

UHF TV サテライト局用小形出力フィルタ

Small Size Output Filter for UHF Television Translator

橋 場 弘 道* 城 取 睦*

Hiromichi Hashiba

Mutsumi Shirotori

要 旨

分布結合線路を利用したフィルタは従来の共振素子と分布定数線路を組み合わせたフィルタに比べて小形軽量化が可能である。特にインターディジタルバンドパスフィルタと呼ばれている形式のものは構造的にも簡単できわめて実用的であり、外国においてはマイクロ波帯で活用され始めている。筆者らはこれを UHF TV サテライト局の出力フィルタとして利用することを計画し、試作検討の結果 2 種類の出力フィルタを実用化することができた。このうち一種はバンドパスフィルタのみで出力フィルタの特性を満足するように内部に特殊な構造をもたせた全く新しい着想によるものである。

1. 緒 言

近年アメリカにおいて開発されたインターディジタルバンドパスフィルタ (IBPF) は、わが国でも研究されている分布結合線フィルタの一種であり、構造も単純できわめて実用的なものである。

従来 UHF TV 放送サテライト局で使用している出力フィルタは比較的体積が大きく小形化が強く要望されていた。筆者らはこの要望にこたえるため、まず IBPF とストリップラインノッチフィルタ (Strip Line NF) とを縦続接続した複合形フィルタを実用化した⁽¹⁾。しかし、動作の安定性、経済性の点からはバンドパスフィルタ単体で所要特性を得ることが望ましい。そのためにはバンドパスフィルタの素子数を増せばよいが必然的に大形化するという問題が起こる。放送機に組み込むためにはフィルタの縦、横、高さに制限があり、性能、寸法の両面をあわせ考えると素子数は 5 または 6 個に限定され、しかも横寸法を約 1/2 にする必要があった。そこでフィルタを中央部から折り曲げ、さらに内部に特殊結合方式を採用して減衰特性を大幅に改良し目的とするフィルタを得ることができた⁽²⁾。本文ではおもにその構造、特性について報告する。

2. UHF 出力フィルタに要求される性能

現在民間放送各社向けに定められている仕様は次のとおりである。

2.1 電 気 的 性 能

適用チャンネルにおいて表 1 のように規定されている。

2.2 構 造 寸 法

放送機架に規定の寸法があり、これにはめ込み方式とするものでフィルタ寸法は図 1 のように規定されている。

3. バンドパスフィルタ

3.1 IBPF の 概 要

IBPF は分布結合線路を使ったフィルタの高度なものと考えられる。これを利用した分布結合フィルタはアメリカおよび日本で開発されたもので歴史は比較的新しい。図 2 に示すように IBPF は入出力端の配列の仕方によって (a) 短絡方式と (b) 開放方式とに大別される。また結合素子は一般に断面が円形のものと方形のものが使われているが、製造、調整コストなどの点から円形素子が選ばれた。IBPF の特長は次のとおりである。

- (1) 1/4 波長線路 (電気角 $\theta=90^\circ$) であるため非常にコンパクトである。
- (2) 素子間隔が比較的大きいため、理論計算上の寸法を実現す

* 日立電線株式会社日高工場

表 1 UHF 出力フィルタの仕様

項 目	規 格	
	10 W 用	100 W 用
そ う 入 損 失	$f_c \pm 3 \text{ Mc}$ 0.8 dB 以 下	$f_c \pm 3 \text{ Mc}$ 0.8 dB 以 下
V SWR	$f_c \pm 3 \text{ Mc}$ 1.2 dB 以 下	$f_c \pm 3 \text{ Mc}$ 1.2 dB 以 下
減 衰 量		
$f_V - 4.5 \text{ Mc}$	20 dB 以 上	30 dB 以 上
$f_V - 3.58 \text{ Mc}$	10 dB 以 上	15 dB 以 上
$f_V + 9 \text{ Mc}$	20 dB 以 上	30 dB 以 上
$f_V - 9 \text{ Mc}$	15 dB 以 上	15 dB 以 上
$f_A + 9 \text{ Mc}$	15 dB 以 上	15 dB 以 上
$f_C - 19.5 \text{ Mc}$	20 dB 以 上	20 dB 以 上
$2f_c$	30 dB 以 上	30 dB 以 上

f_c : チャンネル内中心周波数

f_V : 映像搬送周波数

f_A : 音声搬送周波数

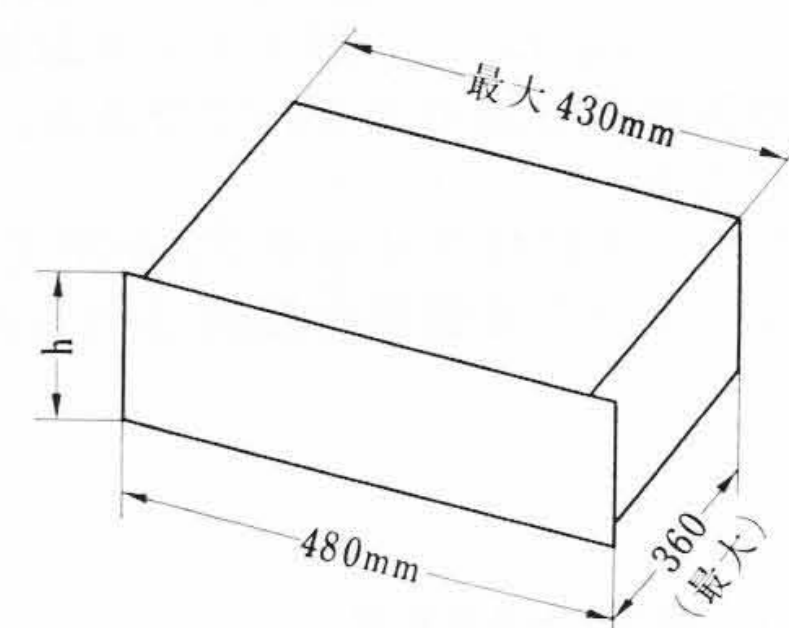


図 1 UHF 出力フィルタの寸法

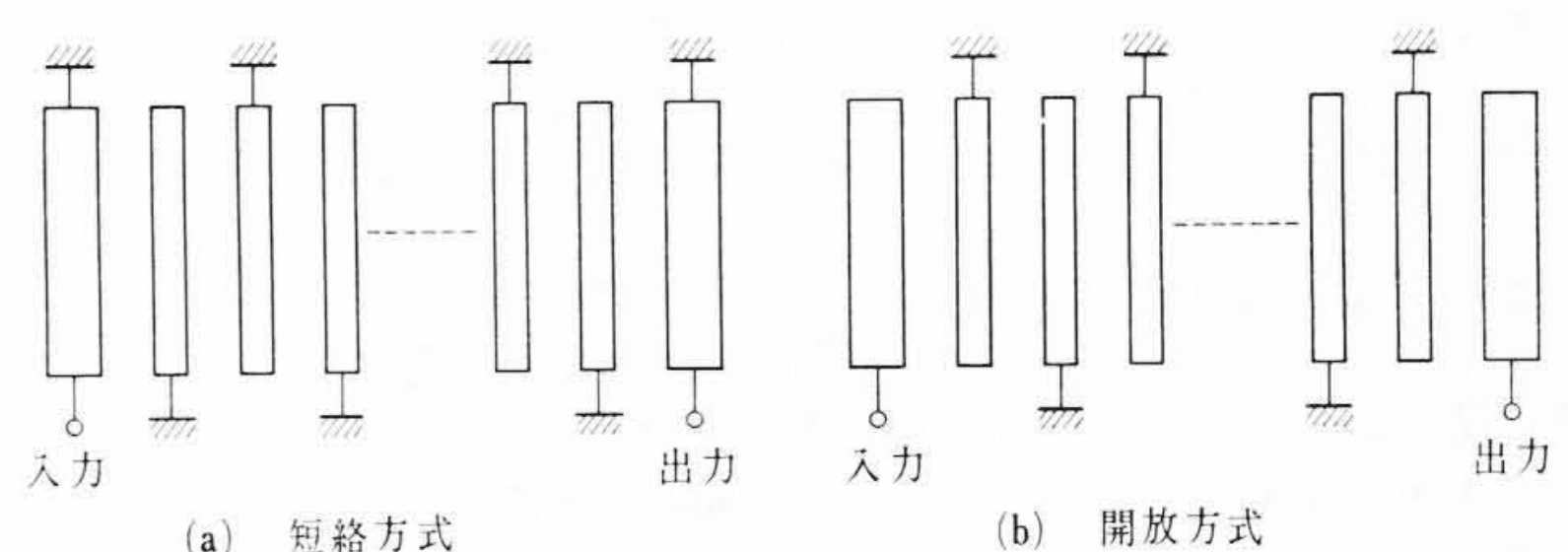


図 2 代表的な回路形式

る場合工作精度をゆるくとれる。

- (3) 2 番目の通過帯域は設計通過周波数の 3 倍であるから、2 倍の高調波に対する減衰は大きい。
- (4) 素子は片側短絡支持であるため誘電体などにより支持する必要がないので誘電体損失はない。

3.2 IBPF の 原 理

分布結合線路の中にはバンドパス特性をもつ方式は多くあるが、IBPF が最も実用的なものである。分布結合線路の理論は省略して

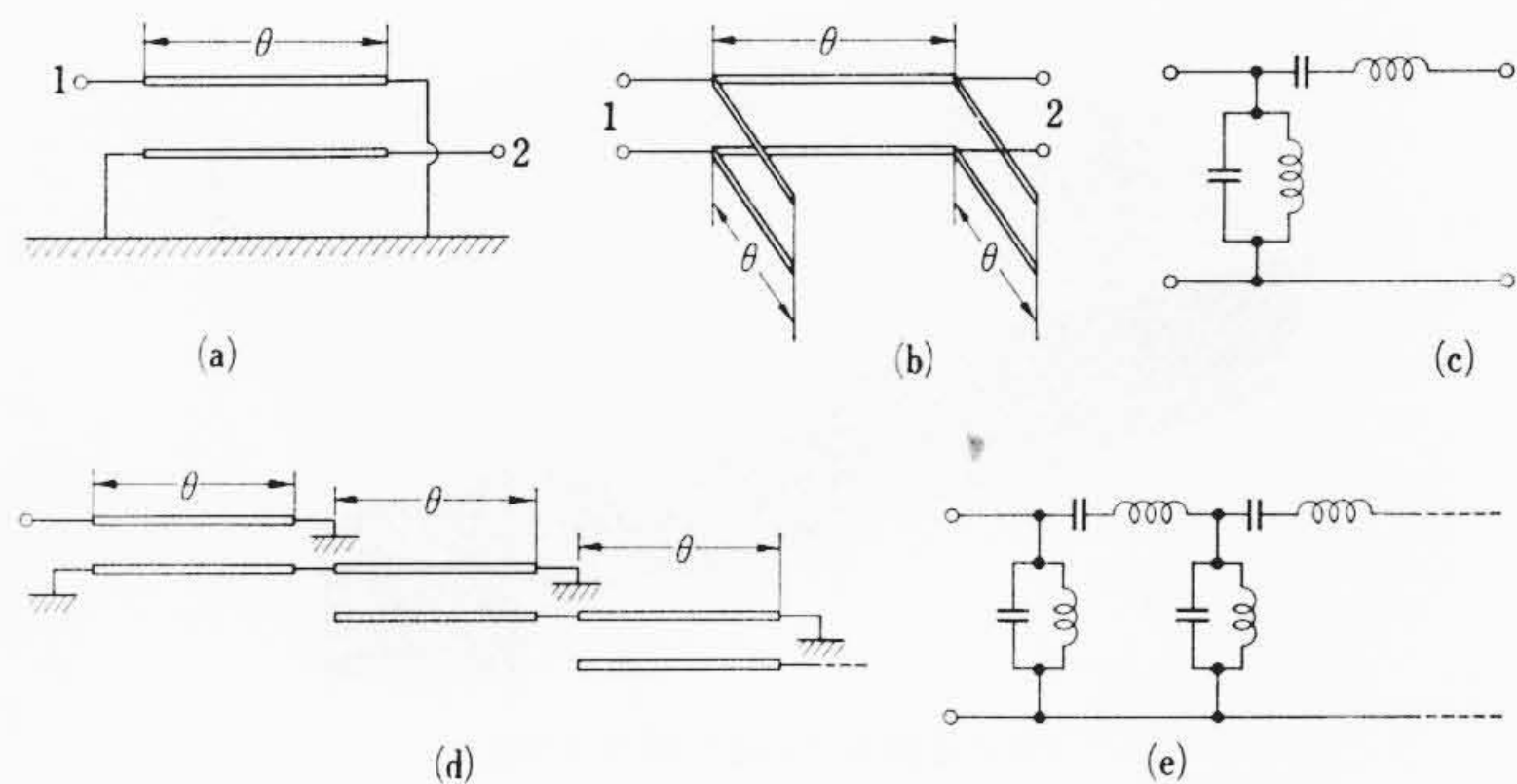


図3 分布結合線路の等価回路

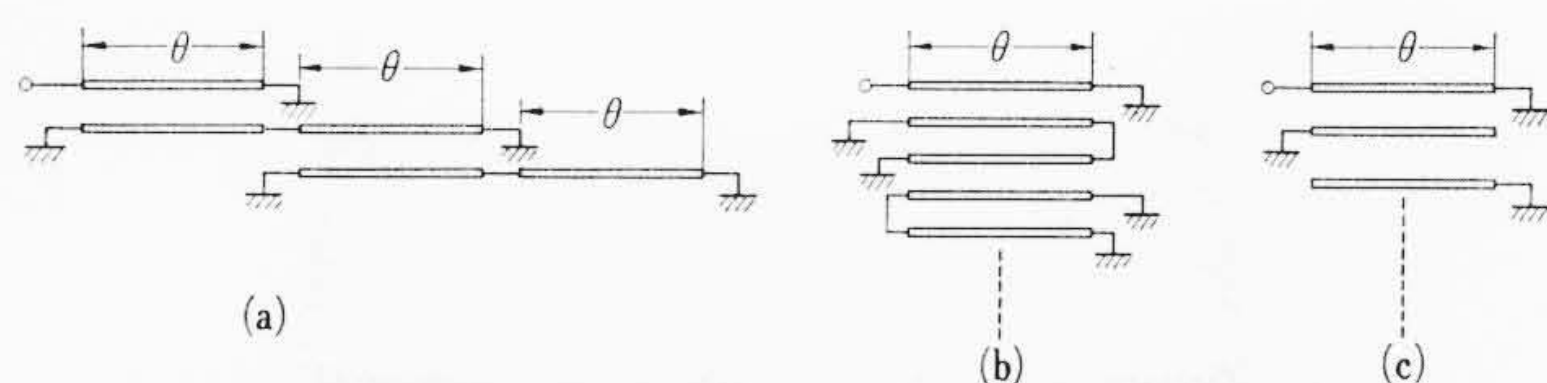


図4 分布結合線路のIBPFへの変換

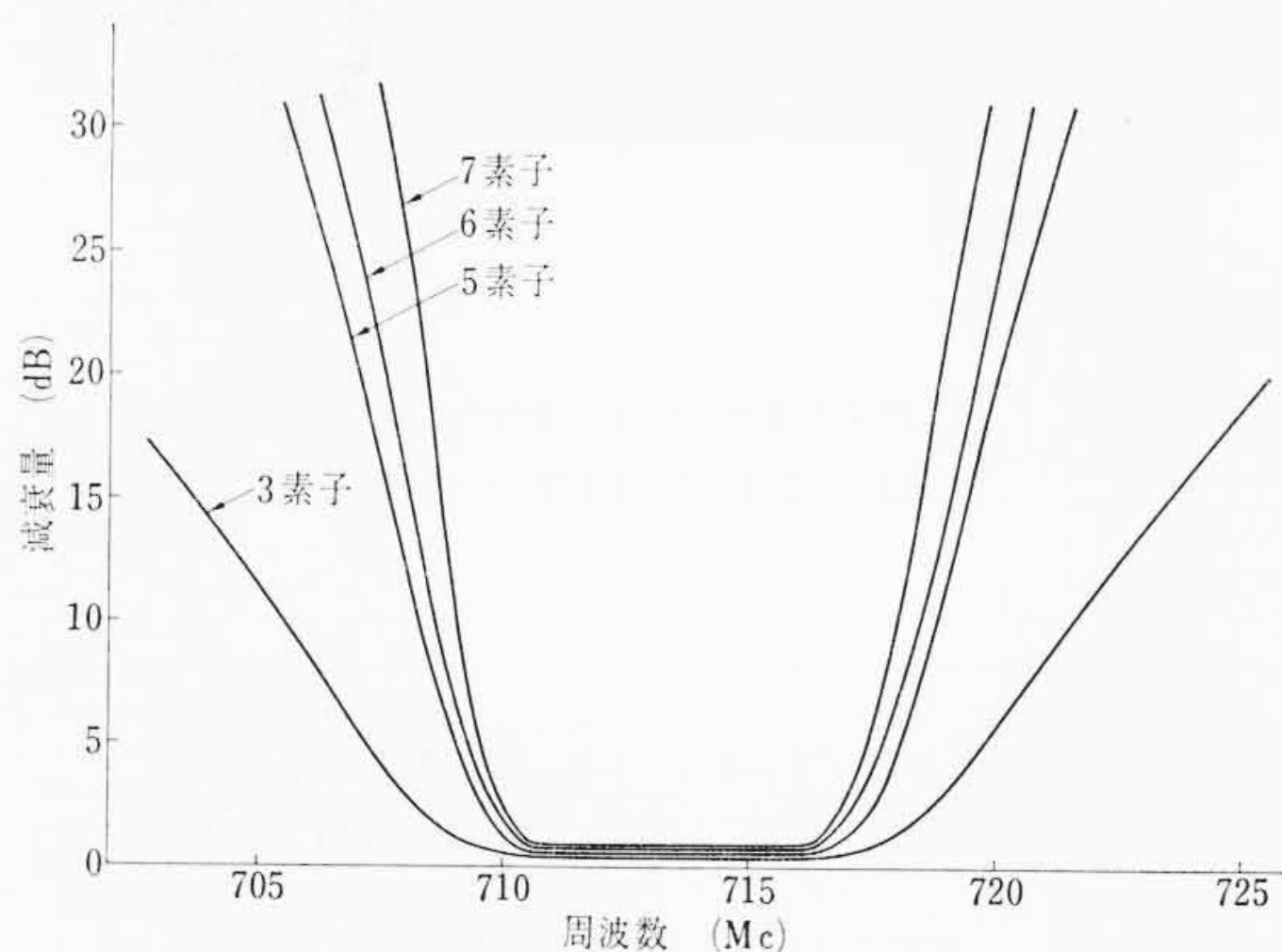


図5 各種IBPF減衰量周波数特性

等価回路のみを記す。図3において(a)の回路を多段に縦続接続したものがIBPFであり、(b)、(c)はその等価回路である。したがって(d)の多段分布結合線路フィルタは(e)に示したような普通の集中定数フィルタに変換できる。図3の(a)を多段に接続した(d)は図4に示すような変換として説明することができる。すなわち、相互に隣り合った線路間の結合のみを考えれば、図4の(b)は最も単純な図4の(c)となる。

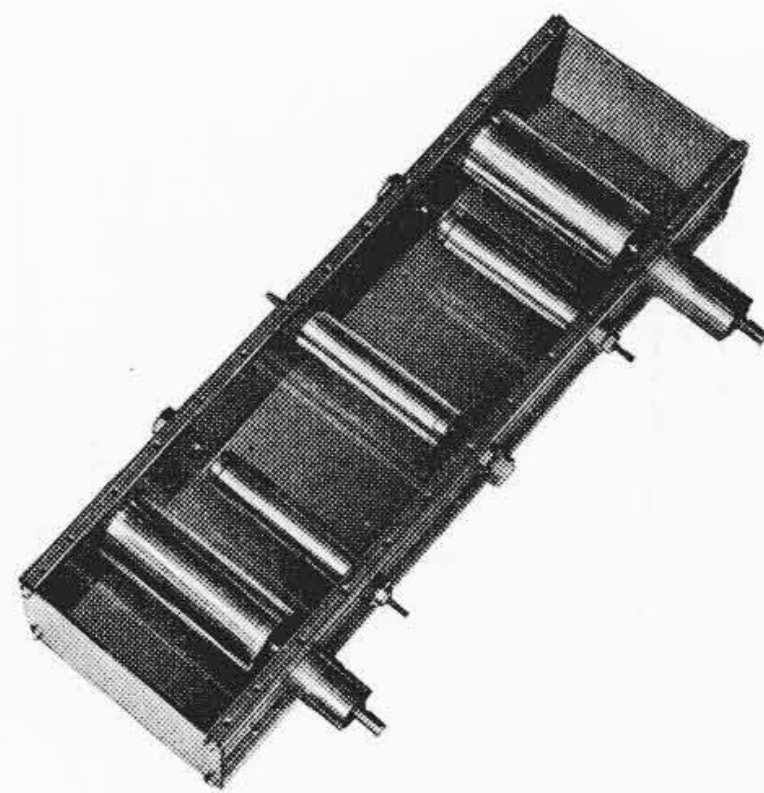
3.3 IBPFの設計法

3.3.1 周波数変換法

普通BPFは基準となる低域通過フィルタ(LPF)から周波数変換によって設計されている。ここでも出力フィルタとして利用する場合の通過域内のインピーダンス特性(VSWR)と減衰特性を考慮してLPFを設計し⁽³⁾、周波数変換によりBPFの定数を求めている。実際にはこれをさらに分布結合線路の奇および偶姿態の特性インピーダンス(またはアドミッタンス)と電気長を使った等価回路に変換するわけであるが、G. L. Matthaei氏によって狭、中、広帯域の各形のフィルタについて変換公式が与えられている⁽⁴⁾。

3.3.2 IBPFの寸法決定法

G. L. Matthaei氏によって実際の各素子間の定数(素子相互間の容量および素子の自己容量)が求められているが、さらにE. D. Cristal氏⁽⁵⁾およびR. J. Wenzel氏⁽⁶⁾によって素子断面が円形の場合の定数と寸法の関係が求められている。



(入、出力側の太い素子はインピーダンス変換トランス)

図6 3素子IBPFの構造

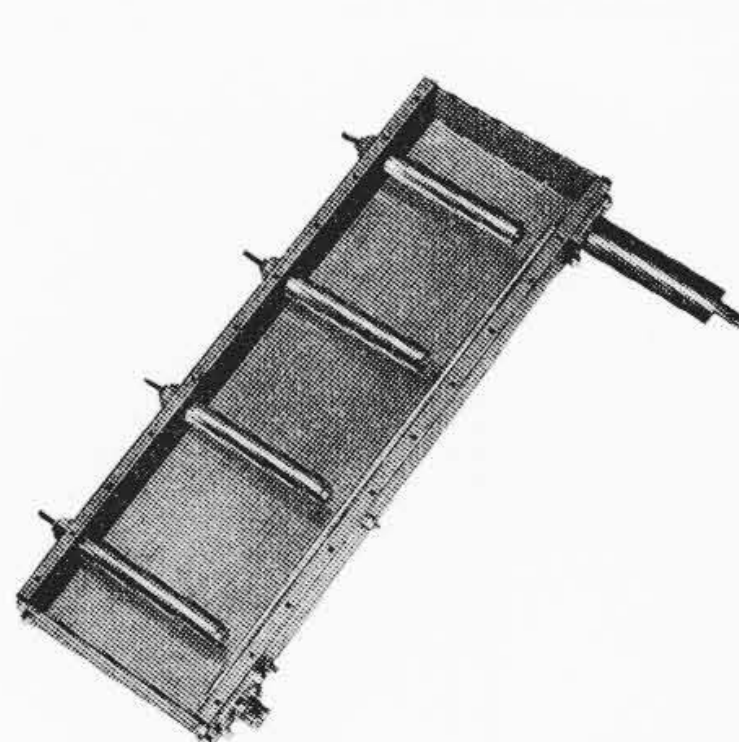
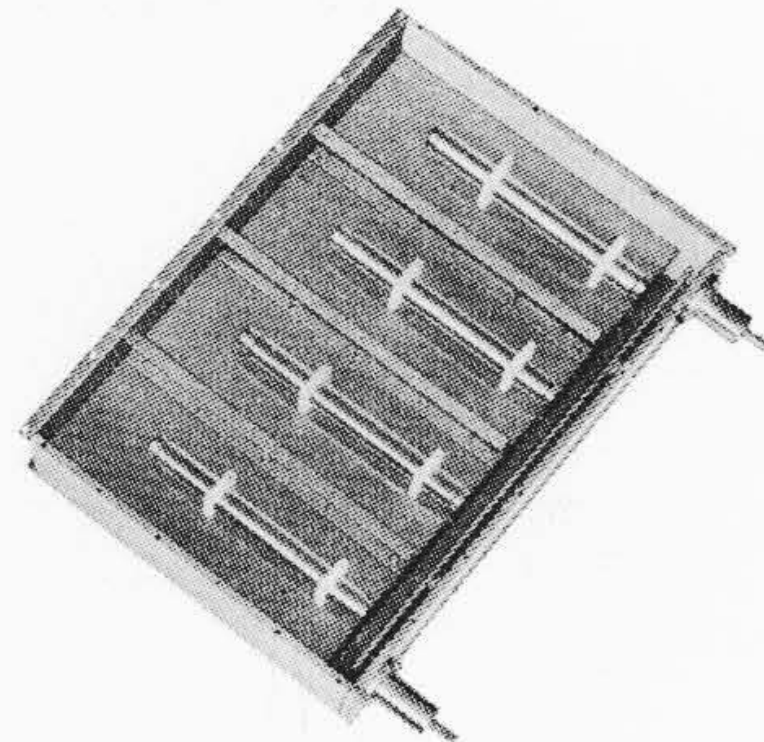


図7 4素子NFの構造



(上下2段になっている)

図8 8素子NFの構造

フィルタの寸法はそう入損失と寸法的な制限とから決められるが、内部素子の寸法はできるだけ損失が少なくなるよう同軸線にならって特性インピーダンスが約 70Ω に選ばれた(同軸の場合と電流分布が異なるので素子を太めにして、特性インピーダンスを少し低めにした)。

3.4 NFと組み合わせたIBPFの特性

実際に試作したIBPFの特性の一例を図5に示す。減衰量は設計目標値より多少大きい。NFと組み合わせて出力フィルタとする場合には電気的特性、寸法、経済性から3素子で十分である。3素子の構造は図6に示すとおりである。

4. ノッチフィルタ(NF)

4.1 NFの設計

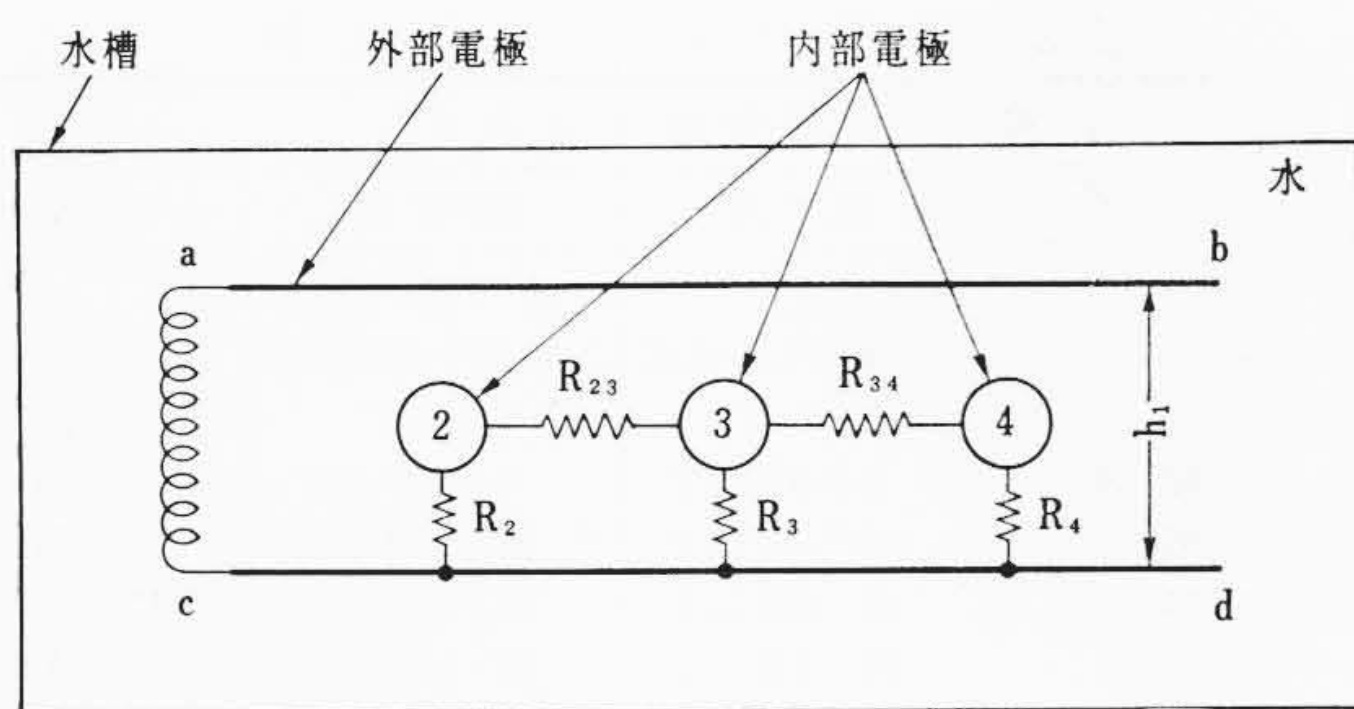
表1の所要特性を満足させるため、3素子IBPFと組み合わせるNFとしてはストリップラインNFを採用した。10W用としては素子を4個並べたNF(これをシングルノッチと呼んでいる)を使い、100W用としては上下2段に4個ずつ8素子を並べたNF(これをダブルノッチと呼んでいる)を使っている。それぞれの構造は図7と図8に示すとおりである。

4.2 NFの特性

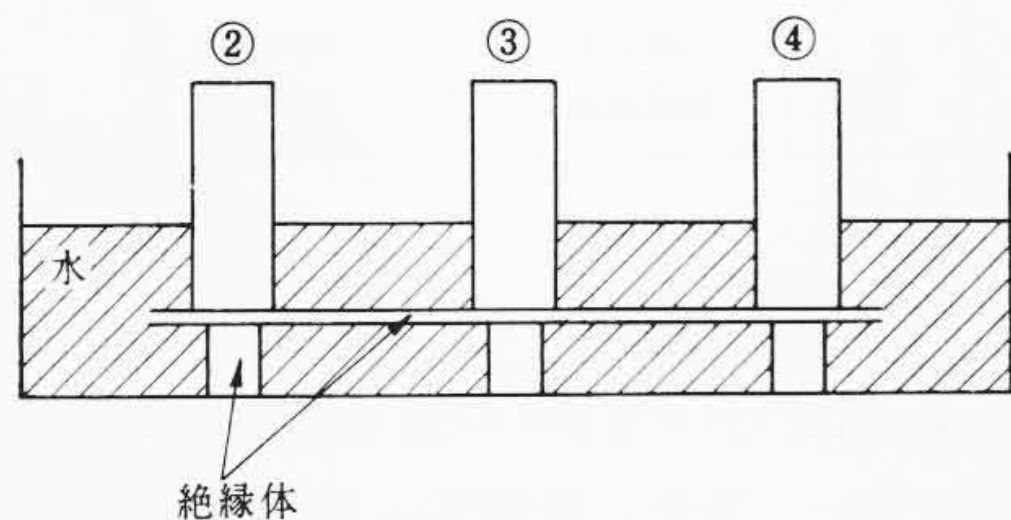
約 $1/4\lambda$ (λ :波長)間隔の素子配列とし、素子の直径 $13\text{mm}\phi$ 、電気角 80° 、平行平板間隔 30mm のとき素子間の結合量を計算によって求めると -92dB となり、実際には励振線路などの影響を受けて多少増加していると考えられるが、 -60dB 以下と考えてよい。したがって素子間に遮へいは入っていない。4素子シングルNFの特性を図9に示す。通過域内のそう入損失は 0.2dB である。また8素子ダブルNFの特性は図10に示すとおりである。そう入損失は 0.15dB である。

5. 複合形フィルタの総合特性

IBPFとNFを組み合わせる出力フィルタとしたものの特性例を図11に示す。これは表1の10W用の性能を十分満足する。また

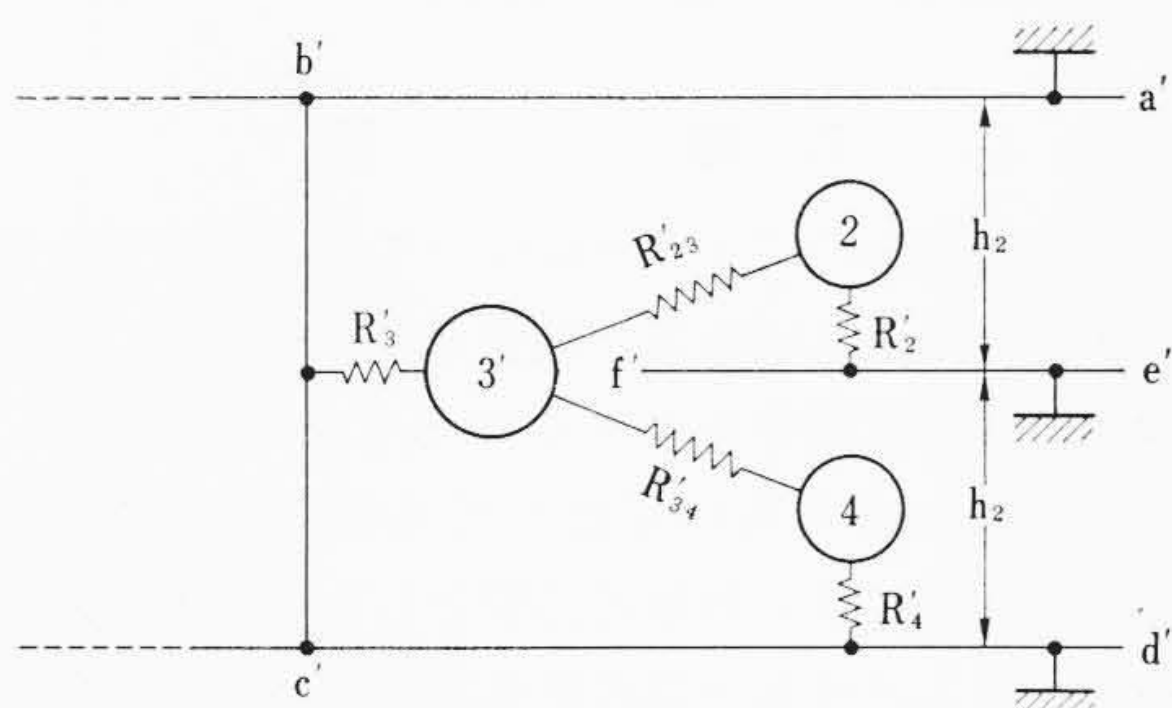


(a) 上面図



(b) 断面図

図15 電極配置図



条件 ② 外径=④ 外径

図16 折り曲げ部分

みつけて変換できればよい。しかし、この変換は簡単な図形的な変換でなく、各素子の断面形状が製作不可能なものであっては困る。これは複数の直線と円の方程式を含むから複数次元の変換となり現在のところこのような変換関数は発見されていない。また IBPF の原理にさかのぼって奇、偶姿態のポテンシャルの方程式を立てて解く方法も不可能ではないが相当複雑になることが予想され、いずれもかなりの時間を必要とする。

6.2.2 電磁気学的な検討

前述のように数学的な解法は相当困難なうえに、たとえ解けたとしてもその結果が実用上合理的な形状になるとはかぎらない。実際には折り曲げたことによって②①⑤⑥の外径が変わらないことが望ましく、変換前後の②③④の相互関係が求められればよい。このため筆者らは電流界の間に1対1の対応法則があることからこれを利用した。すなわち、同一形態の金属間に誘電体(誘電率 ϵ)または導電物(導電率 κ)を充てんした場合に静電容量 C と抵抗 R との間には次のような関係が成立する。

$$R = \frac{\epsilon}{\kappa} \cdot \frac{1}{C}$$

この理論を応用し、図14の(a)(b)の変換を実験的に求めた。等質性の誘電体として飲料水を用い、次のような実験を行なった。図15(a)に示したように折り曲げ前の各素子の寸法および位置を決めて、 C_m C_g に対応する部分の直流抵抗を測定した。(a)の③を中心に180度折り曲げられた状態での位置関係を図16に示す。ここで図15の h_1 と図16の h_2 を等しくおいた。図15(a)において R_2 , R_3 , R_4 , R_{23} , R_{34} を知り、図16の R'_2 , R'_3 , R'_4 ,

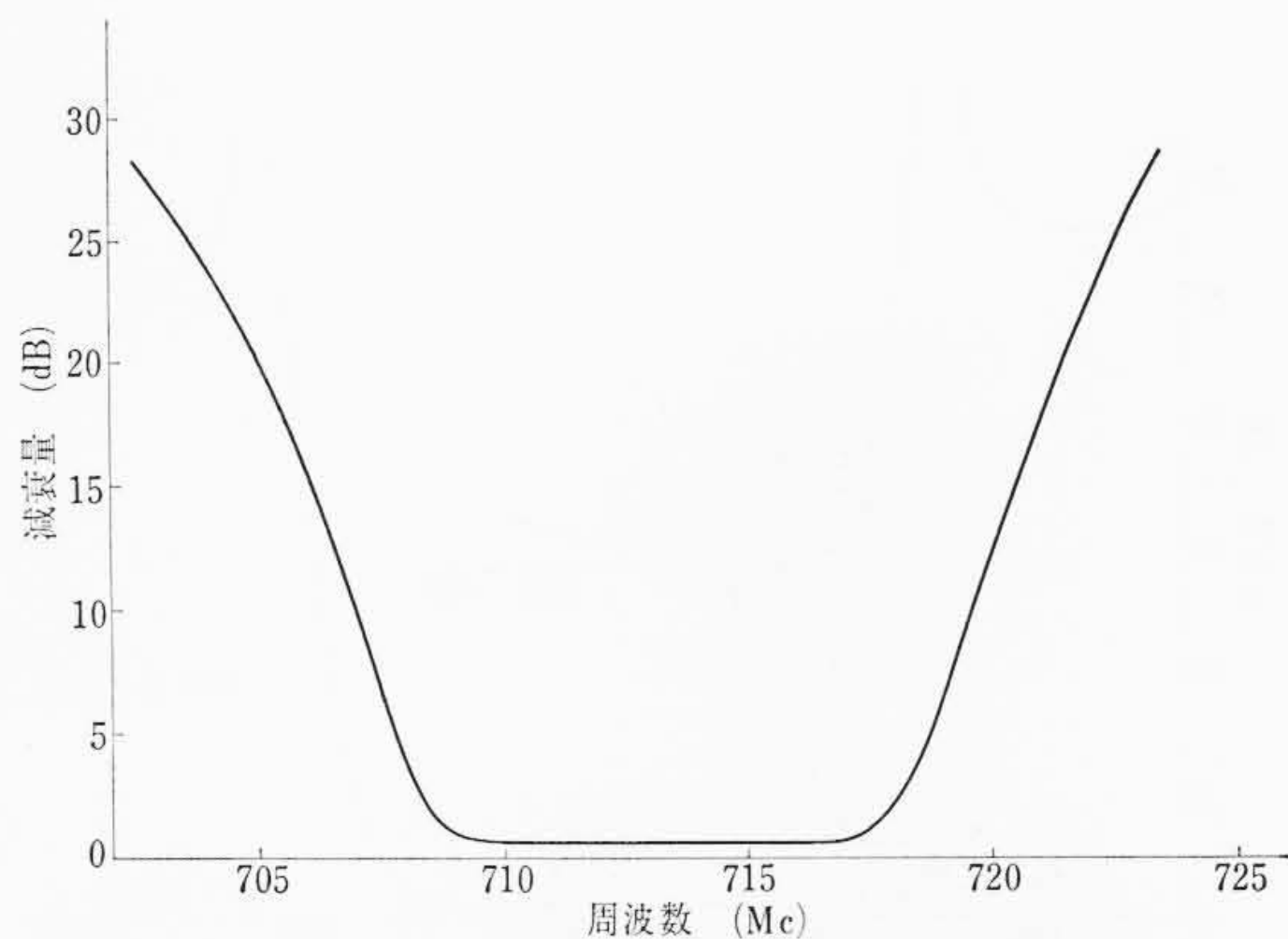
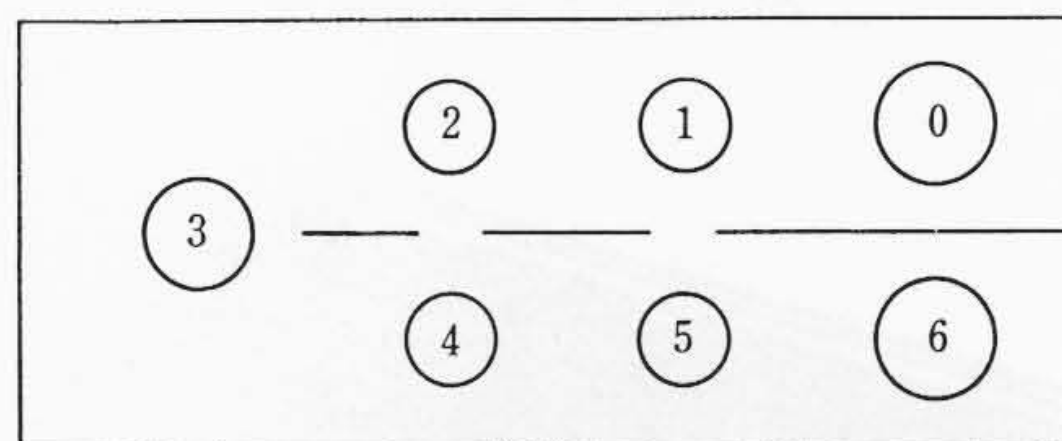
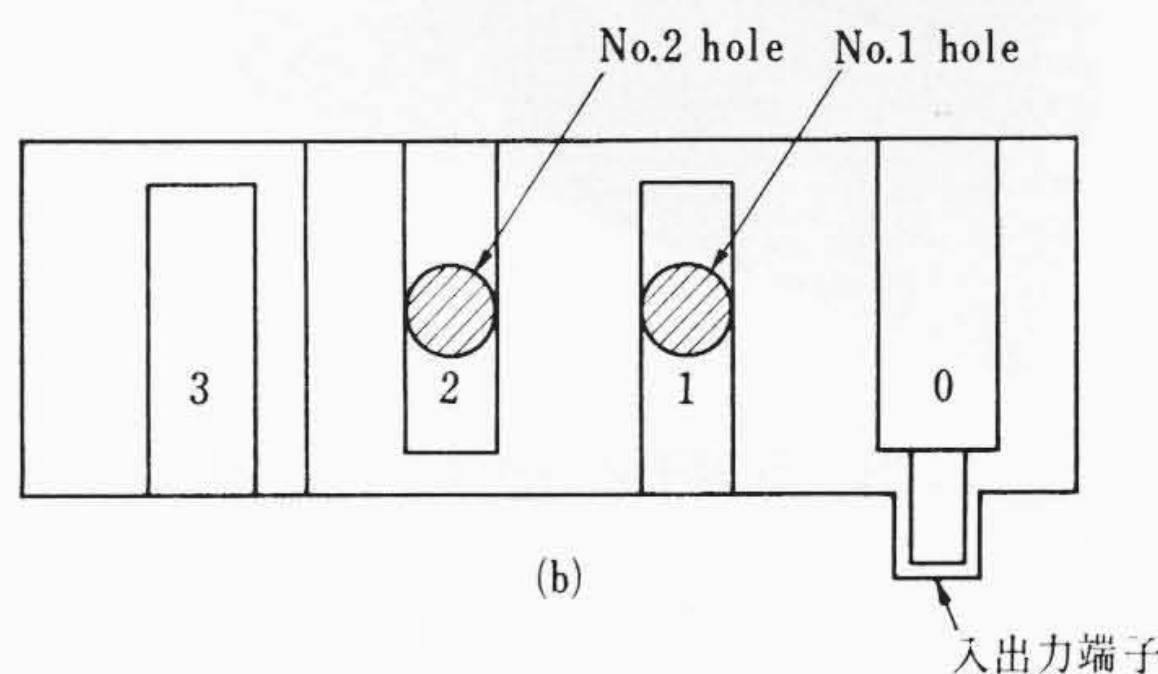


図17 折り曲げた5素子IBPF減衰量周波数特性



(a)



(b)

入出力端子

図18 結合孔をあけた5素子形の構造

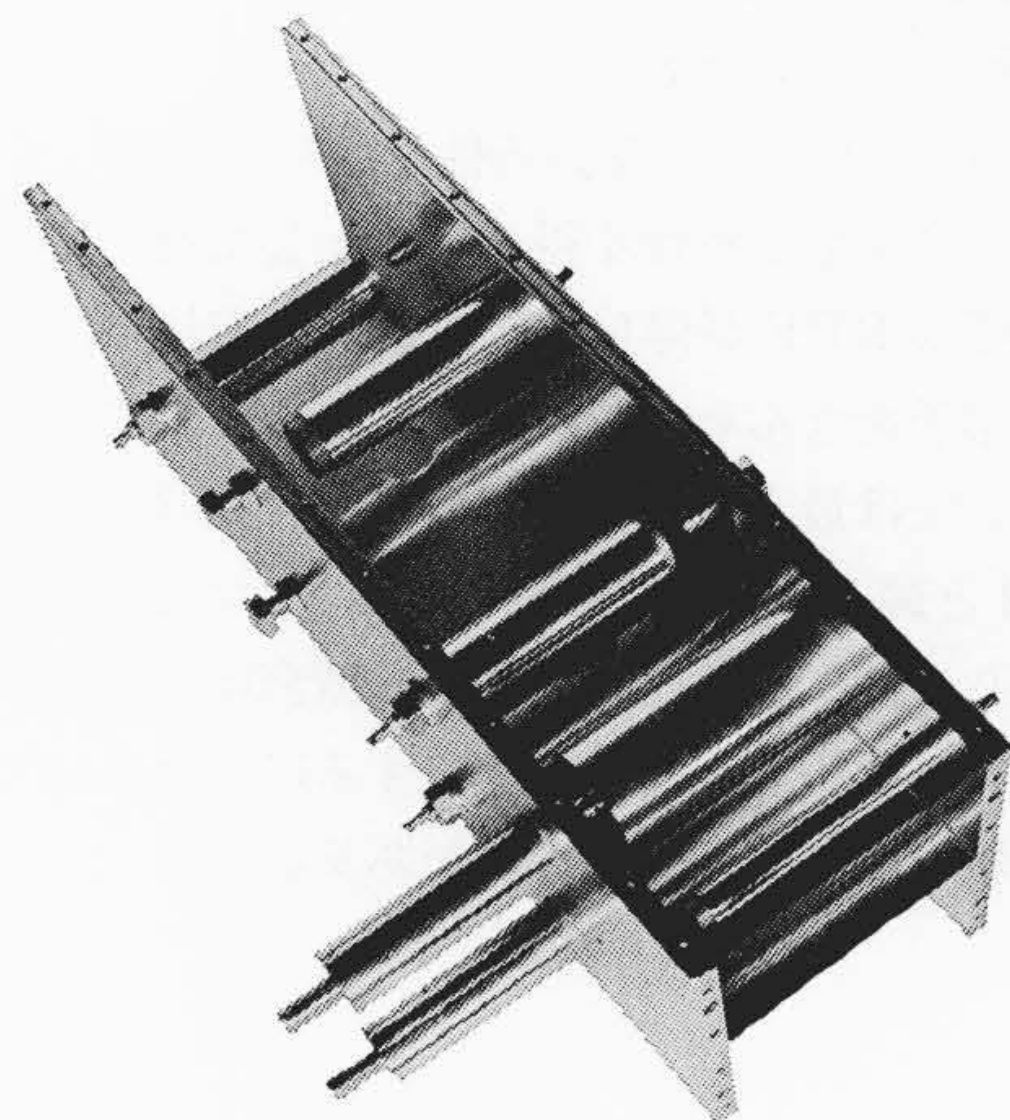
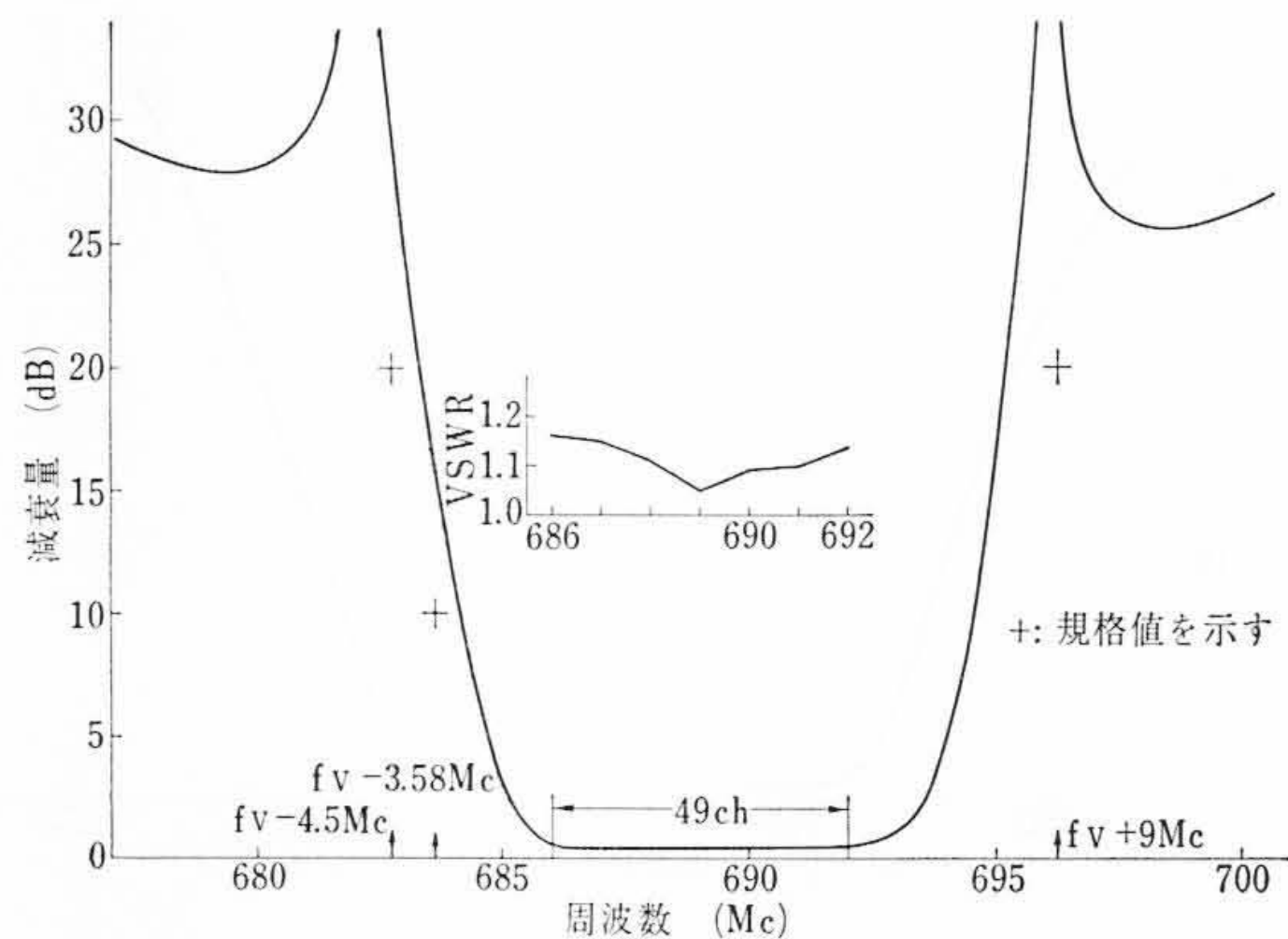


図19 孔結合フィルタの構造

R'_{23} , R'_{34} に対応させてそれぞれ等しくなるように③の外径、位置、 $b'e'$, $f'e'$ の位置を求めることが目的である。 $f'e'$ は金属であり、②—④が直接結合しないよう長さを電界解析によって求め、位置を決めた。

6.2.3 折り曲げIBPFの特性

図17に折り曲げた5素子IBPFの特性を示した。折り曲げる前のものに比べてやや減衰特性は劣化したが一応満足すべきものが得られた。減衰量の不足分はIBPFの入出力端のインピーダンス変換用トランス(図6参照)の横に共振子(これをサイドノッチとよんでいる)を1本ずつ入れて減衰極を作り、出力フィルタの特性を得ることができたが、十分な余裕をもたせることができ



(5素子ノッチレス)
図 20 周波数減衰量特性

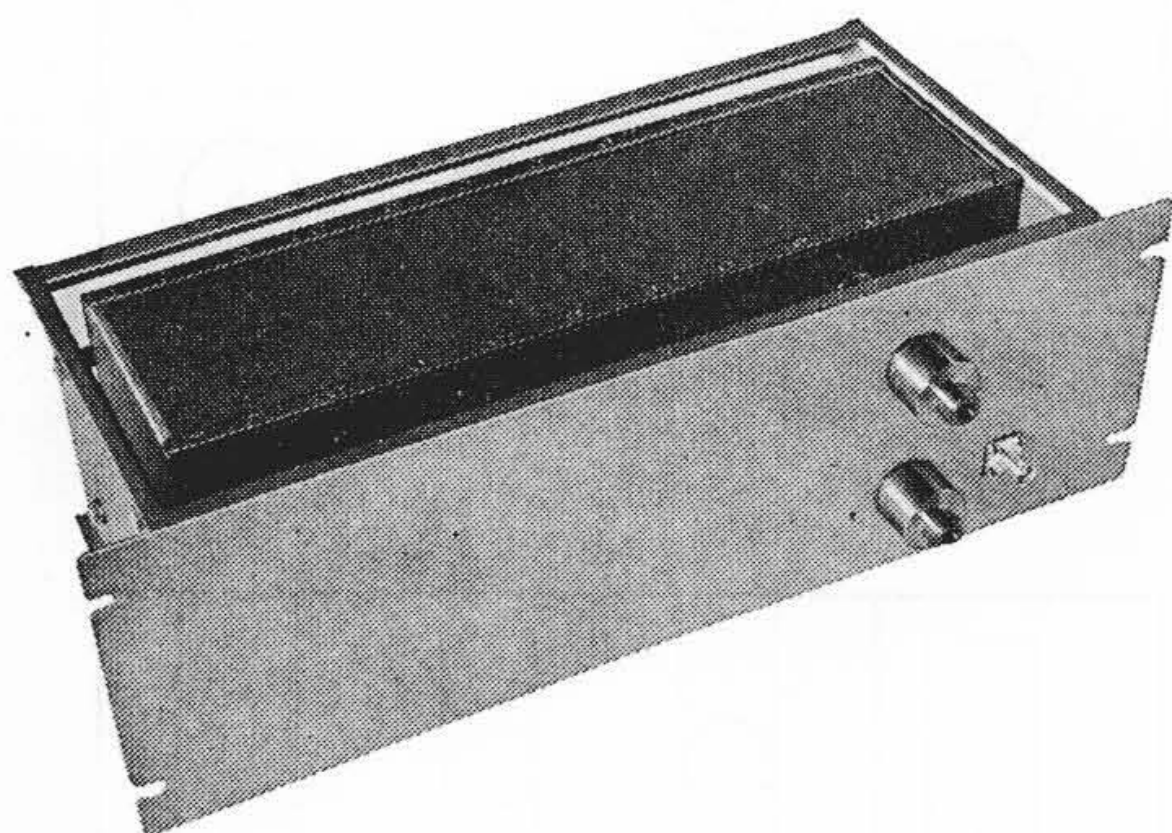


図 21 5素子ノッチレスフィルタ

なかった。

6.3 有極形 BPF の検討

6.3.1 構造

図 17 の折り曲げ形の減衰特性をさらに改善して、サイドノッチを使わずに十分な特性を得る方法として通過域の近くに減衰極をもつ有極形 BPF が得られればよい。有極特性を得るために離れた共振素子をなんらかの方法で結合させてやる方法も考えられるが、ここでは最も簡単で効率的な結合孔 (hole) 方式を採用した。図 18 と図 19 にその構造が示す。すなわち相対する素子①—⑤、②—④ の間に結合孔を設けた。減衰極の位置および大きさは孔の大きさに関係し、孔を大きくするにしたがって極は上下対称に帯域中心に接近する性質がある。

表 2 新形フィルタの性能

項 目	分 類 電 力	複 合 形 フ ィ ル タ		ノ ッ チ レ ス フ ィ ル タ
		10 W 用	100 W 用	10 W 用
B P F 部		3 素 子	3 素 子	5 素 子
N F 部		4 素子 $\lambda/4$ 短絡	8 素子 $\lambda/2$ 開放	—
VSWR		1.2 以下	1.2 以下	1.2 以下
そ う 入 損 失		0.8 dB 以下	0.8 dB 以下	0.8 dB 以下
$f_v - 4.5$ Mc		20 dB 以上	30 dB 以上	20 dB 以上
$f_v - 3.58$ Mc		10 dB 以上	15 dB 以上	10 dB 以上
$f_v + 9$ Mc		20 dB 以上	30 dB 以上	20 dB 以上
$f_v + 9$ Mc		15 dB 以上	15 dB 以上	25 dB 以上
$f_A + 9$ Mc		15 dB 以上	15 dB 以上	25 dB 以上
$f_C - 19.5$ Mc		20 dB 以上	20 dB 以上	30 dB 以上
$2f_C$		50 dB 以上	50 dB 以上	60 dB 以上
高 奥	さ 行	99 mm 250 mm	149 mm 350 mm	149 mm 200 mm

6.3.2 特 性

極は $f_v - 4.5$ Mc, $f_v + 9$ Mc の近くにくるように No. 1 と No. 2 の孔の大きさを定め、特性の微調整は素子の開放端側の容量を変えることにより行なわれている。最終的な減衰特性と VSWR 特性は図 20 に示すとおりで、出力フィルタとして良好な特性が得られている。図 21 はその外観図である。

7. 結 言

小形化した二つの形のフィルタについて概要を述べたが、これらをまとめると表 2 のようになる。適切な材料を選ぶことによって温度変化に対する特性変動分を小さくすることが可能である。有極 BPF の孔径は 0.5 mm くらい変化しても極の位置に大きな変動は生じないので工作精度はそれほど必要としない。IBPF を有極にするのは不可能であるとする一部の意見もあるが⁽⁷⁾、筆者らの実験では可能であることが証明された。同様のフィルタとしてくし形 (Comb Line) BPF が考えられるがこれも出力フィルタとして利用可能であり稿を改めて述べたい。

終わりに開発の機会を与えてくださった日立電子株式会社石川氏、ご協力をいただいた日立電線株式会社日高工場八田主任研究員、萩原課長をはじめ関係者各位に厚くお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 橋場, 城取: 電気通信学会連大 (41-10)
- (2) 橋場, 城取: 電気四学会連大 (42-4)
- (3) S. B. Cohn: Proc. IRE 45, 187 (1957-2)
- (4) G. L. Matthaei: Trans. IRE MTT-10, 479 (1962-11)
- (5) E. G. Cristal: Trans. IEEE MTT-12, 428 (1964-6)
- (6) R. J. Wenzel: Trans. IEEE MTT-12, 94 (1964-1)
- (7) R. M. Kurzok: Trans. IEEE MTT-14, 46 (1966-1)