

# 第 10 章 电路综合性实验

## 本章目标

- 学会理论知识与实践的融会贯通。
- 引导学生用所学知识去解决工程问题。
- 掌握利用仿真软件进行电路设计与优化的方法。
- 培养学生自主学习、综合运用知识的能力。

## 实验 1 信号的合成与分解

### 一、实验任务和要求

#### 1. 实验任务

- (1) 设计一个电路使之能够从方波信号中分离出基波、三次谐波和五次谐波。
- (2) 利用上述谐波再合成近似的方波信号。
- (3) 对所设计电路进行仿真。
- (4) 设计硬件电路完成电路综合实验。

#### 2. 要求

- (1) 已知给定方波信号其频率  $f=800\text{ Hz}$ , 电压峰峰值为  $1\text{ V}$ 。
- (2) 设计  $RLC$  串联谐振电路或其他电路, 固定电感和电阻值, 调节电容, 将基波、三次谐波和五次谐波从方波信号中提取出来。画出实验电路图, 计算和确定电路中的元件参数。
- (3) 设计合适实验电路或设计一个加法器电路, 实现基波、三次谐波和五次谐波的相加, 将合成的信号与原始信号进行比较, 分析误差产生的原因, 研究相应的改善方法。
- (4) 利用 PSpice 软件对所设计的电路进行仿真分析, 验证所设计电路的合理性; 并根据仿真结果调整电路参数, 使仿真结果满足实验要求。画出仿真电路图, 记录仿真实验结果。
- (5) 根据所设计电路, 进行硬件操作实验。利用测试仪的光标测量方法, 分别测量电路中的基波、三次谐波和五次谐波的电压峰峰值和频率, 绘制各谐波波形; 测量合成波形的电压峰峰值和频率, 并绘制合成波形。

### 二、实验准备

1. 预习电路理论基础有关串联谐振电路、滤波器电路的相关知识, 学习非正弦周期信号傅里叶分解相关知识。



2. 预习直流稳压电源、函数信号发生器的使用说明。
3. 熟悉集成运算放大器 LM358 的引脚排列和功能。
4. 拟定实验步骤,选择实验所需仪器仪表、实验模块和元器件。
5. 回答问题

(1) 各次谐波信号可以在电阻  $R$  上提取,也可以在电感  $L$  或者电容  $C$  上提取,分析说明在电感  $L$  或者电容  $C$  上提取会有什么问题或缺陷。

(2) 电阻  $R$  的大小对所提取的谐波信号有何影响?

(3) 波形合成的不失真条件是什么? 实验中如何保证?

### 三、研究背景

在电气、电子及通信等工程领域广泛存在非正弦周期电流电路,其中的电流和电压是时间的非正弦周期函数。存在这类电路的原因一方面是人为设计,如通信中常常将有用的信号加载到载波信号上,以提高信号的传输能力;通过整流将交流变为脉动直流等。另一方面是不可避免,比如叠加在测量信号中的各类干扰信号等。随着科技的发展,这类电路愈加普遍。

因此,学习和掌握信号的合成和分解原理和方法就非常必要。

通过本次实验应达到的目标如下:

1. 掌握非正弦周期信号各次谐波的分解与合成的原理。
2. 加深对周期信号谐波分析以及信号合成的理解。
3. 培养综合运用电路理论知识的能力。

### 四、参考信息

#### 1. 方波信号的傅里叶级数

工程上遇到的方波信号如图 10.1.1 所示,利用谐波分析方法可以将非正弦周期信号分解为恒定分量、基波分量和各次谐波分量,其傅里叶级数为

$$f(t) = \frac{4U}{\pi} \left[ \sin(\omega_1 t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega_1 t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega_1 t) + \dots + \frac{1}{k} \sin(k\omega_1 t) + \dots \right], k \text{ 为奇数}$$

其中,式中  $U$  为方波幅值, $\omega_1$  为基波角频率, $\omega_1 = 2\pi/T$ , $T$  是  $f(t)$  的周期。可以看出,方波信号是由一、三、五、七等奇次谐波构成, $k$  次谐波的幅值为  $\frac{4U}{\pi}$  的  $\frac{1}{k}$  倍,各次谐波的初始相位均为 0。只要选择符合上述规律的各次谐波组合在一起,便可以近似合成相应的方波。

#### 2. 方波信号分解实验方案参考电路

方案 1: 实验电路如图 10.1.2 所示, $RLC$  选频电路,可以近似实现将方波信号分解为一、三、五次谐波。

利用  $RLC$  串联谐振的选频特性,当方波电压作用于  $RLC$  串联电路时,调节电容  $C$ ,使电路分别在基波频率、三次谐波频率和五次谐波频率处发生谐振,在电阻  $R$  上即可分别获取对应谐振频率的近似正弦波。



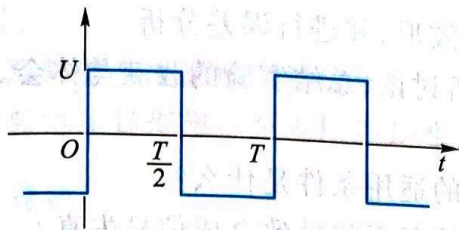


图 10.1.1 方波信号

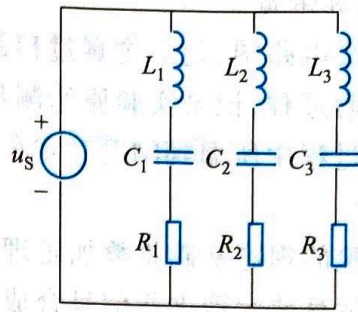


图 10.1.2 信号分解电路

实验中,取各支路电感以及电阻大小分别相等,即  $L_1=L_2=L_3=10\text{ mH}$ ,  $R_1=R_2=R_3=10\ \Omega$ ,且从左到右每条支路的谐振频率满足  $\omega_3=3\omega_1$ ,  $\omega_5=5\omega_1$ 。根据电路原理,谐振时应满足

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{LC_1}}, \quad \omega_3 = \frac{1}{\sqrt{LC_2}}, \quad \omega_5 = \frac{1}{\sqrt{LC_3}}$$

再由已知条件可推导出,三条支路电容值满足

$$C_1 = 3^2 \cdot C_2 = 5^2 \cdot C_3$$

方案 2:设计无源 RC 级联滤波器、无源带通滤波器或有源带通滤波器,实现信号的提取功能。学生可以自主设计电路进行研究。

### 3. 各次谐波信号的合成实验方案参考电路

方案 1:通过采样电阻实现谐波的合成,实验电路如图 10.1.3 所示,其中  $R=10\ \Omega$ 。通过测量电阻  $R$  上的电压信号,便可得到谐波的合成信号。同时,改变电阻  $R$  的阻值大小,可以调节所合成信号的幅值。

方案 2:通过运算放大器实现谐波的合成,实验电路如图 10.1.4 所示,其中  $R_6=R_7=R_8=R_f=10\ \text{k}\Omega$ 。利用加法器电路,实现各次谐波的叠加。

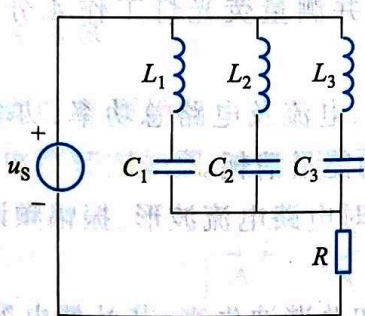


图 10.1.3 信号合成电路 1

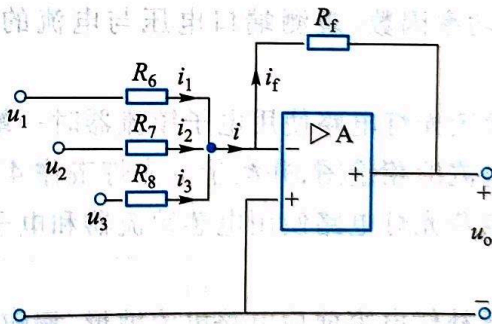


图 10.1.4 信号合成电路 2

### 4. 注意事项

- (1) 集成运算放大器的正、负电源极性不要接反,不要将输出端短路,否则会损坏芯片。
- (2) 实验过程中,每当更改电路时,必须首先断开电源,严禁带电操作。
- (3) 实验结束,各模块应整理好并放回正确位置。

## 五、实验报告要求

1. 按照要求的设计指标,绘制实验电路图,并根据相关谐波的频率,理论计算各支路电路