

携帯発電機 EX300 の開発

Development of EX300 Portable Generator

藤 井
Shigeru Fujii

茂* 清 水 元 寿*
Motohiro Shimizu

為 近 隆 男*
Takao Tamechika

要 旨

従来型携帯発電機では、所定周波数の交流を出力するために発電機に直結するエンジンの回転速度を一定に保つ必要があり、これが携帯発電機の軽量化・小型化を阻む一因となっていた。

しかし、交流の出力周波数を電子的に制御するインバータ技術の採用により、発電機すなわちエンジンの回転速度を任意に設定することが可能となった。そして、より軽量で小型の携帯発電機が開発された。

この携帯発電機は、80% デューティの矩形波交流を出力し、内蔵するトランジスタや電子部品のみならず、その発電機に接続して使用する種々の電気機器を保護する機能および起動補償の機能等を備える。

ABSTRACT

The requirements of keeping the engine revolution speed within a fixed range to generate an alternating current (AC) of specified frequency has been an obstacle to making a portable generator more lightweight and compact.

The application of inverter technology, however, has made it possible to vary the engine speed by electronically controlling the frequency of the generated AC, thus realizing a lightweight and compact portable generator.

It produces an 80%-duty, square-wave AC to safeguard its transistor and other electronic components as well as any various electrical appliances mated to it, while ensuring safe starting.

1. ま え が き

“EX300”は発電機にインバータシステムを採用したもので、従来式モデルの“E300”と比較して重量は半分以下となった。さらに、スイッチによる150W/3,000rpmと300W/4,500rpmの二通りの出力の選択が可能になり、低出力時には50dB(A)/7mという低い騒音レベルを達成した。

25年前に販売された携帯発電機“E300”は、小型軽量の一体構造で好評を博し、当時のユーザーから高い評価を得た。⁽¹⁾ しかしながら、携帯発電機に対する市場の要望や他メーカーの製品の

出現に刺激され、以後“E300”は、より高出力化、大型化の道を辿り、現在では550Wの製品となっている。

ところで最近の市場調査によると、図1に示すように携帯発電機で使用する電気機器は、照明器

照 明 器 具	T V ラジカセ	電動 工具
59 %	25 %	16 %

図1 携帯発電機におけるユーザーの使用機器

* 朝霞東研究所

具が 59% で最も多く、次いで TV、ラジカセ等が 25%、残りが電動工具である。

これらの電気機器において、照明では蛍光灯の普及、TV、ラジカセ等ではトランジスタ IC (集積回路) の採用により、この 20 年間にその消費電力は大幅に低減された。したがって最近になり、再び 300W クラスの携帯発電機に対する市場要望が高まった。

一方、低騒音化も市場の要請であり、法的な規制は今や世界的な傾向である。例えば欧州では、欧州騒音規制 (EEC CONSTRUCTION EQUIPMENT NOISE LEGISLATION) が、施行されようとしている。⁽²⁾ 1 KW 以下の携帯発電機の騒音は、他のエンジン駆動発電機に比べかなり低いレベルであるが、図 2 に示すように、レジャー用に多く使用されており、それらの使用環境を考慮するとさらに低騒音化されるのが望ましい。

2. 概 要

2.1. 基本コンセプト

EX300 の基本コンセプトは、小型軽量で、低騒音、かつ可搬性の良い携帯発電機の実現である。そのために次にあげる目標を設定した。

- (1) 定格出力: 300W
- (2) 騒音レベル: 50dB (A) 7m at 150W / 3,000rpm
- (3) 完成機重量: 7.5 kg

定格出力は、前述の市場背景を考慮して設定された。定格出力の設定の前に、重量と出力との相関性について検討したところ、発電機の出力を 300W 以下とした場合、定格出力減少に見合う重量軽減効果を見いだせなかった。図 3 は、発電機の出力と重量との関係を示す。

騒音レベルは、現在、販売している低騒音型携帯発電機の騒音レベルと同等とした。

レジャー	非常用 (停電)	業務用
48 %	31 %	21 %

図 2 携帯発電機におけるユーザーの使用目的

発電機の完成機重量は、インバータシステムの採用を前提として設定したが、低騒音化と軽量化は相反する関係にあるため、最終重量は 8.5kg となった。

2.2. インバータシステムの採用

従来の携帯発電機のエンジンは、単相 2 極オルタネータを駆動するため、交流出力の周波数に同期した回転速度で運転される。すなわち、出力が 50Hz の場合、エンジンは 3,000rpm で運転される。

インバータシステムは、オルタネータ出力を電子回路を用いて整形することにより、交流出力を得る。したがって、エンジン回転速度は任意に設定できる。この利点は、軽量化の目的で、高出力を得るため、エンジン回転速度を高くしたり、低騒音化のためにエンジン回転速度を低くしても、一定の周波数の交流出力が常に得られることである。⁽³⁾

したがって、小型軽量で、しかも低騒音で高出力が得られなければならないモデルにとって、このインバータシステムの採用は最良の選択である。

2.3. 概 要

図 4 に EX300 の外観を示す。

発電機のエンジンは立軸構造であり、オルタネータはその下に位置し直結されている。

- (1) エンジン: エンジンは 2 サイクルの片支持クランク式で、あわせてノースリーブアルミシリンダを採用した。同出力の 4 サイクルサ

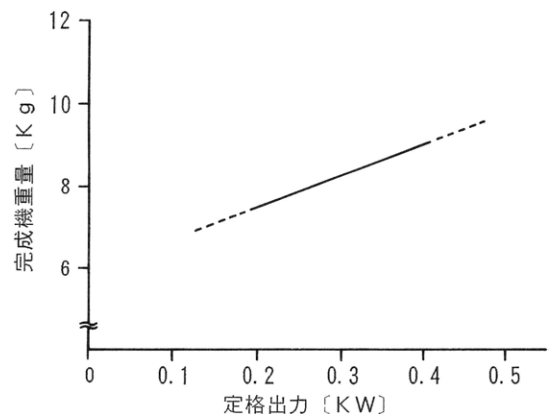


図 3 発電機の出力と重量関係

イドバルブエンジンと比較して、25%の軽量化となった。

- (2) オルタネータ:オルタネータ(アウターロータ式)はロータ16極、ステータ24極で三相高周波交流を発生する。重量は同出力の単相コンデンサ励磁式オルタネータと比較して、60%の軽量化となった。
- (3) 外装:外装構造は図5に示すように、両サイドをアルミニウムの押し出し材で、前後を樹脂のパネルカバーで囲い、剛性を持たせた外殻フレーム構造を採用している。
- (4) 冷却:この発電機は、隔壁によってキャブレタ及び電子回路ユニットの低温部と、エンジン及びマフラの高温部に区分され、その間にはシロッコタイプの冷却ファンがある。
- (5) 低騒音化:吸気システムはエアクリーナと、エンジンの排気量の10倍の吸気チャンバからなり、排気システムは、エンジン排気量の20倍の容量の2チャンバマフラで構成され、エンジン騒音を低減している。あわせて、シリンダとシリンダヘッドをシュラウドで覆うことによって、騒音を低減している。

3. システム

システムを図6に示し、以下に概説する。

3.1. オルタネータ

ロータを4,500rpmで駆動することにより、ス

テータ巻線に600Hzの三相高周波交流が誘起する。

3.2. レギュレータ

誘起された三相高周波交流は、レギュレータで一定電圧の直流に変換される。この電圧は、インバータによって交流出力に変換された後には、矩形波の波高値となる。

3.3. インバータ

四つのパワートランジスタのブリッジ接続で構成されたインバータは、スイッチング信号に従って、直流を50Hz又は60Hzの単相交流矩形波に変換する。

3.4. 発振器

発振器は、交流出力の10倍の周波数で発振し、スイッチング制御部にタイミング信号を送る。

3.5. スwitching制御部

スイッチング制御部は、発振器と過電流検出部からの信号を受けてインバータを制御する。

発振器からのタイミング信号を用い、通常は直流を80%デューティの矩形波に変換するスイッチング信号をインバータへ送る。また詳細は後述するが、負荷状況を検出する過電流制御部からの信号によって、出力を停止したりチョップ出力にしたりするインバータ制御の信号を発する。図7はチョップ出力を示す。

3.6. 過電流制御部

過電流制御部は、出力電流を監視し出力の状態に応じ電気機器の負荷特性に対応させたり、サー

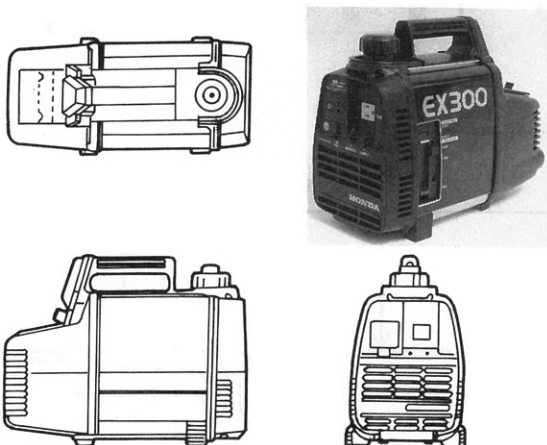


図4 EX300の外観

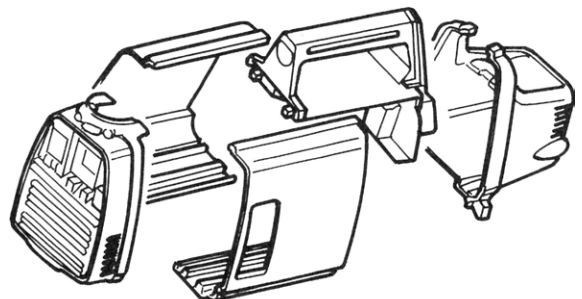


図5 EX300の外装

キットプロテクタ的機能をインバータ式発電機に持たせるため、スイッチング制御部を次のように制御する。

定格の 250% 以上の電流を検出すると、交流出力がチョッパ出力になるように信号が出される。また定格出力値の 130% 以上の電流を 10 秒以上継続し検出すると、スイッチング制御部へ出力を停止する信号を出す。出力が停止した場合、過電流制御部をリセットするには、エンジンを一旦止め、再始動する。

3.7. 出力電圧検出

出力電圧検出は、容量性電気機器による高電圧を検出した場合、電圧を調整する。

3.8. コンデンサ端子電圧検出

コンデンサ端子電圧検出は、レギュレータ内の電解コンデンサの端子電圧を検出する。そして、端子電圧が高い場合には、電解コンデンサの破壊を防止するため、インバータを停止させる。

4. 出力波形

一般に、電気機器は正弦波商用電源で使用されるように設計されている。もちろん、多少歪んだ正弦波を出力する従来の発電機での使用も可能である。

したがって、矩形波出力の採用には、様々な種類の電気機器に予期せぬ影響がでるのではないかという懸念があった。以下に、電気機器に対する矩形波の影響について述べる。

電気機器には交流波形の実効値を検出し、動作するように設計されたものがある。したがって、もしそれらに波形率 1.0 の矩形波が供給されたとすると、誤作動したり、動作しない場合がある。直流モータの制御回路や、簡単な直流電源を持つ電気機器がこれに該当する。バッテリーインバータの中には、作動電圧が商用電源電圧の 110% に設定されているものがあるのはこの理由による。

またトランスは、巻線に電流が流れることにより、コアに誘起される交番磁界で渦電流損が生じ、温度が上昇する。⁽⁴⁾

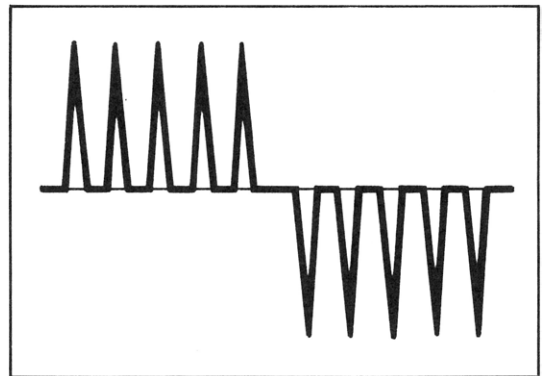


図 7 チョッパ 出力波形

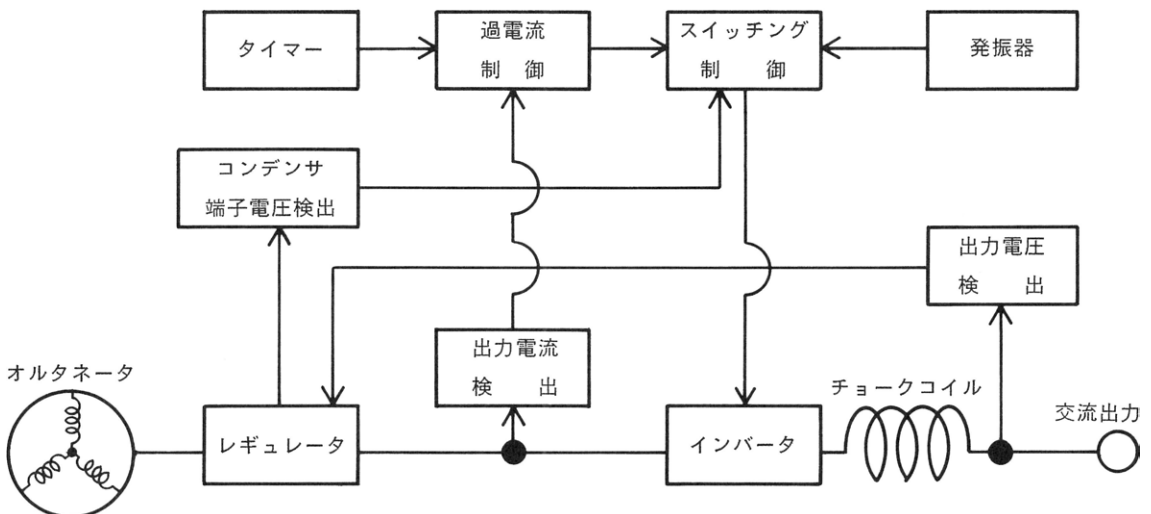


図 6 システム

しかも交流の高調波成分が多いほど、コアの材料の特性による渦電流損が増し、温度が上がる。なお、高調波は、交流波形の波形歪で代表される。このような電気機器として、蛍光灯や水銀灯の内蔵トランスがある。

したがって、波形に敏感な電気機器のために、矩形波の波形率を正弦波の波形率に近づけ、また、波形歪を最小にする必要がある。

インバータシステムでは、電気機器に対する影響をできるだけ少なくするために、矩形波であっても波形定数が正弦波に近づくように、波高率とデューティの割合を検討した。その結果、波高率 1.12、デューティ 80% のとき、歪率は最小になり、波形率は正弦波と同じ値になった。これらの関係を図 8 に示す。

図 9 に波形と波形定数の比較を示すが、デューティ 80% の矩形波は、単なる矩形波より優れていることがわかる。実際のシステムにおいては、波高値はレギュレータで安定化された直流電圧値である。一方、10 進カウンタ IC とゲート IC の組み合わせからなる発振回路は、デューティ 80% を正確に維持するために、スイッチング制御部に電源周波数の 10 倍の周波数（電源周波数 60Hz ならば 600Hz）の信号を送っている。

このデューティ 80% の波形で種々の電気機器を使用した。正弦波に比べ負荷電流は多少異なるものの正常に動作した。また、蛍光灯の内蔵トランスの温度は、正弦波の電源の場合に比べ約 9℃ の上昇にとどまった。

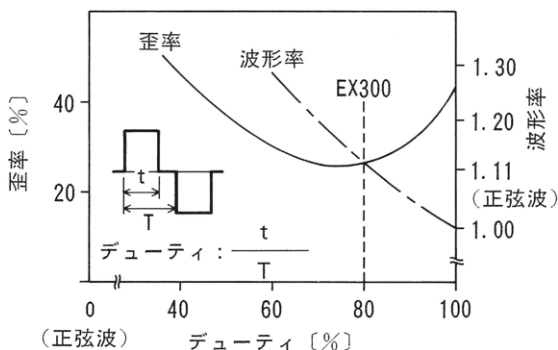


図 8 矩形波の波形定数

5. 過負荷時の動作

携帯発電機の主用途は、すでに記述したようにモータやランプである。インバータ発電機も従来式と同様に、それらを起動、あるいは点灯できなくてはならない。モータや白熱灯のような電気機器は、起動時に定常運転状態以上の起動電流が必要である。したがって一般にエンジン発電機は、定格出力よりも大きな出力を瞬間的に供給できるように設計される。

インバータシステムでは、過電流に対するトランジスタの保護が重要な課題であった。なぜなら、過電流によってトランジスタが破壊に至るからである。以下に、モータ、およびランプ起動と負荷短絡の場合を考慮した過負荷時の、インバータシステムの動作を述べる。

5.1. モータ

モータの始動時には、安定期の数倍の電流が数秒間にも亘り流れるが、モータ始動時電流とその時間の特性は、電気機器の種類により異なる。

電動工具に内蔵されている整流子モータよりも、コンプレッサに内蔵されている誘導モータの方が、始動電流が多く始動時間も長い。コンプレッサを発電機で使用する場合、コンプレッサの定格出力の 3 倍以上の定格出力を有する発電機を使用することを、メーカーでは勧めている。

EX300 においては、業務用の大型コンプレッサの使用は考えなくて良いが、発電機定格出力と同等の定格出力を有する電動工具の使用は、想定する必要がある。

	80% デューティ 矩形波	矩形波	正弦波
ピークレシオ	1.12	1.00	1.41
波形率	1.12	1.00	1.11
歪率	26.2%	48.3%	0%

図 9 波形定数の比較

したがって EX300 は、その定格出力相当のモータの起動を考慮し、定格電流以上の十分な電流が出力できる余裕あるオルタネータ出力と、それに合わせて、インバータのトランジスタが破壊に至らないための保護機能を装備した。⁽⁵⁾

具体的には、最大の 450W 出力が可能なオルタネータを採用し、また、インバータには定格電流の 3 倍のコレクタ電流を持つトランジスタを使用している。それに加え保護回路は、過電流を検出してから 10 秒経過しないと、出力が停止しないようにしている。

なお、駆動するエンジンは、オルタネータと発電機電気回路の総合効率 70% をベースに、0.65KW 以上を連続して出力できるものを採用している。

5.2. 白熱灯と負荷短絡

白熱灯のフィラメントの電気抵抗は冷時には極めて低く、赤熱するまでの電流は著しく大きい。このフィラメントを予熱する電流は、ラッシュ電流と云われている。

定格 300W の従来式発電機を使用して 300W の白熱灯を点灯した場合の、ラッシュ電流、および

電圧を図 10 に示す。瞬間的に 8.5A の電流と、電圧が低下しているのが観察される。

このラッシュ電流は、インバータシステムにおいては、レギュレータの中の平滑コンデンサから放電される電流である。そのためトランジスタは、オルタネータの出力よりも大きい電流によって、破壊する危惧があるため、トランジスタの保護機能が必要となる。

しかし、単に大電流を検出した瞬間に出力を停止する動作では、フィラメントの予熱が不十分のため、白熱灯を点灯することができない。

そこで、EX300 は次のようなトランジスタの保護機能をもつ。

出力電流検出部が著しい過電流を検出すると、通常の出力から、0.5msec 毎に ON/OFF を繰り返すチョップパ出力に変わる。そして負荷状態が改善されれば通常出力に戻るし、10 秒を越えて過電流が流れ続ける場合には出力が停止する。

チョップパ出力になるための過電流には、定格出力の 250% と、330% の二つのレベルがある。前者は、電流増加が 25A/msec を越える場合に、後者はそれ以下の場合に対応する。このように設

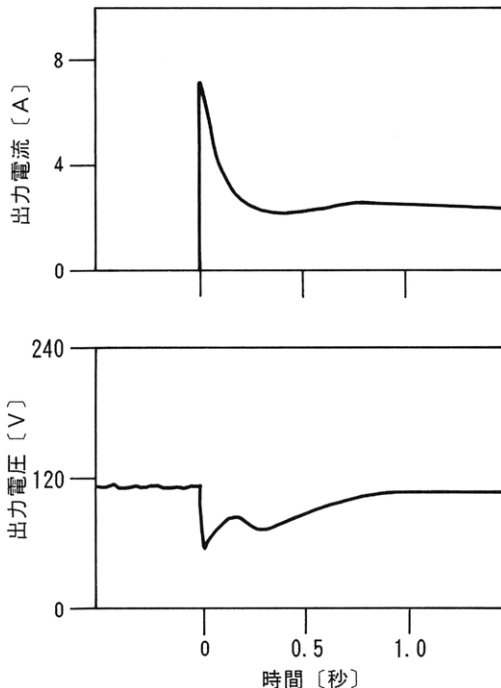


図 10 白熱灯点灯時の特性 (従来式発電機)

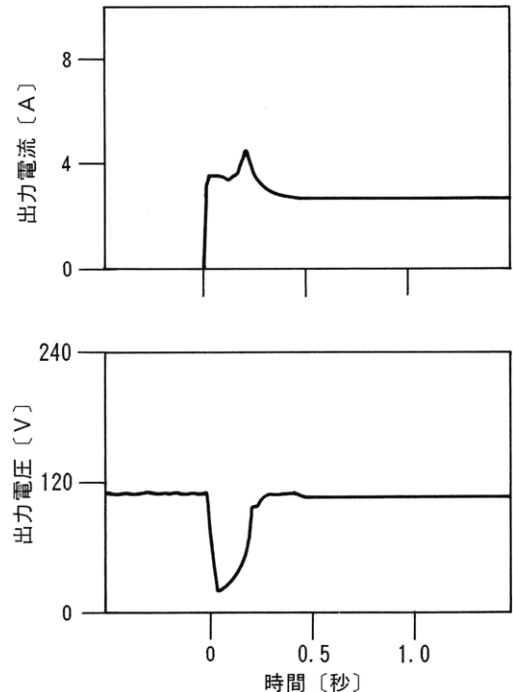


図 11 白熱灯点灯時の特性 (EX300)

定する理由は、トランジスタの発熱は、電流と導通時間に依存するので、電流増加率が低い場合には、早めにチョップ出力に切替えて、トランジスタの破壊を防ぐためである。

すなわち、チョップ出力で、白熱灯のフィラメントを1秒以内で点灯するのに十分な予熱をして、かつトランジスタを破壊しないようにしている。

図11に、EX300を使用した白熱灯の点灯を示す。

ランプの点灯後すぐにチョップ出力が供給される。そしてフィラメントが予熱され、フィラメントの電気抵抗の増加によって電流が降下する様子がわかる。

一方、負荷短絡の場合には、大電流が流れ、その状態が回復されないので、チョップ出力もやがて停止し、トランジスタは保護される。

前述のチョップ出力開始の過電流レベルと、電流供給時間の10秒は、種々の電気機器と短絡状態をテストして設定された。

6. 出力電圧制御

照明器具である蛍光灯や水銀灯は、本来は効率が悪く、効率改善用のコンデンサを内蔵するものが多い。このような電気機器の負荷特性は、EX300の出力波形に影響を与える。既に述べているように、出力電圧波形には、1周期に20%の電圧0Vの休止区間がある。この電圧0Vの休

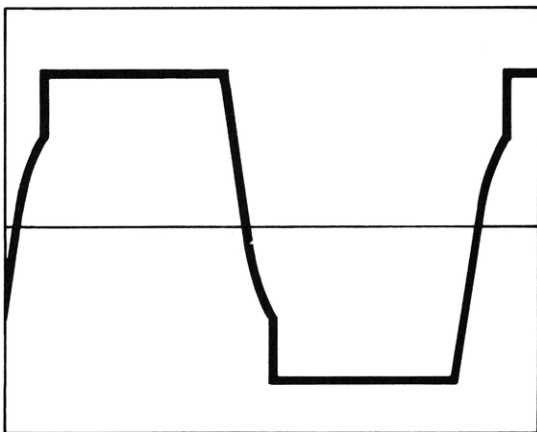


図12 進相負荷時の波形

止区間で電気機器の前述のコンデンサが、図12に示すように、放電し出力電圧の実効値を増大させる。発電機の電気回路に対する問題はないが、電気機器に対しては、高い実効値の交流電圧を供給することになるので、電気機器を故障に至らせる恐れがある。

インバータシステムでは、出力電圧の実効値を検出し、レギュレータ部にフィードバックして、出力波形の波高値に相当する直流安定化電圧を下げ、実効値の上昇を防いでいる。EX300ではこの様な機能が動作しない場合に40%も実効値が上昇するような高効率型の水銀灯に対して、その実効値を10%程度の上昇に抑制することができた。

7. 並列運転

このクラスの携帯発電機は、家庭用であるから、負荷短絡に対する保護対策のみならず、商用電源あるいは他の発電機との並列運転に対しても故障しないような配慮が必要である。負荷短絡に対する保護機能については既に述べているので、以下は並列運転に関する記述をする。

並列運転で相手側電源の交流位相が逆相になる場合、著しく大きい電流が発電機の電気回路に逆流し前述の保護機能が作動するよりも早くトランジスタを破壊するという事態が想定される。そのため、インバータ発電機の出力端にチョークコイルを直列に配置し、トランジスタに流れ込む電流の電流増加率の抑制を計った。このようにして、

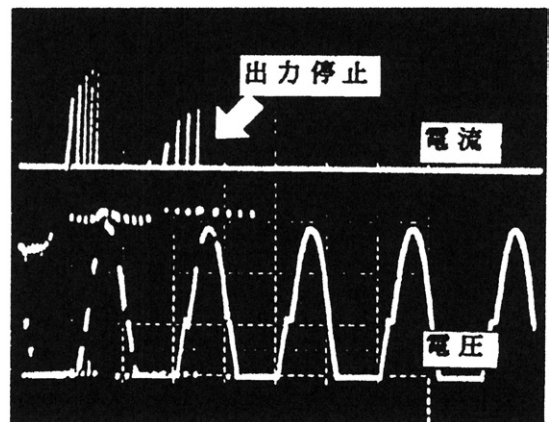


図13 商用並列運転時のインバータ停止の瞬間

並列運転の際に逆流する電流がトランジスタを破壊するような電流値に到達する以前に、保護機能は作動する。すなわち、インバータがチョップ動作に入り、やがてその出力を停止し、電流が遮断される。

ところで、このチョークコイルの採用は二次的問題を発生させた。すなわち、出力のチョップ動作とチョークコイルのリアクタンスの相互作用により、いわゆるステップアップレギュレータが形成され、レギュレータ部の平滑用電解コンデンサが、端子電圧の上昇により、破壊するという問題である。⁽⁶⁾ そのため電解コンデンサの端子電圧を検出し、通常の電圧の 125% を越えるときインバータの動作を停止させるようにした。図 13 は、この発電機の商用電源との並列運転の状況を示すが、発電機出力がチョップ動作に入り、間もなく停止するのがわかる。

8. ま と め

以上、携帯用発電機 EX300 のインバータシステムと、それに接続される電気機器の特性につ

いて記述した。

一般の電気機器は、正確な正弦波交流で無限電力の商用電源の使用を前提に、設計されている。しかし携帯発電機を電源として使用する場合、電気機器には、歪んだ正弦波の限られた電力が供給される。

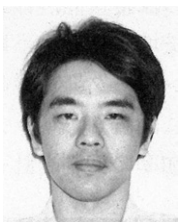
さらに電気機器の中には、瞬間的に、発電機の定格以上の電力を要求するものもある。また、日常使用される電気機器でも、特殊な負荷特性を示すものがある。

したがって、インバータ発電機“EX300”は、次の特徴あるいは機能を備える必要があった。

- (a) 波高値とデューティによる改善矩形波出力
- (b) 容量性電気機器に対しての出力電圧フィードバック制御
- (c) スムーズなモータ起動のための十分な出力と効果的な保護動作
- (d) 白熱灯点灯と短絡保護のためのチョップ出力
- (e) 内部電圧検出による並列運転時の回路保護

インバータシステムは、将来、さらに大出力の発電機に採用されることが期待される。

■ 著 者 ■



藤 井 茂



清 水 元 寿



為 近 隆 男