

無停電電源装置

Uninterruptible Power System

星 敏彦* Toshihiko Hoshi・定由征次** Seiji Sadayoshi・高野安人** Yasuto Takano・福田 英治** Eiji Fukuda

I. まえがき

コンピュータに代表されるエレクトロニクスの発展、普及に伴い、情報処理、制御の両分野における自動化、省力化あるいはシステムの高度化は世の必然的な趨勢であり、何人の論を待たないところである。これらの普及の背景となっているものは、技術の進歩によるシステム信頼性の向上である。このシステム信頼性を左右する要素として、情報処理機器が高い信頼性をもつことはもちろんのこと、高信頼度の電力の確保もまた、きわめて重要な要素である。当社がこれらの社会的要求を背景として高信頼度静止形無停電電源装置を開発し、世に信を問うて以来年を追ってその高性能、高信頼性は世の識者の高い評価を得るところとなり、各分野へ多くの無停電電源装置を供給し、情報処理、電子制御等の分野のいわば隠れた主役として重責を果たしていることは、昨今の業界における当社の位置づけと併せて誇りを持つとともに、ますますその社会的責任を痛感するものである。⁽³⁾

昨今、わが国の電力事情は、きわめて安定していると伝えられているが、なお、平均して年3回の停電や系統事故、雷、負荷の突入電流などで発生する瞬断・瞬時電圧降下などあり、これは到底コンピュータの許容するところではなく、無停電電源装置がその責務を担わねばならないことは明らかである。⁽⁴⁾

本稿は、これらの状況をふまえ、CVCFインバータを中心とした無停電電源装置の概要を紹介するものである。

II. 無停電電源装置の種類

一般的に無停電電源装置は、商用電源のバックアップとして用いられるもので、性格上高信頼度を要求される。

無停電電源装置の動作方式により分類すると、

- (1) 商用電源の停電後に電力の供給を開始するもので瞬断を伴うもの。
- (2) 商用電源の停電時にも無瞬断で電力を供給し続けるもの。

がある。第1表はこれらの無停電電源装置の分類と主な用途を示す。オンラインリアルタイム処理のコンピュータ等では瞬断は許されず、必然的に方式①が要求されることになるが、この無停電化のエネルギーとしては蓄電池が用いられ、長時間の無停電に対処するためには不経済で、方式③の自家発電設備等と組み合わせることが好ましい。この場合の蓄電池の電力供給可能時間は、自家発電設備の始動時間と商用電力回復後自家発電設備から商用電力へ戻すに要する時間だけでよい。

第1表 瞬断許容時間と無停電電源

Table 1. Breakout time at power system

	瞬断許容時間	構成図	備考	主な負荷
①	無瞬断 (0)	商用 	無停電装置は常時運転	コンピュータ 通信設備
②	40~ 100 ms	商用 自家発(常時運転) または電池	MCの切換時間のみ負荷は無電圧となる	非常灯 電話通信 計装
③	10~ 60 s	商用 自家発	商用停電後自家発がスタート(非常用自家発セット)	非常用負荷 保安用負荷 その他

済で、方式③の自家発電設備等と組み合わせることが好ましい。この場合の蓄電池の電力供給可能時間は、自家発電設備の始動時間と商用電力回復後自家発電設備から商用電力へ戻すに要する時間だけでよい。

第2表は、代表的な無停電電源装置の例で、特に、オンラインコンピュータのように、電源の瞬断をまったく許容しないシステムでは、必然的に、第2表の方式Cまたは方式Dを採用しなければならないが、最近では経済性、保守性、環境性などにすぐれた方式D(静止形CVCF装置)が広く用いられている。ごく小容量の無停電電源装置では非常用発電設備を特に設けず、長時間の無停電運転するものもある。

III. 静止形 CVCF 電源装置を含む 無停電電源設備

静止形 CVCF 電源装置の動作原理が第1図に示されている。⁽⁵⁾

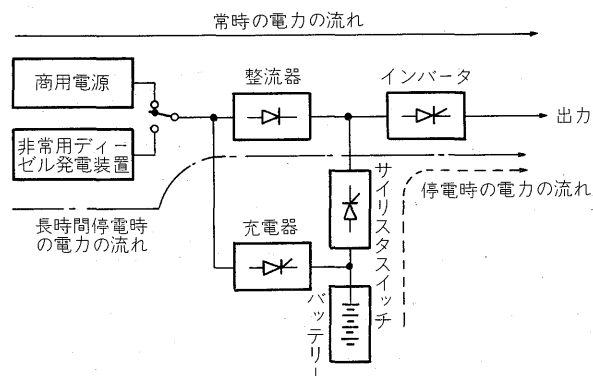
商用電力が正常な場合には、商用交流電力を整流器で整流して直流に変換し、これをインバータにより再度交

* 東京工場 ** 建設技術部

第 2 表 代表的無停電電源装置

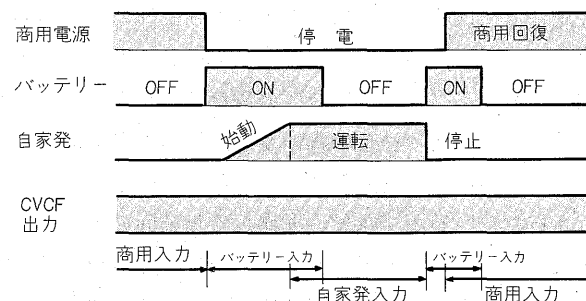
Table 2. Representative non-break power system

分類	呼 称	方 式 (概略スケルトン)	停電時間	出力電圧・周波数精度		コンピュ ータ負荷 への適否	効 率	備 考
				定 常 時	過 渡 時			
A	非常用 自家発		10時間以上	$V \pm 1.5\%$ $F \pm 3\%$	$V \pm 20\%$ $F \pm 10\%$	否	—	非常用電源として、一般的に使用されているが、始動時間が10～60秒必要である。
B	3EG		10時間以上	$V \pm 1.5\%$ $F + 2\%$ $- 5\%$ (DMのとき) $F \pm 1.5\%$	$V \pm 10\%$ $\sim \pm 20\%$ $F + 2\%$ $- 10\%$	否	60～70%	周波数特性が悪いので、最近あまり使用されていない。
C	回転形 CVCF (無停電)		10時間以上 (ただし、 ディーゼル なしでは5 分～2時間 程度)	$V \pm 1.5\%$ $F \pm 1.5\%$	$V \pm 10\%$ $\sim \pm 20\%$ $F \pm 1\%$	適	60～80%	静止形に比べ効率が悪いので、無停電形では経済的メリットが乏しくなり、最近あまり用いられなくなった。
D	静止形 CVCF		同 上	$V \pm 1.5\%$ $F \pm 1\%$ 以下	$V \pm 10\%$ $\sim \pm 20\%$ $F \pm 1\%$ 以下	適	85～92% (AC/AC 変換)	オンラインコンピュータ用を中心に広く使用されている。

第 1 図 CVCF 装置動作原理図
Fig. 1. Principle of UPS

流に変換する。停電が発生した場合にはこれを検出して、バッテリーとインバータ間にあるサイリスタスイッチを速やかに動作させてバッテリーからインバータに直流電力を供給する。その結果、交流入力が停電してもインバータの出力から交流電力を負荷に供給し続けることができる。出力交流の電圧・周波数は、CVCF 電源装置内部の自動制御装置で一定になるように自動制御される。商用電源が回復すると、CVCF 電源装置は自動的に商用電力を受けて出力を出し、バッテリーは切り離される。

自家発電設備がある場合には、商用電源の停電とともに自家発電設備が始動開始し、電圧確立後に CVCF 電源装置に負荷電力を供給し、商用の電圧が復電するとともに自家発電設備から商用電源へ切り換えられる。第 2 図は停電・復電時のタイムチャートが示されている。また外観を第 3 図に示す。



第 2 図 停電・復電時のタイムチャート

Fig. 2. Time chart at breakout and recovery

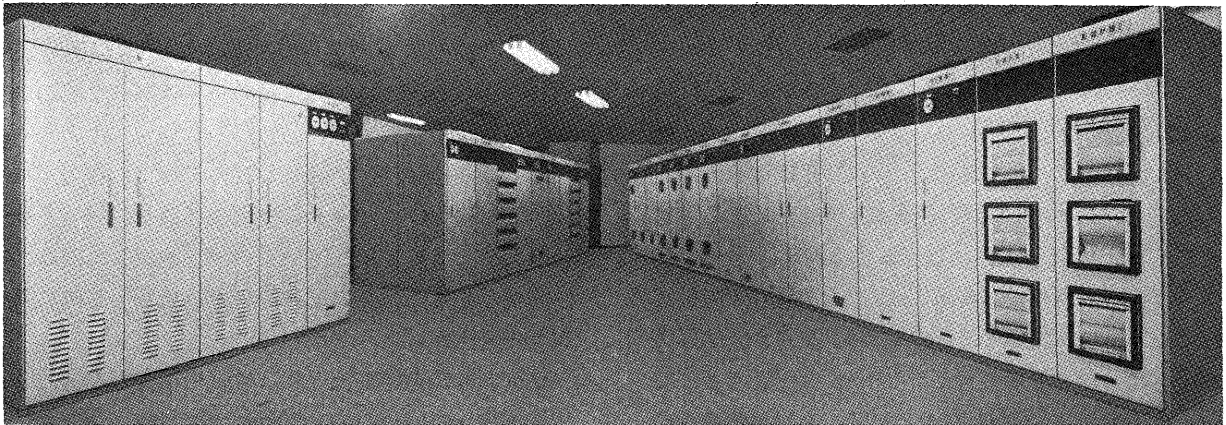
IV. 高信頼度 CVCF 電源装置

CVCF 電源装置を必要とするシステムは、その電源ダウンが及ぼす影響は膨大であり、人命・社会不安・信用の失墜などになることもあるので、無停電電源の計画にあたっては高信頼度の CVCF 電源装置を選定することはもちろんのこと、万一の CVCF 電源装置故障時のバックアップについても十分な検討が必要である。

CVCF 電源装置の高信頼化のための代表的システムである商用無瞬断切換方式と並列冗長方式について、その概要と問題点について説明する。

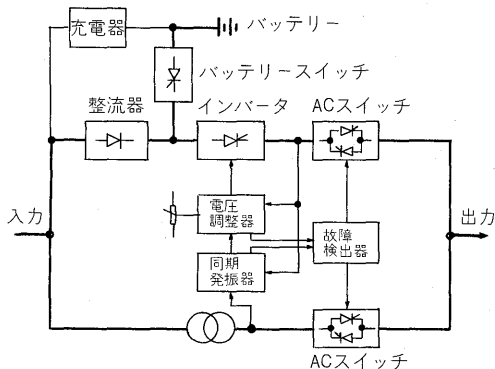
1. 商用無瞬断切換方式

本方式における CVCF 電源装置は、常時商用電源と同一周波数、同一位相にて同期運転しながら負荷に電力を給電し、CVCF 電源装置が障害を起こした場合とか点検などで CVCF 電源装置を停止することが必要になった場合に、出力側サイリスタスイッチ (AC スイッチ) にてバ



第3図 CVCF 装置
Fig. 3. External view of UPS

イパス電源（通常商用電源）に同期無瞬断切換えを行う方式で、負荷への連続給電が可能であるからオンラインコンピュータシステムなどに使用されてきている。バックアップ電源に商用電源をそのまま使用しているのだから経済的であることが本方式の特長である。また CVCF 電源装置が故障時商用電源も停電すると、負荷への給電が停止するが両アクシデントが重なることは商用電力の現状から皆無に近く、信頼度はきわめて高いものと評価されている。第4図に本方式の概念図を示す。



第4図 商用無瞬断方式概念図
Fig. 4. Block diagram of uninterruptible transfer switch system

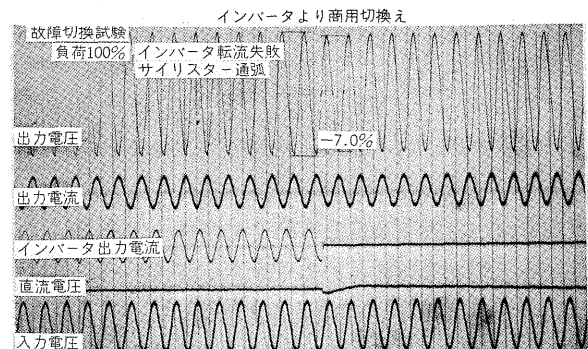
この方式の必要条件是次のとおりである。

- (1) CVCF 電源装置は常に商用電源と同一位相、同一周波数で運転し、商用周波数が定値の $\pm 0.8\%$ 以上ずれた場合や停電した場合には内部の発振器で高精度の定周波運転が継続できること。
- (2) CVCF 電源装置に故障が発生すれば、商用電源に（この場合は自動的に）、故障復旧すれば再び CVCF 電源装置に（この場合は手動で）同期無瞬断切換えが可能なこと。この切換え時の電圧変動は許容値以内であり瞬断があってはならない。
- (3) 商用電源にまれに発生するノイズ（雷誘導・系統事故・特殊負荷の投入など）に影響を受けることなく安

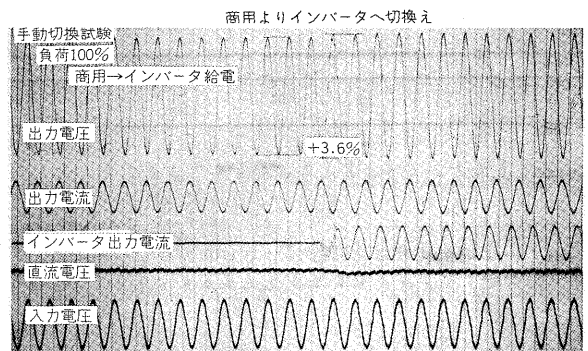
定に運転すること。このことは商用電源に同期制御することから特に重要である。

当社の商用同期方式は商用電源の周波数が変動して負荷側の許容周波数精度範囲を超えた場合同期制御が自動的にすべり、所定の精度内で運転する。同期方式で電源の憂乱や停電、さらには自家発電設備での同期運転においても安定に運転できる。さらに電子式の各種故障検出器が CVCF 電源装置内の故障を速やかに検出し、商用に切り換えるので、その切換え性能もきわめて良好である。このことは 40 か所に及ぶ好調な運転実績からも裏づけられている。

第5図および第6図に商用無瞬断切換方式の代表的な



第5図 CVCF 故障切換オシログラム
Fig. 5. Oscillogram of transfer at inverter failure

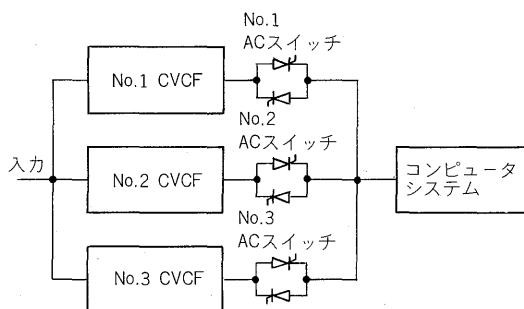


第6図 手動切換オシログラム
Fig. 6. Oscillogram of manual transfer

オシログラムを示す。第 5 図に CVCF 電源装置故障切換え時を、第 6 図に復旧切換え時を示しており、いずれの場合でも同期無瞬断で切り換えられていることがわかる。

2. 並列冗長方式

本方式は第 7 図のように 2 台以上の CVCF 電源装置を並列運転させ、1 台の CVCF 電源装置が故障してもこれを自動的に切り離し (AC スイッチによる高速しゃ断)、残りの健全器で運転を継続し負荷にはいかなる場合でも動揺のない良質の電力を供給する方式である。並列台数は保守性、負荷バランス、信頼性などから 5~6 台を限度としており、コンピュータの場合レベルアップによる電源増設を考慮し、当初の計画では 2~4 台並列で行うことがよい。



第 7 図 並列冗長方式ブロック図

Fig. 7. Block diagram of parallel redundant system

この方式で特に重要なことは、

- (1) 共倒れ (2 台以上の CVCF 電源装置が同時に停止してしまうこと) が絶対にないよう構成されていること。
- (2) 事故器の切り離し時に電圧の動揺が少ないこと。

の 2 点である。
並列冗長方式においては並列運転しているおのこの CVCF 電源装置が完全に独立になっていて 1 台のいかなる故障も他に影響を及ぼさないことが重要であるが、出力電圧を決定するおのこの電圧制御装置・周波數位相を決定する発振器などの故障は健全機へもその影響を及ぼし、さらには故障器しゃ断用の AC スイッチの故障もまた健全器への影響を及ぼすので、いわば共通部とみなしてシステムを検討することが、並列冗長方式をより信頼度を高めるために重要である。⁽⁶⁾

このため当社の方式は、

- (1) 共通部品は発振器のみとした信頼度のすぐれた個別制御方式を採用している。発振器は 2 台の発振器による待期冗長方式を採用している。
- (2) 故障検出はあらゆる故障を検出することを目的とし通常省略されている電圧制御系異常や出力 AC スイッチの失弧検出器など付けている。電圧制御系の障害や AC スイッチの障害は装置全体から見ると確率的に非常にまれな障害であるが、万一これが故障すると健全器が先に停止してしまうこともあるので共倒れ防止上

省略することはできない。

- (3) 個々の CVCF 電源装置に内蔵している制御電源 (DC /DC コンバータ) は制御電源の重要性から 2 台の並列冗長式を採用している。
- (4) CVCF 電源装置の内部インピーダンスは極力小さくし、さらに AC スイッチには限流回路を付属した強制消弧スイッチを使用しているため、選択しゃ断時の電圧動揺が小さく、特に軽負荷におけるしゃ断時の異常電圧の発生がほとんどない。
- (5) 転流失敗時の過電流保護は実績の豊富な高速ヒューズを使用しているため、事故電流が外部に波及することがなく、協調性に富んでいる。

などの考慮を払っている。

当社は FMEA により十分な信頼度の検討を行っており、その結果現在まで稼動中の本方式の CVCF 電源装置はすべて期待どおり運転している。

V. CVCF 電源装置と自家発電設備との関連

長時間の無停電化を図るには自家発電設備と CVCF 電源装置とを組み合わせることになるが、この場合、特に検討しておかなければならないことは「高調波の影響」と「給電直後の速度低下」の問題である。

1. 高調波と対策

CVCF 電源装置は交流入力を整流器にていったん直流に変換しており (通常 3 相全波整流……6 相整流) 交流入力電流は正弦波電流でなく高調波電流を含んだ矩形波電流が流れる。このため、自家発電設備は波形がひずみ電圧制御が不安定な動作をしたり、発電機の回転子が異常加熱したりする。

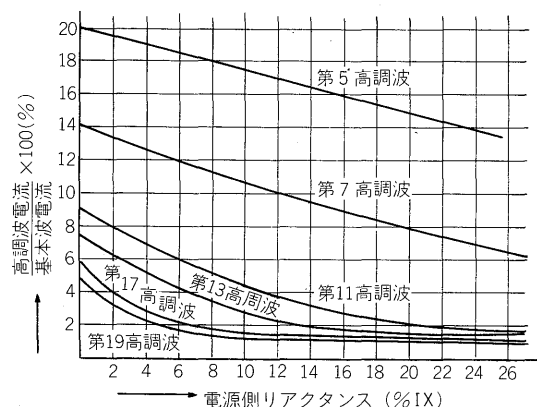
3 相全波整流器における入力高調波電流は理論的に、 $6n \pm 1$ 次 ($n = 1, 2, 3, \dots$) が発生する。その基本波電流に対する割合は、電源のリアクタンスがないときには高調波次数の逆数で、

第 5 高調波電流	20%
第 7 高調波電流	14.3%
第 11 高調波電流	9.1%
第 13 高調波電流	7.7%
第 17 高調波電流	5.9%
第 19 高調波電流	5.3%

となる。

しかし、発電機のリアクタンスや電源変圧器のリアクタンスにより実際に流れる高調波電流は多少減少する。電源側リアクタンスを考慮した各高調波電流の基本波電流に対する割合を第 8 図に示す。

高調波を低減させる必要がある場合は、その対策として共振フィルタを設けることや整流器の整流相数を増やすことなどがある。共振フィルタをそう入することは非



第8図 電源側リアクタンスを考慮した高調波電流
Fig. 8. Harmonics current

常に有効な方法であるが、主回路にそう入させるため容量的に大きくなり不経済である。整流相数を増やす方法は、CVCF 電源装置を並列運転させる場合に有効な方法で、入力変圧器を個々に設けその結線を Δ - Δ と Δ -Y の組合せにより整流相数が 12 相となる。

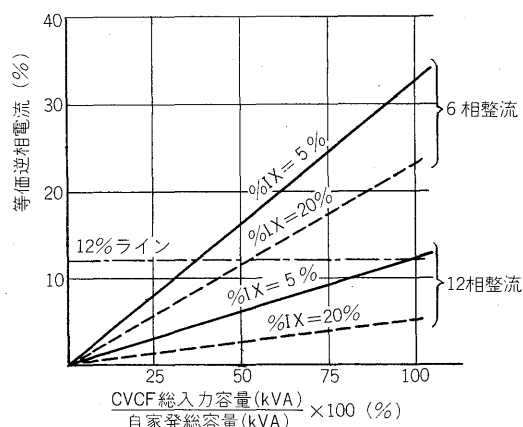
この結果 $6(2m-1) \pm 1$ 次、(ただし、 $m = 1, 2, \dots$) の高調波すなわち 5 倍、7 倍などが消滅し、11 倍、13 倍、23 倍、25 倍……となり高調波電流は極端に少なくなる。

特殊設計された発電機を除く一般の標準形の発電機の場合高調波電流の許容値は、通常等価逆相電流で 12% 前後を目安に作られている。第9図は自家発電設備容量に対する CVCF 電源装置の容量比から等価逆相電流を試算したものである。本図から標準 CVCF 電源装置は 6 相整流であるので、少なくとも CVCF 電源装置は自家発電設備容量の 50% 以下にすることが必要である。また 12 相整流式とすれば高調波の影響を考慮する必要がないことがわかる。

CVCF 電源装置は交流入力側からみた場合線形二次系負荷で、その共振周波数の影響で往々にして出力電圧不安定現象が起こることがあるが、これに対しては自家発の AVR に波形ひずみの影響防止フィルタを付け、かつ CVCF 電源装置の直流フィルタ時定数を十分考慮した制御系とすることが必要となろう。

2. CVCF 投入時の速度低下

最近のディーゼルエンジンは小形軽量化のための高過給式エンジンであり、正味平均有効圧力 13 kg/cm^2 を超えている。このため瞬時に負荷を投入すると速度が大幅に低下し、エンジンが停止してしまうことがある。CVCF 電源装置の入力率は 95% 程度と高いので有効電力が瞬間的にエンジンにかかることになる。高過給式エンジンの場合、瞬間投入負荷の限度は 50~70% でありエンジンによって多少の差はある。一般に自家発電設備は CVCF 電源装置以外にも、たとえば空調式などに電力を供給す



第9図 等価逆相電流
Fig. 9. Equivalent negative sequence current

るよう計画されていることが多く、CVCF 電源容量に比べ 3 倍程度の容量となることが多い。この場合は給電シーケンスを順次投入方式で運用すればこの問題は解決する。

また並列運転している CVCF 装置へ給電する場合、CVCF 電源装置 1 台ずつ順次に自家発電電力に切り換える方法もある。

VI. あとがき

以上 CVCF 電源装置を中心として無停電電源装置についてその概要、問題点、当社の考え方の一部などを述べた。本稿が CVCF 電源装置の導入計画にあたり一助となれば幸せである。

最近の CVCF 電源装置はその制御技術の発展に負うところが大きく高信頼度化、高性能化している。これらについては稿を改めて報告したいと考えている。

当社の CVCF 電源装置についていろいろご助言頂いているユーザおよび関係各位に感謝の意を表する次第である。

参考文献

- (1) 阿部・石橋：静止形定電圧定周波電源装置，富士時報 42, No. 7 (昭 44)
- (2) 戸谷・定由：オンライン情報処理システム用高信頼度静止形無停電電源装置，富士時報 44, No. 8 (昭 46)
- (3) 前田：電気事業にみる“電力の質”の現状，OHM 59, No. 4 (1972)
- (4) 矢部：需要者側からみた電気の質と停電時の経済性，OHM 59, No. 4 (1972)
- (5) 星：無停電電源装置，電子技術 14, No. 4 (1972)
- (6) 星：パワーエレクトロニクスと CVCF 電源，電気計算 40, No. 7 (1972)
- (7) 高橋：高調波電流負荷（整流器負荷など）の同期機に及ぼす影響，富士時報 47, No. 3 (昭 49)



＊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。