

トランジスタ式微電力サテライト装置

Transistorized Translator

小 峰 武* 日 笠 宣 夫*
Takeshi Komine Norio Hikasa

内 容 梗 概

山間部のテレビジョン難視聴地域を解消するため製作したトランジスタ式微電力サテライト装置の概要、トランジスタ化の問題点、その対策、装置の特性測定結果、および真空管式電力増幅装置と組み合わせた小電力サテライト装置の概略についてあわせて述べてある。

1. 緒 言

テレビジョンは放送開始以来、急速に発展し、現在テレビ電波のサービスエリアは全国の80%以上に及んでいるが、山間部においてはいまだに難視聴地域が比較的多い。これらの地域には共同視聴装置の使用も可能であるが、地勢上多くの経費を必要とし、維持費も多額を要するのが現状である。

これらの問題点を解消するためトランジスタ式サテライト装置の開発を計画したが、トランジスタは本質的に温度の影響を受け、全国各地で使用する場合、温度補償の点で難点があり、これを軽減するため日本放送協会技術研究所のご指導のもとに地下埋設式のTAG-50 M1形サテライト装置を製作した。装置の構造概略図を第1図に示す。

サテライト装置においては妨害電波を避けるため受信地点と送信地点を別にしなければならない場合があるが、従来の装置では局舎を別々に建てなければならず建築費は大幅に増大した。

日立製作所では建築費の軽減、受信地点と送信地点の選択を容易にするため、TAG-50 M1形サテライト装置と真空管式電力増幅装置を組み合わせた小電力サテライト装置を製作したのであわせて概略を紹介する。

2. 装置の系統および仕様

装置の構成は第2図に示すとおり、送信部と受信部にわかれ、送信部は送信部本体、局部発振部、AGC増幅部、入力検知部、安定化電源部および電源部よりなる。受信部は第3図、送信部は第4図に示すとおり、防湿容器に収容し、これを取付わくにはめて埋設容器に入れ地中に埋設する。この装置のおもな性能は次のとおりである。

受信周波数	第3チャンネル
送信周波数	第4チャンネル
入力レベル	50 dB (1 μV/0 dB)
送信出力	50 mW (映像)
受信機利得	50 dB ± 10 dB
送信機利得	45 dB
周波数特性	チャンネル帯域幅で ±0.5 dB
雑音指数	8 dB 以下
直線性	送信出力の2.5倍まで10%以下
AGC特性	入力レベル40 dB ~ 60 dBの変化に対し、出力偏差1.0 dB以内

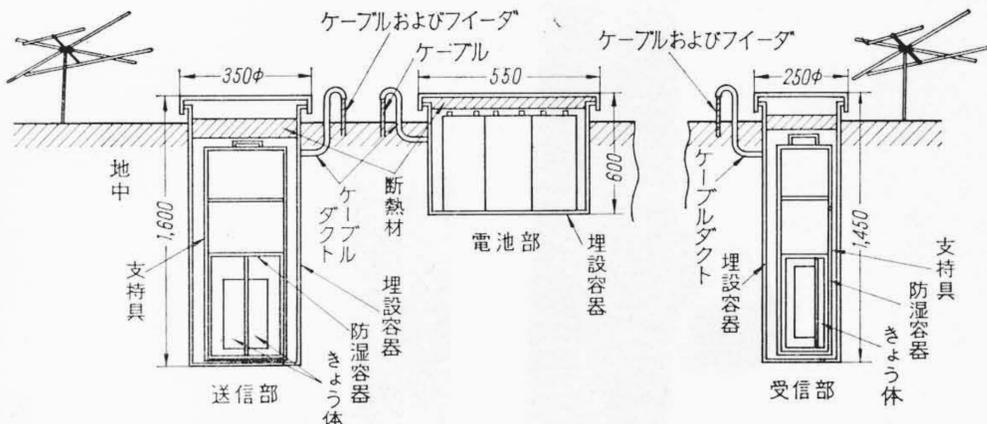
受信部、送信部間の距離 同軸ケーブル8 D 2 Vで200m以内。

電源入力 AC 100 V 3 VA または DC-18 V 0.17 A

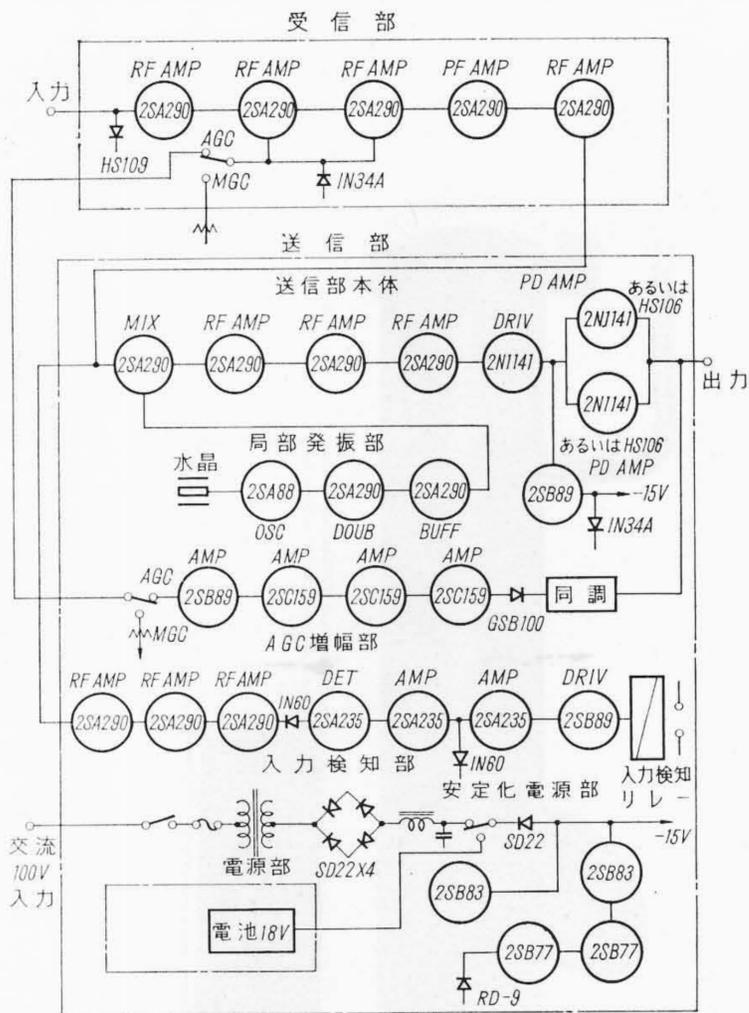
外気温度 -20 ~ +50°C

ただし第1図のように地下に埋設した場合の外気温度である。

* 日立電子株式会社



第1図 TAG-50 M1形トランジスタ式微電力サテライト装置



第2図 TAG-50 M1形サテライト装置系統図

3. 装置の概要

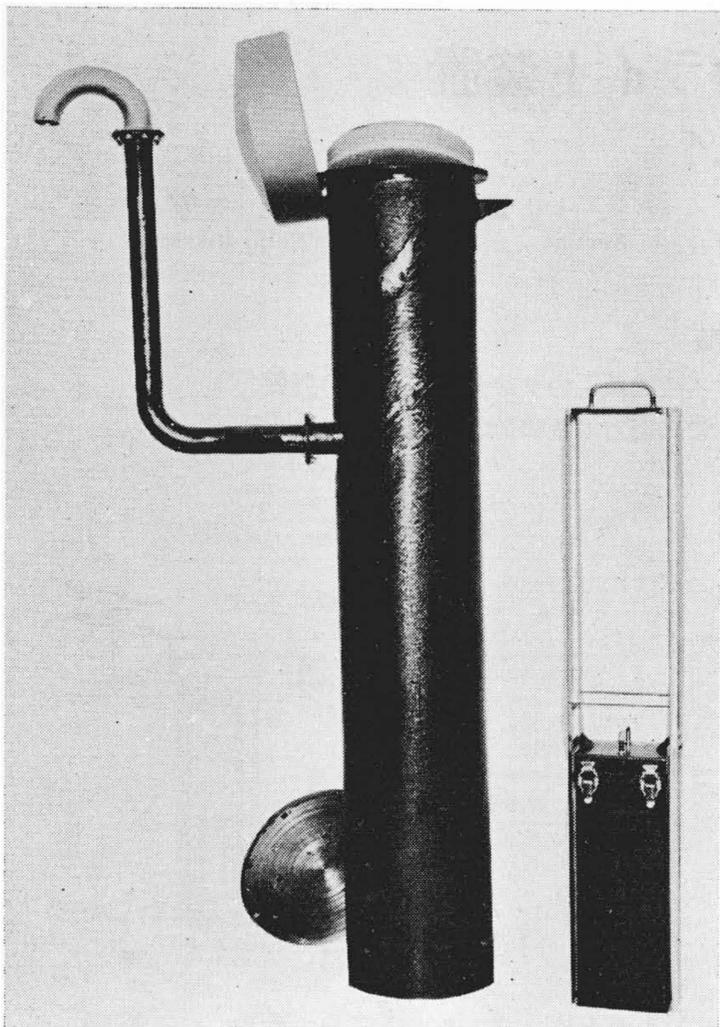
3.1 トランジスタの問題点とその対策

トランジスタの直流エミッタ電流 I_E およびコレクタ電流 I_C は次の関係式で表わされる⁽¹⁾。

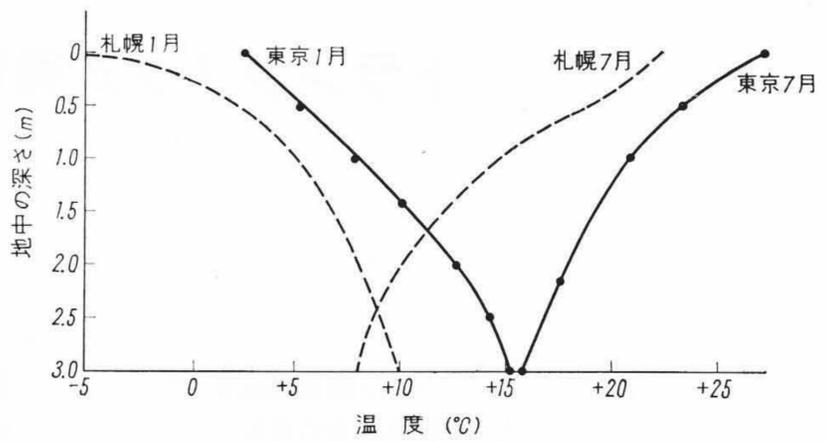
$$I_E = A \left(\exp \frac{qV_e}{K_T} - 1 \right) - B \left(\exp \frac{qV_c}{K_T} - 1 \right) \dots\dots\dots(1)$$

$$I_C = C \left(\exp \frac{qV_e}{K_T} - 1 \right) - D \left(\exp \frac{qV_c}{K_T} - 1 \right) \dots\dots\dots(2)$$

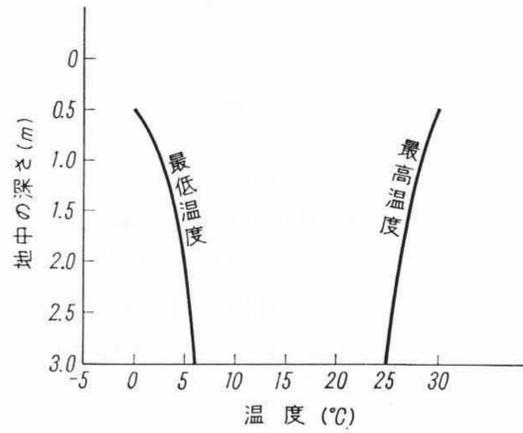
ただし q : 電子の電荷



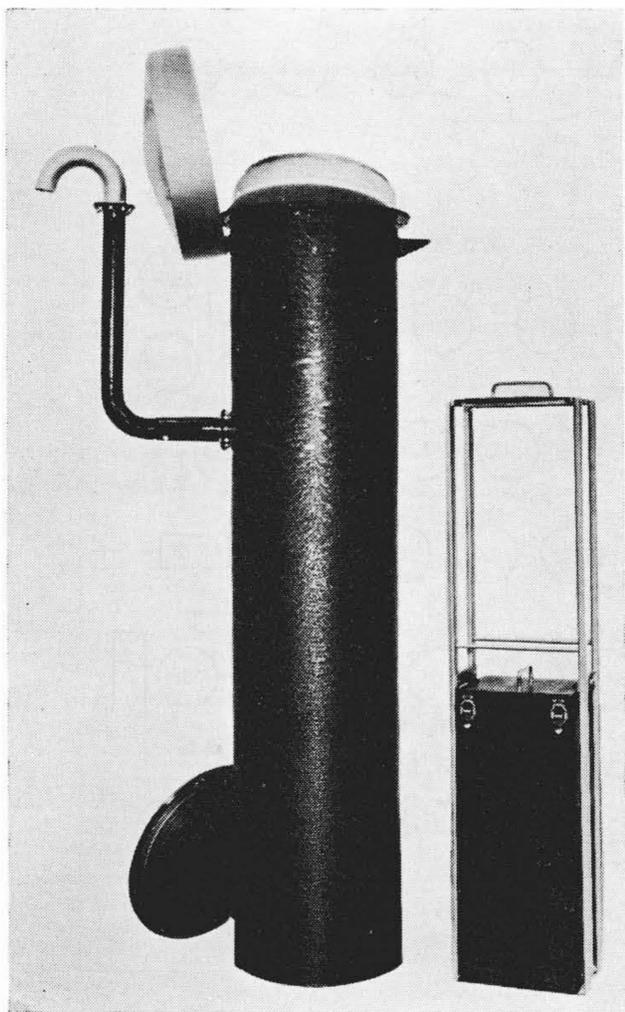
第 3 図 受信部埋設容器(左)および受信防湿容器(右)



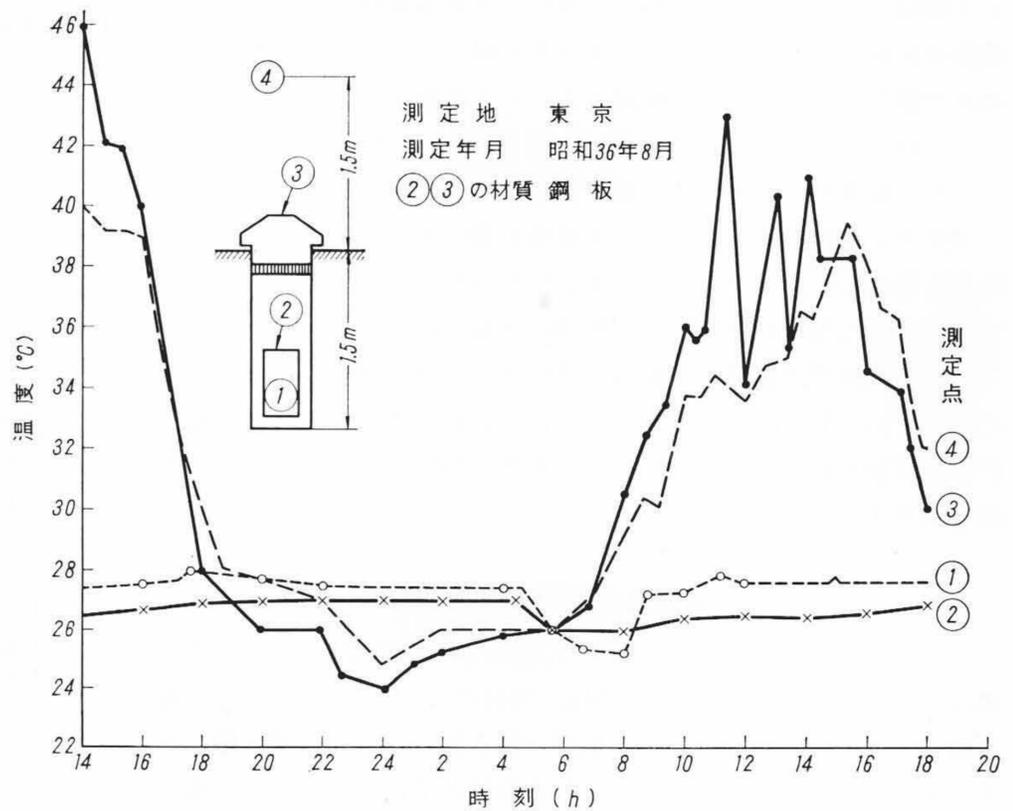
第 5 図 地中温度変化 (1950 年 1 ヶ月間の平均)



第 6 図 全国地中最高, 最低温度 (1924~1939 年の平均)



第 4 図 送信部埋設容器(左)および送信防湿容器(右)



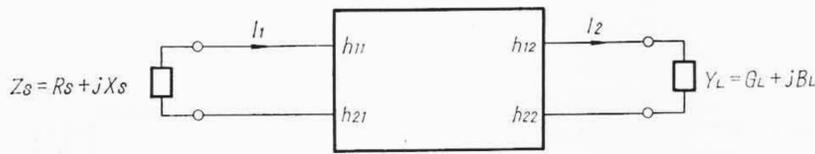
第 7 図 埋設容器の温度特性

る。 θ_T を熱抵抗 $T_{j,max}$ を最大接合温度, T_a を周囲温度とすれば, コレクタ許容損失 P_c,max との間に $P_c,max = \frac{T_{j,max} - T_a}{\theta_T}$ の関係がある。コレクタ損失は周囲温度の最も高いときにおいて, 許容損失の 60% ~ 70% に押えることが必要である。サテライト装置の設置は, 全国にわたるが, 各地の気温は最高 40°C, 最低 -41°C を記録しており, 屋外に放置して使用する場合にはこの温度範囲で安定に動作する必要がある。このような温度範囲でトランジスタ機器を安定に動作させることはきわめて困難を伴う。しかしこれを地中に埋設することにより, 外気温の影響は著しく減少する。東京および札幌における地中温度の変化は⁽²⁾第 5 図のとおりで地中 1m の 1 月と 7 月の平均温度変化は東京の場合には約 13°C, 札幌の場合には約 10°C である。この温度変化は, 地質により相当な差があるものと思われる。したがって地中に埋設した場合北海道のような北国で地質が岩または砂利などの場合には熱伝導がよいので, 埋設容器の周囲をおおう必要があるが, このような地域は非常にまれであるので

- K: ボルツマン定数
- T: 絶対温度
- V_c : 直流コレクタ電圧
- V_e : エミッタ電圧

A, B, C, D: トランジスタの構造による定数

である。(1)式で $I_E=0$ とおき, (2)式に代入すればコレクタ遮断電流 I_{co} を求めることができる, したがってエミッタ電流およびコレクタ遮断電流は周囲温度に対し, 指数関数的に変化することにな



第8図 トランジスタ h パラメータ

除いて考えると、全国的な最低、最高温度⁽³⁾は第6図のとおりで地中1mで約2°C~28°Cの範囲になり、装置としての周囲温度は0°C~30°Cの範囲で安定に動作すればよいことになる。実際に地中に埋設したときの温度変化⁽¹⁾を第7図に示す。防湿容器内の温度は、外気温の影響をほとんど受けておらず、内部機器の発熱による温度上昇は約2.5°Cであり、埋設方式の目的を十分達している。

3.2 受信部

受信部の系統は第2図に示すとおりである。VHF帯トランジスタ機器の安定度、性能は使用されるトランジスタに依存するから、トランジスタの選択には慎重でなければならない。高周波トランジスタの種類はいろいろあるが、現在ベース拡散形のメサトランジスタが最も遮断周波数が高く、1,000 Mcにも達するものがある。その特長は他のトランジスタに比べて、使用周波数範囲が広く、温度の変化に対し、堅ろうで許容損失が大きい。また製品の特徴がそろえやすい条件を備えている。この装置の高周波部分に使用したトランジスタ 2SA 290もメサ形で良好な動作をしている。トランジスタを第8図のように h パラメータで表わせれば、その入力インピーダンス Z_{in} 、出力アドミッタンス Y_{out} 、有効電力利得 P_G 、安定度判別指数 C 、は次式で表わされる⁽⁴⁾。

$$Z_{in} = h_{11} - \frac{h_{12} \cdot h_{22}}{h_{22} + Y_L} \dots\dots\dots (3)$$

$$Y_{out} = h_{22} - \frac{h_{12} \cdot h_{22}}{h_{11} + Z_S} \dots\dots\dots (4)$$

$$P_G = \frac{|h_{21}|^2}{4 h_{11}^R h_{22}^R - 2(h_{12} h_{21})^R} \dots\dots\dots (5)$$

$$C = 2P_c \left| \frac{h_{12}}{h_{21}} \right| \dots\dots\dots (6)$$

$C \leq 1$ のとき 無条件安定

$C > 1$ のとき 条件付安定

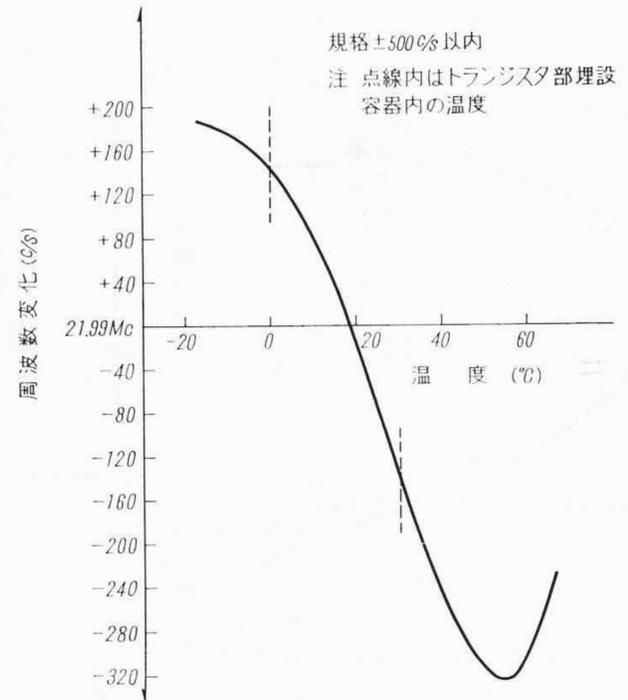
ただし $h_{11}^R, h_{22}^R, (h_{12} h_{21})^R$ はそれぞれ $h_{11}, h_{22}, (h_{12} h_{21})$ の実数部である。この式に示すとおり、トランジスタは双方向性であるから入出力インピーダンスはそれぞれ負荷および信号源インピーダンスの影響を受け、入出力を共役整合に近づけると、電力利得が大になるが、負荷状態によっては、内部帰還により発振する恐れがある。このことは高周波増幅器の設計に際し重要なことで、単方向化にしなければならない。単方向化にするには、トランジスタの内部帰還を外部回路により打ち消し中和する方法と、(3)式の $Y_L \gg h_{22}$ とし入力インピーダンスに対して負荷の影響を少なくする非整合による方法がある。中和が完全に行なわれ、入出力端子が共役整合した場合の電力利得 G_m は

$$G_m = \frac{|h_{21}|^2}{4 h_{11}^R y_{22}^R} \dots\dots\dots (7)$$

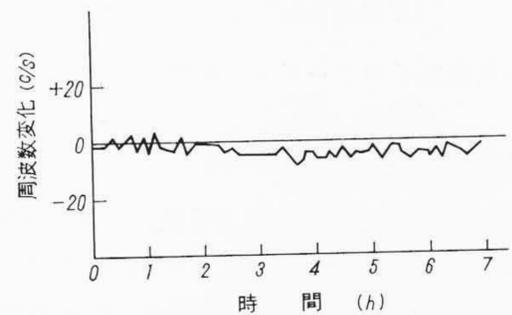
となり、入出力が非整合では電力利得 G は、

$$G = G_m \cdot \frac{4 m_i}{(1+m_i)^2} \times \frac{4 m_o}{(1+m_o)^2} \dots\dots\dots (8)$$

となる。ただし y_{22}^R はトランジスタの入力短絡における出力アドミッタンスの実数部、 $m_i = \frac{R_S}{R_{11}^R}$ 、 $m_o = R_L y_{22}^R$ である。前者では共役整合がとれるから利得を大きくとれるが、内部帰還の周波数特性を打ち消す回路素子の合成はむずかしい。また中和回路自体に寄生素子がいりやすく、動作点によりパラメータが変化し、完全な中和は得られない欠点がある。非整合による方法では整合が完全な場



第9図 局部発振部温度特性



第10図 局部発振部周波数安定度

合に比較し、(8)式で与えられるように利得の減少が生ずる。2SA290の使用周波数帯域付近における h パラメータの測定により、安定度判別係数を計算すると、90 Mc 以上では $G \leq 1$ で無条件安定であることがわかる。したがってこの装置では中和回路素子により生ずる不安定要素を除くため中和方式をやめ非整合方式とした。これにより調整中 2 SA 290 段では不安定な現象はなく、受信部周波数特性は、帯域幅 ± 3 Mc で出力偏差 ± 0.5 dB 以下の設計仕様を十分満足した。雑音指数はトランジスタ単体の場合には(9)式により表わされる⁽⁵⁾。

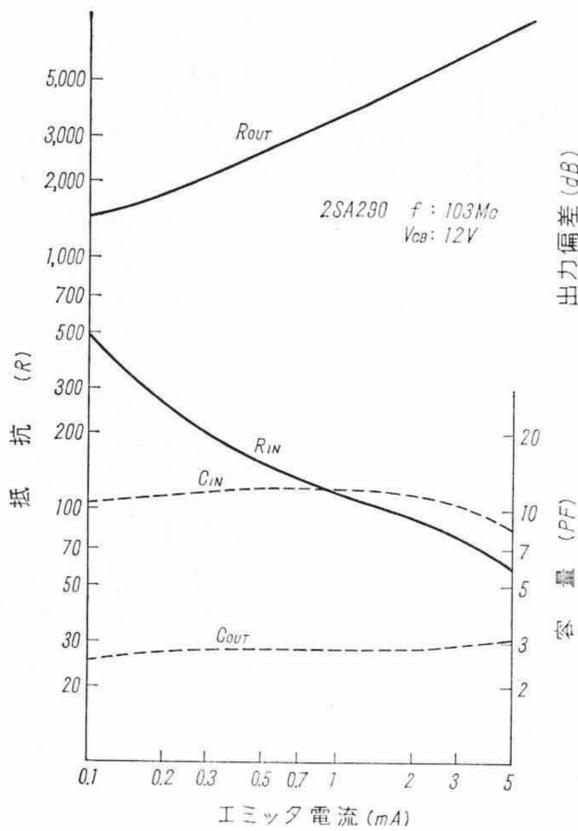
$$F = 1 + \frac{r_b'}{R_g} + \frac{r_e}{2R_g} + \frac{(1+\alpha_0) \left[1 + \frac{1}{\sqrt{1+\alpha_0} f_\alpha} \right]}{2\alpha_0 r_e R_g} \times (R_g + r_b + r_e)^2 \dots\dots\dots (9)$$

- ただし α_0 : 低周波における電流伝送率
- f_α : α 遮断周波数
- r_b' : 接合部よりベース出力端子までの導体抵抗
- r_e : エミッタ接合部のインピーダンス

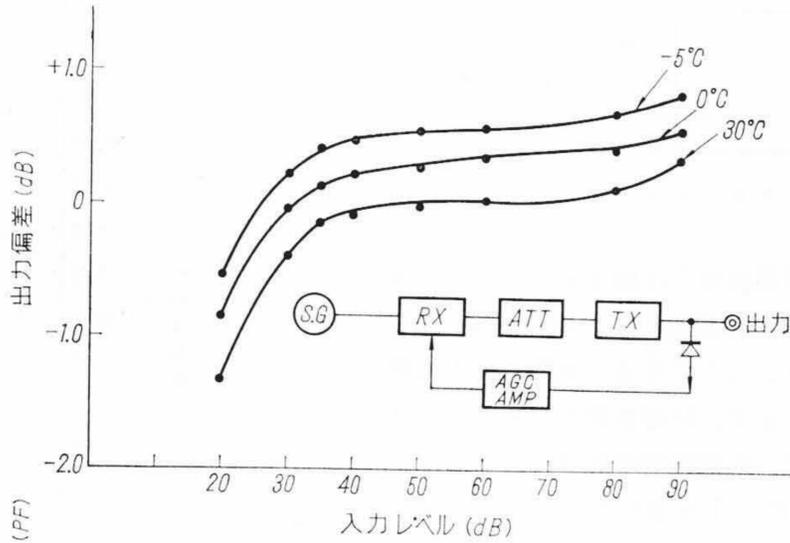
である。Fを最小にするようなトランジスタの条件としては f_α が高く、 α_0 が大で、 r_b' が小さいことである。2 SA 290はこの条件に最も適しており、中心周波数で雑音指数 7.8 dB を得た。

3.3 局部発振部

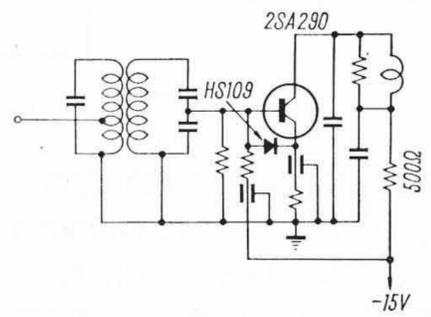
直列共振形のオーバートーンの水晶により発振した周波数を、2SA 290で2通倍し、さらに2 SA 290のバッファを通して混合回路に加えている。この発振部は水晶および2 SA 88が小さなケース内にユニットとして組み込まれており、一つの部品として、使用できるような構造となっている。またこれは恒温槽を使用せずに水晶とトランジスタの組み合わせにより、0°C~+30°Cの範囲において ± 140 c/s以内に押えられており、また時間に対する安定度は ± 10 c/s以内である。これを第9~10図に示す。



第 11 図 入出力インピーダンス特性



第 12 図 A G C 特性



第 13 図 入力過大保護回路



第 14 図 電池箱 外 観 図

3.4 入力検知回路

入力検知回路の信号は、受信部出力を抵抗分配し 2 SA 290 3 段により比較的狭帯域で増幅される。これを 1 N 60 で映像検波し、2 SA 235 2 段で増幅後水平同期信号の繰返し周波数である 15.75 kc に共振している同調コイルを通して、1 N 60 で整流後 2 SB 89 でリードリレーを動作させている。このリレーの接点により、送信部の電源を ON OFF し自動的に装置の運転を行なっている。

3.5 A G C 回 路

トランジスタの高周波増幅器の AGC (自動利得制御) 方式にはコレクタ電圧制御とエミッタ電流制御とがある。エミッタ電流制御の方が入出力容量の変化が少ないため、この方式を採用したがおもに h_{11e} の変化で利得制御が行なわれるのでエミッタ電流の小さいときには、利得はほぼ $|h_{11e}|^2$ に逆比例する。エミッタ電流の変化に従いパラメータは変化するので、当然入出力インピーダンスが変わり、同調回路の帯域幅の変化、同調点の移動により、選択度の変化が生ずる。2 SA 290 の場合には第 11 図に示すとおり、入出力の容量変化は割合に少なく、抵抗分の変化は大であるが、入力抵抗分と出力抵抗分の変化の傾向は互いに逆であるので補償しあうことになる。しかしエミッタ電流に対する利得の変化は一定ではなく、電流の変化が大となると減少する傾向があるので 1 段のみで AGC をかけるより、多段にかける方が帯域特性の変化は少ない。このような意味からこの装置では同調容量を大きくし、2 段の AGC をかけた。AGC 増幅部は直流増幅であるから、周囲温度の変化によりトランジスタ遮断電流 I_{co} が変わり、送信出力の変動を生ずる。したがって I_{co} の小さいシリコントランジスタ 2 SC 159 を用い、温度の影響を少なくし、入力レベル 40~60 dB の変化で温度範囲 $-5 \sim +30^{\circ}\text{C}$ において第 12 図に示すように出力偏差を 0.6 dB におさえることができた。

3.6 入力保護回路

トランジスタは過電圧、過電流で破壊しやすいので、過大の妨害入力に対しては第 13 図のように入力回路にダイオードを入れた⁽⁶⁾。このダイオードは印加電圧を変化すると容量が変わる特性をもっているため、過大入力の場合には、入力同調回路の共振点をずらし、トランジスタ入力への影響を少なくしている。過大電流に対しては、コレクタ回路に抵抗 500Ω 程度を入れ、過電流が流れた場合、この抵抗による電圧降下が大となり、トランジスタの破壊を防止してい

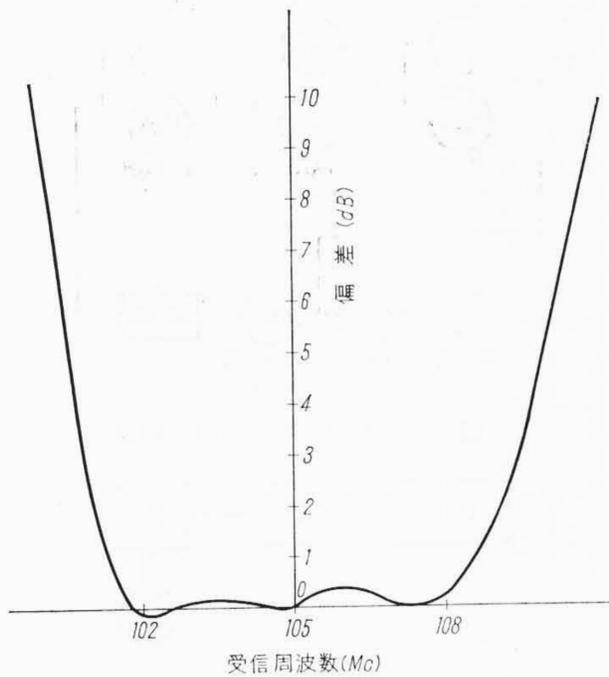
る。これにより 130 dB の入力を入れた場合でもトランジスタは破壊せず、特性劣化も生じなかった。また入力回路にダイオードを入れることにより雑音指数の劣化は約 1.5 dB 程度であった。

3.7 電 源 回 路

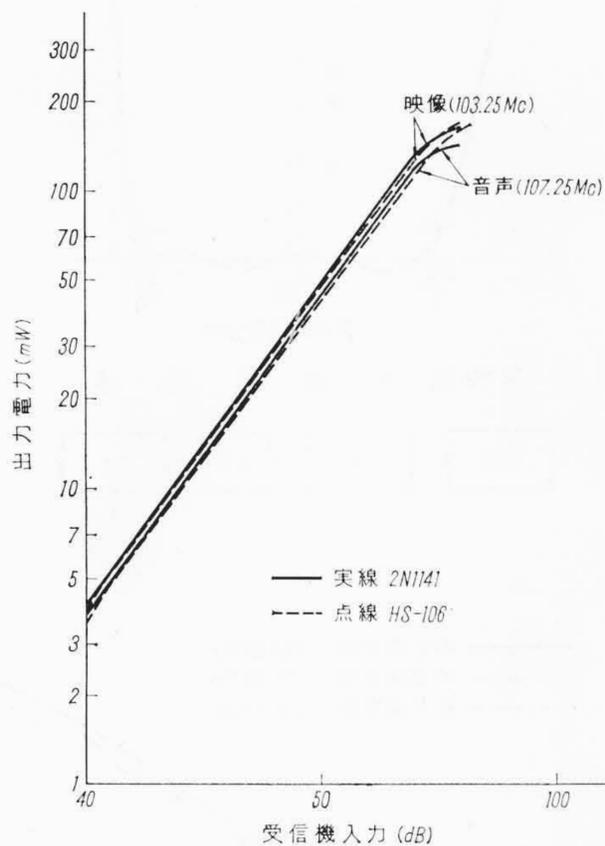
装置の埋設点によっては商用電源が簡単に引き込めない場合もあり、また消費電力は 3 W で小さいため交流直流両用とした。商用電源を使用するか、電池を使用するかは、設置点の条件により決まるが、電池の場合には保守、交換のための運搬に難点があるので、商用電源を使用することが望ましい。しかし、どうしても商用電源が得られぬ場合には蓄電池を第 14 図に示すような電池箱に入れ使用すればよい。電池箱は亜硫酸ガスに十分耐えるようにステンレス鋼を使用し、その上に断熱材を入れ内部の温度上昇を防いでいる。蓄電池は 150 AH を使用することにより、約 1.5 個月運転することができる。

3.8 送 信 部 本 体

送信部本体における最大の問題点は最終段出力トランジスタである。サテライト装置は映像、音声の 2 周波信号を増幅または周波数変換を行なうので、定格出力の約 2.5 倍まで直線性がよくないと混変調が生ずる。混変調はおもにミキサおよび出力段で生ずるがミキサについては低レベル混合を行なうことにより問題はない。したがって大レベル信号を増幅する出力段の混変調が主になる。これに対しては第 4 チャンネルでトランジスタ 2 N 1141 をプッシュプル動



第15図 総合周波数特性



第16図 送受統合直線性

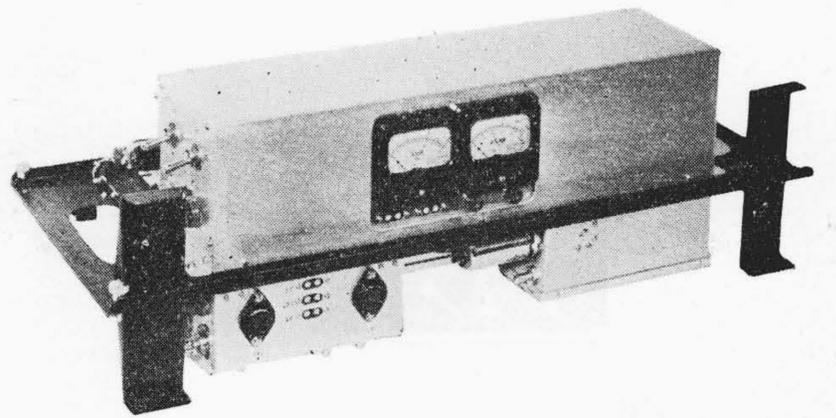
作させることにより 125 mW まで直線性 10% を得ることができた。また日立製 HS 106 についてもほぼ同様な特性を得ることができた。

4. 総合特性

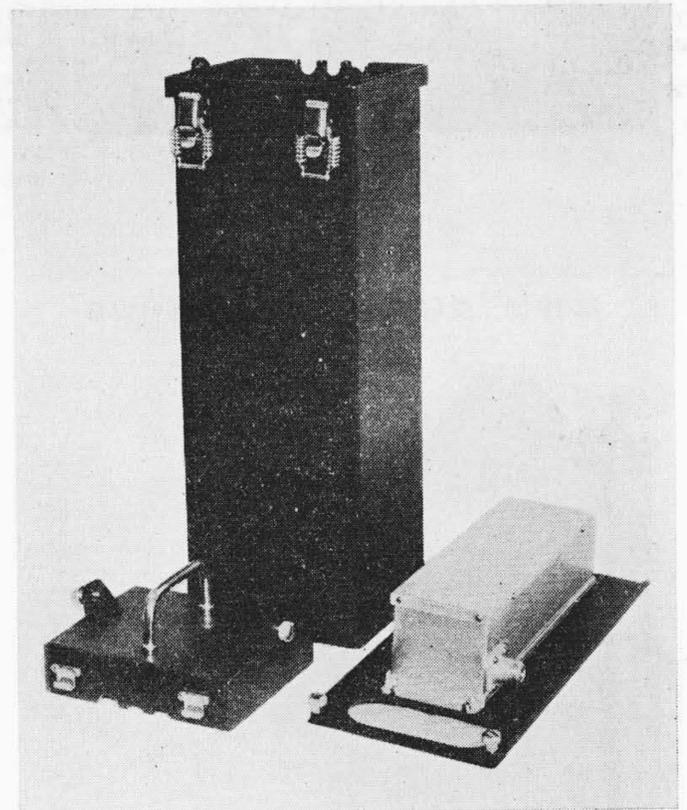
前述のとおりこの装置は過酷な条件のもとでほとんど終日運転されるため特に安定度および温度特性について十分考慮した。その結果第15図に示すように0～+30℃の温度範囲で周波数特性は±0.5 dB 偏差を十分満足した。なお直線性については、2N 1141と日立製 HS-106 の特性結果を第16図に示す、いずれも仕様 125 mW で10% 以下を満足する結果を得た。

5. 構造

第17図に送信部、第18図に受信部および防湿容器、第19図に受信部および局部発振部の内部構造を示す。この装置の各部はブロック形になっており、パネルに組み込み、それを防湿容器に納め、内部に乾燥剤を入れて湿気を防いでいる。この容器をさらに埋設容器に収め、その上に断熱材を入れ、表ぶたをボルト締めしているので外気温および湿度の影響はほとんどないようになっている。埋設



第17図 送信部



第18図 受信部防湿容器および受信部

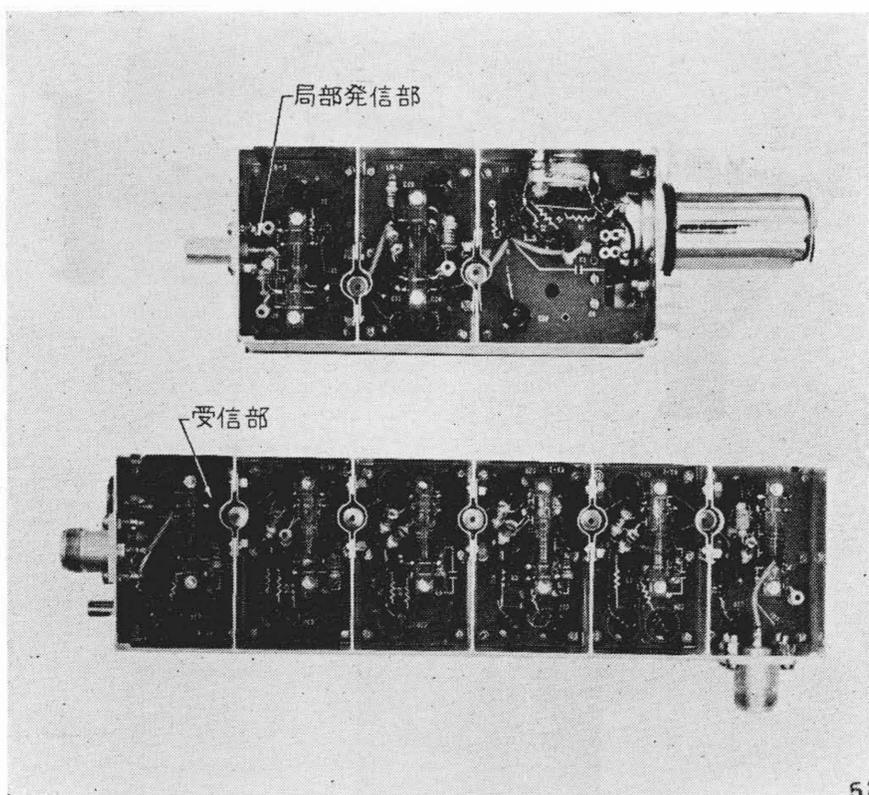
容器からのケーブルの入出力部分には、防水された貫通金具を使用しているため、容器全体が完全密閉となっており、水がはいる心配は皆無である。

6. トランジスタ式と真空管式組み合わせによる小電力サテライト装置

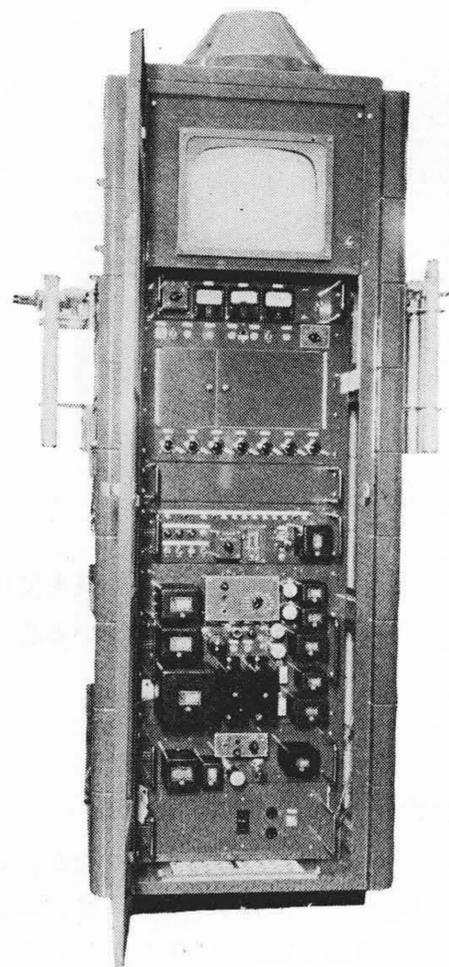
以上トランジスタ微電力サテライト装置について記述したが、この装置に真空管式電力増幅部を付加した小電力サテライト装置の製作も可能であり、すでに 10W 装置を信越放送に納入し現用されている。この組み合わせにより局舎占有面積および消費電力は、全真空管式に比し約 2/3 以下となる。チャンネル割当より送受信周波数が隣接、および隣々接のため、多くの場合送受信装置を分離設置する方式となり、多額の経費を必要とするが、受信部のトランジスタ化により小形となり設置が容易であり、かつ消費電力がわずかであるため、大がかりな工事の必要がなくなる。また保守の面から考えると真空管の交換は電力増幅部のみとなり保守が簡単で経費が軽減される。第20図は付加電力増幅装置の外観を、第21図は系統図を示す。

今回製作した 10W サテライト装置のおもな仕様は、次のとおりである。

受信周波数	第11チャンネル
送信周波数	第7チャンネル
送信出力	10W (映像)
周波数特性	チャンネル帯域幅で偏差±1 dB以下
直線性	送信出力の2.5倍まで10%以下
電源入力	AC 100V 950VA



第19図 受信部および局部発振部の内部

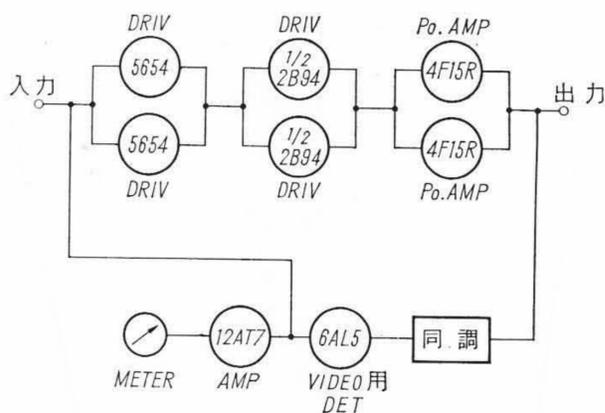


第20図 真空管式電力増幅装置

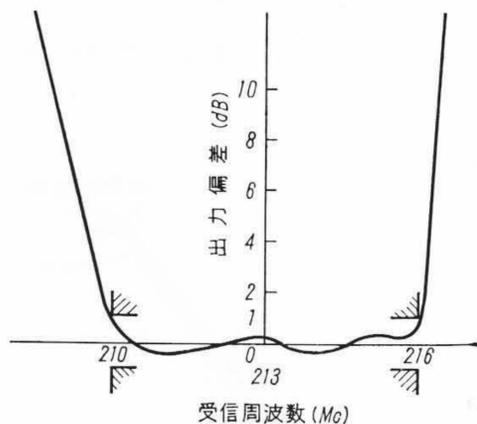
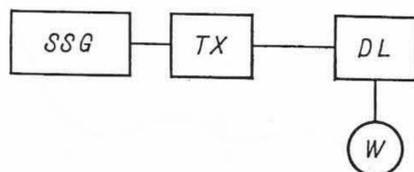
以上の仕様に対して、おもな特性は第22図周波数特性のとおり±3 Mcの帯域内で偏差1.0 dB、第23図直線性のとおり出力25Wまで直線性9%であり、設計仕様を満足した。

7. 結 言

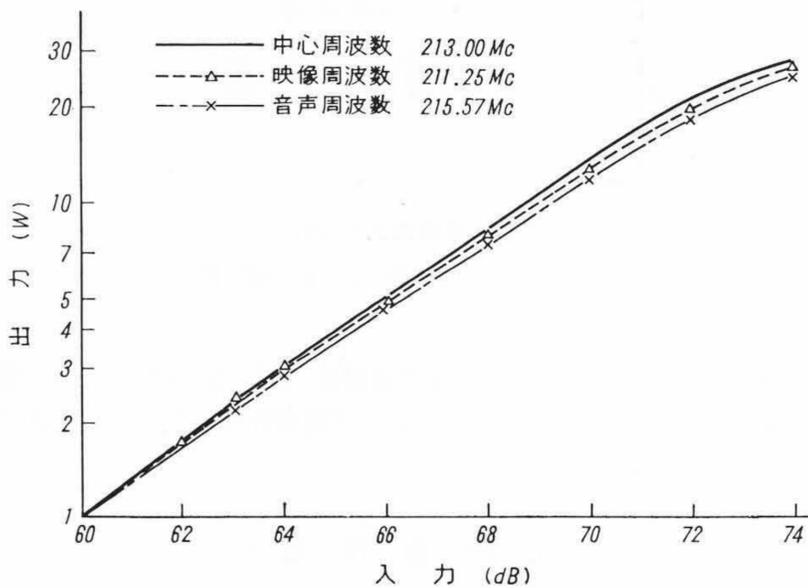
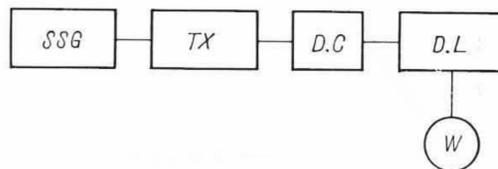
前述のようにトランジスタ化微電力サテライト装置の開発により従来聴視を困難とした地域にも、低額の費用で広範囲の受像ができることになった。現在なお全国に散在する多数の難聴視区域の解消策としてこの装置の大幅な採用を期待するとともに今後さらに高出力トランジスタの出現により、小形な全トランジスタ式小電力サテライトの開発が期待される。最後にこの装置を製作するに当たり、終始ご指導を賜った日本放送協会技術研究所、林原調査部長、本間開発部副部長、開発部の諸氏、トランジスタ式と真空管式の組み合わせによる、10Wサテライト装置の製作に適切なる助言をいただいた信越放送、小日向課長、日立製作所および日立電子の関係各



第21図 付加電力増幅装置系統図



第22図 周波数特性



第23図 直線性

位、特にトランジスタについて指導をいただいた武蔵工場設計課、日下主任に深じなる謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) 沢辺：トランジスタ式サテライト装置の問題点 放送技術：16, 747 (昭36-12)
- (2) 衛生工業会編：衛生工業便覧 昭和27年刊行
- (3) 中央气象台：本邦気象表 昭和17年3月刊行
- (4) 大平隆天：高周波トランジスタ増幅器の諸問題 沖電気時報 Vol. 27 No. 3
- (5) Van der Ziel：Naise in Junction Transistor. P. I. R. E., 46, No. 11, P. 1019~1038 (1958)
- (6) 羽田, 沼田：30 Mc帯トランジスタ受信機初段石の保護 昭35 電通学会全国大会講演