

家電製品における最新のパワーエレクトロニクス技術

Latest Power Electronics Technologies in Household Electrical Appliances

松尾 勝春
MATSUO Katsuharu

田中 俊雅
TANAKA Toshimasa

前田 雅彦
MAEDA Masahiko

家電製品は、インバータ技術を採用することにより製品性能を飛躍的に向上させてきている。また、インバータ技術は、その高度化・低コスト化により家電製品への適用範囲を拡大し、能力可変とともに省エネルギー（以下、省エネと略記）、静音化、急速冷凍、大出力化などのメリット向上に必要な技術になっている。

当社は、インバータ技術を業界に先駆けて家電製品に採用し、業界をリードしてきた。最近では、超静音を実現したDD（ダイレクトドライブ）インバータ全自動洗濯機、食品鮮度保存の向上と省エネを実現したツイン冷却冷蔵庫、業界一の高効率・大出力を実現したハーフブリッジインバータ方式のオープンレンジなどを商品化し、市場で好評を得ている。

Inverter technologies are of great importance in recent household electrical appliances because of the significant progress made in enhancing the merits of such technologies.

Toshiba has taken the initiative in the industry in applying inverter technologies, and has become the industry leader in commercializing various household electrical appliances incorporating these technologies. Among the latest examples are the direct-drive (DD) inverter fully automatic washing machine that achieves super silence, twin-cooling refrigerators that achieve improved food freshness preservation along with energy saving, and a microwave oven with a half-bridge inverter system that achieves the best efficiency and highest output in the industry. These products have been well received in the market.

1 まえがき

近年、インバータを応用することにより、家電製品の基本性能を向上できるほか、省エネ・静音化など環境対応にも有効であることから、全自動洗濯機、冷蔵庫、電子レンジ、IH（Induction Heating）調理器など多くの家電製品がインバータ化されている。

家電製品をインバータ化するうえでの課題は、低コスト化と小型化に集約される。インバータを応用して製品性能を向上させている当社の代表的な家電製品であるDD全自動洗濯機、冷蔵庫及びオープンレンジについて、インバータ化による新機能開発事例並びにこれらを支えるインバータ技術、パワー素子及び制御マイコンなど、新素子開発について述べる。

2 全自動洗濯機用DDインバータ

2.1 インバータ技術

当社は、1997年度に業界に先駆けてDDインバータ全自動洗濯機を製品化し、DDモータとDDモータインバータ正弦波駆動などによる大幅な静音化を実現、現在の全自動洗濯機インバータ化の方向づけをした（図1）。99年度には、更に静音化を促進するとともにインバータ回路の小型・低コスト化を図り、コンパクトで大容量の“いろんな汚れもまかせて



図1. DDインバータ全自動洗濯機 DDモータで直接洗濯槽を駆動するため、ギャなどの音のしない低騒音を実現した。

DD inverter automatic washing machine

きれい”全自動洗濯機AW-E80HVPを製品化した。

DD洗濯機では、低コスト化を図るため、インバータ制御と洗濯機制御を一つのマイコンで実現している。これは、当社が開発したPMD（Programmable Motor Driver）マイコンにより実現できた方式であり、インバータを採用している家電製品で共通に使える仕様となっている。図2には、このPMDマイコンを用いてDDインバータモータを進み角制御することにより、洗い時の低速・大トルクと脱水時の高速・低トルクを同時に実現した、幅広い回転数制御を行うDDインバータの可変速制御例を示す。

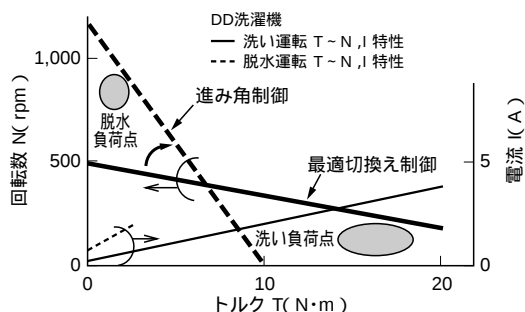


図2 . DDインバータモータの可変速制御 洗いと脱水の異なった特性を一つのモータで実現し、直接洗濯槽を駆動するため低騒音にできる。

Variable speed control of DD inverter motor

2.2 インバータの小型・低コスト化

前述のPMDマイコンの機能を活用することにより、インバータの小型・低コスト化を図った事例について述べる。

従来のインバータモータのブレーキは、抵抗によって誘起電力を消費させる電磁ブレーキ方式であった。これに対して、図3のように、モータそのものに回生エネルギーを消費させる抵抗レスの電磁ブレーキ方式を開発することにより、インバータ回路の大幅な小型・低コスト化を実現した。モータにエネルギーを消費させるには発熱・放熱制御が重要であるが、誘起電圧監視により、きめ細かなブレーキ制御で最適な発熱・放熱制御特性で製品化している。

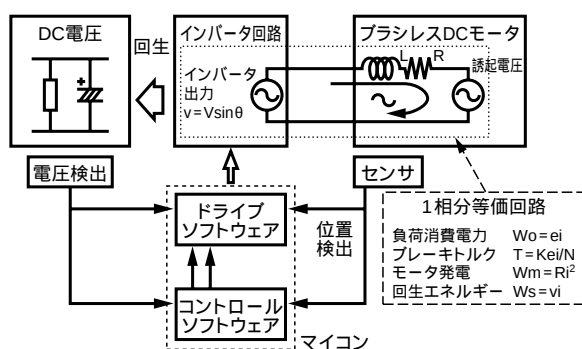


図3 . 電磁ブレーキ採用によるインバータ回路の小型化 モータに誘起電圧を消費させる電磁ブレーキの採用で回路構成を簡素化した。
Downsizing of inverter circuit adopting electrical braking system

2.3 静音化技術

DD全自動洗濯機の静音化のため、モータ駆動としてキャリア周波数16 kHzの正弦波PWM(Pulse Width Modulation)方式を用いた。しかし、正弦波PWM制御を採用しても、図4のようにリップル電圧が重畳された電圧になり電源周波数に起因した音が出るという課題があった。これを解決するため、電源変動を駆動マイコンにより常に監視し、電圧補正を行うことでリップル音のない静音化を実現し、業界No.1の洗

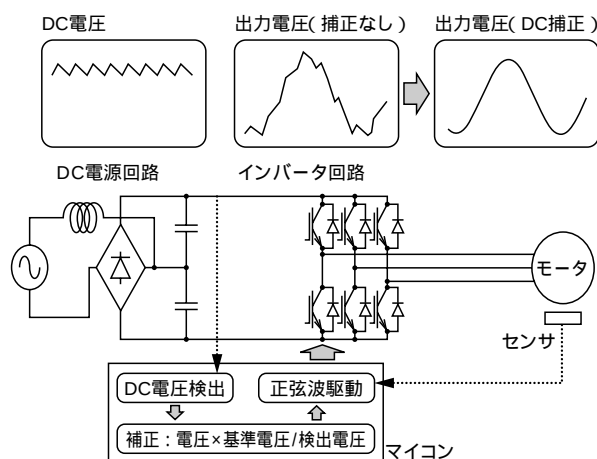


図4 . DC電圧補正正弦波方式 DC電圧補正を行い、リップル電圧に影響されない正弦波波形を生成することができる。
DC voltage correction method for pure sine wave

い時29 dB(深夜の郊外並み) ,脱水時40 dB(静かな公園並み)の静音化を達成した。

3 ツイン冷却インバータ冷蔵庫

3.1 省電力冷蔵庫制御

近年、冷蔵庫は省電力、省スペース(高容積率化)、使い勝手向上(鮮度保存)が望まれている。当社は、これらを実現するために、冷却システムを大幅に改革したツイン冷却システムを採用した冷蔵庫GR・470Kを98年度に、更に鮮度保存機能を進化させたGR・471Kを99年度に発売した。

ツイン冷却システムは、図5に示すように冷凍専用と冷蔵専用のそれぞれ独立した冷却器(ツイン冷却器)を備えた構造である。また、制御は、冷凍室用と冷蔵室用の二つの冷却器を制御弁(三方弁)により切り換えて圧縮機を運転する

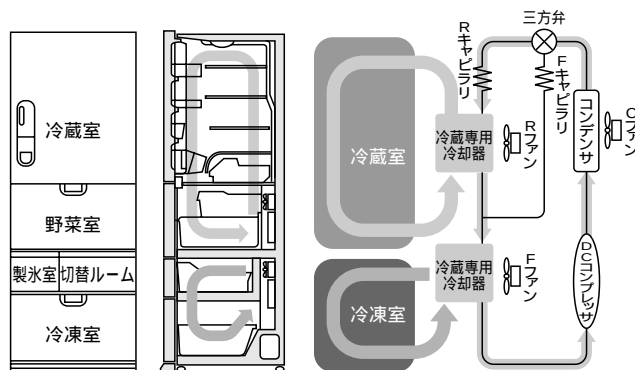


図5 . ツイン冷却システム 蒸発温度 - 18 の冷蔵専用冷却器と、
- 25 の冷凍専用冷却器で冷凍室、冷蔵室を交互に冷却する。
Cooling system of GR・471K refrigerator

タイムシェアリング方式である。更に、圧縮機及びファンモータにはインバータを採用している。これらの制御の相乗効果によってGR-471Kでは下記の特長を実現し、2年連続で省エネ大賞を受賞した。

- (1) 高効率運転 冷蔵室冷却器の蒸発温度上昇による直流(DC)インバータコンプレッサの効率(COP)向上
- (2) ノンストップ運転 圧縮機の始動/停止回数減少による起動時ロスの低減
- (3) 業界トップクラスの省電力を実現 サイクル関係を含め、冷蔵庫全体で省電力約50%を実現(3年前のM43KCと今年の471Kとの比較...JIS C9801法)
- (4) 食品鮮度保存性能の3倍化 冷蔵室恒温化、低温化、高湿度化により実現

3.2 インバータ制御方式

圧縮機インバータ制御方式は、省電力とリーク電流の低減が重要な課題となった。冷蔵庫では、接地されない場合があるため、リーク電流の体感レベルの低減が必要となり、下記の方式を採用した。

- (1) FET(Field Effect Transistor)駆動方式 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)と比較し、スイッチングロス低減
- (2) 上下PWM方式 FET放熱効率均一化による効率向上
- (3) ラインフィルタの後にY字形接続 ノイズ吸収用コンデンサ(Yコン)追加 リーク電流を吸収

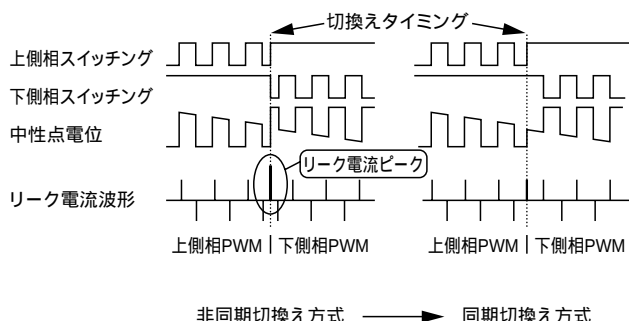
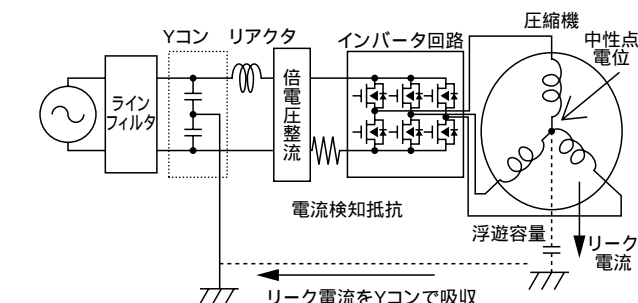


図6．インバータ駆動切換え方式 上下PWM切換えタイミングを同期方式とすることで、リーク電流のピーク値を抑えた。
Comparison of inverter switching systems

- (4) PWM同期切換え方式 図6に示すように、上下PWM切換えタイミングを同期方式とすることにより中性点電位の変化量の最大値を低減させ、リーク電流のピーク値を抑えた。ピーク値を抑えることにより、体感レベルの低減を実現した。

冷蔵室、冷凍室、機械室の3か所に配置されているファンモータは、ボス部にモータを内蔵したボックス型アウトロータ方式DCファンモータを新規自社開発した。従来型の交流(AC)ファンモータと比較してモータ体積で約80%、インバータ制御化することにより省電力で約60%の低減効果が得られた。また、直接PWM制御でDCファンモータの回転数・正逆回転制御及びコンパレータ回路を追加することにより、過電流検知まで可能となる3相全波DCモータセンサレスコントローラTB6537Pを新規開発し、基板を小型化した。

4 電子レンジ用ハーフブリッジ インバータ

電子レンジでは、有効容積率(製品外形に対する加熱室の比率)の向上と、よりいっそうの高出力化が望まれている。当社では、これに対応して、ハーフブリッジ インバータ方式の900W高出力マグネトロン駆動電源を新しく開発し、ER-QB1として99年度に商品化した。

表1に、ハーフブリッジ インバータ方式と従来の準E級イ

表1．インバータの比較
Comparison of inverters

インバータ方式	ハーフブリッジインバータ (ER-QB1)	準E級インバータ (ER-GS8)
入力電力 (W)	1,430	1,250
入力電流 (A)	14.4	13.1
力率 (%)	99	95
出力 (W)	900	700
高効率化手法 ()は定格入力時の インバータ周波数	共振電流検知 周波数可変方式 (39~53kHz)	なし (33kHz一定)
ユニット容積 (cm ³)	1,165	1,395

ンバータ方式のインバータ性能を比較したものを示す。

製品の高出力化を図るには、家庭用電源コンセントの最大容量15A以内での力率向上による高入力化(有効利用)、及びインバータ効率の向上(低損失化)がキーポイントとなる。現行の準E級インバータ方式は1石式電圧共振型インバータであり、1,250Wを超える入力電力を得るには、共振電圧を上げなければならないため高耐圧パワー素子が必要でコスト高となる。この解決策として、ハーフブリッジ インバータ方式を新規に開発した。この方式は、2石式電流共振型インバータであり、現行パワー素子耐圧の約1/2の低い素子耐圧で駆動できる回路方式である。この方式に最適なパワ

表2 . IGBTの比較
Comparison of IGBTs

型 名		GT50G321 (開発品)	GT60M301 (従来品)
トランジスタ部	V_{CES} (V)	430	900
	I_C (A)	50	60
	$V_{CE(Sat)}$ (V typ.)	1.8	2.3
	t_i (μ S typ.)	0.3	0.25
ダイオード部	V_F (V max.)	2.0	2.0
	t_{rr} (μ S max.)	0.2	2.5

一素子を新規に開発し、2石でも現行のパワー素子コスト並みで、1,430 Wの高入力化することができた。新規開発IGBT (GT50G321) と従来の準E級インバータ用IGBT (GT60M301) の特性比較表を表2に示す。

準E級インバータ方式でのパワー素子耐圧が900 Vであったのに対して、ハーフブリッジインバータ方式でパワー素子耐圧を430 Vまで低減できたことで、飽和電圧を2.3 Vから1.8 Vに低減できた。これによりパワー素子の低損失化を図ることができ、同時に放熱設計も容易になった。

また、高入力化に必要な力率向上方法として、99 %の高力率が可能な力率改善制御方式を新たに開発したことから、業界一の900 W高出力を実現することができた。更に、定格入力時のインバータ動作周波数を高周波化して、高周波トランスの小型化を図った。これにより、インバータユニット容積が低減し、有効容積率アップに貢献できた。

開発したハーフブリッジインバータ回路のブロック図を図7に示す。2個のパワー素子 T_{r1} , T_{r2} を交互にオンオフさせて高周波電流をトランスに流し、これにより昇圧された電圧を全波倍電圧回路で倍電圧化してマグネトロンに印加し、

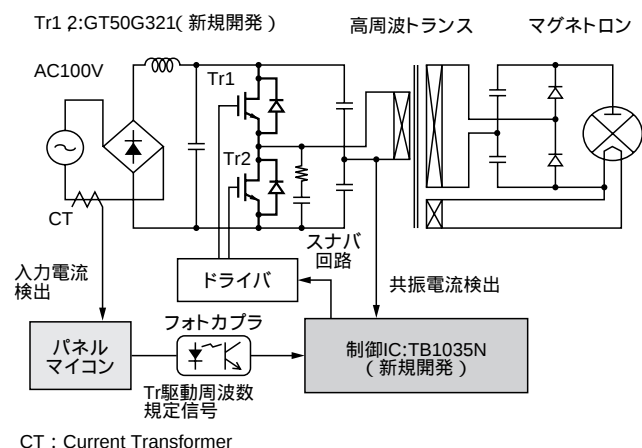


図7. ハーフブリッジ インバータ回路の構成 マグネトロン駆動電源としてハーフブリッジ インバータを採用し、高出力電子レンジを実現した。

Circuit configuration of half-bridge inverter

マグネトロンを発振させる。マグネトロンの出力制御は、この2個のパワー素子の駆動周波数を変化させて行う。

今回、このハーフブリッジインバータ制御用として、新しく専用制御IC(TB1035N)を開発した。この制御ICでは、パワー素子の駆動周波数を制御する基本制御回路のほか、共振電流値の検出と抑制による力率改善回路、共振電流位相検出によるマグネトロン発振検知回路などを内蔵し、周辺回路の簡素化を図った。なお、高出力化に伴って製品入力が15 A近くになったため、これを厳しく管理する必要がある。そこで、従来はマグネトロン電流を一定とする制御方式で出力制御していたのに対し、入力電流を一定とする制御方式にて出力制御を行うように変更した。

5 あとがき

家電製品のインバータ化は、ここで述べたほかにも、IH保温釜、IHクッキングヒータ、食器洗い機、クリーナなど広範囲にわたり、省エネ、能力可変範囲の拡大、時間短縮、高出力化など、それぞれの製品の特長に合わせた性能の向上に重要な役割を果たしている。製品性能向上については、正弦波制御やベクトル制御などの高度化やこれを支える素子開発がキーポイントとなる。例えば、パワー素子関連では、小型化、集積化、低損失高効率化及び高速化の開発が必要であり、また、マイコンでは高機能化及び高速化などの開発が重要になる。今後も、新技術開発・新素子開発を行い、家電製品のインバータ化の推進と性能向上を図っていく。

文 献

- (1) 今井雅宏・図書館並みの静かさを実現したダイレクトドライブインバータ全自動洗濯機AW-B70VP・東芝レビュー・53,2,p.71 - 75.
- (2) 天明 稔,ほか・ツイン冷却“ みはりぱん庫 ”冷蔵庫GR-470K・東芝レビュー・54,2,p.65 - 69.
- (3) 岡本武久,ほか・ツイン冷却冷蔵庫“ 凍らせないで鮮蔵しましょ ”GR-471K・東芝レビュー・54,12,p.58 - 61.
- (4) 武井 保,ほか・オープンレンジ用ハーフブリッジインバータ・東芝レビュー・55,2,p.64 - 67.



松尾 勝春 MATSUO Katsuharu
家電機器社 家電機器開発センターグループ長。
家電要素技術の開発に従事。
Home Appliances R&D Center



田中 俊雅 TANAKA Toshimasa
家電機器社 家電機器開発センター主査。
洗濯機の電子制御技術の開発に従事。
Home Appliances R&D Center



前田 雅彦 MAEDA Masahiko
家電機器社 冷蔵庫技術部グループ長。
冷蔵庫の開発に従事。
Refrigerator Engineering Dept.