

第3章

场效应管及其放大电路

三极管(晶体管)是利用输入电流来控制输出电流的半导体器件,因而称为电流控制型器件。场效应管(FET)是一种电压控制型器件,它是利用电场效应来控制其电流的大小,从而实现放大。场效应管工作时,内部参与导电的只有“多子”一种载流子,因此又称单极性器件。场效应管不仅具有一般三极管体积小、重量轻、耗电省、寿命长的特点,而且还具有输入电阻高、噪声低、抗辐射能力强、功耗小、热稳定性好、制造工艺简单、易集成等优点。因此,在电子电路中得到了广泛的应用,特别是金属-氧化物-半导体场效应管(MOSFET)在大规模和超大规模集成电路中占有重要的地位。

场效应管的种类很多,根据基本结构不同,主要分为两大类:结型场效应管(JFET)和金属-氧化物-半导体场效应管(MOSFET)。

3.1 结型场效应管

3.1.1 结型场效应管的结构与工作原理

结型场效应管(Junction Field Effect Transistor)简称 JFET,根据制造材料的不同又可分为 N 沟道和 P 沟道两种,它们都具有三个电极:栅极(G)、源极(S)和漏极(D),如图 3.1 所示,分别与三极管的基极、发射极和集电极相对应。

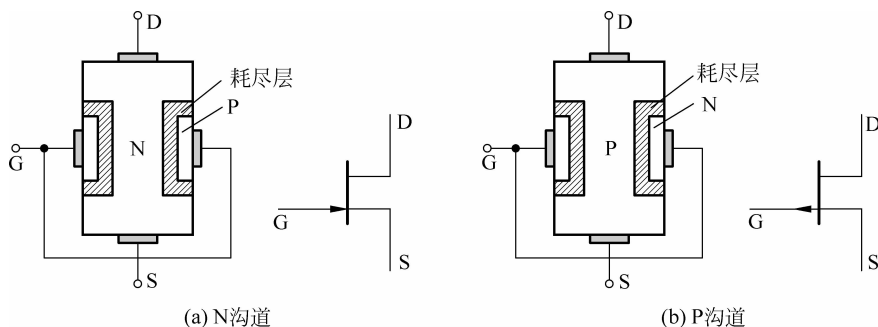


图 3.1 结型场效应管

1. N 沟道结型场效应管的结构

N 沟道 JFET,是在一根 N 型半导体棒两侧通过高浓度扩散制造两个重掺杂 P^+ 型区,

形成两个 PN 结,将两个 P^+ 区接在一起引出一个电极,称为栅极(Gate),在两个 PN 结之间的 N 型半导体构成导电沟道。在 N 型半导体的两端各制造一个欧姆接触电极,这两个电极间加上一定电压,便在沟道中形成电场,在此电场作用下,形成由多数载流子——自由电子产生的漂移电流。我们将电子发源端称为源极(Source),接收端称为漏极(Drain)。在 JFET 中,源极和漏极是可以互换的。图 3.1(a)所示是 N 沟道 JFET 的结构示意图和图形与文字符号,其中符号中箭头的方向表示栅结正向偏置时,栅极的电流方向是由 P 指向 N,故从图形符号上就可识别 D、S 之间是 N 沟道。

按照类似的方法,可以制成 P 沟道 JFET,其结构示意图和代表符号如图 3.1(b)所示。

2. 工作原理

为实现场效应管栅源电压对漏极电流的控制作用,结型场效应管在工作时,栅极和源极之间的 PN 结必须反向偏置。

下面以 N 沟道 JFET 为例,分析 JFET 的工作原理。

(1) 当栅源电压 $u_{GS}=0$ 时,两个 PN 结的耗尽层比较窄,中间的 N 型导电沟道比较宽,沟道电阻小,如图 3.2(a)所示。

(2) 当 $u_{GS}<0$ 时,两个 PN 结反向偏置,PN 结的耗尽层变宽,中间的 N 型导电沟道相应变窄,沟道导通电阻增大,如图 3.2(b)所示。

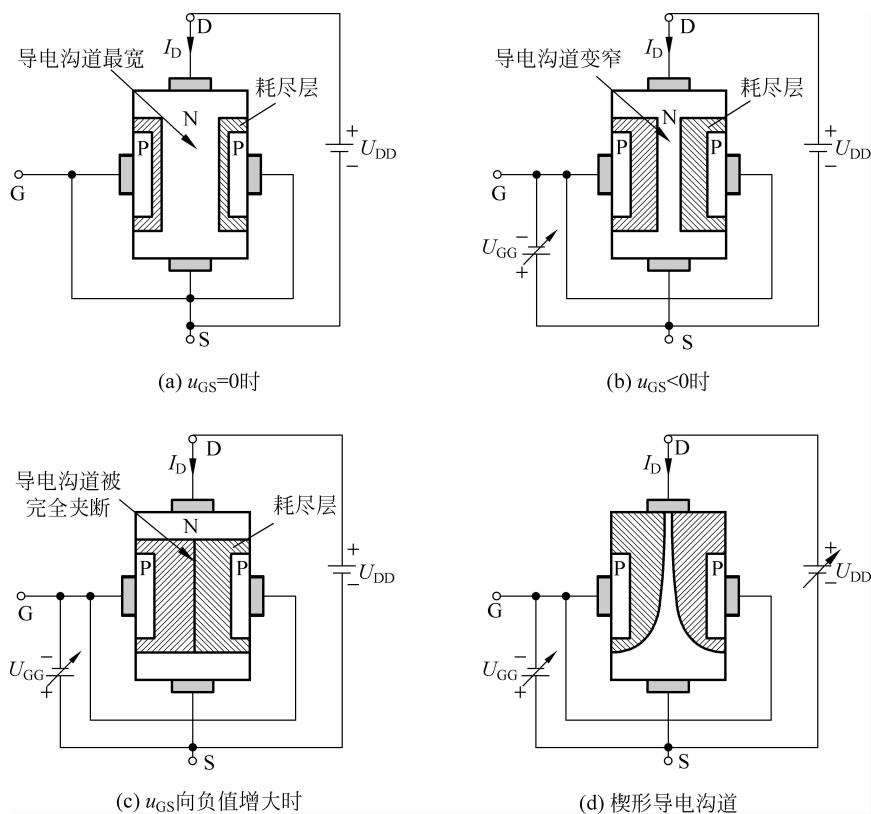


图 3.2 结型场效应管工作原理

(3) 当 u_{GS} 进一步向负值增大时,耗尽层进一步变窄,直至增大到某一值 $U_{GS(off)}$ 时,沟道完全被夹断,如图 3.2(c)所示。此时漏-源极间的电阻将趋近于无穷大,我们把此时的栅源电压称为夹断电压 $U_{GS(off)}$ 。

(4) 当 $U_{GS(off)} < u_{GS} \leq 0$ 且 $u_{DS} > 0$ 时,可产生漏极电流 i_D 。改变 u_{GS} 的大小,可以有效地控制沟道电阻的大小。 i_D 的大小将随栅源电压 u_{GS} 的变化而变化,从而实现电压对漏极电流的控制作用。

u_{DS} 的存在,就在由源极经沟道到漏极组成的 N 型半导体区域中,产生了一个沿沟道的电位梯度,使得漏极附近的电位高,而源极附近的电位低。这样靠近漏极附近的 PN 结所加的反向偏置电压大,耗尽层宽;靠近源极附近的 PN 结反偏电压小,耗尽层窄,导电沟道成为一个楔形,如图 3.2(d)所示。

在 u_{DS} 较小时,导电沟道靠近漏端区域仍较宽,这时阻碍的因素是次要的,故漏极电流 i_D 随 u_{DS} 升高几乎成正比的增大。当 u_{DS} 继续增加,使漏栅间的电位差增大,靠近漏端电位差最大,耗尽层也最宽。当两耗尽层在一点相遇时,称为预夹断,如图 3.3(a)所示。此时相交点耗尽层两边的电压差用夹断电压 $U_{GS(off)}$ 来描述。

沟道一旦在某一点预夹断后,随着 u_{DS} 上升,夹断长度会有增加,即夹断点将向源极方向延伸。但由于夹断处场强也增高,仍能将电子拉过夹断区(实即耗尽层),形成漏极电流,如图 3.3(b)所示。在从源极到夹断处的沟道上,沟道内电场基本上不随 u_{DS} 改变而变化。所以 i_D 基本上不随 u_{DS} 增加而上升,漏极电流趋于饱和。

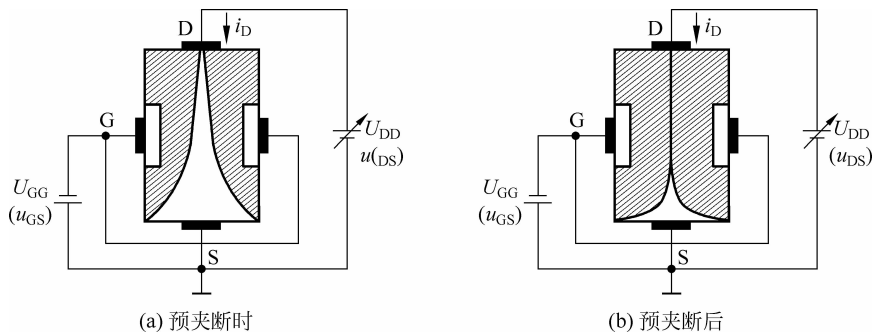


图 3.3 改变 u_{DS} 时 JFET 导电沟道的变化

综上所述,可得下述结论:

- (1) JFET 栅极、沟道之间的 PN 结是反向偏置的,因此,其 $i_G \approx 0$,输入电阻的阻值很高;
- (2) JFET 是电压控制电流器件, i_D 受 u_{GS} 控制;
- (3) 预夹断前, i_D 与 u_{DS} 呈近似线性关系,预夹断后, i_D 趋于饱和。

3. P 沟道结型场效应管

P 沟道结型场效应管与 N 沟道结型场效应管相比,在结构上各部分半导体的类型相反;外电路所加电压 u_{GS} 、 u_{DS} 的极性相反;电流此时为空穴流,故电流方向也相反。而在特性和工作原理上都是相同的。

3.1.2 结型场效应管的特性曲线

1. 输出特性

JFET 的输出特性是指栅源电压 u_{GS} 一定时,漏极电流 i_D 与漏源电压 u_{DS} 之间的关系,即

$$i_D = f(u_{DS}) \mid_{u_{GS}=\text{常数}} \quad (3.1.1)$$

如果 FET 栅极与源极之间接一可调负电源,由于栅源电压越负,耗尽层越宽,沟道电阻就越大,相应的 i_D 就越小。因此,改变栅源电压可得一族曲线,图 3.4 所示即为 N 沟道场效应管的输出特性曲线。它与 NPN 型三极管的输出特性曲线相似,可以分为四个区:

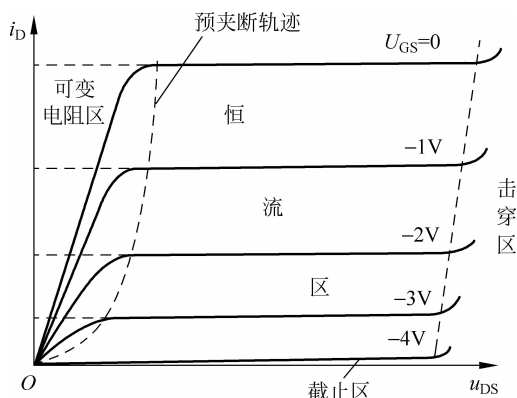


图 3.4 N 沟道结型场效应管的输出特性曲线

(1) 截止区(夹断区): 当 $u_{GS} < U_{GS(off)}$ 时,导电沟道被夹断, $i_D = 0$ 称为截止区。

(2) 可变电阻区: 又称非饱和区,是预夹断前的区域。此时沟道尚未出现预夹断,管子可以看做是一个由电压控制的可变电阻。图中左边的一条虚线为预夹断轨迹。预夹断轨迹左边区域称为可变电阻区,该区域中曲线近似为不同斜率的直线。当 u_{GS} 确定时,直线的斜率也唯一的被确定,直线斜率的倒数为 D-S 间等效电阻。 u_{GS} 越负,曲线越倾斜,漏源极间的等效电阻越大。

当 $U_{GS(off)} < u_{GS} \leq 0, u_{DS} \leq u_{GS} - U_{GS(off)}$ 时,则 N 沟道 JFET 工作在可变电阻区,其伏安特性可表示为

$$i_D = K_n \left[2(u_{GS} - U_{GS(off)})u_{DS} - u_{DS}^2 \right] \quad (3.1.2)$$

式中的 K_n 为电导常数。

(3) 饱和区: 又称恒流区或放大区,是预夹断后的区域,管子工作在局部出现预夹断的状态,漏极电流 i_D 几乎不随 u_{DS} 变化,主要由 u_{GS} 决定。在此区域,场效应管可以看作一个恒流源。利用场效应管做放大管时,管子在此区域工作。

当 $U_{GS(off)} < u_{GS} \leq 0, u_{DS} > u_{GS} - U_{GS(off)}$ 时,JFET 工作在饱和区,此时

$$i_D = K_n (u_{GS} - U_{GS(off)})^2 \quad (3.1.3)$$

(4) 击穿区: 当 u_{DS} 增大到一定程度时,栅漏极间 PN 结发生雪崩击穿, i_D 迅速增大。如果不加限制,管子将会电击穿。管子不允许在此区域工作。

2. 转移特性

JFET 的转移特性是指在一定漏源电压 u_{DS} 下,栅源电压 u_{GS} 对漏极电流 i_D 的控制特性,即

$$i_D = f(u_{GS}) \mid_{u_{DS}=\text{常数}} \quad (3.1.4)$$

它反映了场效应管栅源电压对漏极电流的控制作用,如图 3.5 所示。

当 $u_{GS}=0$ 时,导电沟道电阻最小, i_D 最大,称此电流为场效应管的饱和漏极电流 I_{DSS} 。

当 $u_{GS}=U_{GS(off)}$ 时,导电沟道被完全夹断,沟道电阻最大,此时 $i_D=0$, $U_{GS(off)}$ 称为夹断电压。

实验证明,当管子在饱和区工作时, i_D 和 u_{GS} 之间近似呈平方关系,即

$$i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS(off)}}\right)^2 \quad (U_{GS(off)} \leq u_{GS} \leq 0) \quad (3.1.5)$$

P 沟道结型场效应管与 N 沟道结型场效应管相比,除在结构上各部分半导体的类型相反,外电路所加的 u_{GS} 、 u_{DS} 的极性相反外,在特性和工作原理方面是相同的,只是电压的极性和电流的方向相反。

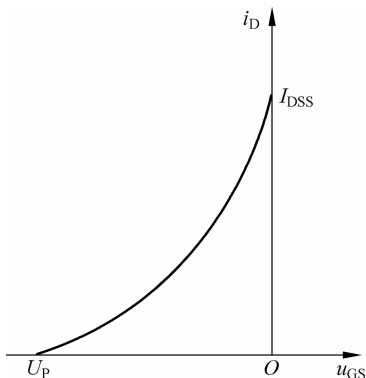


图 3.5 N 沟道结型场效应管的转移特性曲线

3.1.3 结型场效应管的主要电参数

1. 直流参数

1) 夹断电压 $U_{GS(off)}$

$U_{GS(off)}$ 是在 U_{DS} 固定为某一数值(由测试条件给出,一般为 10V)的条件下,使 I_D 降低到某一极小的测试电流(由技术指标中给出,一般为 $50\mu A$)时的 U_{GS} 值。

2) 零偏漏极电流 I_{DSS}

I_{DSS} 也称为漏极饱和电流,它是 U_{DS} 在某一规定值(即在技术指标中给出的测试电压,其值总大于 $|U_{GS(off)}|$)的条件下, $U_{GS}=0$ 时的漏极电流值。对于结型场效应管,其漏极电流不应超过这一数值。否则管子会因沟道上、下两侧 PN 结的正向偏置,而使输入电阻大大减小。

3) 直流输入电阻 R_{GS}

R_{GS} 是场效应管栅极与源极之间的直流等效电阻,当 U_{DS} 、 U_{GS} 为规定值(一般规定 $U_{DS}=0$ 、 $|U_{GS}|=10V$)时, R_{GS} 等于 U_{GS} 与 I_G 比值的绝对值。JFET 的 R_{GS} 一般大于 $10^7\Omega$ 。

2. 交流参数

1) 跨导 g_m

g_m 也称为互导。它是管子在保持 U_{DS} 一定时,漏极电流微变量与漏极电压微变量的比值,即:

$$g_m = \left. \frac{di_D}{du_{GS}} \right|_{U_{DS}=\text{常数}} \quad (3.1.6)$$

g_m 的单位为西(S)或毫西(mS)。一般管子的 g_m 约为零点几到几个毫西。 g_m 也可以在转移特性曲线中求得,其大小等于转移特性曲线在工作点处的斜率。也可以由转移特性曲线的函数表达式求导得到

$$g_m = -\frac{2I_{DSS}}{U_{GS(off)}} \left(1 - \frac{U_{GSQ}}{U_{GS(off)}} \right) = -\frac{2}{U_{GS(off)}} \sqrt{I_{DSS} I_{DQ}} \quad (3.1.7)$$

上式表明 g_m 与 I_{DQ} 有关, I_{DQ} 越大, g_m 也就越大。

2) 极间电容

场效应管的三个电极间有极间电容,即栅源电容 C_{gs} 、栅漏电容 C_{gd} 、漏源电容 C_{ds} ,它们由 PN 结的结电容及分布电容组成,通常在皮法(pF)数量级。管子在高频下应用时,要考虑这些电容的影响。管子的最高工作频率也是这些电容影响的反应。

3.2 绝缘栅型场效应管

绝缘栅型场效应管是由金属(Metal)、氧化物(Oxide)和半导体(Semiconductor)材料构成的,因此又称 MOS 管,可以用 MOSFET 表示。绝缘栅场效应管分为增强型和耗尽型两种,每一种又包括 N 沟道和 P 沟道两种类型。

增强型和耗尽型的区别是:当 $u_{GS} = 0$ 时,存在导电沟道的称为耗尽型,不存在导电沟道的称为增强型。下面分别讨论这两种管子的工作原理、特性及主要参数。

3.2.1 N 沟道增强型 MOS 管

1. 结构与符号

这里以 N 沟道为例讨论增强型 MOS 管。它是以 P 型半导体作为衬底,用半导体工艺技术制作两个高浓度的 N 型区,两个 N 型区分别引出一个金属电极,作为 MOS 管的源极 S 和漏极 D;在 P 形衬底的表面生长一层很薄的 SiO_2 绝缘层,绝缘层上引出一个金属电极称为 MOS 管的栅极 G。B 为从衬底引出的金属电极,一般工作时衬底与源极相连。图 3.6 为 N 沟道增强型 MOS 管的结构与符号。

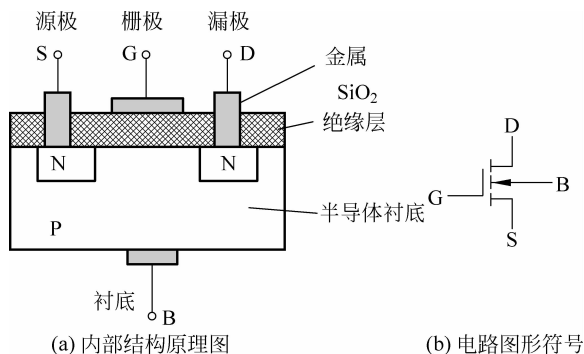


图 3.6 N 沟道增强型绝缘栅型场效应管

符号中的箭头表示从 P 区(衬底)指向 N 区(N 沟道),虚线表示增强型。

2. 工作原理

以 N 沟道增强型 MOSFET 为例,下面简单介绍 MOSFET 的工作原理。

在栅极 G 和源极 S 之间加电压 u_{GS} ,漏极 D 和源极 S 之间加电压 u_{DS} ,衬底 B 与源极 S 相连,如图 3.7 所示。

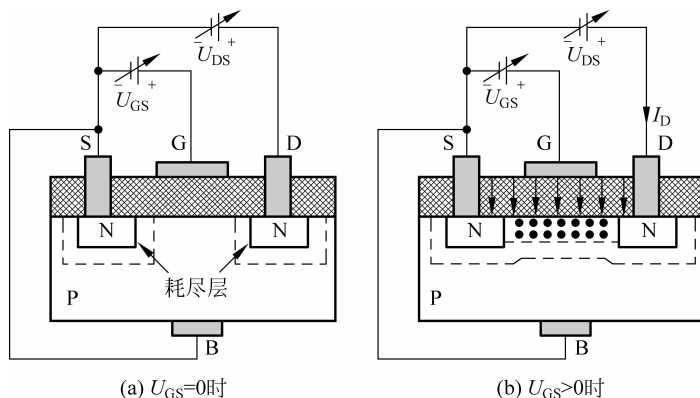


图 3.7 N 沟道增强型场效应管工作原理

1) u_{GS} 对沟道的控制作用

(1) 当 $u_{GS} \leq 0$ 时,无导电沟道,D、S 间加电压时,也无电流产生,当栅源短接(即栅源电压 $u_{GS} = 0$)时,源区、衬底和漏区就形成两个背靠背的 PN 结,无论 u_{DS} 的极性如何,其中总有一个 PN 结是反偏的,如图 3.7(a) 所示。如果源极 S 与衬底 B 相连且接电源 U_{DS} 的负极,漏极接电源正极时,漏极和衬底间的 PN 结是反偏的,此时漏源之间的电阻的阻值很大,可高达 10^{12} 数量级,也就是说,D、S 之间没有形成导电沟道,因此 $i_D = 0$ 。

(2) 当 $0 < u_{GS} < U_T$ 时,即在栅源之间加上正向电压(栅极接正,源极接负),则栅极和 P 型硅片相当于以二氧化硅为介质的平板电容器。在正的 u_{GS} 作用下,会产生一个垂直于 P 型衬底的电场,但不会产生电流 i_G 。这个电场是排斥空穴而吸引电子的,故将吸引一部分 P 区中的自由电子到栅极下的衬底表面。但由于 u_{GS} 不够大,还未形成导电沟道(感生沟道),D、S 间加电压后,没有电流产生。

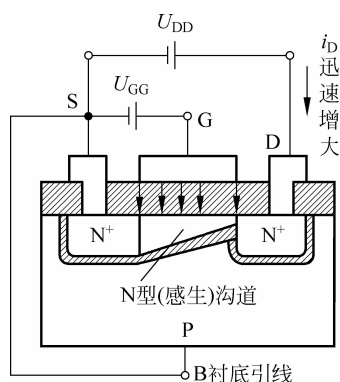
(3) 当 $u_{GS} > U_T$ 时,此时正的栅源电压达到一定数值,在电场作用下自由电子在栅极附近的 P 型衬底表面形成一个 N 型薄层,称之为反型层,从而产生导电沟道。 u_{GS} 越大,作用于半导体表面的电场越强,吸引到 P 型硅表面的电子就越多,导电沟道越厚,沟道的阻值将越小,如图 3.7(b) 所示。

一旦出现了导电沟道,原来被 P 型衬底隔开的两个 N^+ 型区就被导电沟道连通了。因此,此时在 D、S 间加电压后,将有电流 i_D 产生。一般把在漏源电压作用下开始导电时的栅源电压 U_T 称为开启电压。因此当 $u_{GS} < U_T$ 时, $i_D = 0$,场效应管工作于输出特性曲线的截止区。

2) u_{DS} 对沟道的控制作用

当 u_{GS} 一定(满足 $u_{GS} > U_T$)时,如图 3.8 所示。

当外加较小的 u_{DS} 时,漏极电流 i_D 将随 u_{DS} 上升而迅速增大,此时输出特性曲线的斜率

图 3.8 u_{DS} 对沟道的控制作用

较大。但随着 u_{DS} 上升, 由于沟道存在电位梯度, 因此沟道厚度是不均匀的: 靠近源端厚, 靠近漏端薄, 整个沟道呈楔形分布。当 u_{DS} 增加到一定数值时 (使 $u_{GD} = U_T$), 这时在紧靠漏极处反型层消失, 出现预夹断。

在预夹断处有

$$u_{GD} = u_{GS} - u_{DS} = U_T \quad (3.2.1)$$

预夹断后, 若 u_{DS} 继续增加, 将形成一夹断区 (反型层消失后的耗尽区), 夹断点向源极方向移动。值得注意的是, 虽然沟道夹断, 但耗尽区中仍可有电流通过, 只有将沟道全部夹断, 才能使 $i_D = 0$ 。只是当 u_{DS} 继续增加时, u_{DS} 增加的部分主要降落在夹断区, 而降落在导电沟道上的电压基本不变, 因而 u_{DS} 上升, i_D 趋于饱和, 这时输出特性曲线的斜率变为 0, 即由可变电阻区进入饱和区。由此可见, 预夹断点就是可变电阻区和饱和区的分界点。

3. 伏安特性曲线及大信号特性方程

MOSFET 的输出特性是指在栅源电压 u_{GS} 一定的条件下, 漏极电流 i_D 与漏源电压 u_{DS} 之间的关系, 即

$$i_D = f(u_{DS}) \mid_{u_{GS}=\text{常数}} \quad (3.2.2)$$

给定一个 u_{GS} , 就有一条不同的 i_D - u_{DS} 曲线。在 i_D - u_{DS} 坐标系下取不同的 u_{GS} , 就可以得到 MOSFET 的输出特性曲线, 如图 3.9 所示。

由图 3.9 可见, 该输出特性曲线与结型场效应管相似, MOSFET 有三个工作区域: 可变电阻区、饱和区、截止区。

(1) 截止区: 当 $u_{GS} < U_T$ 时, 导电沟道尚未形成, $i_D = 0$, 为截止工作状态。

(2) 可变电阻区: 当 $u_{DS} \leq (u_{GS} - U_T)$ 时,

$$i_D = K_n [2(u_{GS} - U_T)u_{DS} - u_{DS}^2] \quad (3.2.3)$$

由于 u_{DS} 较小, 可近似为 $i_D \approx 2K_n(u_{GS} - U_T)u_{DS}$, 其中 K_n 为电导常数。

(3) 饱和区 (又称恒流区或放大区): 当 $u_{GS} > U_T$, 且 $u_{DS} \geq (u_{GS} - U_T)$ 时, MOSFET 进入饱和区, 此时

$$i_D = K_n (u_{GS} - U_T)^2 \quad (3.2.4)$$

由于输出特性与转移特性都是反映 FET 工作的同一物理过程, 所以转移特性可以直接从输出特性上用作图法求出。例如, 在图 3.9 的输出特性中, 作 $u_{DS} = 10V$ 的一条垂直线, 此垂直线与各条输出特性曲线的交点分别为 A、B、C、D 和 E, 将上述各点相应的 i_D 及 u_{DS} 值画在 i_D - u_{DS} 的直角坐标系中, 就可得到转移特性 $i_D = f(u_{GS}) \mid_{u_{DS}=10V}$, 如图 3.10 所示。

由于饱和区内, i_D 受 u_{DS} 的影响很小, 因此, 在饱和区内不同 u_{DS} 下的转移特性基本

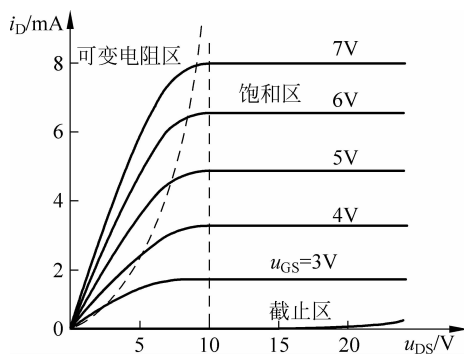


图 3.9 N 沟道 MOSFET 的输出特性曲线

重合。

N 沟道增强型 MOSFET 的转移特性如图 3.10 所示。其主要特点为：

- (1) 当 $u_{GS} < U_T$ 时, $i_D = 0$ 。
- (2) 当 $u_{GS} > U_T$ 时, $i_D > 0$, u_{GS} 越大, i_D 也随之增大, 两者符合平方律的关系。

3.2.2 N 沟道耗尽型 MOS 管

前面讨论 N 沟道 MOSFET 时, 都是以增强型为例, N 沟道耗尽型 MOSFET 的结构与增强型基本相同。耗尽型 MOS 管结构图及符号如图 3.11 所示。对于 N 沟道增强型 MOSFET 在 $u_{GS} = 0$ 时, 管内没有导电沟道。而耗尽型则不同, 它在 $u_{GS} = 0$ 时就存在导电沟道。因为这种器件在制造过程中, 在栅极下面的 SiO_2 绝缘层中掺入了大量金属正离子(如 Na^{++} 或 K^{++}), 这些正离子的作用如同加正的栅源电压并使 $u_{GS} > U_T$ 时相似, 能在 P 型衬底表面产生垂直于衬底的自建电场, 排斥空穴, 吸引电子, 从而形成表面导电沟道, 称为原始导电沟道。

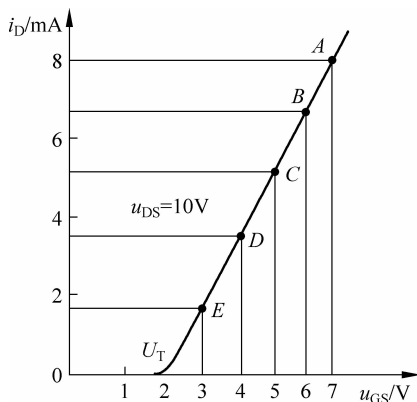


图 3.10 N 沟道 MOSFET 的转移特性曲线

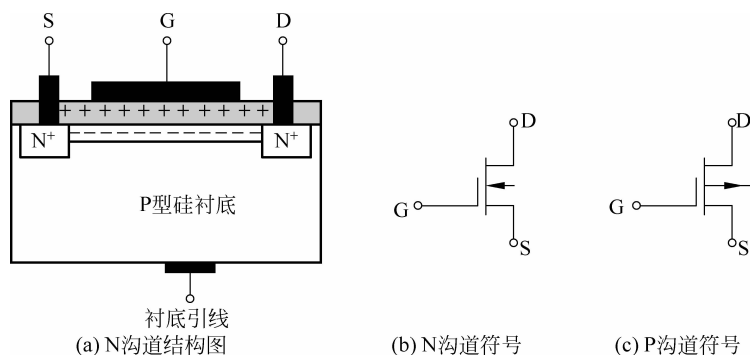


图 3.11 耗尽型 MOS 管结构图及符号

由于 $u_{GS} = 0$ 时就存在原始沟道, 所以只要此时 $u_{DS} > 0$, 就有漏极电流 i_D 。如果 $u_{GS} > 0$, 由于绝缘层的存在, 并不会产生栅极电流, 但指向衬底的电场加强, 沟道变宽, 漏极电流 i_D 将会增大。反之, 若 $u_{GS} < 0$, 则栅压产生的电场与正离子产生的自建电场方向相反, 总电场减弱, 沟道变窄, 沟道电阻变大, i_D 减小。当 u_{GS} 继续变负, 等于某一阈值电压时, 沟道将完全被夹断, $i_D = 0$, 管子进入截止状态。此时的栅源电压称为夹断电压 U_P 。

N 沟道耗尽型 MOSFET 的输出特性和转移特性如图 3.12 所示。

耗尽型 MOS 管的工作区域同样可以分为截止区、可变电阻区和饱和区。所不同的是 N 沟道耗尽型 MOS 管的夹断电压为 U_P 负值, 而 N 沟道增强型 MOS 管的开启电压为 U_T 为正值。

N 沟道耗尽型 MOSFET 管的电流方程与增强型管是一样的, 不过其中的开启电压应换成夹断电压 U_P 。经简单变换, 耗尽型 NMOSFET 的电流方程为

$$i_D \approx I_{DSS} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_P} \right)^2 \quad (3.2.5)$$

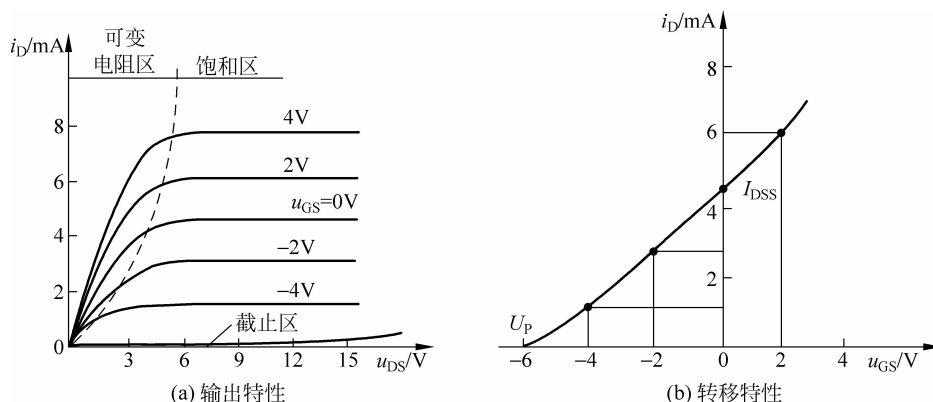


图 3.12 N 沟道耗尽型 MOS 管的特性

N 沟道耗尽型 MOSFET 可以在正或负的栅源电压下工作,而且基本上无栅流,这是耗尽型 MOSFET 的重要特点之一。

与 N 沟道 MOS 管相似,P 沟道 MOS 管也有增强型和耗尽型两种。为了能正常工作,P 沟道 MOS 管外加的 u_{DS} 必须是负值,开启电压 U_T 也是负值。而实际的电流方向为流出漏极。

3.2.3 MOSFET 的主要参数

1. 直流参数

1) 开启电压 U_T

U_T 是增强型 MOS 管的参数。当 u_{DS} 为某一固定值(例如 10V)使 i_D 等于一微小电流(例如 $50\mu A$)时,栅源间的电压为 U_T 。

2) 夹断电压 U_P

U_P 是耗尽型 FET 的参数。通常令 u_{DS} 为某一固定值(例如 10V),使 i_D 等于一个微小的电流(例如 $20\mu A$)时,栅源之间所加的电压称为夹断电压。

3) 饱和漏极电流 I_{DSS}

I_{DSS} 也是耗尽型 FET 的参数。在 $U_{GS} = 0$ 的情况下,当 $|U_{DS}| > |U_P|$ 时的漏极电流称为饱和漏极电流 I_{DSS} 。

4) 直流输入电阻 R_{GS}

在漏源之间短路的条件下,栅源之间加一定电压时的栅源直流电阻就是直流输入电阻 R_{GS} 。MOS 管的 R_{GS} 可达 $10^9 \sim 10^{15} \Omega$ 。

2. 交流参数

1) 输出电阻 r_{DS}

输出电阻 r_{DS} 说明了 u_{DS} 对 i_D 的影响,是输出特性某一点上切线斜率的倒数。因此 r_{DS}

是一个有限值,一般在几十千欧到几百千欧之间。

2) 低频互导 g_m

在 u_{DS} 等于常数时,漏极电流的微变量和引起这个变化的栅源电压的微变量之比称为互导,互导反映了栅源电压对漏极电流的控制能力,它相当于转移特性上工作点的斜率。互导 g_m 是表征 FET 放大能力的一个重要参数,单位为或 μS 。 g_m 一般在十分之几至几毫西的范围内,特殊的可达 100mS,甚至更高。值得注意的是,互导随管子的工作点不同而变,它是 FET 小信号建模的重要参数之一。

3. 极限参数

1) 最大漏极电流 I_{DM}

I_{DM} 是管子正常工作时漏极电流允许的上限值。

2) 最大耗散功率 P_{DM}

耗散功率等于 u_{DS} 和 i_D 的乘积,这些耗散在管子中的功率将变为热能,使管子的温度升高。为了限制它的温度不要升得太高,就要限制它的耗散功率不能超过最大数值 P_{DM} 。显然, P_{DM} 受管子最高工作温度的限制。

3) 最大漏源电压 $U_{(BR)DS}$

$U_{(BR)DS}$ 是指发生雪崩击穿、 i_D 开始急剧上升时的 u_{DS} 值。

4) 最大栅源电压 $U_{(BR)GS}$

$U_{(BR)GS}$ 是指栅源间反向电流开始急剧增加时的 u_{GS} 值。

3.3 场效应管放大电路

场效应管同晶体管一样,具有放大作用。它也可以构成三种基本的放大电路,即共源极、共漏极、共栅极放大电路,分别与双极型晶体管的共发射极、共集电极和共基极放大电路相对应。场效应管由于具有输入阻抗高、温度稳定性能好、低噪声、低功耗等特点,其所构成的放大电路有着独特的优点,应用越来越广泛。

3.3.1 场效应管的偏置及其电路的静态分析

场效应管是一个电压控制器件,在构成放大电路时,为了实现信号不失真的放大,同三极管放大电路一样也要有一个合适的静态工作点 Q ,但它不需要偏置电流,而是需要一个合适的栅源极偏置电压 U_{GS} 。场效应管放大电路常用的偏置电路主要有两种:自偏压电路和分压式自偏压电路。

1. 自偏压

图 3.13(a) 为 N 沟道结型场效应管自偏压放大电路。它只适用于结型场效应管或耗尽型 MOS 管组成的电路。由于这两种管子均为耗尽型场效应管,即使是 $U_{GS}=0$,也有漏极电流 I_D 流过管子,所以在该电路中,FET 的源极接入一只源极电阻 R_s 后, I_{DQ} 流过它时将产