

インバータの用途展開

庄司 豊 Yutaka Shoji
 犀藤 基 Hajime Saito
 宮本恭昌 Yasumasa Miyamoto
 永田祥久 Yoshihisa Nagata

キーワード マルチレベルインバータ、PWM、高圧インバータ、トルク応答、高周波、機械診断、故障予兆

概要



(a) THYFREC VT730S



(b) THYFREC VT240S



(c) THYFREC VT350

インバータ

近年、地球環境保護の観点から温室効果ガス削減・省エネルギー化への期待が高まっている。固定速運転のファン・ポンプなどの二乗低減トルク負荷の設備にインバータを適用し可変速運転することで、大幅な省エネルギー効果が期待できる。

また、産業設備では高精度・高応答・高速化の要求が高まっており、特定機能に特化したインバータを採用することで、お客様の機械能力を最大限発揮することができる。さらに、熟練技術者の経験と勘に頼っていた機械設備診断にICT（Information and Communication Technology）を導入することで、メンテナンスコストの削減や最適化を図れる。インバータの内部情報を機械設備診断の基礎データとして利用することで、高価な外部センサを必要としないシステムを構築できる。

1 まえがき

近年、省エネルギーと産業機械の制御精度向上の要求からインバータは欠かせないシステムとなっている。また、コンピュータの高性能化による大規模な解析が身近なものとなり、設備へICT（Information and Communication Technology）を導入し、設備の故障を事前に検知するシステムの要求が高まっている。本稿では、当社インバータのラインアップの中から国際電気標準会議（IEC）規格に対応した製品や、制御性能の高度化や設備のICT化など様々な市場の要求に応える製品・技術を紹介する。

2 インバータ製品紹介

2.1 高性能低圧ベクトルインバータ

THYFREC VT350（以下、VT350）

主に鉄鋼業界などの一般産業用途の高性能低圧ベクトルインバータ THYFREC VT310（以下、VT310）の後継機種として2019年にVT350を製品化した。第1表に制御仕様を示す。

2.1.1 高いトルク制御性能

第1図にトルク精度の比較を、第2図にトルク制御応答の比較を示す。VT350はインバータ出力電圧を検出するユニットを装着することで、従来機種のVT310に比べトルク精度が約40%、トルク制御応答が約60%向上した。

2.1.2 セーフトルクオフ（STO）機能

従来は事故が発生した際にモータを安全に停止させるために、インバータとモータ間に設置した電

第1表 VT350制御仕様

トルク制御精度±2%（電圧検出ユニット付きの場合）、トルク制御応用1200rad/s、定出力範囲1：5、200V系でモータ容量65kW、400V系で630kWまで対応できる。（過負荷耐量120%1分の場合）

	IM速度センサ付きベクトル制御	PMセンサ付きベクトル制御	
周波数制御	制御方式	オールデジタル制御 正弦波近似PWM	
	搬送周波数	モノサウンドモード：4.0・6.0・8.0kHz	
	出力周波数分解能	0.01Hz	
	周波数設定分解能	0.01Hz（デジタル） 0.03%（アナログ） 最高周波数に対して	
	周波数精度	±0.01%（デジタル）at 25±10℃ ±0.1%（アナログ）at 25±10℃	
軽過負荷	電圧／周波数特性	150～9999min ⁻¹ （最大240Hz）で任意設定	
	オートチューニング	モータ定数の自動測定、各種パラメータの自動調整 モータを回転させない基本方式と回転させる拡張方式あり	エンコーダ位相調整 磁極位置推定 モータ定数の自動測定（回転あり）
	出力周波数	0～240Hz	
	速度制御	制御範囲	1：1000
定出力範囲		1：5まで	1：1.5まで
制御精度（Fmax ≥ 50Hz）		±0.01%	
制御応答		300Hz	

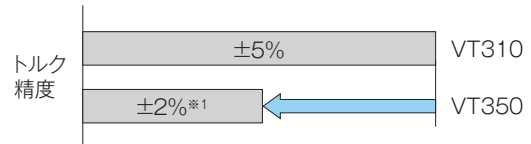
磁接触器を設け、非常停止信号で開放するシステムが採用されていた。VT350は、インバータユニット本体で非常停止信号を受け、パワーモジュールを駆動するゲート信号を強制的に遮断することでモータを安全に停止させる機能（IEC60204-1停止カテゴリ0）を標準搭載している。

2.1.3 多数台モータの負荷バランス制御機能

大形設備の運転に対応して、最大4台までのVT350間を光通信（最大通信速度20Mbps）で接続することで、モータの負荷バランスを制御できる。第3図に速度指令－トルク電流検出特性図を示す。2台のインバータ間でトルク電流がほぼ一致している。

2.1.4 ユニット並列方式による大容量出力

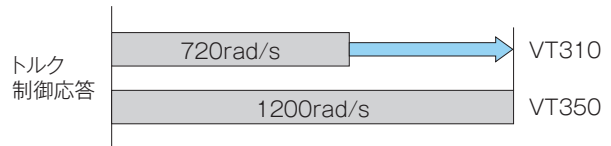
低圧インバータは、内蔵しているパワーデバイスの最大電流の制約条件から、ユニット単体で出力できる容量が決まる。VT350はユニットを並列に接続



※1. VT350の性能は電圧検出ユニット付きの場合となる。

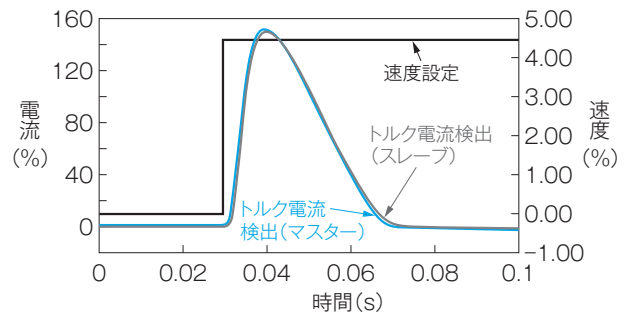
第1図 トルク精度比較

従来機種VT310とVT350のトルク精度を比較した。



第2図 トルク制御応答比較

従来機種VT310とVT350のトルク制御応答を比較した。



第3図 速度指令－トルク電流検出特性図

2台のVT350をマスタースレーブ方式で接続した場合の速度指令に対するそれぞれのトルク電流検出の特性を示す。ほぼ一致していることが分かる。

することで、最大630kWの大容量まで対応できる。

2.1.5 メンテナンス性向上

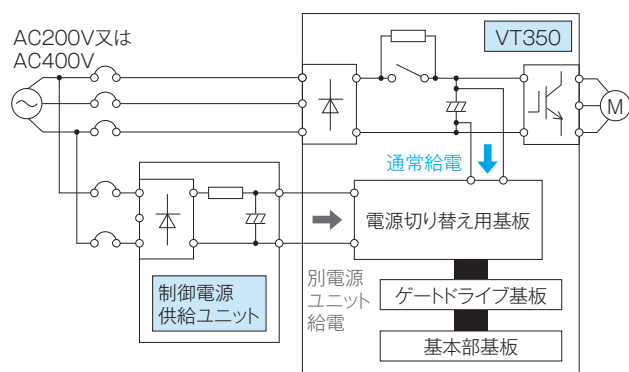
第4図に制御電源供給ユニットの接続図を示す。制御電源供給ユニットを接続することで、主回路電源を切った状態でもインバータパラメータを表示・設定でき、工場内停電期間中でもインバータをメンテナンスできる。また、故障などによって主電源が遮断した時もインバータ特性を確認できる。

2.2 国際電気標準会議（IEC）規格対応直接高圧形インバータ THYFREC VT730S（以下、VT730S）

当社は、2005年からセル直列多重式の高圧イン

バータを発売し、多数の実績を積んできた。国内で一定の評価を得てきた直接高圧形インバータシリーズを海外で展開するため、2011年にIEC規格対応のVT730Sを製品化した。お客様の要求に対応するため、3kV系と6kV系の製品を製作している。入力変圧器と3kV系は9個、6kV系は18個の単相出力インバータで構成されている。第2表にVT730Sの製品仕様を示す。特長は、以下のとおりである。

- (1) 標準仕様でIEC規格に対応
- (2) 効率97%以上、力率0.95以上
- (3) マルチレベルPWM (Pulse Width Modulation)方式で電圧ひずみを抑制
- (4) 36相整流 (6kV回路) で高調波大幅低減



第4図 制御電源供給ユニット接続図

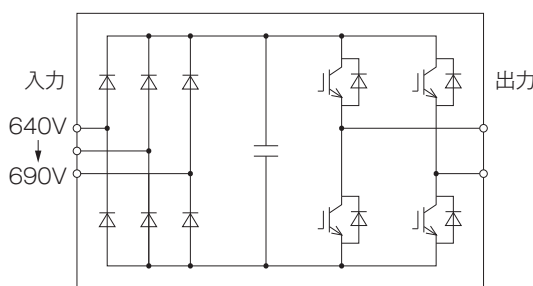
制御電源供給ユニットの接続図を示す。

(5) 単機でIEEE519-1992、高調波対策ガイドラインをクリア

今回、お客様の要求に応えるため、VT730Sのセルユニット単体の電圧を640Vから690Vに拡大することで、6kV回路内の総セルユニット数を削減し、10kVに対応した高圧インバータを製品化した。第5図にセルユニット単体回路図を示す。

2.2.1 6kV系セルユニット数削減

従来の6kVは、18台 (1相当たり6段積み) の単相セルユニットで構成される。単相セルユニット単体の電圧を690Vにすることで、15台 (1相当たり5段積み) で6kV出力を実現した。また、新たに4000kW用セルを開発し、最大容量も拡大した。



第5図 セルユニット単体回路図

セルインバータの回路図と拡大した電圧を示す。

第2表 VT730S製品仕様

3kV系でモータ容量1250kW、6kV系でモータ容量2500kWまで対応 (過負荷耐量120%1分の場合) できる。

系列		3kV系					6kV系						
形式 (VT730S-□□□□)		235L	335L	475L	950L	1250L	330H	500H	710H	1000H	1500H	2000H	2500H
標準過負荷	定格容量 (kVA) ※1	332	457	634	1217	1520	446	663	914	1269	1909	2435	3041
	定格電流 (A) ※2	58	80	111	213	266	39	58	80	111	167	213	266
	適用電動機 (kW) ※3	235	335	475	950	1250	330	500	710	1000	1500	2000	2500
	過負荷耐量	120%・1分											
重過負荷	定格容量 (kVA) ※1	263	366	503	972	1212	354	526	732	1006	1520	1943	2423
	定格電流 (A) ※2	46	64	88	170	212	31	46	64	88	133	170	212
	適用電動機 (kW) ※3	190	270	380	750	950	250	390	560	750	1200	1570	2000
	過負荷耐量	150%・1分											
電源	主回路	3000/3300V ± 10% 50/60Hz ± 5%					6000/6600V ± 10% 50/60Hz ± 5%						
	制御回路	200/200V ± 10% 50/60Hz ± 5% (標準) 又は400/440V ± 10% 50/60Hz ± 5% (オプション)											
出力	定格出力電圧 (V)	3000/3300					6000/6600						
	出力周波数範囲	0 ~ 120Hzの範囲で任意設定											

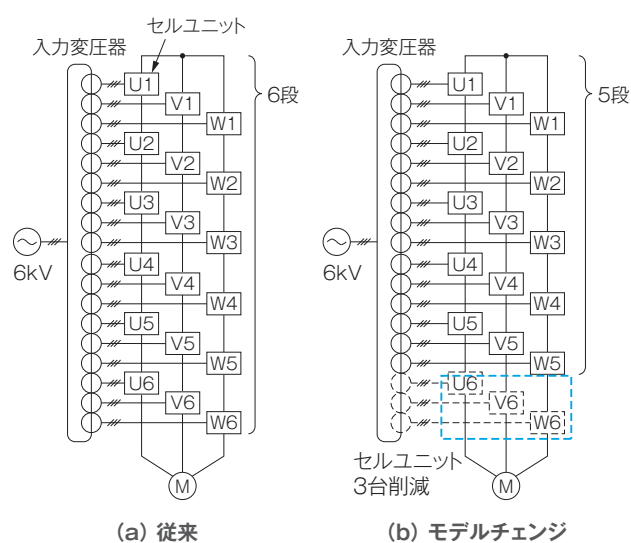
注. ※1. 出力電圧が3300V・6600Vにおける出力容量を示す。
 ※2. 高調波を含む全実効値を示す。
 ※3. 出力電圧が3300V・6600Vにおける当社標準の4極かご形三相誘導電動機の場合を示す。

第6図にセル5段化回路図を、第3表に6kV系の容量系列を示す。セルユニットを減らすことで多重巻線入力変圧器の二次側巻線と部品点数を削減した。

2.2.2 10kV対応THYFREC VT731S (以下、VT731S)

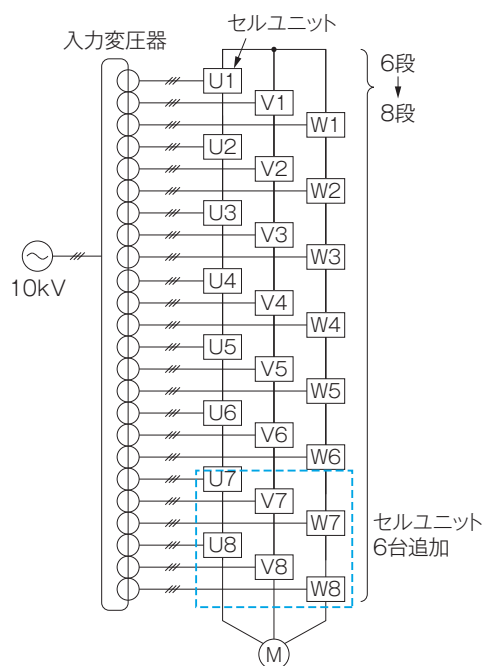
海外の10kV系統電圧に対応するため、電圧を拡大した単相セルユニット24台(1相当あたり8段積み)で構成するVT731Sを開発した。単相セルユニット電圧640Vで10kVの線間電圧を確保するためには、

1相当あたり9台の単相セルユニットが必要であったが、単相セルユニット電圧を690Vに電圧拡大したことで、1相当あたり8台で線間電圧10kVを確保できる。第7図にセル8段化回路図を、第4表に10kV系の容量系列を示す。



第6図 セル5段化回路図

1相当あたりの単相セルインバータは5台で、入力変圧器二次側巻線数も1相当あたり5巻線となる。セル電圧690V、線間電圧約6000Vを確保している。



第7図 セル8段化回路図

1相当あたりの単相セルインバータは8台で、入力変圧器二次側巻線数も1相当あたり8巻線となる。セル電圧690V、線間電圧約10,000Vを確保している。

第3表 6kV系容量系列

単相セルインバータ1相当あたり5段積みで、従来機種種の6段積み相当の出力容量を確保している。

項目	仕様						
形式 (VT730S-□□□□)	500HE	800HE	1000HE	1600HE	2000HE	2500HE	4000HE
適用電動機 (kW)*1	500	800	1000	1600	2000	2500	4000
過負荷耐量	120%・1分						

注: ※1. 定格出力電圧6000V

第4表 10kV系容量系列

10kV対応VT730Sの容量を示す。

項目	仕様							
形式 (VT731S-□□□□)	500T	800T	1250T	1600T	2500T	3150T	4000T	6300T
適用電動機 (kW)	500	800	1250	1600	2500	3150	4000	6300
過負荷耐量	120%・1分							

第 5 表 VT240S 製品仕様

出力周波数 800Hz まで対応できる。

項目	仕様
電圧	400V 系
容量	~ 475kW
出力周波数	~ 800Hz ^{※1}
キャリア周波数	8kHz 固定

注. ※1. 出力周波数 600Hz 以上のインバータを輸出する場合は、国内関連法に基づき許可申請手続きが必要

3 高周波インバータ

3.1 高周波インバータ概要

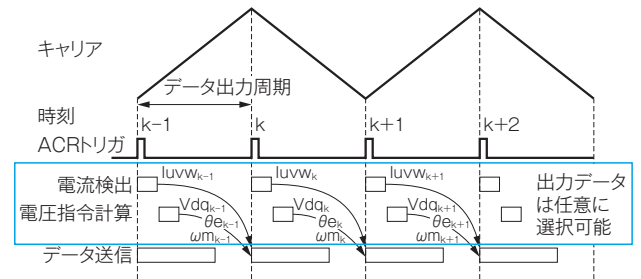
近年、モータ設計・製作技術の高度化によって、モータの高速回転化が実現した。高速化することで、モータの出力密度を向上できる。従来、高速化のために増速ギヤなどの設備が必要だったが、モータを高速回転化することで機械をダイレクト駆動できるようになり、設備の総合効率を大幅に向上できる。高速化に対応するため、低圧汎用インバータ THYFREC VT240S（以下、VT240S）の高周波化を実現した。

3.2 低圧汎用インバータ VT240S の高周波化

国内外で多数の納入実績がある VT240S を高周波化することで、高速永久磁石同期電動機（高速 PM モータ）の高速回転を実現した。主に下水処理場・食品関連工場・製紙工場の污水处理工程の曝気ブローア用として多数の実績があり、設備の小形化・省エネルギー化に大きく貢献している。第 5 表に製品の仕様を示す

4 パワエレ IoT (Internet of Things) インタフェースプリント基板

ICT/IoT の進歩によって、機械設備が故障する前に予兆を検知する機械故障予兆診断技術の研究が盛んである。本技術は、大きく三つの技術要素から成り立っている



第 8 図 データサンプリング模式図

インバータ内部のデータをインバータの PWM 周期でサンプリングする。サンプリングする項目は、任意に設定できる。

- (1) 機械の状態計測技術
- (2) 正常状態を学習し、異常状態を判別する機械学習・統計的手法技術
- (3) 物理モデルベース・デジタルツインなどのモデル解析技術

特に計測技術は機械故障予兆診断技術のベースとなる重要な技術であるが、高い精度のデータを得るためには高価なセンシング機器（画像・振動・音響・温湿度・電流電圧など）が必要となり、費用対効果から導入できないという問題があった。

この問題を解決する技術として、インバータ内部情報を高速に出力することができるパワエレ IoT インタフェースプリント基板を開発した。

従来の当社製インバータに本基板を追加することで、メイン制御プリント基板のインバータ制御情報を PWM 周期（ μs オーダ）でサンプリングできる。第 8 図にデータサンプリングの模式図を示す。出力されたデータは Ethernet で PC（Personal Computer）や PLC（Programmable Logic Controller）に接続しデータを収集できる。本技術によって、インバータの内部情報で機械故障予兆の基礎データを収集できる。

5 むすび

当社インバータのラインアップの中から特長的な製品と故障予兆診断のデータ収集システムを紹介した。熟練の設備保全技術者の減少が予想される中、インバータで設備の状態計測ができるシステム

は、安価な設備予兆診断システムの構築に貢献できると考える。

今後もお客様の要求に応え、更なる高機能な製品を製品化していく所存である。

- ・ Ethernetは、富士ゼロックス株の登録商標である。
- ・ 本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

(注記)

注1. CEマーク：商品が全ての欧州連合（EU）加盟国の基準を満たすものに付けられる基準適合マーク

《執筆者紹介》



庄司 豊
Yutaka Shoji

電動力応用事業部インバータ技術部
電動力応用製品のエンジニアリング業務に従事



犀藤 基
Hajime Saito

社会システム事業部技術部
電動力応用製品のエンジニアリング業務に従事



宮本 恭昌
Yasumasa Miyamoto

電動力応用事業部インバータ技術部
インバータに関する研究開発に従事



永田 祥久
Yoshihisa Nagata

水インフラシステム事業部技術部
水処理設備のエンジニアリング業務に従事