

川上 和人
K.Kawakami

田中 修
O.Tanaka

宮崎 聖
S.Miyazaki

IGBT(絶縁ゲートバイポーラトランジスタ)、GTO(ゲートターンオフサイリスタ)などのパワー半導体素子の発展に伴い、産業プラント AC ドライブの主機クラスに電圧型インバータを適用できるようになってきた。また、主回路直流部の中間電位を利用した NPC(中性点クランプ)構成の 3 レベルインバータも実用化され、さらに大容量化できるようになった。3 レベルインバータは従来の 2 レベルインバータに対して主回路直流電圧を 2 倍にすることができ、出力電圧に含まれる低次高調波成分も低減できる大容量化に適した技術である。

ここでは、小型、高性能、高品質、保守性向上などをコンセプトとする μ/S シリーズとしてラインアップした NPC 構成 3 レベルインバータについて紹介する。

Accompanying the development of power devices such as the insulated-gate bipolar transistor (IGBT) and the gate-turn off (GTO) thyristor, there has been increasing demand for the application of voltage source inverters (VSIs) to large AC drives in industrial plants. The neutral point clamped (NPC) three-level technique makes it possible to expand the capacity of a VSI. This technique realizes higher output voltage and lower harmonics than the conventional two-level VSI.

This paper describes NPC three-level VSIs for use in μ/S series AC drives, developed according to the concepts of compactness, high performance, high reliability, and easy maintenance.

1 まえがき

IGBT, GTO などの自己消弧パワー半導体素子の高耐圧大電流化に伴い、鉄鋼圧延ラインなどの産業プラント用主機クラスあるいは準主機クラスへ電圧型インバータを適用するニーズが高まってきた。

一方、出力容量を拡大するために NPC 構成のインバータが注目されている。これはインバータ直流電圧の中間電位を利用して出力相電圧を 3 レベルで制御する方式である。同一電圧定格のパワー半導体素子を使用した場合、従来の 2 レベル PWM(パルス幅変調)インバータと比べて直流電圧を 2 倍にすることができ、高い出力電圧が得られる。また、PWM キャリア周波数が等しい場合でも出力相電圧が 3 レベルになることで、従来の PWM インバータに対して PWM キャリア周波数を約 2 倍にしたのと同様の効果があり、出力波形をよりきれいな正弦波に近づけることができる。

ここでは、小型、高性能、高品質、保守性向上などをコンセプトとする μ/S シリーズとしてラインアップした 3 レベルインバータについて紹介する。これらは、32 ビットマイコンを採用するとともにパワーエレクトロニクス制御専用のゲートアレイ LSI を新規開発して、制御性能向上と部品点数低減による信頼性向上も図っている。

2 ラインアップ

図 1 に駆動する電動機の容量と電圧から分類したプラント用 AC ドライブのラインアップを示す。TOSVERT_{TM}- $\mu/S650$ が 3 レベル GTO インバータ、TOSVERT_{TM}- $\mu/S350$ が 3 レベル IGBT インバータであり、10,000 kW 近い容量域までカバーしている。

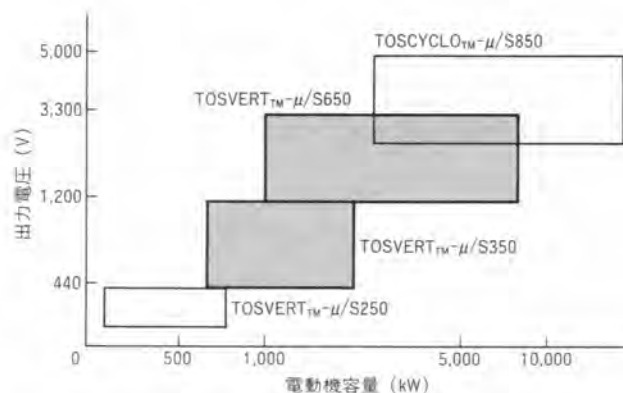


図 1. プラント用 AC ドライブ装置 電動機の容量と電圧を基にしたプラント用ドライブ装置のラインアップ。

Line-up of AC drives for industrial plants

3 主回路動作

図2にNPC構成3レベルインバータの主回路と動作波形の例を示す。U相1相分に着目すると次のようになる。

- (1) Su1 と Su2 がオンしているとき、正電圧出力
- (2) Su2 と Su3 がオンしているとき、零(ゼロ)電圧出力
- (3) Su3 と Su4 がオンしているとき、負電圧出力

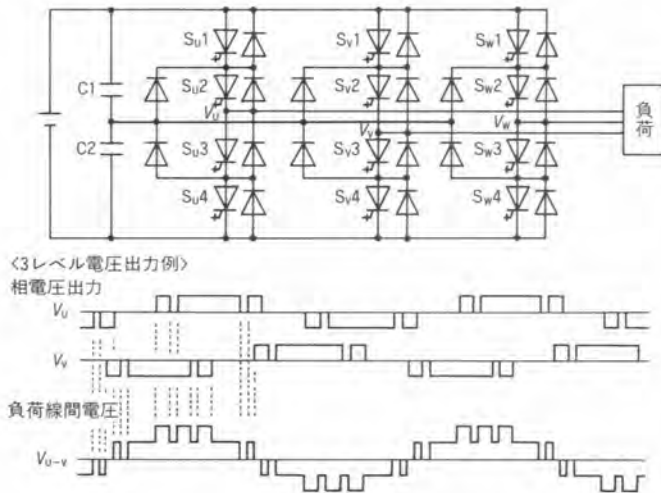


図2. 主回路構成と電圧波形 相電圧として正電圧、零電圧、負電圧の3レベルを出力することができる。

Configuration of three-level inverter

従来のPWMインバータは正電圧と負電圧の2レベルしかとれなかったのに対して、出力を直流電圧の中間点にクランプする零電圧が加わり3レベルがとれる。この3レベルによって相電圧のステップ変化量が1/2となり、線間電圧は5レベルになる。これは従来の2レベルインバータにおいてPWMキャリア周波数を約2倍に上げたのと等価になり、出力電圧に含まれる低次高調波成分が小さくなる。スイッチング周波数の上限がそれほど高くないGTOを使用する場合、特に有効である。

また、各スイッチング素子には直流の1/2の電圧しか印加されないので直流電圧を高くすることができる。これにより高い出力電圧が得られ、装置の容量拡大が図れる。

4 3レベルGTOインバータ TOSVERTTM-μ/S650

従来、大容量ACドライブ装置は主回路パワー半導体素子としてサイリスタを用いたサイクロコンバータ、サイリスタモータが適用されてきた。近年、6,000V耐圧のGTOが製品化され、大容量ドライブ分野にGTOインバータが適用できるようになった。この高圧GTOを採用したインバータがTOSVERTTM-μ/S650であり、次のような特長がある。

- (1) 6,000VのGTOを採用し、1バンクで最大6,000kVA、2バンク構成で12,000kVAまで可能である。
- (2) 32ビットマイコンとDSP(Digital Signal Processor)を採用し、高性能を実現した。
- (3) 新水冷方式を採用し、装置を小型化した。また、従来の水冷方式と比べて保守性を大幅に向上できた。
- (4) 3レベルインバータをコンバータとして適用することで入力率1制御および入力電流低次高調波の抑制が可能である。

図3にインバータ装置外観を示す。これは出力容量6,000kVA(過負荷耐量150%-1分)、出力電圧3.3kVでインバータ盤、コンデンサ盤、制御盤から構成されている。

また、このインバータで誘導電動機を駆動したときの出力波形を図4に示す。低いPWMキャリア周波数でも正弦波に近い良好な電流波形が得られている。



図3. 6,000kVA GTOインバータ TOSVERTTM-μ/S650 水冷方式により小型化を実現している。

TOSVERTTM-μ/S650 three-level GTO inverter with 6,000 kVA capacity

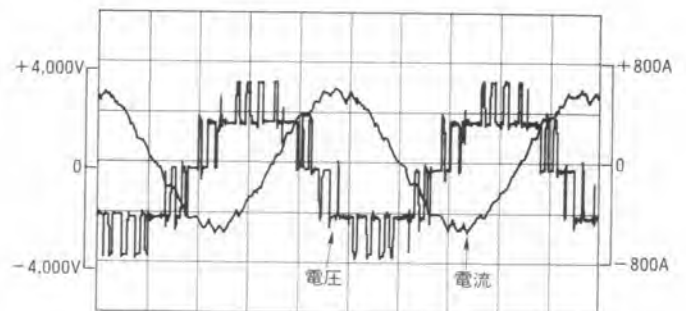


図4. 出力波形 TOSVERTTM-μ/S650で誘導電動機を駆動したときの出力電圧・電流波形を示す。良好な電流波形が得られている。

Output waveforms of TOSVERTTM-μ/S650

5 3レベル IGBT インバータ TOSVERT™-μ/S350

このインバータは1,700 V 耐圧の IGBT を並列接続することにより容量拡大を図っており、以下のような特長がある。

- (1) 導体構造をくふうすることによって従来の2倍近い数の IGBT を並列接続動作させることができるようになり、1バンク1,800 kVA を達成した。さらに、これを2バンク構成とすることで3,600 kVA まで拡大できる。
- (2) ヒートパイプ冷却からさらに進んだサイフォン式冷却器を採用して冷却効率を向上させるとともに、用品実装密度を上げることにより装置を大幅に小型化した。従来の2レベルGTO インバータと比べて体積比約1/2になった。
- (3) パワーエレクトロニクス制御専用のゲートアレイ LSI を開発して、制御演算高速化とともに制御基板部品点数を削減して信頼性を向上させた。2個の32ビットマイコンと併せて制御性能も向上した。
- (4) 前面引出し構造により保守が容易である。

図5に1,800 kVA インバータ装置の外観を示す。変換器盤と制御盤から構成されている。IGBT 回路部は出力相ごとのユニット構成で保守が容易になっている。IGBT は図6に示すような外圍器形状であり、これを並列接続することによ



図5. 1,800 kVA IGBT インバータ TOSVERT™-μ/S350 IGBT を並列接続することで容量拡大を図った。
TOSVERT™-μ/S350 three-level IGBT inverter with 1,800 kVA capacity



図6. 1,700 V IGBT 配線インダクタンスの低減を図っている。
External view of 1,700 V IGBT

り大容量、小型、高性能を実現した。

また、今回開発したパワーエレクトロニクス制御専用のゲートアレイ LSI を図7に示す。これは PWM 制御、レゾルバ速度検出などに代表されるパワーエレクトロニクス制御機能をワンチップに集約したものである。



図7. パワーエレクトロニクス制御専用ゲートアレイ LSI 電動機制御に必要な機能を集約している。
External view of LSI for power - electronics control

6 適用実績

形鋼圧延ラインの仕上げミルに TOSVERT™-μ/S650 を適用したシステムの構成例を図8に示す。ここでは、経済性の面からサイリスタコンバータによる共通直流電源方式を採用した。

このラインで圧延したときの波形を図9に示す。これは、仕上げミル後段の F7 ミルと F8 ミルで圧延したときの応答波形である。F7 ミルが圧延材を噛み込んでから約5秒後に次段の F8 ミルが圧延材を噛み込んでいる。噛み込み直後

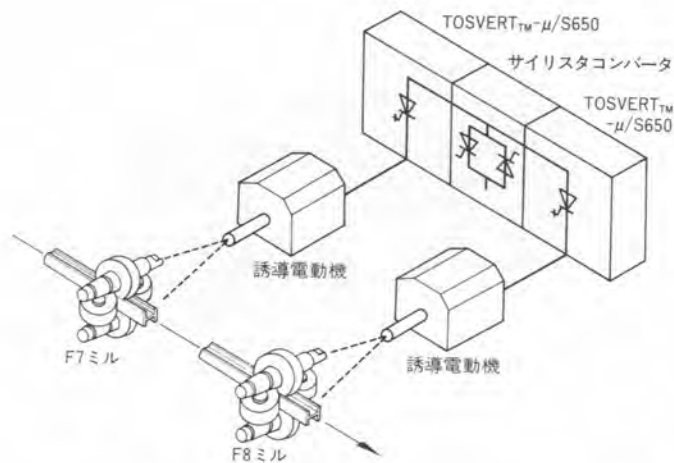


図8. 適用実績例 形鋼圧延ラインにTOSVERT™-μ/S650を適用したシステムを示す。経済性からサイリスタコンバータによる共通直流電源方式とした。

Example of actual system configuration

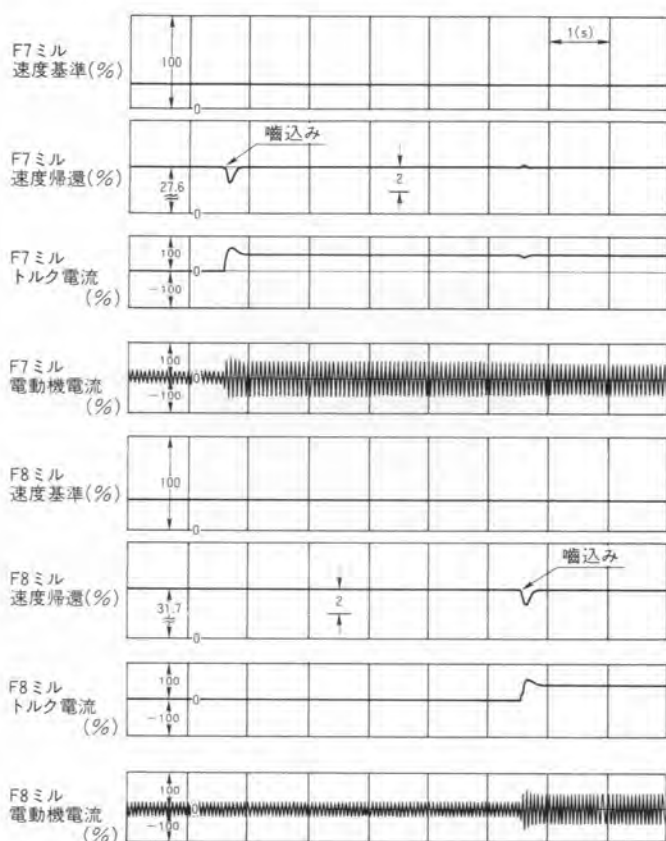


図9. 圧延特性 形鋼を圧延したときの応答波形を示す。嚙込み直後の速度変動から短時間で復帰しており、良好な特性が得られている。

Actual characteristics

の速度変動から短時間で復帰しており、良好な特性が得られている。

今後は、サイクロコンバータの最高出力周波数以上の高速用途あるいはPWMコンバータなどを中心に適用範囲を拡大していくことが期待できる。

7 あとがき

プラント用大容量ACドライブ装置として3レベルインバータをラインアップした。今後、パワー半導体素子の発展とその適用技術の進歩によってインバータはさらに大容量化し、制御技術の発達とともに適用分野をますます拡大していくと考える。

文献

- (1) 宮崎 聖, 他: 3レベルGTOインバータのPWM方式, 平成5年電気学会全国大会, p.5-57(1993)
- (2) 多々良真司, 他: プラント用ACドライブμ/Sシリーズ, 東芝レビュー, 48.11, pp.855-858(1993)
- (3) 多々良真司: マルチレベルインバータの制御技術とその応用, 平成6年電気学会全国大会, pp.S.9-15-18(1994)



川上 和人 Kazuto Kawakami

1983年入社。産業用ACドライブの開発に従事。現在、府中工場モータドライブ・電子制御装置部主務。
Fuchu Works



田中 修 Osamu Tanaka

1984年入社。産業用ACドライブの開発に従事。現在、府中工場モータドライブ・電子制御装置部主務。
Fuchu Works



宮崎 聖 Satoshi Miyazaki

1990年入社。産業用ACドライブの開発に従事。現在、府中工場モータドライブ・電子制御装置部。
Fuchu Works