

氏 名	やま した さだ ひと 山 下 貞 彦
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 61 年 1 月 8 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 37 年 3 月 東北大学工学部電子工学科卒業
学位論文題目	ステップド・インピーダンス形同軸共振器とその応用に関する研究
論文審査委員	東北大学教授 斎藤 伸自 東北大学教授 西田 茂穂 東北大学教授 重井 芳治

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

最近の高度情報化社会において、通信技術の重要性が脚光を浴びてきている。人類社会におけるコミュニケーションの理想的な形態は、「いつ、どこでも、誰とでも」通信の出来ることであろう。このような社会的背景において個人間の通信においても種々の要望が増大し、例えば、従来の固定された位置間での電話に限らず、移動する位置間の電話等、すなわち、移動通信への要請がとみに強くなってきている。これに伴って、小形で軽量の携帯形通信機器の開発が急務となってきている。本研究は、この背景において、小形の無線通信機器に不可欠な超小形部品の一つとして、小形で高性能の共振器の研究を目的とし、特に UHF 帯の移動通信に適した小形同軸共振器の研究を行い、新しい構造の同軸形共振器を提案して、小形の帯域通過形濾波器および自動車電話移動無線機用の空中線共用器を開発設計したことを述べている。

第 2 章 UHF 帯における共振器の開発状況

本章では、これまでに研究され、実用化された各種の共振器について、特に 900 MHz 帯におけるその性能指数の比較を行っている。共振器の性能指数は、その Q で示されるが、通常 Q を大きくするには、構造的にその形状寸法を大きくせざるを得ない。各種の空洞形共振器およびヘリカル形共振器、同軸形共振器、さらに最近脚光を浴びてきた表面弾性波共振器について 900 MHz 帯での設

計指針とそのQの計算法を述べ、単位体積当りのQとしては、弾性表面波共振器および同軸形共振器が大きいという結果を得ている。前者は、小形ではあるが現状では扱える高周波電力の大きさに制限があるためここでは、同軸形共振器に着目し、小形化を進めるのがよいと結論している。

第3章 同軸形共振器の小形化

本章では、従来の同軸形共振器の小形化を目的として改良を行い、図1に示す様に、中心導体径

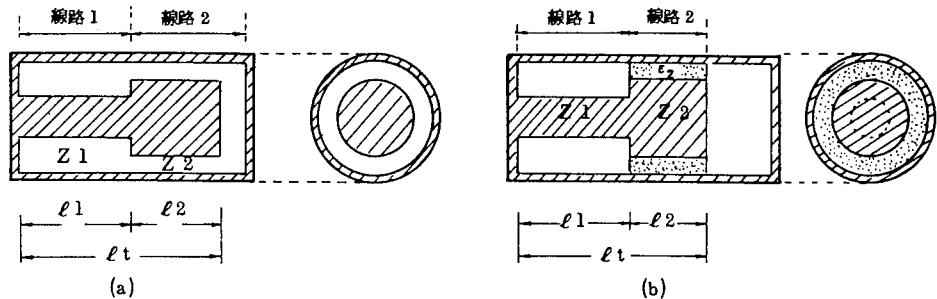


図1 ステップド・インピーダンス形同軸共振器の構造 (a)空胴形 (b)誘電体装荷形

の異なる2つの同軸線路からなるステップド・インピーダンス形共振器（SI共振器）を提案し、その共振条件を明らかにしている。両線路の特性インピーダンスの比としてパラメータKを導入し、Kを一定にすれば、共振器全長が最小になる条件が存在すること、また、Kを小さくする程、共振器長が短かく出来ることを明らかにしている。また、同軸線路の一部に、高比誘電率材料を装荷することが小形化には一層有効であり、比誘電率35のものをを用いた場合の共振条件を示している。この結果、誘電体全充填形の同軸共振器と較べても、一部装荷形の方が共振器全長がより短くなる事が明らかになった。また、不要高調波に対する応答特性の解析では、従来の四分の一波長形共振器ではTEMモードの3倍、5倍などの高調波に対する応答を抑制できなかったのに対し、SI共振器では、構造パラメータを選ぶことにより、この高調波応答特性を制御できるという特徴を有している。さらに、円形導波管としての高調波応答特性も解析し、TE_{mn}モードが高次モードとして現われることも示している。

第4章 誘電体装荷ステップド・インピーダンス共振器の無負荷Q

本章では、ステップド・インピーダンス形同軸共振器の無負荷Qの解析を行い、計算式を算出している。図1の共振器構造で、空胴形と誘電体装荷形に適用できる式を導き、900MHz帯において各種寸法の共振についてQの算出を行っている。誘電体装荷形については、同軸線路の開放端部に装荷する方が、形状の小形化に伴うQの劣化が少ないことを明らかにしている。また、装荷する誘電体としては、比誘電率35、誘電体損失 $(\tan \delta) \times 10^{-4}$ のものについて主として計算し、共振器構造寸法とQの関係を明らかにしている。外導体の内径10mmの四分の一波長形同軸共振器では、特性インピーダンス $Z = 77\Omega$ で最大のQとなり、 $Q_0 = 1240$ の理論値が得られるから、他の共振器のQには、

この値を規格値として用い、空洞形と誘電体装荷形の例について、共振器長をかえた時のQの変化を図2に示している。共振器長も四分の一波長で規格化した値を用いている。誘電体装荷形の方が小形にした時のQの劣化が少ないことがわかる。

第5章 誘電体装荷形ステップド・インピーダンス共振器の設計

本章では、共振器の設計に関して具体的な検討をしている。まず、共振器の内導体の不連続部に派生する浮遊容量の影響を加味して共振条件を求めている。また、数種の共振器について、共振周波数の感度解析も行っている。温度特性の解析では、装荷する誘電体材料の誘電率の温度係数に合わせて最適設計を行えば、温度特性の良好な共振器が得られる。また、共振器を実用する時に重要となる共振周波数の微調整機構については、チューニング・スクリュー方式によることにし、900 MHzで1.5%程度の調整範囲であれば、Qの劣化はないことも明らかにしている。

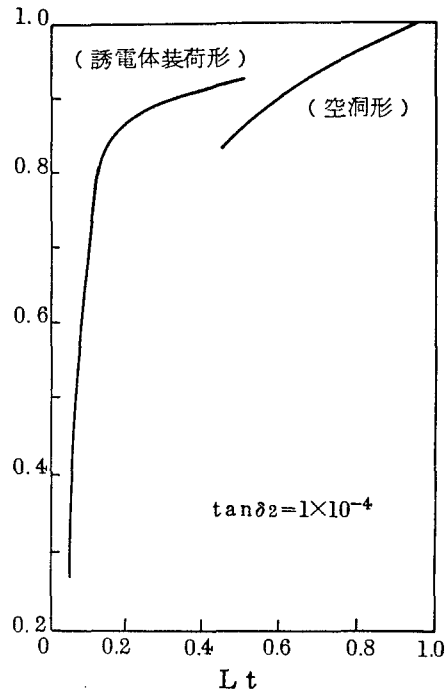


図2 共振波長に対するQの変化

第6章 共振器の試作実験と評価

本章では、小形同軸共振器として、誘電体装荷ステップド・インピーダンス共振器を試作し、共振周波数と無負荷Qについて、理論と実験の比較検討を行っている。UHF帯への応用という点から、周波数は900 MHzとし、共振器は銅で、同軸の外導体の内径が15 mm, 10 mmの2種類を製作し、装荷した誘電体材料は、比誘電率35, 誘電体損失 1×10^{-4} の新たに開発された材料である。この結果、Qは700から1000を得、理論値の80~90%の範囲に入っている。また、高調波応答特性は、TEMモードでは、理論と実験の良好な一致を見、この他に、円形導波管としての TE_{mn} モードも現われ、これも理論と実験で良い一致を示している。この結果、TEMモードでの3倍波、5倍波は容易に抑制することが出来、また TE_{mn} モードによるものは、構造寸法で応答周波数が変えられることを明らかにした。

第7章 誘電体装荷形同軸共振器による帯域通過形濾波器の一設計法

本章では、小形共振器の応用例として、濾波器を構成する場合に必要な設計式を算出している。動作伝送量を用いた帯域通過形濾波器の一般式を整理し、本共振器を用いた設計として、共振器を集中定数回路で近似して表わし、そのアドミッタンス・スロープパラメータを指標に採用して、設計をより容易にしている。

900 MHz帯では、比帯域幅が20%までは、誤差5%以内で集中定数近似出来ることを示す。この方法を用いて、容量結合形沝波器を構成し、その容量には、誘電体基板上に構成される電極間隙を用いることで全体の小形化をはかっている。これらの設計式および動作特性表現式についてまとめている。共振器を集中定数回路近似したために生じる沝波器の特性の誤差および誘電体基板上に構成した結合容量の詳細については、付録にして検討を加えている。

第8章 帯域通過形沝波器の設計、試作と評価

前章の結果を、900 MHz帯自動車電話用移動機の空中線共用器に応用することを考える。これは、送信用および受信用帯域通過形沝波器の組み合わせから構成されるもので、ここでは、それぞれの帯域通過形沝波器を設計、試作する。

帯域通過幅は、共に30 MHzであり、中心周波数は、送信用で927.5 MHz、受信用で872.5 MHzである。仕様上から、送信は4段、受信は6段の共振器を用いて設計、試作した。図3に、沝波器構造の主要部分を示す。結合容量用誘電体基板は、厚さ0.3 mmのテフロン・ファイバークラス基板を用い、また装荷用の誘電体には、外径10 mm、内径6 mm、厚さ3 mmの比誘電率35のものを使用している。この結果、送信用で挿入損失1 dB以下、受信用で1.5 dB以下の沝波器を、それぞれ体積13.8 cm³、19.8 cm³で実現し、設計値と実験値も良く合致している。使用した誘電体材料の諸特性は、付録で述べられている。

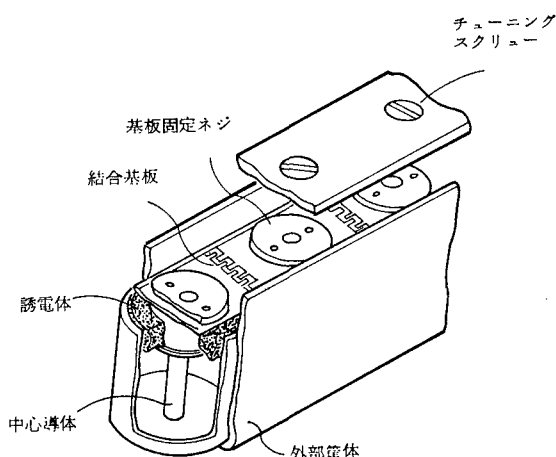


図3 誘電体装荷形共振器を用いた沝波器の構造

第9章 空中線共用器の設計、試作と評価

本章では、空中線共用器の設計についてまとめ、試作、評価している。具体例として、自動車電話用移動機の送受信空中線を一本で共用するための空中線共用器として、帯域通過形沝波器の組み合わせについて、その設計式と動作特性表現式をまとめている。分波器としての分岐回路には、適当な長さの同軸線路によるインピーダンス変換を行い、全体を小形かつ簡単な構造にしている。試作の結果、図4に示す特性の空中線共用器が得られた。十分に仕様を満足する特性であり、また共振器数10段で125 × 22.5 × 12 mmの大きさに仕上がっていることから、小形化の観点からも実用性十分と考えられる。

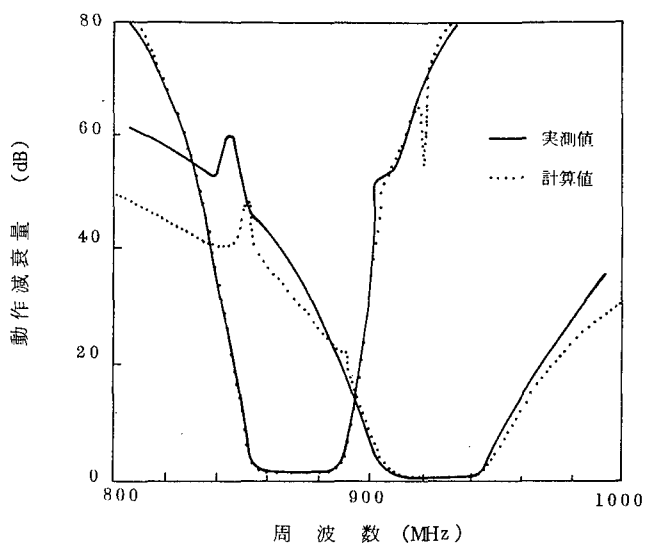


図4 試作空中線共用器の特性

第10章 結 論

本章は結論である。ステップド・インピーダンス形共振器について述べ、小形化の方法としての誘電体装荷が有用であることを示し、その応用の一例として汙波器および空中線共用器を試作し、その有用性を明らかにした。

審査結果の要旨

情報化社会の進展にともなって、個人間通信にも種々の要望が提起され、移動通信実用化への要請もとみに強くなった。また一方では、LSIを主とする半導体技術の急速な進歩によって、移動用無線機の論理、制御回路部の性能も高度になり、構造寸法も極めて小形なものになってきた。しかし、無線回路部、特に濾波器や発振器の小形化が難しく、残された重要課題の一つになっていた。本論文は、900 MHz帯自動車搭載用無線電話器に用いる空中線共用器の小形化を目的として、小形共振器及び小形濾波器の開発研究を行った成果をまとめたものを、全編10章よりなる。

第1章は序論である。また第2章は、従来からUHF帯で使われてきた各種共振器について概観し、同軸形共振器の改良が最も実用化に適していると結論したものである。

第3章、第4章及び第5章では、新たに提案した誘電体装荷ステップド・インピーダンス形同軸共振器について理論的検討を行っている。内導体径の異なる2つの同軸線路を組み合せ、開放端側の線路媒質に高誘電率材料を用いれば、軸方向の長さを従来形の10分の1以下にするのも容易であることを示し、また、無負荷Qの計算式を導いて、小形化によるQの劣化を10%程度におさめるための寸法の限度及び誘電体の損失の限度を具体的に示している。

第6章では、試作した種々の寸法の共振器について共振周波数及びQを測定し、理論値とほぼ一致する結果を得ている。また、高調波抑圧特性、温度依存特性、微細調整用ねじの特性なども実用上十分であることを確かめている。

第7章と第8章では、共振器間を容量で結合した構造で、900 MHz帯の帯域通過形濾波器を設計し、試作実験して、送信用では4個、受信用では6個の共振器を使えば、所要の特性が得られることを示している。また、結合容量を絶縁基盤上にプリントして作り、小形化、無調整化、量産化をはかって、濾波器の体積を空洞共振器を用いたものの半分以下に収めている。

第9章では、送信用と受信用濾波器を組み合わせて、空中線共用器を設計し、試作した共用器が十分に仕様を満足することを確かめ、実用にたえうることを実証している。

第10章は結論である。

以上要するに本論文は、誘電体装荷ステップド・インピーダンス形同軸共振器を提案して、UHF帯自動車通信用空中線共用器の小形化に成功し、その実用化を果したもので、通信工学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。