

| シート | 分類 | タイトル | 機種 |
|--------------------|----|------------------|----|
| MF-P-048 (1/10) | 性能 | 三菱汎用インバータの各種制御方式 | 全般 |

三菱汎用インバータは機種により、汎用磁束ベクトル制御、アドバンス磁束ベクトル制御など各種制御方式があります。本紙ではそれら制御方式について、原理・特長などを説明します。

1. インバータの原理

汎用インバータは、誘導電動機を任意の速度で運転するために任意の周波数を出力するもので、図 1.1 のような構成になっています。

商用電源をコンバータ部で一旦整流して直流電源を作り、インバータ部で任意の交流に変換するものです。

誘導電動機(標準モータ)の速度 N は次式で表わされます。

$$N = \frac{120 \times f \text{ (周波数)}}{P \text{ (モータ極数)}} \times (1 - \frac{S}{\text{モータすべり}}) \quad [\text{r/min}]$$

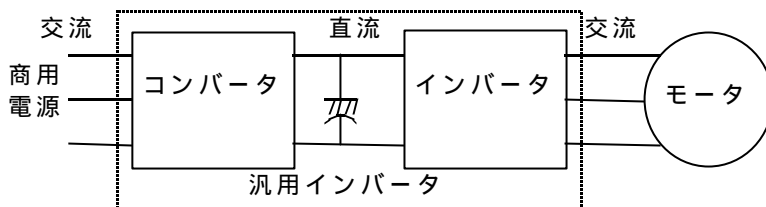


図 1.1 インバータの構成

インバータで f (周波数) を任意に変化させることによって、モータ速度を自由に可変することができます。実際には、十分なトルクを確保するために、f (周波数) を変化するとき V (出力電圧) も同じように変化させます。

よって、インバータのことを V V V F と呼ぶことがあります。

V V V F : Variable Voltage Variable Frequency・・・インバータ(可変電圧・可変周波数)

C V C F : Constant Voltage Constant Frequency・・・無瞬断電源装置
(一定電圧・一定周波数)

| | | |
|------------|----------|-------------|
| 発行日 | | 三菱電機 名古屋製作所 |
| 1999-08-19 | P-ZP-01B | |

INV テクニカルニュース

| シート | 分類 | タイトル | 機種 |
|--------------------|----|------------------|----|
| MF-P-048 (2/10) | 性能 | 三菱汎用インバータの各種制御方式 | 全般 |

2. インバータの各種制御方式とその特長

表 2. 1 に当社インバータの各種制御方式とその特長を示します。

磁束ベクトル制御は、速度検出器なしで始動トルク、低速トルクを V/F 制御に比べ大きく発生することができ、また速度制御範囲を広くとることができる高性能な当社独自の制御方式です。

磁束ベクトル制御には、汎用磁束ベクトル制御，アドバンスト磁束ベクトル制御などがあり、各々特長をもっております。

ベクトル制御は、速度検出器を必要としますが、1:1500 という巾広い速度制御範囲で使用する事が可能です。また 200rad/s と最も高応答です。

表 2.1 制御方式比較

| 項目 | V / F | 汎用磁束ベクトル | 磁束ベクトル | アドバンスト磁束ベクトル | ベクトル制御 |
|--------------------------------|--|---|--|--|--|
| 組合せモータ | 標準モータ (三菱・他社) | 標準モータ (三菱・他社) | 標準モータ (三菱・他社) | 標準モータ (三菱・他社) | 専用モータ(三菱) 標準モータ (三菱・他社) |
| チューニング機能 | 不要 | 不要 | 標準 (オフライン) | 標準 (オンライン・オフライン) | 標準 (オフライン) |
| 始動トルク・ 低速トルク | 1Hz : 30%以下 3Hz : 30% 6Hz : 80% | 1Hz : 30%~50% 3Hz : 150% 6Hz : 200% | 1Hz : 150% 3Hz : 150% 6Hz : 150% | 0.5Hz : 150% 3Hz : 150% 6Hz : 150% | 1r/min : 150% 90r/min : 150% 180r/min : 150% |
| 速度検出器(PLG) | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 必要 |
| 速度制御範囲 | 1:10 | 1:15 | 1:20 | 1:120(力行時) | 1:1500 |
| すべり補正 有無 | なし | なし(すべり補正の パラメータは個別 に有り) | あり | あり | あり |
| * 特性 | 速度変動率:2~5% (負荷の大きさで 決まる) | 速度変動率:2~5% (負荷の大きさで 決まる) | 速度変動率:1% (負荷に影響 されない) | 速度変動率:1% (負荷に影響 されない) | 速度変動率:0.01% (負荷に影響 されない) |
| トルク制御 | なし | なし | なし | なし | 標準装備 |
| 速度制御 (PLG フィードバック) 有無 | オプション取付け 可能機種は、 PLG+オプションで 可能 | なし | PLG+オプション で可能 | PLG+オプションで可能 | 標準装備 |
| 特性 | 速度変動率:±0.02% (負荷に影響され ない) | なし | 速度変動率:±0.02% (負荷に影響され ない) | 速度変動率:±0.02% (負荷に影響され ない) | 速度変動率:0.01% (負荷に影響され ない) |
| 制御応答性 | 10~20 rad/s | 20~30 rad/s | 20~30 rad/s | 20~30 rad/s | 200 rad/s |
| モータ複数台 同時駆動 | 可 | 不可 | 不可 | 不可 | 不可 |
| 用途 | ファン・ポンプ・一 般産業機械など | 一般産業機械・搬送 機械など | 一般産業機械・搬送 機械・昇降用途など | 一般産業機械・搬送機械・ 昇降用途など | 昇降用途・ライン制御 など |
| 適用機種 | 全シリーズ | FR-A024,A044,E500 | FR-A200 | FR-A500 | FR-V200 |

*すべり補正

前頁の式に示されるように、モータの実回転速度はインバータが出力する周波数に対しすべりの分だけ低くなります。

そこで、インバータの設定周波数とモータの実回転速度を同期させようと、出力周波数を補正する機能がすべり補正です。この補正方法は、下記のように2通りの方法があります。

磁束ベクトル制御・アドバンスト磁束ベクトル制御：モータ定数と出力電流からすべり分を予測計算して自動補正

汎用磁束ベクトル制御：定格すべり分をパラメータに設定し、出力電流からすべり分を計算して自動補正(パラメータ設定が必要)

| | | |
|------------|----------|-------------|
| 発行日 | | 三菱電機 名古屋製作所 |
| 1999-08-19 | P-ZP-01B | |

INV テクニカルニュース

| シート | 分類 | タイトル | 機種 |
|--------------------|----|------------------|----|
| MF-P-048 (3/10) | 性能 | 三菱汎用インバータの各種制御方式 | 全般 |

2.1 V/F制御

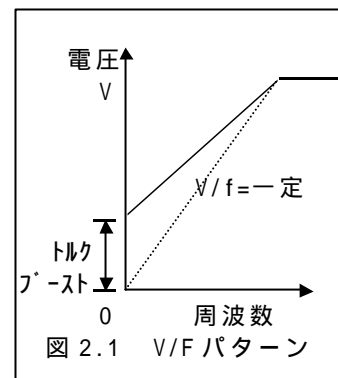
汎用インバータにおける最も一般的な制御方式で、当社のすべての機種に標準搭載されています。この制御は始動時や低速域でのトルク、また速度制御範囲などでは他の制御に一步譲りますが、ほとんどのモータ（誘導電動機）を駆動でき、複数台のモータを同時に駆動できるメリットがあります。

f（周波数）を可変する時に、図2.1の点線のようにV（出力電圧）との比率が一定となるようにしています。よってこの方式をV/F制御と呼びます。

この方式は、配線やモータの一次巻線での電圧降下によって、実際に有効になる電圧が減少するために、十分なトルクが出なくなることがあります。

この現象は低速になるほど大きく影響します。

そこであらかじめ電圧降下分を推定し、その分を図の実線のように電圧を高くし、低速でのトルク不足を補います。



*トルクブーストを大きくしすぎると、トルクは十分に出来ますが、過大電流が流れるため、インバータは OCT (過電流)トリップが発生しやすくなります。

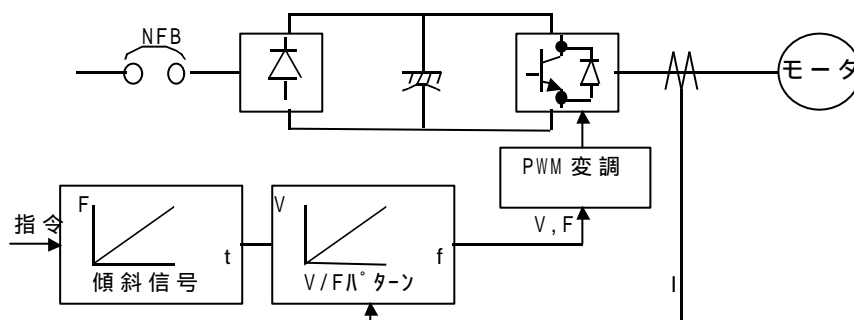


図 2.2 V/F制御ブロック図

また、実際のすべりトルクカーブは、図2.3のようになります。

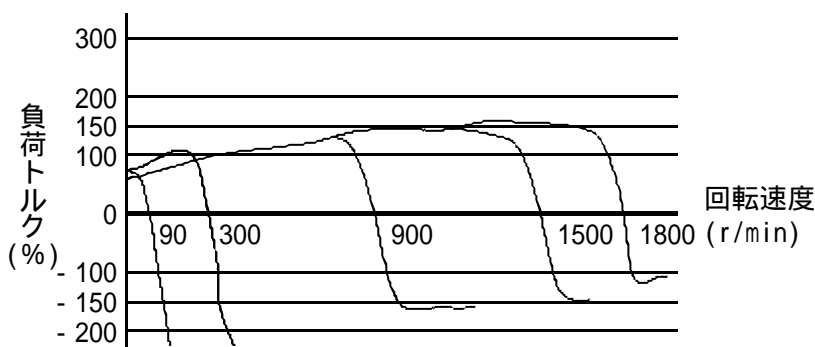


図 2.3 V/F制御時のすべりトルクカーブ
(三菱電機製 0.75kW4P モータとの組み合わせ例)

| | | |
|------------|----------|-------------|
| 発行日 | | 三菱電機 名古屋製作所 |
| 1999-08-19 | P-ZP-01B | |

| シート | 分類 | タイトル | 機種 |
|--------------------|----|------------------|----|
| MF-P-048 (4/10) | 性能 | 三菱汎用インバータの各種制御方式 | 全般 |

2.2 汎用磁束ベクトル制御

この制御は、FREQROL-A024/A044 シリーズや FREQROL-E500 シリーズなど、小形機種に搭載されています。この制御は設定が簡便で高性能が発揮できる特長を有しています。

インバータの出力電流(モータ電流)を、出力周波数と、出力電圧に対する各相の電流の位相から、励磁電流(磁束を発生させるのに必要な電流) とトルク分電流(負荷トルクに比例する電流) とに、ベクトル演算によって分割します。負荷変動によってモータ電流が変化すると、モータの一次側(配線を含む)の電圧降下分も変化するため、励磁電流の大きさに影響が出ます。この電圧降下分を、モータおよび一次配線定数と、トルク分電流の大きさから求め、モータの一次磁束が常に一定になるようにインバータの出力電圧を補正(増減)します。演算に必要なモータ定数をインバータがあらかじめ記憶しており、モータ容量を設定するのみで汎用磁束ベクトル制御を実行することができます。

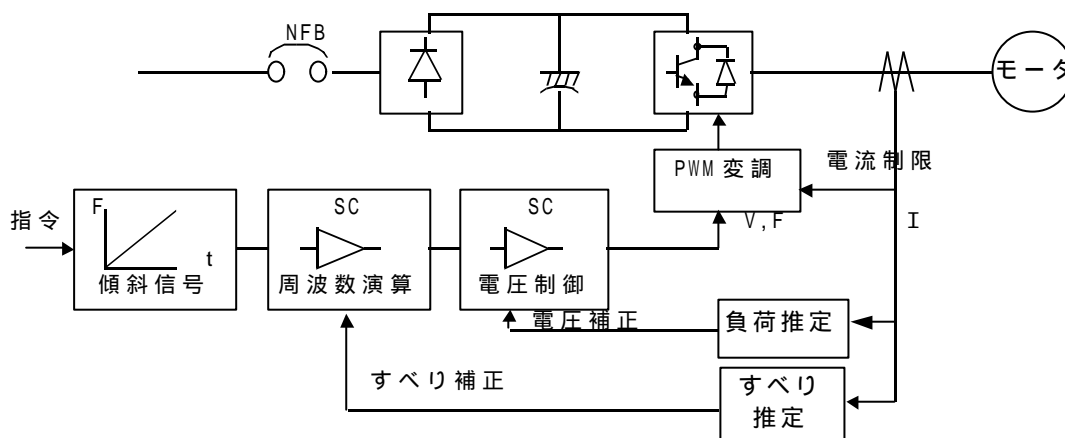
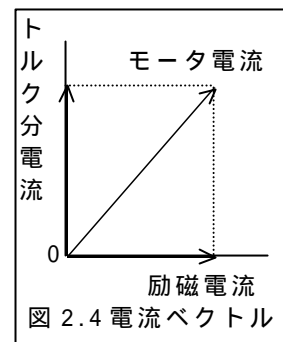


図 2.5 汎用磁束ベクトル制御ブロック図

図 2.6 にすべりトルクカーブを示します。

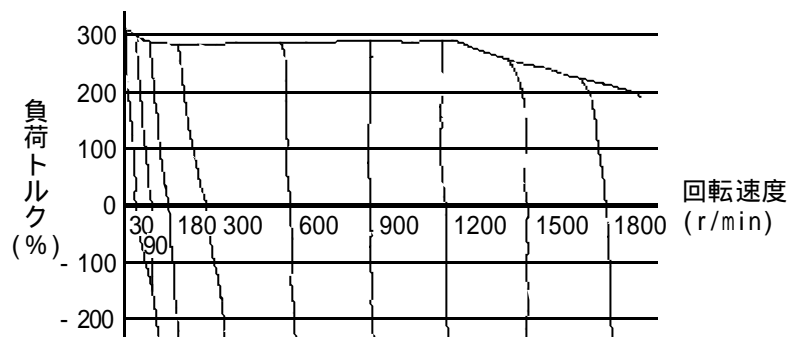


図 2.6 汎用磁束ベクトル制御(すべり補正選択時)のすべりトルクカーブ
(三菱電機製 0.75kW4P モータとの組合せデータ)

| | | |
|------------|----------|-------------|
| 発行日 | | 三菱電機 名古屋製作所 |
| 1999-08-19 | P-ZP-01B | |

INV テクニカルニュース

| シート | 分類 | タイトル | 機種 |
|--------------------|----|------------------|----|
| MF-P-048 (5/10) | 性能 | 三菱汎用インバータの各種制御方式 | 全般 |

2.3 磁束ベクトル制御

この制御方式は FREQR0L-A200 シリーズに採用されています。

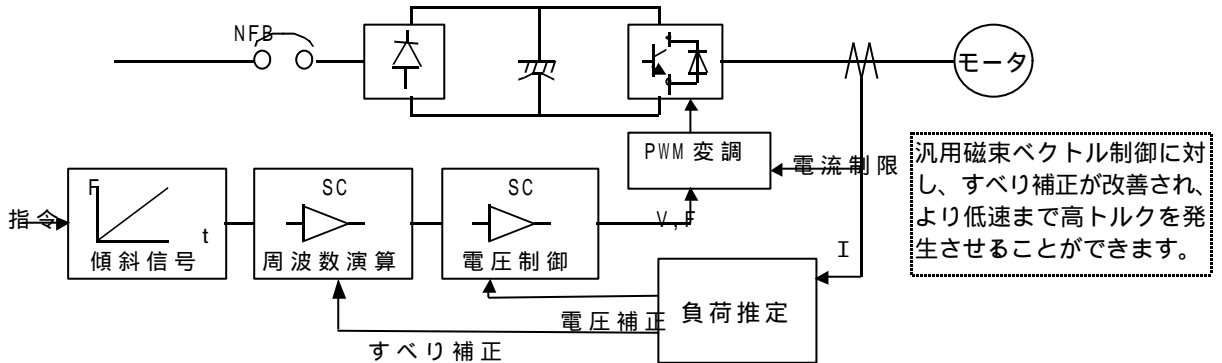
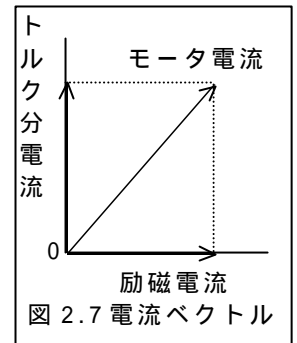
インバータの出力電流を励磁電流とトルク分電流に、ベクトル演算によって分割し、負荷トルクに見合ったモータ電流を流せるように周波数と電圧の補正を行います。このため低速トルクおよび速度精度が向上し、1Hzで150%の高トルクが得られます。

インバータの出力電流(モータ電流)を出力周波数と、出力電圧に対する各相の電流の位相から、励磁電流(磁束を発生させるのに必要な電流)とトルク分電流(負荷トルクに比例する電流)とに、ベクトル演算によって分割します。トルク分電流からモータの実速度を推定し、設定速度になるように出力周波数を補正(増減)します。

負荷変動によってモータ電流が変化すると、モータの一次側(配線を含む)の電圧降下分も変化するため、励磁電流の大きさに影響が出ます。

この電圧降下分を、モータおよび一次配線定数と、トルク分電流の大きさから求め、モータの一次磁束が常に一定になるようにインバータの出力電圧を補正(増減)します。

演算に必要なモータ定数をオフラインで測定記憶するオートチューニング機能が採用されています。



汎用磁束ベクトル制御に対し、すべり補正が改善され、より低速まで高トルクを発生させることができます。

図 2.9 にすべりトルクカーブを示します。

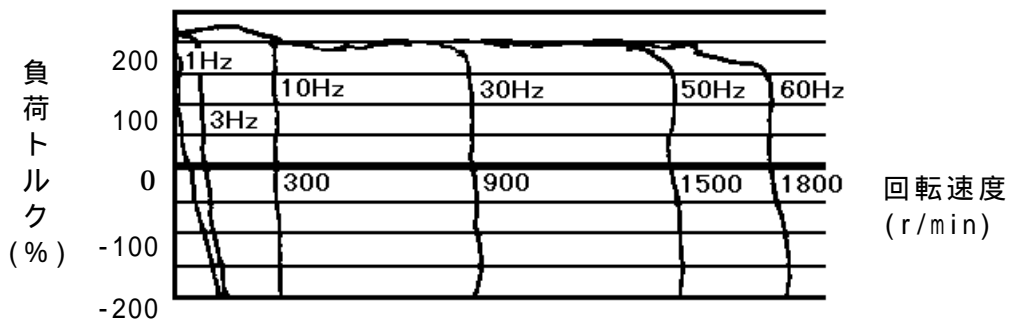


図 2.9 磁束ベクトル制御のすべりトルクカーブ
(三菱電機製 3.7kW4P モータとの組合せデータ)

| | | |
|------------|----------|-------------|
| 発行日 | | 三菱電機 名古屋製作所 |
| 1999-08-19 | P-ZP-01B | |

INV テクニカルニュース

| シート | 分類 | タイトル | 機種 |
|--------------------|----|------------------|----|
| MF-P-048 (6/10) | 性能 | 三菱汎用インバータの各種制御方式 | 全般 |

2.4 アドバンスド磁束ベクトル制御

FREQROL-A500 シリーズで採用された制御方式です。低速トルクおよび速度精度が向上し、0.5Hz で 150% の高トルクが得られます。従って、速度検出器なしで、1:120 と巾広い制御範囲で使用できます。

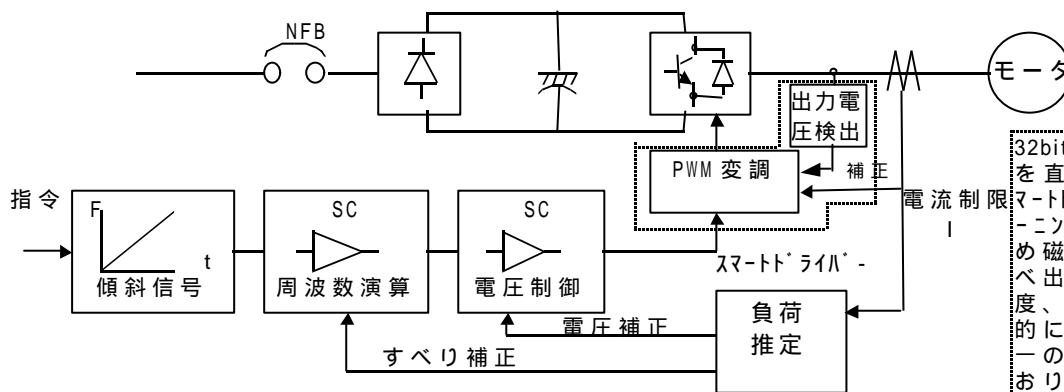
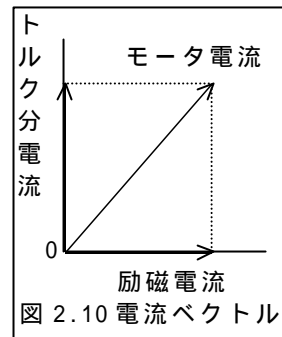
インバータの出力電流(モータ電流)を出力周波数と、出力電圧に対する各相の電流の位相から、励磁電流(磁束を発生させるのに必要な電流) とトルク分電流(負荷トルクに比例する電流) とに、ベクトル演算によって分割します。トルク分電流からモータの実速度を推定し、設定速度になるように出力周波数を補正(増減)します。

負荷変動によってモータ電流が変化すると、モータの一次側(配線を含む)の電圧降下分も変化するため、励磁電流の大きさに影響が出ます。

この電圧降下分を、モータおよび一次配線定数と、トルク分電流の大きさから求め、モータの一次磁束が常に一定になるようにインバータの出力電圧を補正(増減)します。

演算に必要なモータ定数をオフラインで測定記憶するオンラインオートチューニング機能が採用されています。

またモータの温度上昇によるモータ定数の変化による性能劣化を防ぐためモータ始動時にモータ定数をチューニングするオンラインオートチューニング機能を採用しています。



32bitRISC CPU*、出力電圧を直接監視し補正するスマートライバ、オンラインオートチューニングなどを採用。このため磁束ベクトル制御に比べ出力電圧精度、演算精度、電流検出精度が飛躍的に向上しており、業界一の高性能化が図られています。

図 2.11 アドバンスド磁束ベクトル制御ブロック図

*RISC

RISCとは"Reduced Instruction Set Computer"の略で従来形のマイクロプロセッサ(RISCに対してCISCと呼ばれる)と比較して命令、命令フォーマットが簡素化された新しいタイプのコンピュータで、処理速度を上げることができます。

| | | |
|------------|----------|-------------|
| 発行日 | | 三菱電機 名古屋製作所 |
| 1999-08-19 | P-ZP-01B | |

INV テクニカルニュース

| シート | 分類 | タイトル | 機種 |
|--------------------|----|------------------|----|
| MF-P-048 (7/10) | 性能 | 三菱汎用インバータの各種制御方式 | 全般 |

図 2.12 にすべり - トルクカーブを示します。

低速まで極めて高精度に速度が制御され、また大きなトルクを発生しております。

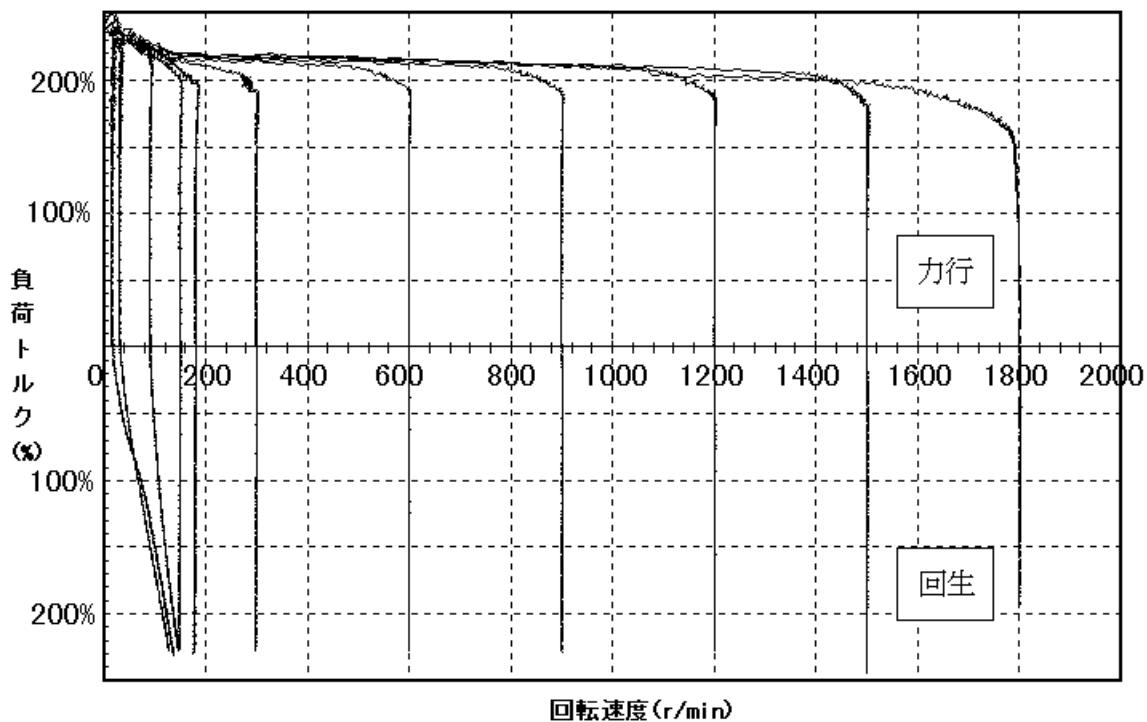


図 2.12 アドバンスド磁束ベクトル制御のすべりトルクカーブ
(三菱電機製 3.7kW4P モータとの組合せデータ)

| | | |
|------------|----------|-------------|
| 発行日 | | 三菱電機 名古屋製作所 |
| 1999-08-19 | P-ZP-01B | |

INV テクニカルニュース

| シート | 分類 | タイトル | 機種 |
|--------------------|----|------------------|----|
| MF-P-048 (8/10) | 性能 | 三菱汎用インバータの各種制御方式 | 全般 |

2.5 ベクトル制御

この制御方式は FREQR0L-V200 に採用されています。

ベクトル制御は、界磁とそれに直交する電流の積がトルクになるという原理に立って、誘導電動機に給電される一次電流を励磁電流 I_d とトルク分電流 I_q に、理論的に分離（図 2.13 参照）し、必要なそれぞれの電流を自由に制御するもので、トルク制御が可能になり、高応答と高精度が実現できます。

具体的には、インバータに電流制御ループを持たせ、励磁電流とトルク分電流を演算し必要なモータ電流を流すように、出力周波数と出力電圧を最適に制御します。そのために正確なモータ定数を把握する必要があり、速度検出器付き専用モータを組合わせるか、標準モータをオートチューニングし使用します。

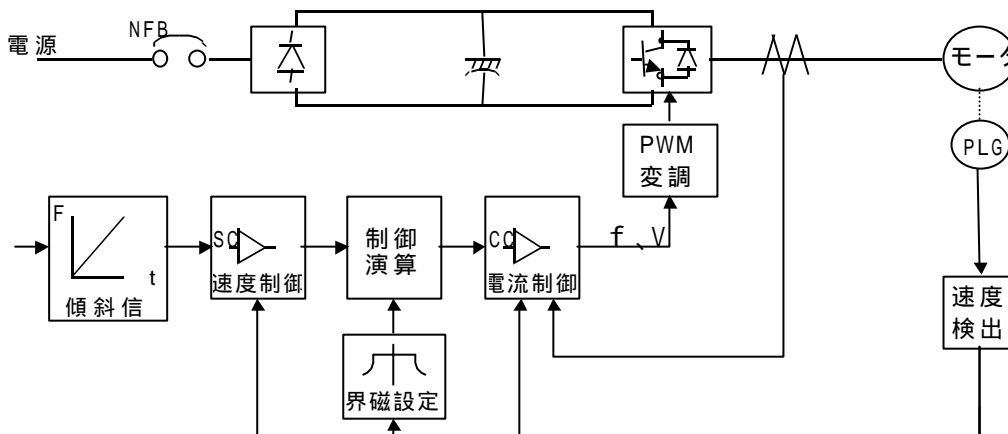
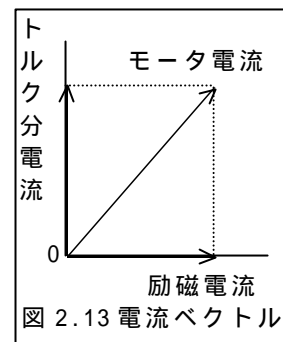


図 2.14 ベクトル制御ブロック図

検出器は必要ですが、最も高い性能が得られます。
モータの速度は、速度検出器（PLG）で検出し、制御に用います。

図 2.15 にすべりトルクカーブを示します。

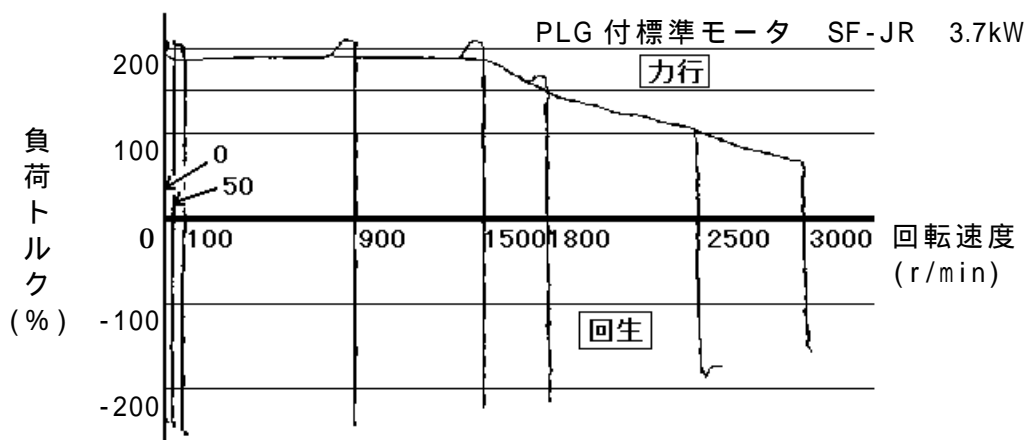


図 2.15 ベクトル制御時のすべりトルクカーブ
(三菱電機製 3.7kW4P との組合せデータ)

| | | |
|------------|----------|-------------|
| 発行日 | | 三菱電機 名古屋製作所 |
| 1999-08-19 | P-ZP-01B | |

INV テクニカルニュース

| シート | 分類 | タイトル | 機種 |
|--------------------|----|------------------|----|
| MF-P-048 (9/10) | 性能 | 三菱汎用インバータの各種制御方式 | 全般 |

3. オートチューニング

制御方式が高度になるほどモータ定数に正確な値を必要とします。すなわち正しいモータ定数により始めて高性能は発揮できると言えます。

そこで、正しいモータ定数を把握するため、インバータによりモータの定数を測定します。これがオートチューニングです。

3.1 オフラインオートチューニング

磁束ベクトル制御で運転するために必要なモータの回路定数を、インバータ自身がオフラインで測定・記憶する機能で、FREQROL-A200EXCELLENT, FREQROL-A500 シリーズに搭載しています。

具体的には、オートチューニング指令ONによってインバータから、ある条件のモータ励磁出力を出力し、その時に流れる電流値などからモータの抵抗値 r_1 , r_2 ・インダクタンス L_1 , L_2 , M などをインバータ内部で演算して求め、メモリに記憶します。

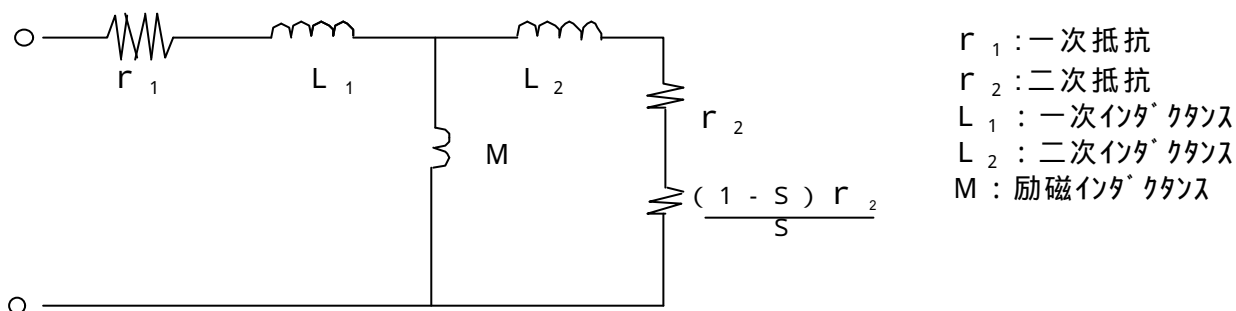


図 3.1 誘導電動機の等価回路

他社製モータでも、インバータ自身がモータ定数を測定するため、磁束ベクトル制御を適用することができます。

モータ定数が正確に測定できるため、磁束ベクトル制御時の始動トルク・低速トルクがより向上します。配線長が30mを超えても、磁束ベクトル制御で運転することができます。

ただし、以下数値の表でご使用ください。

| インバータ容量 | 0.4K | 0.75K | 1.5K 以上 |
|---------|------|-------|---------|
| 非低騒音運転時 | 300m | 500m | 500m |
| 低騒音運転時 | 200m | 300m | 500m |

2種類のチューニングモードで、機械にマッチしたチューニングが可能です

- ・モータを回さず、より簡単でスピーディな測定
- ・モータを回して、より正確な定数測定による磁束ベクトル制御の性能アップ

| | | |
|------------|----------|-------------|
| 発行日 | | 三菱電機 名古屋製作所 |
| 1999-08-19 | P-ZP-01B | |

| シート | 分類 | タイトル | 機種 |
|---------------------|----|------------------|----|
| MF-P-048 (10/10) | 性能 | 三菱汎用インバータの各種制御方式 | 全般 |

3.2 オンラインオートチューニング

オフラインオートチューニングした後、モータを繰り返し運転していると温度上昇により、モータ定数が、チューニング時から変化します。

このため一層性能が要求される場合にはモータ始動時にモータ定数をチューニングし、性能を向上させます。これがオンラインオートチューニングで FREQR0L-A500 シリーズに搭載されています。

実際の効果を図 3.2 に示します。オンラインオートチューニングが無い場合には、繰り返し運転を行うとモータの温度上昇による定数変化の為、速度推定値が変化し速度変動率が大きくなっています。一方オンラインオートチューニングが有る場合には、速度変動率は小さく抑えられており、その効果が良く分かります。

ただし、チューニングはモータの始動時のみ行うので、運転中の温度変化に対するチューニングは行えません。また、始動時はチューニングによる起動の遅れ（最大で約 500msec）が発生しますので、昇降用途など起動時にトルクが必要な機械では、ブレーキタイミングをずらす等の対策を行ってください。

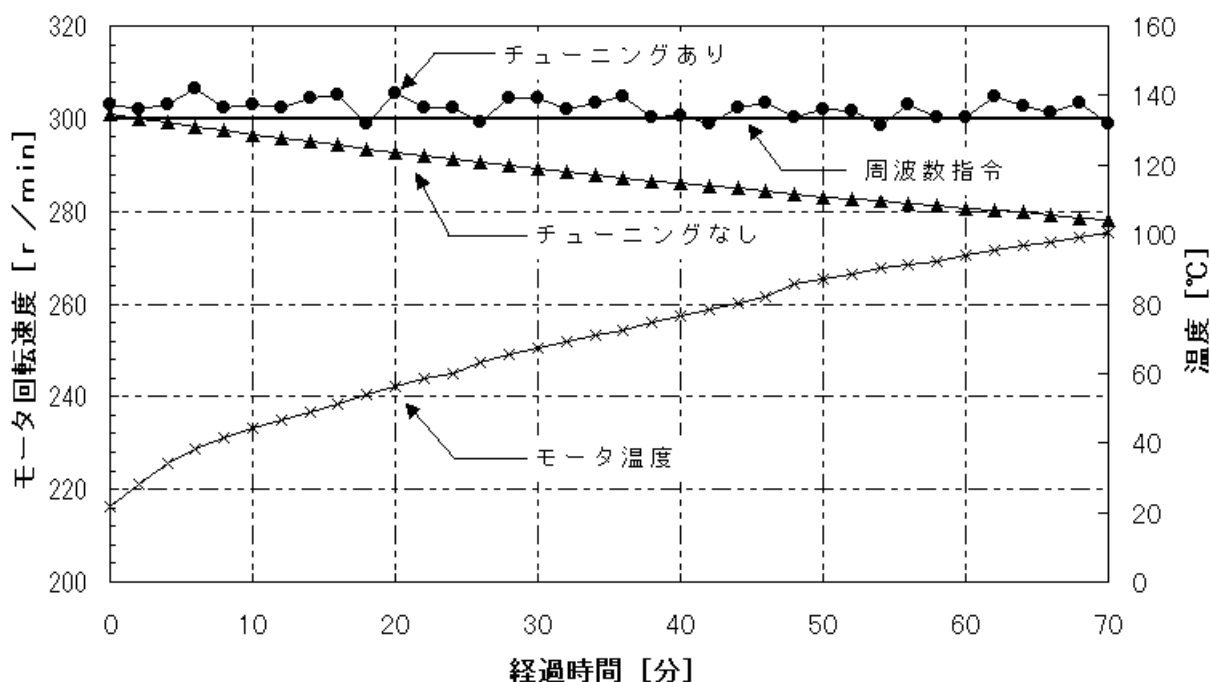


図 3.2 オンラインオートチューニングの効果
(FR-A520-3.7Kの例)

| | | |
|------------|----------|-------------|
| 発行日 | | 三菱電機 名古屋製作所 |
| 1999-08-19 | P-ZP-01B | |