

電磁シャントダンパによる
超電導磁気浮上系の非接触制振

2016 年度

佐々木 暢彦

主 論 文 要 旨

報告番号	甲	第	号	氏 名	佐々木 暢彦
主論文題目： 電磁シャントダンパによる超電導磁気浮上系の非接触制振					
(内容の要旨) 超電導バルク材を用いると、磁石を非制御で安定に浮上させることができる。しかしながら、接触がないために本系は低減衰系であり、大振幅の非線形振動を生じ得る。そのため、制振の必要があるが、非接触・非制御であるという超電導磁気浮上系の長所を損なわないように、制振も非接触・非制御で行われることが望ましい。本研究では、回路系と機械系を電磁的に連成させることで振動振幅の低減を行う電磁シャントダンパと呼ばれる装置に注目し、同ダンパを利用した超電導磁気浮上系の振動振幅を低減することを目的とした。 第1章では、本研究の背景および目的を示した。 第2章では、超電導により磁気支持された浮上体の鉛直方向振動を低減するため、非線形振動の一種である内部共振を利用した新しい電磁シャントダンパを提案した。外部磁場を作る永久磁石の配置を変更して回路系に非線形性を持たせ、さらに浮上系の固有振動数と電磁シャントダンパの固有振動数の比を 1:2 に設計することで、浮上系と回路系の上に内部共振が発生するようにした。従来の電磁シャントダンパでは、固有振動数比を 1:1 にする必要があり、インダクタンスおよび抵抗の値が大きくなるという問題がある。しかし、内部共振を利用する場合には、それらの値を大幅に低減できることを非線形解析および数値解析により明らかにした。 第3章では、超電導磁気軸受で支持された回転体のふれまわり振幅を低減するため、新しい様式の電磁シャントダンパを提案した。回転体にコイルを巻き付け、その近傍にリング形の永久磁石を固定することで、回転体がふれまわるとコイルに誘導電流が流れ、それに伴うダンピング効果によりふれまわりを低減できるようにした。第3章では特に、鉛直軸系の応答を調べ、磁気ダンパによる回転体の制振と異なり、前向きふれまわりに対しても振幅低減効果があることを線形解析および実験により示した。さらに、電磁シャントダンパのリング形永久磁石が作る磁場分布を考慮して、最適なコイル形状とリング形磁石形状を理論的に導出した。 第4章では、第3章で提案した電磁シャントダンパの水平軸系に対する応答を調べた。各方向の主共振および分数調波共振に対して振幅低減効果があることを数値解析および実験により明らかにした。 第5章では、第3章で提案した電磁シャントダンパの電磁場解析を行った。ふれまわり振幅が微小であると仮定し、導体内のポテンシャルおよび電流分布を導出した。さらに、ダンパから受ける力を回転体の変位および速度による一次結合で表すことで、磁気ダンパとの比較を行った。 最後に第6章において、各章で得られた内容を総括し、本研究の成果を要約した。					

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Integrated Design Engineering	Student Identification Number	SURNAME, Given name SASAKI, Masahiko
Title <p style="text-align: center;">Vibration Suppression in Superconducting Levitation System Utilizing Electromagnetic Shunt Damper</p>		
Abstract <p>A superconducting bulk can levitate a permanent magnet. However, its damping factor is very low, because there is no friction. Therefore, nonlinear vibration with large amplitude can easily occur and the vibration have to be suppressed. It is preferable that the vibration suppression be performed without any active control and any contact so that the system does not lose its merits. The author focuses on a damper which is composed of an electromagnetic transducer and a shunt circuit. It can transform vibrational energy into electrical energy and dissipate the energy. The purpose of this research is to suppress vibration in a superconducting levitation system with the electromagnetic shunt damper.</p> <p>Chapter 1 describes research background and objectives.</p> <p>In Chapter 2, a new type of electromagnetic shunt damper that utilizes internal resonance, a kind of nonlinear resonance, is proposed to suppress vibration in the vertical direction in a superconducting levitation system. The arrangement of fixed outer magnets is changed and the ratio of natural frequencies of the levitated system and the circuit system is adjusted to be one to two so that internal resonance between both the systems can occur. With a conventional electromagnetic shunt damper, the ratio is required to be one to one, which leads to large inductance and large resistance. On the other hand, it is analytically found that the proposed damper can ease this condition.</p> <p>In Chapter 3, a new type of electromagnetic shunt damper is proposed to suppress whirling of a rotor supported by a superconducting magnetic bearing. A coil is wound around the rotor and external magnetic field generated by ring-shaped magnets is applied to the coil. When the rotor whirls, the Lorentz force acts on electrons in the coil and induced current flows to prevent the rotor from whirling. In particular, dynamics of a vertically supported rotor is investigated and it is theoretically and numerically found that vibration suppression is achieved in the system. Unlike magnetic dampers, the proposed damper can suppress forward whirling. In addition, considering the external magnetic field distribution, the optimum dimensions and configurations of the coil and the ring-shaped magnets are obtained by numerical analysis.</p> <p>Chapter 4 describes dynamic properties of a horizontally supported rotor with the damper proposed in Chapter 3. Numerical analysis and experiment reveals that the proposed damper is effective against main resonance and subharmonic resonance.</p> <p>In Chapter 5, electromagnetic field analysis of the damper proposed in Chapter 3 is carried out. Assuming that the whirling is small enough, distributions of scalar potential and current in the conductor are investigated. The force exerted by the damper is expressed by linear combination of the displacement and the velocity of the rotor.</p> <p>Finally, Chapter 6 summarizes the contents of this thesis and concludes the results.</p>		