

# 2009 年度 実用マイクロ波技術講座のお知らせ

## ケイラボラトリー 小西良弘

講師 小西 良弘 元東京工芸大学教授  
本城 和彦 電気通信大学教授

### 講義内容

マイクロ波回路を設計・製作するうえで是非とも知っておく原理と、要求にこたえるための工夫に役立つ設計ノウハウを解りやすく説明する。

本講座は、基礎知識を速やかに実践に用いる事を目的とするので、実施の設計例も豊富に取り入れながら説明を行う。

この講座の受動回路では、フィルターとその応用回路及び、それらに必要な方向性結合器の利用に重点をおき、また能動回路では高出力増巾器の設計に必要な歪の問題とその対処法などを重点に講義する。

日程 5月21日(木) 10:00~12:00 13:00~16:00

講師 小西 良弘 元東京工芸大学教授

### ーマイクロ波フィルター及び分波器ー

資料 (CDROM) 当日配布

#### <概要>

マイクロストリップ線路、同軸線路及び導波管などの分布定数線路を用いたマイクロ波フィルターの構成を等価回路的な考え方を組み入れて、統一的な考え方で分かりやすく説明する。

また、狭帯域フィルターの設計に必要なインバーター回路をはじめ、広帯域フィルターの厳密設計をうるのに必要な種々の等価変換回路を具体例を示して説明すると共にそれで得た設計公式を事例と共に示す。

また、システム応用として分波器に必要な方向性結合器や種々の結合路線を設計公式と共に示す。

以上の説明において、実際に製作する時に必要な技術ノウハウを写真で示す。

#### 1. マイクロ波フィルターの構成と設計

##### 1-1 基礎知識

集中定数型LPF, HPF, BPF及びBRFの回路請求から分布定数型をうる構成法

##### 1-2 フィルターを合成及び解析する上で役立つ重要な等価回路

"集中定数回路を分布定数で置き換える等価回路及びKuroda, Kuroda-Lewinの等価回路、結合線路の4開孔を2ケの単線路回路で表現するMalherbeの等価回路について解り易く説明する。

##### 1-3 分布定数型BPFの種々の構成を得る方法

###### ① 狭帯域BPFの種々の構造と設計

構造としては分布結合線路で共振器系を結合するもの、集中定数型誘導または容量結合、ならびにそれに等価な導波管窓について述べる。

###### ② 広帯域BPFの種々の構造と設計

梯子型分布定数回路や、それに等価な導波管型について述べる。

###### ③ 通過帯域と減衰帯域間にトラップを入れる方法

入出力にステップインピーダンストラップを入れる方法と、クロスカップリングの方法を述べる。

##### 1-4 分布定数型BRFの種々の構成を得る方法と設計

###### ① 狭帯域BRFの種々の構成と設計

主線路と共振系とを疎結合する方法として結合線路を介する方法、共振系スタブを高インピーダンスにするための

2重同軸方式やそれをマイクロストリップ線路で実現する方法の他結合線路を用いる方法を述べる、

③ BPFよりBRFを得る方法と設計

方向性結合器とBPFを1ケづつ組み合わせて得る原理と特性例を述べる。

2. 分波器の構造例と設計

2-1 狭帯域分波器の構成と設計

分布定数型の場合の構造と導波管型の場合につき述べる

2-2 広帯域分波器の構成と設計

広帯域分布結合3dB方向性結合器と組み合わせて構成する方法につき述べる。

3. 結合線路の構造と設計値

3-1 疎結合(-10dB以下)の場合のマイクロストリップ結合線路による方法

結合度または偶モードと奇モードインピーダンスを与えて寸法を求める方法とデーターを示す

3-2 密結合(-3dB以下)の場合のブロードサイド結合ストリップ線路による方法

近似公式とシュミレーション結果を示す。

日 程 5月22日(金) 10:00~12:00 13:00~16:00

講 師 本城和彦 電気通信大学教授

ーマイクロ波増幅回路の高効率・低ひずみ化ー

資料および参考書(RF半導体回路・モジュール技術とシステム応用)を当日配布

<概要>

GaN-HEMT, InGaP/GaAs HBTなどのトランジスタを用いたマイクロ波電力増幅器を設計するために必要な基礎知識と、実際に高効率増幅器、低ひずみ増幅器を設計・試作・評価する手法を中級技術者向けに解説する。 トランジスタのモデリング法、非線形電子回路設計法、マイクロ波能動素子回路評価法の知識を得ることができる。

1. トランジスタの小信号等価回路モデル

1-1 等価回路とyパラメータ表現

トランジスタの実構造・動作原理から小信号等価回路を求め、yパラメータを導出する過程を解説する。これによりトランジスタの構造とyパラメータとの間の関係を掴むことができる。

1-2 各種電力利得の定義

マイクロ波帯でよく用いられる電力利得には最大有能電力、有能電力、トランスデューサ電力利得、最大安定利得とメイソンの電力利得があるが、これらの関係を説明し、適材適所の利用方法について解説する。

1-3  $f_T$ と $f_{max}$

トランジスタの高周波性能の指標を正しく理解する。

2. 大信号等価回路モデル

2-1 I V特性表現

正則関数として能動素子I V特性を表現するのに $\tan h$ 型関数が適している。この理由と、実際のトランジスタへの適用について説明する。

2-2 大信号キャパシタンスモデル

端子電圧の関数としてキャパシタンス値を表現するために、階段接合型p n接合およびショットキー接合容量の式をベースにして容量モデルが構築されていることを説明する。

3. マイクロ波増幅器の高効率化

3-1 ロードプル・ソースプル測定

効率測定の基本的方法を解説する。

3-2 ハーモニックバランスシミュレーション

マイクロ波非線形電子回路の代表的解析方法であるハーモニックバランス法をロードプル測定と対比しながら解説する。

3-3 動的負荷線と電流電圧波形

トランジスタの電圧・電流波形から、動的負荷線を求める方法を示し、理想的負荷線を導く。

- 3-4 A, B, C級増幅器  
電力増幅器の基本動作モードを解説する。
  - 3-5 D, E, F級、逆F級増幅器  
高効率増幅器の動作モードを解説する。高効率化と電流・電圧波形の関係を解説する。
  - 3-6 留数定理を用いた高調波処理回路の設計方法  
留数定理による集中定数リアクタンス回路網合成技術を用いた4次以上の高調波を処理するF級および逆F級負荷回路設計法について解説する。
  - 3-7 分布定数回路を用いた高調波処理回路の設計方法  
低損失な分布定数回路を用いた任意次数までの高調波処理が可能なF級負荷回路設計法について解説する。
  - 3-8 ドハーティ増幅器、LINC方式増幅器  
バックオフを大きくとったときの増幅器の電力効率を増大させる手法を解説する。  
また非線形飽和動作素子をもちいて線形増幅を行う古典的手法を説明する
4. 増幅器動作の低ひずみ化
- 4-1 隣接チャネルひずみ発生メカニズム  
非線形回路からは高調波とならんで、相互変調ひずみが発生する。このひずみは、単に一つのひずみ発生メカニズムから生ずるのではなく、種々の発生原因によるひずみのフェーザーベクトル和により生ずることを説明する。
  - 4-2 3次伝達関数による相互変調ひずみ  
AM・AM変換特性、AM・PM変換特性と3次相互変調ひずみの関係を示し、プレディストータ法による低ひずみ化手法を示す。
  - 4-3 電気メモリー効果による相互変調ひずみとその抑制  
3次相互変調ひずみは高調波やバイアス回路のインピーダンスにも大きく依存する。  
何故そのようなことが起こるのか、どのようにして抑止するかの手法について述べる。
  - 4-4 熱メモリー効果による相互変調ひずみとその抑制  
トランジスタの発熱は遅延を伴ったトランジスタチャネル温度の上昇となり、デバイスパラメータが変化する。  
これは非線形回路動作を意味する。このような熱現象と回路現象との結合をシミュレータ上で表現する手法について解説し、熱メモリー効果によるひずみ発生メカニズムを述べる。
5. 開発の実例
- 開発の事例を説明し、理論と実践の関係を理解する。
- 5-1 GaN HEMT 高効率増幅器
  - 5-2 高効率F級増幅器のひずみ抑制技術
  - 5-3 熱メモリー効果の電氣的制御技術