

一般用低圧三相かご形誘導電動機をインバータ駆動する場合の
適用指針(JEM-TR 169)に関する補足説明資料

誘導電動機をインバータ駆動する場合の軸受電食について

2004年(平成16年) 2月 発行

2016年(平成28年) 12月 公開

白 紙

目 次

	ページ
序文.....	1
1 はじめに	1
2 インバータ駆動時のコモンモード電圧	1
3 インバータ駆動にて軸受電食が発生する場合のメカニズム.....	3
3.1 コモンモード電圧による軸電圧.....	3
3.2 漏れ電流によって生ずる閉回路電流による軸電流	4
3.3 分離ベースにおける軸受電流の発生	4
4 軸受電食の対策事例	5
引用技術資料	6
参考文献	6

まえがき

この資料は、著作権法で保護対象となっている著作物である。

この資料の一部が、特許権、出願公開後の特許出願、実用新案権、又は出願公開後の実用新案登録出願に抵触する可能性があることに注意を喚起する。一般社団法人 日本電機工業会は、このような特許権、出願公開後の特許出願、実用新案権、又は出願公開後の実用新案登録出願にかかわる確認について、責任をもたない。

この資料は、誘導機技術専門委員会が作成し、インバータドライブ技術専門委員会及び電動機業務専門委員会の審議を経て、2004年2月に発行した委員会資料である。委員会参加会社が適宜、使用者への説明などに用いてきたが、一般公開した方がよいとの意見を受けて、2016年12月に公開した。

一般用低圧三相かご形誘導電動機をインバータ駆動する場合の

適用指針(JEM-TR 169)に関する補足説明資料

誘導電動機をインバータ駆動する場合の軸受電食について

1 はじめに

PWMインバータを用いて誘導電動機を駆動したとき、高調波電圧や巻線の中性点電位変動の影響で商用電源時と比較し軸電圧が増加する傾向にあります。日本電機工業会技術資料 JEM-TR 169(一般用低圧三相かご形誘導電動機をインバータ駆動する場合の適用指針)の3.13.1に記載したように、一般的に37 kW以下の電動機の範囲では特に問題となることはないと考えられていました。しかしながら、近年ではインバータのスイッチング素子が、バイポーラトランジスタからIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)へと変化し、スイッチングの立ち上がり速度が急峻になったことから、スイッチングにより電動機巻線の中性点電位が上下に変動する電圧(コモンモード電圧)の影響で、電動機の出力範囲に関係なく稀に軸受電食に至る事例が発生しています。

本資料は、インバータ駆動による軸受電食発生のメカニズムと対策事例について説明したものです。

2 インバータ駆動時のコモンモード電圧

商用電源の場合には、各相の電圧の和は常に零であり、巻線中性点電位は大地電位となりますが、PWMインバータの場合は、巻線中性点電位は零にならず、有限の値をとります。この電圧がコモンモード電圧です。PWMインバータは、コンバータ部で順変換された直流電圧をインバータ部でパルス幅変調をして可変電圧可変周波数の交流電源を得る装置であり、図1にPWMインバータの原理と巻線電位を示します。

図1(a)はPWMインバータの原理であり、6個の半導体素子をS1～S6のスイッチで示してあります。この6個のスイッチを一般的には、三角波の搬送波と正弦波の信号波の大小関係により開閉し、中間回路の直流電圧 E_d のパルス幅を適切にすることにより等価的な基本波正弦波電圧を得ています。

図1(b)はスイッチ開閉の時系列的変化例を示しており、この図の右端の状態では、U、V相端子の電位は $+1/2E_d$ 、W相端子は $-1/2E_d$ であるので、電動機巻線電位は $+1/6E_d$ となります。

また、図2は、過変調方式が採用された場合の中性点電位のパターンを示しており中性点電位は $-1/2E_d$ 、 $-1/6E_d$ 、 $+1/6E_d$ 、 $+1/2E_d$ の値をとり、3倍の基本波周波数で時間的に変化しています。

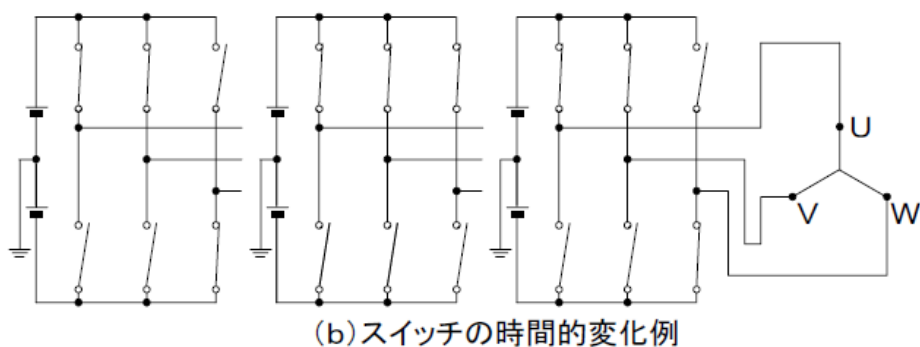
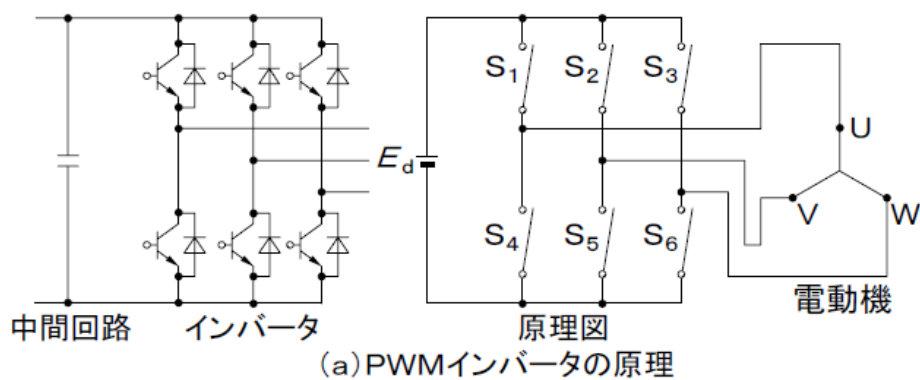


図1-PWMインバータの原理と巻線電位

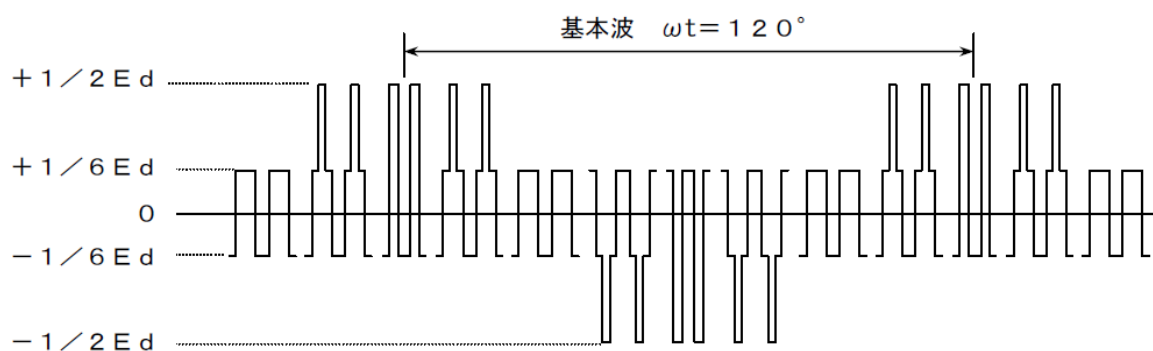


図2-中性点電位のパターンと時間的变化

図3は、3.7 kW，200 V，50 Hz，4極機密閉玉軸受使用の全閉かご形誘導電動機を用いて，電動機の巻線中性点電位を測定した具体例を示します。図3において，中性点電位の包絡線の周波数は $3 \times 50\text{Hz}$ で最大値は140 Vとなっており，図2の理論値とよく一致していることが分ります。ただし，インバータサージが発生しており，髭上のピーク値は200 V以上になっています。

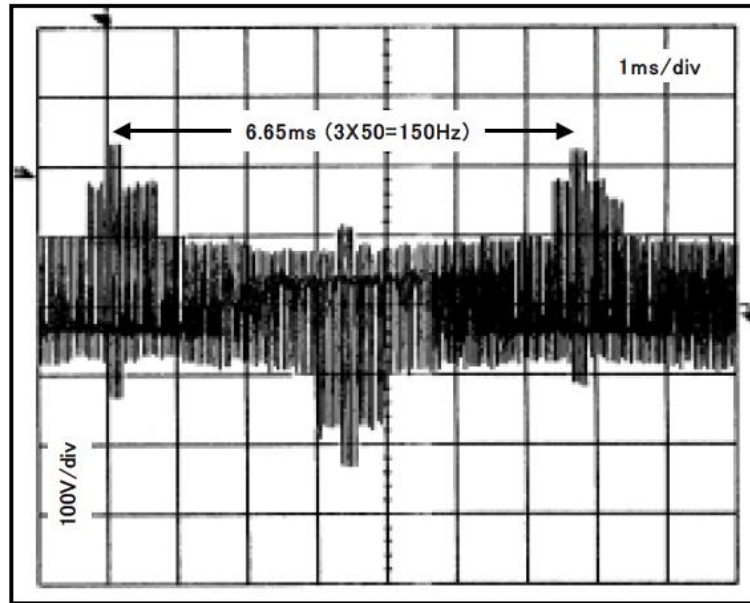


図3－電動機巻線の中性点電位

3 インバータ駆動にて軸受電食が発生する場合のメカニズム

3.1 コモンモード電圧による軸電圧

誘導電動機を構成する部位の間には、図4に示す静電容量が存在します。固定子巻線に印加されたコモンモード電圧はこれらの静電容量で分圧され、軸受の内輪－外輪間へも静電容量が存在するため電位差を生じます。この軸受内輪－外輪間の静電容量は、内外輪と転動体の間のわずかな隙間に存在する静電容量であり、運転状態において常に隙間を一定に保つことができないことから、安定的に電圧を保つことができません。そのため、不定期に通電あるいは放電現象を引き起こすことになります。

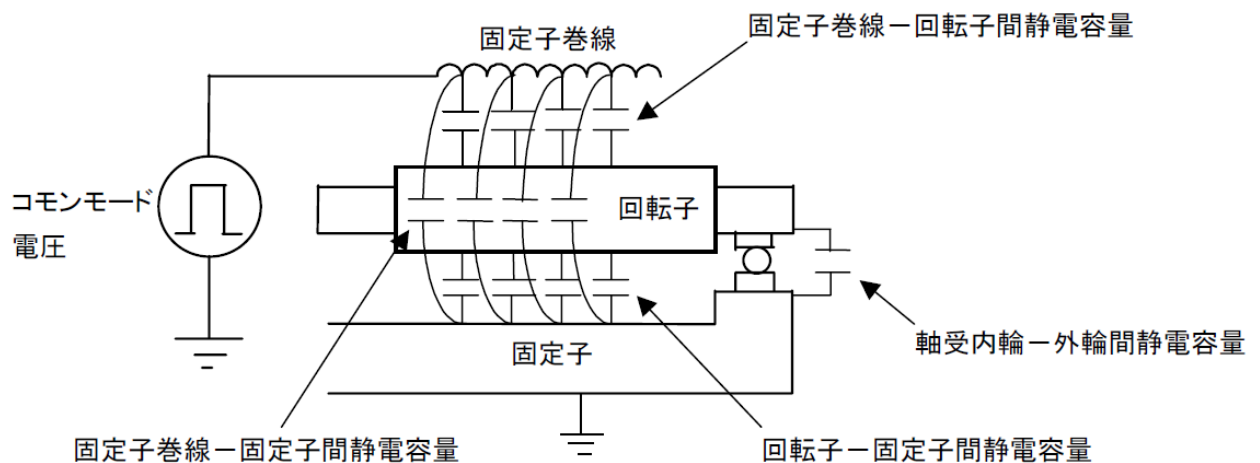


図4－静電誘導による軸電圧発生概念図

図5に軸受部に発生した軸電圧と軸電流の実測波形を示します。図5より、軸受を貫通して電流が流れる瞬間に軸電圧が消滅している様子が伺えます。一般的に軸電圧は、電動機軸の軸端間に生じる電位差又は軸とアースと間に発生する電圧を指しますが、インバータ駆動する際のコモンモード電圧に起因する軸電圧は、上述の軸受部に発生する電圧を問題にします。

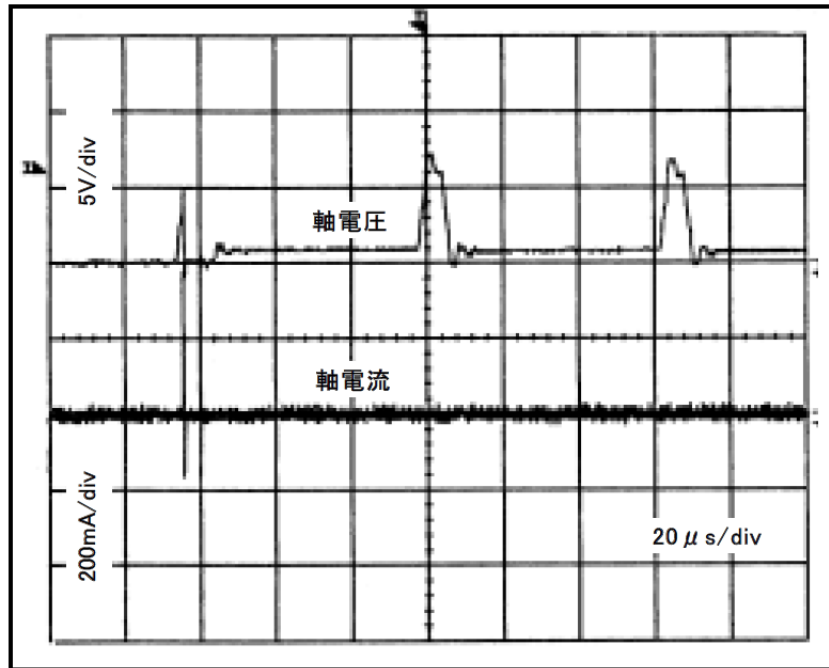


図5 軸電流と軸電圧

3.2 漏れ電流によって生ずる閉回路電流による軸電流

固定子巻線と固定子の間には、静電容量が存在します。この固定子巻線にコモンモード電圧を印加すると、漏れ電流が流れます。この漏れ電流によって、図6①に示すような回転子を取り巻く高周波磁束が発生します。その結果、図6②に示すような回転子～軸受～固定子～軸受～回転子に至る閉ループの経路に起電力を生じます。

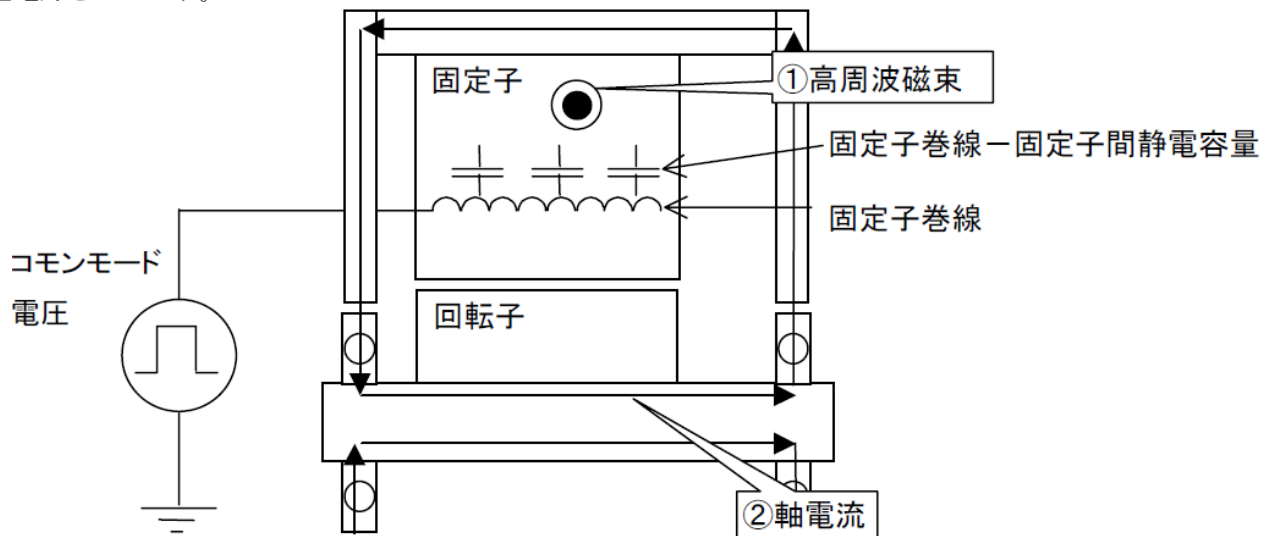


図6一回転子を取巻く高周波磁束による軸電圧

3.3 分離ベースにおける軸受電流の発生

図7は、電動機と相手機械が別々の基礎に設置された場合(分離ベース)を示します。高周波領域まで考

えない商用周波数近辺では、電動機側、相手機械側のアース線のインピーダンスはほぼ無視できる程度であると考えられるので、両基礎間に電位差はほとんど生じません。

しかし、PWMインバータで駆動される誘導電動機には、コモンモード電圧が固定子コイルに印加されるので、固定子コイルと固定子との浮遊容量を通して電流が固定子側に流れ込みます。この周波数は、数十kHz から数百 kHz にも達し、非常に高いものとなっています。このため、アース線の配線インダクタンスの影響が顕著に表われ、高調波での配線インダクタンスが高いと固定子側に流れ込んだ電流を流せなくなり、高調波の電位で固定子が振られることとなります。

一方、回転子につながった相手機械は、通常電動機自体より相当大形でアース状態は高調波領域まで良好と考えられます。すなわち、大形構造物を支えるため、基礎の鉄筋などは地中深く埋設されたり、多くの箇所では地面に接する機会が増え、アース状態が良好であると推察されます。

このような状態になると、固定子は高調波電位が存在し、回転子はアースレベルになっており、結果として電動機の両軸受の外輪と内輪間にこの電位が掛かることとなります。この高調波の電位や周波数は配線インダクタンスやキャパシタンスなどにより決まり、その電圧は相当高くなります。

軸受電流の経路は、インバータ～固定子巻線～固定子～軸受外輪～軸受内輪～電動機軸～継手～相手機械軸～相手機械軸受内輪～相手機械軸受外輪～機械本体～アース線～インバータとなるので、相手機械側の軸受にも多大な影響を及ぼす可能性があるので注意が必要です。

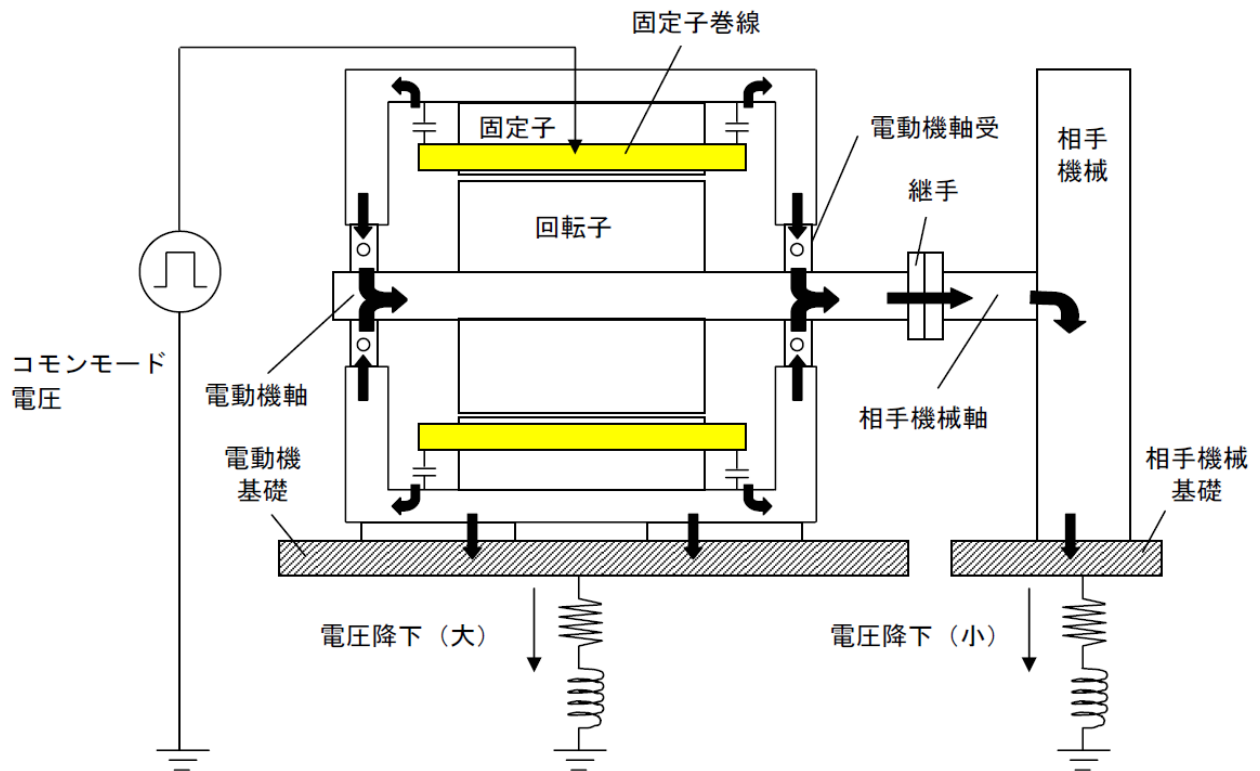


図7-分離ベースにおける軸受電流

4 軸受電食の対策事例

誘導電動機をインバータ駆動した場合に発生する軸受電食は、通常では特に問題とはなりませんが、軸受封入グリースの状態(グリース粘度や温度)、配線方法及び運転条件などによっては、稀に発生することがあります。軸受電食の発生については明確な判定基準はありませんが、軸受電食が発生した場合に対策

として実施されたことのある主な対策事例(延命目的の対策を含む)を以下に紹介します。

なお、条件によって、適切な対策を選ぶ必要があります。

a) インバータ側での対策

- 1) キャリア周波数を低減する。

b) 電動機側での対策

- 1) 絶縁軸受を採用する。
- 2) セラミックボールを使用した軸受を採用する。
- 3) 導電性グリースを使用した軸受を採用する。
- 4) 低粘度グリース(低温用)を使用した軸受を採用する。
- 5) アースブラシを採用する。
- 6) 絶縁スリーブを使用して、モータ軸を絶縁する。
- 7) 軸受の予圧量を増加させる。

c) その他対策

- 1) 絶縁カップリングを採用する。
- 2) 適切なアースの接地を行う。
- 3) インバータと電動機の間のコモンモードフィルタを挿入し、コモンモード電圧を抑制する¹⁾。
- 4) コモンモード電流を最小にする適切なケーブルを選定する。
- 5) インバータと電動機の間絶縁トランスを挿入し、モータ側の中性点を接地する。
- 6) 電動機フレームと相手機械フレームをアース線で接続する。
- 7) 運転スピードを可変させ、一定速にしない。
- 8) モータの定格電圧を下げる。

注¹⁾ インバータの入力側へ容量性フィルタを取付ける場合には、インバータ入力側のインピーダンスが低下し、その結果、モータコモンモード電圧が上昇するため、特に有効です。

引用技術資料

JEM-TR 169 一般用低圧三相かご形誘導電動機をインバータ駆動する場合の適用指針

参考文献

「産業用ACドライブにおける新応用分野と新技術」, 電気学会技術報告 第861号

奥山, 藤井:「インバータ駆動誘導電動機の軸電圧」, 富士時報 Vol.72 No.2 1999

本資料の最新版の入手は・・・

本資料の最新版は、電子データダウンロードにて入手が可能です。JEMAのウェブサイトのオンラインストアにおいて無償公開出版物としてダウンロードが可能です。

JEMAウェブサイトURL : <http://www.jema-net.or.jp/>

本資料の内容に関するお問合せは・・・

一般社団法人 日本電機工業会 技術部 技術課

TEL : 03-3556-5884/FAX : 03-3556-5892

© 2016 The Japan Electrical Manufacturers' Association. All Rights Reserved.

著作権法により、無断での複製、転載等は禁止されております。