

電子回路及び演習 講義案内

金沢大学 集積回路工学研究室(MeRL)

北川章夫

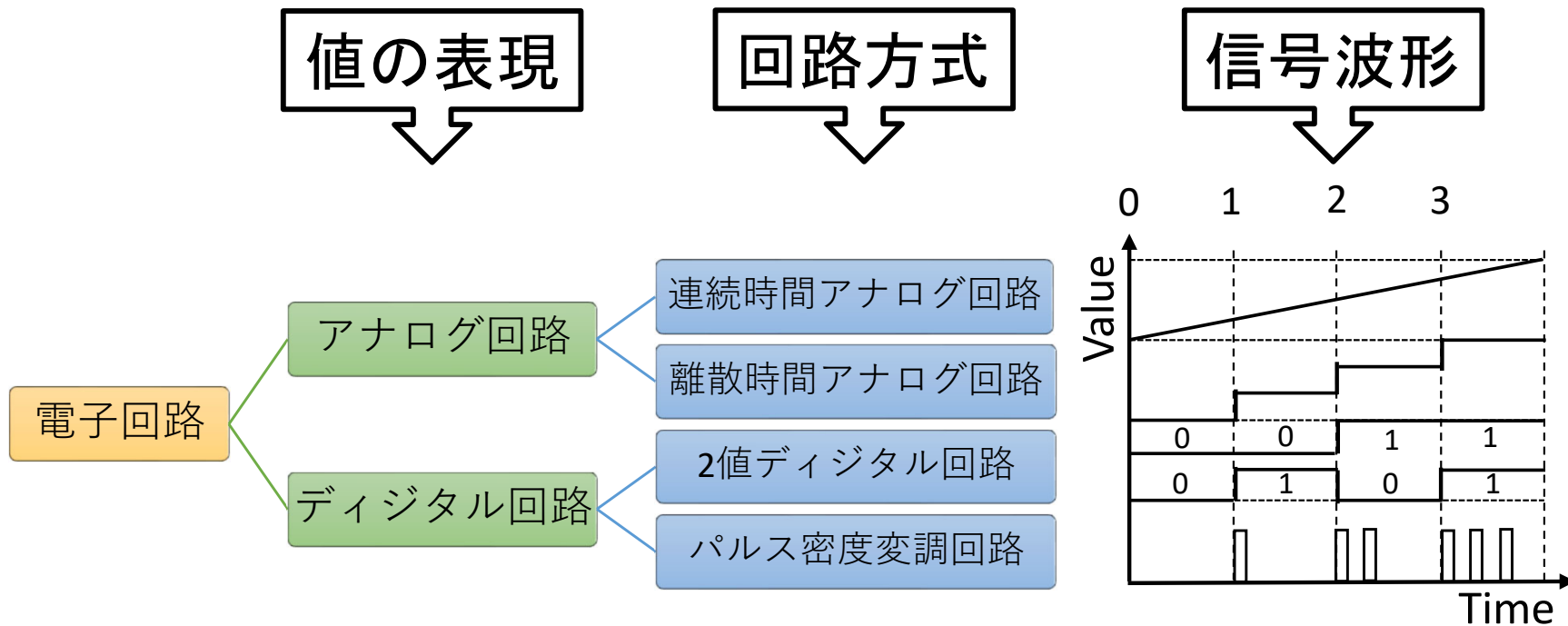
電子回路を学ぶ目的

- 電子情報通信技術全体の基礎知識
 - 電子回路(アナログ、デジタル)は電子情報通信技術全体の基礎概念を含んでいるので最初に学ぶ必要がある
 - アナログ、デジタル、ソフトウェア技術、通信技術の総合理解を目指そう(一つだけだとあまり役に立たない)
 - 新技術や新理論の意義をいち早く察知し実用化するために必要
- 研究開発の基本スキル
 - 試作やシミュレーションによるアイデアの実証ができる
 - 回路図やブロック線図の読み書きができると特許出願に有利
 - 仕様書の作成に必要(設計や製造の外注が可能になる)
 - 電子回路の設計者は他の専門分野から頼りにされる(研究開発資金が容易に得られる)

本科目の目標

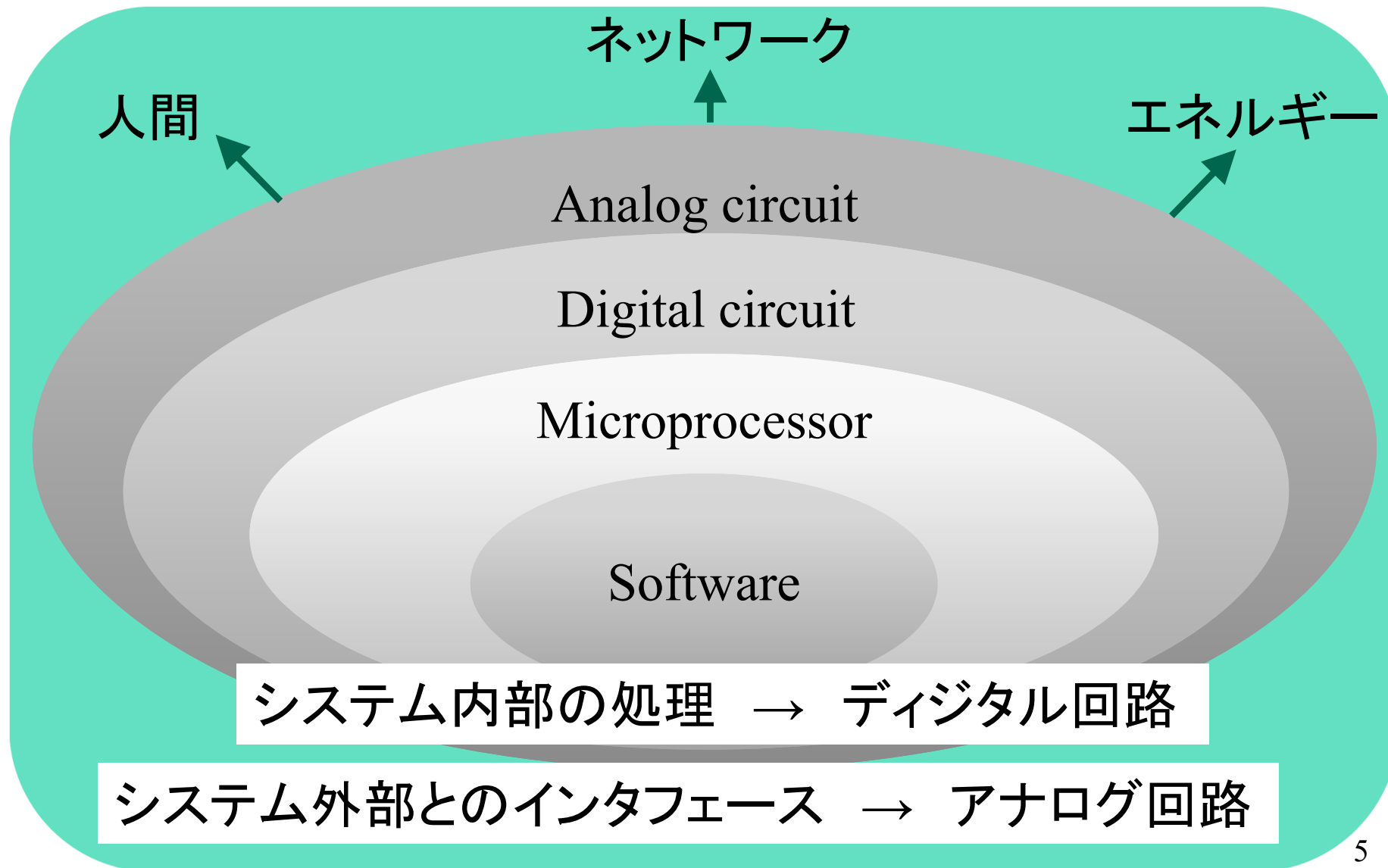
1. ブロックダイアグラムによるシステムの記述方法と解析方法を身につける。
2. トランジスタを基本とする現代的な回路設計と回路解析の手法を身につける。

電子回路回路の分類



本講義では、連続時間アナログ回路を扱う。その他の方式の回路は、時間と値の離散化(整数化)により得られる。

アナログとデジタルの関係



アナ-デジ連携から生まれる新技術



フィルム太陽電池による無線センサネットワーク(Innovation Japan)



活性酸素センサ (Sensor Expo Japan)

IoTシステム構築に必要な知識

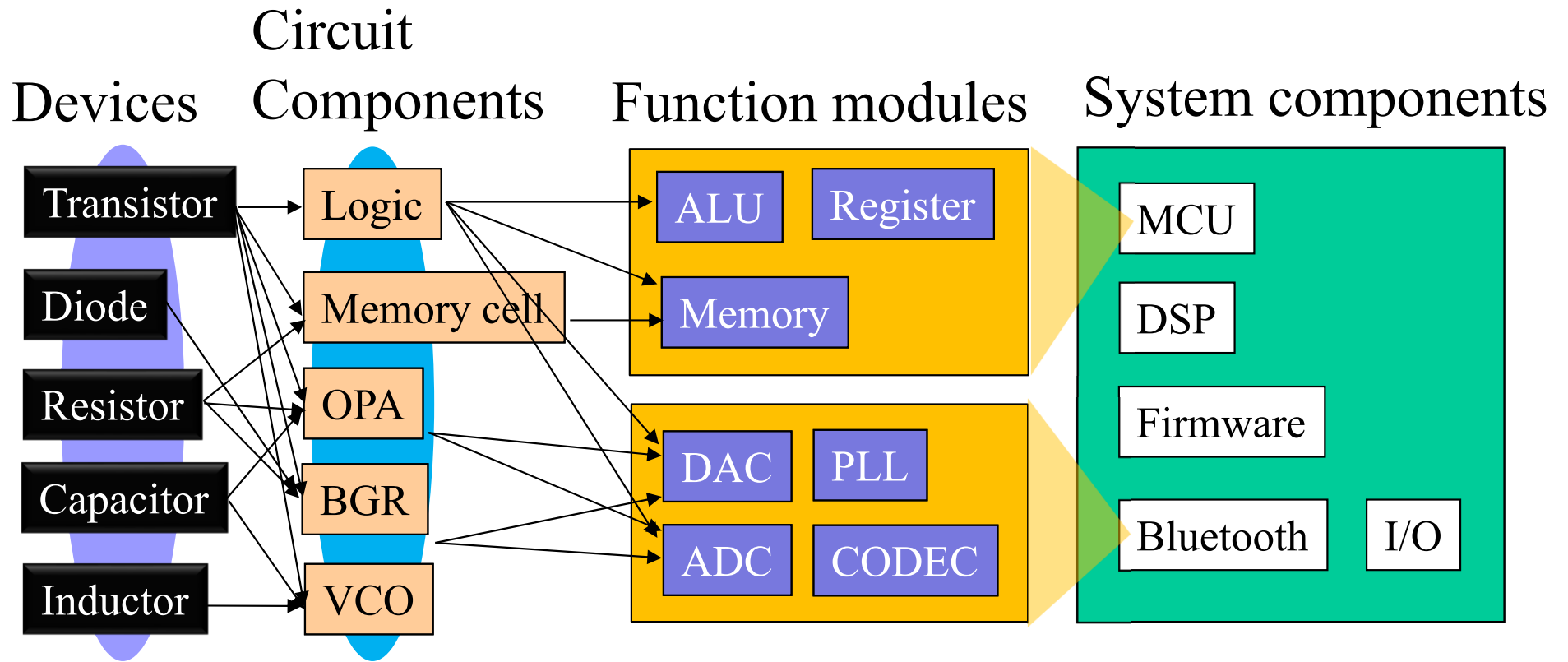
無線ネットワーク(前スライド左図)の例



- センサ回路の設計
- 電源回路の設計
- MCUのプログラミング
- 無線センサの受信ソフト開発
- インターネットへの送信ソフト開発
- サーバ構築
- データベース構築

システムやサービスを構想するためにはアナログ信号処理、デジタル信号処理、情報通信、ソフトウェアを総合的に理解する必要がある。

電子回路の階層構造(Hierarchy)



素子 ← 要素回路 →

機能モジュール

システム要素

このレベルから学習
すると効率的

アナログ回路(電子回路及び演習)
デジタル回路(論理回路)

前スライドの専門用語

| | |
|--------------|--|
| Transistor: | トランジスタ(半導体の基本素子、増幅・インピーダンス変換機能) |
| Diode: | ダイオード(半導体の基本素子、スイッチング・整流機能) |
| Logic: | 論理回路 |
| Memory cell: | メモリセル(1ビットの記憶回路) |
| OPA: | Operational Amplifier, 演算増幅器(信号処理に使われる基本回路) |
| BGR: | Band-Gap Reference, 参照電圧源(基準電圧を出力する回路) |
| VCO: | Voltage Controlled Oscillator, 電圧制御発振器(周波数可変発振器) |
| ALU: | Arithmetic Logic Unit 算術論理演算ユニット |
| Memory: | 記憶回路(メモリセルを集めてアドレスを割り当てた回路) |
| Register: | レジスタ(1クロックの間、データを一時保存する論理回路) |
| DAC: | Digital-to-Analog Converter デジタル-アナログ変換器 |
| ADC: | Analog-to-Digital Converter アナログ-デジタル変換器 |
| PLL: | Phase Locked Loop (VCOの周波数を制御する回路) |
| CODEC: | Encoder/Decoder 符号化器(データフォーマットを変換する回路) |
| MCU: | Micro Controller Unit, マイコン(1チップに集積化されたコンピュータ) |
| DSP: | Digital Signal Processor デジタル信号処理プロセッサ |
| Firmware: | 不揮発性メモリまたはROMに書き込まれたソフトウェア |
| Bluetooth: | スマホ等に組み込まれている近距離無線通信規格の名称 |
| I/O: | Input/Output, I/Oポート(システム外部との通信を行う回路) |

電子回路開発に必要な知識

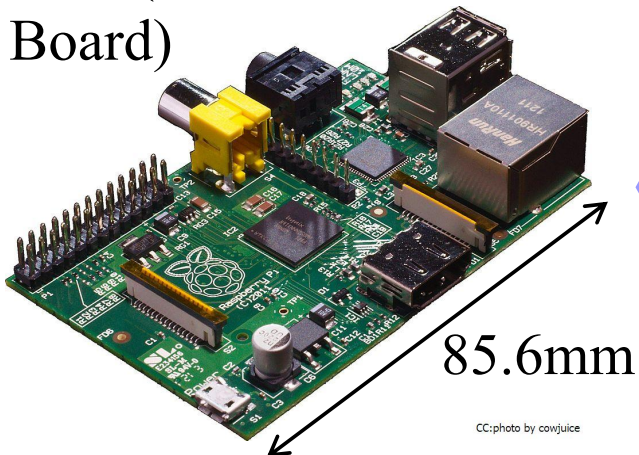
半導体デバイスの特性

基本回路の動作原理

回路シミュレータの利用法

本科目の守備範囲
(回路設計と解析)

PCB (Printed Circuit Board)



PCB CADによるプリント基板の設計

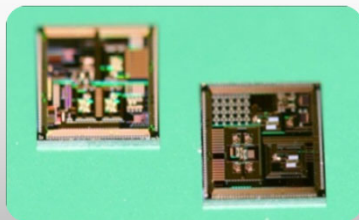
実装技術(部品選定、半田付け)

計測器と計測技術の知識

PCB: Printed Circuit Board (プリント基板)
CAD: Computer Aided Design (CADソフトウェア)

主な電子回路実装技術

1990年代までは、半導体メーカーが販売する汎用半導体部品を組み合わせ、PCBを製作していたが、2000年以降は、カスタム半導体＋ソフトウェア実装が一般的



カスタムLSI

写真は金沢大学で開発したRF-ID

- CADソフトウェアを使用して**ユーザがLSIを設計**
- 半導体メーカーの製造サービスを利用して外注製造



プログラマブルLSI

写真はインテル社のFPGA

- HDLを用いて**ユーザがLSIをプログラム**
- プログラマブルLSIに回路の配線情報と制御プログラムを書き込む



モジュール基板

写真はLeafony Systems社のIoT無線センサ

- 必要な機能モジュール基板を購入して**ユーザが機能を構築**
- モジュールに搭載されたMCUに組み込みソフトを書き込む

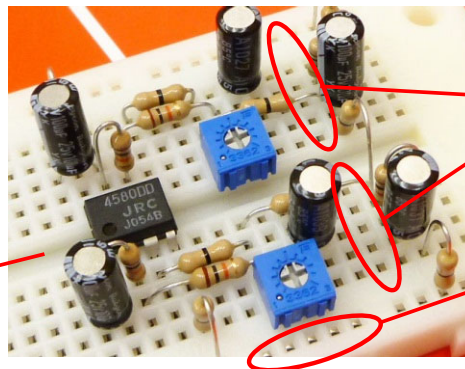
前スライドの専門用語

| | |
|------------------|--|
| PCB: | Printed Circuit Board, プリント基板(ガラスエポキシ等の板に銅箔を貼った回路基板。通常はCADソフトで配線パターンを設計して外注製造する) |
| CAD software: | Computer Aided Design software/tool, 設計支援/自動化ソフトウェア(回路シミュレータ、自動配線ツール、論理(回路)合成ツールなど) |
| LSI: | Large Scale Integration, 大規模集積回路 |
| Custom LSI: | カスタムLSI(特定用途向けにユーザ自身が設計したLSI) |
| Layout: | LSIのトランジスタ配置+配線パターン(PCBの電極+配線パターンを指す場合もある) |
| RF-ID: | Radio Frequency Identifier (電磁波を電源として動作する無線通信LSI) |
| HDL: | Hardware Description Language, ハードウェア記述言語(回路の機能を記述するC言語に似た言語。HDLのソースコードから論理回路が自動合成される) |
| FPGA: | Field Programmable Gate Array (書き換えが可能なデジタルLSI。近年のFPGAはマイクロプロセッサをいくつも書き込める) |
| IoT: | Internet of Things, モノのインターネット |
| Wireless Sensor: | 無線センサ(物理情報をデータに変換し無線送信する装置) |

(参考) 試作実験用の回路実装

- Solder-less breadboard : 日本語では単にブレッドボード
 - 部品をはんだ付けしないで、回路を手軽に試作するためのボード
 - Solderは、日本語では「はんだ」(電子部品などを接続するための錫合金…はんだは信じられないくらい歴史が古いので調べてみよう)
- ブレッドボードの欠点
 - 実測には、ブレッドボードが便利。ただし、ブレッドボードは、部品のピンを穴に差し込んで接続するので、表面実装部品(ピンがない)は使用できない。
 - 数MHz以上の高い周波数、数100mA以上の大きな電流には使用できない

DIP(Dual Inline Package)形状の部品を挿すライン。



横の配線(この穴が内部で結線されている。)

縦の配線(電源ラインとして使用することが多い。)

電子回路を初めて学ぶ上での 注意事項

電子回路を学ぶためには、基礎として電気回路を完全に理解している必要があるが、電子回路は、電気回路とは本質的に異なる**学問として捉える**必要がある。

- 電気回路
 - 物理現象の数学的取り扱い方法(計算法)を学ぶために作られた**教育科目**なので、問題演習により身につけることができる(守備範囲が確定している)
- 電子回路
 - 工学の主要分野として現在も発展している**学問体系**なので、問題演習により身につけることができない(守備範囲が規定できない)
 - 抽象化された概念から具体的実装を創造するための工学的体系として理解し、合理的思考とセンスを磨く必要がある

電気回路と電子回路の数学的な違い

| | 電気回路 | 電子回路 |
|-----------|------------------|-------------------------|
| 使用するデバイス | R, L, C | 半導体素子 + R, L, C |
| 電流-電圧の関係 | 1次関数(線形) | 複雑な関数(非線形) |
| 回路方程式の形 | 線形微分方程式 | 非線形微分方程式 |
| 回路方程式の解き方 | 複素ベクトル ラプラス変換 | 数値解析 小信号近似※による線形回路解析 |

※ 非線形関数を線形近似して電気回路の解析手法を適用する手法(詳細は講義で説明する)

線形微分方程式: 数学的に解くことができる

非線形微分方程式: 数学的に解けない場合が殆ど

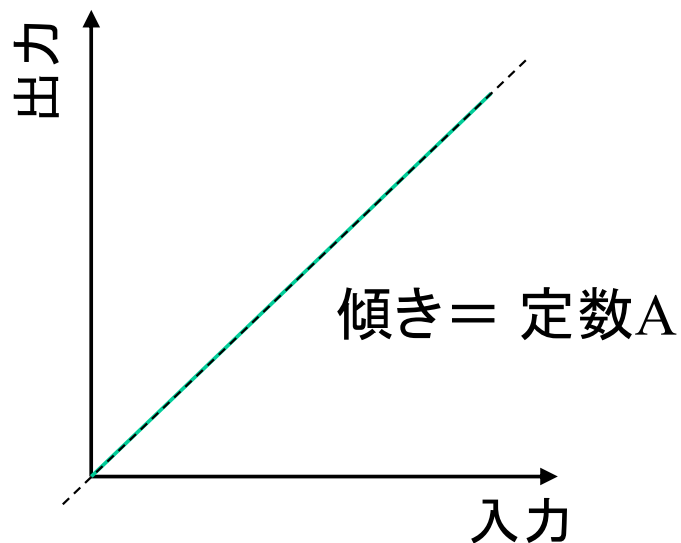


電子回路シミュレーションを用いた数値解析が必須

線形特性と非線形特性

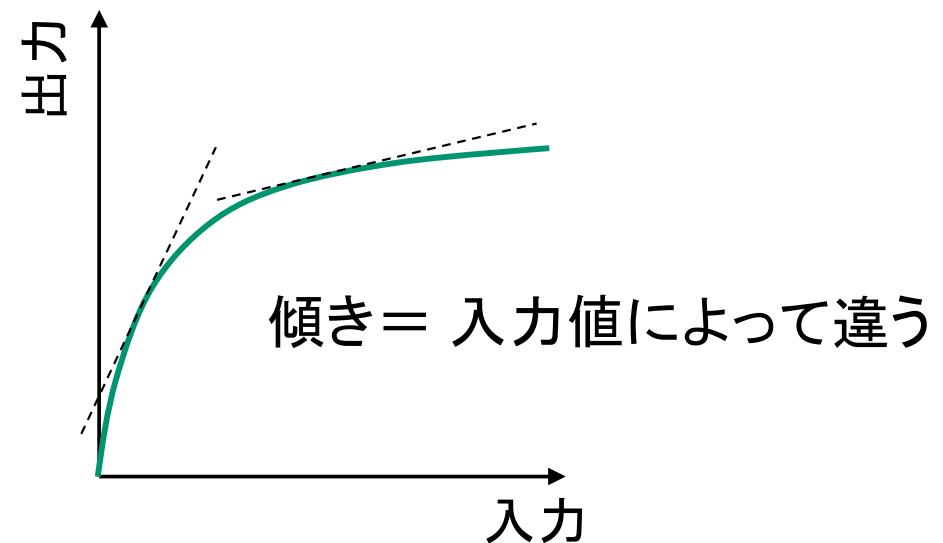
半導体を使用した回路にも線形な回路と非線形な回路がある。

線形特性



出力電圧 = A (定数) \cdot 入力電圧
 A (定数) = 増幅率

非線形特性



出力電圧 = 複雑な関数 (入力電圧)
増幅率は、入力電圧によって違う

増幅率 = 出力の変化量 / 入力の変化量

電子回路及び演習ABの範囲

10億トランジスタのシステムも1石※の回路に分解できる

※ ディスクリート回路(LSIを使わない回路)では、トランジスタの個数を「石(セキ)」と数える慣習がある。

1. 電子回路シミュレータを使いこなせる
2. ブロックダイアグラムと伝達関数を理解する
3. トランジスタの特性を理解する
4. バイアス回路と小信号等価回路による回路解析ができる
5. 増幅回路の動作原理を理解する
6. 発振回路の動作原理を理解する
7. 電源回路の動作原理を理解する

電子回路学習のポイント

1. 用語の意味の把握(英語と日本語の両方覚えること)

- ✓ 例: インピーダンス
- ✓ 例: バイアス

2. 基礎概念の理解

- ✓ 例: 伝達関数
- ✓ 例: 小信号等価回路

3. 解析、証明などの結果(定理、法則)の理解

- ✓ 例: テブナンの定理
- ✓ 例: ネガティブフィードバック

4. 定理、法則の応用

- ✓ 例: 特性の安定化
- ✓ 例: フィードバックによる利得の制御

問題を解くことは理解の助けになるが、問題が解けても、回路の設計はできない。動作原理の理解と解析結果に対する考察が重要。

教科書・参考書

- 参考書

- 松澤昭著「はじめてのアナログ電子回路(基本回路編)」, 講談社, 2015, ISBN978-4-06-156535-7
- 北川章夫著「LTspice電子回路シミュレータ」, 工学社, 2016, ISBN 978-4-7775-1936-1
 - 演習問題として教科書の回路シミュレーションを行う
 - 工学社のホームページで訂正情報や、追加の章を公開しています
- LTspiceの解説ページ
 - <http://jaco.ec.t.kanazawa-u.ac.jp/edu/ec2/ltspice/>

- 配付資料

- 講義は、配付資料に基づいて行う
- 印刷物は配布しないので、事前にダウンロードしておくか講義中にノートPC等で参照すること
- 講義案内ページ(ダウンロードページ)
 - <http://jaco.ec.t.kanazawa-u.ac.jp/edu/>
→「電子回路及び演習」をクリック

成績評価

- 成績評価法

- 課題レポート(50%)、期末テスト(50%)の配点比率とし、合計点数が60%以上で合格とする
 - 期末テストは、紙の資料、書籍の持ち込みを可とする
- 宿題レポートを期限に遅れて提出した場合は0点とする
 - 公式課外活動、病気など、本人の責任でないことを第3者が証明できる場合は、提出が遅れても正規の提出として扱う

- 保留評価および再試

- 成績評価の公平性のため原則として再試は行わない
- 避けられない事情で試験が受けられなかった場合は追試を行う
- 当該学期に成績判定ができない事情がある場合は保留が適用される(入院、心理カウンセリングを受けているなど)

質問方法

- なるべく講義時間中に質問してください
 - 講義後は、時間がないので簡単な質問しか受け付けられません
- 込み入った質問にはオフィスアワーを利用してください
 - 講義実施日17:00以降に教員室(2B713)で質問を受け付けます
 - 但し、出張中、来客中は除く
- メールでも質問を受け付けます
 - メールアドレス: kitagawa@merl.jp
- **質問をしないで理解できないのは自分の責任です**
 - 理解の仕方は人によって違うので、全員が解る説明はできません。
解らなければ遠慮せずに質問しましょう

課題0. 1

- ノートPCに回路シミュレータLTspice XVIIをインストールすること
 - ダウンロード先: <https://www.analog.com/jp/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>
 - Windows用とOS X用が無料配付されていますが、Windows以外のOS(x86系)にもインストールできます
 - Windows版とOS X版は、操作方法が違うので、OS XでもWindows版のインストールを推奨(仮想マシンのインストールが必要)
- マウスの用意(任意)
 - タッチパッドで回路図を入力するのは難しいので、持ち歩ける小形のマウスがあれば便利
 - 作業効率(使用する道具と方法)や並列度(スケジューリング)を少し改善することにより、仕事における生産性が桁違いに上がることが多い。仕事ができるエンジニアは、普段から作業効率の改善を意識している。