调频发射电路分析

作者 / 陈吹信 / 广东技术师范学院天河学院

调频是调制类型中的一种，正确理解和分析调频以及发射，对以后学习和理解掌握无线遥控、远距离无线传输等内容有着重要的借鉴意义，对学习收音机、电视机等内容也起着重要的理论支撑作用，本文重点分析调频发射电路，从元件介绍、直流分析、交流分析角度进行，通过分析这些电路，能加深对电路的理解，从而为以后分析复杂电路做铺垫。

该电路由三级组成，即调频振荡级、隔离放大级和功率放大级。调频振荡级主要完成振荡信号的产生以及频率调制，由 Q_1 级承担；隔离放大级放大调频振荡信号，由 Q_2 级承担；功率放大级完成调制信号的功率放大，最后由天线发射出去，由 Q_3 级承担。如图 1 所示。

一、调频振荡级分析

1. 元件介绍

R_1 为上偏置电阻，R_2 为下偏置电阻，两电阻分压为振荡管 Q_1 提供基极偏置电压，使 Q_1 工作在放大状态，R_3 为 Q_1 集电极供电电阻，同时也是 Q_1 集电极负载，R_4 为 Q_1 发射极电流负反馈电阻，用来稳定 Q_1 的静态工作点。C_1 为旁路电容，C_2、C_3、C_4、C_{5_1}、L_1、变容二极管 D_1 以及 Q_1 组成西勒振荡电路，R_5 为隔离电阻，用来减少振荡信号与调制信号的影响，C_6 为高频滤波，用来过滤调制信号中的高频干扰信号，C_7 为耦合电容，把调频振荡信号耦合到 Q_2 的基极。

2. 直流分析

通电后，Q_1 得电后导通，直流通路为：

VCC → R_1 → R_2 → 地
　　→ Q_1b 极 → R_4 → 地
　→ R_3 → Q_2C 极 → R_4

3. 直流负反馈的原理

假设由于温度升高引起 Q_1 的集电极电流 I_C 升高，有了电流负反馈电阻 R_4 后，会自动降低 I_C，原理如下：

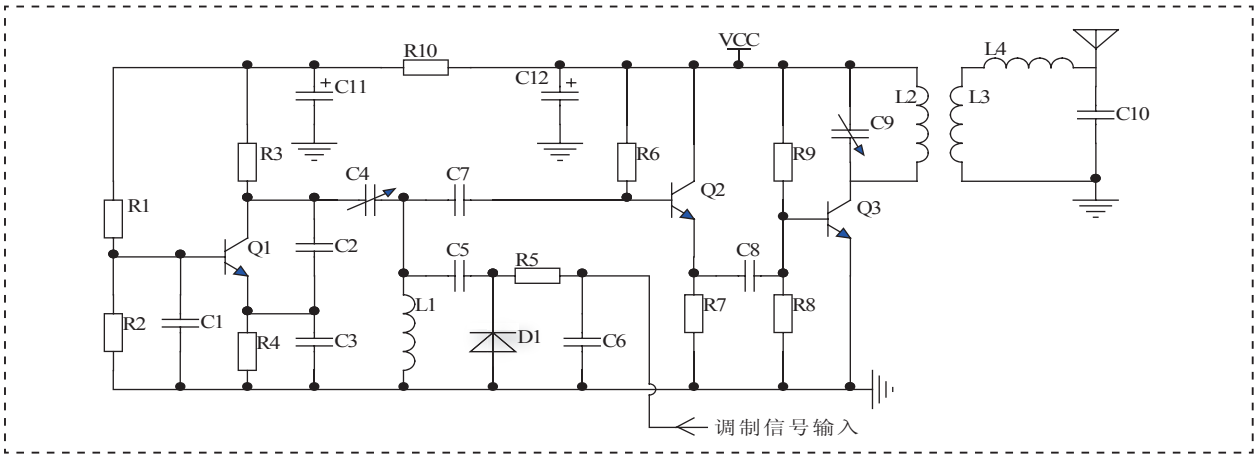


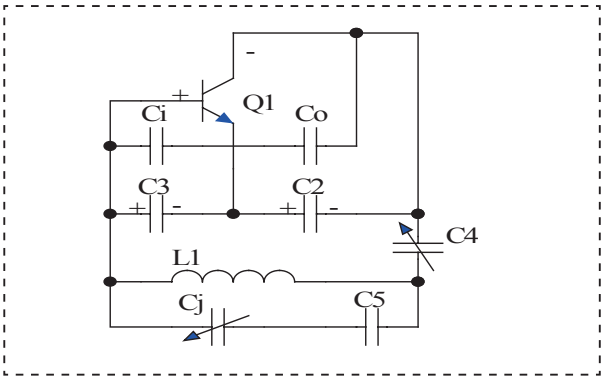
图1 整机原理图

$I_C \uparrow I_E \uparrow U_E \uparrow U_{BE} \downarrow I_B \downarrow I_C \downarrow$

4. 交流分析

（1）西勒振荡电路模型

C_2、C_3、C_4、C_{5_1}、L_1、变容二极管 D_1 以及 Q_1 组成西勒振荡电路，变容二极管 D_1 的结电容为 C_j，Q_1 输入分布电容为 C_i，输出分布电容为 C_o。我们先分析该电路的起振相位条件，使用瞬时相位分析法。假设输入 Q_1 b 极信号为正，则 Q_1 c 极信号为负，加在 C_2 右端信号为负，C_2 左端信号为正，C_3 右端信号为负，C_3 左端信号为正，于是，反馈到 Q_1 b 极的信号为正。这样，符合交流正反馈的条件，该电路能正常振荡。



该振荡电路的振荡频率 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_\Sigma}}$，$C_\Sigma=\frac{1}{\frac{1}{C_2+C_o}+\frac{1}{C_3+C_i}+\frac{1}{C_4}}+\frac{1}{\frac{1}{C_5}+\frac{1}{C_j}}$ 其中，正常电路设计情况下，$C_2>>C_4$，$C_3>>C_4$，忽略分布电容，所以，$C_\Sigma\approx\frac{C_5\bullet C_j}{C_5+C_j}+C_4$。

（2）振荡频率变化分析

变容二极管的结电容为 C_j，则 C_j 对主振回路的接入系数 $p=\frac{C_5}{C_5+C_j}$，如果调制信号引起的结电容变化为 ΔC，振荡频率为 f，那么引起主振回路的电容变化量为 $p^2\times\Delta C$，这时造成的振荡频率变化为 Δf，且 $\Delta f\approx-\frac{p^2\times\Delta C}{2C_\Sigma}f$，其中 C_Σ 为主振回路的总电容，且 $C_\Sigma\approx\frac{C_5\bullet C_j}{C_5+C_j}+C_4$，负号表示 ΔC 与 Δf 的变化相反。在该电路中，由于 C_5 较小，C_j 较大，接入系数 $p\le1$，于是 $\Delta f\approx0$，表明变容二极管的结电容的变化对振荡频率影响较小。又根据频率稳定度 $\delta=\frac{\Delta f}{f}$，可知 δ 很小，所以该电路能提高频率稳定度。要得到足够的频偏，也就要使变容二极管的结电容变化较大。解决的办法是对变容二极管不加反偏压。在不加反偏压时可获最大电容变化量。由于无外加偏压，避免了由偏压变化引起的频率漂移，同时简化了电路。当然，这样做，也有不足之处，那就是只有在小信号情况下是可行。因为大信号情况下，只要载波叠加调制信号的瞬间信号足够大，就会引起 D1 正向导通，阻抗降低，引起失真。

（3）调频原理

调制信号通过 R_5 加到变容二极管 D_1 的反偏端，用来改变 D_1 的反偏电压，从而改变 D_1 的容量，最终改变振荡频率。由于调制信号在变化，所以振荡频率也随着变化，实现调频。

二、隔离放大级分析

1. 元件介绍

Q_2 为隔离放大管，隔离主要指减少功放级对振荡级的影响。R_6 提供 Q_2 的基极恒流偏置，R_7 为 Q_2 发射极电流负反馈电阻，同时也是信号的负载，C_8 为信号耦合电容。

2. 直流通路分析：

VCC → R_6 → Q_2b 极 → R_7 → 地
VCC → Q_2c 极 → R_7

3. 交流分析

调频振荡信号经过 C_7 耦合到 Q_2 的基极，经过 Q_2 放大后，从发射极输出，然后再通过 C_8 耦合到功放管 Q_3 的基极。在这里，电路采用了射极跟随器的形式，提高了带负载的能力。同时这一级电路主要是隔离作用，隔离主要指减少功放级对振荡级的

（下转 38 页）

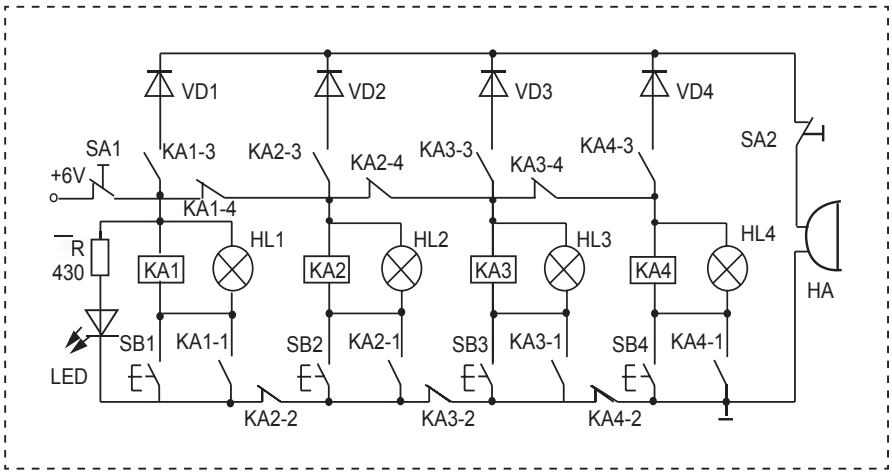


图2

吸合，KA1 的常开触头形成自锁，同时蜂鸣器发音提示，并且 KA1 的常闭触头断开其它组的电路，此时其它按钮不起作用。同样的方法可以分析其它按钮先按下的情况。图 2 电路要增加抢答组数也很方便，只需在后面加入相同的电路即可，实现起来非常容易。

关于元件选择，图中的继电器采用 6V 微型继电器，如 HJR1-2 等，蜂鸣器 HA 可选用 6V 高音蜂鸣器、照明灯也用 6V 的，按钮选用小型微动按钮，VD 为 1N4007. 同前一款抢答器一样，制作时开关 SA、SA2 放在主持人前面，SB1~SB4、HL1~HL4 放在抢答者面前。

综合两款抢答器的情况可以看出，它们的共同特点是电路简洁，成本低廉，理解容易，制作方便，无需调试，只要元件无误，一装即成。

END

（上接 32 页）

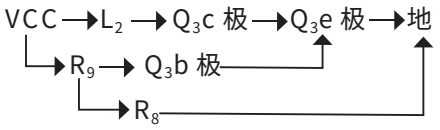
影响，因为如果直接用 Q_1 直接驱动功放会造成频率输出级对振荡级的牵制甚至自激。

三、功放级分析

1. 元件介绍

Q_3 为功率放大管，R_9、R_8 分别为 Q_3 的上、下偏置电阻，为 Q_3 提供基极偏置电压，Q_3 的工作状态为甲乙类。C_9、L_2 组成谐振回路，谐振于载波频率，L_2、L_3 起信号耦合作用，L_4、C_{10} 谐振于载波频率，天线可等效为一个纯电阻。（假定天线为 1/4 波长的条件下）。

2. 直流通路分析



3. 交流分析

调频振荡信号从 Q_3 的 b 极输入，经过 Q_3 功率放大后，从集电极输出，经过 C_9、L_2 调谐后，耦合到 L_3，最后经过 L_4、C_{10} 调谐后，从天线发射出去。在此需要说明的是，天线使用拉杆天线，当 1/4 波长天线接入点电流达到峰值天线等效为电阻，当拉杆天线长度小于 1/4 波长时，这时天线长度失配，拉杆天线表现为电阻和电容特性。为了消除拉杆天线电容特性所造成的影响，使拉杆天线表现为一个纯电阻，通常在天线的底部接一电感，并使该电感与天线的分布电容串联后与发射频率产生谐振，这样在发射点上，天线可等效为一个纯电阻。在这级电路中，有两个谐振回路，分别是 C_9、L_2 和 C_{10}、L_4，如果这两级回路没有调整在谐振状态，则处于失谐状态，会造成回路两端信号电压降低，信号发射距离短现象。所以要多次调整这两级回路中的元件参数，使回路谐振于载波频率。

END