

如何利用升压三极管获取功率

我们都知道一个原理：三极管输出的功率，随输出电压不同，输出功率不同，电压越高，功率越大。

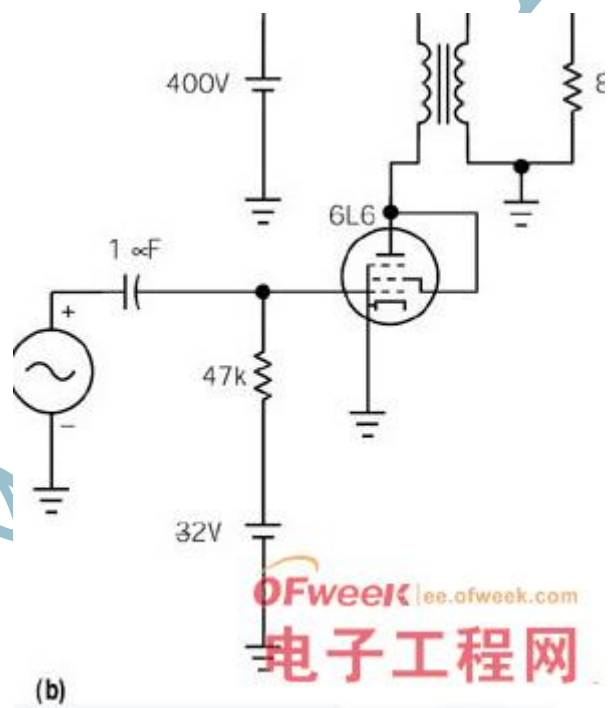
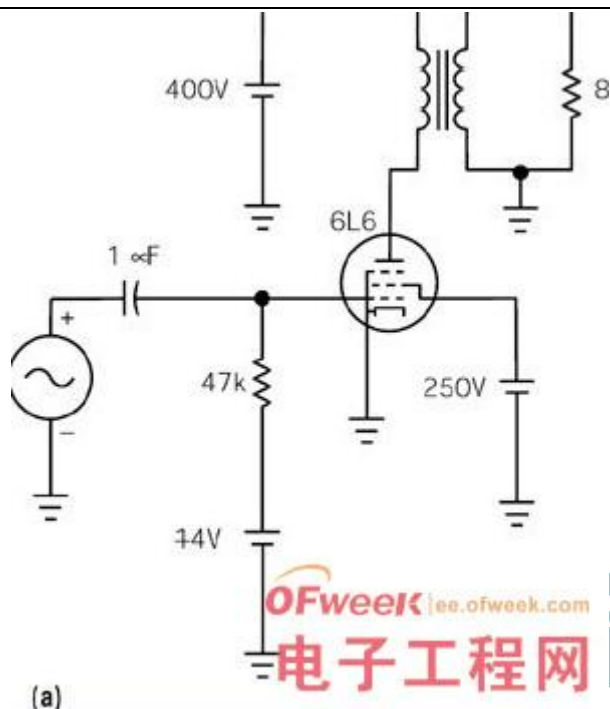
三极管是靠载流子的运动来工作的，以 npn 管射极跟随器为例，当基极不加电压时，基区和发射区组成的 pn 结为阻止多子（基区为空穴，发射区为电子）的扩散运动，在此 pn 结处会感应出由发射区指向基区的静电场（即内建电场），当基极外加正电压的指向为基区指向发射区，当基极外加电压产生的电场大于内建电场时，基区的载流子（电子）才有可能从基区流向发射区，此电压的最小值即 pn 结的正向导通电压（工程上一般认为 0.7v）。

但此时每个 pn 结的两侧都会有电荷存在，此时如果集电极-发射极加正电压，在电场作用下，发射区的电子往基区运动（实际上都是电子的反方向运动），由于基区宽度很小，电子很容易越过基区到达集电区，并与此处的 PN 的空穴复合（靠近集电极），为维持平衡，在正电场的作用下集电区的电子加速外集电极运动，而空穴则为 pn 结处运动，此过程类似一个雪崩过程。

集电极的电子通过电源回到发射极，这就是晶体管的工作原理。三极管工作时，两个 pn 结都会感应出电荷，当做开关管处于导通状态时，三极管处于饱和状态，如果这时三极管截至，pn 结感应的电荷要恢复到平衡状态，这个过程需要时间。

下面我们将介绍通过实例来说明利用升压三极管可以获取更多功率的方式。虽然采用的 6L6 束射功率管尽管已经存在了 66 年，但是现在仍然十分流行地应用于电吉他放大器中，与其同类的 6CA7（EL34）功率五极管也是高保真音响“发烧友”之所爱。

这些电子管的开发人员将它们设计得以五极管模式工作，而在这种模式下它们能够输出最大的音频功率。另一方面，许多高保真音响爱好者更喜欢以三极管模式工作，而且直到现在也不得不将输出功率降低 50%。输出功率降低意味着他们需要更大的电源和两倍数量的昂贵电子管来从三极管放大器中获得五极管的功率。图 1a、1b 和 1c 分别示出了将 6L6 变为五极管、实三极管和“升压三极管”的三种连接方式。升压三极管配置使得五极管在以真三极管模式工作时可以产生类似五极管的功率。为了理解升压三极管的工作情况，重说一下真空管理论是有益的。6L6 是一个束射功率管，有阴极、控制栅极、帘栅极、抑制栅极和阳极。抑制栅极实际上是一个由两块聚束板提供的虚拟抑制栅极，但是可以将 6L6 束射功率管作为五极管来对待。你可以将五极管看作是具有下列电极功能的 n 沟道 JFET：



OFweek 电子工程网

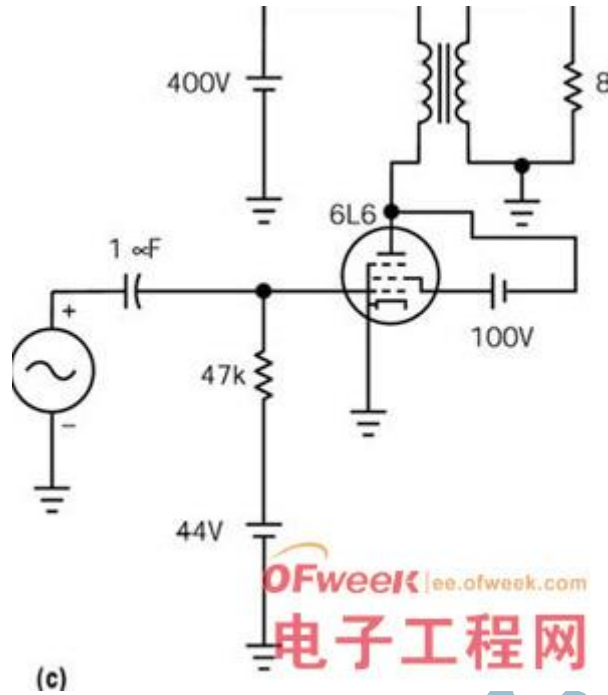


图 1 五极管 (a) 能输出比三极管 (b) 大得多的功率，但采用升压三极管配置除外 (c)

- * 热电子阴极：电子源（对应于 JFET 源极）；
- * 控制栅极：控制阴极电流；在相对于阴极的负电位下工作（对应于 JFET 栅极）；
- * 帘栅极：静电屏蔽控制栅极和板极，从而减小阳极电压对阴极电流的影响；在相对于阴极的正电位下工作；
- * 抑制栅极：防止二次电子离开阳极到达帘栅极；在阴极电位下工作；
- * 阳极：收集电子（对应于 JFET 漏极）。

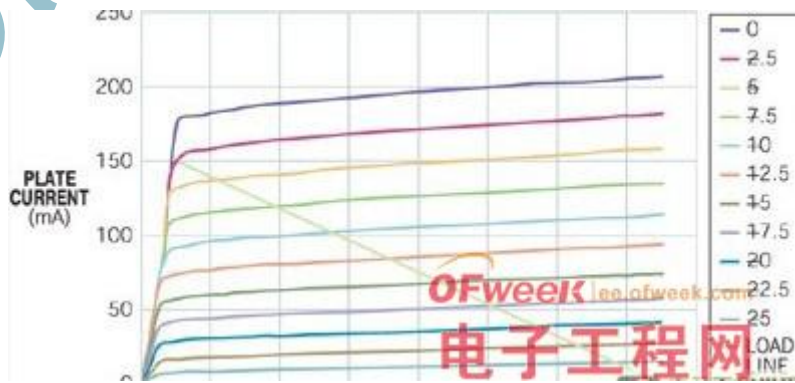


图 2 五极管的负载曲线表明，阳极可在阳极电压仅为 50V 时吸收 150 mA 电流

上图 2 示出了控制栅极电压为 $0 \sim -25\text{V}$ 和帘栅极电压为 250V 时的五极管特性曲线。请注意理想化的负载线以及该五极管可以在板极电压仅为 50V 时吸收 150 mA 的阳极电流。高电压增益、高阳极阻抗和高输出功率是五极管放大的三个特点。只要将帘栅极与阳极直接连接，该五极管可以以三极管模式工作。低电压增益和低输出阻抗是这种模式的特点。

表1 五极管、三极管和升压三极管参数

放大器	DC阳极电流 (mA)	栅极偏置 (V)	栅压摆幅 (V)	输出功率 (W)
五极管	75	-14		
三极管	75	-32		
升压三极管	75	-44		

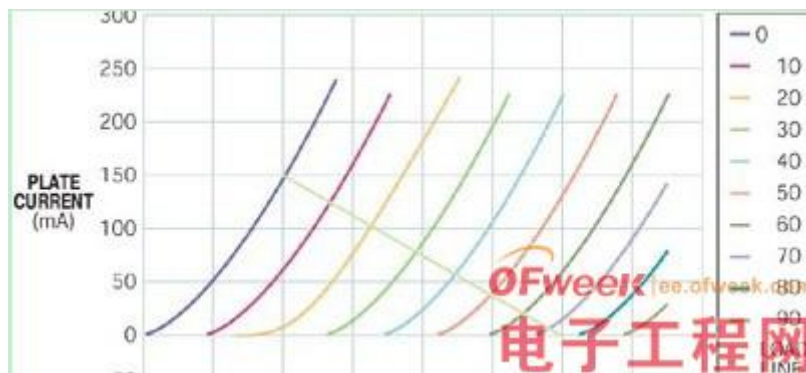


图 3 纯三极管需要 200V 阳极电压才能吸收 150 mA 电流

上图 3 示出了三极管曲线与五极管曲线的差别。这些曲线代表 $0 \sim -90\text{V}$ 的控制栅极电压。请注意负载线以及在三极管模式下板极无法在板极电压低于 200V 时吸收 150 mA 电流。这一事实大大限制了放大器效率及输出功率。但是，尽管输出功率有限，一些人还是更喜欢三极管模式，因为他们声称它能产生一种优秀的音响放大器。

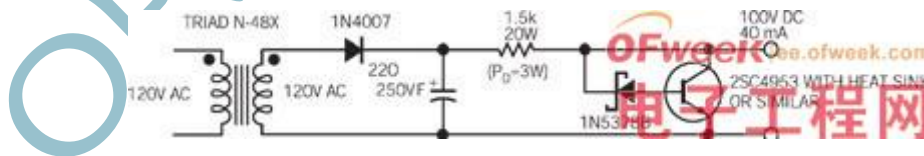


图 4 一个 100V 帘栅极电源可将一个普通三极管转变为一个升压三极管

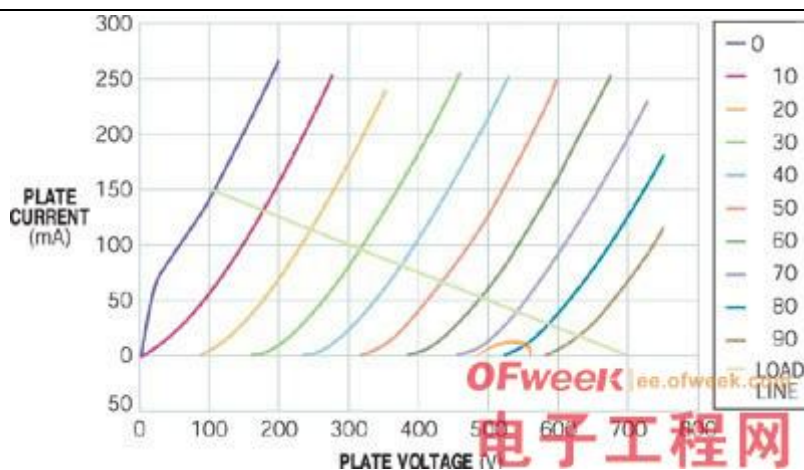


图 5 升压三极管的阳极可在阳极电压 100V 时吸收 150 mA 电流，而纯三极管则需要 200V 阳极电压才可以

对于图 1c 所示的升压三极管电路来说，你只是在标准三极管放大器电路上增加一个 100V 帘栅极-阳极电源（图 4）。这样做就使三极管特征曲线向左平移了 100V（图 5）。

请注意负载线以及板极此时可以在阳极电压仅为 100V 而不是纯三极管模式电路所要求的 200V 时吸收 150 mA 电流。你可以利用升压三极管放大获得大得多的功率，并仍然保持三极管放大的特性。在使用 MicroCap-7 评估软件对三个单端 A 类音频放大器进行 Spice 仿真中，静态阳极电流的控制栅极偏置为 75 mA，而交流栅极信号只是短少放大器限幅。变压比可为五极管提供 5 kΩ 的阳极负载阻抗，为三极管和升压三极管提供 3 kΩ 的阳极负载阻抗。

总之，在开关电路中，三极管导通时， U_{ce} 达到最小值，此时电流达到最大值；三极管截止时， U_{ce} 达到最大值，但电流几乎为 0。所以开关电路中，“开”与“关”状态下，三极管的耗散功率是很小的，而在“开”与“关”的转换过程中， U_{ce} 、 I_c 值都比较大，三极管承受的功率较大。而集电极电流过三极管时，会产生热量，管子因受热而引起参数的变化不超过允许值时的最大集电极耗散功率称为 PCM。管子实际的耗散功率于集电极直流电压和电流的乘积，即 $P_c = U_{ce} \times I_c$ 。使用时庆使 $P_c < PCM$ 。PCM 与散热条件有关，增加散热片可提高 PCM。