

DC ブラシレス圧縮機駆動用インバータ装置 “ IPDU™ ”

IPDU™ Inverter Devices for DC Brushless Motors

金澤 秀俊

KANAZAWA Hidetoshi

田熊 順一

TAKUMA Junichi

福長 英聡

FUKUNAGA Hidetoshi

省エネルギーに極めて効果が高い直流(DC)ブラシレス(以下、DCBLと略記)圧縮機を駆動する外販用インバータ装置“IPDU™(Intelligent Power Drive Unit)”をシリーズ化した。独自技術である“部分スイッチング方式の高力率制御”を開発し、IEC(国際電気標準会議)高調波規制を低損失、低ノイズ、低コストでクリアした。また、DCBLモータ駆動方式で先進のベクトル制御を搭載し、圧縮機の効率向上と騒音低減を図っている。

エアコン用インバータをベースにしたIPDU™は、コストパフォーマンスに優れており、圧縮機駆動のみならず種々のDCBLモータ応用製品(ファンモータ、ポンプモータ)への展開が期待できる。

Toshiba Carrier Corp. has developed IPDU™ (Intelligent Power Drive Unit) inverter devices to realize energy saving for DC brushless compressor motors. The IPDU™ features original high power factor control technology conforming to the International Electrotechnical Commission (IEC) specifications.

This paper describes IPDU™ inverter devices for DC brushless motors, as well as compressor efficiency improvement by advanced vector motor control. Furthermore, the IPDU™ based on the inverter for air conditioners can be applied not only to compressor drives, but also to DC brushless motor drives in various industries.

1 まえがき

あらゆる産業分野で省エネルギー(以下、省エネと略記)を実現するため、モータのインバータ駆動が主流となっている。しかし、インバータ駆動から更なる省エネを行うには、駆動するモータを誘導電動機からDCBLモータにする必要がある。

既に、エアコンにおいては95%以上がインバータエアコン化されているが、2003年10月から省エネ法が施行されることで、ほぼすべての機種がDCBLモータ搭載圧縮機になると予想されている。

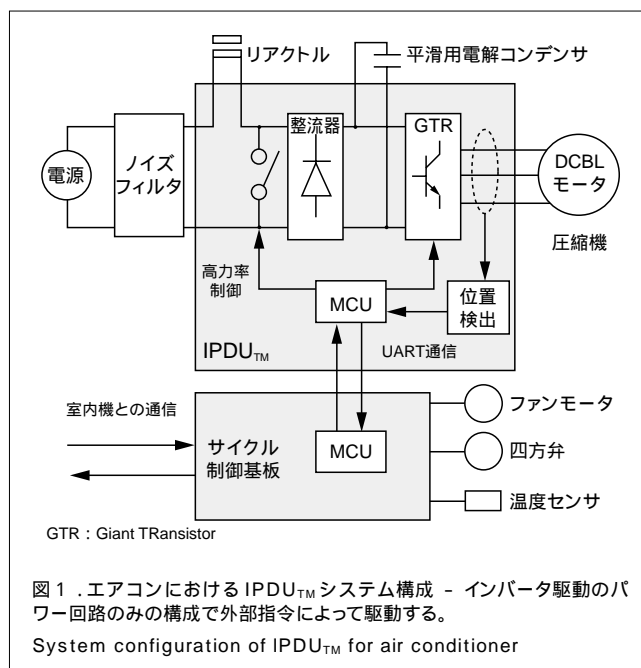
家電製品における省エネ化は大きな流れであり、冷蔵庫や洗濯機においてもDCBLモータが主流になっている。

当社はエアコン用で開発したインバータ装置から、冷凍サイクル制御部分を除いたDCBLモータ駆動部分をIPDU™として1999年から外販を開始している。

今回開発したIPDU™は、輸出をターゲットにしたIEC高調波規制に対応する高力率制御を搭載している。更に、シングルロータリ圧縮機を低振動に抑えるトルク制御技術を開発した。また、平成13年度の省エネ大賞“資源エネルギー庁長官賞”を受賞したエアコン、“スーパーパワーエコBIG™”で採用されたIPDU™の多数台制御についても述べる。

2 IPDU™のシステム構成

エアコンにおけるIPDU™のシステム構成を図1に示す。IPDU™内には主回路のほかDCBLモータ駆動を制御するMCU(Micro Controller Unit)があり、外部の制御基板から



の指令に基づき運転を行う。すなわち、IPDU_{TM}はシステムの中に組み込まれて機能する部品である。

また、機種に応じてノイズフィルタなどのIPDU_{TM}構成部品が異なるが、MCU間通信(UART: Universal Asynchronous Receiver and Transmit)は同一である。そのため、一度サイクル制御基板を設計すると、後はIPDU_{TM}を交換するだけで容量の異なる圧縮機を採用することができ、早期のラインアップ拡大を成し得ることができる。

3 開発のポイント

3.1 部分スイッチング方式によるIEC規格対応

多パルス化の技術を用いて、部分スイッチング方式によりIEC電源高調波電流規格(IEC61000-3-2高調波クラスA)に適合するIPDU_{TM}を開発した。

開発したIPDU-2D16DA1の仕様を表1に示す。1馬力の圧縮機駆動用ドライバとして、15Aの第3世代IGBT(絶縁ゲートバイポーラトランジスタ)を採用している。また、MCUにモータ駆動回路を内蔵したTMP88CH47Nを使い、同時に高力率制御もソフトウェアで実現している。

IPDU_{TM}と力率改善用リアクトルの外観を図2に示す。部分スイッチング方式のIPDU_{TM}は小型化を実現でき、しかも従来と同じEIコアのリアクトルを流用できるメリットがある。

入力力率改善方式の比較を図3に示す。従来、IEC高調波規格を満足するためには、アクティブフィルタ方式が採用

表1 . IPDU-2D16DA1仕様

Specifications of IPDU_{TM}

項目	仕様
定格電源電圧	1 AC200V ~ 240V
最大入力電流	10A
圧縮機駆動方式	PAM + PWM
印刷回路基板寸法	144 x 162 mm
力率改善方式	部分スイッチング方式
IGBT	MP6761(当社製)
MCU	TMP88CH47N(当社製)

PAM : パルス振幅変調 PWM : パルス幅変調

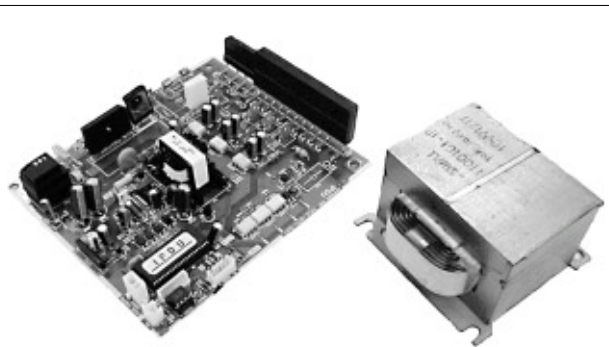


図2 . IPDU-2D16DA1・リアクトル外観 - 小型化を実現しパッシブ方式のリアクトルが流用できる。

IPDU_{TM} and reactor

	パッシブ方式(従来方式)	アクティブフィルタ方式	部分スイッチング方式
回路構成			
電流波形 (スイッチングパルス数)			
高調波電流	x		
スイッチングロス			
発生ノイズ			

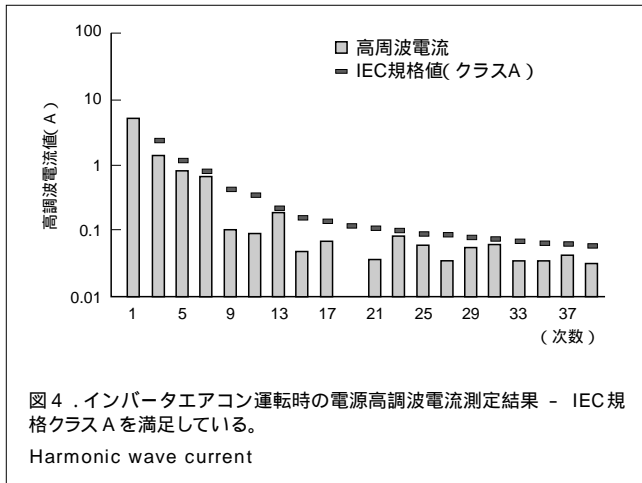
図3 . 入力力率改善方法の比較 - 部分スイッチング方式は2パルスで力率を改善している。

Comparison of power factor correction

されていた。しかし、アクティブフィルタ方式は15 kHz ~ 20 kHzの高速スイッチングを行うことで電流波形を改善するため、スイッチングによる損失と発熱が増大し、しかもノイズ抑制部品を多く必要とするため、コストアップの要因になっていた。

部分スイッチング方式は、整流回路の前に昇圧チョッパ回路を形成し、電源のゼロクロス点から2パルスのスイッチングを行うことで、入力電流波形を改善している。リアクトルのインダクタンス値は、230 V電源で20 mH程度必要とする。インダクタンスはスイッチングパルスを増やすことで下げることができるが、スイッチングロスとノイズが増加するため、IPDU_{TM}はできる限り少ないスイッチングで規格を満足する2パルスを選定した。

部分スイッチング方式でインバータエアコン(RAS-10UAV-E)運転時の高調波電流測定結果を図4に示す。スイッチングパルス2回でIEC規格を満足しているのがわかる。



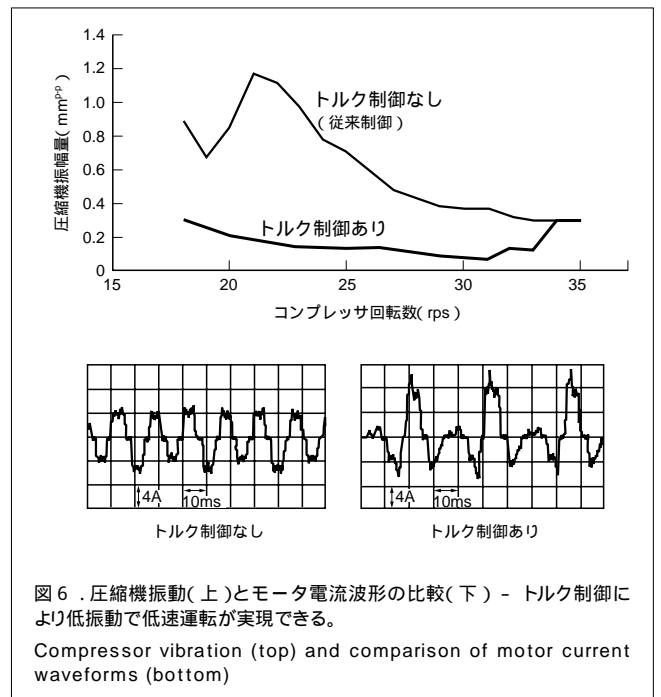
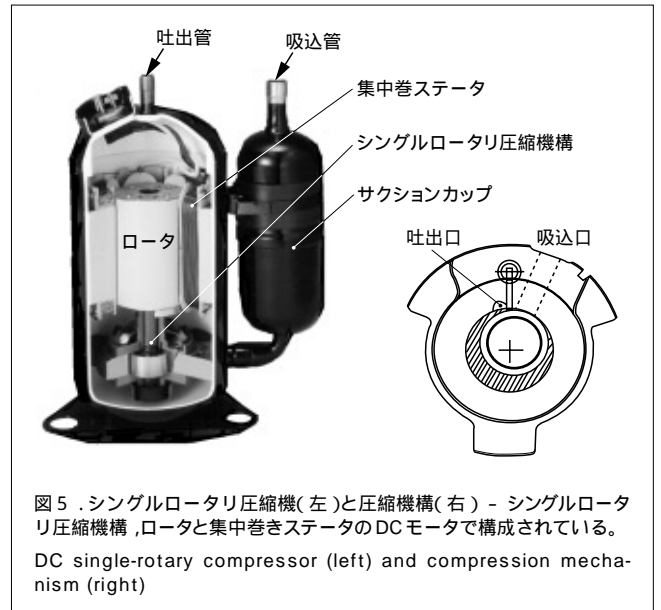
3.2 圧縮機用トルク制御

シングルロータリ圧縮機の外観及び圧縮機構を図5に示す。シングルロータリ圧縮機は、ロータ1回転中に吸入時と吐出時でトルク変動があるため、速度むらが発生する。このため従来制御では、30 rps以下の低速運転時に圧縮機の振動が非常に大きくなるという問題点があった。

そのため、ロータ位置に応じて負荷に対応するトルクを印加させるトルク制御をIPDU_{TM}で実施することにより、圧縮機の低速運転時における振動低減を実現した。

運転周波数に対する圧縮機サクシオンカップ中央のラジアル方向の変位(振幅)、及びモータ電流波形を図6に示す。従来制御では振動のため、低速運転は30 rpsまでが限界であったのに対し、トルク制御を実施することにより振幅が0.3 mm以下に抑えられ、18 rpsまでの低速運転を実現することが可能となった。

この制御の導入により、シングルロータリ圧縮機でもツイン



ロータリに近づく運転領域の拡大を実現することができた。

3.3 3シャント方式によるベクトル制御

3シャント方式によるベクトル制御の回路ブロックを図7に示す。ベクトル制御で必要とするモータ電流(I_u, I_v, I_w)の検出は、ホールCT(カレントトランス)を使って行う方式が現在主流である。しかしホールCTは高価なため、今回新たにトランジスタのスイッチングタイミングでモータ電流を検出(モータ駆動用トランジスタX, Y, Zのエミッタに直列接続した三つのシャント抵抗(R_u, R_v, R_w)で電流を検出)する方式を開発した。

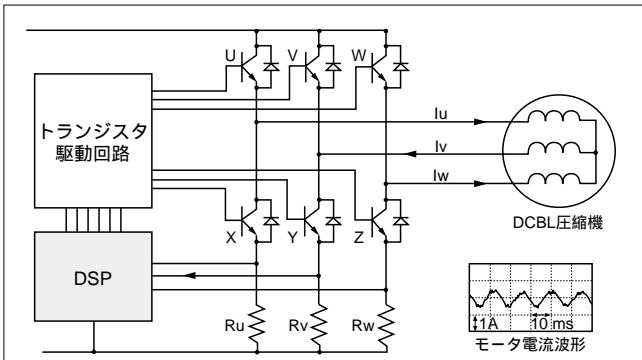


図7. 3シャント方式によるベクトル制御駆動回路 - モータ電流をシャント抵抗で検出し, DSPでベクトル演算する。
Vector control drive circuit diagram

3シャント方式の特長は, ソフトウェアが複雑になるが, 安価なシャント抵抗でベクトル制御を実現できる点にある。電流検出に抵抗を用いるため, 発熱ロスの少ない400 Wクラスの小容量のインバータで採用した。

ベクトル制御は, 瞬時にモータ電流を検出して演算処理を行わなければならないため, 高速演算できるDSP (Digital Signal Processor) を選定した。

ベクトル制御を搭載したIPDU™と駆動する冷蔵庫用圧縮機を図8に示す。3シャント方式はパワー部と制御回路電源が非絶縁となるため, 小型化を実現できる。また, このIPDU™は電源DC280 V入力となっており, グローバル化を考慮している。



図8. 冷蔵庫用圧縮機とIPDU™ - 3シャント方式の採用でIPDU™基板の外形寸法は95 x 97.5 mmと従来に比べ約50%小型化できた。
Compressor and IPDU™ for refrigerator

IPDU™による冷蔵庫用モータの効率比較を図9に示す。(a)が従来仕様の分布巻モータと120°通電制御の特性であり (b)が集中巻モータとベクトル制御(180°通電)の特性である。モータと駆動制御を変えることにより, モータ効率を2~3%アップさせることができた。

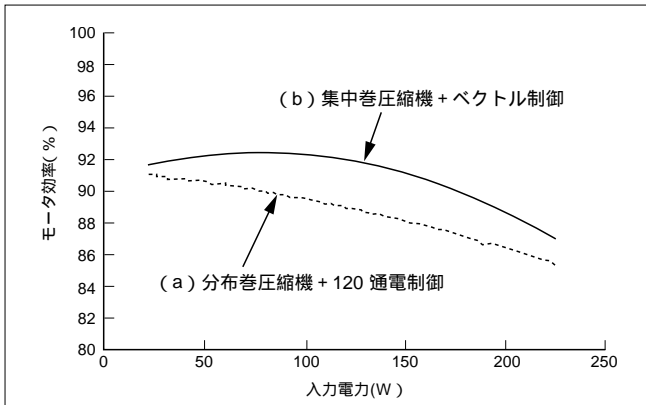


図9. モータ効率比較(30 rps時) - 集中巻モータ(b)は分布巻モータ(従来)(a)に比べモータ効率が2~3%上がる。
Comparison of motor efficiency (at 30 rps)

4 IPDU™ 採用事例

IPDU™はサイクル制御基板からの指令で運転されているが, 一つのサイクル制御基板で, 最大7台を接続できるバス機能を持っている。

IPDU™を複数台接続したエアコン, スーパーパワーエコBIG™シリーズの通信システムを図10に示す。この製品は

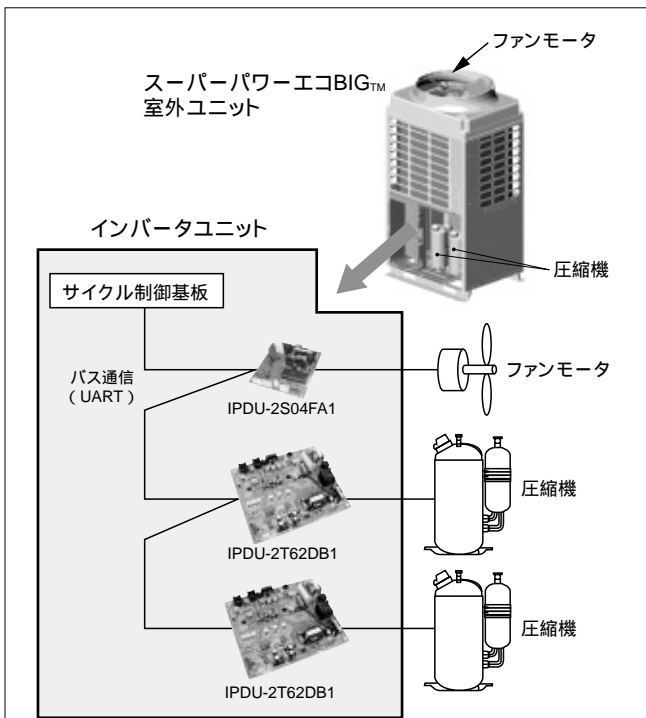


図10. スーパーパワーエコBIG™のIPDU™通信システム - IPDU™を複数台接続し, 高効率DCBLモータを制御することで業界最高のCOPを達成した。
IPDU™ communication system

2002年2月に量産を開始し、店舗・オフィス用8/10馬力クラスのエアコンとして、業界最高のエネルギー消費効率(COP) 3.90を達成した。

この高COPを実現するため、新冷媒R410Aによる冷凍サイクルシステム、DCBLモータ搭載のツインロタリ圧縮機、及び複数台のIPDUTM駆動システムを開発した。

図10からわかるように、室外機において圧縮機2台とファンモータ1台の駆動を3台のIPDUTMで行っている。このように複数の種類の異なるIPDUTMを組み合わせることで、システムの拡大を容易に実現することができ、しかも開発期間を大幅に短縮することができた。

5 あとがき

エアコンをはじめとするあらゆる産業で、DCBLモータによる省エネが大きな流れとなってきた。

現在、DCBLモータを設計製造するメーカーは多数あるが、それに対応するインバータ駆動部を外販しているメーカーは少ない。DCBLモータ駆動技術が難しいのは、ロータの磁石形状とモータ特性に合わせ、個別にインバータ制御ソフトウェアのチューニングが必要となるからである。

当社はエアコン用圧縮機駆動で培ったインバータ技術で、DCBLモータによる省エネを実現したいユーザーに対し、IPDUTMによるソリューションを提案していきたい。

文献

- (1) 植杉通可.“ 力率改善型エアコン用単相整流電圧コンバータ回路”. 電気学会D分冊, 119-D, 5, 1999-5, p.592 - 598.
- (2) 金澤秀俊.“ 低損失・低ノイズ・低コストを実現したエアコン用高力率インバータの開発”. 1999年モータシンポジウム. JMA Techno-Frontier Week 99, 1999-4, p.B2-1-1 - B2-1-11.
- (3) 蛭間淳之.“ エアコンのパワーエレクトロニクス最前線”. 第16回専門講習会テキスト, 2001年度16回パワーエレクトロニクス研究会. 2001-11, p.28 - 37.



金澤 秀俊 KANAZAWA Hidetoshi

東芝キャリア(株) エレクトロニクス開発部グループ長。インバータ装置の開発・設計、IPDU事業推進に従事。電気学会会員。

Toshiba Carrier Corp.



田熊 順一 TAKUMA Junichi

東芝キャリア(株) エレクトロニクス開発部主務。インバータ装置の開発・設計に従事。電気学会会員。

Toshiba Carrier Corp.



福長 英聡 FUKUNAGA Hidetoshi

東芝キャリアエンジニアリング(株) アドバンスト開発部主務。インバータ装置の開発・設計に従事。

Toshiba Carrier Engineering Corp.