

# 省エネルギー高圧ダイレクト AC ドライブ装置

Medium-Voltage AC Direct Drives for Energy-Saving Applications

下浦 拓二  
SHIMOURA Takuji

塚越 昌彦  
TSUKAKOSHI Masahiko

大柏 芳弘  
OGASHI Yoshihiro

商用電源によって交流電動機を一定速で駆動するファン、ポンプ、ブロワなどの流体機械に対して、インバータ装置を適用して可変速駆動することで、省エネルギー（以下、省エネと略記）運転ができることは広く知られている。このような省エネ用途に適用するインバータ装置として、3 kV系あるいは6 kV系の高電圧を出力し、直接高圧電動機を駆動する高圧インバータ装置が必要である。今回、省エネ用途に適用するインバータ装置のラインアップとして、高圧出力の誘導電動機駆動用インバータ装置“TOSVERT<sub>TM</sub>-MV”と、高圧大容量の同期電動機を駆動するサイリスタモータ装置“MF PACK<sub>TM</sub>-μ/S500”をシリーズ化した。

When a motor driving a fan, pump, or blower is operated at constant speed with the flow and pressure of the fan or pump controlled by a damper or control valve, great energy loss results. In these applications, the use of a variable-frequency drive achieves a higher level of system efficiency.

We have developed the TOSVERT<sub>TM</sub>-MV induction motor drive and the MF PACK<sub>TM</sub>-μ/S500 synchronous motor drive, for energy-saving applications.

## 1 まえがき

最近の環境問題、エネルギー問題の深刻化に伴い、これまで商用電源で高圧電動機を一定速で運転していた分野において、可変速運転することにより省エネや運転プロセスの改良を実施する例が急速に増えてきている。従来、高圧電動機の可変速駆動は、低圧インバータの出力を変圧器で昇圧して運転する方法が一般的であった。しかし、変圧器による効率の低下や、出力電圧波形のひずみが電動機に悪影響を与えるなどの種々の問題がある。このため、高圧電動機の省エネドライブ装置として、昇圧変圧器を用いずに高圧電動機を直接駆動できる装置が求められている。

当社では、この要求にこたえ、高圧誘導電動機用として、高い運転効率、クリーンな入出力波形が特長である多重インバータ装置“TOSVERT<sub>TM</sub>-MV”，および高圧同期電動機用として実績豊富なサイリスタモータ装置の制御回路を一新し、信頼性、使いやすさを向上させた“MF PACK<sub>TM</sub>-μ/S500”をシリーズ化した。

## 2 AC ドライブによる省エネ駆動

ファン、ポンプなどの二乗トルク負荷特性の流体機械を制御する場合、ダンパなどによる流量制御と比べて、インバータ装置を用いた電動機の回転数制御のほうが、より大きな省エネ効果を得られることは広く知られており、各分野で積極的に適用が進められてきた。わが国では、第1次

石油ショック後に省エネの気運が高まり、70年代後半から80年代前半にかけて、多数の一定速運転している電動機をインバータ装置による可変速運転に切り換え、大きな省エネを実現した。当社も、中小容量の低圧汎（はん）用インバータ装置、中大容量の電流形サイリスタインバータ装置などの“TOSVERT<sub>TM</sub>”シリーズで数多くの実績がある。

図1に当社における現在の省エネ駆動のインバータ装置のラインアップを示す。440 V以下の低圧誘導電動機用としてIGBT（絶縁ゲートバイポーラトランジスタ）を用いた“TOSVERT<sub>TM</sub>VF”シリーズ、1,000 V以下の誘導電動機用として電流形サイリスタインバータ“TOSVERT<sub>TM</sub>-

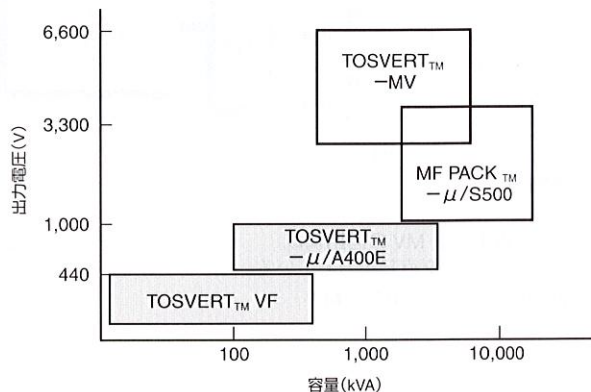


図1. 省エネACドライブシリーズのラインアップ 低圧小容量から高圧大容量までシリーズ化されている。

Lineup of AC drives for energy-saving applications

$\mu/A400E$  シリーズ、高圧誘導電動機には高圧 IGBT インバータ “TOSVERT<sub>TM</sub>-MV” シリーズ、そして同期電動機の変速駆動には “MF PACK<sub>TM</sub>- $\mu/S500$ ” シリーズをラインアップして、ほとんどすべての容量、適用分野において AC ドライブによる省エネ運転を実現している。

### 3 高圧 IGBT インバータ装置 TOSVERT<sub>TM</sub>-MV

従来、高圧誘導電動機の駆動は、低電圧出力のインバータと昇圧変圧器との組合せで実現している例が多かった。高圧 IGBT インバータ装置は、低圧インバータ装置で実績のあるパワーエレクトロニクス技術を駆使し、単相インバータ多重接続技術によって 3.3kV および 6.6kV の高電圧を出力するもので、昇圧変圧器を必要としない特長がある。

図 2 に 3.3kV 出力 TOSVERT<sub>TM</sub>-MV の回路構成を示す。基本となる単相インバータ(セルインバータ)は、ダイオード整流器と高圧 IGBT を用いた単相 PWM (Pulse Width Modulation) インバータ構成となっている。このセルインバータを 3 段直列に接続し、さらに、これらを Y 結線することで三相 3.3kV の線間電圧を直接出力する。各セルインバータには制御回路から光ケーブルで信号が与えられ、信頼性を確保するとともに保守性も向上させている。

使用している制御回路は、当社の高性能ベクトル制御インバータ装置 “TOSVERT<sub>TM</sub>- $\mu/S250W$ ” シリーズ<sup>1</sup> の制御基板を採用しており、使用している部品の共通化を図ることで、さらに信頼性と高性能を追求している。



図 3. TOSVERT<sub>TM</sub>-MV 3.3kV 出力-1,800kVA クラス。入力変圧器は盤内に収納され、変換器盤と同一パッケージ化されている。  
TOSVERT<sub>TM</sub>-MV (3.3kV-1,800kVA)

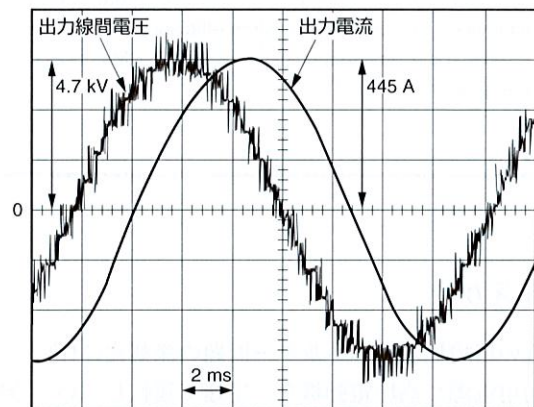
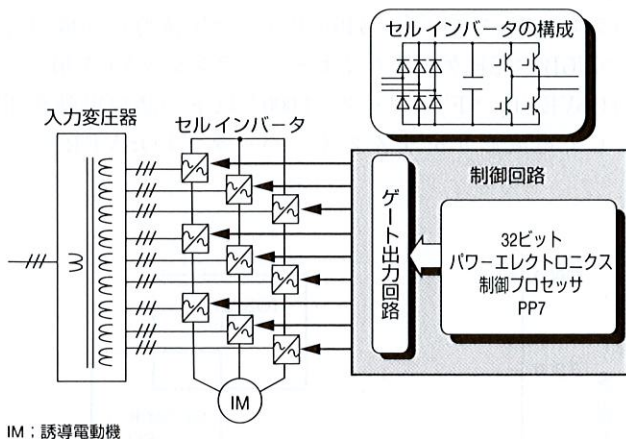


図 4. 3.3kV 出力タイプの出力電圧電流波形 マルチレベル PWM 制御により電圧、電流とも高調波成分が著しく低減している。  
Output voltage and current waveforms of 3.3kV output type



IM: 誘導電動機

図 2. TOSVERT<sub>TM</sub>-MV の回路構成 単相インバータを直列接続して線間電圧 3.3kV を直接出力している。  
Configuration of TOSVERT<sub>TM</sub>-MV

図 3 に TOSVERT<sub>TM</sub>-MV 3.3kV 出力 1,800kVA インバータ装置の外観を示す。入力乾式変圧器を盤内に収納して変換器盤と同一パッケージ化している。

図 4 に線間電圧と電流波形を示す。インバータ装置の出力線間から見て、線間に接続される二相分の 6 個のセルインバータが、すべて直列に電圧を出力したときに出力線間電圧はセルインバータの 6 倍の電圧を出力する。線間電圧波形はセルインバータ電圧の合成により得られ、正方向電圧と負方向電圧を総合した 7 レベルの PWM 波形によって大幅に高調波を低減できることが、電流波形からもわかる。さらに、パワーエレクトロニクス制御プロセッサ “PP7” を用い、当社独自のマルチレベル PWM 制御により、各セルインバータ間のスイッチングの重なりを防止することで、スイッチングサージを最小限に低減するくふうをしている。これにより、サージ電圧による電動機の絶縁劣化に極力影響を与えないようにサージ電圧を抑制することで、既設電動機へも適用できる。

図 5 に入力変圧器の一次側電圧と電流波形を示す。入力変圧器の二次側の位相は  $-20^\circ, 0^\circ, +20^\circ$  の位相差を設けているので、入力変圧器の一次側では高調波成分が打ち消

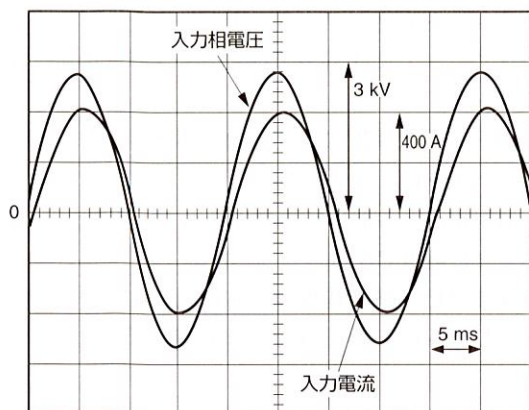


図5. 入力電圧電流波形 変圧器の位相差で高調波が打ち消し合い、高調波ひずみの少ない電圧、電流波形を得ている。  
Input voltage and current waveforms of 3.3kV output type

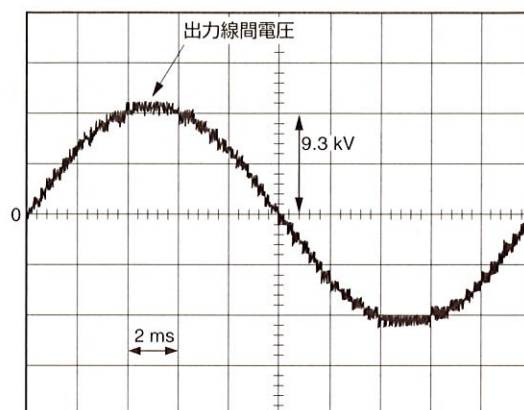


図7. 6.6kVタイプの出力電圧波形 3.3kVタイプと同じセルインバータを1相当たり6段直列接続し、6.6kV電圧を得る。  
Voltage waveform of 6.6kV output type

しあい、ひずみの少ない電圧、電流波形を得ることができ、高調波抑制対策ガイドラインをクリアする値まで低減させている。その測定結果の一例を図6に示す。棒グラフが実測例であり、折線がガイドラインの値である。

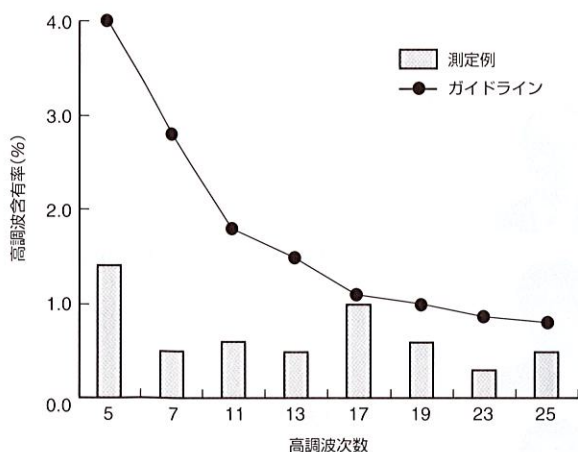


図6. 電源側高調波電流 高調波フィルタを用いなくても、高調波抑制対策ガイドラインをクリアすることができる。  
Harmonic current of AC main power

6.6kV出力の場合、3.3kVタイプと同一構成のセルインバータを一相当たり6段直列接続し6.6kV直接出力を実現している。図7に6.6kVタイプの出力電圧波形を示す。

TOSVERT<sub>TM</sub>-MVは以下の特長を備えている。

- (1) 高圧IGBTを採用し、部品点数を削減することによる高信頼化とセルインバータの直列数の最適化を両立させた。
- (2) 出力変圧器レスにより、約98%の高効率を達成している(入力変圧器を含む)。

- (3) 出力電圧波形に含まれるスイッチングサージを最小に抑制することで、電動機の絶縁劣化を防止し、既設の電動機にも適用できる。
- (4) 出力電流高調波も大幅に低減されているので、トルク脈動がほとんどなく、電動機の高調波電流損失も非常に小さい。
- (5) 入力側に多重変圧器を採用することにより、電源側の高調波を大幅に低減している。高調波フィルタを設置しなくても高調波抑制ガイドラインをクリアできる。
- (6) 整流器にダイオードブリッジを採用しているので、入力力率が95%以上になる。
- (7) 負荷の特性に応じて、速度センサレスベクトル制御、速度センサ(パルスジェネレータまたはレゾルバ(速度検出器))付きベクトル制御を選択できる。これにより、省エネ用途以外の幅広い分野にも適用できる。
- (8) システムに応じた瞬時停電補償制御を選択できる。
- (9) セルインバータごとにユニット化し、さらに、各ユニットはサブユニットに分割することができるので保守が容易である。

#### 4 サイリスタモータ装置 MF PACK<sub>TM</sub>-μ/S500

数千kW以上の大容量電動機駆動として、サイリスタモータ装置による同期電動機の駆動があり、当社は10MWクラスの同期電動機の省エネ運転などで多くの実績がある。今回、パワーエレクトロニクス制御プロセッサPP7を採用し、制御性と保守性を向上させた全デジタル制御のMF PACK<sub>TM</sub>-μ/S500をシリーズ化した。

サイリスタモータ装置は、負荷である同期電動機の誘起電圧を利用してインバータ側の転流動作を行うことから、負荷転流形インバータ(LCI: Load Commutated Inverter)とも呼ばれている。

サイリスタモータ装置の制御ブロックを図8に示す。サイリスタの転流タイミングを演算するのに必要な磁極位置情報には、当社独自のOPS(電氣的位置検出)方式を採用し、高性能な制御を実現している。この方式により、機械的位置検出方式と比べ全制御範囲で高効率な運転ができ、電動機のコンパクト化ができる。さらに、商用電源との同期切換えも対応できる。

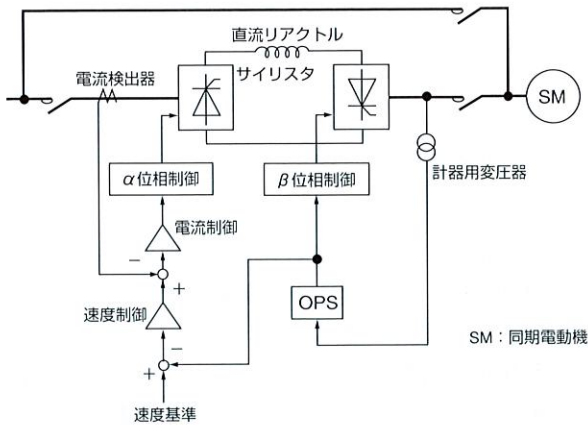


図8. サイリスタモータ装置の制御ブロック OPS回路により、位置検出装置を用いずに磁極位置を検出している。  
Block diagram of control circuit

従来、OPS回路を含めた制御回路はディスクリート電子部品を多く使用していたが、今回、OPS回路から、インバータ、コンバータの位相制御、電流制御、速度制御まで、ほとんどの機能をパワーエレクトロニクス制御プロセッサPP7によりソフトウェア処理している。この結果、部品点数が大幅に減少し、制御回路の信頼性が飛躍的に向上した。

MF PACK™-μ/S500の特長を以下に示す。

- (1) 自然転流方式なので構成がシンプルで高信頼性、高効率である。
- (2) 素子の直列接続数を増やすことにより高圧電動機の

ダイレクト駆動ができる。また、出力変圧器によるステップアップで11kVクラスの高圧大容量用途にも適用できる。

- (3) OPS方式の採用により高効率駆動ができ、電動機のコンパクト化に貢献できる。
- (4) 商用電源との同期切換機能を持ち、スタティックスタータに適用できる。
- (5) 従来に比べ制御基板の部品点数削減により信頼性が向上し、さらに故障診断などの機能も向上している。

## 5 あとがき

最新の省エネ用途高圧ACドライブ装置について述べた。電動機の種類、容量、負荷の用途に応じて最適なインバータ装置を選択できる。

高圧電動機の可変速化は、省エネ効果によってプラントのランニングコストを低減させるだけでなく、地球環境問題への貢献にも寄与できる。

## 文献

- (1) 小玉純康, 他, 高性能産業用ACドライブシリーズ, 東芝レビュー, 52, 9, 1997, p.36-39.



下浦 拓二 SHIMOURA Takuji

府中工場 ドライブシステム部主務。  
産業用ACドライブ装置の開発に従事。電気学会会員。  
Fuchu Works



塚越 昌彦 TSUKAKOSHI Masahiko

府中工場 ドライブシステム部。  
産業用ACドライブ装置の開発に従事。電気学会会員。  
Fuchu Works



大柏 芳弘 OGASHI Yoshihiro

電機システム事業部参事。  
電動機応用システムのエンジニアリング業務に従事。  
Industrial Automation Systems Div.