

# UPSにおける高周波技術

清水 敏久(しみず としひさ)

篠原 潤一(しのはら じゅんいち)

山田 隆二(やまだ りょうじ)

## ① まえがき

現代社会を支えるコンピュータシステムや情報システムは、大規模化、ネットワーク化、分散化など、システムの多様化と高度化が急速に進展している。このような状況のなかで、システムに高信頼、高品質な電力を供給するための無停電電源装置(UPS)に対しても、その重要性がより一層増大することはもちろん、UPSへの要求が多様化していくものと予想される。特に、その市場が急速に拡大しつつあるオフィス設置用のUPSにおいては、装置の電気的性能の向上に加え、一層の小形・軽量化、低騒音化、低価格化が強く求められており、また装置出力容量の範囲も極小容量から中容量程度まで拡大の傾向にある。

これらの要求にこたえるため、高周波技術の適用検討が進められている。富士電機では、新しい方式として注目される高周波リンク形変換回路に、当社の優れた高周波技術を盛り込んだ新方式のUPSシステムの基礎研究を進めている。

本稿ではUPS入出力間の絶縁のために高周波DC-DCコンバータを用いた三相50kVA出力の中容量UPSと、高周波サイクロコンバータを用いた単相10kVA出力の小容量UPSの試作例について紹介する。

## ② 高周波技術の効果

図1に、UPSに対する要求項目とその解決のための高周波技術を示す。

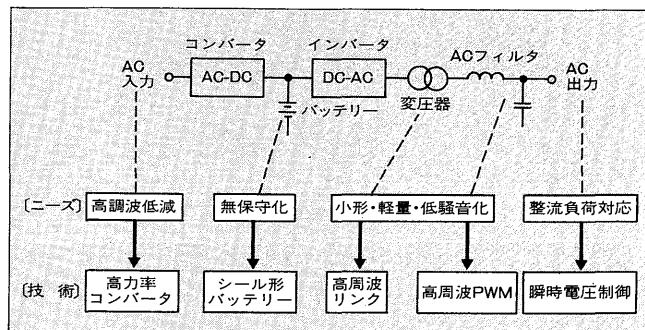
### (1) 入力高調波の低減

配電系統の高調波障害が社会問題化し、規制措置がとられ始めたなかで、UPSが流す入力高調波電流もその例外ではなく、大幅な低減が求められている。高周波PWM形の高力率コンバータは最も効果的な方法で、入力電流のひずみ率の低減(約30%→5~6%)に加え、入力力率の向上(約0.7→0.97)が可能である。

### (2) 出力電圧ひずみ率の低減

UPSの出力側に接続されるコンピュータ電源回路は大

図1 UPSへのニーズと対応技術



きなひずみ電流を流す、いわゆるコンデンサ入力形整流負荷であり、出力電圧波形のひずみ率を増大させる。高周波PWMと瞬時電圧制御技術は、このような場合の出力電圧波形ひずみ率の低減(10%以上→5~8%)が可能で、最近多くのUPSに採用され始めている。

### (3) 小形・軽量化、低騒音化

UPSの小形・軽量化、低騒音化はオフィスなどへの設置には不可欠な要素であり、従来以上に大幅な改善が求められている。その手法として、高周波PWM方式によりACフィルタ部を小形・軽量化、低騒音化することに加え、装置の入出力間を絶縁するための変圧器を高周波化し、小形・軽量化(体積比、重量比とも約1/20)、低騒音化を図ることが効果的である。高周波変換回路と高周波変圧器とを用いた、いわゆる高周波リンク回路方式は、これを実現できる新技術として最近特に注目され、研究が盛んに行われている。

以上のように、高周波技術はUPSに求められる多くの要求を満たすために必要な基本技術であるといつても過言ではない。以下に、これら最新技術の一つである高周波リンク回路方式についての研究成果の一部を紹介する。

## ③ 高周波リンク DC-DC コンバータ式 UPS

### 3.1 特長

今回試作した三相50kVA出力の高周波リンクDC-DC



清水 敏久

昭和55年入社。無停電電源装置、各種高周波応用電源装置の研究開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所電子機器開発本部強電電子開発部課長補佐。



篠原 潤一

昭和58年入社。パワーエレクトロニクス製品の開発に従事。現在、神戸工場設計部。



山田 隆二

昭和63年入社。無停電電源装置の研究開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所電子機器開発本部強電電子開発部。

コンバータ式 UPS は、次の特長を備えている。

### (1) 小形・軽量

商用絶縁変圧器に代わり、高周波 DC-DC コンバータを採用したこと、DC-AC 変換部を高周波 PWM インバータ方式とすることなどにより、主回路部品の小形・軽量化を図った。

### (2) 優れた出力特性

DC-AC 変換部は、入出力が高周波絶縁された単相インバータを 3 台使用して、その出力を三相結線する構成とし、さらに各相個別に出力電圧の瞬時電圧制御を行うことにより、出力電圧波形ひずみ率の改善や過渡電圧変動の低減はもとより、従来の三相インバータの欠点であった不平衡負荷時の電圧アンバランスを解消している。

### (3) 低騒音

商用出力変圧器は使わず、また主回路のスイッチング周波数を可聴周波数帯以上に高くしているため、騒音発生源は冷却ファンだけであり、低騒音である。

## 3.2 仕様

表 1 に本試作機の仕様を示す。交流入力電圧は三相 200V、交流出力電圧は 200V で三相三線および三相四線のいずれにも対応可能である。また、出力性能はコンピュータ負荷（コンデンサ入力形整流器負荷）を前提とした仕様となっている。

## 3.3 回路構成および動作

図 2 に本試作機の回路構成を示す。商用同期無瞬断切換機能を備えた常時インバータ給電方式の三相 UPS システムであり、内部は AC-DC 変換部、DC-AC 変換部、AC スイッチなどから構成される。

交流入力はサイリスタ整流器、DCL、DC フィルタコンデンサにより、平滑された直流電圧に変換され、3 台の単相 DC-AC 変換部に供給される。単相 DC-AC 変換部では、パワー MOSFET、高周波絶縁変圧器、ダイオード整流器、DCL、平滑コンデンサから構成されたスイッチング周波数 20kHz の DC-DC コンバータ回路により、この直流電圧を

表 1 高周波リンク DC-DC コンバータ式 UPS 試作機の仕様

項目	仕様	備考
入力	電圧	AC200V ±10%
	周波数	50/60Hz
	相数	三相三線
出力	定格容量	50kVA
	電圧	AC200V
	周波数	50/60Hz
力	相数	三相三線/四線
	負荷力率	0.6～0.95（遅れ）
	過渡電圧変動	±5%以下
波形ひずみ率	3%以下	直線性負荷時
	5%以下	整流負荷時
バッテリー	262V	192～276V
騒音	53dB	Aレンジ
外形寸法	750(W) × 750(D) × 1750(H) (mm)	
重量	750kg	

絶縁および電圧一定制御された直流電圧に変換し、さらにパワー MOSFET、AC フィルタから構成されたスイッチング周波数約 16kHz の高周波 PWM インバータにより、ひずみの少ない単相正弦波交流電圧に変換される。各単相交流電圧は商用変圧器を介さずに直接三相星形結線され、三相交流電圧として出力される。

無停電化に必要なバッテリーは AC-DC 変換器出力の直流回路に直接接続され、その充電は AC-DC 変換器によって行われるいわゆる浮動充電方式としている。

過負荷や UPS の故障時には、インバータ出力のコンタクタが高速遮断されると同時に AC スイッチが点弧され、バイパス回路に切り換えられて出力の無瞬断化を行っている。

## 3.4 新技術

本試作機の小形・軽量化、低騒音化に貢献しているのは、出力容量 14kW、動作周波数 20kHz のスイッチング方式 DC-DC コンバータである。図 3 に DC-DC コンバータ部

図 2 高周波リンク DC-DC コンバータ式 UPS 試作機の回路構成

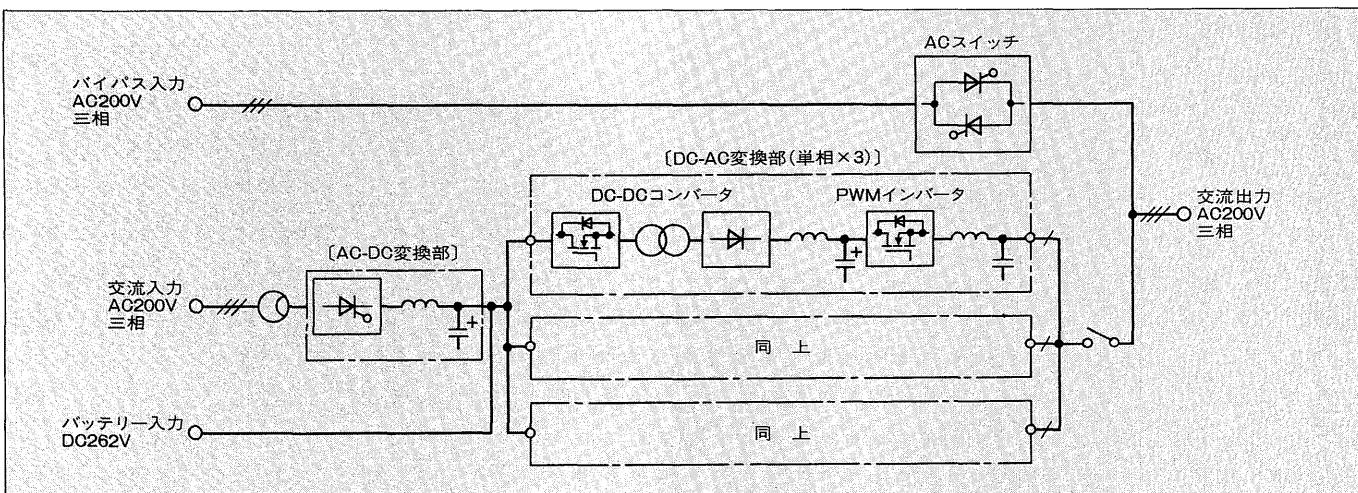
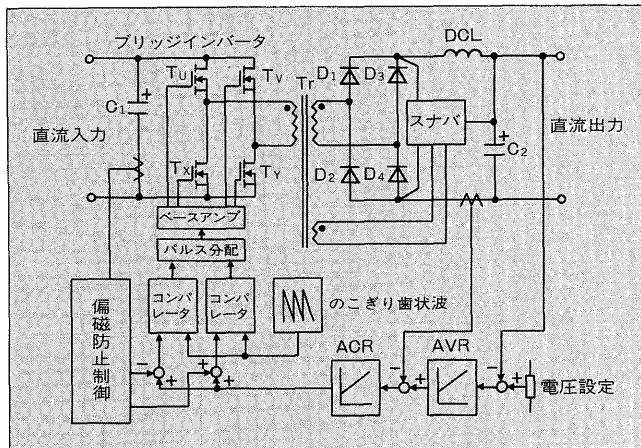


図3 DC-DCコンバータ部の回路構成



の回路構成を示す。主回路はフルブリッジインバータ、高周波変圧器、整流回路などで構成されるフォワード形コンバータであるが、大容量・高周波化を実現するために、変圧器の偏磁防止制御や整流回路部の低損失スナバなどの新技術の適用を行っている。以下に、その概要を紹介する。

#### (1) 高周波変圧器の偏磁防止制御技術

高周波変圧器はブリッジインバータの交流出力端子に直接接続されるが、実際にはインバータ出力の正負電圧時間積のわずかな差によって生じる直流電圧成分が変圧器に印加され、変圧器が偏磁してしまう場合が多い。これを防止するため、従来は変圧器の一次巻線側に直列にコンデンサを挿入したり、変圧器の一次電流を直流電流検出器で検出してインバータを制御していたが、コンデンサの大形化や直流電流検出器の価格、性能などの点で問題があった。

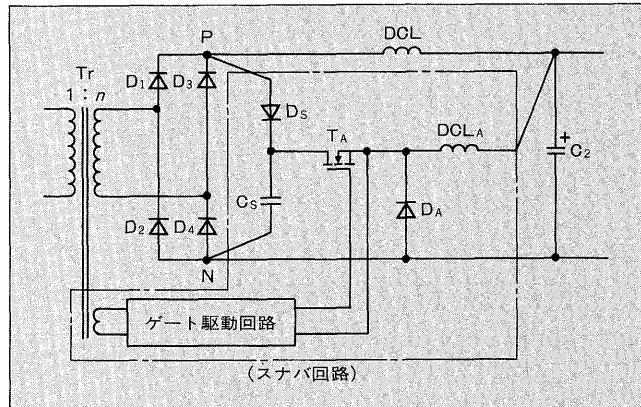
本方式は、安価で高性能な交流電流検出器と制御でこれを実現している。その原理は、ブリッジインバータの動作に同期してコンデンサから流出するリップル電流の中から、変圧器の偏磁に伴って生じるリップル電流量の変化を半波整流回路と反転増幅器、アナログスイッチにより同期検波して、偏磁量に比例した偏磁検出信号を得、調節器を介してこの偏磁検出量が零になるようにブリッジインバータの正、負の電圧幅を調節するものである。この技術の適用により、高周波変圧器の使用磁束密度を上げることも可能となり、変圧器の小形化（体積比約1/20）、軽量化（重量比約1/25）が達成できた（特許出願中）。

#### (2) 高周波整流回路用スナバ

高周波交流の整流回路には、整流素子に高速ダイオードを適用することにより、その逆回復損失を低減できる。しかし、逆回復時には急しゅんな飛躍電圧の上昇が生じるために、これを十分に抑制できるスナバ回路が不可欠になる。さらに、ブリッジインバータのスイッチング周波数の高周波化に比例して、スナバで吸収するエネルギーが増加するので、その処理方法も重要である。

図4に本試作機に採用したスナバの回路図を示す。飛躍電圧の抑制のため、スナバコンデンサ( $C_s$ )、スナバダイオード( $D_s$ )が整流回路の直流出力P-N間に接続される。さらに、 $C_s$ の両端にMOSFET( $T_A$ )、ダイオード( $D_A$ )、リ

図4 高周波整流回路用スナバの回路構成



アクトル( $DCL_A$ )で構成され、インバータの動作に同期して運転されるチョッパ回路が接続される。この方式は、 $C_s$ の平均電圧が変圧器の二次電圧振幅値に維持されるので、 $C_s$ が不要な充放電を行わずにスナバで吸収したエネルギーだけを効率良く負荷回路に回生できる。これにより、スナバ回路全体の損失は従来に比べ、数十分の一から数百分の一に低減できた（特許出願中）。

#### 3.5 試験結果

本試作機の代表的な特性についての試験結果を記す。

##### (1) 出力電圧波形

図5にコンデンサ入力形整流負荷時の出力電圧・電流波形の測定結果を示す。本試作機では、3台の単相インバータそれぞれに設けた瞬時電圧制御機能を備えた高周波PWMインバータ方式を採用しているため、高調波成分を多く含んだ負荷電流を流す場合でも、出力電圧波形のひずみ率は約2.5%と十分に低い値に保たれていることが分かる。

##### (2) 負荷急変時の出力変動

図6に100%負荷急変時のオシログラムを示す。上記と同様の理由から、出力電圧の変動量は約±4%以下と小さく、良好な特性となっている。また、電圧の回復のための整定時間も2サイクル程度であり、応答性にも優れていることが分かる。

図7に本試作機の外観を示す。

図5 整流負荷時の出力電圧・電流波形

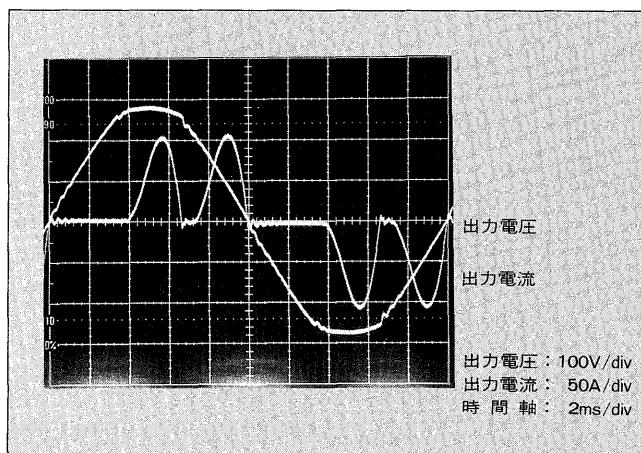


図6 負荷急変特性

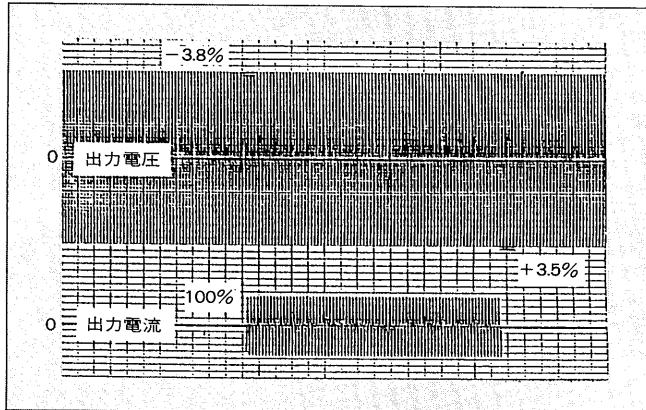
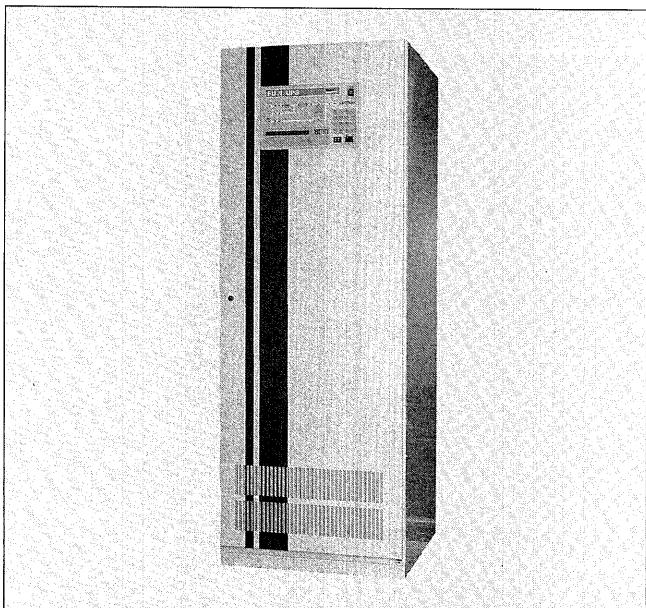


図7 高周波リンクDC-DCコンバータ式UPS試作機の外観



## 4 高周波リンクサイクロコンバータ式 UPS

### 4.1 特長

高周波リンクサイクロコンバータ方式は、双方向の電流自己遮断機能を持つ高速スイッチング素子(従来は片方向)を用いて高周波電圧を直接商用周波数に変換する、最新の主回路方式である。本試作機は単相10kVA出力の高周波リンクサイクロコンバータ式UPSであり、以下の特長を備えている。

#### (1) 小形・軽量

DC-AC 変換部には、高周波 DC-DC コンバータ方式で用いるような高周波整流・平滑部がなく、高周波パルスを高周波変圧器で絶縁した後、商用周波数に直接周波数変換するため、主回路部品点数が減少し、小形・軽量化できる。

#### (2) 優れた出力性能

従来の高周波 PWM インバータ方式と同様な瞬時電圧制御機能を採用できるため、負荷急変時の出力電圧変動が小さく、また整流負荷接続時の出力電圧波形ひずみ率も小さい。

表2 高周波リンクサイクロコンバータ式UPS試作機の仕様

項目	仕様	備考
入力	定格電圧	AC単相100V
	定格周波数	50/60Hz
	入力電流ひずみ率	10%以下
バッテリー電圧変動		230~331V
出力	定格電圧	AC単相100V
	定格周波数	50/60Hz
	定格容量	10kVA
	定格負荷力率	0.8
	電圧ひずみ率	5%以下
	電圧変動	8%以下 負荷100%急変時
総合効率		76%
外形寸法		550(W)×750(D)×850(H)(mm)
重量		350kg バッテリーを含む

### (3) 低騒音

主回路部のスイッチング周波数を可聴周波数帯域以上に高くしているため、低騒音である。

### 4.2 仕様

表2に本試作機の仕様を示す。バッテリーを内蔵し、出力電力は10kVA、交流入出力電圧は単相100Vである。また、出力性能はコンピュータ負荷を前提としていることに加え、入力電流ひずみ率を低減してオフィスの電源系統への障害を未然に防止できる。

### 4.3 回路構成および動作

図8に本試作機の回路構成を示す。商用同期無瞬断切換機能を備えた常時インバータ給電方式の単相UPSシステムである。内部はパワー MOSFET を用いたスイッチング周波数約16kHzの単相PWMコンバータとACフィルタからなるAC-DC変換部、スイッチング周波数約16kHzの高周波PWMインバータ、高周波変圧器、スイッチング周波数約32kHzのサイクロコンバータ、ACフィルタからなるDC-AC変換部、およびバッテリー、ACスイッチなどで構成される。

AC-DC 変換部では交流入力電流を力率1の正弦波電流に維持しながら平滑された直流電圧に変換する。DC-AC 変換部の動作は、図9に示すように直流電圧を高周波 PWM インバータによりパルス幅制御された周波数約16 kHz の高周波交流パルス電圧に変換し、これを高周波変圧器で絶縁変換した後、高周波 PWM インバータと同期して運転されるサイクロコンバータにより、高周波パルス列を同期整流して商用周波数に変換し、さらに AC フィルタにより波形整形してひずみの小さな単相正弦波交流電圧としている。

### 4.4 新技術

本試作機における技術開発のポイントはサイクロコンバ

図8 高周波リンクサイクロコンバータ式UPS試作機の回路構成

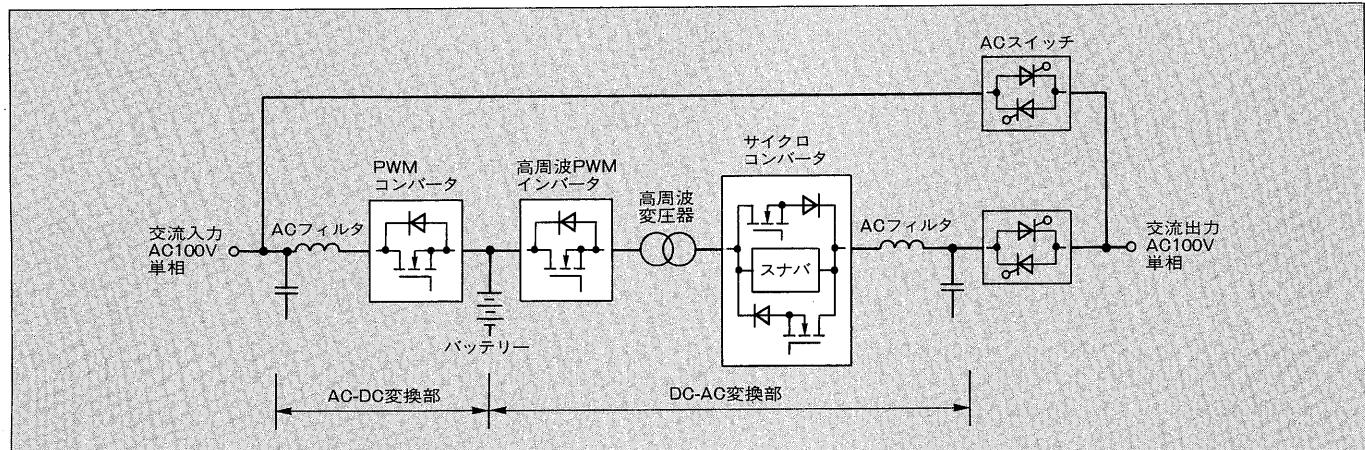
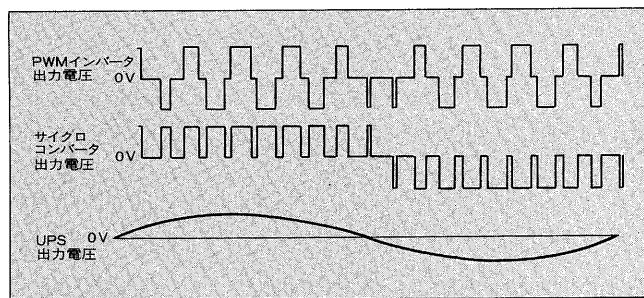


図9 DC-AC変換部の動作波形



一タ部にあり、具体的には高周波変圧器の偏磁防止、サイクロコンバータ用に用いる双方向性高速スイッチの過電圧抑制用スナバなどである。

#### (1) サイクロコンバータにおける高周波変圧器の偏磁防止方式

③章のDC-DCコンバータの場合と異なり、サイクロコンバータの高周波変圧器に印加される電圧波形は、図9に示すように常に電圧パルス幅が変化し、高周波変圧器に流れる電流も負荷電流波形の影響を大きく受ける。そのため、高周波変圧器の励磁電流も常に変化し、偏磁が発生した場合の励磁電流は図10(a)に示すようになる。本試作機では、図11に示すように、高周波PWMインバータの制御回路部に偏磁成分を個別に除去する偏磁防止回路を設け、これを解決している。図10(b)に本方式を用いた場合の励磁電流波形を示す(特許出願中)。

#### (2) サイクロコンバータ用スナバ回路

サイクロコンバータ主回路内はすべてが交流回路であるため、従来のPWMインバータ部で用いるようなスナバ回路では、スナバ回路の損失が極端に増加して使用できない。本試作機では、高周波交流回路に適用できるように新しく開発した低損失の交流回路用スナバを図9に示すように接続し、サイクロコンバータ部の発生損失を抑制しつつスイッチング素子の過電圧保護を行っている。

#### 4.5 試験結果

本試作機の代表的な特性についての試験結果を記す。

##### (1) 出力電圧波形

図10 高周波変圧器の励磁電流とUPSの出力電圧

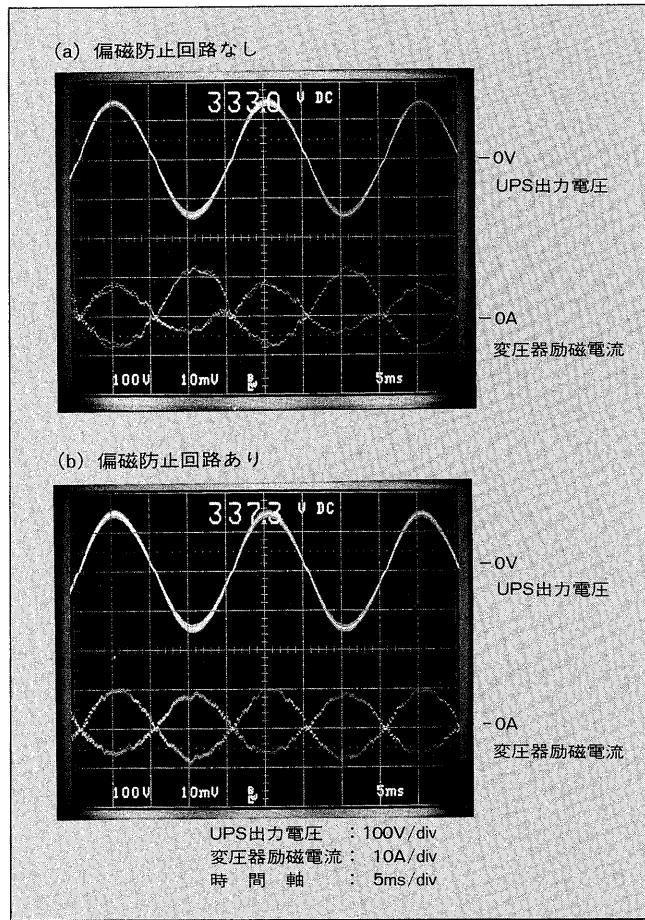


図12にコンデンサ入力形整流負荷時の出力電圧・電流波形測定結果を示す。サイクロコンバータ方式においても、従来の高周波PWMインバータと同様の瞬時電圧制御方式を適用できるため、出力電流が高調波成分を多く含み、そのピーク電流値が実効値の2.5倍となるような場合においても、出力電圧波形のひずみ率は約4%に抑制されている。

##### (2) 負荷急変時の出力電圧

図13に100%負荷急変時の出力電圧のオシログラムを示す。上記と同様の理由から、出力電圧の変動量は約±5%以下と十分に小さく良好な特性となっている。

図14に本試作機の外観を示す。

図11 高周波PWMインバータの制御回路と偏磁防止回路

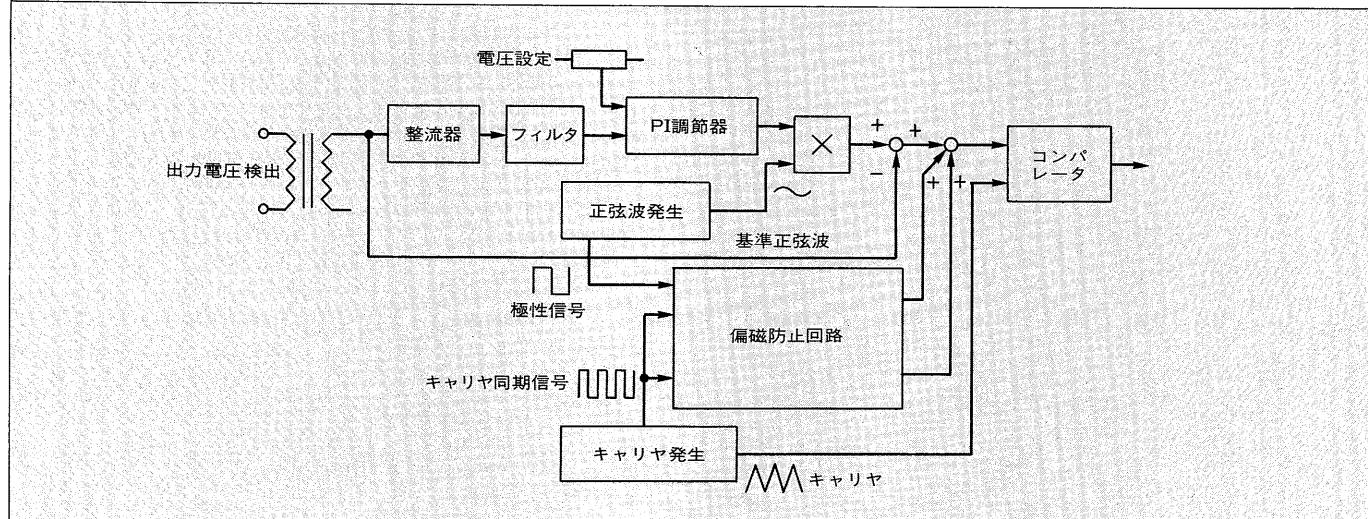


図12 整流負荷時の出力電圧・電流波形

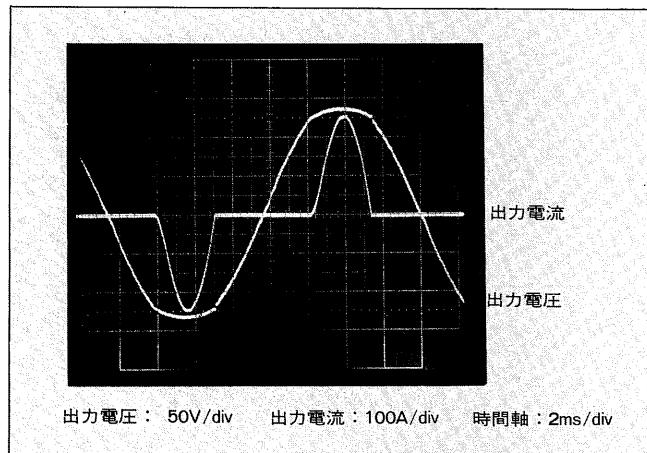
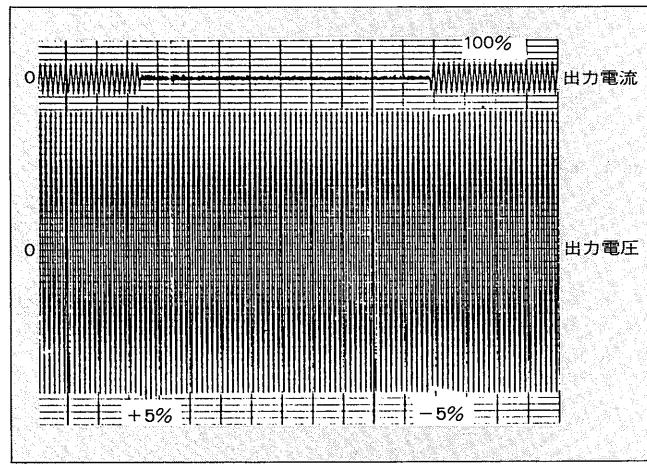


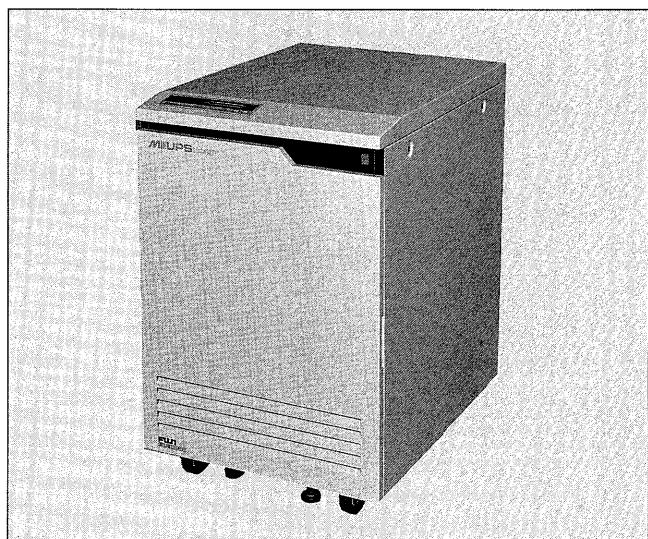
図13 負荷急変特性



## 5 あとがき

本稿では、高性能UPSの小形・軽量化、低騒音化、低価格化にこだえるための切札として、将来の実用化が期待される高周波リンク回路方式を採用したUPSの研究成果を紹介した。今後、コンピュータ応用機器の急速な普及拡大

図14 高周波リンクサイクロコンバータ式UPS試作機の外観



N89-5256-3

に伴って、UPSの必要性がますます高まり、急速に普及することはだれもが認めることであろう。しかし、電源トラブルなどの不測の事態からコンピュータ応用機器を守るという「電源の保険」として、UPSの本質的な使命を考えると、低価格化は言うに及ばず、より一層の性能、信頼性面での向上も忘れてはならない。そのためには、高度なパワー電子技術の蓄積が不可欠であり、富士電機では積極的な技術開発に取り組んでいる。顧客各位が気軽に導入でき、しかも安心して利用できるUPSをめざして、今後とも注力する所存であり、関係各位の一層のご指導、ご協力をお願いする次第である。

## 参考文献

- (1) 黒木一男ほか：富士新形ミニUPS，富士時報，Vol.60, No.3, pp.198-201 (1987)
- (2) 清水敏久ほか：パワーMOSFETを適用した中容量UPS，電気学会産業応用部門全国大会，No.140, pp.589-594 (1989)
- (3) 山田隆二ほか：高周波リンクサイクロコンバータ式UPS，電気学会半導体電力変換研究会，SPC-89-76, pp.21-27 (1989)



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する商標または登録商標である場合があります。