

# 通信用小形直流電源装置の開発

## Compact DC Power System for Mobile Communication

柳田定春\* *Sadaharu Yanagita*    宮地浩明\* *Hiroaki Miyachi*  
 小布施俊\* *Takashi Kofuse*    正木克治\* *Katsuji Masaki*    近藤淳路\* *Jyunji Kondo*

移動体通信システムの基地局向けに出力容量1.2kVAの直流電源装置を開発した。

課題であった高効率化と力率改善において、効率85%以上、力率0.98以上の性能を確保し、機能面では交流入力100V / 200Vの無調整対応を可能にした。

装置の外形はH150mm × W100mm × D380mm、質量は5kg以下で19インチラックに4台収納が可能である。また、操作および配線をすべて前面で行う構造にしたことにより、設置工事の簡素化と保全性の向上を実現した。

We have developed the 1.2kVA output DC power system for mobile communication system. It has excellent capability with high energy efficiency more than 85%, power factor over 0.98 and availability on both AC100V and AC200V to input without adjustment, which were hurdles for development.

Outer size of this system is H150xW100xD380mm and weight is about 5kg, which makes easy to be mounted on 19inch rack. And all operations and wire assemble can be done from front side and being easy to install and on maintenance.

### 〔1〕 緒 言

日本の携帯電話の契約数は平成15年8月末の時点で7800万件を越え((社)電気通信事業者協会統計)、今もなお増加中である。

その機能も、第1世代の通話サービスから、文字情報サービスを付加した第2世代、さらには今日のデータ、画像の送受信に至る第3世代へと著しい進化を続け、その多機能性と利便性から、もはや日常生活に不可欠の存在となっている。

移動体通信事業各社は現在もなおサービスエリアを拡大中で、これにともない基地局数も増加し続けており、その総数は本年度中に64000局以上に達する見込みである。

図1は移動体通信ネットワークとゾーン構成を示したもので、今日の携帯電話を支える基地局は情報インフラの重要な一部になっている。この基地局の中核である無線機は必要な電力を直流で得ている。このため、常時安定で良質な電力を供給できる高品質で信頼性の高い直流電源が求められている。

基地局の構成は、規模や目的に応じて図1の大ゾーン方式とセル方式の2つの形態に大別される<sup>1)</sup>。大ゾーン方式は半径約20kmのサービスエリアを1つの大型基地局でまかなうのに対し、セル方式はサービスエリアを半径数kmの小さないくつかのゾーンに分け、それぞれに小型の基地局を置く方式である。現在は設備建設費の抑制や、都市部の地下街での不通地域を解消する目的からセル方式が主流になりつつある。

図1は移動体通信ネットワークとゾーン構成を示したもので、今日の携帯電話を支える基地局は情報インフラの重要な一部になっている。この基地局の中核である無線機は必要な電力を直流で得ている。このため、常時安定で良質な電力を供給できる高品質で信頼性の高い直流電源が求められている。

\*名張工場

このたび我々は、小型基地局を対象とした新たな直流電源装置の開発に着手したが、この基地局の設置には、都市部では設置場所の確保、山間部や僻地では電源事情の問題がある。

とくに小型基地局では面積的に十分な余裕がないため、直流電源装置は無線機と別置きではなく、無線機を収納する幅19インチのラックの下段に設置される。

また、場所によっては基地局に引き込む交流(AC:Alternating Current)の電源系統が200Vのみの場合もあり、かつ使用できる電力容量も限られている。

従って、こうした小型基地局用の直流電源装置の条件として

- (1) 小形、軽量で、搬入、据付が容易であること
- (2) 基地局の電源事情を考慮し、AC入力100V、200Vのいずれにも対応できること
- (3) 高効率、高力率で消費電力が小さいことが必要である。

今回、これらに適合する通信用で小形の直流電源装置を開発したので報告する。

## 〔2〕直流電源装置の基本構成と動作

図2は一般的な直流電源装置の回路構成である。

まずAC入力はACラインフィルタを通して全波整流回路に入力される。

ACラインフィルタは入力ラインから侵入するノイズと、電源内部で発生し入力へ帰還するノイズ(主にスイッチング回路で発生するスイッチングノイズ)を抑制するためのもので、コモンモードチョークコイルとコンデンサで構成されている。

整流された脈流電圧は平滑回路の電解コンデンサで直流に平滑化され、直流(DC:Direct Current)電力としてスイッチング回路に供給される。

このDC電力はスイッチング回路でパルス状のACに変換され、トランスを介して絶縁し、任意の電圧に変圧されたのちに、トランス2次側の整流平滑回路で再びDC電力に変換される。

制御回路はこのDC電圧の帰還を受け、この電圧が一定になるようにスイッチング素子をON/OFF制御する。

このON/OFFは可聴帯域を避け、かつスイッチング回路を小形、軽量化する意味から20KHz以上の高周波で制御される。

こうして安定化されたDC電力がDCラインフィルタでスイッチングノイズを取り除かれたのちに負荷へ供給される。

## 〔3〕開発の課題

直流電源装置の場合、AC入力をいったんDC電力に変換したのちにスイッチングでパルス状のACに変換し、再度これをDC電力に戻す電力変換操作を行うため、ノイズやサージの発生ほかに、AC/DC変換の際に力率が悪化し、さらにスイッチングでの損失により効率が低下するという問題がある。

また、基地局で使用する上で、基地局の設置環境に基づく電源事情がある。

従って本装置を開発する上で以下の大きな課題があった。

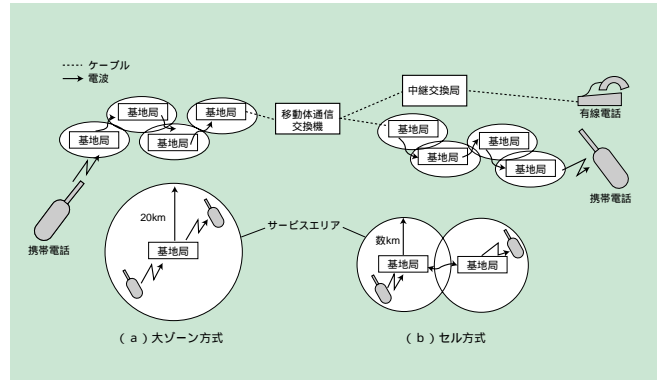


図1 移動体通信ネットワークとゾーン構成  
Fig.1 Mobile Communication Network and Zone Structure.

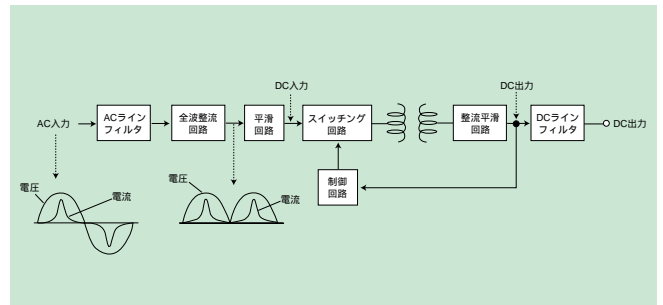


図2 一般的な直流電源装置の回路構成  
Fig.2 Circuit Structure of General DC Power System.

### 3.1 電力変換における課題

図2において、全波整流した脈流電圧を電解コンデンサで平滑化すると、電解コンデンサにはパルス状のラッシュ電流が流れる。この電流は下記の2つの問題を含んでいる。

- (1) 有効分が小さいために皮相電力が大きくなり、力率が著しく悪化させる。
- (2) 高調波を多く含んでいるため電圧が歪み波交流となる。

上記において(1)の力率は有効電力の皮相電力に対する比であり、力率の悪化はそれだけ電力の無効分が大きいのことを意味する。

さらに(2)の高調波は、これにより歪み波交流となった電圧が電力系統に接続された機器の動作に悪影響を与え、誤動作や発熱などを引き起こす原因となる。

したがってこれらに対処するため、整流平滑時の電流波形を正弦波にして高調波の発生を抑制する処置が必要となる。

また、スイッチング損失による効率の低下に対しては、トランスの1次から2次へのエネルギー伝達による損失と、スイッチング素子自体の損失の2つを低減する必要がある。

さらにスイッチングの際に発生するノイズやサージが周辺機器に及ぼす電波障害に対して、これらを規制するガイドラインがVCCI<sup>1)</sup>により制定されている。

本装置の場合、商工業地域での使用機器を対象としたVCCI-A種<sup>2)</sup>の規制がこれにあたる。

1) VCCI: Voluntary Control Council for Interference by Date Processing Equipments and Electronic Office Machines 情報処理装置等電波障害自主規制協議会

2) VCCIでは装置の使用地域によって商工業地域をA種、住宅地域をB種とし、それぞれに発生するノイズの許容値を制定している。

この損失の低減と、VCCI - A種の規制値を満足するためには、高周波制御によってスイッチング素子やトランスなどの部品を小形にし、部品個々の損失を小さくするとともに、部品や配線のインピーダンスなど、スイッチング回路全体を低インピーダンスにしてノイズを抑制することが重要になる。

3.2 基地局の設置環境に基づく課題

基地局は山間部や僻地にも設置されるため、場所によっては基地局に引き込むAC入力100V系ではなく200V系のみという場合がある。

そのため電源装置にはAC入力100V / 200Vのいずれにも対応が可能であることを要求される。

また、負荷によって必要な電力容量が異なり、さらに基地局ごとに負荷の構成が違うため、基地局によっては本装置を複数台並列に接続して電力供給を行う場合がある。

本装置は無線機を収納する19インチラックの下段に設置して使用するため、ラックに複数台搭載可能な寸法にすると、設置作業を容易にするための軽量化が求められる。

〔 4 〕 開発の指針と課題への取り組み

4.1 開発の指針

前述の課題に対して次のような指針で開発にあたった。

- ( 1 ) 整流平滑時の電流波形の改善と、スイッチング損失の低減により、力率は0.98以上、総合効率は定格運転時85%以上で、AC入力100V / 200Vのいずれの場合もこれを満足すること。
- ( 2 ) AC入力100V / 200Vの設定は、装置内部での自動切替とし、設置時の調整や設定における誤操作や人的過失を防止する。
- ( 3 ) 19インチラックに4台搭載可能な寸法とし、幅寸法は110mm以下とする。

また、装置の小形化のため、冷却は強制風冷とする。

4.2 課題への取り組み

( 1 ) 力率の改善

力率の改善方法としては、チョークコイルによって電流の波高値を抑え、電流の導通角を広げるチョークインプット方式と、リアクトルとスイッチ素子を組み合わせて電流波形を正弦波状に改善する方式があり、前者をパッシブフィルタ、後者をアクティブフィルタと呼ぶ。

パッシブフィルタは、構造が簡単である反面、チョークコイルが大きくなり、また平滑後の実効値が下がる、等の欠点がある。

一方、アクティブフィルタは回路が複雑で部品点数が増えるが、スイッチ素子を高周波でスイッチングすることで電流を正弦波にできることと、回路を小形化できることから、本装置ではアクティブフィルタを採用した。

図3に力率改善回路を用いた本直流電源装置の回路構成を、図4に力率改善回路の原理図を示す。

図4においてLはリアクトル、Qはスイッチ素子、Dはダイオードで、QがONの時にLにエネルギーを蓄え、OFFの時にこのエネルギーがDを通して電解コンデンサに送られる。

Lのエネルギーが入力に重畳され、出力電圧が入力電圧よ

り高く取り出せるので昇圧コンバータと呼ばれている。

入力電流はONの時にQに流れる電流と、OFFの時にDを流れる電流から構成され、ON / OFF 1サイクルのこの電流波形は図4のT<sub>ON</sub> / T<sub>OFF</sub>で示す三角波になる。

このQのON / OFFを高周波でスイッチングし、三角波のピークが正弦波を描くように制御すれば、リアクトル電流はスイッチング電流の平均値になり、したがって入力電流を正弦波にすることができる。

図5はこの様子を示したもので、本装置ではQのスイッチング周波数を100KHzにすることで、力率の改善とともに高調波を大幅に低減することができた。

( 2 ) スwitching損失の低減

図3のスイッチング回路において、一石型の回路方式としては、トランスにエネルギーを蓄えるフライバック型と出力電圧をトランスの巻数比で決定するフォワード型に大別される。

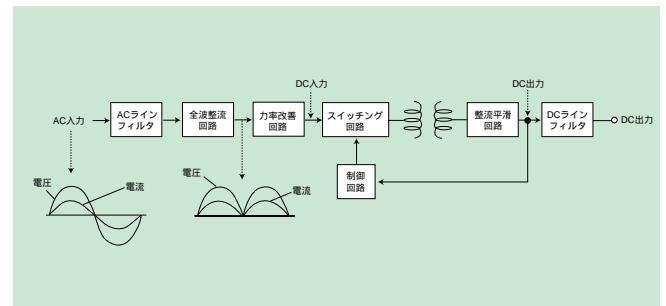


図3 力率改善回路を用いた直流電源装置の回路構成  
Fig.3 Circuit Structure of DC power System using Power Factor correction Circuit.

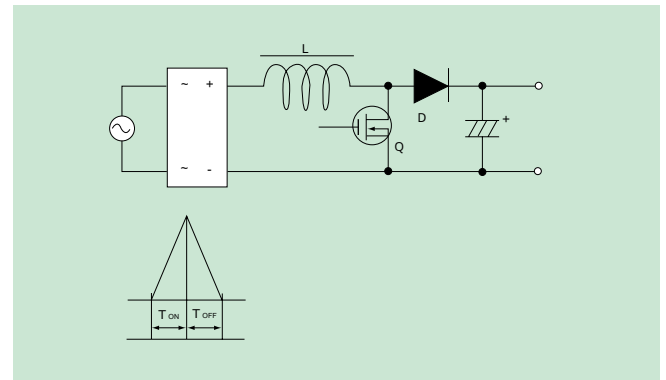


図4 力率改善回路の原理図  
Fig.4 Principle Diagram of Power Factor Correction Circuit.

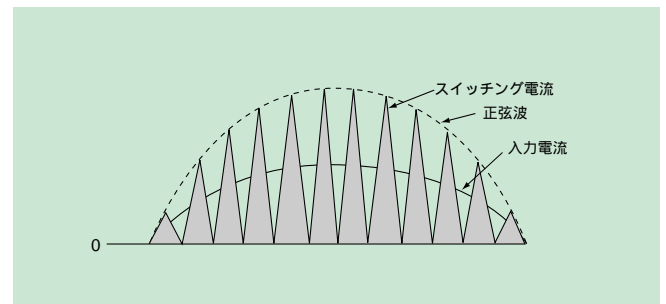


図5 リアクトルLの電流波形  
Fig.5 Wave Form of Current Routed Reactor L.

本装置の場合、スイッチング損失の低減の他に小形化も重要な課題であるため、高周波スイッチングに適したフォワード型を選定し、さらにその一部を改良した変形フォワード型回路<sup>2)</sup>を採用した。その原理図を図6に示す。

図6においてQ1, Q2はスイッチング素子, D1, D2はダイオードである。

Q1, Q2は同時にON/OFFを繰り返し、トランスに印加されたDC電力をパルス状のACに変換する。

このエネルギーはQ1, Q2がONの時にトランスの2次側に伝達され、L-CフィルタでDCに変換される。

本回路の特長は、スイッチング素子をQ1とQ2の2つにすることで素子の電圧定格を半分にでき、これによりオン抵抗の小さい小形の素子を採用することで、スイッチングにおける素子のオン時の損失を低減できることである。

さらにトランスの励磁エネルギーをダイオードD2からn1, D1を介して入力側に回生できるため、トランスによる損失も低減できる利点がある。

本装置では図6の回路を2回路並列に接続し、それぞれを交互に周波数100KHzでスイッチングするようにした。これは並列にすることで出力電流の分担を等分にし、部品個々が発する熱量を抑制するためである。

すなわち、熱量は電流の二乗とインピーダンスの積であるから、電流を1/2にすれば発生熱量を1/4に抑えることができるため、回路部品以外の、放熱器や風冷のためのファンなど、容積の大きな部品も小形にすることが可能になる。

この2回路並列時の回路構成を図7に、図7のスイッチング波形を図8に示す。

図8から分かるように、トランスの2次側でのエネルギー伝達(図7のP点)がスイッチング周波数の倍の200KHzで行われるため、L-Cフィルタも容量を小さくすることができた。

(3) AC入力100V / 200Vの共用化

AC入力を100V / 200V共用にするには、図3のスイッチング回路のDC入力を100V / 200Vで共通の電圧にする必要がある。力率改善のために昇圧コンバータを採用した理由は、これに対応するためでもある。

すなわち、昇圧コンバータはAC入力電圧を任意の電圧に昇圧できるため、AC入力の電圧値に応じて昇圧比を制御すれば、AC100VとAC200Vで同じDC入力電圧を得ることができる。

この電圧はAC入力電圧の最大瞬時値以上にする必要があるため、本装置ではDC入力電圧をDC350Vに設定し、昇圧コンバータで定値制御するようにした。

(4) 小形、軽量化

本装置では力率改善回路とスイッチング回路の高周波制御、およびスイッチング損失の低減により部品の小形化を図った。さらに、スイッチング回路での発生熱量の抑制により、放熱器やファンも小形にした。

構造面では冷却風の吹き抜けを考慮し、前方を吸気面、後方を排気面にして、上下、および両側面をシャーシで被う筒型構造にすることで、冷却効率を上げるようにした。

これらにより全体の寸法を小さくし、とくに幅寸法を100mmにして19インチラックに4台搭載可能にするとともに、質量も5kg以下にすることができた。

〔5〕 外観、構造

図9に本装置の外観を示す。

寸法はH150mm x W100mm x D380mm、質量は4.9kgである。スイッチや入-出力の接続端子を全て前面に配置し、操作や取扱いを容易にした。

図10は19インチラックに3台収納した時のユニットの外観である。

ラックには4台まで収納できるが、4台目は予備機のため、実際には基地局の規模に応じて2~3台を収納し使用する。

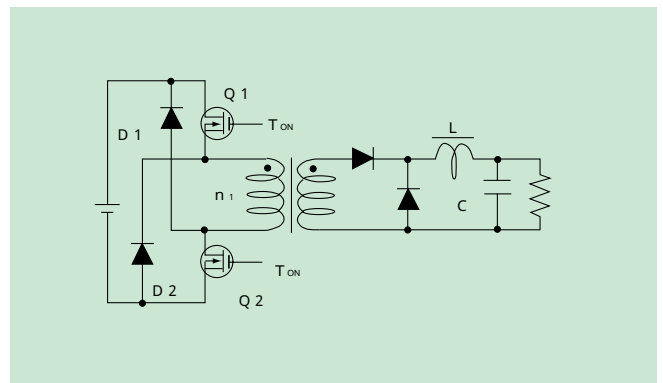


図6 スイッチング回路(変形フォワード型)の原理図  
Fig.6 Principle Diagram of Switching Circuit.

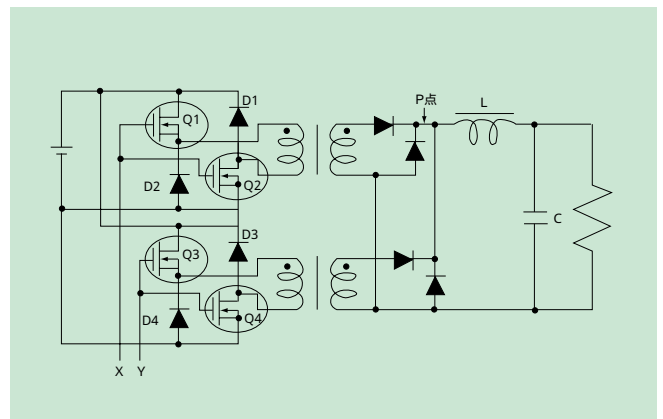


図7 2回路並列接続時の回路構成  
Fig.7 Circuit Structure in case of 2Circuit Parallel Connection.

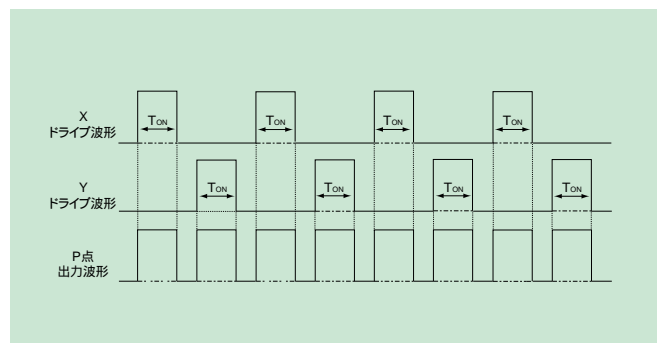


図8 図7のスイッチング波形  
Fig.8 Switching Wave Form of Fig.7

〔 6 〕 性能 , 特性

本装置の標準仕様を表1に、入出力特性試験の結果を表2に示す。

力率、効率とも、AC入力100V、200Vのそれぞれの定格運転時において仕様値を満足する良好な結果を得た。

図11、及び図12はそれぞれAC入力100V、200Vでの定格運転時の入力電圧 - 入力電流波形である。

電流波形はいずれも正弦波になっていることが分かる。

図13にVCCI試験での端子雑音電圧の測定結果を示す。

図中の実線がピーク値、点線が平均値の規制値である。本装置はピーク値、平均値とも規制値を下回っており、VCCI - A種の規制を満足することができた。



図9 直流電源装置の外観  
Fig.9 Appearance of DC Power System.

〔 7 〕 結 言

移動体通信システム基地局用直流電源として、以下の特長を有する小形直流電源装置を開発した。

- ( 1 ) 力率改善回路と低損失スイッチング回路により、出力容量1.2kVAで力率0.98以上、総合効率85%以上の性能を確保した。
- ( 2 ) AC入力を基地局の設置環境に応じて100V、200Vのいずれも無調整で共用できるようにした。
- ( 3 ) 小形、軽量で質量は4.9kg、19インチラックに4台収納可能であり、スイッチや接続端子の前面配置により、取扱い、及び操作性を向上させた。

本装置は従来品に比べ、容積比で1/6、質量比で1/3にすることができた。性能面では他社製品と同等以上の水準であり、とくに価格面では十分に競争力のある製品に仕上げた。今後は、  
( 1 ) 地上波デジタル放送機器の電源としての製品展開  
( 2 ) 民生機器を対象としたDC出力100V / 10A品の開発に取り組み、製品の拡充を進めていく予定である。



図10 19インチラック収納時のユニットの外観  
Fig.10 Appearance of DC Power Systems Unit which are equipped with 19inch Rack.

表1 標準仕様  
Table 1 Standard Specifications.

項目		定格及び特性	特記	
定格出力容量		1201.2 VA		
方式	制御	周波数PWM制御		
	冷却	強制風冷		
	並列接続	n + 1		
交流入力	相数	単相 2線		
	定格電圧	100V / 200V	共用	
	電圧変動範囲	88 ~ 120V	100V時	
		176 ~ 220V	200V時	
	周波数	50 / 60 Hz		
	周波数変動範囲	47 ~ 63 Hz		
	入力容量	1430 VA	定格運転時	
	力率	0.98以上		
総合効率	85%以上			
直流出力	定格電圧	54.6V		
	定電圧精度	± 1.5%		
	定格電流	22A		
	最大垂下電流	22A + 5% 0%		
	垂下特性	垂直		
総合	騒音	45 dB以下	装置前方 1m	
	寸法	幅	100 mm	
		高さ	150 mm	
		奥行き	380 mm	
	質量	4.9 kg		
	環境	温度	- 10 ~ + 50	
		湿度	10 ~ 95%RH	
	適用規格	VCCI - A種 準拠, 他		

表2 入 - 出力特性試験結果

Table 2 Result of Input-Output Characteristics Experiment.

項目	試験条件		測定項目				
	入力電圧	負荷条件	入力電流 (A)	入力電力 (W)	力率	出力電力 (VA)	効率 (%)
100V	AC88V	定格負荷	16.0	1394.0	0.99	1201.0	85.3
	AC100V		14.0	1386.5	0.99	1201.0	85.7
	AC110V		12.6	1372.5	0.99	1201.0	86.7
200V	AC176V	定格負荷	7.7	1342.0	0.99	1200.0	88.6
	AC200V		6.7	1327.0	0.99	1200.0	89.7
	AC220V		6.0	1307.0	0.99	1200.0	90.8
仕様値	-	-	-	-	> 0.98	-	> 85

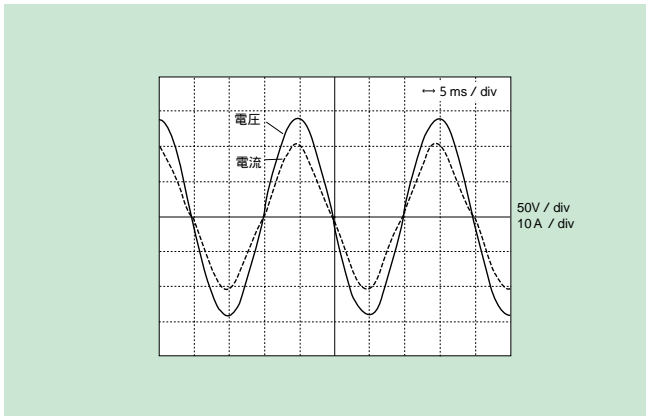


図11 AC入力電圧 - 電流波形 (100V入力時)  
Fig.11 Wave Form of AC Input Voltage-AC Input Current (at AC 100V Input).

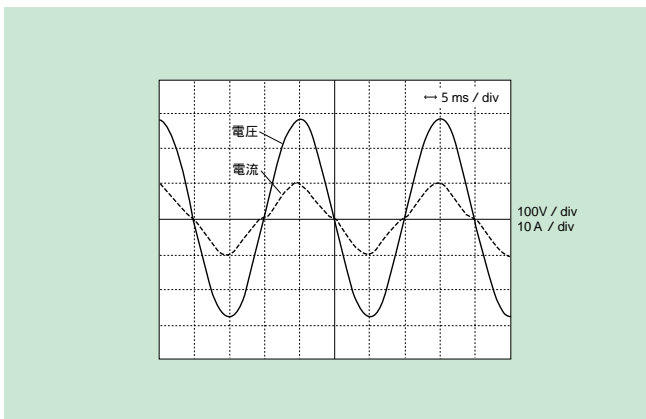


図12 AC入力電圧 - 電流波形 (200V入力時)  
Fig.12 Wave Form of AC Input Voltage-AC Input Current (at AC 200V Input)

【参考文献】 .....

- 1) 宮地浩明 他：通信用小形UPSの開発，新神戸テクニカルレポート，No.11，p.21 (2001)。
- 2) 佐藤守男：スイッチング電源設計入門，日刊工業新聞社，p.76 (2000)。

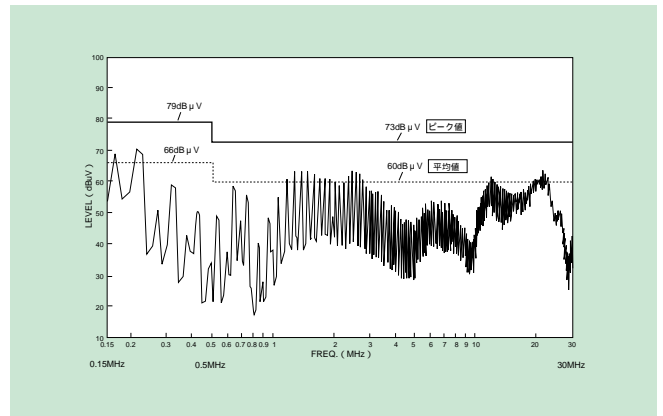


図13 端子雑音電圧の測定結果  
Fig.13 Test Result of Main Terminal Interference Voltage.

【執筆者紹介】 .....



**柳田 定春**  
1973年入社  
名張工場M E 部 所属  
現在，電力貯蔵システムおよび直流・交流電源装置の設計開発に従事



**宮地 浩明**  
1985年入社  
名張工場M E 部 所属  
現在，交流無停電電源装置の設計開発に従事



**小布施 俊**  
1981年入社  
名張工場M E 部 所属  
現在，直流・交流電源装置の設計開発に従事



**正木 克治**  
1978年入社  
名張工場M E 部 所属  
現在，電力貯蔵システムおよび交流無停電電源装置の設計開発に従事



**近藤 淳路**  
1990年入社  
名張工場M E 部 所属  
現在，直流・交流電源装置の設計開発に従事