

送信設備

地上デジタル放送用送信装置の概要

Outline of Digital Terrestrial TV Transmitting Equipment

小室 憲司*

Kenji Komuro

大久保博文*

Hirofumi Okubo

牧山城二*

Joji Makiyama

福地 章夫*

Akio Fukuchi

酒井 和彦*

Kazuhiko Sakai

武田 陽夫*

Haruo Takeda

要 旨

NECは国内向けに地上デジタル放送用送信装置を新たに開発し納入しました。設計に当たっては、省スペース化、サービスエリアの確保、24時間放送対応、保守性などを十分考慮しました。この結果、小型・高性能でモニタ機能の充実した装置を実現し、さらにシームレス切り替え可能なシステムを構築できました。

本稿では、納入した地上デジタル放送用送信装置の概要について上記観点を中心に述べます。

NEC has supplied a lot of digital terrestrial TV transmitting equipment to the customers in Tokyo, Nagoya and Osaka areas. NEC has considered saving a floor space, maintaining a service area, 24-hour broadcasting, maintainability, etc. in design. Consequently, NEC has realized the equipment which has small footprint, excellent performance and substantial monitoring ability. In addition NEC has developed the system that can be changed seamlessly.

This paper gives an outline of the digital terrestrial TV transmitting equipment focusing on the above-mentioned viewpoints.

1. まえがき

2003年12月1日に東京、名古屋、大阪の三大都市圏で地上デジタル放送が開始されました。すでに欧米では1997年から開始されており、NECはこれまで470式の送信機を納入しています。国内向けの地上デジタル送信装置を構築するに当たっては、これらのノウハウを十分に生かしつつ、さらに国内独自の要求を満足すべく開発・提案活動を行いました。この結果、NECの送信機は東名阪の7割以上の局で採用されました。本稿では国内向けに特に留意した点を

中心に、地上デジタル放送用送信装置の概要を述べます。

2. 地上デジタル放送用送信装置の概要

送信システムの系統例を図1に示します。スタジオ装置からのTS (Transport Stream) 信号はSTL (Studio to Transmitter Link) 装置や光伝送路で送信所に伝送されます。STL装置からは、TS信号のみならずフレーム同期信号および基準クロックが出力され、現用/予備両系のOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 変調器に入力されます。OFDM変調器出力は高速切替器で分配切替された後、送信機に入力されます。

送信機では励振器内のアダプティブデジタル補償器で電力増幅器の非直線歪を前置補償した信号が電力増幅器に入力され、所望の電力で出力されます。送信機の出力はBPF (Band Pass Filter) を通過した後、無停波切替器により現用/予備の選択がなされアンテナに出力されます。

以下にその特徴的な部分について詳細を説明します。

2.1 装置の小型化

デジタル用局舎を新設しない場合は、アナログ用局舎の空きスペースに地上デジタル放送用送信設備を設置せざるを得ず、必然的に小型化/省スペース化が求められます。

省スペース化を実現するために、変調器、高速切替器、エキサイタ、コントロールユニットなどを1Uサイズ、またPAに関しては2Uサイズとし、ラックの実装効率を高めました。

水冷送信機の場合は、電力増幅器に電源を内蔵し、冷却プレートの上下に増幅部と電源部を実装することによりユニットの小型化を実現しました。3kW水冷送信機のラックサイズは630(W) × 1,200(D) × 1,900(H)mmです(写真(a))。

一方空冷送信機の場合は、その冷却方式から電源を電力増幅器に内蔵するメリットがないため、メンテナンス性を考慮して電力増幅器と電源を別ユニットとしドッキングする構造としました。冷却システムとしては冷却効率および

* 放送映像事業部
Broadcast and Video Equipment Division

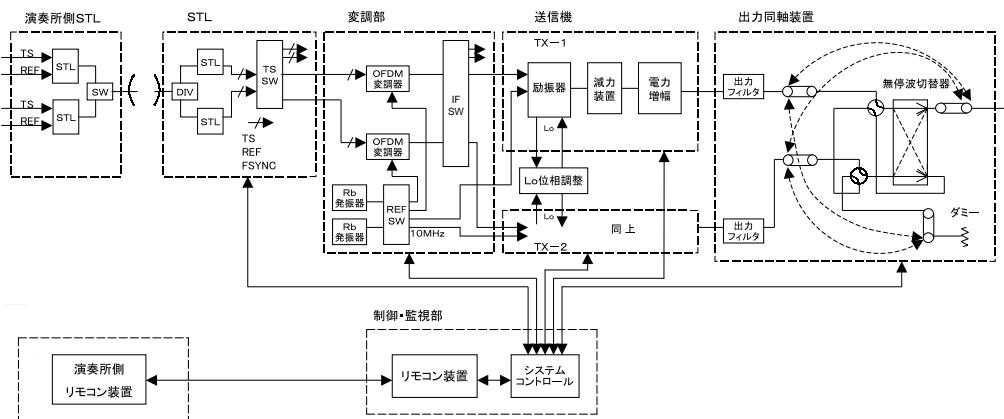


図1 送信システム系統図

Fig.1 Block diagram of digital transmitting system.



写真 3kW デジタル送信機

Photo 3kW digital TV transmitter.

実装効率を高めることができますハイブリット冷却方式を採用しました。

この方式は、各発熱部分に直接冷却風を吹き付ける方式で、電力増幅器内のFETの配置に自由度を与えることができます。これにより、空冷においても小型化を実現することができました。3kW 空冷送信機のラックサイズは1,000(W) × 1,400(D) × 1,900(H) mmです(写真(b))。

2.2 24時間化対応

放送の24時間化の流れのなかで、夜間の保守時間は今後ますます短くなることが予想されます。このため昼間メンテナンスの必要性がこれまで以上に高まっています。昼間メンテナンスを実現するためには、現用/予備のシステムを採用することが必須ですが、その切り替えもオンエア中に実施する必要があるため、新たに半導体スイッチを用いた高速切替器および送信出力無停波切替器を開発しました。

(1) 半導体スイッチを用いた高速切替器

変調器出力、Rb(Rubidium)発振器出力および送信機1台方式の場合の励振器出力の切り替えに半導体スイッチを用いた高速切替器を開発しました。

この切替器は、高速で信号を切り替え、その不連続部分をOFDM信号の誤り訂正で吸収するため、切り替え時に映像が乱れることはありません。図2に要求性能を導き出す

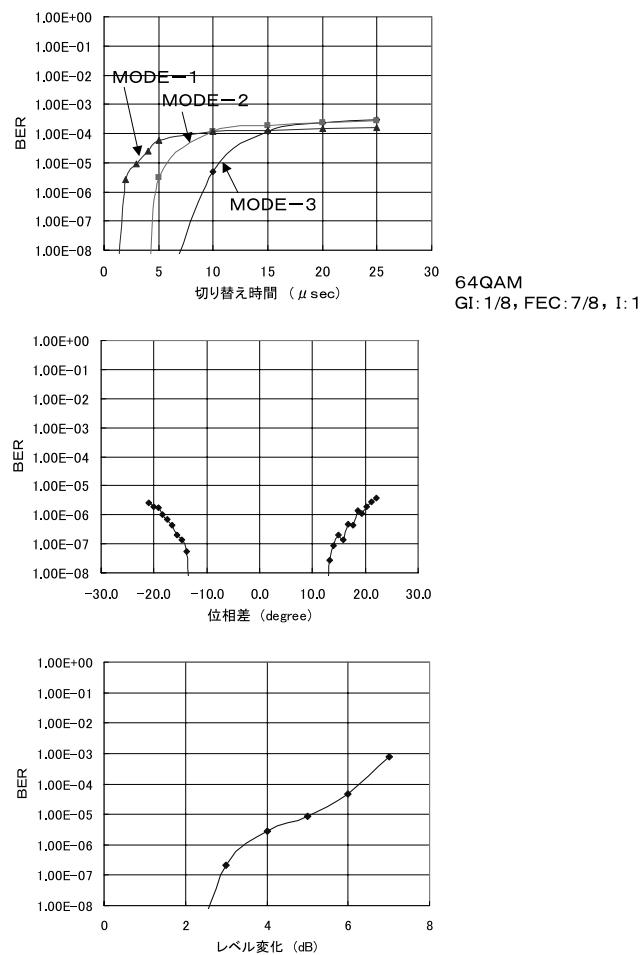


図2 切り替え条件と信号劣化

Fig.2 BER vs. switching parameters.

ための評価結果を示します。これにより、切り替え時間は1us以下、入力の2信号の位相差は10度以下、レベル差は2dB以下が必須であることが分かります。

開発した高速切替器は、切替部に高速半導体スイッチを使用し、さらに入力の各系統に位相調整器を組み込むことにより、上記必要スペックを十分に上回る性能を実現しています。

上記位相調整は現用側の信号に影響を与えないように、予備側を調整する手段を探っています。

(2) 無停波切替器

送信機出力の切り替えには通過電力がkWクラスであるため、信頼性を考慮して高速切替器ではなく2系統の合成比率を漸次変えて無瞬断で切り替えを実現する方式を採用しました（特許第3529349号）。図3に無停波切替器の概念図を示します。

無停波切替器の主な構成要素は2式の3dBカップラとそれにはさまれた可変リアクタンス素子です。可変リアクタンス素子の短絡部を $\lambda/4$ から $\lambda/2$ に変化させることにより、アンテナ出力を1号から2号に連続的に無瞬断で切り替えます。切り替え時間は約1秒であり、この間は1号送信機と2号送信機の合成状態となるため、信号の位相が一致している必要があります。

システム上は同一の変調器出力を2系統の送信機に分配しているため、UHF（Ultra High Frequency）帯への周波数変換に使用するLo（Local）発振器の位相を合わせる必要があります。各Lo発振器はRb発振器に同期していますが、位相も合わせるために、図1の系統図に示すLo位相調整器を使用します。このユニットでは、予備側送信機のLo位相を現用側送信機のLo位相に合わせるように調整します。無停波切替器は可変リアクタンス素子を使用しているとはいえ、信号の通過する部分は3dBカップラとショートスタブという信頼性の高いきわめてシンプルな構成です。メンテナンスのための無停波切替器が不要な場合には、さらにシンプルな同軸切替器で現用/予備を構成するシステムも構築可能です。

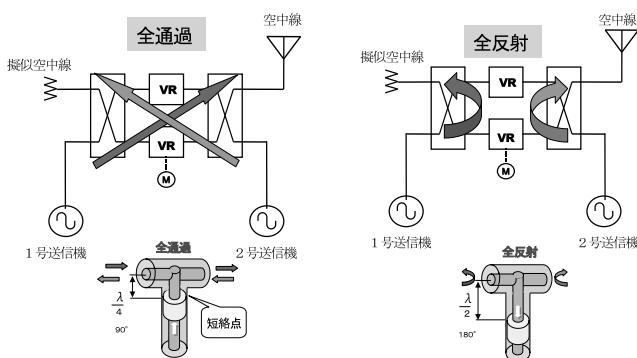


図3 無停波切替器の概念図

Fig.3 Concept of seamless switch.

2.3 サービスエリアの確保

デジタル放送はアナログ放送と異なり、所要C/N（Carrier/Noise）が得られないと受信できなくなります。このため出力電力、性能の維持が従来以上に求められます。送信機に求められる特性は主にIM（Inter-Modulation）と位相雑音です。特にIMは電力増幅器の非直線性によって発生するもので、周囲の温度などの影響を受けます。このため、周囲の影響を受けずに常に高性能を維持するためにアダプティブデジタル補償器を導入しました。

図4にその系統を示します。入力信号はデジタル化された後、補償用のメモリテーブルで前置歪が加えられます。この信号は再度アナログ化され、UHF帯に周波数変換された後電力増幅器に入力されます。一方、電力増幅器の出力は補償器にフィードバックされ、デジタル信号に変換されます。このフィードバック信号と入力信号をデジタル領域で比較し、その差が最小となるような補償値を計算しメモリテーブルに書き込みます。このメモリテーブルには前述の本線系に前置歪を与えるためのものと上記計算結果を格納するものの2つがあり、クロック単位でテーブルを置き換えるため、補償値更新による映像への影響は一切ありません。

また出力信号を取り込んで信号処理しているため、そのIMやMER（Modulation Error Ratio）などを特別な測定器を使わずに検出し表示することができます。万が一これらの値がある基準値以下となった場合には予備送信機に切り替え、信号品質を確保します。

2.4 保守性の向上

サイマル放送期間中は、アナログ送信機とデジタル送信機の両方のメンテナンスを行う必要があります。このため従来にも増して保守性の向上が求められます。

保守性の向上として考慮すべき点は、①性能の維持が容易であること、②万が一の故障の際に原因の特定が容易であることなどです。

①に関しては前述のアダプティブデジタル補償器により実現していきます。性能維持のために特別なスキルや調整時間を不要としました。

②に関しては、送信機の詳細情報を大型のカラーディスプレイに表示することなどで実現しました。出力電力のみならずIM、MER、コンスタレーション、さらには電力増幅器内各ブロックの電流などの情報を表示できるため、現

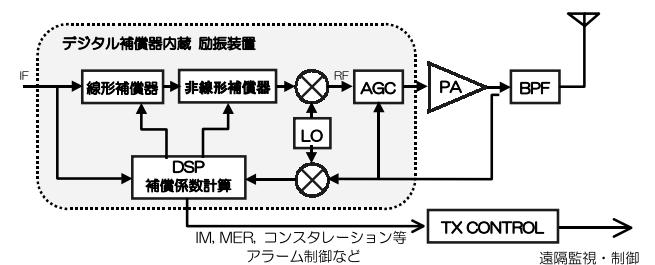


図4 アダプティブデジタル補償器の系統図

Fig.4 Block diagram of adaptive digital corrector.

在の動作状態を細かくチェックすることができます。出力電力や電流値などが、異常ではないものの正常値からずれている場合には、注意表示により異常に至る前に何らかのアクションをとることができますようにしています。また、状変ログ機能を有しているため、過去の履歴も確認することができます。

これらの詳細情報は、すべてリモコンに出力することができます。

2.5 送信機1台方式の性能維持

初期投資を抑えるために、放送開始当初は送信機1台方式でスタートする場合、機器故障時の性能をいかに維持するかが課題となります。

一般に送信機1台方式の場合、変調器や励振器は現用予備構成とし、電力増幅器を並列運転することにより冗長度を高めます。しかし、電力増幅器が故障した場合は出力・性能の維持が不可能となります。これに対して、必要な電力増幅器の台数をNとしたときに、N+1台の電力増幅器を実装し、1台故障した場合に合成器入力を切り替えて残りのN台を合成して規定出力を得る方式もありますが、高電力の合成器入力の切り替えを伴うため、信頼性の確保が課題となります。

この点を改善すべく、N+2台実装方式を提唱し、実現しました。通常は電力増幅器の出力を定格からN/(N+2)倍に減力し、それをN+2台合成することにより装置の規定出力を得ますが、1台故障時には合成器はそのままで残りのN+1台の出力を(N+2)/N倍に増力する（すなわち定格にする）ことで規定出力を得ることができます。

送信機の規定出力をPoとすると、N+2台実装方式の場合の1台故障時の出力Pは以下の式のとおりとなり、Nがいかなる値であっても規定出力Poを確保できることが分かります（式の(N+2)/Nの項は、一台故障時に電力増幅器の出力を定格に増力することを示します。実際にはAGC（Automatic Gain Control）によりPはPoに一致するように制御されるため、増力は(N+2)/N倍より少なくなります。すなわち定格以下で使用されます）。これは、出力のみならず性能も維持できることを意味しています。

$$P = Po \left(\frac{N+1}{N+2} \right)^2 \times \left(\frac{N+2}{N} \right) = Po \left(1 + \frac{1}{N^2 + 2N} \right)$$

定常時のN+2台動作時には、電力増幅器への供給電圧を下げる使用することにより消費電力を極力抑え、また1台故障時には供給電圧を上げて出力電力および性能を維持する制御を行っています。

2.6 減力制御

東名阪に納入した送信機は、現在定格出力よりも減力した状態で運用されています。これはアナログ放送に干渉することを防ぐためであり、対象地域のアナログ変更完了後に増力する予定です。このため、容易に出力電力を変更できる機能が求められました。

減力時にも出力の安定性と性能を確保するために、本線系の減衰量を変えたときにAGCや補償回路へのフィードバック信号レベルが常に一定となるようにフィードバック系の減衰量も連動させることとしました。これにより、減力状態であっても、アダプティブデジタル補償とAGCが理想的に動作します。

3. むすび

2003年に開始された地上デジタル放送は2006年までに全国展開されます。本稿で概要を述べた装置は地方局でも順調に採用を決定していただいている。東名阪での経験を生かし、時期が集中することが予想される全国展開をスムーズに進められるよう、努力していく所存です。

最後に、本装置の開発に際し、ご協力・ご助言いただきました関係各位に厚く御礼申し上げます。

筆者紹介



Kenji Komuro

小室 憲司 1984年、NEC入社。現在、放送映像事業本部放送映像事業部第一システム部長。映像情報メディア学会会員。



Joji Makiyama

牧山 城二 1975年、NEC入社。現在、放送映像事業本部放送映像事業部第一システム部マネージャー。映像情報メディア学会会員。電子情報通信学会会員。



Kazuhiko Sakai

酒井 和彦 1985年、NEC入社。現在、放送映像事業本部放送映像事業部第一システム部マネージャー。



Hirofumi Okubo

大久保博文 1987年、NEC入社。現在、放送映像事業本部放送映像事業部第一システム部エキスパートエンジニア。



Akio Fukuchi

福地 章夫 1987年、NEC入社。現在、放送映像事業本部放送映像事業部第一システム部エキスパートエンジニア。電子情報通信学会会員。



Haruo Takeda

武田 陽夫 1990年、NEC入社。現在、放送映像事業本部放送映像事業部第一システム部マネージャー。映像情報メディア学会会員。