

互补对称功率放大电路

一、功率放大电路的特点及类型

功率放大电路与电压放大电路有所不同，电压放大电路中的信号幅度较小，主要解决电压放大倍数和频率特性的问题；功率放大电路不仅要提供足够的信号电压，还要提供足够的信号电流，这样才能输出足够的功率，使负载正常工作。功率放大电路中，三极管工作在极限状态。

功率放大电路具有以下四个特点：

1. 功率放大电路的输出功率要大

为了获得足够大的功率输出，要求功放管的电压和电流都有足够大的输出幅度。最大的输出功率是指电路输出不失真或失真在允许范围内的情况下输出信号的最大功率。

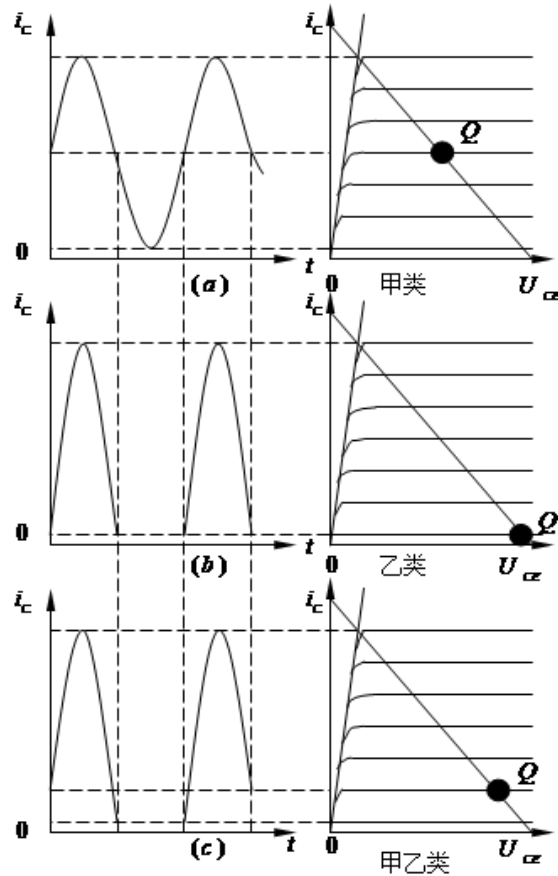


图 1 功率放大电路

2. 功率放大电路的效率要高

由于输出功率大，直流电源消耗的功率也大，这使效率成为一个主要问题。

我们把负载获得的功率 P_O 与直流电源提供的功率 P_E 之比定义为转换效率，用字母 η

表示，即 $\eta = \frac{P_O}{P_E}$ 。

3. 电路散热要好

在功率放大器中，有相当大的功率消耗在功放管的集电结上，使结温和管壳的温度升高。为了充分利用功放管所允许的管耗以获得足够大的输出功率，就要采取措施，使功放管能有效地散热。

采取的措施是给功放管安装散热片，散掉集电结产生的热量。

4. 非线性失真要小

功率放大电路要放大大信号，输入和输出信号的动态范围很大，工作状态接近晶体管的饱和截止状态，超越了晶体管特性曲线的线性范围，非线性失真不可忽视，所以必须想办法解决非线性失真问题，使非线性失真尽可能地减小。

按照功放管工作位置不同，功率放大器的工作状态可分为甲类、乙类放大和甲乙类放大等形式。

1. 甲类功率放大电路

功放的静态工作点设置在三极管输出特性曲线的线性区、交流负载线的中点，工作范围限定在放大区内。图 1 (a) 所示这种工作状态下，直流电源始终不断地输送功率，在没有信号输入时，绝大部分消耗在功放管的集电结上，转化为热能散发出去。

甲类功率放大器放大的信号不失真，但功放管功率消耗大，效率太低。目前很少采用。

2. 乙类功率放大电路

从甲类功放的分析可知，静态电流是造成管耗的主要因素，也是效率不高的主要原因。

所以，可以把功放的静态工作点下移到截止区与放大区的交界处，即 $I_b = 0$ 。在无信号输入时，功放管处于截止状态， $I_c = 0, U_{ce} = E_c$ ，这时功放管不消耗功率。如图 1 (b) 所示，

乙类功率放大器管耗低，效率高，可达到 75% 以上但是失真太严重。现一般采用两只晶体管轮流工作，分别放大正弦信号的正、负半周的办法来克服失真。

3. 甲乙类功率放大电路

将功放的静态工作点放置于靠近截止区但仍在放大区，图 1 (c) 所示在无信号输入时有较小的电流 I_c 通过功放管，即有较小的管耗。甲乙类功率放大器放大效率高，但对失真大。目前采用互补对称电路加以克服。

二、典型功率放大电路分析

1. 乙类推挽功率放大电路

(1) 电路的结构及工作原理

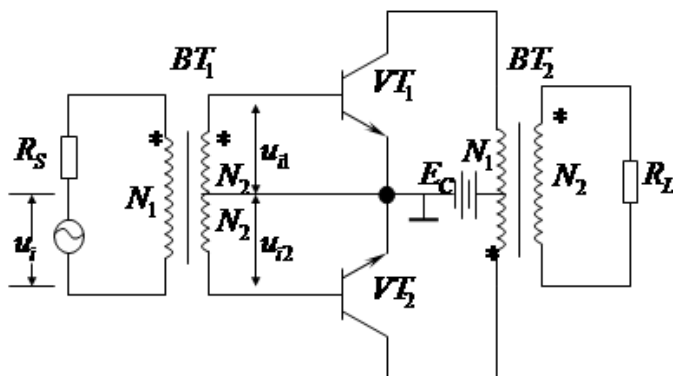


图 2 乙类推挽功率放大电路

乙类推挽功率放大电路如图 2 所示，该电路选用两只特性相同的晶体管使它们工作在乙类放大状态，一只负担正半周信号的放大，另一只负担负半周信号的放大，在负载上将这两个输出波形合在一起得到一个完整的放大的波形，这就是乙类推挽放大电路。

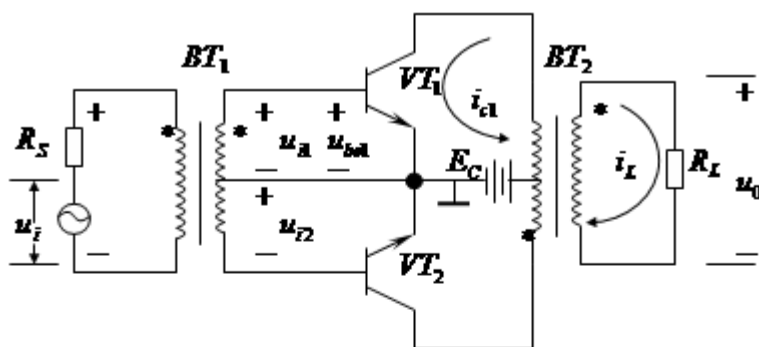
该电路由两只特性相同的晶体管组成对称电路。其重要特点是不设偏置电路，在没有信号输入时，使 $I_{BQ} = 0$, $I_{CQ} \approx 0$ ，损耗功率为零以保证晶体管工作在乙类。 BT_1 、 BT_2 为具有中心抽头的输入、输出变压器，它的作用是既使电路对称，又可使输入、输出阻抗实现匹配。

(2) 工作原理

通过输入变压器中心抽头得到两个幅值相等、相位相反（相对于三极管）的输入信号 u_{i1} 和 u_{i2} ，分别加到 VT_1 、 VT_2 的输入回路，使它们分别工作在输入信号的正、负半周。

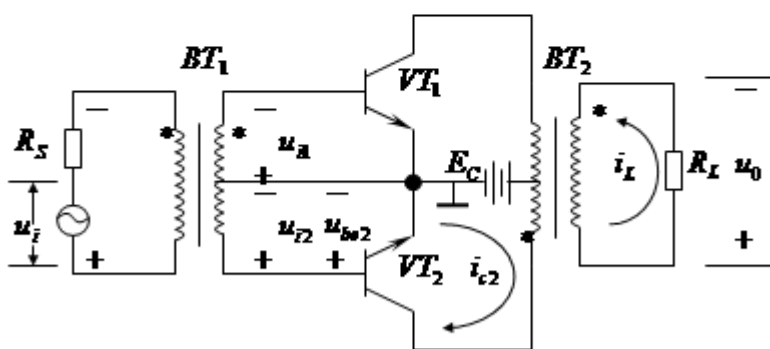
1) 正半周

在输入信号的正半周，变压器 BT_1 次级线圈感应电压极性为上正下负，显然 VT_1 的发射结正偏，处于导通，有信号电流 i_{c1} 由 VT_1 的集电极输出；而 VT_2 的发射结反偏，处于截止状态， $i_{c2} = 0$ ， VT_2 没有输出信号。由此可见，在输入信号正半周 VT_1 工作，如图 3 (a) 所示。



(a) 正半周 VT_1 工作

2) 负半周
在输入信号的负半周，变压器 BT_1 次级线圈感应电压极性为上负下正，显然 VT_2 的发射结正偏，处于导通，有信号电流 i_{c2} 由 VT_2 的集电极输出；而 VT_1 的发射结反偏，处于截止状态， $i_{c1} = 0$ ， VT_1 没有输出信号。



(b) 负半周 VT_2 工作

由此可见，在输入信号正半周 VT_2 工作，如图 3 (b) 所示。

3) 输出波形的合成

图 3 乙类推挽功率放大电路工作原理

由 VT_1 和 VT_2 分别放大的两个半波电流 i_{c1} 和 i_{c2} ，经输出变压器 BT_2 在负载 R_L 上合并起来。 $P_C = P_E - P_0$

4) 交越失真

乙类推挽功率放大电路由于没有直流偏置，所以当输入电压 u_i 很低时，三极管工作在输入特性曲线的根部，使 i_{b1} 和 i_{b2} 的底部出现了失真。信号经三极管放大后， i_{c1} 和 i_{c2} 也出现了同样的失真。由于两管轮流工作，所以在输出信号正、负半周的交界处产生了失真，这种失真即交越失真，如图4所示。

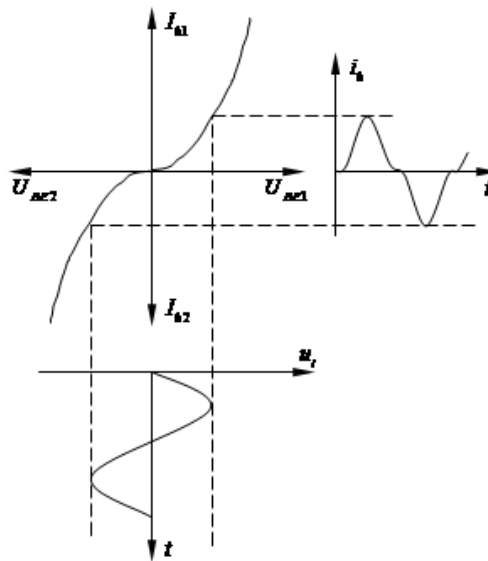


图4 交越失真

2. 双电源互补对称电路

(1) 电路结构

如双电源互补对称电路要求两只晶体管 VT_1 、 VT_2 的特性是其中 VT_1 是NPN型三极管， VT_2 是PNP型三极管。在静态时无基极偏流，两管全都处于截止状态。双电源互补对称电路又称为OCL电路，如图5所示。

(2) 工作原理

设 u_i 正半周输入端上正、下负，则NPN

型管处于正偏导通状态，集电极电流 i_{c1} 自左至右通过负载 R_L （图中实线箭头所示），

此时PNP型管处于截止状态， $i_{c2} = 0$ 。

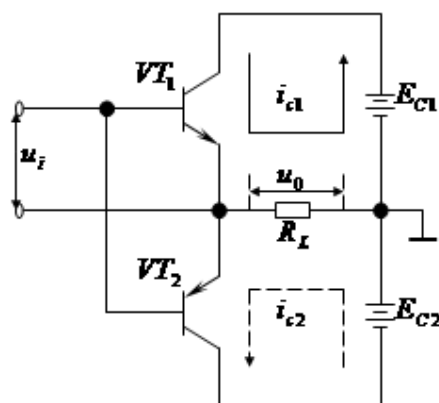


图 5 双电源互补对称电路

u_i 负半周输入端上负、下正，则 PNP 型管处于正偏导通状态，集电极电流 i_{c2} 自右至左通过负载 R_L （图中虚线箭头所示），此时 NPN 型管处于截止状态， $i_{c1} = 0$ 。

由此可见，这种电路的工作原理与乙类推挽电路类似，也是两只管子轮流工作。推挽电路两只管子是同类型的管子，而互补对称功率放大器是两只类型相反的管子。在输入信号 u_i 的一个周期内，负载 R_L 上的输出信号方向有正有负为一个交流信号。

3. 单电源互补对称电路

双电源互补对称电路简单，效率高，可接近 80%，但是它需要两个电源来供电，即不经济，又不方便。为此将电路略加改进，省去一个电源，成为单电源互补对称电路，该电路也叫 OTL 电路，如图 6 所示。

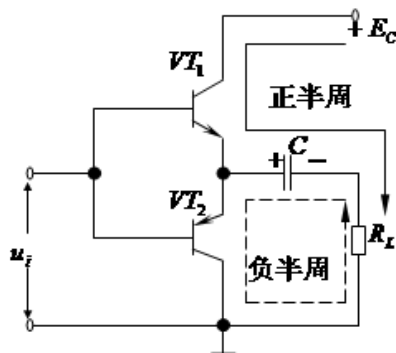


图 6 单电源互补对称电路

电路可以看成由特性相同的 VT_1 、 VT_2 组成两个射极输出器，在共同的输出端与负载 R_L 之间串联一个容量足够大的电容器 C ， VT_2 的集电极接地。在没有输入信号时，调整基极电路的参数使得电容 C 两端为电源电压 E_C 的一半，即电容器的充电电压为 $\frac{E_C}{2}$ ，在输入信号的正半周时， VT_1 导通，电流自 E_C 经 VT_1 为电容 C 充电，经过负载电阻 R_L 到地，在 R_L 上产生正半周的输出电压（电流方向如图中实线所指）。在输入信号的负半周时， VT_2 导通，

电容 C 通过 VT_2 和 R_L 放电，在 R_L 上产生负半周的输出电压（电流方向如图中虚线所示）。

应当指出，电容 C 的容量需要足够大，它可等效为一个恒压源，无论信号怎样变化，电容 C 上的电压几乎保持不变。在 OTL 电路中，电容 C 等效为一个 $\frac{E_C}{2}$ 的电源。

4. 典型互补对称电路分析

如图 7 所示， VT_1 ：推动级，它为 VT_2 和 VT_3 组成的互补推挽对称电路提供激励信号。 R_1 是 VT_1 的偏流电阻，它与输出端联接起交、直流负反馈作用，既稳定了电路的工作点，又可稳定电路的放大倍数。调节 R_1 可使 VT_2 和 VT_3 的 c、e 之间电压均为电源电压 E_C 的一半左右，这样电容器的充电电压为 $\frac{E_C}{2}$ 。电阻 R_2 与二极管 VD 串联起来，为 VT_2 和 VT_3 提供一个合适的正向偏压，达到克服交越失真的目的。应当指出， R_2 不能太大，绝对不能开路，否则 VT_2 和 VT_3 的静态电流过大会将晶体管烧坏。 R_3 、 C_1 组成自举电路，其作用为一是利用电容作为一个电源起到改善失真作用；另一个是提升 VT_2 的基极电流使 VT_2 接近饱和导通，得到充分利用。自举电路实质是一个电压并联正反馈电路，它把 R_c 上端的电位自举了一个变量； R_3 将 E_C 和 C_1 隔开，使 VT_2 获得自举电压。

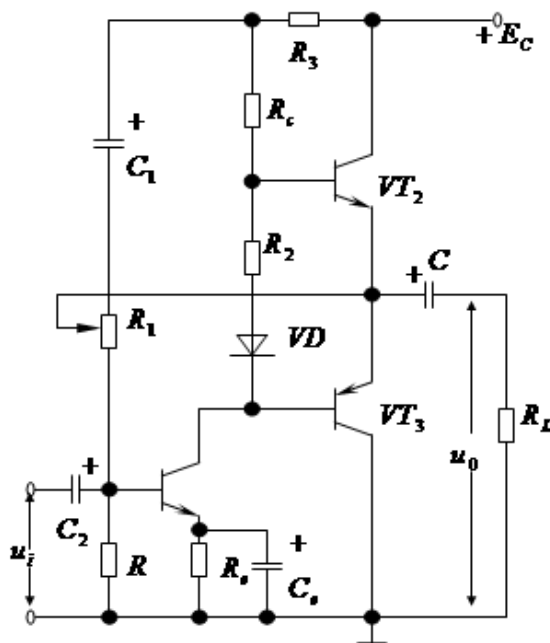


图 7 典型互补对称电路