

氏名(本籍)	やま 山 水 秀 一 郎 (山形県)
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 第 2 1 2 号
学位授与年月日	昭和49年3月6日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
最終学歴	昭和26年3月 米沢工業専門学校電気科卒業
学位論文題目	超高周波超音波圧電トランスジューサの 整合に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 菊池 喜充 教授 柴山 乾夫 教授 清水 洋 助教授 中鉢 憲賢

論 文 内 容 要 旨

第1章 緒 論

近年、超高周波超音波を応用したデバイス、たとえば超音波遅延線、光変調・偏光素子、あるいはフィルタなどの研究が盛んになってきている。本論文はこのようなデバイスに不可欠な超高周波超音波トランスジューサの効率改善のために、とくに実用的な見地より圧電形トランスジューサをとりあげ、電気回路との整合問題をとり扱ったものである。これまでの超高周波超音波の発生検出の歴史的な過程と、従来より行なわれてきた整合方法を検討し、本論文では内容的に、(i)電気的な整合回路を用いる方法、および(ii)トランスジューサの構成の改良による方法にわけて理論的な解析と実験結果を示すとともに、整合に関する新しい提案を行なうなど、トランスジューサと電気回路との整合を論述したものである。

第2章 超高周波超音波トランスジューサの解析

整合の問題をとり扱うには、まず抜山氏⁽¹⁾によって提唱された電気音響変換基本式による解析方法が便利である。超高周波トランスジューサは圧電板を厚み振動モードで使用するため、まず電気変位一定の条件で解析し、これまで明らかにされてなかった電気音響変換基本式の諸定数を求め、本研究における理論解析を容易にした。

h形式の圧電基本式より求めた運動方程式を端子条件を考慮に入れて解くと、厚みモードトランスジューサの等価伝送線路が得られる。ここで厚み振動子中の電気変位が一定なことに着目して式(1)のインピーダンス形式の電気音響変換基本式を用いて解析を行なっている。

$$\left. \begin{aligned} J_0 &= A I + (Z_t + Z_L) v \\ V &= (Z_0 + Z_d) I + A v \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ただし、 J_0 , v : 音響端子の外部駆動力および速度、 V , Z_0 : 起電力および内部インピーダンス、 I : 電流および、 Z_L : 音響負荷インピーダンスである。

式(1)において、その4端子定数に相当する力係数 A 、制動インピーダンス Z_d 、および機械インピーダンス Z_t は式(1)と等価伝送線路の対応により単純な伝送線路の計算から算出することができる。このインピーダンス形式の解析法は第4章で論ずる構成の改良によるトランスジューサの取扱いを非常に容易にするものである。

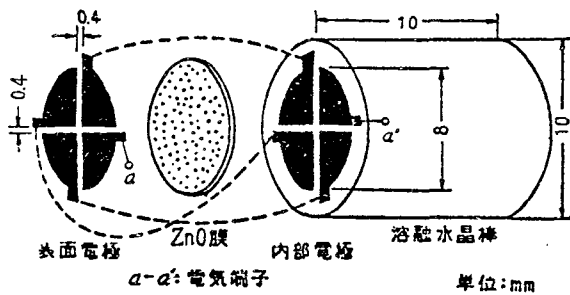
第3章 超高周波超音波トランスジューサの電氣的整合の検討と整合回路の提案

まず、被整合素子である超音波トランスジューサの回路素子としての特殊性を明らかにする。まず自由インピーダンスを算出し、実数部の非常に小さい容量性インピーダンスで、かつ広帯域特性を有することを明らかにした。またその実数部については材料定数の項と周波数特性の項に分けられることを示し、周波数特性の項を普遍図表に示した。つぎに、従来より伝送線路で使用されている整合技術を適用する場合に留意すべき点を指摘し、たとえば自由インピーダンスの虚数部を消去するための同調インダクタンスの接続については、トランスジューサにたいして直列より並列接続の方が実効減衰量が改善され有利なことを示した。さらに、2素子構成の整合回路の適用を含めて、このような集中定数回路による整合特性を理論と実験より明らかにした。また超高周波帯となると整合回路の損失の影響を受ける。そこで、目標とする実効減衰量にたいする整合回路の許容損失を示す図表を与えて回路設計に便宜をはかった。この図表より超高周波帯の整合にさいして整合回路の Q の要求は厳しくなり、そのため Q の高い分布定数線路の適用が考えられる。そこで著者は同軸共振器による整合を提案し、その特性ならびに設計法を示した。水晶振動子の高周波励振の実験を行ない、第27高調波490 MHzの発生検出を容易にした。

第4章 超高周波超音波トランスジューサの構成の改良による整合

取扱い周波数が高周波になるにしたがい、トランスジューサの自由インピーダンスは低下し実効減衰量は増加する。そこで、構成の改良により自由インピーダンスの増大を図る方法を検討した。その一つに圧電層および絶縁層を音場媒質端面に交互に積み重ねた構造の多層膜超音波トランスジューサがある。この構造のトランスジューサについて解析を行ない、さらに同一圧電膜を極性のみ交互に反転して積層したトランスジューサ、すなわち圧電多層膜超音波トランスジューサを提案した。その特長としては周波数帯域幅は減少するが、実効減衰量は改善され、さらに圧電層の絶縁向上より高出力超音波が得られることである。

次に、分割電極形超音波トランスジューサを提案した。これは図1に示すように、両電極を扇形に分割し各々の小トランスジューサを音響的には同相で、電気的に直列接続した構造のもので、



自由インピーダンスは非分割の場合の分割数 n の n^2 倍となる。したがって超高周波帯で低下する自由インピーダンスを増加し、実効減衰量の改善を行なうことができる。測定結果を図2に示すが、ほとんど周波数帯域幅の減少なしに挿入損失が改善されている。また他の構成についても検討し、いずれも所期の結果を得ている。

図1. 分割電極形超音波トランスジューサの構成

測定結果を図2に示すが、ほとんど周波数帯域幅の減少なしに挿入損失が改善されている。また他の構成についても検討し、いずれも所期の結果を得ている。

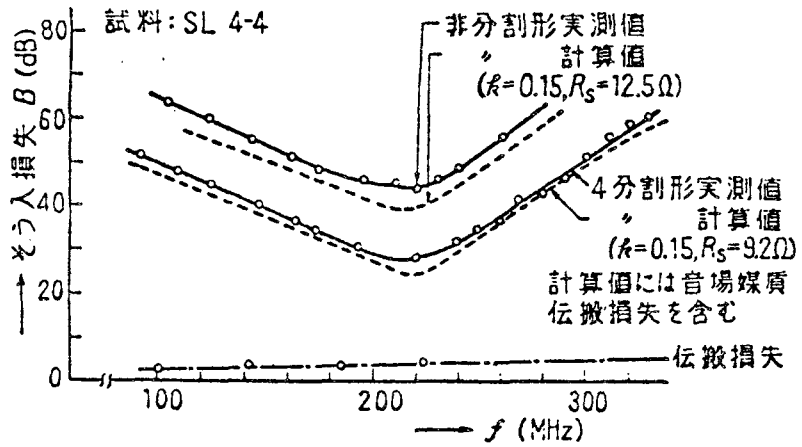


図 2. 分割電極形超音波トランスジューサの挿入損失

つぎに、弾性表面波の発生検出に用いられているすだれ電極表面波トランスジューサをとりあげ、整合改善のために、以上で考案したような構成の改良による方法を、弾性表面波トランスジューサに適用して新しい電極構成の表面波トランスジューサを提案した。すなわち、図 3 (b)(c) に示す分割すだれ電極、および(d)の直列接続したすだれ電極表面波トランスジューサである。

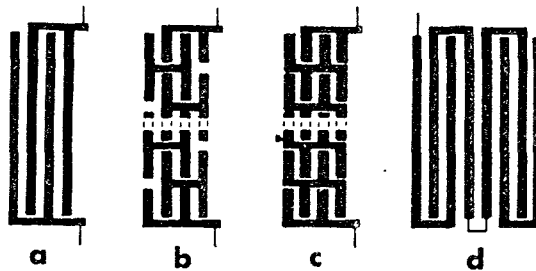


図 3. (a) 正規形すだれ電極表面波トランスジューサ
(b) (c) 分割すだれ電極表面波トランスジューサ
(d) 直列接続したすだれ電極表面波トランスジューサ

(b), (c)図は(a)図の正規形の対数をそのまま、帯電極の長さを分割、(d)図は帯電極の長さをそのまま、対数を分割して、それぞれ小すだれ電極を構成し、それらを電氣的に直列接続し音響的にはすべてが加わるように配置したものである。いずれも自由インピーダンスは、正規形にたいして分割数 n の n^2 倍となり、実効減衰量の減少ならびに電極設計が容易となる特長を有するもので、解析と実験により確認することができた。なお、すだれ電極の特性解析に上述の多層構成のトランスジューサで展開した電気音響変換基本式による方法を適用し、特性解析を容易にしてい

る。

第 5 章 結 論

本論文は超高周波帯における超音波圧電トランスジューサの電気回路とトランスジューサ間の整合について取扱ったもので、整合のための電氣的な整合回路の設計、あるいはトランスジューサの構成の改良方法を明らかにしたものである。まず、厚みモードの圧電トランスジューサに対する電気音響変換基本式の諸定数を明らかにし、超高周波超音波トランスジューサの解析を可能にした。このことにより、とくに多層構成の超音波トランスジューサ、あるいはすだれ電極形弾性表面波トランスジューサなどの解析が極めて便利になり、整合のためのトランスジューサの設計が容易となった。

次に、超音波トランスジューサの整合にあたって重要な、回路素子としての特殊性について解析を行ない、超高周波帯における自由インピーダンスの周波数特性を示す普遍図表、ならびに整合回路の損失の許容量を与える普遍図表を与えて、整合回路の設計に便宜を計った。

さらに、超高周波帯における整合の改善にはトランスジューサの自由インピーダンスを増大することが、有効であることを明らかにし、トランスジューサの構成の改良による方法を提案し、圧電多層膜構成、分割電極構成、および分割すだれ電極構成、直列接続したすだれ電極構成などの新しい構成のトランスジューサを提案し、さらに、それらのトランスジューサの構成について、具体的な設計方法を示し、整合特性を実験的に明らかにした。

(1) 抜山：“電気音響機器の研究” 丸善 昭23

審査結果の要旨

近年、超高周波超音波を応用したデバイス、たとえば超音波遅延線、光変調素子、光偏向素子あるいはフィルタなどが出現している。本論文は、このようなデバイスに不可欠な超高周波超音波圧電トランスジューサの能率改善をめざし、電気回路との間の電氣的整合の問題を中心に研究をおこなった結果をまとめたもので、全編5章より成る。

第1章は緒論である。第2章では、電気回路と超音波トランスジューサ間の整合問題を実効減衰量に着目して電気音響学的に論述している。超音波トランスジューサの解析には電気音響変換基本式にもとづく方法を適用し、厚み振動モードの超音波トランスジューサに関する基本式の諸定数を一般的に導き、本研究の理論解析を容易に展開できるようにしている。

第3章では、超音波トランスジューサを電氣的な回路素子としてみた場合の特殊性を明らかにしている。特に超高周波帯におけるトランスジューサの自由インピーダンスを電源回路との整合の関係で論じ、自由インピーダンスの特性を普遍図表に表わして特性の把握を容易にするとともに、整合回路の損失分の実効減衰量に及ぼす影響についても明らかにし、その許容損失量を普遍図表に表わし、電氣的な整合回路の設計に便宜を与えている。さらにこれらの普遍図表の有用性を実験的にも確かめている。

第4章ではトランスジューサの構造の改良による実効減衰量の改善方法を提案している。これは自由インピーダンスを増大することにより整合特性を改善するもので、厚み振動モードの超音波トランスジューサについては、極性が正および負の圧電薄膜を交互に積層した構造の圧電多層膜形、あるいは電極を分割しそれらを電氣的に直列接続した構造の分割電極形のトランスジューサを、また、すだれ電極弾性表面波トランスジューサについては、すだれ電極をいくつかに分割し、それらを電氣的に直列接続した分割すだれ電極形のトランスジューサ、などの新しい形のトランスジューサを実現し、理論と実験で特性を明らかにしている。

第5章は結論である。

以上要するに、本論文は超高周波超音波圧電トランスジューサの能率改善をめざした研究で、電氣的な整合回路の設計を容易にし、トランスジューサの構造を改良し、能率のよい新しい構造のトランスジューサを提案するなど、通信工学に貢献するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。