U. D. C. 621.314.57 : 621.311.6 : 621.396.931

新幹線列車無線電源用静止形インバータ

Static Inverter Power Supply for Train Transmitter of New Tokaido Line

刈谷志津郎* 堀江竜郎*
Shizuo Kariya Tatsurô Horie

要　　旨

このたび日本国有鉄道東海道新幹線電車の列車無線電源として納入された静止形インバータは入力電圧直流100V，出力電圧交流100Vで容量1kVAの4アームサイリスタ(SCR，シリコン制御整流素子)によるブリッジインバータである。

出力電圧の制御はサイリスタ2アームの点弧位相の制御によって行ない，流通角を制御するものである。動作周波数は別の発振器によって規正され，移相器，発振器とも外乱に対して安定な回路を開発採用した。

構造的には新幹線電車製作の経験を基礎にして雨雪，ゴミの侵入に対して特に考慮を払い，内部機器の冷却という条件を有するにもかかわらず種々の特性を満足することができた。

本インバータは新幹線電車の大阪側先頭車の床下に取り付けられ，直流制御回路電源，または非常用蓄電池を電源として常時運転され満足すべき結果を示している。

1. 緒　　言

本インバータ装置は東海道新幹線列車無線専用電源装置として常時は電車の制御電源によって運転され，停電時などの非常時には専用蓄電池によって長時間列車無線に電力を供給し，通信回線の維持と乗客に対する電話サービスを目的として設置されたものである。

平常時にはほかの制御回路と共通の直流引通し線を電源として運転され，非常時には専用の蓄電池に切り換えられて運転が継続される。図1に本インバータ装置の外部回路図を示す。本インバータ装置は前述のように事故時において長時間通信回線を維持する必要があり，また既設の無線送受信器内部にはチョークインプット沪波回路，コンデンサインプット沪波回路をともに有し，それらの回路電圧をかなり厳密に規制する必要がある。そのほか，種々の使用条件より本インバータ装置に要求される特性を要約すれば次のようなものになる。

（1） 高効率であること。
（2） 負荷力率0.75～0.85(おくれ)にて運転しうること。
（3） 無負荷で運転することができ，かつそのとき出力電圧の上昇が小さいこと。
（4） 出力電圧はほぼ正弦波なること。
（5） 140% の過負荷においても起動し得ること。
（6） 回路が簡単で，保守点検の容易なこと。
（7） 負荷急変に対して安定であること。
（8） 雨水の侵入，ゴミに対して特に考慮された構造とすること。

以上のような諸特性を実現するためインバータ回路について種々検討した結果，4アームサイリスタ式ブリッジインバータとし，電圧制御にはインバータ運転中のサイリスタの流通角（インバータの動作半サイクル中にサイリスタが導通している角度）を制御する方法[1]を採用した。また，インバータ変圧器2次側にL-C直列共振によるフィルタ回路を設けて波形整形[2]~[4]と出力電圧の過渡応答特性の改善を図った。図2(a)(b)は本インバータ装置の内部を示したものである。

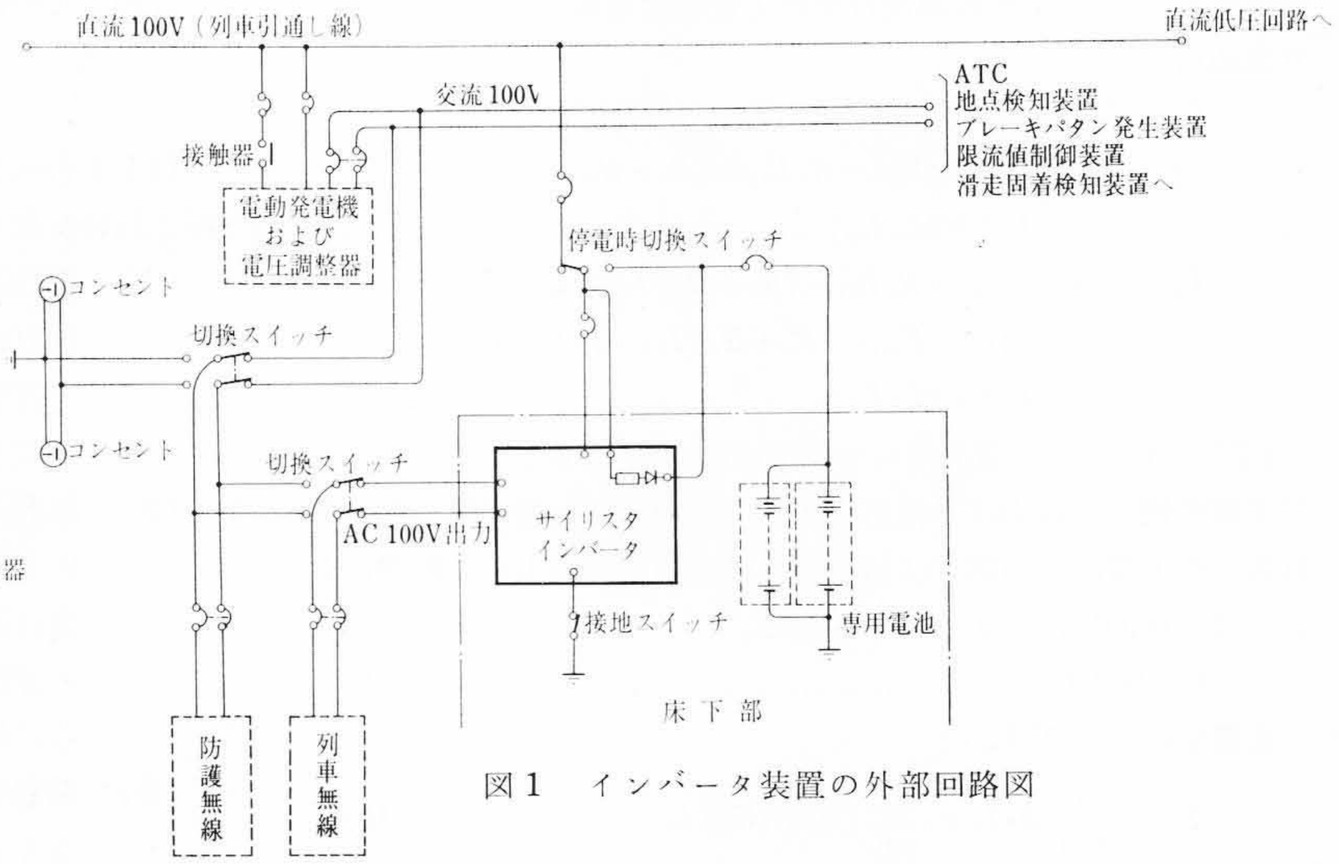


図1　インバータ装置の外部回路図

表1　インバータ装置の定格

形　　式	SC1
方　　式	流通角制御単相ブリッジ方式
容　　量	1kVA
入力電源電圧	DC 100V
出力周波数	60c/s
相　　数	1
出　力　電　圧	AC 100V

表2　インバータ装置の性能

出　力　電　圧	AC 100±5V		
出力負荷変動	0.5～1.0kVA（力率 0.8 おくれ）		
出力周波数	60^{+5}_{-10} c/s		
出　力　波　形	ほぼ正弦波		
絶　縁　耐　力	AC 1,200V		
温度上昇限度deg	フィン 70℃	巻線 A種 65℃	端　子 60℃
(温度計法による)	抵抗器 180℃	巻線 B種 90℃	

2. おもな仕様

本装置の定格および性能のおもなものは表1および表2に示すとおりである。

これらのほか，試験条件として特記されるものとして次のようなものがある。

（1） 入力電圧120Vにおいて出力側を開放したとき出力電圧は

* 日立製作所水戸工場

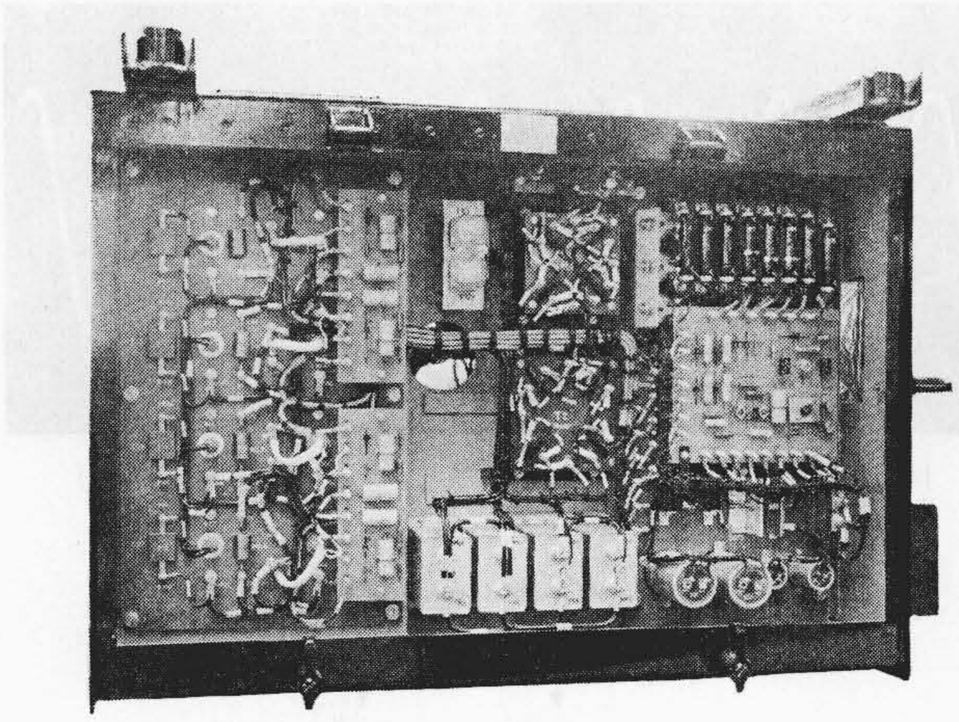


図2（a）　インバータ装置(サイリスタ盤側)

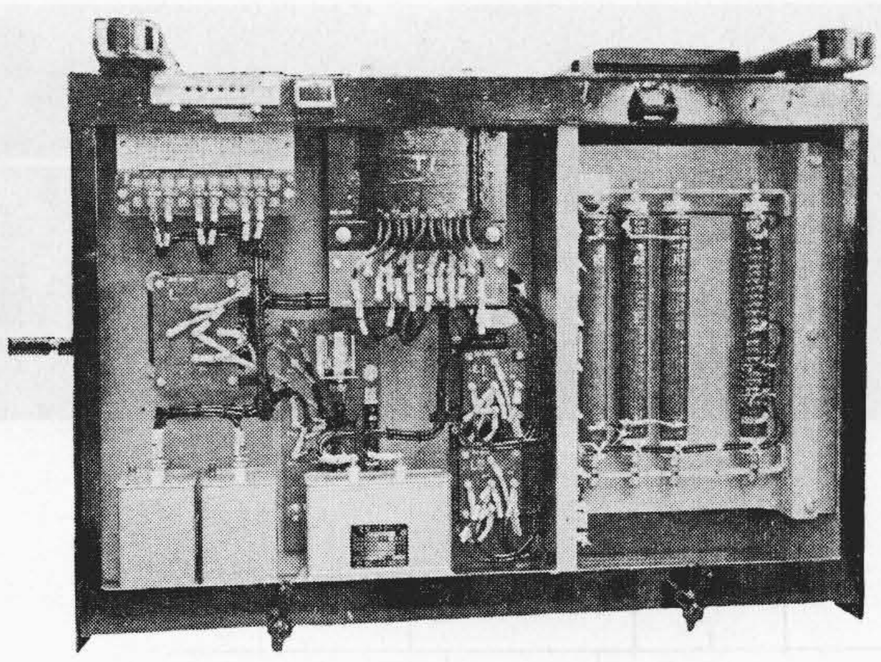


図2（b）　インバータ装置（変圧器側）

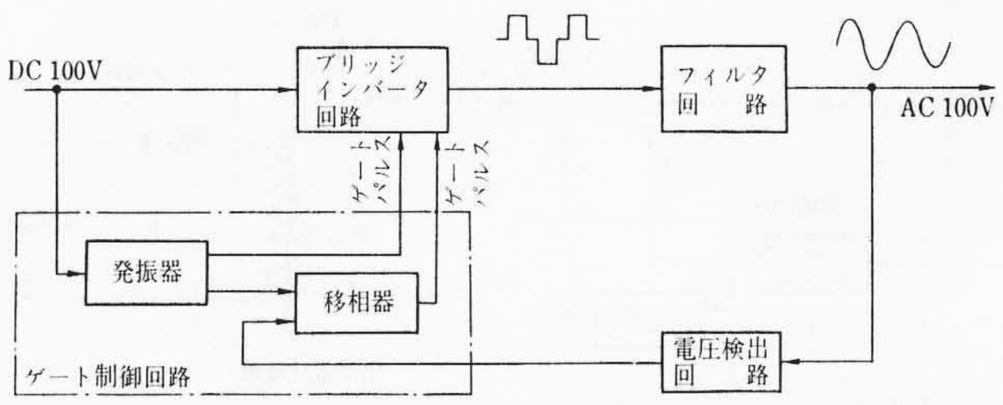


図3　インバータ装置ブロック図

110V 以下でなければならない。

（2）　負荷に7Ω の抵抗を接続し最低入力電圧70V において起動に支障があってはならない。また最低入力電圧において無負荷より7Ω の負荷を1秒間加えたとき動作に支障があってはならない。

（3）　周囲温度を −20～40℃ に変化させたとき表2に示す性能を満足せねばならない。

（4）　入力回路と出力回路および入出力回路とわく間の絶縁耐力はそれらに交流1,200V を加えて1分間耐えなければならない。

（5）　振動試験は上下，左右，前後の3方向について無加圧で行ない，5，10c/s，および50 c/s の振動数に対して加速度1gにて10分間行ない異常のないこと。

また5～50 c/s の全振動数に対して共振点があってはならない。

3.　インバータ装置の概要

図3は本インバータ装置の回路構成をブロック図に表わしたものである。

インバータ主回路は転流改良形4アームサイリスタブリッジインバータとインバータ変圧器よりなり，サイリスタのゲートを制御することにより方形波を発生する。その方形波はリアクトルとコンデンサの直列共振回路のフィルタ回路により基本波成分のみ取り出さ

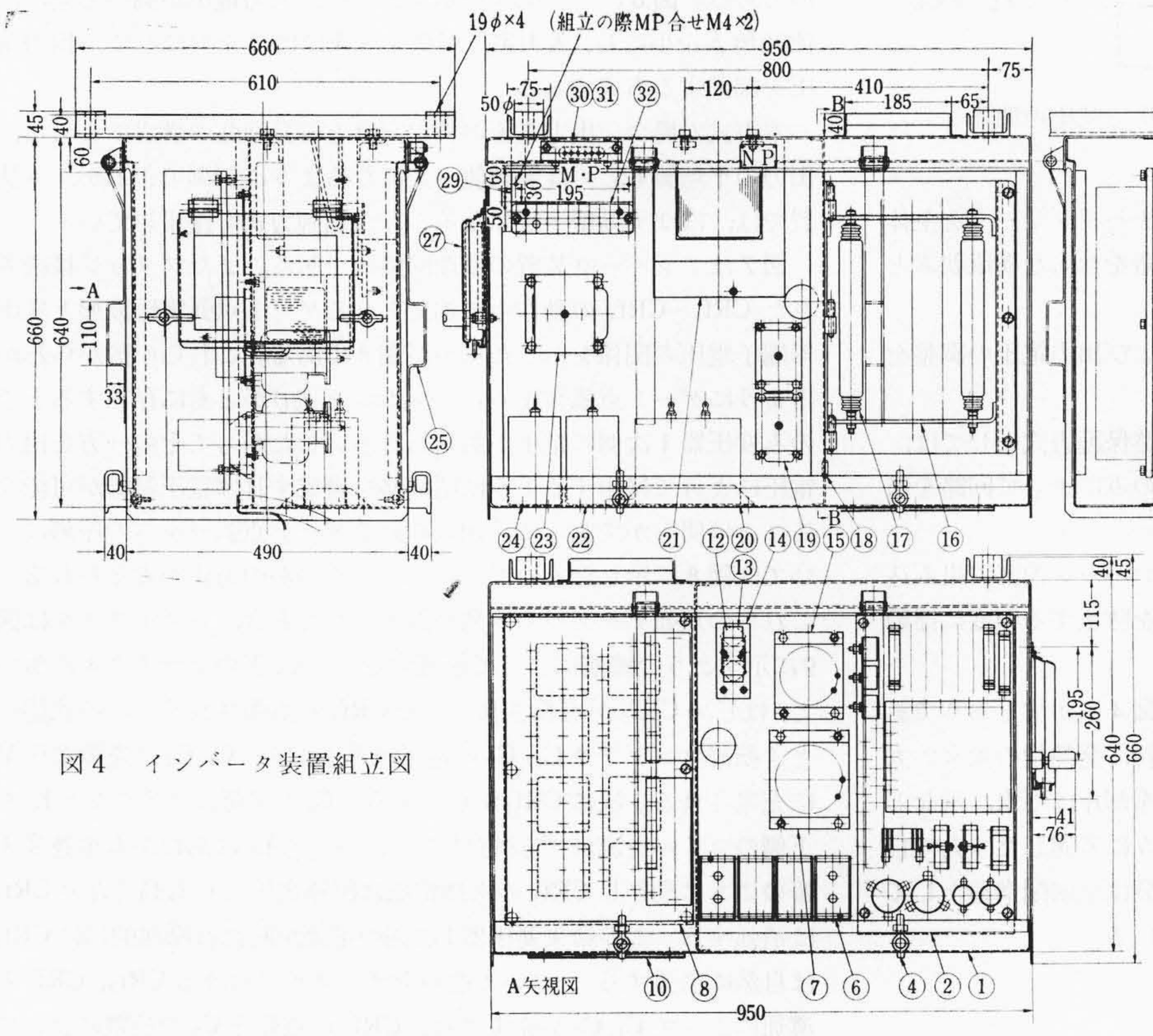


図4　インバータ装置組立図

①	箱	1
②	AVR 部組立	1
③		
④	カバー締金具	4
⑤		
⑥	MPコンデンサ	4
⑦	発振トランス	1
⑧	サイリスタ・SRブロック組立	1
⑨		
⑩	チリヨケ	2
⑪		
⑫	リレーソケット	2
⑬	34号リレー	2
⑭	レリー取付板	1
⑮	磁気増幅器	1
⑯	抵抗管取付枠	1
⑰	抵抗管	3
⑱	ゴムブッシュ	1
⑲	直流リアクトル	2
⑳	ケミカルコンデンサ	1
㉑	電源トランス	1
㉒	MPコンデンサ	1
㉓	交流リアクトル	1
㉔	MPコンデンサ	1
㉕	カバー	2
㉖		
㉗	フィルタ	1
㉘		
㉙	マークプレート	1
㉚	電線押え	1
㉛	パッキング	1
㉜	端子台	1

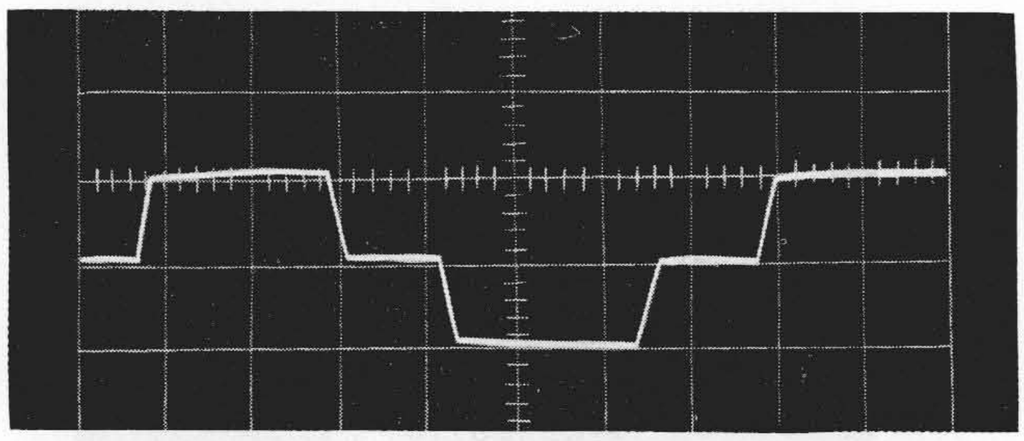


図5（a）　流通角制御のときの出力電圧波形
（フィルタ回路なし）

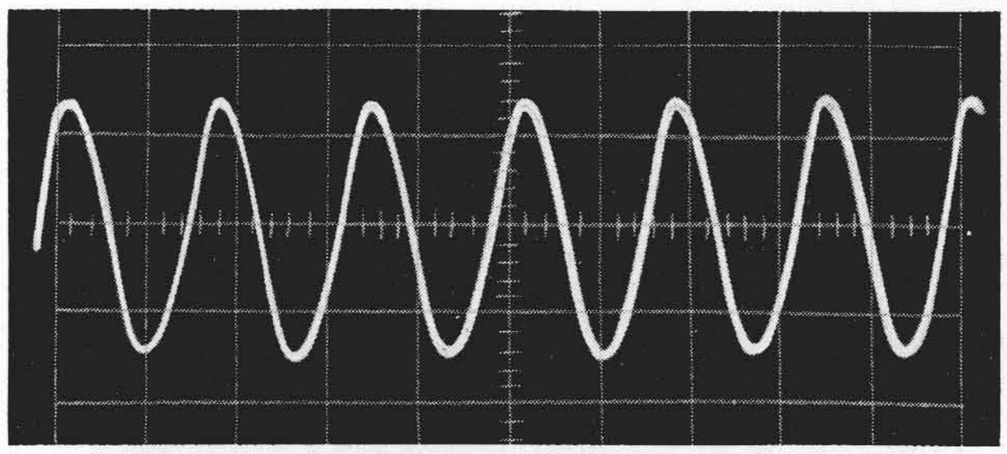


図5（b）　インバータの出力電圧波形(フィルタ回路付)

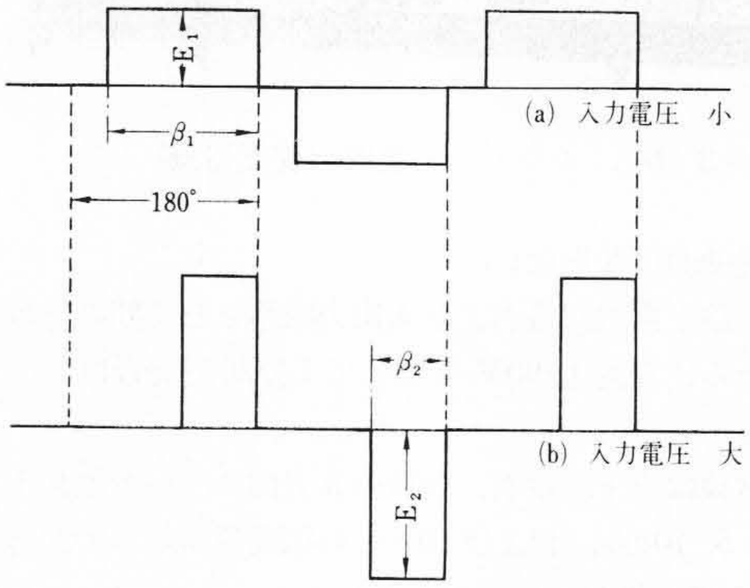


図6　インバータ入力電圧と流通角の関係

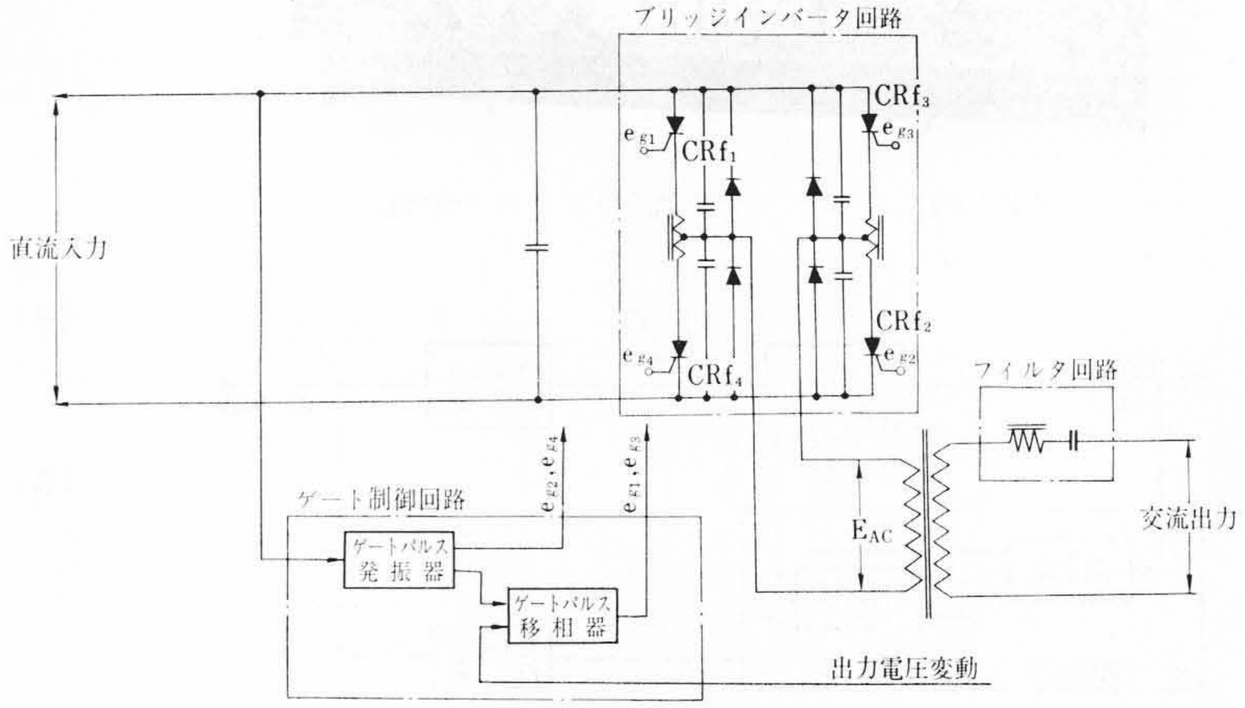


図7　インバータ装置回路原理図

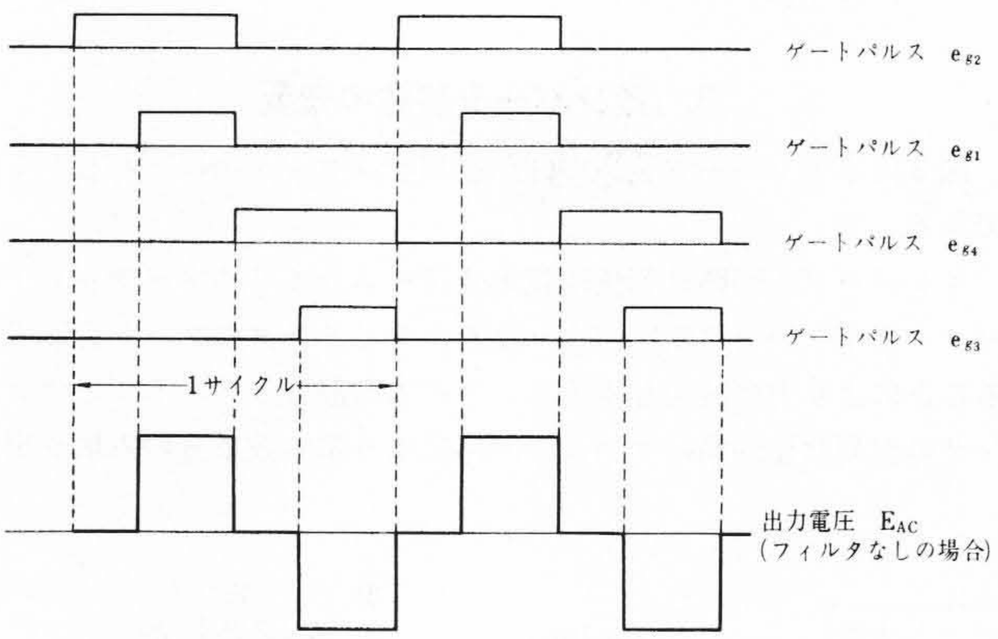


図8　サイリスタ点弧ゲートパルスと出力電圧の関係

れ正弦波となる。ゲート制御回路は磁気マルチバイブレータを主体とする発振回路および磁気増幅器による移相器をおもな構成要素とし，ほかに若干の付属回路を有している。

これらはインバータの動作周波数の規正および出力電圧の調整を行なうところである。

インバータ設計において通常問題となる回路保護方式としては，複雑な回路方式を排し，通常の配線用遮断器のみによって回路を保護し得るようにして構成の簡易化を図った。

また**図3**に示されていないが充電回路はインバータ内部に組み込まれて，非常電源用の専用蓄電池の自然放電を防止する程度に浮動充電を行なうものである。

インバータ装置内部の構成および寸法は**図4**に示すとおりである。新幹線電車床下機器の製作経験により，特に発熱量の大きい大形抵抗器類，サイリスタとシリコン整流器の冷却片は雨水，雪などの若干の付着があっても動作に支障のないように考慮したうえで自然通風が行なわれるようにし，ほかの主要部分は全密閉構造としてエアフィルタを介して通気するようになっている。

4. 流通角制御インバータの動作原理

インバータの流通角，すなわち動作半サイクルのうちに電流が流通する電気角を制御する電圧制御方式を流通角制御方式またはパルス幅変調方式と称し，4アームサイリスタによるブリッジインバータにおいて可能な電圧制御方式である。その出力電圧波形は**図5**（a）に示すようなものとなる。なお**図5**（b）はフィルタ回路を入れた波形である。**図6**にその原理を示すように，入力電圧が高いときには流通角 β を小にし，入力電圧が低いときには β を大にして，出力電圧を制御する方式である。

本方式の場合，出力電圧の検出回路と帰還回路の構成によって，出力の平均値もしくは実効値一定になるように制御できるが，本装置では，ほぼ実効値一定になるような制御方式を採用している。

図7はインバータ装置の原理回路図である。またブリッジ接続された CRf_1～CRf_4 の動作中に加えられるゲート点弧電圧波形と変圧器端子電圧の関係を示したものが**図8**である。これらの図からわかるようにゲート点弧電圧 e_{g1} と e_{g2}（e_{g3} と e_{g4}）がともに存在するときのみ変圧器1次側に電圧があらわれる。したがってその一方を出力電圧によって移相するように閉回路を構成すれば電圧制御が可能なることは明らかであって，加えられるゲート点弧パルスの序列については**図8**に示したもの以外にも，いくつかの方法が考えられる。これらの点弧ゲートパルス列が加えられたとき，各サイリスタは**図9**に示すような機構によって転流する。いま，正の半サイクルにおいて，はじめ CRf_2 が点弧されついで CRf_1 が点弧される。この状態のとき転流コンデンサ C_1, C_2 の電圧は零であり，C_3, C_4 は電源電圧Vに充電される。次に CRf_4 が点弧すると C_4 の電荷はリアクトル L_1 の下側のコイルを流れて放電する。このとき L_1 はあたかも単巻変圧器のように動作し CRf_1 の陰極電圧は陽極電圧よりも高くなり CRf_1 は消弧する。この結果変圧器1次側の電流が断たれ原理的には CRf_2 は自然に消弧する。ついで逆の半サイクルにおける CRf_3, CRf_4 の導通によって C_1, C_2 が充電され，CRf_2 の点弧と C_2 の放電によって

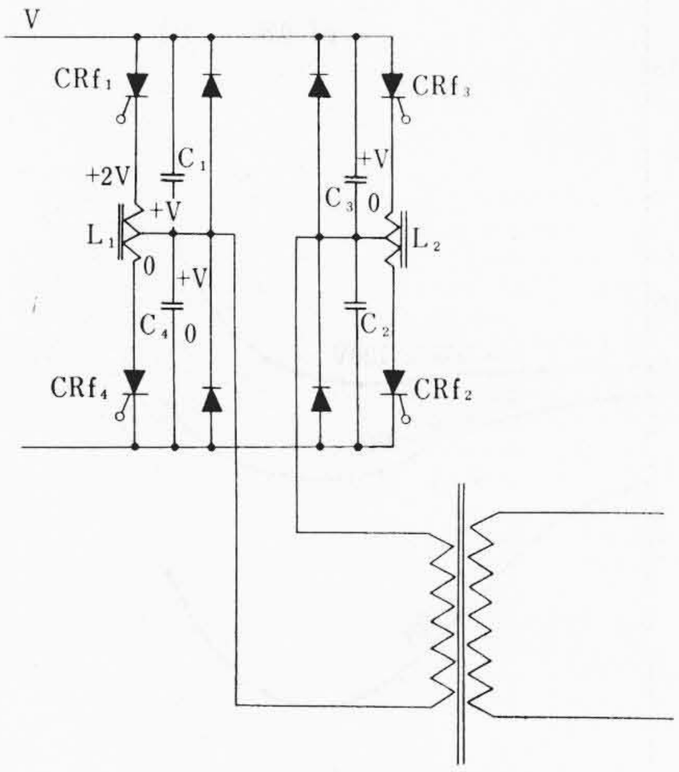
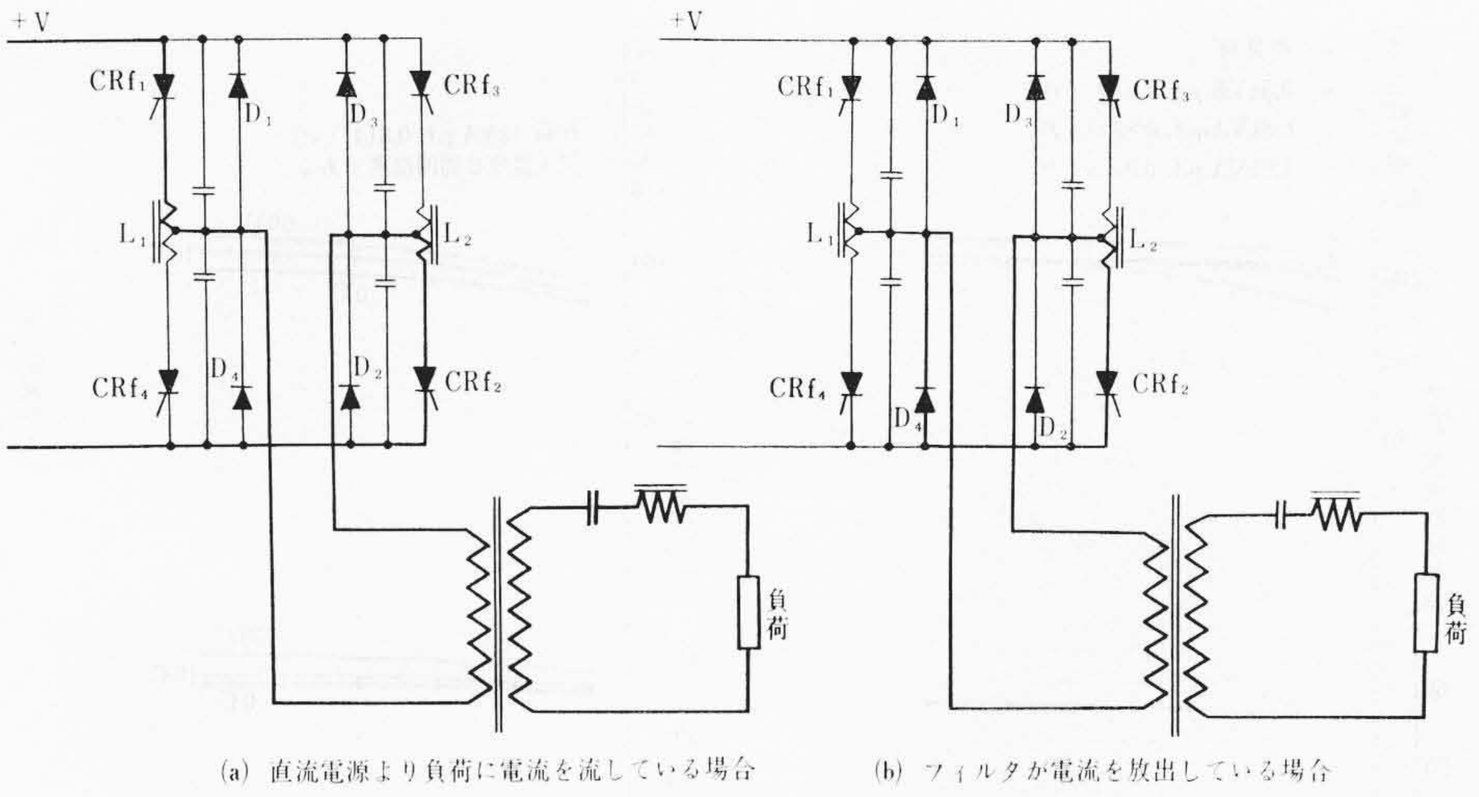


図 9　サイリスタ転流方式



(a) 直流電源より負荷に電流を流している場合　(b) フィルタが電流を放出している場合

図 10　フィルタ回路の一次側に対する影響

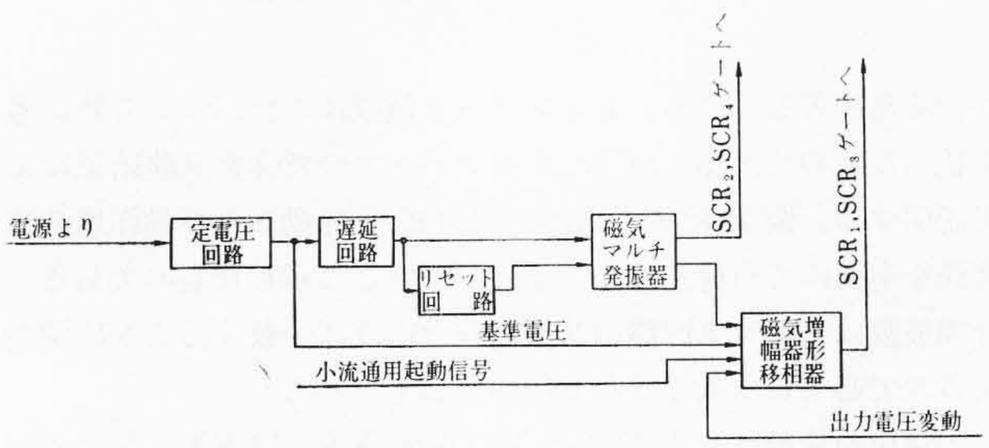
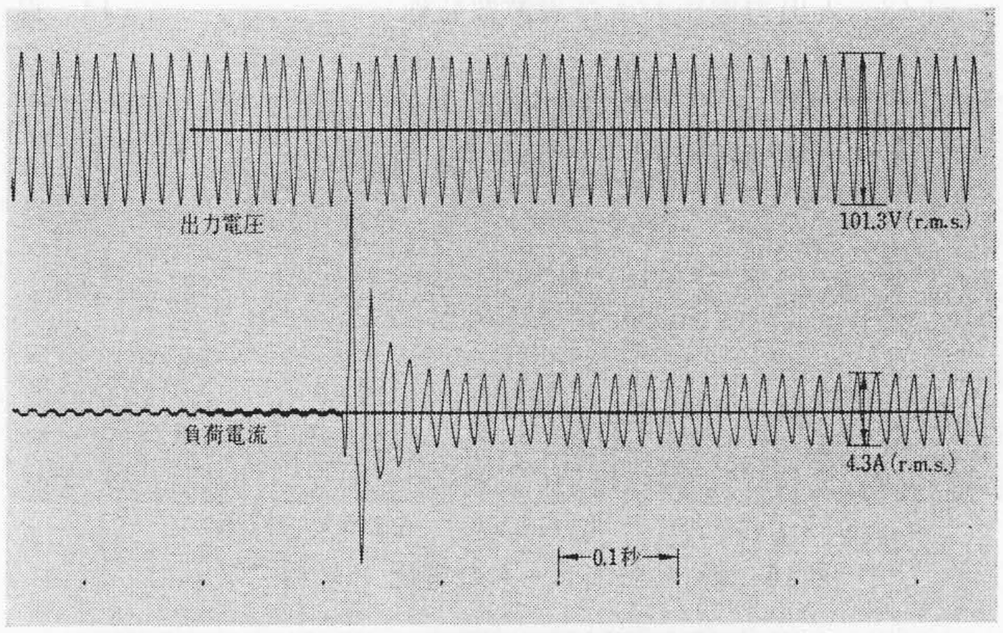


図 11　ゲート制御回路ブロック図



列車無線NFB投入　負荷力率（定常値）0.85（おくれ）

図 12　列車無線投入オシログラム（電源 3.5 kVA MG）

同様に CRf_3 が消弧する。

以上流通角が小なる場合について説明したが，流通角が 180 度の場合は CRf_1 と CRf_2 が同時に点弧され，また CRf_3 と CRf_4 も同時に点弧するため，C_3 と C_4 の放電が同時に行なわれ CRf_1 と CRf_2 は前述のように自然消弧することなくともに強制転流させられる。しかしながら流通角制御ブリッジインバータの 2 次出力側に波形整形のためフィルタを接続すると流通角を小にしても CRf_2, CRf_4 の導通状態が著しく変化し，自然消弧が行なわれなくなる。この理由はフィルタが流通期間に電流をたくわえ，非流通期間にそれを放出するため変圧器 2 次側に循環電流を生じ，その作用で一次電流が流れるためである。

この状態を図 10 によって説明する。図 10 (a) は CRf_1, CRf_2 の導通によりインバータより負荷およびフィルタ回路に電流が送られている場合である（太線は電流の流れている部分を示す）。この状態のとき CRf_4 が点弧されるので CRf_1 は前述の理由で消弧されるが，CRf_2 はフィルタ回路の影響で消弧されない。すなわち図 10 (b) に示すようにフィルタ回路が電源となり，フィルタ回路，負荷，変圧器 2 次コイルという閉回路に循環電流を流すためである。この結果変圧器 1 次コイルにも電流が誘起され CRf_2, D_4 を通る閉回路を形成するため自然消弧が行なわれない。逆の意味からいえば出力波形のひずみ率をよくするためにはフィルタ回路の Q をよくする必要があり，フィルタ回路を含む一巡ループの直列等価抵抗を減ずることが必要である。このために非流通期間は CRf_2 と D_4，または CRf_4 と D_2 をもって一次コイルを短絡しておく必要がある。その結果サイリスタの容量，リアクトル L_1, L_2，変圧器 1 次側の容量がフィルタ回路を用いない場合に比べて若干大きくなる。

5. ゲート制御回路

ゲート制御回路は図 3 に示したように発振器および移相器を主体に構成されているがさらに詳細に示せば図 11 のようになる。

発振器は角形磁気ヒステリシス特性を有する鉄心を用いた磁気マルチバイブレータである。その電源回路としてトランジスタ定電圧回路を設けて発振周波数の調整と安定化を行ない，この定電圧化された電圧を移相回路の基準電源ともしている。また磁気マルチバイブレータの発振開始点を規正し，インバータの起動を確実にするために発振開始直前に磁気マルチバイブレータ鉄心の磁束密度の規正を行なっている[5]。

移相器は自己帰還形磁気増幅器に多少の変更を加えた回路を用い，基準値と出力電圧の実効値に比例した電流の差により出力位相角が制御されるようになっている。この移相器の交流電源は磁気マルチバイブレータより得ているので移相角の直線性を示す範囲が大きくかつ電圧と周波数が比例するので磁気マルチバイブレータの発振周波数が変動しても移相角には影響がない。換言すればインバータの流通角(電気角)は動作周波数に関係なく一定になり周波数変動が出力電圧変動に影響を及ぼさない特長がある[6]。このほかに移相回路には，起動時にインバータ変圧器の鉄心が飽和しないよう出力電圧とは無関係に流通角を小にする回路を付加している。

6. 試　験　結　果

図 12 は負荷の特長を示すオシログラムである。このオシログラムは 3.5 kVA の MG を電源として測定したものであるが投入時の負荷容量が定格負荷のほぼ 2.4 倍 (2.4 kVA, 1 c/s) に達する場合があることを示している。このような負荷では，機械的慣性を瞬時負荷にふりかえられる MG に比較すると，静止機器をもって定格容量をさほどあげずに大なるピーク負荷に耐えるようにすることは設計

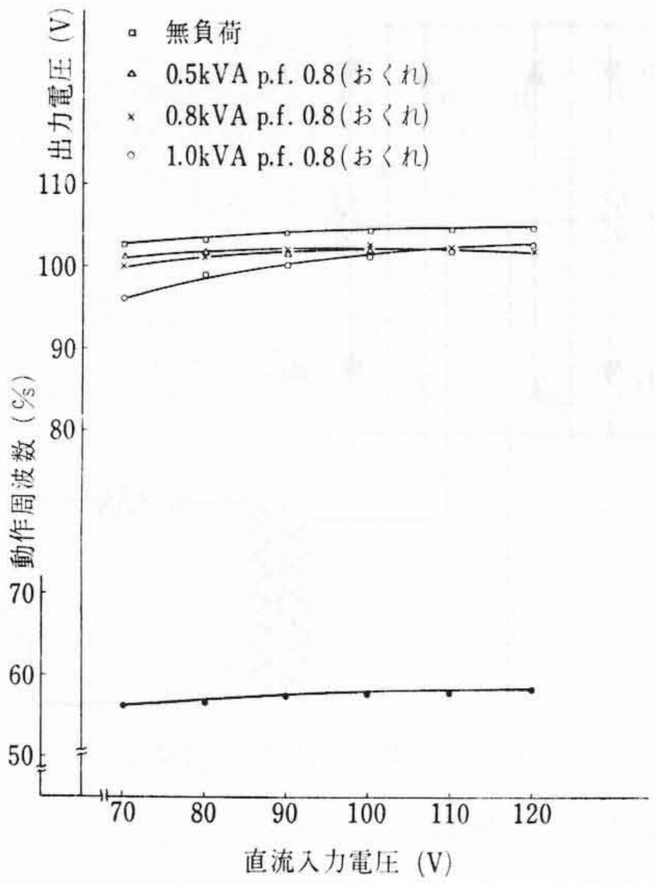


図13　入出力電圧および周波数特性

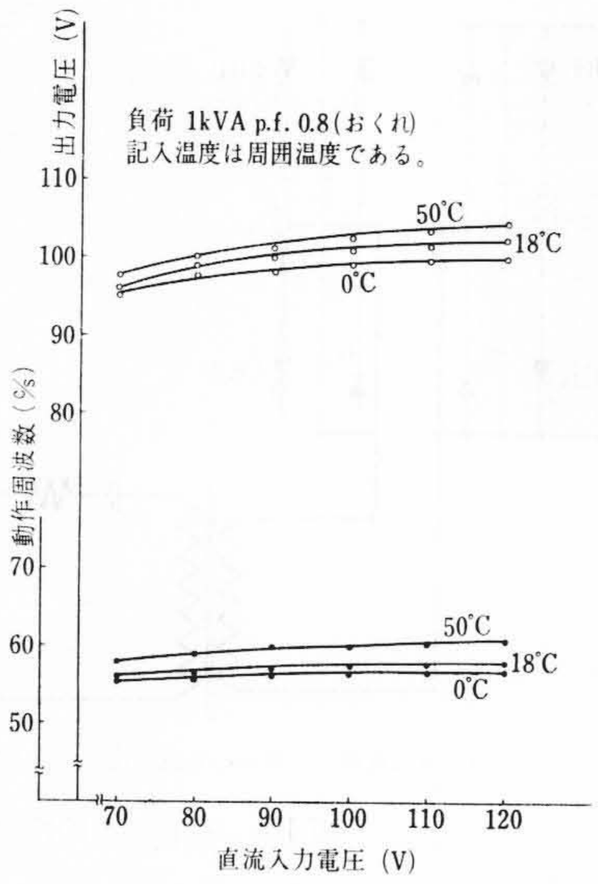


図14　温　度　特　性

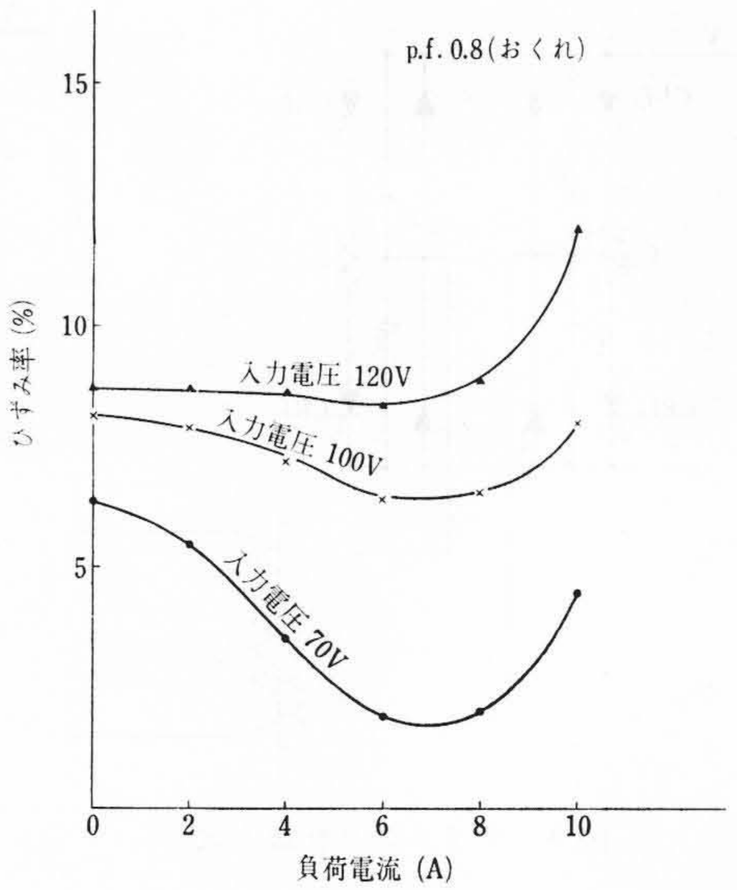
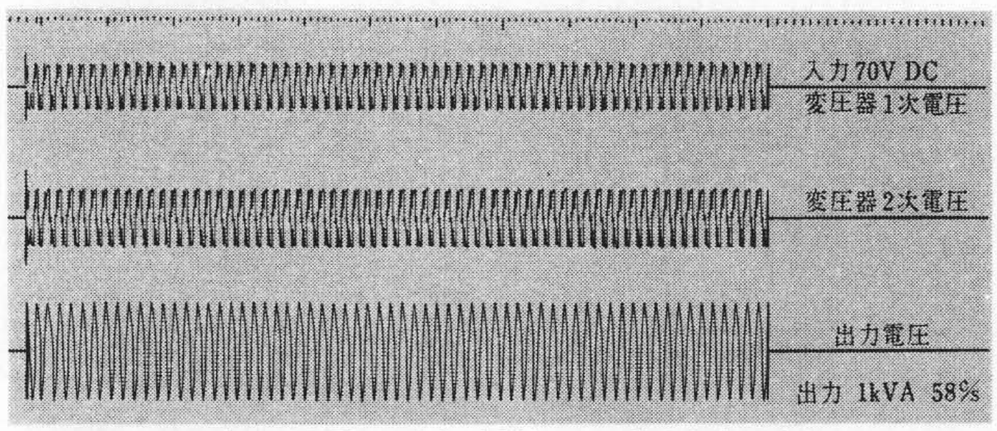
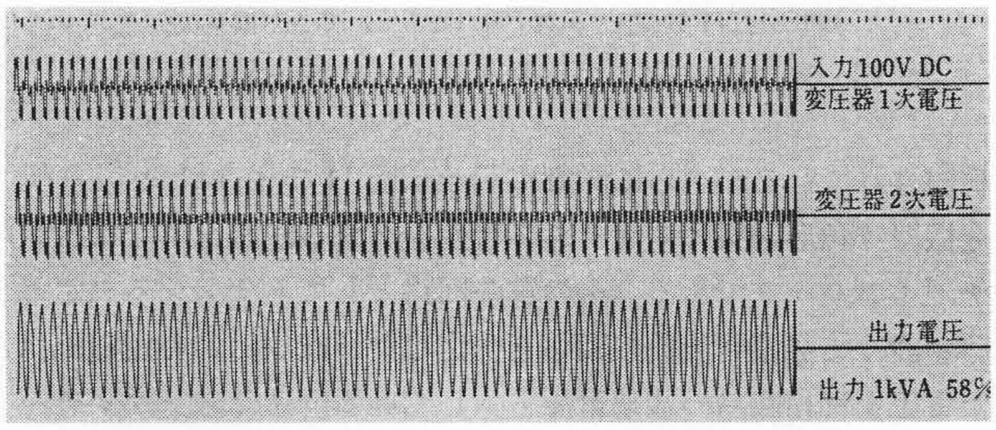


図15　ひずみ率特性



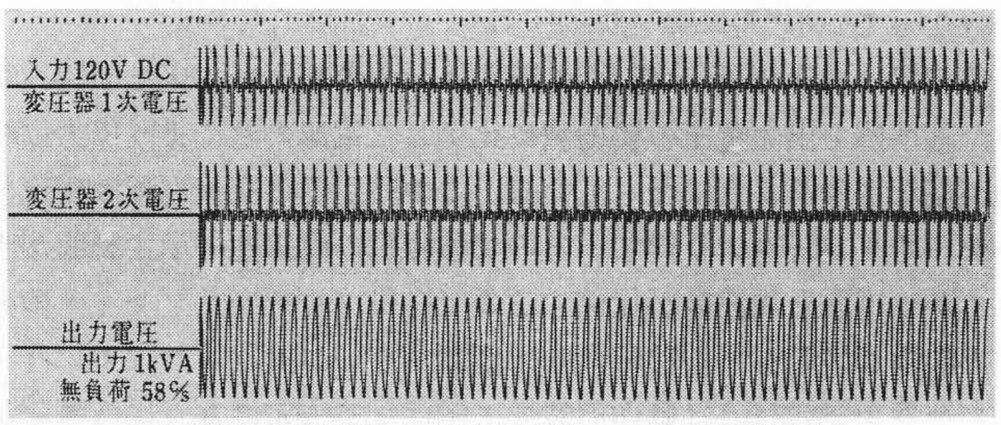
入力電圧70V　出力1kVA　p.f. 0.8（おくれ）

図16(a)　インバータの電圧オシログラム



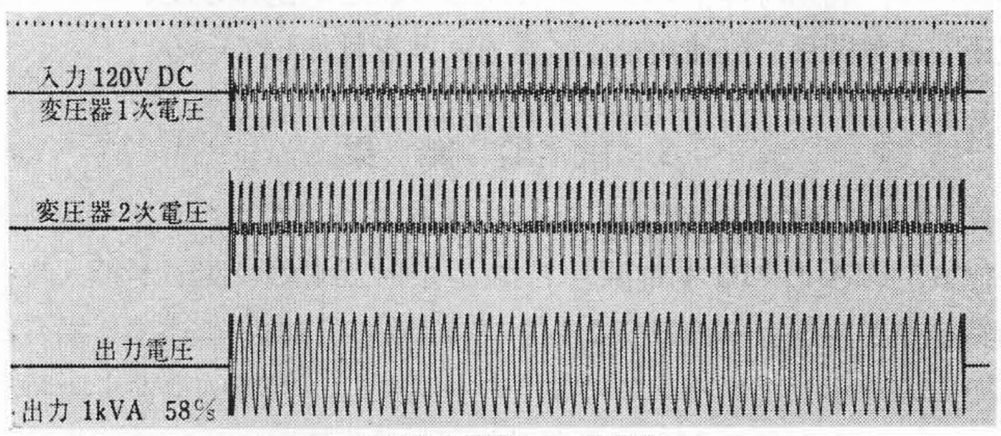
入力電圧100V　出力1kVA　p.f. 0.8（おくれ）

図16(b)　インバータの電圧オシログラム



入力電圧 DC 120V　出力1kVA　p.f. 0.8（おくれ）

図16(c)　インバータの電圧オシログラム



入力電圧 120V　無負荷

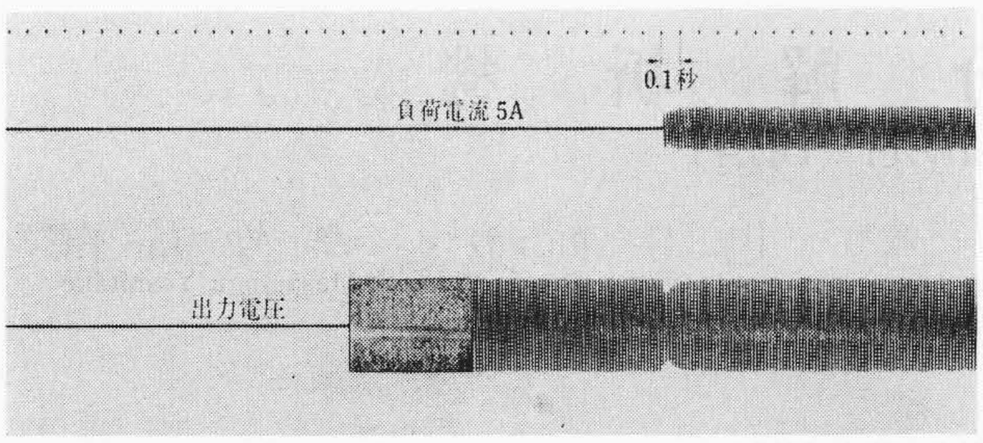
図16(d)　インバータの電圧オシログラム

条件を非常に苦しくする。本インバータ装置はこれについて特に考慮を払ったものである。以下，本インバータの特性を試験結果によって説明する。図13は入力電圧と出力電圧変動および動作周波数の関係を室温にて負荷条件をパラメータとして示したものである。動作周波数はフィルタ回路の共振周波数にほぼ一致するように調整されるので必ずしも基準値を60 c/s とはしていない。

出力電圧を変動させる要素は入力電圧70V，1kVA負荷の場合を除いて主として波形ひずみの変化による出力電圧変動の検出誤差によるものと考えられ，動作周波数の変動は発振回路の電源を直流側より得ているためトランジスタ定電回路の ±1% 程度の電圧変動によるものと考えられる。図14はインバータの動作している周囲温度をパラメータとし出力電圧と動作周波数を直流入力電圧との関係で示したものである。周波数の変動は主としてトランジスタ定電圧回路の温度によるオフセットおよび磁気マルチバイブレータの磁心の飽和磁束密度の減少がその原因と考えられている。なお出力電圧の変動は周波数変動の比率よりかなり小さい。図15は負荷電流と波形ひずみ率の関係を入力電圧をパラメータとして示したもので流通角が小なるほど波形ひずみは大きくなり，逆に流通角が120度付近になる場合や負荷力率が1になるほど波形ひずみが小さくなっている。一般的に入力電圧が高い場合，または負荷が軽い場合に波形ひずみが大きくなっている。図16(a)より図16(d)までは各部の電圧波形のオシログラムである。図15に示す波形ひずみ率と出力電圧波形を対応してみると興味がある。変圧器1次電圧波形に着目すれば入力電圧の上昇とともに流通角が小になってゆく様子がわかる。オシログラムの波形は上側より変圧器1次電圧，変圧器2次電圧，出力電圧を示している。図17(a)および図17(b)は模擬負荷投入時の出力電圧と負荷電流の応答オシログラムである。フィルタ回路の変動率と制御回路の応答性とを適度に組み合わせることにより負荷投入時に出力電圧を低下させインバータ入力電流を抑制することができる。

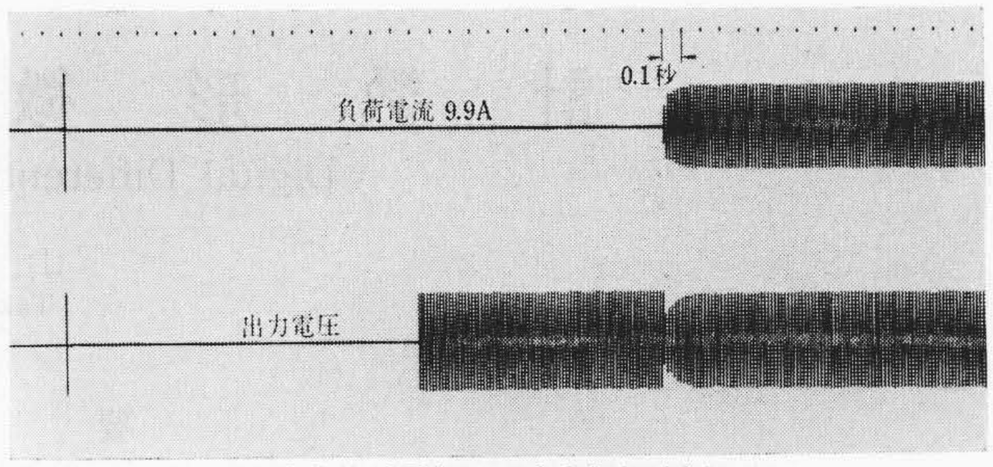
この方法は定格容量に対して瞬時容量の大きい負荷の場合に，インバータ定格容量をさほど大きくすることなく瞬時の過負荷に耐えさせる一つの方法である。

以上の試験のほかに振動試験，インバータ装置を電源とした列車無線の通話試験などを実施したがいずれも優秀な成績をおさめ十分実用に供し得るものと認められた。



負荷 0.5kVA　p.f. 0.8（おくれ）

図 17(a)　インパクト負荷応答オシログラム



負荷 約1kVA　p.f. 0.8（おくれ）

図 17(b)　インパクト負荷応答オシログラム

7. 結　　言

以上は東海道新幹線電車に搭載された列車無線電源用インバータ装置の回路方式の概要と試験結果について述べたのであるが，従来の MG と比較して同等以上の成績を得ることができ，納入後，なんらの事故もなく順調に動作を続けている。本装置はその機能が，電車線停電などの異常時に，特に発揮さるべきものであるため，その成果は非常に注目されたが，納入後の好調な実績は，今後の車両における諸電気機器の無接点化への一つの足がかりと考えることもでき，貴重な経験を得たということができよう。なお本インバータ装置の製作にあたっては日本国有鉄道臨時車両設計事務所の各位および新幹線支社東京運転所の各位に多大のご指導を仰いだ。ここに深く感謝の意を表する次第である。

参　考　文　献

（1） E. M. Gilbert : IEEE Trans. 12, 60～70 1963
（2） J.L. Roof. Andress Kernick, T.M. Heinrich : IEEE. Application and Ind. 59～68 (May 1962)
（3） 電子回路ハンドブック編集委員会編　電子回路ハンドブック 900～909（昭-38 丸善）
（4） R. R. Ott : IEEE Trans. 259～262 (May 1963)
（5） 特許実用新案出願中
（6） 特許実用新案出願中

Vol. 26　　日立造船技報　　**No. 3, 4**

目　　次

- ダム放水管の給気管断面積の算定法
- 船用2サイクル過給ディーゼル機関の起動性能
- 高圧用メカニカルシールの研究（第1報）
　——押付け力が密封特性に及ぼす影響——
- 耐候性高張力鋼の溶接施工法
- 生型鋳鋼用鋳物砂の実用化
- 工業用純チタニウムの圧延焼なまし材の電子顕微鏡による直接観察
- コルモノイ No. 5 および No. 6 溶接実施適用のための実験
- 含有物質の放射化分析による液量の測定
- 進水時の船体運動
　——船首落下について——
- プロペラバランステストにおける許容量の検討
- 最近の軸系ねじり振動におけるプロペラ減衰に関する考察
- ステンレス鋼管の最小曲げ半径の決定

……本誌に関する照会は下記に願います……

日立造船株式会社技術研究所
大阪市此花区桜島北之町 60