**   **

计算机与大数据学院《电子线路综合实验》实验报告

实验时间：2025年6月15日

实验七 功率放大电路

实验目的：

1. 复习功率放大电路的用途、分类、工作状态和工作原理等理论知识。
2. 熟悉功率放大电路的性能指标和测量方法。
3. 了解交越失真产生的原因和解决的方案。

实验原理：

|  |  |
| --- | --- |
| 请针对右图电路回答以下问题：  1、该电路的名称是（ ）功率放大电路。  A、乙类OCL B、甲乙类OCL  C、乙类OTL D、甲乙类OTL  2、该电路通常作为多级放大电路的（ ）。  A、输入级 B、中间级 C、输出级  3、从图标箭头可判断T1和T2分别是（ ）和（ ）类型的三极管；它们均采取（ ）接法。  A、共发射极 B、共基极 C、共集电极 | 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。 |

4、该电路的工作原理是什么？

5、当S1打开时，若已知二极管的管压降*U*D=0.8V，请估算T1管的*V*C=（?）V， *V*B=（?）V，*V*E=（?）V；T2管的*V*E=（?）V，*V*B=（?）V， *V*C=（?）V。

6、当S1闭合后，若已知*Uim*=6V，请估算以下物理量的值：（要求先写公式后带入数据计算）

1）求此时的输出功率*P*O、电源功率*P*V、转换效率*η*

2）求理想情况下的*P*om、*P*Vm、*ηm*

3）T1、T2的*P*CM、 *I*CM 、*U*(BR)CEO如何选择？

上述问题的回答，请拍照截图放在下方或直接回答在word文件中：

白板上的文字

AI 生成的内容可能不正确。

仪器选用重要说明

1. 本次实验需要用到NPN型三极管和PNP型三极管，并要求两者尽量对称。为了保证实验效果，仍然选用Multisim软件中提供的虚拟三极管。在 “TRANSISTORS\_ VIRTUAL”中选择BJT\_NPN（第2个器件）和BJT\_PNP（第4个器件）。注意不要选错。
2. 对于OCL功放需要用到两个直流电源，要求在“Sources”组的“POWER\_SOURCES”中选择“DC\_POWER”，不要选VCC，否则仿真容易报错。
3. 由于功放电路的电压和电流较大，若有使用开关元件请选用元器件库Basic组中的SWITCH中的SPST（单控）和SPDT（双控），不要选DIPSW1，否则仿真容易报错。
4. 本次实验的交流电源要求采用函数发生器（右侧仪器栏第2个仪器）产生。连接该仪器时请注意“+”接输入端，中间的“com”接地（注意不要把“-”端接地）。
5. 由于本次实验需要测量输出功率，因此需要使用瓦特计（仪器栏第3个仪器）。注意：瓦特计中的电压表要求并联接在RL两端，电流表则要求串联接在RL的支路上。
6. 所有元件的符号标准为DIN标准；（点击“选项”-“全局偏好”-“元器件”更改）。
7. 建议实验过程图要逐张保存（要求把静态测量和动态测量分开两个画板），方便检查和修改。
8. 请在截图后，将图片缩小（右击图片—选大小与位置—调整缩放比例），放入对应的表格中。
9. 乙类OCL功率放大电路

|  |  |
| --- | --- |
| 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图1 乙类OCL功放电路图 | 图示  AI 生成的内容可能不正确。  图2 乙类OCL功放的静态测量（含6个探针的测量结果） |

步骤1：用Multisim仿真软件画出图1的仿真电路，仔细检查（特别是+10V和-10V的接法；NPN管和PNP管的接法是否正确）。开关S1和S2选用Basic组中的SWITCH中的SPST（单控）；S3选用SPDT（双控）。

步骤2：将步骤1的仿真电路图复制粘贴出一个副本进行静态测量。闭合开关S1、S2，将S3闭合到接地端（实现交流电源除源）。请在两个三极管的三个电极上放置测量探针。请注意测量探针的方向（右击探针，可选择“反转探针方向”）和显示内容，要求仅显示V（直流）和I（直流）。点击仿真运行，等待1-2分钟至数值稳定不变且上下电流一致，再将相应测量值填入表1，并将显示探针结果的电路图截图放入图2的位置。

表1 乙类OCL功放的静态参数

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| NPN管 | | | PNP管 | | |
| *VC* | *VB* | *VE* | *VE* | *VB* | *VC* |
| 10.0V | 0V | 0V | 0V | 0V | -10.0V |
| 两个三极管无论是*IB*，*IC*或是*IE*都是PA级（10-12A），可近似认为管内没有静态电流 | | | | | |

请回答以下问题：

1、根据表1数据，为什么可以说两个三极管都工作在乙类工作状态？

集电结反偏，但发射结没有正偏（VB=VE），所以三极管内没有静态电流，没有静态能量损耗，都工作在乙类工作状态。

步骤3：将步骤1的仿真电路图（无探针）复制粘贴出另一个副本进行动态测量。闭合开关S1、S2，将S3闭合到函发端，接入交流电源。请在2个直流电源（10V）的支路上放置测量探针（注意方向且仅显示“I直流”），其余地方不要有探针。在输出端连接好瓦特计（仪器栏第3个仪器），最后连接好示波器（通道A接输入，通道B接输出），截图放入图3的位置。

步骤4：双击函数发生器，先将输入电压设置为频率*f*=1kHz，振幅为8Vp（Vp指的是最大值），并点击仿真运行。双击示波器，同时观看输入和输出波形，可发现*uo*略小于*ui*且是同相关系，将输入输出波形截图放入图4的位置。

说明1：请一定将示波器通道B的耦合方式设置为“直流”（即同时输出直流分量和交流分量）。

说明2：输入波形和输出波形的颜色应设置为不同，且波形背景色应设置为白色。

说明3：先将示波器触发方式设置为“正常”观测波形动态变化，截图时才改为“单次”。

|  |  |
| --- | --- |
| 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图3 乙类OCL功放的动态测量图 | 图表, 折线图  AI 生成的内容可能不正确。  图4 乙类OCL功放的输入输出波形图  （标度：500μs/Div；刻度均为5V/Div） |

请回答以下问题：

1. 根据输入输出波形，可证明功率放大电路采用的是共发射极接法还是共集电极接法？功放为什么要采用该接法？

集电极接法。功率放大电路常作为多级放大电路的输出级，有较小的输出电阻。

步骤5：将示波器输入通道置为“0”，输出通道保持“直流”。在仿真运行过程中，观察当S1闭合S2打开；S1打开S2闭合；S1和S2都闭合时，输出波形的变化。将输出波形截图放入表2中。先将示波器触发方式设置为“正常”观测波形动态变化，截图时才改为“单次”。

表2 乙类OCL功放在三种情况下的输出波形

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 仅有NPN管工作时  （S1闭合S2打开） | 仅有PNP管工作时  （S1打开S2闭合） | 当两个三极管均工作时  （S1和S2都闭合） |
| 图表, 折线图  AI 生成的内容可能不正确。 | 图表, 折线图  AI 生成的内容可能不正确。 | 图表, 折线图  AI 生成的内容可能不正确。 |

请回答以下问题：

1、乙类OCL功放是利用NPN管和PNP管的（交替）工作，互补得到一个完整的输出正弦波。

2、输出波形在正半周和负半周的交界处会出现失真，称之为“（交越）失真”。

3、产生该失真的原因和解决的办法是什么？

乙类OCL功放在静态时发射结并没有导通。加入交流电压后，电压大小尚未克服发射结死区电压时，便出现了交越失真。可引入局部负反馈解决该问题

步骤6：保持函发频率为1kHz，按照表3改变函数发生器的振幅（每次改变要重启仿真），测量不同输入时的输出功率*PO*（从瓦特计中直接读出）、电源功率（*IV*根据*VCC*支路上的测量探针得到）和转换效率 。（注意单位要求）

说明：请先验证函发输出电压为6Vp时的数据与表中是否一致，确认无误后，再测量其他数据。

表3 乙类OCL功放在不同输入电压时的转换效率

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 函发输出电压 | 输出功率*PO*（W） | 电源电流*IV*（A） | （W） |  |
| 6Vp | 1.174 | 0.146 | 2.92 | 40.21% |
| 7Vp | 1.702 | 0.176 | 3.52 | 48.35% |
| 8Vp | 2.331 | 0.207 | 4.14 | 56.30% |
| 9Vp | 3.058 | 0.239 | 4.78 | 63.97% |
| 10Vp | 3.884 | 0.270 | 5.40 | 71.93% |

请回答以下问题：

1. 在三极管的放大范围内，随着输入电压的增大，转换效率不断增大还是减小？理想情况下的最大转换效率是多少？

增大；78.5％

1. 甲乙类OCL功率放大电路

步骤1：用Multisim仿真软件画出图5的仿真电路。其中二极管要求选用元器件库Diodes组的 “DIODES\_VIRTUAL”中“DIODE”。

|  |  |
| --- | --- |
| 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图5 甲乙类OCL功放电路图 | 图6 甲乙类OCL功放的静态测量  （含6个探针的测量结果） |

步骤2：将步骤1的仿真电路图复制粘贴出一个副本进行静态测量。将开关S1闭合到接地端（实现交流电源除源）。请在两个三极管的三个电极上放置测量探针。请注意测量探针的方向和显示内容，要求仅显示V（直流）和I（直流）。点击仿真运行，须等待1-2分钟至数值稳定不变且上下电流一致，再将相应测量值填入表4，将显示探针结果的电路图截图放入图6的位置。（注意检查，不要填错）

表4 甲乙类OCL功放的静态参数

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| NPN管 | | | PNP管 | | |
| *VC* | *VB* | *VE* | *VE* | *VB* | *VC* |
| 10.0V | 0.754V | 0V | 0V | -0.754V | -10.0V |
| *IC* | *IB* | *IE* | *IE* | *IB* | *IC* |
| 462μA | 4.62μA | 467μA | 467μA | 4.62μA | 462μA |
| 两个三极管无论是*IB*，*IC*或是*IE*都是μA级，且满足*IC*=100×*IB*，*IE*=*IC+IB*  说明三极管的发射结正偏，集电结反偏，处于正常放大状态 | | | | | |

请回答以下问题：

1. NPN管和PNP管处于放大状态时，三个电极的电位递减规律有什么不同？

NPN管：发射极电位<基极电位<集电极电位

PNP管：集电极电位<基极电位<发射极电位

1. 为什么说此时该电路处于甲乙类工作状态？

两个三极管在静态时存在微小电流（μA级），有微小静态能量损耗，因此都工作

在甲乙类工作状态

3、图5中两个二极管的作用是什么？两个200Ω电阻的作用是什么？

两个二极管使得两个三极管基极电位不同。200Ω电阻起到分压和控制基极电流的作用。

步骤3：将步骤1的仿真电路图（无探针）复制粘贴出另一个副本进行动态测量。将开关S1闭合到函发端，接入交流电源。请在2个直流电源（±10V）的支路上放置测量探针（注意方向且仅显示“I直流”），其余地方不要有探针。在输出端连接好瓦特计，最后连接好示波器（通道A接输入，通道B接输出），截图放入图7的位置。

步骤4：双击函数发生器，先将输入电压设置为频率*f*=1kHz，振幅为8Vp，并点击仿真运行。双击示波器，同时观看输入和输出波形，将输入输出波形截图放入图8的位置。

说明1：请一定将示波器通道B的耦合方式设置为“直流”（即同时输出直流分量和交流分量）。

|  |  |
| --- | --- |
| 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图7 甲乙类OCL功放的动态测量 | 图8 甲乙类OCL功放的输入输出波形图  （标度：500μs/Div；刻度均为5V/Div） |

请回答以下问题：

1、为什么甲乙类OCL功放的电压跟随效果比乙类OCL功放好？

用2个二极管的导通使得2个三极管的发射结处于微导通状态。当交流电压输入时，可以无需损耗交流电压来克服死区电压，输出电压的波形更接近输入电压的波形。

步骤5：保持函发频率为1kHz，按照表5改变函数发生器的振幅（每次改变要重启仿真），测量不同输入时的输出功率*PO*（从瓦特计中直接读出）、电源功率（*IV*根据*VCC*支路上的测量探针得到）和转换效率 。（注意单位要求）

说明：请先验证函发输出电压为6Vp时的数据与表中是否一致，确认无误后，再测量其他数据。

表5 甲乙类OCL功放在不同输入时的转换效率

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 函发输出电压 | 输出功率*PO*（W） | 电源电流*IV*（A） | （W） |  |
| 6Vp | 1.666 | 0.228 | 4.56 | 36.54% |
| 7Vp | 2.290 | 0.259 | 5.18 | 44.21% |
| 8Vp | 3.013 | 0.290 | 5.80 | 51.95% |
| 9Vp | 3.835 | 0.322 | 6.44 | 59.55% |
| 10Vp | 4.757 | 0.353 | 7.06 | 67.38% |

请回答以下问题：

1、对比表5和表3，当输入电压*ui*相同时，为什么甲乙类功放的转换效率会低于乙类功放？

甲乙类功放的直流电源提供了部分能量用于维持静态工作点，乙类功放的直流电源不提供能量用以维持静态工作点，所以甲乙类转换效率会低

1. 甲乙类OTL功率放大电路

步骤1：用Multisim仿真软件画出图9的仿真电路（注意直流电源和输出电容的大小和极性），

说明1：只有一个直流电源时，可以在“Sources”组的“POWER\_SOURCES”中选择“VCC”。

说明2：开关请选用元器件库Basic组中的SWITCH中的SPST，不要选DIPSW1。

|  |  |
| --- | --- |
| 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图9 甲乙类OTL功放电路图 | 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图10 甲乙类OTL功放的静态测量  （含6个探针的测量结果） |

步骤2：将步骤1的仿真电路图复制粘贴出一个副本进行静态测量。闭合开关S1和S2，打开S3。请在两个三极管的三个电极上放置测量探针。请注意测量探针的方向和显示内容，要求仅显示V（直流）和I（直流）。点击仿真运行，须等待几秒至数值稳定不变且上下电流一致，再将相应测量值填入表6，并将显示探针结果的电路图截图放入图10的位置。（注意检查电位和电流关系，不要填错格子）

表6 甲乙类OTL功放的静态参数

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| NPN管 | | | PNP管 | | |
| *VC* | *VB* | *VE* | *VE* | *VB* | *VC* |
| 20V | 10.8V | 10.0V | 10.0V | 9.25V | 0V |
| *IC* | *IB* | *IE* | *IE* | *IB* | *IC* |
| 462μA | 4.62μA | 467μA | 467μA | -4.62μA | 462μA |
| 两个三极管无论是*IB*，*IC*或是*IE*都是μA级，且满足*IC*=100×*IB*，*IE*=*IC+IB*  说明三极管的发射结正偏，集电结反偏，处于正常放大状态 | | | | | |

步骤3：将步骤1的仿真电路图（无探针）复制粘贴出另一个副本进行动态测量。将开关S1，S2和S3全部闭合，接入交流电源。请在直流电源（+20V）的支路上放置测量探针（注意方向且仅显示“I直流”），其余地方不要有探针。在输出端连接好瓦特计，最后连接好示波器（通道A接输入，通道B接输出），截图放入图11的位置。

步骤4：双击函数发生器，先将输入电压设置为频率*f*=1kHz，振幅为8Vp，并点击仿真运行。双击示波器，同时观看输入和输出波形，将输入输出波形截图放入图12的位置。

说明1：请一定将示波器通道B的耦合方式设置为“直流”（即同时输出直流分量和交流分量）。

|  |  |
| --- | --- |
| 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图11 甲乙类OTL功放的动态测量 | 图表, 折线图  AI 生成的内容可能不正确。  图12 甲乙类OTL功放的输入输出波形图  （标度：500μs/Div；刻度均为5V/Div） |

步骤5：观察当S1和S2都闭合；S1闭合S2打开；S1打开S2闭合时，输出波形的变化，将三种情况下的输出波形截图放入表7中。

注意：当单个三极管工作时，电容只能充放电一次，所以请将示波器触发方式先设置为“单次”再开启仿真。每次变化开关状态，都要重启仿真。

表7 甲乙类OTL功放在三种情况下的输出波形

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 当两个三极管均工作时  （S1和S2都闭合） | 仅有NPN管工作时  （S1闭合S2打开） | 仅有PNP管工作时  （S1打开S2闭合） |
| 图表, 折线图  AI 生成的内容可能不正确。 | 图表, 折线图  AI 生成的内容可能不正确。 | 图表, 折线图  AI 生成的内容可能不正确。 |

请回答以下问题：

1. OTL功放和OCL功放的工作原理是否相同？两者在电路结构上有什么区别？

完全相同，都是利用NPN管和PNP管的交替导通，互补得到一个完整的输出正弦波。

步骤6：将开关S1，S2和S3全部闭合，保持函发频率为1kHz，按照表8改变函数发生器的振幅（每次改变要重启仿真），测量不同输入时的输出功率*PO*（从瓦特计中直接读出）、电源功率（*IV*根据*VCC*支路上的测量探针得到）和转换效率 。（注意单位要求）

说明：请先验证函发输出电压为6Vp时的数据与表中是否一致，确认无误后，再测量其他数据。

表8 甲乙类OTL功放在不同输入时的转换效率

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 函发输出电压 | 输出功率*PO*（W） | 电源电流*IV*（A） | （W） |  |
| 6Vp | 1.666 | 0.228 | 4.56 | 36.54% |
| 7Vp | 2.289 | 0.259 | 5.18 | 44.19% |
| 8Vp | 3.012 | 0.291 | 5.82 | 51.75% |
| 9Vp | 3.834 | 0.322 | 6.44 | 59.53% |
| 10Vp | 4.756 | 0.354 | 7.08 | 67.18% |

请回答以下问题：

1、保证一个单电源（20V）作用的OTL功放可以等效成双电源（10V）作用的OCL功放的关键是什么？

静态时输出端的电容必须储存VCC/2的能量。当NPN管截止，PNP管导通时，电容会释放出储存的能量，充当负电源作用。

实验小结：（可总结收获、所犯错误，解决方案、心得体会等）

在搭建乙类OCL功放的过程中，一开始把+10V和-10V接反了，导致仿真直接报错，后来通过查阅ppt并重新布线，才顺利完成了电路的搭建。值得一提的是，初次观察输出波形时我并没有注意到示波器通道的耦合方式，结果输出波形异常，后来把耦合方式改为直流之后，才正确地显示了包含直流分量的波形。

乙类OCL电路在工作时确实存在明显的交越失真，特别是在输入信号零点附近出现了不连续的断层，这让我对理论中讲到的“死区电压”有了更直观的理解。在进行甲乙类OCL电路的实验时，通过加入两个对称的二极管，为三极管基极提供了偏置电压，改善了交越失真问题，我也第一次真切体会到了“从原理到现象”的过程。虽然甲乙类电路的效率略低于乙类，但在信号保真度方面确实更优秀。

在搭建OTL功放电路时，我一开始把输出电容的极性接反了，导致波形根本不正常，后来检查文档才发现必须让电容在静态时储存Vcc / 2的能量，才能起到等效负电源的作用。调整之后波形明显改善。

这次实验让我对功率放大电路的原理和分类有了更深刻的理解，也让我体会到理论与仿真之间的差距，必须耐心调试、反复验证，才能真正掌握知识点。在未来的学习中，我希望能更多地动手实践，不仅能加深对电路的理解，还能提高自己排查问题和动手解决问题的能力。