

動吸振器による電動機固定子の制振

長崎大学大学院工学研究科
片原田 浩之

電動機は産業分野から日常生活まで多くの場面で使用され、現代社会ではなくてはならない電気機械である。電動機のうち、産業用に用いられることが多い誘導電動機では、エアギャップにおける固定子と回転子の高調波磁束の相互干渉によって生じる電磁力が固定子と回転子間に作用しており、この電磁力により固定子が振動し、電磁騒音が発生することがある。しかしながら、固定子は薄肉の電磁鋼板を積層した特殊な構造をしているため、固有振動数の予測が難しく、また、近年よく使われるインバータ制御されたモータでは駆動回転数が広範囲で変わるため防振・防音が難しくなっている。

電動機の制振のために、一般的に用いられている動吸振器などの制振装置を使うことが考えられるが、力が作用する位置が移動しない機械や構造物の制振と異なり、電動機のように空間に分布した電磁力が回転する場合、電磁力により固定子鉄心の振動モードも回転するため、腹や節が空間に固定されず、動吸振器による制振理論が確立されていない。そこで本研究では、電動機の制振のための装置として動吸振器を用いることとし、その制振理論を構築することを目的とする。まず、振動・騒音の問題となっている振動数と同じ固有振動数をもつ一对の動吸振器を設置することで回転する振動モードに対しても有効な制振理論を確立するとともに、理論解析と有限要素解析でそれを確かめた。また、一对の動吸振器の設置間隔による影響を確認し、インバータモータのような駆動回転数が広範囲で変わる電動機の制振のために、減衰をもつ一对の動吸振器の最適な設計について調べるとともに、いわゆる多重動吸振器に相当する複数対の動吸振器による最適な設計についても検討した。さらに、電動機が不均一性をもつ場合、動吸振器を用いた制振への影響を調べるとともに、不均一性を電動機の制振問題に活用することも検討した。

その結果、まず、電動機固定子と同じ固有振動数をもつ2つの動吸振器をそのモードの腹と節の間隔で設置することにより電磁振動の共振を完全に制振できることが明らかになった。さらに、一对の動吸振器を制振対象の振動モードの腹と腹の間隔以外で設置すれば、共振点において固定子の振動は完全に制振されるが、一对の動吸振器を制振対象の振動モードの腹と節の間隔で設置したときが、共振点付近の広い振動数領域で制振効果が最も高いことを明らかにした。共振点以外の制振についても、動吸振器の振

動数を電磁振動の振動数に一致させ、動吸振器を制振対象の振動モードの腹と腹の間隔以外で設置しすると完全に制振できることを明らかにした。

一对の動吸振器の固有角振動数比と減衰比を最適化することでインバータモータのように回転数が変化する場合も制振でき、多重動吸振器を用いることでさらに高い制振効果が得られることも明らかにした。

不均一質量は固有振動数を下げる効果があるので、不均一質量の設置により共振点は低下し、2個の不均一質量の質量が大きい時は、その開き角が振動モードの腹と節の間隔に近いほど、元の共振点の振幅を低減できること、また、不均一質量が存在しても、一对の動吸振器を用い、その設置間隔を制振対象モードの腹と節の間隔にし、動吸振器の固有振動数を強制力の振動数に等しくすることにより、不均一質量と動吸振器の相対的位置関係に係らず、固定子を完全に制振できることを明らかにした。

Vibration Control of Induction Motor Stator Using Dynamic Absorbers

Graduate School of Engineering Nagasaki University
Hiroyuki Kataharada

The motor is used from the industrial field to everyday life in many scenes. It is one of the most important machines in the modern society. One type of such motors is an induction motor that is often used in the industrial field. The electromagnetic force generated by the mutual interference of the harmonic magnetic fluxes of the stator and rotor in the air gap affects between the stator and rotor. This electromagnetic force can cause the stator to vibrate and generate electromagnetic noise. However, it is difficult to predict the natural frequency because the stator has a special structure in which thin electrical steel sheets are laminated. Inverter-controlled motors make it difficult to prevent vibration and noise because the drive speed varies over a wide range.

In order to quench the vibration of the motor, although it is possible to use a damping device such as a dynamic absorber that is commonly used, the vibration control of the motor using the dynamic absorber has not been established. The reason is as follows. It is easy to quench the vibrations of machines and structures where the force position does not move, however it is difficult to quench the vibrations in the motors where the electromagnetic force is distributed in space rotates and the vibration mode of the stator core also rotates according to the electromagnetic force.

In this study, the dynamic absorber is adopted as a vibration quenching device for the motor and the vibration control theory is established. At first, the vibration control theory using a pair of dynamic absorbers with the same natural frequency as the vibration of the stator core is established. This theory is very effective in quenching the rotating vibration modes. This theory is confirmed by theoretical analysis and finite element analysis. Secondly, the effect of the installation interval of a pair of dynamic absorbers on stator circumference is confirmed. The optimum design of the pair of dynamic absorbers with damping for vibration control of the motor such as an inverter motor whose drive speed varies over a wide range is investigated. In addition, the optimum design with multiple pairs of dynamic absorbers is also examined. Thirdly, motors often have imperfect mass, its effects on the vibration control using the dynamic absorber are investigated. The method using the imperfect mass for the vibration control of the

stator is also investigated.

As a result, it was clarified that the resonance of electromagnetic vibration can be completely controlled by installing two dynamic absorbers with the same natural frequency as the motor stator at the intervals between the loop and node of that mode. If a pair of dynamic absorbers are installed except the interval of the loops of the vibration mode to be controlled, the vibration of the stator is completely controlled at the resonance point. It was clarified that when the pair of dynamic absorbers are installed at the interval between the loop and the node of the vibration mode to be controlled, the vibration control effect was highest in a wide frequency range near the resonance point. For vibrations other than the resonance point as well, it is possible to achieve complete vibration control by matching the frequency of the dynamic absorbers with the frequency of electromagnetic vibration and installing the dynamic vibration absorber except the interval between the loops of the vibration mode to be controlled.

It is clarified that the vibration can be controlled even when the rotational speed changes, as in an inverter motor by optimizing the natural frequency ratio and damping ratio of a pair of dynamic absorbers. It is also clarified that more grater vibration quenching effect can be obtained by using multiple dynamic absorbers.

Since the imperfection mass has the effect of decreasing the natural frequency, the amplitude of resonance point decreases due to the installation of the imperfection mass. When the mass of two imperfection masses is large, the amplitude of the original resonance point can be reduced by setting two imperfection masses apart from each other at the angle made by the loop and the node of the vibration mode. It was clarified that the stator can be completely controlled regardless of the relative position between the imperfection mass and the dynamic absorber. Even if there is an imperfection mass, by using a pair of dynamic absorbers, setting those at the interval between the loop and node of the vibration control mode, and making those natural frequencies equal to the frequency of the electromagnetic force, the vibration of stator can be controlled.