

RF
DESIGN SERIES

ワイヤレス通信用 RF電力増幅器の設計

RF Power Amplifiers for Wireless Communications Second Edition

高効率とリニアリティを両立するGHz帯増幅技術

見本

Steve C. Cripps [著]

草野忠四郎 [訳]

Chushiro Kusano

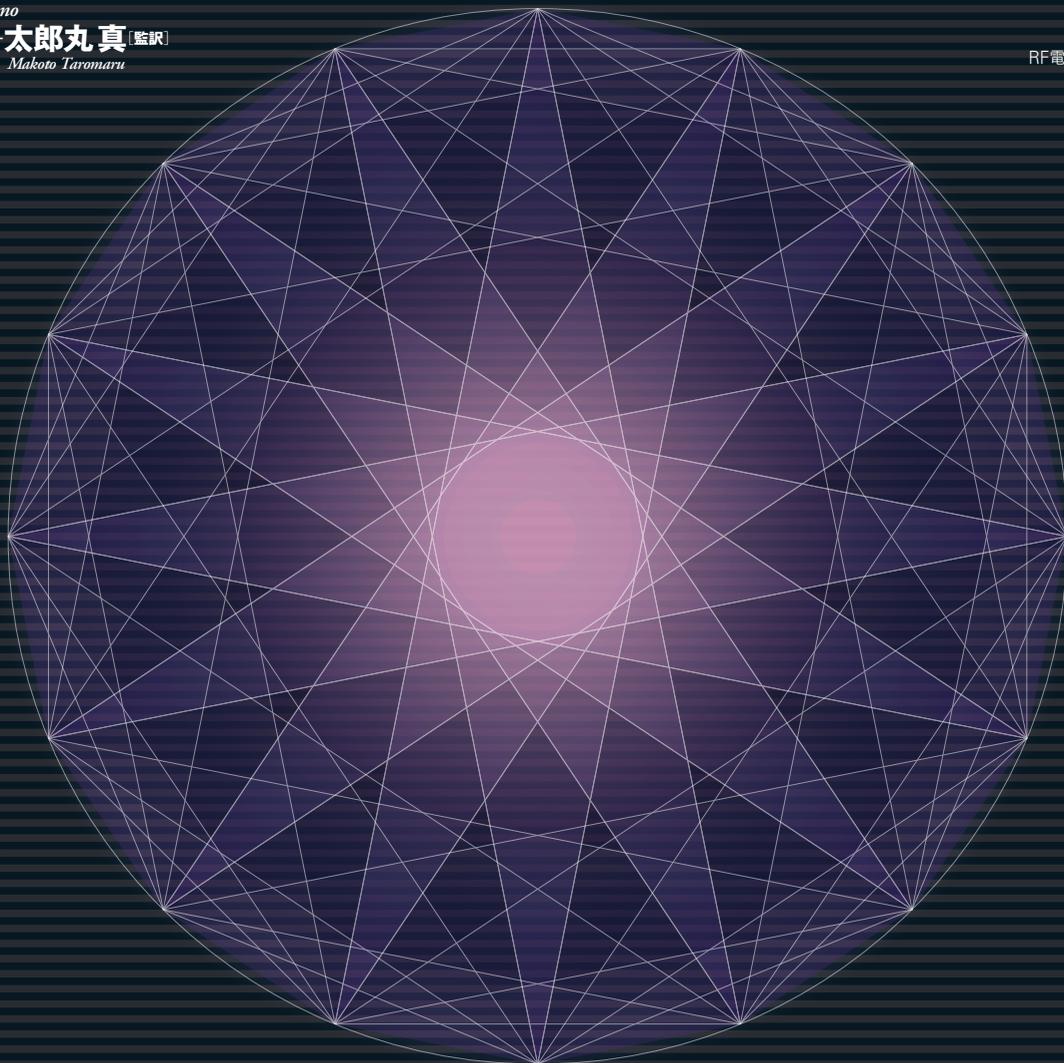
末次正太郎丸真 [監訳]

Tadashi Suetsugu Makoto Taromaru



CD-ROM付き

RF電力増幅器設計支援
ソフトウェア
PA_Wavesを収録



CQ出版社

第1章 序論

1.1 はじめに

RF 電力増幅器の設計に関する本の論理的な出発点として電力増幅器 (PA) とは実際にどんなものかを定義しよう。技術的な定義としては、与えられたアクティブ (能動) デバイスに対して最大電力を出力するように設計された増幅器と言えるであろう。このような定義は、本書で述べる多くの技術が“小信号”増幅器設計者にも関心を持たれるために役立つものである。例えば、受信機のフロントエンドに使われる増幅器から最大のダイナミック・レンジや低雑音性能を得る場合の問題は、PA 設計の問題として検討され、また第 2 章で述べる技術が適用できるであろう。

しかし、実際には“PA”という用語は我々にとっては何かにダメージを与える増幅器を意味することが多い。我々は“PA”という用語を聞いたとき RF 研究室において時々発生するひどく動揺した状況を思い出す。それは減衰器や終端装置が高温になって火傷しそうになったこと、高価な試験装置の寿命がうっかり大幅に縮まってしまったことなどである。つまりこれは“PA”という用語を使うとき我々は 1W レベル以上の RF 出力について話していることを意味している。このレベル以上で我々は、たとえ減衰器において安全に消費されるとしても増幅器の RF 出力を“感じる”ことができ始める。PA とは、その出力が直接か間接いづれにしても人間の感覚系統に影響を与える増幅器と言えるだろう。

その華々しさにもかかわらず、多くの電力増幅器設計は線形設計の単なる拡張か修正に過ぎない。従って、まず第一に全般的に増幅器をよく見ること、また線形 RF 増幅器理論の古典的な結果に関して思い出すことも大切である。しかしながら PA は多かれ少なかれ非線形性を示すアクティブ・デバイスで通常動作しており、従って、ただちに非線形モデリングと評価の問題に直面することになる。これは大きな課題であり、近年数百の論文や多くの本で重点的に扱われてきている。この本で焦点を合わせたことは、役に立つ実用的な **アプリオリ**^{注1} 設計方法の開発であり、本書を通して利用されるいくつかの非常に基本的なモデルを使った方法の開発に焦点を絞ることになるだろう。これらのモデルはこの章の 1.3 節や 1.4 節で導入し、強弱の非線形動作間の重要な区別について定義する。

線形 RF 増幅器設計と PA 設計の間にある原理的な違いの一つは、最適出力を得るデバイスの出力インピーダンスが線形共役整合に必要なインピーダンスでは得ることができないということにある。これは大変衝撃的であり、共役整合の意味合いと特徴に関する広い議論の課題となったものである。しかしながら、第 2 章ではこれにさらに拡張した解釈や解析を与える予定でもあるので、この明らかに受け入れ難い結果についてはできるだけ早く飲み込んでおいて頂かなければならない (1.6 節)。

注1 a priori. 経験によらず、原理から始める認識方法、演繹的。対立語はアポステリオリ (a posteriori) 経験則、機能的など。

第3章 従来の高効率増幅器の動作

3.1 はじめに

この章では従来のすなわち狭い導通角の高効率増幅器の動作について紹介する。これらはよく知られた AB 級，B 級，および C 級構成である。

アクティブ・デバイスを低静止電流となるようにバイアスし，RF ドライブ信号でデバイスを導通領域に振り込ませることにより高効率の RF 増幅器を作るという概念は非常に古く，真空管の初期の時代までさかのぼる。こうした理由のために今さら議論する価値のない基礎的な課題にすぎないと考えられることが多い。しかし，この章では実際には理想的なデバイス・モデルを使うような基礎的な解析にこそ多くの課題があること，また現在の無線通信システムの開発においても非常に重要であることを理解するであろう。

基本的な教科書より詳細だがダイレクトな解析を通じて，有効な効率改善を得るためには RF パワー・デバイスの導通角を狭くしなければならないことが示される。しかし，この方法では効率改善が不十分なことが多いことも示される。この動作モードでは一般的にドライブ・レベルを A 級条件から十分に高くし，信号周波数の高調波に対して適切なインピーダンス終端を与えることが必要である。多くの古い教科書では，すべての高調波は PA 素子の出力端での短絡を想定している。これによって解析が容易になり，真空管増幅器の時代にはこの条件を実現することが極めて容易であった。この点が現在のトランジスタに使われる整合回路トポロジの種類に関して少し混乱を生じている。この課題については第 4 章にてさらに詳細に議論する。

今日の無線システムは厳しい要求仕様を PA 設計者に課している。携帯電話端末用の PA は電池を浪費しないためにできる限り効率の良いものでなければならない。基地局も電力と冷却限界によって決まる効率仕様を課されている。別々の PA 構成を比較する場合の最も重要な概念の一つに“電力利用効率 (PUF ; Power Utilization Factor)”と呼ばれるものがある。この用語は本章で定義するが，基本的には検討している動作モードの素子から取り出せる RF 電力と簡単な A 級増幅器の場合に取り出せる電力の比である。PUF はコスト効率すなわち“ワット (W) /ドル”を示すものである。当該デバイスが A 級モードで出力する RF 電力の半分しか出力できないような構成ならたとえ高効率であろうと，固体素子の世界ではそういう利用にはストップがかかる。たとえ効率が 95%としても，二つのチップまたはサイズ 2 倍の 1 チップが規定の出力電力仕様を満たすために使用されなければならないとすると，これはただ単に 2 倍を消費するという問題ではない。つまりチップが大きくなるほど，RF 利得は低下し整合帯域は狭くなるという問題も出てくるのである。

また，一般的に無線システムはエンベロープ振幅の変化する変調方式を使用している。この課題については後の章で詳細に考察するが，本章の従来型高効率動作モードの解析においては重要な課題である。このため入力電力レベルの変化に対する AB 級モードの動作を考察する。これは 3.5 節の課題

第4章 GHz 周波数での AB 級 PA 動作

4.1 はじめに

前章で述べた古典的な PA 設計理論は、使用した能動および受動素子モデル両方において多くの理想化された仮定に基づくものであった。こうした理想化の限界は明確に定義されているにもかかわらず、実用的な PA 設計や製品における予測の多くは依然として古典的な結果に基づいている。そのような方法では GHz 周波数では有害な効果が見え始めるはずである。特に、RF パワー・トランジスタの入力における寄生容量の効果や I-V 特性の立ち上がり領域の特性が、古典的な結果をかなり修正することは間違いない。しかし、PA の顧客やユーザ・コミュニティには特に根深い普及した文化があり、それがこうした問題の詳細に対する解決策から目をそむけている。例えば、B 級増幅器の場合、予測される効率は 78.5% ぴったりにになっていなければ設計が何か間違っているといった具合である。従って、この章では現実の世界における PA 設計の詳細な様子を明らかにし、単に深く掘り下げるよりもむしろ議論することを優先するようにした。

問題は B 級 PA が、時には 78% を達成“できる”ことがあるという事実によって複雑になっている。そのような高効率率はさまざまな性能の妥協が電力と線形性でなされる場合に限るし、そうすればそれ以上の効率が出ることもあるが、しかしこれを達成した方法について印刷物になっているのをほとんど見たことがない。GHz 設計者にとって電流と電圧の波形を見ることが困難であることと、経験的な設計方法が広く普及してしまっていることから、このような知見はなかなか形に残せないものである。ここでは、不完全なデバイスや回路を扱う場合でも、時にはうまくいくことを理解するであろう^{注1}。つまり、ここでの目標はどのようにして？なぜ？を理解することにある。まず、出発点として古典的な AB 級における短絡された高調波終端に対する現実的状況の解析について取り上げよう。これは意外な新しい理論の領域に導くことになる。そこでは電力と効率の古典的な結果を、全く古典的ではない高調波インピーダンスの環境を利用することで依然として得ることができることが示される。また、これは極めて実用的なものでもある。

デバイスの I-V 特性における非線形性の効果、特にオン領域は厳密に言えば GHz 周波数動作に限定しているわけではないが、しかしこれらの効果が周波数に依存しているのを見かけることが多い。I-V ニー電圧の効果については第 3 章で定量化した。この章では非線形入出力特性の効果について、特に古典的な線形性に与える影響に関する事柄を強調して考察する。PA 設計者は AB 級動作時に“スイート・スポット”を示す特別な素子を何度も見つけている。そこでは、スペクトルひずみ成分が制限された電力ドライブ・レベルに対してゼロに低下している。こうした効果は通常古典的な AB 級電

^{注1} 原文 The bread can sometimes fall butter side up; パンを落としても、時にはバターを塗った側が上になる。マーフィの法則 “The bread never falls but on its buttered side” 「パンが落ちるときは、必ずバターを塗った側が下になる」

第5章 線形 RF 電力増幅器の実用的な設計

この章では前章の理論的でやや理想化した結果と設計式を取り扱い、それらを実用的な設計に展開する。従って、主たる焦点を整合回路の導出と解析および基本波の整合に対して適切に必要な高調波終端を与える構造に合わせる。適切な回路トポロジと素子値を決めた後に、設計は非線形シミュレータを使った試験に進められることになる。

論理的な出発点として高周波用途向けの整合技術を概観することから始める。無線通信周波数帯はほとんどの用途が磁気結合素子によって支配される低い周波数帯とほぼすべての整合に伝送線路が使われるマイクロ波周波数帯との間の領域に存在している。現在では良質の小型受動素子の入手が可能であり、無線通信帯域において集中定数素子と伝送線路の両方を組み込んだハイブリッド整合回路技術を使うことができる。必要な帯域幅は ECM (Electronic Counter Measures ; 電子対抗手段, 防衛技術) や Satcom (satellite communications ; 衛星通信) 用途よりもずっと狭いが、広帯域化技術の知見が役に立つことが明らかになるであろう。なぜなら、一般的には整合帯域を広くすることは大量生産における安定性を高めることになるからである。

設計結果をシミュレータでテストするために、適切なデバイス・モデルの開発が必要である。購入可能なデバイスに適切なモデルがないという第 1 章 (1.3 節) での見解に従い、簡単なデータシートのパラメータを用いて導出する利用可能なモデルの作成方法を 5.5 節で説明する。このようなモデルは必ずしも最終的な特性を絶対値で正確に予測することはできないが、回路トポロジと部品ばらつきに対する感度を評価する場合に非常に貴重である。この点に関しては 5.6 節で説明し、いくつかの B 級回路構成について設計と解析を行う。

前章で強調したように、すべての高調波の短絡終端という重要な要求はこの種の増幅器の設計で中心となる難しい課題である。簡単な解を共振伝送線路スタブの形式で見出すことができるが、多くの場合、それは基板やチップ面積によって使いにくいものであり非常に狭い帯域幅でしか最適動作しないことなどを理解するであろう。従って、別の解を得るための検討も必要であるが、主として基本波整合のための簡単な“ π ”型回路で高調波終端の役割も持たせるような間に合わせの解となることが多い。ロードブル測定の結果と組み合わせた経験的な設計法によって、高調波共振器による複雑さや帯域制限の影響なしに極めて満足できる結果を得ることができると説明されることが多い。

従って、定量的な方法によって不完全さに伴う悪影響の減少と使いやすい整合回路トポロジを考察することがここでは必要であろう。これは 5.7 節、5.8 節での主な課題であり、さらにこの点において第 4 章での J 級の議論と解析を結び付けることができるだろう。簡単な容量性高調波終端の利用によって、ややリアクタンス性に再調整した負荷インピーダンスにすることで、狭帯域共振器を使わずに非常に満足な結果が得られることを明らかにする。従って、J 級の手法はより広い帯域を必要とする設計に適応しており、この点に関して GaAs FET や HBT の両方に対する CAD 設計の例を使って説明する。

第6章 オーバードライブ PA と F 級動作モード

6.1 はじめに

これまで考察したすべての電力増幅器動作モードにおいて、RF 電流と電圧振幅は強い非線形動作の境界の内側に制限されるように注意してきた。つまりデバイス電流はその飽和点を超えないように、電圧はクリップまたはひずまないように制限されていた。これはすべて意図的であり、設計のルールがいずれの制限動作も望ましくないという前提に基づいていた。この前提は当該応用が現代の無線通信システムである場合には妥当なものである。すなわち、そこでは線形性は強い非線形性を伴いながらの高出力や高効率達成の可能性があるがなかろうが通常達成しなければならない重要な仕様である。変調システムやシステムにおける PA の具体的な用途によって、線形性、特に振幅の線形性が効率や RF 電力出力に対して二律背反のトレードオフとなる多くの状況が実際に存在する。このような用途は単一チャネル、FSK や GMSK のような振幅ひずみに対して強い一定振幅包絡線（エンベロープ）システムから、現在のスペクトル・マスク規格という制約の範囲内でかなりの振幅ひずみを許容する QPSK や DQPSK のような中間的な場合までを含む。

この章では一般的な A 級、AB 級および B 級モードの“オーバードライブ”条件における動作について考察する。オーバードライブの二つの明確な効果は別々に考察する必要がある。入力で大きくドライブされた場合のデバイス電流の飽和は高い RF 電力を生じること、しかし一般的に狭い導通角の場合を除いて効率での改善をほとんど生じないことである。興味深いシナリオとして電圧クリッピングを工夫した活用があり、それによって著しい効率改善を得ることができる。電圧クリッピングは望ましくない奇数次ひずみの影響を必ず持ち込むが、エンベロープ振幅が小さいか中間的な用途において利用できる効率向上と線形性の有効なトレードオフが存在することを示す。

ここでの議論と解析を進めるなかで、二つの新しいモード F 級と D 級が登場する。これらは簡単に定義することができるけれども、RF 電圧と電流の波形を知ることによって各々がいずれも実用的な条件においてのみ近似される限定的で理想化された状態であることを示す。実際に回路構成を記述した重要な文献が存在しており [1, 2]、この回路構成は基本的な数学的定義から提供される利点を実現するように工夫されたものであることが分かる。このため何が実際に F 級または D 級増幅器を構成しているのかについてある種の混乱を生じている。従ってこの章および本書の残りの部分では限定せずにこの用語を一般的に使って説明することを方針としている。このためここでは“F 級”という用語は能動素子の出力端における電圧波形が何らかの方法で正弦波から矩形波へ徐々に変換される一連の可能性を示すことにしている。

最初に電流と電圧がオーバードライブの条件にある簡単な A 級増幅器について解析する。ここでは 2 種類のオーバードライブ間の違いを説明し簡単な解析方法を確立する。その後 F 級と D 級条件を定義/解析し、次いで電圧クリップ条件下での狭い導通角モードに関するより具体的な解析を行う。

第7章 RF 用途のスイッチング・モード・アンプ

7.1 はじめに

この章では、RFPA 設計者に提起されるスイッチング・モード回路の可能性について考察する。この種の回路は長年にわたって DC - DC コンバータ用途に使われてきたが、高い周波数用途にもその可能性が提案されていることは確かである。これは特に“RF”の広い解釈に対して適用される。つまり、MHz から数十 MHz の範囲における高出力用途はスイッチング電力変換器の業界から技術と実践の両面で確かに恩恵を受けている。

しかし、GHz 周波数では頑強で反論できない中心的な問題がある。それはこうした周波数での RF パワー・トランジスタが簡単なスイッチング素子として現実的にモデル化できないことにある。これらの周波数および現在手に入るパワー・トランジスタ技術において、デバイスは線形領域を通過してスイッチのように十分速く動作することはできない。また、線形領域での動作は従来の PA 回路をシミュレーションする場合と同様に、回路シミュレーションに含まなければならない。こうした理由のために RF 設計者は多くの場合に通り返し、高周波用途には実現困難としてスイッチング・モードを捨てている。実際には“遅い”スイッチング速度の問題はより高い RF 周波数において完全に解決できないけれども賢明な方法で克服でき、さらに有効な RF 用途も存在するようである。非常に高い周波数での技術が相対的に低い周波数で使われる場合に、これは“グレー”ゾーンでいくつかの有効な用途をもたらす。すなわち 2GHz 以下での GaAs PHEMT や HBT がその例にあたる。

おそらく、最もよく知られかつ広く推奨されている RF 用途におけるスイッチング・モードは E 級モードである。最も基本的かつ初期の形式において、E 級デバイスでもほかのスイッチング・モード用途と同じように達成できないスイッチング特性の問題があったが、遅いスイッチングを許容しつつ従来の PA モードとは明確に異なる古典的なスイッチング・モード E 級 PA の派生型が現在は存在するようである。この変形 (metamorphosis) は重要なトピックスであり、それ自体を一つにまとめ第 8 章として提供した。すなわち、この章は主に 1000MHz 以下で実効的に使用することができる古典的なスイッチング・モードに焦点を当てている。

この章では、広帯域の抵抗負荷を持った単純なスイッチング・デバイスを考察することから始める。その後、負荷をチューニングする効果について考察する。このようなスイッチング・モードの増幅器は理想的なスイッチ素子を持つ場合でさえ、これまでの章で考察した B 級、F 級に比較して RF 技術者に意外なほど興味を持たれていないが、ここでの課題に対する有効な導入部として用いることができる D 級増幅器を次に考察する。理想スイッチング・モード形式における“完ぺき”な RF 増幅器は半波整流正弦波の電流と矩形波電圧によって作ることができる。これは最大 100% 効率の可能な基本波 RF 電力を生じるが、より高い周波数で実現することは難しい。

この章の残りの部分では詳細に E 級モードについて考察する。続く章への手掛かりとして、簡単な

第10章 高効率化技術

10.1 はじめに

振幅変調高周波信号の電力増幅では二つの固有の問題がある。一つは、電力増幅デバイスが定格値いっぱいの RF 電力レベルで使用される場合に、エンベロープ信号すなわち変調信号がある程度のひずみを生じることである。二つ目は、通常、従来の電力増幅器がデバイスの最大定格電力に近い唯一の電力レベルでのみ最大効率を示すように設計されていることである。ドライブ電力はその点からバックオフされるので効率は急激に低下し、たとえ RF 出力が減少しても熱消費が増加する。従って、全体的な影響は最大電力レベルか PEP (Peak Envelope Power) での効率よりずっと低い平均効率で判断しなければならない。

二つ目の問題の解決策は長い間に手が届くものになり、現在では極めて効果的なものが得られている。これらは“高効率化”技術と呼ばれている。一つ目の問題は、増幅器の入出力変換特性が与えられた電力の範囲にわたって線形であることを本質的に要求しているより難しい課題であり、その解決策は常にある限界を持っている。特に、高い線形性は通常低い効率とベースバンド周波数の制約という大きな代償を常に伴っている。それにもかかわらずこうした技術は広く使用されており、多くの送信用途において不可欠なものとなっている。論理的に言えば、“線形化”という用語は後者の分類にのみ適用されるべきものである。必然的に高効率化と線形化の両方の技術を使用している実施例もある。逆に言うと、特定の技術には高効率化か線形化のいずれかを重要な目的として組み込むことができるものもある。本章では、線形性の改善に限定せず、変調エンベロープ信号の条件下で主として効率を改善または向上する技術に焦点を当てる。線形化技術は第 14 章で取り扱った。

高効率化技術のいくつかはラジオ放送の初期の時代に発明された。当時の動機付けは発熱管理と運営費用にあった。数十キロ・ワットを出力する短波放送の送信機は運営費用の大きな部分を占める電力の多くを消費していた。三つの古典的な技術がこの分類に区別される。すなわち、ドハーティ (Doherty) 増幅器、最初は Chireix によって提案されたアウトフェーシング (Outphasing) 増幅器、そして単側波帯 (SSB) 送信機の初期に Kahn によって提案されたエンベロープ除去および再生技術 (EER) などはこの分類に区別される。

この章では、これらの三つの古典的な技術すべてをいくつかの最近の派生技術と共に考察する。特に、エンベロープ・トラッキング (ET) は、この見出しのもとでもう一つの重要な候補として登場したものである。これらの技術の背景にある基本的な理論について、この章である程度詳細に解析する。それはこの業界において最近の 10 年かそこらで経験した問題であり、最初は期待を持てる概念であっても、これらのいずれの技術も具体的に実現するには例に漏れず多くの問題を特に大量の用途においてもたらしている。このことが多くの研究論文はあるが商業製品は少ないという状況を生じている。デジタル信号処理 (DSP) は、複雑さと費用面で新たな問題をもたらすが、やっかいな領域

第12章 ロードプル技術

“ロードプル”という用語は PA 設計に適用される場合は婉曲的なものになっている。この用語は発振器の世界で使われ始めたものであり、そこで鍵となる仕様は出力負荷が公称値から外れるにつれて発振器が示す周波数変化、すなわち“引き出す”量である。PA 設計におけるこの用語は、可変インピーダンス・チューニング装置を使って PA デバイスの整合条件を決定する経験的なプロセスを意味する用語として使われている。

RF 回路設計に対する CAD 手法が利用可能になり世界中に広まったため、計算尺やスロット線路と同様にロードプル技術も絶滅寸前の瀬戸際にあるように考えられているかもしれない。しかしながら、進化の継続やさらに複雑で用途の広い市販のロードプルのハードウェアが手に入ることなどから判断すると、これは CAD 革新の中でうまく切り抜ける領域のようである。そこでこの章ではその継続的な利用の正当性を広く述べるよりも、現在のロードプル技術と能力について最新情報を提供することを目指した。

第 2 章で述べた A 級 RFPA 設計の基本的な負荷線による方法からいくつかの話題を取り上げる。1983 年というかなり以前に、著者（第 2 章[1]）は基本的なロードプル装置を使ってよく測定される卵型のロードプル電力等高線が、負荷線の原理を使って予測されることを証明した。A 級設計に対しては簡単な基本波のチューナの利用で十分であり、高調波インピーダンスは利得圧縮の開始までデバイスの性能に大きな役割を果たしていないと予想される。基本的なチューナ設計を 12.1 節で取り扱う。これまでの章で主なテーマであった AB 級動作は、ロードプル技術にとって困難な課題を提示している。すなわち、基本波だけでなく高調波インピーダンスも同様に調整可能であることが求められる。この目標に向かう場合、機械式チューナはさらに複雑になり、また選択肢としてアクティブ・ロードプルも検討しなければならない。これらの技術については 12.2 節と 12.3 節において比較検討する。

12.1 基本波ロードプルのチューナ設計

大部分のマイクロ波チューナは“スミス・チャートをカバー (cover) する”能力に基づいて構成、および評価されている。この目的に対して、リアクタンスの不連続部が 50Ω 伝送線路のある適当な長さ導入され^{注1}、不連続の大きさ^{注2}や線路上の位置を高精度に調整することができる。このようなチューナはマイクロ波実験室の引き出しの奥で今でも見つけられるマルチスタブ・チューナとは異なり、直接校正なしでも、それに続くインピーダンス経路に対する直感的な感触を与えることができる。

^{注1} アンプの出力と測定用の 50Ω 終端（疑似負荷）を接続する伝送線路（特性インピーダンス 50Ω）の途中に単位長さ当たりの容量（またはインダクタンス）が異なる部分を一部形成し、その部分の特性インピーダンスを 50Ω と異なる（多くの場合は低い）値とする、という意味。

^{注2} 上記単位長さ当たりの容量（またはインダクタンス）、またはその部分の特性インピーダンス。

第14章 電力増幅器の線形化技術

14.1 はじめに

PA 線形化は近年それ自体が課題になっており、産業界と学会の両方で研究開発に大きな投資がなされているのが見受けられる。これは専門書のテーマであったが[1-3]、最近では定期的な学会において1, 2の論文から複数のセッション、さらに完全なシンポジウムにまで成長している。また、ベンチャ・キャピタル投資の非常に活発な領域でもある。2, 3ヵ月ごとに、新しくスタートしたばかりの企業が、産業に革命を起こすような全く新しい破壊的な線形化 PA 技術を宣言する新聞発表が行われているようである。すなわち、もう一つの厳しい特許の領域でもある。この章では、PA 線形化技術の最新状況および概況について説明する。より焦点を絞った取り扱いについては、デジタル・ブリディストーションとフィードフォワードの話題にとどめた。それらの技術は現在利用されており、依然として無線通信用途への集中的な開発が進められている。その他のさまざまな種類のフィードバック技術については現在の無線通信用途における利用例が見られないので、説明はするが詳細な解析は行わない。

第10章では効率を改善する技術について述べたが、線形性や RF 電力出力への影響を定量化することは行わなかった。こうした技術は電池寿命や熱管理が決め手となる移動体システムにおいて極めて重要である。一方で、効率は重要ではあるが線形性に比べると優先度が下がる別の PA 用途がある。そのような用途としては、一般的に地上または衛星通信システムにおける単一または多チャネルの基地局用送信機などが挙げられる。ビジネス上の競争、特にわずかな周波数帯域の独占的使用に数十億ドルをも払ったシステム事業者間の競争は、新しい世代のスペクトル規格を産み出しており、それらはあまりに厳しいため受動部品でさえ規格に準拠できるとは想定できないほどである。伝統的に“許容できる”スペクトルひずみのレベルは $-30 \sim -40\text{dBc}$ の範囲に規定されることが多く、それらは現在の移動体通信システムにおける要求仕様よりも一般的に30dBか40dB高い。相互変調ひずみの要求レベルは単一チャネル用途の場合より数十dBも低いだけでなく、合成信号^{注1}のエンベロープ信号変化は数十MHzの周波数範囲における瞬時振幅変動を持ち得る。

これらの線形性仕様は RFPA にとって極めて難しい課題であるため、大部分の第1世代や第2世代のシステムでは図14.1に示すチャンネル化^{注2}の方法を用いた。この方法は、個々の信号間における相互変調ひずみの可能性を大部分取り除くという利点を持ち、また個別の増幅器設計が大幅に簡略化される。チャンネル化の方法の問題は適切なマルチプレクサ回路の設計と実現性にある。これら伝統的マイクロ波工学の記念物は、通常、銀めっきの高精度の機械式空洞共振器、魅力的な誘電体材料、また個々に調整が必要な星空のように多数のチューニングねじなどを搭載している。合成した多チャネ

注1 上記多チャネル基地局などで複数のチャネルの信号を加算合成した信号のこと。

注2 通常、「個別増幅方式」と呼ばれる。

CQ出版社

見本

このPDFは、CQ出版社発売の「ワイヤレス通信用RF電力増幅器の設計」の一部見本です。

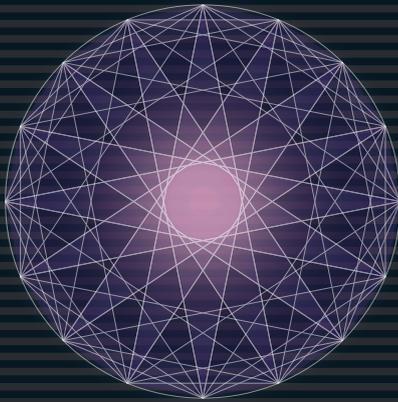
内容・購入方法などにつきましては以下のホームページをご覧ください。

内容

<http://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/46/46381.htm>

購入方法

<http://www.cqpub.co.jp/order.htm>



無線通信には送信機があり必ずRF電力増幅器 (PA) が使われています。PA設計の基礎となる原理は、数十mWから100W以上までほぼ同じです。しかし、LTE、WiFiなど、デジタル無線通信の革新が進むなかで、従来とは異なる複雑なトレードオフ (特に効率と線形性) がもたらされ、旧来のPA設計における概念の見直しが迫られています。本書の特長は、この伝統的な概念の最新状況への適合を、原理原則に基づく「アプリオリ (a priori) 的」設計により論じているところにあります。線形PAの基礎、ロードブル理論、高効率化、非線形効果とその対策、その他PAアーキテクチャやPA用電源などを、原理に基づいていねいに解説しています。