

电影协会

扫一扫二维码，加入群聊。

很好！

一. 实验题目: 电路综合实验 (一) (二)

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

三. 实验选择仪器与模块名称:

仿真试验平台: DP832 直流电压源, DDS 函数信号发生器

Fluke 190-104 测试仪, 数字万用表,

10 mH/0.3 A 电感器 $\times 3$, 1 μ F/50 V 电容, 2 μ F/380 V 电容, 二端元件 $\times 2$

10 \times 0.1 μ F 电容箱, 10 \times 0.01 μ F 电容箱, 0.01 μ F, 0.033 μ F, 0.22 μ F $\times 2$,

0.047 μ F 电容, 10 \times 10 Ω 电阻箱 $\times 3$, 10 \times 100 Ω 电阻箱, 10 \times 1 k Ω 电阻箱

四. 实验预习思考解答

(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?

答: RLC 串联谐振时, 谐振频率等于各次谐波频率, 电流相量 $\dot{i} = \frac{\dot{U}}{R} = \frac{U}{R} \angle \varphi_u$
 $\dot{U}_L = j\omega L \cdot \dot{i} = \frac{\omega L U}{R} \angle \varphi_u + 90^\circ$, 同理 $\dot{U}_C = \frac{U}{\omega C R} \angle \varphi_u - 90^\circ$, 即 $U_L = \frac{\omega L U}{R} \cos(\omega t + \varphi_u + 90^\circ)$ V, $U_C = \frac{U}{\omega C R} \cos(\omega t + \varphi_u - 90^\circ)$ V 可见, 在 L 或 C 上提取谐波信号将有衰减和相位附加, 实际实验中将会有较大失真。

(2) 电阻 R 的大小时所提取的谐波信号有何影响?

理论上每条支路上发生 RLC 串联谐振, R 的大小时所提取信号无影响,

实验中发现 R 越大谐波失真程度越大, 正弦信号^变成非正弦信号。

13. 波形合成不失真的条件是什么？实验中如何保证？

答：1. 三条支路分别在基波频率、三次谐波频率、五次谐波频率处发生 LC 谐振。2. 同时电阻 R 尽可能大， R 越大，合成波越接近方波。实验时，计算各支路上的电容 $C = \frac{1}{\omega^2 L}$ ，确保谐振；增大 R 阻值如 500Ω ，使之尽可能不失真。

14. ~~A~~ ~~并~~ B

五、设计电路原理简述

对如图 1 所示方波，可利用谐波分析方法将其分解为恒定分量、基波分量和各次谐波分量，其傅里叶级数：

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

式中 U 为方波幅值， ω_1 为基波角频率， $\omega_1 = \frac{2\pi}{T}$ ， k 为奇数， T 为 $f(t)$ 周期。方波信号是由一三五七... 奇次谐波构成。

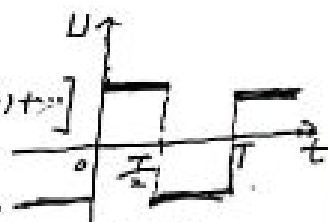


图 1

只要上述各次谐波组合在一起，便可以近似合成相位方波。

实验电路如图 2 所示：设计原理：利用 RLC 串联谐振的选频特性

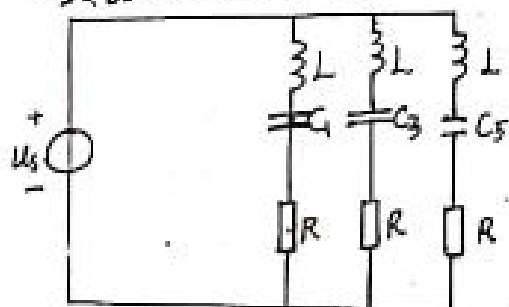
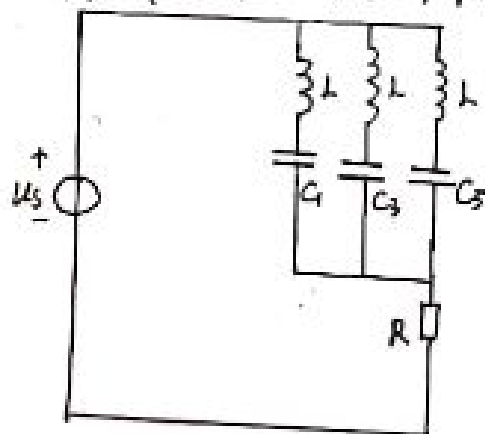


图 2

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{LC_1}}, \quad \omega_3 = \frac{1}{\sqrt{LC_3}}, \quad \omega_5 = \frac{1}{\sqrt{LC_5}} \Rightarrow C_1 = \frac{1}{\omega_1^2 L} = 3^2 \frac{1}{\omega_3^2 L} = 3^2 C_3 = 5^2 C_5$$

合成电路如图 3 所示：



设计原理：通过 LC 谐振使方波信号分解为各次谐波，再通过采取电阻实现谐波合成。根据电路的叠加定理， R 两端电压为各次谐波单独作用时 R 两端电压之和。

改变电阻 R 的阻值大小，可以调节所合成信号的幅值。

3) 分析类型及参数设置如图5所示

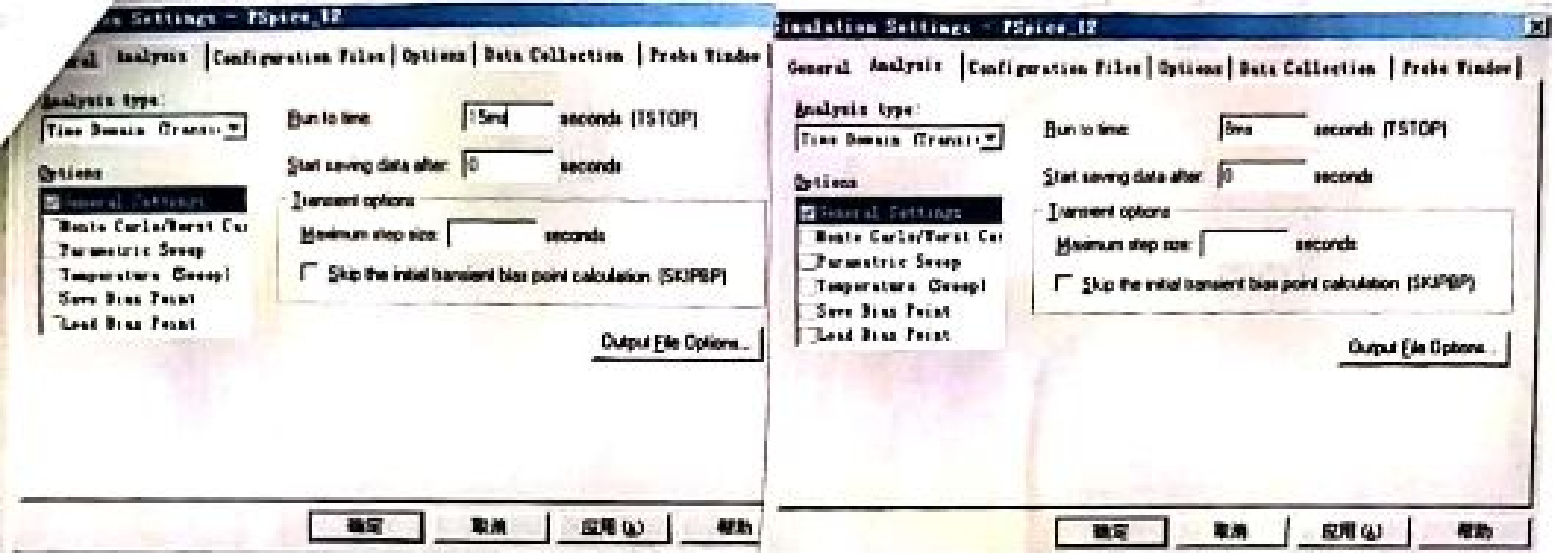


图5 方波分解仿真参数设置

4) 仿真输出结果如图6.7.8所示

1) 原始信号波形如图6.

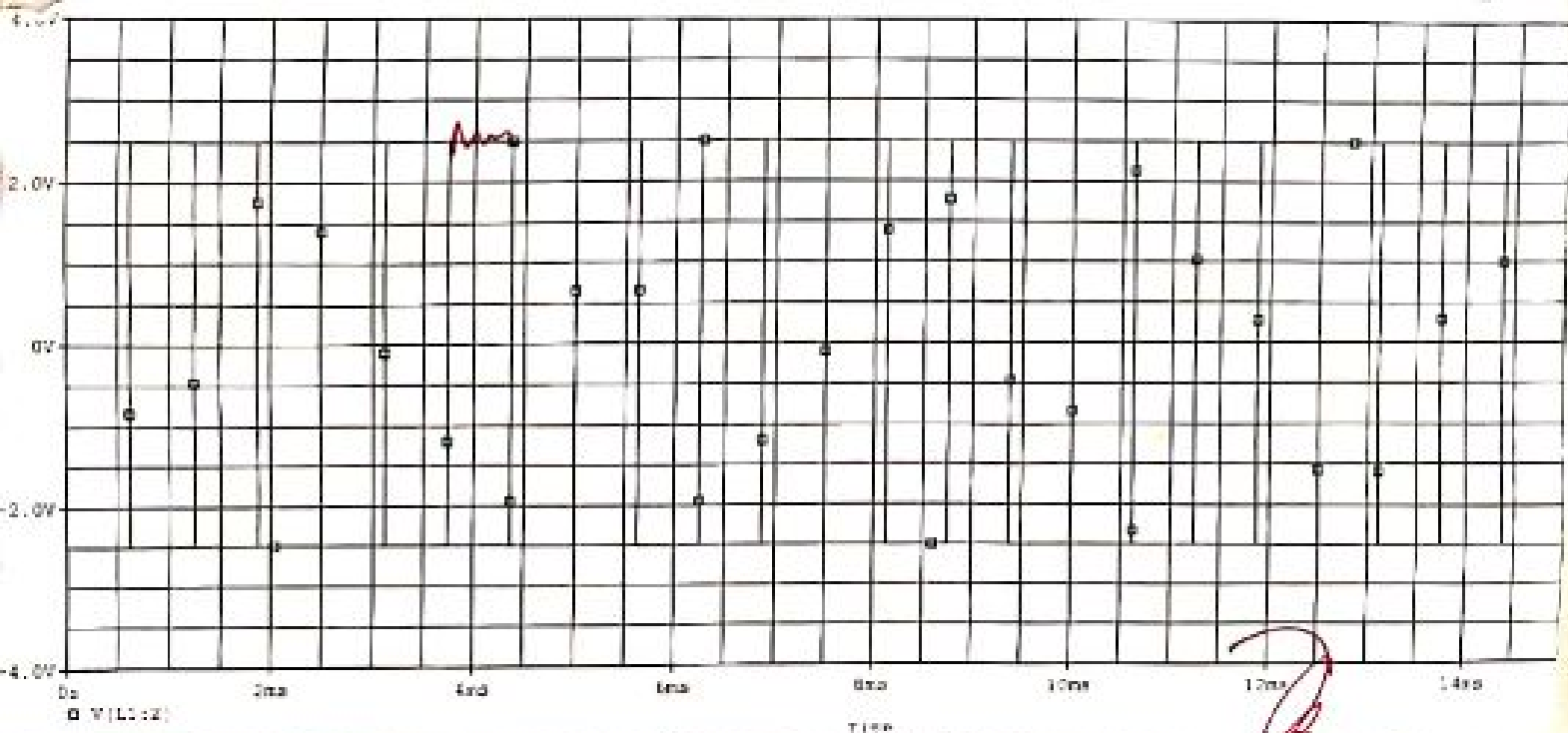
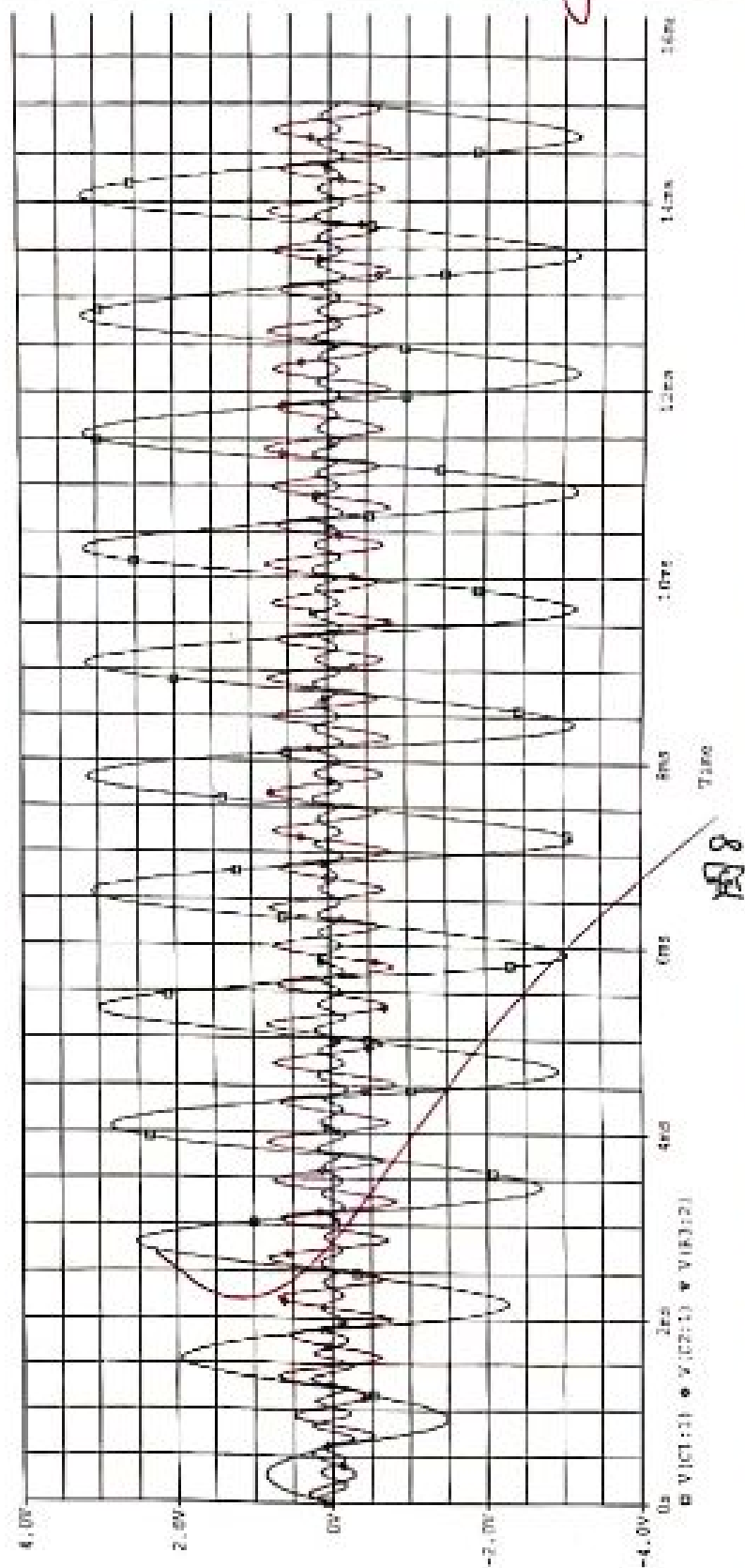
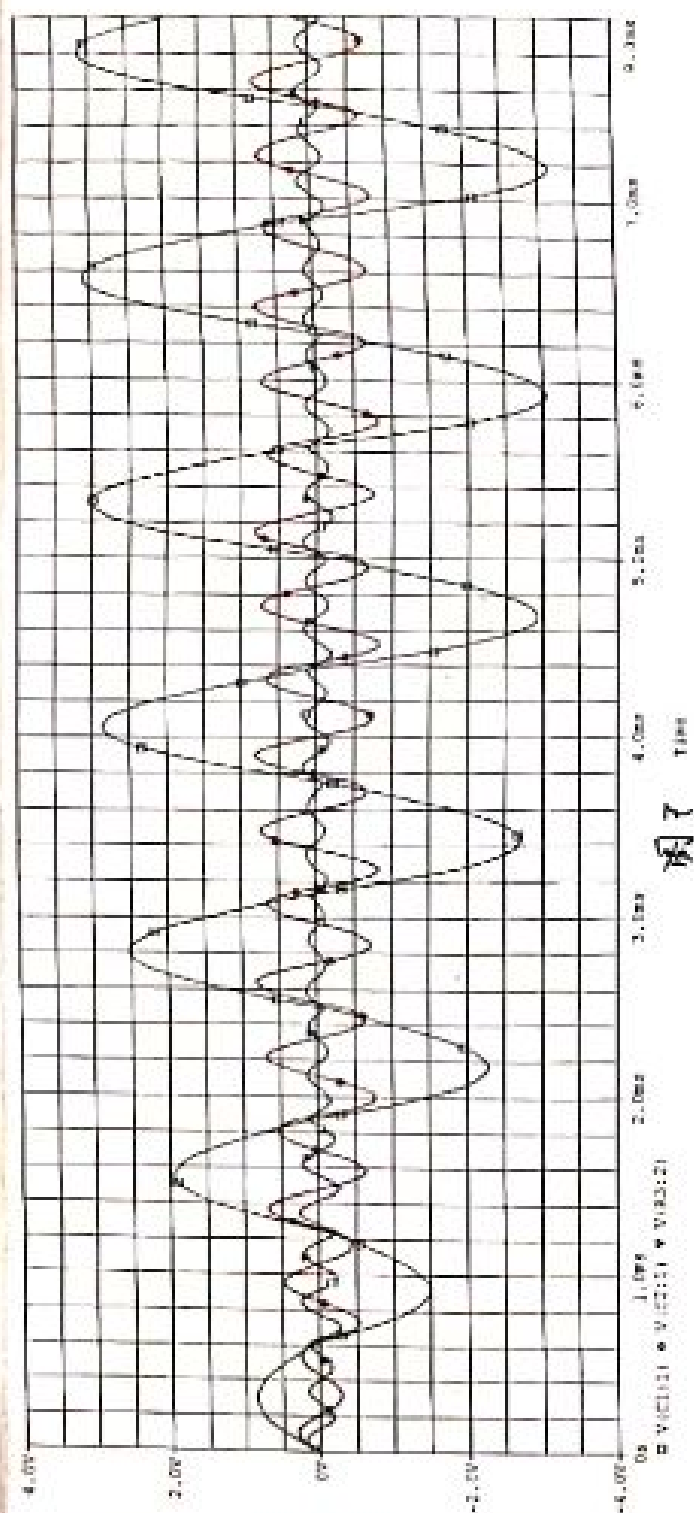


图6. 原始方波信号图

2° 分解得到的各次(基波.三次.五次)谐波信号.如图7(8ms)、8(16ms)所示。
绿色 红色 蓝色

好



5. 绘制合成电路实验步骤

- 在 ANALOG 库中提取 R.C.L. 在 SOURCE 库中提取 VPULSE.
- 连线 放置节点, 接地符号, 探针
- 按要求设置各元件和电路源参数

6. 合成电路仿真

电路用如图 9 所示

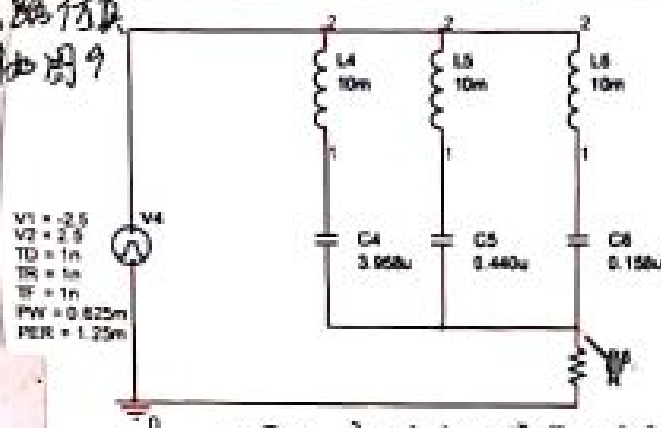


图 9. 合成信号仿真电路图.

7. 分析类型及参数设置同 3.

8. 仿真输出结果如图 10. ~~500Ω~~ (500Ω). 采样电阻为其他值时, 结果见附页.

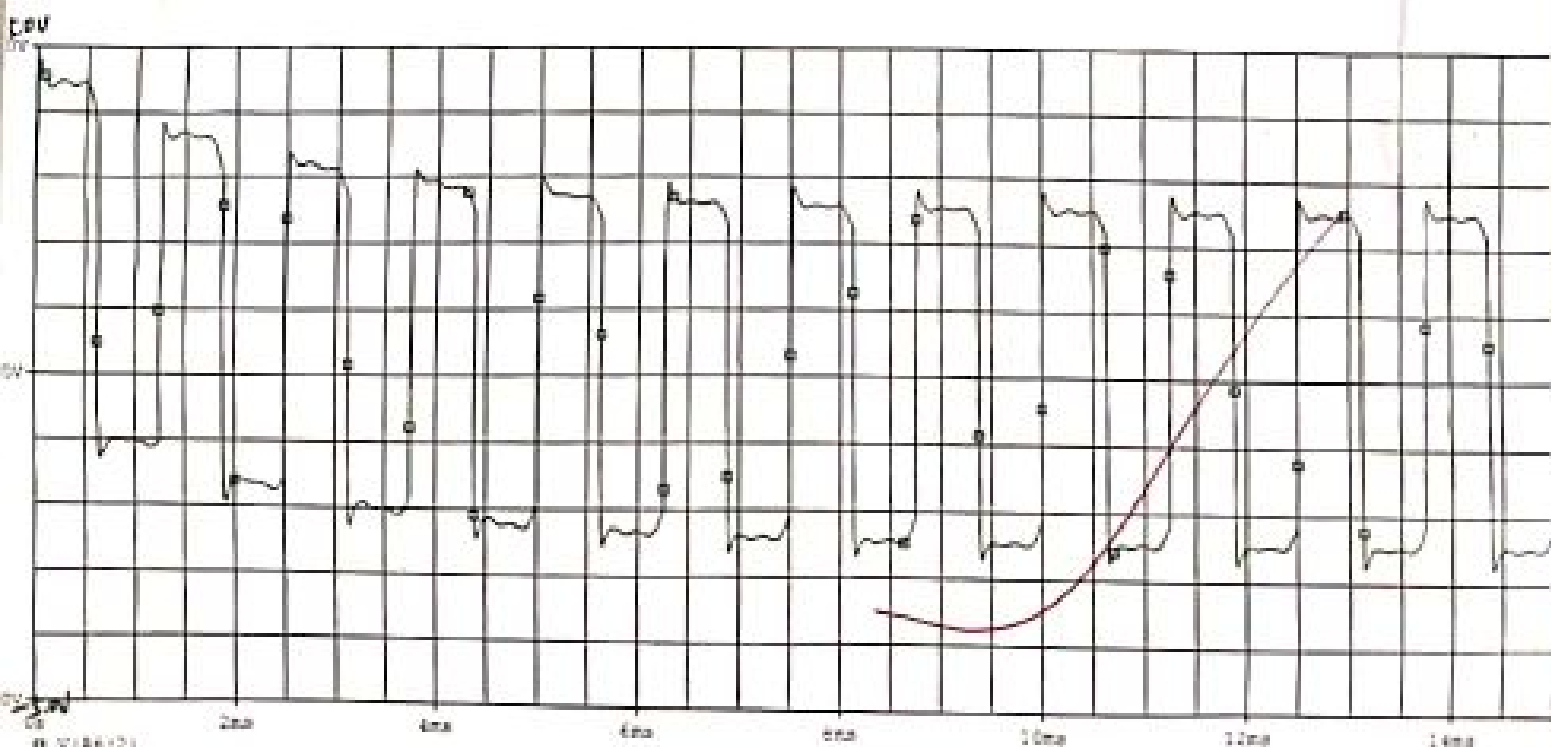


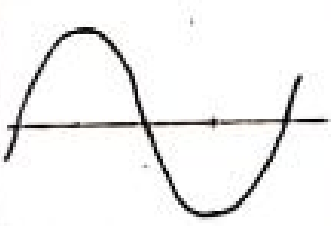
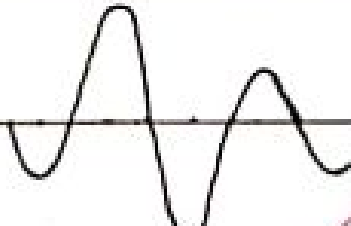
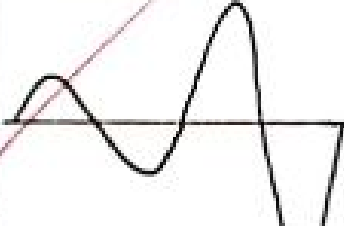
图 10. $R = 500\Omega$ 时, 合成波输出结果

4. 根据所设计电路, 进行硬件操作实验。利用光标测量方法分别测量电路中基波、三次和五次谐波电压峰峰值和频率, 绘制各谐波波形; 测量合成波形电压峰峰值和频率, 并绘制合成波形。

1. 方波信号分解:

· 按图2连接电路, 将Fluke 190-104测试仪A通道、B通道、C通道分别夹取 R_1 、 R_3 、 R_5 支路两端电压探针, 交流AC, 表减表数 1:1, 带宽限制 20kHz ; SCOPE 模式, 打开 A、B、C 通道, 设置光标 CURSOR, F_1 选水平光标, F_2 调节 $\wedge \vee$ 使水平光标分别置于 \wedge 峰值与谷值, 记录显示 V_{PP} 值; F_1 选垂直光标, $F_2 < >$ 使同-周期 F_3 选 $1/T$ 竖直光标间距为1个周期, 记录显示频率值 f , 记录波形;

· 实验结果如表1

	基波	三次谐波	五次谐波
峰-峰值 V_{PP}/V	2.96	0.976	0.616
频率 f/Hz	801.2	2.450 K	4032 K
波形			

2. 谐波信号合成

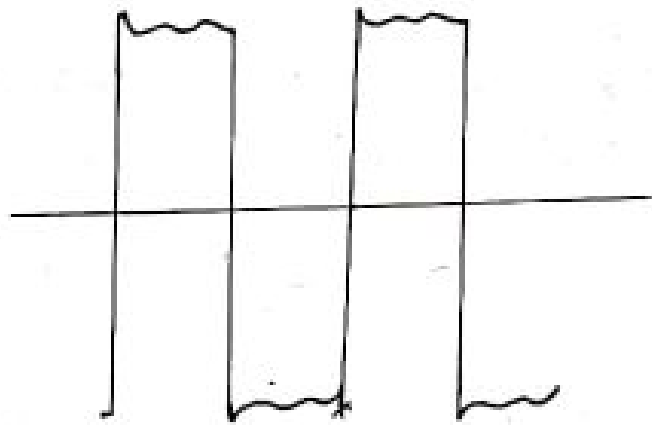
表1

· 按图3连接电路, 将Fluke 190-104测试仪A通道打开, 测采样电阻 $R=50\Omega$ 两端电压值, 方法同上, 将合成波如表2

	合成波输出
峰-峰值 V_{PP}/V	5.04
频率 f/Hz	801.2

(续表)

波形

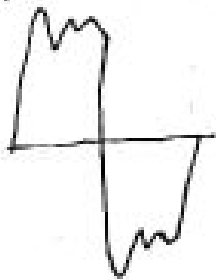


思考题验证现象分析:

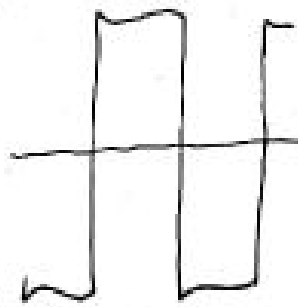
1. 谐波信号在上两端提取将出现非正弦信号, 在C两端则出现失真程度中等的极值点变化频率的正弦信号, 只有在R两端才出现失真度最小且无衰减, 相位偏移的正弦信号。
2. $R=500\Omega$ 采样电阻下合成的波形失真度最小, 频率与原始方波信号相同, 无衰减的近似方波, 增大或减小R的值, 结果采样电阻

如下:

$R=100\Omega$ 失真程度最大; $R=1000\Omega$ 失真程度减小

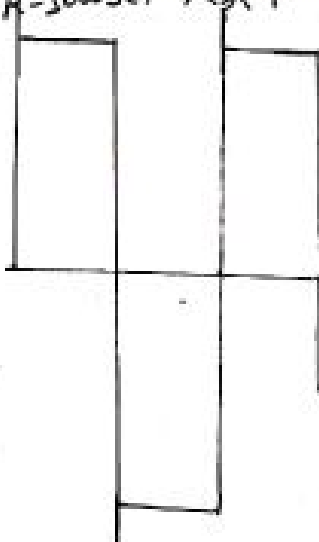


$V_{pp} = 4.9V$
 $f = 800.1Hz$



$V_{pp} = 4.9V$
 $f = 800.1Hz$

$R=500\Omega$ 失真程度进一步减小, 基本不失真; 原始信号



$V_{pp} = 4.88V$
 $f = 801.2Hz$

$V_{pp} = 4.7V$
 $f = 801.2Hz$

理论与仿真结果一致。

八. 实验结论

1. 方波信号可以分解并提取出基波和奇次谐波：原始非正弦
2. 由线性电路的叠加定理，基波和各次谐波能合成出方波；
3. 增大采样电阻将有助于减小合成波的失真度，但同时将延长达到稳态过程。

收获：

① 加深了周期^非正弦信号的各次谐波的分解合成原理的理解及其方法。

② 探索了运算放大器模块以及稳压源的使用方法。对方案2进行了连接与调试排错，提高了电路实验操作素养与水平。

建议：增置电容箱、电阻箱模块，增加短导线数量，对带管脚的电容电阻进行筛查，排除误差较大的元件。

（后附采样电阻阻值大小对^{合成}波形失真度的影响仿真结果图）

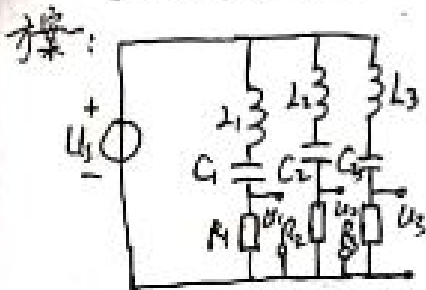
电路综合实验（一）原始数据记录

方波信号分解电路

方波电源: $A=U=5V$

$$T = 1.25ms \quad f = 800Hz$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 1.6\pi \times 10^3 \quad 800 \sim 4kHz$$



分解: $L_1 = L_2 = L_3 = 10mH, R_1 = R_2 = R_3 = 10\Omega$

谐振: $C_1 = \frac{1}{\omega^2 L} = 3.958\mu F$

$C_3 = \frac{1}{9\omega^2 L} = 0.440\mu F$

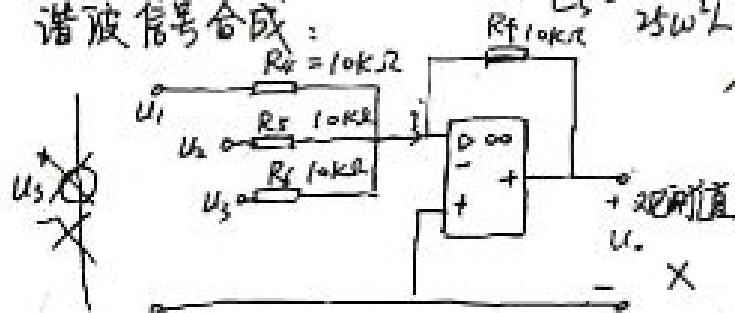
$C_5 = \frac{1}{25\omega^2 L} = 2.158\mu F$

谐波: A, T, ω, φ
基波: 3.1924

3 0.792

5 0.189

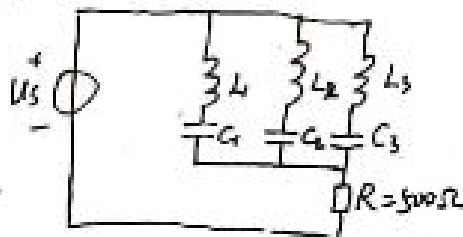
谐波信号合成:



合成波

A T W

合成电路:



$A=2.5V$

$T=1.25ms$

5/2.70

电工电子实验教学中心实验报告

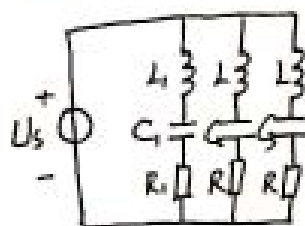
电路综合实验(二) 原始数据记录

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\omega^2 = \frac{1}{LC}$$

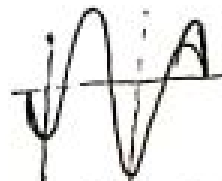
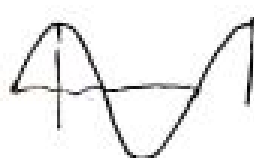
方波信号分解:

电路图



	基波	三次谐波	五次谐波
峰峰值 V_{PP}/V	2.96V	976mV	616mV
频率/Hz	801.2Hz	2.450KHz	4.032KHz

谐波波形



$C/\mu F$

$C_1 = 3.96 \mu F$

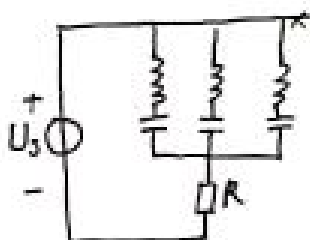
$0.44 \mu F$

$0.16 \mu F$

方波信号合成

$R = 500 \Omega$ 时

合成波形



V_{PP}

5.0 V

频率

800.0 Hz

波形



(CURSOR)

5.04 V

801.2 Hz

信号源

$V_{PP} = 4.7 V$

$f = 801.2 Hz$

$R = 100 \Omega$ 时

$V_{PP} = 4.9 V$

$f = 800.1 Hz$

$R = 1000 \Omega$

$V_{PP} = 4.9 V$

$f = 800.1 Hz$

$R = 5000 \Omega$

$V_{PP} = 4.88 V$

$f = 801.2 Hz$



失真程度大



失真程度小



图2. 提取电阻

$R = 10 \Omega$ 时三次谐波

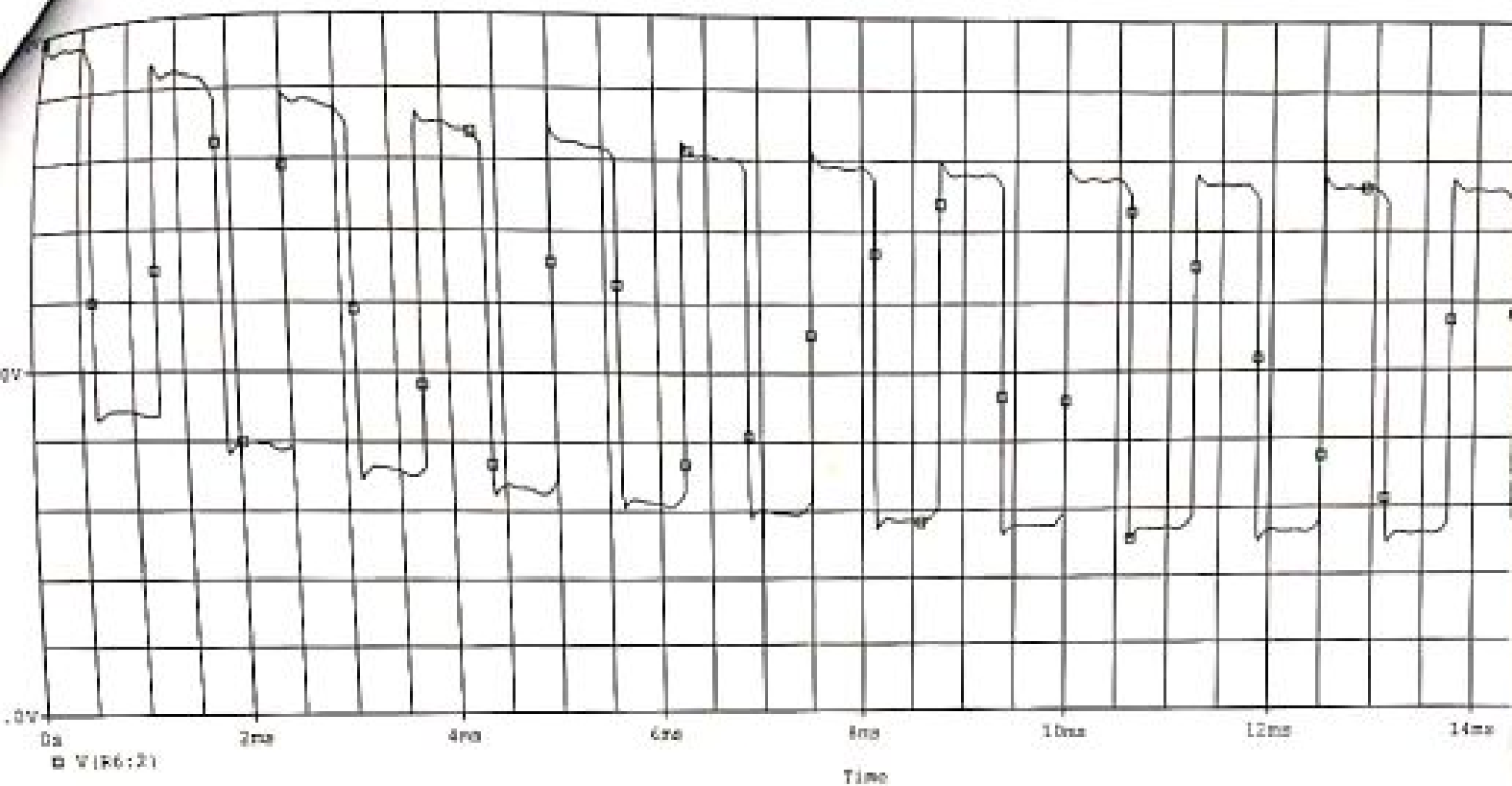
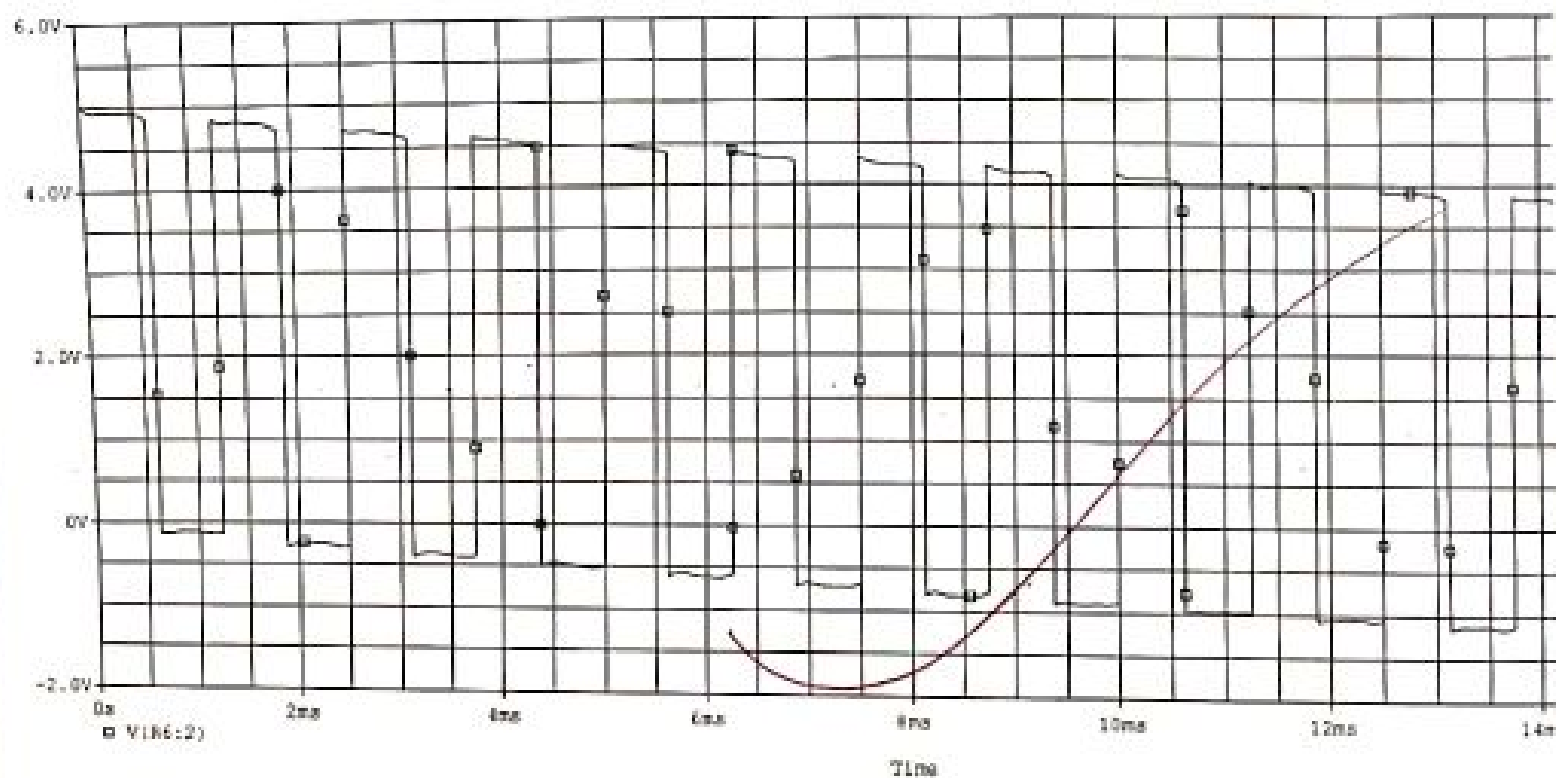
$R = 20 \Omega$ 时谐波失真非正弦 800 Hz, $V_{PP} \uparrow$.

图1: 在L上提取非正弦 加剧.

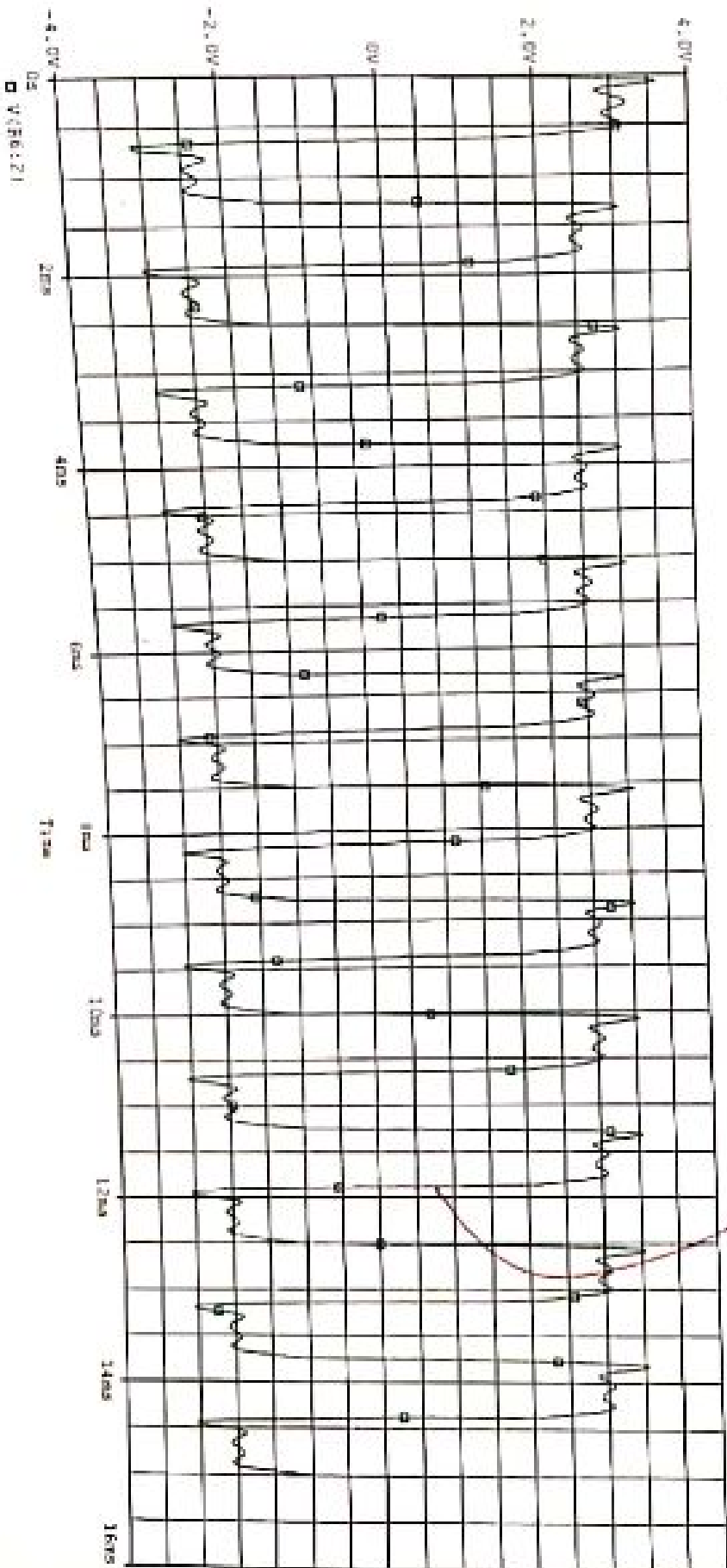
C上提取 相位点变动频率.

教师签字:

刘家福

$R=1000$  $R=5000$  $R=100$

采样电阻 $R=100\Omega$ 时, 合成波形输出结果





HIT阅读与思考

扫一扫二维码，加入群聊。