

采用 UC3906 的 开关型铅酸蓄电池充电电路

北京信息职业技术学院 路秋生 赵红 唐继芳

摘要 文中介绍了采用 UC3906 和 UC3823 的紧凑型铅酸蓄电池充电电路, 由于充电器电路为开关型电路结构, 所以具有工作效率高、体积小和充电精度高的一系列优点。此电路可应用于大小功率铅酸蓄电池的充电电路应用场合。

0 引言

铅酸蓄电池在直接供电和备用供电的应用场合得到了广泛的应用。为了充分发挥铅酸蓄电池的作用, 充电器电路在给电池充电的过程中, 应给电池充足电, 尽量避免过充电, 从而延长其使用寿命, 由于铅酸蓄电池的电量和温度有关, 所以在设计充电器电路时应考虑到温度对充电量大小的影响, 从而使电池充足电并延长其使用寿命。简单、造价低的充电器电路应用在小功率设备的应用场合, 但是对一些大功率设备的充电应用场合, 则需用电路结构更为复杂的充电电路。人们感到较为麻烦的是设计一个体积适当、造价低的铅酸蓄电池充电器电路, 在这种场合下, 要求电池充电器的电路性能优良, 工作可靠, 这样就需用到集成电路控制的充电电路。

实践证明, 要保证铅酸蓄电池的使用寿命, 正确充电方法是非常重要的, 温度对充电有很重要的影响。要制作出一个性能优良的充电器, 仅用分立元件来实现难度较大, 而采用集成电路组成的充电器电路在电路性能、工作可靠性和体积等方面都有很好的表现。

1 铅酸蓄电池充电时的问题

铅酸蓄电池在充电过程中需注意两个问题, 首

先应使电池尽快充足电, 其次应补充由于电池的自放电而减少的电量。这样在电池的充电过程中需要准确地检测充电电压和充电温度。

在铅酸蓄电池的充电过程中, 硫酸铅被转换成了负极板上的铅和正极板上的二氧化铅, 当电池内的大部分硫酸铅被转变成铅和二氧化铅后, 随之就出现了电池的过充电现象, 导致氢气和氧气的产生。如果电池的充电速率选得适当, 则大部分的氢气和氧气在密封电池内部再结合, 但是在非密封电池中则会产生脱水现象。

通过检测电池充电电压的办法可以检测过充电的出现, 图 1 表示铅酸蓄电池以不同充电速率的电压和放电速率的电压和电量恢复的关系曲线, 从图中所示的关系曲线中可以看出, 充电电压的突然上升点就是电池过充电的起始点, 并且当充电率上升时, 过充电现象就出现得早些。

当电池的电压突然急剧上升时, 则表示可能出现了过充电现象, 而过充电点的出现位置和充电速率有关, 当充电速率增加和出现过充电时, 电池的充电电量减少, 出现过充电点正好和它充足电的时刻相对应, 这时电池的充电速率必须少于 $C/1$ (相对铅酸蓄电池 1Ah 电量的 $1/100A$)。在大充电速率的应用场合, 应注意它的过充电问题, 以确保充足电。从图 1 所示的曲线可以看出, 当充电率上升时,

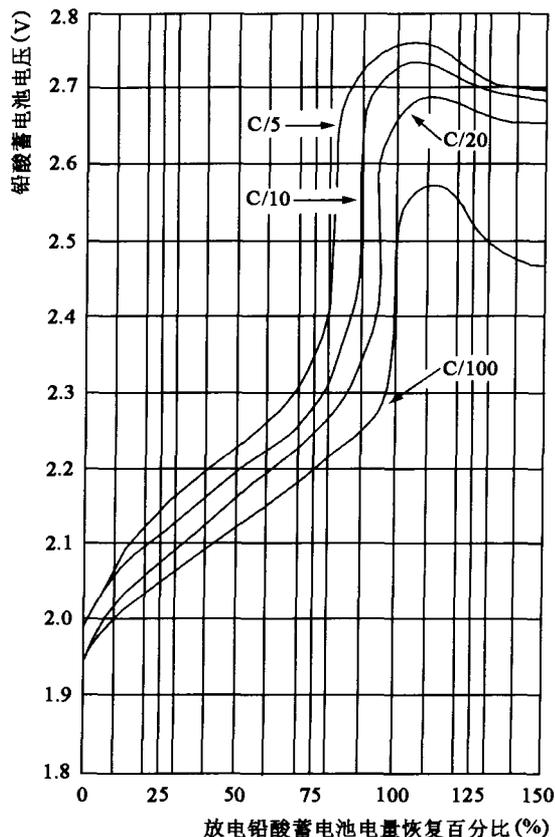


图1 铅酸蓄电池的充电电压与电池电量恢复的关系曲线

过充电现象就会出现得早些,从其曲线急剧上升点可以看出。

在铅酸蓄电池的充电过程中,为了确保它充足电,可以采用恒电压充电的方法,可以适当地提高它的充电电压,但是又不能太高,以避免出现过充电,但是又足以补偿由于电池的自放电而引起的电量下降,但是要保持其充电电压不变相对是比较容易的。一般而言,考虑到诸多对充电因素的影响,可以对每节电池取 $-3.9\text{mV}/^\circ\text{C}$ 的温度补偿系数。如果不对充电温度做补偿,则有可能使电池充不足电,并且在充电温度过高时,会出现过充电现象,而在充电温度过低时,电池又充不足电。

2 铅酸蓄电池的充电方法

为了满足电池对充电电路的有关要求和延长使用寿命,应选用适当的充电方法,对铅酸蓄电池

而言,其充电过程应按4步进行,如用图2所示的电池的4个充电工作状态图所示,假定电池被放完了电,并要再被充足电,则电池的充电应经历以下4个步骤。

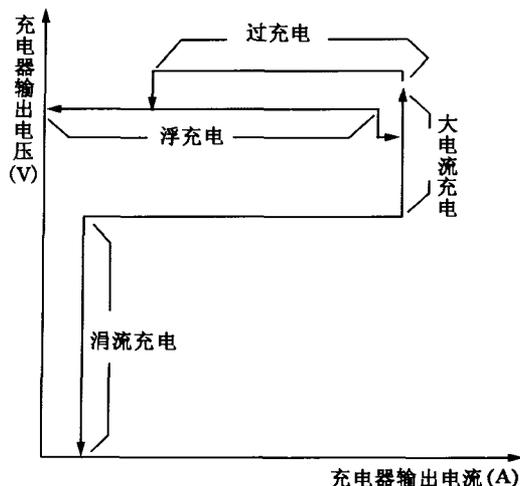


图2 铅酸蓄电池的4个充电工作状态图

2.1 铅酸蓄电池的涓流充电

如果电池的电压低于预定的阈值电压,则表明电池已经历深度放电或内部有短路的单元,这时可采用一个小的涓流电流充电,使电压上升到和电池零容量相对应的电压值(典型值为 $1.7\text{V}/1$ 节电池/ 25°C)。涓流充电可以避免由于大的充电电流而引起有短路的单元而致使有过量气体溢出的现象。但需注意的是,经过涓流后,电池的电压已上升,这时如果要检测被充电电池中的短路单元就显得十分困难了。

2.2 铅酸蓄电池的大电流充电阶段

电池一旦经过涓流充电,其电压超过了涓流充电的阈值电压,这时充电器电路转入大电流充电工作状态,在这个充电状态,电池的主要电量被恢复。

2.3 铅酸蓄电池的过充电

电池在经历了大电流充电工作状态后,使充电器转入过充电状态,以确保存在较短时间内使电池充足电,而过充电电压的大小取决于图1所示的大

电流充电速率的大小。需注意的是,对非密封式电池而言,应控制其过充电的时间,应使其过充电时间应尽量短,以避免出现气体外溢和脱水现象。在过充电期开始的时间,过充电电流和大电流充电电流一样大,一旦达到了电池的过充电电压,则应减小过充电电流,当过充电电流减小到一个比较低的值后,过充电状态结束。一般而言,电池过充状态中止的过充电电流为大充电电流的 1/10。

2.4 铅酸蓄电池的浮充电

为了保持电池的电量充足,在经历了过充阶段后,电池进入浮充工作状态,此时电池的充电电压为一个恒定值,这时充电器为维持电池电压不变所需一个充电电流,并且可以利用这个充电电流补偿由电池的漏电流而引起的电池电量减少。当有负载加到蓄电池后,充电器电路将提供所需的大部分大电流充电电流,这时电池充电电流被维持在浮充电电流的水平,直至电池电压下降至充电电压的 90%,在电池电压低于浮充电电压的 90%以后,就又进入大电流充电状态。

3 铅酸蓄电池充电电路的设计

要设计一个充电电路,有多种实现的方法来满足不同所需的充电控制和提供所需的充电电流,但是为了提高充电器电路的工作效率,在大充电电流的工作状态下,采用开关型充电控制方法更为有利些,同时为了降低充电电路的造价和简化电路设计,并确保电路的控制功能,应尽量选用充电控制集成电路。以下介绍的充电电路的结构采用了两片专用集成电路来实现所需的电池充电控制功能,而功率级采用分立元件的功率 MOSFET 管提供所需的输出功率。

充电电路可以分成三个基本组成部份,第一部分电路是用于提供充电控制功能及充电温度补偿的电压控制电路和充电工作状态控制逻辑电路,第二部分电路是由电压控制环路来调节充电电流和充电逻辑控制状态的开关充电控制电路,第三部分电路是为被充电电池提供足够充电电流的功率输出级电路。

3.1 电压控制环路和电池充电逻辑状态控制电路

对小容量电池的充电可以采用线性功率级电路来提供充电电流,UC3906 铅酸蓄电池充电控制集成电路具有电池充电电压控制和充电逻辑状态控制的功能,并能提供充电的温度补偿控制功能。UC3906 的内部工作框图如图 3 所示。

电池的充电电压通过一个电阻分压电路来监控,利用这个电池充电电压监控分压电阻电路和一个经过温度补偿的基准电压的比较来确定浮充电压、过充电压和涓流阈值电压。

由于 UC3906 和铅酸蓄电池的温度监控是非常重要的问题,所以实用中应使被充电电池和 UC3906 的安装位置要近,要准确地监控被充电电池的温度,并尽量适应外界因素对充电的影响。

在 UC3606 内部采用了一个电流差分比较器电路来中止过充和到浮充电工作状态的转换。UC3606 内部的电压放大器为充电控制电路提供所需的增益和电压控制环路所需的补偿。

3.2 铅酸蓄电池充电电路的开关电流量

电流控制环路的性能对充电状态控制转换有很重要的影响,充电电路应能提供所需的大电流,但是在浮充工作状态时,仅需充电电路提供几毫安的充电电流,这就需要电流控制环路的增益度化范围大至 60dB,对常用的峰值电流型控制方法而言,其实现的难度是比较大的。在要求如此宽的电流放大器的工作动态范围同时,又要求电流放大控制环路工作在电流连续导通和电流不连续导通的工作状态,这样对电压控制环路的工作稳定性提出了较高要求。虽然可以利用在充电器电路的输出端加负载电阻的方法来减小电流控制环路的动态范围,但是这样做又会明显地降低充电电路的工作效率,特别是在蓄电池的浮充电工作状态下会更明显。在本电路中,充电电路的输出负载电阻取 10kΩ,利用这只电阻可以确保充电终止电流为零和为充电器电路的输出电容提供一个放电通路。同时为了提供电流准确的大电流和涓流的控制,这样就要求闭环电流控制环路的跨导要准确。平均电流反馈控制也对电池的充电工作状态有较大的影响,以上的问题是成

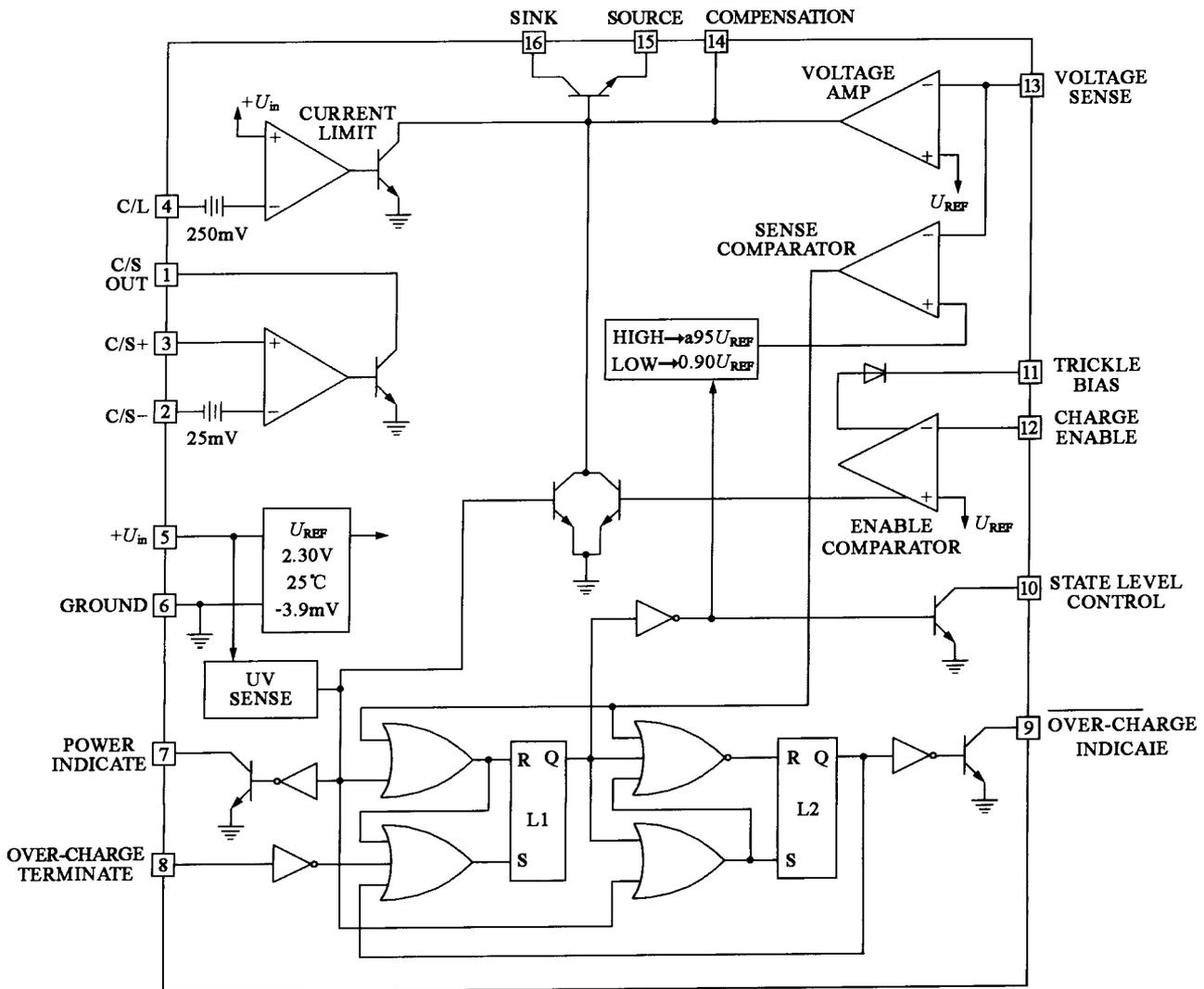


图3 UC3906的内部工作框图

功设计充电电路的几个关键问题。

图4表示充电电路采用平均电流反馈控制方法的工作原理图，它比峰值电流型控制要复杂些，利用平均电流控制方法可以使充电器电路在以下几方面有所改进。首先由于误差放大在较低工作频率范围内的高增益，从而使闭环电流的控制精度得到了提高，并且在大电池充电的工作状态下，当电感电流不连续时，可以适应输出级工作特性非线性的特点，并且利用平均电流控制技术改善充电器电路在很小的脉冲占空比工作条件下的抗开关峰值噪声的能力有所提高。

图5中的UC3823为PWM控制集成电路，UC3823的工作框图如图5所示，UC3823被用于电流控制环路主要基于以下几方面的考虑。首先最重要的一点是它可以在非常小的脉冲占空比到100%的脉冲占空比的变化范围内能够线性工作，其次是误差放大器的带宽足以满足平均电流控制环路的要求，最后就是它的输出非常容易和外接分立元件组成的功率输出级电路相连接。

利用图4中所示的电流差分运算放大器可以完成充电电流检测和充电电路输出电压的控制功能。差分电流放大器的失调电压和共模抑制比是电

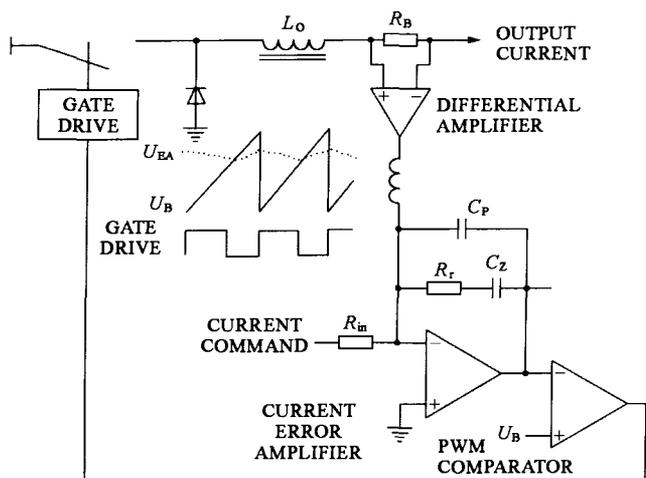


图 4 平均电流反馈控制的工作原理图

3.3 铅酸蓄电池充电电路的功率输出级

在充电器的功率输出级电路中采用了输出降压电路结构,为了进一步简化 UC3823 的高端驱动开关电路,这里采用了一个直接耦合的 P 沟道 MOOFET 管,并且功率驱动输出级采用了一只 12V 的稳压二极管来限制功率开关管的栅、源驱动电压的幅度,而和功率 MOSFET 管栅、源极相连接的 PNP 三极管用在当 MOSFET 管关断时,为其栅、源电容存储的电荷提供放电通路,这种电路结构形式工作性能较为理想,同时采用 N 沟道的 MOSFET 功率器件,可以使电路的工作效率也要高些。由于对工作于平均电流型反馈控制方式的工作于电感电流不连续导通工作模式的电路,为了降低电路的体积和造价,这里采用了小电感量的电感,由于充电器电路的输出纹波电压不再是所关心的问题,所以充电器电路的

流控制环路误差的主要来源。

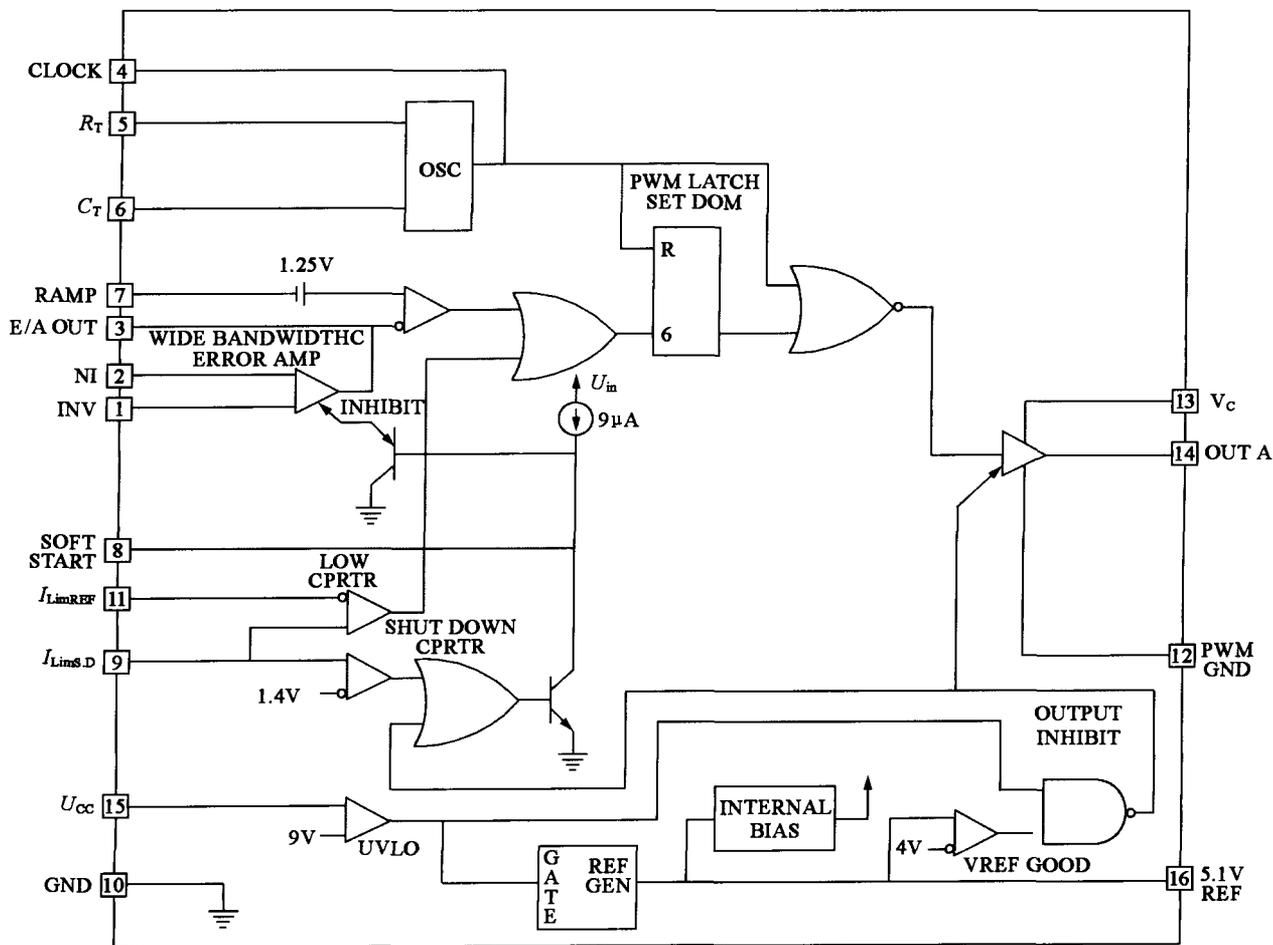


图 5 UC3823 的工作框图

输出滤波电容选取的主要考虑是输出纹波电流的大小。同时在电路中为了减小由于电路杂散参数而引起的高频振荡,在输出整流二极管上并联了 RC 吸收电路。和充电器输出电路串接的二极管是用于当充电器电路的电源消失时避免电池通过充电电路反向放电。

3.4 铅酸蓄电池充电电路

开关型电池充电器的完整电路图如图 6 所示,在考虑到输出滤波元件的体积和开关损耗等因素后,电路的开关工作频率取 100kHz。通过 $0.1\Omega/5W$ 的充电电流检测电阻来完成电流的检测,这样可以实现逐个脉冲的电池充电电流检测的控制,并能很好地完成电路非正常工作状态的检测。在 UC3823 的基准电压为 5.1V 的工作条件下,电流差分放大器的增益设定为 5 倍。

在误差放大器的反相输入端,电流反馈信号和电流命令信号被求和,为了满足充电器电路中的误差放大器和差分放大器的最坏失调电压的工作条件,并使充电器电路的输出电流可以为零,误差放大器的同相输入端电压被设定为低于基准电压 5.1V 为 130mV 的电压 ($5.1V - 130mV$),通过在差分放大器反相输入端输入一个小的电流的方法来实现充电电路的涓流充电控制,这样利用运算放大器的输出电流可以使控制电路能稳定工作。同时利用一只接至 PWM 比较器输入端的 100PF 电容,可以使电路在小脉冲占空比的工作条件下提高 PWM 控制电路的抗干扰工作特性。

为了提高控制电路和浮充电压的精度,UC3906 的地被连接到了电池的负极。图 7 表示 UC3906 的输出电路与外电路的连接电路原理图,利用电压放大器的输出信号来提供充电器的输出电流控制信号,通过电压放大器的输出端电压的 4.2V 箝位可以限定充电器电路的输出电流,同时利用这个 4.2V 箝位电压也可以使输出驱动电路饱和。

利用一个电阻分压网络可以实现电池充电电压的检测控制,图 6 所示充电电路的输出电压被设定为 24V(12 节电池),利用 UC3906 的工作参数表和输出电压取样电阻分压电路,也可以设定充电器

电路的其它输出电压值,改变充电器电路的输入电压,需要调节充电器电路的输出电路和有关控制电路的元件参数。除了电池过充状态的中止控制外,利用充电电路的输出电压检测电阻分压网络可以决定充电器电路充电工作状态的转换,而电池过充状态的中止是利用检测当电池的充电电流已减少到大电流充电电流的 1/10 的控制方法来实现,这点可以利用 UC3906 内的电流检测比较电路来实现。

3.5 铅酸蓄电池充电电路的电流和电压控制电路的补偿

这个充电电路为双环结构,电流控制环路为内环,电压控制环路为外环,在电池涓流充电期间、大电流充电和过充电开始期间,电压控制环路处于饱和和工作状态,而电流控制环路由一个固定的基准信号来驱动。

在电感电流连续的控制方式下,图 4 所示的电流控制环路的增益由输出电感端看去,为一个单极点响应工作特性。在开关工作频率处误差放大的增益设置的依据为电感电流的下降斜率要比通过 PWM 比较器的振荡斜波的上升斜率要小。在电池充电器工作条件最坏的情况下(充电器电路输出电压最大),可以使这两个斜率值相等,同时在控制环路没有次谐波振荡的情况下,控制电路可以得到最大控制带宽。

如果在控制环路的最小交越频率处以下设一个零点,而在最高交越频率处以上设一个极点,则可以明显地提升电路在低频段的增益,并且提高充电电路的抗干扰性。但是由于实用中对充电器控制环路的响应特性不是很重要的问题,所以实用中可以采用控制环路有足够相位余量的方法就可以满足电路的技术要求。

当电感电流为不连续导通时,充电器功率控制电路的增益忽然下降,这样就需要 PWM 控制电路的占空比有大的变化,以适应充电器电路对输出充电电流的要求。而电感电流连续导通的单极点工作特性又使电感电流与电压之间的 90° 相位滞后特性消失,电流控制环路的工作特性更加稳定,只是瞬态响应特性变差。但是好在由于高增益误差放大器

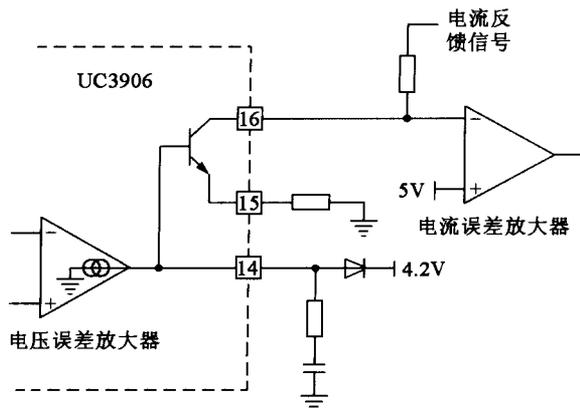


图7 UC3906的输出电路与外电路的连接电路原理图

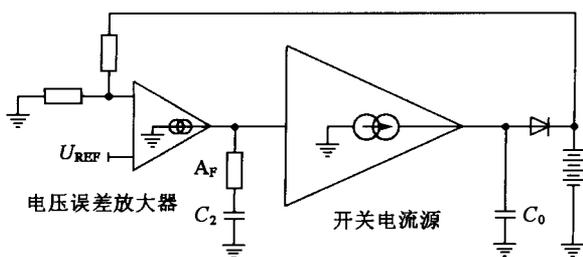


图8 电压控制环路的工作框图

部的电流跨导控制环路在输出电压控制环路在充电器电路输出电容和等效负载阻抗上表现为一个单极点响应特性，从而使电压控制环路的增益表现为固定增益并提供所需的控制环路补偿，并且当充电器电路的输出电流较大时，电压控制环路的电压增益有很大的下降，这样充电器电路的输出电压控制精度又有所降低。在电压放大器的控制传递函数中设置了一个零点，这样可以提升电压控制环路的低频增益并改善充电器电路的充电电压的控制精度。

电流控制环路在它的交越工作频率以上为单极点响应特性，这样可以消除由于充电器电路的输出电容和它的等效串联电阻(ESR)对功率输出驱动级的零电位的影响。由于在充电器控制电路中不需要宽带控制特性，电压控制环路的交越频率点选得大大低于电流控制环路的极点工作频率。在充电器电路的具体制作过程中，应选用漏电小的补偿电容器，以确保跨导电压放大器的增益要高。

4 充电器电路的输入电源

如果充电器的电源来自于交流市电，则需要一个降压变压器和一个整流滤波电路，有可能这部分电路的造价要占整个充电器造价的一半，并且主要的体积和重量由这部分电路决定，但是如果从减小充电器体积和重量的角度出发，可以采用开关电源来为充电器电路供电，这样可以去掉体积、重量都不占优势的电源降压变压器，从而进一步改善充电器电路的技术性能。

5 结语

上面介绍的充电器电路具有工作稳定，性能好的优点，在充电器电路输出端开路时也能正常工作，通过适当地选取充电器输出电压取样分压电阻参数的方法，可以使该充电器电路应用于6V、12V和24V铅酸蓄电池的应用场合以及在24V输出电压、40V输入电压的应用场合，充电器电路的工作效率可达85%。

充电器电路在以下几方面采取了措施，从而改进了电路的工作效率。

首先在差分放大器中改进它的控制精度和减少它的失调电压，因而可以采用阻值较小的电流检测电阻，从而减少了在电流检测电阻上的功耗，其次在充电器的输出端采用肖特基二极管，因而也可以相对普通硅二极管减少几瓦的功耗。如果还要进一步减小充电器电路的功耗，可以用继电器来取代这个肖特基二极管，来避免由于充电器电路的输入电压消失后蓄电池通过充电电路的放电，同时如果在电感的设计过程中再进一步仔细考虑，也可以进一步降低电路的功耗。实际上充电器电路的最大功耗出现在功率开关管上，如果选用峰值工作电流大和导通电阻 $R_{ds(on)}$ 小的功率MOSFET管，则可以进一步减少充电器电路的功耗，使充电器电路的工作效率高达90%。

同时如果选用N沟道的MOSFET功率管有利于提高电路的工作效率。通过浮充电和小电流的连续过充电，可以减少每节被充电电池之间充电状态的差别。提高电流控制环路的精度有利于提高浮充电电流的精度。■