



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

§ 4.5 三种组态场效应 管放大器的中频特性

lugh@ustc.edu.cn

2016年10月26日

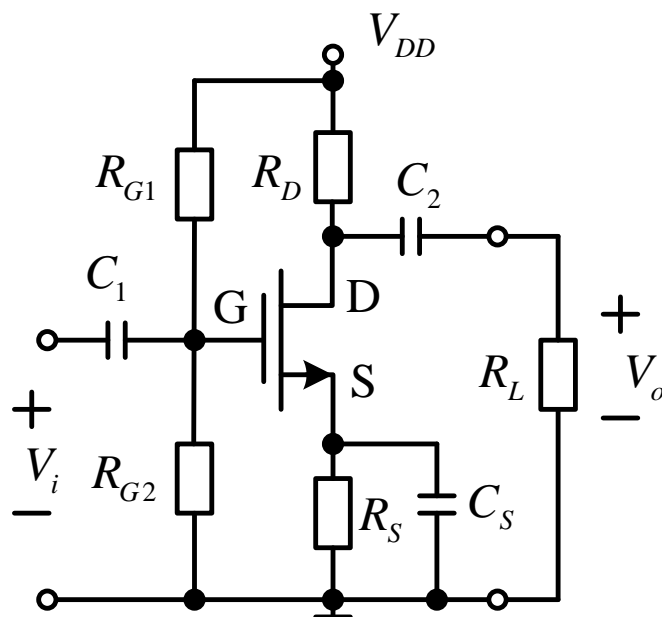
提纲

- 1. 共源放大器
- 2. 共漏放大器
- 3. 共栅放大器

1. 共源放大器

■ 电路结构

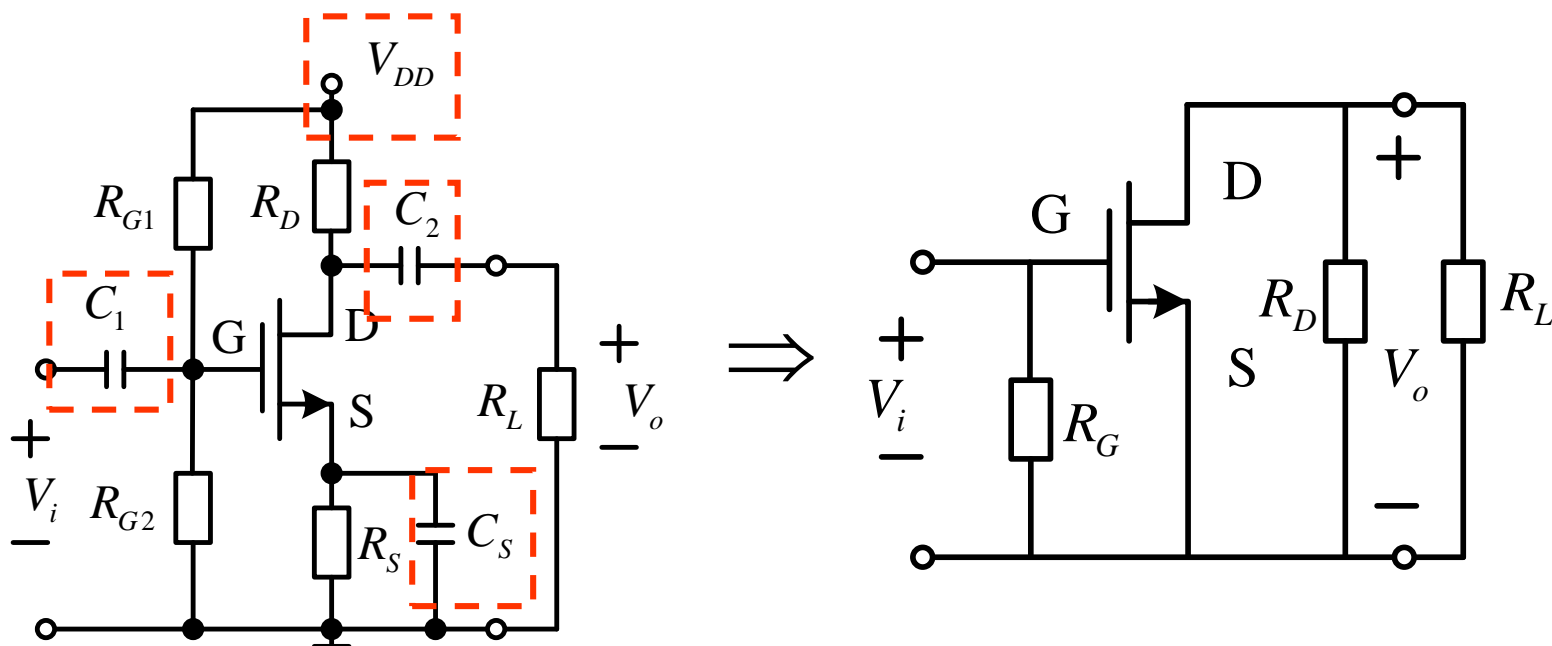
- 直流偏置电路：分压式偏置电路
- 工作组态：共源组态



1. 共源放大器

■ 中频交流通路

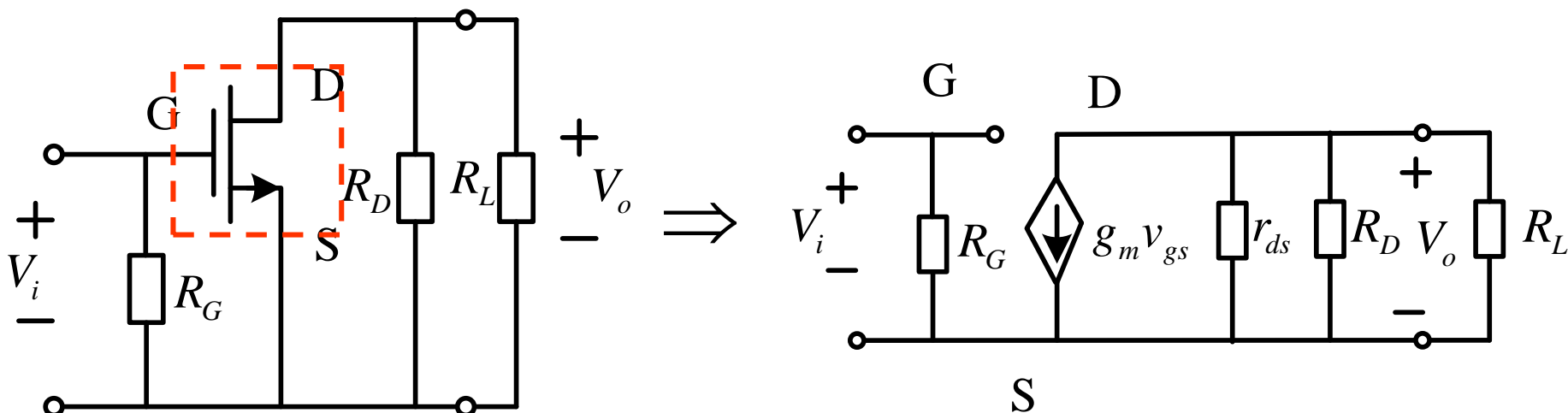
- 直流信号源：电压源交流接地，电流源交流开路
- 耦合电容、旁路电容：交流短路



1. 共源放大器

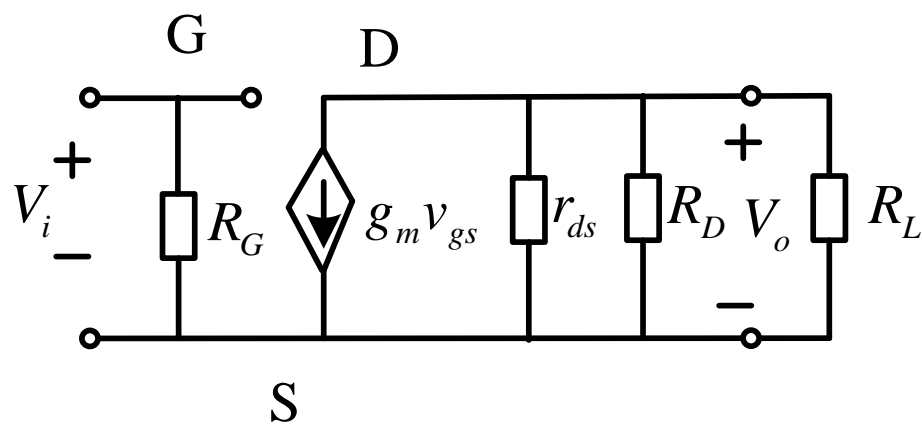
■ 中频交流等效电路

- 用低频小信号模型替代FET
- 在等效电路中注意标明输入、输出端口，控制电压及其方向



1. 共源放大器

■ 中频电压增益



$$\left. \begin{aligned} V_o &= -g_m v_{gs} (r_{ds} \parallel R_D \parallel R_L) \\ V_i &= v_{gs} \end{aligned} \right\} \Rightarrow A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-g_m v_{gs} (r_{ds} \parallel R_D \parallel R_L)}{v_{gs}} \\ = -g_m (r_{ds} \parallel R_D \parallel R_L)$$

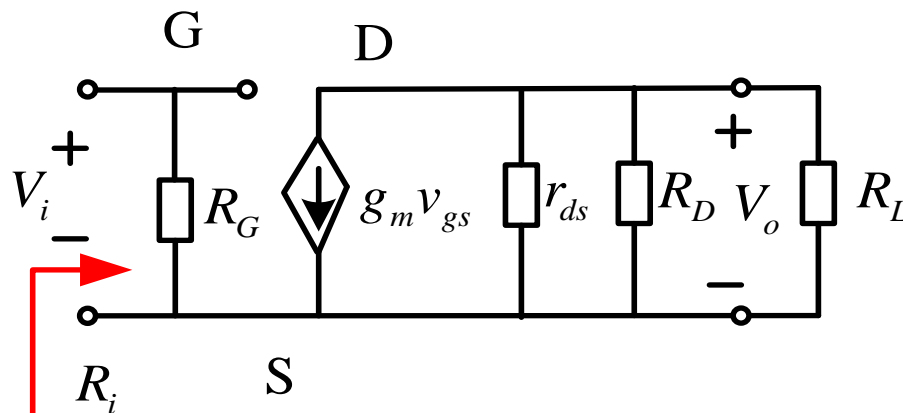
1. 共源放大器

■ 说明

- 共源放大器是电压反相放大器，且由于 g_m 一般较小（ $10^{-2} \sim 10^{-3}$ ），其电压增益一般只能做到 10^1 量级，相比而言，共发放大器要大的多

1. 共源放大器

■ 输入阻抗



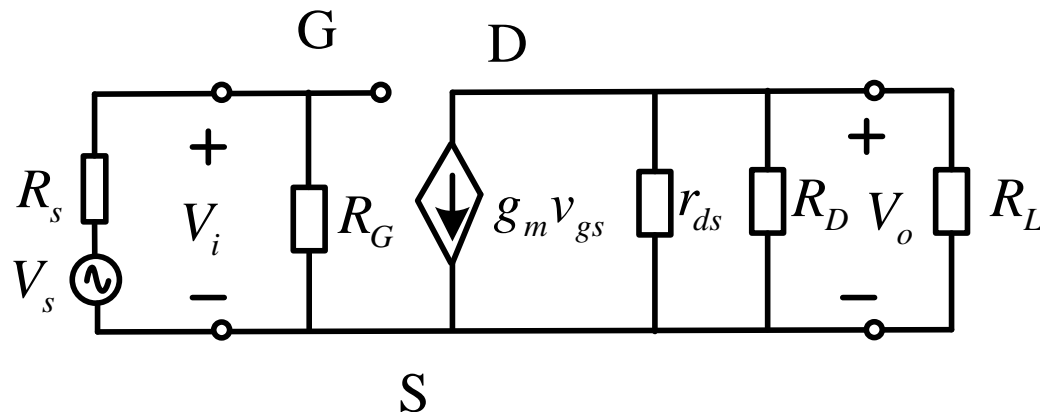
$$R_i = R_G = R_{G1} \parallel R_{G2}$$

■ 说明

- 由于**FET**栅源之间对应的是反向偏置的**PN**结或绝缘层，呈现非常大的输入阻抗，因此，在中频交流放大电路中，栅极偏置电阻决定了放大器的输入阻抗

1. 共源放大器

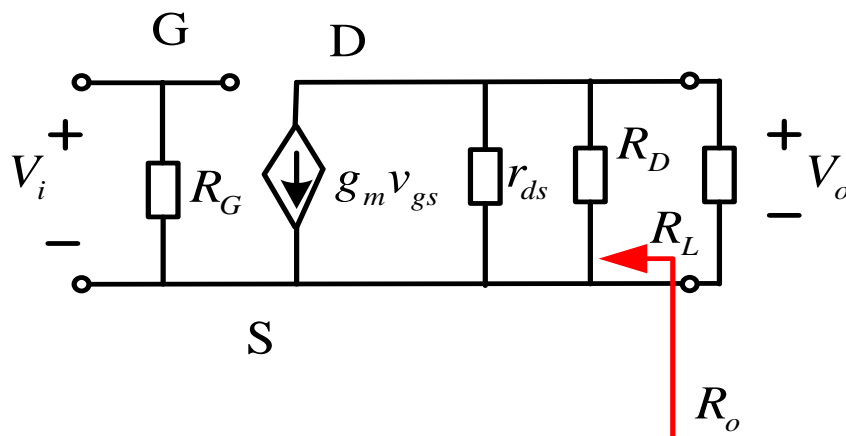
■ 中频源电压增益



$$A_{V_s} = A_V \frac{R_i}{R_i + R_s}$$

1. 共源放大器

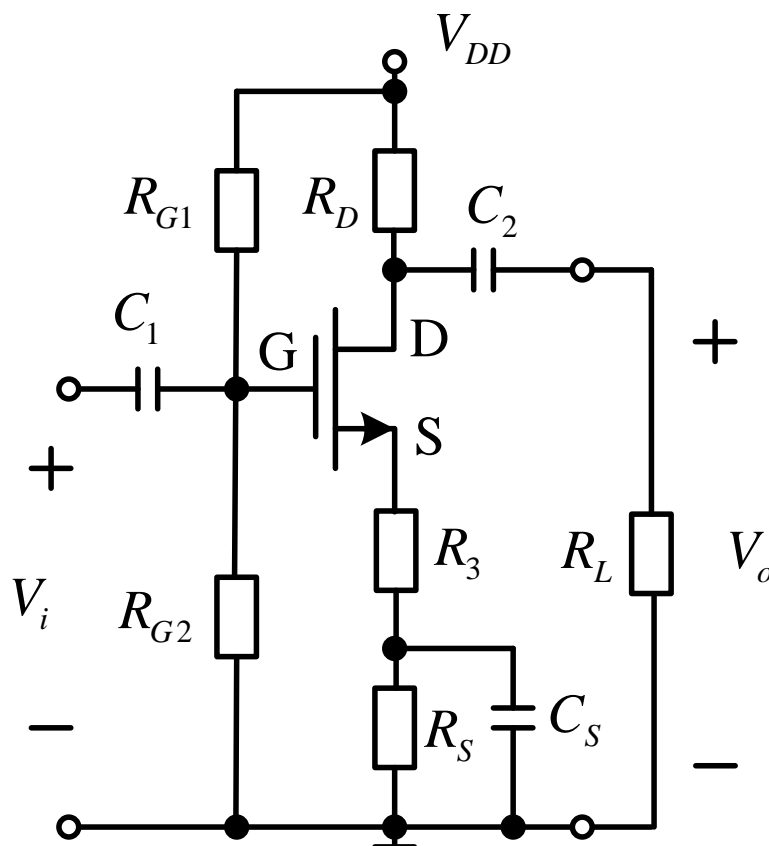
■ 输出阻抗



$$R_o = r_{ds} \parallel R_D$$

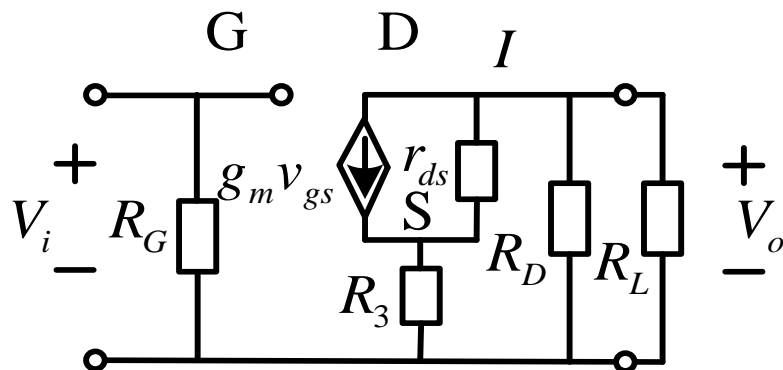
1. 共源放大器

■ 源极串入电阻 R_3 的共源放大器



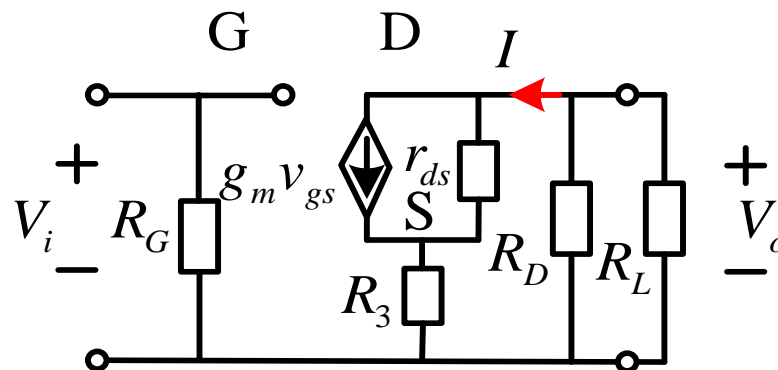
1. 共源放大器

■ 中频交流等效电路



1. 共源放大器

■ 中频电压增益



$$\left. \begin{aligned} V_o &= -I(R_D \parallel R_L) \\ V_i &= v_{gs} + IR_3 \\ I &= g_m v_{gs} + \frac{V_o - IR_3}{r_{ds}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-g_m(R_D \parallel R_L)}{1 + g_{ds}(R_D \parallel R_L) + (g_m + g_{ds})R_3}$$

$$\text{若 } r_{ds} \gg (R_D \parallel R_L) \Rightarrow A_V = \frac{-g_m(R_D \parallel R_L)}{1 + g_m R_3}$$

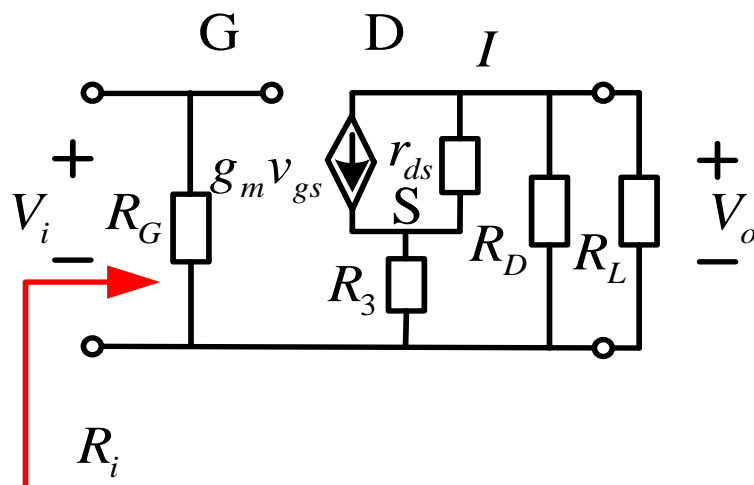
1. 共源放大器

■ R_3 的影响

- R_3 降低了放大器的中频电压增益，但是改善了中频增益稳定性，即降低了跨导参数 g_m 的影响

1. 共源放大器

■ 输入阻抗

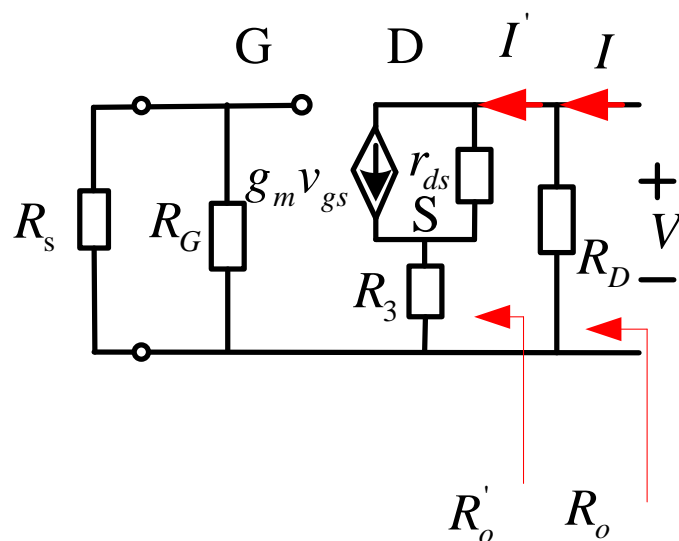


$$R_i = R_G = R_{G1} \parallel R_{G2}$$

1. 共源放大器

■ 输出阻抗

- R_3 会影响控制电压 V_{gs}



1. 共源放大器

$$\left. \begin{aligned} V &= I' R_3 + (I' - g_m v_{gs}) \cdot r_{ds} \\ v_{gs} &= -I' R_3 \end{aligned} \right\}$$

$$\Rightarrow R_0' = \frac{V}{I'} = r_{ds} + R_3 (1 + g_m r_{ds})$$

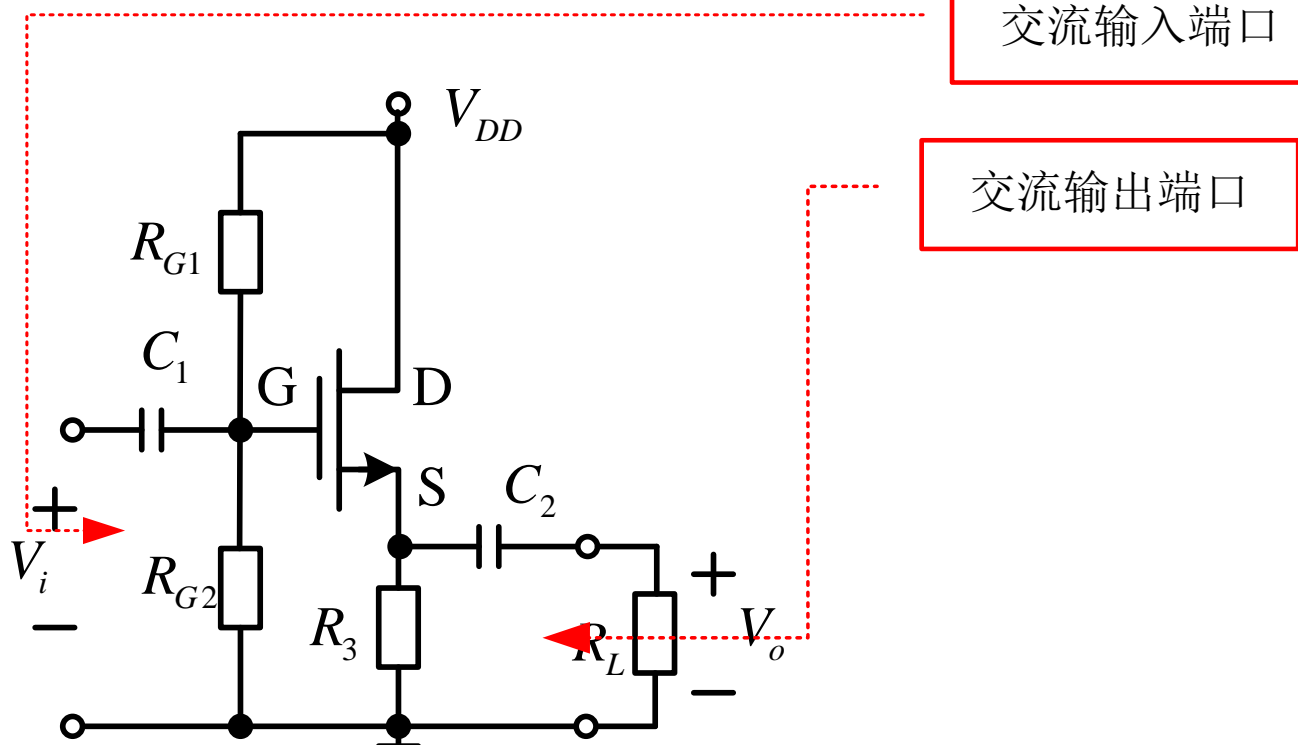
$$R_0 = (r_{ds} + R_3 (1 + g_m r_{ds})) \parallel R_D$$

■ 说明

□ R_3 进一步降低了 r_{ds} 对输出阻抗的影响

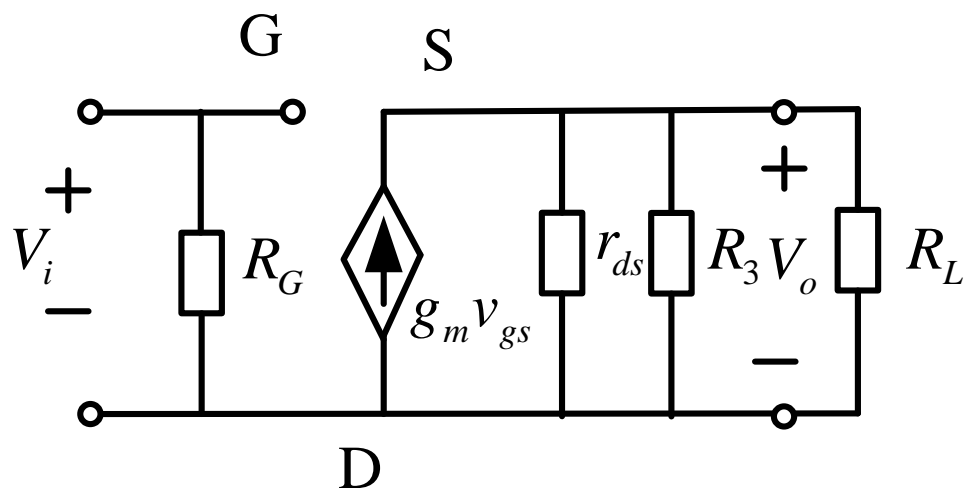
2. 共漏放大器

■ 电路结构



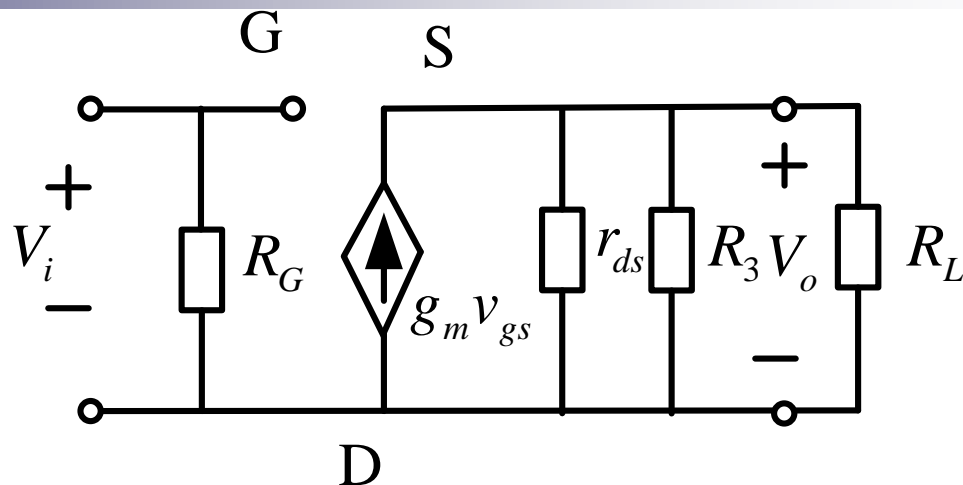
2. 共漏放大器

■ 中频交流等效电路



2. 共漏放大器

■ 中频电压增益



$$\left. \begin{aligned} V_o &= g_m v_{gs} (r_{ds} \parallel R_D \parallel R_L) \\ V_i &= v_{gs} + V_o \end{aligned} \right\}$$
$$\Rightarrow A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{g_m (r_{ds} \parallel R_D \parallel R_L)}{1 + g_m (r_{ds} \parallel R_D \parallel R_L)}$$

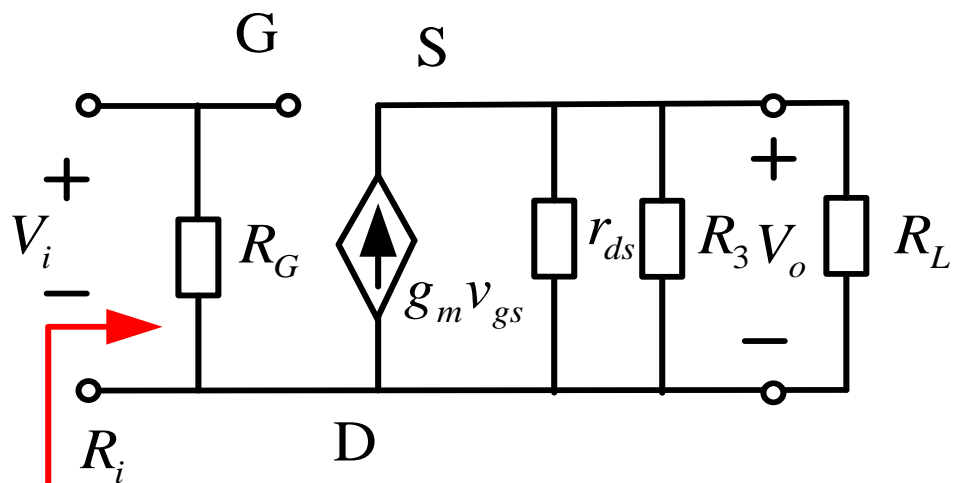
2. 共漏放大器

■ 说明

- 共漏放大器是电压同相放大器，且电压增益小于1，即输出电压可以跟踪输入电压的幅度和相位，类似于共集放大器，称为源极跟随器

2. 共漏放大器

■ 输入阻抗



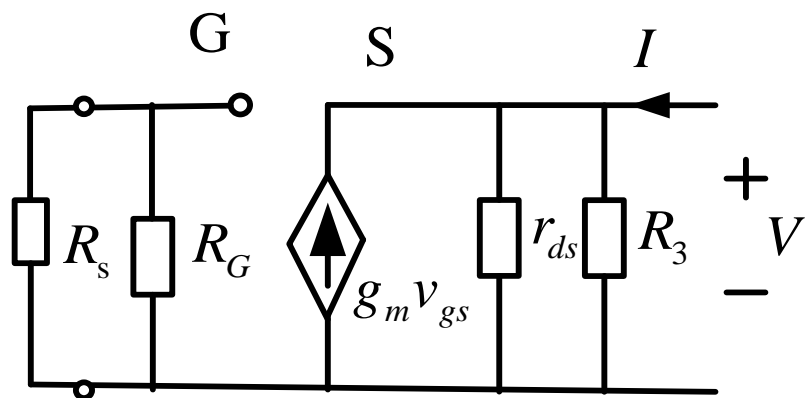
$$R_i = R_G = R_{G1} \parallel R_{G2}$$

2. 共漏放大器

■ 输出阻抗

2. 共漏放大器

■ 输出阻抗



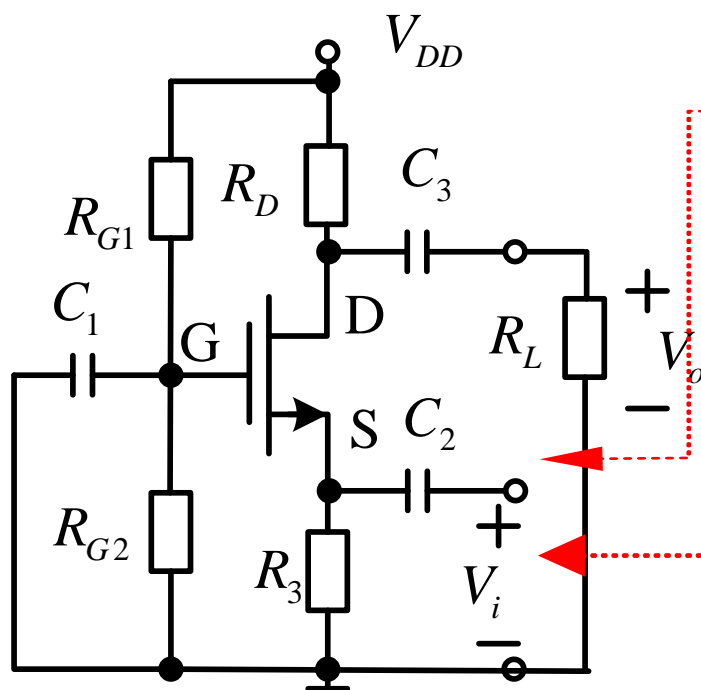
$$\begin{cases} v_{gs} = -V \\ V = (I + g_m v_{gs})(r_{ds} \parallel R_3) \end{cases}$$
$$\Rightarrow R_o = \frac{V}{I} = \frac{1}{g_m} \parallel r_{ds} \parallel R_3 \approx \frac{1}{g_m}$$

■ 说明

□ 共漏放大器具有较低的输出阻抗

3. 共栅放大器

■ 电路结构

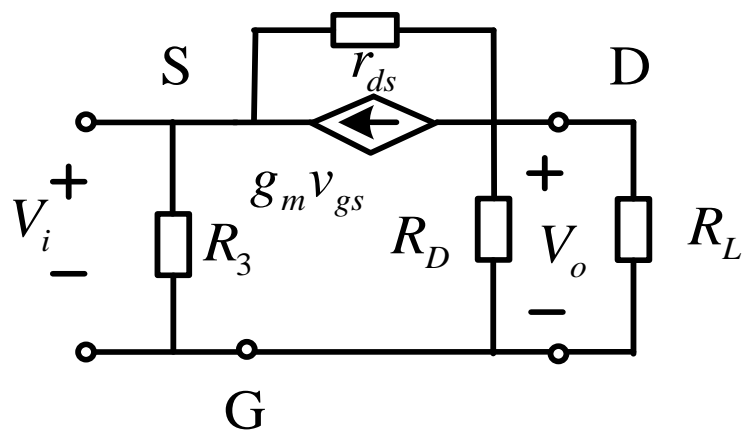


交流输入端口

交流输出端口

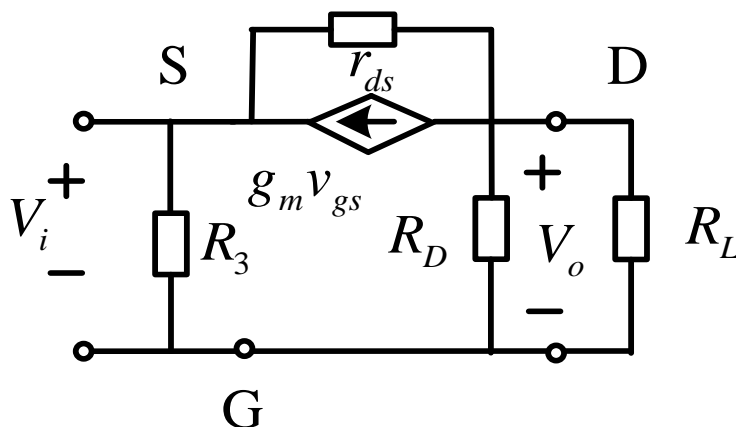
3. 共栅放大器

■ 中频交流等效电路



3. 共栅放大器

■ 中频电压增益



$$\left. \begin{aligned} V_o &= \left(-g_m v_{gs} - \frac{V_o - V_i}{r_{ds}} \right) (R_D \parallel R_L) \\ V_i &= -v_{gs} \end{aligned} \right\} \Rightarrow A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{(g_m + g_{ds})(R_D \parallel R_L)}{1 + g_{ds}(R_D \parallel R_L)}$$
$$\approx g_m (R_D \parallel R_L)$$

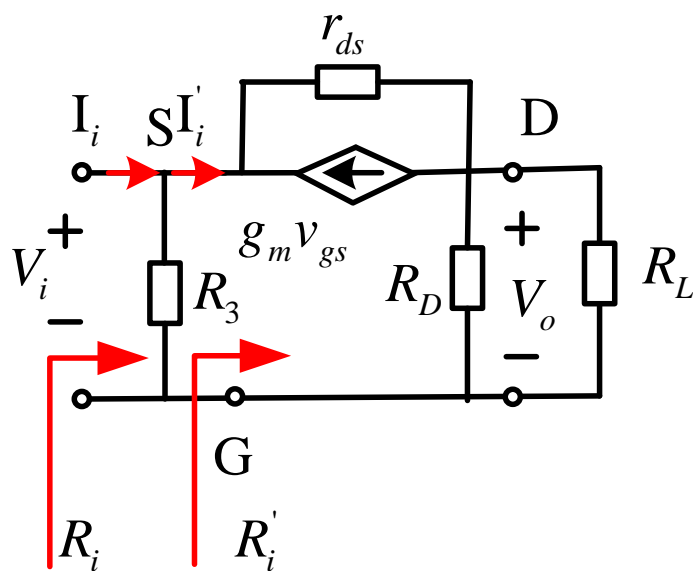
3. 共栅放大器

■ 说明

- 共栅放大器是电压同相放大器，其电压增益与共源放大器相似

3. 共栅放大器

■ 输入阻抗



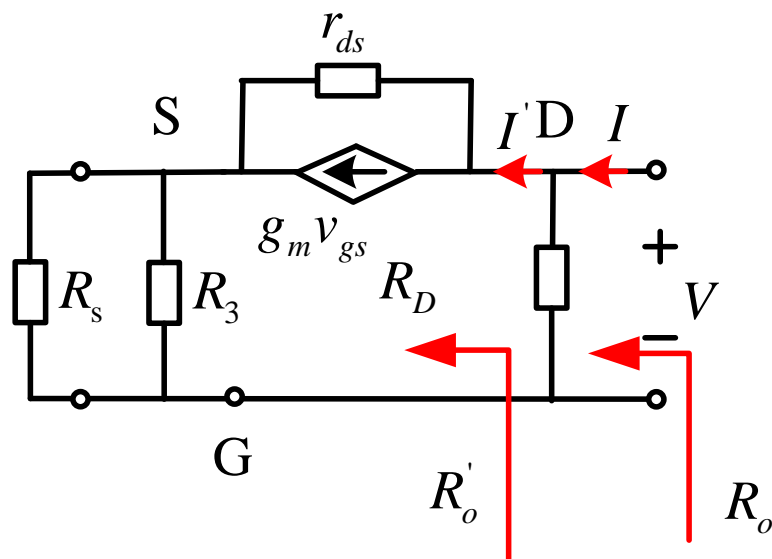
$$\begin{cases} V_i = I_i' (R_D \parallel R_L) + (I_i' + g_m v_{gs}) r_{ds} \\ v_{gs} = -V_i \end{cases}$$
$$\Rightarrow R_i' = \frac{V_i}{I_i'} \approx \frac{1}{g_m} \Rightarrow R_i = \frac{1}{g_m} \parallel R_3$$

■ 说明

- 共栅放大器具有比共源放大器低得多的输入阻抗

3. 共栅放大器

■ 输出阻抗



$$\begin{cases} V = I' (R_s \parallel R_3) + (I' - g_m v_{gs}) r_{ds} \\ v_{gs} = -I' (R_s \parallel R_3) \end{cases}$$

$$\Rightarrow R_o' = r_{ds} + (1 + g_m r_{ds}) (R_s \parallel R_3) \Rightarrow R_o = R_o' \parallel R_D \approx R_D$$

3. 共栅放大器

■ 说明

- 共栅放大器的输出阻抗由漏极电阻 R_D 决定，尽管FET自身共栅输出阻抗相当大，但是放大电路的输出阻抗并不大

3. 共栅放大器

■ 三种组态FET基本放大器对比

组态	A_v	R_i	R_o
共源	反相, >1	高	中
共漏	同相, ≈ 1	高	低
共栅	同相, >1	低	中(相对高)



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

§ 4.6 共源放大器的频率响应

lugh@ustc.edu.cn

2016年10月26日

1. 低频响应

- 主要考虑三个电容

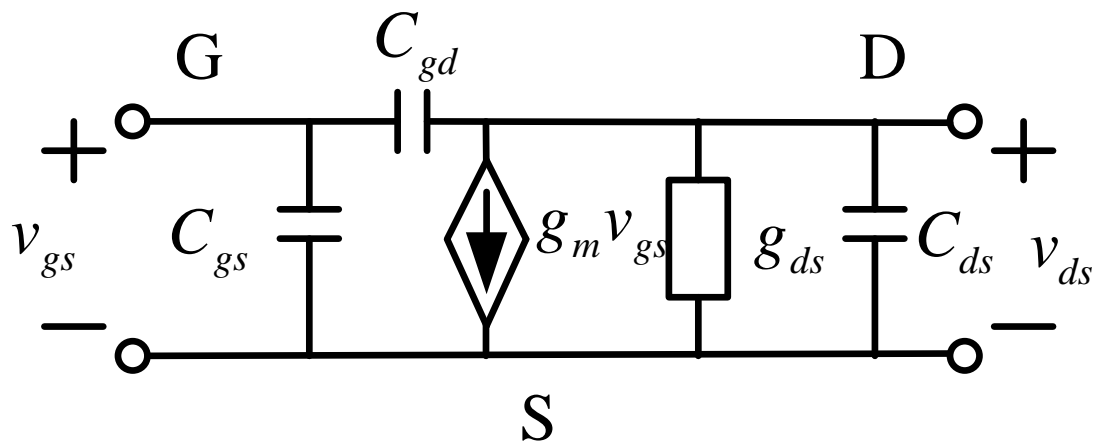
- 分析方法和BJT类似，三个电容分别考虑,仍有

$$\omega_{lC_3} \gg \omega_{lC_1}, \omega_{lC_2}$$

- 下截止频率主要由C₃决定

2. 高频响应

- 三个极间电容的影响，主要求放大器的上截止频率



2. 高频响应

- 用密勒定理来进行单项化近似
- 通过必要的近似后，得到 $k = -g_m (R_L' \parallel r_{ds}) < 0$

$$C' = (1 + g_m R_L' \parallel r_{ds}) C_{gd}$$

$$C'' = (1 + \frac{1}{g_m (R_L' \parallel r_{ds})}) C_{gd}$$

$$C_i = C' + C_{gs}$$

$$C_o = C'' + C_{ds}$$

本章小结

■ 场效应管的导电特性

- 熟悉JFET及MOSFET的电路符号
- 熟悉三种场效应管的性能参数及其含义
- 掌握三种场效应管的漏极伏安特性及其在饱和电流区的转移特性方程
- 熟悉场效应管的三种工作区及其划分条件

本章小结

- 场效应管放大电路的直流分析
 - 熟悉场效应管直流偏置电路的组成结构及其适用范围
 - 掌握基于转移特性方程的场效应管电路直流分析方法，熟悉分析步骤

本章小结

■ 场效应管放大电路的中频分析

- 熟悉场效应管的三种组态及其判别方法
- 掌握场效应管低频交流小信号模型，牢记模型结构及模型参数
- 熟悉场效应管放大电路交流分析步骤及交流性能指标
- 熟悉并能定性比较共源、共漏、共栅放大器中频性能

作业

- 4.10
- 4.13
- 4.14(1)