複数チャネル同時増幅可能な地上波デジタル放送用電力増幅器の検討

A Study on Multi-channel Power Amplifier for Digital Terrestrial Broadcasting

福地 章夫[†], 綾 美浩[†], 柳林 岳[†], 正会員 小室 憲司[†]
Akio Fukuchi[†], Yoshihiro Aya[†], Takeshi Yanagibayashi[†] and Kenji Komuro[†]

あらまし 極めて良好な直線性を有する電力増幅器を使用することで、複数チャネルを共通の電力増幅器で増幅すること(共通増幅)が可能になる。共通増幅を行うことでアンテナ共用器が不要となり、隣接チャネルでアンテナを共用することも容易となる。筆者らは超低ひずみの電力増幅器を開発し、多チャネル同時増幅の実現性を確認した。

キーワード：地上波デジタル放送，中継放送装置，共通増幅，MCPA

1. ま え が き

地上波デジタル放送の送信機に使用される電力増幅器には良好な直線性が要求され、平均出力電力は電力増幅器の飽和電力に対して 10 dB 程度低減(バックオフ)させる必要がある¹⁾。増幅器に 10 dB のバックオフがあれば電力増幅器の直線性を更に改善することで、複数チャネルを共通の電力増幅器で増幅すること(共通増幅)が可能になる²⁾。複数のチャネルを同時増幅できる電力増幅器を MCPA (Multi Channel Power Amplifier) と呼ぶ。

本稿では、新規に開発した MCPA を用いた送信機の構成を述べる。

2. 基 本 構 成

一般的に 1 本のアンテナを複数のチャネルで共用するアンテナ共用器は、共振回路により構成されている。したがって、その構造は機械的な要素が大きく、設計と調整が製造上のコストに大きな比重を持ち、通過電力への依存性が少ない。また、隣接したチャネルでアンテナを共用する場合には、共振器に極めて急峻な特性が要求される。そのため、比較的小電力の送信所での使用を考慮すると、アンテナ共用器が物理的・経済的に大きな割合を占めることになる。しかし、MCPA を採用することでアンテナ共用器が不要となり、複数のチャネルでアンテナを共用する場合で

も、小形で低廉な送信所を構成することができる。

MCPA を用いた送信機の基本構成例を図 1 に示す。比較のためアンテナ共用器を用いた構成例を図 2 に示す。

図 1 の共通増幅による送信機では、各チャネルの出力信号は、励振器(EX)出力端を合成器に印加し合成される。ここで使用する合成器は、ウィルキンソンタイプの合成器など、比較的帯域の広い合成器で構成される。この種の合成器で異なる周波数の信号を合成すると、合成損失が生じる。しかし、励振器の出力は微小電力であるので、合成損失が装置全体の効率に与える影響は少ない。合成器で合成された信号は、ひずみの発生しない MCPA で所望の電力まで増幅される。

図 1 共通増幅による送信機
Transmitter using common amplifier.

図 2 アンテナ共用器による送信機
Transmitter using channel combiner.

1999 年 9 月 6 日受付，1999 年 10 月 14 日再受付，1999 年 10 月 19 日採録

[†] 日本電気株式会社 無線事業本部 放送映像事業部 第一技術部

(〒183-8501 府中市日新町1-10, TEL 042-333-1097)

[†] Radio Operations Unit, Broadcast and Video Equipment Division, 1st Engineering Department, NEC Corporation

(1-10, Nisshin-cho, Fuchu-shi, Tokyo 183-8501, Japan)

図2のアンテナ共用器による送信機では、各チャネル毎に個別の電力増幅器を有し、所望の電力まで増幅した後、低損失のアンテナ共用器で合成される。所望の電力で合成するので、アンテナ共用器は損失の少ない狭帯域の共振器を用いた構成となる。

3. 要求される特性

地上波デジタル放送に要求されるスペクトラムマスクを図3に示す。OFDM信号を増幅するために電力増幅器に要求されるひずみ特性は、 $\text{IMD} < -35 \text{ dB}$ である。一方、共通増幅に必要な性能は $\text{IMD} < -50 \text{ dB}$ である。これは、共通増幅を行うと複数チャネルのIMDが隣接チャネルに落ち込む可能性があるためである。

地上波デジタル放送に使用するOFDM信号は多数のキャリアにより生成されている。キャリアの数が多数になると、IMDはキャリアの数に依存しない²⁾。したがって、複数チャネルを共通の増幅器で増幅する場合のIMDは、単一チャネルを増幅する場合のIMDと同程度であることが予想される。

以上から、15~20 dBのひずみ補償を行うことで、単一チャネル増幅に使用している電力増幅器を複数チャネル同時増幅に使用することができる。

4. フィード・フォワード増幅器

20 dBのひずみ補償はフィード・フォワード技術を使うことで実現可能である。図4にフィード・フォワード増幅

器の構成を示す。

フィード・フォワード増幅器について簡単に説明する。入力信号は2分配され、一方は主増幅器(Main Amp.)で所望の電力まで増幅される。この時、主増幅器の非線形特性によりIMD成分が発生する。入力信号の他方の信号は、主増幅器と同一の遅延量を持つ遅延線1を通過した後、主増幅器の出力信号の一部と逆相で合成され、主増幅器のひずみ成分だけが取り出される(ひずみ抽出ループ)。ひずみ成分は誤差増幅器(Err Amp.)に必要な電力まで増幅された後、誤差増幅器と同一の遅延量を持つ遅延線2を通過した主増幅器の出力信号と逆相で合成される(ひずみ除去ループ)。結果的にひずみは相殺され、ひずみのない出力信号が得られる。

フィード・フォワードによるひずみ補償は、プリディストーション方式によるひずみ補償と比べ「被補償電力増幅器の伝達関数の逆関数を持つひずみ補償回路が不要である線形回路からなるひずみ補償方式であり、大きなひずみ補償量が得られる」、「マイクロプロセッサなどを利用して回路の自動調整を行うことが容易であり、温度変化など外部要因に対して安定な特性を持つ増幅器を構成できる」等の利点がある。反面、大電力が遅延線を通すため「遅延線により出力電力に損失が生じ、効率が低下する」欠点も有する³⁾。

したがって、フィード・フォワード増幅器は比較的小電力の複数チャネルを同時に増幅する、小電力の放送局や中継放送局に適すると考える。

5. 地上波デジタル放送用電力増幅器の開発

筆者らは地上波デジタル放送に対応したUHF帯MCPAを開発した。本機の外観を図5に示す。

図3 スペクトラムマスク
Spectrum mask for ISDB-T.

図4 フィード・フォワード増幅器の構成
Block diagram of Feed-forward amplifier.

図5 本機の外観
A look of this MCPA.

本 MCPA は小電力の放送局や中継放送局で使用することを想定し、出力を 50 W とした。

図 6 に本機で、1 ch の信号を 50 W で出力したときのスペクトラムを示す。IMD は -50 dB 以下であり、良好な結果が得られた。図 7 にフィード・フォワード回路の効果を示す。「入力信号の IM レベル」は電力増幅器を経由せずに直接スペクトラムアナライザに入力したときの IM レベルであり、実験に使用した測定系の測定限界である。

「フィード・フォワードあり」のグラフは、本機の通常動作時の特性であり、2 本のグラフは上側波帯と下側波帯に現れる IM をそれぞれ示す。「フィード・フォワードなし」のグラフは本機で誤差増幅器を停止させた時の IM を示す。誤差増幅器を動作させることにより、所望の電力で IMD が 20 dB 改善された。図 8 に本機の温度特性を示す。IMD の変動は 1 dB 以下であり、出力電力の変動は 0.1 dB 以下である。従来の電力増幅器の性能は IMD の変動は 5 dB 程度であり、出力電力の変動は 0.5 dB 程度であることを考慮すると、極めて安定な特性が実現できた。

フィード・フォワード回路は、ひずみ抽出ループとひずみ除去ループから構成されており、十分なキャンセル量を確保するためには、各々のループで平衡状態が保たれている必要がある。キャンセル量は下式により与えられる。

(キャンセル量) = $10 \times \log\{(\text{振幅誤差})^2 + (\text{位相誤差})^2\}$

例えば、振幅誤差が 0.1 (0.8 dB)、または位相誤差が 0.09 rad (5°) であればキャンセル量は 20 dB となる。

主増幅器と誤差増幅器の利得や位相は、周囲温度などで変動する可能性がある。このため、増幅器の特性が変動した時に特性を自動調整する回路が必要となる。本機ではマイクロプロセッサを採用して、ひずみ抽出ループの平衡状態とひずみ除去ループの平衡状態を常に最適に保つよう自動調整を行っている。

同様に、主増幅器と誤差増幅器の周波数特性もひずみ特性の悪化要因となる。UHF 帯のテレビ放送に割り当てられている周波数は 470~770 MHz にわたり、MCPA の実用例がある携帯電話の周波数帯は 810~818 MHz であり⁴⁾、携帯電話の実用例に比べ周波数が低くかつ大きな比帯域が必要となる。本機では広帯域増幅器を主増幅器と誤差増幅器に採用することで 50 MHz にわたり所望の特性を得ることができた。

図 9 に本機で、隣接する 4 ch を増幅した時の出力スペクトラムを示す。各チャンネルの出力は各々 12.5 W で、合計電力を 50 W とした。4 ch を同時増幅した時の IMD は -51 dB であり、良好な結果が得られた。

図 6 1 ch 50 W 出力時の出力スペクトラム
Output spectrum with 1 channel 50 W output.

図 7 フィード・フォワード回路の効果
Effect of Feed-forward circuit.

図 8 50 W MCPA の温度特性
Gain and IMD variation by temperature.

図 9 隣接 4 チャンネル同時増幅時の出力スペクトラム
Output spectrum with 4 channel 50 W output.

6. む す び

以上の述べたように、超低ひずみの MCPA を開発することにより、多チャネル同時増幅の実現性が確認できた。今後は更に使用帯域を広げることで利便性を増して行きたい。

〔文 献〕

- 1) 高橋ほか：“OFDM 信号の非直線ひずみ解析”，映情学技報, BCS '98-33, ROFT '98-62
- 2) 野島ほか：“移動通信用超低ひずみ多周波共通増幅器”，映情学技報, RCS 90-4
- 3) 千葉, 野島, 富里：“双方向フィード形ドレイン電圧制御増幅器 (BDF-DVCA)”，映情学技報, RCS 89-33
- 4) 三島, 酒井, 福地：“国内向け 800 MHz 帯送信共通増幅器の開発設計”，日本電気エンジニアリングレビュー, No. 32

ふくち あきお
福地 章夫 1987 年, 千葉大学工学部電子工学科卒業。同年, 日本電気株式会社入社。移動通信用無線基地局の開発に従事。現在, 放送映像事業部第一技術部勤務。

あや よしひろ
綾 美浩 1984 年, 徳島大学工学部電子工学科卒業。同年, 日本電気株式会社入社。以来, 放送機器の開発に従事。現在, 放送映像事業部第一技術部勤務。

やなぎばやし たけし
柳 林 岳 1986 年, 神奈川大学工学部電気工学科卒業。同年, 日本電気株式会社入社。放送機器ならびに移動通信用無線基地局の開発に従事。現在, 放送映像事業部第一技術部勤務。

こむろ けんじ
小室 憲司 1984 年, 静岡大学大学院修士課程修了。同年, 日本電気株式会社入社。以来, 放送機器の開発に従事。現在, 放送映像事業部第一技術部勤務。正会員。