進行波管 UHF 100 W サテライト装置

東京芝浦電気株式会社 実 成 剛 吉
青 木 一 郎
東京テレビ民放5社小田原 高 垣 欣 也
中継局建設委員会幹事

第2次チャネルプラン修正の発表に伴い、従来、未開発分野であった UHF 帯での割当てが実施され、すでに各地で極管による UHF サテライト局が開局されているが、今度進行波管を使用した UHF サテライト装置が完成し、東京テレビ民放5社共同建設により、昭和39年9月19日開局した小田原中継局において、安定に動作しているのでその概要を報告する。

1. ま え が き

第2次チャネルプラン修正に基づき、関東地区においても難視区域救済のため、17カ所に対しチャネル割当てが行なわれ、その大半は UHF 帯であった。東京テレビ民放5社では、割当て発表を契機に中継局の建設ならびに運用の合理化推進のための委員会を設け、局舎、鉄塔、送信空中線などの共用の問題、共同の発注、共同の保守を前提とした、機器仕様の統一などの検討が行なわれ、すでに昭和39年6月開局した日立中継局において、建設費の軽減、保守の合理化など相当な成果を収めた。一方、各送信機メーカーとも、未開発分野であった UHF サテライト装置に対する種々の検討が進められ、過去1年たらずの間に長足の進歩をとげ、価格面においても大幅なコストダウンに成功している。しかしながら、極管

を使用した UHF サテライト装置にあつては

(1) キャピティを使用した増幅器を3～4段使用しなくてはならない。

(2) UHF 帯用キャピティとして満足に動作するためには、工作上相当高精度が要求される。

(3) フィンガー材料については接触不良、折損などによる特性劣化は避けられないので、材料ならびに処理に充分注意を要する。

などの問題についてはまだ充分な解決が得られるまでには至っておらず、無人局を前提としたサテライト装置にあつては、建設費の軽減もさることながら、安定度が高くかつ保守が容易であることが不可欠の条件であり、これらの点について抜本的対策が要望されていた。これに対してマイクロ波領域で使用されている進行波管が、安定度が高く高利得かつ長寿命であることは周知のことであり、したがって、これを UHF 帯で終段管として使用することが可能であれば、元来帯域が広いので帯域特性について考慮する必要がなく、かつ高利得であるため、特に多段の増幅器を必要としない。30 dB 程度の利得がとれば受信機程度の出力(スタックトロンによる)で充分励振可能であり、極管形にくらべて調整保守の面からはるかにすぐれた装置の出現が予想された。しかしながら、進行波管の使用に当たり、

(1) 相当高利得であるため発振のおそれがある。

(2) 広帯域にわたり増幅するので、スプリアス放射が極管形にくらべて多くなる可能性がある。

(3) 振幅変調の電波に対して使用された実績がない。

などの検討すべき点多々あったが、筆者らは小田原中継局において実用化することを目標に、緊密な連絡を保ちつつ検討を重ねた結果、このほどこれらの問題点を解決して、進行波管を用いた世界最初の UHF サテライト

筆者紹介

み な り ご う き ち

実成剛吉 昭和17年、横浜専門学校卒業。同年、東京芝浦電気株式会社に入社。昭和22年復員後、中継機一般無線機の研究に従事。その後、テレビジョン放送機、サテライト装置の研究に従事、現在に至る。正会員。

あ お き い ち ろ う

青木一郎 昭和27年、九州大学電気工学科卒業。同年、東京芝浦電気株式会社入社。昭和34年より進行波管、マグネトロン、クライストロンの開発に従事、現在に至る。

た か が き き ん や

高垣欣也 昭和23年、早稲田大学理工学部電気工学科卒業。朝日新聞放送準備委員会を経て、昭和26年株式会社東京放送へ入社、技術局技術企画部、テレビ技術局操作課長、映像課長、技術課長を経て、現在テレビ技術局技術部長。正会員。

“TWT Type 100 W Satellite Station” by Gokichi Minari, Ichiro Aoki (Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd, Kawasaki) and Kinya Takagaki (Tokyo Broadcasting System, Tokyo)

装置の完成をみ、昭和39年9月19日開局の運びとなったので、装置ならびに使用した進行波管について、その成果と技術的問題点について記述する。

2. 100 W サテライト装置

2.1 設計の基準

進行波管形サテライト装置について、設計基準として次の点を考慮した。

(1) 終段に進行波管を使用し、これの利得を 30 dB 以上とする。

(2) したがって、励振段として 100 mW 必要である。これに対して混変調の特性が充分満足するよう考慮し、最大 500mW の出力とする。したがって、スタックトロン (8506) 2本を使用する。

(3) 進行波管の出力側は必要帯域内で VSWR を良好に保つようによる。

(4) スプリアス放射に対しては、バンドパス形フィルタによりこの除去を考える。

(5) 進行波管形を使用することにより装置の安定化長寿命化をはかる関係上、従来のガラス管は使用せず、トランジスタおよびセラミック受信管を使用する。

(6) トランジスタの特性に対する温度変化を防ぐため、AGC 回路はセラミック受信管を使用する。

(7) 進行波管の冷却は吸出し方式とし、室内に熱風をまきちらさぬようにし、室内の空調を不要にする。

(8) 制御方式を初めとし、回路全体を簡略化し部品を減らし調整保守も容易にし、かつ価格の低減、保守経

写真 1 装置 外 観

費の節減をはかる。

2.2 仕様および性能

(a) 一 般

(1) 使用周波数	TV チャネル中の指定チャネル
(2) 受信入力	50 dB
(3) 出 力	映像同期尖頭出力 100W,
音声 25 W
(4) 増幅変換方式	ヘテロダイン周波数変換方式(2段変換)
(5) 電 源	3 相200V または単相200V
または 100V 50c/s または 60c/s
(6) 周囲温度、湿度	-10℃~+40℃, 90%
(7) 系 統	図 1 による

図 1 進行波管 UHF 100 W サテライト装置系統図

(8) 外 観 写真1 のとおり

(b) 性能 表1 のとおり

表1 総合特性

周波数特性	指定チャンネルの中心を基準とし $\pm 3\text{Mc}$ で $\pm 1\text{dB}$ 以内
雑音指数	Lバンド 8 dB, Hバンド 9 dB, Uバンド 10 dB 以下
AGC 特性	40~60 dB の受信入力
映像帯域内不要成分	(イ) 相互変調その他により生ずる映像帯域内不要成分は、ビデオ方式に換算して -30dB を目標とする. (ロ) ハム雑音は映像 p-p に対して RMS で -50dB 以下とする.
直線性	微分利得 15% 以内 微分位相 10° 以内
不正幅射	映像搬送波に対して -50dB 以下とする.
映像出力変動	真白から真黒に変化したとき出力の変動は 5 % 以内

2.3 結果ならびに技術の問題点

今回開発された M-4803 を使用し、所要の結果を得ることができた。また、混変調についてもカラー放送に際して充分可能であることが立証された。周波数特性、レベルダイアグラム、AGC 特性については図2, 3, 4 に示し、他は別項に記す。

図2 総合周波数特性

次に、進行波管形サテライト装置について問題点をあげる。

(1) 電源

進行波管の電源として問題となるのはヘリックス電源である。ヘリックス電源の投入はコレクタ電源より後から投入することが絶対必要であるが、これの立上りがあまり遅いと、進行波管の特性上約 $1/2$ ぐらいの電圧に達したときヘリックス電流が急激に増大し、その後で定常値になる。この際、ヘリックス回路に挿入されている過電流継電器が動作する。当初約 500 ms の起上がりでは投入時必ず過負荷継電器が動作した。したがって、この起上がり時間とコレクタ電源との投入の関係については充分注意しなければならない。また、アノード電極を分離してあるものについては、この電圧も必ずコレクタ電圧に対し同時または後で投入しなければならない。したがって、電極間の耐圧が充分であれば、コレクタ、ヘリックスを同時に投入し、アノード電圧を後から投入するのの一方法である。

(2) ヘリックス電圧

進行波管によりパルス性不規則ノイズを発生することがある。この場合ヘリックス電圧を調整することによ

図3 レベルダイアグラム

図4 AGC 特性

り、これを防止することができる。進行波管内のビーム透過率が悪くなり、ビームノイズが発生するものと思われる。進行波管の改良により防ぎうるものである。特に安定化した電圧を供給しなくとも SN 比 50 dB 以上を得ることができた。また、混変調に対してヘリックス電圧を調整し、最良の点を得ることができる。しかし、この差は $1 \sim 2\text{dB}$ 程度である。

(3) スプリアス

先にも記したとおり、進行波管は $500 \sim 1000\text{Mc}$ の間の帯域にわたり増幅するので、2波または3波が重畳した場合、当然スプリアス放射が発生する。極管においては帯域が規定されているので、スプリアス放射に対する増幅率も減少するが、進行波管ではそのようなことがなく、極管形に比しはるかに強い。 $f_0 - 4.5\text{Mc}$, $f_0 - 9\text{Mc}$, $f_0 - 13.5\text{Mc}$, $f_a + 4.5\text{Mc}$, $f_a + 9\text{Mc}$, $f_a + 13.5\text{Mc}$ 等のスプリアス放射が発生する。したがって、これ

を従来のようなノッチ形フィルタを使用することは不可能であり、バンドパス形フィルタにより所要の帯域外を減衰させることとした。 $f_v-4.5\text{ Mc}$, $f_a+4.5\text{ Mc}$ より、それぞれはなれた方向に対して 20 dB 以上の減衰を得るようにした結果、 $f_v-4.5\text{ Mc}$, $f_a+4.5\text{ Mc}$, $f_v-3.58\text{ Mc}$ の 3 本のノッチ形フィルタを挿入することにより、すべてのスプリアス放射も -50 dB 以上に抑制することができた。ただし、バンドパス形フィルタは所要バンド内の VSWR をよくしないと、反射波により進行波管を劣化させ、遂には発振させるおそれがある。現在このフィルタの通過帯域内の VSWR は 1.8 以下に押えている。

(4) 進行波管入力インピーダンス

励振器の出力を進行波管入力接栓と結合する場合、進

表 2 M4803 の定格

電気的特性		500 Mc	
周波数	最小	500 Mc	
	最大	1000 Mc	
ヒータ電圧		6.3 V	
ヒータ電流		8.5 A	
陰極予熱時間		240 sec	
機械的特性		全長 760 mm	
外形寸法		任意	
取付に関する事項		N形接栓	
高周波結合器	入力側	N形接栓	
	出力側	N形接栓	
磁界		磁界内蔵	
冷却方式		強制空冷(吸引)	
重量		約 16 kg	
陰極の種類		傍熱形酸化物	
最大定格		最小	最大
ヒータ電圧		5.7 V	6.9 V
陰極予熱時間		180 sec	—
陰極電流		—	900 mA _{dc}
コレクタ電圧		—	4000 V _{dc}
コレクタ電流		—	900 mA _{dc}
コレクタ入力		—	2.8 kW
ヘリックス電圧		—	4000 V _{dc}
ヘリックス電流		—	75 mA _{dc}
集束電極電圧		-100 V _{dc}	0 V _{dc}
コレクタ温度(測定点外、形図参照)		—	150°C
動作例		750 Mc	750 Mc
周波数		3300 V _{dc}	3300 V _{dc}
コレクタ電圧		750 mA _{dc}	750 mA _{dc}
コレクタ電流		3150 V _{dc}	3150 V _{dc}
ヘリックス電圧(出力を最大にしたとき)		15 mA _{dc}	8 mA _{dc}
ヘリックス電流		-20 V _{dc}	-20 V _{dc}
集束電極電圧(ビーム透過率を最大にしたとき)		0 mA _{dc}	0 mA _{dc}
集束電極電流		250 W	125 W
出力		30 dB	32 dB
利得		—	—
帯域幅(出力半値間)		1.5	—
熱状態入力側電圧定在波比		1.8	—
熱状態出力側電圧定在波比		30 dB	—
小信号時利得		400 W	—
飽和出力		3 m ³ /min	—
冷却量(強制空冷)		—	—

行波管の入力インピーダンスが悪いとミスマッチを起こす。これによって入力端にて反射を起こし、充分なる出力を得ることができなくなる。これに対しては入力に整合用スタブなどを挿入するのも一方法である。

3. 進行波管 M 4803

3.1 進行波管 M 4803 の特長

進行波管 M4803 のおもな特長を示すと次のとおりである。

(1) 利得が 30 dB 以上と高いため、板極管 3～4 本分の利得を進行波管 1 本でまかなうことができる。

(2) 混交調がカラー放送プログラムの検知限界に対して低い。

(3) 直線性が良好であり、ほぼ 300W まで 10% の直線性を有する。

(4) 入出力整合が良好である。

(5) 電源電圧変動に対する特性変化が少ない。

(6) 入出力回路は N 形接栓よりなっており、外部回路との接続は空胴を用いる必要がないため、管の取り付け、調整がきわめて容易である。

(7) 電子ビームの集束には、周期永久磁界装置 (P. P. M.) を用い、パッケージ形となっており、ソレノイド形の場合にくらべその電源を必要とせず、安定度が高く長時間調整の必要がなく保守が容易で無人局に適している。

(8) 全金属、セラミックより構成され堅牢で、かつ耐振構造となっている。

(9) 長寿命が推定される。

3.2 定格

進行波管 M4803 のおもな定格を示すと表 2 のとおりである。

3.3 構造

進行波管 M4803 の外觀写真を写真 2 に、ま

写真 2 M4803 外観

図 5 原理図

た、原理図を図5に示す。管の構造は主として電子銃、遅波回路（電磁波をこれに伝搬させ、その位相速度を遅らせて電子ビームとのエネルギーの授受を行なわせる回路）、入出力結合回路、コレクタ、集束磁界装置から成るが、すべて金属とセラミックを用いているので、堅牢で、耐振、耐衝撃性が高い。

(1) 電子銃

電子ビームを発生する電子銃は、その設計基礎をピアス形にしているが、パービアンスが4.2 μ pと高いので実験により補正し、集束電極電圧が0～60Vで、加速電極でのビーム透過率はほぼ100%となっている。

陰極は、高電子流密度に耐え、またイオン衝撃に強いモールド形陰極を採用しているので、動作中の安定度が高く、長寿命が期待できる。

(2) 遅波回路

電磁波を伝搬させ、その位相速度を遅らせる遅波回路としては、耐熱性、機械的強度の高い金属線よりなるヘリックス構造を採用し、動作中過励振となり電子ビームが当たっても、ガス放出がないよう十分な処理が施されている。また、ヘリックスの支持には、耐振性を充分考慮しているので、垂直支持で、管に振動、衝撃が加わっても、マイクロフォニックノイズを発生しない。ヘリックス支持棒の途中には、発振防止用の減衰が施されており、負荷を短絡、開放しても発振しないような安定度が得られている。

(3) 入出力結合回路

ヘリックスと外部同軸回路との結合は、N形接栓を介して行ない、同軸回路の内導体が直接ヘリックスに接合されているため、広帯域にわたり良好な整合特性を得て

図7 入出力特性の一例

いる。

(4) コレクタ

電子ビームがコレクタ内面で充分拡散し、その発生熱をすみやかに放熱翼に伝えるよう設計されている。

(5) 集束磁界装置

ヘリックスの内側にその全長にわたり一定の直径で電子ビームを通すために、電子ビームを磁界装置で集束する必要がある。この磁界装置としては、セットの簡易化信頼度の向上、保守の容易さの点を考慮して、特に周期永久磁界装置(P.P.M.)を用いた。連続出力100W以上の高出力進行波管でP.P.M.を採用したのは世界でも初めてと思われる。この磁界装置の断面図を図6に示す。永久磁石としては、フェライトマグネットを使用している。

3.4 特性

進行波管 M4803 の諸特性を次に示す。

(1) 入出力特性

各電極電圧を固定し、入力を変えたときの出力と利得の変化を図7に示す。テレビジョン100W放送では、映像尖頭出力100W、音声出力25Wであるから、合成出力の尖頭値が225Wとなるため、少なくとも250Wまでは直線性が保たねばならないが、図のとおりM4803では、これが充分確保されている。

(2) 入出力結合回路の整合特性

入出力部の、管の動作時、非動作時の電圧定在波比を図8に示す。実用上必要なのは、動作時の入力と非動作時の出力整合であるが、これは600～800Mcにおいて電圧定在波比1.7以下ですぐれた整合特性を示している。

(3) 混変調特性

進行波管がテレビジョン信号の増幅に使えるか否かの大きな決定要因の一つに混変調特性がある。これはカラー信号が非直線素子を通るとき、相互干渉により920kcのビートを生ずる現象で、このビート成分と映像搬送波レベルとの比で定義される。この測定回路は図9のとおり。

図8 入出力整合の一例

図 9 混変調測定回路系統図

図 10 ヘリックス加速電極電圧対利得、混変調特性

りである。

一般に、混変調の値は実用上からは 25 dB がプログラムでの実用限界といわれているが、種々の対策を行なった結果、現在 25~27 dB 程度となっており、カラー受信の場合、混変調による画質の低下はほとんど一般画像では認められず、充分実用可能である。

(4) 諸特性の電圧依存性

ヘリックス、加速電極電圧が変動した場合の M4803 の利得および混変調の変化を図 10 に示す。この場合、ヘリックスと加速電極とは同電位である。これより混変調最

適の電圧から ± 100 V 変化したときの利得偏差は ± 1.0 dB、混変調の偏差は ± 1.0 dB であり、この程度の偏差は、実用上ほとんどさしつかえないと考えられる。ヒータ、集束電極、コレクタ各電圧変動の特性に及ぼす影響はさらに少ない。したがって、各電極電圧は、 $\pm 3\%$ 以内にその変動をおさえればよいので、これは、セット全体の入力電圧を IVR などの自動電圧調整器で制御できる範囲である。従来、進行波管の電源は、電子管あるいは半導体で自動電圧調整を行っていたが、M4803 の場合この必要がなく、セットの簡易化、信頼度の点を特に考慮して、IVR のみで電源の自動電圧調整を行っており、安定な動作を続けている。

(5) 寿命特性

東芝製パッケージ形進行波管は、140 本ほどが、1900 Mc, 7000 Mc, 7500 Mc 帯のマイクロ回路中継用に使用され、30000 時間以上の平均寿命を有する実績を得ている。M4803 もその設計、製造に当たって、これらマイクロ波回路用進行波管と同等以上の寿命に対する考慮がはらわれているので、長寿命が期待される。

4. む す び

以上が進行波管を使用した UHF サテライト装置の概要であるが、本装置を使用し東京テレビ民放 5 社共同建設になる小田原中継局も、運用開始以来約 2 カ月を経過した現在、安定な動作を続けており、引き続き建設中の銚子局および矢板局においても本方式を採用するとともに、さらに一段の改善を期して鋭意努力を重ねている。

本方式は将来の UHF サテライト装置の新しい行き方を示すものと考えるので、ここにその現状を報告した次第であるが、本装置および進行波管の開発に際して多大のご尽力をいただいた NHK はじめ関係者各位に厚く感謝の意を表する次第である。

(昭和 39 年 11 月 16 日受付)

(34 ページから)

ネサベース Cs-Sb 光電陰極は飽和特性、 γ 特性、時間分解能などガラスベースのものよりすぐれており、特に低温においても常温と同じ性能を発揮する。ヘッドオン形の光電陰極にネサベースを用いることによって、種々の光電変換管の性能の改善が期待できる。

さらに、ネサベース Cs-Sb 光電陰極は動作時の光感度の変動が、ガラスベースのものより小さい。これは動作時の変動は、光電流に伴う Cs^+ の移動によるものであると考えると説明がつく。 Cs^+ がいかに動きやすいかは光電膜に電流を流した後、光起電圧を測定することによって明示することができる。

おわりに、本研究にご指導をいただいた浜田成徳先生和田正信教授および管球の製作にご尽力いただいた渡辺豊技官に深く感謝いたします。(昭和 39 年 9 月 8 日受付)

【参 考 文 献】

- 1) 萩野, 高橋, 和田: Cs-Sb 光電陰極の組成比とその特性, 昭 37 電四連大, 984
- 2) J.A. Burton: Photoelectric and Optical Properties of Cesium Antimony Films, Phys. Rev. **72** (1947) 531-532
- 3) F. Wooten: Enhanced Photoemission and Photovoltaic Effects in Semitransparent Cs_3Sb Photocathodes, J. Appl. Phys. **33** (1962) 2110-2112
- 4) H. Miyazawa & S. Fukuhara: Electrolytic Conduction in Cs_3Sb , J. Phys. Soc. Japan, **7** (1952) 645-647
- 5) 佐方利道: Cs-Sb 光電陰極の電子現象についての研究, 研究実用化報告 (電々通研) **4** (1955) 418-460