

MOSFET放大器

MOSFET 放大器使用以共源极配置连接的金属氧化物硅晶体管

在我们之前有关 FET 放大器的教程中，我们看到可以使用结型场效应晶体管 (JFET) 制作简单的单级放大器。但还有其他类型的场效应晶体管可用于构建放大器，在本教程中我们将介绍**MOSFET 放大器**。

金属氧化物半导体场效应晶体管（简称 MOSFET）是小信号线性放大器的绝佳选择，因为它们的输入阻抗极高，易于偏置。但与双极结型晶体管不同，MOSFET 要想产生线性放大，就必须在饱和区工作。但就像 BJT 一样，它也需要围绕中心固定的 Q 点进行偏置。

MOSFET 使电流通过称为“通道”的导电区域或路径。我们可以通过施加合适的栅极电位来使该导电沟道更宽或更小。

通过施加该栅极电压，在栅极端子周围感应出的电场会影响沟道的电气特性，因此被称为场效应晶体管。

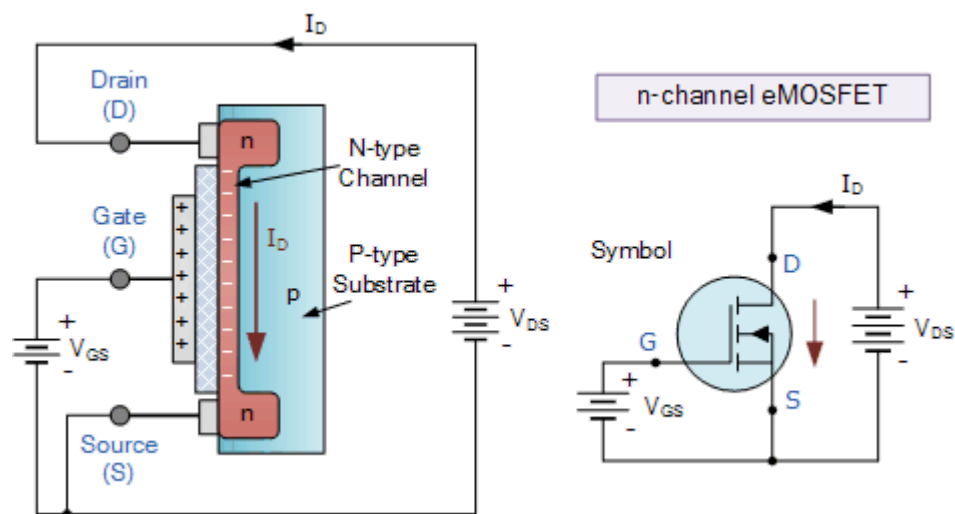


典型 MOSFET 晶体管

换句话说，我们可以通过在源极和漏极区域之间创建或“增强”其导电沟道来控制 MOSFET 的工作方式，从而产生一种通常称为 n 沟道增强型 MOSFET 的 MOSFET。这仅仅意味着，除非我们在栅极上对它们施加正偏压（对 p 沟道施加负偏压），否则不会有沟道电流流动。

不同类型的 MOSFET 的特性存在很大差异，因此必须单独对 MOSFET 进行偏置。与双极晶体管共发射极配置一样，共源 MOSFET 放大器需要偏置在合适的静态值。但首先让我们回顾一下 MOSFET 的基本特性和配置。

增强型 N 沟道 MOSFET



请注意，双极结型晶体管和 FET 之间的根本区别在于，BJT 的端子分别标记为集电极、发射极和基极，而 MOSFET 的端子分别标记为漏极、源极和栅极。

此外，MOSFET 与 BJT 的不同之处在于，与 BJT 的基极-发射极结不同，MOSFET 的栅极和沟道之间没有直接连接，因为金属栅极电极与导电沟道电绝缘，因此又被称为“绝缘栅”场效应晶体管，或 IGFET。

我们可以看到，对于n沟道MOSFET（NMOS）来说，上面的衬底半导体材料是*p型的*，而源极和漏极都是*n型的*。电源电压将为正。对栅极端子施加正偏压会将栅极区域下方的 p 型半导体衬底内的电子吸引向它。

p 型衬底内自由电子过多，导致导电沟道随着 p 型区域的电特性反转而出现或生长，从而有效地将 p 型衬底转变为 n 型材料，从而允许沟道电流流动。

p 沟道 MOSFET (PMOS) 的情况也相反，负栅极电位会导致栅极区域下方形成空穴，因为它们被金属栅极外侧的电子吸引。结果是 n 型衬底创建了 p 型导电沟道。

因此，对于我们的 n 型 MOS 晶体管，施加在栅极上的正电势越大，栅极区域周围的电子积聚就越多，导电沟道就越宽。这增强了通过沟道的电子流，允许更多的沟道电流从漏极流向源极，从而得名**增强型 MOSFET**。

增强型MOSFET放大器

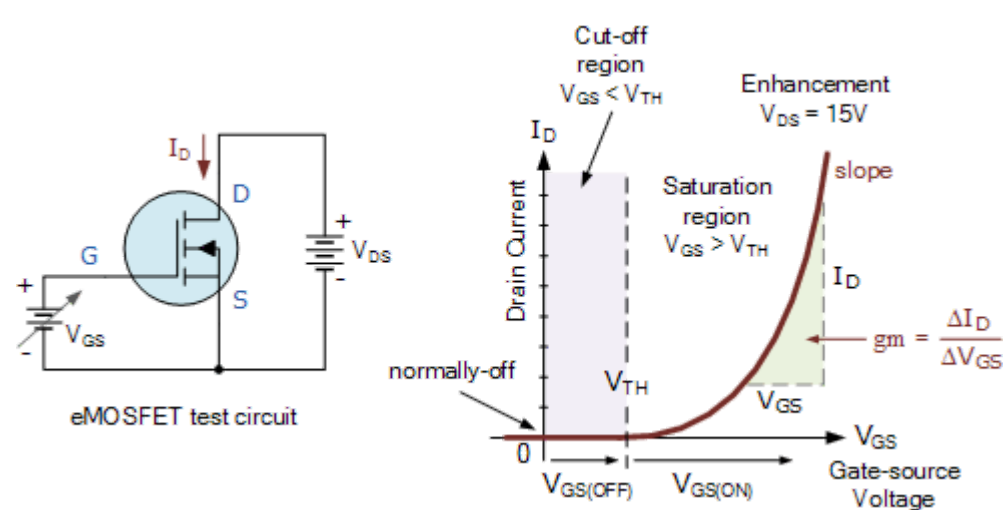
增强型 MOSFET 或 eMOSFET 可归类为常关（不导通）器件，即它们仅在施加合适的栅源正电压时才导通，这与耗尽型 MOSFET 不同，耗尽型 MOSFET 在以下情况下为常导通器件：栅极电压为零。

然而，由于增强型 MOSFET 的结构和物理特性，存在一个最小栅源电压，称为阈值电压 V_{TH} ，在栅极开始导通以允许漏极电流流动之前必须将其施加到栅极。

换句话说，当栅极-源极电压 V_{GS} 小于阈值电压 V_{TH} 时，增强型 MOSFET 不会导通，但随着栅极正向偏压增加，漏极电流 I_D （也称为漏极-源极电流） I_{DS} ）也会增加，类似于双极晶体管，使得 eMOSFET 非常适合用于 MOSFET 放大器电路。

MOS导电沟道的特性可以认为是一个受栅极控制的可变电阻。因此，流经该 n 沟道的漏极电流量取决于栅源电压，我们可以使用 MOSFET 进行的众多测量之一是绘制传输特性图，以显示漏极电流与漏极电流之间的 iv 关系。栅极电压如图所示。

N 沟道 eMOSFET IV 特性



通过连接在 eMOSFET 上的固定 V_{DS} 漏极-源极电压，我们可以绘制漏极电流 I_D 值与不同 V_{GS} 值的关系，以获得 MOSFET 正向直流特性图。这些特性给出了晶体管的跨导 g_m 。

该跨导将输出电流与代表晶体管增益的输入电压相关联。因此，跨导曲线沿其任意点的斜率如下所示：对于 V_{DS} 的恒定值， $g_m = I_D / V_{GS}$ 。

例如，假设 MOS 晶体管在 $V_{GS} = 3\text{V}$ 时流过 2mA 的漏极电流，在 $V_{GS} = 7\text{V}$ 时流过 14mA 的漏极电流。然后：

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} = \frac{(14 - 2) \times 10^{-3}}{7 - 3} = 3\text{mS}$$

该比率称为晶体管静态跨导或直流跨导，是“传输电导”的缩写，单位为西门子 (S)，即安培每伏特。MOSFET 放大器的电压增益与跨导和漏极电阻值成正比。

当 $V_{GS} = 0$ 时，没有电流流过 MOS 晶体管沟道，因为栅极周围的场效应不足以创建或“打开” n 型沟道。然后晶体管处于其截止区域，充当打开的开关。换句话说，在施加零栅极电压的情况下，n 沟道 eMOSFET 被称为常断状态，并且这种“OFF”状态由 eMOSFET 符号中的断沟道线表示（与具有连续沟道线的耗尽类型不同）。

当我们现在逐渐增加正栅源电压 V_{GS} 时，场效应开始增强沟道区域的导电性，并且出现沟道开始导电的点。该点称为阈值电压 V_{TH} 。当我们将 V_{GS} 增加得更正时，导电沟道会随着漏极电流的增加而变得更宽（电阻更小），结果 I_D 会增加。请记住，栅极永远不会传导任何电流，因为它与通道电气隔离，从而使 MOSFET 放大器具有极高的输入阻抗。

因此，当栅源电压 V_{GS} 小于其阈值电压电平 V_{TH} 时，n沟道增强型MOSFET将处于其截止模式，并且当 V_{GS} 高于该阈值电平时，其沟道导通或饱和。当eMOS 晶体管工作在饱和区时，漏极电流 I_D 由下式给出：

$$I_D = k(V_{GS} - V_{TH})^2$$

请注意， k （导通参数）和 V_{TH} （阈值电压）的值因不同的 eMOSFET 而异，并且无法进行物理更改。这是因为它们是与晶体管制造过程中内置的材料和器件几何形状相关的特定规范。

右侧的静态传递特性曲线通常是抛物线（平方律）形状，然后是线性的。对于给定的栅源电压 V_{GS} 的增加，漏极电流 I_D 的增加决定了 V_{DS} 恒定值的曲线的斜率或梯度。

然后我们可以看到，“导通”增强型 MOS 晶体管是一个渐进的过程，为了将 MOSFET 用作放大器，我们必须将其栅极端子偏置在高于其阈值电平的某个点。

我们可以通过许多不同的方法来做到这一点，从使用两个独立的电压源、漏极反馈偏置、齐纳二极管偏置等。但无论我们使用哪种偏置方法，我们都必须确保栅极电压比栅极电压更正。源的量大于 V_{TH} 。在本 MOSFET 放大器教程中，我们将使用现在熟悉的通用分压器偏置电路。

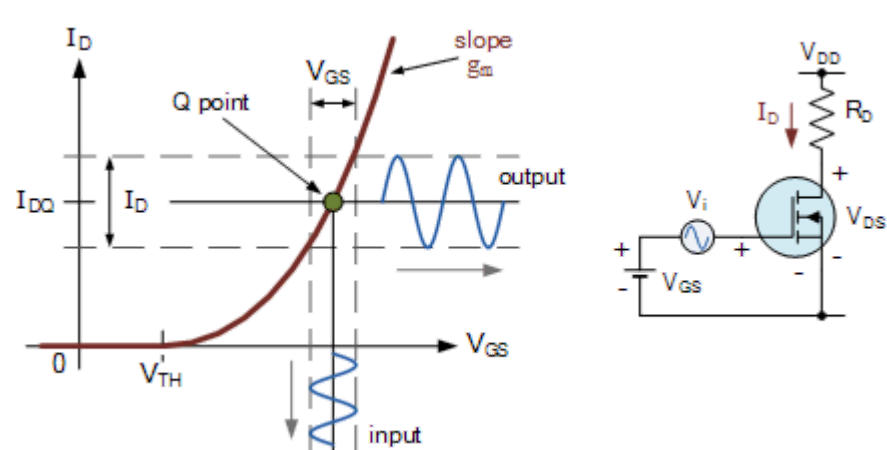
MOSFET 直流偏置

通用分压器偏置电路是一种流行的偏置技术，用于建立双极晶体管放大器以及 MOSFET 放大器所需的直流工作条件。分压器偏置网络的优点是 MOSFET（或者实际上是双极晶体管）可以通过单个直流电源进行偏置。但首先我们需要知道 MOSFET 放大器的栅极偏置在哪里。

MOSFET 器件具有三个不同的工作区域。这些区域称为：*欧姆/三极管区域*、*饱和/线性区域*和*夹断点*。对于要作为线性放大器工作的 MOSFET，我们需要建立一个明确定义的静态工作点或 Q 点，因此必须对其进行偏置以在其饱和区中工作。MOSFET 的 Q 点由 DC 值、 I_D 和 V_{GS} 表示，这些值将工作点定位在 MOSFET 输出特性曲线的中心。

正如我们在上面看到的，当 V_{GS} 高于 V_{TH} 阈值水平时，饱和区开始。因此，如果我们施加一个小的交流信号，该信号叠加到栅极输入端的直流偏置上，那么 MOSFET 将充当线性放大器，如图所示。

eMOSFET 直流偏置点



上面的共源 NMOS 电路显示正弦输入电压 V_i 与直流源串联。该直流栅极电压将由偏置电路设置。那么总栅源电压将是 V_{GS} 和 V_i 之和。

DC 特性以及 Q 点（静态点）都是栅极电压 V_{GS} 、电源电压 V_{DD} 和负载电阻 R_D 的函数。

MOS 晶体管在饱和区内偏置，以建立所需的漏极电流，该漏极电流将定义晶体管的 Q 点。随着 V_{GS} 的瞬时值增加，偏置点沿着曲线向上移动，如图所示，从而允许随着 V_{DS} 的减小而流过更大的漏极电流。

同样，随着 V_{GS} 的瞬时值减小（在输入正弦波的负半部分期间），偏置点沿着曲线向下移动，并且较小的 V_{GS} 导致较小的漏极电流和增加的 V_{DS} 。

然后，为了建立大的输出摆幅，我们必须将晶体管偏置远高于阈值电平，以确保晶体管在整个正弦输入周期内保持饱和。然而，我们可以使用的栅极偏置和漏极电流是有限的。为了允许输出的最大电压摆幅，Q点应位于电源电压 V_{DD} 和阈值电压 V_{TH} 之间的大约中间位置。

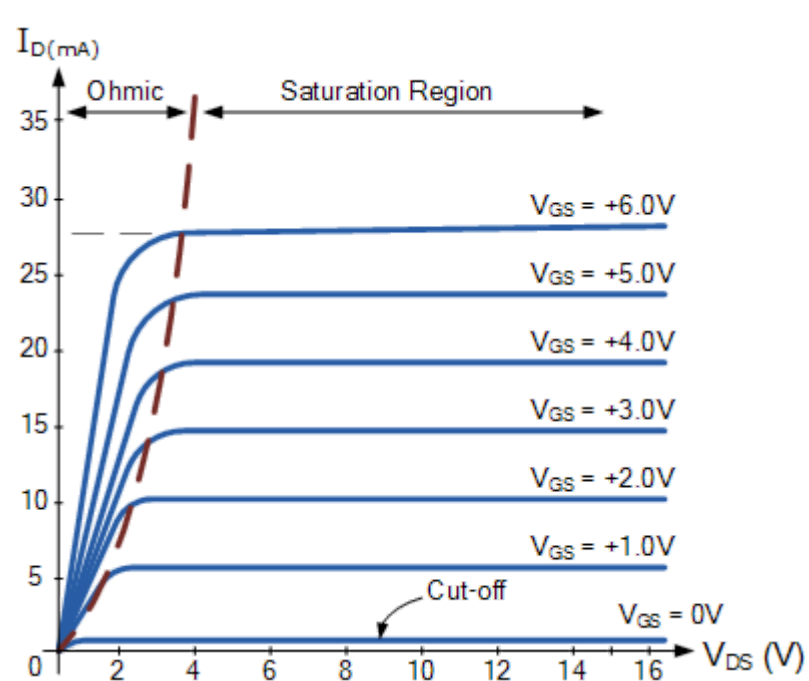
例如，假设我们想要构建一个单级 NMOS 共源放大器。eMOSFET 的阈值电压 V_{TH} 为 2.5 伏，电源电压 V_{DD} 为+15 伏。那么直流偏置点将为 $15 - 2.5 = 12.5\text{V}$ 或 6 伏（最接近的整数值）。

MOSFET $I_D - V_{DS}$ 特性

上面我们已经看到，我们可以通过保持电源电压 V_{DD} 恒定并增加栅极电压 V_G 来构建 MOSFET 正向直流特性图。但为了全面了解 MOSFET 放大器电路中使用的 n 型增强型 MOS 晶体管的工作情况，我们需要显示不同 V_{DD} 和 V_{GS} 值的输出特性。

与[NPN 双极结型晶体管](#)一样，我们可以构建一组输出特性曲线，显示 N 沟道增强型 MOS 晶体管的漏极电流 I_D ，以增加 V_G 的正值，如图所示。

N型eMOSFET特性曲线

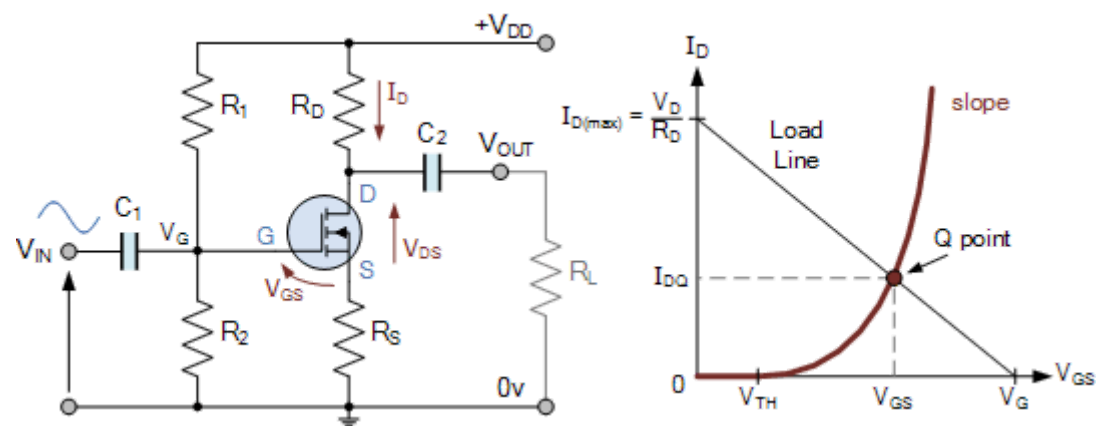


请注意，p 沟道 eMOSFET 器件将具有一组非常相似的漏极电流特性曲线，但栅极电压的极性将相反。

基本共源 MOSFET 放大器

之前我们研究了如何建立所需的直流工作条件来偏置 n 型 eMOSFET。如果我们向输入施加一个小的时变信号，那么在适当的情况下，MOSFET 电路可以充当线性放大器，前提是晶体管 Q 点位于饱和区中心附近，并且输入信号足够小使输出保持线性。考虑下面的基本 MOSFET 放大器电路。

基本 MOSFET 放大器



这种简单的增强型共源 MOSFET 放大器配置在漏极使用单电源，并使用电阻分压器生成所需的栅极电压 V_G 。我们记得，对于 MOSFET，没有电流流入栅极端子，由此我们可以对 MOSFET 放大器的直流工作条件做出以下基本假设。

$$\begin{aligned} V_{DD} &= I_D R_D + V_{DS} + I_D R_S \\ &= I_D (R_D + R_S) + V_{DS} \end{aligned}$$

$$\therefore R_D + R_S = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{I_D}$$

那么由此我们可以说：

$$R_D = \frac{V_{DD} - V_D}{I_D} \quad \text{and} \quad R_S = \frac{V_S}{I_D}$$

MOSFET 栅源电压 V_{GS} 如下：

$$V_{GS} = V_G - I_S R_S$$

正如我们在上面所看到的，为了使 MOSFET 正常工作，该栅源电压必须大于 MOSFET 的阈值电压，即 $V_{GS} > V_{TH}$ 。由于 $I_S = I_D$ ，因此栅极电压 V_G 也相等：

$$V_{GS} = V_G - I_D R_S$$

$$\therefore V_G = V_{GS} + I_D R_S$$

$$\text{or } V_G = V_{GS} + V_S$$

为了将 MOSFET 放大器栅极电压设置为该值，我们将分压器网络内的电阻器R1和R2的值选择为正确的值。从上面我们知道，“没有电流”流入 MOSFET 器件的栅极端子，因此分压公式如下：

MOSFET 放大器栅极偏置电压

$$V_G = V_{DD} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

请注意，该分压器方程仅确定两个偏置电阻R1和R2的比率，而不确定它们的实际值。此外，还希望使这两个电阻器的值尽可能大，以减少它们的 $I^2 \cdot R$ 功率损耗并增加 MOSFET 放大器的输入电阻。

MOSFET 放大器示例 No1

使用n沟道eMOSFET构建共源MOSFET放大器，其传导参数为 50mA/V^2 ，阈值电压为2.0V。如果电源电压为 +15 伏且负载电阻为 470 欧姆，则计算将 MOSFET 放大器偏置为 $1/3(V_{DD})$ 所需的电阻值。画出电路图。

给定值： $V_{DD} = +15\text{V}$ 、 $V_{TH} = +2.0\text{V}$ 、 $k = 50\text{mA/V}^2$ 且 $R_D = 470\Omega$ 。

为了获得不失真且对称的输出波形，请将漏极端子的直流偏置电压设置为电源电压的一半。

1. 漏极电流, I_D

$$V_D = \frac{V_{DD}}{2} = \frac{15}{2} = 7.5\text{v}$$

$$I_D = \frac{V_D}{R_D} = \frac{7.5}{470} = 16\text{mA}$$

2. 栅源电压, V_{GS}

$$I_D = k(V_{GS} - V_{TH})^2$$

$$\therefore V_{GS} = \sqrt{\frac{I_D}{k}} + V_{TH} = \sqrt{\frac{0.016}{0.05}} + 2.0 = 2.6\text{v}$$

3. 栅极电压, V_G

$$V_G = \frac{1}{3}V_{DD} = \frac{15}{3} = 5\text{v}$$

$$V_G = V_{GS} + V_S$$

$$\therefore V_S = V_G - V_{GS} = 5 - 2.6 = 2.4\text{v}$$

因此, 在 MOSFET 上施加 KVL, 漏极-源极电压 V_{DS} 如下:

$$V_{DD} = V_D + V_{DS} + V_S = 15\text{V}$$

$$\therefore V_{DS} = V_{DD} - V_D - V_S = 15 - 7.5 - 2.4 = 5.1\text{V}$$

4. 源电阻, R_S

$$R_S = \frac{V_S}{I_D} = \frac{2.4}{0.016} = 150\Omega$$

提供 $1/3V_{DD}$ 所需的分压电阻器 R_1 和 R_2 的比率计算如下:

$$V_G = V_{DD} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) = 15 \left(\frac{1}{3} \right)$$

如果我们选择: $R_1 = 200\text{k}\Omega$ 且 $R_2 = 100\text{k}\Omega$, 则将满足以下条件: $V_G = 1/3V_{DD}$ 。此外, 这种偏置电阻器的组合将为 MOSFET 放大器提供大约 $67\text{k}\Omega$ 的输入电阻。

我们可以通过计算输入和输出耦合电容器的值来使这一设计更进一步。如果我们假设 MOSFET 放大器的截止频率较低, 例如 20Hz , 那么考虑到栅极偏置网络的输入阻抗, 两个电容器的值计算如下:

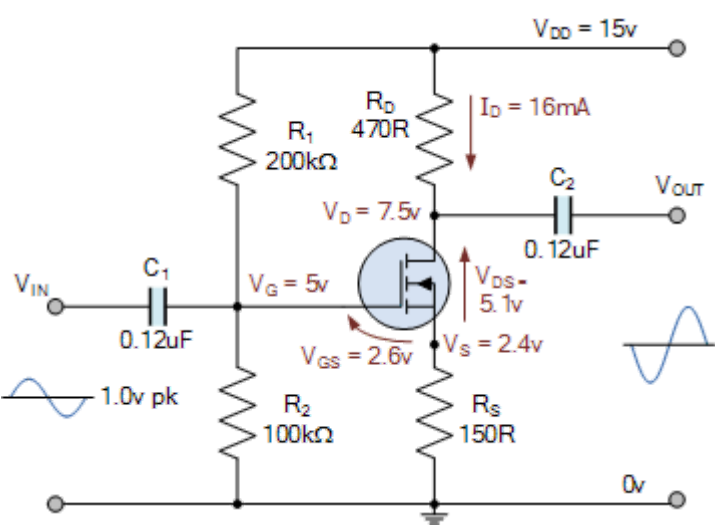
$$R_{in} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{200\text{k} \times 100\text{k}}{100\text{k} + 200\text{k}} \approx 67\text{k}\Omega$$

$$f_{(-3\text{dB})} = 20\text{Hz} = \frac{1}{2\pi R_{in} C} \quad \therefore C = \frac{1}{2\pi f R_{in}}$$

$$C = \frac{1}{2\pi \times 20 \times 67000} = 0.12\mu\text{F}$$

那么单级MOSFET 放大器电路的最终电路如下：

单级 MOSFET 放大器



MOSFET 放大器总结

MOSFET 放大器或任何放大器的主要目标是产生忠实再现其输入信号但幅度被放大的输出信号。该输入信号可以是电流或电压，但对于要作为放大器运行的 MOSFET 器件，它必须偏置以在其饱和区域内运行。

增强型 MOSFET 有两种基本类型：n 沟道和 p 沟道，在本 MOSFET 放大器教程中，我们了解了 n 沟道增强型 MOSFET，通常称为 NMOS，因为它可以通过正栅极运行相对于源极的负电压和漏极电压，与 p 沟道 PMOS 不同，p 沟道 PMOS 在相对于源极的负栅极和漏极电压下工作。

MOSFET 器件的饱和区是其阈值电压 V_{TH} 以上的恒流区。一旦在饱和区正确偏置，漏极电流 I_D 将根据栅源电压 V_{GS} 而变化，而不是根据漏源电压 V_{DS} 变化，因为漏电流称为饱和电流。

在增强型 MOSFET 中，施加栅极电压产生的静电场增强了沟道的电导率，而不是像耗尽型 MOSFET 那样耗尽沟道。

阈值电压是能够在源极和漏极之间形成沟道所需的最小栅极偏压。高于该值时，漏极电流在饱和区中与 $(V_{GS} - V_{TH})^2$ 成比例增加，使其能够作为放大器运行。

阅读放大器中的更多教程

- [1. 放大器简介](#)
- [2. 共发射极放大器](#)
- [3. 共源JFET放大器](#)
- [4. 放大器失真](#)
- [5.甲类放大器](#)
- [6. B类放大器](#)
- [7. 放大器中的交叉失真](#)
- [8. 放大器总结](#)
- [9. 发射极电阻](#)
- [10.放大器类](#)
- [11. 晶体管偏置](#)
- [12.放大器的输入阻抗](#)
- [13. 频率响应](#)
- [14.MOSFET放大器](#)
- [15.AB类放大器](#)
- [16. 公共集电极放大器](#)
- [17. 公共基极放大器](#)
- [18.分相器](#)

99 条评论

加入对话

错误！请填写所有字段。

你的名字

电子邮件地址

在这里写下您的评论

☐ 通过电子邮件通知我后续评论。

提交

- 沙拉法特·哈迪

也许放大器中的 MOSFET 应该在门口的每个大厅上提供至少 5 伏的电压

发表于[2023 年 9 月 17 日 | 凌晨 4:44](#)

[回复](#)

- 沙拉法特·哈迪

不错的信息但是我有一个问题，如果电源电压是 50.0.50 那么应该向放大器的栅极施加多少电压？

发表于[2023 年 9 月 17 日 | 凌晨 4:41](#)

[回复](#)

- 普拉萨那

好的笔记...

发表于[2023 年 9 月 8 日 | 上午 5:14](#)

[回复](#)

- 丹尼斯申克尔

你好。R_{DS(ON)} 对阈值或线性曲线有影响吗？我在这些公式中都没有看到它。

发表于[2023 年 1 月 13 日 | 下午 2:28](#)

[回复](#)

- 韦恩·斯托尔

漏源电阻 R_{DS} 定义为： V_{DD} / I_{DS} ，因此可以通过施加在栅极端子上的电压来控制。当 MOSFET 在其欧姆区偏置时，沟道的行为就像 R_{DS(on)} 的恒定线性电阻。

当 V_{GS} 等于或小于阈值时， V_{th} MOSFET 关断， V_{DS} 等于 V_{DD} ，因此 I_D 为零。当栅源电压大于阈值时，MOSFET 导通， I_D 开始增加，达到满负载电流。 V_{th} 是制造的固有特性，而不是沟道的导通电阻。

发表于[2023 年 1 月 13 日 | 晚上 8:57](#)

[回复](#)

- 乔丹·西尔温巴

解释得很好

发表于[2022 年 12 月 18 日 | 上午 6:06](#)

[回复](#)

- 乔博塔鲁米尔恰

Ok 很好的理论。我会将其付诸实践

发表于[2022 年 6 月 30 日 | 下午 2:25](#)

[回复](#)

- 亚历山大·莫尔卡诺夫

我需要告别波形放大器，范围从 5 赫兹（不是兆赫）..到 1 兆赫兹，以及更多..你有适合我的型号吗？

发表于[2022 年 3 月 16 日 | 上午 11:45](#)

[回复](#)

- 克里斯·凯恩

这是一个非常有用的教程。很想阅读其余的教程。

发表于[2021 年 9 月 13 日 | 上午 5:24](#)

[回复](#)

- 伊斯梅尔·奥马尔

有用的教程跟上，愿上帝帮助我们

发表于[2021 年 7 月 4 日 | 凌晨 2:55](#)

[回复](#)

- 大卫

我喜欢这个教程，但有一个关于获取 K 值的主要问题，在您的示例中，您仅设置该值，但没有解释如何获得或计算它，这使得设计具有与您中的参数不同的参数的电路变得困难/不可能例如，因为我们无法获得 V_{gs} ，因此也无法获得许多其他值。您能否解释一下如何获得示例中的该值，如果可能的话，其他晶体管是如何获得该值的，或者在不知道 K 值时计算 V_{gs} 的替代方法。

谢谢

发表于[2021 年 6 月 28 日 | 晚上 9:52](#)

[回复](#)

- 克里斯·凯恩

嗨，上面的两个回复只是引用了作者所说的话，并且似乎试图听起来很聪明.....这让我很恼火.....可能是因为他们也不明白.....

作为回答, k 可以从设备数据表中获得, 或者从 g_m 导出, 或者直接作为 k

如果您查看教程开头的图表, 其中显示了漏极电流与 $(V_{gs} - V_{th})$ 的关系图, 则 g_m 本质上是饱和区域中图表的斜率, 或者如果您喜欢, 简单来说它是增益 (斜率通常用来指增益) 。

因此, 如果我们有斜率, 简单来说, 它向我们表明, 对于 V_{gs} 的变化, 漏极电流也会发生相应的变化。正如作者提到的, 这取决于设备的特性并且无法改变, 因此 K 值与特定设备的斜率或 g_m 有关。

要获取 V_{th} 和 K 值, 请获取器件数据表的副本。

希望这有帮助, 亲切的问候,

克里斯

发表于[2021 年 9 月 13 日 | 上午 5:43](#)

[回复](#)

- 阿里尔·米拉布埃纳

这对我很有用, 可以刷新晶体管放大器使用的基本知识。非常感谢, 对初学者尤其是 DIY 放大器很有帮助。

发表于[2021 年 3 月 19 日 | 凌晨 4:25](#)

[回复](#)

- 萨克希·阿维纳什·索纳瓦内

好的

发表于[2021 年 3 月 18 日 | 下午 3:33](#)

[回复](#)

- 博尼法斯

感谢您的这篇笔记, 为学生的进步提供了清晰的安排和可理解的通知!

发表于[2021 年 3 月 6 日 | 晚上10点15分](#)

[回复](#)

- 雅培

amofet号码3710可以换成4110吗

发表于[2021 年 1 月 22 日 | 上午 8:07](#)

[回复](#)

- 罗纳德

我想了解晶体管

发表于[2020 年 12 月 21 日 | 上午 6:41](#)

[回复](#)

- 罗纳德

我对此感兴趣

发表于[2020 年 12 月 21 日 | 早上 6:40](#)

[回复](#)

- 菲利洛多阿布奇

我的名字是 philip odoabouchi,
来自尼日利亚, 我想学习如何计算 MOSFET 放大器和电流。
联系方式=+

发表于[2020 年 11 月 4 日 | 上午 9:43](#)

[回复](#)

- 米切尔

如何计算单级 MOSFET 放大器的功率输出?

发表于[2020 年 10 月 13 日 | 下午 1:39](#)

[回复](#)

- 更多的

- 伊曼纽尔·马丁内斯

我只是无法附上屏幕截图, 但是当我在 multisim 中模拟最后一个解决的示例电路时, 它没有按公式中的预期工作, 我需要将负载电阻增加到 47K 才能开始观察放大, 然后越高你取负载电阻, 它会继续放大更多。

问候,
伊曼纽尔

发表于[2020 年 9 月 12 日 | 凌晨 4:45](#)

[回复](#)

- 塞穆扬贾·斯蒂芬

但除此之外，我可以使用两个以上的达林顿对形式的晶体管吗？

发表于[2020 年 9 月 4 日 | 晚上 7:11](#)

[回复](#)



[Close](#)