小特集 パワーエレクトロニクス

U.D.C. [621. 382. 333. 34::621. 318. 57]. 026:621. 314. 572 :621. 311. 62. 072. 072. 6-932. 2

日立無停電電源装置HIVERTERシリーズの新技術

New Technology for Hitachi Uninterruptible Power Systems

急速に進む情報化の波に乗り、無停電電源装置(CVCF電源装置)は10%/年を 越える伸びを示し、普及の足を速めている。これに対して、このたび単器容量 1~600 kVAにわたり日立CVCF電源装置のラインアップを拡大・充実した。OA を主な適用分野とする小容量器では、MOS FETを使い制御キャリヤ周波数を 20 kHz以上に上げ、低騒音、コンパクト形HIVERTER-88シリーズを開発した。 ミニコンピュータ、プラント計装などに多用される中容量器では、高調波抑制 PWM制御を導入し、かつ商用バイパス系を一体化した単器待機冗長形省スペー スHIVERTER-850αを開発した。また、大容量CVCF電源システムでは非常用 発電機との協調運転が重要であり、そのシステム解析手法を確立した。更に、 CVCF電源装置の運転状態を遠隔監視できるオンラインモニタシステムを開発 し、保全技術を向上した。

小林 彰	* Akira Kobayashi
伊東 孝	* Takashi Itô
国貞秀明	* Hideaki Kunisada
徳永紀一	** Norikazu Tokunage

63

1 緒 言

CVCF (Constant Voltage and Constant Frequency) 電源 装置に対する要件は多様化¹している。コンピュータの動向に 伴う要件と, CVCF電源装置の使用される環境条件による要件 の主な項目を図1に示す。最近のコンピュータシステムは中 央では大規模化,国際オンライン化が進むと同時に末端では コンピュータが分散化される。一方,環境条件では地価高騰 の折から省スペース化,使い勝手の向上,低騒音化などの居 住環境への配慮が特に重要になっている。CVCF電源装置で



注:略語説明 CVCF (Constant Voltage and Constant Frequency), PWM (Pulse Width Modulation:パルス幅変調) EMTP (Electro Magnetic Transient Program)

図 | CVCF電源装置の要件と対応技術 CVCF電源装置に対するニーズは多様化している。

* 日立製作所日立工場 ** 日立製作所日立研究所

1056 日立評論 VOL. 70 No. 10(1988-10)

も、これらの環境ニーズにこたえるのが急務である。日立CVCF 電源装置は、前述の環境ニーズを折り込み単器容量1~600 kVA,システム容量では数千キロボルトアンペアと幅広いラ インアップを完成した。表1に日立 CVCF 電源装置 HIVERTERシリーズの特長を示す。

HIVERTER-850シリーズは中・大規模用であり、並列冗長 接続ができる。徹底した省スペース設計を行うとともにマイ クロコンピュータによる操作ガイダンス機能²⁾によって、操作 保全性の向上を図った。

HIVERTER-851及びHIVERTER-850aシリーズは、小・中 規模を対象として製品化された商用待機冗長システムである。 オートリターン式商用バイパス回路も一体化され、全装可搬 も可能なコンパクト形である。また、本シリーズは単器で使 用されるため、電源投入又は復電のときソフトスタートがで きるWalk-in機能を持ち、受電源との協調性が優れている。

HIVERTER-88シリーズは主にOA(Office Automation) 機器の電源として使用されるが、日立MOS FET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)を使用しキ ャリヤ周波数を20kHz以上に選定することによって低騒音. コンパクト化を図った。

CVCF電源装置の普及に伴い,その容量と非常用発電機の容 量が近接する場合がある。両者の回路定数、制御方法によっ ては,非常用発電機の電圧,電流に異常振動が発生する。事 前検討を十分に行い、未然防止することはシステム信頼性を 確保する上で極めて重要であり、今回、高精度なシステム解 析法を確立した。

更に、信頼性と使い勝手の向上には保全技術の開発も必要 であるが、電話回線を利用したCVCF電源装置の遠隔監視シス テム(オンラインモニタ)を完成した。

本論文では日立CVCF電源装置を支える新技術の中から, HIVERTER-88シリーズに適用した高周波キャリヤ制御, HIVERTER-850aシリーズで開発した高調波抑制PWM (Pulse Width Modulation:パルス幅変調)制御,非常用発電 機を含めたシステム解析法,及びオンラインモニタシステム の開発について概説するとともに、将来を指向し検討してい る高周波リンクCVCF電源装置を紹介する。

HIVERTERシリーズの新技術 2

2.1 キャリヤ周波数の高周波化で低騒音とコンパクト化

インバータ用スイッチング素子の高速化と並行して、イン バータを駆動するキャリヤ周波数も高周波化されている。キ ャリヤ周波数を高くすることは,

変圧器、交流フィルタが小形になり、装置が小形・軽量 (1)化

可聴周波数(20 kHz)以上にすることにより低騒音化 (2)

(3) 高速制御が可能となり、過渡応答性能の向上 などの利点がある。

そこで、インバータのキャリヤ周波数を20kHz以上に選定 し、スイッチング素子として日立パワーMOS FETを採用し たPWM制御式CVCF電源装置HIVERTER-88を製品化し た。表2に、出力1kVAの日立CVCF電源装置に関して従来 方式との比較を,また外観を図2に示す。

日立CVCF電源装置のラインアップ ニーズに対応する幅広いHIVERTERシリーズのラインアップを示す。 表丨

シリーズ名称	入力相数	出力 相数	出 力 周波数 (Hz)	商用バ イパス 内 蔵	蓄電池 内 蔵	単 器 容 量 (kVA)	主な用途	特徵
						1 2 3 5 7.5 10 20 30 40 50 75 100 125 150 200 250 300 400 500 600		
	三相	三相	50/60	-	-	0000000000*	●スーパーコ	●並列冗長制 御
HIVERTER- 850シリーズ	三相	単相	50/60	-	_	000	ンピュータ ●メインフレ ームコンピ	●高力率,高 効率 ●操作ガイダ
	三相	三相	400	-		000	ュータ ●制御用コン ピュータ ●情報通信機	ンス ●省スペース
HIVERTER- 850αシリーズ	三相	三相	50/60	0	_	0000	■情報通信1級 器など	 ●商用待機冗 長 ●オートリタ
HIVERTER- 85Iシリーズ	三相	三相	50/60	0	_	0000	●放送機器 ●ミニコンピ ュータ	ーンバイパ ス ● Walk-in機能
	三相	単相	50/60	0	_	000000	●医療 ●プラント計 装用など	付き ●メンテナビ リティ良
HIVERTER- 38シリーズ	単相	単相	50/60	0	0	000	 ●オフィスコ ンピュータ ●ワークステ ーション ●POS(Point of Sale) など 	●オートリタ ーンバイパ ス ●極低騒音 ●コンパクト

日立無停電電源装置HIVERTERシリーズの新技術 1057

	-,	, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	0
No.	項目	従来方式	HIVERTER-88
1	キャリヤ周波数	2,250 Hz • 2,700 Hz	25 kHz
2	寸 法	幅300×奥行600×高さ560 (mm) (100%)	幅250×奥行450×高さ600 (mm) (67%)
3	質量	80 kg (100%)	43 kg (54%)
4	騒 音	50 dB(A)(転流音あり)	43 dB(A)(転流音なし)
5	電圧波形	食荷電流	負荷電流
6	電圧波形ひずみ率	5%以下(線形負荷時)	3%以下(線形負荷時)
7	過渡電圧変動	±10%以下 (50%≓100%負荷急変時) (停電・復電時 回復時間:5サイクル以下	±2%以下 (0≓100%負荷急変時) (停電・復電時 回復時間:1サイクル以下

表2 高周波キャリヤの適用 高周波キャリヤをHIVERTER-88に 適用し、低騒音化及びコンパクト化を実現した。







図 2 HIVERTER-88の外観 幅250×奥行450×高さ600(mm)単相 100 V, 1 kVA出力 ワンタッチ操作で運転できる。

出力周波数50/60 Hzに対し、インバータの動作キャリヤ周 波数を従来方式2,250 Hz(50 Hz対応)/2,700 Hz(60 Hz対応) から、HIVERTER-88では25 kHzに高周波化した。

キャリヤ周波数の高周波化により、体積は33%に、質量は 45%に、騒音は7dB低減された。また、電気的な特性では、電圧 波形ひずみ率の改善(5%から3%へ)、過渡電圧変動は回復 時間1サイクル以下で±2%以下という高性能が達成できた。

2.2 高調波抑制PWM制御による高機能化

PWM制御法のうち、よく知られている三角波と正弦波の比較による方式では、1サイクル中の転流回数をmとすると、 $(m \pm 2)$ 次の高調波を含み、更に出力電圧の基本波波高値は直流電圧の $\frac{1}{2}$ ($m \ge 5$)までしか上げられない。今回、可変位

制御角 αn (度)

(b) 制御角と基本波電圧波高値の関係

注:略語説明 Eu1(基本波出力電圧), Eu(出力電圧), Ed(直流電圧)

図3 高調波抑制PWM制御特性 Iサイクル中の転流回数15回で, 最低次高調波が23次,25次となり,従来方式の13次より改善されている。

$$E_{un} = \frac{2Ed}{n\pi} \Big\{ 2(\cos n\alpha_1 - \cos n\alpha_2 + \cos n\alpha_3 - \cos n$$

 $\cos n\alpha_4 + \cos n\alpha_5 - \cos n\alpha_6 + \cos n\alpha_7) - 1$

で求められる。5次、7次、11次、13次、17次及び19次の高調波を 0としながら、基本波電圧 Eu_1 を可変するように $(\alpha_1 \sim \alpha_7)$ を求 めた。基本波電圧は三角波と正弦波の比較方式に比べて16%高 いので、インバータ素子の電流が低減される。本制御方式を適 用したHIVERTER-850 α シリーズ100 kVA CVCFは、インバ ータ素子を600 V、500 Aパワートランジスタ4並列で構成 し、12相整流回路、無瞬断バイパス切換スイッチを標準装備 とし、幅1、750×奥行1、000×高さ1、900(mm)と省スペース化 が図られている。100 kVA CVCFの外観を図4に示す。

2.3 将来を指向する技術開発

2.1節で述べたように小容量CVCFでは、小形・軽量、低騒 音化のため高周波化が進められているが、中・大容量CVCFも 最近のスイッチング素子の進歩とあいまって高周波化が図ら れる機運にある。また、入力側の整流回路も、入力容量と波

相の切欠きを入れた制御を行うことによって, 高調波次数を

$$2m - \frac{(m-3)}{2} \pm 1$$

形ひずみ低減の面から、PWM制御により入力電流を正弦波化 する傾向にある。

とすることができた。図3にm=15とした場合の制御波形を示す。ここで出力電圧のn次成分は、

スイッチング素子は、これまで主としてMOS FETやバイ ポーラトランジスタが用いられていたが、簡易な駆動、高周 波動作や大容量化の面からIGBT (Insulated Gate Bipolar

65

1058日立評論 VOL. 70 No. 10(1988-10)



100 kVA CVCFの外観 幅1,750×奥行1,000×高さ1,900 义 4 (mm)と小形化され、後面の保守点検余地も不要となっている。

Transistor)が適用される方向にある。更に、素子特性に適応し

し、トランスで絶縁した後、周波数変換回路でインバータ出力 の高周波電圧の極性を切り換えて商用周波数の交流電圧に直 接再変換する方式である。2.1節に述べた方式に比べてAC-DC 変換部とフィルタ部が少なく,小形化と高効率化の面で有利 である。しかも,回路のエネルギー処理と損失低減のため, 周波数変換回路の構成とスイッチの制御には, 独特の工夫を 図っている。開発したCVCFでは、トランスの体積は商用周波数 用の 10以下と小形化が図られ,出力電圧波形や負荷変動時の 応答, 効率などの電源特性は非常に良好な結果が得られた4),5)。

3 システム解析によるシステム信頼性検証

大規模コンピュータセンタの出現によって、CVCF装置のシ ステム容量は将来10 MVAの規模になるものと予想され、大容 量化に伴う諸検討が必要である。特に非常用発電機との安定 性解析は重要である。不安定現象発生のメカニズムを図6に 示す。日立製作所では大容量化に当たりEMTP (Electro Magnetic Transients Program) によるシステムシミュレーシ ョン及びモデル試験によって安定性の検証を実施している。 GTG(Gas Turbine Generator)の場合のシミュレーション回 路例を図7に示す。GTGの軸ねじり振動系,定回転数制御系, 整流現象を含む主回路電気系及びインバータ部の定電力制御 を含む各種制御系を忠実にモデル化し, SSR (Subsynchronous Resonance)をはじめとする各系間の共振現象に対 する安定性の確認を可能としている。図8はその計算例であ り、商用電源の停電復電時の動作をシミュレーションしたも のである。シミュレーションの検証は500 kVA GTGと200 kVA3台CVCFとのモデル試験によって行い、図9に示すよ うに計算とよく一致し安定に動作することを確認した3)。

た高速の保護機能を備えた駆動回路の開発が進められている。

これらの技術に基づいて開発を進めている高周波リンク CVCFを図5に示す。高周波リンクCVCFは、トランスに印加 する電圧を高周波化して、 トランスやフィルタの大幅な小形・ 軽量化と低騒音化を図り、しかも応答の高速化による高性能 化を図るものである。このCVCFは、インバータでは正弦波の 交流出力電圧を得るようにPWM変調した高周波電圧を発生



力制御をかけた負荷を接続すると、SSR現象を起こす場合がある。



(b) 高周波リンクCVCF各部波形

図5 高周波リンクCVCFの構成と動作 パルス幅変調した高周 波電圧をトランスで絶縁した後, 商用周波数の交流電圧に直接再変換す る方式で、トランスやフィルタが大幅に小形化される。

66

De (電気系の制動係数), ω (負速度), T (電気トルク) P(発電機の送電電力),サフィックス"0"(動作点) サフィックス"」"(微少変化分) 2. 略語説明 SSR (Subsynchronous Resonance) 図6 非常用発電機-CVCF系の不安定現象の説明 発電機に定電



注:略語説明

TG (Turbine Generator) GT (Gas Turbine) GTG (Gas Turbine Generator) SW (Switch) EX (Exciter) R (Resistor)

67

図7 EMTPによるシミュレーション回路 発電機及びCVCFの定数を詳細にシミュレーションしている。

GTG 端子電圧	
GTG 出力電流	
CVCF 直流電圧	
GTG 界磁電圧	
GTG 励磁電流	
TC~CT問	



図8 EMTPによるシステム解析例 停電,復電時のシミュレーションを示す。To時点は商用停電中で SW2は開でCVCFは直流電源から給電されており、SW1が閉で充電器がソフトスタート中である。Ti時点で SW2が閉となり、CVCFはGTGから給電される。更に、商用が復電しGTGから商用に切り換わるためにSW1 が開となり、CVCFは再び直流運転となる。 1060 日立評論 VOL. 70 No. 10(1988-10)



図9 EMTP解析結果とモデル試験結果の比較 解析結果をモデル装置の試験結果と比較評価し、一致することを検証した。



図10 オンラインモニタシステム概念図 CVCF電源装置を遠隔監視することが可能である。

68

1061 日立無停電電源装置HIVERTERシリーズの新技術



オンラインモニタ装置外観及び出力波 図日 形例 CVCFシステム各部波形の監視により迅 速な保守対応が可能である。



4 オンラインモニタによる保守支援

CVCF納入台数の急増,24時間連続稼動サイトの増大に備え て、 電話回線を使用した自動集中監視による保守支援システ ム(オンラインモニタシステム)を実用化している。システム 概念図を図10に示す。各顧客サイトに設置されるオンライン モニタ盤は常時CVCFシステムを監視し、システム状態、各部 波形のデータ収録を行い,異常発生時には前後のデータを CVCF監視センタへ自動送信する。装置の外観及び出力波形例 を図11に示す。データには入出力電圧電流波形はもとより、 インバータのゲート信号、並列制御信号などまで収録してお り、この解析によって保全必要部位の限定化が図れ、現地サ ービス局との連係によって短時間診断ができロスタイムの極 少化が可能である。

言 5 結

以上,日立CVCF電源装置を支えている最近の新技術につい て紹介した。高周波キャリヤ技術は小容量HIVERTER-88に, 高調波抑制PWM制御は中容量HIVERTER-850aにそれぞれ 適用し、高機能化を図った。また、オンラインモニタシステ ムの開発, EMTPシミュレーション技術は, CVCF電源シス テムの保全性及び高信頼度システム計画技術を一歩前進させ るものと確信する。



責務はますます重大となる。ユーザー各位のニーズに合致する 日立CVCF電源システムを開発具現化していく考えである。

参考文献

W-

- 地福,外:UPSの技術動向,電気学会誌(D編),107巻,11号 1) (昭62-11)
- 地福,外:定電圧,定周波無停電電源装置の現状と動向,日立 2) 評論, 67, 7, 557~562(昭60-7)
- 伊東,外:CVCFと非常用発電機の安定性の検討,昭和63年電 3) 気学会全国大会論文集, No.565(昭63)
- 大和,外:高周波リンクCVCFの一回路方式,昭和63年電気学 4) 会全国大会論文集, No.558(昭63)

69

5) I. Yamato, et al. : New Conversion System for UPS Using 高度情報化が急テンポで進む中にあって, CVCF電源装置の High Frequency Link, IEEE, PESC(1988)



Servo System Using Optical Serial Transmission in Control Loop for Industrial Robots 日立製作所 小原三四郎・大前 力・外2名 IEEE Trans. Industrial Electronics Vol.IE-34, No.3, 391~398(AUGUST 1987)

ロボットの機能が高度化するにつれて, サーボモータに直結したエンコーダのほ かに視覚(ITVカメラなど),触覚(滑りセ ンサなど)センサが用いられるが,これら センサからの配線数を増加させることな く,その検出値を制御系にフィードバッ クすることが必要である。

本論文は、マイクロコンピュータを用 いた位置、速度制御回路があるサンプリ ング周期ごとに制御演算処理を実行する ことに着目し、各種センサ信号を前処理 した検出値を少なくともそのサンプリン グ周期以内に光伝送路、すなわちシリア ルデータ伝送路を用いて制御系にフィー ドバックするサーボシステムを示す。サ ーボ制御系に光伝送路を持つ本サーボシ ステムによるロボット駆動実験の結果、 各制御系の性能を損なうことなく良好に 動作することを示す。光伝送路には、光 ファイバ、HDLC(High level Data Link Control)通信手順を採用した。

70

論文抄録

サーボモータ用高分解能 ディジタル速度検出方法の検討 日立製作所 杉浦康之・渡部 満・外3名 電気学会論文誌D 108, 1, 69~76(昭63-1)

近年のOA機器やFA機器に用いられて いるサーボモータの制御は、パルスエン コーダとマイクロコンピュータを使用し たディジタル制御方式が盛んである。こ の場合,速度検出方法が速度制御の精度, 可変速範囲及び周波数応答などを決定す るうえで極めて重要である。上記機能向 上のために, 高分解能速度検出方法の開 発が必要である。本論文では2,500サイク ル/回転の正弦波出力のエンコーダとマイ クロコンピュータを用い、128万パルス/ 回転の位置の分解能を達成するとともに, 極低回転0.05 min⁻¹のACサーボモータの 速度制御方式を実現した。位置の検出は サンプリング時間ごとの正弦波出力の零 点パルス数の計測と,正弦波出力のアナ ログ値をディジタル処理した微細位置と による。速度はサンプリング時間ごとの 位置の微分を計算することで高分解能速 度検出方法を達成した。

正弦波出力電流形インバータ 駆動誘導電動機の特性解析 日立製作所 上田茂太・本部光幸・外1名 電気学会論文誌D 107, 10, 1206~1212(昭62-10)

電流形インバータにGTO及びPWM制 御を適用することにより,その出力電圧, 電流波形をほぼ正弦波にできる。このイ ンバータで駆動される誘導電動機の諸特 性を算出する場合,出力端に過電圧吸収 用のコンデンサを接続しているので,こ のコンデンサと電動機漏れインダクタン スとの共振現象を考慮する必要がある。

本論文では、出力端コンデンサを考慮 した誘導電動機の等価回路を用い、更に 等価回路の二次時定数の表皮効果を考慮 することによって、効率、力率、トルク などの電動機駆動特性の解析結果と実験 結果が一致することを確認した。電動機 電圧、電流にはわずかに共振周波数成分 が含まれるが、この成分が電動機特性に 与える影響は少なく、商用電源駆動時の 特性と比較してその差がほとんどない。 本インバータが誘導電動機駆動に非常に 適したものであることを明らかにした。