

氏 名	菅 原 澄 夫
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 58 年 11 月 9 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 47 年 3 月 山形大学大学院工学研究科電子工学専攻 修士課程修了
学 位 論 文 題 目	複合機械振動系の等価回路網解析とそのフィルタへの応用
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 清水 洋 東北大学教授 佐藤利三郎 東北大学教授 中鉢 憲賢 東北大学教授 山之内和彦 東北大学助教授 中村 信良

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

両端自由および一端固定の恒弾性金属棒の横振動を利用する音片および音さは、高Q、高安定、構造が簡素で支持も比較的容易であることから、低周波における発振用や周波数選択用素子として実用化されるようになった。近年、これらを用いた振動部品素子の小形化、高性能化が進むと共に、横振動棒においては長さに対する厚さの比の大きい形状や、その高次振動モードの利用も行われ、応用が多用化してきた。また、丸棒のねじり振動を利用するねじり振動子はメカニカル・チャンネルフィルタの共振子として注目されている。これらの振動部品素子は、通常共振子、結合子、支持系などによって構成される。特に、上記の音片、音さおよびねじり共振子を用いた複合機械振動系においては、設計時に構成要素に対して考慮した振動の外に複合構成によって新たに系固有の複雑な振動が各種励振され、実現特性が設計値と異なったりスプリアレスポンスが発生するなど実用化に際して支障となる諸問題が存在し、この種振動系の複合機械振動系としての特性解明並びにその設計指針の体系化が望まれている。従来、この種の問題に対しては、経験を基にした試行錯誤的方法がとられるのがほとんどで、理論的に体系化された考察もなされておらず、複合機械振動系におけるこのような諸問題を解明すること並びにその設計指針を体系化することの実用的意義は大きい。

本論文では、このような複合機械振動系の実用化に際しての諸問題を等価回路網解析並びに実験によって解明し、この種振動系の設計指針の体系化を行い設計精度の向上化およびスプリアスレスポンス抑圧による特性の向上化をはかると共に、本設計指針に基づいた特性が良好で小形軽量の各種の新しい振動部品素子を考案し、これらの実用化に寄与しようとするものである。

第2章 機械振動系の等価回路網の拡張表示

機械振動系の等価回路網解析の立場から、従来の等価回路網と比較してその適用範囲が拡張された各種の新しい等価回路網を導出し、本研究における複合機械振動系解析のための基礎を与えると共に、広い応用に適用できるようにそれらの整理・体系化を行うものである。まず、回転慣性並びにせん断変形による影響を共に考慮した横振動棒に対する等価回路網を導出し、長さに対する厚さの比が大きい横振動太棒の回路網的取扱いを可能ならしめ、両端自由棒における共振周波数の計算値と実験値との差が辺比 0.5 以内で 1% 以下となることを明らかにした。このように、本等価回路網は横振動棒解析のための近似度の高い回路網として実用に十分供しうるものである。また、複合機械振動系に励振される各種剛体振動の解析に使用する剛体の等価回路も導出し、任意形状の剛体の運動を着目点の座標を与えることによって回路的に取扱うことができることを示した。さらに、本章では機械振動系の合成・解析に使用する座標変換の概念の一般的な等価回路表示を行い、変換角度を与えると単位機械振動系に対する座標変換の考慮された等価回路が決定できることを明らかにした。

第3章 横振動音片複合機械振動系の等価回路網解析

横振動音片をその振動節線上で支持あるいは結合させる構造が、本振動系の小形化、低コスト化の目的から採用される。本章では、まずこのような振動系の等価回路網による設計法を確立するため、その特性の解明を行った。本振動系のねじり支持線並びに結合子には、複合構成によって音片の長軸方向の横振動が励振され、音片に対してねじりおよび横振動負荷として作用することを明らかにした。特に、音片の共振周波数が支持線や結合子に励振された横振動による負荷インピーダンスが無限大となる周波数（両端固定の共振周波数に相当）に接近した場合には、音片の共振周波数の急激な変動やスプリアスレスポンスが発生する。このような負荷の影響を考慮した音片の等価回路の提案を行い、本振動系の設計法を確立し設計精度の向上化をはかった。また、本振動系に励振される剛体振動の等価回路網解析並びにその実験的検証を行い、支持線あるいは結合子の接合位置が音片の節点からずれる程剛体振動が強く励振されることを明らかにし、負荷は節線上に正しく接合させる必要のあることを指摘した。導出した等価回路網によって、剛体振動による影響が設計時にしかも定量的に推定でき、従来のような試行錯誤の方法によらない設計が可能となった。次いで、本章では狭帯域音片MFに使用される変形結合子の等価回路網解析を行い、通常の直線結合子と比較してその共振、反共振が著しく低下し、特にその反共振周波数がMFの中心周波数に接近すると帯域幅の急激な変化やスプリアスレスポンス発生の原因となることを明らかにし、この種結合子の設計指針を与えている。

第4章 低支持損失音さの等価回路網解析とそのフィルタへの応用

本章では、支持部からの振動エネルギー漏れの少ない音さ複合機械振動系を考案しようとするもので、まず面内対称基本モード利用音さの両アームをある角度だけ内側に対称に折り曲げることによって底部における支持点の振動変位を零にすることが可能で、同点を支持固定することによって従来の音さと比較して支持系を介する振動漏れが少ない、即ち共振せん鋭度の劣化がきわめて少ない低支持損失の新しい音さが実現できることを等価回路網解析並びに実験的検証により明らかにした。また、従来の支持音さでは剛体振動が各種励振されそれらの除去対策が問題となるのに対し、本章で提案する低支持損失音さを用いた複合機械振動系においては剛体振動がほとんど結合・励振されない優れた特徴をもつことを明らかにしている。さらに、このような音さのMFへの応用も検討し、支持による影響がきわめて少ないため同一支持系に多数の音さを固定した場合でも音さの共振周波数の単独調整が可能となり、特に結合子形では支持系による音さ間の結合が小さいため結合子のみによって結合度の制御が可能となる。これらの音さ複合機械振動系は、振動エネルギー漏れの少ない振動部品素子として実用化が期待できる。

第5章 ねじり共振子複合機械振動系の等価回路網解析とそのフィルタへの応用

ねじり共振子を縦振動結合子で結合させたいわゆる結合形ねじり共振子における結合度の異常現象並びにスプリアスレスポンス発生の原因を解明し、この種複合機械振動系のMFへの応用について検討した。まず、本振動系の縦振動結合子にさらに横振動による影響を考慮した結合形共振子の新しい等価回路網の提案を行い、このような現象は結合子に励振された横振動に起因することおよびその励振機構を明らかにし、この種振動系の設計指針を体系化すると共にその設計精度の向上化に寄与した。本設計指針に基づいて、基本モード共振子を利用したチャンネルフィルタに併用される信号用MF並びに第3次モード共振子を積極的に利用したIF用の455 kHz・MFを提案・試作し、これらは小形で低価格のフィルタとしてその実用化が期待できる。また、同位相および逆位相結合子の差動接続を利用して、結合子の接合位置ずれによる特性劣化の少ない高次ねじり振動レスポンスの抑圧可能な狭帯域MFの一構成を提案し、信号用フィルタとして良好な特性の得られることも示した。このような高次モードレスポンスを抑圧するために、抑圧モードの振動節点に結合子を結合させそのモードが伝達されないようにする方法および差動接続結合子によって抑圧モードの結合を小さくしそのモードが伝達されないようにする方法を提案し、これらの有効性を実証している。本方法は、ねじり共振子と振動モードが異なる他の共振子を用いた複合機械振動系のスプリアスレスポンス抑圧対策としても広く応用できるものである。さらに、MFの支持系としては立体構造の支持系を提案すると共にその等価回路網解析により共振子に与える影響を定量的に明らかにし、対衝撃性の優れた振動部品素子が構成できることを述べた。

第6章 結 論

横振動音片、音さおよびねじり共振子を用いた複合機械振動系を低周波機械振動部品素子として実用化する場合の諸問題を等価回路網解析並びに実験によって解明しその設計指針の体系化を行

い、複合機械振動系の設計精度並びに特性の向上化をはかると共に本振動系を応用した各種の振動部品素子を考案し、この種振動系の実用化に寄与した。即ち、まず機械振動系の等価回路網解析の立場から各種等価回路網の適用範囲の拡張表示を行い、従来の解析では誤差の大きかった辺比の大きい横振動棒の回路網的取扱いを可能にするなど、機械振動系解析のための等価回路網の整理・体系化を行った。また、本複合機械振動系の等価回路網による設計法を確立し、その設計精度の向上化およびスプリアレスポンスの抑圧による特性の向上化に寄与すると共に、振動エネルギー漏れの少ない新しい振動系の考案も行い、本着想は時計用水晶音さをはじめとする各種の振動部品素子の低支持損失化に応用できるものである。本設計指針に基づいて提案・試作された新しい各種のMFは、特性が良好で外部電気回路も不要な小形軽量の高性能フィルタとして実用化が期待できる。

なお、本論文で導出された複合機械振動系設計のための各種の等価回路網は、今後電子計算機による振動部品素子の自動設計に有効に活用され、その実用化にさらに寄与できるものと確信している。

審査結果の要旨

メカニカルフィルタの高性能化が近年特に要求されているが、従来の設計法では各構成要素ごとに着目する一つの振動だけを考えているため、不測のスプリアス振動が生じたり、設計通りの特性が得られないなどの問題があった。本論文は、メカニカルフィルタを共振子と結合子だけでなく支持系をも含めた複合機械振動系として取扱い、各構成要素の複数の振動と要素間の振動の結合を考慮した等価回路網を求め、これによって高精度の設計とスプリアス振動の低減を可能にしたもので、全編6章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、太棒にも適用できる横振動棒の等価回路網を求め、また、任意剛体の振動や座標変換に対し一般的な等価回路表示を与えている。これらは、等価回路解析の適用範囲を拡張し、精度を向上させたもので、有用な成果である。

横振動音片を用いる場合、結合子（又は支持線）を板面上に取付けることが多い。第3章では、この取付け位置が中性面からずれているために励起される結合子の横振動が、共振周波数の大きなずれや新たなスプリアス振動の発生の原因になることを、等価回路解析と実験により明らかにすると共に、これを避けるための設計法を与えている。

第4章では、音さの両アームをある角度だけ内側に折り曲げると底部支持点の振動変位が零になることを等価回路解析で見出し、これに基づいて支持部からの振動エネルギーの漏れが極めて少ない音さを提案し実現している。また、この音さがスプリアス応答抑圧の上でも有利であることを明らかにしている。本着想は、時計用水晶発振器の低電力化に重要な示唆を与えるもので注目に値する。

第5章では、ねじり振動共振子を用いるメカニカルフィルタについて、縦振動結合子の横振動が接合点で励振される機構を緻密に考察して等価回路を導き、特性の解析を行っている。また、共振子の横振動や剛体振動を考えた振動解析も行っている。その結果、結合子の寸法に対する結合度の異常な変化や、種々のスプリアス振動の励起されるメカニズムに初めて明快な説明を与えると共に、これらを回避する設計法を与えている。また、これに基づいて二三の新しいフィルタ構成法を考案しているが、3次ねじりモードを用いた小形高性能の455 kHz IFフィルタは既に実用化されている。

第6章は結論である。

以上要するに、本論文は、共振子、結合子及び支持系で構成される複合機械振動系に対し、詳細な考察に基づいて新しい等価回路網を提案し、設計精度の向上とスプリアス振動の低減を可能にしたもので、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。