

模拟电子技术复习资料总结

第一章 半导体二极管

一. 半导体的基础知识

1. 半导体---导电能力介于导体和绝缘体之间的物质(如硅 Si、锗 Ge)。
2. 特性---光敏、热敏和掺杂特性。
3. 本征半导体---纯净的具有单晶体结构的半导体。
4. 两种载流子 ---带有正、负电荷的可移动的空穴和电子统称为载流子。
5. 杂质半导体---在本征半导体中掺入微量杂质形成的半导体。体现的是半导体的掺杂特性。

*P 型半导体: 在本征半导体中掺入微量的三价元素(多子是空穴, 少子是电子)。

*N 型半导体: 在本征半导体中掺入微量的五价元素(多子是电子, 少子是空穴)。

6. 杂质半导体的特性

*载流子的浓度---多子浓度决定于杂质浓度, 少子浓度与温度有关。

*体电阻---通常把杂质半导体自身的电阻称为体电阻。

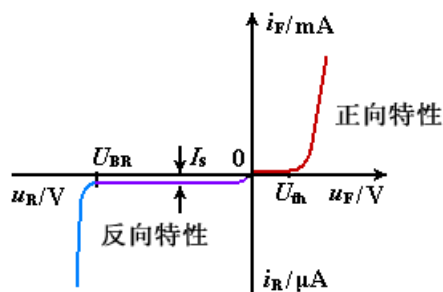
*转型---通过改变掺杂浓度, 一种杂质半导体可以改型为另外一种杂质半导体。

7. PN 结

* PN 结的接触电位差---硅材料约为 0.6~0.8V, 锗材料约为 0.2~0.3V。

* PN 结的单向导电性---正偏导通, 反偏截止。

8. PN 结的伏安特性



二. 半导体二极管

*单向导电性-----正向导通, 反向截止。

*二极管伏安特性----同 P N 结。

*正向导通压降-----硅管 0.6~0.7V, 锗管 0.2~0.3V。

*死区电压-----硅管 0.5V, 锗管 0.1V。

3. 分析方法-----将二极管断开, 分析二极管两端电位的高低:

若 $V_{阳} > V_{阴}$ (正偏), 二极管导通(短路);

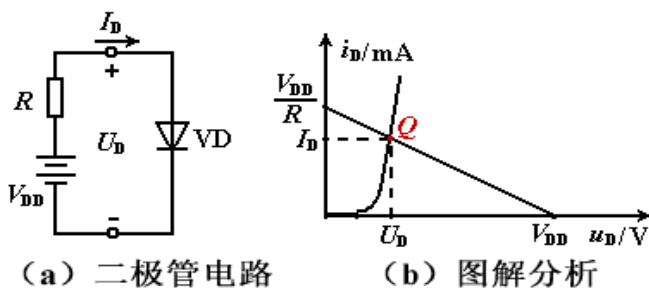
若 $V_{阳} < V_{阴}$ (反偏), 二极管截止(开路)。

1) 图解分析法

$$U_D = V_{DD} - I_D R$$

该式与伏安特性曲线

的交点叫静态工作点 Q。



2) 等效电路法

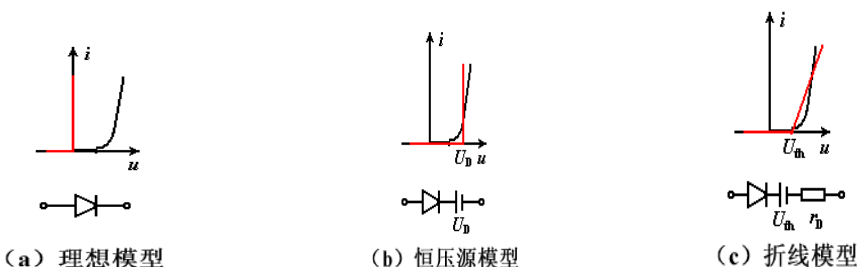
➤ 直流等效电路法

*总的解题手段——将二极管断开，分析二极管两端电位的高低：

若 $V_{阳} > V_{阴}$ (正偏)，二极管导通(短路)；

若 $V_{阳} < V_{阴}$ (反偏)，二极管截止(开路)。

*三种模型



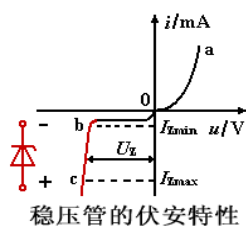
➤ 微变等效电路法



$$r_d \approx \frac{U_T}{I_{DQ}}$$

三. 稳压二极管及其稳压电路

*稳压二极管的特性——正常工作时处在 PN 结的反向击穿区，所以稳压二极管在电路时要反向连接。



第二章 三极管及其基本放大电路

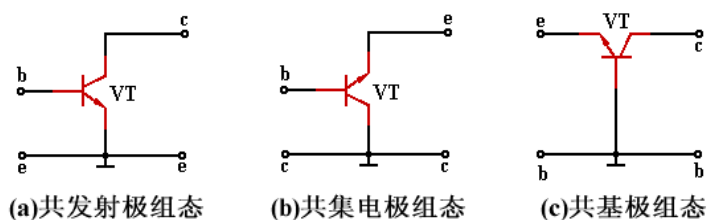
一. 三极管的结构、类型及特点

1. 类型——分为 NPN 和 PNP 两种。

2. 特点——基区很薄，且掺杂浓度最低；发射区掺杂浓度很高，与基区接触面积较小；集电区掺杂浓度较高，与基区接触面积较大。

二. 三极管的工作原理

1. 三极管的三种基本组态



2. 三极管内各极电流的分配

$$I_C = I_{CN} + I_{CBO} \quad I_E = I_{BN} + I_{CN} = I_B + I_C \quad I_B = I_{BN} - I_{CBO}$$

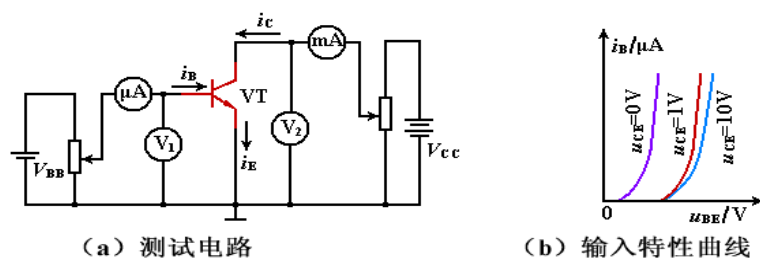
* 共发射极电流放大系数（表明三极管是电流控制器件）

$$\beta = \frac{I_{CN}}{I_{BN}} \quad I_C = \beta I_B + (1 + \beta) I_{CBO} = \beta I_B + I_{CEO} \approx \beta I_B$$

式子 $I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO}$ 称为穿透电流。

3. 共射电路的特性曲线

* 输入特性曲线——同二极管。



* 输出特性曲线

（饱和管压降，用 U_{CES} 表示）

放大区——发射结正偏，集电结反偏。

截止区——发射结反偏，集电结反偏。

4. 温度影响

温度升高，输入特性曲线向左移动。

温度升高 I_{CBO} 、 I_{CEO} 、 I_C 以及 β 均增加。

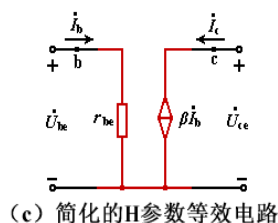
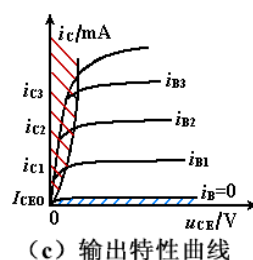
三. 低频小信号等效模型（简化）

h_{ie} ——输出端交流短路时的输入电阻，

常用 r_{be} 表示；

h_{fe} ——输出端交流短路时的正向电流传输

常用 β 表示；

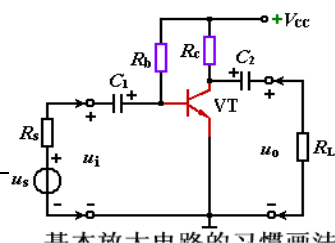


比，

四. 基本放大电路组成及其原则

1. VT、 V_{CC} 、 R_b 、 R_c 、 C_1 、 C_2 的作用。

2. 组成原则——能放大、不失真、能传输。



五. 放大电路的图解分析法

1. 直流通路与静态分析

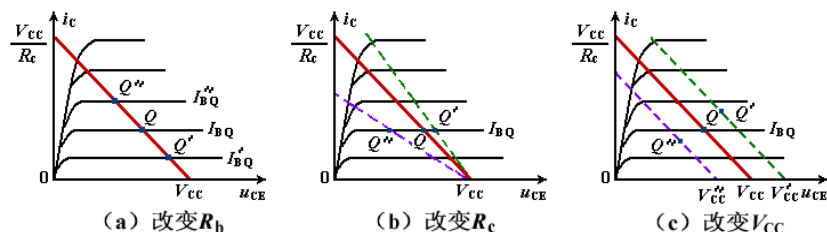
*概念——直流电流流通的回路。

*画法——电容视为开路。

*作用——确定静态工作点

*直流负载线——由 $V_{CC} = I_C R_C + U_{CE}$ 确定的直线。

*电路参数对静态工作点的影响



1) 改变 R_b : Q 点将沿直流负载线上下移动。

2) 改变 R_c : Q 点在 I_{BQ} 所在的那条输出特性曲线上移动。

3) 改变 V_{CC} : 直流负载线平移, Q 点发生移动。

2. 交流通路与动态分析

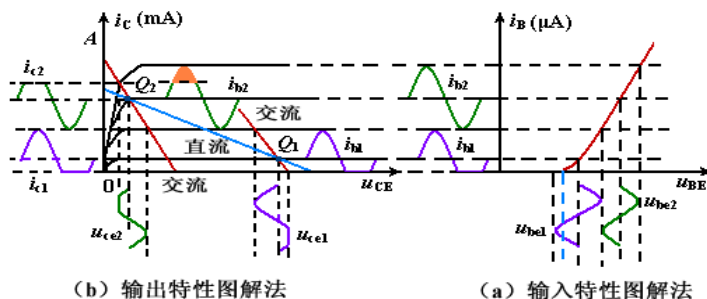
*概念——交流电流流通的回路

*画法——电容视为短路, 理想直流电压源视为短路。

*作用——分析信号被放大的过程。

*交流负载线——连接 Q 点和 V_{CC}' 点 $V_{CC}' = U_{CEQ} + I_{CQ} R_L'$ 的直线。

3. 静态工作点与非线性失真



(1) 截止失真

*产生原因—— Q 点设置过低

*失真现象——NPN 管削顶, PNP 管削底。

*消除方法——减小 R_b , 提高 Q 。

(2) 饱和失真

*产生原因—— Q 点设置过高

*失真现象——NPN 管削底, PNP 管削顶。

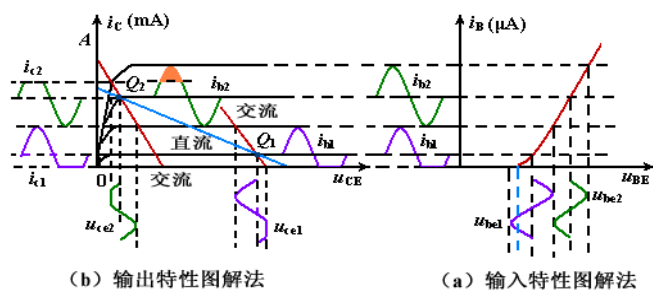
*消除方法——增大 R_b 、减小 R_c 、增大 V_{CC} 。

4. 放大器的动态范围

(1) U_{opp} ——是指放大器最大不失真输出电压的峰峰值。

(2) 范围

*当 $(U_{CEQ} - U_{CES}) > (V_{CC}' - U_{CEQ})$ 时, 受截止失真限制, $U_{OPP} = 2U_{OMAX} = 2I_{CQ}R_L'$ 。



*当 \$(U_{CEQ} - U_{CES}) < (V_{CC}' - U_{CEQ})\$ 时, 受饱和失真限制, $U_{OPP} = 2U_{OMAX} = 2(U_{CEQ} - U_{CES})$ 。

*当 \$(U_{CEQ} - U_{CES}) = (V_{CC}' - U_{CEQ})\$ 时, 放大器将有最大的不失真输出电压。

六. 放大电路的等效电路法

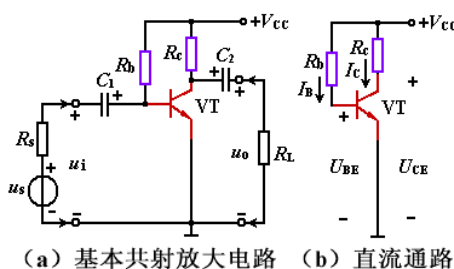
1. 静态分析

(1) 静态工作点的近似估算

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b}$$

$$I_{CQ} \approx \beta I_{BQ}$$

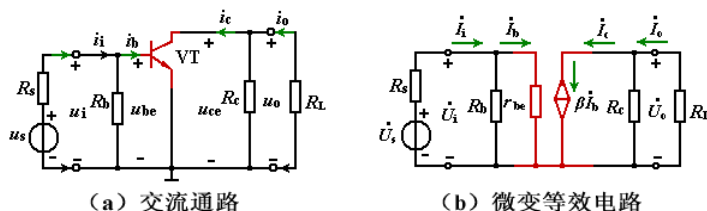
$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C$$



(2) Q点在放大区的条件

欲使 Q 点不进入饱和区, 应满足 $R_b > \beta R_c$ 。

2. 放大电路的动态分析



* 放大倍数

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}} \quad \dot{A}_{us} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s} = \frac{R_i}{R_s + R_i} \dot{A}_u = -\frac{R_i}{R_s + R_i} \cdot \frac{\beta R'_L}{r_{be}}$$

* 输入电阻

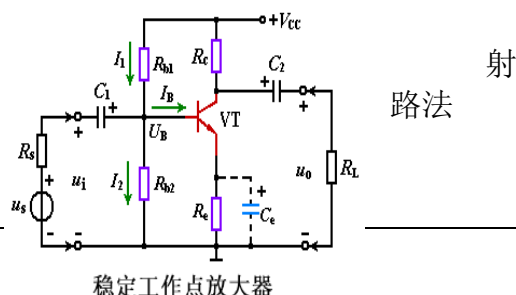
$$R_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i} = \frac{\dot{U}_i}{\dot{U}_i/R_b + \dot{U}_i/r_{be}} = R_b // r_{be}$$

* 输出电阻

$$R_o = \frac{\dot{U}_T}{\dot{I}_T} \approx R_c$$

七. 分压式稳定工作点共射放大电路的等效电

1. 静态分析



稳定工作点放大器

$$U_B \approx \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} V_{CC}$$

$$I_{CQ} \approx \frac{U_B - U_{BEQ}}{R_e}, I_{BQ} \approx I_{CQ} / \beta$$

$$U_{CEQ} \approx V_{CC} - I_{CQ} (R_c + R_e)$$

2. 动态分析

* 电压放大倍数

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = - \frac{\beta R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R_e}$$

在 R_e 两端并一电解电容 C_e 后

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = - \frac{\beta R'_L}{r_{be}}$$

$$\dot{A}_{us} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s} = \frac{R_i}{R_i + R_s} \dot{A}_u$$

输入电阻

$$R_i = R_{b1} // R_{b2} // [r_{be} + (1 + \beta) R_e]$$

在 R_e 两端并一电解电容 C_e 后

$$R_i = R_{b1} // R_{b2} // r_{be}$$

* 输出电阻

$$R_o \approx R_c$$

八. 共集电极基本放大电路

1. 静态分析

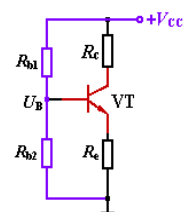
$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b + (1 + \beta) R_e}$$

$$I_{CQ} \approx \beta I_{BQ}$$

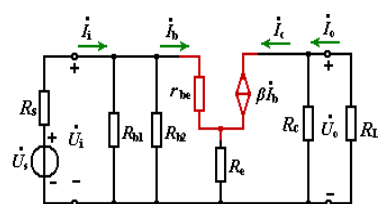
$$U_{CEQ} \approx V_{CC} - I_{CQ} R_e$$

2. 动态分析

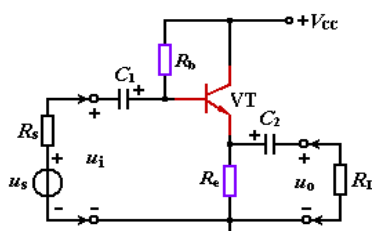
* 电压放大倍数



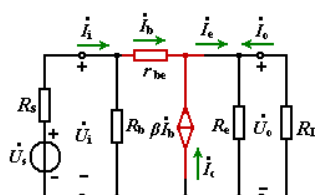
(a) 直流通路



微变等效电路



(a) 共集电极基本放大电路



(b) H参数等效电路

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{(1+\beta)R'_L}{r_{be} + (1+\beta)R'_L}$$

* 输入电阻

$$R_i = R_b // [r_{be} + (1+\beta)(R_e // R_L)]$$

* 输出电阻

$$R_o = \frac{\dot{U}_T}{\dot{I}_T} = R_e // \frac{r_{be} + R_{sb}}{1+\beta}$$

3. 电路特点

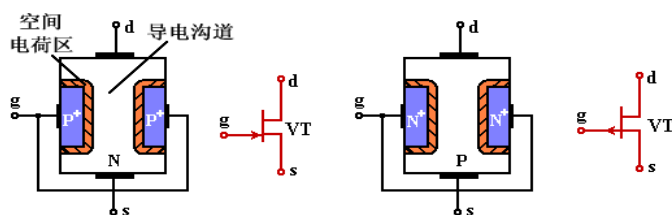
* 电压放大倍数为正，且略小于 1，称为射极跟随器，简称射随器。

* 输入电阻高，输出电阻低。

第三章 场效应管及其基本放大电路

一. 结型场效应管 (JFET)

1. 结构示意图和电路符号



(a) N-JFET 结构及电路符号 (b) P-JFET 结构及电路符号

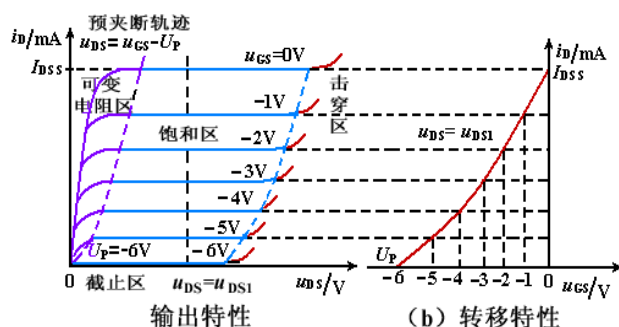
2. 输出特性曲线

(可变电阻区、放大区、截止区、击穿区)

转移特性曲线

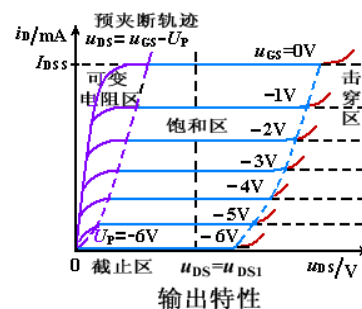
U_P ——— 截止电压

$$i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_P}\right)^2 \quad (U_P < u_{GS} \leq 0)$$



输出特性

(b) 转移特性

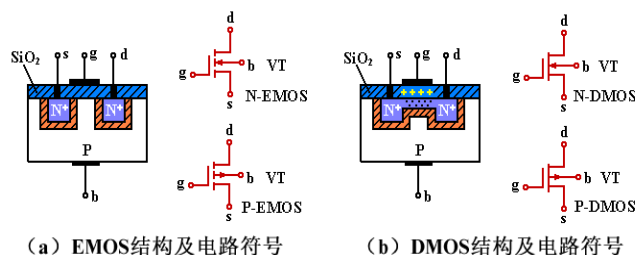


输出特性

二. 绝缘栅型场效应管 (MOSFET)

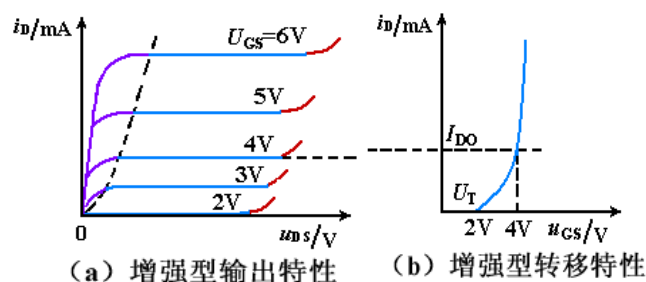
分为增强型 (EMOS) 和耗尽型 (DMOS) 两种。

结构示意图和电路符号



2. 特性曲线

*N-EMOS 的输出特性曲线

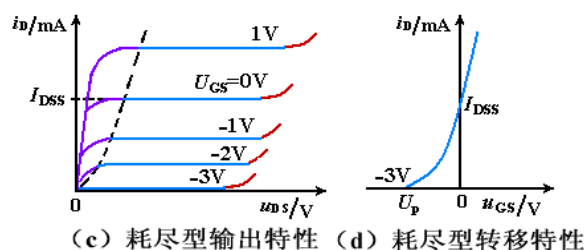


$$i_D = I_{D0} \left(\frac{u_{GS}}{U_T} - 1 \right)^2 \quad (u_{GS} > U_T)$$

* N-EMOS 的转移特性曲线

式中, I_{D0} 是 $u_{GS}=2U_T$ 时所对应的 i_D 值。

* N-DMOS 的输出特性曲线



注意: u_{GS} 可正、可零、可负。转移特性曲线上 $i_D=0$ 处的值是夹断电压 U_P , 此曲线表示式与结型场效应管一致。

三. 场效应管的主要参数

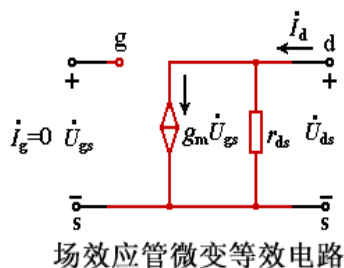
1. 漏极饱和电流 I_{DSS}
2. 夹断电压 U_P
3. 开启电压 U_T
4. 直流输入电阻 R_{GS}
5. 低频跨导 g_m (表明场效应管是电压控制器件)

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} \right|_{u_{DS}=\text{常数}}$$

四. 场效应管的小信号等效模型

$$\dot{i}_d = g_m \dot{U}_{gs} + \frac{\dot{U}_{ds}}{r_{ds}} g_m = -\frac{2I_{DSS}}{U_P} \left(1 - \frac{U_{GSQ}}{U_P} \right)$$

$$E-MOS \text{ 的跨导 } g_m \text{ --- } g_m = \frac{2I_{D0}}{U_T} \left(\frac{U_{GSQ}}{U_T} - 1 \right)$$



五. 共源极基本放大电路

1. 自偏压式偏置放大电路

* 静态分析

$$U_{GSQ} = -I_{DQ} R_s$$

$$I_{DQ} = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GSQ}}{U_P}\right)^2$$

$$U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ} (R_d + R_s)$$

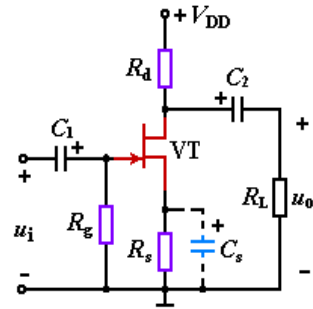
动态分析

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-g_m R'_L}{1 + g_m R_s}$$

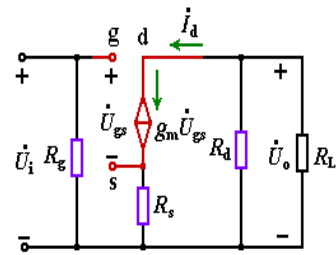
若带有 C_s , 则 $A_u = -g_m R'_L$

$$R_i = R_g$$

$$R_o \approx R_d$$



(a) 原理电路



(c) 微变等效电路

2. 分压式偏置放大电路

* 静态分析

$$U_{GSQ} = \frac{R_{g2}}{R_{g1} + R_{g2}} V_{DD} - I_{DQ} R_s$$

$$I_{DQ} = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GSQ}}{U_P}\right)^2 \text{ 或 } I_{DQ} = I_{DO} \left(\frac{U_{GSQ}}{U_T} - 1\right)^2$$

$$U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ} (R_d + R_s)$$

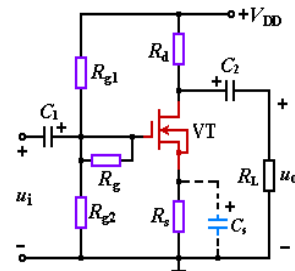
* 动态分析

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-g_m R'_L}{1 + g_m R_s}$$

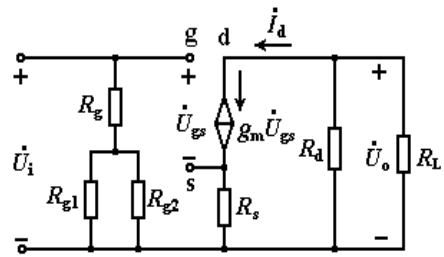
若源极带有 C_s , 则 $A_u = -g_m R'_L$

$$R_i = R_g + R_{g1} // R_{g2}$$

$$R_o \approx R_d$$



(a) 原理电路



(c) 微变等效电路

六. 共漏极基本放大电路

* 静态分析

$$U_{GSQ} = \frac{R_{g2}}{R_{g1} + R_{g2}} V_{DD} - I_{DQ} R_s$$

$$I_{DQ} = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GSQ}}{U_P}\right)^2$$

$$I_{DQ} = I_{D0} \left(\frac{U_{GSQ}}{U_T} - 1\right)^2$$

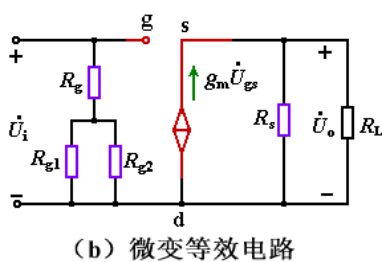
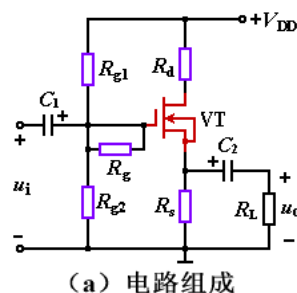
或

$$U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ} R_s$$

* 动态分析

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{g_m R'_L}{1 + g_m R'_L}$$

$$R_i = R_g + R_{g1} // R_{g2} \quad R_o = \frac{\dot{U}_T}{\dot{I}_T} = R_s // \frac{1}{g_m}$$



第五章 功率放大电路

一. 功率放大电路的三种工作状态

1. 甲类工作状态

导通角为 360° , I_{CQ} 大, 管耗大, 效率低。

2. 乙类工作状态

$I_{CQ} \approx 0$, 导通角为 180° , 效率高, 失真大。

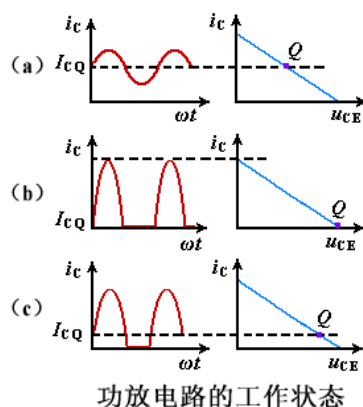
3. 甲乙类工作状态

导通角为 $180^\circ \sim 360^\circ$, 效率较高, 失真较大。

二. 乙类功放电路的指标估算

1. 工作状态

- 任意状态: $U_{om} \approx U_{im}$
- 尽限状态: $U_{om} = V_{CC} - U_{CES}$
- 理想状态: $U_{om} \approx V_{CC}$



$$P_o = \frac{1}{2} I_{om} U_{om} = \frac{U_{om}^2}{2 R_L}$$

2. 输出功率

3. 直流电源提供的平均功率

$$P_{V_{CC}} = V_{CC} I_{(AV)} = V_{CC} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot I_{om} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{V_{CC} U_{om}}{R_L}$$

4. 管耗

$$P_{c1m} = 0.2 P_{om} \quad P_{cm} = 2 P_{c1m} \approx 0.4 P_{om}$$

5. 效率

$$\eta = \frac{P_o}{P_{V_{CC}}} = \frac{U_{om}^2/2R_L}{2V_{CC}U_{om}/\pi R_L} = \frac{\pi U_{om}}{4V_{CC}} \quad \text{理想时为 } 78.5\%$$

三. 甲乙类互补对称功率放大电路

1. 问题的提出

在两管交替时出现波形失真——交越失真(本质上是截止失真)。

2. 解决办法

- 甲乙类双电源互补对称功率放大器 OCL——利用二极管、三极管和电阻上的压降产生偏置电压。

动态指标按乙类状态估算。

- 甲乙类单电源互补对称功率放大器 OTL——电容 C_2 上静态电压为 $V_{CC}/2$ ，并且取代了 OCL 功放中的负电源 $-V_{CC}$ 。

动态指标按乙类状态估算，只是用 $V_{CC}/2$ 代替。

四. 复合管的组成及特点

- 前一个管子 c-e 极跨接在后一个管子的 b-c 极间。
- 类型取决于第一只管子的类型。

$$3. \quad \beta = \beta_1 \cdot \beta_2$$

第六章 集成运算放大电路

一. 集成运放电路的基本组成

- 输入级——采用差放电路，以减小零漂。
- 中间级——多采用共射(或共源)放大电路，以提高放大倍数。
- 输出级——多采用互补对称电路以提高带负载能力。
- 偏置电路——多采用电流源电路，为各级提供合适的静态电流。

二. 长尾差放电路的原理与特点

1. 抑制零点漂移的过程——

当 $T \uparrow \rightarrow i_{C1}、i_{C2} \uparrow \rightarrow i_{E1}、i_{E2} \uparrow \rightarrow U_E \uparrow \rightarrow U_{BE1}、U_{BE2} \downarrow \rightarrow i_{B1}、i_{B2} \downarrow \rightarrow i_{C1}、i_{C2} \downarrow$ 。

R_e 对温度漂移及各种共模信号有强烈的抑制作用，被称为“共模反馈电阻”。

2 静态分析

1) 计算差放电路 I_c

$$\text{设 } U_b \approx 0, \text{ 则 } U_e = -0.7V, \text{ 得 } I_{C1} = I_{C2} \approx I_{E1} = \frac{V_{EE} - 0.7}{R_p/2 + 2R_e}$$

2) 计算差放电路 U_{ce}

- 双端输出时
- $U_{CE1} = U_{CE2} = U_C - U_E = V_{CC} - I_C R_c + 0.7$
- 单端输出时(设 VT1 集电极接 R_L)

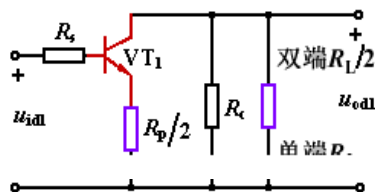
对于 VT1:

$$\frac{V_{CC} - U_{C1}}{R_c} = \frac{U_{C1}}{R_L} + I_{C1}, \quad U_{CE1} = U_{C1} - U_E = U_{C1} + 0.7$$

对于 VT2:

$$U_{C2} = V_{CC} - I_{C2} R_c, \quad U_{CE2} = U_{C2} - U_E = V_{CC} - I_{C2} R_c + 0.7$$

3. 动态分析



1) 差模电压放大倍数

- 双端输出
-

$$A_{ud} = A_{u1} = \frac{-\beta(R_c // R_L / 2)}{R_s + r_{be} + (1 + \beta)(R_p / 2)}$$

- 单端输出时

从 VT1 单端输出 :

$$A_{ud1} = \frac{A_{ud}}{2} = \frac{-\beta(R_c // R_L)}{2[R_s + r_{be} + (1 + \beta)(R_p / 2)]}$$

从 VT2 单端输出 :

$$A_{ud2} = -A_{ud1} = \frac{\beta(R_c // R_L)}{2[R_s + r_{be} + (1 + \beta)(R_p / 2)]}$$

$$2) \text{ 差模输入电阻 } R_{id} = 2[R_s + r_{be} + (1 + \beta)\frac{R_p}{2}]$$

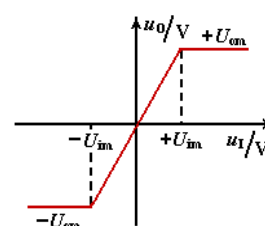
3) 差模输出电阻

- 双端输出: $R_{od} \approx 2R_c$
- 单端输出: $R_{od1} \approx R_c$

三. 集成运放的电压传输特性

当 u_i 在 $+U_{im}$ 与 $-U_{im}$ 之间, 运放工作在线性区

$$u_o = A_{od} u_i = A_{od} (u_+ - u_-)$$



集成运放的电压传输特性

域 :

四. 理想集成运放的参数及分析方法

1. 理想集成运放的参数特征

- * 开环电压放大倍数 $A_{od} \rightarrow \infty$;
- * 差模输入电阻 $R_{id} \rightarrow \infty$;
- * 输出电阻 $R_o \rightarrow 0$;
- * 共模抑制比 $K_{CMR} \rightarrow \infty$;

2. 理想集成运放的分析方法

1) 运放工作在线性区:

- * 电路特征——引入负反馈
- * 电路特点——“虚短”和“虚断”:

$$u_+ = u_-$$

“虚短” ---

$$i_+ = i_- = 0$$

“虚断” ---

2) 运放工作在非线性区

- * 电路特征——开环或引入正反馈
- * 电路特点——

输出电压的两种饱和状态:

当 $u_i > u$ 时, $u_o = +U_{om}$

当 $u_c < u$ 时, $u_o = -U_{om}$
 两输入端的输入电流为零:
 $i_+ = i_- = 0$

第七章 放大电路中的反馈

一. 反馈概念的的建立

$$\dot{A}_f = \frac{\dot{X}_o}{\dot{X}_i} = \frac{\dot{A}}{1 + \dot{A}\dot{F}}$$

- * 开环放大倍数—— A
- * 闭环放大倍数—— A_f
- * 反馈深度—— $1 + A F$
- * 环路增益—— $A F$:

1. 当 $A F > 0$ 时, A_f 下降, 这种反馈称为负反馈。
2. 当 $A F = 0$ 时, 表明反馈效果为零。
3. 当 $A F < 0$ 时, A_f 升高, 这种反馈称为正反馈。
4. 当 $A F = -1$ 时, $A_f \rightarrow \infty$ 。放大器处于“自激振荡”状态。

二. 反馈的形式和判断

1. 反馈的范围——本级或级间。
2. 反馈的性质——交流、直流或交直流。

直流通路中存在反馈则为直流反馈, 交流通路中存在反馈则为交流反馈, 交、直流通路中都存在反馈则为交、直流反馈。

3. 反馈的取样——电压反馈: 反馈量取样于输出电压; 具有稳定输出电压的作用。

(输出短路时反馈消失)

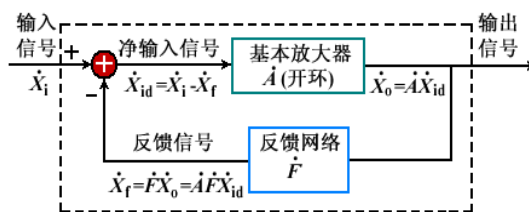
电流反馈: 反馈量取样于输出电流。具有稳定输出电流的作用。

(输出短路时反馈不消失)

4. 反馈的方式——并联反馈: 反馈量与原输入量在输入电路中以电流形式相叠加。 R_s 越大反馈效果越好。
 反馈信号反馈到输入端)
 串联反馈: 反馈量与原输入量在输入电路中以电压的形式相叠加。 R_s 越小反馈效果越好。
 反馈信号反馈到非输入端)

5. 反馈极性——瞬时极性法:

- (1) 假定某输入信号在某瞬时的极性为正(用+表示), 并设信号的频率在中频段。
- (2) 根据该极性, 逐级推断出放大电路中各相关点的瞬时极性(升高用+表示, 降低用-表示)。
- (3) 确定反馈信号的极性。



反馈放大器组成方框图

- (4) 根据 X_i 与 X_f 的极性, 确定净输入信号的大小。 X_{id} 减小为负反馈; X_{id} 增大为正反馈。

三. 反馈形式的描述方法

某反馈元件引入级间 (本级) 直流负反馈和交流电压 (电流) 串联 (并联) 负反馈。

四. 负反馈对放大电路性能的影响

1. 提高放大倍数的稳定性

$$\frac{dA_f}{A_f} = \frac{1}{1+AF} \cdot \frac{dA}{A}$$

2. A_f
3. 扩展频带
4. 减小非线性失真及抑制干扰和噪声
5. 改变放大电路的输入、输出电阻

*串联负反馈使输入电阻增加 $1+AF$ 倍

*并联负反馈使输入电阻减小 $1+AF$ 倍

*电压负反馈使输出电阻减小 $1+AF$ 倍

*电流负反馈使输出电阻增加 $1+AF$ 倍

五. 自激振荡产生的原因和条件

1. 产生自激振荡的原因

附加相移将负反馈转化为正反馈。

2. 产生自激振荡的条件

$$\dot{A}\dot{F} = -1$$

若表示为幅值和相位的条件则为:

$$|\dot{A}\dot{F}| = 1 \quad \varphi_{AF} = \varphi_A + \varphi_F = \pm(2n+1)\pi \quad (n \text{ 为整数})$$

第八章 信号的运算与处理

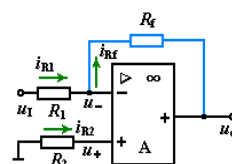
分析依据----- “虚断” 和 “虚短”

一. 基本运算电路

1. 反相比例运算电路

$$R_2 = R_1 // R_f$$

$$u_O = -\frac{R_f}{R_1} u_I$$

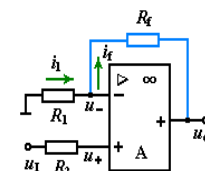


(a) 基本形式

2. 同相比例运算电路

$$R_2 = R_1 // R_f$$

$$u_O = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) u_+$$

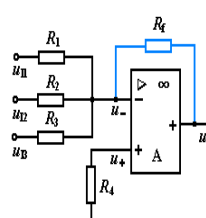


(a) 基本形式

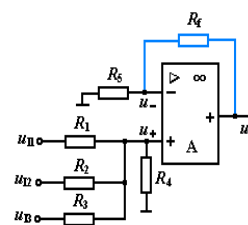
3. 反相求和运算电路

$$R_4 = R_1 // R_2 // R_3 // R_f$$

$$u_O = -R_f \left(\frac{u_{I1}}{R_1} + \frac{u_{I2}}{R_2} + \frac{u_{I3}}{R_3} \right)$$



反相求和运算电路



同相求和运算电路

4. 同相求和运算电路

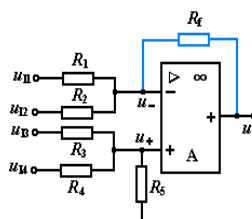
$$R_1 // R_2 // R_3 // R_4 = R_f // R_5$$

$$u_O = (1 + \frac{R_f}{R_5}) (\frac{R_f}{R_1} u_{I1} + \frac{R_f}{R_2} u_{I2} + \frac{R_f}{R_3} u_{I3})$$

5. 加减运算电路

$$R_1 // R_2 // R_f = R_3 // R_4 // R_5$$

$$u_O = R_f (\frac{u_{I3}}{R_3} + \frac{u_{I4}}{R_4} - \frac{u_{I1}}{R_1} - \frac{u_{I2}}{R_2})$$

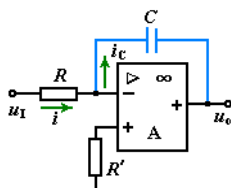


单运放加减运算电路

二. 积分和微分运算电路

1. 积分运算

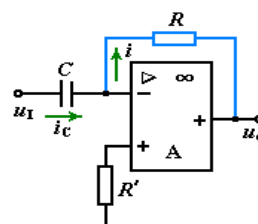
$$u_O = -\frac{1}{RC} \int u_I dt$$



基本积分运算电路

2. 微分运算

$$u_O = -RC \frac{du_I}{dt}$$



(a) 基本微分电路

第九章 信号发生电路

一. 正弦波振荡电路的基本概念

1. 产生正弦波振荡的条件(人为的直接引入正反馈)

$$\dot{A}\dot{F} = 1$$

$$\text{即幅值平衡条件: } |\dot{A}\dot{F}| = 1$$

$$\text{相位平衡条件: } \varphi_{AF} = \pm 2n\pi (n=0, 1, 2, \dots)$$

2. 起振条件:

$$\text{幅值条件: } |\dot{A}\dot{F}| > 1$$

$$\text{相位条件: } \varphi_{AF} = \pm 2n\pi$$

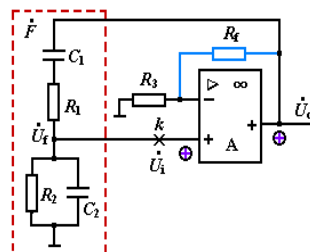
3. 正弦波振荡器的组成、分类

正弦波振荡器的组成

- (1) 放大电路-----建立和维持振荡。
- (2) 正反馈网络----与放大电路共同满足振荡条件。
- (3) 选频网络-----以选择某一频率进行振荡。
- (4) 稳幅环节-----使波形幅值稳定, 且波形的形状良好。

* 正弦波振荡器的分类

- (1) RC振荡器-----振荡频率较低, 1M 以下;
- (2) LC振荡器-----振荡频率较高, 1M 以上;
- (3) 石英晶体振荡器----振荡频率高且稳定。



(a) 文氏电桥振荡器