

基于 TL494 的 Buck 可调稳压恒流电源

硬件方案详解

1. 电路基本结构及工作原理

本项目稳压恒流电路结构如下图所示，由驱动电路、功率电路以及输入整流滤波（下图未标出，请见详细电路部分）三部分组成。其中驱动电路包括两路误差放大器、PWM 比较器、电流采样信号放大器、反相驱动以及自举驱动电路，误差放大器、PWM 比较器以及反相驱动电路集成于 TL494 芯片内部。驱动电路的功能在于向功率电路输出可靠的指挥信号，并根据电压和电流的反馈信号进行调整，从而保证输出电压和电流的稳定。功率电路由一对开关管、滤波电感及电容，以及电流采样电阻构成。功率电路中的开关管在驱动电路信号的指挥之下以合适的占空比高速开关，将输入功率电路的直流电转化为适当的脉冲电流，经滤波电感及电容滤除高频成分后，得到稳定的输出电压与电流。

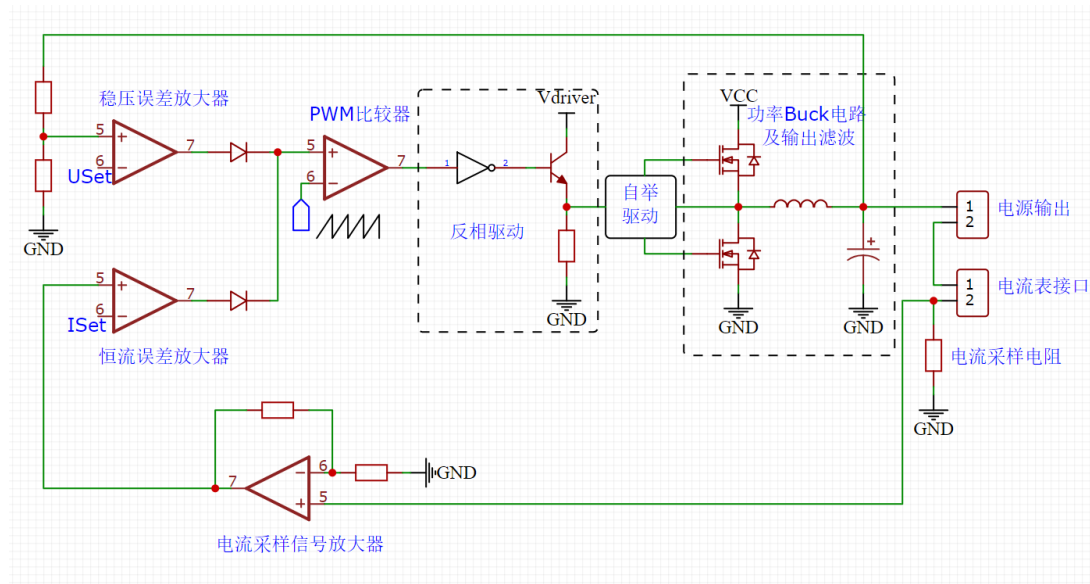


图 1 项目总体框图

2. 驱动电路组成及详细工作过程

图 2 为驱动电路的详细电路图，其中 TL494 (U1) 及其外围电路实现误差放大器、PWM 比较器以及反相驱动的功能，IR2104 (U2) 完成自举驱动功能，LM358 (U3) 对电流采样信号进行放大。

2.1 TL494 工作原理及过程

图 3 为 TL494 内部电路示意图，该芯片包含两路误差放大器、PWM 比较器、死区时间比较器、振荡电路、两只集电极开路的输出管以及一系列控制输出

放大，当反馈值略微偏离设定的基准值时，误差放大器输出电压就能产生较大的变化，因此即使输出发生轻微失稳，电路也能够对其进行调整，从而保证了输出电压与电流的精准。在本项目中，误差放大器由 TL494 的 1, 2, 15, 16 引脚及外接的 R2, R6, R7, R8 组成。其中 1, 2 引脚以及 R2, R6 为稳压误差放大器，15, 16 引脚以及 R7, R8 为恒流误差放大器。电位器 R3 和 R4 分别用于设定基准电压和电流。

如图 4 所示，当旋转电位器 R3 的旋钮设定好基准电压后，若因某种原因导致反馈电压变化了 ΔV ，根据“虚短”和“虚断”原理可得，3 引脚输出电压变化值为

$$\Delta V_3 = \left(1 + \frac{R_2}{R_6}\right) \Delta V \quad (2)$$

根据图 4 中参数，假设反馈电压变化值为 0.1V，3 引脚电压理论上将发生 16.6V 的变化（实际会因为放大器饱和等原因，电压变化值小于理论值），足以引起驱动电路进行调整，从而保证输出电压的精准，当调整稳定时，误差放大器反馈与基准输入端电压近似相等。恒流误差放大器工作原理类似，用于保证输出电流的精准。

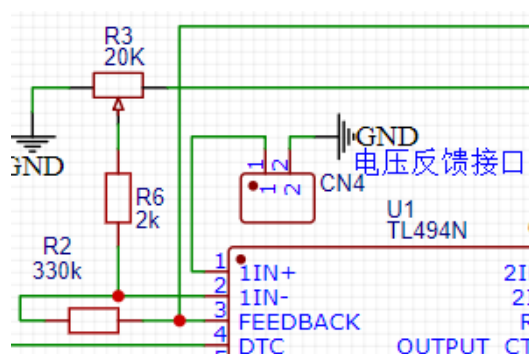


图 4 稳压误差放大器局部电路

观察图 3 中两路误差放大器的输出端，会发现每路输出均有二极管进行隔离。这是因为电源工作状态要么是稳压，要么是恒流，除非负载恒定的情况，否则不存在同时保持稳压与恒流的状态。因此，两路误差放大器的输出会有所不同，若无二极管进行隔离，误差放大器之间则会相互影响。

2.1.3 PWM 比较器

误差放大器的输出为高低变化的电平信号，而电源调整需要的是占空比变化的 PWM 信号，PWM 比较器正是为了实现该信号的转换。如图 3 所示，PWM 比较器同相输入端接误差放大器输出，反相输入端接振荡器，电平信号与锯齿波进行比较，得到的结果即为与电平信号对应的 PWM 信号。

2.1.4 反相驱动

结合图 2 与图 3 对芯片中逻辑门工作状态进行分析。当 PWM 比较器输出高电平时，或门输出高电平，由于 13 脚接地，与非门输出高电平，或门输出的高

电平反相后和与非门的输出共同输入与门，与门输出低电平，输出管截止。由于输出管采用下拉输出，此时驱动输出低电平。同理，当 PWM 比较器输出低电平时，最终驱动输出高电平，从而实现了反相驱动。

反相驱动的目的是使电源可通过负反馈进行调整。根据 TL494 手册，反馈信号接误差放大器同相输入端，基准信号接误差放大器反相输入端。当输出电压或电流因某种原因上升，反馈信号升高，误差放大器输出升高，PWM 比较器输出占空比增大，若用此信号进行驱动，功率管导通时间延长，电压与电流将会进一步升高，该过程为正反馈，电源将失去稳定。对 PWM 比较器输出进行反相后，则反馈方式变为负反馈，因此电源可自行调整使得输出稳定。

2.2 自举驱动电路的功能及工作原理

如图 5 所示，由于 N 沟道场效应管具有更好的电性能，因此本项目的上下开关管均采用 N 沟道场效应管。然而，上管的驱动将会存在一些问题，由于驱动电路的输出信号以 GND 为参考点，而决定场效应管导通与截止的是栅源电压。当驱动下管时，由于源极接地，栅源电压等于 LIN，因此驱动不存在问题。而驱动上管时，初始状态 C1 未充电，上管源极电位为 GND，HIN 输出驱动信号的一瞬间，栅源电压等于 HIN，上管导通，随着电容充电，上管源极电位逐渐上升，栅源电压减小，最终稳定时 Q1 处于不完全导通状态。为使 HIN 输出驱动信号时上管保持导通，需时刻监测源极电位，源极电位升高时使驱动信号电平随之升高，该部分功能即由自举驱动电路实现。

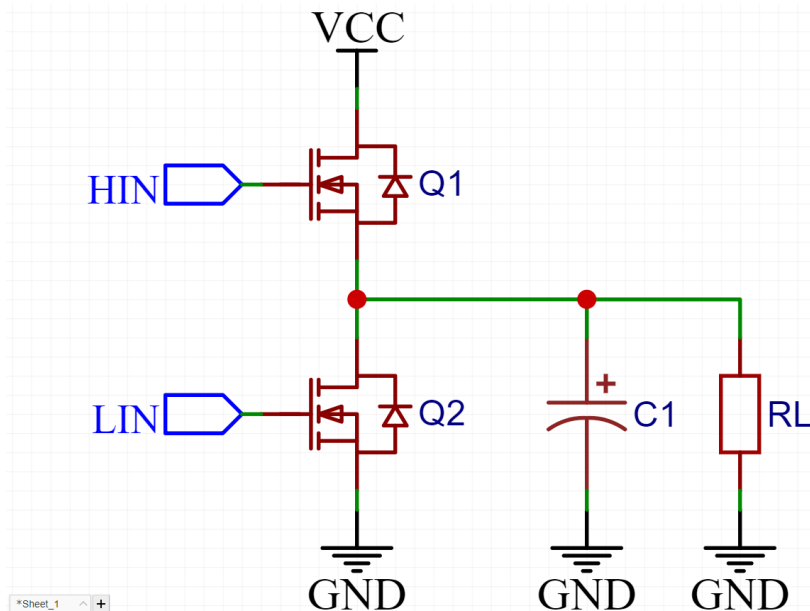


图 5 功率管示意图

项目中自举驱动芯片采用 IR2104，具体电路如图 6 所示，CN2 驱动上管，CN3 驱动下管，其两端子分别接栅极和源极。该芯片由 VCC 提供基本供电和下管驱动供电，VB 经二极管提供上管供电，因此下管驱动供电恒为 VCC，上管驱

动供电与源极电位有关。当驱动输出低电平时，下管导通，上管源极电位为 GND，因此 IR2104 的 VS 引脚电位为 GND，D1 导通向电容 C7 充电，充电结束后 VB 引脚电位变为 VCC。当下管截至，上管导通后，VS 电位升高，由于电容 C7 两端电压无法突变，且 D1 反向偏置使 C7 中电荷无法泄放至 VCC，因而 VB 引脚电位被抬升，从而使上管驱动输出升高，保证了上管栅源电压基本不变，实现了上管的稳定驱动。

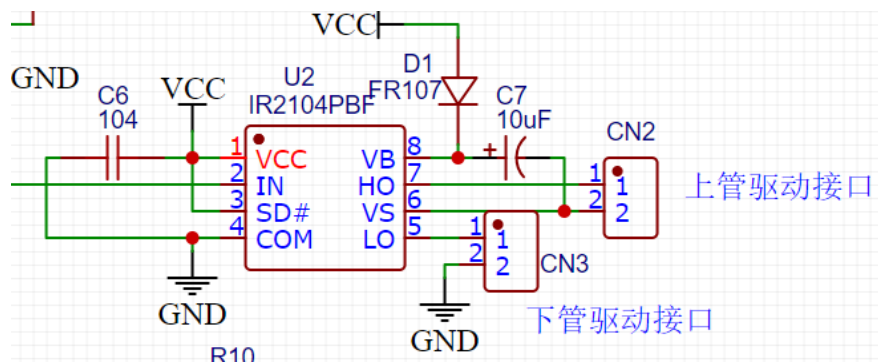


图 6 自举驱动示意图

3. 功率电路组成及原理

功率电路由功率管(Q1 和 Q2)、死区电路(R1、R2、D1、D2)、滤波电路(L1 以及 C1-C3)、电压采样电路(R3、R4)和电流采样电路(R5)构成。

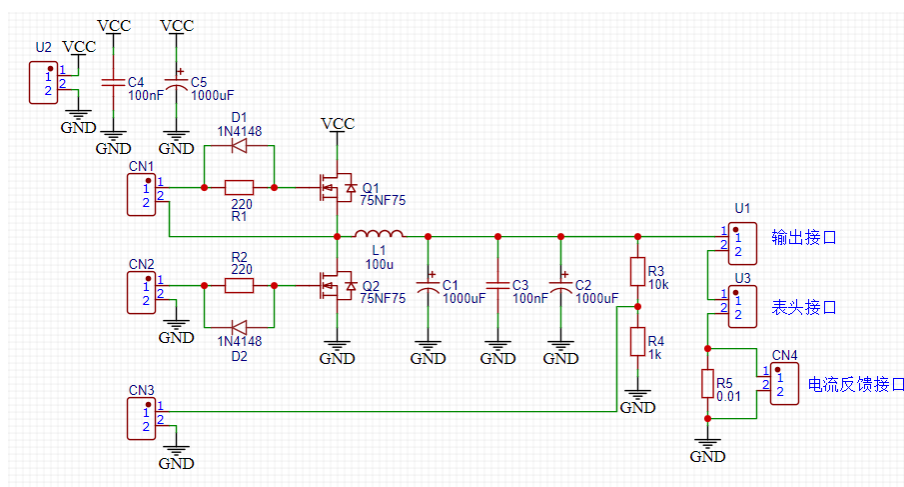


图 7 功率电路全图

3.1 功率管

功率管分为上管和下管，上管作为主开关，根据驱动电路的指挥进行开关，实现稳压恒流，下管主要起续流作用，保持输出稳定。当上管导通时，电源向电容充电，并提供电流给负载使用。上管截至时，由于电感 L1 中的电流不能突变，因此需提供电流通路释放能量，否则可能产生电弧损坏元件，续流可采用肖特基二极管或 MOS 管，分别称为异步整流和同步整流，由于同步整流具有损耗低、

效率高的特点，本项目采用 MOS 进行同步整流。功率管选型方面，根据 0-30V 的输出电压范围，应选用低压、大电流及低 $R_{DS(ON)}$ 的 MOS 管，例如 75NF75、IRFZ44、IPP37N08 等，考虑价格和易得性，本项目选用 75NF75。

3.2 滤波电路

项目中滤波电路由电感和电容构成，电感使输出电流平滑，电容使输出电压稳定。电感和电容容量越大，输出电压和电流越稳定，但同时上电瞬间冲击增大，成本和占用空间也将增大。考虑本项目输出电流、工作频率以及对稳定性的需求，电感选用 $100\mu\text{H}$ ，两只电容选用 $1000\mu\text{F}$ 。

3.3 电压电流采样电路

本项目中分压电阻 R_3 和 R_4 构成电压采样电路，对输出电压分压后反馈至驱动电路。电流采样由康铜丝 R_5 实现， R_5 两端电压与流过负载的电流呈线性关系，经电流采样放大器放大后反馈至驱动电路。因此，输出电压与恒流阈值计算公式如下：

$$U_O = U_{SET} \left(1 + \frac{R_3}{R_4} \right) \quad (3)$$

$$I_{th} = \frac{U_{ISET}}{AR_5} \quad (4)$$

其中， U_{SET} 和 U_{ISET} 分别为稳压误差放大器和恒流误差放大器设置的基准电压， A 为电流采样放大器的放大倍数。

3.4 死区电路

理想状态下，驱动信号消失后，MOS 管立刻截止，但实际电路中 MOS 管截止需要一定的时间，若上管还未关闭下管就导通，将会导致短路而烧毁 MOS 管。因此本项目设计了 R_1 、 R_2 、 D_1 、 D_2 组成的死区电路，该电路可延缓 MOS 管的导通时间，不影响截止时间，从而形成死区防止上下管直通。

4. 输入整流滤波电路组成及原理

输入整流滤波部分电路的功能，是将电源变压器输出的交流电转变为稳定的直流电，为功率电路、驱动电路以及电压电流表提供供电。输入整流滤波电路如图 8 所示，该电路包含三部分，分别为主电源、驱动供电以及表头供电。

三部分的输入来自于电源变压器，电压分别为双 24V、12V 和 12V，提供的功率分别为 150W、10W 和 10W。主电源采用两只二极管进行全波整流，相比于整流桥，减少两只二极管可降低损耗。驱动供电与主电源共地，由于整流滤波后主电源电压在 35V 左右，为 7812 稳压块的极限输入电压，不适合将主电源直接降压后作为驱动供电，本项目中选用一组 12V10W 绕组，经整流滤波后通过 7812 降压至 12V，并将其 GND 与主电源 GND 连接。

表头供电的设计需要额外注意，不能将其与主电源或驱动电源共地。常见的数显电压电流表供电负极与电流测量负极为连通状态。结合图 7 分析，若将表头供电与主电源共地，则图 7 中 U3 端子 2 脚电位为 GND，则电流采样康铜丝 R5 被短路，电源恒流功能将会出现异常。因此本项目中表头采用独立供电，将变压器另一组 12V10W 绕组整流滤波后，经 7812 降压至 12V，仅为表头提供供电，不与另外两路电源共地。

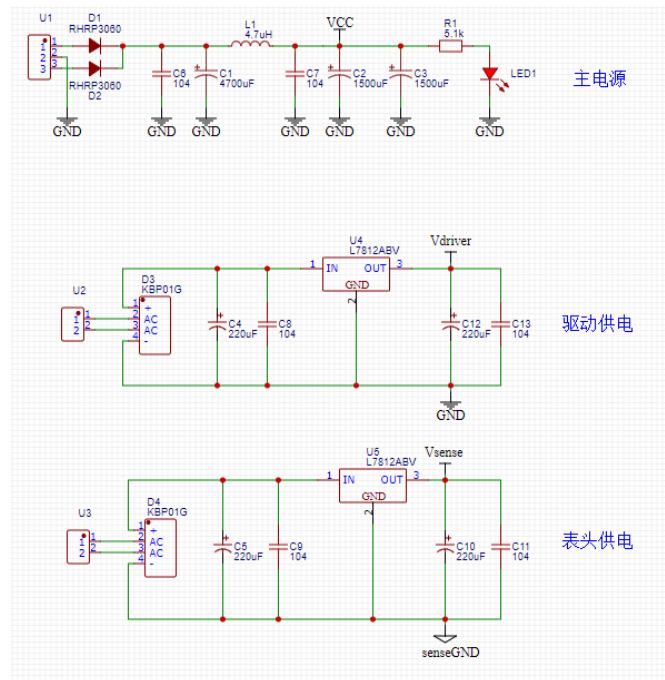


图 8 输入整流滤波电路图