



高效利用数字 SMPS 资源奖

太阳能发电和 LED 照明控制器设计

注册编号: MCHP16bitCDC0212

参赛队员: 张 娜

引言：

- ☛ 太阳能在地面的应用最早是在通信、交通和石油管道等工业领域。在交通领域应用，太阳能光伏系统具有非常独到的功能，不用拉线、施工方便、节能环保、安全可靠，在路桥、隧道和山道等都有广泛的应用，像德国、日本等发达国家，基本上在公路上随时可见太阳能光伏设施。
- ☛ 目前，我国的能源形势越来越紧张。煤炭、石油、水力等不可再生能源日益枯竭，各级政府在响应中央提出的建立节能型社会的号召下更加重视再生能源的应用。北京市正式决定建立太阳能路灯照明的街道，深圳市园博园内的 1 兆瓦太阳能光伏电站，以及北京奥运场馆“鸟巢”太阳能光伏发电系统等等都充分说明了这一点。
- ☛ 我国的道路建设发展很快，特别是近年来，乡村城市化的步子越来越快，道路在不断延伸。随着道路的建设，道路照明等也成为必需的附属设施。而太阳能光伏供电（包括路灯、交通警示灯等）将是最佳选择。节能、环保,凸显应用新能源的成果太阳能光伏应用设施将成为我国城市、乡村的一道亮丽的风景线。
- ☛ LED 作为新兴的固体照明光源，越来越受到人们的关注，在此设计中用该控制器驱动一组 40PCS 串联的 1W 大功率白光 LED 光源。当在距离地面 8M 灯杆的高度照下来时，在地面形成 $>20\text{Lx}$ 以上的照度。

☛ 整个系统实物如下图所示：



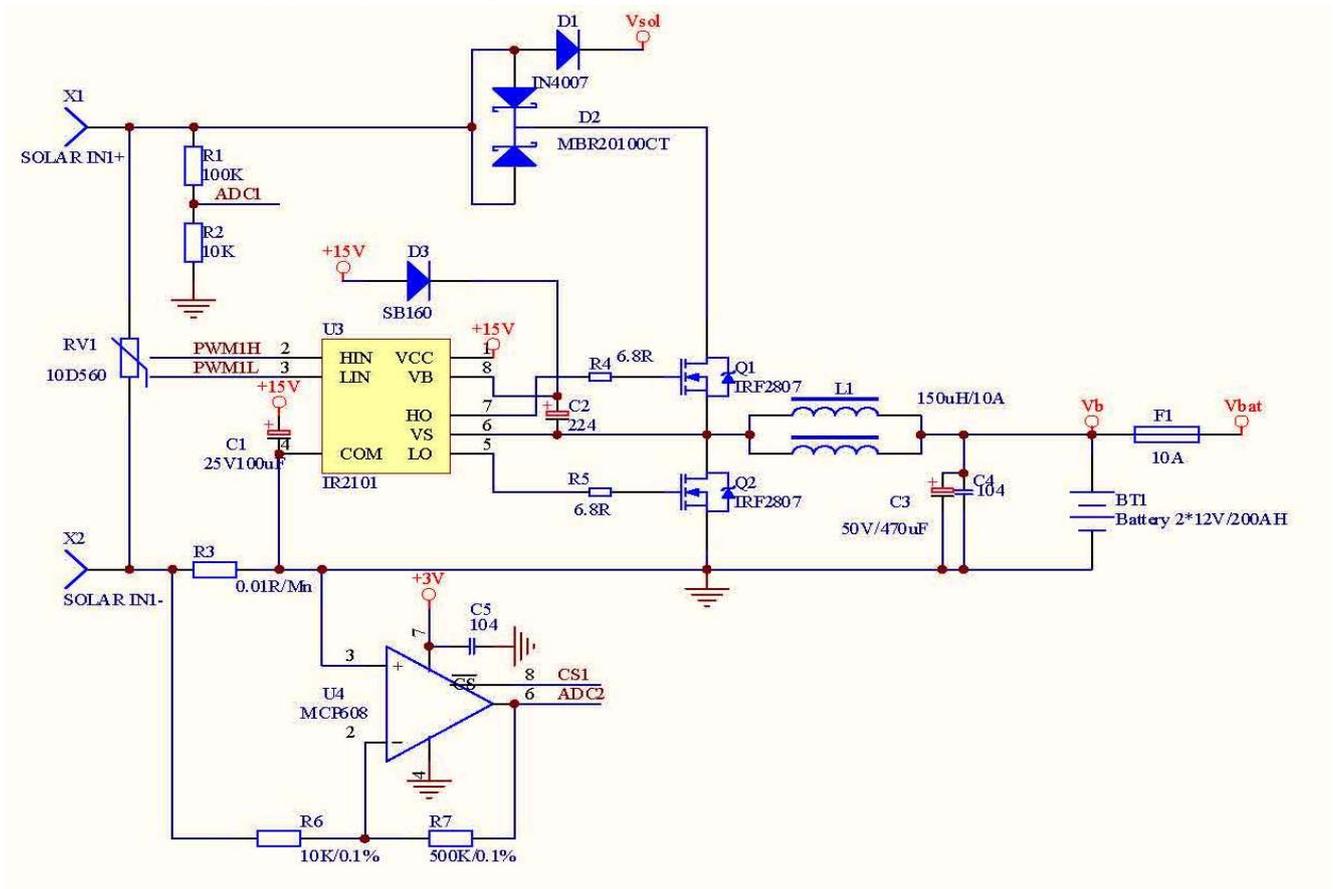
概叙：

使用 dsPIC30F2020-30I/SP 器件作为整个系统的核心。白天控制器将太阳能电池输入的电源通给 2 个 12V/200AH 串联的蓄电池组充电，并时刻检测蓄电池的充电状况,防止蓄电池产生过充情况，并对充电时蓄电池温度进行检测，对充电时进行温度补偿;到了晚上，控制器一方面将蓄电池里的电放出来供给 LED，由于 LED 连接方式为 40 个串联，按每个 Vf 值 3.2V 来计算，至少需要 128V 的电压才能点亮，所以驱动电路采用同步 BOOST 电路来将蓄电池电压升压，以恒流 350mA 方式对 LED 进行驱动；另一方面监测蓄电池的放电情况，以防止蓄电池产生过放情况。

一、系统硬件部分设计方案

1.太阳能充电部分：

充电部分电路图如下图所示：



从图中可以看出，该充电电路的功率 TOP 部分采用上下 2 个 N 沟道的 MOSFET，该电路设计为同步降压(BUCK)方式。使用降压进行太阳能发电的最大功率点追踪控制，以使太阳能最大功率输出给蓄电池充电。

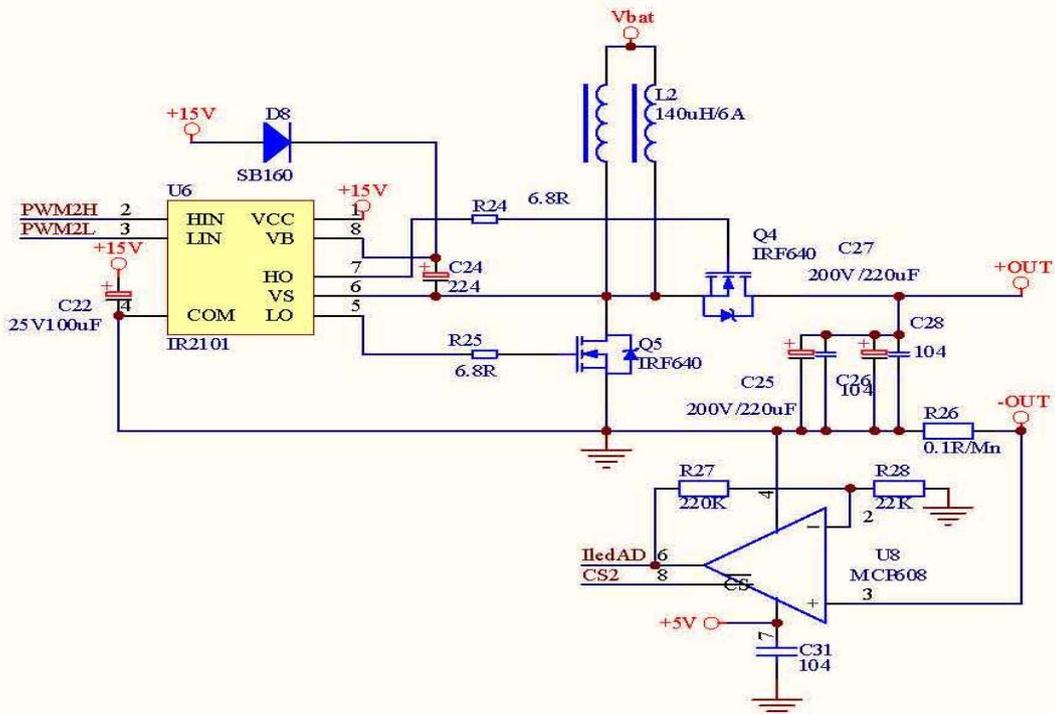
该 BUCK 电路与常规的 BUCK 电路有一点点区别，那就是电感 L1 和蓄电池充电回路之间的续流二极管采用了 MOSFET 代替，它和上管 Q1 共同工作实现同步整

流，由于它具有极低的 R_{ds} 导通电阻，所以可以实现比采用二极管进行续流高得多的效率，最大限度地减小损失太阳能宝贵的发电能源，并且不会带来严重的散热问题。由于 Q1 工作于浮态，为了能使 MOSFET 工作于最佳状态，前极使用 IR 公司的 IR2101 半桥驱动芯片来驱动后面的半桥。dsPIC30F2020 从 PWM1L、PWM1H 输出 2 路边沿对齐的 50KHz 互补 PWM 脉冲来使同步 BUCK 工作。此时将会启动太阳能最大功率点追踪(MPPT)功能，从图中可以看到，太阳能电池电压检测由模拟通道 AN1 输入至 MCU，充电电流检测输入为 AN2。MCU 发出 PWM 脉冲时，时刻检测 VSAD、ISAD，并对这连个变量作乘法运算，计算出某一时刻的太阳能发电功率，并且实时调整 PWM 脉冲宽度，使蓄电池以太阳能电池输出最大电流进行充电。

当正在充电时，打开 MCU 的 I2C 模块，通过从 U9 (MCP9800) 数字温度传感器读取蓄电池组的温度数据，并且修正充电时蓄电池温度和浮充电压的关系，以 $-4mV/^\circ C/Cell$ 的修正量来进行温度补偿。从 AN0 输入的蓄电池电压参数，作为蓄电池充满和过充信号。充满时，最高电压控制在 28.8V.此时，BUCK 电路退出 MPPT 功能，变成恒压输出，并且以恒压方式对蓄电池进行补充充电。一个肖特基二极管 D2 为了防止晚上蓄电池对太阳能电池放电，该二极管也可以用 2 个 MOSFET 反向串联来代替，或者用一个双向可控硅来代替，以减小正向导通损耗。并且用一个压敏电阻 RV1 来限制由于雷击太阳能电池板造成系统损坏。

2.同步升压与 LED 照明驱动部分：

同步升压 LED 驱动部分电路图如下图所示：



由于该路灯采用 40 颗高亮度 1W 白光做光源，该 40 颗 LED 采用 40 颗串联的方式连接在一起，然后用 350mA 的恒定电流对其进行驱动，这样就可以将 LED 工作于最佳方式，并且在这个范围内获得优异的亮度。由于串联后需要至少 128V 的电压才能正常驱动，而此时我们的系统电压为直流 24V，所以需要将该系统电压提

升至 128V 的水平。所以在后极 LED 照明驱动部分采用典型的 BOOST TOP 架构。在此 BOOST 电路中，二极管被换成了 MOSFET Q4，由于 Q4 也是工作于浮态，所以也和之前的充电部分一样，都需要半桥驱动芯片来对 Q4 和 Q5 进行驱动。在此也使用 IR2101 芯片作为 MOSFET 的驱动芯片，2 路互补的 PWM 从 MCU 的 PWM2L、PWM2H 输出。

当 MCU 启动输出 PWM2 时，先将 PWM2L 的脉冲宽度从最小开始限制，在一定时间内，将 PWM2L 的脉冲占空比从最小变化到 80%，(从 BOOST TOP

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1-\delta}$$

电路可知，

式中 δ 为占空比。

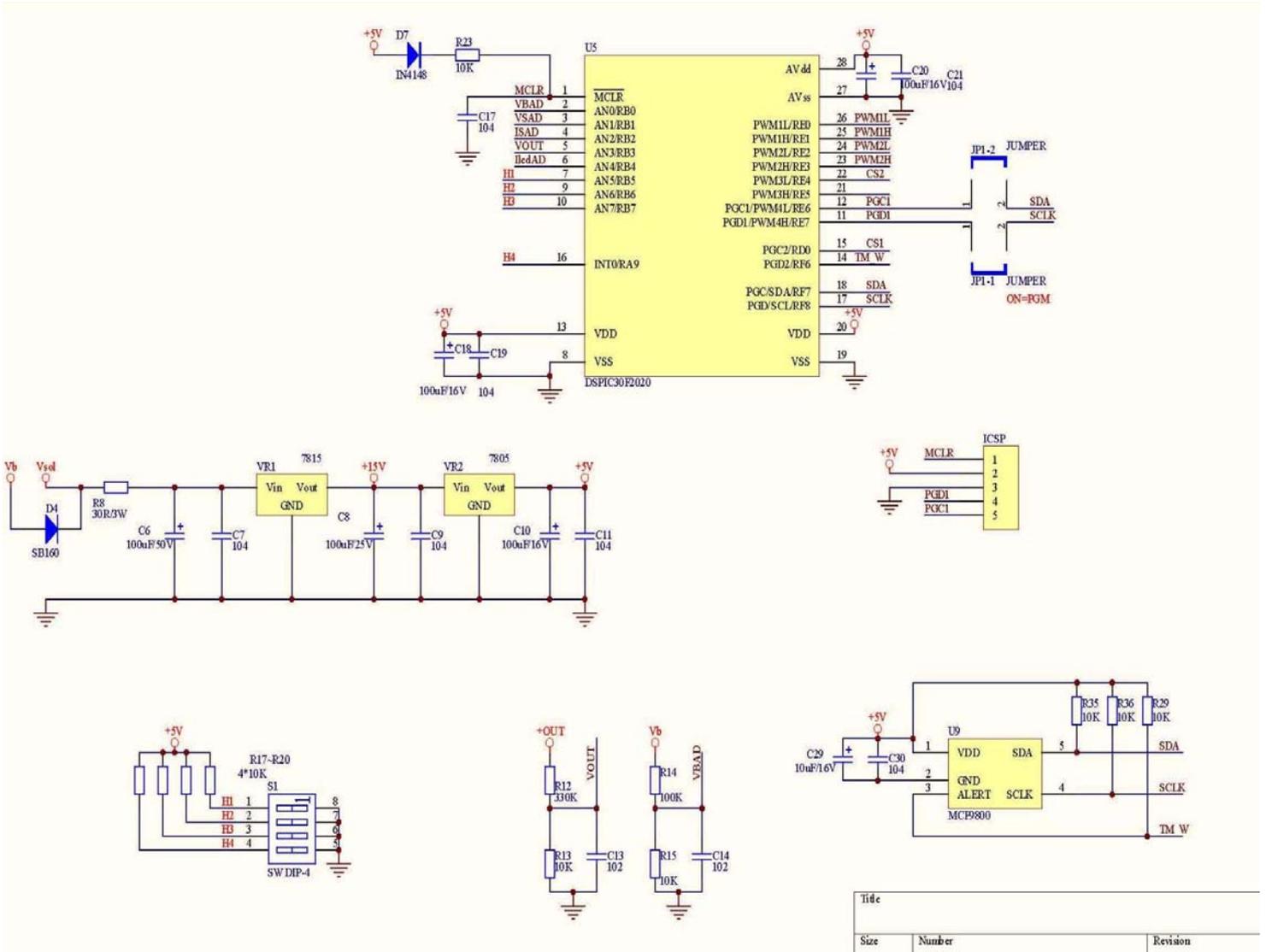
设输入 $V_{in}=24V$ ，按 $V_{out}=128V$ 计算，那么 $\delta \approx 0.53$ 以上

此时输出从 24V 一直升压到 120V，完成软启动。此时从 AN4 输入的电流检测信号送入到 MCU 进行 A/D 转换。由于串联在输出回路中的电阻 R26 为 0.1 欧姆，当通过 350mA 电流时，上面得到的电压为 0.035V，为了保证 ADC 该范围内有足够的精度，在这里加了一级运算放大器，对该电压放大 10 倍。这样 MCU 对 0.35V 的电压进行 A/D 转就可以得到真实的电流信号，如果 ADC 的值大于该值，将减小 PWM 的占空比，如果小于该值，加大 PWM 的占空比，使输出电压增加，进而使输出电流稳定在 350mA 上。

当输出端 OUT+、OUT- 由于某种原因断开时，输出电压检测机制将打开，R12 和 R13 共同组成输出电压分压网络，请 [点击此处](#) 查看电路图。输出电压信号通过 AN3 输入到 MCU 进行检测。当输出电压超过 155V 时，该 BOOST 电路从恒流状态转入恒压输出状态，恒定输出 155V 电压，以防止由于恒流源开路造成输出电压急剧上升和对开关管 Q4、Q5 造成损害。

3. 电源供电和MCU部分：

微处理器外围部分电路如下图所示：



dsPIC30F2020作为整个系统的核心，其性能非常出色，提供完善的外围功能模块支持，使该系统的整个复杂性大大降低。电源供电部分采用**LM7815**输出+15V电压提供给MOSFET驱动部分，从**LM7805**输出的+5V电源提供给MCU工作。

照明时间可以依据H1-H4上的指拨开关来进行设置，每档对应时间为1.2.4.8小时，这样可以通过不同的组合可以对应在1-15小时内作调整。外部ICSP端口用来烧写程序或系统升级之用。

二、系统软件部分设计方案

1.系统运行流程：

该系统主要工作是控制路灯照明和管理太阳能发电情况。

首先，MCU检测AN1的值，如果此时太阳能电池板电压超过4V以上，说明是到了白天(此时按照单晶硅太阳能电池来做的话，2块12V系统200W的电池组件在广东输出4V电压时对应的环境照度大约在10-20Lx)，如果此时控制器之前的状态为纯光控状态，那么亮着的LED灯就会熄灭；如果状态为光控+时控状态，如果亮灯时间没有达到设置的时间，LED灯也会熄灭，因为白天已经到来了。

此时MCU会一直监测太阳能电池的输出电压和蓄电池的电压，如果当太阳能电池输出的电压高于蓄电池2V以上，PWM1H、PWM1L开始输出一对互补脉冲，通过IR2101驱动Q1、Q2对蓄电池充电。MCU实时检测蓄电池充电情况并对加以管理，当充满后，转入恒定28.8V输出继续给蓄电池补充充电。

其次，如果太阳能电池的输出电压随着傍晚的到来逐渐减低，此时MCU一旦监测太阳能电池电压低于蓄电池电压，马上关闭PWM1H、PWM1L的输出，停止半桥的输出。当太阳能电池输出电压小于4V时，启动后极BOOST电路升压输出给LED进行照明。并且时刻检测蓄电池电压，如果低于蓄电池最低安全工作电压21V时，将会关闭PWM2H、PWM2L。BOOST电路停止，关闭LED光源。如果LED工作时间超过了设置的晚上照明工作时间时，LED灯也会被关闭，一直到第二天天明完成一个工作循环。

2.软件编写流程：

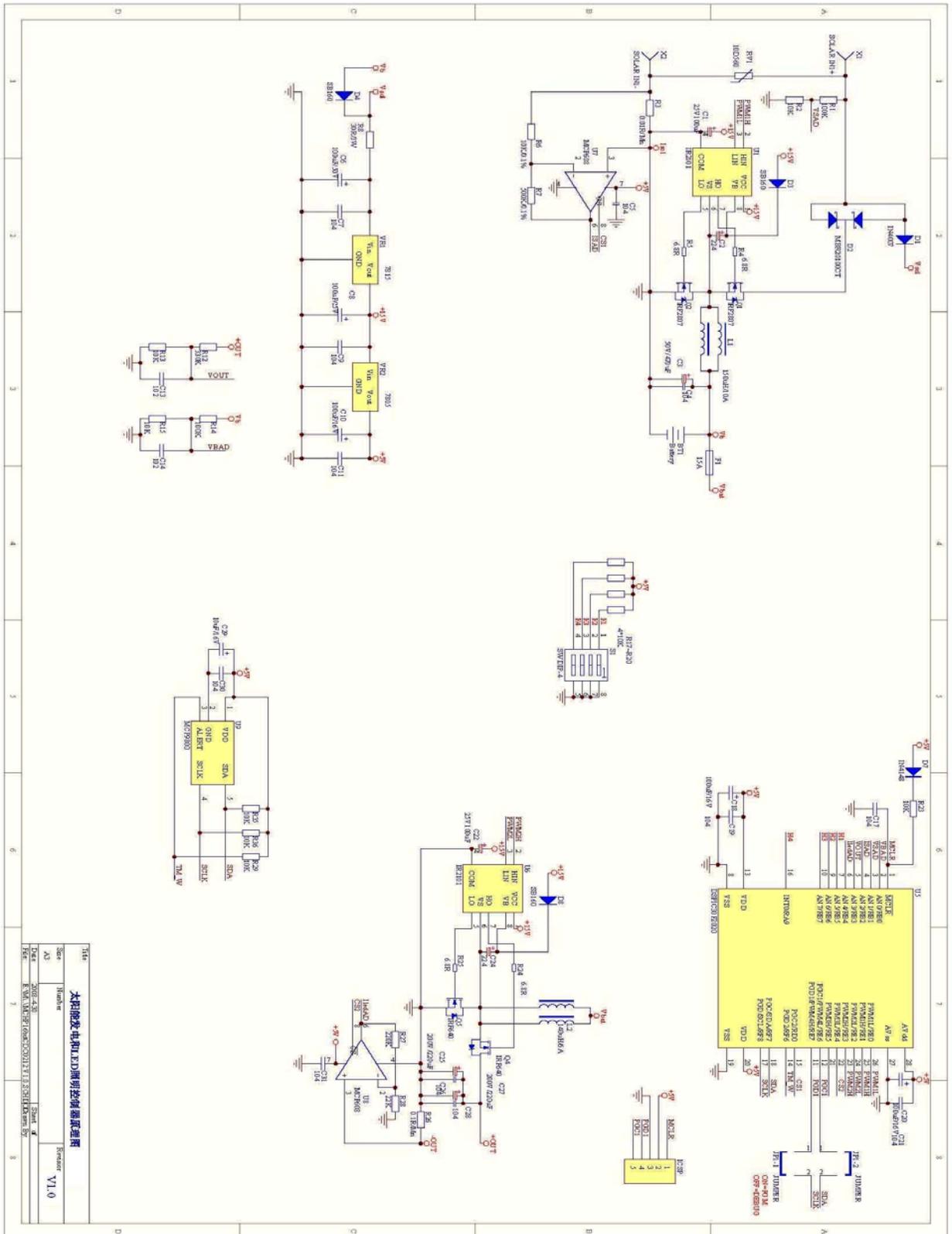
软件的编写使用MPLAB C30 v3.02 Student Edition，软件对dsPIC30F2020器件提供良好的支持，简单易用的开发环境很容易就可以按照上面第一点提出的系统运行流程思路来编写该系统的运行程序。

三、结论

使用dsPIC30F2020器件作为系统的控制核心，具有简单实用性以及极其优异的低功耗特性，MCU的高效的稳定性能使系统在户外严峻的气候环境下无故障的长期工作。太阳能和LED通过dsPIC30F2020微处理器有机的结合在一起，为节能环保，减少废气排放对大气的污染，创造一片洁净的生存环境，为我们人类赖以生存的地球家园建设绿色新能源提供了一片广阔的天地。

四、电路图

系统完整电路如下图所示：



参考文献资料:

1. **Microchip** Technology Inc. dsPIC30F2020 DataSheet
LINK ADD: <http://ww1.microchip.com/downloads/cn/DeviceDoc/cn027196.pdf>
2. **International Rectifier Inc.** IR2101 DataSheet
LINK ADD: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/ir2101.pdf>
3. **Microchip** Technology Inc. MCP608 DataSheet
LINK ADD: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/11177e.pdf>
4. **Microchip** Technology Inc. MCP9800 DataSheet
LINK ADD : <http://ww1.microchip.com/downloads/cn/DeviceDoc/cn021183.pdf>