

氏名	廣 瀬 精 二
授与学位	工学博士
学位授与年月日	平成元年3月15日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第2項
最終学歴	昭和46年3月 山形大学工学部電子工学科卒業
学位論文題目	高結合圧電セラミックスを用いた圧電トランスに関する 研究
論文審査委員	東北大学教授 清水 洋 東北大学教授 中鉢 憲賢 東北大学教授 山之内和彦 東北大学教授 中村 僖良

論 文 内 容 要 旨

第1章 緒 論

圧電磁器の固有共振を利用した機能素子は、損失が少く、小形化が可能で、また電気機械結合係数が大きく、温度特性や経年変化特性にも優れているという多くの特長が有り、古くから圧電磁器フィルタや各種電子機器に広く実用されている。圧電トランスは、このような機能素子の1つとして開発され、巻線を使用しない、小形で不燃性のトランスとして、テレビジョン高圧電源や静電複写機の高圧チャージ部、その他各種の高電圧機器への応用が期待されてきた。“圧電トランス”とは、高結合圧電磁器から成る弾性振動体の固有共振を介して電圧の変成を行うもので、入力部および出力部において電極間距離や電極面積ならびに圧電効果の利用形態などを異ならせ、これらを巧みに利用することによって、通常の巻線トランスの巻線比に相当する変成比を得るものである。従来の圧電トランスは、圧電磁器平板を用い、入力部は厚み分極で上下面全面電極とし、圧電横効果により縦振動を励起している。また、出力部は端面に電極を設け、長さ方向分極で圧電縦効果により出力電圧を誘起するものであるが、実用的な範囲に寸法を限定し、また機械的な強度等も考慮すると変成比をあまり大きくとれず、最大でも10倍程度しか達成できない現状である。このため、実用上必要な要求仕様を充分満足するものが得られておらず、より広範囲な用途に適用できる新しい着想の圧電トランスの実現が期待される。さらに、構造上出力部のリード線と出し位置を縦振動の振幅最大となる圧電トランス先端部に設置せざるを得ず、大振幅励振時にはリード線の破断の危険があった。このように、従来の圧電トランスには実用上の多くの課題があって、一部小電力用の用

途を除いて幅広く実用化されるまでには至っていない。

本論文では、高電圧電源として実用に供し得る圧電トランスの実現を目的に、等価回路に基づく設計指針を確立するとともに、圧電トランスの実用化に際しての諸問題を解明し、電圧比や能率などの特性の向上をはかるべく理論的・実験的検討を行った。すなわち、まず等価回路に基づいて振動速度を仲介とする圧電トランスの設計法を示し、この観点から従来の矩形板圧電トランスを見直してその問題点ならびに使用限界などを明らかにし、特性の良好な圧電トランスを得るための指針を与えた。次に、所望の電力の高電圧を高効率で安定に取り出し得る新しい型の圧電トランスの構成法と試作結果を示して、その実用化の可能性を明らかにした。

第2章 非対称フィルタとしての圧電トランスの設計法

本章では、圧電トランスの等価回路をもとに、電圧比、動作減衰量及び通過帯域幅と入力部、出力部の容量比や共振尖鋭度との関係を理論的に詳しく検討し、非対称フィルタとしての圧電トランスの伝送特性及び電圧昇圧特性に見られる一般的な特長を明らかにした。圧電トランスには、その構成方法、入出力の圧電効果の利用形態などによって入力部と出力部の容量比が等しい対称回路の場合と、これらが異なる非対称の回路の場合が存在し、それぞれに対する最適な終端条件や通過帯域を示した。また、圧電トランスの良さを示す指標としての利得・帯域幅積を基に、圧電トランスの最適な動作条件を明らかにした。これより、対称ならびに非対称の回路において、動作減衰量が極小となる条件から電圧比は入、出力の規格化終端抵抗 r_1 、 r_2 によって変成比 $\times \sqrt{r_2/r_1}$ と表され、また通過帯域幅は $\sqrt{r_2/r_1}$ に逆比例するようになる。さらに、利得・帯域幅積は Q_m が有限の場合にはその値にピークが現れ、 $\sqrt{r_2/r_1} = 5 \sim 10$ で最大値を示す、などのことが明らかとなった。

第3章 圧電磁器振動子の大幅特性を考慮に入れた圧電トランスの設計法

本章では、振動レベルを表す普遍的なパラメータとしての振動速度を仲介として、圧電トランスの設計式を導出し、また大幅時の材料定数の非線形性を振動速度を介してその実測データを導入できるようにした見通しの良い圧電トランスの設計手法について述べた。まず、圧電トランスの構成素子である圧電磁器振動子の大幅特性すなわち、振動子先端の振動速度と共振尖鋭度、発熱による温度上昇ならびに共振周波数との関係を実験により調べた。これより、圧電トランスの設計に当たっては、振動速度の上限を 0.5 (m/sec) 程度とすれば安全を見越した設計が可能となることが示された。また、振動速度を仲介として導出した圧電トランスの設計式から、電気的な諸量と圧電トランスの等価回路諸定数との普遍的な関係を明らかにした。

第4章 分極と励振に交差指電極を用いる圧電磁器縦振動子の圧電トランスへの応用

本章では、分極と励振に交差指電極を用いる圧電磁器縦振動子が、通常の厚み分極で全面電極の縦振動子にはみられない特長のある共振子特性を示すことを明らかにし、これを圧電トランスの入

力部に適用してその諸特性を解明すると共に圧電トランスの試作・実験を行った。まず、分極処理と励振を交差指電極で行う方形板圧電磁器振動子の一次的な基本縦振動モードについて、等角写像を用いた理論解析並びに実験を行い、電極の構造、配置と容量比との関係を詳しく調べた。次に、分極と励振に交差指電極を用いる圧電磁器縦振動子の結合振動特性を結合振動理論と実験により調べ、使用モードである Lamé モード系の縦振動が強勢となってスプリアスモードが抑圧される条件を明らかにし、交差指電極利用の圧電磁器縦振動子についての設計指針を示した。さらに、分極と励振を交差指電極で行う圧電磁器縦振動子を圧電トランスの入力部に利用すると、高結合係数で励振可能な特徴のある圧電トランスが実現できることを理論計算によって示し、これを基に圧電トランスを試作して実験を行ったところ、出力部コーナーならびに入力部と出力部の境界部分を支持した場合でも入力部、出力部の容量比がそれぞれ 15, 8 が得られ、共振尖鋭度は約 1300 の高い値が得られた。これらの支持点からは入力部、出力部のリード線のとり出しが可能で、従来の圧電トランスの大きな課題であった出力リード線の安定なとり出しが可能となった。

第 5 章 積層・折り返し構造の圧電トランス

本章では、入力電圧の低電圧化、出力電圧の高電圧化をはかり、小形、低損失の圧電トランスを得る目的で積層・折返し構造の圧電トランスを考案し、理論解析ならびに試作・実験を行った。まず、入力電圧は入力部に用いる圧電横効果型の積層体の一層当りの厚さに依存し、出力部に伝送される電力は入力部の断面積に依存することが示された。積層体は断面積と厚さを独自に設定できる点に特長があり、積層体の一層当りの厚さは $100\ \mu\text{m}$ オーダーで設定でき、入力電圧の大幅な低減が可能であり、この点は従来型をはるかに凌ぐ大きな特長と言える。入力部に用いる圧電横効果の圧電磁器薄板（厚さ $200\ \mu\text{m}$ ）からなる積層体について、圧電トランスに組み込む前の単独の共振子としての特性を実験により調べたところ、各層を接着層を介して積層したにもかかわらず、共振周波数における共振尖鋭度が約 500、反共振周波数における値が約 1000 の高い値が得られ、振動子として充分機能することがわかった。この積層体を、出力部縦効果縦振動子 4 本とともに両端面で絶縁体に接着して圧電トランスを構成し、出力部の 4 本の振動子を電氣的に直列接続とした場合の特性を調べたところ、変形比は 190、電圧比は 500～1000 倍と非常に大きな値が得られた。これは、従来の圧電トランスの実用的な寸法における値と比較すると、50 倍程度大きい値となっている。

第 6 章 積層・ボルト締め構造の圧電トランス

本章では、積層・ボルト締め型の圧電トランスについて、その構成法ならびに特長を述べ、試作・実験の結果を示した。本構成は、入力部に圧電縦効果を利用する積層体を用い、積層体は入力電圧と伝送電力を独自に設定できるから低入力電圧で大電力の圧電トランスが得られ、さらに出力部振動子を折返し構造とすることによって出力部の実効長を大きくとれるので、出力電圧の高電圧化が可能な圧電トランスを構成できる。圧電磁器縦効果振動子の角柱 6 本を同一円周上に配置して電氣的結線を直列接続とした出力部を、入力部の積層体と共に同一軸上でボルト締めして実験を行い、

変成比約 180 で電圧比 200～300 倍となる圧電トランスが得られることを示した。なお、実験に用いた積層体は、積層体各層間の絶縁のため部分電極構造としているので十分な電気機械結合係数が得られなかったが、全面電極で使用できるように積層体の改善を行えば 1000 倍程度の電圧比を実現できることが理論計算により確認された。

第 7 章 結 論

本章では、全体の総括を行い、各章に述べられている結論を要約した。

本研究によって開発された各種の圧電セラミックトランスは、巻線を使用しない高電圧発生源として、高電圧電源を必要とする機器の小形、固体素子化の促進に寄与できるものと期待される。また、本論文で示した解析及び実験は、圧電トランスに限らずフィルタの設計やハイパワートランス、ユーザーの設計などにも適用し得るものと考えられる。

審査結果の要旨

圧電トランスは、高結合圧電磁器からなる弾性振動体の共振を介して入出力静電容量間を結合させ電圧の変成を行うもので、巻線を用いない小形の高電圧発生素子として期待されてきた。しかし、未解決の問題が多く、十分な性能が得られないため、広く実用されるには至っていない。著者は、圧電トランスの基本的な動作理論と設計法を確立し、これに基づいて新しい着想の高性能圧電トランスを提案・開発した。本論文はこの研究の成果をまとめたもので、全編7章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、圧電トランスを非対称フィルタとして捉え、高電圧比と高効率を追求する体系的な設計理論を展開して明確な設計指針を与えている。

第3章では、圧電磁器振動子の大幅非線形動作時の特性とこれを考慮に入れた圧電トランスの設計法について論じ、振動子定数の振動速度依存性の実測データを設計に取り入れる方法を与えている。これにより、動作振動レベルを考えた小形トランスの設計が初めて可能になった。

第4章では、分極と励振に交差指電極を用いる方式を入力部に適用した方形板圧電トランスの新しい構成を提案し、これにより動作パワーと電圧比を大幅に向上させ得ることを示している。

第5章では、圧電横効果積層体の入力部と電氣的に直列接続した4本の縦効果縦振動棒からなる出力部とを両端で連結し、全体を一つの縦振動モードで共振させる新構造（積層・折返し構造）の圧電トランスを提案している。計算と実験により、半波長の長さの圧電トランスで、従来の数十倍に達する大きな電圧比約1000が得られることを示している。

第6章では、圧電トランスの励振効率と機械的強度を上げ、さらに高いパワーレベルでの動作を可能にするために、入力部に圧電縦効果利用の積層体を用い、折返し構造とした出力部振動子と共にボルト締めする新しい構造（積層・折返しボルト締め構造）を提案している。試作実験で得られた電圧比は300程度であるが、積層体の改善により1000程度に上げ得ること理論計算により示している。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、圧電トランスの体系的な設計理論を確立すると共に、これに基づいて、従来の構造にとらわれない二、三の新しい構造の圧電トランスを提案・開発し、電圧比、能率、動作レベルの向上と小形化を達成したもので、電子・通信工学および音響工学の発展に寄与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。