

feixianxing dianzixianlu
shiyān zhīdǎo shū

非线性 电子线路 实验指导书

陆宗逸 编



北京理工大学出版社

内 容 简 介

本书是为非线性电子线路实验课编写的指导书。全书共编排了 11 个实验：正弦波振荡器、高频谐振功率放大器、调幅与检波、调频与鉴频、集成混频、乘积鉴相，锁相环及其应用等。书中还介绍了实验中常用电子仪器的工作原理、性能特点和使用方法，并简单介绍了测量误差及实验数据处理的基本知识，书末附有常用电子元器件的型号和性能参数等。

本书编排的实验分验证性和设计性两大类，并广泛地采用了模拟集成电路，对传统的非线性电子线路实验有较大的充实和更新，具有较强的适用性。

本书可供高等院校无线电技术类和电子技术类专业作为实验课教材（36 学时），也可供相近专业师生和工程技术人员参考。

非线性电子线路实验指导书

陆宗逸 编

*

北京理工大学出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

通县建新印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 32 开本 5.375 印张 119 千字

1989 年 6 月第一版 1989 年 6 月第一次印刷

ISBN7-81013-173-7/TN·14

印数：1—3000 册 定价：1.10 元

前 言

实验教学在高等工科院校的教学过程中、与理论教学具有同等重要的地位。在现阶段,为了培养符合社会主义经济建设所需要的人材,实验教学正受到广大师生愈来愈多的重视。《非线性电子线路》是一门工程应用性很强的技术基础课,更加需要加强实验教学。其目的除了进一步巩固和加深理论知识的学习外,还应有助于培养学生对单元电路进行初步估算和设计的能力、学会基本的实验技能、以及提高运用理论知识解决实际问题的能力。

本书根据《非线性电子线路》中最基本的内容和常用的电路,编排了11个实验。这些实验可分为两类:一类是小型单元电路的验证性实验,有 LC 振荡器,调幅与检波,变容二极管调频,相位鉴频,乘积混频及锁相环的特性等6个实验。每个实验课内为3学时左右,这类实验的目的是巩固所学理论,了解实验的步骤,熟悉仪器仪表的使用,培养正确记录和分析实验数据,分析和综合实验结果以及提高撰写合格实验报告的能力。这部分实验可定为必修的内容,也可根据实际条件酌情增减;另一类是部分典型电路的设计性实验,有文氏电桥振荡器,高频谐振功放,同步检波,乘积鉴相,集成锁相环的应用(包括锁相倍频与载波提取电路两项)等5个实验,每个实验课内为6学时左右。这类实验的目的着重于培养学生对电路进行工程估算及设计的能力以及学生对实际电路进行安装、焊接、调试的能力。这类实验可供有条件的学生选修。

本书是我校《非线性电子线路》课程小组多年实验教学

的总结，是在原有的非线性电子线路实验的基础上重新扩充编写而成的。它凝结了编者所在课程小组全体同志大量的辛勤劳动。在这次重编时，考虑到集成电路技术的飞速发展和日益广泛的应用，故在实验中较普遍地采用了集成电路，从而对传统的以分立元件为主的非线性电子线路实验作了较大的充实和更新，使之能满足当前电子技术发展的需要。

本书在编写过程中曾得到课程小组许多同志的关心和帮助。书稿又承蒙北方交通大学通信与控制工程系卢淦教授作了认真细致的审阅，提出了许多宝贵的意见。在此一并向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中难免存有不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

于北京理工大学电子工程系

一九八八年八月

目 录

第一章 实验指导书

实验一 电容反馈LC振荡器的实验研究.....	(1)
实验二 振幅调制与解调的实验研究.....	(6)
实验三 变容二极管频率调制器的实验研究.....	(15)
实验四 乘积型相位鉴频器的实验研究.....	(24)
实验五 集成混频器的实验研究.....	(29)
实验六 锁相环路的实验研究.....	(34)
实验七 文氏电桥振荡器的制作.....	(47)
实验八 高频谐振功率放大器的制作.....	(54)
实验九 集成乘积型同步检波器实验.....	(64)
实验十 集成乘积型鉴相器实验.....	(67)
实验十一 集成锁相环的应用.....	(72)

第二章 实验用仪器简介

一. XD-2型信号发生器.....	(82)
二. XFG-7型高频信号发生器.....	(85)
三. XFC-6型标准信号发生器.....	(89)
四. DYC-5型超高频电子管电压表.....	(94)
五. HFJ-8型超高频晶体管毫伏表.....	(97)
六. BT-3型频率特性测试仪.....	(100)
七. BE-1型调制度测量仪.....	(104)
八. GZ-2型中功率计.....	(108)
九. 8610A型计数式频率计.....	(110)
十. CS-1830型双踪示波器.....	(113)

第三章 测量误差简析及实验数据处理

一. 误差的各种表示方法.....	(122)
二. 测量误差的分类及产生原因.....	(124)

三. 实验数据的处理.....	(126)
附录一 实验中使用的元器件型号及其 主要性能参数.....	(131)
附录二 单片集成双平衡模拟乘法器简介.....	(146)
附录三 如何正确地撰写实验报告.....	(155)
参考资料.....	(164)

第一章 实验指导书

实验一 电容反馈 LC 振荡器的实验研究

一. 实验目的

1. 通过实验深入理解电容反馈 LC 振荡器的工作原理, 熟悉改进型电容反馈振荡电路的构成及电路各元件的作用。
2. 研究不同反馈系数 B , 不同静态工作点 I_{e0} 对振荡器起振、振荡幅度和振荡波形的影响。
3. 学习用示波器和数字式频率计测量高频振荡器振荡频率的方法。
4. 观察并研究电源电压、负载和温度变化对振荡幅度、频率及频稳度的影响。

二. 实验原理

电容反馈 LC 振荡器也叫考毕兹振荡器。其原理电路如图 1-1-1 所示。由图可知, 这是一种反馈型三点式振荡电路,

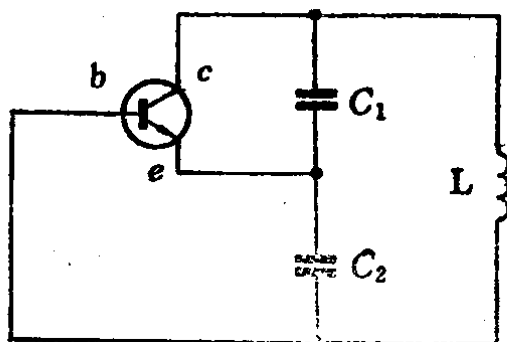


图 1-1-1 电容反馈三点式振荡器原理简图

反馈电压由 C_1 、 C_2 分压得到。根据三点式振荡器起振的相位条件: 与晶体管发射极相连的应为两个同性电抗, 而与集-基

极相连的应为异性电抗，图1-1-1所示电容反馈LC振荡器是能够产生振荡的，且振荡频率近似为

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (1-1-1)$$

由对图 1-1-1 所示电路的等效电路分析可知，电容反馈LC振荡器起振的幅度条件为：

$$K_{uo}B = \frac{y_{fb}}{g_o + B^2 g_{ib}} B > 1 \quad (1-1-2)$$

或
$$y_{fb} > B g_{ib} + \frac{1}{B} g_o \quad (1-1-3)$$

其中， y_{fb} 是共基接法晶体管的正向传输导纳； g_{ib} 为其输入电导； g_o 为振荡回路的等效谐振电导； B 为振荡器的反馈系数，应为

$$B = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad (1-1-4)$$

电路起振后，由于振荡电压幅度愈来愈大，晶体管放大器逐渐趋向大信号非线性工作状态，其放大倍数逐渐下降，当 K_u 下降到 $K_u B = 1$ 时，振荡幅度趋于稳定。由于LC回路的高Q性能可弥补振荡输出电压的非线性失真，致使振荡输出仍为一完好的正弦波。

当外界条件(例如温度等)发生变化时，振荡回路元件及晶体管极间参数要发生变化，从而使得振荡频率发生漂移。因此，为了改善普通电容反馈LC振荡器的频稳度，提出了改进型电容反馈LC振荡电路——西勒电路。这种电路是在振荡回路中引入了串、并联电容 C_3 和 C_4 且满足 $C_3 \ll C_1$ 和 C_2 ，

从而大大减小了管子极间参数对振荡频率的影响，提高了频率稳度(可达 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 量级)。此外，这种电路还具有频率调节方便，波段覆盖系数大，波段内工作输出电压平稳等优点。

三. 实验电路说明

本实验电路是一种改进型电容反馈 LC 高频振荡电路。当满足 $C_3 \ll C_1$, $C_3 \ll C_2$ 的条件并用 C_4 来改变电路的振荡频率时，不至显著影响电路的反馈系数。由于 C_3 的引入减弱了晶体管与振荡回路间的耦合，因此提高了振荡回路的标准性。实验电路如图1-1-2所示。由图可知， C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 和 L 组成了振荡回路； R_1 、 R_2 、 R_W 和 R_e 构成晶体管 BG_1 的偏置电路； R_c 是集电极直流负载电阻。改变电位器 R_W 可改变晶体管 BG_1 的工作点。晶体管 BG_2 与电阻 R_3 、 R_4 组成了一级射随器，以便在实验观察与测量中起隔离作用。电阻 R_7 的接入是为了用频率计测量时不影响电路正常工作。

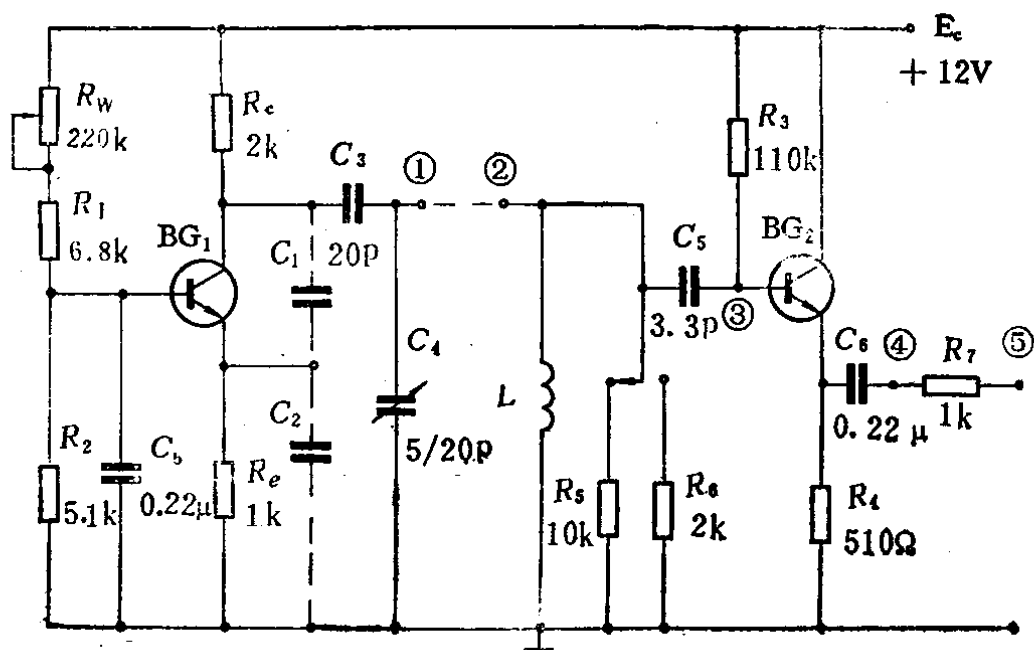


图1-1-2 改进型电容反馈 LC 振荡器实验电路

四. 实验仪器及设备

- | | |
|----------------------|-------------------|
| 1. 双踪示波器 (CS-1830型) | 1台 |
| 2. 数字式频率计 (8610A型) | 1台 |
| 3. 直流稳压电源 (WYJ-30F型) | 1台 |
| 4. 万用表 (MF-15型) | 1块 |
| 5. 实验电路板 | 1块 |
| 6. 工具及元件 | 烙铁1把, 改锥1把, 电容若干只 |

五. 预习要求

1. 复习三点式振荡器的工作原理。了解影响振荡器起振、波形和频率的各种因素。

2. 预习有关8610A型数字式频率计测量频率的工作原理及使用方法。了解CS-1830型双踪示波器的使用及测量信号频率和幅度的方法。

3. 画出实验电路的高频等效电路。当取 $C_1=180\text{pF}$, $C_2=330\text{pF}$, $L=10\mu\text{H}$ 时, 计算振荡频率 f_o 、反馈系数 B 和接入系数 P_{o0} 各等于多少?

4. 选定电容 C_1 、 C_2 , 并焊到实验电路板上, 然后、接通电源, 若发现振荡器并未起振, 请估计可能是哪些原因? 如何解决?

六. 实验内容

1. 晶体管偏置不同对振荡器输出振幅和波形的影响

(1) 选择一组合适的电容 C_1 和 C_2 接入电路, 接通电源 (+12V), 调节电位器 R_w 使振荡器振荡, 此时, 用示波器在“4”点可观察到不失真的正弦振荡波形 (负载电阻 R_L 或 R_o 可先不接入电路)。

(2)调节 R_W 使工作点电流 I_o 在 $0.5\sim 4\text{mA}$ 之间变化(至少取5个点),用示波器测量并记录下“4”点的振幅与波形变化情况。 I_o 可用万用表测量电阻 R_e 两端电压计算得到。

2. 反馈系数不同对振荡器输出振幅和波形的影响

先选定一合适的工作点电流,使振荡波形不失真。

(1)保持 C_2 不变,改变 C_1 (至少变3次数值),用示波器在“4”点测量并记录输出振幅和波形变化的情况。

(2)保持 C_1 不变,改变 C_2 (至少变3次数值),重复(1)的内容。

注意:在改变 C_1 或 C_2 时(即反馈系数变化时),应始终保持工作点电流不变。

3. 不同的反馈系数对振荡器起振情况的影响,保持 C_1 不变,选取四种不同的 C_2 值以得到不同的反馈系数,调节 R_W 使 I_o 由小变大,当振荡器刚能起振时,测量并记录此时静态工作点电流。试比较反馈系数不同时,能使电路起振所需的 I_o 有何变化。

4. 测量振荡频率

(1)选择合适的一组 C_1 和 C_2 以及 I_o ,使振荡器正常工作,利用示波器的扫描时间刻度,在“3”点和“5”点分别估测振荡器的振荡频率。

(2)再用数字式频率计分别在“3”点和“5”点测量振荡频率(以兆赫为单位,测到小数点后面第五位有效数字)。试比较其不同。

5. 以步骤4所测得的频率为基准,观察外界因素变化对振荡频率的影响

(1)将不同的负载电阻(R_L 和 R_o)分别接入电路,用示波器在“4”点观察并记录输出振幅和波形的变化。同时,用

频率计测量频率的变化情况。计算频率变化的相对值 $\Delta f_o/f_o$ 。(即频稳度)。

(2)将负载断开,改变电源电压,使之分别为:6、8、10、12、14、16、18V,测量并记录振荡器输出振幅、波形和频率的变化。

(3)将电源电压 E_o 恢复到+12V,用烙铁靠近振荡管 BG_1 对其加温,分别测量加温前和加温一分钟后的频率,计算频率变化的相对值 $\Delta f_o/f_o$ 。

注意:加温时,烙铁不要太靠近管子,以免损坏晶体管。

七. 实验报告要求

1. 整理各项实验所得的数据和波形。绘制输出振幅随静态工作点电流变化的实验曲线。

2. 分析各项实验所得结果。

3. 回答下列问题:

(1)为什么反馈系数太大或太小都会影响振荡器的起振?

(2)在“5”点和“3”点用频率计(或示波器)所测得的频率不同是什么原因?哪一点测得的结果更准确?为什么?

(3)振荡器负载的变化为什么会引起输出振幅和频率的变化?

4. 其他心得体会。

实验二 振幅调制与解调的实验研究

一. 实验目的

1. 掌握用单片集成双平衡模拟乘法器构成振幅调制电

路的工作原理及特点。

2. 学习调制系数 m 及调制特性($m \sim U_{\Omega m}$ 关系曲线)的测量方法, 了解 $m < 1$ 、 $m = 1$ 和 $m > 1$ 时调幅波的波形特点。

3. 了解大信号峰值包络检波器的工作过程, 学习检波器电压传输系数的测量方法。

4. 研究检波负载电路参数 R_{LD} , C 和 R_{LA} 对检波性能的影响。观察和了解检波器产生负峰切割失真和惰性失真的波形特点和原因。

二. 实验原理

1. 调幅

根据调制原理, 调幅的实质是将调制信号频谱搬移到载频两侧, 它是一种频谱搬移过程。而从时域上考虑, 这相当于将调制信号与载波信号相乘。因而, 在低电平调制时, 可以用一个模拟乘法器将调制信号与载波信号相乘来实现调幅。

设调制信号为

$$u_{\Omega} = U_{\Omega m} \cos \Omega t$$

载波信号为

$$u_{\omega} = U_{\omega m} \cos \omega_c t$$

u_{Ω} 和 u_{ω} 同时加到乘法器上, 则乘法器的输出信号为

$$\begin{aligned} u &= K u_{\Omega} u_{\omega} = K U_{\Omega m} U_{\omega m} \cos \omega_c t \cos \Omega t \\ &= \frac{1}{2} K U_{\Omega m} U_{\omega m} \cos (\omega_c + \Omega) t \\ &\quad + \frac{1}{2} K U_{\Omega m} U_{\omega m} \cos (\omega_c - \Omega) t \end{aligned} \quad (1-2-1)$$

上式为一个抑制载波的双边带调幅信号。其中, K 为乘法器的乘积系数。

若先将 u_{Ω} 和一个直流电压相加, 然后再与 u_{ω} 一起作用到

乘法器上，则乘法器的输出将是一个普通调幅波。即

$$\begin{aligned}
 u &= K(u_D + 1)u_c = Ku_c + Ku_c u_D \\
 &= KU_{cm} \cos \omega_c t + \frac{1}{2} KU_{Dm} U_{cm} \cos(\omega_c + \Omega)t \\
 &\quad + \frac{1}{2} KU_{Dm} U_{cm} \cos(\omega_c - \Omega)t \quad (1-2-2)
 \end{aligned}$$

欲实现单边带调制，可用滤波法或移相法。两种方法的原理框图分别如图1-2-1(a)和(b)所示。

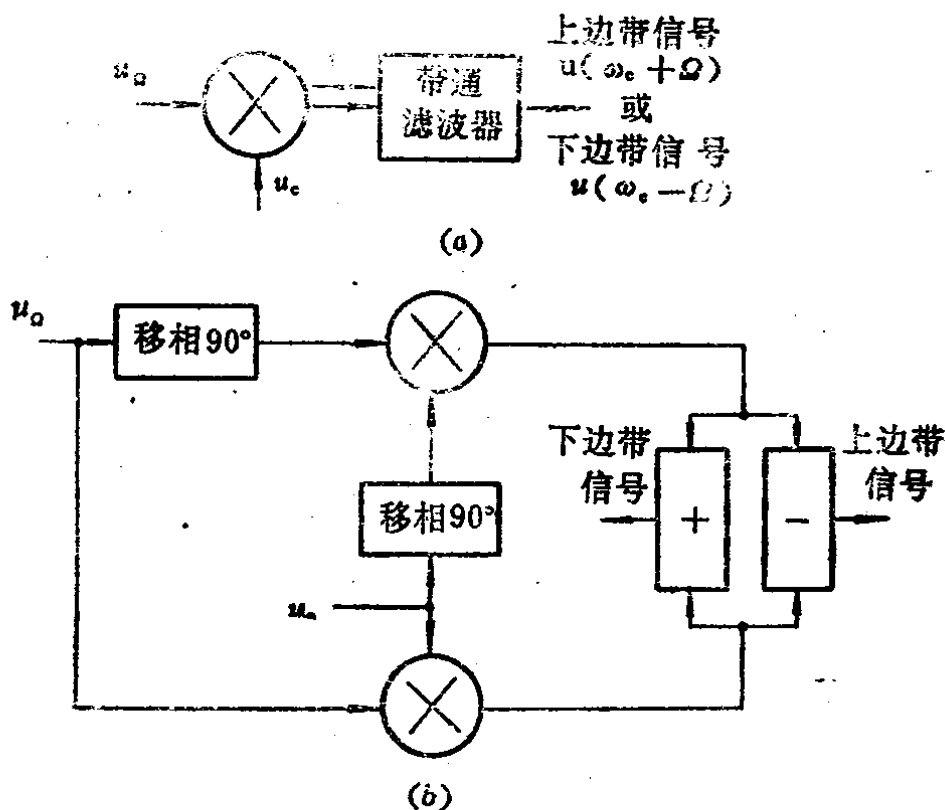


图1-2-1 (a)滤波法原理框图 (b)移相法原理框图

模拟乘法器可用双差分对电路构成。随着集成电路的发展，目前广泛采用单片集成双平衡模拟乘法器。例如，MC1596，MC1496或国产的F1596，BG314，XCC，FZ4等。

2. 检波

检波是调幅的逆过程。它完成对调幅波的解调。常用的方法有：二极管包络检波和同步检波二种。

当检波器输入信号幅度大于0.5V时，即为大信号峰值包络检波工作状态。其原理电路如图1-2-2所示。由图可知，

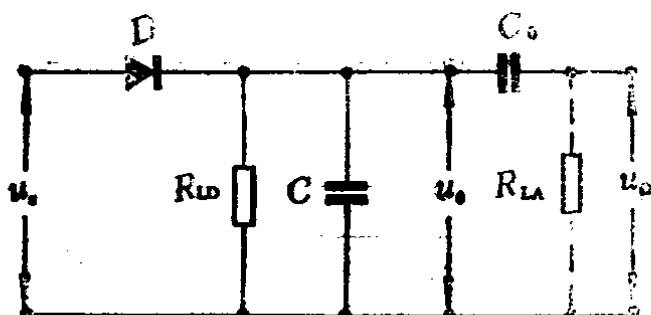


图1-2-2 二极管包络检波电路图

当二极管 D 导通时，输入高频信号 u_i 通过 D 向电容 C 充电，充电时间常数为 $R_D C$ (R_D 为二极管正向电阻)。每当 D 截止时， C 上充得的电荷通过 R_L 放电，放电时间常数为 $R_L C$ 。通常， $R_D \ll R_L$ ，所以对 C 而言，充电快，放电慢。因此，经过若干个高频周期后，检波器的输出电压 u_o 就在这样的充放电过程中建立起来。随着 u_o 的逐步上升， D 的导通时间逐渐缩短，最后 C 的充放电达到动态平衡， u_o 就按高频周期作锯齿状等幅波动，其平均值是稳定的且变化规律与输入调幅信号包络变化规律一样。从而实现了调幅波的解调。

二极管包络检波器的性能主要有：

(1) 电压传输系数 K_d

$$K_d = \frac{U_{D_{av}}}{mU_{i_{em}}} \quad (1-2-3)$$

其中， $U_{D_{av}}$ 为输出平均电压中低频分量幅度； m 为调制系数； $mU_{i_{em}}$ 为输入高频调幅信号包络变化的幅度。通常， $K_d \leq 1$ 。

(2) 输入电阻 R_i

$$R_i \approx \frac{1}{2} R_{LD} \quad (1-2-4)$$

(3) 非线性失真

惰性失真：这是因为检波器负载时间常数 $R_{LD}C$ 过大造成的。表现为检波输出电压跟不上输入调幅信号包络的变化。欲避免惰性失真应满足

$$R_{LD}C \leq \frac{\sqrt{1-m^2}}{m\Omega_{max}} \quad (1-2-5)$$

式中, Ω_{max} 为调制信号最高角频率。

负峰切割失真：这是因为检波器的交流负载电阻 R_o

$$\left(R_o = \frac{R_{LD}R_{LA}}{R_{LD}+R_{LA}} \right) \text{与直流负载电阻 } R_{LD} \text{ 相差太大造成的。}$$

表现为检波器输出交流电压的负峰被削平了。欲避免负峰切割失真，应满足

$$m_{max} \leq \frac{R_o}{R_{LD}} \quad (1-2-6)$$

三. 实验电路说明

振幅调制及解调实验电路如图1-2-3所示。图中MC1496P为一单片集成双平衡模拟乘法器（其内部电路结构、片脚图及工作原理等可参阅附录二）。图中虚线左边是振幅调制电路，可以实现普通调幅波或抑制载波的双边带调制。虚线右边是大信号峰值包络检波电路，用以对普通调幅波的解调。

图中片脚1和4所接 51Ω 的电阻，可以较好地抑制载波和改善温度性能，2个 $R_1=750\Omega$ 和 $50k\Omega$ 电位器（此时 $10k\Omega$ 电阻用短路线短路）用来对1、4脚输入馈通电压进行调零。

