

事实上,衡量开关电源的瞬态反应,不是看它从负载变化到电源恢复正常值用多长时间,而是看它偏离正常电压值的多少。例如,对于一个直流5V输出的开关电源,若负载增加了25%,它下降了250mV,也就不能满足TTL电路的要求了,在进行LC滤波器的设计时,必须预先考虑到这种情况。

例 6-5:

按照例 6-4 所给的参数,计算出输出滤波器的电容量及其 ESR 值。最大允许的输出电压波纹为 400mV。

解:利用公式 6-11 计算,由于 $\Delta I_{out} = 0.25I_L = 0.25 \times 20 = 5$ (A), 所以,

$$C_{out} = \frac{5}{8 \times 20 \times 10^3 \times 0.1} = 0.3125 \times 10^{-3} = 312.5 \text{ } (\mu\text{F})$$

利用公式 6-12 计算,由于 $\Delta V_{out} = 100\text{mV} = 0.1\text{V}$, $\Delta I_{out} = 5\text{A}$, 所以,

$$ESR_{max} = 0.1/5 = 0.02 \text{ } (\Omega)$$

虽然我们通过计算,在理论上输出电容的最小值是 312.5 μF ,但在实际应用,应该取大一些的电容,才能完成设计指标。经验告诉我们,若电源变换器频率是 20kHz,选用电解电容时,取最小容值 300 $\mu\text{F}/\text{A}$ 是适当的。

这里可以把两个电解电容并联使用,以获得较大的电容量和较低的 ESR 值。

在任何情况下,都要进行实际的测量和调试,上面给出的公式和计算方法,是考虑问题的一个基本原则,求出的值只是一个大约值,仅起到抛砖引玉的作用。

第七章 开关电源的控制电路

当今的开关电源大部分采用脉冲宽度调制技术(PWM),这一技术主要是在主变换器工作周期不变的情况下,通过改变开关晶体管的导通时间和截止时间,以控制输出电压稳定在预先确定的电压值上。当然,也有采取其它调制方式的方法,但在本书讨论范围之内。PWM 方式提供了优越的性能,如良好的线性、负载调整率高以及在温度变化过程中具有较高的稳定性等。

第一节 开关稳压系统的隔离技术

隔离式高稳定开关电源的任务主要有两个方面,首先,它必须提供高度稳定的若干组低压输出,为电子设备或机电电路提供充足的供电电源;另一方面,它必须在输入和输出之间提供很高的隔离特性,以保护用电设备免受因高压及冲击电流引起的电气短路的危害。

图 7-1 给出两种不同的方框示意图,说明在一个隔离式开关电源中如何进行线间隔离,各框图所用的公共地线以不同的符号标出。这些框图都是通用的,可以作为任何基本类型的开关电源设计时的参考,如:半桥式、全桥式、反激式和正激式变换器等。

在方框图 7-1 (a) 中,误差放大器、PWM 和控制电路与输

出整流器及滤波器有公共地，输入和输出之间由功率传输变压器 T1 和驱动变压器 T2 进行隔离。通常，变压器 T2 是一个基极或门驱动器。在方框图 7-1 (b) 中，控制电路、PWM、开关元件以及输入整流器和滤波器有公共地，输入和输出的隔离是由功率传输变压器 T1 以及光电耦合器来实现的。

在图 7-1 中给出的二种线间隔离技术，在电路进行精心设计之后，均能得到良好的性能。选取何种方式，主要依据据开关功率变换器的设计以及初级的电路设计。通常，图 7-1 (a) 的变压器隔离电路可用于各种类型的开关电源变换器设计，而图 7-1 (b) 的光电隔离方式则主要用于反激式及正激式电源变换器的设计之中。

第二节 PWM 系统

尽管许多开关技术可用于开关电源的设计中，但直到目前为止，使用最多的开关技术还是固定频率的 PWM 技术。在一个 PWM 系统中，通常是产生一组方波脉冲来对开关晶体管的开关进行控制，用改变脉冲宽度的方法，来改变晶体管相应的导通和截止时间，因而能够使输出电压稳定在预定的值上。

PWM 控制电路可能是单端的，即能够驱动一个单晶体管变换器（如反激式或正激式变换器电路）。如果有两个或更多的晶体管需要驱动（采用半桥式或全桥式变换器电路），则需要采用一个双路的 PWM 电路。

一、分立元件构成的单端 PWM 控制电路

一个简单的闭环回路 PWM 控制电路，可用很少几个分立元件构成的半导体电路来实现，如图 7-2 所示。

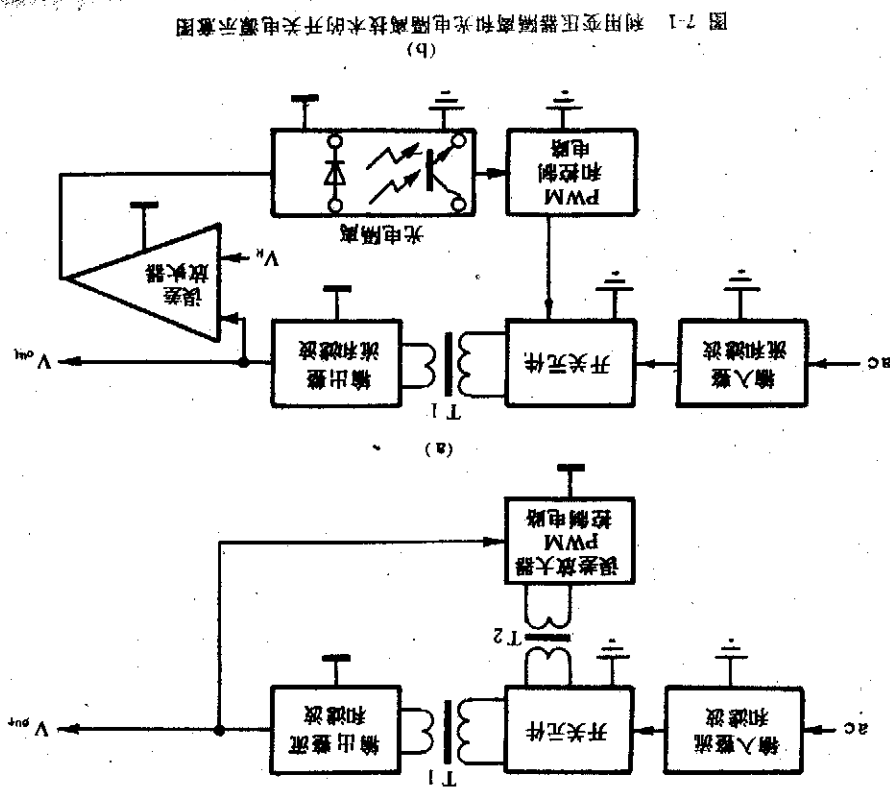


图 7-1 采用变压器隔离和光电隔离技术的开关电源功率传输电路

图 7-2 电路的功能如下, 一个时钟脉冲生成电路 IC1 产生一串固定频率的不对称方波脉冲, 固定频率为 20kHz, IC1 可以选择 555 时基电路或其它等效电路进行设计。

IC1 产生的方波脉冲经电阻 R1 和电容 C1 进行微分之后形成锯齿波, 这个锯齿波用来控制晶体管 VT1 使其截止。这样, 在 VT1 集电极上产生的负方波则由晶体管 VT2 进行反向, 在 VT2 的集电极上形成一个正向脉冲。

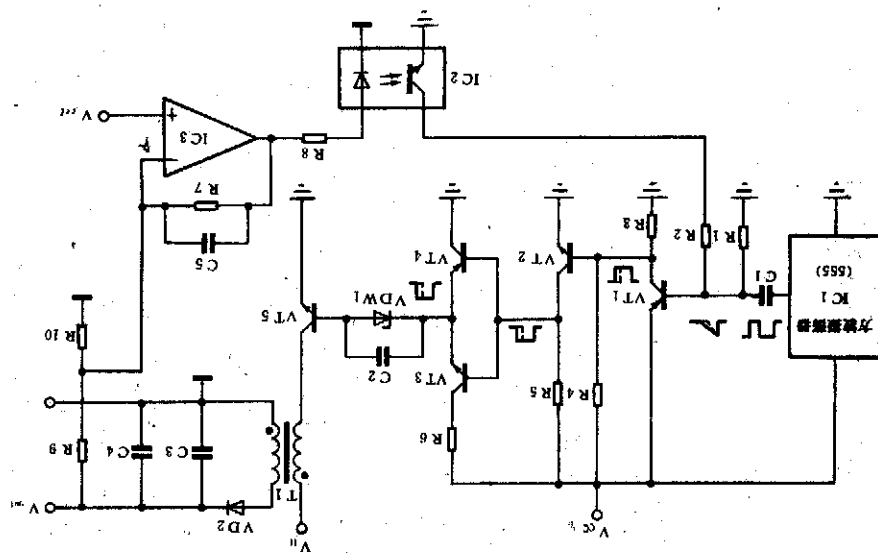
由 VT3 和 VT4 组成低输出阻抗驱动器, 用来控制主开关晶体管 VT5 的导通和截止, 通过变压器 T1 的绕组将能量传递到变换器的输出端。稳压是由部分输出电压的比较实现的, 由 R9 和 R10 构成分压器, 取出部分输出电压, 和固定的参考电压 V_{ref} 进行比较。由于线路和负载引起电源输出电压升高, 这种变化会被运算放大器 IC3 进行放大, 并驱动光电耦合器 IC2 中的发光二极管, 调制它的发光强度, 迫使 IC2 中光敏三极管迅速导通。同时, 晶体管 VT1 基极的方波脉冲被更强的微分, 引起晶体管 VT1、VT2 和 VT4 导通更长的时间, 而 VT3 和 VT5 则导通时间缩短。若是电源输出端的电压降低, 则上述变化过程正好相反。这便是脉冲宽度依照负载和线路情况的变化被调制, 使输出电压得到稳定的基本工作过程。

图 7-2 所示的电路是经过简化的电路, 当实际应用于隔离式开关电源设计时, 必须附加某些具体限制条件。

二、一种集成的 PWM 控制器

近年来已经开发出许多高频开关电源控制集成电路, 这些电路包含了建立 PWM 开关电源所需要的所有功能, 使开关电源用一片集成电路和若干附加元件即可制成。图 7-3 描述了一个简单的 PWM 控制器的基本构成框图和它相关部位的波形。

图 7-2 用分立元件组成的单端反激式 PWM 控制电路



输入端输入的是由一个固定频率振荡器产生的具有线性斜率的锯齿波，振荡器的输出同时送到一个翻转触发器 (F/F)，产生方波输出 Q 和 \bar{Q} 。

比较器的输出方波和触发器的方波输出，都用于驱动与门，使得当两个输入信号均为“1”时输出，这样，在 A 路和 B 路最终得到的是可变脉冲占空比的脉冲串，图 7-3b 用虚线说明了当误差信号幅度变化时，输出脉冲的宽度是如何被调制的。通常 PWM 控制器在其外部经缓冲后去驱动主电源开关晶体管。这一类型的电路可被用来驱动两支晶体管或是驱动单晶体管，在一种情况下，输出可在片外进行“与”处理（直接相与），或者只允许有一路用来作为驱动。

这种 PWM 控制器的优点是突出的，包括可编程的固定频率振荡器，线性 PWM 可从 0%~100% 地调整占空比，防止输出晶体管同时导致的死区时间调整，并具有电路简洁、可靠性高和价格便宜的优点。

第三节 单片 PWM 控制器及其应用

早期出现的单片 PWM 集成控制电路是摩托罗拉公司生产的 MC3420 开关方式的稳压控制器和 SG 公司生产的 SG3524 PWM 控制器，这两种集成电路已经成为工业标准器件。

这些 PWM 控制器芯片在很长一个时期内成为开关电源设计的中心部分，它们即可单端应用，也可双端应用，效果很好。后来，许多厂家又争相推出更多的 PWM 控制芯片，并在性能和功能上都有所改进，德克萨斯仪器公司推出的 TL494 PWM 控制电路就是对 SG3524 电路的改进，并提供了可

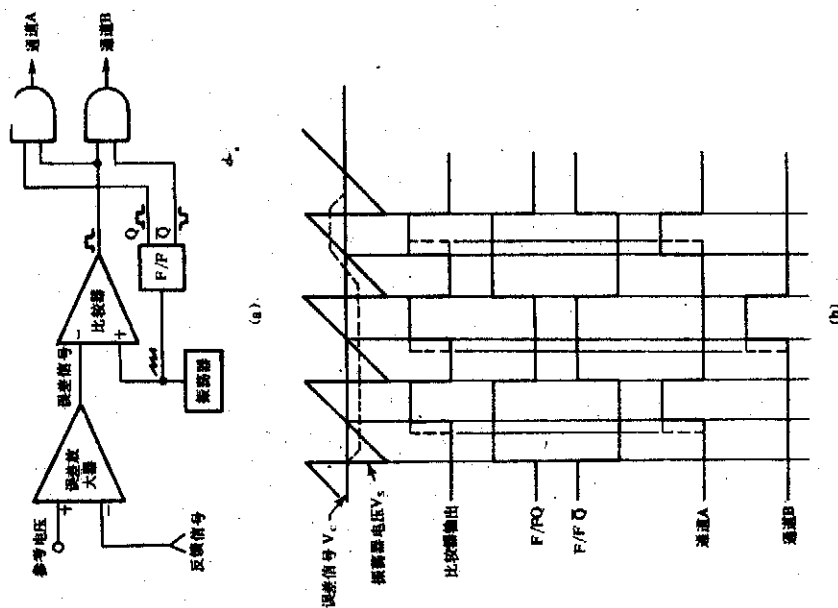


图 7-3 集成 PWM 控制电路和相关波形

这个电路的工作过程如下：误差放大器将从电源输出端引入的反馈信号与其反相输入端的固定参考电压 V_{ref} 进行比较，误差信号被放大并送到比较器的反相输入端，而比较器的同相

调整的死区时间控制功能, 输出晶体管也具有较高的拉、灌电流能力, 改进了限流控制, 输出方向控制等功能。

由于功率 MOSFET 管的引入, 又首次出现了 SG1525A 和 SG1526 系列的电路, 它采用图腾柱式输出方式, 具有直接驱动功率 MOSFET 和双极晶体管的功能。除了具有前面所提到的所有功能之外, 这些电路还具有低压时锁定输出, 可程式软启动, 数字式电流限制, 并可在高达 400kHz 的频率下工作。

上面所提到的电路,几乎可以用在所有常用的开关电源的电路设计结构中,还有一些经优化的电路芯片,专门用于设计正激式和反激式的高频率电源变换器,一个典型的例子就是摩托罗拉生产的MC 34060PWM控制器,它可以用极少的外围元件,实现设计正激式和反激式开关电源变换器所需的全部功能。

另一个电路就是UNITRODE公司的UC 1840系列，可以认为这个系列的芯片是设计单端开关电源变换器的最佳产品，这个PWM控制电路包括了所有的设计开关电源所需的功能，这些功能有控制、驱动、监控和各项保护措施等，并且外围电路也十分简单。它包括低电流、隔离式启动电路，内装的过压和欠压保护电路，以及过流保护电路。它具有在4:1输入电压范围内的前馈式线路稳压调节特性，并能在500kHz的频率下工作。

在下面的几节中，我们将具体介绍一些PWM控制集成电路的功能，以便读者能在具体设计中运用它。当然，这些介绍主要是提供信息，读者在进行具体设计时，最好向厂家索取详细的技术资料，并且能够熟知所用芯片的各种数据，只有这样，才能在众多的芯片中，选中自己所设计的产品所需要的最佳芯片。

一、TL494PWM 控制器

1.1. 工作原理

TL494 是一个固定频率的 PWM 控制电路, 适用于设计所有的 (单端或双路) 开关电源的典型电路, 它的内部结构方框图如图 7-4 所示。

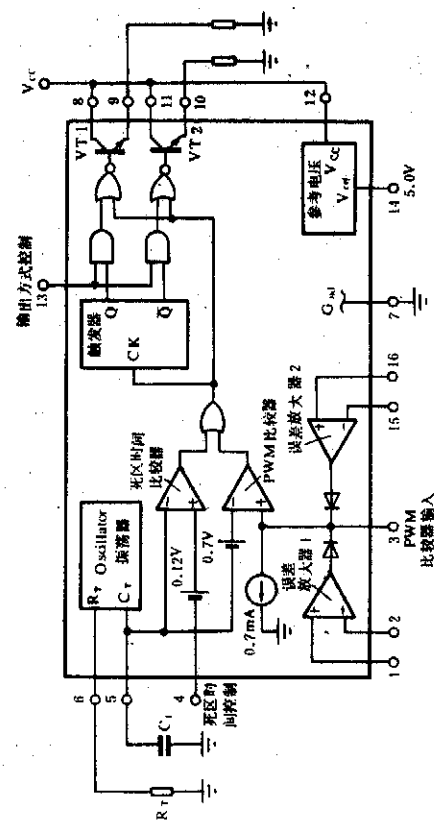


图 7-4 TL494 控制器的内部电路框图

它有一个内部线性锯齿波振荡器，振荡器的振荡频率可由外接电阻 R_T ，电容 C_T 进行调节。 R_T 和 C_T 分别与管脚 6、5 连接，振荡频率 f_{osc} 由下式确定：

$$f_{oc} = \frac{1.1}{R_T \cdot C_T} \quad (7-1)$$

输出脉冲宽度调制是通过 C_T 电容产生的正向锯齿波和两个控制信号进行比较完成的。

从图示可以看出,驱动输出晶体管 VT1 和 VT2 的或门,只

有当触发器的输入是低电平时才会有输出。而且只有当锯齿波电压的幅值高于控制信号幅度值时,才会有输出脉冲。因此,当控制脉冲的幅值不断增加时,会导致输出脉冲的宽度不断变窄,这个过程可由图 7-5 的定时波形图来说明。

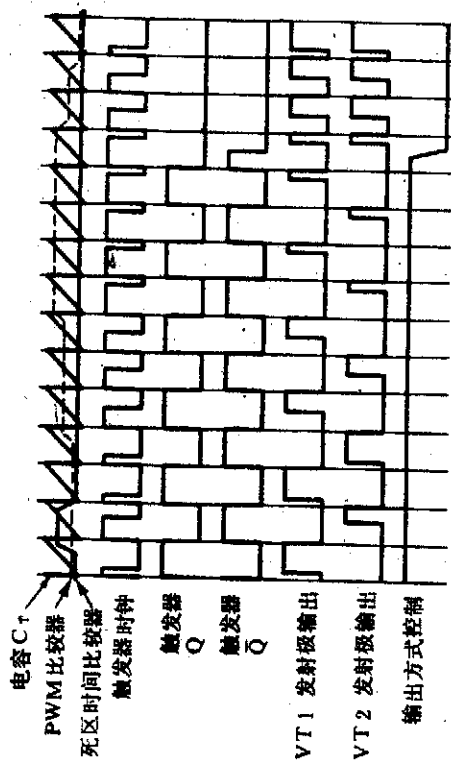


图 7-5 TL494 PWM 控制器的定时波形图

控制信号是由外部输入的,其中脚 4 为死区时间控制输入端,而 1、2、15、16 为误差放大器的输入端,脚 4 的偏置电压 120mV 可将输出死区时间限制在最小约为锯齿波周期时间的 4%,这就意味着,当输出方式控制脚 13 接地时,其内部触发器失去作用,二路输出同时由 PWM 比较器后的或门输出控制,同步地工作,将导致最大输出脉冲的占空比达到 96%,而当输出方式控制脚 13 接参考电压(高电平),此时二路输出分别由 Q 和 \bar{Q} 控制,最大输出脉冲的占空比为 48%,附加的死区时间可由给脚 4 提供一个固定的电压值来进行设定,电压值的范围

可取 0~3.3 伏之间。

PWM 比较器用来提供误差放大器的平均值,用以调节输出脉冲的宽度,输出脉冲宽度的范围一般就是从占空比为 0 到由死区电压确定的最大占空比。相应的反馈电压的输入幅度可在 0.5~3.5V 之间。两个误差放大器的共模输入范围均为 $0.3 \sim (V_{cc} - 2)V$,并且分别用作控制开关电源输出电压的误差放大和控制输出过流的信号放大。

误差放大器 (1、2) 的输出是有效的高电平,它们通过或门连到 PWM 比较器的同相输入端,用这种连接方式,可使放大器控制整个闭环,但要求在时间域内误差放大器的输出要尽可能小。

当定时电容 C_T 放电时,在死区时间比较器的输出端就会产生一个正脉冲,这个脉冲引起触发器的翻转,并确定输出晶体管 VT1 和 VT2 由那一个进行输出,当输出方式控制端 13 脚接参考电压时,由该脉冲控制两个输出晶体管交替工作,这时输出频率为振荡频率的一半。

由 VT1 和 VT2 也可以得到更大的输出驱动。在单端应用,且最大占空比小于 50%,同时要求有更大的输出驱动电流时,可将 VT1 和 VT2 并联使用,并将输出方式控制端良好地接地,以使内部触发器失去作用。这时,输出脉冲频率将等于振荡器的频率。

图 7-6 给出了一个将 TL494 控制器应用于推挽式变换器电路中的实例,并考虑到过流保护电路的设计,读者可以自行分析其应用方法。

2. 关于 TL494 的应用要点

(1) 故障判断

TL494 内部设有参考电压产生器,可直接测量引脚 14 端

的参考电源,如果测不到+5V参考电源,则器件可能损坏。

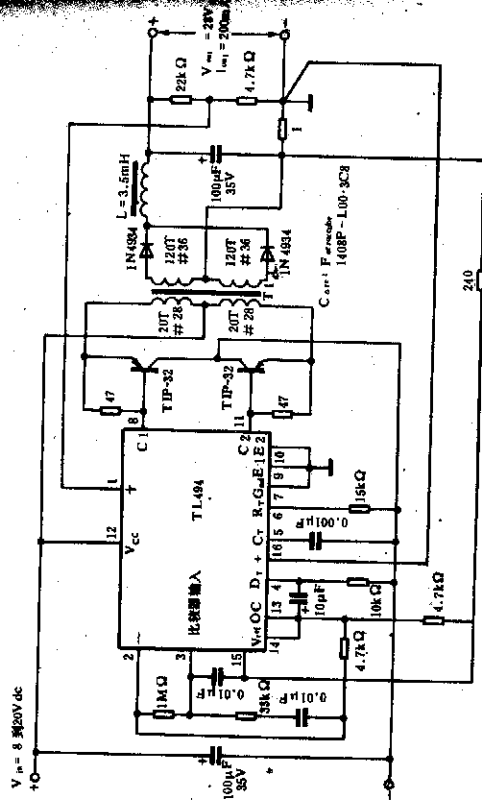


图 7-6 TL494 应用于推挽式变换器电路的实例

在 TL494 的外围电路连接良好的情况下,加电测试 C_{Σ} 的引脚 5 端,应能测到锯齿波波形,如果测不到该波形,则可判断芯片已经损坏。

(2) 输出级工作

TL494 末级两只功率管在工作电压 7~40V 范围内工作时,最大输出电流可达 250mA。既可按推挽方式工作,也可将两路输出并联工作。

(3) 占空比调整

在高频开关电源中,输出方波必须对称。在其它一些应用中,又需要方波人为不对称,即需控制方波的占空比,通过对 494 第 4 脚(死区时间控制端)的控制,即可控制占空比。

(4) 生产厂家及其器件型号

生产厂家不同,所生产的器件型号有所差别。该电路的生产厂家及常用型号标法见表 7-1,熟悉各个厂商的型号,对进行开关电源的维修和设计运用都有好处。

表 7-1 TL494PWM 生产厂家及常用型号标法

型 号	厂 家
TL494	美德州仪器公司
UPC494	日本电气
MST494	三菱
MB3759	富士通 (同 TL494)
IR3M04	夏普 (同 TL494)
IR9494	夏普 (同 TL494)

二、UC1840 可编程、隔离式 PWM 控制器

许多 PWM 控制器主要是为通用目的所设计的,但 UC1840 系列的可编程 PWM 控制器主要是为单端反激式及单端正激式变换器电路而设计的高效率的控制器,图 7-7 给出了 UC1840 的原理方框图。

UC1840 包括下述几项典型的功能:

- (1) 如果采用固定频率方式工作,用户只要通过调节 RC 电路即可达到对工作频率的调整。
- (2) 具有可变斜率的斜坡发生器电路,用以设定恒定的斜坡电平,提供开环的稳压效果,保证脉宽调制器的正常工作,防止二次击穿。
- (3) 设有低电流启动开关,并具有直接隔离偏置。
- (4) 设有精确的参考电源产生器,并且有内部过压保护措施。
- (5) 具有完善的输入过压保护、输入欠压保护、输出过流保护及程序控制的电路关闭和重新启动功能。

动电流。同时使慢启动三极管导通，保持集成电路的脚8为低电平，并使外部电容 C_s 保持放电状态和 UC1840 的慢启动状态。

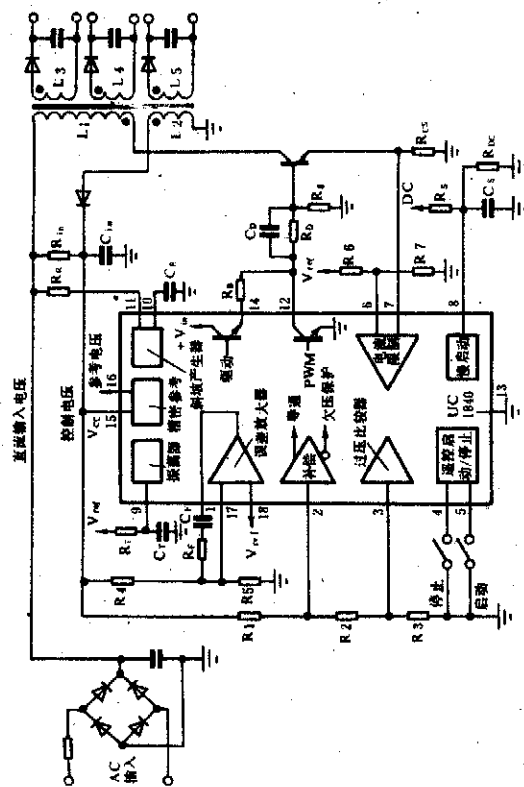


图 7-8 用 UC1840 PWM 构成的反激式隔离开关电源
启动锁存器锁定在欠电压故障状态，由于欠电压比较器的翻转电平为 3V，因此，启动电压 V_{CS} 由下式定义：

$$V_{CS} = 3 \times \frac{R_1 + (R_2 + R_3)}{R_2 + R_3} + 200 \times 10^{-6} R_1 \quad (7-2)$$

当 V_{CC} 升高超过 V_{CS} (启动电压) 值时，欠压比较器翻转，这时其反相输出端为低电平，使 $200\mu A$ 电流消失，慢启动三极管关闭，并由 UC1840 的 8 脚按 R_s 、 C_s 的时间常数产生电压，使芯片有规律地进行慢启动过程。

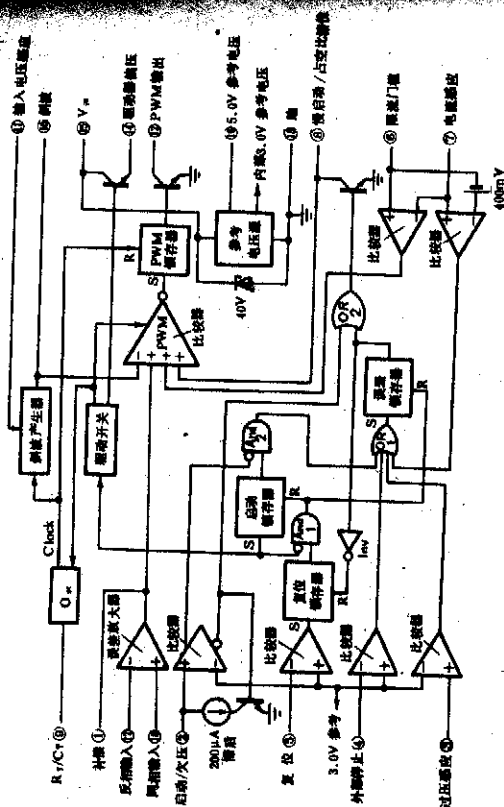


图 7-7 UC1840 PWM 集成控制器的内部电路框图
(6) 具有大电流，快速驱动和快速关断外接开关管的功能，并十分适合构成单端的 PWM 控制电路。

(7) 可实现对直流电源序列的逻辑控制。

图 7-8 是 UC1840 PWM 控制器的应用实例。

下面讨论 UC1840 PWM 控制器是如何工作的。

1. UC1840 的供电和启动

交流电初始加电之后，经全波整流滤波电路后产生 300V 的直流电压，经电阻 R_{in} 降压后加到 UC1840 的 15 端 V_{CC} 上。由于有 C_{in} 的作用， V_{CC} 电压是逐渐上升的，故 UC1840 的启动电流非常低。在第 2 脚上电压达到 3V 之前，启动欠压比较器流过 $200\mu A$ 电流，该电流通过电阻 R_4 又产生附加的电压降，同时，驱动开关电路，使驱动三极管关断，保证流过 R_{in} 的低电流为启

2. UC1840 的 PWM 电路

UC1840 的 PWM 部分包括振荡器、斜坡发生器、误差放大器、PWM 比较器和 PWM 锁定触发器。

PWM 部分的功能如下：由 9 脚上连接的定时元件 R_T 、 C_T 来确定一个固定的工作频率；其中， R_T 连接在参考电压 5V 和 9 脚之间， C_T 连接在 9 脚与地之间。

UC1840 的工作时钟频率 f 由下式进行确定：

$$f = \frac{1}{R_T \cdot C_T} \quad (7-3)$$

其中， R_T 的取值范围为 $1 \sim 100k\Omega$ ， C_T 的取值范围为 $300pF \sim 0.1\mu F$ 。

UC1840 的 8 脚可同时起 2 个作用，一个是作为慢启动开关，另一个作用是作为占空比限制器，并可以作为 PWM 的关断端口，占空比可由 $0\% \sim 90\%$ 进行变化，最大占空比是由 R_s 和 R_{DC} 的分压电路所提供的最大爬升电压来确定的，当采用固定斜率方式时，电阻 R_s 接 +5V 参考电源端。采用恒压操作方式时，斜坡发生器如图 7-5 所示， R_s 必须连接到 DC 电源的输入线上。

希望得到的最大占空比是由 8 脚的电压 V_8 确定的， V_8 可由下式进行计算：

$$V_8 = \left(\frac{R_{DC}}{R_s + R_{DC}} \right) \cdot V_{DC} \quad (7-4)$$

这个爬升电压在同样的直接流入电压值下必须和斜坡电压相等。另外，斜坡发生器将产生一个输出斜坡电压，其斜率由下式确定：

$$\frac{dv}{dt} = \frac{V_{lim}}{R_R \cdot C_R} \quad (7-5)$$

V_{lim} 是 R_R 电阻所连的电压端，它可以是参考电压 +5V，也可以是输入直流电压 300V。对一个固定斜率电路， R_R 应连接到 +5V 参考电源端，爬升电压的峰值为 4.2V，而其低电压（放电后净剩电压）为 0.7V。

误差放大器是一个电压型运算放大器，其共模输入电压范围是从 $1 \sim (V_{in} - 2)V$ ，因此，任何一个运算放大器的输入端都可直接连接到 +5V 参考电源端，误差放大器的另一端作为输出电压或输入电压控制的平衡感应输入端。

斜坡发生器的输出，误差放大器的输出，缓启动电路的输入及电流限制的输出均连接到 PWM 比较器上，PWM 比较器在误差放大器和斜坡发生器作用下产生输出脉冲，此脉冲起始于时钟脉冲的终点，终止于斜坡脉冲超过误差放大器的三个同向输入后的跌落点。时钟产生一个空脉冲用以保证占空比低于 100%，PWM 锁存触发器保证每个周期中只有一个脉冲输出，消除比较器翻转时产生的振荡。

3. UC1840 的输出电路

PWM 的输出脉冲由 UC1840 的 12 脚进行输出。由一个集电极开路晶体管构成输出电路，输出晶体管能提供 200mA 的输出电流。因此，它可以直接驱动双极性晶体管和 MOSFETS 管，如果需要更大的输出电流，可以另外再扩展一个输出缓冲放大器。其余辅助电路如过压感应检测电路，内部停止工作电路和复位电路都十分容易实现。

4. UC1840 的保护电路

UC1840 PWM 控制器是目前保护功能最完善的集成电路。它具有输入过压保护、输入欠压保护。输出过流保护等功能。过流保护是用逐个脉冲限流保护方式与过流关断保护方式共用，采用不同阈值的比较器进行实现，当出现过载时，这些比较器

2. UC1840 的 PWM 电路

UC1840 的 PWM 部分包括振荡器、斜坡发生器、误差放大器、PWM 比较器和 PWM 锁定触发器。

PWM 部分的功能如下：由 9 脚上连接的定时元件 R_T 、 C_T 来确定一个固定的工作频率；其中， R_T 连接在参考电压 5V 和 9 脚之间， C_T 连接在 9 脚与地之间。

UC1840 的工作时钟频率 f 由下式进行确定：

$$f = \frac{1}{R_T \cdot C_T} \quad (7-3)$$

其中， R_T 的取值范围为 $1 \sim 100k\Omega$ ， C_T 的取值范围为 $300pF \sim 0.1\mu F$ 。

UC1840 的 8 脚可同时起 2 个作用，一个是作为慢启动开关，另一个作用是作为占空比限制器，并可以作为 PWM 的关断端口，占空比可由 $0\% \sim 90\%$ 进行变化，最大占空比是由 R_S 和 R_{DC} 的分压电路所提供的最大爬升电压来确定的，当采用固定斜率方式时，电阻 R_S 接 +5V 参考电源端。采用恒压操作方式时，斜坡发生器如图 7-5 所示， R_S 必须连接到 DC 电源的输入线上。

希望得到的最大占空比是由 8 脚的电压 V_8 确定的， V_8 可由下式进行计算：

$$V_8 = \left(\frac{R_{DC}}{R_S + R_{DC}} \right) \cdot V_{DC} \quad (7-4)$$

这个爬升电压在同样的直接流入电压值下必须和斜坡电压相等。另外，斜坡发生器将产生一个输出斜坡电压，其斜率由下式确定：

$$\frac{dv}{dt} = \frac{V_{lim}}{R_R \cdot C_R} \quad (7-5)$$

V_{lim} 是 R_R 电阻所连的电压端，它可以是参考电压 +5V，也可以是输入直流电压 300V。对一个固定斜率电路， R_R 应连接到 +5V 参考电源端，爬升电压的峰值为 4.2V，而其低电压（放电后净剩电压）为 0.7V。

误差放大器是一个电压型运算放大器，其共模输入电压范围是从 $1 \sim (V_{in} - 2)V$ ，因此，任何一个运算放大器的输入端都可直接连接到 +5V 参考电源端，误差放大器的另一端作为输出电压或输入电压控制的平衡感应输入端。

斜坡发生器的输出，误差放大器的输出，缓启动电路的输入及电流限制的输出均连接到 PWM 比较器上，PWM 比较器在误差放大器和斜坡发生器作用下产生输出脉冲，此脉冲起始于时钟脉冲的终点，终止于斜坡脉冲超过误差放大器的三个同向输入后的跌落点。时钟产生一个空脉冲用以保证占空比低于 100%，PWM 锁存触发器保证每个周期中只有一个脉冲输出，消除比较器翻转时产生的振荡。

3. UC1840 的输出电路

PWM 的输出脉冲由 UC1840 的 12 脚进行输出。由一个集电极开路晶体管构成输出电路，输出晶体管能提供 200mA 的输出电流。因此，它可以直接驱动双极性晶体管和 MOSFETS 管，如果需要更大的输出电流，可以另外再扩展一个输出缓冲放大器。其余辅助电路如过压感应检测电路，内部停止工作电路和复位电路都十分容易实现。

4. UC1840 的保护电路

UC1840 PWM 控制器是目前保护功能最完善的集成电路。它具有输入过压保护、输入欠压保护。输出过流保护等功能。过流保护是用逐个脉冲限流保护方式与过流关闭保护方式共用，采用不同阈值的比较器进行实现，当出现过载时，这些比较器

将短路掉 PWM 输出脉冲, 同时打开慢启动晶体管, 为慢启动电容放电, 保证故障消除之后, 系统能够正确地重新启动。

总之, UC1840 是一个理想的、功能完善的脉冲宽度调制型控制电路, 并具有各种完善的保护措施, 易于满足隔离的需要, 还适宜于遥控供电。但它的外接引线较复杂, 外接元件较多, 成本也较高。

三、UC1842/UC2842/UC3842 PWM 控制器

UC1842/UC2842/UC3842 PWM 控制器的工作原理和电路结构是完全相同的, 只是其使用环境条件不同。UC1842 系 I 类军品, 适于 $-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$, UC2842 系 II 类工业品, 适于 $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$, UC3842 系 III 类民品, 适于 $-10^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ 的环境温度。

UC3842 是单端输出电路, 它是一种高性能的固定频率电流型控制器电路, 能很好地应用在隔离式单端开关电源的设计以及直流一直流电源变换器设计之中, 它最大的优点是外接元件少, 外电路装配简单, 成本低廉。它的内部电路包括如下主要性能:

1. 可调整的充放电振荡电路, 可精确地控制占空比;
2. 采用电流型操作, 并可在 500kHz 高频下工作;
3. 具有自动补偿功能;
4. 带锁定的 PWM, 可以进行逐个脉冲的电流限制;
5. 具有内部可调整的参考电源, 可以进行欠压锁定;
6. 采用图腾柱输出电路, 提供大电流输出, 输出电流可达 1A;

7. 工作电流低, 且能进行低电流启动;

8. 可直接对双极晶体管和 MOSFETS 管进行驱动。

下面详细介绍 UC3842 系列电路的工作原理。
图 7-9 给出了 UC3842PWM 控制器的内部方框电路。

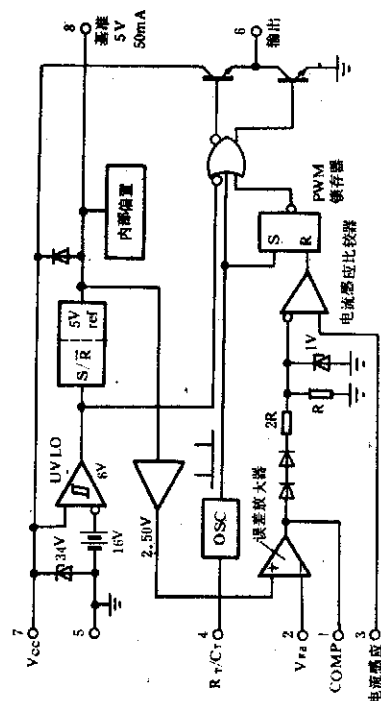


图 7-9 UC3842 PWM 控制器的内部方框电路
图 7-10 给出了它的工作原理图。

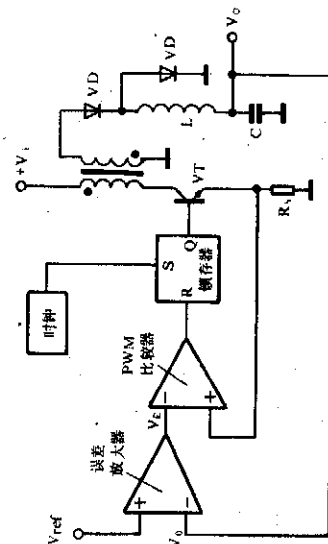


图 7-10 UC3842 PWM 控制器的工作原理图

观察图 7-10 中可知, 它有两个控制闭环回路, 一个是输出

电压 V_e 。反馈回误差放大器，用于同基准电压 V_{ref} 比较之后产生误差电压；另一个是变压器初级电感中的电流在电阻 R_s 上产生的电压，与误差电压进行比较后产生调制脉冲宽度的脉冲信号。当然，这些均在时钟所设定的固定频率下工作。由于误差信号实际控制着峰值电感电流，故称之为电流型脉冲宽度调制器，这种电路有如下特点：

(1) 良好的线性调整率（电压调整率）能达到 $0.01\%/V$ ，这是因为输入电压 V_i 的变化立即反映为电感电流的变化，它不经过任何误差放大器就能在比较器中改变输出脉冲宽度。在实际应用中，再增加一级输出电压 V_o 。至误差放大器的控制，能使线性调整率更好。

(2) 可明显地改善负载调整率。因为误差放大器可专门用于控制由于负载变化造成的输出电压变化，特别是当负载时电压升高的幅度大大减小，从 $1/3$ 负载至满载，负载调整率降至 8% ， $2/3$ 负载至满载，负载调整率降至 3% 以下。

(3) 误差放大器的外电路补偿网络得到简化，稳定度提高并改善了频响，具有更大的增益带宽乘积。由于电感电流是连续的，所以电阻 R_s 上检测出的峰值电流能代表平均电流，整个电路可看作一个误差电压控制电流源，变换器（误差放大器）的幅频特性由双极点变成高极点。因此，改善了系统的频响。

(4) 电流限制电路得到简化。由于电阻 R_s 上感应出尖峰电感电流，故能自然形成逐个脉冲限制电路，只要 R_s 上电平达到 $1V$ ，PWM 就立即关闭，而且这种峰值电感电流感应检测技术可以灵敏地限制输出的最大电流。

(5) UC3842PWM 控制器设有欠压锁定电路，其开启阈值设在 $16V$ ，关闭阈值设在 $10V$ 。在输入电压 V_i 小于 $16V$ 时，整个电路的电流消耗仅 $1mA$ ，这样，高压可直接由输入电阻 R_{in} 降

压后为芯片供电，而由输入电容 C_{in} 储能推动输出建立电压。自馈电之后，整个电路的电流消耗达 $15mA$ 。由于启动阈值电压和关闭阈值电压的差值仅为 $6V$ ，故可以有效地防止电路在阈值电压附近工作时的振荡。由于启动电流小于 $1mA$ ，所以 R_{in} 上的功耗很小。

UC3842 的内部电源输入端设置一个 $34V$ 的齐纳二极管，保证其内部电路绝对在 $34V$ 以下工作，防止高压可能带来的损坏。 $5V$ 的基准电压源从脚 8 引出，最大可供出 $50mA$ 电流， $5V$ 的基准电压再降至 $2.5V$ 为误差放大器同相输入端提供基准电压， $5V$ 的基准电压还同时作为内部电路的电源。

(6) UC3842 的振荡器工作频率 f 由下式进行设定：

$$f = \frac{1}{R_T \cdot C_T} \quad R_T > 5k \quad (7-6)$$

另外，该电路允许采用外电路作精确的外部定时，使用外时钟同步的方法可参照图 7-11 进行。

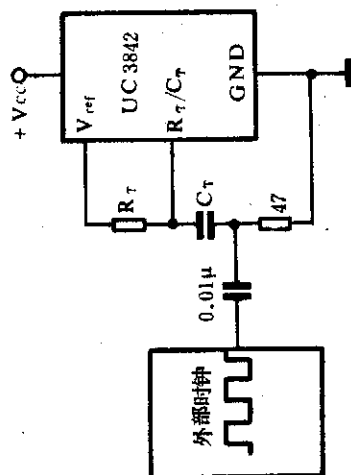


图 7-11 UC3842 的外时钟同步电路图

(7) UC3842 的误差放大器同相输入端接在内部 $+2.5V$ 基

准电压上, 反相输入端接收外控制信号, 其输出端引出线可外接补偿RC网络, 尔后接到反相输入端, 在使用过程中, 可改变R、C的取值来改变放大器的闭环增益和频率响应。图7-12的误差放大器补偿网络可以稳定这种电流型控制PWM。

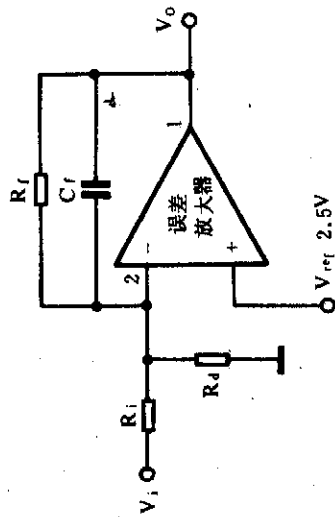


图 7-12 误差放大器的补偿网络

电路中的电阻 R_i 和 R_f 决定了低频增益。该放大器可以输出 0.5mA 电流, 漏下 2mA 电流, 电阻 R_f 的最小取值为 8.8k Ω , 放大器的输入偏置电阻应尽可能取低的数值。

(8) 随着工作频率的增加, 输出相位的滞后也迅速增加, 故放大器的最高工作频率不宜超过 500kHz。

(9) UC3842 的输出级为图腾柱式输出电路, 输出晶体管的平均电流为 $\pm 200\text{mA}$, 最大峰值电流可达 $\pm 1\text{A}$, 由于电路有峰值电流自我限制的功能, 所以, 不必串入电流限制电阻。

(10) UC3842 内部设置有 PWM 锁存器, 加入锁存器可以保证在每个振荡周期内仅输出一个控制脉冲, 防止了噪声干扰和功率管的超功耗。

(11) UC3842 的关闭技术: UC3842 提供了两种关闭技术,

第一种是将 3 脚电压升高超过 1V, 引起过流保护开关关闭电路输出; 第二种是将 1 脚电压降到 1V 以下, 使 PWM 比较器输出高电平, PWM 锁存器复位, 关闭输出, 直到下一个时钟脉冲的到来, 将 PWM 锁存器置位, 电路才能重新启动。

(12) UC3842 电路的斜坡补偿方法: UC3842 是电流型控制器件, 在确定的工作条件下可以展示出其优良的性能, 但要防止其工作的不稳定性, 这时, 就应考虑用斜坡补偿的方法来改善其工作特性。

增加斜坡补偿有二种方式, 均为直接采用增加斜坡补偿电阻的方法。第一种方法如图 7-13 所示。

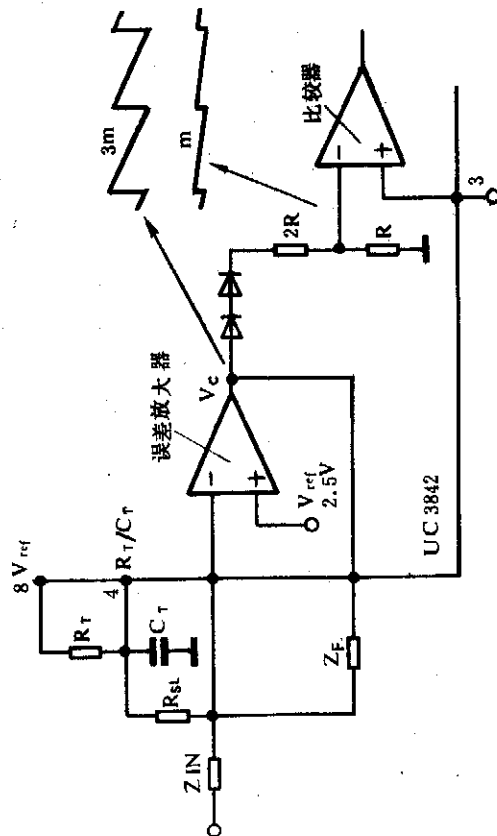


图 7-13 在斜坡端和误差放大器的反相输入端之间加补偿电阻

图 7-13 是由斜坡端 (4 脚) 和误差放大器反相输入端 (2 脚) 之间进行补偿。第二种方法如图 7-14 所示。

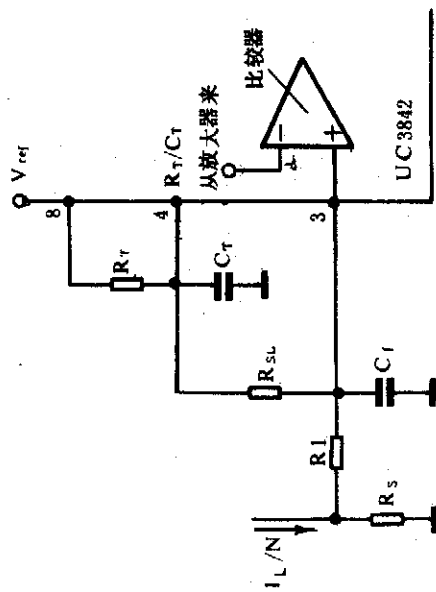


图 7-14 在斜坡端和电流感应端加补偿电阻

图 7-14 是在斜坡端 (4 脚) 接一电阻至电流感应端。这种方法是在 R_s 的感应电压上加上了斜坡的斜率, 再与平滑的误差电压进行比较, 这种斜坡补偿能防止谐波振荡现象, 特别是占空比超过 50% 以上时这种补偿是十分有效的。

斜坡补偿还能改善电流型 PWM 控制的开关电源的噪声特性, 因为无论是 2 端还是 3 端上的噪声都会改变输出脉冲宽度, 引起电路工作不稳定。

(13) 免除噪声的其它方法: 免除噪声的重要方法就是设法滤除芯片供电端 V_{cc} 的高频信号和参考电源 V_{ref} 的高频迭加信号。基本的方法是从这两端分别对地接一瓷介电容, 并特别在布线中注意, 不能有电感的成分介入, 以免产生干扰, 引起电路工作不稳定。

(14) UC3842 的应用方法: UC3842 的输出能给出足够的漏电流和灌电流, 所以非常适合驱动 N 沟道 MOS 功率晶体管。图

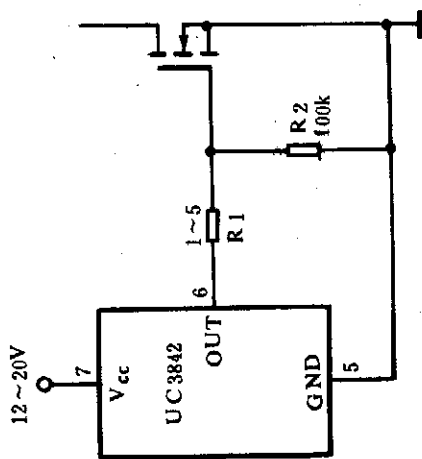


图 7-15 MOS 管的直接驱动电路

7-15 给出直接驱动 N 沟道 MOS 功率管的电路, 这时 UC3842 和 MOSFET 之间不必进行隔离。若需隔离可采用图 7-16 的

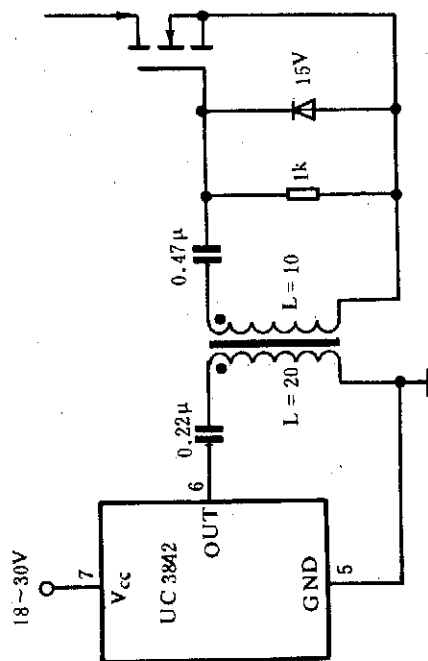


图 7-16 隔离式 MOS 管驱动电路

隔离式 MOSFETS 的驱动电路, 图 7-17 给出直接驱动双极型功率三极管的电路形式, 电路中 C1, R2 是加速电路, 其作用是可以加速功率三极管的关闭, 由电阻 R1, R2 确定输出偏置电流。

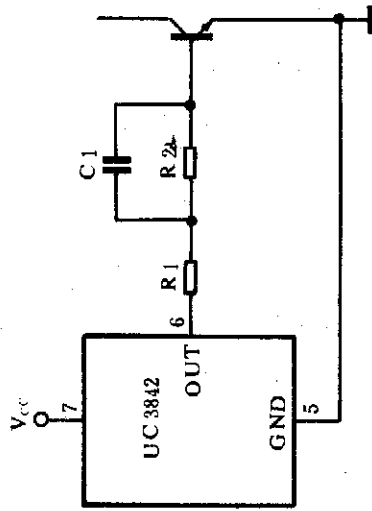


图 7-17 双极功率管驱动电路

四、SG3525A 型 PWM 控制器

美国硅通用公司生产的 SG1524、SG2524、SG3524 系列单片 PWM 控制芯片, 是国外早期出现的优秀芯片, 它包括了双端输出 PWM 开关电源所需的各种基本电路, 并且有工业型电路的全部特点, 尽管在使用中还受到种种限制, 但已成为工业的标准, 被广泛地应用在当今的许多开关电源的设计中, SG3524 系列电路的出现, 解决了 PWM 电路的集成化问题, 也简化了开关电源的设计与制作, 但还存在一些不足, 在实用的电源系统设计中, 还需要附加其它电路, 另外, 其死区时间是不可调整的, 而且输出能力也有限。

针对上述存在问题, 美国硅通用公司又对 SG3524 系列芯片进行了改进, 推出了它的改进型 SG3524A, 它与 SG3524 在外

型上完全一样, 故可完全对 SG3524 进行替换, 并以更优良的性能实现更新颖的应用, 随着半导体技术的飞速发展, MOS 型功率晶体管发展迅速, V-MOS 功率管和 D-MOS 功率管具有耐压高, 所需驱动功率低, 频率响应好, 开关时间短等众多优点, 这些都使得它在很多方面可取代双极晶体管。开关电源采用 MOS 管作高压开关元件之后, 可使工作频率从 20kHz 提高到 200kHz 以上。因此, 美国硅通用公司设计了适用于高频功率 MOS 管驱动的第二代 PWM 控制器, SG3525A 便是其中之一, 它适合驱动 N 沟通 MOS 功率管。

1. 工作原理及特点

SG3525A 的工作原理图如图 7-18 所示。

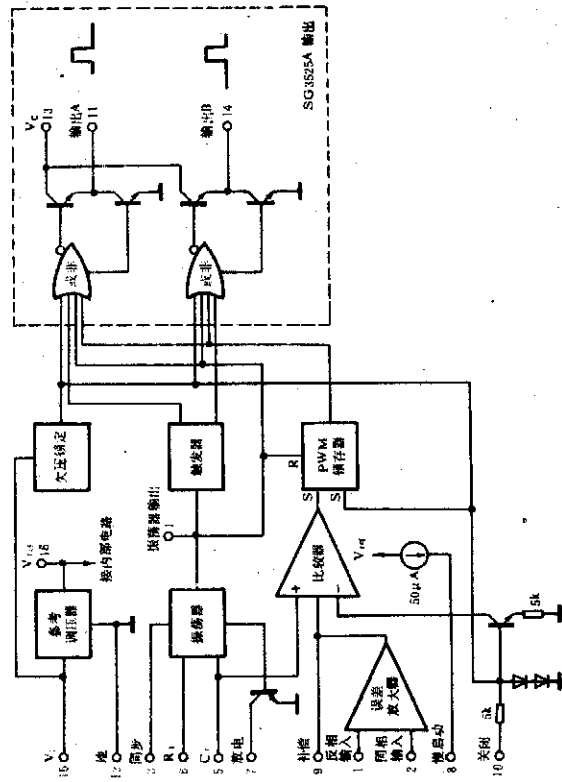


图 7-18 SG3525A 的功能框图

隔离式 MOSFETS 的驱动电路,图 7-17 给出直接驱动双极型功率三极管的电路形式,电路中 C1, R2 是加速电路,其作用是可以加速功率三极管的关闭,由电阻 R1, R2 确定输出偏置电流。

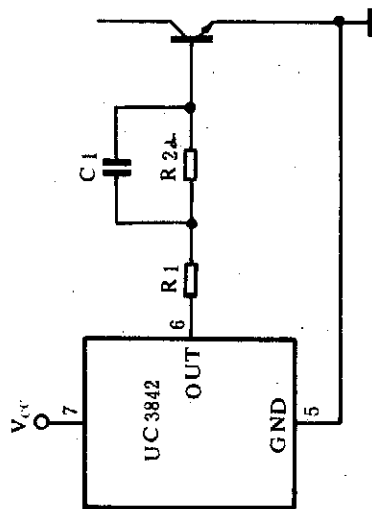


图 7-17 双极功率管驱动电路

四、SG3525A 型 PWM 控制器

美国硅通用公司生产的 SG1524、SG2524、SG3524 系列单片 PWM 控制芯片,是国外早期出现的优秀芯片,它包括了双端输出 PWM 开关电源所需的各种基本电路,并且有工业型电路的全部特点,尽管在使用中还受到种种限制,但已成为工业的标准,被广泛地应用在当今的许多开关电源的设计中,SG3524 系列电路的出现,解决了 PWM 电路的集成化问题,也简化了开关电源的设计与制作,但还存在一些不足,在实用的电源系统设计中,还需要附加其它电路,另外,其死区时间是不可调整的,而且输出能力也有限。

针对上述存在问题,美硅通用公司又对 SG3524 系列芯片进行了改进,推出了它的改进型 SG3524A,它与 SG3524 在外

型上完全一样,故可完全对 SG3524 进行替换,并以更优良的性能实现更新颖的应用,随着半导体技术的飞速发展, MOS 型功率晶体管发展迅速, V-MOS 功率管和 D-MOS 功率管具有耐压高,所需驱动功率低,频率响应好,开关时间短等优点,这些使得它在很多方面可取代双极晶体管。开关电源在采用 MOS 管作高压开关元件之后,可使工作频率从 20kHz 提高到 200kHz 以上。因此,美硅通用公司设计了适用于高频功率 MOS 管驱动的第二代 PWM 控制器, SG3525A 便是其中之一,它适合驱动 N 沟通 MOS 功率管。

1. 工作原理及特点

SG3525A 的工作原理图如图 7-18 所示。

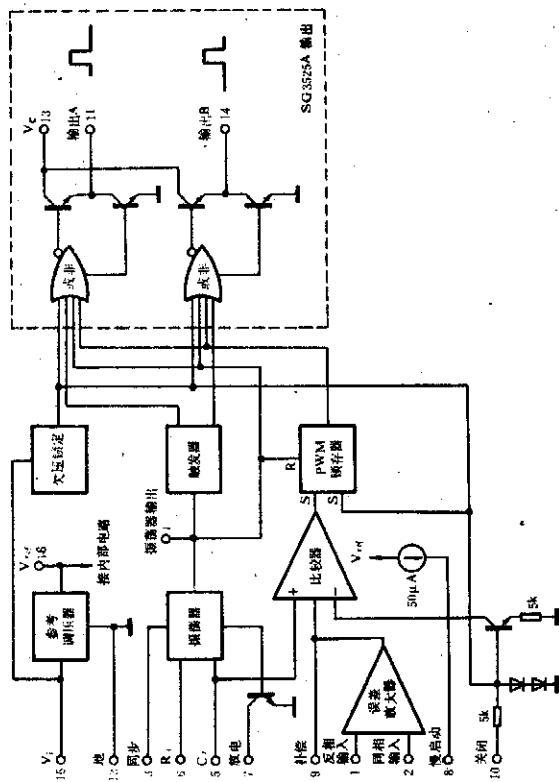


图 7-18 SG3525A 的功能框图

SG3525A 是对 SG3524 进行改进而制造出来的, 它克服了 SG3524 的许多不足, 成为第二代 PWM 控制器, 电路的组成及特点如下:

(1) 内部设置有欠压锁定电路和慢启动电路

为了使 PWM 电路在欠压状态下 ($V_i < 8V$), 有效地使输出保持关断状态, SG3525A 电路中设置了欠压锁定电路。当 $V_i > 2.5V$ 时, 欠压锁定电路即开始工作, 直至 $V_i = 8V$ 。在 V_i 达到 $8V$ 之前, 电路内部各部分都已建立了正常的工作状态, 而当 V_i 从 $8V$ 降至 $7.5V$ 时, 欠压锁定电路则又开始恢复工作, 这里仅有 $0.5V$ 的固定滞后电压以消除钳位电路在阈值处的振荡。

慢启动电路是由在 8 脚外接电容 C_{ss} 并由内部的 $50\mu A$ 恒流源充电的, 达到 50% 输出占空比的时间 t 是:

$$t = \frac{2.5}{50 \times 10^{-6}} \cdot C_{ss} \quad (7-7)$$

(2) 输出限流和关断电路

SG3525A 中删去了 SG3524 中使用的电流限制放大器电路, 它采用关断控制电路进行限流控制, 它包括逐个脉冲电流限制和直流输出电流的限流控制。一般用法是将流过脉冲信号送至关闭控制端 10 脚, 当 10 脚电压超过 $0.7V$ 时, 芯片将进行限流操作, 当 10 脚电压超过 $1.4V$ 时, 将使 PWM 锁存器关断输出, 直至下一个时钟周期才能恢复, 如果 10 脚信号持续时间较长, 则由慢启动电路重新启动电路工作。由于芯片内部速度极快, 故通过 10 脚可达到逐个过流脉冲的限制功能。

(3) 基准电压源

SG3525A 内部设有高精度基准电压源, 精确度为 $\pm 5V$ 1%, 免除了放大器反馈中的电位器调整。

(4) 误差放大器

• 158 •

SG3525A 中的误差放大器由参考电压 V_{ref} 供电改为由输入电压 V_i 进行供电, 从而扩大了该误差放大器的共模电压输入范围。

(5) 脉宽调制比较器

脉宽调制比较器增加了一个反相输入端, 误差放大器和关断电路各自送至比较器的信号采用不同的输入端, 这样就避免了关断电路对误差放大器的影响, 而且误差放大器的输出还取决于其补偿网络。

比较器的输出送到 PWM 锁存器, 然后, 再送到双路输出的或非门。该锁存器由关断电路置位, 并由时钟脉冲复位。这样它可保证每周期内只有 PWM 比较器送来的单脉冲, 而将误差放大器上的噪音及系统所有的振荡消除掉, 当一个电流信号引起电路关断时, 即便该信号消失, 锁存器仍可维持在一个周期关断输出, 直到下一周期的时钟信号使锁存器复位时为止, 所以关断电路能有效地控制输出。

(6) 振荡器及可调节的死区时间

振荡器及可调节的死区时间电路如图 7-19 所示。

在图中, 振荡器的时标电容 C_T 单独设有放电电路, 电容 C_T 通过外接电阻 R_D 至引脚 7, 改变 R_D 就可以改变 C_T 的放电时间, 也改变了死区时间。而 C_T 的充电电流则是由 R_T 规定的电流源决定的, 由于 3 脚专为外同步用, 故为多个 SG3525A 的联用创造了十分方便的条件, 同步脉冲的频率要求应比振荡器的固定频率低些, SG3525A 的振荡频率 f 由下式进行确定:

$$f = \frac{1}{C_T (0.7R_T + 3R_D)} \quad (7-8)$$

(7) 图腾柱式输出级

SG3525A 最大的改进是它的输出结构, 它首先确定了输出

• 159 •

电平或者是高电平或者是低电平。其次，它可使输出级更快的关断，用以驱动功率 MOS 器件。输出级允许流出或吸收电流超过 200mA。

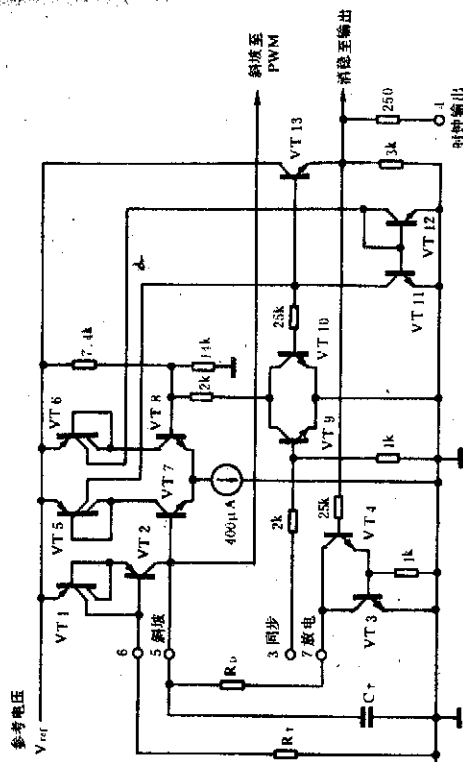


图 7-19 SG3525A 脉宽设置原理示意图

2. SG3525A 的应用

① 双端输出驱动 MOS 功率管的电路：SG3525A 输出驱动 MOS 功率管的电路极简单，半桥式变换器驱动 MOS 功率管的电路如图 7-20 所示。其输出可直接接一个变压器，此变压器初级不用中心抽头，它既能使次级电平位移，又能与主变换器电路隔离。

② 单端式输出级的应用：SG3525A 作单端输出级应用时，如用二路输出中的一路，则变换器的最大占空比只有 50%，当二路并用时，占空比可达 100%。二路并用的方法如图 7-21 所示。

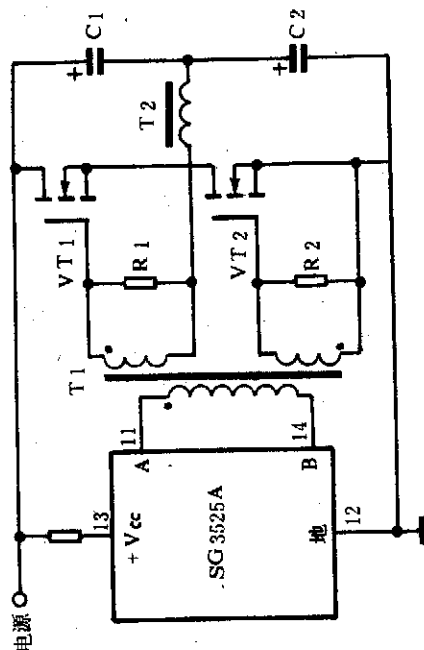


图 7-20 双端输出驱动 MOS 功率管的电路

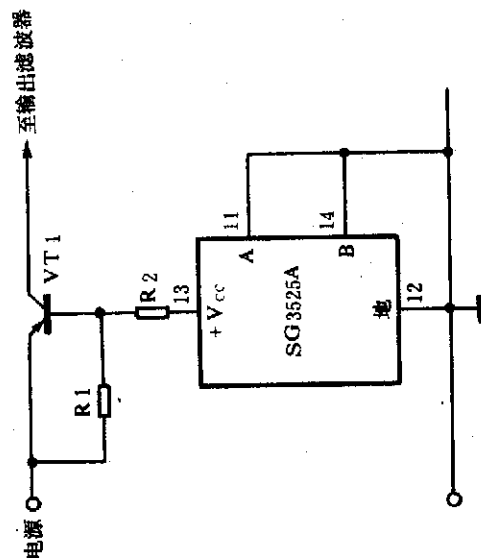


图 7-21 输出级二路并用的电路图

前面几节,我们分别介绍了几种 PWM 控制电路,但近年来许多性能更完善的集成控制电路不断产生,许多电路被用来推动各种类型的功率器件,如 SG3527A,则专门用来设计驱动 P 沟道 MOSFETS 晶体管的。对单端电路的设计,则有 MOTOROLA 公司生产的 MC34060 和 MC35060 等高性能的 PWM 芯片可以选择。集成电路的发展,给广大工程设计人员提供了更为广阔的选择空间。因此,在设计开关电源的过程中,我们提供的材料,仅仅是让用户能对 PWM 控制电路有一个了解,以便在应用中有所参考。

第八章 开关电源辅助电路

前面几章已经提到,为了增强高频开关电源的稳定性和可靠性,还需要许多外围电路和辅助电路。

在开关电源的主振回路中,广泛地应用了象光电耦合器一类的元器件,这些元器件在反激式变换器和正激式变换器电路中,除了提供必要的输入—输出隔离功能外,它们还能提供良好的信号传递功能。此外,主振回路还包括其它一些电路类型:如软启动电路、过流保护电路、过压保护电路等,这些电路可以有效地防止电源由于意外原因造成失效损坏。

本章主要描述在外围电路、辅助电路中所使用的元器件、介绍典型辅助电路的设计及这些元器件如何在电路中进行应用。

第一节 光电耦合器

光电耦合器也叫做光电隔离器,在开关电源的主振回路中,它在输入回路和输出回路之间起隔离作用。同时,它还为电源的稳压控制电路提供信号传递通路。图 8-1 表示的是典型的光电耦合器结构图。

光电耦合器主要由两个元件组成:一个是光源。实际上它是一个发光二极管(LED),另一个是光敏器件,它可以是光电池、光敏三极管、光敏单向可控硅等器件。最通用的光电耦合