

バイポーラトランジスタ と MOSFET

工学部 機械知能工学科

熊谷 正朗

kumagai@mail.tohoku-gakuin.ac.jp

東北学院大学工学部
ロボット開発工学研究室 RDE

今回の到達目標

○電力増幅に用いられる半導体部品

◇バイポーラトランジスタの

電流増幅作用の基本式を説明できる。

- ・バイポーラトランジスタの特徴・特性
- ・直流電流増幅率 h_{FE}

◇MOSFETの特性(スイッチング用)を説明できる。

- ・動作の原理と特性
- ・スイッチング用: V_{TH} とオン抵抗

◇両者の回路例を示せる。

トランジスタ

○増幅用半導体

◇「トランジスタ」(transistor)

- ・一般に端子が3本:
出力にあたる電流の経路2本 + 制御入力
- ・入力(電流・電圧)に応じて、出力の流れが変化

◇種類

- ・バイポーラトランジスタ (単にトランジスタ)
- ・電界効果トランジスタ FET、MOSFET
- ・メカトロパワー大出力向け特殊: IGBT

バイポーラトランジスタ

○電流増幅型のトランジスタ

◇単にトランジスタというとバイポーラ型

◇端子

- ・B=ベース : 制御電流入力の端子
- ・C=コレクタ E=エミッタ : 出力電流流れる

◇特性 (NPN型の場合)

- ・[コレクタ→エミッタの電流]
 $= h_{FE} \times [\text{ベース→エミッタの電流}]$
- ・ h_{FE} : 直流電流増幅率 (数十~数百程度)

バイポーラトランジスタ

○電流増幅型のトランジスタ

◇トランジスタに関わる変数

- ・電流: I_B , I_C , I_E (ベース電流、)
- ・電圧: V_{BE} =エミッタ基準のベースの電圧
 V_{CE} =同コレクタ ※損失計算に関係

◇特性式

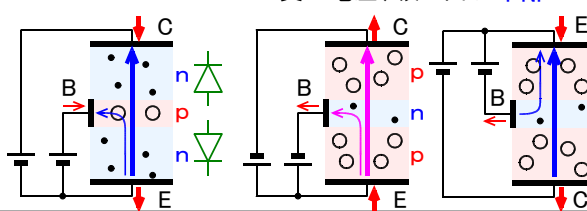
- ・ $I_C = h_{FE} I_B$ 、 $I_E = I_B + I_C \approx I_C$
- ・動作時に $V_{BE} \approx 0.7[V]$: ダイオードと同じ
- ・ V_{CE} 最低でも $0.2 \sim 0.3[V]$ ※ V_{CEsat}

バイポーラトランジスタ

○トランジスタの構造とNPN/PNP

◇並びの違いで2種類

- ・NPN: ベースに正の電圧、流し込み
- ・PNP: ベースに負の電圧、吸い出し

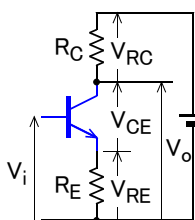


バイポーラトランジスタ

○トランジスタによる増幅回路の例

◇アナログ電圧増幅

- ・特性: $V_i \rightarrow V_o$
 $V_o = V_S - (R_C / R_E)(V_i - V_{BE})$
 $= -(R_C / R_E) V_i + V_S + (R_C / R_E) V_{BE}$
- ・抵抗比で増幅率が定まる (数倍程度)
- ・比例の式にはならず(一次関数)

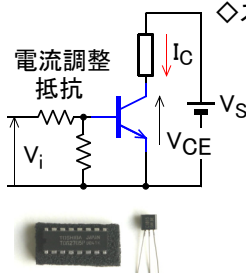


バイポーラトランジスタ

○トランジスタによる増幅回路の例

◇スイッチング型での利用

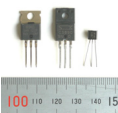
- ・ベース電流が十分
→コレクタに十分流せる
→対象(□)の両端電圧大
→ V_{CE} が限界まで下がる
= 飽和動作
→トランジスタ損失($V_{CE} \times I_C$)
が最低



FET・MOSFET：電界効果トランジスタ

○電圧制御型のトランジスタ

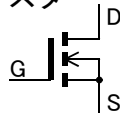
◇名称



- ・FET=Field-Effect Transistor Nch MOSFET
- ・MOSFET=Metal-Oxide-Semiconductor FET
- ※金属、酸化物、半導体（構造）
- ※「もす えふいーていー（ふえっと）」

◇端子

- ・G=ゲート：制御電圧をかける端子
- ・S=ソース、D=ドレイン：出力電流が流れる



FET・MOSFET：電界効果トランジスタ

○電圧制御型のトランジスタ

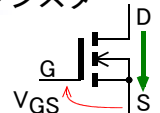
◇特性（FET全般）

- ・ゲートに電圧をかけると、ドレイン→ソース間の電流が増える

◇特性（MOSFET、スイッチング用途）

- ・十分なゲート電圧を与えると、DS間は小さな抵抗として振る舞う：オン抵抗 R_{on}
- ・ゲートには電流が流れない（※定常時）

R_{on} → 大電流のスイッチングをしやすい



MOSFET

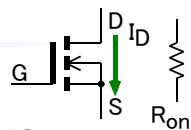
○メカトロとMOSFET

◇電カスイッチング素子としてのMOSFET

- ・マイコンのデジタル出力直結で大電流SW
- ※バイポーラは十分なベース電流を要する
- ・ $R_{on}I_D^2$ の電力消費 → 低オン抵抗品は有利
- ※バイポーラは $V_{CEsat} \times I_C$

◇デジタル回路の素子（コンピュータも）

- ・CMOS回路（Complementary MOS）
- ・省電力のデジタル回路 c.f. TTL（バイポーラ）

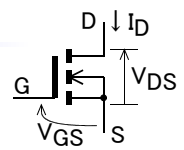


MOSFET

○MOSFETの特性

◇MOSFETに関わる変数・定数

- ・電圧 V_{GS} ： ソース基準のゲート電圧
- ・電圧 V_{DS} ： ソース基準のドレイン電圧
- ・電流 I_D ： ドレイン→ソースの電流
- ・オン抵抗 R_{on} ： オン時のDS間特性
- ・閾値電圧 V_{TH} ： オンにするための V_{GS}
- ・ゲート容量： オンに必要な電流（電荷）検知
- ・ V_{DS} 、 I_D の最大値、 R_{on} 、 V_{TH} は主要仕様

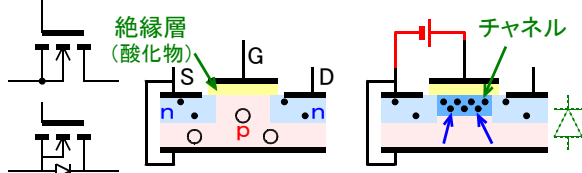


MOSFET

○MOSFETの構造と原理（Nチャネル型）

◇絶縁層→Gには流れない（コンデンサを形成）

◇ゲートに正電圧をかける→電子が寄ってくる→部分的にn型になる→DS間流れる

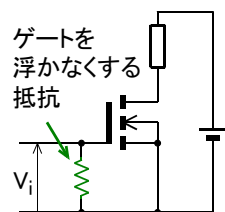


MOSFET

○MOSFETを使ったスイッチング回路

◇単なるオンオフ回路

- ・ゲートに閾値電圧 V_{TH} を十分に超える電圧をかける
- $V_i > V_{TH}$ → オンする
- ・ $V_i < V_{TH}$ ならオフ
- ・ゲートをオープンにしているならない： Gに高抵抗を接続する場合あり。

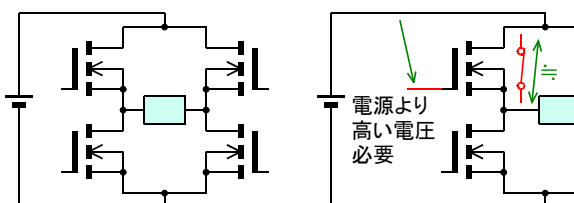


MOSFET

○MOSFETを使ったスイッチング回路

◇Hブリッジ ↓ "ハイスайд(スイッチ)"

- ・上のFETをオンするには、さらに上の電圧
- ・"ゲートドライブ回路"をつかう（専用IC等）



MOSFET

○MOSFETの消費電力

◇オン時： R_{on} による消費 $R_{on}I_D^2$

◇オン・オフ切替時

- ・ゲートがコンデンサの性質を持つ

- 電流の入出でゲート電圧が変化
- 電流が少ないと閾値付近の半端な状態
- ちゃんとオンしない = V_{DS} が小さくない
- 電力消費 $V_{DS}I_D$

- ・オンオフごと = PWMなどの周波数に比例