

# 常時商用給電方式と台数制御機能を付加した 高効率 UPS 「UPS7000HX-T4」

“UPS7000HX-T4” High-Efficiency UPS with Continuous Commercial Power Feeding and Quantity Control Function

安本 浩二 YASUMOTO, Koji

濱田 一平 HAMADA, Ippei

反町 直弘 SORIMACHI, Naohiro

近年、データセンターの無停電電源装置（UPS）システムの効率向上が求められている。これに対応するため、常時インバータ給電方式の三相 4 線式「UPS7000HX-T4」に、常時商用給電機能を付加した。バイパス回路のサイリスタを連続点弧して商用電源から負荷に給電し、インバータを介してバッテリーを充電する。装置最大効率は、整流器を停止させることで 99% を達成した。また、常時インバータ給電時に高効率運用できる台数制御機能を付加した。待機 UPS の整流器とインバータを停止させることで、軽負荷時の効率を向上させた。

In recent years, there has been increasing demand for uninterruptible power systems (UPSs) with increased efficiency used in data centers. To meet the demand, Fuji Electric has added the continuous commercial power feeding function to its “UPS7000HX-T4” three-phase four-wire UPS with normal inverter feeding. Continuously turning on the thyristors of the bypass circuit, the UPS receives power from commercial power source and feeds it to loads and charge the battery through the inverter. The maximum efficiency of the equipment reached 99% when turning off the rectifier. Furthermore, the quantity control function has been provided to operate with high efficiency during normal inverter feeding. Turning off the rectifier and inverter of the standby UPS increases the efficiency during light load operation.

## ① まえがき

近年、データセンターの無停電電源装置（UPS）システムの効率向上が求められている。これまでデータセンター用 UPS のスイッチング電圧を 2 レベルから 3 レベルにしてスイッチング損失や LC フィルタの損失を抑制し、高効率を達成してきた<sup>(1)</sup>。また、整流器の逆並列ダイオードをシリコン（Si）から炭化けい素（SiC）にした機種もラインアップしている<sup>(2)</sup>。さらに、UPS からサーバに直接電源供給可能な三相 4 線式の「UPS7000HX-T4」を活用した高効率な電源システムを構築してきた<sup>(3)</sup>。

さらに効率向上するためには、運転モードを常時インバータから常時商用給電方式にする方法がある。しかし、常時商用給電方式 UPS の採用はあまり進んでいない。これまで、常時インバータ給電方式により安定した電源供給を実現しており、常時商用電源供給だけの方式では電源品質の低下が懸念される。

常時インバータ給電方式に常時商用給電方式の機能を併せ持った UPS であれば、安定した電源供給と高効率な運用が両立できると考えられる。富士電機は、給電システムとして高効率な三相 4 線式 UPS7000HX-T4 に常時インバータ給電機能に加え常時商用給電機能を追加した。さらには、常時インバータ給電時でも高効率運用ができる台数制御機能も付加した。

これらの機能により、常時商用給電時と常時インバータ給電時の両方の運転方式において、これまで以上に高効率な運用ができる。商用電源の需要や負荷への配電の電力品質に合わせて運転方法を選択することができる。この機種で、三相 4 線式、三相 3 線式、サーバ用、空調用負荷に対応できるため、企画設計から納品までが短納期になる。また、保守も容易となるだけでなく、UPS 盤と入出力盤

を盤間にて導体接続することで、現地での据付・配線工事を簡易化した。本稿では、常時商用給電方式と台数制御機能を付加した高効率 UPS 「UPS7000HX-T4」について述べる。

## ② 装置の特徴

常時商用給電などを付加した UPS7000HX-T4 と入出力盤の外観を図 1 に、装置仕様を表 1 に示す。また、常時インバータ給電のダブルコンバージョン方式を採用した「UPS7000HX シリーズ」の主回路に、常時商用給電機能を付加した回路を図 2 に示す。バイパス回路は、サイリスタスイッチと電磁接触器（MC）が並列接続されている。バイパス切替時は、サイリスタスイッチ、MC の順に投入し、その後サイリスタスイッチがオフする。そのため、定格出力 800% で 1 サイクルという短時間定格仕様としていた。今回は、連続してサイリスタスイッチから給電する



図 1 UPS 盤と入出力盤外観（左 UPS 盤、右 入出力盤）

表1 「UPS7000HX-T4」の仕様

項目	仕様	
交流入力	相数	三相4線
	電圧	400V±10%
	周波数	50/60Hz
	力率	0.99 (遅れ) 以上
バイパス入力	相数	三相4線
	電圧	400V±10%
	周波数	50/60Hz
	バイパス過負荷耐量	800% 1サイクル (サイリスタ短時間)
交流出力	定格容量	500kVA
	相数	三相4線
	電圧	400V
	電圧精度	<±1%
	周波数	50/60Hz
	周波数精度	±0.01 Hz (自己発振時)
	負荷力率	定格1.0 (遅れ0.7~1.0)
	過渡電圧変動	<±5%
	電圧波形ひずみ率	2%以下 (線形負荷), 5%以下 (非線形負荷)
	過負荷耐量	125%×10分 150%×1分
バッテリー	定格電圧	480~528V
	浮動充電電圧	540~594V
その他	外形寸法	W1,600×D1,000×H1,950 (mm)
	通信インタフェース	MODBUS*

\*MODBUS : Schneider Automation, Inc.の商標または登録商標

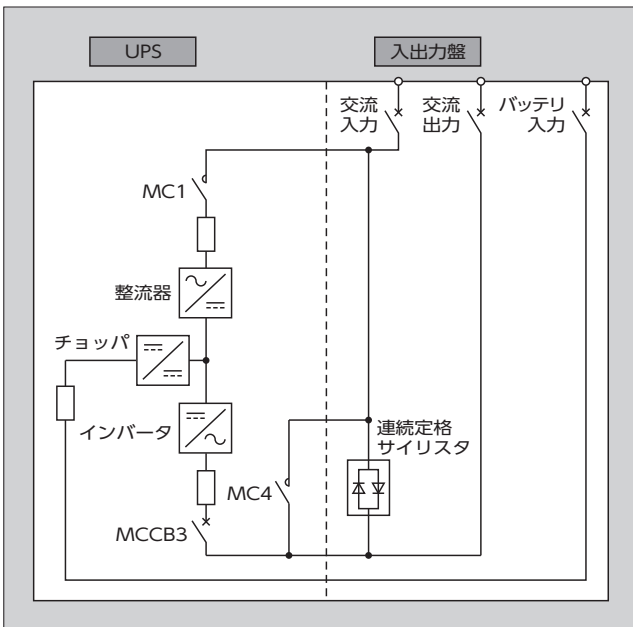


図2 「UPS7000HX-T4」の主回路構成

ため連続定格とした。入出力盤には、サイリスタスイッチと交流入力、交流出力、バッテリーの配線用遮断器 (MCCB) を配置している。

常時商用給電時はサイリスタスイッチを連続点弧して商用電源を負荷に送る。その間、整流器を停止させて、イン

バータはバッテリーを充電するとともに入力力率を改善するようにアクティブ動作する。

これまで UPS 盤と入出力盤とは外線ケーブルで接続していたが、盤間導体接続を採用した。UPS 盤と入出力盤を一体化することで現地施工が簡略化できる。さらに、外線ケーブルの接続がないため、景観的にも優れている。

### ③ 常時商用給電方式

常時商用給電では、商用電源から直接負荷に給電し、インバータはバッテリー充電と入力力率を改善するためにだけ動作している。そのため、常時商用給電におけるインバータは常時インバータ給電に比べ負荷率は非常に低い。さらに、整流器は完全に停止しているため、常時商用給電時の効率は、定格容量において 99% を超える。

#### 3.1 切換制御

常時商用給電中の停電、重故障、過電流発生時には安定した電源品質が維持できるインバータ給電に切り換える。

常時商用給電状態からの切換制御を図3に示す。

##### (1) 停電切換

停電時はバッテリー運転に切り換わるが、復電時はバッテ

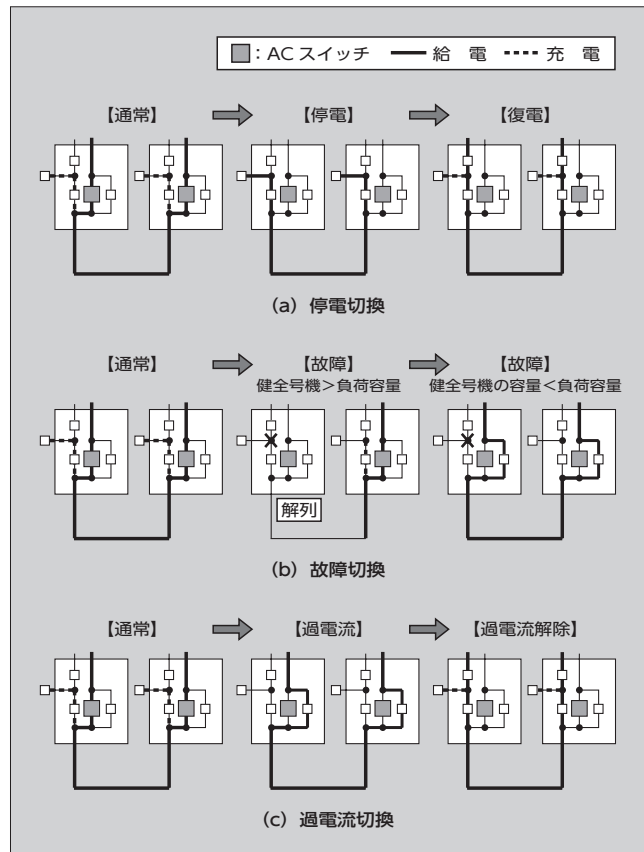


図3 常時商用給電状態からの切換制御

<注1> アクティブ動作：負荷電流のうち無効電流および高調波電流に対して逆相の電流を供給することでサイリスタには有効電流を流す

り運転から自動的に常時インバータ給電状態に切り換わる。常時商用給電に自動で戻らない。したがって、停電後の常時商用給電は、手動で切り換える。停電の発生は、継続して発生することを考慮して頻繁な切換えとならないように常時インバータ給電に戻すことを原則としている。常時インバータ給電では停電による切換えはなく、安定した電源を供給できる。

(2) 故障切換

重故障した UPS は、解列して残った健全な UPS で常時商用給電を継続する。このとき過負荷となる場合はバイパス給電に移行する。

(3) 過電流切換

過電流時はバイパス給電に移行し、その後、過電流が解消されると常時インバータ給電となる。再度、常時商用給電する場合は、手動で切り換える。

常時商用給電中に停電が発生した時の切換波形を、図 4 (a)に示す。インバータがアクティブ動作しているため、無瞬断切換となる。通常は、各 UPS のインバータは単独

でアクティブ動作している。停電後は、バッテリー電源によるインバータの並列運転に移行する。

常時商用給電中に重故障が発生した時の切換波形を、図 4 (b)に示す。インバータに重故障が発生すると、インバータはオフしバイパスの MC4 がオンした後、サイリスタをオフさせる。商用電源をサイリスタと MC に分流させた後、サイリスタをオフさせるため波形の乱れはない。

3.2 常時商用給電時の周辺機器の設計

並列システムの常時商用給電時は、各 UPS のインピーダンスに応じて負荷分担される。並列システムの UPS への入力、個別変圧器または共通変圧器から行う 2 種類がある。

共通変圧器とした場合、並列点まではケーブルの長さでインピーダンスが決定される。すべてのケーブルを同じ長さにしてそろえて施工することは困難で、一般的には 6 ~ 20 m の長さの違いがあり、ケーブル長に応じた負荷分担となってしまふ。そのため、負荷分担をそろえるため、UPS のバイパス回路にバランスリアクトルが必要となる。また、個別変圧器の場合、変圧器とケーブルのインピーダンスの合成インピーダンスによる負荷分担となる。

富士電機製モールド変圧器の % インピーダンスのばらつきは、平均値に対して +1.5% ~ -1.0% と小さい。また、ケーブルの変圧器に対するインピーダンスの割合は、一桁程度小さくなる。

最悪のケースとして、変圧器とケーブルのインピーダンスを低い順に組み合わせて接続したときの負荷分担は ±5% となった。これに対応するため、変圧器、ケーブル、遮断機などの機器の定格は、5% 程度の裕度をみている。

4 常時インバータ給電方式の台数制御

4.1 待機 UPS の損失低減と台数制御の効率特性

通常運転時の無負荷損失に比べて、台数制御時の待機運転している UPS の無負荷損失が小さくできれば、効率の高い運転が可能である。また、UPS は、待機運転中は継続してバッテリーを充電する必要がある。常時インバータ給電では、整流器は力率 1.0 になるように制御している。一方、バッテリーは通常、満充電状態であり充電電流は非常に小さいので、待機運転中の UPS の力率を 1.0 に制御する必要はない。また、PWM 制御に比べてダイオードによる三相全波整流の損失は非常に小さいので、整流器の主回路素子である IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) のスイッチングは停止させて、IGBT に逆並列接続している帰還ダイオードを使って三相全波整流する。

チョッパ回路を使ってバッテリーを充電する。インバータの IGBT はオフの状態、並列運転に備えてパルス制御回路を運転しておく。これにより、整流器とチョッパ、インバータの主回路スタックにある冷却ファンをすべて停止することができる。この結果、待機している UPS の損失は、200 W 程度に低減できる。図 5 に示すように 8 台並列運

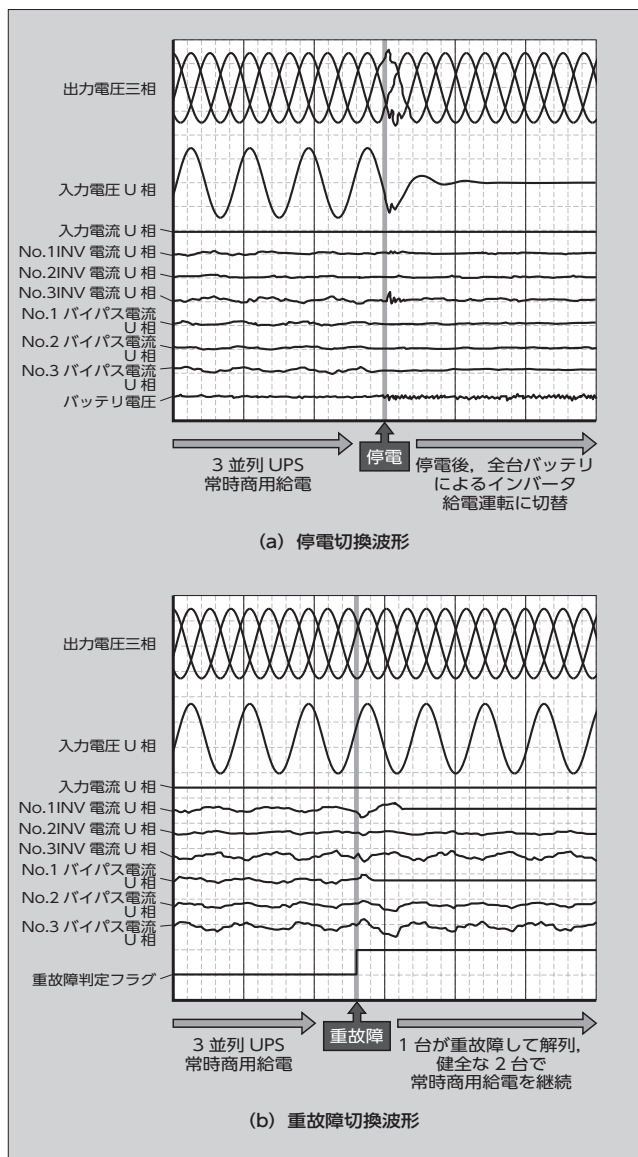


図 4 常時商用給電時の切換波形 (3 台並列時)

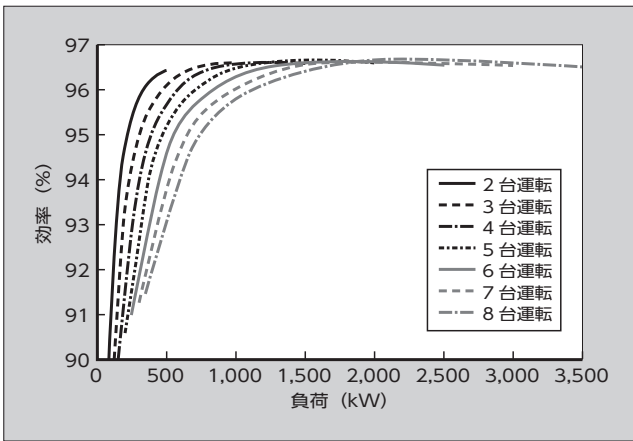


図5 運転台数に対する効率特性 (2～8台)

転では、軽負荷において台数制御による効率向上が発揮できる。

#### 4.2 台数制御方法

負荷が急激に上昇してもUPSが過負荷耐量を超えてバイパス給電に移行しないように運転台数を設定できるようにする必要がある。UPSの過負荷耐量は125%10分、150%1分であり、負荷急上昇時に各UPSの負荷率を150%以下にする必要がある。システム容量3,500kWとして8台×500kVAの並列冗長システムの場合、3,500/(1.5×500)=4.7であり最低限必要な運転台数は5台となる。

最低限必要な運転台数を基準に、台数変更の前後の効率が高くなる負荷率を決定する。具体的には、負荷上昇時に負荷率70%、負荷減少時に負荷率45%程度になるようにした。

各UPSの運転積算時間を平準化する機能を備えており、運転積算時間の最も短いUPSを次回の運転対象とし、最も長いUPSは次回の停止対象とする。

#### 4.3 台数制御中の切換制御

入力電源の停電、過負荷、重大故障時には基本的に台数制御から全台運転に自動で切り換わる。健全性を確認した後、オペレータの判断で台数制御に手動で切り換える。

例えば、5台で運転中に停電が発生すると、5台は瞬時にバッテリー運転に切り換わる。待機運転の3台は約3秒後に並列運転に投入される。また、5台で運転中に1台に重大故障が発生して4台の運転になった場合は、約13秒後には待機していた全てのUPSが並列運転に投入される。

### 5 常時インバータと常時商用給電方式の信頼性

#### (1) 単機運転時のFIT (Failure In Time) の比較

常時インバータ給電方式と常時商用給電方式のFIT(注2)(常時インバータ給電方式を100とする)と切換制御の比較を表2に示す。

整流器の部品点数は多く、常時商用給電時は、部品点数

表2 常時インバータと常時商用の給電方式の比較

項目	常時インバータ給電方式	常時商用給電方式
単機運転のFIT*の比較	○ 100% 整流器運転, インバータ運転, サイリスタスイッチ停止	◎ 90% 整流器停止, インバータ運転, サイリスタスイッチ運転
故障時の切換制御	○ 4ステップ インバータ停止⇒サイリスタ スイッチ点弧⇒MC投入⇒ サイリスタスイッチ消弧	◎ 3ステップ インバータ停止⇒サイリスタ スイッチ消弧⇒MC投入
停電時の切換制御	◎ 1制御 整流器運転→停止 (インバータ運転継続)	○ 2制御 サイリスタスイッチ運転→ 停止 インバータアクティブ動作 →インバータ給電

\*冷却ファンは冗長化されているため除外

の多い整流器は動作しないので常時インバータ給電時に比べFIT数は小さくなり、信頼性の高い運転となる。

#### (2) 故障時の信頼性の比較

故障時、常時インバータ給電方式は、インバータ停止、サイリスタスイッチ点弧、MC投入、サイリスタスイッチ消弧と4ステップにて切換制御を行う。それに対して、常時商用給電方式は、インバータ停止、サイリスタスイッチ消弧、MC投入で3ステップの切換となり、常時インバータ給電方式よりも切換回数が少なく切換失敗のリスクは低い。

#### (3) 停電時の切換制御の信頼性の比較

停電時、常時インバータ給電方式は、整流器を停止させるだけで、インバータ給電に変化はない。一方、常時商用給電方式はサイリスタスイッチを停止させて、インバータをアクティブ動作から通常のインバータ給電に切り換える必要がある。したがって、インバータ運転の切換とサイリスタスイッチの切換失敗のリスクがある。また、停電の発生頻度は、年に数回あり、常時商用給電では切換失敗のリスクが高いことを認識しておく必要がある。

故障と停電頻度を比較すると、圧倒的に停電の頻度の方が高く、停電における切換失敗のリスクが高い常時商用給電方式で運用する場合は、二重化などの信頼性の高い冗長化システムとすることを推奨する。

### 6 あとがき

常時商用給電方式と台数制御機能を付加した高効率UPS「UPS7000HX-T4」について述べた。データセンター向けに高効率の電源システムが実現できる三相4線式UPS7000HX-T4に、常時商用給電機能と常時インバータ給電の台数制御機能を追加し、さらに高効率運転を実現した。今後も、高効率、省スペースにより社会に貢献していく所存である。

〈注2〉FIT (Failure In Time): 製品の故障率を表す指標の一つで、稼働10億(10<sup>9</sup>)時間当たりの平均故障回数である。1/10<sup>9</sup>(故障件数/時間)は1FITを示す。

## 参考文献

- (1) 山方義彦ほか. データセンター向けA-NPC 3レベル適用大容量高効率UPS「UPS7000HXシリーズ」. 富士時報. 2012, vol.85, no.3, p.250-254.
- (2) 佐藤篤司ほか. SiCハイブリッドモジュールを適用した北米向け大容量UPS「UPS7300WX-T3U」. 富士電機技報. 2017, vol.90, no.1, p.55-57.
- (3) 安本浩二ほか. 三相4線式無停電電源装置を活用した高効率電源システム. 富士電機技報. 2019, vol.92, no.1, p.54-59.



### 安本 浩二

道路用電気集じん装置, 液晶ガラス基板恒温装置, 無停電電源装置の開発・設計に従事。現在, 富士電機株式会社パワエレシステム エネルギー事業本部施設・電源システム事業部D プロジェクト部。博士(工学)。技術士(電気電子部門)。



### 濱田 一平

中大容量無停電電源装置の開発・設計に従事。現在, 富士電機株式会社パワエレシステム エネルギー事業本部開発統括部電源機器開発部主任。電気学会会員。無停電電源システム標準化委員兼 IEC SC22H エキスパート。



### 反町 直弘

中大容量無停電電源装置の開発・設計, 無停電電源装置のエンジニアリング業務に従事。現在, 富士電機株式会社パワエレシステム エネルギー事業本部施設・電源システム事業部D プロジェクト部。





\*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。