

第 3 章

综合与设计性实验

3.1 FM 调频器

1. 实验前预习要求

- (1) 复习变容二极管的非线性特性和调频振荡器调制特性。
- (2) 查阅角度调制的原理和变容二极管调频电路的有关资料。

2. 实验目的

- (1) 了解变容二极管调频器电路的原理及构成。
- (2) 了解调频器的调制特性及测量方法。
- (3) 观察寄生调幅现象,了解其产生的原因及消除方法。

3. 实验仪器及设备

- (1) XSGZ 高频实验装置。
- (2) 直流稳压电源。
- (3) 高频信号发生器。
- (4) 多功能计数器。
- (5) 数字化扫频仪。
- (6) 双踪示波器。
- (7) 数字万用表。
- (8) 毫秒表。
- (9) 连接导线若干。

4. 实验电路原理及说明

实验电路如图 3-1 所示。图中变容二极管 D_0 和 C_4 构成振荡回路电容的一部分,直流偏置电压通过电位器 R_{P1} 和电阻 R_3 及电感 L_1 加至变容二极管 D_0 的负端。 C_2 为变容二极管的交流通路, R_4 为变容二极管的直流通路,电感 L_1 和电阻 R_2 组成隔离支路,防止载波信号通过电源和低频回路短路。低频信号从 IN 端输入,通过变容二极管 D_0 实现直接调频。 C_1 为耦合电容,晶体三极管 T_2 对调制波进行放大,通过 R_{P3} 控制调制波的幅度。晶体三极管 T_3 为射极跟随器,以减小负载对调频电路的影响。F 为输出端,在此输出 10MHz 调制波信号。通过隔离电容 C_{12} 接数字频率计,目的是减小对输出波形的影响。将示波器接在 F

端观测输出波形。

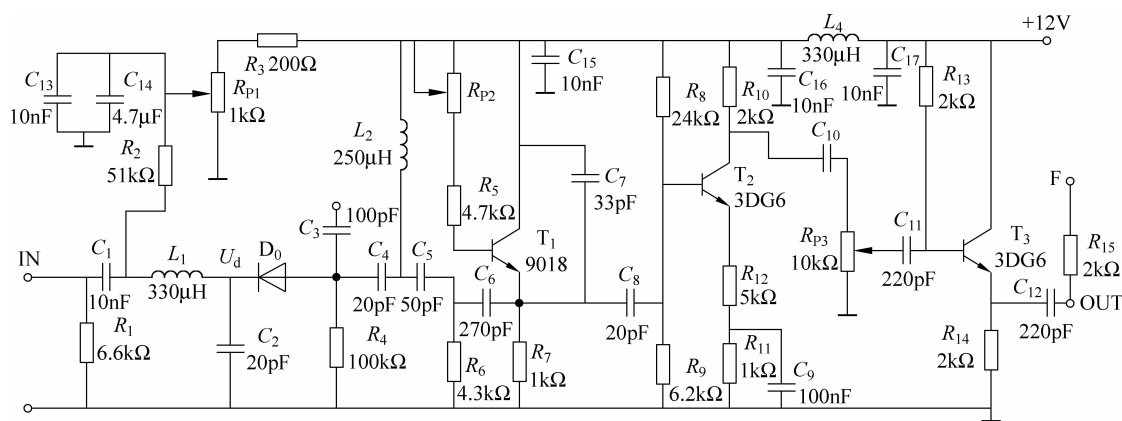


图 3-1 FM 调频器

5. 实验内容与步骤

(1) 静态调制特性测试

① 当输入 IN 端不接音频信号时,将数字频率计接到调频器输出 F 端。当接入电容 $C_3=100\text{pF}$ 时,调整电位器 R_{P1} ,改变变容二极管的直流偏置电压,使反偏电压 $U_d=4\text{V}$,频率 $f_0=6.5\text{MHz}$;然后重新调节电位器 R_{P2} ,使反向偏置电压 U_d 在 $0\sim 8\text{V}$ 范围内变化,测试此时对应的频率数据,将结果填入表 3-1。

② 当输入 IN 端不接音频信号时,将频率计接到调频器输出 F 端。不接电容 C_3 的情况下,调整电位器 R_{P1} ,改变变容二极管直流偏置电压,使反向电压 $U_d=4\text{V}$,频率 $f_0=6.5\text{MHz}$,然后重新调节电位器 R_{P2} ,使二极管反向偏置电压 U_d 在 $0\sim 8\text{V}$ 范围内变化,测试此时对应的频率数据,将结果填入表 3-1。

表 3-1

U_d/V		0		2		4		6	7	8
f_0/MHz	接入 C_3									
	不接 C_3									

(2) 动态测试

① 测试时需要利用 3.2 节中介绍的 FM 解调器(相位鉴频器)来辅助。

实验条件: 将实验装置的相位鉴频器电路按要求接好,即电路中的 E、F、G 三个连接点分别与 C_5 、 C_8 、 C_9 连接,其目的是确保鉴频器工作在正常状态下(即是中心频率为 6.5MHz 、上下频偏及幅度对称的 S 形曲线)。

② 当不接电容 C_3 时,调节电位器 R_{P1} ,使反向偏置电压 $U_d=4\text{V}$, $f_0=6.5\text{MHz}$,在 IN 端口输入频率 $f=2\text{kHz}$ 的音频信号,将输出端接至相位鉴频器。在相位鉴频器输出端观察 V_o 。调频波上、下频偏的关系。将测得的对应的频率数据填入表 3-2。

表 3-2

V_o/V			0		0.2		0.4		0.6		0.8		1
接入 C_3	$\Delta f/\text{MHz}$	上											
		下											
不接 C_3	$\Delta f/\text{MHz}$	上											
		下											

③ 当接入 C_3 电容时,调解电位器 R_{P1} ,使二极管的反向偏置电压 $U_d=4\text{V}$,频率 $f_0=6.5\text{MHz}$,自 IN 端口输入频率 $f=2\text{kHz}$ 的音频信号,将输出端接至相位鉴频器。在相位鉴频器输出端观察 V_o 。调频波上、下频偏的关系。记录对应的频率数据,将结果填入表 3-2。

注: F 为输出端,其电压用 V_o 表示。

6. 实验注意事项

- (1) 实验前按预习要求写好预习报告。
- (2) 先断电换接元器件,接好电路,检查线路无误后再通电实验。

7. 实验思考题及报告要求

- (1) 整理实验数据。
- (2) 在同一坐标纸上画出静态调制特性曲线,并求出其调制灵敏度 S 。说明曲线斜率受哪些因素的影响并分析原因。
- (3) 画出动态调制特性曲线,说明输出波形畸变的原因。

3.2 FM 解调器

1. 实验前预习要求

- (1) 复习有关相位鉴频器的工作原理。
- (2) 复习典型电路和实用电路工作原理。
- (3) 分析初级回路、次级回路和耦合回路的有关参数对鉴频器工作特性 S 曲线的影响。

2. 实验目的

- (1) 熟悉相位鉴频电路的基本工作原理。
- (2) 掌握鉴频特性 S 曲线的正确调整方法。
- (3) 将 FM 调频器与相位鉴频器实验电路进行联机实验。
- (4) 通过联机实验进一步了解调频器和解调全过程,以及整机调试方法。

3. 实验仪器及设备

- (1) XSGZ 高频实验装置。
- (2) 直流稳压电源。
- (3) 高频信号发生器。

- (4) 多功能计数器。
- (5) 数字化扫频仪。
- (6) 双踪示波器。
- (7) 数字万用表。
- (8) 毫秒表。
- (9) 连接导线若干。

4. 实验电路原理及说明

实验电路如图 3-2 所示。FM 解调器(鉴别器)即相位鉴频器是模拟调频信号解调的一种最基本的解调电路,它具有鉴频灵敏度高、解调线性好等优点。IN 为相位鉴频器调制波的输入端, C_1 提供合适的容性负载。晶体三极管 T_1 和晶体三极管 T_2 接成共集-共基电路,以提高输入阻抗和展宽频带。电阻 R_2 、 R_3 提供公用偏置电压,电容 C_2 用以改善输出波形。晶体三极管 T_2 后面是电容耦合的双调谐回路相位鉴频器的电路部分,它由 LC 电路和相位检波器两部分组成。二极管 D_1 、 D_2 和电阻 R_{10} 、 R_{11} 分别构成两个对称的包络检波器。鉴频器输出端 OUT 的电压由 C_{12} 两端取出, C_{12} 对高频短路而对低频开路,因而鉴频器的输出端 OUT 的电压等于两个检波器负载电阻上电压的变化之差。电阻 R_7 对输入信号频率呈现高阻抗,为二极管提供直流通路。

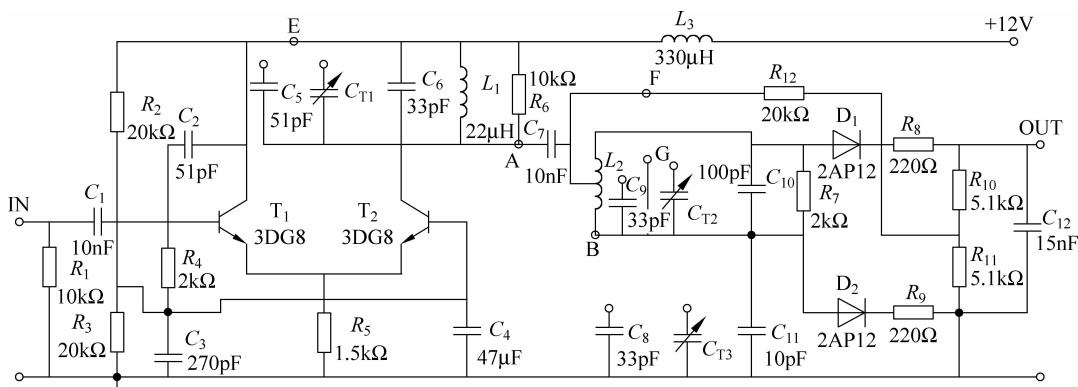


图 3-2 FM 解调器验电路

5. 实验内容与步骤

- (1) 用扫频信号及示波器调整鉴频器的鉴频特性

将实验电路中的 E、F、G 三个连接点分别与半可变电容器 C_{T1} 、 C_{T2} 、 C_{T3} 连接。将扫频信号接入实验电路输入端 IN,其输出信号不宜过大。调节实验装置的 F_1 、 F_2 按键,使中心频率为 6.5MHz。

- (2) 调整调频放大器电路的回路频率

① 将扫频输入检波头插入测试孔 A。示波器接相应的 X、Y、Z,并处于 X、Y 工作状态,将耦合电容 C_{T3} 调到最小,此时显示屏将显示一个谐振曲线图形。调节 C_{T1} 使谐振曲线的谐振频率为 6.5MHz,此时中心点在曲线顶峰上,再加上耦合电容 C_{T3} 的容量。输入检波头插

入测试孔 B,此时显示屏幕出现凹坑的耦合谐振曲线图形。调节 C_{T1} 、 C_{T2} 、 C_{T3} ,使曲线中心点两边的频带对称。

② 调整鉴频特性 S 形曲线。将示波器 Y(Y_B)输入端用 1:1 探极接至鉴频器输出端 OUT,即可看到 S 形曲线。如曲线不理想,可适当调节 C_{T1} 上、下对称;调节 C_{T2} ,使频率 $f_0=6.5\text{MHz}$;调节 C_{T3} ,使中心频率 f_0 点附近线性度。调好后记录上、下两个峰点频率和两个峰点的高度格数,即 $f_{\max}$ 、 $f_{\min}$ 和 V_m 、 V_n 。

注:参见实验思考题(2)中的鉴频特性曲线。

(3) 用高频信号发生器逐点测出鉴频特性

将输入信号改为高频信号,输入电压为 50mV。用数字电压表的直流挡测量鉴频器的输出电压,在 5.5~7.5MHz 范围内,在每格 0.2MHz 条件下测得相应的输出电压。将测量结果填入表 3-3,找出 S 形曲线正、负两点的频率 $f_{\max}$ 、 $f_{\min}$ 和 V_m 、 V_n 。

表 3-3

f/MHz	5.5	5.7	5.9	6.1	6.3	6.5	6.7	6.9	7.1	7.3	7.5
V_o/mV											

(4) 观察回路 C_{T1} 、 C_{T2} 、 C_{T3} 对 S 形曲线的影响

① 调整电容 C_{T2} ,观察对鉴频特性的影响。

记录 $C_{T2} > C_{T2-0}$ 或 $C_{T2} < C_{T2-0}$ 的变化并与 $C_{T2} = C_{T2-0}$ 的曲线相比较,再将 C_{T2} 调至 C_{T2-0} 的正常位置。

注: C_{T2-0} 表示回路谐振时的电容。

② 调节 C_{T1} ,重复①的实验。

③ 调节 C_{T3} 至较小的位置,微调 C_{T1} 、 C_{T2} ,得到 S 形曲线,记下曲线中点及上、下两峰的频率 f_0 、 $f_{\min}$ 、 $f_{\max}$ 和两点高度格数 V_m 、 V_n 的值。

④ 再调节 C_{T3} 到最大。重新调节 S 形曲线到最佳,再记录频率 f_0 、 $f_{\max}$ 、 $f_{\min}$ 和电压 V_m 、 V_n 的值。

定义:峰点带宽 $BW = f_{\max} - f_{\min}$

曲线斜率 $S = (V_m - V_n) / BW$

比较 C_{T3} 最大或最小时的 BW 和 S 并进行分析。

(5) 将调频电路与鉴频电路相连接后调试

将调频电路的中心频率调为 6.5MHz,将鉴频器中心频率也调谐在 6.5MHz。将调频输出信号送入 FM 解调器(鉴相器)输入端,将 $f=20\text{kHz}$ 、 $V_m=400\text{mV}$ 的音频调制信号加到调频电路输入端进行调频。用双踪示波器同时观测调制信号和解调信号,比较二者的异同,如输出波形不理想,可调节鉴频器 C_{T1} 、 C_{T2} 、 C_{T3} 。将音频信号加大到 $V_m=800\text{mV}$ 和 $V_m=1000\text{mV}$,观察波形变化并分析实验波形。

6. 实验注意事项

(1) 实验前写好预习报告。

(2) 先断电后接线,检查线路无误后再通电实验。

(3) 断电改变电路参数,接好电路并检查无误后再通电进行实验。

7. 实验思考题及报告要求

- (1) 整理实验数据,并画出实验波形。
- (2) 按表 3-3 所示实验数据画出鉴频特性 S 形曲线如图 3-3 所示。

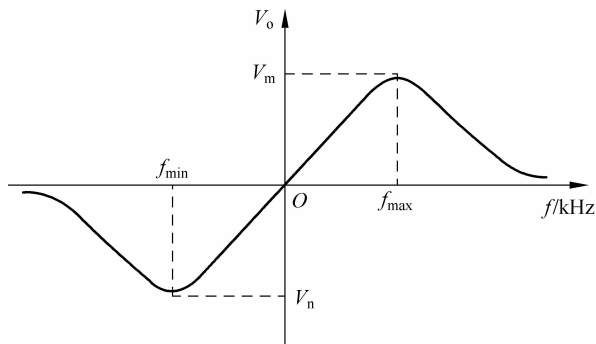


图 3-3 鉴频特性曲线

- (3) 分析回路参数对鉴频特性的影响。
- (4) 分析在调频电路和鉴频电路联机实验中遇到的问题及解决办法,画出调频输入和鉴频输出的波形,并分析其特点。

3.3 集成电路函数发生器构成频率调制器

1. 实验前预习要求

- (1) 查阅有关集成电路压控振荡器的资料。
- (2) 了解 566(VCO 的单片集成电路)的内部电路及原理。
- (3) 查阅 566 元器件各管脚的功能。

2. 实验目的

- (1) 写出图 3-6 集成电路函数发生器(压控振荡器)和用它构成频率调制的原理。
- (2) 掌握集成电路频率调制器的工作原理。
- (3) 熟悉 566 外接元件的作用。

3. 实验仪器及设备

- (1) XSGZ 高频实验装置。
- (2) 直流稳压电源。
- (3) 高频信号发生器。
- (4) 多功能计数器。
- (5) 电容表。
- (6) 双踪示波器。

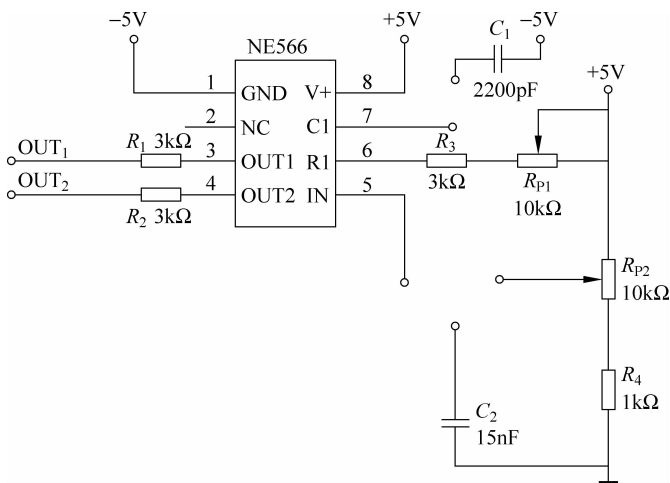


图 3-6 566(VCO)集成电路构成的频率调制器实验电路

566 输出的方波及三角波的载波频率(或称中心频率)可用外加电阻 R 和外加电容 C 来确定,即

$$f = \frac{2(V_8 - V_5)}{RCV_8} \quad (\text{Hz})$$

式中, R 为时基电阻; C 为时基电容; V_8 是 566 管脚 8 至地的电压; V_5 是 566 管脚 5 至地的电压。电位器 R_{P1} 和 R_{P2} 均为 $10\text{k}\Omega$ 。

5. 实验内容与步骤

(1) 接通电源 $\pm 5\text{V}$, 观察电阻 R 和电容 C_1 对频率的影响(其中 $R = R_3 + R_{P1}$)。按图 3-6 连线,将 C_1 接入 566 管脚 7,将电位器 R_{P2} 及 C_2 接至 566 的 5 脚。调节电位器 R_{P2} ,使 $V_5 = 3.5\text{V}$ 。将频率计接至 566 管脚 3,改变 R_{P1} ,观察方波输出信号频率,记录当电阻 R 为最大值和最小值时的输出频率,电阻 R 分别为 $R_{\max}$ 和 $R_{\min}$,接入 $C_1 = 2200\text{pF}$ 时,计算这两种情况下的频率。并与实际测量值进行比较。用双踪示波器观察并记录 $R = R_{\min}$ 时方波及三角波的输出波形。

(2) 观察输入电压对输出频率的影响。

① 直流电压控制

先调节 R_{P2} 至最大。然后改变 R_{P2} ,调整输入电压,测量 V_5 在 $2.2 \sim 4.2\text{V}$ 变化时,输出频率 f 的变化, V_5 以 0.2V 递增。将测量结果填入表 3-4。

表 3-4

V_5/V	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2
f/MHz											

② 交流电压控制

仍将 R 设置为最大,断开 5 脚所接 C_2 的电位器 R_{P2} 。将图 3-7(输入信号电路)中的输出端 OUT 接至图 3-6 中 566 的 5 脚。

调制信号为正弦波,将 V_i (输入的调制信号) 置为 $f=5\text{kHz}$, $V_{\text{P-P}}=1\text{V}$, 然后接至图 3-7 所示电路的 IN 端,用双踪示波器同时观察输入信号 V_i 和 566 管脚 3 的调频 FM 方波输出信号,观察并记录当输入信号幅度和频率有微小变化时,输出波形的变化。微调调制信号的频率,达到理想的观察效果。

注意: 为了更好地用示波器观察频率随电压变化的情况,输入信号 V_i 的幅度不要大于 1.3V 。

调制信号改用方波信号 V_i ,使其频率为 1kHz ,幅度为 1V ,用双踪示波器观察并记录 V_i 和 566 管脚 3 的调频 FM 方波输出信号。

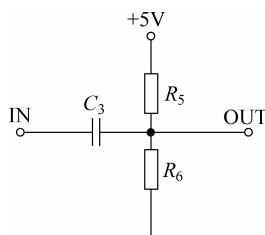


图 3-7 输入信号电路

6. 实验注意事项

- (1) 实验前写好预习报告。
- (2) 先断电后接线,检查线路无误后再通电实验。

7. 实验思考题及报告要求

- (1) 整理实验结果。
- (2) 画出实验波形。
- (3) 说明调频的概念。
- (4) 阐述 566(VCO 的单片集成电路)的调频原理。
- (5) 根据实验说明接在 566 管脚 6 上 R 的作用。计算当电阻 R 最大、最小时 566 的频率,并与实验结果进行比较。

3.4 集成电路构成的频率解调器

1. 实验前预习要求

- (1) 查阅有关锁相环内部结构及工作原理的资料。
- (2) 复习锁相环集成电路与外部元器件管脚的知识。
- (3) 查阅 565 元器件各管脚的功能。

2. 实验目的

- (1) 熟悉用锁相环构成调频波的解调原理。
- (2) 掌握集成电路频率调制器/解调器系统的工作原理。
- (3) 熟悉锁相环集成电路与外部元器件之间的关系。

3. 实验仪器及设备

- (1) XSGZ 高频实验装置。
- (2) 直流稳压电源。
- (3) 高频信号发生器。
- (4) 多功能计数器。

- (5) 双踪示波器。
- (6) 数字万用表。
- (7) 连接导线若干。

4. 实验电路原理及说明

565(PLL)内部结构原理电路如图 3-8 所示。565 的管脚图及功能如附录 B 中附图 B-5 所示。锁相环内部电路由相位鉴别器、压控振荡器和放大器三部分构成。相位鉴别器由模拟乘法器构成,它有两组输入信号,一组为外部管脚②、③,输入信号 V_1 ,其频率为 f_1 ;另一组为内部压控振荡器,产生信号 V_2 ,经④脚输出,接至⑤脚送到相位鉴别器,其频率为 f_2 。当 f_1 和 f_2 差别很小时,可用频率差代表两个信号之间的相位差,即 $f_1 - f_2$ 的值使相位鉴别器输出一个直流电压,该电压经⑦脚送至 VCO 的输入端,控制 VCO,使其输出信号频率 f_2 发生变化。这一过程不断进行,直至 $f_2 = f_1$ 时为止,这时称为锁相环锁定。集成电路(锁相环)构成的频率解调器其实验电路如图 3-9 所示。

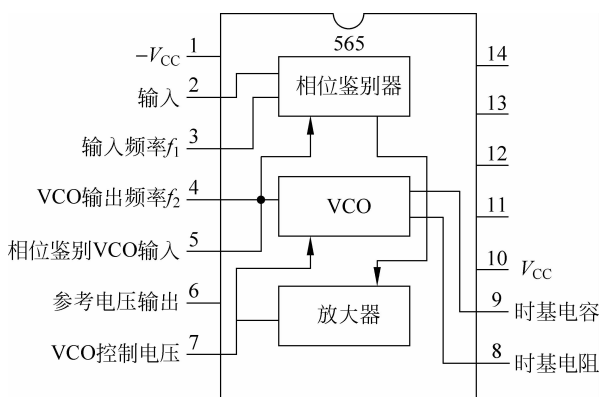


图 3-8 565(PLL)内部结构原理电路

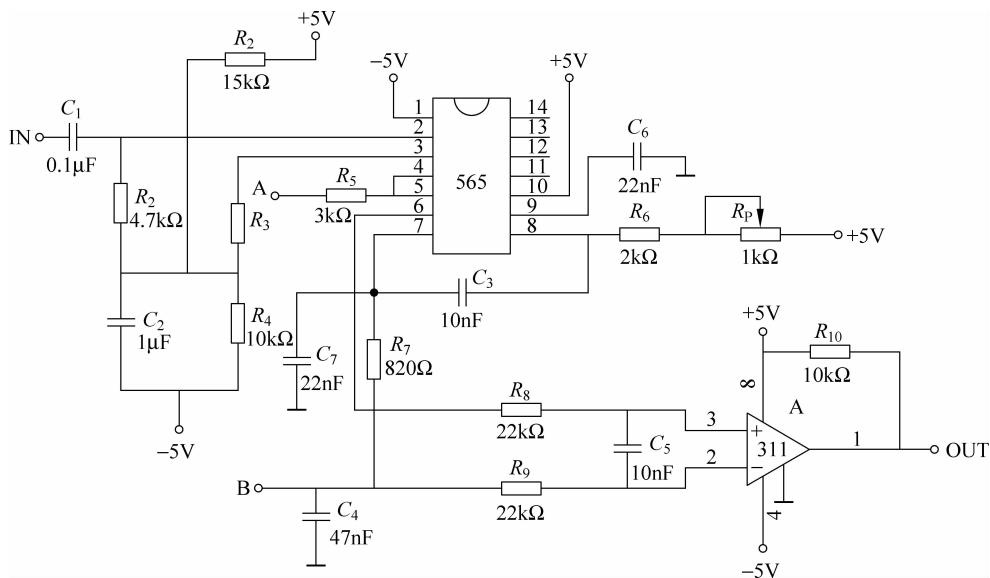


图 3-9 565(PLL)集成电路(锁相环)构成的频率解调器实验电路