

周囲環境との調和を目指すパワーエレクトロニクス

Power Electronics Aiming at Environmental Harmony

浜口 昌弘

HAMAGUCHI Masahiro

宮崎 雅徳

MIYAZAKI Masanori

太田 錦弥

OHTA Kinya

パワーエレクトロニクス装置は、システムの制御性向上と効率向上の目的から広く用いられている。一方、そのスイッチング動作によるノイズ、また整流回路からの高調波などにより周囲環境に悪影響を与えることがある。近年、周囲環境との調和の要求は強まっており、パワーエレクトロニクス装置を開発・設計するうえでは十分な対策が求められる。

当社はこのようなニーズに応えるために、各種技術により、パワーエレクトロニクス装置が周囲環境へ与える影響を許容レベルまでに抑制している。当社は、これら環境調和技術開発を今後ともに継続することにより、パワーエレクトロニクス装置の広範な適用を可能としていく。

Power electronics equipment is widely used to increase controllability and improve efficiency of total systems. On the other hand, in some cases power electronics equipment may have a harmful effect on the environment due to electromagnetic noise induced by the switching action of power devices and to harmonics generated by rectifier circuits. With the recent strong demand for harmony with the environment, effective countermeasures are required in the design and development of power electronics equipment.

Toshiba has been introducing various technologies in response to these requirements and has achieved the suppression of harmful effects of power electronics equipment down to permitted levels. We intend to enable the wide application of power electronics equipment by continuously developing technologies for harmony with the environment.

1 まえがき

現代の社会生活は、便利なエネルギー源である電力を使用した電気機器を基盤として成り立っている。更に、最近では、情報化社会の進展に伴い、パソコンやサーバなどのエレクトロニクス機器が、社会基盤に深く入り込んできた。また、IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)、IEGT(Injection Enhanced Gate Transistor)などの電力用半導体素子と適用技術の発展に伴い、パワーエレクトロニクス機器も、社会基盤の中で広く使用されるようになっており、事業所や家庭において、複数の電気機器、エレクトロニクス機器、パワーエレクトロニクス機器が共存し、その密度も高くなってきた。

当社は、これら機器を取り巻く周囲環境の状況変化をいち早くとらえ、周囲環境と調和したパワーエレクトロニクス機器の開発、パワーエレクトロニクス機器を活用した電源環境改善などに取り組んでいる。

ここでは周囲環境に関する関連規格、パワーエレクトロニクス機器に使用する材料の環境負荷軽減の施策例について述べる。また、当社の取組み例として、汎用インバータのEMC(電磁両立性)対策事例、モータドライブ装置の高調波対策事例、及び電源の高調波や電圧変動を抑制する静止型

無効電力補償装置 SVCSTM などについても述べる。

2 周囲環境にかかわる規格と部品レベルの環境負荷低減対策

2.1 EMC規格の動向と対策事例

EMCは外部からの影響を受けて機器自身が誤動作するEMS(電磁感受性:イミュニティ)と、外部の装置へ影響を及ぼすEMI(電磁妨害:エミッション)に大別される。イミュニティについては、各種ノイズに対し誤動作しないことが要求され、耐ノイズ設計の例として、基板パターン設計(パターン引回し)や、フィルタ回路などが挙げられる。一方、エミッションについては、技術進歩により実現された新しい素子の高速スイッチング特性により、対策の重要性が増している。この対策としては、入出力の主回路に、様々なノイズ除去装置、部品(フィルタ部品)を取り付けるのが一般的である。

EMCに関する代表的な規格を表1に示す。国際規格としては、IEC(国際電気標準会議)61000シリーズとCISPR(国際無線障害特別委員会)が広く知られている。CISPRは9kHz以上の高周波エミッションのみを対象とし、それ以外の事項はIEC 61000がカバーしている。これらは特定の製品に対する規格ではなく、基本規格又は共通規格と位置づけ

表1. パワーエレクトロニクス機器のEMC関連規格
Electromagnetic compatibility (EMC) standards for power electronics equipment

種類	規格名	規定内容	審議組織	
国際	基本規格	CISPR11/22	高周波エミッション	CISPR
		IEC 61000-1	電磁両立性と安全性	
		IEC 61000-2	環境分類	
		IEC 61000-3	低周波エミッションの限度値	
		IEC 61000-4	イミュニティ試験法と測定法	
	IEC 61000-5	対策法と設置法のガイドライン	TC77(EMC)	
	共通規格	IEC 61000-6		住宅環境・商業環境・工業環境の許容値
製品規格	IEC 61800-3	ドライブ装置(電気鉄道を除く)	TC22/SC22G	
	IEC 62040-2	無停電電源装置	TC22/SC22H	
国内	基本規格	家電・汎用電気品高調波抑制対策ガイドライン(20A以下の電気・電子機器)	電気学会 SC77A 国内委員会	

られており、個別の製品規格は、独自に限度値を緩和することが許されず、共通規格の範囲内で制定されている。これらの国内規格化も進行中である。

近年、IGBTなどの高速スイッチング素子が普及するにつれて、インバータで駆動される電動機のベアリング電食やスイッチングサージによる電動機絶縁の破壊現象が発生するようになった。このような状況を踏まえ、機器設計や設置工事などを規格化してユーザーに情報提供する動きが出ている。

NEMA(全米電気製造業者協会)では、アプリケーションガイドを発行してドライブ装置ユーザーの便宜を図っており、IECも、誘導電動機にインバータを適用する場合の注意点をまとめたTR(技術報告)を作成中である。当社も、これらの規格を待つことなく、電食対策を目的としてインバータ出力電圧のdv/dt抑制技術を一部の製品に適用し始めている。

(この特集の論文“パワーエレクトロニクスの技術動向と今後の展望”の囲み記事:コモンモードトランス導入の効果, p.5を参照)

2.2 高調波の規制

1994年、当時の通商産業省から“高圧又は特別高圧で受電する需要家の高調波抑制対策ガイドライン”が出され、需要家に対する高調波の規制レベルが明確になった。これは、各需要家の電源受電点に対して、40次までの高調波電流の上限値を定めるものである。

一方、国際的にはIEEE(米国電気電子技術者協会)519が広く適用されており、各機器の接続点に対する電流歪(ひずみ)を規制している。更に、16A以下の小容量の機器に対して、IEC 61000-3-2が厳しい高調波限度値を設定しており、

特にドライブ装置において、技術的に高いハードルとなっている。

2.3 部品・素材の省資源、環境負荷軽減に対する取組み
パワーエレクトロニクス機器には様々な部品や素材を使用しているが、それらの部品・素材や加工技術についても、省資源、環境負荷軽減の試みを一部で始めている。主な取組みは次のとおりである。

- (1) エコ電線の採用(塩素・鉛フリー,リサイクル可能)
- (2) めっきレス電線の採用(めっき作業による環境汚染リスク軽減)
- (3) 絶縁材の塩化ビニルレス(塩素フリー)
- (4) 半導体,抵抗などの発熱体を冷却する冷媒のフロンレス(オゾン破壊ガス対策)
- (5) 電解コンデンサレスによる基板の長寿命設計
- (6) 基板製造工程の洗浄レス(オゾン破壊ガス対策)
- (7) 鉛フリーはんだの採用(鉛フリー)

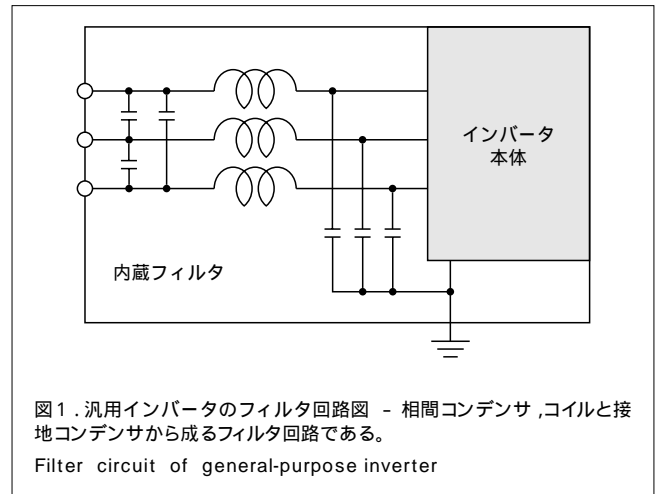
これらの取組みの多くは、材料コストや製造コストの上昇要因となるが、今後このような動きが広がることにより、コストの問題は解消していくものと考えられる。また、適用においては、部品や製造工程の変化に伴う信頼性低下を回避することも重要な課題であり、当社では採用に先立って長期的な信頼性の確認を図っている。

3 汎用インバータのEMC対策

3.1 フィルタ内蔵技術

当社汎用インバータは、他社に先駆け、TOSVERT™ VFS7シリーズ以降の機種にフィルタを標準内蔵させた。この技術は、各方面から高い評価を受けている。

3.1.1 構成回路 例として汎用インバータの入力側に、従来外部に取り付けていたLC(コイル,コンデンサ)フィルタ回路を、取り込んだ回路を図1に示す。



3.1.2 内部構造 フィルタ内蔵の汎用インバータは、フィルタ効果を維持しサイズを縮小したことがポイントであり、効果を低減させないために、以下の設計が行われている。

- (1) フィルタ部への入力ラインと出力ラインを離す
- (2) フィルタ回路のアースラインの強化

フィルタ内蔵機種の一例として高機能 TOSVERT™ VFA7シリーズの外観を図2に示す。左奥の部分の実装基板に、フィルタを内蔵している。

3.1.3 熱対策 発熱部品であるフィルタ回路のコイルは、内蔵に対し注意を要する。巻線抵抗の小さいコイルを選定するとともに、フィルタ効果を維持しつつ、この発熱の影響を最小限にするため最適配置設計を行っている。

3.2 ノイズ低減効果

LCフィルタは入力電源側への伝導ノイズ、及び電波障害の

放射ノイズに効果があり、またフェライトコアは電波障害の放射ノイズに効果がある。当社LCフィルタ内蔵インバータの雑音端子電圧(伝導ノイズ)測定結果を図3に示す。小さなスペースへ収納した小型フィルタにもかかわらず、十分に規格をクリアするノイズレベルとなっている。

3.3 課題

汎用インバータは、今後も更なる小型化が要求されており、この要求に対してはフィルタ内蔵技術をいかに織り込んでいくかがポイントと言える。またフィルタ回路を内蔵した場合、接地コンデンサの影響で大地への漏れ電流が大きくなることもある。入力側の装置への影響や人体に対する影響を考慮して漏れ電流を小さく抑える必要があり、最適なフィルタ設計に注力している。

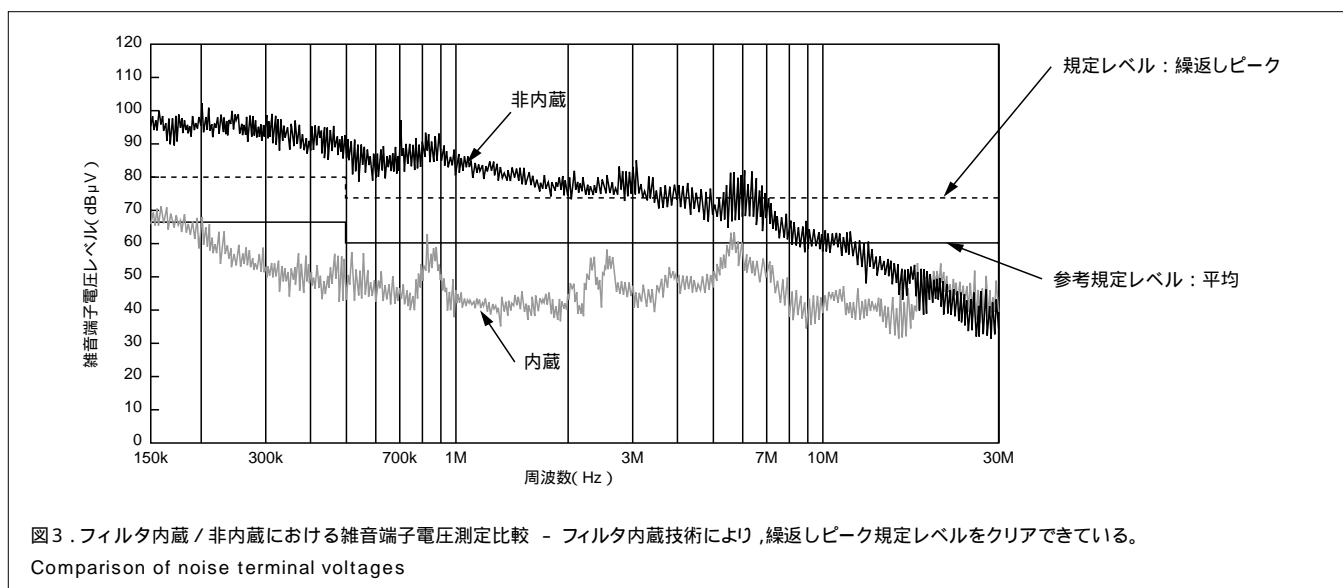
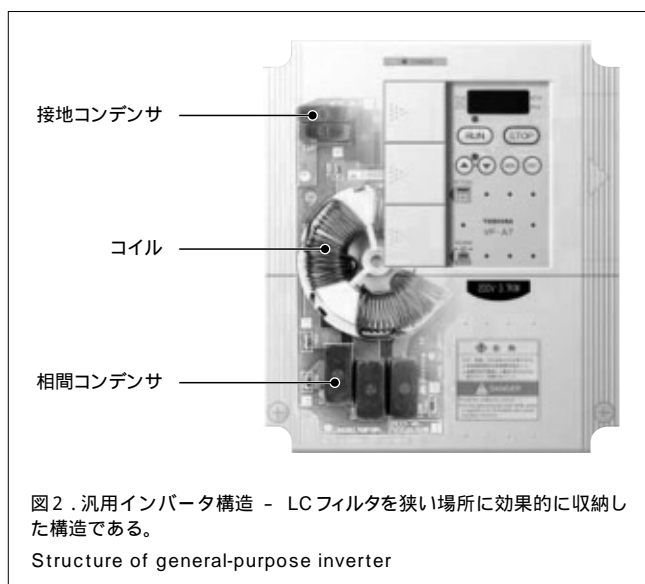
4 ドライブ装置の高調波対策

電源高調波をあるレベル以下に抑えることは、電力システムを安定的に運用していくうえで不可欠であり、産業用ドライブ装置のような比較的受電容量の大きな需要家で使用される機器であっても、電源に優しいドライブ装置を求めるニーズが高まっている。

当社はこれに応えるため、電源の高調波を軽減したドライブ装置を製品化している。

4.1 高圧 IGBT インバータ TOSVERT™-MV

TOSVERT™-MVは、比較的小容量のIGBTインバータユニットを多数直列接続して高圧インバータを構成する。出力電圧の波形が極めて正弦波に近く、電動機に優しいだけでなく、電源側に対しても高調波の少ないインバータを実現している。図4はその例であり、18パルス相当の入力電流及び電圧波形となっている。



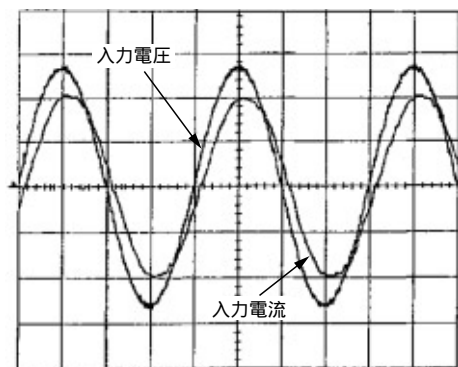


図4 . TOSVERT™-MVの電源波形 - ほとんど正弦波に近い入力電圧・電流となっている。

Input voltage and current waveform of TOSVERT™-MV

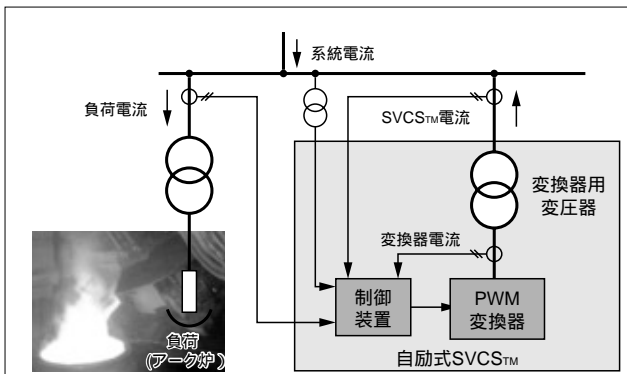


図5 . SVCS™の構成と適用例 - SVCS™はアーク炉のフリッカ防止などに用いられる。

Structure and adaptation of Static Var Compensation System (SVCS™)

4.2 PWMコンバータ

AC(交流)ドライブを多数使用する産業プラントでは、インバータの電源を直流入力とし、複数のインバータを1台の共通整流装置により給電することが多い。従来、このような共通整流装置にはサイリスタ整流器やダイオード整流器が一般的であったが、高調波対策のためPWMコンバータが採用されることが増えている。また、PWMコンバータを使用することで、低次高調波を抑制すると同時に、電源力率をほぼ1に保つことが可能となる。

インバータの容量や電圧レベルにより、PWMコンバータも400VクラスのIGBTコンバータから、3kVクラスのIEGTコンバータまでラインアップを広げ、対応している。

5 電源環境を改善するSVCS™

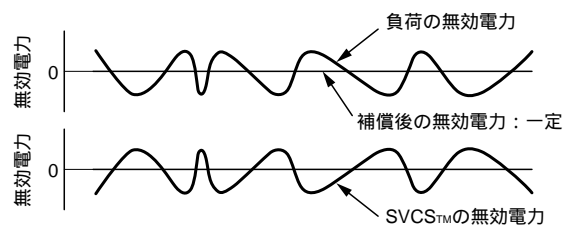
パワーエレクトロニクス装置を積極的に活用し、電源環境上の問題である高調波、電圧変動(フリッカ)などの抑制を行い、電源環境の改善を行う事例について述べる。

5.1 IEGTを適用したSVCS™

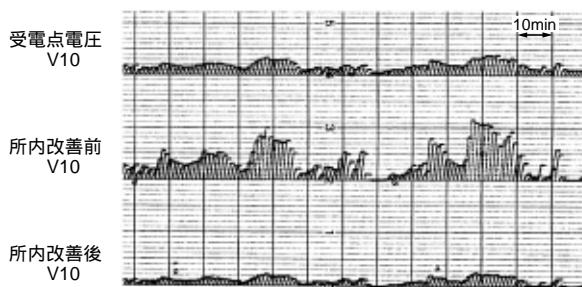
当社ではIEGTを適用した新しい自動式SVCS™の開発を行い、無効電力変動に起因する電源電圧変動の抑制、アーク炉により発生するフリッカの抑制に適用している。

変動の激しい負荷があると、無効電力の変動による電圧変動、低次高調波による電圧波形歪などにより、照明器具の照度が変化し、人間の目にちらつきとして感じられる。

SVCS™の構成と適用例を図5に、動作例とフリッカ抑制効果例を図6に示す。負荷電力の変動成分を検出し、変動を打ち消すように変換器から無効電力を出力する。この動作により、系統から見た電圧変動、フリッカを抑制する。この例では、自動式SVCS™によりフリッカ量を示すV10が、約1/3程度に抑制される効果が得られた。



(a) 負荷及びSVCS™の無効電力の動き



(b) V10の低減例

図6 . フリッカ抑制の原理とフィールドデータ例 - SVCS™によりフリッカは約1/3に低減できている。

Principle of flicker reduction and example of field data

5.2 中容量自動式SVCS™

誘導発電機を用いた風力発電では、電力がそのまま交流系統に出力され、配電系統の末端に設置された場合には、発電電力変動により電圧変動が生じる場合がある。また、高速道路に設置されるトンネル送風機なども遠隔地に設置される場合には、起動時の突入電流による電圧変動が問題になる場合がある。

このような場合も自動式SVCS™が適用できる。風力発電の電力変動は比較的速く、また、変動量が不定であるので、進相コンデンサ制御、変圧器タップ制御などの従来方式では



図7. 風力用自励式 SVCS™ - 風力発電に SVCS™ を適用した例を示す。
Self-commutated SVCS™ for wind power plant

対応できず、高速応答、連続的に補償容量を制御可能である自励式 SVCS™ の適用が増えている。当社では IGBT 素子を適用し、500 kVA ~ 2,500 kVA までシリーズ化している。風力発電設備への適用例を図7に示す。

5.3 アクティブパワーフィルタ

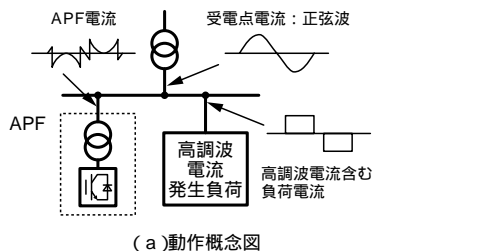
アクティブパワーフィルタ (APF) は、サイリスタ整流器などから発生する高調波対策用の装置である。アクティブフィル

タとも呼ばれるが、電子回路のアクティブフィルタと区別するため、電力を扱うので“パワー”を付けて、アクティブパワーフィルタと呼ばれる。

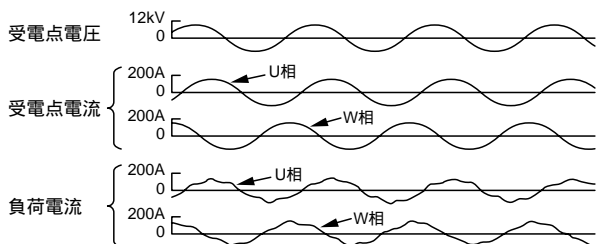
アクティブパワーフィルタは、負荷から発生する高調波電流成分の瞬時値を検出し、その高調波電流成分と逆位相の高調波電流成分を出力する。受電点では、負荷電流とアクティブパワーフィルタの補償電流が合成され、電流波形が正弦波に近づく。この原理に基づくアクティブパワーフィルタの動作波形例を図8に示す。受電点の電流が正弦波になっており、その結果、受電点での電圧も正弦波となり、電源設備から高調波流出が抑制されていることがわかる。

6 あとがき

パワーエレクトロニクス機器の周囲環境との調和は、以上述べたように技術的には解決されてきた。一方、パワーエレクトロニクス機器は制御性能、省エネルギーなどの観点から、今後適用拡大が期待されている。しかし環境との調和のために、装置が大型化し、経済的な負担をユーザーに強いることになると適用拡大は難しくなる。パワーエレクトロニクス機器の適用拡大のためには、今後、高性能で安価な環境適合技術が求められる。



(a) 動作概念図



(b) 効果例

図8. アクティブパワーフィルタの動作 - 高調波成分と逆相に高調波電流を注入し、高調波の流出を抑制する。
Operation of active power filter



浜口 昌弘 HAMAGUCHI Masahiro

電力システム社 電力・産業システム技術開発センター 産業システム・パワエレ開発部長。産業用電機機器の開発・設計に従事。電気学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



宮崎 雅徳 MIYAZAKI Masanori

社会インフラシステム社 府中社会インフラシステム工場 ドライブシステム部主査。産業用ドライブシステムの開発・設計に従事。電気学会会員。

Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems



太田 錦弥 OHTA Kinya

東芝シュネデール・インバータ(株) エレクトロニクス機器開発部 開発・設計グループ。汎用インバータの開発・設計に従事。

Toshiba Schneider Inverter Corp.