

純個別制御方式静止形無停電定電圧定周波電源装置

Solid-state Uninterruptible Power Supply with Individual Control Method

日立製作所は、静止形定電圧定周波電源装置(CVCFインバータ)を「ハイバータ」と名付け、各種シリーズ¹⁾を標準系列化している。今回、その制御方式を全く新しくした純個別制御方式の50～500kVAのインバータ「ハイバータ5000」を開発した。「ハイバータ5000」は、主回路に多年の実績をもつ回路を採用し、制御回路は共通部分をほとんどなくして、システムとしての信頼性向上を図っている。また制御回路は、電圧・電流成分による二重制御系とし、過電流抑制機能と合わせて特性の改善を図っている。この方式のCVCFインバータは回転形、静止形の異質な定電圧定周波電源装置との並列運転が可能であり、また、非常用発電機(DEG)への順次投入が可能なため、DEGの容量を小さくすることができる。

徳永紀一* Tokunaga Norikazu

山崎泰広** Yamasaki Yasuhiro

小林 彰** Kobayashi Akira

1 緒 言

日立製作所の静止形定電圧定周波電源装置(以下、CVCFインバータと略す)は、蓄電池と組み合わせ無停電電源として容量に見合った標準系列として製作、納入してきた。並列運転を行なうCVCFインバータを制御方式で分類すると、共通の発振器と電圧制御回路ですべてのCVCFインバータを駆動する多重制御方式と、各CVCFインバータに発振器と電圧制御回路を個別にもつ個別制御方式とがある。

近年、電子計算機のオンラインシステムが高度化し、よりいっそう信頼性の高い定電圧定周波電源装置が望まれるとともに、負荷容量の増大による既設の回転形、又は静止形定電圧定周波電源装置など、他の交流電源との並列運転の要望が高くなってきた。日立製作所は今回、他の交流電源との並列運転が容易に行なえる純個別制御方式のCVCFインバータ「ハイバータ5000」シリーズを開発した。

2 「ハイバータ5000」の特長

「ハイバータ5000」は、信頼性に最重点を置き多年の研究成果と実績を基盤として設計、製作されているが、その主な特長として次の諸点が挙げられる。

(1) 高信頼度

主回路については、「ハイバータ3300」²⁾、「同3400」で多くの実績のある回路を採用した。また、各CVCFインバータ間の電子回路レベルでの信号の授受をやめ、並列運転するための信号のやりとりを行なう共通部分を極小としている。更に、この特集中の別論文「静止形無停電定電圧定周波電源装置「ハイバータ」シリーズとその応用」で述べている手段により、高い信頼性を確保している。

(2) 高安定・高効率

逆導通サイリスタを使用したインパルス転流方式インバータは、零力率までの広範囲の負荷力率変動に対し安定に動作し、転流損失が少ない方式である。このため、停電、復電などの入力側の変化及び負荷の過渡変動による電圧変動は、3サイクル以内に回復し安定に動作するとともに、逆変換効率は90～94%、順変換部を含めた総合効率は88～91%と高効率である。

(3) サイリスタインタラプタ²⁾

並列冗長運転を行なう各CVCFインバータはサイリスタインタラプタで結合され、CVCFインバータの故障時は瞬時(1ms)に切り離し、共通母線には-8%以上のじょう乱を与えないようにしてある。

(4) 増設システムへの適用

純個別制御方式により各CVCFインバータに独立した制御回路を設け、CVCFインバータ間の渡り信号として電子回路レベルの授受がないため増設が容易で、次のような並列運転が可能である。

(a) 自社製同一容量CVCFインバータはもちろん、異なる容量のCVCFインバータ間との並列運転

(b) 他社製静止形CVCFインバータ(同一容量、異容量)との並列運転

(c) 回転形定電圧定周波電源(同一容量、異容量)との並列運転

(5) 非常用発電機の小容量化

純個別制御方式では、各CVCFインバータに個別の電圧制御回路を備えているので、異なる入力電圧であっても並列運転が可能である。したがって、商用電源停電時に蓄電池から非常用発電機(DEG)へCVCFインバータを移行するときCVCFインバータを順次投入することが可能であるため、このシーケンスを組むことにより一括投入方式に比べてDEGの容量を小さく選定できる。また、DEGにとって負荷急変量が小さくなるので、出力電圧の変動が軽減される効果もある。

(6) 過負荷保護

負荷側の短絡、又は過負荷に対してインバータ自身で出力電流を限流する機能をもち、インバータが転流失敗せずに運転を続行するので、負荷端での事故分岐回路のしゃ断切離しが可能である。

3 制御方式

CVCFインバータの並列運転を行なうには、各CVCFインバータの出力電圧と位相とを一致させる制御が必要である。位相を同期させるために、(1)1個の共通の発振器ですべてのCVCFインバータを駆動させる方式、(2)位相固定のためのループを設けて、相互の周波数を一致させるようにした個別の

* 日立製作所日立研究所 ** 日立製作所日立工場

発振器でCVCFインバータを駆動させる方式とがある。

また、出力電圧を一致させるには、(1)1個の共通の電圧制御回路ですべてのCVCFインバータの出力電圧を一括制御する方式、(2)各CVCFインバータごとに電圧制御回路を備え、個別に出力電圧を制御する方式とがある。以上を大別すると、

(1) 共通発振器、共通電圧制御回路方式
(2) 共通発振器、個別電圧制御回路方式
(3) 個別発振器、個別電圧制御回路方式

が考えられる。(1)の方式は、多重制御方式であり「ハイバータ3400」シリーズのCVCFインバータに採用されている。この方式は発振器と電圧制御回路が共通のため、CVCFインバータの入力電圧が同一ならば、負荷分担機能を用いることなしに出力電圧と位相とが一致し負荷分担が均等になるので、並列同期投入の制御が容易であるという長所がある。(2)の方式は、発振器部を除いて個別制御で、CVCFインバータの入力電圧が相違しても負荷分担を均等にできるが、各CVCFインバータ間の信号線が多数必要であるとともに、調整が困難である。また、発振器が共通であるため、直流電圧の異なるCVCFインバータ同士の並列運転を行なうための位相制御が複雑になる。(3)の方式は、純個別制御方式であり、電子回路レベルでの信号の授受なしにCVCFインバータの並列運転を行なう。この方式は、CVCFインバータの入力電圧が相違しても負荷を均等に分担できることはもちろんであり、出力インピーダンスが相違する他の電源と容易に並列運転ができるという特長をもっている。「ハイバータ5000」シリーズは、この方式を採用した。また、並列運転中に相互の位相ずれを起こさぬように、定位相デジタル制御方式を採用している。表1にこれら各方式を比較して示す。

4 構 成

4.1 主回路構成

図1に「ハイバータ5000」を2台並列した冗長無停電電源設備の単線系統を示す。主回路構成は従来の「ハイバータ3400」シリーズと同じで、三相200Vを受電し直流に変換するシリコン整流器、直流を交流に変換するサイリスタインバータ、停電時に蓄電池より給電するための直流サイリスタスイッチ及び並列運転中の事故機の切離しを行なうサイリスタインタラプタから成っている。蓄電池及び充電装置は、停電時にシリコン整流器に代わってインバータに直流電力を給電するとともに、放電に備えて自動的に回復充電する。

4.2 制御回路構成

図2にゲート制御回路のブロック図を「ハイバータ」が2台並列の場合について示す。以下、その概要について述べる。

No.1～No.2 CVCFインバータ間でその出力電圧を比較し偏差を電圧偏差検出回路で検出する。同様に、電流偏差検出回路により両CVCFインバータの出力電流の偏差を検出する。基準発振器には、発振周波数の安定性の高いクリスタル発振器を用いている。この発振器出力は、周波数調整器を経て移相器に与えられる。CVCFインバータを並列運転するための電圧と位相を調整するため、電圧偏差検出回路出力及び電流偏差検出回路出力の2並列で周波数と電圧を制御している。

この制御方式は、電圧と電流の2種の偏差信号で負荷分担を制御し、偏差検出回路の一方が故障(短絡又は開放)しても負荷分担特性は仕様内に制御できるように設計されている。したがって、正常時には二重に制御されるので、負荷分担特性が改善される。

表1 並列CVCFインバータの制御方式比較 多重制御方式及び2種の個別制御方式についての比較を行なった結果を示す。

No.	比 較 項 目	多重制御方式	現状の個別制御方式(一例)	純個別制御方式
1	制御ブロック図 OSC : 発振器 PH.S : 移相制御器 R.C : リングカウンタ 2 out of 3 : 多数決優先判定回路			
2	CVCFユニットの機能独立性	比較的共通部分が多い。	比較的共通部分が少ない。	共通部分がほとんどない。
3	発振器独立性	発振器、移相制御とも共通	発振器共通、移相制御個別	発振器、移相制御とも個別
4	出力電流の不均衡度	約2%以下で非常に優れる。	約5%程度	約5%程度
5	電力帰還制御	不 要	電流分担制御が必要。	電流制御が必要。
6	ユニットの並列同期投入制御	簡 易	複 雑	やや複雑
7	直流電源の異なるインバータ間の並列運転	困 難	電圧制御のほか位相制御必要(実施例少ない)。	容 易
8	容量の異なるインバータ間の並列運転	困 難	可能なるも複雑。	容 易
9	交流電源停電時の非常用電源(DEG)に対する影響	一斉投入となり、電源への影響大。	原理的には、分割投入可能。	分割投入可能のため、電源への影響が少ない。
10	保 守 性	共通部については、停止点検の必要あり。	共通部については停止点検が必要。	無停電点検が容易。
11	経 済 性	並列ユニットが多いときは優れる。	並列ユニットが少ないときは優れる。	並列ユニット2台時は優れる(移相制御器が二組みで済む)。
12	据付時の調整	容 易	複 雑	やや複雑

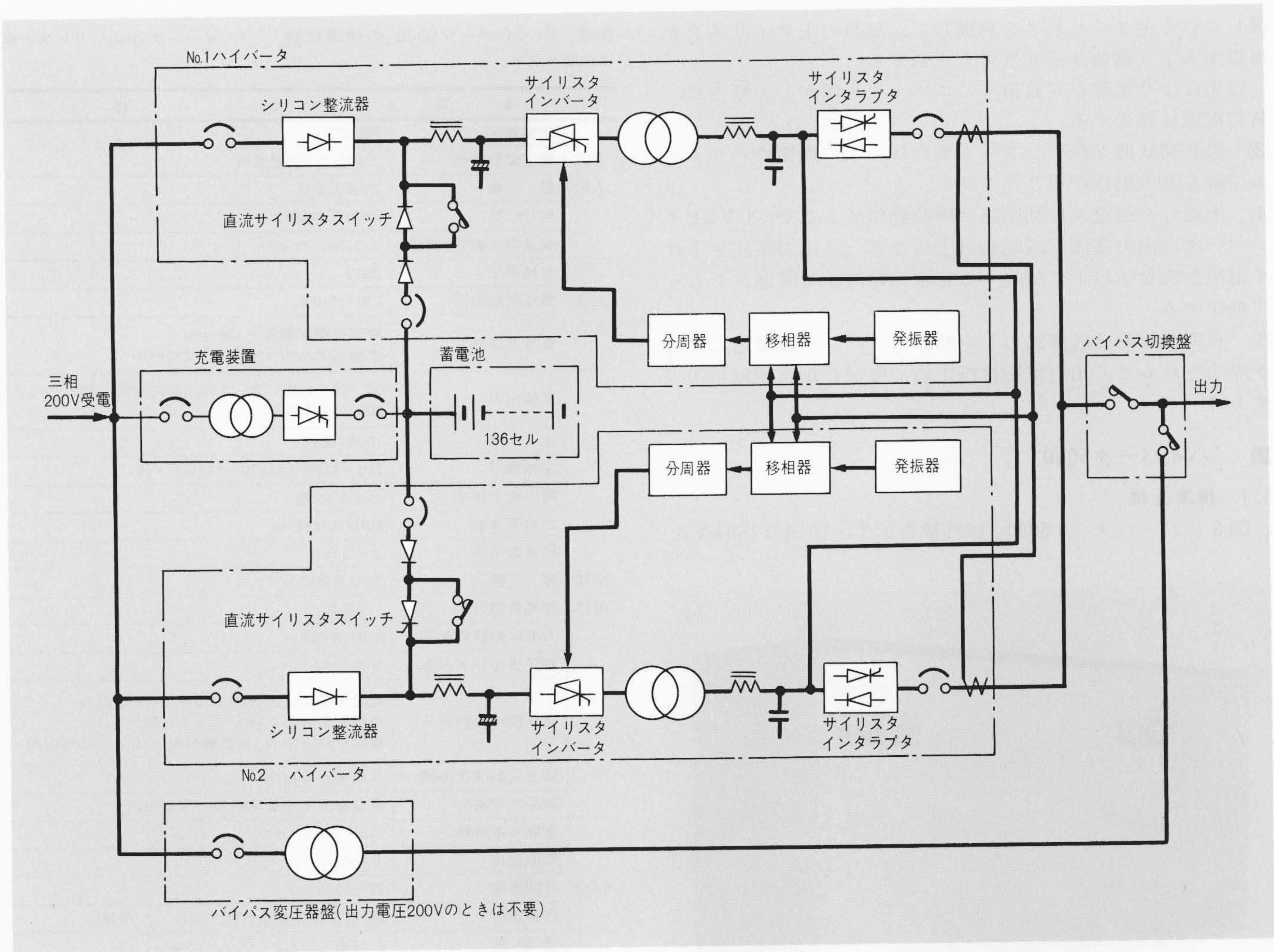


図1 並列冗長無停電電源設備系統図 「ハイバータ」2台並列の例を示す。

4.3 過負荷保護

「ハイバータ5000」では、インバータ自身の転流動作を利用してインバータ本体に過電流抑制機能をもたせる方式とした。以下、その出力過負荷に対する制御の方法について述べる。

- (1) インバータの転流能力は150%以上の過負荷に対して転流できるものとする。
- (2) 負荷が過負荷になり150%以上となったとき、ユニットインバータごとに瞬時に過負荷を検出し、電流の極性により通

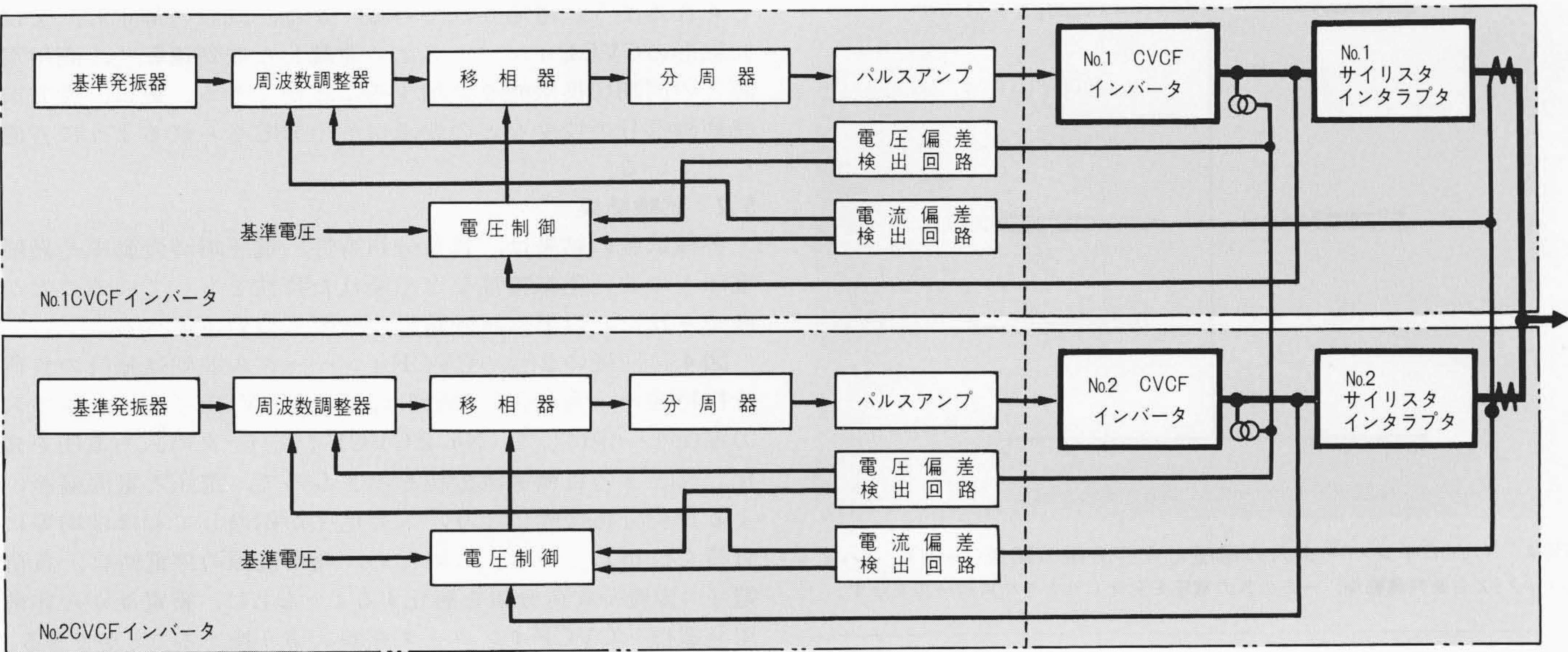


図2 ゲート制御回路ブロック図 「ハイバータ」2台並列の例を示す。

流している主サイリスタを判別して、該当の主サイリスタを消弧するよう補助サイリスタを点弧する。

以上により電源から負荷へのエネルギー源がしゃ断され、負荷電流は減少する。

(3) 過負荷状態が続行している場合は、次の逆極性のサイクル以降も(2)の動作が繰り返される。

(4) 上述した過電流抑制回路は瞬時動作であるが、CVCFインバータの出力電流が設定値以上になると、出力電圧を下げて電流を設定値以下に制限する定電流回路が時間遅れをもって動作する。

(5) 負荷側故障分岐回路のしゃ断器がトリップ又は過大負荷が除去されると、出力電圧は設定値に復帰し正常運転に復旧する。^{*1)}

5 「ハイバータ5000」

5.1 標準仕様

図3に「ハイバータ5000」の外観を示す。同図は150kVA

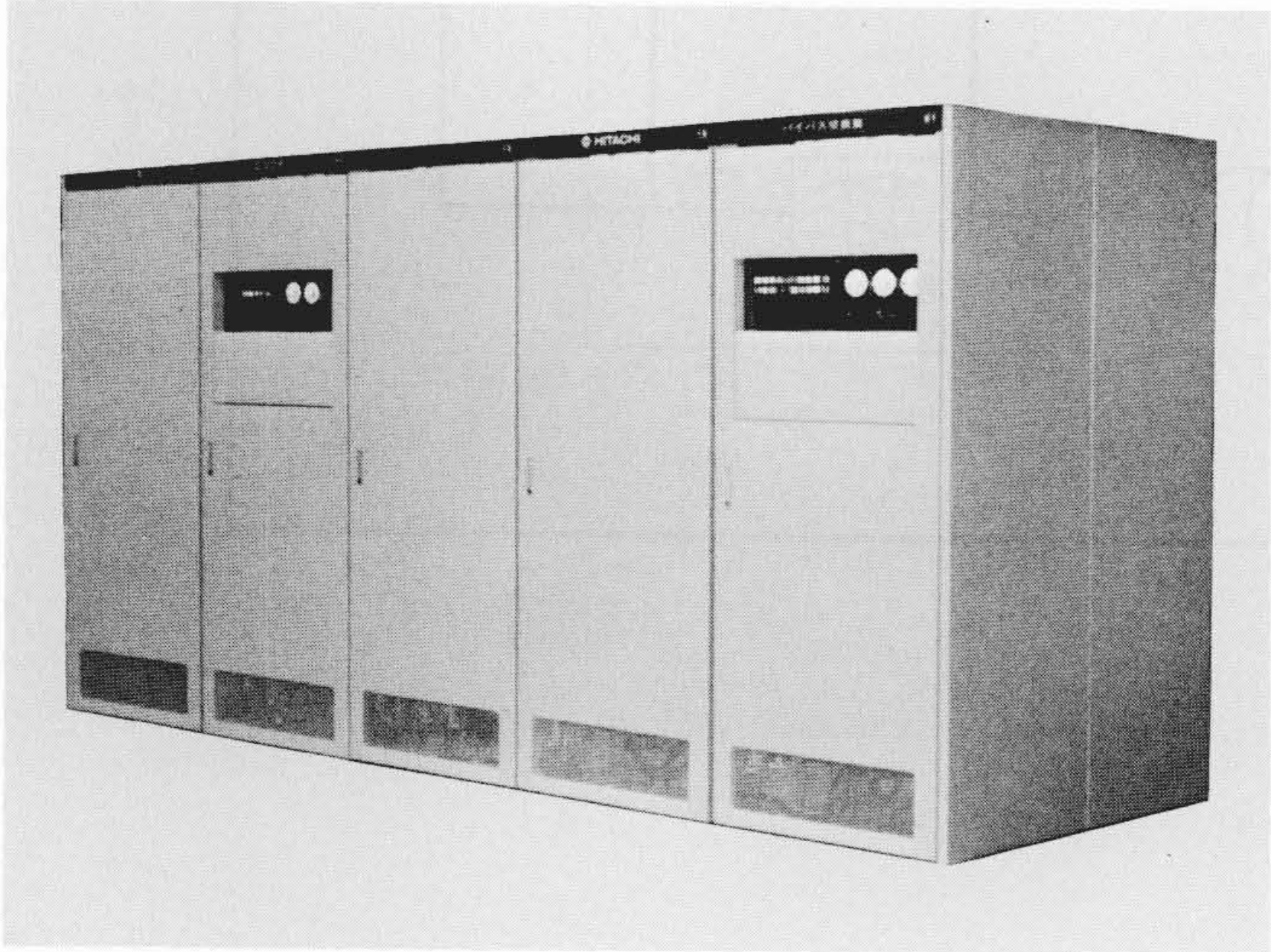


図3 「ハイバータ5000」 150kVA「ハイバータ」の外観を示す。

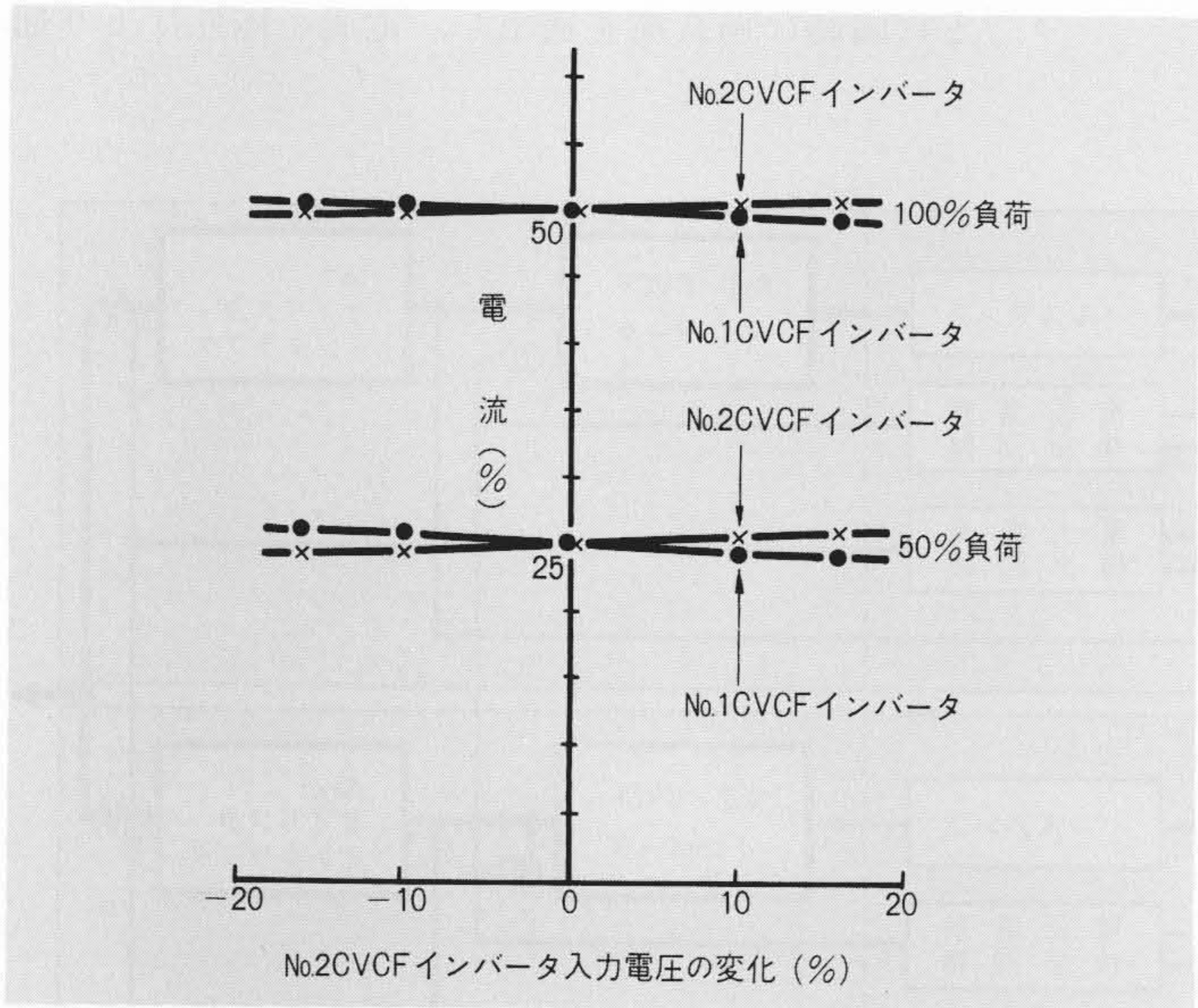


図4 CVCFインバータ入力電圧と負荷分担の関係(一例) 「ハイバータ」2台並列運転中、一方の入力電圧を変化したときの負荷分担を示す。

表2 「ハイバータ5000」の標準仕様 「ハイバータ5000」シリーズの標準仕様を示す。

区分	項目	仕様
交流 入力	定格電圧	200V*
	電圧変動範囲	±10%以内(定常時)
	相数	三相3線式
	周波数	50Hz又は60Hz
	周波数変動許容範囲	±5%以内
直流 入力	定格電圧	250V
	電圧変動範囲	230～330V
	蓄電池直列数	高率放電鉛電池：136セル 焼結式アルカリ蓄電池：230セル
交流 出力	定格出力	50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500(kVA)
	定 格	100%連続
	定格電圧	200～210V又は220～230Vの1点
	電圧整定精度	±2%以内
	定格周波数	50Hz又は60Hz
	周波数精度	±0.5%
	相数	三相3線式*
	定格負荷力率	0.9遅れ
	力率変動許容範囲	0.9～0.7遅れ
	電圧波形ひずみ率	5%以内
	電圧瞬時変動率	電源停電又は回復時+10%, -8%以内 負荷急変50%⇔80%で±7%以内 事故「ハイバータ」自動解列時+10%, -8%以内
	同上変動回復時間	3サイクル以内
	電圧不平衡率	負荷電流不平衡率30%で5%以内
	準拠する規格	JIS, JEC, JEM
その他	周囲温度	0～40℃
	周囲湿度	35～85%
	設置場所	屋内(塵埃, 腐食性ガスはなく, 清浄)
	塗 装 色	2.5PB 6/3.8 ライトブルー

注：*は仕様変更可能

CVCFインバータ単機でバイパス切換盤をもっている例であり、色調は「ハイバータ」シリーズに共通の塗装が施されている。

表2に「ハイバータ5000」シリーズの標準仕様を示す。*印で示した仕様は変更可能な仕様であり、ユーザーの要求に応じられるように考慮されている。また、既設の静止形、又は回転形のCVCFインバータとの連続した並列運転や、商用電源との同期切換機能を追加することができる。更に、遠方監視制御信号の授受などの要求にも十分応じられるように考慮されている。

5.2 試験結果

各種試験の結果は、負荷分担特性、電圧瞬時変動率や異種電源との並列運転特性などで優れた特性をもっていることが確認された。以下に試験結果の概要について述べる。

図4に同種の2台のCVCFインバータの並列運転時の負荷分担特性の一例を示す。同図は、No.1 CVCFインバータの入力電圧を一定にして、No.2 CVCFインバータの入力電圧を変化したときの負荷電流分担を示すもので、電圧と電流偏差による負荷分担機能により、入力電圧が相違してもほぼ均等に負荷を分担している。このため、商用電源の停電時に、負荷電圧の変動や負荷分担を悪化することなしに、蓄電池から非常用発電機へCVCFインバータを順次切り換えることができる。

図5のオシログラムは、50%～100%間の負荷急変時の特性

*1) 特許申請中

を示すもので、出力電圧変動は十分仕様を満足している。負荷急変時の負荷分担は、なんら変動を生ずることなくほぼ均等に分担している。

表3に停電、復電試験の一例について示す。電圧の瞬時変動率は、+7%、-6%以内となり、回復時間も、3サイクル以内と優れた性能を示した。

図6に過負荷試験時のオシログラムの一例を示す。同図は、100%から200%に負荷を急変したときの過電流抑制機能の特性を示すもので、150%以上の過負荷で瞬時応答の過電流抑制回路が動作して出力電流を150%に抑制し、その後、定電流制御回路が動作して出力電流を120%に制御して過負荷からCVCFを保護している。負荷側故障の解除、又は負荷が正常値に復帰すると、再び定電圧制御動作に入り、設定した出力電圧に復帰し正常運転となる。なお、各制御動作区間を明確にするため、この試験では定電流制御回路の動作開始時点を遅らせた。

図7に、二重系とした負荷分担機的一方である電圧偏差検

表3 停電、復電試験結果の一例 停電、復電想定試験での出力電圧の瞬時変動率を示す。

No.	試験項目	負荷(%)	出力電圧瞬時変動率(%)
1	交流入力-10%から停電	100	+7以内
2	放電終止電圧から復電	"	"
3	交流入力+10%から停電	"	-6以内
4	放電直後復電	"	"

出回路故障時の運転特性を示す。健全な電流偏差検出回路により、出力電圧にはなんらのじょう乱を与えることなく、また負荷分担も故障前と同等で連続して並列運転を行なうことができた。負荷分担機能に考えられる他の故障時の運転特性についても試験を行なったが、冗長系とした負荷分担機能をもつ「ハイバータ5000」の優れた特性が確認された。

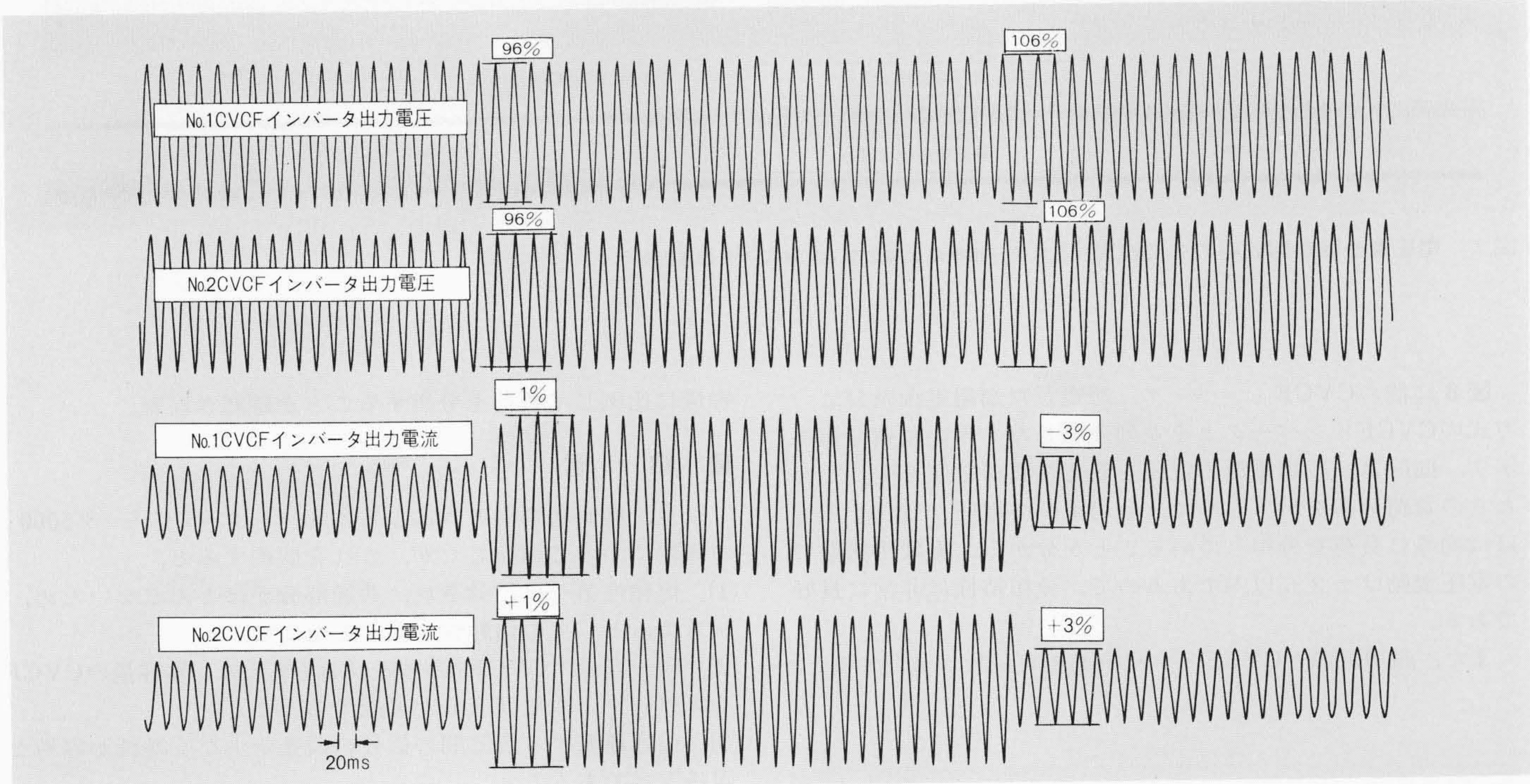


図5 負荷急変時の負荷分担 「ハイバータ」2台並列運転時に50%～100%間で負荷を急変したときの各部波形を示す。

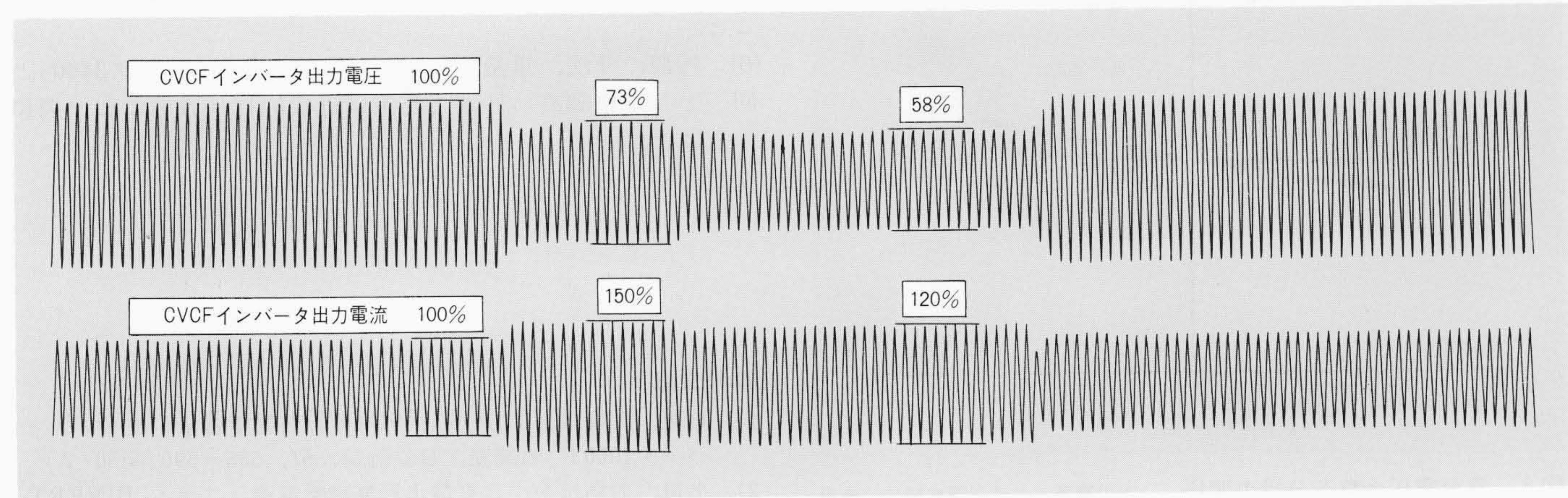


図6 過負荷試験 定格負荷より200%過負荷とした場合の各部波形を示す。

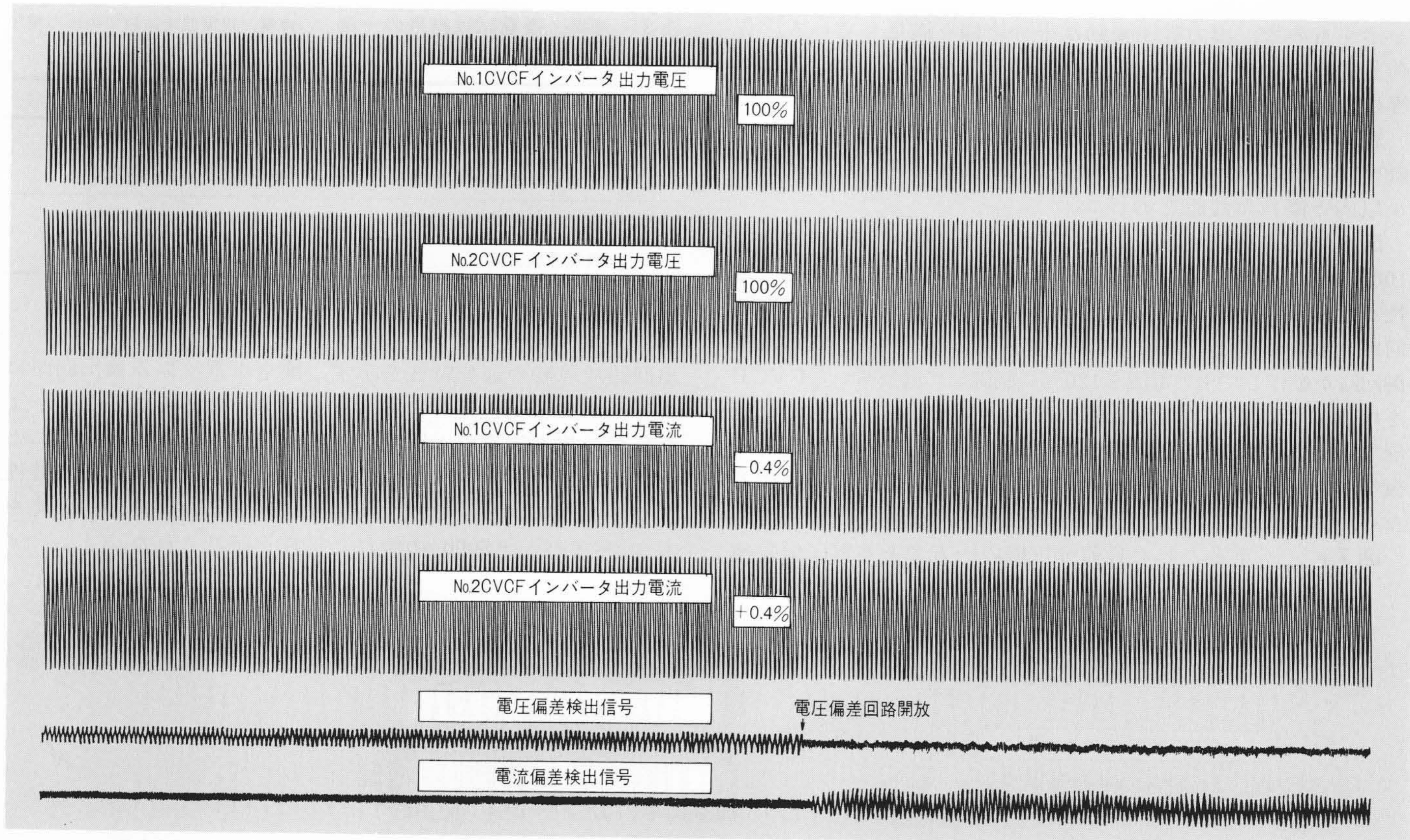


図 7 電圧偏差回路開放時の各部波形 負荷分担機能故障の想定試験での各部波形を示す。

図 8 に他のCVCFインバータ、想定した商用電源及びこの方式のCVCFインバータとを並列運転したときの負荷分担を示す。同図は、商用電源の電圧を変えて負荷電圧を変化したときの負荷分担を示すもので、商用電源の電圧が変化してもほぼ均等に負荷を分担していることが分かる。実使用状態での電圧変動は±2%以内であるので、分担特性は非常に良好である。

また、商用電源とCVCFインバータの容量比が変化すると、

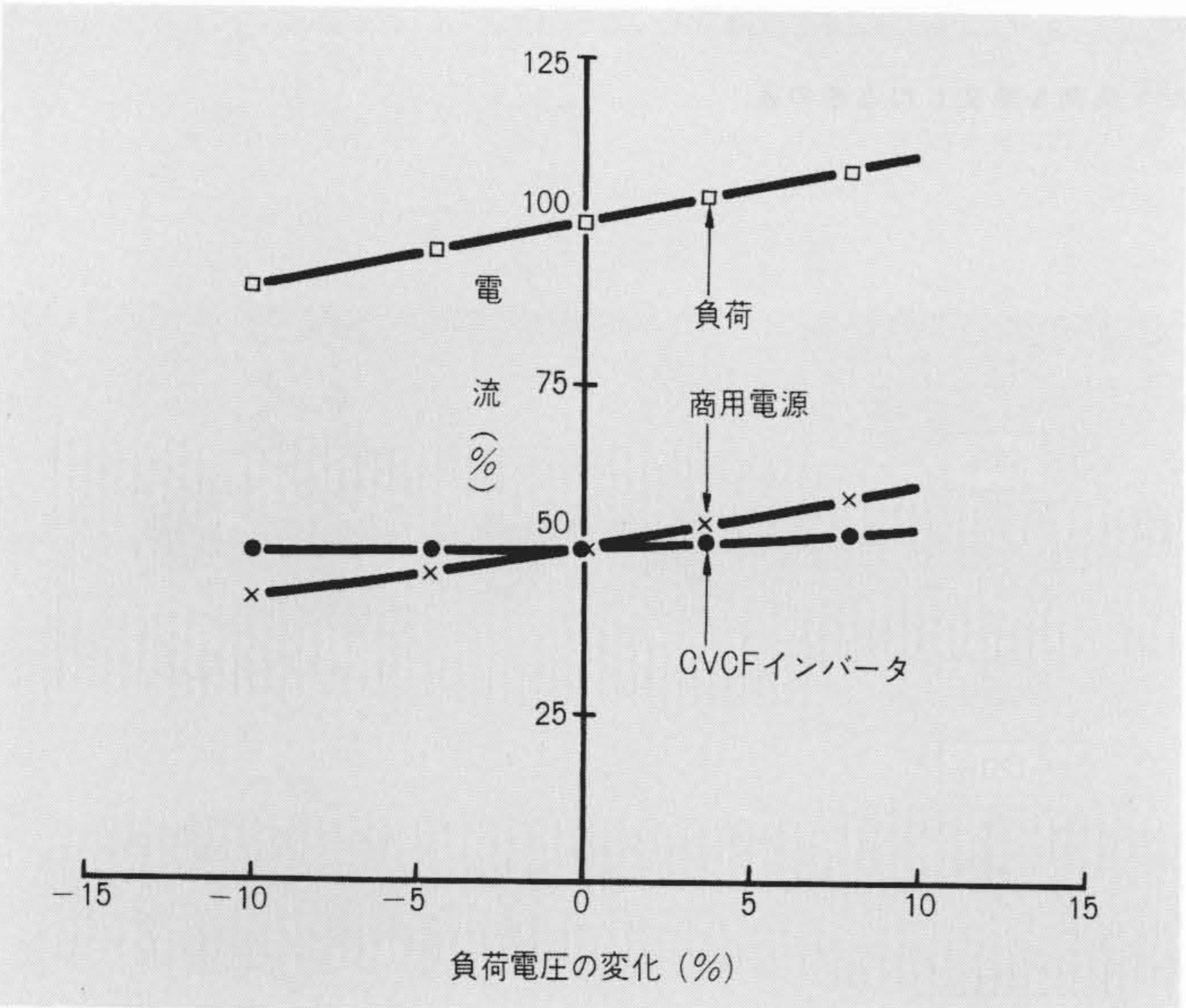


図 8 負荷電圧と負荷分担の関係 商用電源との並列運転時に、商用電源電圧を変化したときの負荷電圧と負荷分担の関係を示す。

容量に比例して負荷を分担することが確認された。

6 結 言

- 以上、純個別制御方式によるインバータ「ハイバータ5000」の概要について紹介したが、これを要約すると、
- (1) 信頼性第一に設計され、共通部分がほとんどないため、システムとしての信頼性が向上したこと。
 - (2) 同一容量のCVCFインバータはもちろん、異容量のCVCFインバータとの並列運転が可能であること。
 - (3) 並列運転する装置間の信号の授受が少なく増設が容易な回路方式であること。
 - (4) DEGにインバータを分割投入可能なため、DEGの容量が少なく済むこと。
 - (5) 特性、性能面では「ハイバータ3400」と同様優れたものであり、更にゲート制御回路による過負荷保護方式を採用したこと。
 - (6) 外観、寸法、重量などについては、「ハイバータ3400」と同一とし、格調高い外観と色調は近代的ビル設備によく調和すること。
- などの特長をもっている。

参考文献

- 1) 地福，山崎ほか：日立静止形無停電装置中容量シリーズ「ハイバータ1000 F」の開発，日立評論，57，585～590(昭50-7)
- 2) 上田，前島ほか：日立静止形無瞬断電源システム“HIVERT-ER”，日立評論，55，573～578(昭48-6)