

車内放送装置電源用SCRインバータ

SCR Inverter for D.C. Power Supply of the Cab Announcement Device of Electric Car

刈 谷 志 津 郎*
Shizuo Kariya

堀 江 竜 郎*
Tatsurô Horie

内 容 梗 概

京王帝都電鉄株式会社納 5000 形電車用車内放送および誘導無線装置用の電源としてシリコン制御整流素子 (SCR) を用いた静止形インバータによる DC-DC 変換装置を完成した。

本装置は小容量のインバータであるため、設計上特に変換能率の向上と SCR 素子の温度上昇の抑制について考慮した。また、インバータの制御角を制御することによって従来、困難とされていた並列自励式インバータの出力電圧の安定化を可能とし、入力電圧および負荷の変動に対してすぐれた定電圧特性を得ることができた。

本装置はすでに 6 台納入され、実車に装備されてきわめて安定な動作を行なっている。

1. 結 言

電車用の車内放送装置および誘導無線装置は回路の性質上多種類の安定化された直流電源を必要とし、通常は交流入力より絶縁トランスを介して必要な直流電源を得ている。しかしこの方法では車両に取り付けられている交流発電機の故障、電車線の停電などにより放送連絡が不能になる場合がある。このような事態を皆無にするためには、車両において永久電源と考えられている直流 100V の蓄電池によって動作するインバータが必要になる。このインバータに SCR インバータを用いれば、インバータトランスと絶縁トランスの共用が可能であり、また定電圧制御を含めて静止機器化することができるので、保守の容易な最適の電源を提供することができる。

本 SCR インバータは、機器の小形化と信頼度の向上を目的として使用半導体部品の温度上昇抑制に特に留意し、平均負荷率のかなり小さい車内放送装置用電源として、無負荷時の SCR の損失を減らすため、並列インバータの制御角を制御する定電圧、DC-DC 変換装置として構成した。また放送装置に有害な 50~150kc/s の高調波雑音防止について考慮してある。

2. 定格およびおもな仕様

本装置の定格および与えられた仕様は第 1 表に示すとおりである。本装置が入力電源に交流 200V を持っているのは、インバータ故障時にインバータ変圧器を電源変圧器として応急運転するためで直流-交流の切り換えは手動によって行なわれる。

3. 定電圧インバータ回路方式の決定

現在知られている定電圧インバータには、トランジスタをスイッチ素子に使用したインバータを除いておおよそ次のような方式がある⁽¹⁾。

- (1) 鉄共振形変圧器を用いるインバータ
- (2) 帰還ダイオードを用いる McMurry の方形波インバータ
- (3) 直列リアクトルのインピーダンス制御を行なうインバータ
- (4) 制御角制御方式によるインバータ

以下これらについて当面の使用目的からの比較を試みる。

車載の放送装置用電源としては、入力容量の小なること、高調波雑音の少ないこと、定電圧特性を有すること、軽量小形なることが要求される。この見地より、鉄共振形変圧器を用いるインバータでは共振回路への電力の供給が一次側より行なわれなければならないため、入力容量が大きくなり、また交流出力に高調波含有率が大きいため、McMurry の方形波インバータも入力電力が負荷電力にフー

* 日立製作所水戸工場

第 1 表 定格およびおもな仕様

項目	名 称	定格電圧 (V)	定格電流 (A)	電圧変動	リ ッ プ ル	保証温度 (°C)
入力条件	直 流 入 力	100	2.5	+15~ -20%		-10 ~+40
	交流入力 (60c/s)	200	1.1	±5%		
出力仕様	B 電 源	DC 320	0.3	±10%	50kc/s以下, 1V以下 50~250kc/s, 0.2V以下	
	T _R 電 源	DC -12	1.0	-10~ -14V	12 mV 以下	
	R _L 電 源	DC -8	1.5	-6~ -10V	0.3V 以下	
	H 電 源	DC +6.3	3.5	+5.5~ +7V		

ドバック電力を加えたものであるため、必要負荷電力に比べて大きくなり、入力電圧の変動に対する出力電圧の一定化にも多くの問題がある。直列リアクトルに可飽和リアクトルを用い、出力電圧の変動に応じてそのインピーダンスを制御する方法は、回路的にはすぐれているが、そのために重量増加が避けられない。

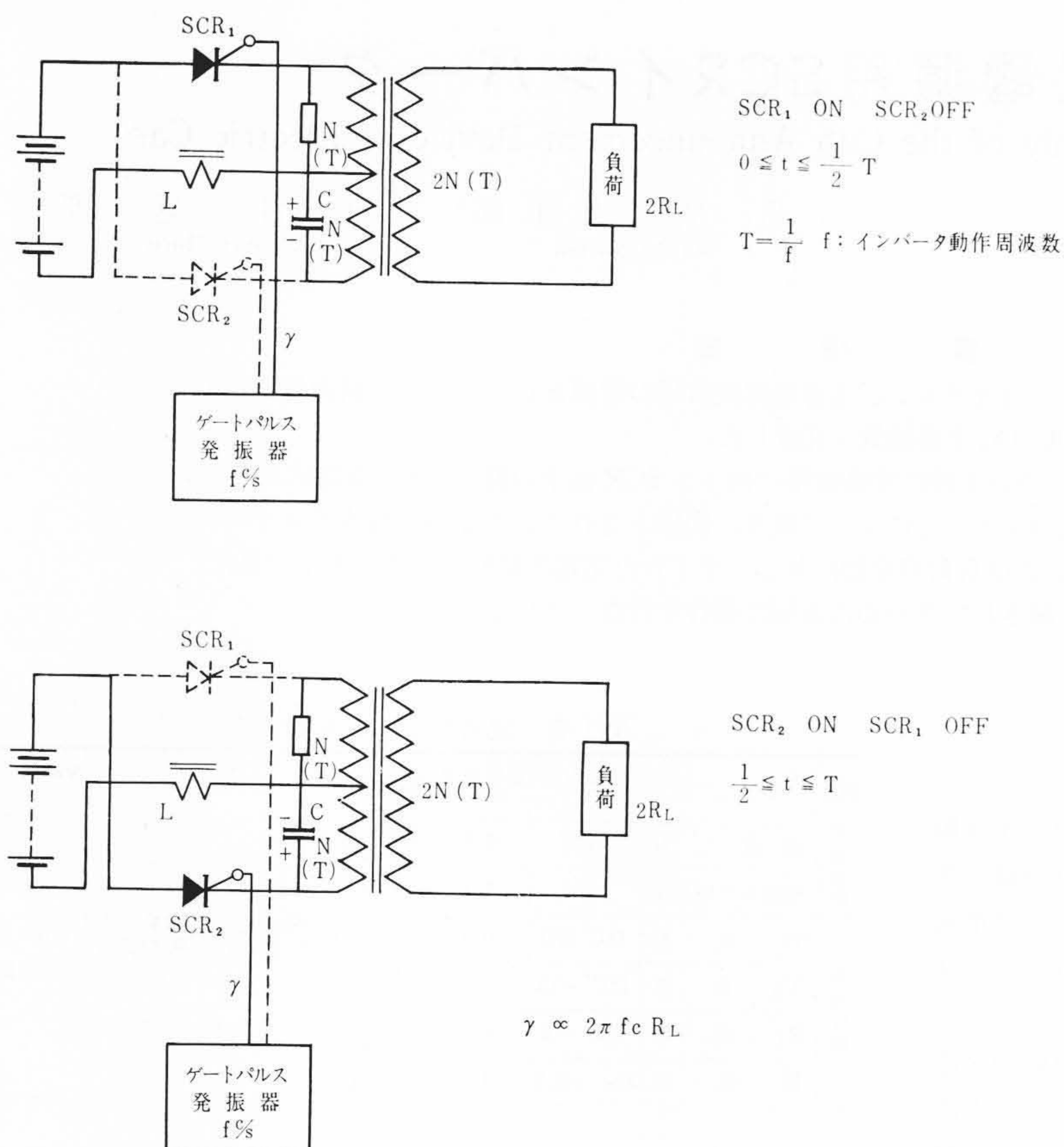
以上のべた以外に、McMurry の回路を多数組み合わせ、入力電圧および負荷の状態により、動作回路の個数およびそれらの SCR の点弧位相を制御して定電圧インバータを構成する方法⁽²⁾や、鉄共振形変圧器に転流改善を施したインバータ回路もあるが、いずれも小容量インバータ回路にとってはよい方法ではない。

一方、制御角制御インバータは回路定数を適当に選択することにより出力波形をほぼ正弦波にすることができ、出力に含まれている高調波を軽減できる。また入力電圧と負荷の変動に比例して入力電力が変化するため、車内放送装置などのように電源にとって平均負荷率の小さいものに対しては、使用する SCR の動作責務を軽減することができ、他方式に比較して本装置の設計条件に最も合致しているといえる。また、この方式を採用することにより SCR にはきわめて小形の放熱片を使用するのみで SCR 素子の温度上昇も抑制でき、それに伴って機器を小形軽量化することができる。

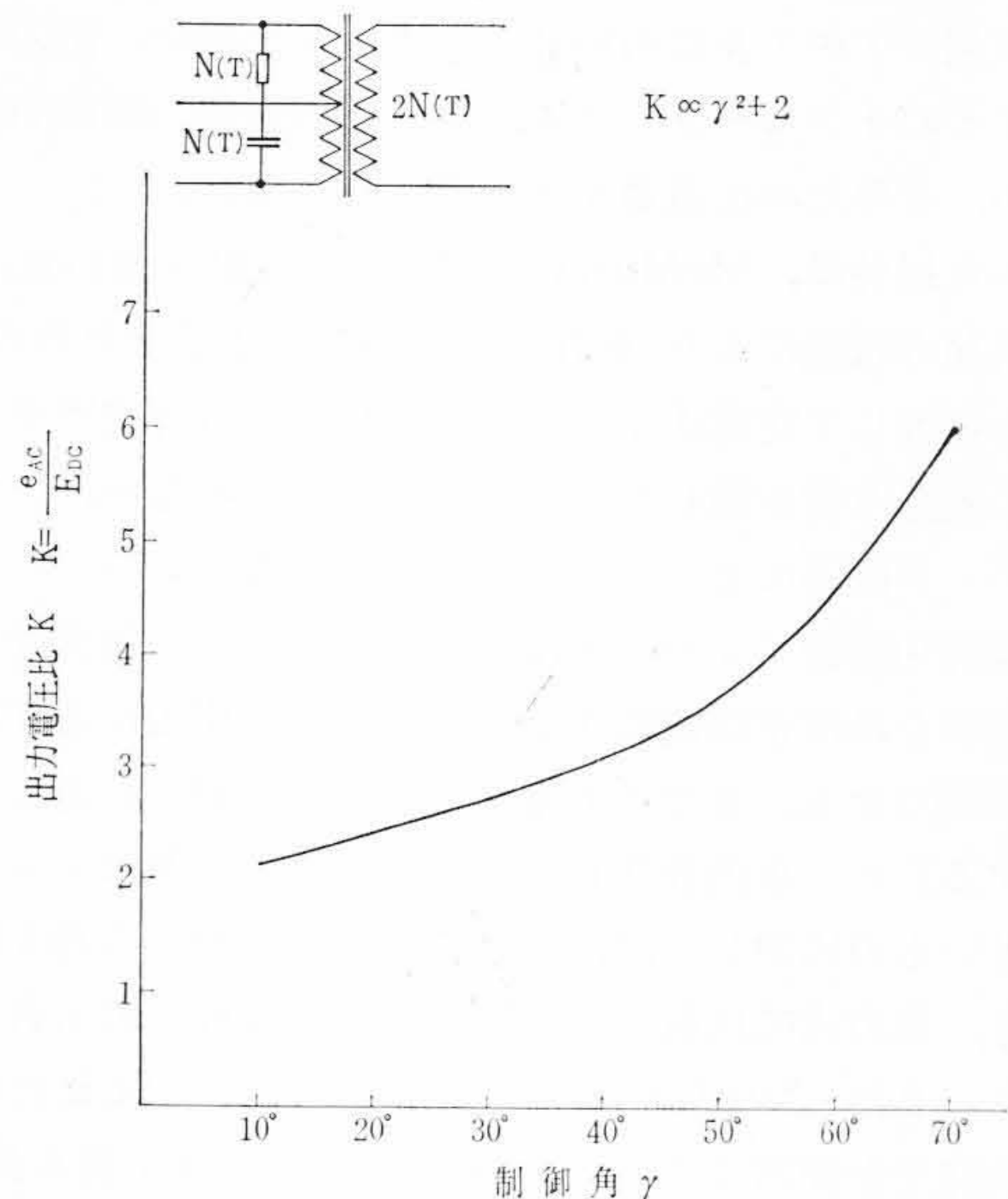
4. インバータ制御角制御方式の原理

第 1 図に並列自励式インバータの動作原理⁽³⁾を示す。本図のようにインバータ変圧器の 1 次と 2 次の巻数比を 2 としたとき制御角 γ は、通常の動作範囲では、負荷抵抗 R_L 、転流コンデンサ C 、動作周波数 f の積に比例する。また入力電圧 E_{DC} と出力電圧 e_{AC} の比を k とすれば、 k は γ^2 に比例して増加し、第 2 図に示すような関係にある⁽⁴⁾。

インバータにおいて交流出力電圧を変動させる要因は入力電圧変動と負荷変動である。そのうち入力電圧変動はそのまま比例的に出力電圧変動となってあらわれるが、負荷の変動は制御角を変化させるので一般の使用状態などは非常に大きな出力電圧の変動となって



第 1 図 並列自励式インバータ原理図



第 2 図 制御角と出力電圧比の関係

あらわれる。たとえば、定格負荷で制御角を 30 度に設定するように定数を定め、そのまま負荷を $\frac{1}{2}$ に下げれば制御角はほぼ 2 倍になり、したがって第 2 図より出力電圧が約 1.7 倍にもなることがわかる。しかし逆に交流出力電圧の変動を検出し、それに応じてインバータの制御角を制御すれば出力の安定化が可能である⁽⁵⁾。

インバータの制御角は前述のとおり負荷インピーダンス、転流コンデンサ、動作周波数によって決定されるが、制御角を時間に換算すれば転流コンデンサ C と負荷インピーダンス R_L によって決定される放電時定数にほかならない。そのインバータ動作周波数の半サイクルのうちに占める割合を電気角に換算したものが制御角である。したがって制御角を変化するには動作周波数を一定にし、転流

コンデンサの容量を変化させてもよいが、連続的に制御する実際的な方法がない。

本装置においては、転流コンデンサの容量を一定とし、負荷変動により転流コンデンサの放電時定数が変化してもインバータの動作周波数も変化させて放電時間の半サイクル中に占める電気角を一定にする方法を採用した。

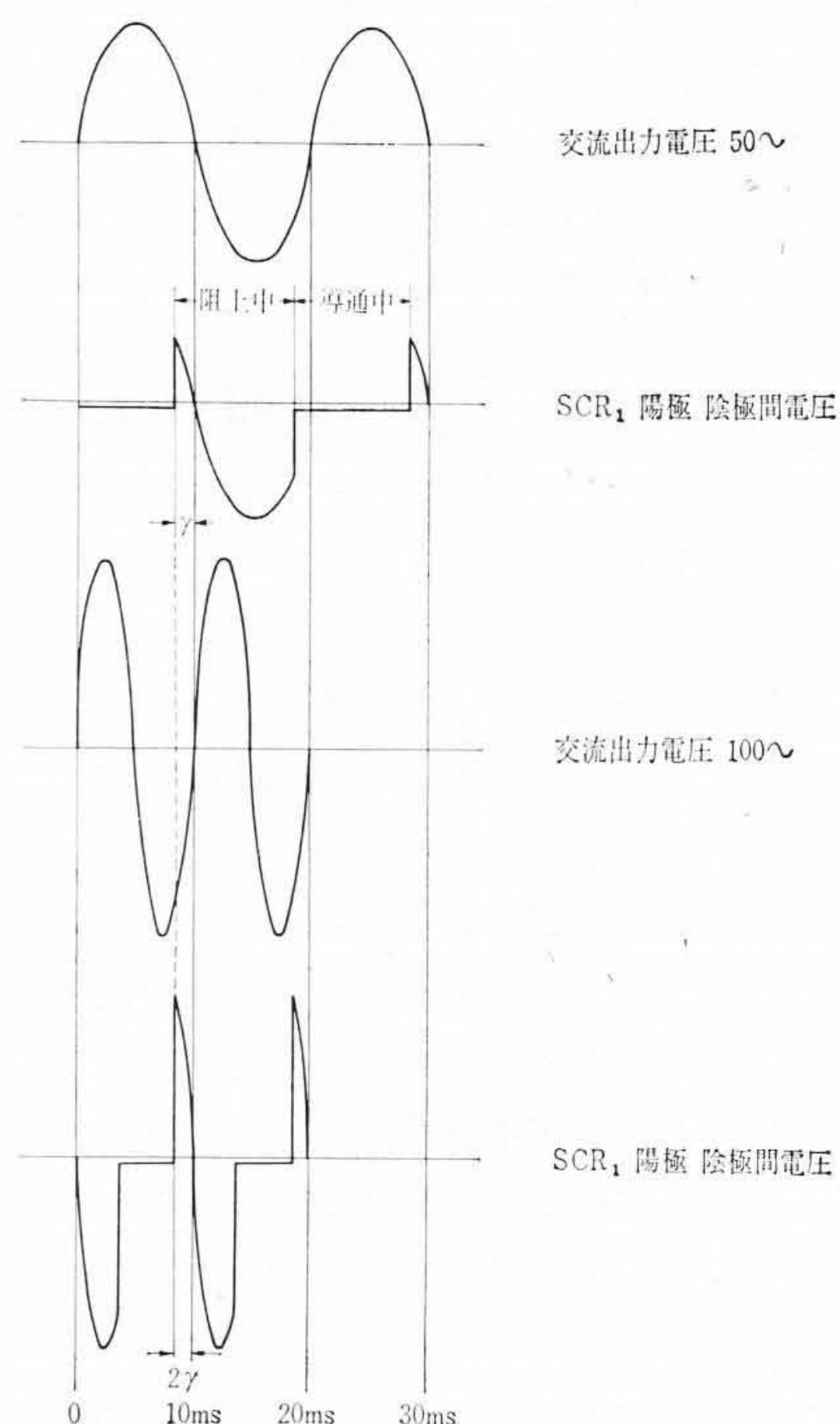
同じ原理を利用して入力電圧変動時に制御角が変化するように動作周波数を制御して出力電圧の変動を補償することもできる。第 3 図は制御角と動作周波数との関係の一例を示すものである。

以上要約すれば負荷電動時には制御角が一定になるように半サイクルの時間を変化させて一定の出力電圧比をとるようにし、入力電圧変動時には、制御角を変化して出力電圧比を制御するように、半サイクルの時間を変えて出力電圧を一定にする定電圧方式である。半サイクルの時間を変化させることはインバータの動作周波数を変化させるにほかならない。これは SCR のゲート制御用発振器を設ければ比較的簡単である。また、この方式には入力電圧が低下すれば入力電流を増加し、入力電圧が高くなれば入力電流を減少して出力電圧を一定にし、負荷に比例した入力電力しか必要としないというすぐれた特長がある。本装置は動作周波数が問題にならない DC-DC 変換装置であるため、以上の述べた原理に基づいて出力の定電圧化に成功したものである。

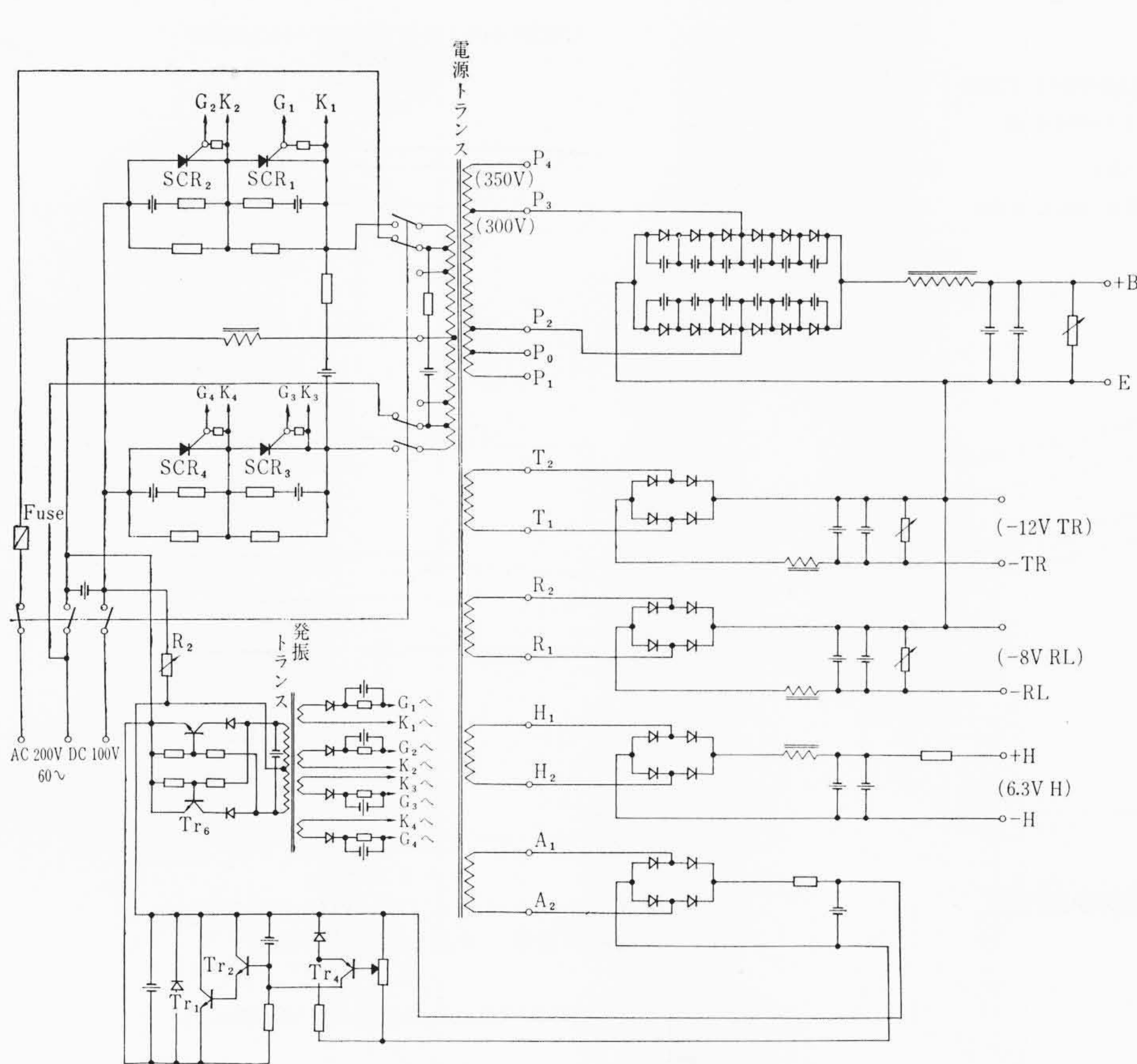
5. 装置の回路構成

第 4 図に本装置の全回路を示す（特許実用新案出願中）。

インバータ回路は他制自励式並列形の構成をとっている。SCR は第 2 表の特性を有するもので、これを 2 個直列に用い、SCR の turn on, turn off 時の過渡状態において素子の電圧分担率の誤差が 10% 以下になるようにバランス用の抵抗、コンデンサを接続し、また直列に接続された SCR のゲート信号相互の時間遅れを 0.5 μ s 以



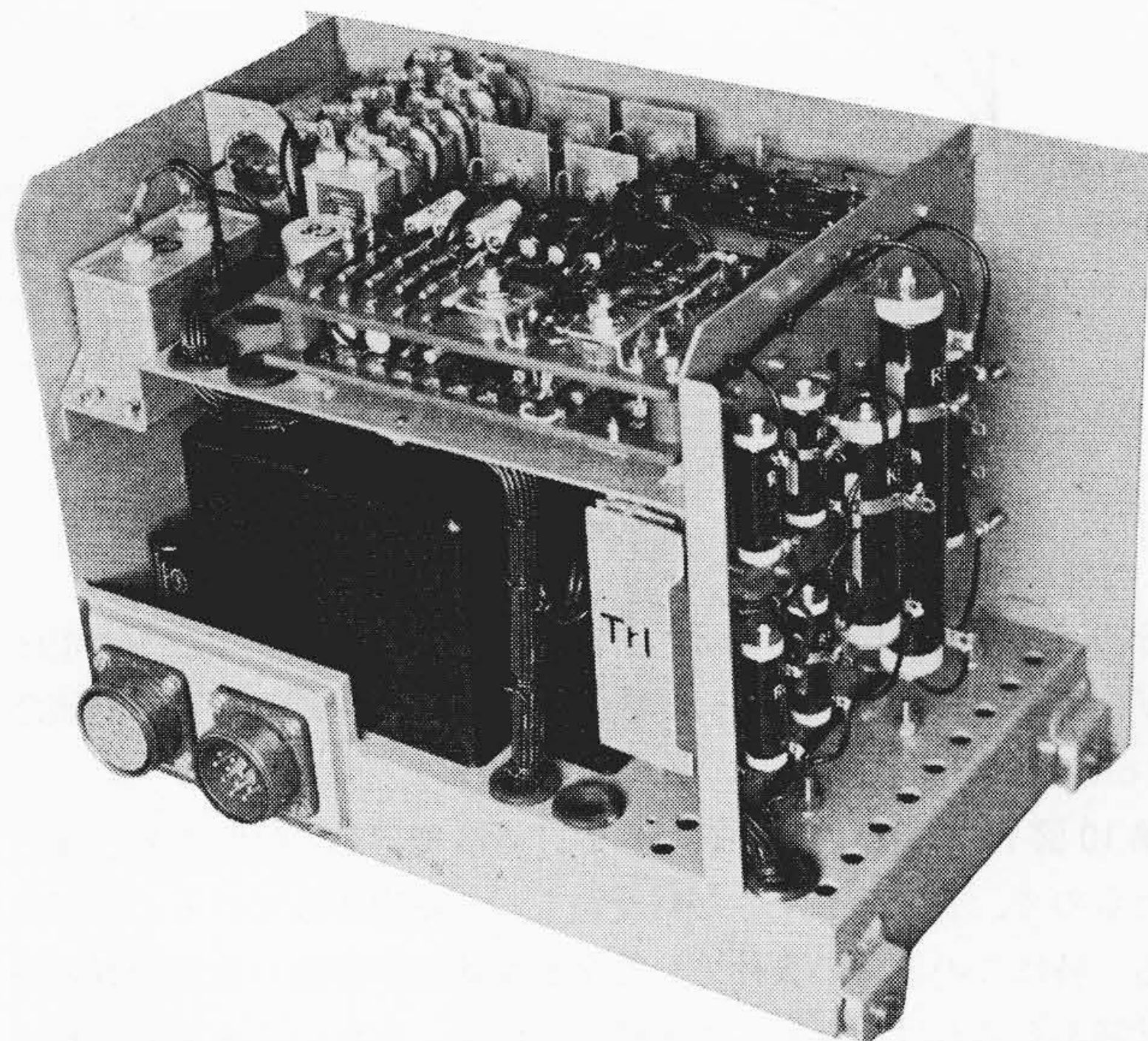
第 3 図 動作周波数と制御角の関係の一例



第4図 インバータDC-DC変換装置回路図

第2表 使用SCRの定格

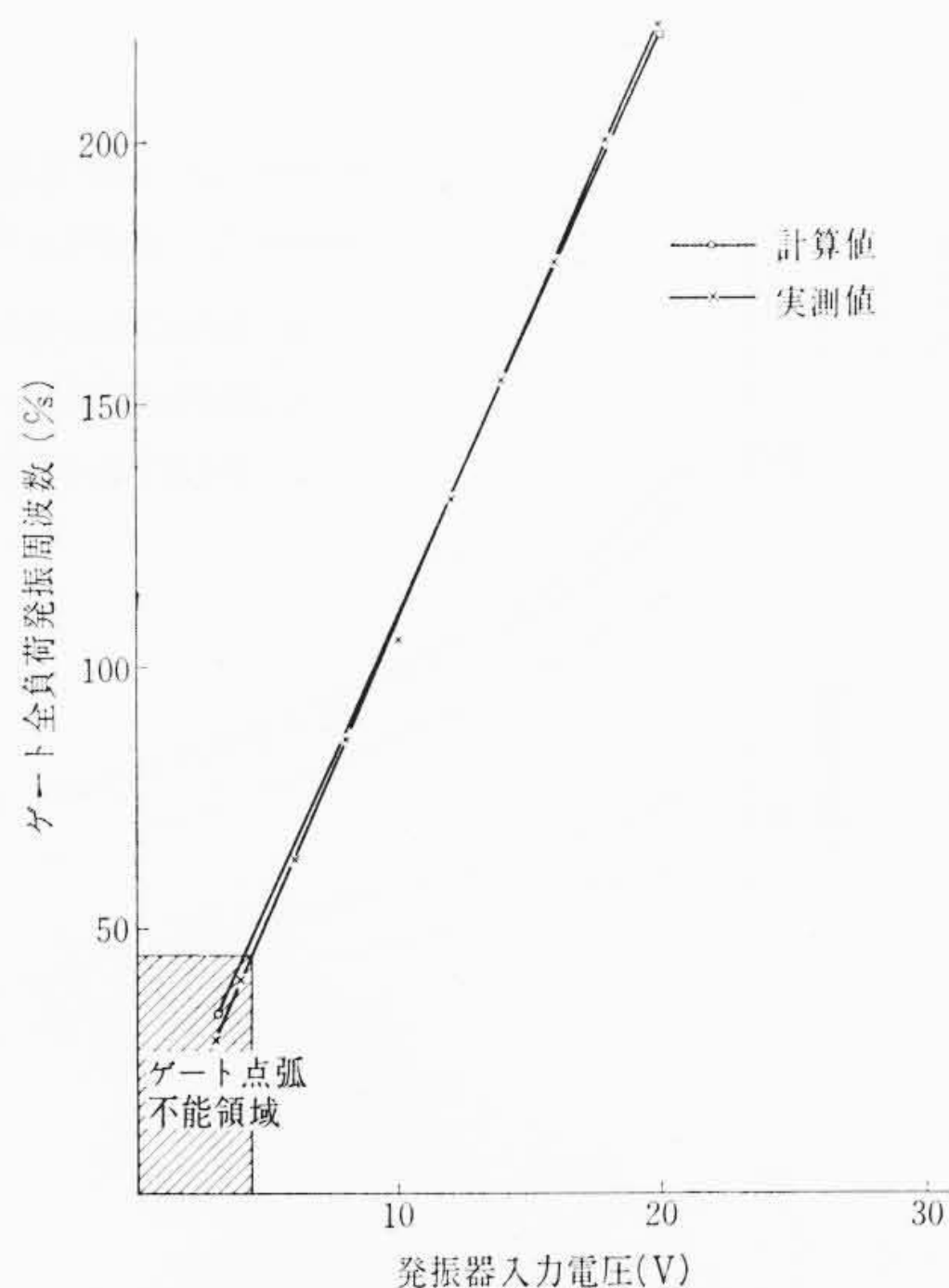
形 式	ZCSR15D
定格せん頭逆耐電圧 P_{RV}	300V
最小ブレークオーバー電圧 V_{BO}	300V
定格過度尖頭逆耐電圧	400V
最大許容平均電流	16A
ゲート点弧電圧	0.3~3.5V
ゲート点弧電流 (温度 -40°C 以上のとき)	100mA以下
許容動作温度	$-40\sim+100^{\circ}\text{C}$



第5図 5000形電車放送装置用電源インバータDC-DC変換装置

下に押えている。

ゲート制御用の発振器には可飽和鉄心形トランジスタ発振器を用



第6図 可飽和鉄心形磁気発振器の特性

いた。本発振器は入力電圧と発振周波数が直線的比例関係を有するもので、発振器の入力電圧を制御することにより、前記定電圧化のためにインバータ動作周波数を制御するものである。インバータ交流出力に比例した電圧は、インバータ変圧器2次巻線 A_1-A_2 より検出され Tr_4, Tr_2 のトランジスタにより増幅されて Tr_1 を制御する。トランジスタ Tr_1 と発振器内部抵抗との並列回路が抵抗 R_2 と直列に接続されているため、ゲート制御発振器の入力電圧は Tr_1 によって制御される。もし A_1-A_2 の電圧が上昇すれば Tr_1 のコレクタ電流が増加して発振器入力電圧を下げて発振周波数を低下し、逆に A_1-A_2 間電圧が減少すれば Tr_1 コレクタ電流が減少して、発振器の発振周波数が増加する。

インバータ変圧器2次側はそれぞれ全波整流後、チョークインプット回路を通じて平滑化している。チョークインプット回路を用いることにより、入力電力の減少と電圧変動率の改善を期待することができる。第4図に示された出力回路中、B出力は負荷放送装置の真空管回路のプレート電源で、 Tr 出力はトランジスタ増幅回路用、 R_L 出力は操作継電器回路用、H出力は真空管ヒータ回路用電源である。

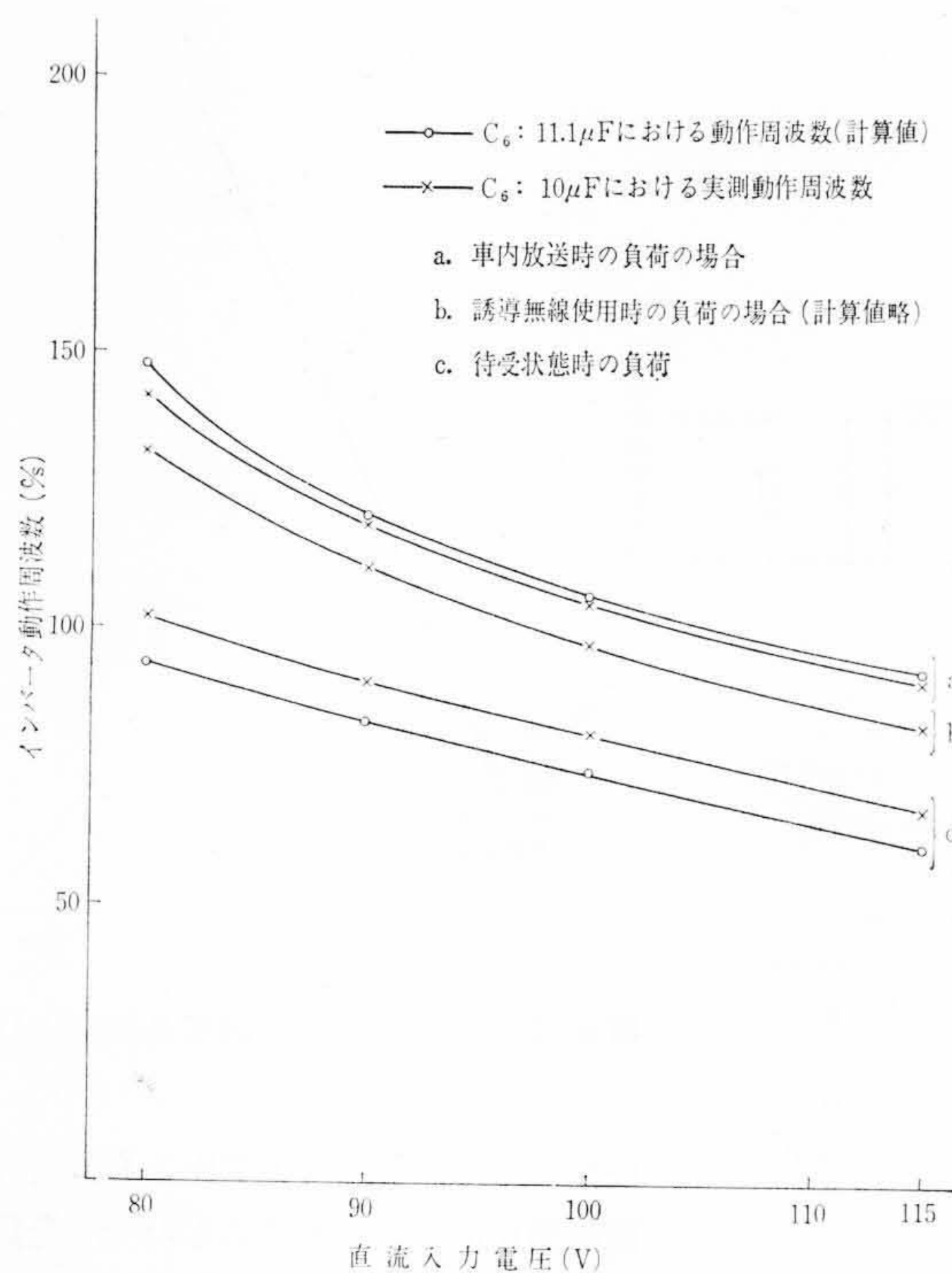
第5図は本装置の内部を示すものである。床下つり下げのための外箱は取り除いて示してある。

6. 試験結果およびその検討

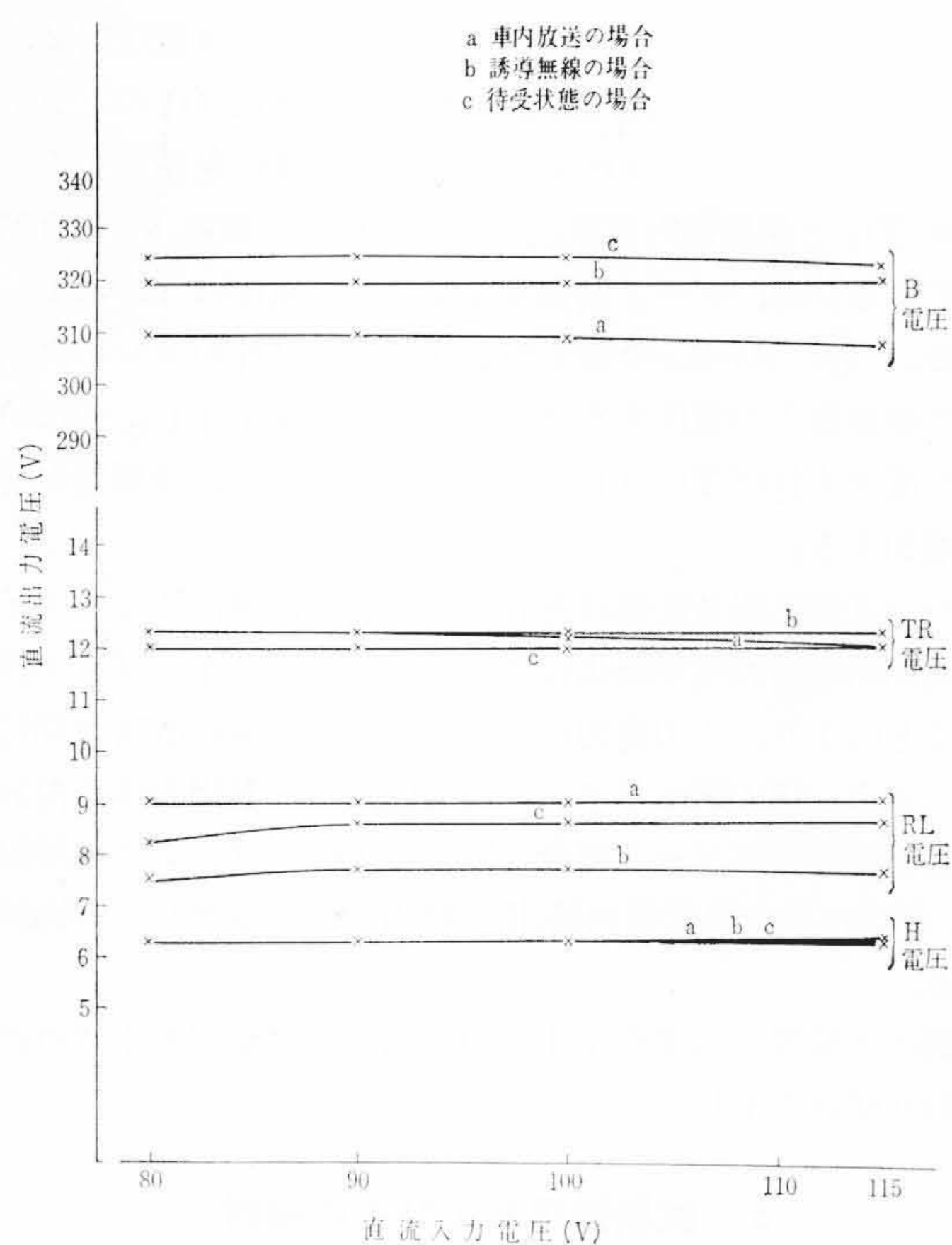
第6図はSCRゲート制御用発振器の入力電圧と発振周波数の関係を示したものである。図上計算値は、発振器負荷の影響による磁束立ち上りの時間遅れを考慮して求めたものであるが、実測値は設計値にきわめてよく一致しており、入力電圧に対して発振周波数が直線的に変化している。

第7図はインバータの出力電圧を一定とするために、各負荷状態において直流入力の変動に対してインバータに与えるべき動作周波数の計算値と実測値を対比して示すものである。転流コンデンサの値が計算値と実際の値とでやや異なることも考慮に入れば、この結果はほとんど一致している。設計上の標準制御角は入力電圧115Vのとき、負荷条件が待受状態で40度である。

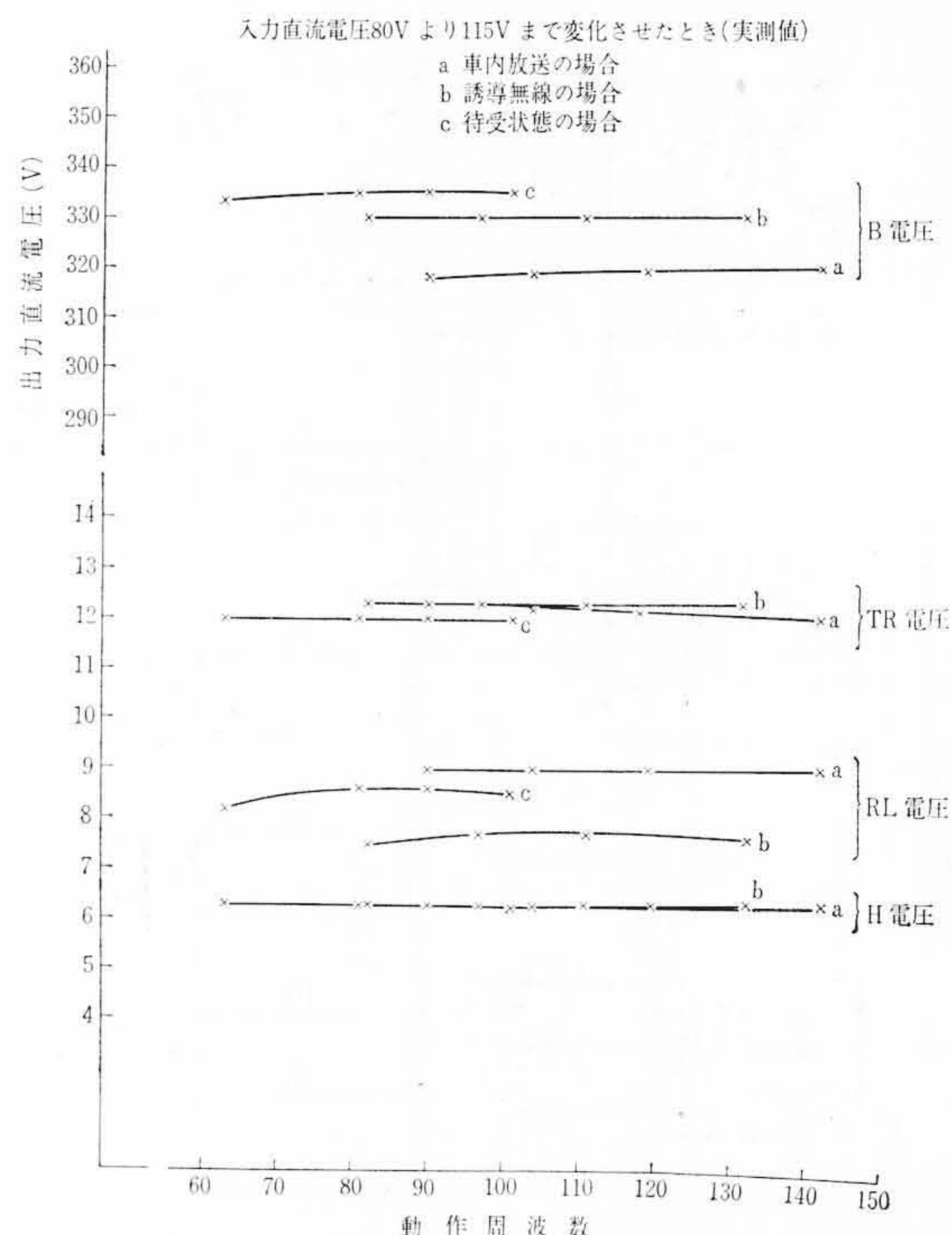
第8図は入力直流電圧の変動に対してインバータの負荷が変化した場合の各種直流出力電圧の変動をとったものであり、第9図は直



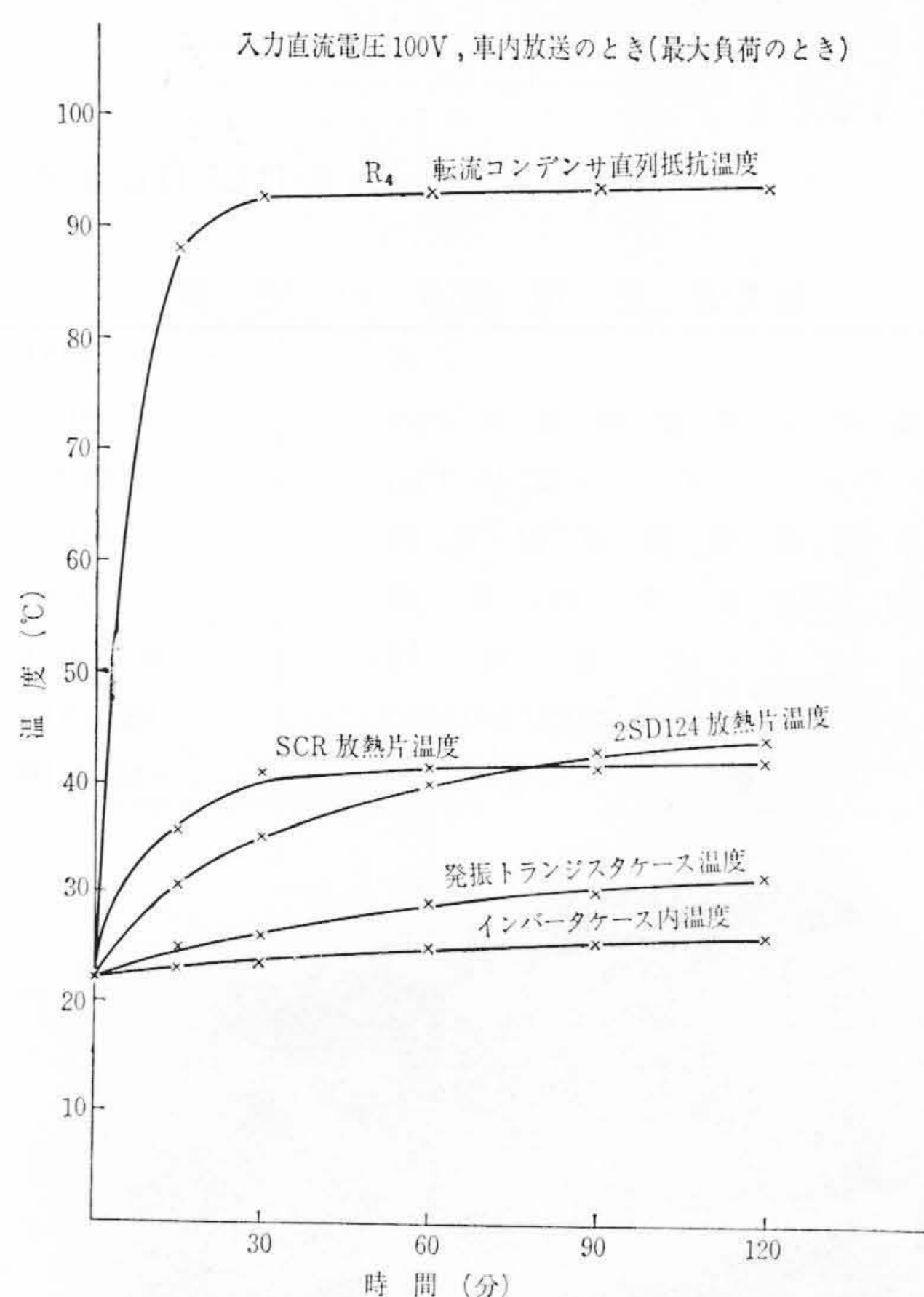
第 7 図 インバータ入力電圧—動作周波数特性 (負荷電圧一定)



第 8 図 直流入力—直流出力電圧特性



第 9 図 インバータ DC-DC 変換装置の動作周波数—直流出力電圧特性



第 10 図 インバータ温度上昇特性

流入力電圧を 80V より 115V まで変化させたとき各負荷状態における出力電圧と動作周波数の実測値である。第 8, 9 図とも各種の負荷状態における出力電圧の変動は、変圧器や濾波回路のレギュレーションによるもので、それぞれの負荷状態においては入力電圧変動による出力電圧の変動がほぼ完全に補償されている。このことは負荷変動のない H 出力の変動がほとんど認められないことから証明できる。

本インバータ変圧器は、交流入力を用いる場合には 60 c/s の変圧器としても用いるので、インバータの最低動作周波数は 60 c/s として設計したが、実測値はその動作周波数の最も低下する入力電圧 115V で、しかも負荷の最も軽い待受状態において 67 c/s となり、

十分設計条件を満足している。また動作周波数の最高は、入力電圧 80V、負荷が放送状態のときで計算値 148 c/s に対して実測値は 142 c/s であった。

第 10 図は本装置の密閉状態における各種部品の温度上昇を測定したもので、各部品が十分な裕度をもって使用されていることがわかる。特にこの試験の条件とした全負荷状態が実際の放送装置の使用状態からみれば、きわめて短時間しか起こらないことを考えればさらに余裕があるといえる。

本装置は性能試験後、入力側に電磁弁の開閉サージを与えるなど車両に装備した場合の最悪条件を考慮し、100 時間の連続動作試験を実施し、インバータの転流失敗、半導体の損傷事故の発生の有無

について調査したが、事故の発生を見ることがなかった。

また車内放送装置および誘導無線装置との組合せ試験も異常なく終了し、懸念されたリップル電圧もほとんどあらわれない程度であり、高調波の誘導無線に対する障害も、インバータを電磁的な開放状態、すなわち箱より回路部を取り出し、放送装置に接近させた状態で（伝送障害、放射障害を含めて）信号に対して -40 dB 以下であった。

7. 結 言

京王帝都電鉄株式会社納5000形電車用車内放送装置および誘導無線の定電圧電源として架線停電時などの非常用電源を兼ねたSCR静止形インバータによる DC-DC 変換装置を完成し、良好な成績を収めることができた。

従来、小容量の DC-DC 変換装置としてトランジスタインバータがその大部分を占めているが、トランジスタインバータには動作中に発生するスパイク電圧による雑音や過電流に対する保護の問題がある。それに対して SCR インバータはほとんど正弦波に近い波形

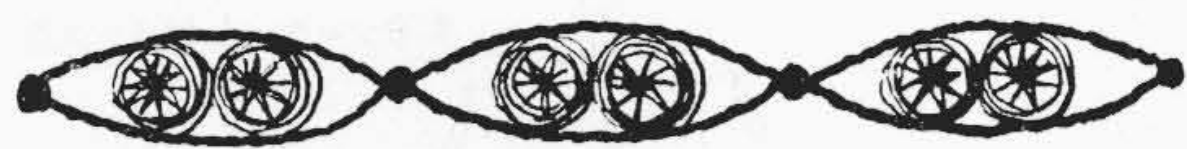
で動作するため高周波雑音の障害もなく、素子自体の過電流耐量も大きいので、万一の事故においても配線用遮断器で保護できるという利点を備えている。

また本装置は従来試みられなかった制御角制御方式を採用して並列形自励インバータの定電圧化を簡易に実現し、電車用車内放送装置電源としてきわめてすぐれた性能のものとすることができた。特に車両搭載という過酷な条件下で順調に稼動をつづけている実績は車両制御器の電子装置化の一段階として意義あるものといえよう。

終わりに本装置の製作にあたって終始ご指導を賜った京王帝都電鉄株式会社正田電気部次長、林課長はじめ関係各位、また組合せ試験について種々の便宜をはかられた国際電気株式会社のかたがたへ深甚なる謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) GE 社: Controlled Rectifier Manual (First Edition) 他
- (2) C. W. Flairty: Direct Curr., p. 278~282 (Dec. 1961)
- (3) 電気学会編: 水銀整流器 昭和 36 年 他
- (4) 岩田, 金沢, 杉本: 日立評論 32, 90 (昭 34)
- (5) 岩田, 金沢: 他制自励インバータ制御方式 特許公告36-5-16



特 許 第 300962 号

特 許 の 紹 介



高 野 静 夫 ・ 林 肇 志

X 線 管

この発明は繊維条コイルの中央部分の温度を下げてその部分の熱電子放射密度を少なくすることを特長とする X 線管に関するものである。

従来の線焦点をもつ X 線管の陰極および陽極の構造は第 1 図に示すように、タングステン線をコイル状に巻いた繊維条および繊維条に連なる導入線と、繊維条より出る熱電子を集束して陽極の面上に所定の大きさの焦点を結ばせる集束筒と、タングステン、モリブデン、銅あるいはその他の材質からなるターゲットとからなっている。ここで陰極とは繊維条、導入線、集束筒などを総括した名称である。

しかし、このような構造の X 線管ではターゲットの焦点面上で繊維条コイルの軸と同方向における電子流密度分布は、両端部分では少なく中央部分では多くなり、かつ焦点面上で繊維条のコイルの軸と同方向における温度分布は焦点の中央部が最も高温になる。このため

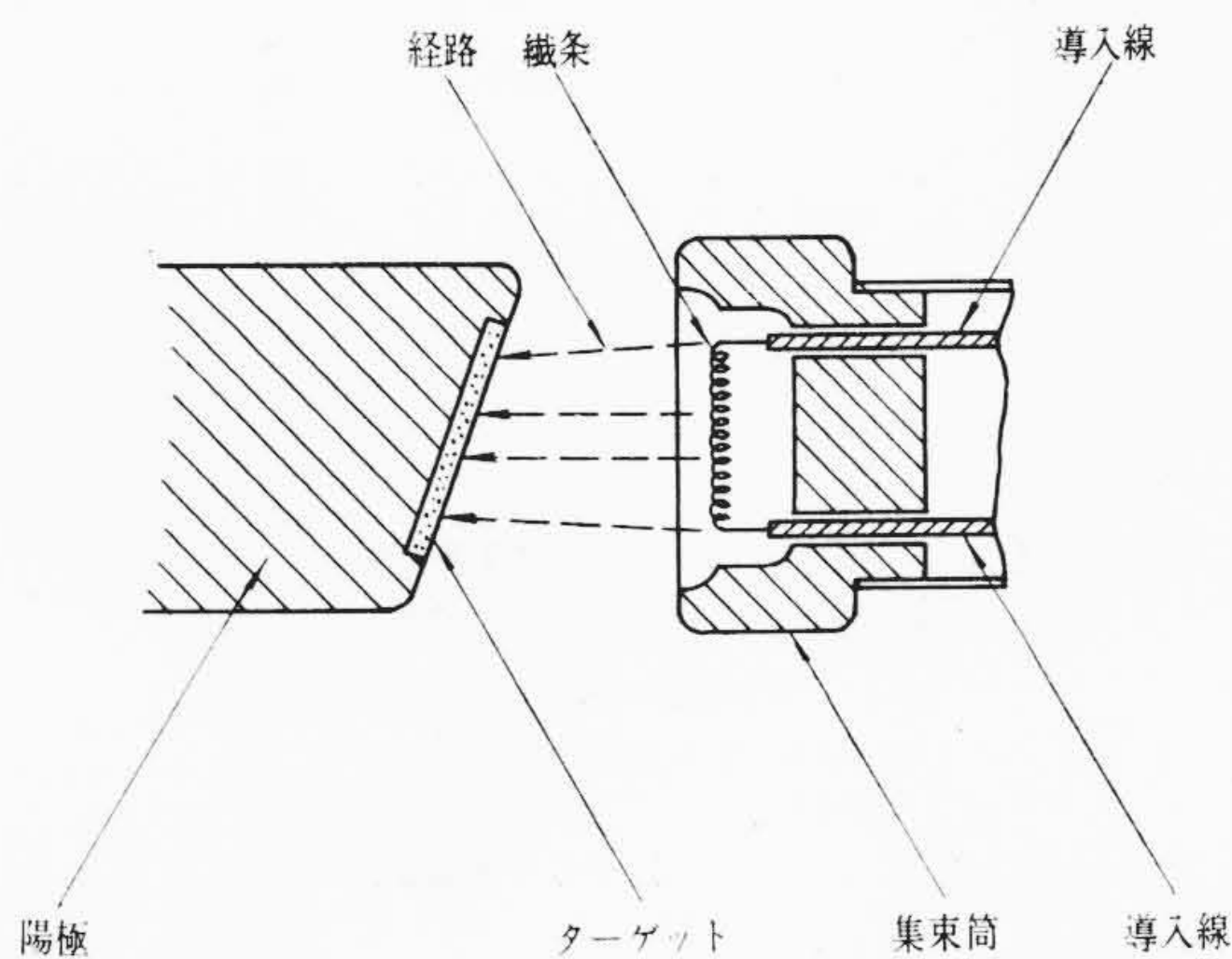
従来の X 線管では焦点の中央部が亀裂あるいは溶融などの事故を起しやすい欠陥があった。

この発明は上述のような欠陥を取り除くために、第 2 図に示すように 2 つの繊維条コイルをそれぞれのコイルの軸が一直線になるように、そしてコイルの一端を互いに接するように取り付けただものである。

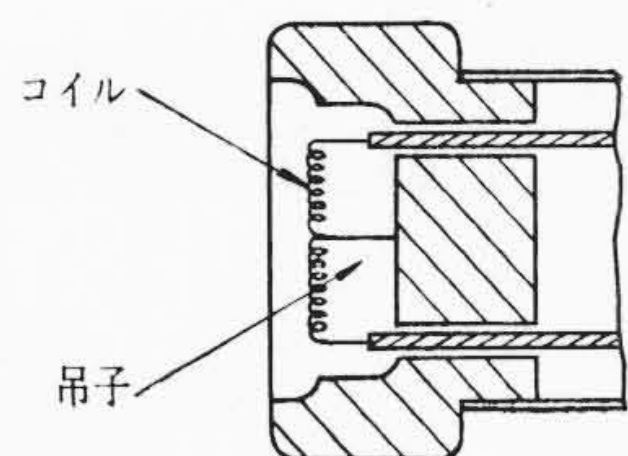
この発明によれば繊維条の中央部が特に高温になることがないためこの部分の電子流密度も小さく、そのためにターゲットの焦点中央部の亀裂あるいは溶融などの事故は起り難くなる。したがって X 線管に大きな負荷を与えることができるという効果がある。さらに繊維条コイルの中央部分の変形を防ぐこともできる。

なお第 3 図および第 4 図はこの発明の他の実施例を示すもので、それぞれ繊維条コイルの中央部分を吊子で支持したものであり、第 2 図と同様の効果がある。

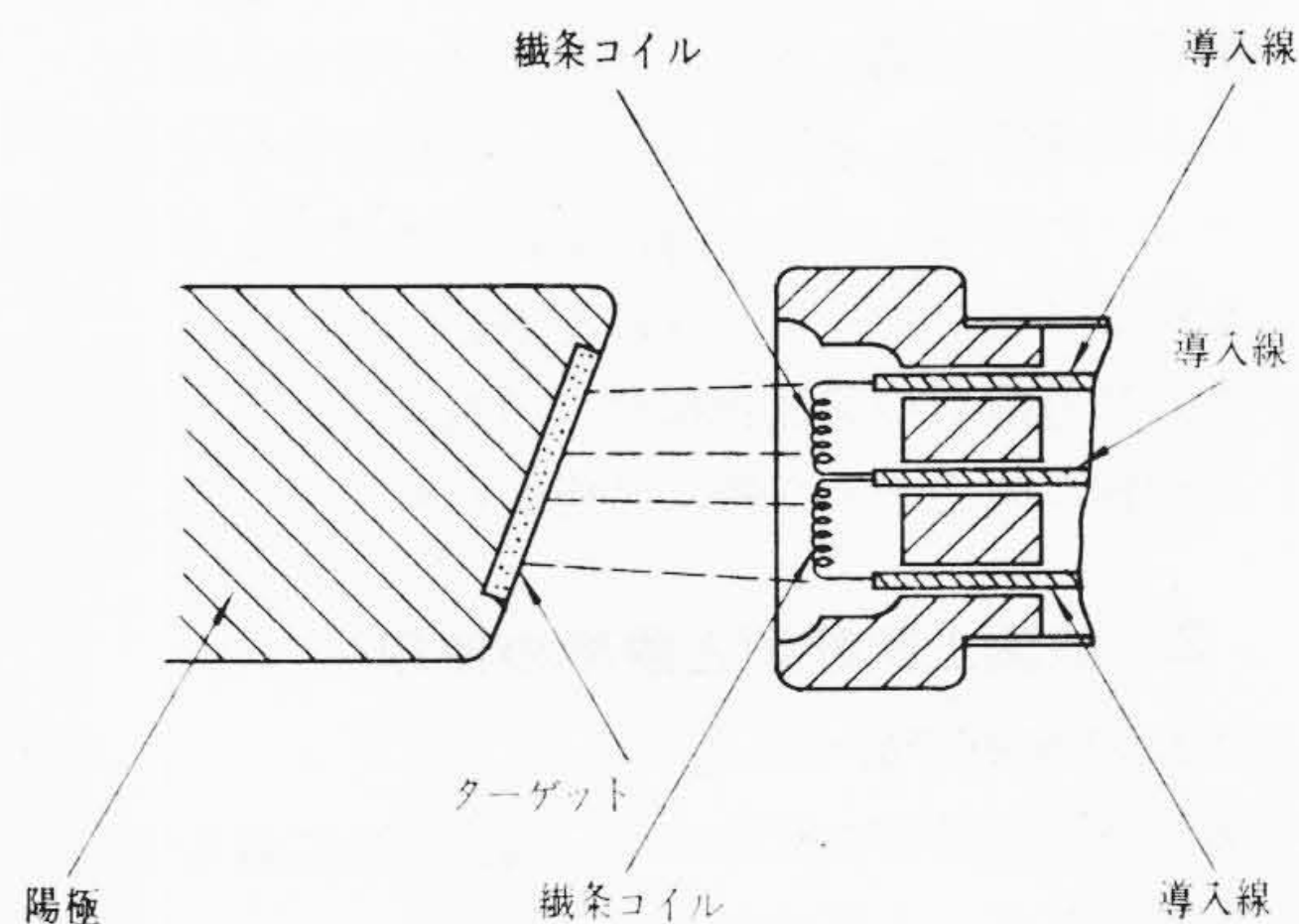
(福田)



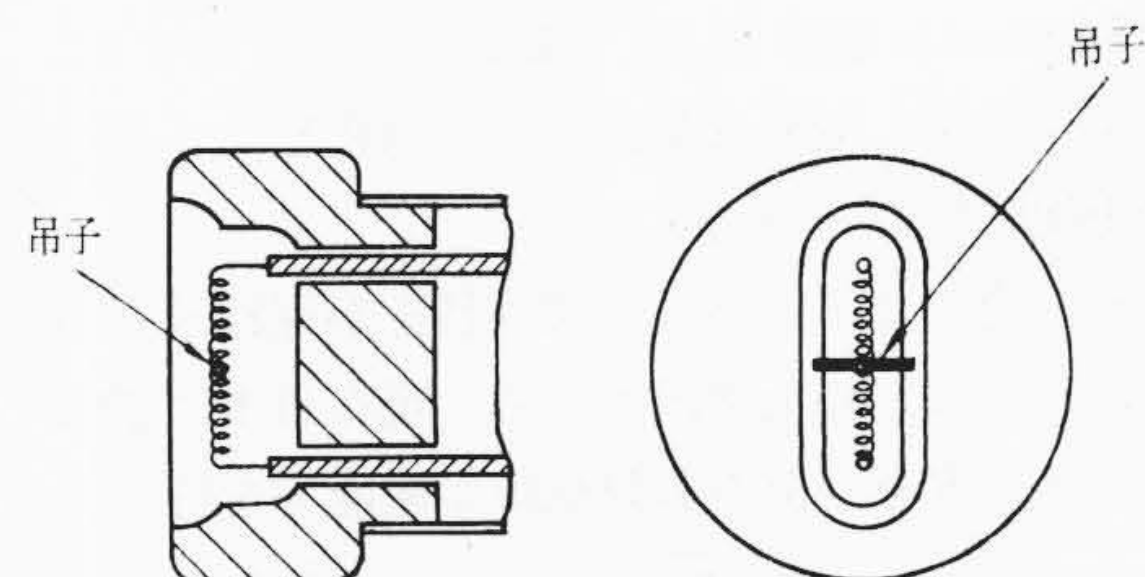
第 1 図



第 3 図



第 2 図



第 4 図