

移動用VHF/FM無線機のトランジスタ化

On the Transistorization of VHF/FM Radio Equipment

鈴木 虎雄* 市川 清司*
Torao Suzuki Kiyoshi Ichikawa

内 容 梗 概

最近高周波用トランジスタの発達により VHF/FM 無線機のトランジスタ化が実現可能となったが、これに伴うトランジスタ化の諸問題について述べ、さらにこのほど製品化した 60, 150 Mc トランジスタ FM 移動無線機の概要について紹介した。

1. 緒 言

最近高周波トランジスタの開発が急速に進み、雑音指数が比較的小さく、かつ遮断周波数の高いいわゆる VHF 用高周波トランジスタが次第に製品化されるに至った。これに伴い、これらのトランジスタを移動用 VHF/FM 無線機に使用することにより、従来の真空管式に見られない数々の利点を期待することができる。すなわち

- (1) 大幅な小形軽量化を図ることにより、比較的小形乗用車にも積載可能となり、かつわずかな空間を利用して据付けることができる。
- (2) 従来の真空管式に比較して、著しく消費電力の減少が可能となり、無線機用蓄電池を特に設置することが不要となる。
- (3) 真空管、ロータリコンバータなど定期的に取り替を必要とした部品が大幅になくなるため、保守費を節減できるなど。

一方、これら VHF/FM 無線機のトランジスタ化には前述の利点とともに、温度特性、許容電力限界などトランジスタの特性に付随した多くの技術的問題点が存在する。

最近、日立製作所は 60, 150 Mc 用トランジスタ FM 無線機を完成したので、ここにトランジスタ化に伴う諸問題について述べ、あわせてトランジスタ FM 無線機の概要を紹介して大方のご参考供したいと思う。なお以下に紹介するトランジスタ無線機は昭和36年4月電波法に基く郵政省型式検定に合格したものである。

2. トランジスタ化の諸問題

2.1 VHF/FM 無線機トランジスタ化の範囲

高周波トランジスタの開発により VHF/FM 無線機のトランジスタ化が可能になったことはすでに述べたとおりであるが、まだ送信部に使用できるような大出力高周波トランジスタの製品化の例を見るには至っていない。このため現在では、受信部、電源部の全部および送信部の一部をトランジスタ化するとどまるが、いずれ送信用トランジスタが製品化され、全トランジスタ化 VHF/FM 無線機が完成する日も遠い将来ではないと思われる。

しかしながら、従来のプレストーク移動無線機の使用実績例から見ても一日平均の送受稼働比率が、受信 10 に対し送信 1 以下の場合が多く、受信時あるいは待受時の消費電力により大半の消費電力が決まるといっても過言ではないので、たとえ送信部が全トランジスタ化されるに至らぬ現在でも、電力消費の面からは大きな意義を有する。

2.2 消費電力の問題

トランジスタ化による消費電力節減の問題を受信部および電源部に分けて述べることにする。

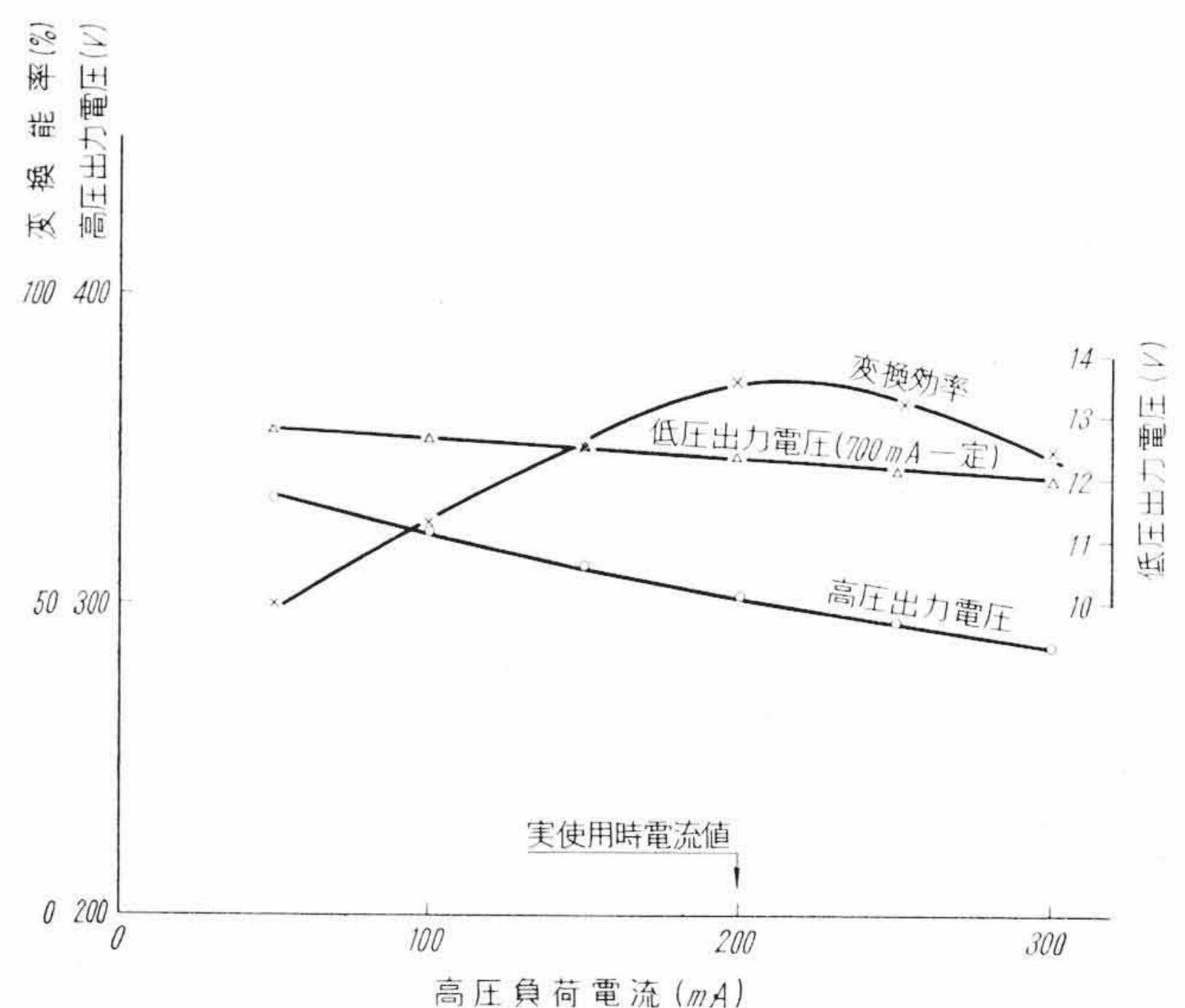
(1) 受信部

150 Mc FM 無線機につき真空管式の場合⁽¹⁾とトランジスタ式

* 日立製作所戸塚工場

第1表 受信部消費電力比較表

項 目	真 空 管 式 (SEM 104)	トランジスタ式 (SEM1011A)
ヒ ー タ	27W (6 V, 4.5 A)	—
高 圧	30W (250 V, 120 mA)	—
トランジスタ用	—	3.6W (12V, 300mA)
全 所 要 電 力	57W	3.6W



第1図 DC-DC コンバータ動作特性

の場合の消費電力を比較すると第1表のようになる。すなわちトランジスタ式の場合は定電圧回路を自蔵しているにもかかわらず、真空管式のわずか 6.3% にすぎない。また、トランジスタ式の場合は送信時にも受信部のヒータ点火は不要であるので、送信時において約 27 W の電力節減になる。

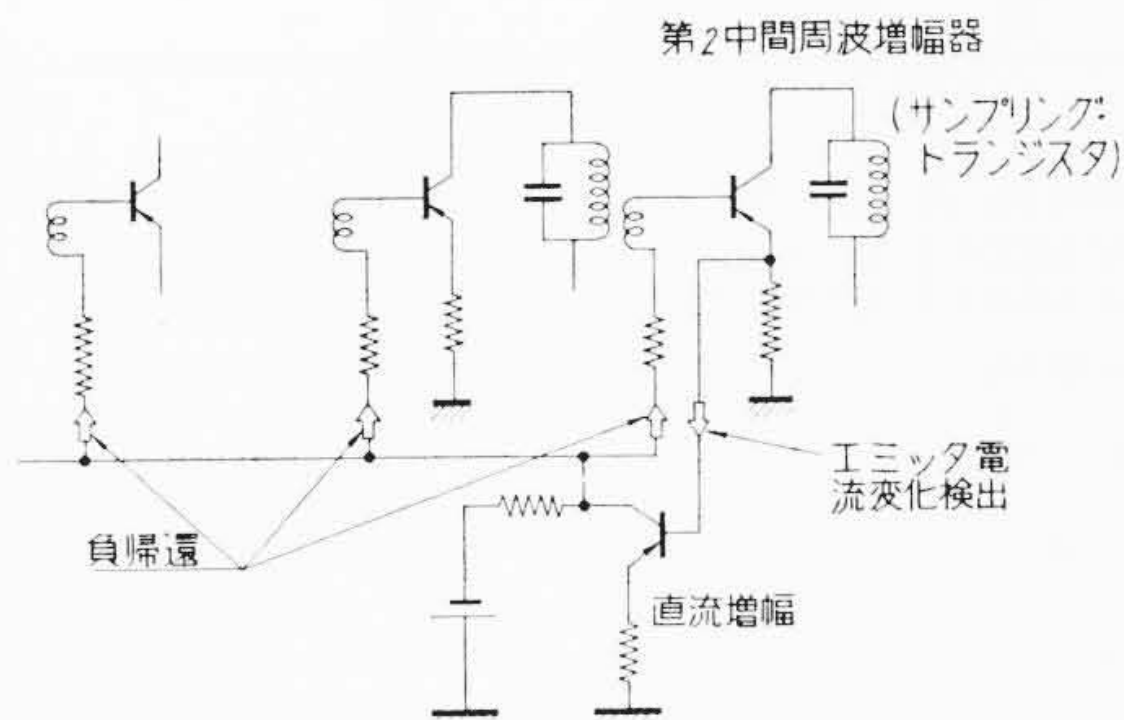
(2) 電 源 部

電源部は低周波大出力トランジスタの製品化により電氣的DC-DC コンバータの実現が可能となった。飽和磁心を用いたDC-DC コンバータが高効率直流変換を行うことはすでに数多く報告されているが^{(2)~(4)}、従来ロータリ・コンバータの変換効率45~55%に比べ、70~80%の高効率が得られる。動作特性の一例を第1図に示す。

以上、受信部、電源部および送信部の一部のトランジスタ化により後掲第2表に示すように従来の真空管式に比較して著しく所要電力が減少するとともに、これに伴うきょう体内発熱量の低下は装置小形化の一助となっている。

2.3 トランジスタの熱的破壊

すでに述べたように、トランジスタは電力消費がきわめめ少なく、自己発熱によるきょう体内温度上昇はほとんど問題にならないが、



第2図 直流温度補償回路動作説明図

接合部許容最高温度にはおのずから限度があり、ゲルマニウムトランジスタの場合 $85\sim 100^{\circ}\text{C}$ のものが多い。一方車載用移動無線の場合少なくとも周囲温度 $-10\sim +50^{\circ}\text{C}$ の範囲について考慮する必要がある。このため以下に述べるような考慮のもとに設計されている。

- (1) トランジスタはバイアスに注意し、できるだけ低電力で動作せしめて接合部温度を低く保つよう留意した。
- (2) 熱的回路安定度をできるだけ高く取った(次項参照)。
- (3) 受信部は発熱量の大半を占める送信部と分離し、第9図に示すように受信、制御部と送信、電源部との分離構造とした。
- (4) 電源部トランジスタは温度分布の最も低いきょう体最下面に配置した。

2.4 トランジスタの温度特性

FM受信機はある定められた範囲の利得配分および動作点においてはじめて感度、二信号特性など所要の特性が満足される⁽⁵⁾。したがって周囲温度 $-10\sim +50^{\circ}\text{C}$ の範囲において、温度によるトランジスタ定数の変化がこれら諸特性に及ぼす影響はきわめて大きい。このトランジスタ定数の温度依存性のおもなものについて述べる。

(1) I_{co} の温度特性

周知のようにコレクタ遮断電流 I_{co} は温度により指数関数的に増加するが、これによる動作コレクタ電流の温度依存度は回路条件より定めることができる⁽⁴⁾。これを下記のように安定度 S により定義して、

$$S = \frac{\partial I_c}{\partial I_{co}} \dots \dots \dots (1)$$

直流動作点の安定度を示す目安としているが、この S の値を3以下に選び、一応の動作安定を図ることはできる。しかしながらさらに受信感度などに直接大きな影響を及ぼすと思われる高周波増幅部、第1中間周波増幅部などには、第2図に示すようにサンプリング・トランジスタの温度によるエミッタ電流の変化 $\Delta I_e (\simeq \Delta I_c)$ を検出増幅して、各増幅段のバイアス電圧に相加することにより直流動作の温度補償を行った。これによる特性改善の一例は第3図に示すとおりである。

(2) 動作パラメータの温度特性

以上のように直流的な温度補償によりコレクタ電流を安定化せしめた後でも、温度によりなお動作パラメータは変化する。高周波増幅部のようにベース接地で使用了場合、これら動作パラメータのうちベース広がり抵抗 $r_{bb'}$ の温度変化による増幅利得変化が特に大きい。

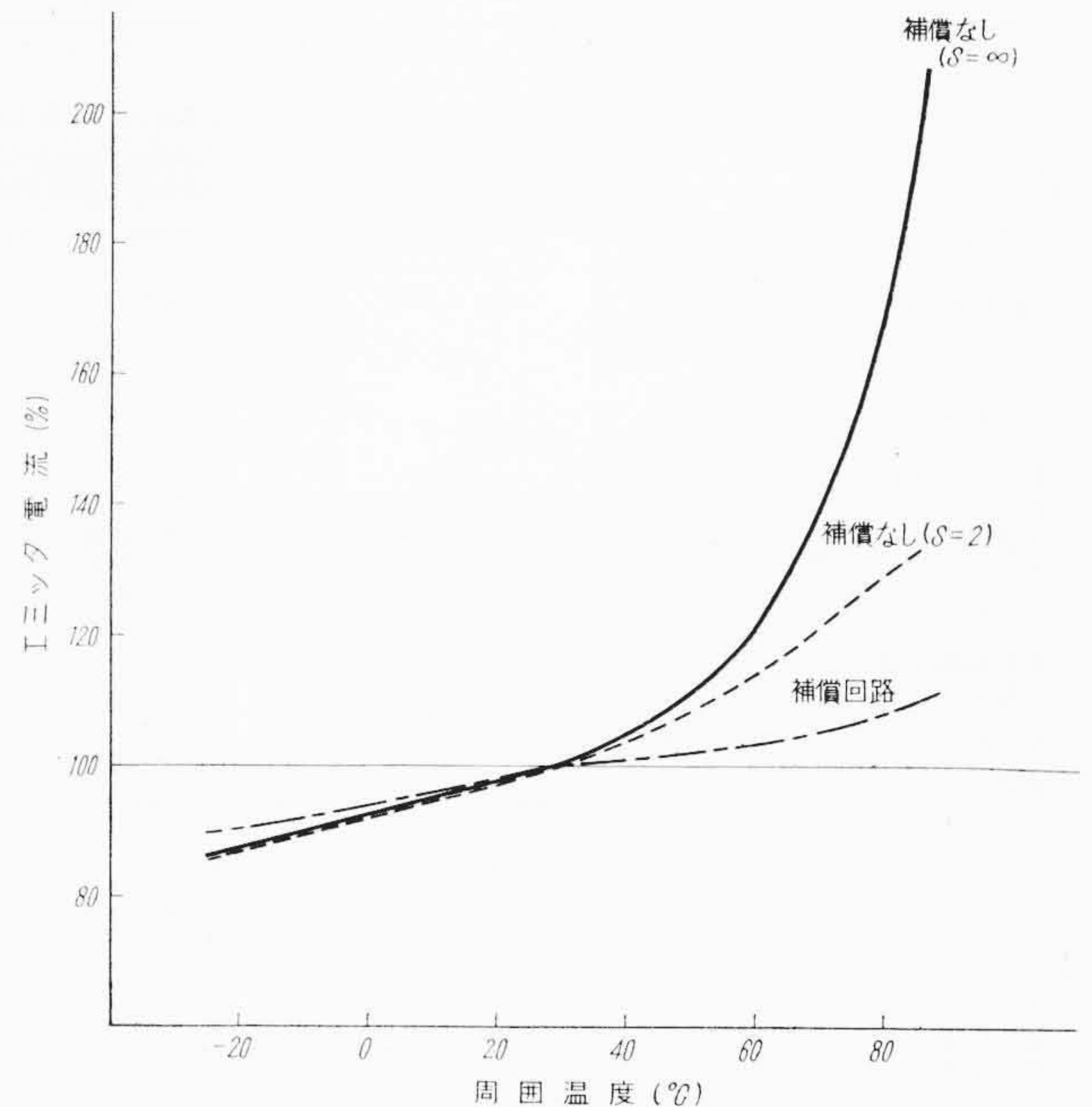
この広がり抵抗 $r_{bb'}$ ⁽⁶⁾ は

$$r_{bb'} \simeq \rho_b [1/8 \pi w_0 + 1/(2 \pi w_1) \times l_n(r_2/r_1) + 1/(2 \pi w_2) \times l_n(r_3/r_2)] \dots \dots \dots (2)$$

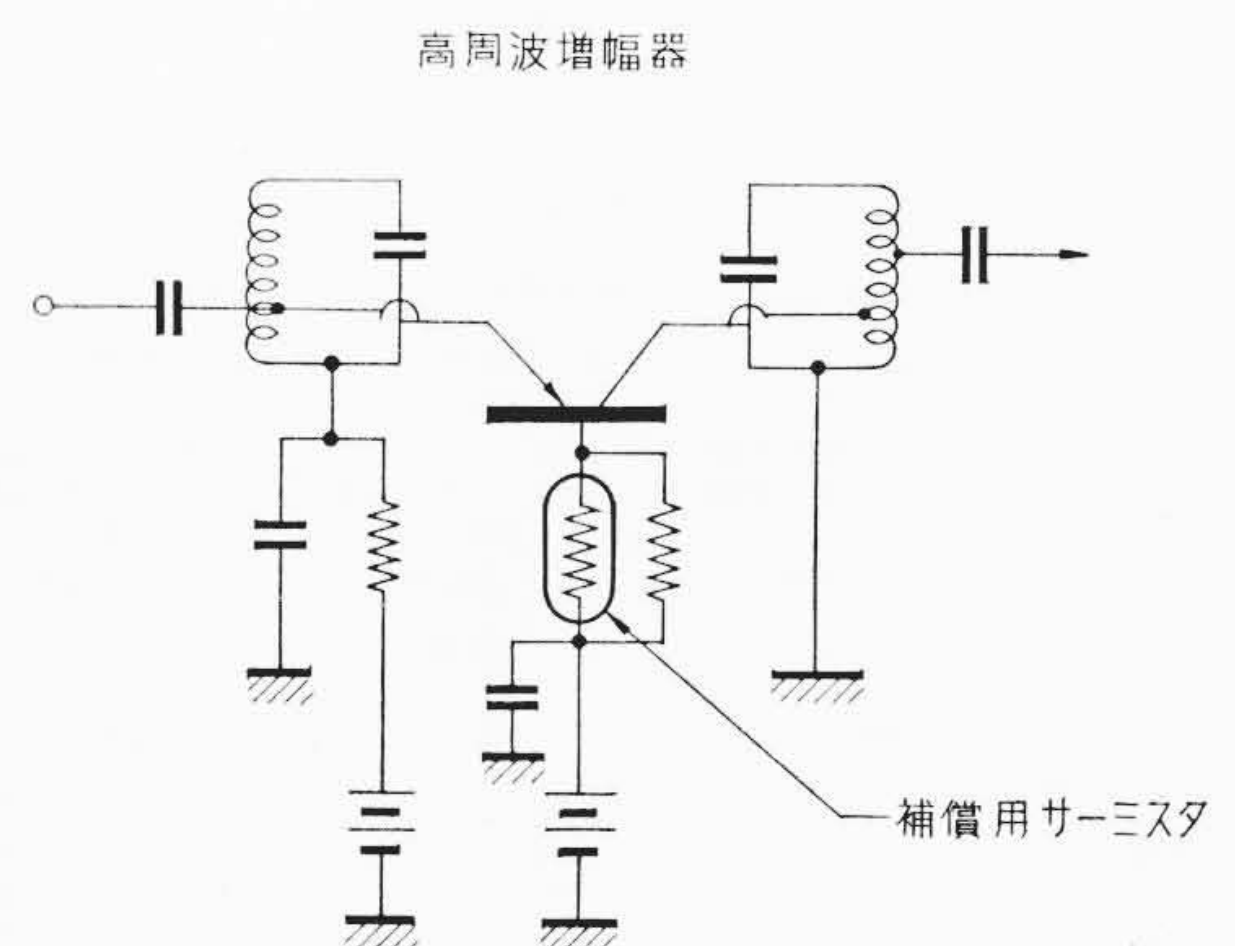
ρ_b : ベース部比抵抗

$w_0, w_1, w_2, w_3, r_1, r_2, r_3$: 電極寸法

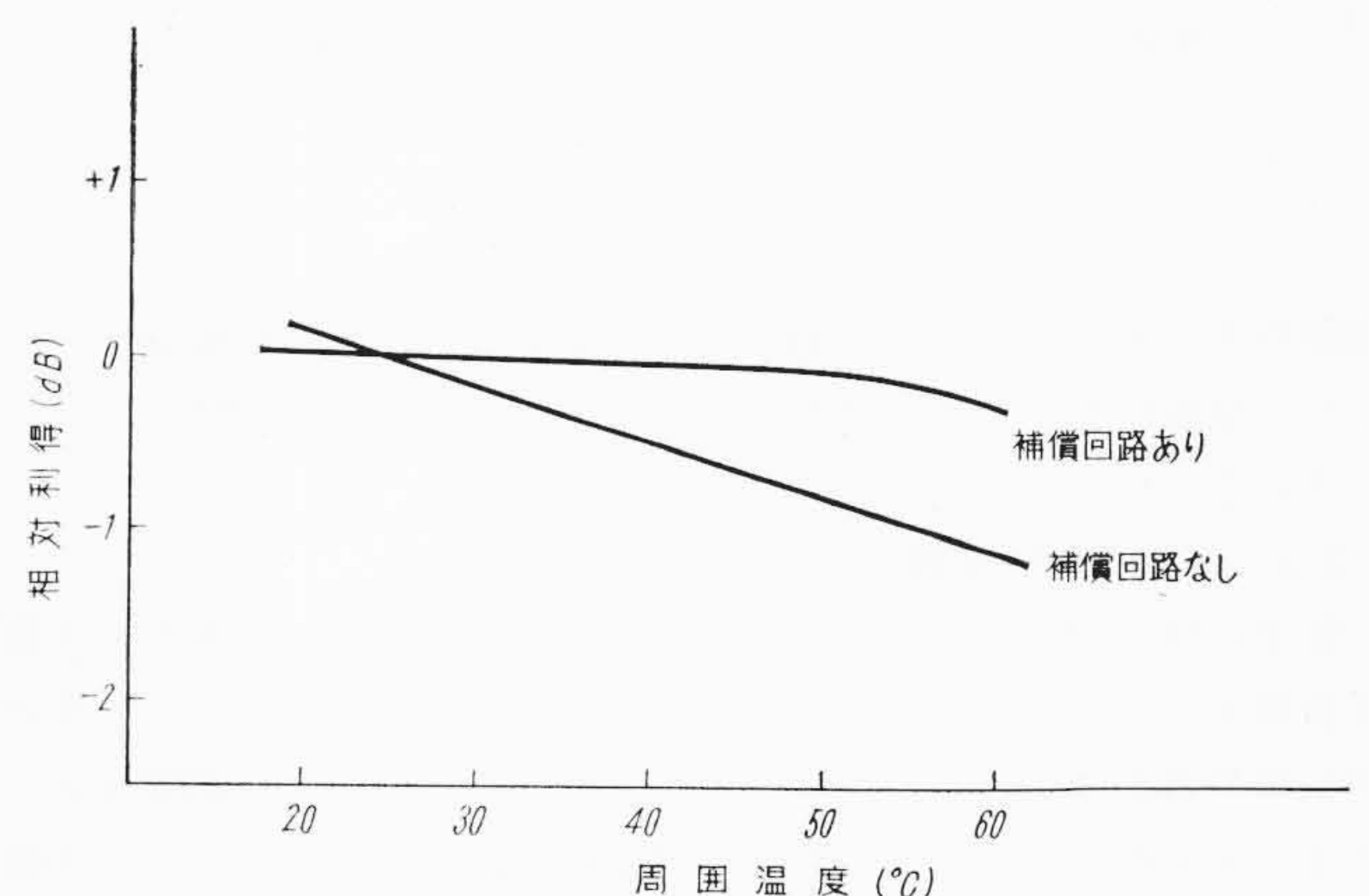
として示されるが、 ρ_b は正の温度係数を持つために高温において



第3図 直流温度補償回路特性改善例



第4図 受信部高周波温度補償回路



第5図 高周波温度補償回路による特性改善例

負帰還が増加し、利得が低下することになる。したがって第4図に示すように高周波部のベースに直列に負の温度係数を持つサーミスタを入れ利得温度補償を行った。これによる特性改善の一例を第5図に示す。

2.5 過入力によるトランジスタの破壊

移動局が基地局アンテナに接近した場合あるいは移動局相互に近接して送信した場合などに、受信高周波入力部に 0.2V 以上の高周波電圧が誘起され、初段増幅器のトランジスタが劣化あるいは破壊するに至ることがある。このため受信部初段増幅器の入力側に入力

第 2 表 機 種， 仕 様 一 覧 表

		真空管式		ト ラ ン ジ ス タ 式				型式検定規則	
形 名		SEM 104 A	SEM 055 A, B	SEM1011A, B	SEM2504A, B	SEM 056 A, B	SEM1012A, B	SEM2505A, B	
型式検 (12V 用) 定番号 (24V 用)			HT150LM5D2-3 HT150LM5D2-2	HT150LM10D5-3 HT150LM10D5-2	HT150LM25D4-3 HT150LM25D4-2	HT60LM5D2-3 HT60LM5D2-2	HT60LM10D2-3 HT60LM10D2-2	HT60LM25D2-3 HT60LM25D2-2	
周 波 数 範 囲		148~162 Mc	148~162 Mc	148~162 Mc	148~162 Mc	54~68 Mc	54~68 Mc	54~68 Mc	
使用温度 範囲		-10~+50°C	-10~+50°C	-10~+50°C	-10~+50°C	-10~+50°C	-10~+50°C	-10~+50°C	
送 信 部 仕 様	出 力	10W	5 W	10W	25W	5 W	10W	25W	—
	周波数許容偏差	0.002% 以下	0.002% 以下	0.002% 以下	0.002% 以下	0.002% 以下	0.002% 以下	0.002% 以下	0.002% 以下
	最大周波数偏移	±12 kc	±12 kc	±12 kc	±12 kc	±10 kc	±10 kc	±10 kc	±12kc (150Mc帯) ±10kc (60Mc帯)
	変調周波数特性	0.3kc -10.5±3dB 3kc +6±3dB	0.3kc -10.5±3dB 3kc +6±3dB	0.3kc -10.5±3dB 3kc +6±3dB	0.3kc -10.5±3dB 3kc +6±3dB	0.3kc -10.5±3dB 3kc +6±3dB	0.3kc -10.5±3dB 3kc +6±3dB	0.3kc -10.5±3dB 3kc +6±3dB	—
	ひ ず み 率	1 kc 70%変調 -20dB 以下	1 kc 70%変調 -20dB 以下	1 kc 70%変調 -20dB 以下	1kc 70%変調 -20dB 以下	1 kc 70%変調 -20dB 以下	1 kc 70%変調 -20dB 以下	1 kc 70%変調 -20dB 以下	—
	残存振幅変調含有率	5% 以下	5% 以下	5% 以下	5% 以下	5% 以下	5% 以下	5% 以下	—
	変 調 入 力	-4±3 dB	-4±3 dB	-4±3dB	-4±3dB	-4±3dB	-4±3dB	-4±3dB	—
	変調入力インピーダンス	40Ω ±20%	40Ω ±20%	40Ω ±20%	40Ω ±20%	40Ω ±20%	40Ω ±20%	40Ω ±20%	—
	S/N 比	40dB 以上	40dB 以上	40dB 以上	40dB 以上	40dB 以上	40dB 以上	40dB 以上	—
	スプリアス	帯域外 60dB以上 帯域内 80dB以上	帯域外 65dB以上 帯域内 80dB以上	帯域外 65dB以上 帯域内 80dB以上	帯域外 65dB以上 帯域内 80dB以上	帯域外 65dB以上 帯域内 80dB以上	帯域外 65dB以上 帯域内 80dB以上	帯域外 65dB以上 帯域内 80dB以上	帯域外 60dB 帯域内 80dB
受 信 部 仕 様	出力インピーダンス	75Ω	50Ω	50Ω	50Ω	50Ω	50Ω	50Ω	—
	第1局発周波数安定度	0.002% 以内	0.002% 以内	0.002% 以内	0.002% 以内	0.002% 以内	0.002% 以内	0.002% 以内	0.002% 以下
	帯 域 幅	24 kc 以上	24 kc 以上	24 kc 以上	24 kc 以上	24 kc 以上	24 kc 以上	24 kc 以上	20 kc 以上
	選 択 度	80dB 以上	80dB 以上	80dB 以上	80dB 以上	80dB 以上	80dB 以上	80dB 以上	±25 kc にて 70dB 以上
	20dB 雑音抑圧感度	6 dB μ V 以下	6 dB μ V 以下	6 dB μ V 以下	6 dB μ V 以下	6 dB μ V 以下	6 dB μ V 以下	6 dB μ V 以下	6 dB μ V 以下
	スプリアス感度	-80dB 以下	-80dB 以下	-80dB 以下	-80dB 以下	-80dB 以下	-80dB 以下	-80dB 以下	-80dB 以下
	相互変調感度	65 dB μ V 以上	65 dB μ V 以上	65 dB μ V 以上	65 dB μ V 以上	65 dB μ V 以上	65 dB μ V 以上	65 dB μ V 以上	65 dB μ V 以上
	感度抑圧効果	80 dB μ V 以上	80 dB μ V 以上	80 dB μ V 以上	80 dB μ V 以上	80 dB μ V 以上	80 dB μ V 以上	80 dB μ V 以上	80 dB μ V 以上
	スケルチ調整範囲	0dB 以下	10~20dB QS レベル	10~20dB QS レベル	10~20dB QS レベル	10~20dB QS レベル	10~20dB QS レベル	10~20dB QS レベル	—
	受信周波数特性	0.3 kc +6±3dB 3 kc -8±3dB	0.3 kc +6±3dB 3 kc -8±3dB	0.3 kc +6±3dB 3 kc -8±3dB	0.3 kc +6±3dB 3 kc -8±3dB	0.3 kc +6±3dB 3 kc -8±3dB	0.3 kc +6±3dB 3 kc -8±3dB	0.3 kc +6±3dB 3 kc -8±3dB	—
消費電力	受信出力, ひずみ率	出力1 Wにて -20dB以下	出力0.5W -20dB以下	出力0.5W -20dB以下	出力0.5W -20dB以下	出力0.5W -20dB以下	出力0.5W -20dB以下	出力0.5W -20dB以下	-20dB 以下
	入力インピーダンス	75Ω	50Ω	50Ω	50Ω	50Ω	50Ω	50Ω	—
	出力インピーダンス	600Ω	600Ω	600Ω	600Ω	600Ω	600Ω	600Ω	—
	受信時 (ヒータ断)	—	12V 1.7A 24V 1.2A	12V 1.7A 24V 1.2A	12V 1.06A 24V 0.55A	12V 1.7A 24V 1.3A	12V 1.7A 24V 1.3A	12V 0.95A 24V 0.45A	—
寸 法	送 信 時 (ヒータ接)	12V 12A	12V 2.8A 24V 1.7A	12V 2.8A 24V 1.7A	12V 3.4A 24V 1.8A	12V 3.2A 24V 2.2A	12V 3.2A 24V 2.2A	12V 2.9A 24V 1.5A	—
	送 信 時 (プ レ ス)	12V 20A	12V 6.8A 24V 3.0A	12V 8.0A 24V 3.9A	12V 13.5A 24V 6.5A	12V 6.3A 24V 3.3A	12V 7.4A 24V 3.7A	12V 10.9A 24V 5.2A	—
受 信 制 御 部	受信制御部	(本 体)	250×250×105	250×250×105	250×250×105	250×250×105	250×250×105	250×250×105	—
	送信電源部	460×410×240	200×260×130	200×260×130	250×360×200	200×260×130	200×260×130	250×360×200	—

注： 形名は 12V 用のとき A, 24V 用のとき B を用いる。

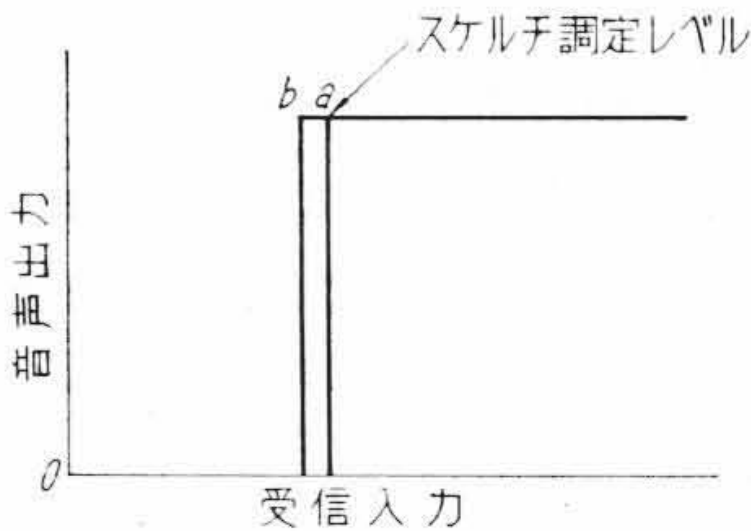
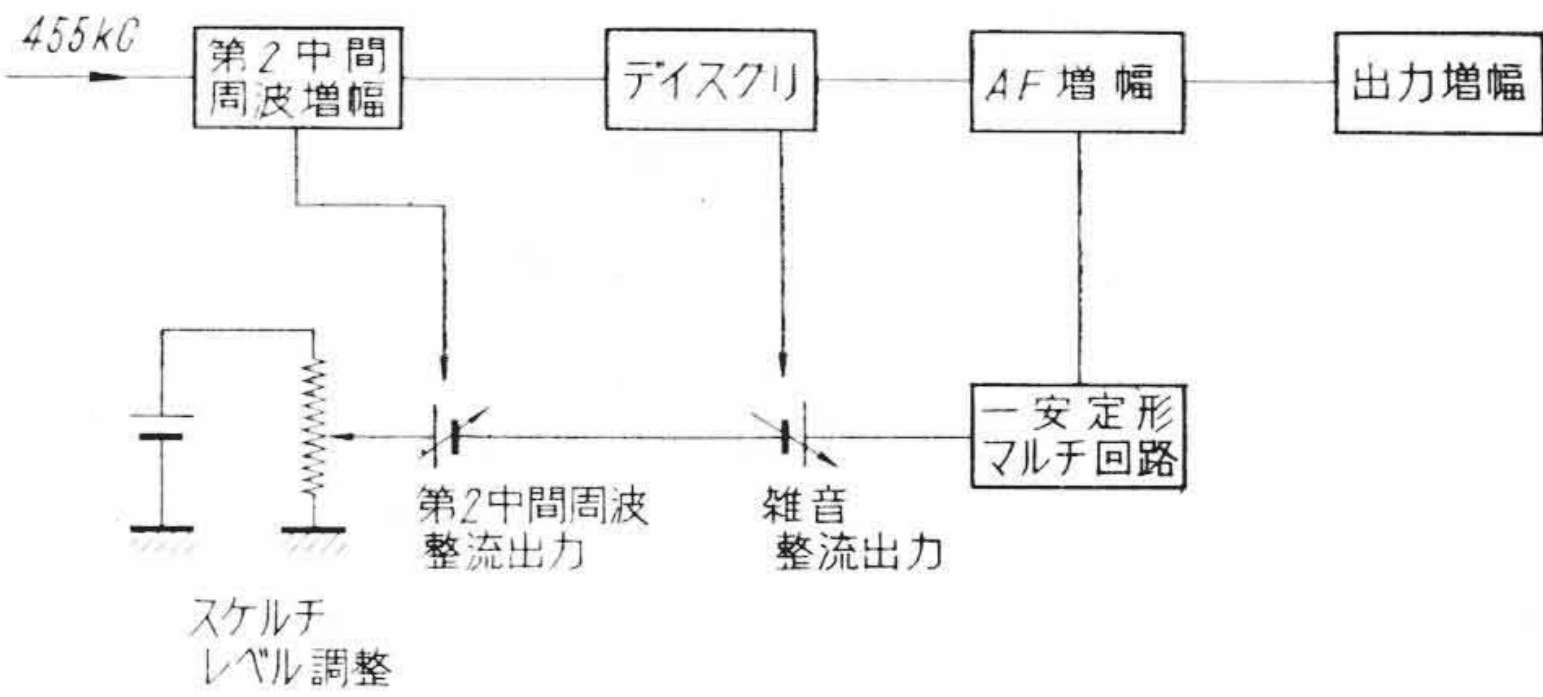
制限用ダイオードを付し、過入力によるトランジスタの破壊を防止した。常時におけるこのダイオードのそう入損失は 0.5dB 以下となっている。

2.6 スケルチ回路

従来の真空管式においては、スケルチ制御電圧として数 V~十数 V 使用することができ、電子管リレーによっても実用しうる程度の切れの良さが得られたが、トランジスタにおいては、制御電圧として 1~2 V 程度しか利用できず、同様の回路を用いるとスケルチ動作が受信入力変化に対して緩慢となり実用的でない。このため第 6 図に示すように、スケルチ回路に一安定形マルチ回路を採用し、スケルチ動作を急しゅんならしめ、かつそのスケルチ動作特性の履歴現象を利用して、スレスホールド入力付近の電界変動に対し安定な動作をなさしめている。

3. 日立トランジスタ FM 無線機の概要

すでに日立製作所としては SEM-1013A 形などトランジスタ FM 無線機を製品化し実用に供したが、さらに第 2 表に示すような 60 および 150 Mc の 5, 10, 25 W 移動用無線電話装置をこのほど新たに完成した。以下これらの新製品の概要について述べる。



第 6 図 スケルチ動作説明図

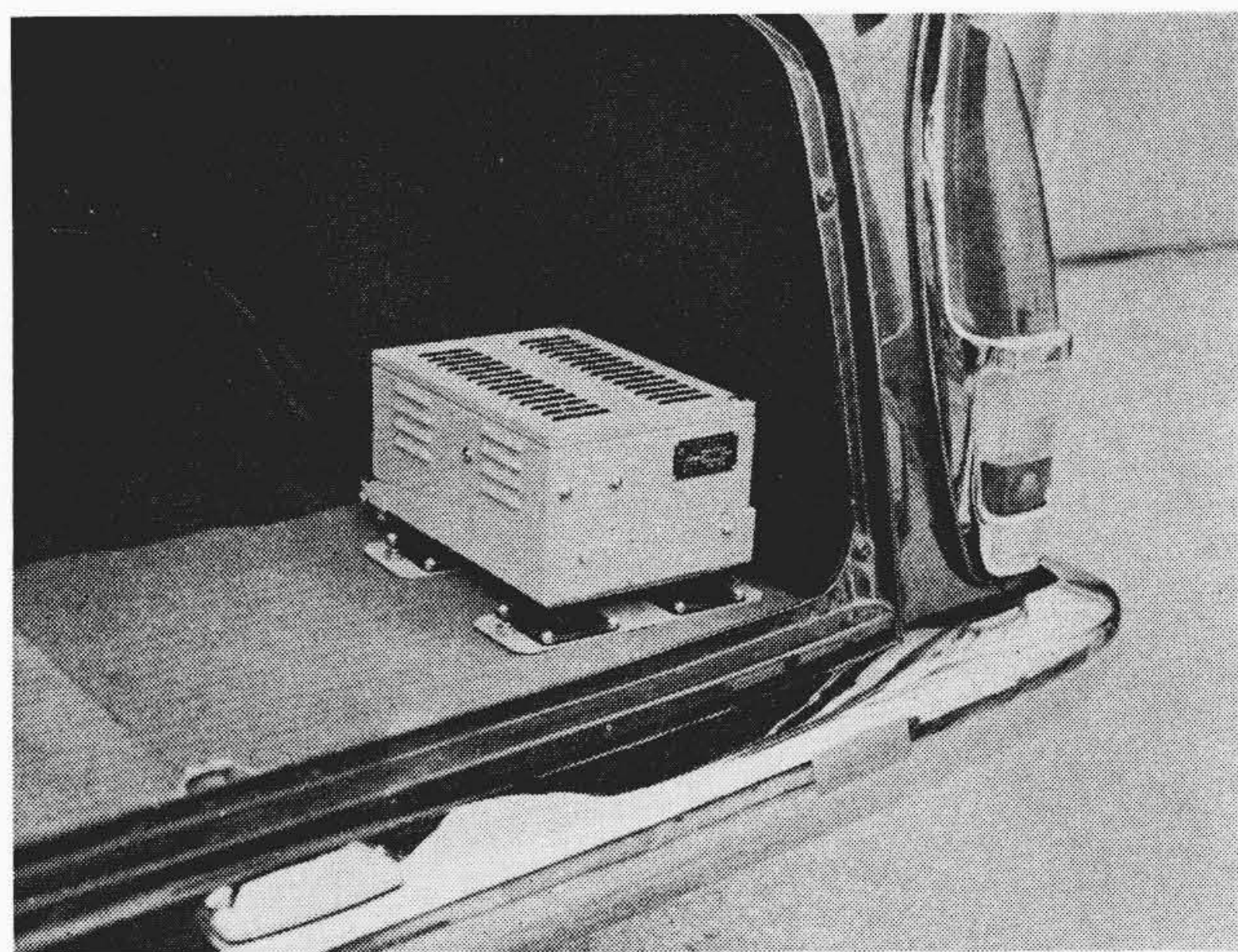
3.1 構 造

本機は構造上特に下記の諸点に留意して設計されている。

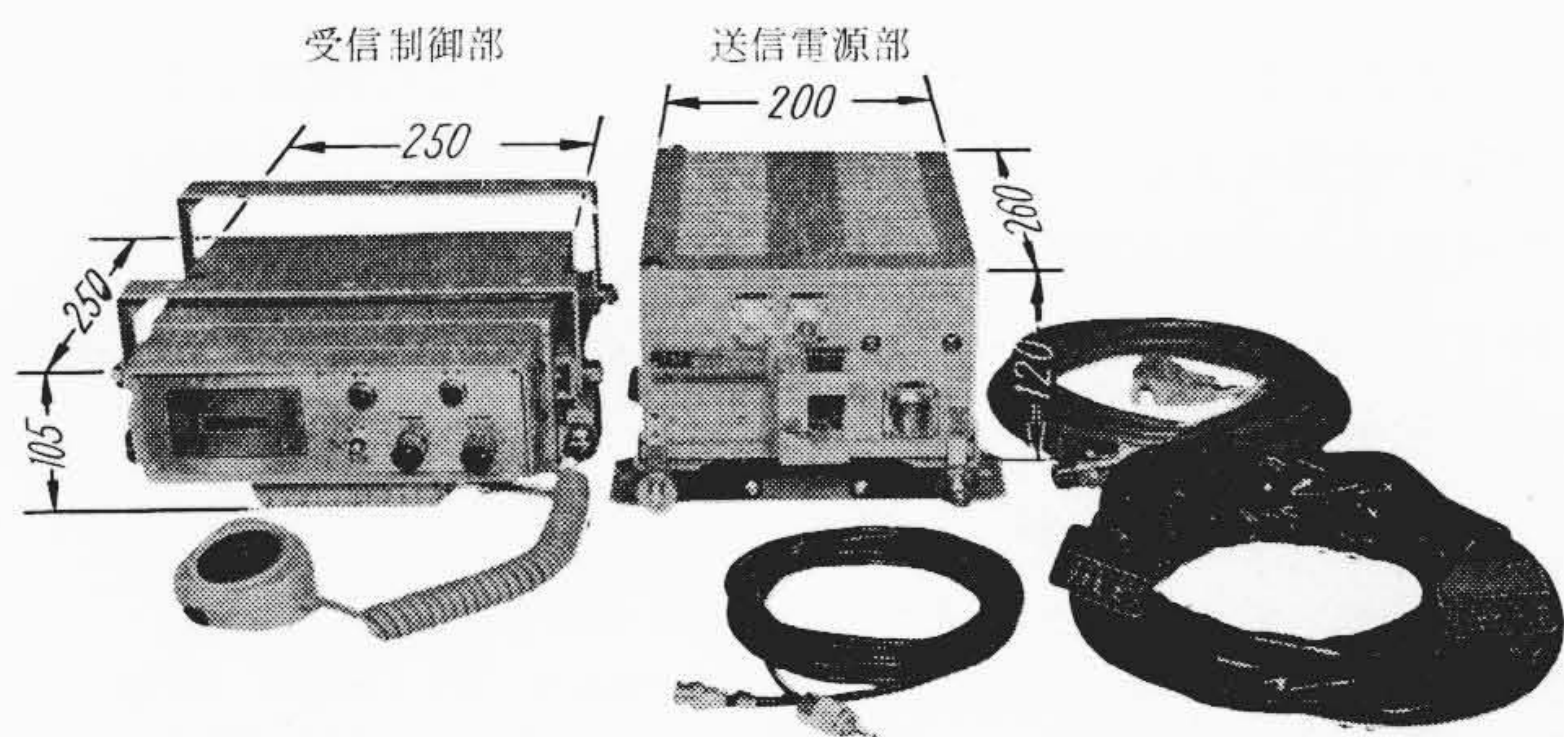
- (1) 小形軽量化を図りできるだけ多くの車種に積載可能な寸法



第7図 SEM-055A, SEM-1011A 形 150 Mc 5/10W FM 無線機の自動車取付状況 (その1)



第8図 SEM-055A, SEM-1011A 形 150 Mc 5/10W FM 無線機の自動車取付状況 (その2)



第9図 SEM-055A, SEM-1011A 形 150 Mc 5/10W FM 無線機外観図

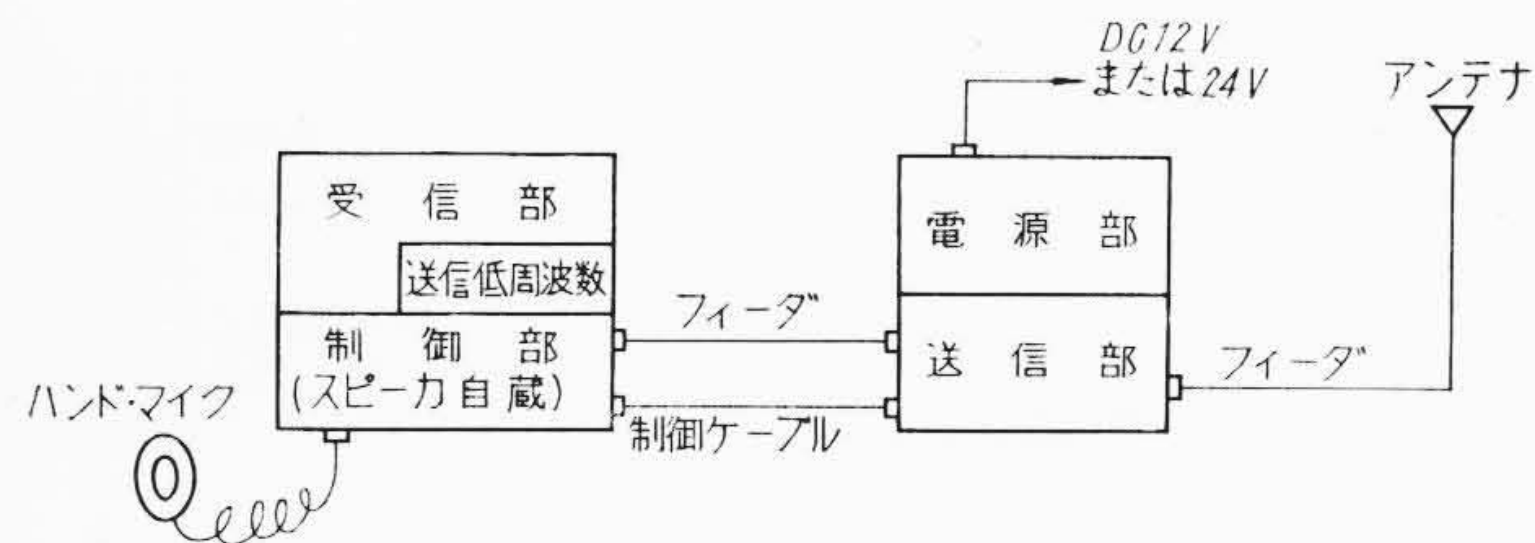
とした。

(2) 分離構造を採用して、受信、制御部は自動車ダッシュ板につり下げ、送信電源部は座席下あるいはトランクに収容できるようにした。したがって長時間送信しても、きょう体内温度上昇による受信部性能劣化は全然見られない。第7, 8図に実際の取付例を示す。

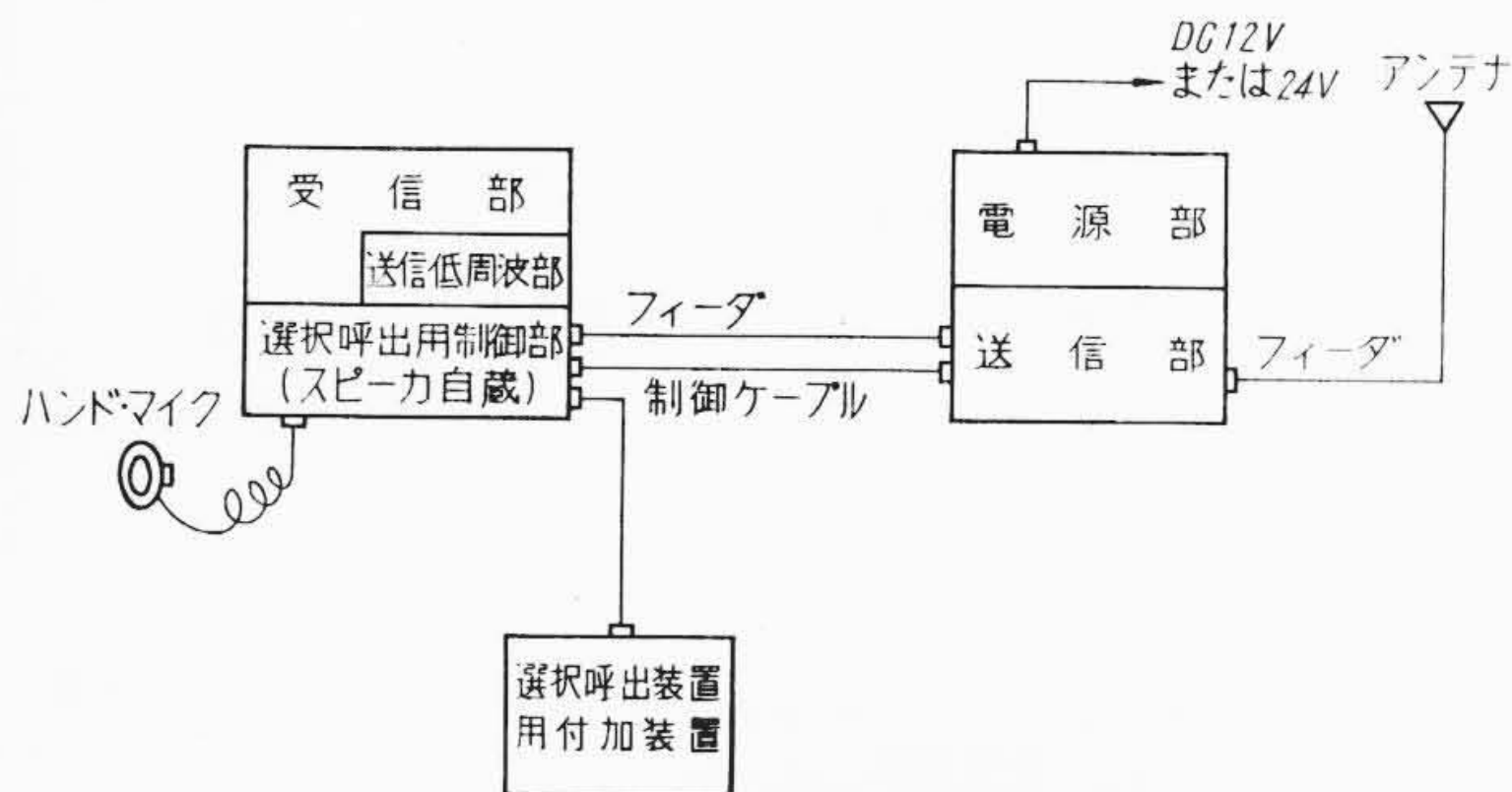
(3) 受信、制御部の寸法は、特に自動車運転操作に支障のないよう考慮して決められている。

(4) 選択呼出装置が容易に付加できる。

(5) 受信、制御部前面に送信出力、受信入力チェック端子を設け、自動車に装着のまま日常の保守点検ができるようにした。

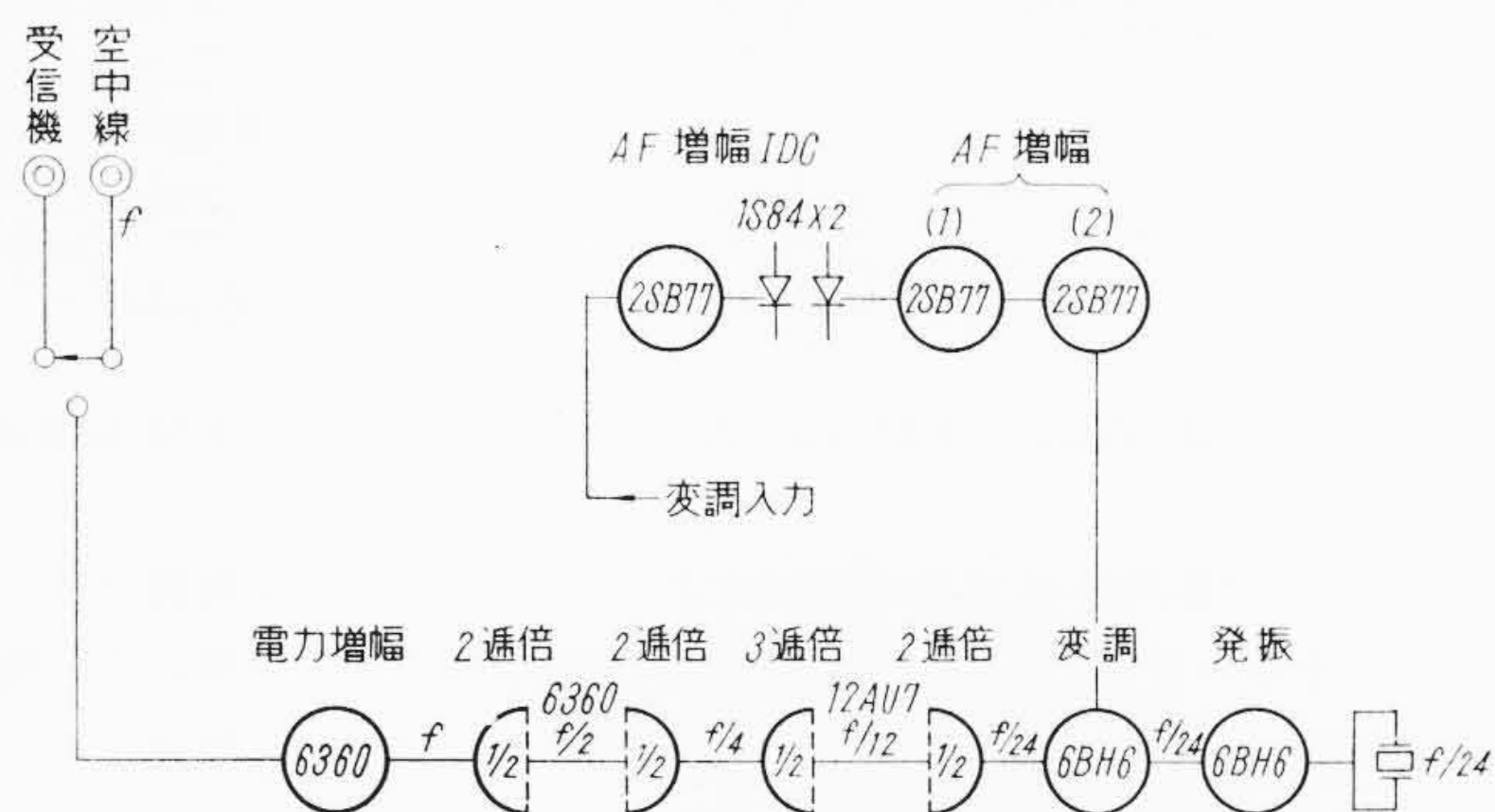


(a) 一般の場合

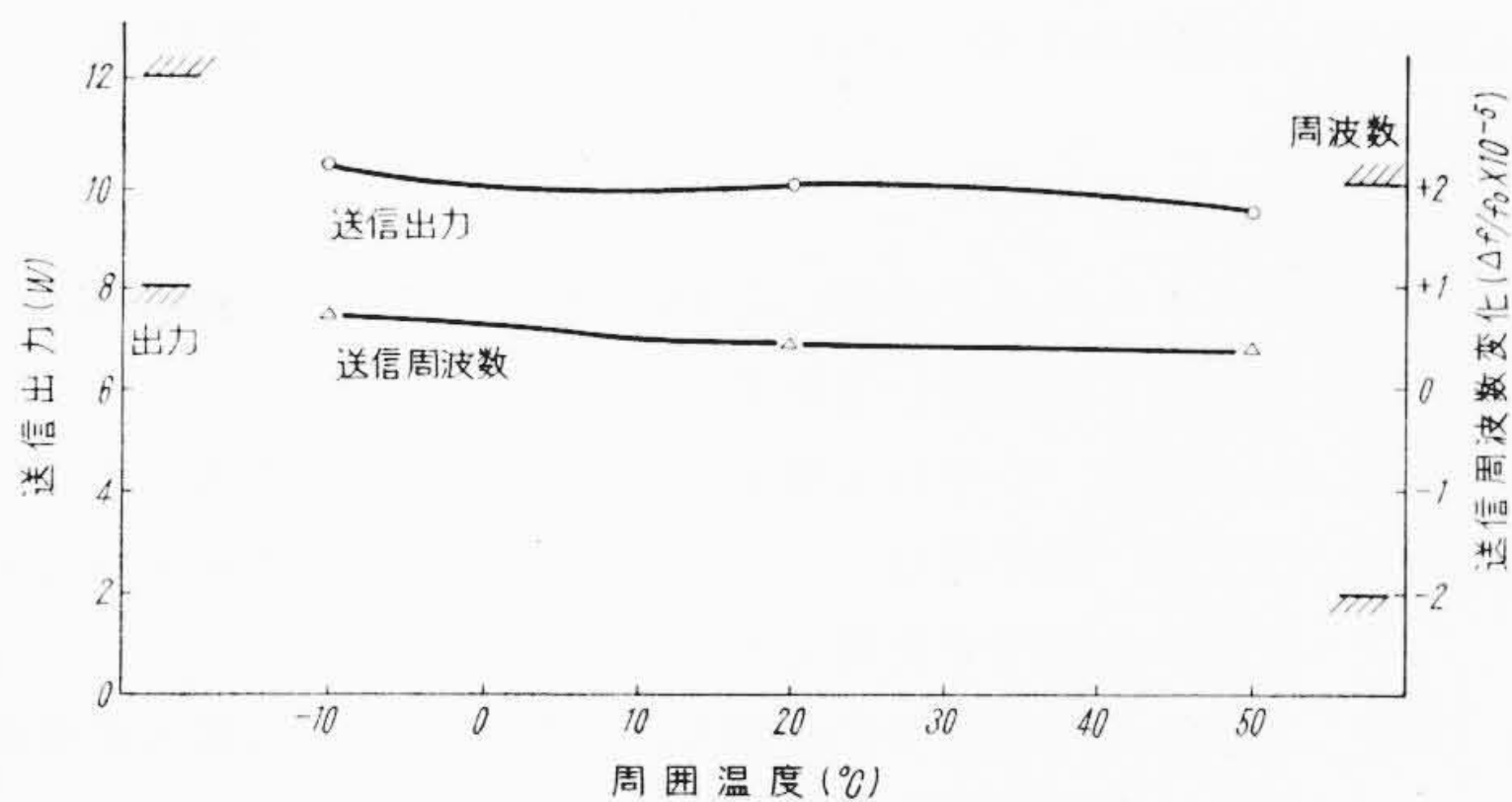


(b) 選択呼出方式の場合

第10図 トランジスタ VHF/FM 装置系統図



第11図 SEM-055A, SEM-1011A 形 150 Mc 5/10W FM 無線機送信部系統図



第12図 送信部、出力、周波数の温度特性

本機の外観図を第9図に示す。

3.2 性能

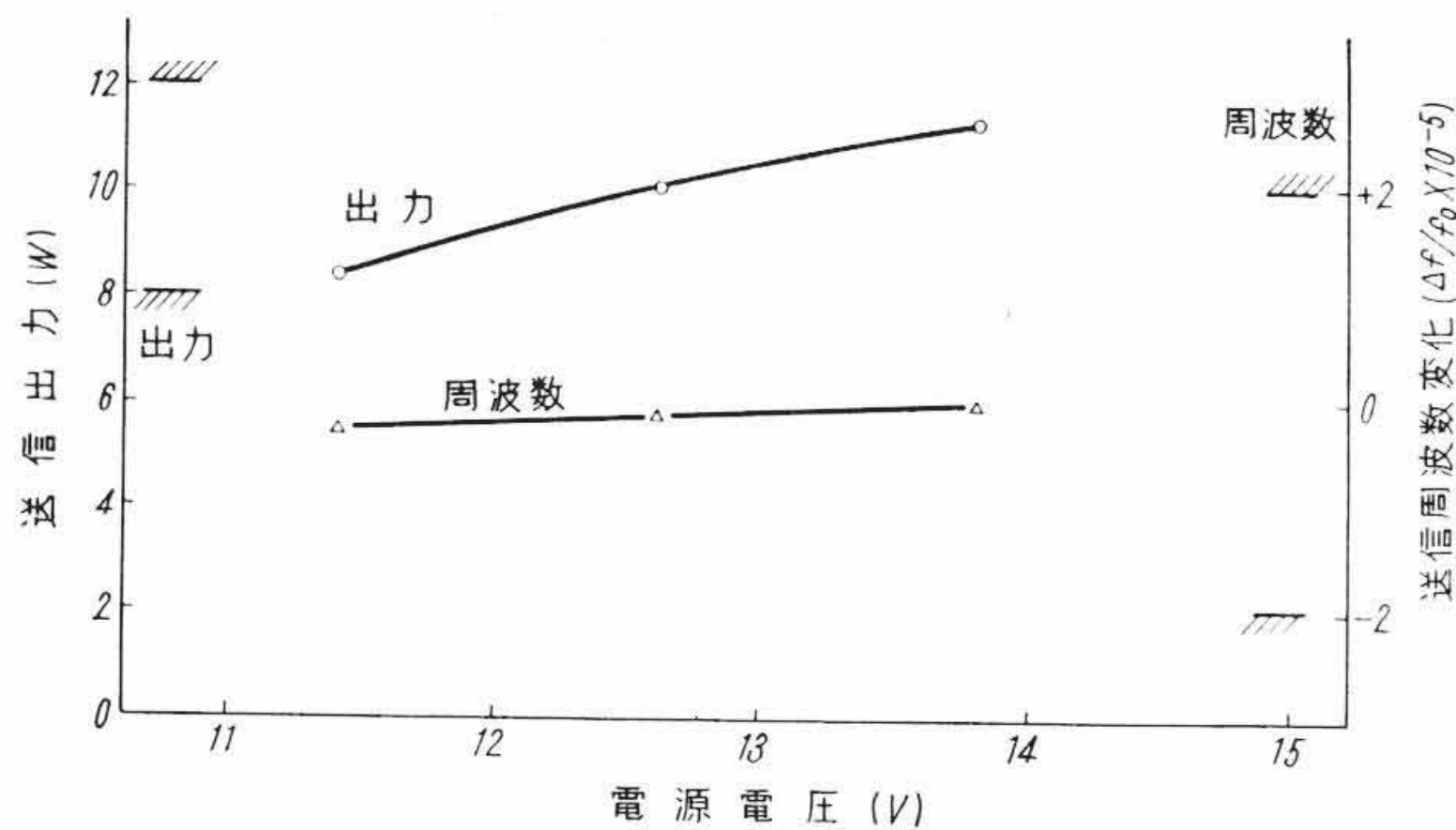
本機は第2表に示すように電波法無線設備規則に完全に合致し、型式検定合格後続々量産されており、従来の真空管式FM無線機と同等以上の性能を有している。装置系統図を第10図に示す。

(1) 送信部

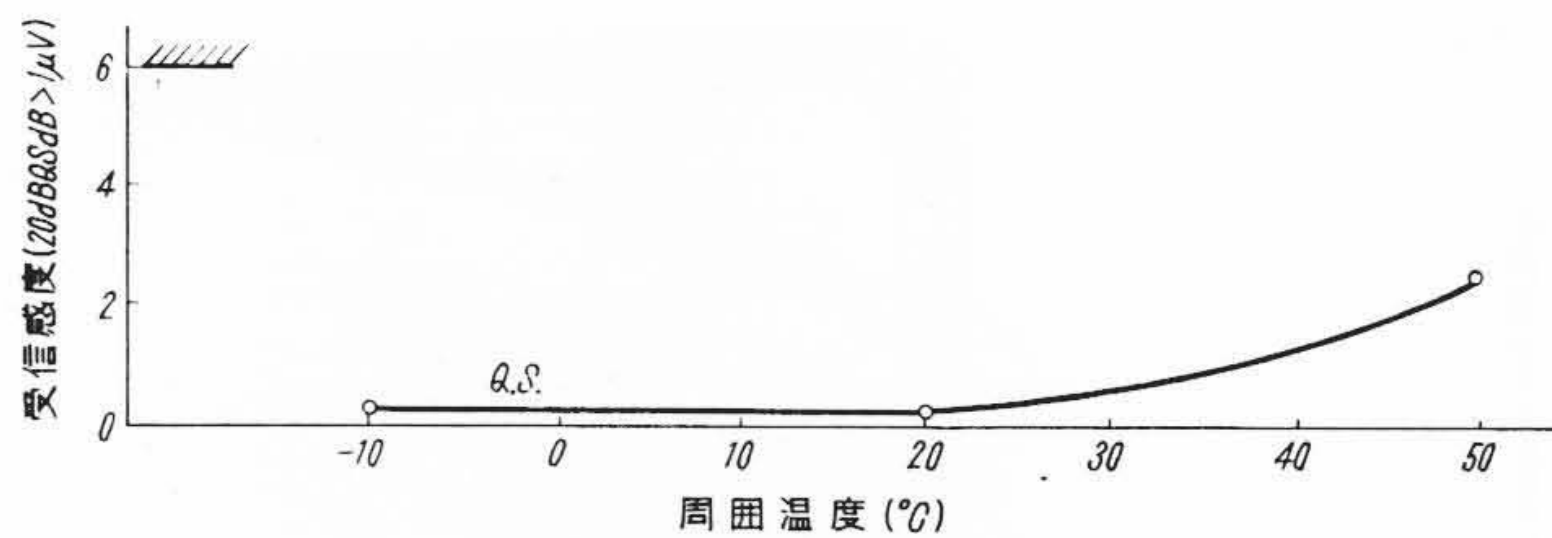
第11図に系統図の一例を示すように、低周波増幅部をトランジスタ化し、高周波部は真空管を使用している。試験結果の一例として送信出力、周波数の温度安定度特性を第12図に、電源電圧安定度特性を第13図に示す。

(2) 受信部

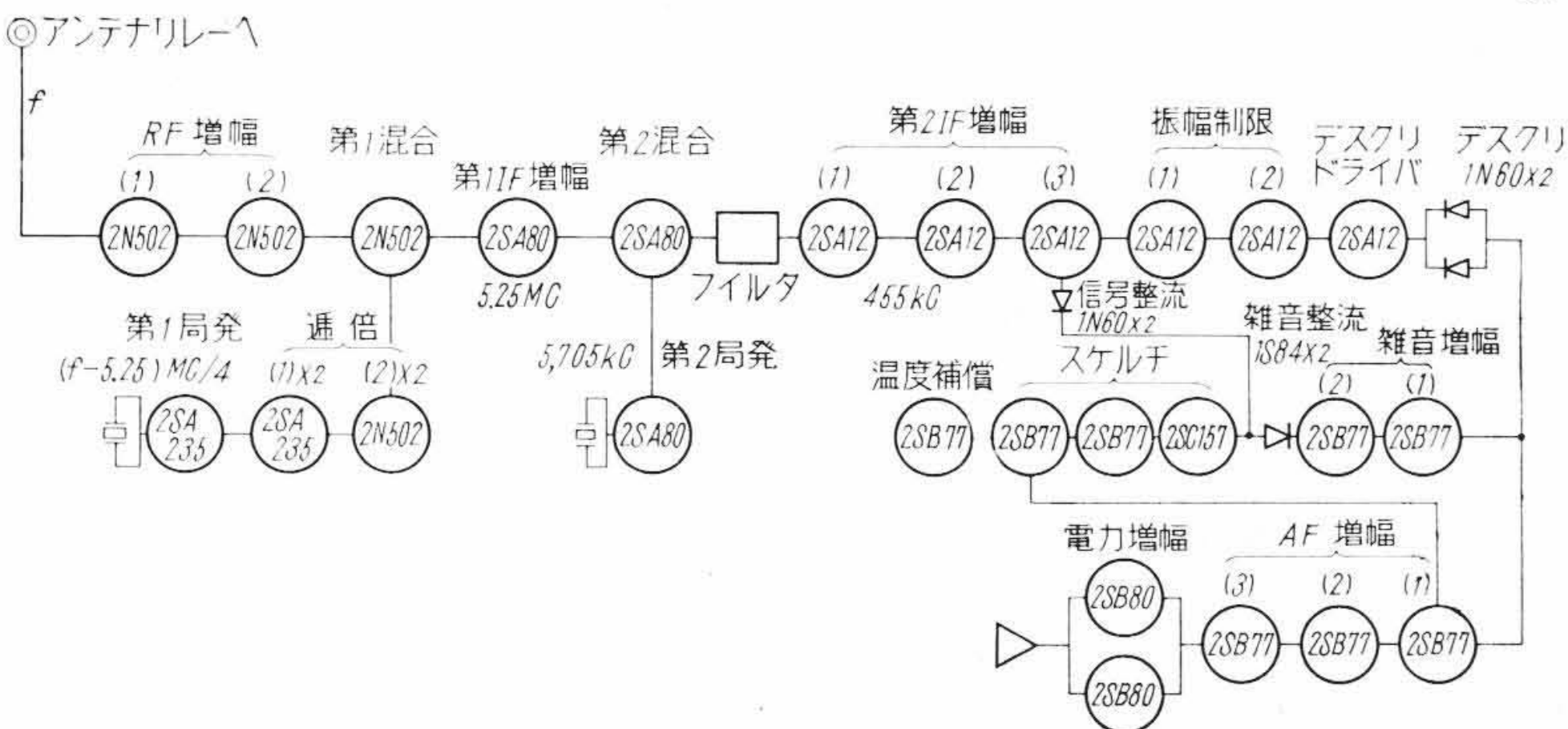
受信部は第14図の系統図に示すように全トランジスタ化され



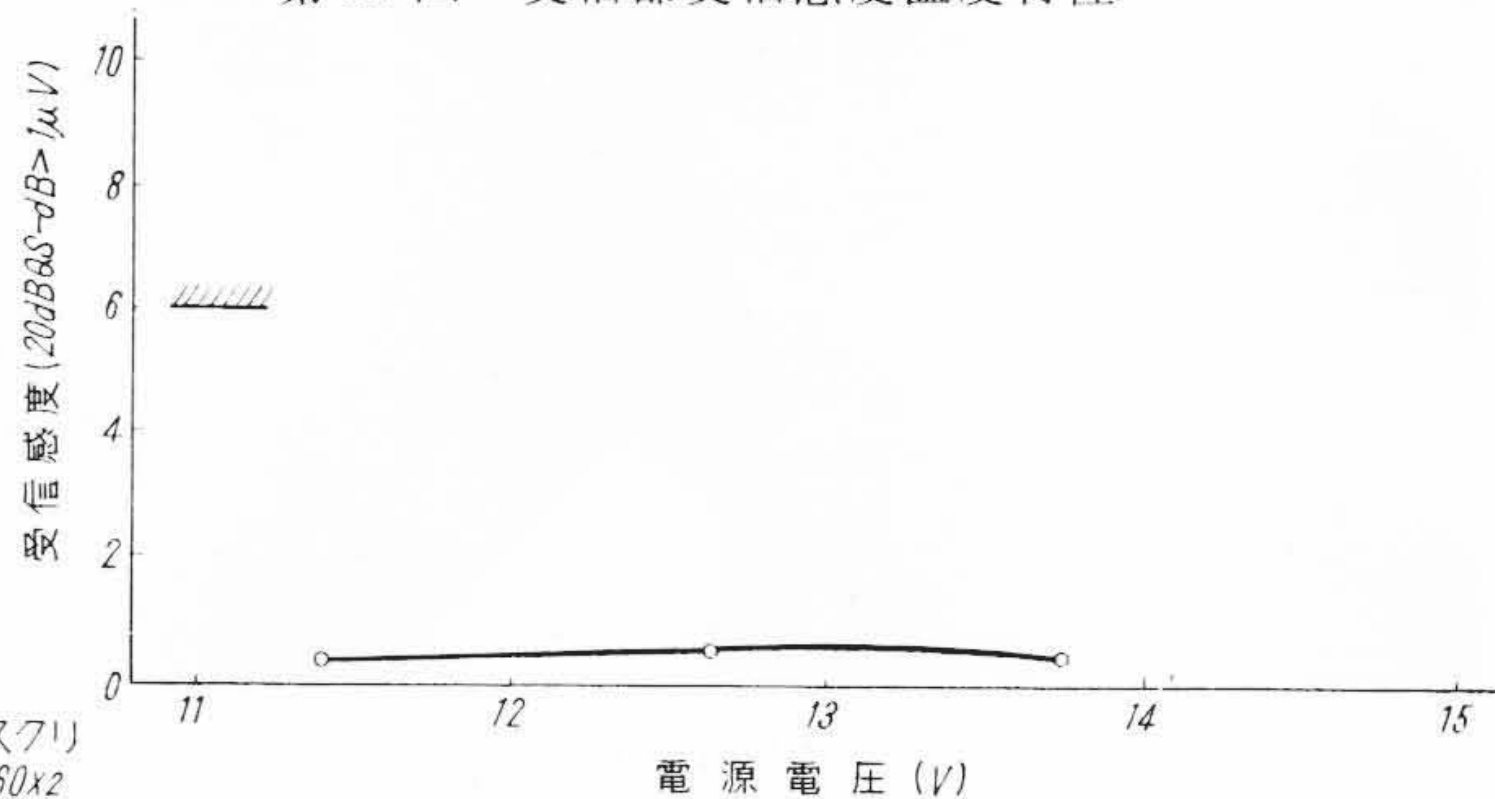
第 13 図 送信部出力，周波数の電源電圧安定度特性



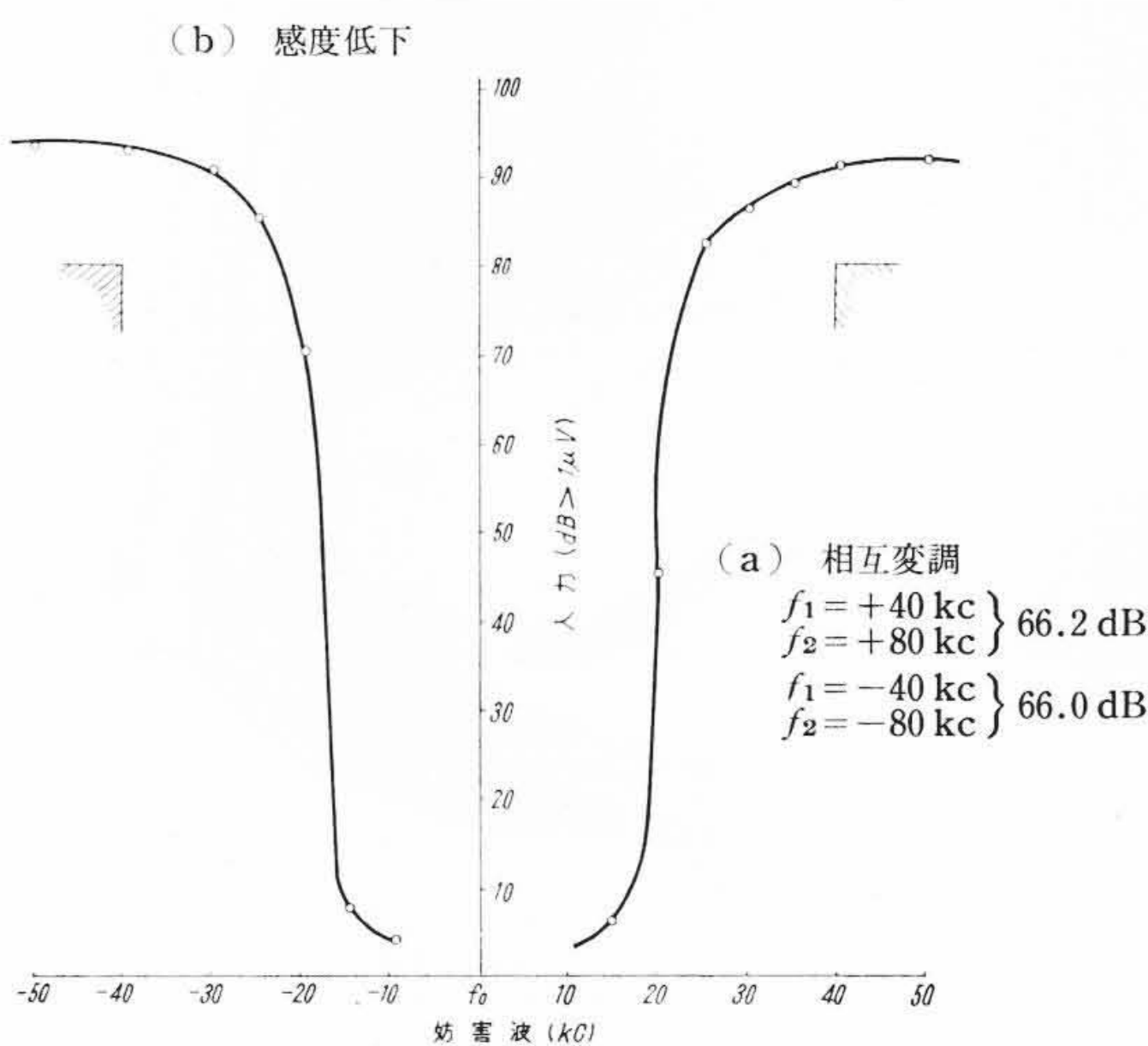
第 15 図 受信部受信感度温度特性



第 14 図 SEM-055A, SEM-1011A 形 150 Mc 5/10 W FM 無線機受信部系統図



第 16 図 受信部受信感度電源電圧安定度特性



第 17 図 受信部二信号選択度特性

ており、回路的にはすでに述べたように、(i) 温度補償回路、(ii) 特殊スケルチ回路、(iii) 過入力制限回路などを用いて性能の改善を図っている。さらに 150 Mc 帯も 60 Mc 帯も共通ブロックによる回路標準化を行い、さらに高周波部を除きプリント配線を採用して量産による性能の安定化を期している。試験結果の一例として受信感度の温度安定度を第 15 図に、同じく電源電圧安定度を第 16 図に示した。さらに 2 信号選択度特性を第 17 図に示す。

(3) 電源部

電源部はトランジスタを用いた DC-DC コンバータ回路を用い、下記の注意を払って設計してある。

- (i) (±) 接地、いずれも簡単な切替操作により使用できる。
- (ii) 12V 用、24V 用は互に互換性を有し、電源部を入れ替える簡単な操作で使用できる。
- (iii) できるだけ高能率化を図り、変換損失による電力消費の増加、電源部温度上昇を防いだ。

4. 結 言

以上 VHF/FM 無線機のトランジスタ化にあたり直面する問題について述べ、あわせて日立トランジスタ FM 無線機の概要について

紹介したが、目下トランジスタの発達と小形部品の開発はまさに日進月歩の状態にあるので、これとあいまってわれわれはさらに一段と高性能と小形化とを目標に努力を続けたい所存である。

終りに今回の開発にあたり、ご指導をいただいた関係各位に深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 野瀬，鈴木：日立評論 別冊 27, 83 (昭 33-11)
- (2) Stanley Schenkman: Electronics, 78 (Sept. 1958)
- (3) George C. Uhrin: IRE Correspondence 261 (Feb. 1956)
- (4) Richard F. Shea: Transistor Circuit Engineering 422 (1957)
- (5) 今西，鈴木：日立評論 別冊 18, 51 (昭 31-12)
- (6) 阿部ほか 3 名：日立評論 43, 554 (昭 36-4)

Vol. 22 日立造船技報 No. 3

- ◎超大形油送船の横強度に関する研究 (第 2 報，実験結果の解析)
- ◎プロペラ後流の速度場について (第 2 報)
- ◎機械室用通風機の騒音について
- ◎YND 鋼の工作および溶接に関する研究
- ◎放電加工改良の基礎的研究 (Ⅱ)

—加工作用の検討(その 2)—

- ◎鋼板の常温曲縁加工に対するショットプラスト加工の影響について
- ◎外径研削時間算定基準の研究
- ◎ドリル穴あけ上の諸問題について
- ◎重荷重，極低速摩擦条件下における潤滑について
- ◎若戸大橋塔柱架設工事概要報告

日立造船株式会社技術研究所
大阪市此花区桜島北之町