誘導円板形継電器の地震時誤動作の防止方法に関する研究*

藤田 隆 史^{*1}, 服 部 忍^{*1}, 小 泉 孝 之^{*2}

Improvement of Induction Disk Type Relays for the Prevention of Malfunction under Earthquake conditions

Takafumi FUJITA, Shinobu HATTORI, and Takayuki KOIZUMI

The malfunction of induction disk type relays under earthquake conditions is caused by rotation of the disks induced by seismic excitation. The rotation of the disk results from torques generated by friction forces between the thrust bearing supporting the pivot at its bottom and the lower end of the pivot whirling in the bearing due to seismic excitation. This mechanism of malfunction was revealed by the authors and analysed in the former paper. In this paper, modification of the shapes of the bearing and the lower end of the pivot is proposed, to reduce the torques. The effectiveness of the modification was verified by both excitation tests and theoretical analysis. Furthermore the maximum accelerations of seismic excitation inputs having various dominant frequencies which did not cause the malfunction were investigated by analysis, and it was shown that an improvement of 1.3~2.0 times in the maximum accelerations was obtained by the modification.

Key Words: Vibration, Induction Disk Type Relay, Malfunction under Earthquake Condition, Prevention of Malfunction, Improvement of Pivot and Bearing

1. ま え が き

機械工学分野での耐震問題には、単に構造破壊に対する耐震性だけでなく機能破壊に対する耐震性も要求される場合が多い。変電所、発電所などにおいて保護継電器として広範囲に使用されている誘導円板形継電器の地震時誤動作の問題はその典型例である。この誤動作現象は、本来の電氣的要因とは無関係に、地震動によりアルミニウム製円板が回転し(図 1 参照)、軸に取付けられた可動接点が固定接点に接触して、しゃ断器を作動(トリップ)させてしまう現象がある。過去の地震での誤動作例も報告されており、その防止方法の確立が要望されていた。

研究の第 1 段階では、前報⁽¹⁾に述べたように、それまで不明であった誤動作発生機構が以下のように解明された。すなわち、この誤動作現象は単純な強制振動によるものでなく、水平二次元加振により軸下端のピボットが下部軸受内をふれまわり、ピボットとジュエ

ル(受石)間およびピボットとリング間の摩擦によりトルクが発生し、それによって円板が回転する一種の不安定現象であることが明らかにされた。また、その解析モデルは定量的にも十分に妥当なものであることが示された。

研究の第 2 段階として、本研究では誤動作防止方法について検討し、実際的な方法として、ピボットと下部軸受の形状を改良する方法を提案している。本論文では、3 種類の継電器を供試体として水平二次元加振実験とその理論解析を行い、ピボット・下部軸受に由来形、改良形を用いた場合の円板回転角を比較し、改良形の有効性を検証している。また、従来形、改良形継電器のおおのについて、3 種類の実地震波から作成した建物の床応答模擬波を用いて理論解析を行い、継電器が誤動作に至る最小入力加速度(誤動作限界加速度と呼ぶ)を求めている。

2. 誘導円板形継電器の改良方法について

図 2 は、ピボットと下部軸受間で誤動作トルクが発生する機構を示したものである。ピボットがふれまわり、ジュエルとの接触点が軸中心線上からずれると、接触点での摩擦力(F_f)と接触点のずれ(r_f)とによって、ピボットとジュエル間での誤動作トルク T_f が発

* 昭和 62 年 8 月 20 日 第 65 期全国大会講演会において講演、原稿受付 昭和 62 年 1 月 27 日。

^{*1} 正員、東京大学生産技術研究所 (〒106 東京都港区六本木 7-22-1)。

^{*2} 正員、三菱電機(株)中央研究所 (〒661 尼崎市塚口本町 8-1-1)。

生する。また、ピボットのふれまわりがさらに大きくなってリングに接触する場合、リングとの接触点での摩擦力(F_R)とピボットの半径(r_P)とによって、ピボットとリング間での誤動作トルク T_R が発生する。

これらの誤動作トルクを低減させる方法として、次のようなピボット・下部軸受形状の改良が考えられる。

(1) r_J を減少させるため、ピボット先端の曲率半径を小さくする。

(2) ピボットのふれまわりを減少させるため、ジュエル形状を深溝形にする。

(3) ピボットのリングへの接触を防ぐため、(2)の改良に加えて、リング内径を大きくする。

ただし、これらの改良では T_f , T_R が同時に低減されるとは限らない。というのは、ジュエル形状が深溝形になると、ピボットがリングに接触しにくくなり、リングへの押し付け力が減少する代わりに、ジュエルへの押し付け力が増加するため、 r_J を小さくしても、 T_f の増加する可能性があるためである。しかし、 T_R については、ピボットがリングに接触しないか、あるいは、接触してもリングへの押し付け力が大きく減少するため、大幅に低減するはずである。その結果、全体としての誤動作トルクの低減が期待できる。

本実験で用いた従来形および改良形継電器のピボッ

ト・下部軸受形状を図3に示す。

ところで、ピボット・下部軸受形状の改良以外に、次のような誤動作防止方法も考えられる。

(i) ダイアル開度を広くする(誤動作発生にはより大きな円板回転角が必要となる)。

(ii) 渦巻ばねの剛性を高める(誤動作発生にはより大きな誤動作トルクが必要となる)。

(iii) 制動磁石の減衰定数を大きくする(誤動作発生にはより大きな誤動作トルクが必要となる)。

(iv) ピボットとリング間、ピボットとジュエル間の摩擦を小さくする(誤動作トルクが低減する)。しかしながら、(i)～(iii)は継電器の感度低下をもたらし、本来の要求性能を満たさなくなる。また、④についても、この用途に適当な低摩擦材料が見当たらず、潤滑による方法もコストや保守管理の点で困難である。し

図2 誤動作トルクの発生機構

図1 誘導円板形継電器の主要部構造

図3 従来形および改良形継電器のピボット・下部軸受形状

たがって、(i)～(iv)の方法は採用できない。

3. 従来形継電器と改良形継電器の 水平二次元加振実験と応答解析

3・1 供試体と実験方法 加振実験の供試体には、一般によく使用されている過電圧継電器、不足電圧継電器、過電圧・不足電圧継電器の3種類を選定した。各継電器には図3で示したピボット・下部軸受形状をもつ従来形および改良形継電器を用意した。

供試体の試験条件は次のとおりである。

(1) 過電圧継電器(OVR-Aと呼ぶ)の場合 ダイヤル開度:1(24.8°), 通電率:90%

(2) 不足電圧継電器(UVR-Aと呼ぶ)の場合 ダイヤル開度:1(24.4°), 通電率:110%

(3) 過電圧・不足電圧継電器を過電圧継電器として使用した場合(OVR-Bと呼ぶ) ダイヤル開度:1(20.8°), 通電率:90%

(4) 過電圧・不足電圧継電器を不足電圧継電器として使用した場合(UVR-Bと呼ぶ) ダイヤル開度:1(20.8°), 通電率:110%

ここで、ダイヤル開度とは通常状態での可動接点と固

定接点間の角度である。また、通電率は作動電圧に対する通電比率である。なお、改良形継電器については、通電率を過電圧継電器の場合に98%, 不足電圧継電器の場合に102%とした実験も行った。

実験は水平二次元入力による正弦波および地震波加振実験を行った(実験方法については前報⁽¹⁾を参照)。使用した地震波はEl Centro(1940年Imperial Valley地震)でのNS方向とEW方向の記録を用いて作成した盤の模擬応答波(固有振動数6.5 Hz, 減衰比1%の一質点系の応答加速度波)である(この波は前報での実験の際、円板が最も大きく回転した地震波である)。

3・2 実験および解析結果 図4は全供試体についての水平二次元正弦波加振実験(各方向の加振振動数20 Hz, 加速度振幅約1600 cm/s²)の結果である。従来形継電器はすべての機種が、1.7 sから6 sの間で誤動作に至っている。しかし、改良形継電器は円板の回転もほとんどなく、もちろん、誤動作には至っていない。ピボット・下部軸受形状の改良の効果が顕著に現れている。ただし、UVR-Bの場合、構造上の理由により、円板の回転方向はほかの機種と逆方向になる。

図5に、UVR-Aの正弦波加振による従来形と改良

図4 従来形と改良形の水平二次元正弦波加振実験結果

形継電器の実験および解析結果(前報での解析モデルによる結果)を示す。解析結果は、従来形では誤動作に至る時間の1.7sが2.5sに、改良形では円板の回転が若干生じるなどの違いも見られるが、実験結果をほぼ定量的に表している。誤動作トルクについて見ると、従来形では T_J より T_R のほうが大きく、誤動作はおもに、ピボットの軸がリングに押し付けられることにより生じている。逆に、改良形ではピボットはリングにほとんど接触していないことが解析結果よりわかる。図6は、UVR-Aの改良形を通電率102%で行った正弦波加振の結果である。通電率を円板が電氣的に回転し始める100%にかなり近づいた場合には、改良形継電器にも誤動作が発生する。解析結果は実験結果

とよい一致を示している。

図7はUVR-Aの従来形を通電率110%で地震波加振した場合の結果であり、地震波加振において誤動作に至った一例である。この場合も、解析結果は実験結果とよく一致している。改良形についても、図7と同一条件での実験を行ったが、円板がほとんど回転しなかったため、ここでは省略した。

4. 誘導円板形継電器の誤動作限界

従来形および改良形継電器の誤動作限界加速度(継電器が誤動作に至る最小入力加速度)を解析によって検討した。水平二次元入力波としては、El Centro波、Taft波、Long Beach波のNS、EW成分から作成し

図5 水平二次元正弦波加振実験および解析結果(UVR-Aの従来形と改良形の場合)

た建物の床応答模擬波(固有振動数を4 Hzから1 Hz間隔で20 Hzまで変化させ、減衰比を5%とした一質点系応答加速度波)を用い、2方向の卓越振動数(一質点系フィルタの固有振動数)を同一とした入力波を使用した(前報で述べているように、卓越振動数が同一の入力波によって検討することが、安全側の検討として妥当なものと考えられる)。誤動作限界加速度は、入力加速度(2方向の最大加速度は等しい)を500 cm/s²間隔で増加させて解析を行い、最初に誤動作に至った入力加速度を誤動作限界加速度とした。なお、検討する入力加速度は最大15 000 cm/s²とした。

図8はOVR-Aの誤動作限界加速度を、図9は

UVR-Aのそれを示したものである。ただし、図において15 000 cm/s²にある点は、その加速度においても誤動作が発生しなかったことを示している。改良形の誤動作限界加速度は従来形に比べて、1.3~2.0倍程度の大きな値になっており、ピボット・下部軸受形状改良の効果が現れている。また、改良形、従来形にかかわらず、入力波の卓越振動数が高くなるほど、誤動作限界加速度が大きくなる傾向が現れている。入力波形の違いによっても、誤動作限界加速度はかなり変動する。なお、OVR-B、UVR-Bに関しても、図8、9と同様な結果が得られている。

図6 水平二次元正弦波加振実験および解析結果 (UVR-A改良形の通電率102%の場合)

図7 水平二次元地震波加振実験および解析結果 (UVR-A従来形の場合)

図 8 誤動作限界加速度(OVR-A の場合)

図 9 誤動作限界加速度(UVR-A の場合)

5. あとがき

本研究では、誘導円板形継電器の地震時誤動作防止方法について検討し、最も実地的な方法として、継電器のピボット・下部軸受形状を改良する方法を提案した。また、その方法の有効性を水平二次元正弦波・地震波加振実験および理論解析によって実証した。さら

に、誤動作限界加速度について、解析による検討を行い、改良形継電器は従来形に比べて、1.3~2.0 倍程度の改善が得られることを示した。

文 献

- (1) 藤田・ほか 3 名, 機論, 50-456, C (昭 59), 1327.