

第3章

直流稳压电源设计

3.1 概述

直流稳压电源将交流电网电压转换成直流电压,为电子系统提供工作电源,是电子系统的重要组成部分。现代电子系统涉及的芯片越来越多,芯片功耗越来越大,对电源的要求也越来越高。早期的单独由5V电源供电的电子系统已经极少见了。现代电子系统的电源除了要提供多种多样电压,如1.2V、1.8V、2.5V、3.3V和5V等,还要求大电流、高精度、低噪声和高效率等。例如,第10章将要介绍的DDS信号发生器就需要多种电源,如图3.1-1所示。

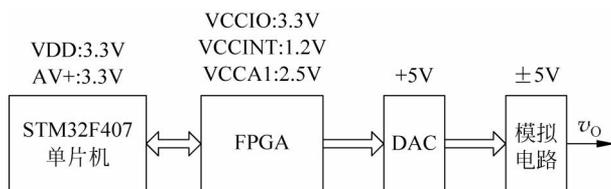


图 3.1-1 DDS 信号发生器对电源的要求

直流稳压电源的基本组成如图3.1-2所示,由变压器、整流电路、滤波电路、稳压电路几部分组成。

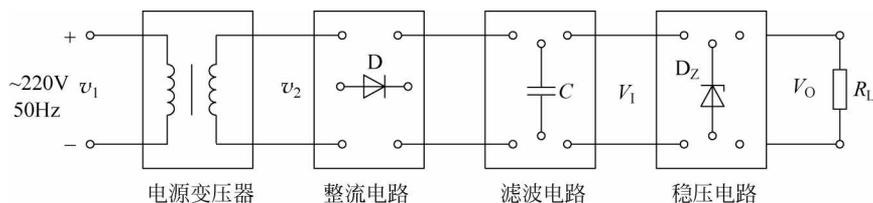


图 3.1-2 直流稳压电源的组成

整流电路的功能是利用二极管的单向导电性,将正弦交流电压转换成单向脉动电压。常见的整流电路有半波整流、全波整流和桥式整流几种类型。

滤波电路的作用是滤除整流电压中的纹波。常用的滤波电路有电容滤波电路、电感电容滤波电路、 π 型滤波电路等。

稳压电路的作用是当输入电压 V_1 发生变化或者负载 R_L 发生变化时,能维持输出电压 V_O 不变,是直流稳压电源的最关键的一部分,它的性能好坏对整个电源的影响很大。常用的稳压电路有三种类型:线性稳压电路、电感型开关稳压电路、电荷泵开关稳压电路。三种稳压电路的原理框图如图3.1-3所示。

三种稳压电路的比较如表3.1-1所示。

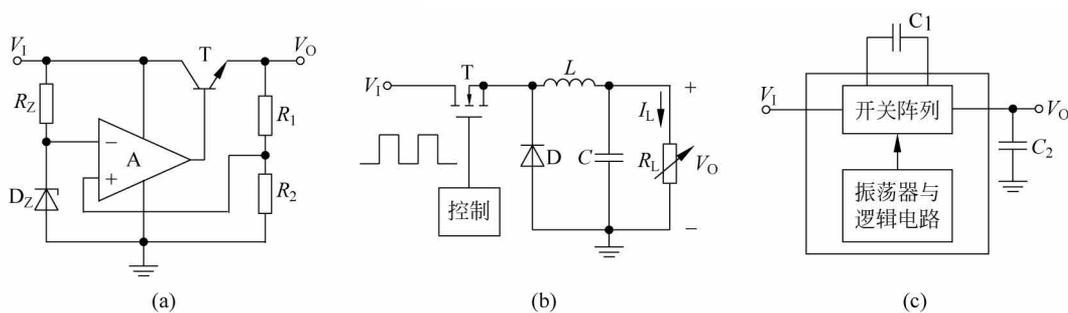


图 3.1-3 三种常用的稳压电路

(a) 线性稳压电路; (b) 电感型开关稳压电路; (c) 电荷泵开关稳压电路

表 3.1-1 三种稳压电路的性能比较

指标	线性稳压电路	电感型开关稳压电路	电荷泵开关稳压电路
效率	20%~60%	90%~95%	75%~90%
PCB 面积	很少, 外部元件两个 电容	最大, 外部元件大电感, 两个电容	中等, 外部元件 3~4 个 电容
纹波	很小	中等	稍大
电磁干扰(EMI)	很小	稍大	中等
成本	最低	最高	中等

直流稳压电源主要有以下技术指标:

1) 最大输出电流

指稳压电源正常工作情况下能输出的最大电流, 用 I_{Omax} 表示。稳压电源正常工作时的的工作电流 $I_O < I_{Omax}$ 。为了防止 $I_O > I_{Omax}$ 时或输出与地短路时损坏稳压电源, 稳压电源应设有过流保护电路。

2) 输出电压

稳压电源正常工作时的输出电压值, 用 V_O 表示。

输出电压和输出电流是稳压电源最主要的参数, 它们可以采用图 3.1-4 所示的测试电路来测量。测试方法是: 先将滑线变阻器 R_L 设为最大值, 电压表测得的电压值即为 V_O 。逐渐减小 R_L , 直到 V_O 的值下降 5%, 此时电流表测得的电流即为 I_{Omax} 。注意, 测得 I_{Omax} 值后, 应迅速增大 R_L , 以免稳压电源功耗过大。

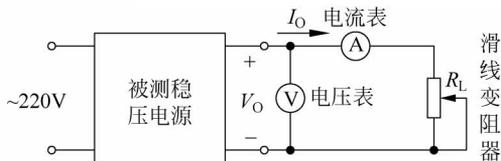


图 3.1-4 I_{Omax} 和 V_O 测量电路

3) 纹波电压

纹波电压指叠加在 V_O 上的交流分量, 其峰峰值 ΔV_{Opp} 一般为 mV 级。通常采用示

波器(采用交流耦合方式)观测纹波电压峰峰值,也可用交流电压表测量其有效值。

4) 电压调整率、负载调整率

理想的稳压电源输出电压应是恒定不变的,但实际稳压电源的输出电压受交流电网电压波动、负载的变化、温度的变化等因数影响而发生改变。通常用电压调整率和负载调整率两个参数来表示稳压电源输出电压受输入电压、负载的影响程度。

电压调整率是指在负载和温度恒定的条件下,输入电压变化时,引起输出电压的相对变化,即

$$S_V = \frac{\Delta V_O / V_O}{\Delta V_I} \times 100\% \quad (3.1-1)$$

S_V 表示 V_I 变化时能够维持 V_O 基本不变的能力,直接反映了稳压电源的稳压特性,是一个非常重要的技术指标。有时也以输出电压和输入电压的相对变化之比来表征稳压性能,称为稳压系数,其定义可写为

$$\lambda = \frac{\Delta V_O / V_O}{\Delta V_I / V_I} \times 100\% \quad (3.1-2)$$

负载调整率是指负载电流从零变到最大时,输出电压的相对变化,即

$$S_I = \frac{\Delta V_O}{V_O} \times 100\% \quad (3.1-3)$$

5) 输出电阻

在输入电压不变的情况下,输出电流的变化 ΔI_O 引起输出电压的变化 ΔV_O ,其表达式为

$$R_O = \frac{\Delta V_O}{\Delta I_O} \quad (3.1-4)$$

R_O 的大小表示稳压电路带负载能力的强弱。 R_O 越小带负载能力越强。

3.2 线性直流稳压电源设计



1. 固定式线性稳压电源设计

线性直流稳压电源是指将频率为 50Hz、有效值为 220V 的单相交流电压转化为电压不高但十分稳定的直流电源,其特点是:输出电压比输入电压低,纹波电压较小,工作产生的噪声低;但发热量大、效率较低、体积大。在电子系统设计中,线性直流稳压电源主要用于模拟电路的供电。以下通过一个实例介绍线性直流稳压电源的电路组成、主要元件参数计算。

例 3.2-1 设计一线性直流稳压电源,要求输出 $\pm 5V$ 的直流电压,输出电流 I_O 为 1A。假设交流输入电压为 220V、50Hz,电压波动范围为 $+10\% \sim -10\%$ 。

解: 线性直流稳压电源原理图如图 3.2-1 所示。TR 为电源变压器,次级线圈带中间抽头。B1 为四只二极管组成的桥式整流电路。 C_1 、 C_4 、 C_5 、 C_8 为滤波电容, C_2 、 C_3 、 C_6 、 C_7 用于旁路高频干扰脉冲及改善纹波。稳压电路采用三端固定式集成稳压器,F1 和 F2

为熔断丝,起到过流保护作用,实际电路中可选用 PTC 自恢复保险丝。LED1、LED2 为电源指示二极管。

本设计的主要任务是根据性能指标要求正确地选定集成稳压器、变压器、整流二极管及滤波电容。

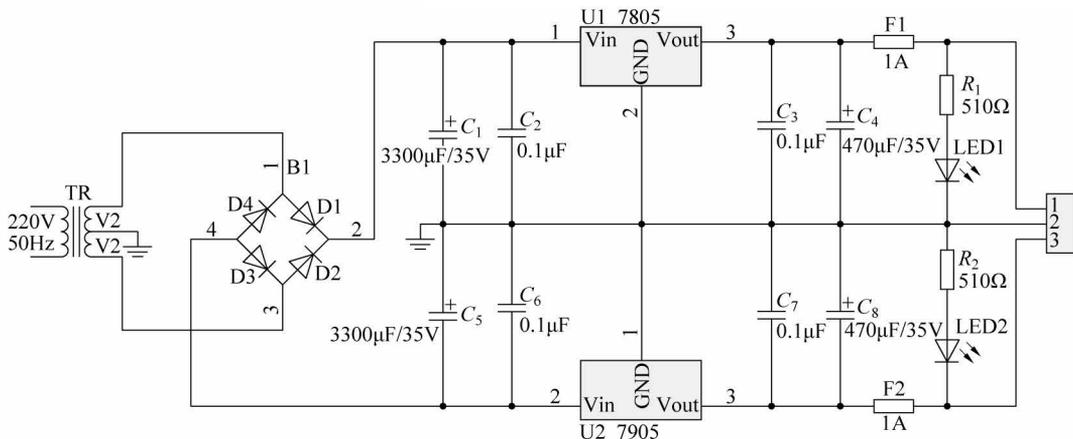


图 3.2-1 ±5V 的直流稳压电源的原理图

1) 集成稳压器的选择

线性稳压电路最常用的是三端固定式集成稳压器。三端集成稳压器只有输入端、输出端和公共端三个引脚,从而使设计和应用都得到了极大简化。

三端固定式集成稳压器最常用的产品为 78XX 系列和 79XX 系列。78XX 系列为正电压输出,79XX 为负电压输出。型号中最末两位数字表示它们输出电压值,如 7805 表示输出电压为 +5V,7912 表示输出电压为 -12V。78XX 系列和 79XX 系列的输出电压有 5V、6V、8V、9V、10V、12V、15V、18V、24V 等 9 种不同的挡位,输出电压精度为 $\pm 2\% \sim \pm 4\%$ 。78XX 系列和 79XX 系列的输出电流也有不同的挡位。经常使用的有输出电流为 100mA 的 78LXX/79LXX、输出电流为 500mA 的 78MXX/79MXX、输出电流为 1A 的 78XX/79XX 和输出电流为 1.5A 的 78HXX/79HXX 四个系列。

根据本设计直流稳压电源输出电压和输出电流的指标,三端集成稳压器的型号应选用 7805 和 7905。7805 和 7905 输出电压分别为 +5V 和 -5V,输出电流为 1.0A,满足设计要求。

在使用 7805 和 7905 时要注意以下几点:

- ① 引脚不能接错。图 3.2-2 所示为 7805/7905 和 78L05/79L05 引脚排列和外形图。
- ② 要注意稳压器的散热。从图 3.1-3(a)所示的线性稳压电路原理框图可知,调整管 T 的功耗等于输入输出电压差和输出电流的乘积。T 的功耗几乎全部变成热量,使稳压器温度升高。若发热量比较少时,可以依靠稳压器的封装自行散热。当稳压器输出电流增大,则发热量增大,必须加适当的散热片。

③ 稳压器的输入电压 V_1 应处在一定的范围。稳压器的输入电压 V_1 可由下式确定:

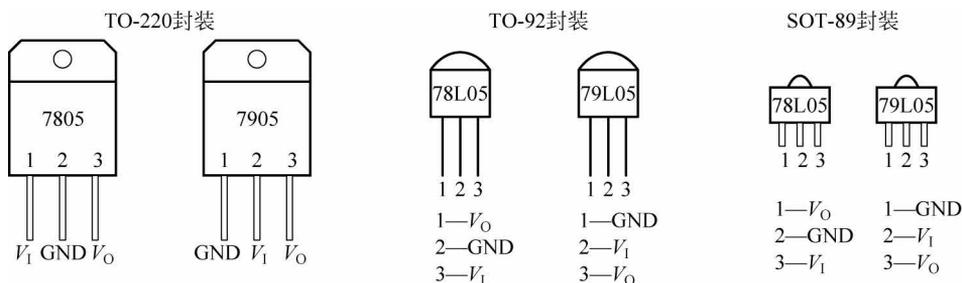


图 3.2-2 7805/7905 和 78L05/79L05 引脚排列和外形图

$$V_{\text{Imin}} \leq V_1 \leq V_{\text{Imax}} \quad (3.2-1)$$

式中, V_{Imin} 为稳压器的最小输入电压; V_{Imax} 为稳压器的最大输入电压。

V_{Imax} 和 V_{Imin} 由集成稳压器的数据手册提供,以 LM7805 为例,其 V_{Imax} 和 V_{Imin} 的值分别为 35V 和 7.2V。因此,稳压器的输入电压应大于 7.2V 小于 35V。

2) 电源变压器的选择

通常根据变压器副边输出的功率 P_2 来选择变压器。副边输出的功率 P_2 取决于输出电压和输出电流。对于容性负载,变压器副边的输出电压有效值 V_2 与稳压器输入电压 V_1 的关系为

$$V_2 = V_1 / (1.1 \sim 1.2) \quad (3.2-2)$$

由于 V_1 越大,集成稳压器的压差越大,功耗也就越大。 V_1 在满足式(3.2-1)的前提下不宜取太大,考虑交流电压的波动, V_1 取 9V 比较适宜。根据式(3.2-2),变压器副边电压 V_2 取 8V。注意该副边电压 V_2 是指图 3.2-1 中变压器副边中间抽头与两边接线端之间的电压,加到二极管整流桥上的电压应为 $2 \times 8\text{V} = 16\text{V}$ 。

变压器副边侧的输出电流 $I_2 \geq I_{\text{Omax}} = 1\text{A}$,变压器副边输出功率 $P_2 = I_2 V_2 = 16\text{W}$ 。由表 3.2-1 可得变压器效率 $\eta = 0.7$,则原边输入功率 $P_1 \geq P_2 / \eta = 16 / 0.7 = 22.85(\text{W})$,可选功率为 25W 的变压器。

表 3.2-1 小型变压器效率

副边功率 P_2/W	<10	10~30	30~80	80~200
效率 η	0.6	0.7	0.8	0.85

3) 滤波电容选取

电容的参数包括耐压值和电容值两项。耐压值比较容易确定,对于稳压器输入侧的电容,其耐压值只要大于 $\sqrt{2} V_2$ 即可;对于稳压器输出侧的滤波电容,其耐压值大于 V_0 即可。对于电容值的选取,可以遵循以下原则:

① C_2 、 C_3 、 C_6 、 C_7 的作用是减少纹波、消振、抑制高频脉冲干扰,可采用 0.1~0.47 μF 的陶瓷电容;

② C_4 、 C_8 为稳压器输出侧滤波电容,起到减少纹波的作用,根据经验,一般电容值选

取 $47 \sim 470 \mu\text{F}$;

③ C_1 、 C_5 为稳压器输入侧的滤波电容,其作用是将整流桥输出的直流脉动电压转换成纹波较小的直流电压。 C_1 、 C_5 滤波电容在工作中由充电和放电两部分组成。为了取得比较好的滤波效果,要求电容的放电时间常数大于充电周期的 3~5 倍。对于桥式整流电路,电容的充电周期为交流电源的半周期(10ms),而放电时间常数为 $R_L C$,因此, C_1 、 C_5 滤波电容值可以采用以下公式估算:

$$C \geq (3 \sim 5) \frac{T}{2R_L} \quad (3.2-3)$$

式中, T 为交流电源的周期; R_L 为等效直流电阻。稳压器的输入电压 V_1 约为 9V,最大输入电流为 1A,等效直流电阻 R_L 为

$$R_L = \frac{9\text{V}}{1\text{A}} = 9\Omega$$

取电容的放电时间常数等于充电周期的 3 倍,根据式(3.2-3)得

$$C = 3 \times \frac{0.02\text{s}}{2 \times 9\Omega} \approx 3300\mu\text{F}$$

从上述估算中也可以看到,滤波电容的取值与稳压电源的输出电流直接相关,输出电流越大,滤波电容的容量也越大。有时直接根据输出电流大小选取滤波电容,其经验数据为 I_O 在 1A 左右, C 选用 $4000\mu\text{F}$ 左右电容, I_O 在 100mA 以下时, C 选用 $200 \sim 500\mu\text{F}$ 电容。

4) 整流二极管选取

整流电路是由四只完全相同的二极管组成的。为了缩小体积,通常选用将四只二极管封装在一起的整流桥堆来构成整流电路。整流桥堆的引脚排列和内部电路如图 3.2-3 所示。整流二极管 $D1 \sim D4$ 的反向击穿电压 V_{RM} 应满足 $V_{\text{RM}} > 2\sqrt{2}V_2$,额定工作电流应满足 $I_{\text{F}} > I_{\text{Omax}}$ 。

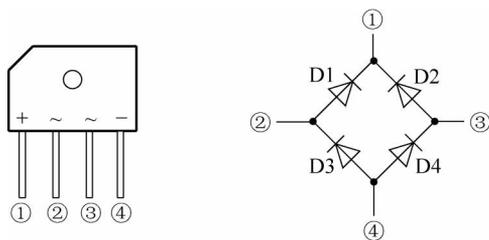


图 3.2-3 二极管整流桥堆

5) 自恢复保险丝选取

为了防止稳压电源输出短路或过载,输出级一般应加过流保护装置。常用的过流保护器件有自恢复保险丝(PTC)。PTC 由经过特殊处理的聚合树脂及分布在里面的导电粒子组成。PTC 元件串接在电路中,正常情况下呈低阻状态,保证电路正常工作,当电路发生短路或电流超过允许值时,元件的自热使其阻抗增加,把电流限制到足够小,起到过电流保护作用。当产生过流过热的故障得到排除,PTC 自动复原到低阻状态。在选择 PTC 元件时,主要考虑两个参数:一是 PTC 元件所能承受的最大电压;二是在正常工作状态下,通过 PTC 元件的电流值。

6) 电源过流时的报警电路

虽然图 3.2-1 所示电路中采用了自恢复保险丝,在电源过流或者短路时能起到保护

作用,但如果能增加报警电路以提醒使用者及时排除故障将具有重要意义。图 3.2-4 为报警电路原理图。

在由运放构成的电压比较器上,+5V(7805)、-5V(7905)是集成稳压器输出端的电压,即自恢复保险丝之前的电压,+5V_{out}、-5V_{out}为自恢复保险丝之后的电压,即稳压电源的输出电压。当电路发生过流或短路时,相应指示二极管 LED1 或 LED2 熄灭,自恢复保险丝温度升高,电阻增大,使输出电压下降,由运放构成的比较器输出低电平,驱动蜂鸣器发出报警声。

许多高性能的模拟集成电路成本比较高,通常在电源输入端都接有保护二极管,如图 3.2-5 所示。当电源接反时,保护二极管导通,产生过流,电源报警电路就会产生报警声,以便及时排除故障从而有效保护模拟集成器件。

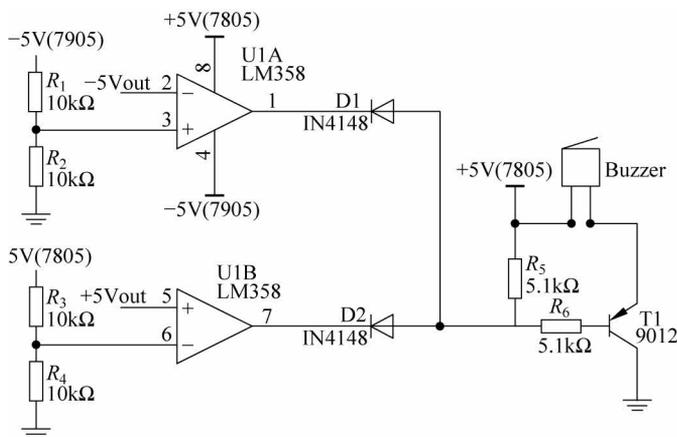


图 3.2-4 电源过流报警电路

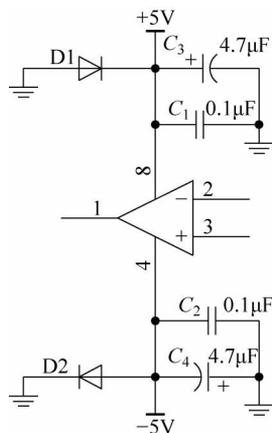


图 3.2-5 运放电源输入端的保护二极管

2. 可调式直流稳压电源设计

为了使稳压电源的输出电压可调,可采用可调式三端线性集成稳压器,如 LM317、LM337 等。可调式集成稳压器只需要外接两只电阻即可在相当大的范围内调节输出电压。LM317 稳压器输出连续可调的正电压,LM337 稳压器输出连续可调的负电压,可调范围为 1.2~37V,最大输出电流 I_{Omax} 为 1.5A。LM317 与 LM337 内部含有过流、过热保护电路,具有安全可靠、性能优良、不易损坏、使用方便等优点。LM317 与 LM337 的电压调整率和负载调整率均优于固定集成稳压器构成的可调电压稳压电源。LM317 和 LM337 的引脚排列和使用方法相同,其引脚排列和典型的连接图如图 3.2-6 所示。

在忽略调整脚电流 I_{adj} (一般为 0.05~0.1mA) 的情况下,可写出输出电压 V_o 的表达式为

$$V_o = 1.25V \times \left(1 + \frac{RP_1}{R_1} \right) \quad (3.2-4)$$

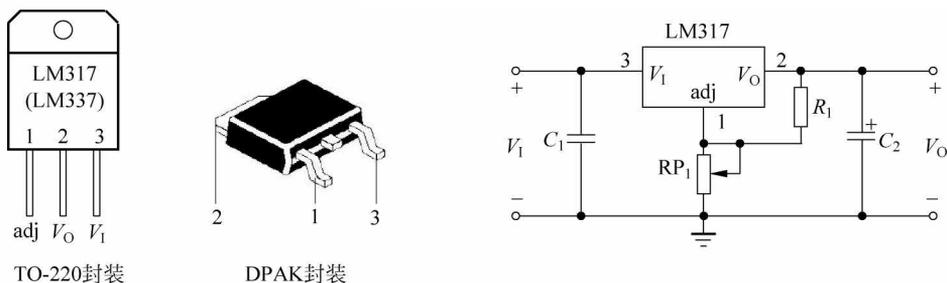


图 3.2-6 LM317 的引脚排列和典型连接图

式中, 1.25V 是集成稳压块输出端和调整端之间的固有参考电压 V_{REF} , 此电压加于给定电阻 R_1 两端, 将产生一个恒定电流通过输出电压调节器 RP_1 。电阻 R_1 常取值 $120 \sim 240\Omega$, RP_1 一般使用精密电位器。

例 3.2-2 试设计一可调式集成稳压电源, 其性能指标为: $V_O = +3\text{V} \sim +9\text{V}$, $I_{\text{Omax}} = 800\text{mA}$ 。

解: 1) 确定电路形式

可调稳压电源的电路如图 3.2-7 所示。

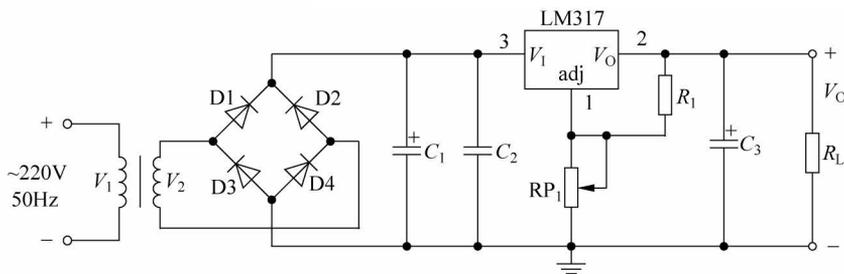


图 3.2-7 例 3.2-2 设计原理图

2) 选集成稳压器

选用可调式三端稳压器 LM317, 其特性参数: V_O 为 $1.2 \sim 37\text{V}$, I_{Omax} 为 1.5A , 最小输入输出压差 $(V_1 - V_O)_{\text{min}}$ 为 3V , 最大输入输出压差 $(V_1 - V_O)_{\text{max}}$ 为 40V 。

3) 选电源变压器

通常根据变压器的副边输出功率 P_2 选购变压器。由式(3.2-1)可得 LM317 的输入电压 V_1 的范围为

$$V_{\text{Omax}} + (V_1 - V_O)_{\text{min}} \leq V_1 \leq V_{\text{Omin}} + (V_1 - V_O)_{\text{max}}$$

则

$$9\text{V} + 3\text{V} \leq V_1 \leq 3\text{V} + 40\text{V}$$

$$12\text{V} \leq V_1 \leq 43\text{V}$$

由式(3.2-2)得

$$V_2 \geq V_{1\text{min}}/1.1 = 12/1.1\text{V} = 11\text{V}$$

$$I_2 \geq I_{\text{Omax}} = 0.8\text{A}, \text{取 } I_2 = 1\text{A}, \text{变压器副边输出功率 } P_2 \geq I_1 V_2 = 11\text{W}。$$

由表 3.2-1 可得变压器效率 $\eta=0.7$, 则原边输入功率 $P_1 \geq P_2/\eta=15.7\text{W}$ 。为留有余量, 一般选功率为 20W 的变压器。

4) 选整流二极管

整流二极管承受的反向电压 V_{RM} 应大于 $\sqrt{2}V_2=15.6\text{V}$, 二极管的最大整流电流 I_{F} 应大于电源最大输出电流 $I_{\text{Omax}}=0.8\text{A}$ 。整流二极管 D1~D4 选 1N4001, 其极限参数为 $V_{\text{RM}} \geq 50\text{V}$, $I_{\text{F}}=1\text{A}$, 满足要求。

5) 选滤波电容

稳压器的输入电压 V_1 最小值为 12V , 工作电流为 800mA , 等效直流电阻为

$$R_{\text{L}} = \frac{12\text{V}}{0.8\text{A}} = 15\Omega$$

根据式(3.2-3)得

$$C_1 = 5 \times \frac{0.02\text{s}}{2 \times 15\Omega} \approx 3300\mu\text{F}$$

电容 C_1 的耐压应大于 $\sqrt{2}V_2=15.6\text{V}$ 。



3.3 开关直流稳压电源设计

DC/DC 变换器就是直流/直流变换器, 是开关型稳压电源的核心组成部分。在电源设计中, DC/DC 变换是一种非常有用的技术, 其主要优点是: ①便于电源的标准化, 有利于简化电源设备。一个电子系统可能需要多种电源, 在制作电源时, 可以只制作一路电源, 然后采用 DC/DC 技术得到电子系统中的多路电源。②实现浮地供电。当有些场合需要浮地供电时, 就用变压器隔离的 DC/DC 变换器实现浮地供电。

DC/DC 变换器的基本类型有降压型(Buck 变换器)、升压型(Boost 变换器)、极性反转型(Buck-Boost 变换器)。

3.3.1 降压型 DC/DC 变换电路设计

降压型 DC/DC 变换器原理图如图 3.3-1 所示。该电路由两部分组成, 第一部分是由功率开关管 VT 组成的逆变器, 在脉冲信号 v_{GS} 的控制下, 将输入直流电压 V_1 变成脉冲信号。第二部分是由 L 、 C 组成的低通滤波器。

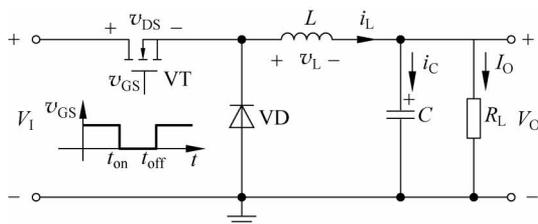


图 3.3-1 降压型 DC/DC 变换器原理电路

当 v_{GS} 为高电平时,VT 饱和导通,二极管 VD 承受反向电压而截止,等效电路如图 3.3-2(a)所示。输入电压 V_1 通过电感 L 、负载电阻 R_L 和滤波电容 C 产生电流 i_L 。由于流过电感的电流不能突变,在电感未饱和之前,电感两端产生左正右负的电动势 v_L ,电流 i_L 线性增加,电感 L 储存能量。在电流上升初期,负载电流 I_O 由电流 i_L 和电容 C 的放电电流 i_C 共同形成,输出电压 $V_O = R_L I_O$ 。当电流 i_L 上升到大于 I_O 时, i_L 提供负载电流 I_O 并对电容 C 充电。

当 v_{GS} 为低电平时,VT 由导通变为截止,等效电路如图 3.3-2(b)所示。滤波电感为了维持电流不变,产生左负右正的电动势 v_L ,使二极管 VD 导通(图中用 V_D 表示二极管导通时的压降),于是电感中储存的能量通过 VD 向负载 R_L 释放,使负载 R_L 继续有电流流过,因而,VD 也常称为续流二极管。随着电感内部磁能释放,电流 i_L 逐渐减小。当电流 i_L 减小到小于 I_O 时,电容 C 开始放电以维持负载电流 I_O 基本不变。

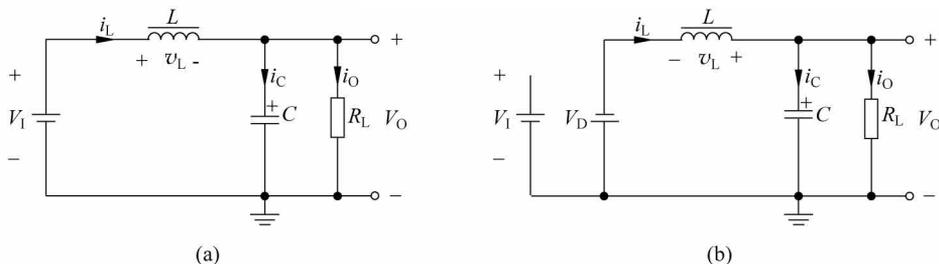


图 3.3-2 降压型 DC/DC 变换器等效电路

(a) VT 管导通时; (b) VT 管截止时

假设 t_{on} 是 VT 的导通时间, t_{off} 是 VT 的截止时间。在 t_{on} 时间段内,电感电流增加,电感储能;而在 t_{off} 时间段内,电感电流减小,电感释能。一个周期内电感电流平均增量为零。不难分析得到,在忽略滤波电感 L 直流压降的情况下,输出电压的平均值为

$$V_O = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \times V_1 = D \times V_1 \quad (3.3-1)$$

式中, D 为 v_{GS} 的占空比,由式可见,对于一定的 V_1 值,在开关转换周期不变的情况下,通过调节占空比即可调节输出电压 V_O 。由于 $D \leq 1$,因此, $V_O \leq V_1$,图 3.3-1 所示电路称为降压型 DC/DC 变换电路。虽然 VT 处于开关工作状态,但由于二极管 VD 的续流作用和 L 、 C 的滤波作用,输出电压是比较平稳的。

图 3.3-3 所示为降压型 DC/DC 电路。该电路采用降压型 DC/DC 芯片 TPS5430,输入电压范围为 $5.5 \sim 36\text{V}$,输出电压可低至 1.22V ,输出电流可达 3A 。输出电压通过 R_1 和 R_2 调节,如式(3.3-2)所示。

$$V_O = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \times V_{REF} \quad (3.3-2)$$

式中, V_{REF} 为参考电压,根据数据手册,其电压值为 1.22V 。假设要求输出电压 V_O 为 3.3V , R_1 取 $10\text{k}\Omega$,则由式(3.3-2)可计算得到 R_2 的值为 $5.87\text{k}\Omega$,在图 3.3-3 中由 $2\text{k}\Omega$ 和 $3.9\text{k}\Omega$ 两只电阻串联得到。

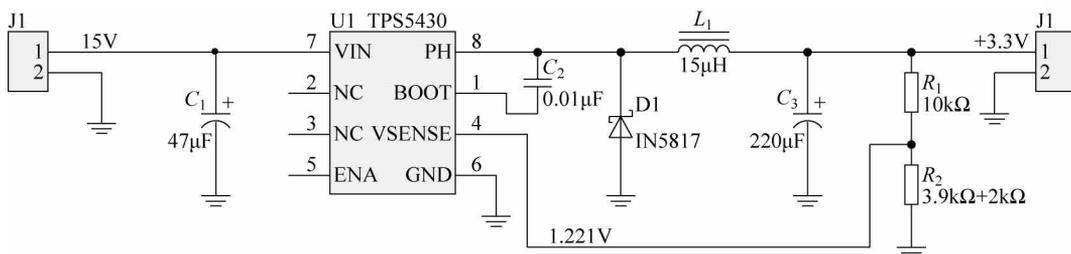


图 3.3-3 降压型 DC/DC 电路的原理图

3.3.2 升压型 DC/DC 变换电路设计

升压型 DC/DC 变换器原理图如图 3.3-4 所示，与图 3.3-1 所示的降压型电路所用元件相同，但拓扑结构不同。

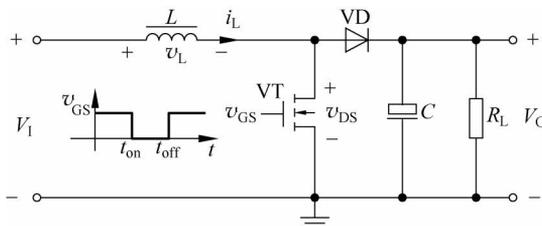


图 3.3-4 升压型 DC/DC 变换器原理电路

当 v_{GS} 为高电平时，VT 饱和导通，其等效电路如图 3.3-5(a) 所示。输入电压 V_1 直接加到电感 L 两端，电感 L 产生左正右负的感应电势， i_L 线性增加， L 储存能量。二极管 VD 反向截止，此时，电容 C 向负载提供电流，并维持 V_O 不变。当 v_{GS} 为低电平时，VT 截止，其等效电路如图 3.3-5(b) 所示。由于 i_L 不能突变，电感产生左负右正感应电势，此时， v_L 与 V_1 相加。当 $V_1 + v_L > V_O$ 时，VD 导通， $V_1 + v_L$ 给负载提供电流，同时又向 C 充电。由于输出电压 $V_O > V_1$ ，图 3.3-4 所示电路称升压型开关稳压电路，输入侧的电感常称升压电感。

VT 管饱和导通时，储能电感 L 中增加的电流数值为

$$\Delta i_{L1} = \frac{V_1}{L} \times t_{on}$$

VT 管截止时，储能电感 L 中减少的电流数值为

$$\Delta i_{L2} = \frac{V_1 - V_O - V_D}{L} \times t_{off}$$

只有储能电感 L 中增加的电流数值等于减少的电流数值，电路才能达到动态平衡，才能符合稳压电源正常工作最基本的条件，才能给负载电阻 R_L 提供一个稳定的输出电压。因此就有

$$\frac{V_1}{L} \times t_{on} = \frac{V_1 - V_O - V_D}{L} \times t_{off}$$

忽略二极管 VD 的压降可得

$$V_O = \frac{t_{on}}{t_{off}} \times V_1 = \frac{D}{1-D} \times V_1 \quad (3.3-3)$$

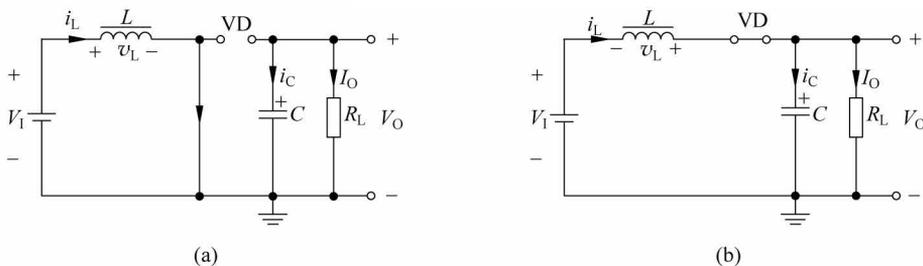


图 3.3-5 升压型 DC/DC 变换器等效电路

(a) VT 管饱和和导通时; (b) VT 管截止时

图 3.3-6 所示为升压型 DC/DC 电路的原理图。该电路采用升压型 DC/DC 芯片 TPS61040, 输入电压范围为 1.8~6V, 输出电流最大可以达到 400mA。输出电压通过 R_1 和 R_2 调节, 如式(3.3-4)所示。

$$V_O = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \times V_{REF} \quad (3.3-4)$$

式中, V_{REF} 为参考电压, 根据数据手册, 其电压值为 1.233V。假设要求输出电压 V_{out} 为 15V, R_1 取 1.2M Ω , 则 R_2 的值可由式(3.3-4)计算得到 107.4k Ω , 在图 3.3-6 中由 100k Ω 和 6.8k Ω 两只电阻串联得到。

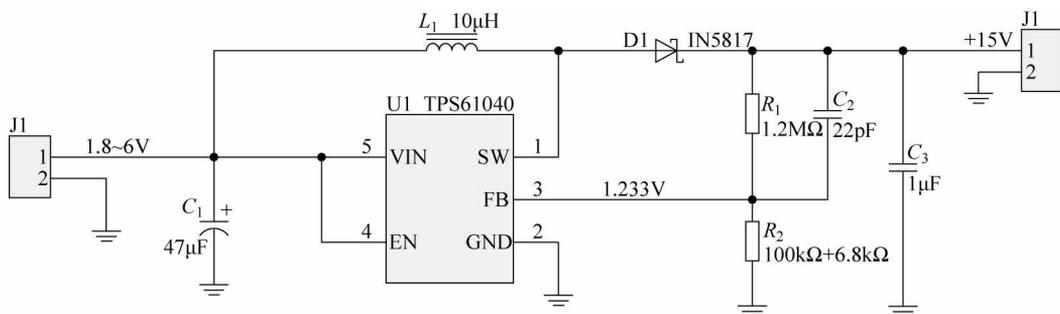


图 3.3-6 升压型 DC/DC 电路的原理图

3.3.3 极性反转型 DC/DC 变换电路设计

极性反转型 DC/DC 变换器原理图如图 3.3-7 所示。当 v_{GS} 为高电平时, 开关管 VT 导通, V_1 加在线圈 L 两端, L 两端感应的电压 v_L 上正下负, VD 截止, L 开始储能, i_L 线

性增大。当 v_{GS} 为低电平时,VT 截止, L 两端的反电动势 v_L 为上负下正,二极管 VD 导通,负载 R_L 上得到经过电容 C 滤波、与反电动势 v_L 极性相同的直流输出电压 V_O 。由于反电动势 v_L 与输入电压 V_I 极性相反,因此输出电压 V_O 与 V_I 的极性相反,故称为极性反转型变换器。

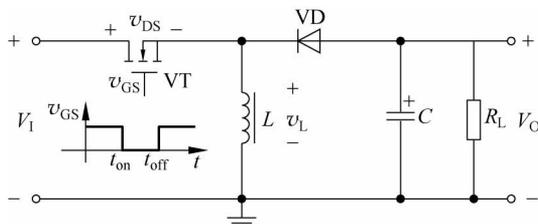


图 3.3-7 极性反转型 DC/DC 变换器原理电路

极性反转 DC/DC(-5V,200mA)电路的原理图如图 3.3-8 所示。

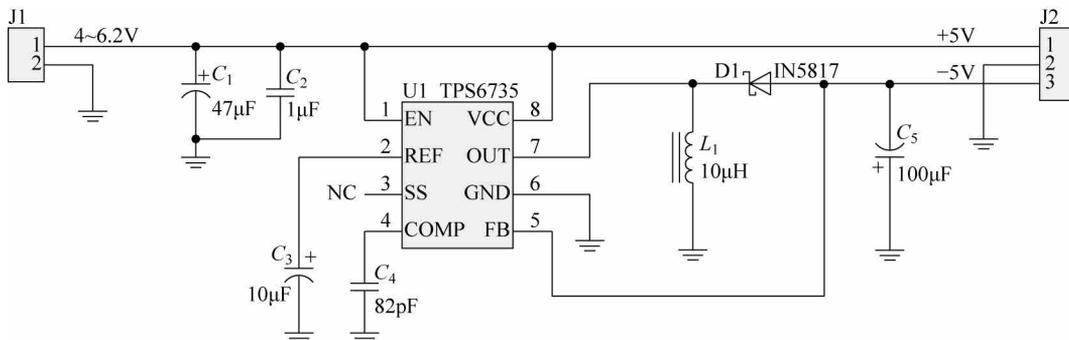


图 3.3-8 极性反转 DC/DC(-5V,200mA)电路原理图

思考题

1. 线性稳压电源中,电解电容的参数如何确定?
2. 简述开关电源和线性稳压电源的区别和特点。
3. 什么是低压差线性稳压器?
4. 什么是基准电压源? 其主要的参数是什么?
5. 在降压式 DC/DC 稳压电源中,电感的参数如何选取?
6. 在电感型 DC/DC 稳压器中,在开关频率不变的情况下,(增大,减小)电感值可以减小输出电流波动;在电感值不变的情况下,(提高,降低)开关频率可以减小输出电流波动。
7. 在电感型 DC/DC 稳压器中,在开关频率不变的情况下,(增大,减小)电容值可以减小输出电压波动;在电容值不变的情况下,(提高,降低)开关频率可以减小输出电压波动。

8. LM2662 为典型电荷泵 DC/DC 电路,通过查阅数据手册,画出 LM2662 实现 $+5\text{V}\rightarrow-5\text{V}$ 的电路原理图。

设计训练题

设计题一 可调直流稳压电源设计

在输入直流电压 15V(可由实验室直流稳压电源提供)条件下,制作输出电压可调稳压电源,要求:

- (1) 输出电压可调范围 $+9\sim+12\text{V}$;
 - (2) 最大输出电流: 1.0A;
 - (3) 电压调整率 $\leq 0.2\%$ (输入电压变化范围为 15~18V 条件下,满载);
 - (4) 负载调整率 $\leq 1\%$ (输入电压为 15V,空载到满载);
 - (5) 纹波电压(峰峰值) $\leq 10\text{mV}$;
 - (6) 效率 $\geq 40\%$;
 - (7) 其他功能,如过流保护、过热保护。
- (以上电源制作不能采用集成稳压芯片。)



设计题二 $24\text{V}\rightarrow\pm 5\text{V}$ 直流稳压电源设计

从 24V 转变成 $+5\text{V}$,再得到 -5V 电源。选择合适芯片,画出原理图。要考虑效率。(从 24V 到 5V 有两种方案,一种方案是直接通过 DC/DC 到 5V,一种是先通过 DC/DC 到 8V,再通过 7805 三端稳压集成电路到 $+5\text{V}$)。

