

# 电子电路中直流稳压电源的设计

杨颖, 刘金震

临沂大学 自动化与电气工程学院, 山东 临沂 276005

**摘要:** 模拟电子电路和数字电子电路都需要直流稳压电源供电, 稳定的电源可以保证这两类电子电路的正常运行。针对电子电路中常用的固定式直流稳压电源、可调式直流稳压电源和串联型直流稳压电源电路, 分析它们的结构组成和工作原理, 明确各电源电路中所用电子元器件选择使用的方法及其在电路中的作用, 解析各电源电路主要性能指标的确定方法。直流稳压电源不仅可以保护电子元器件, 使其免受电源电压波动产生的不良影响, 在提升电子电路工作的稳定性和可靠性方面也可发挥重要作用。

**关键词:** 直流稳压电源; 集成稳压器; 整流; 滤波; 稳压

## Design of DC Regulated Power Supply in Electronic Circuit

Yang Ying, Liu Jinzhen

School of Automation and Electrical Engineering, Linyi University, Linyi, Shandong 276005

**Abstract:** Analog electronic circuit and digital electronic circuit need DC voltage regulator power supply, stable power supply can ensure the normal operation of these two types of electronic circuit. Based on the fixed DC power supply, adjustable DC power supply and series DC power supply circuits commonly used in electronic circuits, this paper analyzes their structure and working principle, defines the method of selecting and using the electronic components used in each power circuit and its role in the circuit, and analyzes the determination method of the main performance indicators of each power circuit. DC regulated power supply can not only protect electronic components from the adverse effects of power supply voltage fluctuations, but also play an important role in improving the stability and reliability of electronic circuits.

**Keywords:** DC voltage regulator; integrated voltage regulator; rectification; filtering; stabilization

## 引言

根据处理的信号的不同, 通常把电子电路分为模拟电子电路和数字电子电路两大类, 两类电子电路都需要使用直流稳压电源提供电能。直流稳压电源可以将交流电转换为稳定的直流电, 为各种需要直流电源供电的电子电路供电, 广泛应用于信号处理、通信、仪器仪表、工业控制以及家用电器等众多领域<sup>[1]</sup>。

## 一、直流稳压电源的结构组成

直流稳压电源通常由电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路四部分组成, 其结构组成如图1所示。首先电网电压经变压器将输入的交流电转换为合适的交流电压, 然后经整流将交流电转换为脉动的直流电, 接着再进行滤波, 以减小电压中的纹波, 使电压更加稳定, 最后由稳压电路进一步稳压后, 输出稳定的直流电给需要的设备供电<sup>[2]</sup>。



> 图1 直流稳压电源结构框图

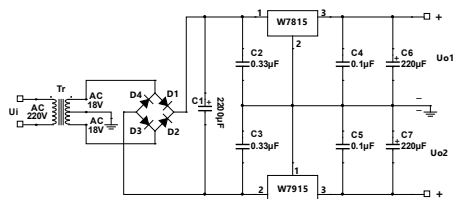
## 二、直流稳压电源的设计

### (一) 固定式直流稳压电源的设计

电子电路中的直流稳压电源多数输出功率不太, 小功率三端集成稳压器因其输出电流大、体积小、可靠性高等特点被广泛应用于直流稳压电源的设计中<sup>[3]</sup>。本设计使用 W7815 和 W7915 集成稳压器构成固定式直流稳压电源。W7815 可输出 +15V 的直流电压, W7915 可输出 -15V 的直流电压, 二者输入与输出之间的电压差都不得小于 3V, 由它们组成的正负输出直流稳压电源电路如图2所示。

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 51471130); 山东省一流本科课程“数字电子技术”(编号: 暂无); 临沂大学课程思政示范课程“数字电子技术”(编号: KCSZ202121); 临沂大学教学质量工程项目(重点项目)一流本科课程“数字电子技术”(项目编号: YLKC202103); 临沂大学本科教学改革研究项目“高等学校‘思政’与‘双创’贯通融合协同育人研究与实践”(编号: JG2023M35)。

作者简介: 杨颖(1970-), 女, 教授, 博士, 主要从事电子技术、光电测量、光纤传感等方面的教学和研究工作。



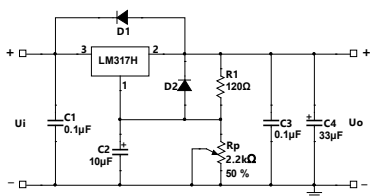
> 图2 正负输出直流稳压电源电路

电路中先由变压器 Tr 将 220V、50Hz 的交流电转换为设计所需的低压交流电，再通过由二极管 D<sub>1</sub>~D<sub>4</sub> 组成的整流桥将交流电整流为单向的直流电。为了较小直流电压的脉动幅度，在整流电路后使用大容量电解电容 C<sub>1</sub> 组成滤波电路，再对电压信号做平波处理；最后再接入基于 W7815 和 W7915 的集成稳压电路，从而输出 +15V 和 -15V 的固定直流稳定电压。稳压电路部分的对称的电容 C<sub>4</sub>、C<sub>5</sub> 与 C<sub>6</sub>、C<sub>7</sub> 则用于滤波，以改善负载的瞬态效应，消除电路中的杂波噪音。

变压器是一种利用电磁感应原理来升压或降压的装置，设计中使用的是降压变压器。选用线圈匝数比为 12 : 1 的变压器，根据变压器变压比公式  $U_1 : U_2 = N_1 : N_2$  可知，变压器输出电压 U<sub>2</sub> 约等于 18V，降压后一、二次电压频率仍保持 50Hz 不变。变压器的功率则根据变压器副边的输出功率来确定。整流桥中的整流二极管选用 1N4001 型二极管，电路工作时每个二极管所承担的反向电压的最大值为  $\sqrt{2} U_2$ ，U<sub>2</sub> 为变压器输出电压的有效值，流经二极管的平均电流为整流桥输出电流的一半。采用 2200µF、25V 的大容量电解电容 C<sub>1</sub> 作为滤波电容，使输出电压更加平滑，电源的瞬态特性得到改善。C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub> 用于高频滤波，防止因 C<sub>1</sub> 的感抗特性而使电路产生的自激振荡。稳压部分 W7815 和 W7915 输出端并联的 220µF 滤波电容和 0.1µF 的瓷片电容，用于滤除电源杂波和交流残留，使输入到集成电路的直流电压尽可能的平滑和纯净，同时也改善负载的瞬态响应。

### (二) 可调式直流稳压电源的设计

LM317 是一款常用的三端可调式集成稳压器，用其设计的可调式直流稳压电源电路如图 3 所示。



> 图3 可调式直流稳压电源电路

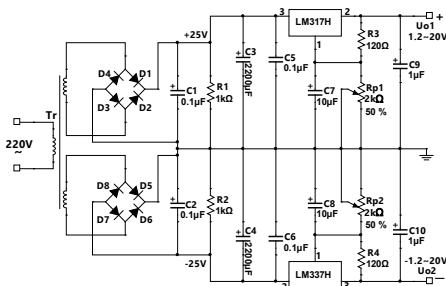
电路中的核心器件 LM317 三个引脚分别是输入端 (IN)、输出端 (OUT) 和调整端 (ADJ)，LM317 的输出电流范围为 5mA~1.5A，输出电压可在 1.2V~37V 之间连续调节，仅需外接两个电阻 R<sub>1</sub>、R<sub>p</sub> 即可调节输出端电压<sup>[4]</sup>。

LM317 输出端 1、2 引脚间的参考电压为 1.25V，则输出端电压  $U_o = 1.25(1 + R_p/R_1)$ 。一般固定 R<sub>1</sub>，调节 R<sub>p</sub> 以获得 1.25V~37V 的电压。若 R<sub>1</sub>、R<sub>p</sub> 温度系数相同，则 R<sub>p</sub>/R<sub>1</sub> 不受温度影响，一般选铜材料做成的电阻。为保证稳压器的输出性能，R<sub>1</sub> 应小于 240Ω，设计中选用 120Ω 电阻。D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub> 用于保护 LM317，二极管 D<sub>1</sub> 用于防止输入短路时 C<sub>1</sub> 反向放电而损坏集成稳压器，可采用 1N4002 型二极管；二极管 D<sub>2</sub> 可防止稳压器输出短路时，C<sub>2</sub> 通过调整端放电损坏集成稳压器，可采用 1N4007 型低频整流二极管。

此电路输出电压可在 1.25V~37V 之间连续可调，输出电流最大值为 1.5A。

### (三) 可调式正负电压输出直流稳压电源的设计

上述 LM317 是三端可调正稳压器，LM337 则是三端可调负稳压器，其输出电流范围也为 5mA~1.5A，输出电压范围为 -1.2V~-37V。LM337 和 LM317 在用作调节电源时，电压从 1.25V 起调，要求输入电压要高于输出电压 2V 以上<sup>[5]</sup>。它们组成的正负双电压可调式稳压电源电路图如图 4 所示。



> 图4 可调式正负输出直流稳压电源电路

为保证 LM317 在空载也能够稳定地工作，使其输出电流大于其最小稳定工作电流 1.5mA 即可。选择 R<sub>3</sub> 为固定电阻，R<sub>p1</sub> 为可调电阻，改变 R<sub>p1</sub> 的值则可调节输出电压值，输出电压 U<sub>o</sub> 的表达式为： $U_o = 1.25(1 + R_{p1}/R_3)$ 。

稳压电阻 R<sub>4</sub>、R<sub>p2</sub> 的选择及使用方法同 R<sub>3</sub>、R<sub>p1</sub>。

LM317 和 LM337 的输出端接滤波电容能起到改变瞬态响应、抑制纹波的作用。图中 C<sub>9</sub>、C<sub>10</sub> 为滤波电容，可以抑制输出端的纹波电压，使输出电压更加稳定<sup>[6]</sup>。

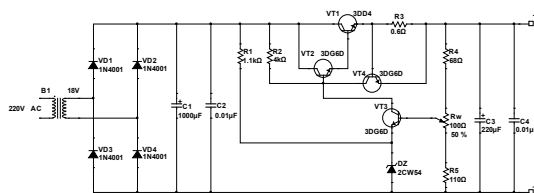
电子电路中使用的直流电源多数在 0~18V 之间，又因 LM317、LM337 的极限电压值分别为 +37V 和 -37V，所以选择变压器时其输出电压在 -37V~+37V 范围内即可，比如为 ±18V，按照输出电流 I<sub>o</sub>=1.5A，则单路电源消耗的功率为： $P_i = U_i I_i = 18 \times 1.5 = 27W$  (i=1, 2)

两路电源消耗的总功率为： $P = P_1 + P_2 = 2P_1 = 27 \times 2 = 54W$

普通变压器的工作效率约为 90%，则变压器的功率约为： $P_a = P/90\% = 54/90\% = 60W$ 。

### (四) 串联型直流稳压电源的设计

串联型直流稳压电源也由变压器、整流、滤波、稳压四部分电路组成，其中稳压电路采用的是串联型直流稳压电路，电路结构如图 5 所示，由采样、基准电压、比较放大和电压调整四部分电路组成。实现稳压的原理是：当电网电压产生波动或输出端负载发生变化时，会引起输出端电压发生变化，由采样电路取出输出电压的一部分送至比较放大器，并与基准电压电路提供的基准电压进行比较，将它们的差值经放大器放大后送至调整管，此时会引起调整管的管压降发生变化，以此来补偿、平衡输出电压的变化，从而得到稳定的输出电压值<sup>[7]</sup>。



> 图5 串联型直流稳压电源电路

### 1. 变压器的选定

常用的输入电压为220V的变压器，其额定输出电压有48V、36V、24V、18V、15V、12V、9V、6.3V等标准规格，其它输出电压等级的变压器需要专门定制。选择变压器时，应以电网电压最低时，去确定次级电压，使次级电压值最接近电压要求，电压偏离越大，损耗也越大，故应先确定变压器次级电压 $U_{次}$ 。假设设计要求输出电压 $U_o=8\sim 15V$ ，最大值 $U_{Omax}=15V$ ，考虑到电网电压10%的电压波动，变压器最低输入电压发生在 $\sim 220-220\times 10\%=198V$ ，此时变压器次级电压若为15V，则在变压器正常输入电压为220V时，其次级电压 $U_{次}$ 有： $U_{次}=15\times 220/198=16.7V$ 。

取 $U_{次}=17V$ 。

因此，本设计选择输入/输出额定电压为220V/18V的变压器。

### 2. 整流及滤波电路

整流电路由四只整流二极管 $VD_1\sim VD_4$ 组成的整流桥组成，可对变压器输出的交流电压进行全波整流。设每只整流二极管可承担的反向电压为 $U_{BRM}$ ，因变压器最高输入电压为 $\sim 220+220\times 10\%=242V$ ，此时变压器次级电压为 $U_{次}=18\times 242/220=19.8V$ ，所以 $U_{BRM}=\sqrt{2}\times U_{次}=\sqrt{2}\times 19.8=27.7V$ 。

整流二极管选用IN4001，其可以承受的最大反向电压值为50V，最大电流值为1A，常用于整流电路中。

采用大、小容量不同的电容进行滤波，大电容对低频的电压起平滑作用，使电源的电压趋于平稳。小电容对高频的信号起旁路作用，高频干扰信号通过小电容回到地，可有效滤除高频信号<sup>[8]</sup>。

由设计要求输出电压最大值 $U_{Omax}=15V$ ，得电容器上的压降 $U_c=U_{Omax}+U_{CES}$ ，其中 $U_{CES}$ 为调整管 $VT_1$ 的C、E间的饱和压降，取 $U_{CES}=3V$ ，得 $U_c=18V$ 。

正常工作时，电容器不停地充电和放电，其两端的电压 $U_c=(1.1\sim 1.2)U_{次}$ 。

取 $U_c=1.2U_{次}$ ，得： $U_{次}=U_c/1.2=18/1.2=15V$ 。

### 3. 基准电压电路

基准电压电路由限流电阻 $R_1$ 和稳压二极管 $D_z$ 组成，稳压管 $D_z$ 上的电压即为基准电压 $U_{DZ}$ 。 $U_{DZ}$ 将与采样电路提供的采样电压进行比较，它们的差值将由放大电路做放大处理。选基准电压为6V，可选稳压管2CW54，其稳定电压 $U_{DZ}$ 为5.5V~6.5V。

### 4. 采样及比较放大电路

采样电路由 $R_4$ 、 $R_5$ 和 $R_w$ 组成，该部分电路与负载 $R_L$ 并联。当输出电压 $U_o$ 的值发生变化时，由采样电阻对该变化量进行采样，并将采样值送至比较放大电路的输入端<sup>[9]</sup>。

取样电路中 $VT_3$ 基极的电位： $V_{B3}=U_{DZ}+0.7=6.7V$ 。

因输出电压 $U_o$ 要求在8V~15V，最大值 $U_{Omax}=15V$ ，最小值 $U_{Omin}=8V$ 。

有： $U_{Omax}=(R_4+R_w+R_5)\times V_{B3}/R_5$

$U_{Omin}=(R_4+R_w+R_5)\times V_{B3}/(R_5+R_w)$

比较放大电路由三极管 $VT_3$ 组成，该部分电路将采样电压与基准电压的差值进行放大，之后将放大后的信号传送到调整管的基极。

### 5. 调整电路

调整电路由三极管 $VT_1$ 、 $VT_2$ 组成，为了扩大输出电流，将 $VT_1$ 、 $VT_2$ 连成复合管。电路中将此复合管串联在输入电压 $U_1$ 与输出电压 $U_o$ 之间，所以该部分电路又称为串联型直流稳压电路。

当输出电压 $U_o$ 发生变化时， $VT_1$ 、 $VT_2$ 组成的复合管的集电极与发射极之间的电压 $U_{CE}$ 会随之发生相应的变化，用来补偿 $U_o$ 的波动，从而起到稳定 $U_o$ 的目的<sup>[10]</sup>。

因变压器最高输入电压为242V时，变压器次级电压为 $U_{次}=18.7V$ ，此时电容器上的压降 $U_c=1.2U_{次}=1.2\times 18.7=22.44V$ 。

所以调整管最大管压降为： $U_{CE}=U_c-U_E=U_c-U_o=22.44-15=7.44V$ 。

假设设计要求输出电流： $I_o=1A$ ，取其最大值 $I_{OM}=1.2mA$ ，则调整管最大集电极耗散功率为： $P_{CE}=U_{CE}\times I_{OM}=7.44\times 1.2=8.9W$ 。

取 $P_{CM}=15W$ 。

由上分析， $VT_1$ 可选用3DA1型大功率NPN硅管，也可用3DA4、3DD4、3DD01等型号的三极管。 $VT_2$ 选用NPN型小功率硅管，可选用3DG4、3DG6、3DK3等型号，也可选用电流放大系数 $\beta$ 较大的9011、9013、9014等型号。

### 6. 保护电路

保护电路由 $R_3$ 组成，实现过流保护、短路保护和过载保护等功能。当 $I_{OM}=1.2A$ 时保护，取 $R_o$ 即 $R_3=0.6\Omega$ ，则 $U_{R0}=1.2\times 0.6=0.72V$ 。

## 三、结论

实际应用中，给电子电路供电的直流电压多数是由交流电网电压转换得到，当电网电压或负载电阻变化时，上述几种直流稳压电源都可输出较为稳定的直流电压值。随着电子产品向高精度、高性能稳定性和高可靠性的方向发展，对直流稳压电源也提出了更高的要求。比如可以对电压、电流等参数进行精确调节，以满足不同设备的供电要求，同时需具有多重保护功能，能够在电子设备出现故障时及时切断供电，保护设备不受损坏等，这些都有待于对直流稳压电路进行进一步的优化和完善，可通过结合数字控制技术得以提高其各方面的性能，使其在电子电路中发挥更好的作用。

## 参考文献

- [1] 崔建国, 王永香. 输出电压值可调的稳压电路的设计[J]. 电子世界, 2020, (10): 120-121.
- [2] 商林, 赵新. 宽输入高稳定输出的稳压电源设计与实现[J]. 襄阳职业技术学院学报, 2020, 19(02): 73-76.
- [3] 冯瑞珏, 李志锋, 马海霞, 等. 直流稳压电源实验案例的设计与教学[J]. 中国现代教育装备, 2021, (13): 127-130.
- [4] 王凤国, 陈小雷, 许宝立, 李信. 一种稳压电源远端供电电压补偿方法设计[J]. 电子器件, 2019, 42(04): 827-831.
- [5] 卿丹. LM317可调直流稳压电源的设计与制作[J]. 教育视界, 2024, (Z1): 53-57.
- [6] 黄美红, 熊斌. LM317可调直流稳压电源的制作[J]. 电子制作, 2016, (18): 32.
- [7] 曹嘉伟. 输出电压值可调的稳压电路的设计[J]. 电子制作, 2019, (19): 78-79.
- [8] 禹旺兵, 邹孝, 刘万新. 反激式开关稳压电源实验教学案例设计[J]. 电子制作, 2019, (15): 87-89+68.
- [9] 刘晓文, 郭雨, 薛雪. 磁耦合谐振式无线电能传输的智能稳压电源设计与实践[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(09): 112-115.
- [10] 谢永超, 严俊, 杨利. 一种数字式可调稳压电源系统的设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(04): 251-255.