

性能优异的VMOS功放电路

许自科 李允武

(郑州轻工业学院)

提 要

VMOS管是一种结构新颖,性能优异,应用广泛的新型半导体管,它集中了电子管和晶体管的优点,是目前较为理想的功率放大器件。本文讨论了VMOS管的构造及其构成的功放电路的工作原理,并通过比较和举例,来阐明这种功放电路的突出优点。

关键词: 半导体管, 原理, 功放电路

一、一种新型的半导体管

VMOS管是1976年才问世的一种新型的半导体管,它是在吸收了电子管、双极型晶体管和单极型晶体管各种优点的基础上作成的,其主要优点有:输入阻抗高(约 $10^8\Omega$ 以上);开关速度快(开关时间为ns级);工作频率高;反馈电容小;具有电流负温度系数,无热失控或二次击穿现象;开启(或导通)电压低;转移特性的线性好以及跨导高等等。因此,它是一种具有开拓型的有源半导体器件。尤其是它的大电流和电流的负温度系数特性,使它成为发展大功率管的佼佼者。它的出现引起了电子工业界的极大兴趣,公认VMOS管是一种比较理想的功放管,在一些工业发达的国家得到了迅速的发展。各国专家预料:在功放电路的应用中,VMOS管大有取代双极型管的可能。

二、VMOS管的构造与工作原理

VMOS管之所以有许多优点,是与它的构造和工作原理分不开的。在VMOS管的系列产品中,根据结构不同分为两类:即VVMOS管和VDMOS管。而目前生产最多、应用最广的是VVMOS管。

目前常说的VMOS多指VVMOS。在这种类型的产品中,根据工艺原理的不同,又有如下的分类:

| | | | |
|------|--------------|-------------|---------|
| VMOS | n 沟道 VMOS | n 沟道增强型VMOS | 通称VN系列。 |
| | | n 沟道耗尽型VMOS | |
| | p 沟道 VMOS | p 沟道增强型VMOS | 通称VP系列。 |
| | | p 沟道耗尽型VMOS | |

本文以我国生产的VN系列产品为例加以讨论。

图1为VMOS管构造的剖面图。其结构很象一个双结晶体管,其制造工艺是:先在(100)面的硅片上,利用硅片的各向异性腐蚀原理,刻出具有一定宽度和深度的V形槽,槽壁与硅片表面成 54.7° 的夹角,然后把器件作在槽的两壁上。图中S为源极,G为栅极,D为漏极。

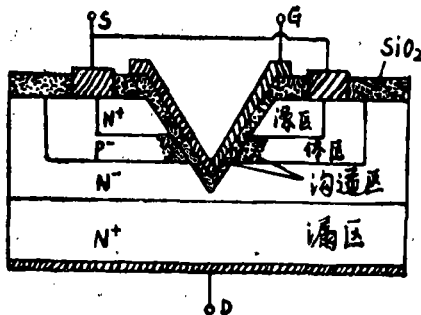


图 1

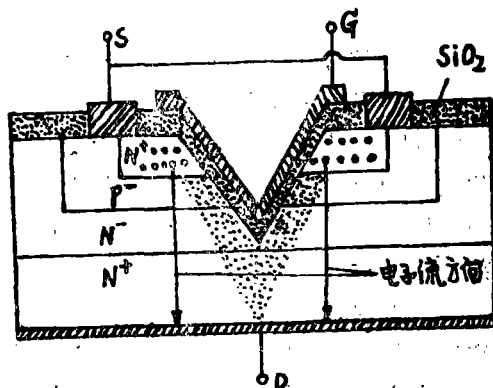


图 2

VMOS管的工作原理: 给漏、源极之间加上正电压 E_D , 即 E_D 正极接D极, 负极接S极。当 $V_{GS} \leq 0$ 时, 虽然D、S间加有正电压, 由于 P^- 区无感生沟道, 所以D、S极间无漏极电流 I_D ; 当 $V_{GS} > 0$ 时, 即栅极接有正电压, 根据电荷感应原理, 在 P^- 区就感应出大量的电子, 形成了 P^- 区的n型沟道, 此沟道把 N^+ 和 N^-N^+ 区连通, 于是在 E_D 作用下, 源区的电子就通过n型沟道垂直向下流到漏区, 被漏极接收, 形成电流 I_D 。见图2所示。 I_D 与沟道区中载流子的数目(或说沟道的薄厚)和速度成比例, 而载流子的数目又与栅压成比例, 电子的速度与 E_D 成比例。若使栅压固定, 而靠提高 E_D 来增加电子的速度, 达到提高电流 I_D 之目的, 效果是不佳的。因为 E_D 增大, I_D 也增大, 但载流子将与沟道区的原子碰撞增加, 使沟道温度上升, 结果引起沟道电阻增大, 这又限制了 I_D 的增大, 这就是VMOS管具有电流负温度系数的根源。相反, 若 E_D 固定, 改变栅压, 则栅压增大, P^- 区感应电荷增加, 沟道变厚, 电阻减小, 于是源极区的电子能在 E_D 作用下, 大量地流到漏极, 使 I_D 增大, 且 I_D 与 V_{GS} 成正比地增加, 这就是VMOS管的 $I_D \sim V_{GS}$ 线性好的原因。在这种管子中, 只要 $V_{GS} > 0$, 就会有沟道产生, 有 I_D 流通, 即VMOS管的开启电压很小(比MOS管小), 运用范围较大, g_m 也大。

综上所述: VMOS管的导通电流是沿半导体表面的垂直方向流动的, 因此VMOS就是垂直导电的金属—氧化物—半导体晶体管的意思。这种垂直导电的方式是由V形槽的特殊结构和 E_D 决定的, 而且槽两边的沟道是对称的, 两边的电流也是相等的。这种结构可使沟道作得短而宽, 导通电流可以很大, 目前国产VMOS管的电流可达数安到数十安, 国外VMOS管的电流已达上百安培。此外, 由上述分析可知: 只有当 $V_{GS} > 0$ 时, 才有n型沟道形成, 因此称为n沟道增强型VMOS管。若在制造VMOS管时, 给二氧化硅层中掺入大量正离子, 使在 $V_{GS} = 0$ 时, 由于正离子的作用, 就在 P^- 区中感生出n型沟道, 这种管子就称为n沟道耗尽型VMOS管。其构造如图3所示。

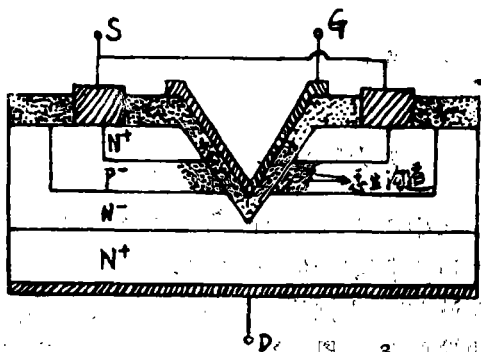


图 3

三、VMOS功放电路

由VMOS管构成的推挽放大器如图4所示。图中BG₁和BG₂是两个型号相同特性一致的n沟道VMOS管, BG₁接成源极跟随器, BG₂接成共源组态, BG₁与BG₂构成互补推挽电路。由同型号n型沟道VMOS管组成的互补电路, 要求推动级兼有倒相作用, 能输出大小相等相位相反的两路信号, 来推动互补电路。互补级的直流偏置电路包含在推动级中。两管栅源极间连接的稳压管超过压保护(当栅压超过9V时)作用, 栅极上两个1KΩ电阻起消除自激振荡作用。

电路的工作过程是: 当v_{i1}为正半周, v_{i2}为负半周时, BG₁导通, BG₂截止, 电流自上而下流过负载, 输出信号为正半周; 当v_{i1}为负半周, v_{i2}为正半周时, BG₁截止, BG₂导通, 电流自上而下流过负载, 输出信号为负半周。在整个信号周期中, 负载上得到被放大的完整信号。

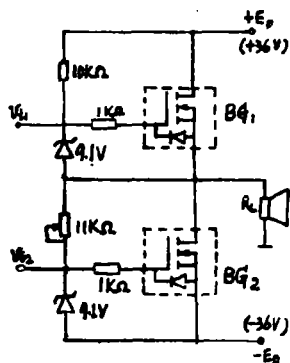


图 4

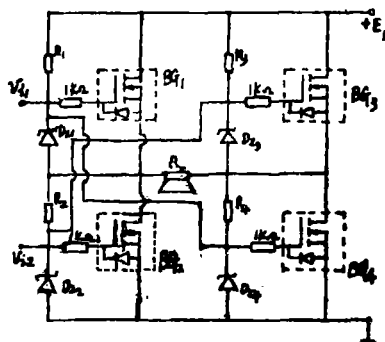


图 5

通过计算可得电路的输出功率为:

$$P_o = \frac{E_D^2 R_L}{2(R_L + r_{on})}$$

$$\text{总管耗瓦: } P_T = P_{T1} + P_{T2} = \frac{4 - \pi}{2\pi} \cdot \frac{E_D^2}{R_L + r_{on}}$$

$$\text{电源供给功率: } P_E = P_{T1} + P_{T2} + P_o = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{E_D^2}{R_L + r_{on}}$$

$$\text{放大器效率: } \eta = \frac{P_o}{P_E} = \frac{\pi R}{4(R_L + r_{on})} \leq 78.5\%$$

式中R_L为负载电阻, r_{on}为管子导通电阻。

在要求输出功率更大时, 还可以采用桥式推挽电路(BTL电路), 用同一型号管子连成的VMOS桥式推挽电路如图5所示。在电源相同的情况下, 桥式电路输出功率是上述单端推挽电路的四倍。其工作为: 当v_{i1}为正半周, v_{i2}为负半周时, BG₁和BG₄导通, BG₂和BG₃截止, 输出电流由BG₁经负载流入BG₄; 当v_{i1}为负半周, v_{i2}为正半周, 则BG₁和BG₄截

止, BG_2 和 BG_3 导通, 电流由 BG_3 经负载流入 BG_2 , 在输入信号一周里, 负载上得到完整的被放大的输出信号。

以上讨论了推挽电路的基本工作原理, 为了加深理解, 下面举一实用电路, 如图6所示。它是一个能输出15W的高传真音频功率放大器。 BG_1 为结型场效应管组成的推动级, 可将输入信号放大到 $V_{P-P} = 20V$, 来推动输出级。 BG_2 由两个同型号的P沟道VMOS管并联构成, 以提高输出电流, 再与 BG_3 搭配组成互补输出级, BG_2 和 BG_3 均为共源组态, 以提高电压增益。 $R_{11} \sim R_{14}$ 组成偏置电路, 调节 R_{13} 和 R_{14} 可使 BG_2 与 BG_3 两栅极间电压变化数十伏, 可得到合适的偏置电压, 使交越失真最小。为消除级间影响, 采用了阻容耦合方式。 R_{9A} 、 R_{9B} 和 R_{10} 用于消除高频自激, R_{15A} 、 R_{15B} 并联是为了与 R_{16A} 和 R_{16B} 搭配, 以减小输出信号的失真。还用 0.001μ 、 500Ω 、 50μ 和 R_6 构成交流负反馈, 保证电路的高传真。

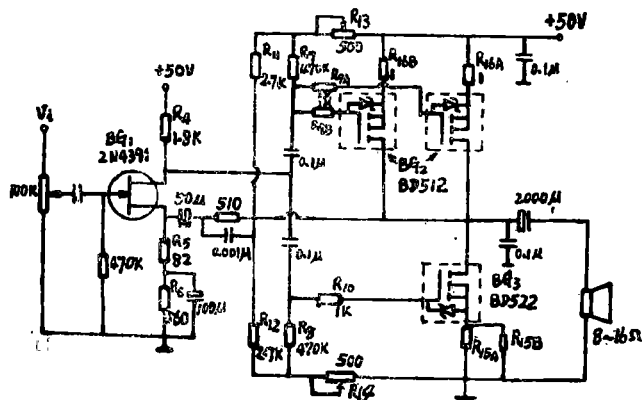


图 6

四、小 结

综合前面的分析, 与双极型功放电路相比, VMOS功放电路具有以下重要特点:

1、输入阻抗很高, VMOS管的高输入阻抗, 导致了 VMOS 功放电路也有很高的输入阻抗, 它要求推动级有大的电压增益, 以提供足够的电压来推动功放级, 使整个电路的总功耗减小。

2、线性好、失真小: 由于 VMOS 管的开启电压小, 线性好, g_m 大, 所以 VMOS 功放电路的线性运用范围就宽, 保真性高。

3、输出功率高: VMOS 管的工作电流大, 当一个管子不能满足功率输出要求时, 还可以直接将 n 个相同型号的管子并联使用 (不必加均流电阻), 从而获得较大的输出功率。

4、热稳定性好, 最大允许工作温度高: 由于 VMOS 管的电流负温度特性, 在相同的条件下 (相同的输出功率, 加有相同的散热片), VMOS 功放电路允许工作的环境温度高, 热噪声小。

5、工作频率高: VMOS 管的导通电流由一种载流子形成, 且没有电荷的建立和消失过程, 故延时很小, 工作频率就高。

总之, VMOS 管的出现, 使功放电路的设计和应用进入了一个新阶段, 应用范围不断扩展, 除 VMOS 功放电路之外, 还可用于电源、振荡器和自动控制等设备中, 但不管在那个方面的应用, 均属功率应用, 纵观发展前途, 确有取代双极型管之趋势, 因此, 应该在大学教材中适当地增加这个内容。

参 考 文 献

- [1] Robert T. Stone & Howard M. Berlin: "Design of VMOS Circuits, With Experiments", Howard W. Sams & Co, Inc 1980.
- [2] Henry Zanger: "Semiconductor Devices and Circuits", John Wiley & Sons, Inc 1984年.