



LSI 設計教育の現状と課題 アナログ高周波教育の現状と課題

27 October, 2009

武藤 浩二

長崎大学 教育学部

Agenda / Contents

- ¶ 大学教育における現状
- ¶ 企業からの要望と現実
- ¶ 問題点
 - 教育実施上の問題点
 - デバイスの問題点
- ¶ RF 設計教育カリキュラム
 - 基本的考え方
 - 初級クラスの座学・実習・例題
 - 中級クラスの座学・実習・例題
 - 上級クラスの座学・実習・例題
- ¶ 絵に描いた餅にしないために

大学教育における現状 (1)

§ 講義科目の調査結果 (1)

¶ 電子回路系

- 電子回路, アナログ回路, アナログ電子回路
- アナログ集積回路, 集積電子回路
- 知能電子回路

概ね必修であるが, 時間数の少ない大学もある

¶ 高周波・マイクロ波工学系

- マイクロ波工学, マイクロ波回路
- 電磁波工学, 波動情報工学
- マイクロ波デバイス

選択科目, 立体・平面回路, MMIC が中心

大学教育における現状 (2)

§ 講義科目の調査結果 (2)

¶ 電子計測系

- 電気電子計測
- 応用電子計測, 電子計測工学
- 高周波計測

¶ 通信・伝送工学系

- ワイヤレス通信工学, 無線通信工学
- 情報伝送工学, 電波伝送工学

¶ 学生実験・その他

- 電気電子工学実験
- 電子機器学

高周波関連の実験がない大学もある

大学教育における現状 (3)

§ 浮き彫りとなった問題点

- ¶ 電子回路系科目
 - 高周波回路を取り上げることは稀
- ¶ マイクロ波・伝送回路系科目
 - 線路（ストリップライン・導波管）やデバイス中心
- ¶ 計測系科目
 - RF 特有の測定装置，測定方法に触れる時間がない
- ¶ 通信工学系科目
 - 変復調理論，ブロック図レベルのシステム構成
- ¶ 学生実験
 - 高周波回路に関する実験が一般的に削減（0 のケースも）

カリキュラム例 1 (A 大学・工・電気電子)

年次	必修科目	選択科目
1	基礎電気回路	—
2	電気回路 I/II (含演習) 電気磁気学 I/II (含演習) 電子物性 電気電子計測 電気電子工学実験 I/II	—
3	電子回路 基礎電磁波工学 電気電子工学実験 III	電子デバイス 通信方式 (変復調理論) 電波工学 (アンテナ・伝搬)
4	—	高周波回路 (伝送線路) 電子情報システム回路 (電源, 変復調回路等) 電子デバイス・プロセス 通信機器 (デジタル変復調) 通信法規 (電波法令) 電気電子工学実験 IV

カリキュラム例 2 (A 大学・院・修士課程)

前期開講科目	後期開講科目
電気磁気学特論	電力・エネルギー工学特論
電気機器特論	電子回路特論
電気回路特論	情報処理回路特論
放電・高電圧工学特論	アンテナ工学特論
電子デバイス特論	制御応用特論
電磁波応用特論	電磁理論特論
電気電子数学特論	電子物性特論
プラズマ電子工学	放電応用特論
プラズマプロセス工学	
システム制御特論	

青字：RF・集積回路関連科目

企業からの要望 (1)

§ 複数企業へのヒアリング結果

- ¶ 学部レベル
 - 一般的なアナログ回路の設計・試作・評価経験は必須
 - 例：低周波増幅回路
 - 個別部品レベル
 - RF 関連の基盤知識（整合，S パラ）は身につけて欲しい
 - 回路シミュレーション
 - 各解析の意味を理解して欲しい
 - 利得，歪み，SNR 等基礎的用語の意味を理解
 - (個別部品で) 複数の RF 回路の設計・製作・評価経験

企業からの要望 (2)

§ 高度な要求

¶ 修士課程

- OP アンプ等価回路の動作を理解できること
- RF 回路のシミュレーションができること
- 実際に試作して評価していること
- 半導体プロセス、モデルパラメータ、無線システム等

¶ 博士課程

- 修士課程要求内容をさらに高度に理解していること
- **感覚的に**アナログ回路を理解できること
- 温度特性や**バラツキ**について考慮した設計ができる

企業からの要望 (3)

§ 期待と現実の乖離

¶ 個人差が大きすぎる

- 本人の適性、指向性
- 教育カリキュラムの制約
- 研究室の気質、研究内容、教員の専門性
- 期待に応えるには「**三度のメシより RF が好き**」

§ 期待に応えるポイント

¶ 実戦につながる基本

- いか提供するか (大学サイド)
- いか理解しているか (学生サイド)

学生の資質とやる気



Source: <http://grin.hq.nasa.gov/ABSTRACTS/GPN-2000-001293.html>

コース教育実施上の問題点 (1)

§ 教科書・教材

- ¶ 適切な日本語の教科書がない
- ¶ 適切な実習教材がない
 - いきなりマイクロ波集積回路というわけにいかない

§ 測定器類

- ¶ 高価な機材が多く必要
- ¶ 例：LNA の特性測定 (S パラ, 2 信号特性, NF)
 - ネットワークアナライザ
 - 3 抵抗パワーコンバイナ
 - スペクトラムアナライザ
 - ステップアッテネータ
 - 標準信号発生器 (2 台)
 - 同軸ケーブル・コネクタ類
 - NF メータ及びノイズソース
 - etc.

コース教育実施上の問題点 (2)

§ 教科科目と体系

- ¶ 分かち難い「回路と測定技術」, 「回路と無線システム」
- ¶ 例: LNA の特性測定
 - 雑音整合
 - 歪み特性: 1dB 抑圧点, 相互変調, インターセプトポイント
 - 測定器の歪み特性

§ CAD・シミュレータ, レイアウト

- ¶ 多種の CAD ツール
- ¶ RF 特有のシミュレーション技法 (HB 法等)
- ¶ レイアウトの体系的教育

デバイスの問題点 (1)

¶ デバイス選定

- シリコン or 化合物
- MOS/MES or バイポーラ
現実的には **CMOS**

¶ モデルパラメータ

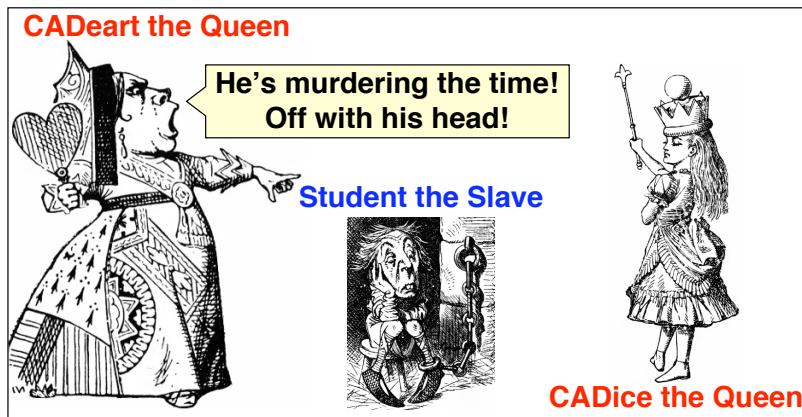
- PDK: 半導体メーカーの知的財産
- 個別部品レベル: バイポーラトランジスタアレイのみ公開
MOS トランジスタによる実験実習の構築は困難

¶ 受動素子, 基板材料等

- 高周波用モデルパラメータが必要

デバイスの問題点 (2)

- ¶ 素子の物理モデルと回路モデル (等価回路) の理解が必要
さもなくば「**CAD の奴隷**」



Picture drawn by John Tenniel.

RF 設計教育カリキュラム (1)

§ 基本的考え方

- ¶ 仮定: 低周波アナログ集積回路設計の初歩的知識・経験
- ¶ 理解させる内容
 - RF での (寄生) 素子のモデル化の重要性
 - シミュレーションの意義と限界
- ¶ 実習の考え方
 - VHF 帯での反射・整合を理解・体験
 - バイポーラ中心の個別部品で理解を深める



最終的に **CAD** を利用した現代的な設計の流れを理解させる

RF 設計教育カリキュラム (2)

§ 初級レベル

¶ 期待値

- 増幅器の周波数限界を支配する要素の理解
- 回路シミュレータのやっていることの理解

¶ 講座のポイント

- 低周波領域と高周波領域の振る舞いの違い
- インピーダンス整合
- 回路シミュレータの概要
- 高周波測定の基礎

RF 設計教育カリキュラム (3)

§ 初級レベル (cont'd)

¶ 実習・演習内容

- インピーダンス整合と電力伝送
- 回路シミュレータを使った回路解析

¶ 例題

- 低周波では無視できるが高周波では問題が顕著になる事例
- 伝送線路における反射と透過

¶ 注意事項

- 事例を集めただけでは単なるノウハウ集に過ぎない

RF 設計教育カリキュラム (4)

§ 中級レベル

¶ 期待値

- VHF 帯 LNA を個別素子で設計・評価できる

¶ 講座のポイント

- スミスチャート
- S パラメータ
- 回路の安定性
- AGC/VGA
- 無線装置及び無線システム
- 無線系独自の評価方法

RF 設計教育カリキュラム (5)

§ 中級レベル (cont'd)

¶ 実習・演習内容

- 個別部品による LNA の作成及び評価 (VHF 帯)
- 回路シミュレーションによる S パラメータ測定原理の理解

¶ 例題

- VHF 帯・非同調及び同調アンプ
 - 1dB 抑圧点評価
 - IP3 評価
 - スミスチャートによる整合回路設計

- ¶ 座学は GHz 帯を念頭に、
実習はスケールモデルとして VHF 帯以下で

RF 設計教育カリキュラム (6)

§ 上級レベル

¶ 期待値

- CAD による回路・レイアウト設計, 設計検証の流れを理解

¶ 講座のポイント

- RF での素子の等価回路
- 雑音指数と雑音整合
- 非線形性の評価とコントロール
- 無線系特有の評価方法 (上級)
- パワーアンプ
- ミキサ, 局部発振回路
- CAD 利用とレイアウト設計

RF 設計教育カリキュラム (7)

§ 上級レベル (cont'd)

¶ 実習・演習内容

- LNA の集積回路化設計と CAD による設計検証
- 無線系特有の評価方法実習

¶ 例題

- VHF 帯ミキサ
 - 雑音, IP3 の評価
- パワーアンプ
 - 線形 (リニア) アンプ
 - C/F 級アンプ
 - E 級アンプ

¶ CAD による設計検証までは必須 (試作は実施主体の判断)

絵に描いた餅にしないために (1)

§ 実施に当たっての問題点

1. 日本語による適当な教科書が乏しい
2. 教材をいかにして準備するか
3. 実習の構成にあたり, かなりの予備検討が必要
4. 実験環境の整備
5. 実験指導者の養成

絵に描いた餅にしないために (2)

§ 提言

¶ 必要な大学院レベルの教科書を作成

- 主な内容項目
 - 電力伝送と反射, 整合
 - 高周波におけるデバイスのモデル
 - アナログ回路レイアウトの基礎
 - 雑音
 - 非線形性
 - 高周波における回路測定と評価の実際
 - 無線システムの機能回路ブロック
 - 各種無線システムの方式・特徴, 仕様決定要領
- 1冊に完結する必要はない

絵に描いた餅にしないために (3)

§ 提言 (cont'd)

- ¶ 必要な実験教材を作成
 - 各種回路用の実験書作成及び測定環境開発
 - VHF 帯 非同調増幅器, 同調増幅器
 - ミキサ
 - 電力増幅器
 - デバイス: パラメータが公開されたバイポーラアレイ
- ¶ その他の留意事項
 - 実務経験者を中心にしたタスクフォースの編成
 - 経費: いかに安価にするか
 - 教材作成への大学院生の参加