

エアコン用インバータ装置の省エネ技術

Energy-Saving Technologies for Advanced Air-Conditioner Inverter System

遠藤 隆久 温品 治信 清水 慎也

■ ENDO Takahisa ■ NUKUSHINA Harunobu ■ SHIMIZU Shinya

省エネ法の基準見直しにより、エアコンの省エネ指標が“定格能力運転時のエネルギー消費効率”から実際の使用条件により近い“通年エネルギー消費効率”に変わった。これにより、インバータ装置には低出力電力時の省エネ性が要求される。

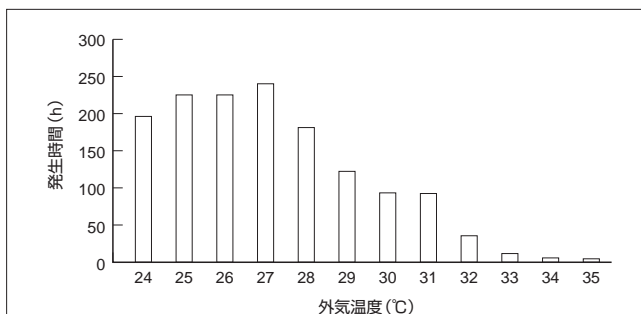
これに対応して東芝キャリア(株)は、業界で初めて^(注1)家庭用エアコンの室内機用ファンモータ駆動にセンサレスベクトル制御を採用し、低消費電力化を図った。また室外機では、業界で初めて^(注2)コンプレッサ駆動用スイッチング素子にSuper Junction構造のMOSFET(金属酸化膜半導体型電界効果トランジスタ)を用い、これを効率良く駆動する新技術“Smart・PRE・Switching™”方式を開発し低出力電力時の省エネ性を最大限に高めた。

Following an assessment review of the Energy Conservation Law, the index of the energy-saving guideline for air conditioners has been changed from the coefficient of performance at the rated operation to the annual performance factor, which is closer to the conditions of actual use. This change requires running efficiency at low output power to be improved, which can be realized by the development of an advanced inverter system.

In response to this requirement, Toshiba applied a sensorless vector control method to the fan motor drive system of the indoor unit for the first time in the industry, to achieve low power consumption. We also adopted a metal-oxide semiconductor field-effect transistor with a super junction structure (SJ-MOSFET) as the switching device for the compressor motor of the outdoor unit. This involved the development of Smart PRE Switching™, a technology to drive switching devices that optimizes inverter efficiency at low output power.

1 まえがき

家庭用エアコンの省エネ性能は、定格能力運転時のエネルギー消費効率(COP: Coefficient Of Performance)で評価されてきたが、ユーザーが実際に使用する環境での省エネ性は、定格よりも低い能力で運転効率を高めることが重要となる。



出典: JIS C 9612 “ルームエアコンディショナ”⁽¹⁾

図1. 東京地区における外気温度の発生時間 — 外気温度28℃以下の発生時間が長い。

Histogram of outdoor temperature showing total time duration on vertical axis

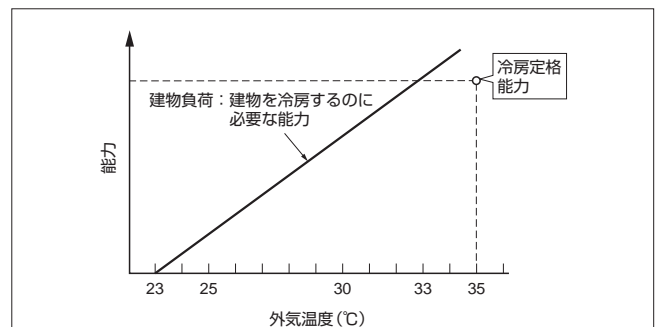


図2. 外気温度と冷房能力の関係 — 建物負荷は外気温度により大きく異なる。

Required cooling capacity vs. outdoor temperature

東京地区における冷房シーズン(6/2~9/21)の外気温度とその発生時間を図1に、一般的なルームエアコンにおける冷房運転時の外気温度とエアコン能力との関係を図2に示す⁽¹⁾。図1では、外気温度28℃以下の発生時間が冷房運転シーズンの70%以上を占めており、これを図2に当てはめると定格能力の半分(中間能力)以下での運転時間が長くなるのがわかる。また暖房運転シーズンにおいても同様で、この範囲での運転効率を向上させることが、ユーザーが実際に使用する環境で省エネ性をもっとも高めることになる。このことから、エアコンのコンプレッサやファンモータを駆動

(注1), (注2) 2006年10月時点, 当社調べ。

するインバータ装置も、出力電力の低い範囲での電力変換効率向上が重要となる。

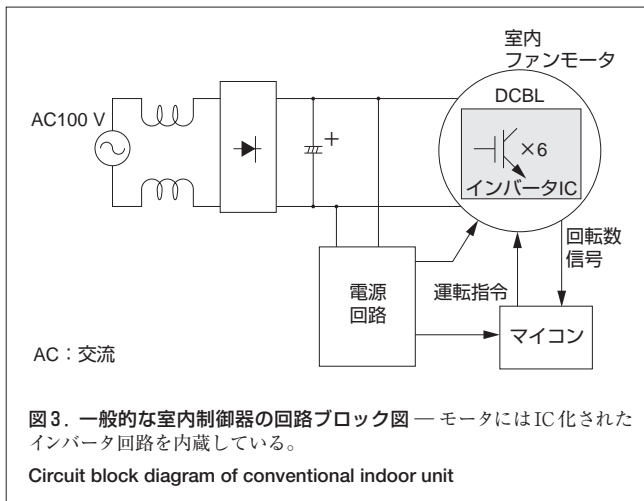
また、「エネルギー使用の合理化に関する法律」(省エネ法)は2006年9月から、省エネの指標が、従来の定格能力運転時のエネルギー消費効率から、1年間を通して、ある一定条件のもとにエアコンを運転したときの消費電力1kW当たりの冷房・暖房能力を表す通年エネルギー消費効率 (APF: Annual Performance Factor) に変わった。

2 室内機用ファンモータの省エネ技術

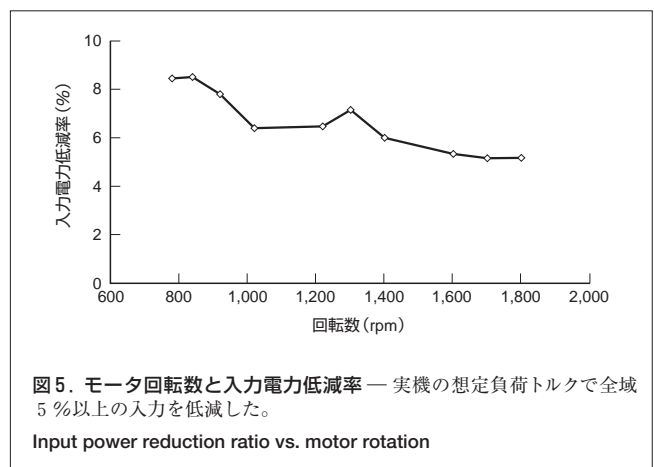
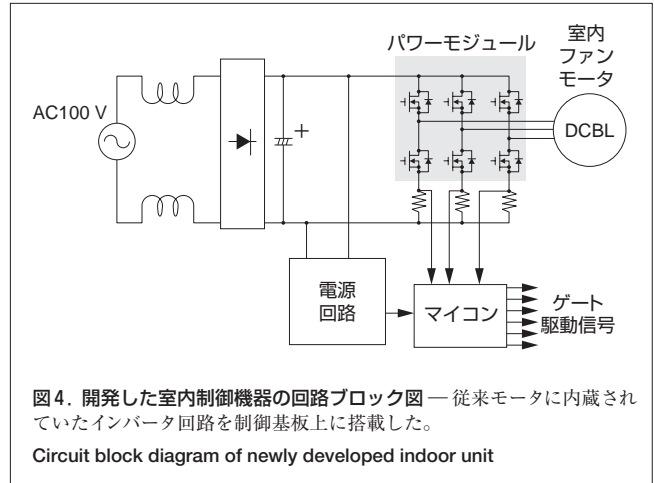
近年エアコンは、省エネ化の追求により、室内機のファンモータにも DCBL (DC (直流) ブラシレス) モータが採用され、インバータによる回転数可変制御が用いられている。

一般的な室内制御器の回路ブロック図を図3に示す。このモータには回転数検出用のホールセンサやIC化されたインバータ制御回路が内蔵されているのが一般的である。

制御方式は、主流の矩形(くけい)波通電を正弦波駆動とすることで製品の低消費電力化を追求するとともに、室外機のコンプレッサやファンモータで既に採用しているセンサレス制御による低コスト化も図った。



今回開発した回路ブロック図を図4に示す。この回路構成では、インバータ回路をモータに内蔵するのではなく、室内制御基板上に搭載した。また、そのスイッチング素子は、従来インバータICに内蔵されていたIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) に代わり、MOSFETのパワーモジュールを採用することでインバータ効率の向上を図った。このパワーモジュールは消費電流の小さい高耐圧ドライバを内蔵しているため、システムの低消費電流化や制御電源とモータ駆動回路のマイナス電位の共通化が可能となり、回路の簡素化が可能となった。



今回開発した制御システムの、ファンモータ回転数に対する従来システムからの入力電力低減率を図5に示す。図からわかるとおり、全域5%以上の入力低減を実現した。

この技術は普及型エアコンの室内機に搭載し、省エネ性だけでなく、低コスト化の二律背反の要求を実現した。

3 コンプレッサ駆動用の新高効率インバータ開発

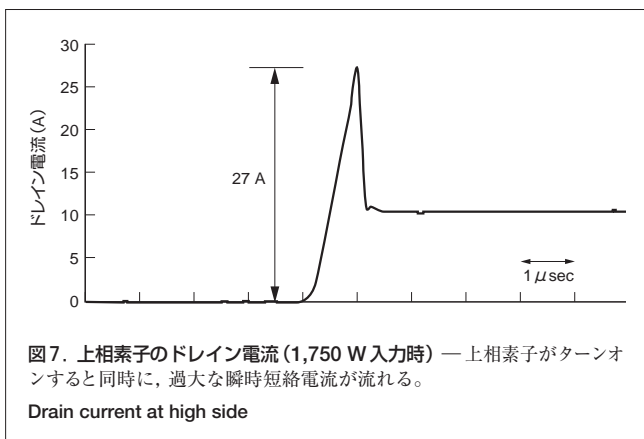
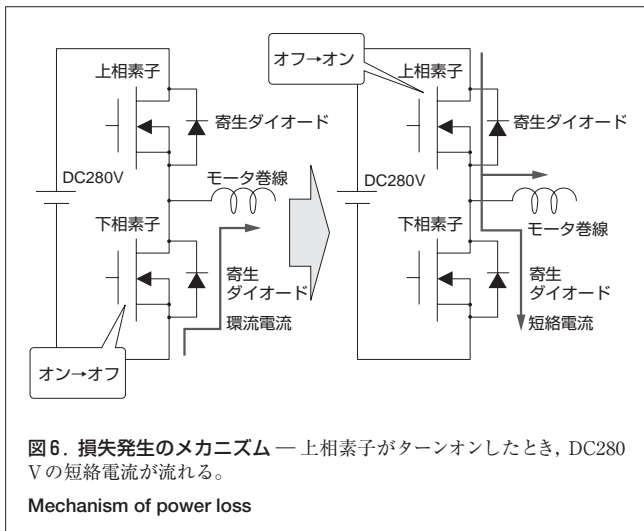
3.1 駆動デバイスの選定とその課題

前述のとおり、省エネ法の基準見直しにより、出力電力の低い範囲での電力変換効率が必要となる。この効率率は、パワースイッチングに用いるデバイスの性能によるところが大きく、従来はこのパワーデバイスにIGBTを用いてきた。

今回、このパワーデバイスの更なる低損失化を図るため、近年DC-DCコンバータなどで実績のあるSuper Junction構造のMOSFET (以下、SJ-MOSFETと略記)の応用を検討した。

SJ-MOSFETとは、シリコン基板上の素子に電流の流れやすい垂直方向の通流経路を構成したもので、シリコンの理論限界以上の低抵抗化を実現する素子である。

一般的なIGBTとSJ-MOSFETの導通性能を比較すると、



SJ-MOSFETは電流の低い領域での導通損失がIGBTより小さいため、出力電力の低い範囲での電力変換効率向上が可能になると期待した。

しかし、このSJ-MOSFETは内部寄生ダイオードの逆回復時間が遅く、コンプレッサモータなどの誘導成分を含む負荷に適用すると、寄生ダイオードの逆回復電荷を放出するまでの時間が長いために瞬時的な短絡電流が流れ、損失が大きくなるという課題があった。

この損失発生メカニズムを図6に示す。下相素子がターンオフした後、モータ巻線的作用により電流は下相素子の寄生ダイオードを通し還流する。次に上相素子がターンオンした瞬間、下相素子の寄生ダイオードの逆回復特性によりDC280 V間に瞬時的な短絡電流が流れる。

実際にSJ-MOSFETをコンプレッサ駆動用インバータに適用した場合の上相素子のドレイン電流を図7に示す。このような短絡電流がスイッチング損失となり、SJ-MOSFETは誘導負荷への適用が困難とされてきた。

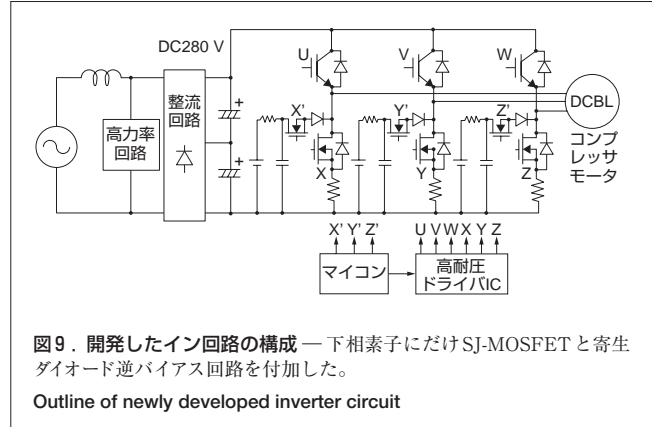
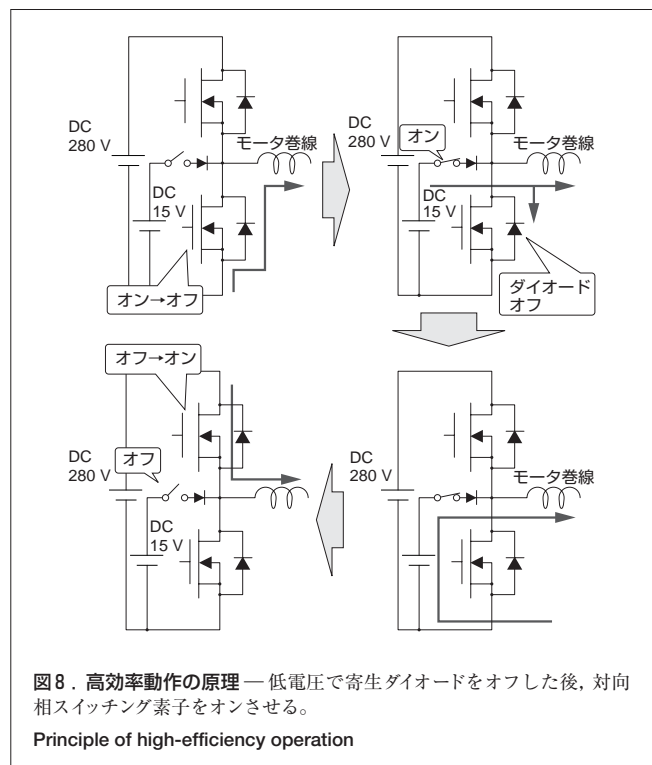
3.2 新回路方式とその効果の検証

SJ-MOSFETを誘導負荷に効率良く適用する手段として、

東芝 電力・社会システム技術開発センターで開発したりカバリアシスト方式が挙げられる⁽²⁾。これは、インバータの電力変換効率を極限まで高めることができる基礎技術である。

その動作原理を図8に示す。これは、下相素子がターンオフした後、寄生ダイオードをDC15 Vで逆バイアスしてダイオードを強制的にオフさせ、その後、上相素子がオンするように制御するものである。これにより、瞬時短絡電流に影響を与えていた寄生ダイオード印加電圧がDC280 VからDC15 Vとなるため、逆回復時に伴う損失は1/10以下に低減される。

今回、この技術を応用してエアコン用高効率駆動方式を新開発した。開発したインバータの回路構成を図9に示す。この回路構成は、インバータの小型化及び低コスト化の観点よ



り、次の特徴を持つ。

- (1) SJ-MOSFETは下相素子だけに適用し、二相変調下相還流PWM(パルス幅変調)制御により下相素子の電流通流率を高めた。
- (2) 下相素子寄生ダイオードを逆バイアスする回路をモジュール(Hybrid-IC)化した。
- (3) 下相素子寄生ダイオードを逆バイアスするための駆動信号は、室外機を制御するマイコンで生成した。

このインバータで測定した上相素子のコレクタ電流を図10に示す。図7で示した電流波形と比較すると、スイッチング損失が大幅低減している。

また、インバータ効率の測定結果を図11に示す⁽³⁾。この図からもわかるとおり、エアコンの運転頻度のもっとも高い領域でのインバータ効率が2~4ポイント向上しており、出力電力の低い範囲において業界最高^(注3)のインバータ効率を実現した。

開発したインバータ装置を図12に示す。この高効率技術は、“Smart・PRE・Switching™”の名称で、当社の最新の

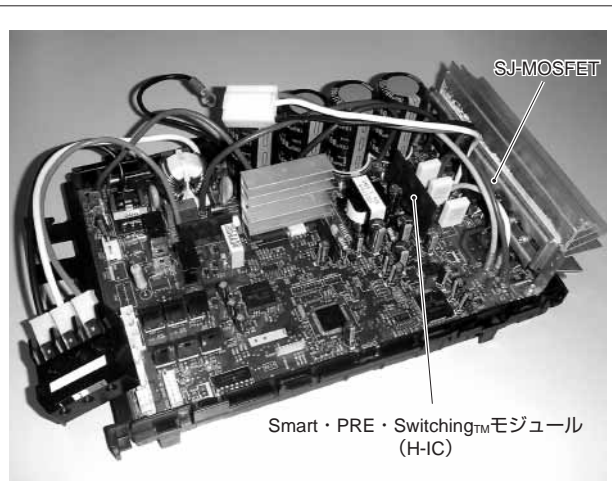


図12. インバータ装置—今回開発した省エネ技術を搭載し製品化した。
Appearance of newly developed inverter

フラグシップ機種“大清快™”シリーズに搭載している。

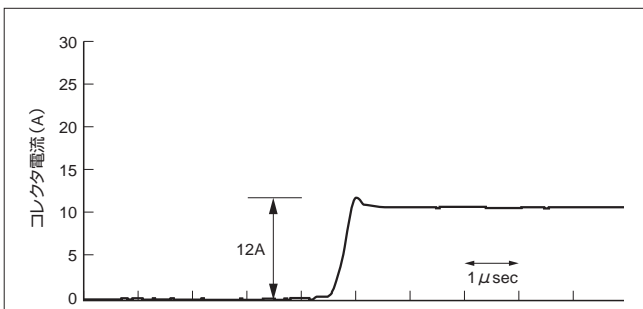


図10. 開発した回路での上相素子のコレクタ電流(1,750 W入力時)—瞬時短絡電流が激減している。
Collector current at high side of newly developed circuit

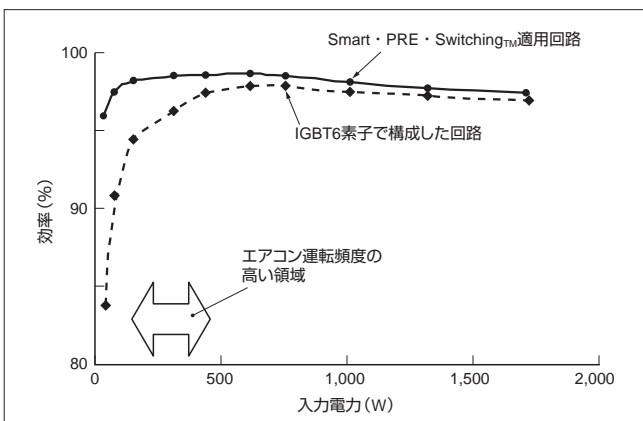


図11. インバータの効率比較(DC-AC部)—エアコンを運転する頻度の高い領域での効率が向上した。
Comparison of converter efficiency of conventional and newly developed circuits

(注3) 2006年10月時点、当社調べ。

4 あとがき

今回紹介した新技術のほかにも、エアコン用インバータ装置には様々な省エネ技術を採用している。エアコンは家庭における電力消費量の約20%を占めるとされており、更なる低消費電力化が期待されている。

今後も更に新しい制御技術の開発を推進し、地球温暖化防止に向け全社を挙げて貢献していきたい。

文献

- (1) JISC 9612, “ルームエアコンディショナ”, 日本規格協会, 2005.
- (2) 餅川 宏, ほか. 小型・低損失インバータを実現する新回路技術. 東芝レビュー, 61, 11, 2006, p.32-35.
- (3) 清水 慎也, ほか. “エアコン用高効率インバータ装置の開発と実用化”. 電気学会産業応用部門大会, 名古屋, 2006-08, 1-113.



遠藤 隆久 ENDO Takahisa

東芝キャリアエンジニアリング(株) 設計部主務。インバータ装置の開発・設計に従事。電気学会会員。
Toshiba Carrier Engineering Co., Ltd.



温品 治信 NUKUSHINA Harunobu

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



清水 慎也 SHIMIZU Shinya

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