

一、 实验目的和要求

- (1) 掌握 LC 振荡器、晶体振荡器和压控振荡器的工作原理和电路结构
- (2) 掌握压控振荡器实现调频的方法
- (3) 对电路主要参数进行测量分析

二、 实验原理

振荡器是一种不需要外部激励，就能将直流电源 供的功率转换成具有一定频率和振幅的信号输出的装置。振荡器一般由晶体管、场效应管等有源器件和具有选频能力的网络组成。按工作原理可分为反馈型和负阻型振荡器；按选频网络可分为 LC 振荡器、晶体振荡器和 RC 振荡器等。

1. 振荡器的主要性能指标

(1) 相位噪声

相位噪声和抖动是对同一种现象的两种不同定量方式。在振荡器的输出信号中，噪声的产生主要来自于晶体管及外围电路，由于振荡器为非线性组件，所以噪声的电压及电流会随时受振荡器的调变而产生。振荡器相位噪声的优劣，代表着振荡器的输出信号纯度是否良好。对于一个振荡器来说，如果没有相位噪声，振荡器的整个功率都集中在振荡频率处。

(2) 谐波失真

由于振荡器存在非线性，产生的振荡信号也就存在高次谐波。我们用震荡信号的各高次谐波分量与基波分量的比值来度量谐波失真

(3) 压控振荡器的其他性能指标

压控振荡器的性能指标主要有：自由振荡频率，频率变化范围，线性度，压控灵敏度等。

压控特性可由下面的式子表示：

$$f = f_0 + A_0 v_c$$

其中， f_0 是不加控制电压时压控振荡器的自由振荡频率， A_0 是压控灵敏度。振荡器受电压控制，输出频率的最大值与最小值之间的范围即为振荡器的频率变化范围。

2. 反馈型振荡器的工作原理

3. LC 三点式振荡器

三点式振荡器采用 LC 振荡回路部分接入的形式，有电感三点式振荡器，电容三点式振荡器，改进型的电容三点式振荡器。

电容三点式振荡器电路如下：

环路增益为：

$$T(j\omega) = AF = \frac{g_m}{g'_L + P_{eb}^2 g_i} P_{eb}$$

振荡频率为：

$$f = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{LC} + \frac{g_i g'_L}{C_1 C'_2}}$$

改进后的克拉泼振荡电路如下：

振荡频率为：

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_3}}$$

改进后的西勒振荡电路如下：

振荡频率为：

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_3 + C_4)}}$$

4. 晶体式振荡器

石英晶体的等效电路如下图所示。石英晶体的振荡频率由石英晶体和负载电容 C_L （电路中等效为与晶体并联的电容）确定，可以通过改变 C_L 的值来微调振荡频率，但调节范围很小。晶体振荡器的频率

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_q \frac{C_q(C_o + C_L)}{C_q + (C_o + C_L)}}}$$

5. 压控振荡器

振荡器频率由电压控制，作线性变化，即为压控振荡器。通常，将变容二极管作为可变电容，接入 LC 振荡器中，构成压控振荡器。变容二极管在反向偏置条件下，它的势垒电容随外加电压变化，电容 $C_j = C_o / (1 + \mu / \mu_\varphi)$ ， C_o 是变容二极管偏置为零时的结电容， μ_φ 是变容二极管 PN 结的势垒电位差， γ 是结电容变化指数，与制造工艺有关。

6. FM_FSK 调制

三、 实验电路分析

实验电路如图所示。SW2 为振荡器选择开关，将 SW2 设成“1000”，就构成了一个改进型的电容三点式振荡器，通过调节 C8，可以改变振荡频率；将 SW2 设成“0100”，电容三点式振荡器中的电感用石英晶体代替，就构成并联型石英晶体振荡电路，电容 C6、C7、C10、C8 构成的等效电容称为晶体的负载电容 C_L 。

将 SW2 的第一位开关接通，在构成改进型电容三点式振荡器的基础上，再接通第三位或者第四位开关（即设为“1010”或“1001”），将变容二极管接入电路中，就构成压控振荡器。改变滑动变阻器 WR2 的阻值，变容二极管上的直流电压也随之改变，就可以改变振荡频率。

在压控振荡电路连接方式下，音频调制信号可由 JP2 端口接入，与来自 WR2 的静态电压通过电阻网路叠加后加到变容二极管，则振荡频率将受控于调制信号，达到调频的目的。若调制信号是正弦信号，则为 FM 调制；若调制信号是脉冲信号，则为 FSK 调制。

实验电路中，振荡电路的静态工作点将影响电路的工作状态，可通过 WR1 调整。Q2 及外围的电阻器件构成了跟随电路，降低了振荡电路的输出阻抗，同时避免负载对于振荡电路的影响。通过调节 WR4 还可调整输出信号幅度。

四、 实验设备

(1) 实验办 No01 1 块

- (2) 信号源 1 台
- (3) 双踪示波器 1 台
- (4) 频谱分析仪（含 TG）1 台
- (5) 万用表 1 台

五、 实验数据与结果分析

1. 振荡器相位噪声的测量

将 SW2 设置为“0100”，构成晶体振荡器电路。用示波器观察 TP5 端信号波形，调节电位器 WR1，使振荡器起振并使输出信号幅度最大，且波形无明显失真。

设定频谱分析仪中心频率为 12.000MHz，扫 宽度为 100KHz，分辨率带宽为 1kHz，参考电平为 10dBm；为使显示波形稳定，可采用功率平均显示方式：【Trace】【迹线类型】【功率平均】。

采用峰值搜索功能键【Peak】读取总功率(C)，再用差值光标方法读取峰值差值：【Mark】、【差值】【20】【kHz】，读取距离中心频率 20kHz 处噪声功率与峰值功率的差值 (N-C)。将测得的数值代入式 3.3.3，即可计算得到相位噪声。

2. 谐波失真的测量

3. 压控振荡器频率范围及压控增益的测量

将 SW2 设置为“1010”或“1001”，构成压控振荡器电路。调节电位器 WR2，改变加在变容管 D3 上的电压（可在测试点 TP6 测得压控电压），用示波器或频谱分析仪观察振荡器输出信号的频率变化。分别记录压控电压为 1V 和 4V 时的振荡频率记为压控范围，计算压控增益。

4. FM_FSK 调制频偏的测量

频偏为调制信号频谱中肩峰处频率值与中心频率的差值。测量步骤如下：

通过 WR2 调整变容二极管的静态工作点，调整到 TP6 的直流电压为 2.5V 左右；将高频信号源与电路板 JP2 端相连，输入频率为 1KHz，幅度为-10dBm 的正弦波信号；设定频谱分析仪的中心频率为 10.7MHz，扫频宽度为 500kHz，分辨率带宽为 1KHz，视分比为 0.1；采用差值光标方法测量输入信号为-10dBm 对应的频偏量；改变输入信号的大小在-10dBm 至 0dBm 之间变化，观察调制频偏的变化情况；将信号源输出的波形设定为方波，此时可视为 FSK 调试，观察调制信号频谱有何变化

六、 思考题

- 1. 为什么振荡器起振后的直流工作点电流不同于起振前的静态工作点电流？
- 2. 为什么反馈系数要选取 $F=1/2-1/8$ ，过大，过小有什么不好？
- 3. 对于 LC 电路，为什么当静态电流发生变化时，其振荡频率会发生变化？