞれのアンテナ周辺回路のブロック図を示す。送信系の場合、図1に示すようにPAやアップコンバータから生じた不要信号を除去するためにフィルタが用いられる。受信系の場合、図2に示すように隣接するシステムの信号が妨害波として受信機に入力され、受信機の性能を劣化させないためにフィルタが用いられる。これらフィルタは、所望の信号の損失に影響するため低損失であることが望まれる。従って、導波管回路で実現することが適している。

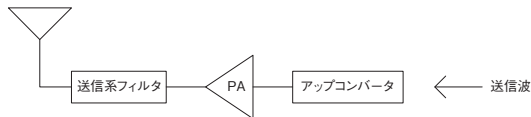


図1 送信系アンテナ周辺のブロック図の例
Fig.1 Example of block diagram for around TX filter

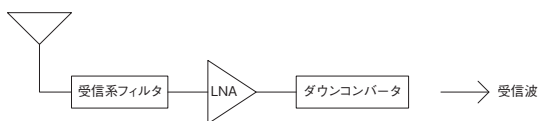


図2 受信系アンテナ周辺のブロック図の例
Fig.2 Example of block diagram for around RX filter

2. マイクロ波帯域通過フィルタの実現方法

フィルタの種類には、低域通過型・高域通過型・帯域通過型・帯域阻止型がある。装置の用途に応じた適切なフィルタを選択して、等価回路による理想特性を求めた後、物理的な形状の検討を行う。

本稿で述べる送受信機とアンテナの間に配置されるマイクロ波フィルタは、無線機の性能を左右するため、特に低損失であることが望まれる。従って、実現方法としては、導波管立体回路を用いることが多い。これら立体回路は、金属材料の機械加工あるいは、銀蝾付けや半田付け等の製造方法により所望の構造に加工成型することで得られる。又、温度安定性を求められる要求仕様に対しては、線膨張係数の小さい材料を用いる場合もある。

3. レーダー用フィルタ

3.1 レーダー用フィルタの概要

当社では、気象レーダーやVTMS等に代表される様々なレーダーシステムを製造している⁽¹⁾。これらレーダーシステムでは、送信機から発生する高調波を抑圧する低域通過フィルタ、受信機に用いられる妨害波抑圧用の帯域通過フィルタ、送信信号スペクトラムを整形する狭帯域の帯域通過フィルタが用いられている。本節では、レーダー用フィルタの事例を3つ挙げる。

3.2 ワッフルアイアンフィルタ

送信機より発生する高調波を抑圧する低域通過フィルタの例として、ワッフルアイアンフィルタがある。図3にワッフルアイアンフィルタの構造例を示す。

ワッフルアイアンフィルタは、横方向と縦方向に溝を有

しており、溝の深さ・本数・間隔はそれぞれ抑圧周波数と抑圧量に応じて最適化されている。



図3 ワッフルアイアンフィルタの構造例
Fig.3 Realization of a waffle iron filter

図4～図7に通過帯域・VSWR・第二・第三高調波帯域それぞれの特性例を示す。

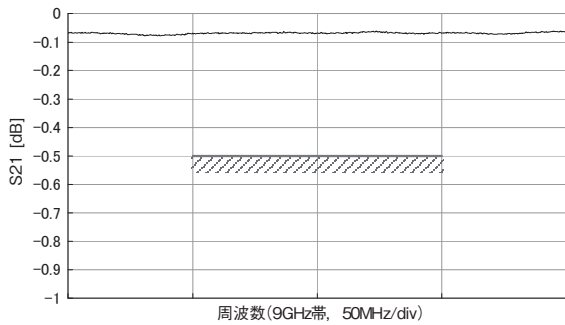


図4 通過帯域内通過特性
Fig.4 Inband transmission characteristic

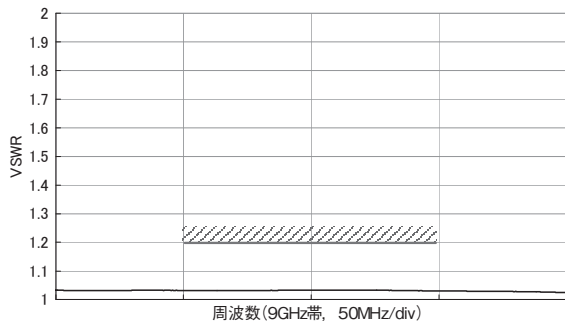


図5 帯域内VSWR
Fig.5 Inband VSWR

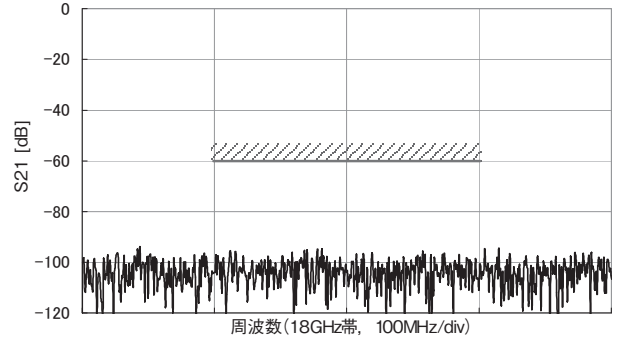


図6 第二次高調波抑圧特性
Fig.6 Second harmonics suppression characteristic

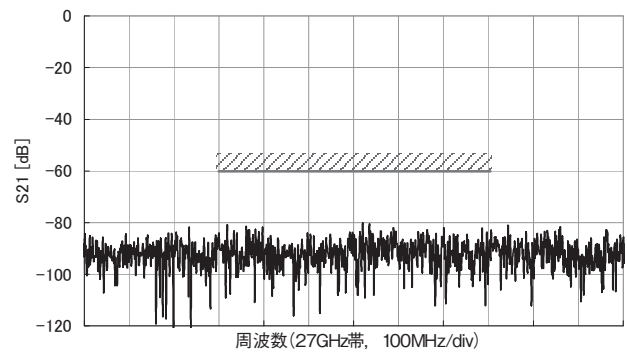


図7 第三次高調波抑圧特性
Fig.7 Third harmonics suppression characteristic

3.3 導波管帯域通過フィルタ

受信機に用いられる妨害波抑圧用の帯域通過フィルタの例として、 TE_{101} モードと呼ばれる矩形導波管の基本モード共振器を用いた帯域通過フィルタがある。図8に、 TE_{101} モード共振器を用いた導波管帯域通過フィルタの構造を示す。

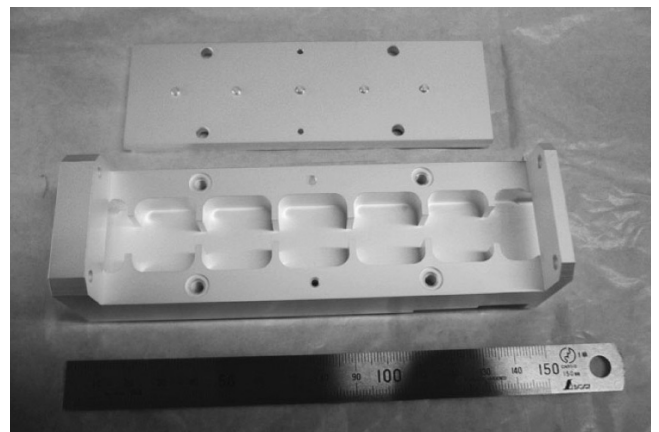


図8 TE_{101} モード矩形導波管共振器を用いた帯域通過フィルタ
Fig.8 A band pass filter utilizing TE_{101} mode rectangular waveguide resonator

図9と図10に通過特性・VSWRそれぞれの特性例を示す。

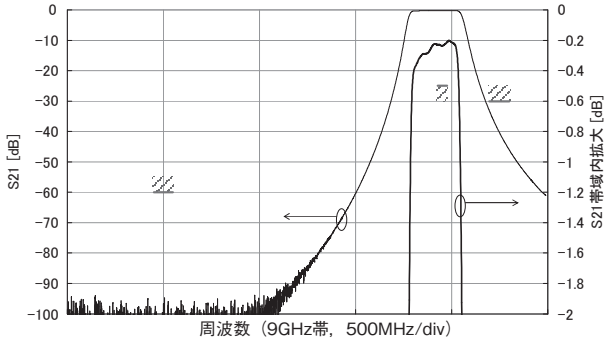


図9 通過特性
Fig.9 Transmission characteristic

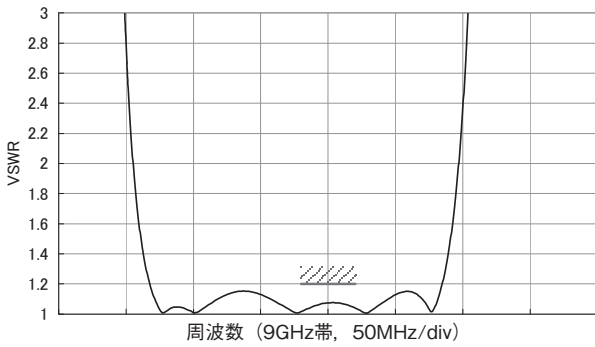


図10 帯域内VSWR
Fig.10 Inband VSWR

3.4 狭帯域 円形導波管帯域通過フィルタ

送信信号スペクトラムの整形する狭帯域の帯域通過フィルタの例として、円形導波管の高次モード共振器を用いた帯域通過フィルタがある。送信スペクトラムの帯域幅が狭く、フィルタの通過帯域を狭くせざるを得ない場合には、共振器の無負荷Qを大きくする必要があるので、共振器としては円形導波管の TE_{01n} ($n=1,2,\dots$) モードを用いることが適切である。添字nは、円筒軸方向の半波長の数を示し、nが大きい程無負荷Qは大きくなる。図11に TE_{01n} モードの電界分布を示す。

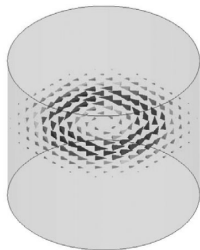


図11 TE_{01n} モードの電界分布
Fig.11 Electric Field Distribution of TE_{01n} Mode

TE_{01n} 共振器は高次モードが所望の共振周波数となっているため、フィルタ特性を劣化させる不要共振が数多く存在

する。そのため、これら不要共振がフィルタ特性に影響を与えないように共振器間の結合を工夫してフィルタを構成する必要がある。

図12と13に通過特性・VSWRそれぞれの特性例を示す。

※ 特許：登録1件，出願中1件

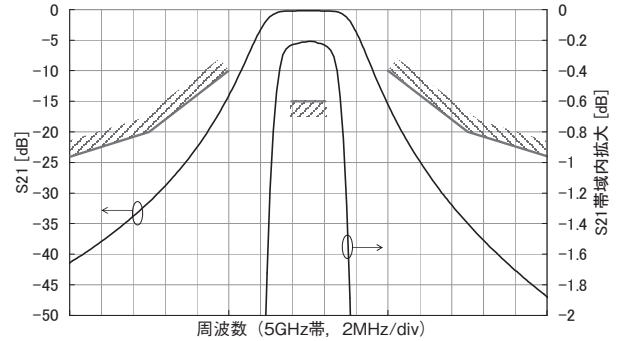


図12 通過特性
Fig.12 Transmission characteristic

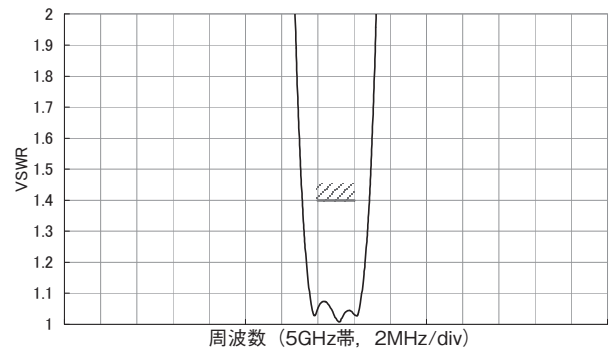


図13 帯域内VSWR
Fig.13 Inband VSWR

4. 多重無線装置用フィルタ

4.1 多重無線装置用フィルタの概要

当社では、6/7/12GHz帯の公共バンドに対応した、多重無線装置を製造している⁽²⁾。これら多重無線装置では、送信と受信共に小型・低損失かつ、温度安定性に優れた帯域通過フィルタが求められる。本節では、多重無線装置用フィルタの事例を2つ挙げる。

4.2 2重モード帯域通過フィルタ

帯域通過フィルタを小さくする方法の1つは、円形導波管の基本モードである TE_{11n} ($n=1, 2, \dots$) モードを用いる方法である。 TE_{11n} モードは、断面に2つの直交した偏波を含んでいるため、1つの共振器で2つの共振周波数を含ませることが出来る。つまり、理論上 $2k$ ($k=1, 2, \dots$) 素子数の帯域通過フィルタが、 k 個の共振器を用いて実現出来ることになり、フィルタの小型化が実現出来る。このような共振器を用いた帯域通過フィルタを、2重モード帯域通過フィルタと呼んでいる。図14に TE_{113} モード共振器を用いた2重モード帯域通

過フィルタの構造を示す。

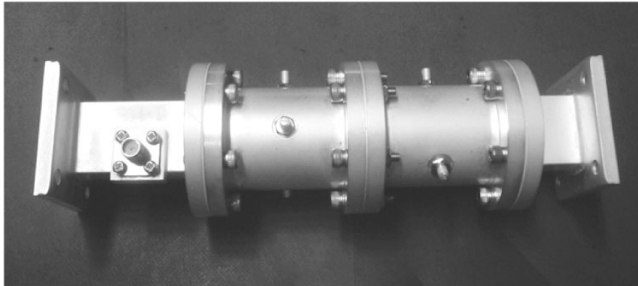


図14 TE₁₁₃モード円形導波管共振器を用いた
2重モード帯域通過フィルタの構造

Fig.14 A dual mode band pass filter
utilizing TE₁₁₃ mode circular waveguide resonator

図15と16に通過特性・VSWRそれぞれの実測結果を示す。

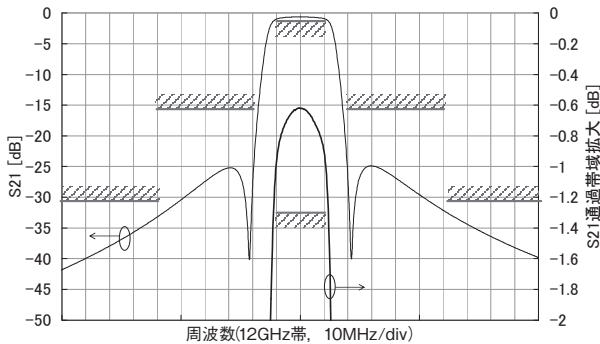


図15 通過特性

Fig.15 Transmission characteristic

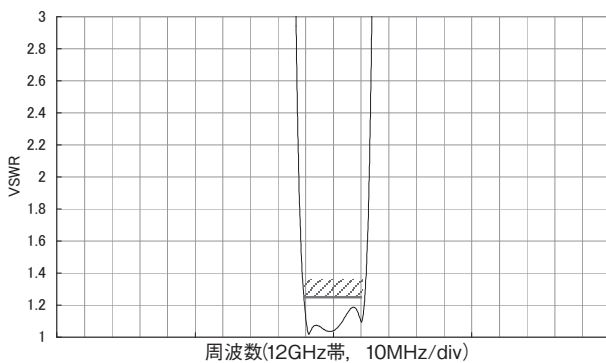


図16 帯域内VSWR

Fig.16 Inband VSWR

4.3 誘電体共振器帯域通過フィルタ

4.2で述べた2重モード帯域通過フィルタは、導波管共振器であるため、温度による周波数推移量が金属材料の線膨張係数に左右されやすく、温度安定性を要求されるフィルタにはやや不向きである。そこで、小型化と温度安定性を同時に満足する共振器として、誘電体共振器が挙げられる。誘電体共振器の構造を図17に示す。

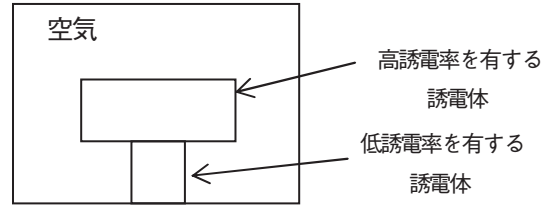


図17 誘電体共振器の断面図

Fig.17 Cross section of a dielectric resonator

誘電体共振器は、所望の共振周波数を得るべく加工された高誘電率を有する誘電体と、それを支持する低誘電率を有する誘電体の支持台からなる構成が良く知られている。これらは、金属筐体に適切な方法で固定され、筐体の壁からはある距離離れて配置される。高誘電率を有する誘電体の比誘電率は20~80程の種類があり、温度係数は-1~1 [ppm/°C] 程の非常に小さい誘電体もある。

広く用いられるモードは、TE_{01δ}と呼ばれるモードであり、図11に示す電界分布を、高誘電率を有する誘電体内部に集めたような電界分布となる。誘電体共振器で用いられる高誘電率を有する誘電体は、誘電正接が非常に低いことも特徴として挙げられる。従って、導波管共振器に対して若干小型であるが、比較的無負荷Qが高いことも誘電体共振器の特徴である。

図18と図19に通過特性・VSWRそれぞれの実測結果を示す。

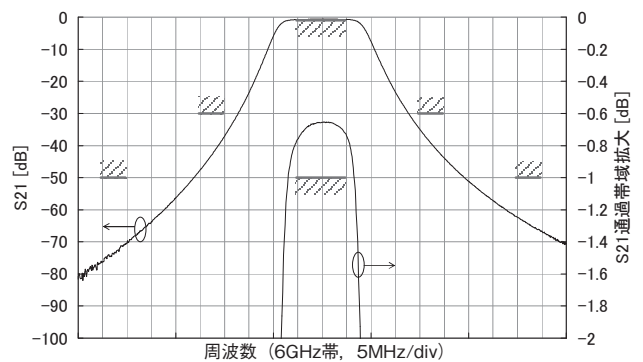


図18 通過特性

Fig.18 Transmission characteristic

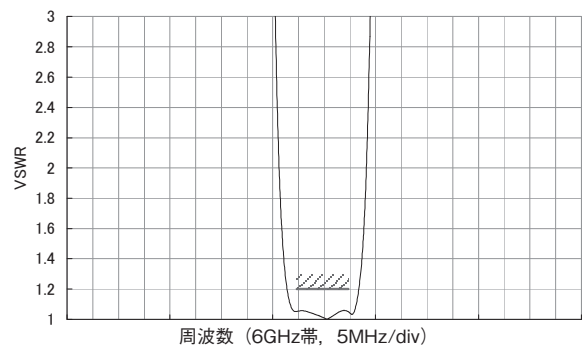


図19 帯域内VSWR

Fig.19 Inband VSWR

5. あとがき

本稿では、当社におけるマイクロ波帯フィルタの実施例を、レーダーシステムと多重無線装置の例を紹介した。

本稿で挙げた以外にも、放送機や移動体通信の基地局等の様々な無線機で用いられるフィルタの開発も行っている。無線装置の更なる高性能化へ向け、高品質で市場価値の高いフィルタを提供し続けるよう努める。

参考文献

- (1) 長田正嗣, 河原登, 羽田利博, “気象庁向け気象ドップラーレーダー” 日本無線技報, No. 58, 2010-17.
- (2) 毛利貢治, 村田真也, 田中康英, 加藤康之, “16QAM/128QAM 多重無線装置 (JUK-ZEROシリーズ) の開発” 日本無線技報, No. 58, 2010-21.

用語一覧

RX: Receiver
TE: Transverse Electric Mode
TX: Transmitter
VSWR: Voltage Standing Wave Ratio (電圧定在波比)
VTMS: Vessel Traffic Management System: (港湾監視レーダーシステム)