

氏 名	さい とう しげ み 齋 藤 繁 實
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 5 1 年 3 月 2 5 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項
研 究 科 ， 専 攻 の 名 称	東 北 大 学 大 学 院 工 学 研 究 科 電 気 及 通 信 工 学 専 攻 (博 士 課 程)
学 位 論 文 題 目	磁 歪 振 動 子 の 強 力 励 振 特 性 の 測 定 法 に 関 す る 研 究
指 導 教 官	東 北 大 学 教 授 清 水 洋
論 文 審 査 委 員	東 北 大 学 教 授 清 水 洋 東 北 大 学 教 授 津 屋 昇 東 北 大 学 教 授 柴 山 乾 夫 東 北 大 学 教 授 御 子 柴 宣 夫

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

磁歪振動子は、端面振動速度数十 km/s という大振幅で強力励振して用いられることが多い。このような大勢力送波の場合に磁歪振動子の性能の良し悪しを判断するクライテリオンとしては、無疲労限応力のように純粋に機械的性質で決まるものの他に、電気音響変換基本式の諸定数の、小振幅での値でなく、使用する励振レベルでの値が重要なものになり、振動子の開発・研究あるいは規格の決定や製品検査をする場では、これらの諸定数を大振幅において正確かつ簡易に測定できる方法が望まれてきた。しかし、これに対して十分に満足できる測定方法は実現されておらず、従来の測定法にはいくつかの点で精度上、実用上に問題がある。これを大きく分類すると2つの問題点に集約される。

第1の問題点は、大振幅領域において振動子の磁氣的、弾性的な非直線現象が顕著になること

によって生ずる問題である。殊に大振幅での共振曲線にはゆがみが生ずるので、共振の象限周波差 Δf から機械的QやB型力係数 A_B を求める従来の線形的取扱いによる測定法には、原理的に精度上の疑問がある。また、このような非直線性の観測特性への影響や、大振幅においても線形の電気音響交換基本式を工学上適用できるかという点についても検討を要する。これらの問題は単なる測定技術上の問題ではなく、振動子の特性に関連する問題だと考えられる。

第2の問題点は簡便性の上での問題である。殊に、振動子を大振幅励振しているときにはその内部損失による発熱が大きいので、共振周波数 f_0 、象限周波数 f_1, f_2 は測定中に刻々変わってしまうことが多いが、測定誤差を小さくするためにはこれらを手早く測定する必要がある。しかしそれを行なうのは容易でなく、測定値のバラツキや個人差も大きくなる。このような問題は主に測定技術上の問題である。

本論文は磁歪振動子の大幅特性測定法における上述の問題点を詳細に検討し、これらの問題点への対応方法を提案し、その有用性を検討したものである。

第2章 従来の強力励振特性測定法の検討

本章では従来の強力励振特性測定法の問題点を検討した。

磁歪振動子の振動振幅を微小の範囲から徐々に大きくしていくと、ある程度以上のレベルでは、一定速度振幅（あるいは一定モーショナル電流振幅）としても、図1のように共振曲線にゆがみが生じてくる。この現象は純弾性的な非直線性としては取扱えないものである。このようなゆがみの生ずる大振幅領域では、差動法、バイプロメータ法、変位計法等の従来の強力励振特性測定法には精度上になお疑問があり、簡便性の上でも問題があることを述べた。また、従来純弾性的な非直線性の影響を避ける意味から、特性の測定には一定速度制御の方法が推奨されてきたが、この制御系がしばしば発振を生ずるのでその原因について検討し、制御系の安定性の観点からは、でき得れば定電圧制御の方法で測定できる方式を採用するのが望ましいことを指摘した。

第3章 振動子諸定数の自動測定法

本章では、特に大振幅測定に適した簡易でなお精度も良い諸定数の自動化測定法を提案し、その測定装置の構成例と、それを大幅特性の測定に適用した結果について述べた。

本測定法は周波数摂動法による共振点自動追尾の手法を測定法に応用したものである。すなわち、振動子の駆動電圧 V_d の振幅を一定にした状態でこの電圧の周波数に低周波の正弦波摂動を与えると、図2に示すようにモーショナル電流 I_m は振動子の共振曲線に沿って振幅変調されるが、このAM信号 V_{AM} の基本波成分（摂動周波数 f_p の成分）の周波数摂動に対する位相は振動子の共振の上下で反転し、共振周波数においては零になるので、 V_{AM} を摂動信号で同期検波

し、その出力が零になるように V_d の中心周波数を制御して共振周波数 f_0 を自動的に追尾する。このときの中心周波数から f_0 が直ちに求められる。この追尾状態では、 I_m は摂動周波数 f_p の 2 倍の周波数でわずかながら振幅変調されていて、その振幅変調度 k は機械的 Q および V_d の周波数偏移振幅 δf と一定の関係があるので、 k が一定値になるように δf を制御すればそのときの δf の大きさから Q が自動的に測定される。共振時のモーショナル・アドミッタンス Y_{m0} 、および制動アドミッタンス Y_d についても従来の方法の原理を自動化し、直読で求めることができる。本自動測定装置の構成例を図 3 に示す。

本法は自動化により簡便、迅速に測定がおこなわれ、個人差も生じないだけでなく、いくつかの特徴を有する。すなわち V_d の中心周波数は f_0 を追尾するので、温度や音響負荷の変化等による f_0 の変化にわずらわされない。また本法では δf を小さくして速度振幅の変化を極めて小さくすることができるので、安定性の高い定電圧制御を採用しても定速度と同じ効果が得られる。

第 4 章 各種測定法における強力励振時 B 型力係数の比較・検討

本章では、従来深く検討されていない強力励振時の B 型力係数 A_B の振幅依存性、周波数依存性について実験的に検討した。ここでは電気音響変換の基本式にあらわれる 2 つの A_B を特に区別して A_{B1} 、 A_{B2} と考え、種々の測定法による A_{B1} 、 A_{B2} および $\sqrt{A_{B1} \cdot A_{B2}}$ を比較・検討して、 A_B の特性とその適切な測定方法を推論した。また、第 3 章で提案した自動測定法を強力励振特性の測定に用い、本法の有用性を実験的に検証した。

線形パイロメータ振動子を用い、フェライト磁歪材料の棒状試料についておこなった実験的検討から、B 型共振点における限り、強力励振時にも $A_{B1} = A_{B2}$ が成り立ち、その振幅依存性は振動速度だけではほぼ決定され、駆動電圧にはほとんど依存しないことがわかった。ただし f_0 をはずれると A_B は f_0 での値よりかなり低くなるので、実用上問題になる f_0 での動作に関する限り従来の電気音響変換基本式を適用できることになる。

f_0 での A_B を求めるには、その A_B の f 依存性に影響されない方法で機械的 Q を正確に測定する必要がある。この Q の測定には、本論文第 5 章で提案する機械的損失の測定法を用いるか、または第 3 章で提案した自動測定法を適用する。自動測定法では、駆動周波数を従来の測定法のように象限周波数までの広い範囲に変化させないで、共振点を中心にわずかだけ振ってこのときの単一共振系の等価な Q を求めるものであるから、実用上問題となる f_0 での特性を、非直線性の影響を受けずに測定できると考えられるものである。モーショナル電流の検出にパイロメータの方法を用い、自動測定により求めた角型フェライト振動子の A_B を他の方法による結果と比較して図 4 に示す。これによれば、本法の A_B は短絡時に観測される A_B と一致しており、 A_B の特性および適切な測定法に関する本章での推論が妥当なことがわかる。本自動測定法によれば、

大振幅領域においても従来の方法よりなお精度の高い測定ができる。

第5章 磁歪振動子の磁氣的損失・機械的損失の分離測定法

本章では、磁歪振動子の強力励振時における内部損失の測定法として、一般の商用周波数の電力用変圧器試験法として従来より広く用いられている開放・短絡試験の考え方と同様な考え方を導入して、磁氣的損失と機械的損失に分離して測定する一方法を提案し、その有用性を検討した。

具体的方法においては、磁氣的損失を測定するための「開放試験」として、試料の音響放射面に接着した同型の振動子の磁歪性駆動力により強制的に制動するという方法を用いる。機械的損失を測定するための「短絡試験」としては、試料振動子を空中でB型共振周波数で駆動するという方法を用いる。また漏洩インピーダンスが無視できない場合の補正も試みた。

実験的検討として、市販の角型フェライト磁歪振動子を対象として実測した例について論じた。測定範囲内で磁氣的損失は交番磁束密度振幅 ($0.005 \sim 0.20 \text{ Wb/m}^2 \text{ pp}$) の 2.8 ~ 1.5 乗に、機械的損失は端面速度 ($\sim 50 \text{ kine rms}$) の 3.3 乗に比例するという結果が得られた。二損失を加算して求めてみた損失量を、片面接水時に近い擬似音響負荷での試験の測定値と比較したところ、音響放射面の振動速度が 7 kine (r.m.s.) 程度より小さい範囲ではよく一致することがたしかめられた。これよりも大きい範囲でも両者の傾向を知るのに有用である。

第6章 結 論

本章では、各章の結論を要約した。

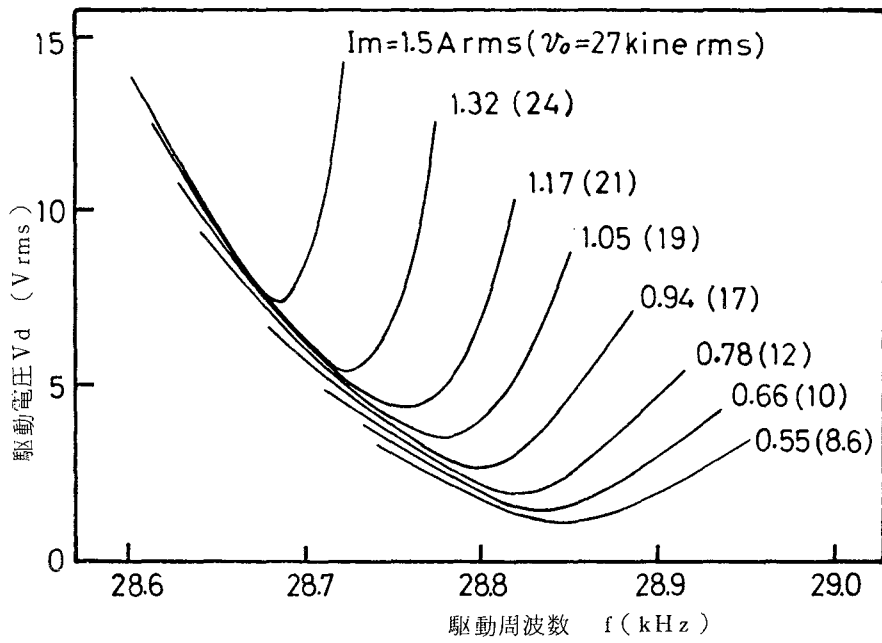


図1. 駆動電圧 V_d の共振曲線

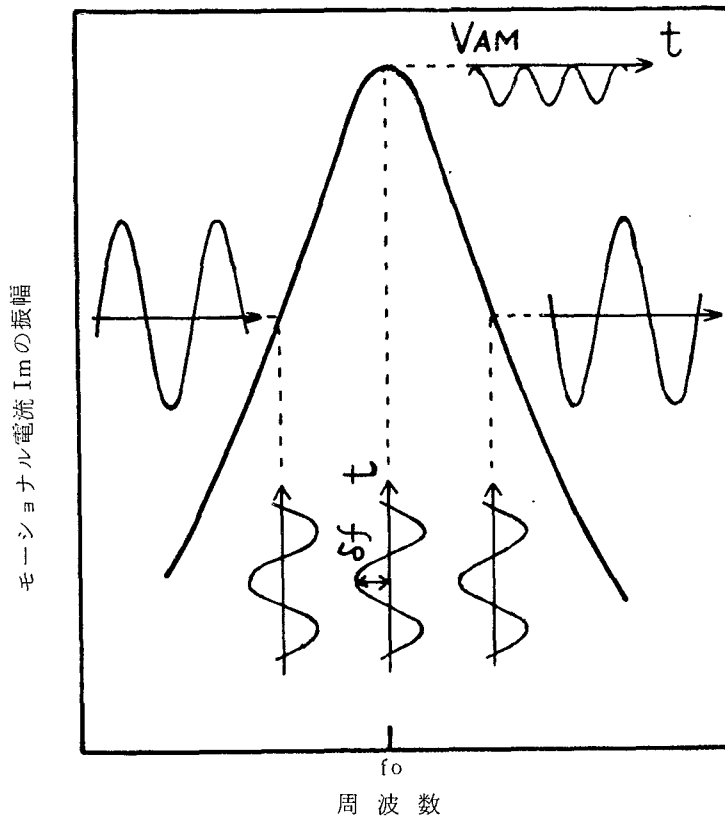


図2. 周波数振動による自動測定の実理

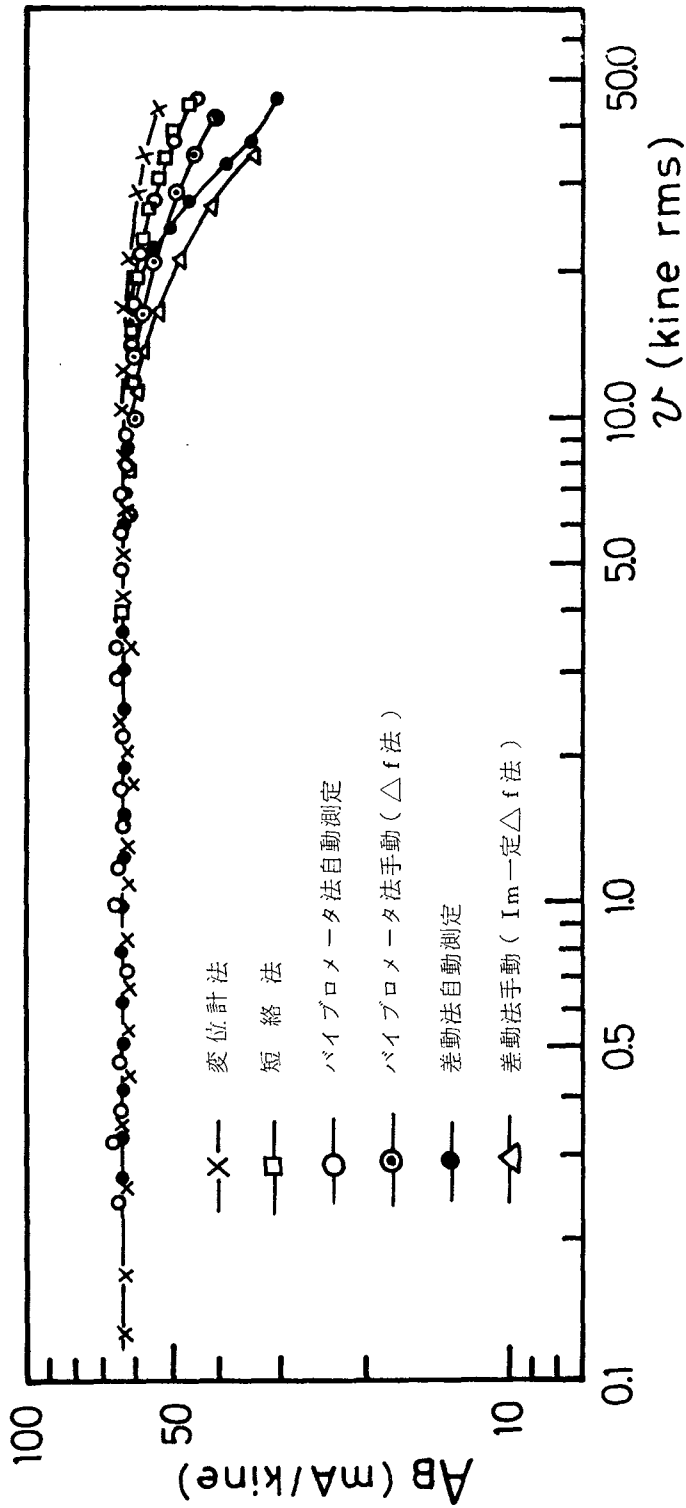


図 4. 各種測定法による B 型力係数

審査結果の要旨

強力超音波の発生に用いられる磁歪振動子は、大振幅で動作するため、材料の磁氣的並びに弾性的非直線性が振動子の動作特性に大きく影響する。磁歪振動子や振動子駆動回路の設計には、強力励振時の諸特性を知る必要があり、これの簡便な測定法が要望されている。著者は、従来の強力励振特性測定法の問題点を検討し、上述の要望に答える新しい測定法を追求してきた。本論文はその成果をまとめたもので、全文6章よりなる。

第1章は緒論である。第2章では、従来の強力励振特性測定法の問題点を検討し、大振幅領域では精度および簡便性の上でなお不充分であり、また定速度制御系が発振を起し易いなどの難点があることを指摘している。

第3章では、振動子諸定数の測定を自動化する方法を提案し、測定装置の試作例を示している。この方法は、駆動周波数に低周波の摂動を与えて共振点を追尾させると共に、種々の制御を併用することにより、諸定数が同時にかつ自動的に測定されるようにするもので、測定を大幅に迅速化することができる。そのため、振動子の温度や負荷がある程度変動する場合でも測定が可能になる。さらに、この方法では周波数偏移幅を極めて小さくしても充分高い精度が得られるため、非直線性に基づく共振曲線のゆがみに起因する誤差が軽減され、また安定な定電圧制御系を用いて測定することができる。これらの特長から、本測定法は特に強力励振特性の測定に有用である。

第4章では、線形バイプロメータ振動子を用いる新しい観測法を考案して振動子のB型力係数の振幅依存性について詳細な実験的検討を行っている。また、第3章の自動測定法を従来のバイプロメータ法に組み入れれば、50 kine (r.m.s)程度の高いレベルまで諸定数が精度よく測定されることを検証している。この方法は強力励振特性の測定法として優れており、大きな収穫である。

第5章では、磁歪振動子の内部損失の測定に、電力用変圧器の開放短絡式験の考え方を適用し、損失を磁氣的損失と機械的損失に分離して測定する新しい方法を提案し、実験的検討によりその有用性を確かめている。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、非直線性が顕著に現われる磁歪振動子の強力励振特性に対する従来の測定法の問題点を検討し、これを改善して精度と簡便性を大幅に向上しうる新しい測定法を提案し、その有効性を実験的に検証したもので、超音波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。