

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007-2008

課題番号：19560336

研究課題名（和文） 複素係数弾性表面波フィルタの検討

研究課題名（英文） Complex Coefficient surface acoustic wave filters

研究代表者

山口正恒（Masatsune Yamaguchi）

千葉大学大学院工学研究科・教授

00009664

研究成果の概要：

本研究では、弾性表面波（SAW）方向性変換器を利用した複素係数フィルタとそれを利用した高周波信号処理を提案している。

まず、SAW方向性変換器をモデル化し、その妥当性と複素係数フィルタ動作を確認した。また、複数の変換器をずらして配置することにより、優れた複素係数フィルタが実現できることを明らかにした。

最後に、このSAW複素フィルタを利用した平衡増幅器について検討し、ほぼ理想的な特性が得られることを示した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成19年度	2,200,000	660,000	2,860,000
平成20年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：電気電子工学

科研費の分科・細目：電子デバイス・電子機器

キーワード：

- |               |              |           |
|---------------|--------------|-----------|
| (1) 弾性表面波     | (2) 複素係数フィルタ | (3) 電力増幅器 |
| (4) 90°ハイブリッド | (5) 一方向性変換器  | (6) 平衡増幅器 |

## 1. 研究開始当初の背景

現在の通信機器における高周波段では、高い周波数選択性を持つ小型・低損失な信号処理デバイスとして、弾性表面波（Surface Acoustic Wave: SAW）素子が多用されており、最近では、平衡・不平衡変換やインピーダンス変換機能等を付加し、より高機能化が進んでいる。

一方、低周波段では多相信号を利用した複素係数フィルタ（もしくはポリフェーズフィ

ルタ）が新たな信号処理デバイスとして注目されており、ヘテロダイン受信機において発生するイメージ信号の抑圧等様々な用途に実用化されている。

SAWデバイスにおいても、多相の入出力信号を利用することにより方向性を有するSAW変換器、いわゆる方向性変換器が実現できることが知られている。

## 2. 研究の目的

本研究では、このSAW方向性変換器を利用した複素係数フィルタとそれを利用した高周波信号処理を提案すると共に、その可能性とその有効性を多面的に検討することを目的とする。

なお、本申請者の知る限り、国内外を問わず、SAW方向性変換器の複素係数フィルタとして利用は報告されていない。RCを利用して高周波域で複素係数フィルタを実現する試みが報告されているが、フィルタとしての性能は十分でない。従って、本研究を通じてSAW複素係数フィルタの有効性が確認できれば、SAWフィルタのみならず、高周波信号処理、ひいては通信システム全体へ多大なインパクトを齎すことが期待される。

### 3. 研究の方法

#### 3.1 SAW 複素係数フィルタの原理

図1のように3個の双方性すだれ状電極(InterDigital Transducer: IDT)を配置すると、1入力2出力の多相SAWフィルタが実現できる。この時、左右のIDTを $\cdot/4$ だけずらして配置し、中央のIDTに信号を入力すると、信号は等分(-3 dB)され、しかも互いの位相差が $90^\circ$ となる2つの信号を出力できる。また、この逆も成立するため、 $90^\circ$ の位相差を持つ2つの信号を両脇のIDTに入力した場合には、中央のIDTに出力が現れるが、 $-90^\circ$ の位相差を与えた場合には、中央のIDTでは検出されないという機能が実現できる。この $90^\circ$ ハイブリッドと等価な機能は、複素係数フィルタリングと呼ばれる。

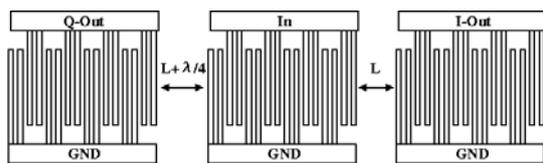


図1 SAW複素係数フィルタの基本構成

そのため、本研究ではこのデバイスをSAW複素係数フィルタと呼ぶ。また、通例に従い、一方をI(In-phase)入出力、他方をQ(Quadrature-phase)入出力と呼ぶことにする。

このような複素係数フィルタが実現できれば、これまで $90^\circ$ ハイブリッドを利用して実現されてきた様々な応用への適用が期待される。例えば、図2に示す平衡増幅器への応用が考えられる。

平衡増幅器とは、同一特性を有する2つの(電力)増幅器、2つの $90^\circ$ ハイブリッド、並びに2つの $50\Omega$ 終端抵抗を図2のように構成した回路のことで、この構成を利用すれば、増幅器単体の反射特性が良好でなくても、入出

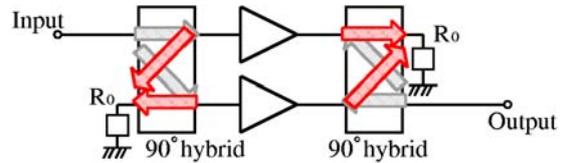


図2 平衡増幅器

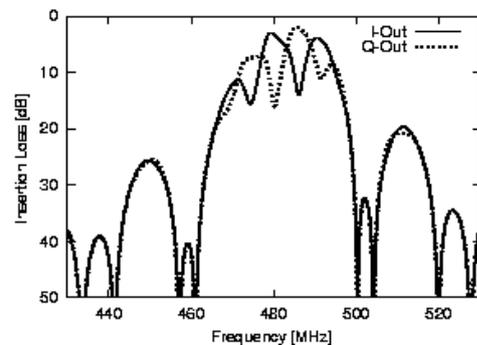
力ポートから見込んだ反射係数 $S_{11}$ 、 $S_{22}$ が理論上零となる。

通常、通信システムにおいて、アンテナと増幅器の間に不要な信号を除去する高周波フィルタが配置される。平衡増幅器においてSAW複素係数フィルタを利用した場合、 $90^\circ$ ハイブリッドと高周波フィルタを一つの素子で機能させることができるため、回路をより小型化することが可能となる。

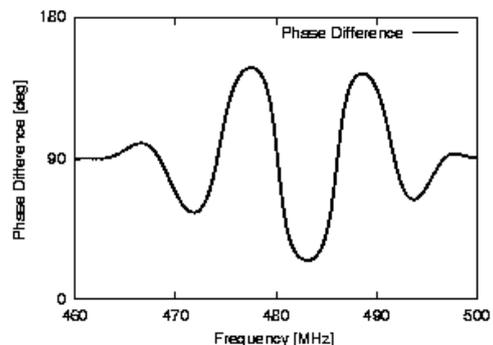
さらに、このSAW複素係数フィルタは差動入出力化が可能であるため、差動も含めた4相の平衡増幅器を構成することもできる。

#### 3.2 SAW 複素係数フィルタの設計

図3に図1の構成を持つ素子の特性をモード結合法によりシミュレーションした結果を示す。(a)は2つの出力のそれぞれの通過



(a) 挿入損失



(a) 2つの出力の位相差

図3 SAW複素係数フィルタ(分割なし)の計算結果

特性、(b)は2つの出力の位相差特性を示している。なお、計算に用いた素子の構造を表1に示す。中心周波数480 MHz付近の狭い周波数範囲では、確かに信号が2分割され、90°の位相差が実現されていることが判る。ただし、中心周波数からのずれが大きくなると、左右の振幅に差が現れ、また位相差も90°からずれてしまう。これは $\lambda/4$ の条件が周波数によってずれることや、IDT間の多重反射(TTE)や両脇IDT間のSAWの伝搬等が影響している。さらに、両端の出力IDTから外に放射されるSAWによる損失(双方向性損失)3 dBが発生してしまうため、信号の等分による-3 dBよりも挿入損失が大きくなってしまふ。

表1 設計パラメータ

基板	128°YX-LiNbO <sub>3</sub>
電極材料	Al
電極膜厚	240 μm
電極線幅	1 μm (ダブル電極)
電極周期	8 μm
入力電極対数	20 対
出力電極対数	各 24 対
開口長	320 μm

この問題を克服する手法として、図4の様に両脇のIDTを分割した構造を提案する。分割したIDTは交互に $\lambda/4$ もしくは $3\lambda/4$ だけ離れて配置され、それぞれI出力もしくはQ出力端子に接続される。ここで、左右のIDTでは $\lambda/4$ と $3\lambda/4$ が逆順に配置されている。このため、左もしくは右のIDT全体で見れば、グループ型の単相一方向性変換器等価であり、TTEや両脇IDT間のSAWの伝搬の影響が低減でき、しかも双方向性損失3 dBの低減も期待される。さらに、IとQの部分で左右で入れ違って配置されているため、 $\lambda/4$ もしくは $3\lambda/4$ のずれの影響を低減できると考えられる。

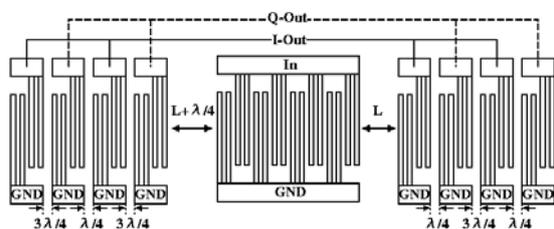
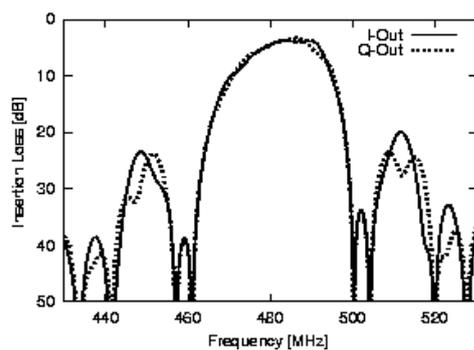
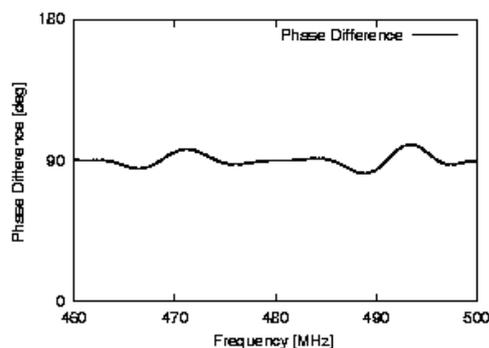


図4 SAW複素係数フィルタ(4分割)の構成

図5にIDTを4分割した場合の計算結果を示す。計算に用いた素子構造は表1と同一であるが、左右のIDTを4分割して6対のものを組み合わせて利用している。通過帯域内にSAWの多重反射によるリップルは見られず、出



(a) 挿入損失



(b) 2つの出力の位相差

図5 SAW複素係数フィルタ(4分割)の計算結果

力分岐比は広い周波数範囲でほぼ1:1となっていることが確認できる。また、最小挿入損失は3.8 dB(信号分岐による3 dB及び双方向性損失0.8 dB)となっており、図3の場合に比べて双方向性損失が低減されていることが分かる。また、広い周波数範囲にわたり、ほぼ所望の位相差90°が得られていることが確認できる。

### 3.4 SAW複素係数フィルタの試作結果

上記の設計に従い、SAW複素係数フィルタを作製した。図6(a)に実際に試作したデバイスの拡大写真を示す。分割したIDTの相互接続には、パッド部を引き伸ばし、ボンディングワイヤによって接続している。このSAWデバイスを図6(b)に示すPCBへとボンディング接続し、Sパラメータを測定した。PCBへの接続の際、ボンディングワイヤの影響を小さくするために、ダイヤモンドワイヤソーを用いてLiNbO<sub>3</sub>基板を3x3 mm角に切断している。

測定結果を図7に示す。(a)は2つの出力の挿入損失、(b)、(c)は計算値との比較を示している。また、(d)は2つの出力の位相差特性を計算値と比較したものである。(a)より通過帯域内に大きなリップルは見られず、

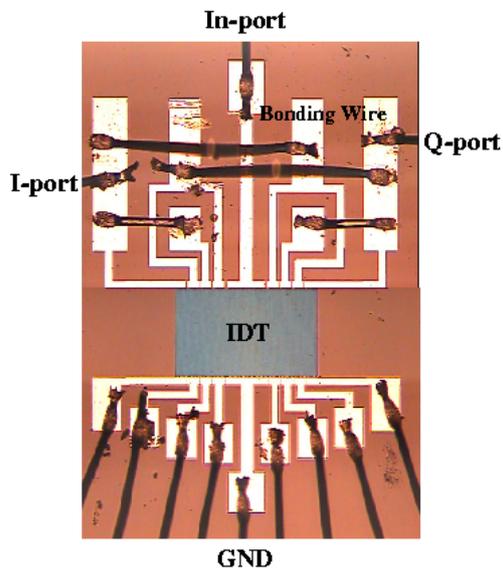
(d)より広い周波数範囲にわたり、ほぼ所望の位相差  $90^\circ$  が得られていることが確認できる。よって、本研究で提案する手法が有効であることが判る。

しかし、(a)より I、Q の特性の不一致、そして (b)、(c)より、計算結果と比べ挿入損失が大きくなっていることが確認できる。また、(b)より帯域が狭くなっていることや、所望の位相差  $90^\circ$  からのずれが確認できる。これらは、相互接続用のパッドの R 成分、接続に用いたボンディングワイヤの L 成分など、計算では考慮しなかった寄生効果が原因であると考えられる。

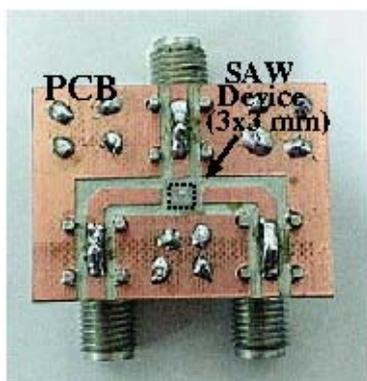
現在、多層配線等の利用といった新たな相互接続の手法について検討を行っている。

### 3.5 平衡増幅器

上記の試作素子を利用して、図 2 に示した

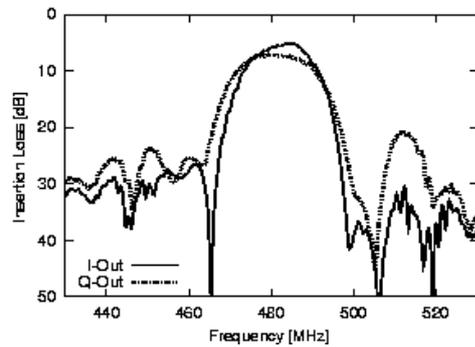


(a) 拡大写真(出力 IDT4 分割)

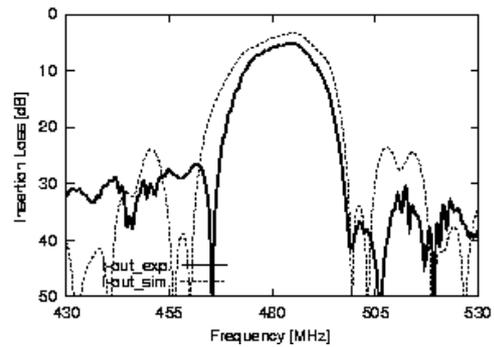


(b) 測定用 PCB

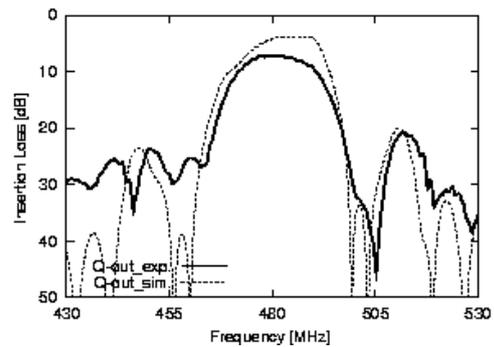
図 6 試作した SAW 複素係数フィルタ(4 分割)



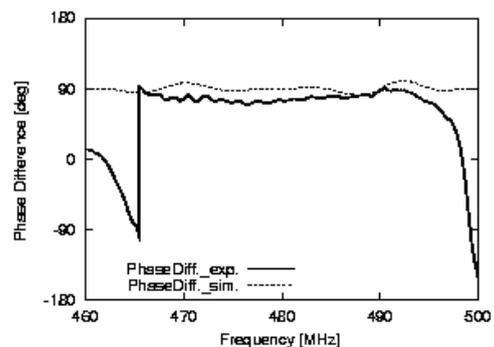
(a) 挿入損失 (測定値)



(b) I 出力の挿入損失 (計算値との比較)



(c) Q 出力の挿入損失 (計算値との比較)



(d) 2 つの出力の位相差 (計算値との比較)

図 7 SAW 複素係数フィルタ(4 分割)の測定結果

平衡増幅器を試作した。

まず、増幅器単体には図8の構成の回路を用い、AB級動作において設計を行った。試作した2つの増幅器の利得は480 MHz付近においてそれぞれ約19 dB、17 dBである。

なお、増幅器の入出力にインピーダンス整合回路を付加したが、ミラー効果の影響により入力と出力が同時に最適な値とならなかった。このため、後述のように  $S_{11}$ 、 $S_{22}$  は大きい。

図9に試作した平衡増幅器を、図10に平衡増幅器の測定結果を示す。(a)は平衡増幅器の通過特性  $S_{21}$  及び増幅器単体の通過特性  $S_{21}$  を示しており、(b)、(c)はそれぞれ反射特性  $S_{11}$ 、 $S_{22}$  を示している。(a)より、増幅器の周波数特性の変化が緩やかであるため、全体としてSAWデバイスのフィルタ特性が現れていることが判る。また、(b)、(c)より入出力側から見た反射特性が、SAWフィルタの通過帯域で改善されていることが確認できる。

よって、本研究で提案したSAW複素係数フィルタが平衡増幅器において有効に機能していることが判る。

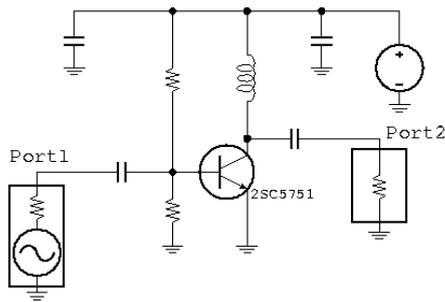


図8 電力増幅器の回路構成

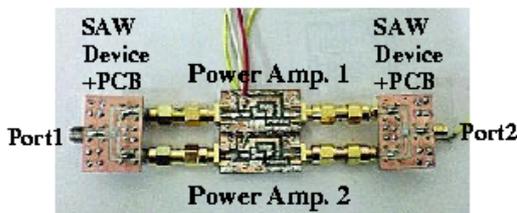
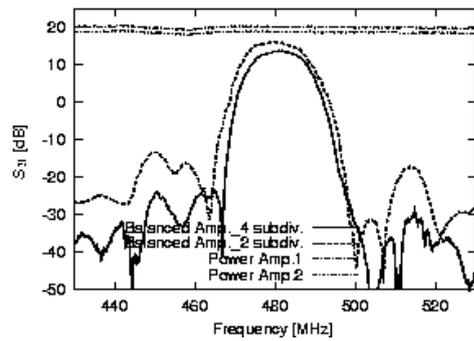


図9 平衡増幅器の写真

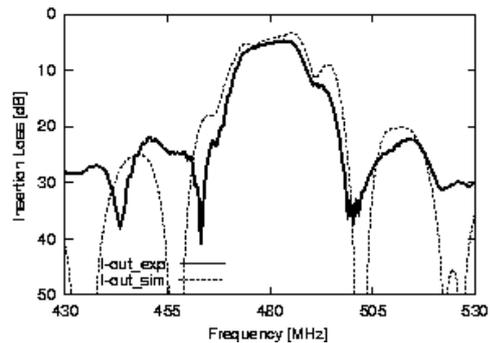
しかし、(a)より、480 MHzにおいて増幅器単体の利得約19 dBあるいは17 dBに対し、平衡増幅器の利得は2分割では約15 dB、4分割では約13 dBであり、利得の低下が生じている。これは、前述したSAW複素係数フィルタの相互接続部の影響が主因であると考えられる。

#### 4. 研究成果

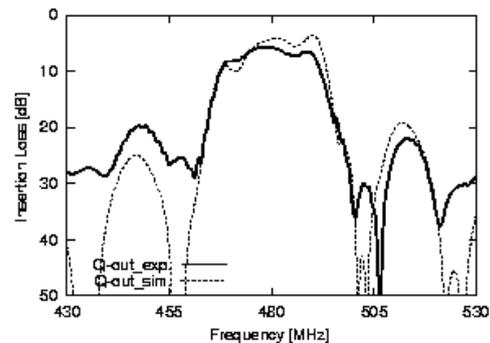
複素係数フィルタの機能を有するSAWデバ



(a)  $S_{21}$



(b)  $S_{11}$



(c)  $S_{22}$

図10 平衡増幅器の測定結果

イスの実現を目指した。

まず、分割IDTを利用した低損失複素係数フィルタの構成法を提案した。そして、デバイスのシミュレーションにより、出力分岐比1:1、最小挿入損失3.8 dB、及び良好な2つの出力の位相差特性が得られることを示し、その有効性を確認した。

そして、SAW複素係数フィルタを試作し平衡増幅器へと適用した。

現段階では、SAW複素係数フィルタの相互接続部の影響により十分な特性は得られていない。よって、今後相互接続法を改善し、実用に近い特性を実現したい。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- (1) J.G.Wen, K. Hashimoto, T.Omori and M.Yamaguchi, “Application of Quad-Phase Surface Acoustic Wave Filters to Power Divider/Combiner for RF Power Amplifiers”, Electronics Letters, **43**, 2 (2007) pp. 133-135.

[学会発表] (計6件)

- (1) 山下泰嗣, 土田佳明, 大森達也, 橋本研也, 山口正恆, “SAW 複素係数フィルタとその平衡増幅器への応用に関する検討”, 圧電材料・デバイスシンポジウム (2009) pp. 77-83
- (2) 本儀達寛, 大森達也, 橋本研也, 山口正恆, “再帰型 RF 可変フィルタの検討”, 電子情報通信学会超音波研究会 US2008-42 (2008)
- (3) 山下泰嗣, 大森達也, 橋本研也, 山口正恆, “複素係数フィルタとその平衡増幅器への応用”, 電子情報通信学会超音波研究会 US2008-43 (2008)
- (4) 松江剛志, 山下泰嗣, 大森達也, 橋本研也, 山口正恆, “複素係数 SAW フィルタを利用した UHF 帯平衡増幅器”, 電子情報通信学会全国総合大会予稿集 (2008) A-11-2
- (5) 本儀達寛, 大森達也, 橋本研也, 山口正恆, “GHz 帯における低雑音可変帰還フィルタの検討”, 電子情報通信学会全国総合大会予稿集 (2008) C-2-95
- (6) 本儀達寛, 大森達也, 橋本研也, 山口正恆, “GHz 帯における低雑音可変帰還フィルタの検討”, 電子情報通信学会全国総合大会予稿集 (2008) C-2-95

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山口正恆

千葉大学大学院工学研究科

教授

0 0 0 0 9 6 6 4

### (2) 研究分担者 なし

### (3) 連携研究者

大森達也

千葉大学大学院工学研究科

助教

0 0 3 0 2 5 2 7