

直列補償形節電装置「省エネ名人」

石川 吉浩（いしかわ よしひろ）

山本 弘（やまもと ひろし）

大熊 康浩（おおくま やすひろ）

① まえがき

1997年12月、地球温暖化防止対策として二酸化炭素排出量の削減目標が定められた。これに伴い、産業界ではエネルギー消費構造の見直しによる省エネルギーや二酸化炭素排出量を削減できる燃料への代替などの取組みが一齐に始まった。一方、24時間営業をはじめとして夜間の営業時間を延長する店舗や事務所が増加しており、電力消費量は年々増加傾向にある。これらの店舗などで、照明電力の使用量を節減することで二酸化炭素排出量の削減に寄与できる節電装置が注目されており、広く導入され始めている。節電装置は、照明器具の電力量が器具の入力電圧の2乗または電圧に比例して低減する特性を利用して、供給電圧を適正な電圧に下げることによって節電効果を生む装置である。現在導入されている節電装置の多くはタップ切換方式であり、電源電圧の変動に伴いあらかじめ用意された複数のタップを切り換えることで照明器具の入力電圧を調節している。そのため、十分な節電効果が得られない範囲が存在する。

このような背景のもと富士電機では、交流チョッパ技術と高周波スイッチング技術により電解コンデンサがなくても交流電圧を制御できる多機能電源（MPS：Multi-function Power System）と直列補償回路技術を適用した、直列補償形節電装置「省エネ名人」を製品化した⁽²⁾（特許出願中）。この省エネ名人は、新回路方式の採用により高い電力変換効率を実現する。さらに、IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）を用いた高周波スイッチングにより、電源電圧変動にかかわらず照明器具への入力電圧を適切な値に一定制御するため、常に最大限の節電効果が発揮できる。

以下では、省エネ名人の特長、仕様、回路構成および試験結果について紹介する。

② 特 長

今回製品化した省エネ名人（24 kVA）の外観を図1に示す。この省エネ名人は、下記の特長を持っている。

2.1 小形・軽量

省エネ名人は、MPSの採用により電解コンデンサが不要となったこと、高周波スイッチングによる交流フィルタ容量の低減、さらに直列補償回路技術によりMPSの容量を節電容量とすることができ、装置容量に対して大幅に容量低減ができたことなどの効果により、小形・軽量化を実現している。そのため、店舗事務所内の電灯用分電盤近くへの設置を可能としている。

2.2 高性能

MPSと直列補償回路の組合せによって、下記の性能を得ている。

（1）高効率

負荷率30%以上の広範囲で、装置変換効率は98%以上の高効率を実現している。

（2）高節電率

高周波PWM（Pulse Width Modulation）制御を用いた出力電圧一定制御により、入力電圧が変化しても、負荷電圧を一定に制御できる。そのため、余剰電力を最大限に節減でき、高い節電効果が発揮できる。

図1 省エネ名人の外観（単相3線，24 kVA）



外形（W×D×H）：600×250×600（mm）
質量：60 kg

A7360-18-381



石川 吉浩

ミニUPS、UPSの商品開発・商品企画業務に従事。現在、システム事業本部社会システム事業部商品企画室主任。



山本 弘

無停電電源装置の開発・設計に従事。現在、東京システム製作所パワーエレクトロニクス技術部。



大熊 康浩

交流直接変換技術を応用した電力変換装置の開発に従事。現在、（株）富士電機総合研究所パワーエレクトロニクス開発研究所コンポーネントグループ副主任技師。

表 1 仕様と容量系列

定 格 容 量		12 kVA	12 kVA	24 kVA	24 kVA	48 kVA ^{*2}	72 kVA ^{*2}
定格出力電流		60 A	120 A	120 A	120 A	240 A	360 A
入 力	線数（単相），電圧 ^{*1}	3線 101±6/ 202±12 V	2線 101±6 V	3線 101±6/ 202±12 V	2線 202±12 V	3線 101±6/ 202±12 V	3線 101±6/ 202±12 V
	周 波 数	50/60 Hz±5%					
	入 力 力 率	負荷力率と同じ					
出 力	線数（単相），電圧 ^{*1}	3線，95/190 V	2線，95 V	3線，95/190 V	2線，190 V	3線，95/190 V	3線，95/190 V
	周 波 数	50/60 Hz					
	線間電圧アンバランス	±1.5%以内（100%不平衡負荷時）					
	効 率	98%以上	97%以上	98%以上			
その他	冷 却 方 法	自然空冷（屋内仕様）					
	騒 音	45 dB（A）以下					
外形寸法〔W×D×H〕（mm）		600×250×600	600×250×600	600×250×600	600×250×600	700×300×800	800×350×800
質 量 （kg）		55	55	60	60	100	160

*1：入力電圧は100/200 V±10%で問題なし。また，出力電圧は入力電圧の0～10%で調節可能。

*2：48/72 kVAは標準系列。上表以外の容量への対応可能。

（3）不平衡負荷に対して小さい電圧アンバランスを実現

単相3線，100%不平衡負荷時において，出力電圧アンバランスは±1.5%以下を実現している。

2.3 低騒音

高周波スイッチングによりフィルタリアクトルから発生する電磁騒音が大幅に低減したこと，装置冷却を自冷としたことにより，45 dB（A）以下の低騒音化を実現した。これにより，ユーザーは設置環境を選ばずに装置を導入することができる。

2.4 優れた保守性・操作性

主回路部品として，電解コンデンサや冷却ファンなどの寿命部品を使用していないので，定期交換部品は不要である。また，過電流時の自動直送切換，自動復帰機能，異常時の自動直送機能や節電電力量の表示機能（オプション）を装備している。

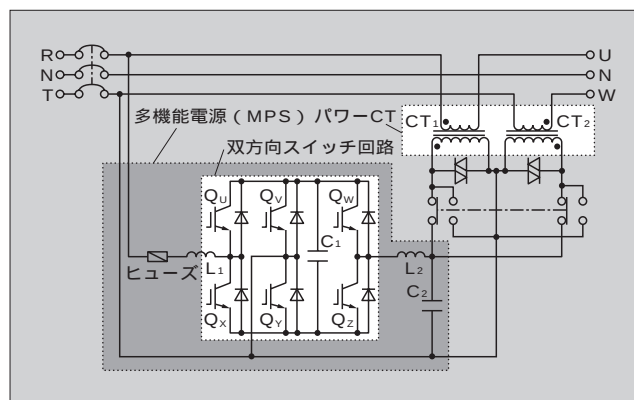
③ 製品仕様と系列

表1に仕様と容量系列を示す。単相2線12kVA，24kVAと単相3線12kVA，24kVAを標準系列，単相3線48kVA，72kVAを準標準系列として，それぞれ系列化している。いずれも照明設備負荷を前提とし，単相3線時の線間電圧アンバランス率を仕様化している。また，入力力率は負荷力率と同じであり，節電装置の設置による電源容量を変更することなく接続できるように配慮した仕様としている。

④ 回路の構成と動作

以下では，省エネ名人に採用した主回路と制御回路の構成，回路動作について紹介する。

図2 主回路構成



4.1 主回路構成

図2に単相3線24kVAの主回路構成を示す。主変換回路部であるMPSは，双方向スイッチ回路を用いた高周波PWM制御形交流チョッパ回路，スナバコンデンサ（C₁），交流リアクトル（L₁）と交流フィルタ（C₂，L₂）で構成されている。また，MPSの出力電圧を電源に対して直列に挿入し電源電圧を補償するパワーCT（変流器，CT₁，CT₂），過電流時や異常時に直送切換をするための交流スイッチ，補助継電器を備えている。

この回路構成により，電解コンデンサが不要となるとともに，MPSの自己容量が電源容量のパワーCTの変流比分の1となるため損失も大幅に低減でき，節電装置全体の高効率化が実現できる。

4.2 制御回路構成

省エネ名人はMPSの出力電圧を制御することで，パワーCTを介して負荷電圧を調整する。図3に制御回路ブロック図を示す。主回路からの検出項目は，電源電圧（V_{RT}），MPS出力電圧（V_{CT11}，パワーCT一次電圧），MPS出力

図3 制御回路ブロック図

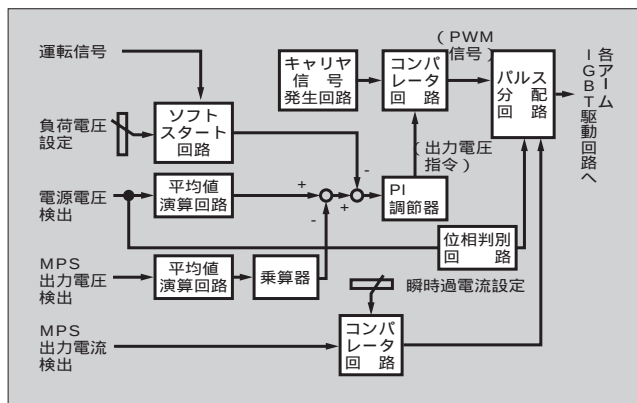
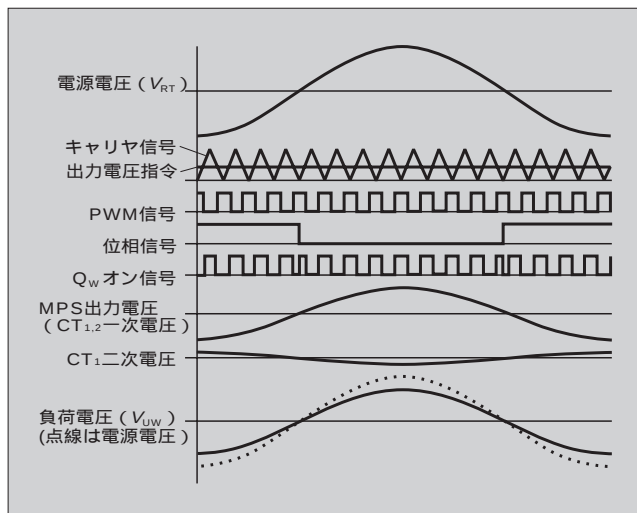


図4 各部動作波形



電流の3点である。電源電圧の平均値から、MPS出力電圧の平均値をパワーCTの変流比で乗算した結果を、減算することで負荷電圧を演算する。この演算結果が負荷電圧設定値となるようにIGBTを高周波でオンオフ制御する。このとき、IGBTの駆動信号は電源電圧に同期した位相判別回路の出力信号により、電源に同期して与えられる。キャリア信号としては三角波を用い、その周波数は16kHzである。また、MPS出力電流検出による瞬時過電流制御を備えている。

この制御方法により、負荷には電源電圧と同期したひずみの少ない正弦波を供給することができる。

4.3 回路動作

図4に各部動作波形を示す。図2に示した各IGBTは、以下の信号によりオンオフ動作する。まず、 Q_v と Q_x は電源に同期した位相信号で、 Q_u と Q_y はその反転信号で電源電圧に同期してオンオフ動作を行う。 Q_w はPWM信号と位相信号の論理演算により得られる Q_w オン信号で、 Q_z はその反転信号でオンオフ動作をする。例えば、電源電圧が正の半周期で Q_u と Q_y がオンしているときに Q_w オン信号により Q_w がオンすると、 Q_w がオンしている期間、電源電圧の一部が出力される。次に、 Q_w がオフして

図5 出力電圧波形例

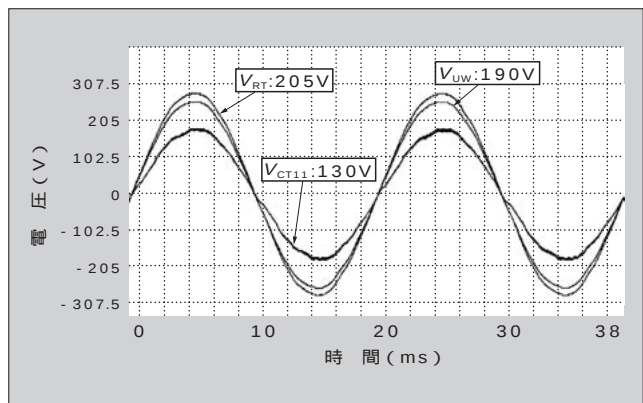
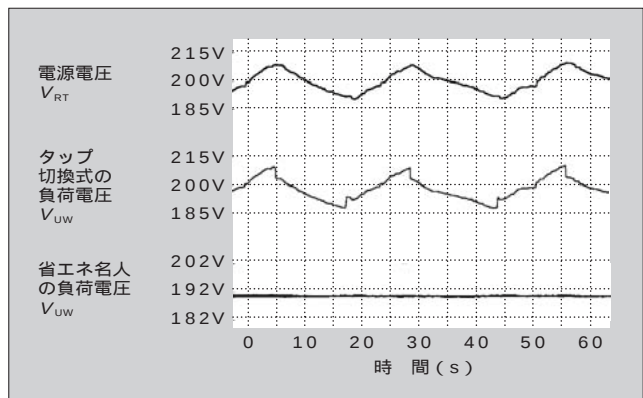


図6 定電圧制御特性



Q_z がオンすると電源電圧の出力は零となる。この動作を16kHzの高周波で繰り返し行い出力の交流フィルタで平滑すると、電源電圧と同相で振幅が小さくなったMPS出力電圧が得られる。

このようにして得られたMPSの出力電圧は、パワーCTにより電源電圧を低減するように注入される。その結果、負荷電圧は電源電圧と同相で所定の電圧値に制御された正弦波電圧となる。

5 試験結果

表1に省エネ名人の仕様を示したが、ここでは単相3線24kVA製品試作器の代表的な試験結果と諸特性を記す。

5.1 電圧波形

図5に出力電圧波形例を示す。試験条件は負荷率100% (120A)、負荷力率0.8である。波形は単相3線の200V線間での波形の一例で、直列補償動作が良好に行われていることが確認できる。また、負荷電圧のひずみ率は電源電圧のひずみ率と同等の2%以下となっており、規格値5%を十分満足している。

5.2 定電圧特性

省エネ名人は、タップ切換方式と異なり電源電圧の変動に関係なく、常に負荷電圧を一定の電圧値に制御すること

図7 変換効率特性

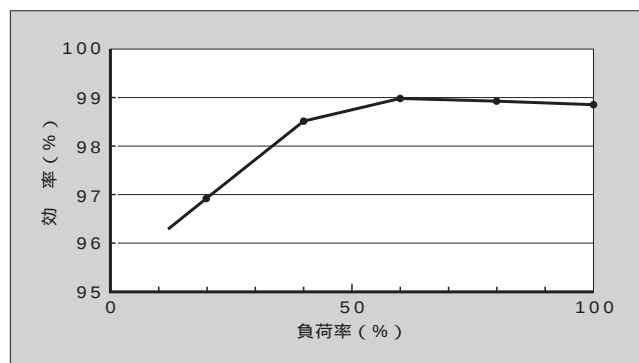
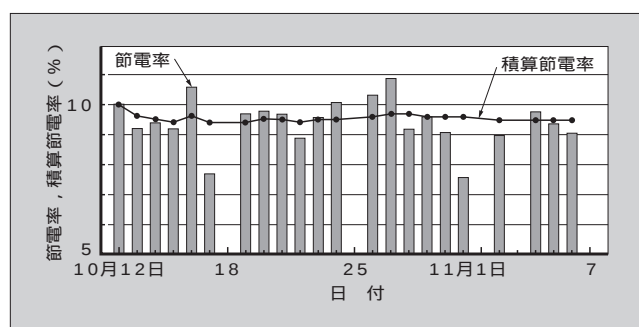


図8 節電効果



ができる。図6にそれぞれの定電圧特性を示す。データは、電源電圧を190Vから210Vの範囲で変化させ測定した。ここで、出力電圧設定は省エネ名人が190V、タップ切換方式が192Vである。また、タップ切換方式のタップは0%、-3%、-6%の3タップとした。タップ切換方式では、負荷電圧は電源電圧に依存して変化するとともに、タップ切換時に負荷電圧の急変が生じている。一方、省エネ名人は、電源電圧変動によらず、常に出力電圧設定値の190Vを保っており、良好な定電圧特性が実現できている。

5.3 変換効率

直列補償回路技術の採用により、主変換回路部であるMPSの装置容量は、パワーCTの変流比分の1とすることができる。そのため、損失も変換装置容量と同様に低減でき、節電装置の効率を大幅に改善することができる。図7に変換効率特性を示す。測定条件は、単相3線の線間200Vラインにおいて電源電圧 V_{RT} を210V、負荷電圧 V_{UW} を190V、定格時の負荷力率を0.8とした。負荷率100%(120A)時の変換効率は98.8%で、タップ切換方式と同等の効率が得られている。また、負荷率10%以上で96%以上の高い変換効率を満足しており、節電装置として実用的な装置といえる。

5.4 節電効果

この省エネ名人は、定電圧制御と直列補償回路技術によ

る高効率により、高い節電効果を発揮する。図8に節電効果のグラフを示す。同図は、富士電機工場内設計部居室に、実際に節電装置を設置して蛍光灯負荷の使用電力量と節電電力量を1998年10月12日から11月7日までの約1か月間測定した結果である。棒グラフは1日ごとの節電率を、折れ線グラフは積算での節電率を示している。測定場所での電力消費のピークは11時から16時の間に集中しており、深夜の電力消費はごくわずかであり、24時間営業のコンビニエンスストアに比べて1日あたりの節電効果は小さいと考えられる。さらに、電源電圧の平均値が102Vと電圧低減効果の少ない状況であるにもかかわらず、試算値どおり10%近い節電効果が得られている。

⑥ あとがき

主変換回路部に交流チョッパ技術と高周波スイッチング技術により実現した多機能電源MPSを適用し、直列補償回路技術と組み合わせることで、高い節電効果を得ることができる容量系列12kVAから72kVAまでの、省エネ名人を紹介した。この装置は、店舗の事務室や分電盤近くに設置できるように、低騒音化と小形・軽量化を図るとともに、分電盤のブレーカ容量と同一の電流容量で装置容量の選択ができる製品である。また、単相3線電源における100%アンバランス負荷時においても十分な負荷電圧精度を確保している。

今後、地球温暖化防止対策としての二酸化炭素排出量削減が目的の省エネルギーは、ますます盛んになると思われる。その一方で、夜間営業の店舗が増加する傾向にあり、期待どおりの削減効果が得られないことが予想される。この問題を解決するためには、ここで紹介した節電装置の設置が有効な手段であり、期待にこたえられる内容の製品に仕上がったと自負している。

今後とも、信頼される電源装置の製品化に、より一層注力していく所存であり、関係各位のご支援、ご鞭撻をお願いする次第である。

参考文献

- (1) 大熊康浩ほか：交流チョッパ技術に基づく多機能電源の諸特性，電気学会全国大会論文集，第4分冊，No.4，p.68-69（1998）
- (2) 大熊康浩ほか：交流チョッパによる多機能電源を用いた直列形電圧補償装置，電子情報通信学会技報，EE98-15，p.13-18（1998）
- (3) 大熊康浩ほか：新方式SMRコンバータ，電気学会論文誌D，Vol.114，No.5，p.544-550（1994）



＊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。