

汎用電動機のインバータ駆動

伊藤 善夫(いとう よしお)

森口 千秋(もりぐち ちあき)

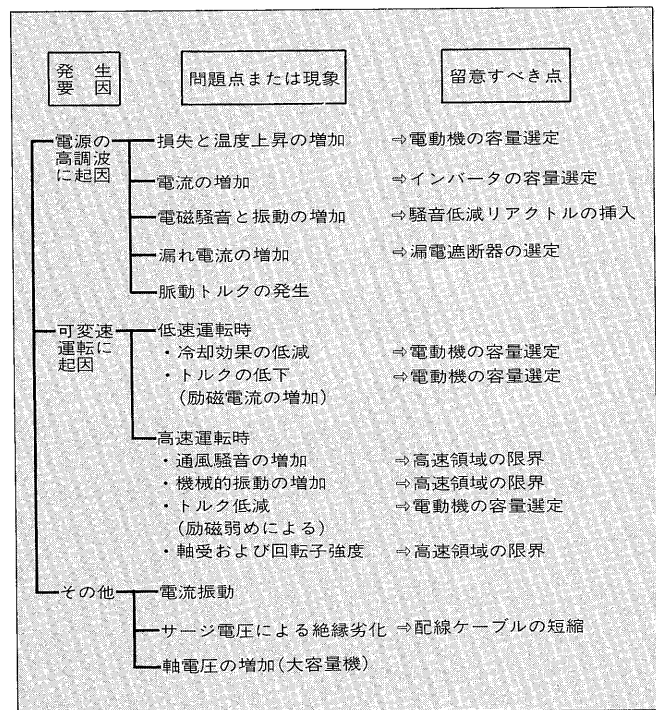
1 まえがき

産業界では省力化、省エネルギー化、製品の高品質化、およびメンテナンスフリー化のねらいから、三相かご形誘導電動機のインバータによる可変速駆動が増加している。

これは安価で、構造の堅ろう性、保守の優位性を持つかご形誘導電動機と、近年のパワーエレクトロニクスのめざましい進歩により安価で入手が容易、かつ高性能を有するインバータの実現によるところが大である。

しかしながら、インバータで駆動する場合、商用電源と電源波形、および運転周波数の違いなどにより種々の問題が生じる。本稿では、汎用電動機と汎用インバータの組合せ運転における特性の諸問題と使用上の留意点について、事例を基に解説する。また、新しく系列化したインバータ駆動用耐圧防爆電動機についても紹介する。

図1 インバータ駆動における電動機の問題点



2 インバータ駆動における特性と諸問題

インバータ駆動時に生ずる電動機の諸問題を図1に示す。以下に組合せ特性とその主な留意点について述べる。

2.1 インバータ電源の高調波に起因する問題と留意点

インバータ電源は、基本波成分とその高調波成分からなっている。基本波成分で電動機の基本性能(トルク、電流、効率、力率、回転速度など)が決まり、高調波成分によって基本性能に対する悪さ(トルクの減少、電流の増加など)、および高調波成分特有の影響(高調波騒音、漏れ電流、脈動トルクなど)が生じる。

2.1.1 一般特性への影響

汎用電動機を汎用PWM(パルス幅変調)インバータで駆動した場合の特性は、正弦波電源時の特性値に対して機種により異なるが、60Hz、100%負荷において、一般的に次のような割合になる〔(社)日本電機工業会技術資料169号による〕。

無負荷電流：112%， 効率：96%

負荷電流：105%， 力率：98%

発生損失については、

一次銅損：負荷電流が105%となることから、10%程度増加する。

二次銅損： $Cu_2 = 3(I_{21}^2 \cdot r_2 + \sum I_{2k}^2 \cdot r_{2k})$

I_{21} ：二次電流の基本波成分

I_{2k} ：二次電流のk次高調波成分

r_2 ：基本波に対する二次抵抗

r_{2k} ：k次高調波に対する二次抵抗

高調波成分に対しては二次周波数(すべり周波数)が高くなるため、表皮効果の影響が大きくなり(すなわち、 r_{2k} が大きくなる)、高調波二次銅損 $\sum I_{2k}^2 \cdot r_{2k}$ は基本波二次銅損 $I_{21}^2 \cdot r_2$ に対し20~100%程度増加となる(回転子のスロット形状により影響度に差がある)。

また、鉄損は渦電流損とヒステリシス損の和で求められる。それらの損失はともに磁束密度の2乗に比例するが、高調波においては磁束密度が小さくなるため、鉄損の増加



伊藤 善夫

昭和44年入社。誘導電動機の電気設計に従事。現在、三重事業所回転機工場設計部主査。



森口 千秋

昭和48年入社。誘導電動機の電気設計に従事。現在、三重事業所回転機工場設計部主査。

の割合は比較的小さい（商用電源時に比べ数%増加）。

このようにインバータの高調波成分により各損失が増加するため、温度上昇が高くなる。一般的に商用電源と同一周波数の運転で温度上昇を同じ程度にするためには、負荷率を85%程度に下げることがある。

2.1.2 電磁騒音、振動

電動機の騒音はインバータ電源の高調波成分の比較的高次の成分が、また振動に対しては比較的低次の成分が主に影響し、騒音、振動とも増大させる。特に騒音はインバータのキャリア周波数に関係する音が大きくなる。

これらの周波数が固定子、回転子、フレーム、ブラケットなどの固有共振周波数と一致すると問題となる場合がある。

富士電機のインバータ駆動専用電動機（FVモータ）は、ファンカバーとキャリア周波数との共振を防止するために、防振ゴムを取り付けた構造を採用し、低速度領域において5dB(A)程度の騒音低減を図っている。

また、富士電機の汎用インバータではキャリア周波数が変更できる仕様にしてあるため、もし電動機の固有共振周波数と合致し共振する場合があっても、簡単にキャリア周波数を変えて騒音を低減することができる。

インバータ駆動による電磁騒音が問題となる場合には、騒音低減リアクトルを用いて対応する方法もある。この場合、リアクトルの電圧ドロップが発生し、電動機の端子電圧が約10%減少するので、電流増加（温度上昇増加）などに注意が必要である。

また、インバータではキャリア周波数を可聴周波数領域以上（十数kHz以上）に設定できる低騒音用インバータ（FRENIC5000G6N）がある。このインバータで電動機を駆動すると、キャリア周波数による高調波騒音はほとんど聞こえない。

その事例を図2に示す。

2.1.3 漏れ電流

電動機の対地静電容量によって生ずる漏れ電流は、インバータの出力電圧の高調波成分に対してはインピーダンスが小さくなるので、商用電源の場合に比べて、約2~3倍に増加する。この高調波の漏れ電流によって漏電遮断器が不必要な動作を起こす可能性があるため、留意する必要がある。この対策としては電動機とインバータ間のケーブル

を短くし、対地静電容量を小さくする方法がある。また、高調波対策用の漏電遮断器を用い遮断器が不必要な動作をしないようにする方法もある。

2.2 可変速運転による特性と留意点

2.2.1 低速度運転

低速度運転（例えば、15Hz以下）で生じる問題は、電動機トルクの低下、冷却効果の減少がある。トルク低下の理由は種々の文献などで報告されているので詳細については省略するが、このトルク低下の対策は低速度時の電圧を持ち上げて、電動機の巻線抵抗による電圧ドロップ分を補正（トルクブースト調整）する方法が一般的である。

特に小容量機では、抵抗分の割合が大きく、トルクも大

図3 トルクブーストとトルク、電流特性

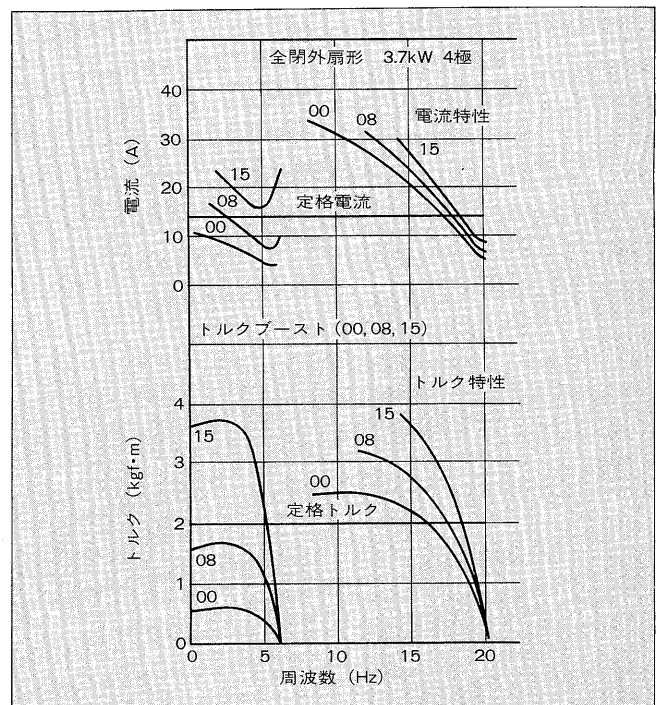


図4 インバータ駆動時の許容トルク

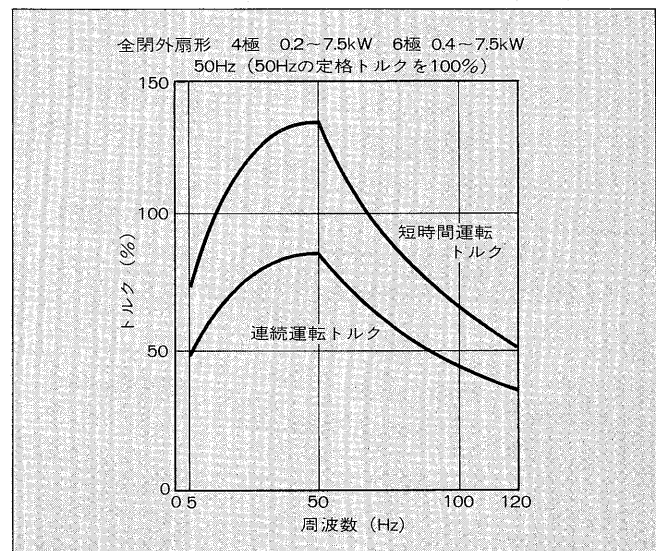
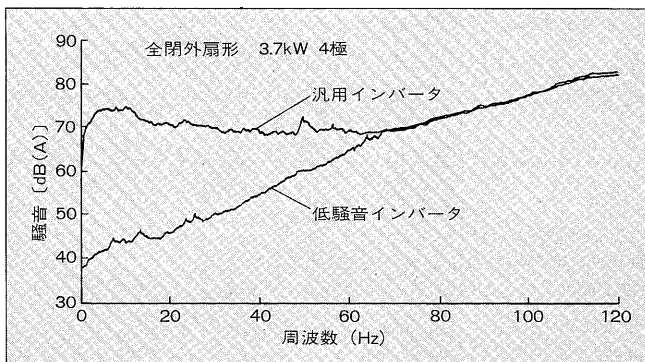


図2 低騒音インバータによる電動機騒音



となり、電圧の補正量も大きく設定する必要がある。しかし反面、あまり補正し過ぎると無負荷で過励磁となり、無負荷電流が増大し、低速度・軽負荷で連続運転すると焼損に至ることがあるので、負荷に合った最適トルクブーストに設定することが重要である。

これに対応して最近の汎用インバータでは、負荷の変化に合わせて自動的にトルクブーストがかかる機能を持っているものが多い。

図3にトルクブースト（ブースト設定：00, 08, 15）を変えた場合の、トルクおよび電流特性の例を示す。

また防滴保護形および全閉外扇形の電動機においては、低速度域では定格速度時に比べ冷却風量が減少するため冷却効果は大幅に悪くなり、10%速度時の冷却効果は定格速度時の30~40%に減少する。さらに、インバータの高調波による損失増加および前述の低速度時のトルク低下により、低速度運転（10%速度）では注意が必要である。例えば、特に定トルク負荷（低速度時にも100%負荷トルクで連続運転を行う）であるコンベヤの場合は、約2倍の容量の汎用電動機を使用する必要があり、温度上昇に十分注意する必要がある。

図4に代表的な汎用電動機と汎用インバータとの組合せ運転時の許容トルク（短時間および連続）を示す。

なお富士電機では、汎用電動機と同一取付寸法で10%の低速度まで100%負荷（定トルク）連続運転可能なインバータ駆動専用の電動機を系列化（FVモータ）している。

2.2.2 高速度運転

高速度域では冷却ファンによる通風騒音の増加や、商用周波数以上では電圧一定制御（磁束弱め）となるため、電動機のトルクの低下があり、さらには軸受の許容回転速度、グリース寿命および回転子強度から制約される回転速度の限界がある。

冷却ファンによる通風騒音は回転速度の変化 ($N_0 \rightarrow N$) に対し、概略 $\Delta dB(A) = 50 \log(N/N_0)$ で求められる騒音の増加がある。

例えば、商用周波数の2倍の周波数で運転する場合は、通風騒音が約15dB(A)増加するので、事前に周囲環境に対する影響などを考慮しておく必要がある。

高速度域におけるトルクおよび騒音の実測例は、図4および図2を参照いただきたい。

また、汎用電動機の高速度域の周波数の限界を表1に示す。

表1 許容最高周波数

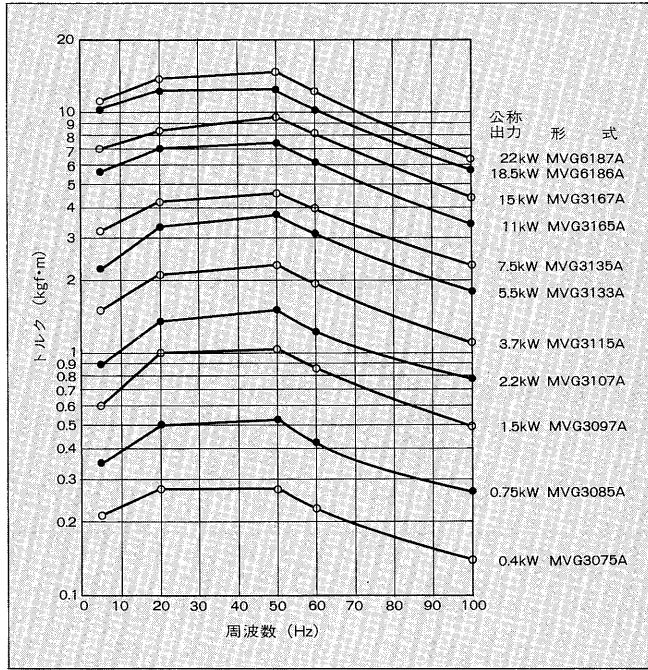
枠番号	許容最高周波数 (Hz)		
	極数		
	2	4	6
63	60	120	-
71			
80			
90			120
100			
112			
132			
160	90	90	
180			
200			

- [条件](1) 騒音 : 最大95dB(A)としている。
- (2) 振動 : 許容値(両振幅)として、
 3,600rpm時 約20 μ m
 1,800rpm時 約40 μ m
 1,200rpm時 約60 μ m } 以下であること。
- (3) 過速度耐力 : JIS C 4004に準拠し、最高周波数の120%2分間としている。
- (4) 軸強度 : ベルト掛けの場合には、軸荷重が増加することがあるので、Vベルトおよびプーリの使用を検討のこと。

表2 インバータ駆動用耐圧防爆電動機の仕様

形式	MVG3075	MVG3085	MVG3097	MVG3107	MVG3115	MVG3133	MVG3135	MVG3165	MVG3167	MVG6186	MVG6187
枠番号	71	80	90L	100L	112M	132S	132M	160M	160L	180L	
公称出力(kW)	0.4	0.75	1.5	2.2	3.7	5.5	7.5	11	15	18.5	22
外被構造	耐圧防爆形 屋内形・屋外形 (JP44, JPW44) (全閉外扇形)										
防爆等級	d 2 G 4										
端子箱構造	本体への導線引込み方式：耐圧パッキン方式 (71~160L), 耐圧スタッド方式 (180L), 外部導線引込み方式：厚鋼電線管接続式 (内ねじ)										
極数	4 極										
電源	三相 200V, 50/60Hz (インバータ入力電源)										
適用インバータ	FVR004G-2	FVR008G-2	FVR015G-2	FVR022G-2	FVR037G-2	FVR055G-2	FVR075G-2	FVR110G-2	FVR150G-2	FVR185G-2	FVR220G-2
運転範囲	5~100Hz										
許容トルク特性	図5による										
始動トルク	100%以上										
絶縁種別	B種										
時間定格	連続										
適用規格	JIS C 0905, JEC-37, 工場電気設備防爆指針 (ガス蒸気防爆)										
周囲条件	温度：-20~40°C, 湿度 100%以下, 標高 1,000m以下										
塗装色	マンセル N5										

図5 インバータ駆動用耐圧防爆電動機の許容トルク



③ インバータ駆動用耐圧防爆電動機

インバータ駆動用電動機シリーズとして、耐圧防爆電動機を新しく系列化した。本系列は標準の耐圧防爆電動機（商用電源運転用）と汎用インバータ（FVR-Gシリーズ）

との組合せで防爆機器形式検定を取得している。

今後、新エネルギーや化学工場で爆発性のある薬品を使用して、微妙な変速運転が必要な装置が増大する。これら装置の駆動用として技術、価格、納期などで効果的である。

この系列の仕様を表2に、特性（許容運転トルク）を図5に示す。

④ あとがき

パワーエレクトロニクスの発展でインバータが普及し、かご形誘導電動機が容易に可変速運転できるようになったが、商用電源の場合と異なり、温度、トルク、騒音、運転範囲など、新たな問題に留意することも重要となった。本稿ではこれらの問題とその留意点について述べた。

今後とも省力化、省エネルギー化などの要求から、インバータ駆動は増加傾向をたどると予想されるが、組合せ技術に対する理論解析を踏まえて、さらに改善を重ねてゆく所存である。

参考文献

- (1) 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，日本電機工業会技術資料，No.169（1990）
- (2) インバータドライブの適用指針，日本電機工業会技術資料，No.148（1986）
- (3) 伊藤善夫：トランジスタインバータ駆動における電動機適用技術，富士時報，Vol.58，No.4，p.261-264（1985）



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。