

---

# 電子回路設計基礎講座

---

## 総合目次

---

岩澤和男

---



**CDTLab** (Circuit Design Technology Laboratory)

<http://www.edtlab.jp>

## 電子回路 (1) 回路理論

- 1.1 回路理論の基礎
  - 1.1.1 電流と電荷
  - 1.1.2 直流と交流
    - 1.1.2.1 直流とは
    - 1.1.2.2 交流とは
    - 1.1.2.3 交流の表現
  - 1.1.3 コンデンサ
    - 1.1.3.1 コンデンサの原理
    - 1.1.3.3 コンデンサの直列接続
    - 1.1.3.4 コンデンサの並列接続
    - 1.1.3.5 コンデンサの電荷保存の法則
  - 1.1.4 コイル (インダクタ)
    - 1.1.4.1 コイルの原理
    - 1.1.4.3 コイルの直列接続
    - 1.1.4.4 コイルの並列接続
  - 1.1.5 オームの法則
    - 1.1.5.1 抵抗とオームの法則
    - 1.1.5.2 抵抗の回路記号
    - 1.1.5.3 抵抗の直列接続
    - 1.1.5.4 抵抗の並列接続
  - 1.1.6 電圧源と電流源
    - 1.1.6.1 直流電圧源
    - 1.1.6.2 交流電圧源
    - 1.1.6.3 直流電流源
    - 1.1.6.4 制御電圧源
  - 1.1.7 基本法則
    - 1.1.7.1 キルヒホッフの第一法則
    - 1.1.7.2 キルヒホッフの第二法則
    - 1.1.7.3 重畳の理
    - 1.1.7.4 テブナンの定理 (鳳・テブナンの定理)
    - 1.1.7.5 ノートンの定理
    - 1.1.7.6 理想電圧源と理想電流源
  - 1.1.8 受動素子 (LCR) 回路
    - 1.1.8.2 RC 回路の充電(ステップ応答)
    - 1.1.8.3 LR 回路の応答(ステップ応答)

- 1.1.9 交流信号と複素数表示
  - 1.1.9.1 複素表示
  - 1.1.9.2 複素数の性質—共役複素数
  - 1.1.9.3 交流信号の表示
  - 1.1.9.4 交流信号の複素表現
- 1.2. 受動回路と複素インピーダンス
  - 1.2.1 受動素子とは（抵抗、コンデンサ、インダクタ）
    - 1.2.1.1 抵抗（インピーダンス）の複素表現
    - 1.2.1.2 コンデンサ（キャパシタンス）の複素表現
    - 1.2.1.3 コイル（インダクタンス）の複素表現
    - 1.2.1.4 リアクタンス とは
    - 1.2.1.5 コンダクタンス、アドミタンス、サセプタンス、イミッタンスとは
  - 1.2.2 受動回路-RC 回路の解析
    - 1.2.2.1 複素正弦波信号による RC 回路解析
    - 1.2.2.2 ラプラス変換を用いた RC 回路解析
    - 1.2.2.3 伝達関数と周波数特性
    - 1.2.2.4 LRC 回路のステップ応答
    - 1.2.2.5 LRC 回路(直列共振回路)の複素インピーダンスによる解析
    - 1.2.2.6 LRC 回路(並列共振回路)の複素インピーダンスによる解析
    - 1.2.2.7 RLC 回路の正弦波応答
    - 1.2.2.8 RLC 回路の伝達関数

## 電子回路 (1) -2 半導体素子

- 1.3 半導体素子
  - 1.3.1 半導体とは
  - 1.3.2 ダイオードの動作原理と特徴
    - 1.3.2.1 ダイオードの一般的な特性
    - 1.3.2.2 ダイオードの種類と特徴と記号
      - (1) 一般用ダイオード
        - a)小信号ダイオード
        - b)整流用ダイオード
      - (2) 定電圧ダイオード
      - (3) ショットキー・バリア・ダイオード (SBD)
      - (4) 可変容量ダイオード
      - (5) 発光ダイオード
      - (6) フォト・ダイオード
      - (7) 定電流ダイオード

## (8) PIN ダイオード

## 1.3.2.3 ダイオードの最大定格

## 1.3.2.4 ダイオードの規格

## 電子回路 (1) -3 トランジスタ

## 1.3.3 バイポーラ・トランジスタ

## 1.3.3.1 バイポーラ・トランジスタの動作原理と特徴

## 1.3.3.2 バイポーラ・トランジスタの種類

## 1.3.3.3 トランジスタの規格と最大定格

## 1.3.4 FET(Field Effect Transistor)

## 1.3.4.1 接合形 FET (JFET) の動作原理と特徴

## 1.3.4.1.1 nチャネル接合形電界効果トランジスタ

## 1.3.4.1.2 pチャネル接合形電界効果トランジスタ

## 1.3.4.2 FET の特徴

## 1.3.4.3 nチャネル接合形電界効果トランジスタの特性

## 1.3.4.4 接合形電界効果トランジスタの規格と最大定格

## 1.3.5 MOS-FET

## 1.3.5.1 MOS-FET の動作原理と特徴

## 1.3.5.2 MOS-FET の特性

## 1.3.5.3 MOS-FET の特徴

## 1.3.5.4 パワーMOSFET の規格

## 1.3.5.5 パワーMOSFET のソース・ドレイン間ダイオード

## 電子回路 (1) -4 集積回路

## 1.5 集積回路の基礎

## 1.5.1 オペアンプ IC の基礎

## 1.5.1.1 オペアンプ (Operational Amplifier) IC とは

## 1.5.1.2 オペアンプ IC の内部回路構成

## 1.5.1.2.1 トランジスタ入力型オペアンプの回路構成

## 1.5.1.2.2 FET 入力型オペアンプの回路構成

## 1.5.1.2.3 電流帰還型オペアンプの回路構成

## 1.5.1.2.4 CMOS オペアンプの回路構成

## 1.5.1.3 オペアンプの規格

## 1.5.1.4 オペアンプの分類

## 1.5.1.4.1 用途別分類

## 1.5.1.4.2 電源供給・入出力電圧による分類

## 1.5.2 電源用 IC の基礎

## 1.5.2.1 リニア・レギュレータ (シリーズ型) 定電圧用 IC

- 1.5.2.2 スイッチング型定電圧用 IC
- 1.5.2.3 チャージ・ポンプ型 DC-DC コンバータ IC
- 1.5.3 ロジック IC (デジタル IC)
- 1.5.3.1 デジタル回路とは
- 1.5.3.4 TTL と CMOS
- 1.5.3.5 CMOS IC の入出力特性
- 1.5.3.6 標準ロジック IC
- 1.5.3.7 ASIC による大規模なデジタル回路
- 1.5.4 デジタル専用 IC (マイコン、メモリ、その他)
- 1.5.4.1 マイクロプロセッサ(MPU : Micro Processing Unit)
- 1.5.4.3 メモリの種類と特徴
- 1.5.4.3.1 半導体メモリの分類
- 1.5.4.3.2 主なメモリの特徴
- 1.5.4.4 マイコン周辺 IC
- 1.5.4.4.1 A/D コンバータ IC :
- 1.5.4.4.2 D/A コンバータ IC :
- 1.5.4.4.3 外部通信用 IC:

#### 電子回路 (2) -1 トランジスタ回路の基礎

- 2.1 トランジスタの増幅の基礎
- 2.1.1 トランジスタ増幅回路
- 2.1.1.1 エミッタ接地増幅回路の動作
- 2.1.1.1.1 直流動作
- 2.1.1.1.2 直流と交流動作
- 2.1.1.1.3 動作点と負荷線
- 2.1.1.2 ベース接地増幅回路の動作
- 2.1.1.3 コレクタ接地増幅回路の動作
- 2.1.1.4 トランジスタ増幅回路の各接地方式の特徴

#### 電子回路 (2) -2 トランジスタ増幅回路

- 2.1.2 トランジスタ回路の基礎
- 2.1.2.1 バイアス回路とは
- 2.1.2.2 トランジスタ固定バイアス回路
- 2.1.2.3 トランジスタ自己バイアス回路
- 2.1.2.4 トランジスタ電流帰還バイアス回路
- 2.1.3 トランジスタの等価回路
- 2.1.3.1 簡易的な直流等価回路
- 2.1.3.2 小信号等価回路

- 2.1.3.3 h パラメータによる等価回路
- 2.2 トランジスタ小信号増幅回路
  - 2.2.1 エミッタ接地小信号増幅回路
    - 2.2.1.1 エミッタ接地小信号増幅回路の設計手順
    - 2.2.1.2 周波数特性のシミュレーション
    - 2.2.1.3 入力インピーダンスと出力インピーダンス
    - 2.2.1.4 エミッタにバイパスコンデンサがない場合のエミッタ接地増幅回路
  - 2.2.2 コレクタ接地小信号増幅回路 (エミッタ・フォロワ回路)
    - 2.2.2.1 コレクタ接地小信号増幅回路の設計手順

## 電子回路 (2) -3 FET 増幅回路の基礎

- 2.3 FET 増幅回路の基礎
  - 2.3.1 FET の基本動作
    - 2.3.1.1 接合形 FET (JFET) の基本動作
    - 2.3.1.2 MOS 形 FET (MOS-FET) の基本動作
  - 2.3.2 FET 増幅回路
    - 2.3.2.1 接合形 FET(JFET)増幅回路
    - 2.3.2.2 MOS 型(MOS-FET)増幅回路
  - 2.3.1.4 FET 増幅回路の接地方式の比較
  - 2.3.3 FET のバイアス回路
    - 2.3.3.1 接合形 FET のソース接地固定バイアス回路
    - 2.3.3.2 J-FET のソース接地自己バイアス回路
  - 2.3.4 FET の等価回路

## 電子回路 (2) -4 小信号増幅回路

- 2.4 FET 小信号増幅回路
  - 2.4.1 FET ソース接地小信号増幅回路
    - 2.4.1.1 ソース接地小信号増幅回路の設計手順
    - 2.4.1.2 ソース接地の周波数特性とシミュレーション
    - 2.4.1.3 ソース接地増幅回路の入出力インピーダンス
  - 2.4.2 FET ドレイン接地小信号増幅回路 (ソース・フォフォワ回路)
    - 2.4.2.1 ドレイン接地増幅回路の設計手順
    - 2.4.2.2 ドレイン接地増幅回路の入出力インピーダンス

## 電子回路 (2) -5 多段接続回路

- 2.5 多段接続回路
  - 2.5.1 増幅回路の縦続接続
    - 2.5.1.1 RC 結合増幅回路
    - 2.5.1.2 トランス結合増幅回路

- 2.5.1.3 直接結合増幅回路
- 2.5.2 ダーリント接続
  - 2.5.2.1 ダーリントン(darlington)回路
  - 2.5.2.2 インバーテッド・ダーリントン(inverted darlington)回路
- 2.5.3 カスコード接続
  - 2.5.3.1 カスコード回路の設計
  - 2.5.3.2 カスコード回路のシミュレーション確認
- 2.5.4 差動増幅回路
  - 2.5.4.1 トランジスタ差動増幅回路の原理
  - 2.5.4.2 トランジスタ差動増幅回路の利得
  - 2.5.4.3 トランジスタ差動増幅回路の設計
  - 2.5.4.4 トランジスタ差動増幅回路のシミュレーション確認
  - 2.5.4.5 FET による差動増幅回路
  - 2.5.4.6 JFET 増幅回路の設計
  - 2.5.4.7 JFET 増幅回路のシミュレーション確認
- 2.5.5 カレント・ミラー回路
  - 2.5.5.1 カレント・ミラー回路の基礎
  - 2.5.5.2 カレント・ミラー回路の定電流源回路への応用(1)
  - 2.5.5.3 カレント・ミラー回路のアクティブ負荷への応用(2)

## 電子回路 (2) -6 オペアンプ回路 (1)

- 2.6 オペアンプ (Operational Amplifier) 回路(1)
  - 2.6.1 オペアンプの基本回路
    - 2.6.1.2 非反転増幅回路(non-inverting amplifier)
    - 2.6.1.3 反転増幅回路(inverting amplifier)
  - 2.6.2 演算増幅回路
    - 2.6.2.1 加算回路
    - 2.6.2.2 減算回路
    - 2.6.2.3 積分回路
    - 2.6.2.4 微分回路
  - 2.6.3 オペアンプ回路の基本特性
    - 2.6.3.1 オフセット
    - 2.6.3.2 利得特性と周波数特性
    - 2.6.3.3 スルーレート(Slew Rate)
    - 2.2.3.4 コモンモード除去比 CMRR
  - 2.6.4 使い方の基本
    - 2.6.4.1 電源の供給法

## 電子回路 (2) -7 オペアンプ回路 (2)

## 2.6.5 オペアンプによる AC 増幅回路

## 2.6.5.1 オペアンプによる AC 反転増幅回路

## 2.6.5.2 オペアンプによる AC 非反転増幅回路

## 2.6.6 オペアンプによる応用回路

## 2.6.6.1 ボルテージ・フォロワの応用

## 2.6.6.2 理想ダイオード回路

## 2.6.6.3 リミッタ回路

## 2.6.7.1 一次フィルタ (一次ローパス・フィルタ、一次ハイパス・フィルタ)

## 2.6.7.2 二次ローパス・フィルタ、三次ローパス・フィルタの構成

## 2.6.7.3 高次アクティブ・フィルタ回路

## 2.6.7.4 高次アクティブ・フィルタ回路の設計

## 2.6.8 オペアンプによる発振回路

## 2.6.8.1 オペアンプを使用した方形波発振回路

## 2.6.8.2 オペアンプを使用した正弦波発振回路

## 電子回路 (3) -1 スイッチング回路

## 3.1 スイッチング回路(ON/OFF 回路)

## 3.1.1 スイッチング回路の基礎

## 3.1.1.1 トランジスタ・スイッチング回路

## 3.1.1.2 FET・スイッチング回路

## 3.1.2.1 LED 駆動回路

## 3.1.2.2 リレー (ソレノイド・コイル) 駆動回路

## 3.1.2.3 直流モータ駆動回路

## 電子回路 (3) -2 電力増幅回路

## 3.2 電力増幅回路

## 3.2.1 電力増幅回路の基本

## 3.2.1.1 A 級電力増幅回路

## 3.2.1.2 B 級プッシュプル電力増幅回路

## 3.2.1.3 トランジスタ SEPP 電力増幅回路の A 級、B 級、AB 級動作

## 3.2.1.4 C 級電力増幅回路

## 3.2.1.5 D 級電力増幅回路

## 電子回路 (3) -3 負帰還回路

## 3.3 負帰還回路

## 3.3.1 負帰還回路の基礎

## 3.3.1.1 負帰還(NFB: negative feedback)の原理

## 3.3.1.2 負帰還回路の安定性



- 3.3.2 負帰還回路の実際
- 3.3.2.1 トランジスタ回路の帰還
- 3.3.2.2 多段トランジスタ回路の負帰還
- 3.3.2.3 OP アンプ回路の負帰還回路
- 3.3.2.4 リニア・シリーズ定電圧回路の負帰還
- 3.3.2.5 位相補償による負帰還回路の安定化

#### 電子回路 (3) -4a アナログ・フィルタ回路(a)

- 3.4 アナログ・フィルタ回路
- 3.4.1 アナログ・フィルタ回路の分類
- 3.4.1.1 アナログ・フィルタ回路の通過帯域による分類
- 3.4.1.2 フィルタ特性の表現
- 3.4.1.3 フィルタ回路の周波数特性と位相特性
- 3.4.1.3 アナログ・フィルタの特性による分類
  - (a)バタワース特性
  - (b)ベッセル特性
  - (b)チェビシェフ特性
- 3.4.1.4 アナログ・フィルタと伝達関数
- 3.4.2 受動素子によるアナログ・フィルタ
- 3.4.2.1 RC による 1 次フィルタ
- 3.4.2.2 RC による 2 次フィルタ
- 3.4.2.3 RLC による 2 次フィルタ

#### 電子回路 (3) -4b アナログ・フィルタ回路(b)

- 3.4.3 アクティブ・フィルタ回路
- 3.4.3.1 アクティブ 1 次フィルタ回路
- 3.4.3.2 アクティブ 2 次フィルタ回路 (電圧制御電源型 : VCVS 型)
- 3.4.3.3 アクティブ 2 次フィルタ回路 (多重帰還型)
- 3.4.3.4 アクティブ高次フィルタ回路
- 3.4.3.5 FilterPro による設計
- 3.4.4 LC フィルタ回路
- 3.4.4.1 正規化 LPF によるバターワース LPF の設計
- 3.4.4.2 正規化 LPF によるベッセル LPF の設計
- 3.4.4.3 正規化 LPF によるチェビシェフ LPF の設計
- 3.4.4.4 正規化 LPF から HPF への変換

#### 電子回路 (3) -5a 発振回路(a)

- 3.5 発振回路
- 3.5.1 発振回路の基礎

- 3.5.2 RC 発振回路
  - 3.5.2.1 RC 位相発振回路
  - 3.5.2.2 ウィーンブリッジ発振回路
  - 3.5.2.3 マルチバイブレータ
- 3.5.3 LC 発振回路
  - 3.5.3.1 ハートレー形発振回路
  - 3.5.3.2 コルピッツ形発振回路
- 3.5.4 水晶発振回路
  - 3.5.4.1 水晶振動子
  - 3.5.4.2 トランジスタによる水晶発振回路
  - 3.5.4.3 オーバートーン発振回路
  - 3.5.4.5 セラミック振動子による発振回路

#### 電子回路 (3) -5b 発振回路(b)

- 3.5.5 PLL 方式発振回路
  - 3.5.5.1 PLL(Phase Locked Loop)発振回路の基本
  - 3.5.5.2 PLL 発振回路の基本構成
  - 3.5.5.3 PLL 発振回路の構成回路
  - 3.5.5.4 PLL 発振回路は負帰還回路
  - 3.5.5.5 PLL 用 IC 4046 でのシミュレーション事例
- 3.5.6 DDS 方式発振回路
  - 3.5.6.1 DDS 方式発振回路の基本構成と特徴

#### 電子回路 (3) -6a 電源回路(a)

- 3.6 電源回路
  - 3.6.1 整流回路
    - 3.6.1.1 整流回路
    - 3.6.1.2 半波整流回路
    - 3.6.1.2 全波整流回路
    - 3.6.1.3 ブリッジ整流回路
    - 3.6.1.4 その他の整流回路
  - 3.6.2 定電圧回路の基礎
    - 3.6.2.1 ツェナー・ダイオードによる簡単な定電圧回路
    - 3.6.2.2 トランジスタ+ツェナー・ダイオードによる簡易定電圧回路(無帰還型)
    - 3.6.2.3 トランジスタとツェナー・ダイオードによる負帰還型定電圧回路
    - 3.6.2.5 低飽和型シリーズ・レギュレータ回路 (LDO)
  - 3.6.3 定電流回路の基礎
    - 3.6.3.1 FET による定電流回路

## 電子回路 (3) -6b 電源回路(b)

## 3.6 電源回路

## 3.6.4 スイッチング電源回路の基礎

## 3.6.4.1 降圧型コンバータの原理

## 3.6.4.2 降圧型 DC-DC コンバータの構成

## 3.6.4.3 昇圧型コンバータの原理

## 3.6.4.4 昇圧型 DC-DC コンバータの構成

## 3.6.4.5 極性逆転型コンバータの原理

## 3.6.4.6 同期整流方式の DC-DC コンバータの原理

## 3.6.4.7 変圧器を使用した絶縁型 DC-DC コンバータの原理 (フォワード型、フライバック型)

## 電子回路 (4) -1 デジタル回路

## 4.1 デジタル回路

## 4.1.1 ロジック IC

## 4.1.1.1 CMOS ロジック回路の基礎

## 4.1.1.2 ロジック回路の基礎

(1)NOT ゲート回路

(2)NOR ゲート回路

(3)NAND ゲート回路

(4)エクスクルーシブ OR ゲート

(4)RS フリップフロップ

(5)D 型フリップフロップ

(6)JK 型フリップフロップ

(7)4 進カウンタ

(8)10 進カウンタ成している。

(9)シフトレジスタ

## 電子回路 (4) -2 A-D/D-A 変換回路の基礎

## 4.1.2 アナログ／デジタル信号変換

## 4.1.2.1 A-D 変換回路の基礎

## 4.1.2.1.1 逐次比較型 A-D 変換の原理

4.1.2.1.2  $\Delta \Sigma$  型 A-D 変換の原理4.1.2.1.3 逐次型 A-D 変換と  $\Delta \Sigma$  変換のメリットとデメリット

## 4.1.2.1.4 オーバー・サンプリングとノイズ・シェーピング

## 4.1.2.1.5 アンチ・エイリアシング・フィルタ回路

## 4.1.2.2 D-A 変換回路の基礎

## 4.1.2.3 PWM 回路の基礎

**CDTLab** (Circuit Design Technology Laboratory)

<http://www.cdtlab.jp>