

《高频电子线路》

实验指导书

桂玉屏

广东工业大学信息工程学院

二〇一五年十一月印刷

实验一 单调谐放大器

实验项目名称：单调谐放大器

实验项目性质：验证性实验

所属课程名称：高频电子线路

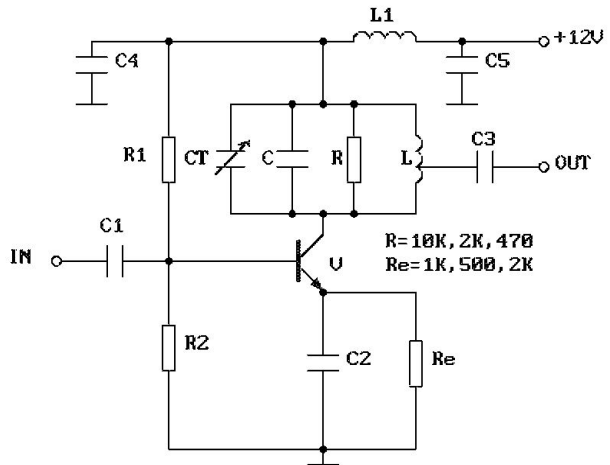
实验计划学时：2 学时

一、实验目的

1. 熟悉电子元器件和高频电路实验箱。
2. 熟悉谐振回路的幅频特性分析--通频带与选择性。
3. 熟悉信号源内阻及负载对谐振回路的影响，从而了解频带扩展。
4. 熟悉和了解放大器的动态范围及其测试方法。

二、实验仪器设备

1. 双踪示波器
2. 扫频仪
3. 高频信号发生器
4. 毫伏表
5. 万用表
6. 实验板 G1



三、实验内容及步骤

(一) 单调谐回路谐振放大器。 图 1-1 单调谐回路谐振放大器原理图

1. 实验电路见图 1-1

(1). 按图 1-1 所示连接电路(注意接线前先测量+12V 电源电压，无误后，关断电源再接线)。

(2). 接线后仔细检查，确认无误后接通电源。

2. 静态测量

实验电路中选 $R_e=1k$ ，测量各静态工作点，计算并填表 1.1

表 1.1

| 实 测 | | 实测计算 | | 根据 VCE 判断 V 是否工作在放大区 | | 原因 |
|-----|----|------|-----|----------------------|---|----|
| VB | VE | IC | VCE | 是 | 否 | |
| | | | | | | |

* VB, VE 是三极管的基极和发射极对地电压。

3. 动态研究

(1). 测放大器的动态范围 $V_i \sim V_0$ (在谐振点)

选 $R=10K$, $R_e=1K$ 。把高频信号发生器接到电路输入端, 电路输出端接毫伏表, 选择正常放大区的输入电压 V_i , 调节频率 f 使其为 $10.7MHz$, 调节 C_T 使回路谐振, 使输出电压幅度为最大。此时调节 V_i 由 0.03 伏变到 0.6 伏, 逐点记录 V_o 电压, 并填入 表 1.2。 V_i 的各点测量值可根据(各自)实测情况来确定。

表 1.2

| V_i (V) | | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 |
|-----------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| V_o (V) | $R_e=1k$ | | | | | | | | | | | |
| | $R_e=500\Omega$ | | | | | | | | | | | |
| | $R_e=2K$ | | | | | | | | | | | |

(2). 当 R_e 分别为 500Ω 、 $2K$ 时, 重复上述过程, 将结果填入表 1.2。在同一坐标纸上画出 I_c 不同时的动态范围曲线, 并进行比较和分析。

(3). 用扫频仪调回路谐振曲线。

仍选 $R=10K$, $R_e=1K$ 。将扫频仪射频输出送入电路输入端, 电路输出接至扫频仪检波器输入端。观察回路谐振曲线(扫频仪输出衰减档位应根据实际情况来选择适当位置), 调回路电容 C_T , 使 $f_0=10.7MHz$ 。

(4). 测量放大器的频率特性

当回路电阻 $R=10K$ 时, 选择正常放大区的输入电压 V_i ,

将高频信号发生器输出端接至电路输入端，调节频率 f 使其为 10.7MHz，调节 C_T 使回路谐振，使输出电压幅度为最大，此时的回路谐振频率 $f_0=10.7\text{MHz}$ 为中心频率，然后保持输入电压 V_i 不变，改变频率 f 由中心频率向两边逐点偏离，测得在不同频率 f 时对应的输出电压 V_o ，将测得的数据填入表 1.3。频率偏离范围可根据(各自)实测情况来确定。计算 $f_0=10.7\text{MHz}$ 时的电压放大倍数及回路的通频带和 Q 值。

表 1.3

| f (MHz) | | | | | | 10.7 | | | | | |
|---------|----------------|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|
| V0 | R=10K Ω | | | | | | | | | | |
| | R= 2K Ω | | | | | | | | | | |
| | R=470 Ω | | | | | | | | | | |

(5). 改变谐振回路电阻，即 R 分别为 $2\text{K}\Omega$ ， 470Ω 时，重复上述测试，并填入表 1.3，比较通频带情况。

四、实验报告要求

1. 写明实验目的。
2. 画出实验电路的直流和交流等效电路，计算直流工作点，与实验实测结果比较。
3. 写明实验所用仪器、设备及名称、型号。
4. 整理实验数据，并画出幅频特性。

当单调谐回路接不同回路电阻时的幅频特性和通频带，整理并分析原因。

5. 本放大器的动态范围是多少（放大倍数下降 1dB 的折弯点 V_0 定义为放大器动态范围），讨论 IC 对动态范围的影响。

五、预习要求、思考题

1. 复习谐振回路的工作原理。了解谐振放大器的电压放大倍数、动态范围、通频带及选择性相互之间关系。

2. 谐振放大器的工作频率与哪些参数有关?

3. 实验电路中, 若电感量 $L=1\ \mu\text{H}$, 回路总电容 $C=220\text{pf}$ (分布电容包括在内), 计算回路中心频率 f_0 。

实验二 LC 电容反馈式三点式振荡器

实验项目名称：LC 电容反馈式三点式振荡器

实验项目性质：验证性实验

所属课程名称：高频电子线路

实验计划学时：2 学时

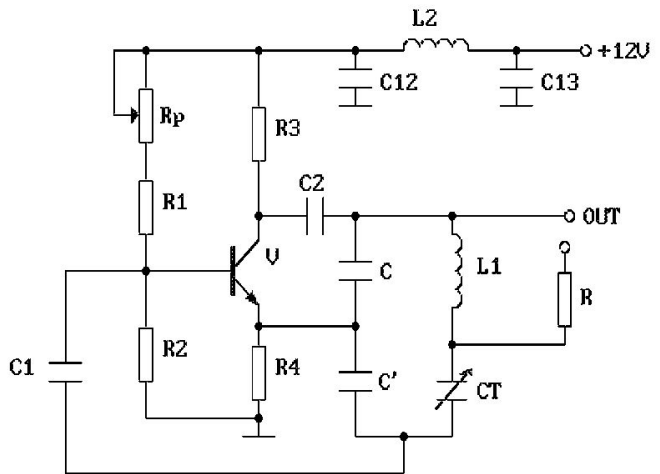
一、实验目的

1. 掌握 LC 三点式振荡电路的基本原理，掌握 LC 电容反馈式三点振荡电路设计及电参数计算。
2. 掌握振荡回路 Q 值对频率稳定度的影响。
3. 掌握振荡器反馈系数不同时，静态工作电流 I_{EO} 对振荡器起振及振幅的影响。

二、实验仪器设备

1. 双踪示波器
2. 频率计
3. 万用表
4. 实验板 G1

三、实验内容及步骤



实验电路见图 2-1。

图 2-1 LC 电容反馈式三点式振荡器原理图

实验前根据图 2-1 所示

原理图，在实验板上找到相应器件及插孔并了解其作用。

1. 检查静态工作点

(1). 在实验板 +12V 插孔上接入 +12V 直流电源，注意电源极性不能接反。

(2). 反馈电容 C 不接， C' 接入 ($C' = 680\text{pF}$)，用示波器观察振荡器停振时的情况。注意：连接 C' 的接线要尽量短。

(3). 改变电位器 R_p 测得晶体管 V 的发射极电压 V_E ， V_E 可

连续变化，记下 V_E 的最大值，计算 I_E 值：

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} \quad \text{设: } R_E = 1\text{K}\Omega$$

2. 振荡频率与振荡幅度的测试

实验条件： $I_E = 2\text{mA}$ 、 $C = 120\text{pf}$ 、 $C' = 680\text{pf}$ 、 $R_L = 110\text{K}$

(1). 改变 C_T 电容，当分别接为 $C_9 = 51\text{p}$ 、 $C_{10} = 100\text{p}$ 、 $C_{11} = 150\text{p}$ 时，纪录相应的频率值，并填入表 4. 1。

(2). 改变 C_T 电容，当分别接为 C_9 、 C_{10} 、 C_{11} 时，用示波器测量相应振荡电压的峰峰值 V_{p-p} ，并填入表 2. 1。

表 2. 1

| C_T | f (MHz) | V_{p-p} |
|-------|---------|-----------|
| 51pf | | |
| 100pf | | |
| 150pf | | |

3. 测试当 C 、 C' 不同时，起振点、振幅与工作电流 I_{EQ} 的关系 ($R = 110\text{K}\Omega$)

(1). 取 $C = C_3 = 100\text{pf}$ 、 $C' = C_4 = 1200\text{pf}$ ，调电位器 RP 使 I_{EQ} (静态值) 分别为表 4. 2 所标各值，用示波器测量输出振荡幅度 V_{p-p} (峰-峰值)，并填入表 2. 2。

表 2. 2

| | | | | | | | | | | |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| I_{EQ} (mA) | 0.8 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 |
| V_{p-p} (V) | | | | | | | | | | |

(2). 取 $C = C_5 = 120\text{pf}$ 、 $C' = C_6 = 680\text{pf}$ ； $C = C_7 = 680\text{pf}$ 、 $C' = C_8 = 120\text{pf}$ ，分别重复测试表 4. 2 的内容。

4. 频率稳定度的影响

(1). 回路 LC 参数固定时，改变并联在 L 上的电阻使等效 Q 值变化时，对振荡频率的影响。

实验条件： $f = 6.5\text{MHz}$ 时， $C/C' = 100/1200\text{pf}$ 、 $I_{EQ} = 3\text{mA}$ 改

变 L_1 的并联电阻 R ，使其分别为 $1K\Omega$ 、 $10K\Omega$ 、 $110K\Omega$ ，分别记录电路的振荡频率，并填入表 2.3。注意：频率计后几位跳动变化的情况。

(2). 回路 LC 参数及 Q 值不变，改变 I_{EO} 对频率的影响。

实验条件： $f=6.5MHz$ 、 $C/C' = 100/1200pf$ 、 $R=110K\Omega$ 、 $I_{EO}=3mA$ ，改变晶体管 I_{EO} 使其分别为表 2.2 所标各值，测出振荡频率，并填入表 2.4。

Q~f

表 2.3

| R | $1K\Omega$ | $10K\Omega$ | $110K\Omega$ |
|---------|------------|-------------|--------------|
| f (MHz) | | | |

$I_{EQ} \sim f$

表 2.4

| I_{EQ} (mA) | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------|---|---|---|---|
| f (MHz) | | | | |

四、实验报告要求

1. 写明实验目的。
2. 写明实验所用仪器设备。
3. 画出实验电路的直流与交流等效电路，整理实验数据，分析实验结果。
4. 以 I_{EO} 为横轴，输出电压峰峰值 V_{P-P} 为纵轴，将不同 C/C' 值下测得的三组数据，在同一座标纸上绘制成曲线。
5. 说明本振荡电路有什么特点。

五、预习要求、思考题

1. 复习 LC 振荡器的工作原理。
 2. 分析图 4-1 电路的工作原理，及各元件的作用，并计算晶体管静态工作电流 I_C 的最大值(设晶体管的 β 值为 50)。
- 实验电路中， $L_1=10\mu H$ ，若 $C=120pf$ ， $C'=680pf$ ，计算当 $C_T=50pf$ 和 $C_T=150pf$ 时振荡频率各为多少？

实验三 振幅调制与解调

实验项目名称：振幅调制与解调

实验项目性质：综合性实验

所属课程名称：高频电子线路

实验计划学时：4 学时

一、实验目的

1. 掌握用集成模拟乘法器实现全载波调幅、抑制载波双边带调幅的方法与过程，并研究已调波与二输入信号的关系。
2. 掌握测量调幅系数的方法。
3. 掌握调幅波的解调方法。
4. 掌握用集成电路实现同步检波的方法。
5. 了解二极管包络检波的主要指标，检波效率及波形失真。
6. 通过实验中波形的变换，学会分析实验现象。

二、实验仪器设备

1. 双踪示波器。
2. 高频信号发生器。
3. 万用表。
4. 实验板 G3

三、实验内容及步骤

(一) 振幅调制器(利用乘法器)

幅度调制就是载波的振幅受调制信号的控制作周期性的变化。变化的周期与调制信号周期相同。

即振幅变化与调制信号的振幅成正比。通常称高频信号为载波信号，低频信号为调制信号，调幅器即为产生调幅信号的装置。

本实验采用集成模拟乘法器 1496 来构成调幅器，图 3-1 为 1496 芯片内部电路图，它是一个四象限模拟乘法器的基本电

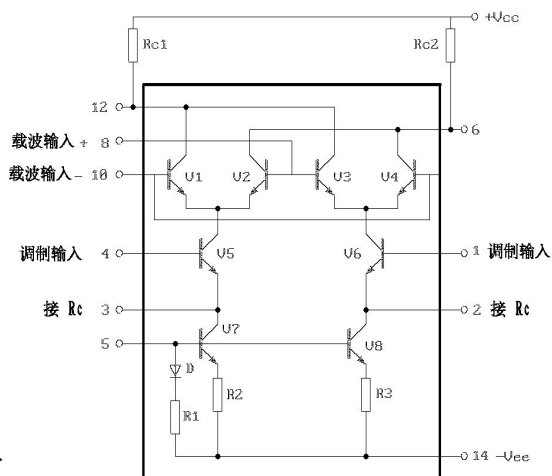


图 3-1 1496 芯片内部电路图

路，电路采用了两组差动对由 V_1-V_4 组成，以反极性方式相连接，而且两组差分对的恒流源又组成一对差分电路，即 V_5 与 V_6 ，因此恒流源的控制电压可正可负，以此实现了四象限工作。 D 、 V_7 、 V_8 为差动放大器 V_5 、 V_6 的恒流源。进行调幅时，载波信号加在 V_1-V_4 的输入端，即引脚的⑧、⑩之间；调制信号加在差动放大器 V_5 、 V_6 的输入端，即引脚的①、④之间，②、③脚外接 $1K\Omega$ 电阻，以扩大调制信号动态范围，已调制信号取自双差动放大器的两集电极(即引出脚⑥、⑫之间)输出。

用 1496 集成电路构成的调幅器电路图如图 3-2 所示，图中 R_{p1} 用来调节引出脚①、④之间的平衡， R_{p2} 用来调节⑧、⑩脚之间的平衡，三极管 V 为射极跟随器，以提高调幅器带负载的能力。实验电路见图 3-2

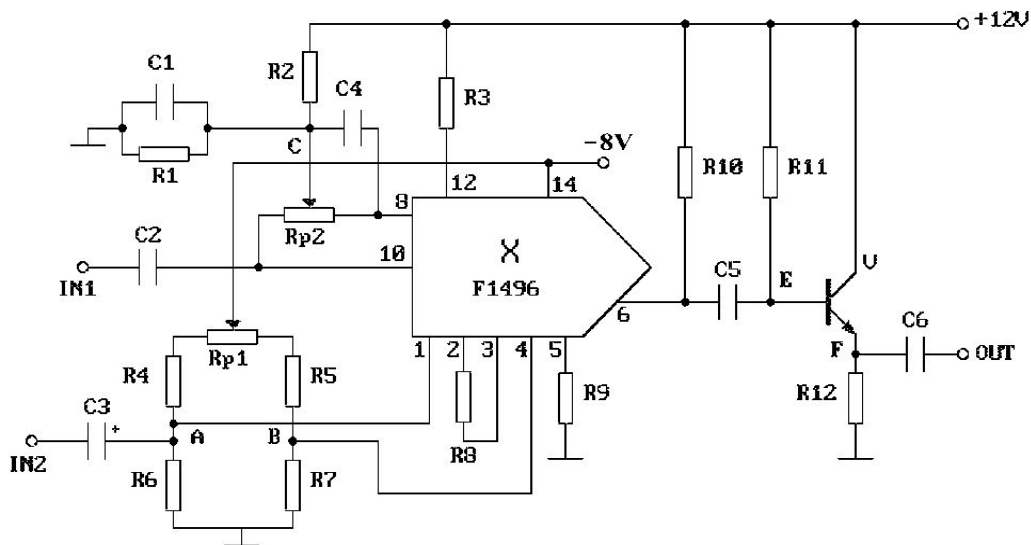


图 3-2 1496 构成的调幅器

1. 直流调制特性的测量

(1). 调 R_{p2} 电位器使载波输入端平衡：在调制信号输入端 IN2 加峰值为 100mv ，频率为 1kHz 的正弦信号，调节 R_{p2} 电位器使输出端信号最小，然后去掉输入信号。

(2). 在载波输入端 IN1 加峰值 V_c 为 10mv ，频率为 100kHz 的正弦信号，用万用表测量 A、B 之间的电压 V_{AB} ，用示波器观察 OUT 输出端的波形，以 $V_{AB}=0.1\text{V}$ 为步长，记录 R_{p1} 由一端调

至另一端的输出波形及其峰值电压，注意观察相位变化，根据公式 $V_0 = KV_{AB}V_C(t)$ 计算出系数 K 值。并填入表 3.1。

表 3.1

| | | | | | | | | | |
|--------------|--|--|--|--|---|--|--|--|--|
| V_{AB} | | | | | 0 | | | | |
| $V_{0(P-P)}$ | | | | | | | | | |
| K | | | | | | | | | |

2. 实现全载波调幅

(1). 调节 Rp1 使 $V_{AB}=0.1V$ ，载波信号仍为 $V_C(t)=10\sin 2\pi \times 10^5 t$ (mV)，将低频信号 $V_S(t)=V_S\sin 2\pi \times 10^3 t$ (mV) 加至调制器输入端 IN2，画出 $V_S=30mV$ 和 $100mV$ 时的调幅波形(标明峰一峰值与谷一谷值)并测出其调制度 m。

(2). 加大示波器扫描速率，观察并记录 $m=100\%$ 和 $m>100\%$ 两种调幅波在零点附近的波形情况。

(3). 载波信号 $V_C(t)$ 不变，将调制信号改为 $V_S(t)=100\sin 2\pi \times 10^3 t$ (mV) 调节 Rp1 观察输出波形 $V_{AM}(t)$ 的变化情况，记录 $m=30\%$ 和 $m=100\%$ 调幅波所对应的 V_{AB} 值。

(4). 载波信号 $V_C(t)$ 不变，将调制信号改为方波，幅值为 $100mV$ ，观察记录 $V_{AB}=0V$ 、 $0.1V$ 、 $0.15V$ 时的已调波。

3. 实现抑制载波调幅

(1). 调 Rp1 使调制端平衡，并在载波信号输入端 IN1 加 $V_C(t)=10\sin 2\pi \times 10^5 t$ (mV) 信号，调制信号端 IN2 不加信号，观察并记录输出端波形。

(2). 载波输入端不变，调制信号输入端 IN2 加 $V_S(t)=100\sin 2\pi \times 10^3 t$ (mV) 信号，观察记录波形，并标明峰一峰值电压。

(3). 加大示波器扫描速率，观察记录已调波在零点附近波形，比较它与 $m=100\%$ 调幅波的区别。

(4). 所加载波信号和调制信号均不变，微调 Rp2 为某一个值，观察记录输出波形。

(5). 在(4)的条件下, 去掉载波信号, 观察并记录输出波形, 并与调制信号比较。

(二) 调幅波信号的解调

调幅波的解调即是从调幅信号中取出调制信号的过程, 通常称之为检波。调幅波解调方法有二极管包络检波器和同步检波器。

1. 同步检波器——集成电路(乘法器)构成解调器

2. 利用一个和调幅信号的载波同频同相的载波信号与调幅波相乘, 再通过低通滤波器滤除高频分量而获得调制信号。本实验如图 3-3 所示, 采用 1496 集成电路构成解调器, 载波信号 V_c 经过电容 C1 加在⑧、⑩脚之间, 调幅信号 V_{AM} 经电容 C2 加在①、④脚之间, 相乘后信号由(12)脚输出, 经 C4、C5、R6 组成的低通滤波器, 在解调输出端, 提取调制信号。实验电路见图 3-3

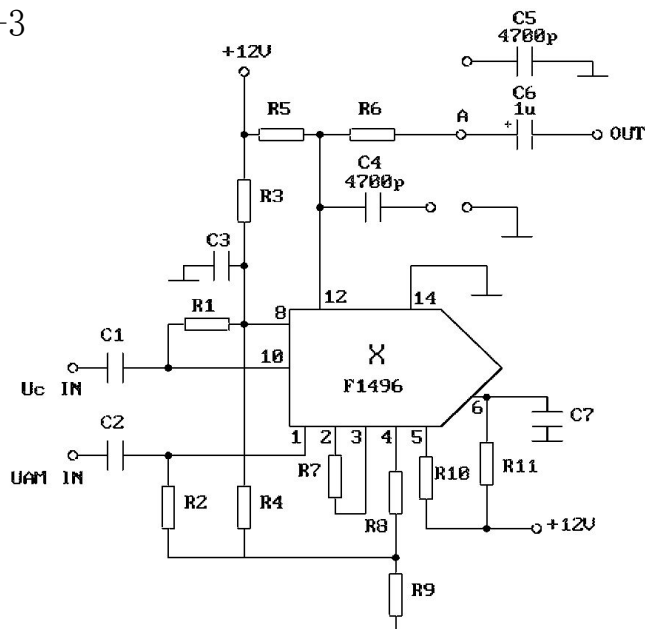


图 3-3 1496 构成的解调器

(1). 解调全载波信号

注意: 先恢复调幅实验中的实验内容 2(1)的内容及步骤。

①. 将图 3-3 中的 C4 另一端接地, C5 另一端接 A, 按调幅实验中实验内容 2(1)的条件获得调制度分别为 30%, 100%及

>100%的调幅波。将它们依次加至解调器 V_{AM} 的输入端，并在解调器的载波输入端加上与调幅信号相同的载波信号，分别记录解调输出波形，并与调制信号相比。

②. 去掉 C4, C5 观察记录 $m=30\%$ 的调幅波输入时的解调器输出波形，并与调制信号相比较。然后使电路复原。

(2). 解调抑制载波的双边带调幅信号

①. 按调幅实验中实验内容 3(2) 的条件获得抑制载波调幅波，并加至图 3-3 的 V_{AM} 输入端，其它连线均不变，观察记录解调输出波形，并与调制信号相比较。

②. 去掉滤波电容 C4, C5 观察记录输出波形。

2. 二极管包络检波器

适合于解调含有较大载波分量的大信号的检波过程，它具有电路简单，易于实现，本实验如图 3-4 所示，主要由二极管 D 及 RC 低通滤波器组成，它利用二极管的单向导电特性和检波负载 RC 的充放电过程实现检波。所以 RC 时间常数选择很重要，RC 时间常数过大，则会产生对角切割失真。RC 时间常数太小，高频分量会滤不干净。综合考虑要求满足下式：

$$\frac{1}{f_0} \ll RC \ll \frac{\sqrt{1-m^2}}{\Omega_m}$$

其中：m 为调幅系数， f_0 为载波频率， Ω 为调制信号

图中 A 对输入的调幅波进行幅度放大（满足大信号的要求），D 是检波二极管，R4、C2、C3 滤掉残余的高频分量，R5、和 Rp1 是可调检波直流负载，C5、R6、Rp2 是可调检波交流负载，改变 Rp1 和 Rp2 可观察负载对检波效率和波形的影响。实验电路见图 3-4

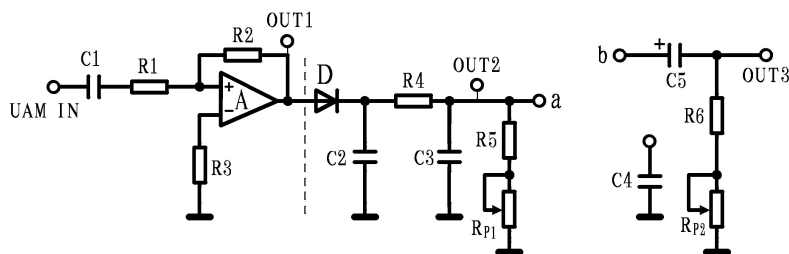


图 3-4 二极管包络检波器

(1). 解调全载波调幅信号

①. $m < 30\%$ 的调幅波的检波 载波信号仍为 $V_c(t) = 10\sin 2\pi \times 10^5(t)$ (mV) 调节调制信号幅度, 按调幅实验中实验内容 2(1) 的条件获得调制度 $m < 30\%$ 的调幅波, 并将它加至图 6-4 信号输入端, (需事先接入 $-12V$ 电源), 由 OUT1 处观察放大后的调幅波 (确定放大器工作正常), 在 OUT2 观察解调输出信号, 调节 R_{p1} 改变直流负载, 观测二极管直流负载改变对检波幅度和波形的影响, 记录此时的波形。

②. 适当加大调制信号幅度, 重复上述方法, 观察记录检波输出波形。

③. 接入 C4, 重复(1)、(2)方法, 观察记录检波输出波形。

④. 去掉 C4, R_{p1} 逆时针旋至最大, 短接 a、b 两点, 在 OUT3 观察解调输出信号, 调节 R_{p2} 改变交流负载, 观测二极管交流负载对检波幅度和波形的影响, 记录检波输出波形。

(2). 解调抑制载波的双边带调幅信号。

①. 载波信号不变, 将调制信号 V_s 的峰值电压调至 $80mV$, 调节 R_{p1} 使调制器输出为抑制载波的双边带调幅信号, 然后加至二极管包络检波器输入端, 断开 a、b 两点, 观察记录检波输出 OUT2 端波形, 并与调制信号相比较。

四、实验报告要求

(一) 振幅调制器

1. 整理实验数据, 用坐标纸画出直流调制特性曲线。

2. 画出调幅实验中 $m=30\%$ 、 $m=100\%$ 、 $m > 100\%$ 的调幅波形, 在图上标明峰一峰值电压。

3. 画出当改变 V_{AB} 时能得到几种调幅波形, 分析其原因。

4. 画出 100% 调幅波形及抑制载波双边带调幅波形, 比较二者的区别。

5. 画出实现抑制载波调幅时改变 R_{p2} 后的输出波形, 分析其现象。

(二) 调幅波信号的解调

1. 通过一系列两种检波器实验，将下列内容整理在表内，并说明二种检波结果的异同原因。

| 输入的调幅波波形 | $m < 30\%$ | $m = 100\%$ | 抑制载波调幅波 |
|------------|------------|-------------|---------|
| 同步检波输出 | | | |
| 二极管包络检波器输出 | | | |

2. 在同一张坐标纸上画出同步检波解调全载波及抑制载波时去掉低通滤波器中电容 C4、C5 前后各是什么波形，并分析二者为什么有区别。

3. 画出二极管包络检波器并联 C2 前后的检波输出波形，并进行比较，分析原因。

五、预习要求、思考题

1. 预习课本中有关调幅和解调原理。

2. 认真阅读实验指示书，了解实验原理及内容，分析实验电路中用 1496 乘法器调制的工作原理，并分析计算各引出脚的直流电压。

3. 分析全载波调幅及抑制载波调幅信号特点，并画出其频谱图。

4. 二极管包络检波产生波形失真的主要因素是什么？