

2024年模拟电子系统设计专题赛（TI杯）赛题解析

光伏阵列模拟器（D题）

哈尔滨工业大学

王立欣

2024年9月

光伏阵列模拟器（D题）

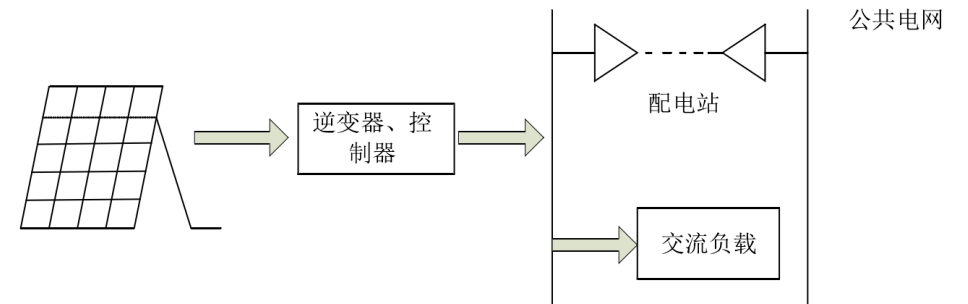
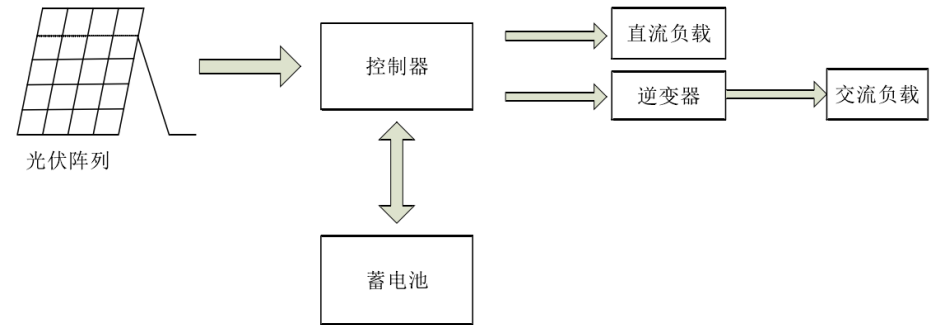
- 一、命题背景
- 二、题目说明
- 三、方案解析

一、命题背景

光伏阵列模拟器

光伏发电系统

光伏系统主要由光伏电池板、蓄电池及光伏并网逆变器构成。光伏系统研制过程中，需要进行一系列实验，采用实际光伏电池实验成本高、设备庞大，实验进程受限于天气环境影响，可控性差，光伏电池模拟器是一种理想的解决方案。要求光伏模拟器输出与光伏阵列外特性一致，实现温度、光照强度突变等条件下对光伏阵列外特性的模拟。

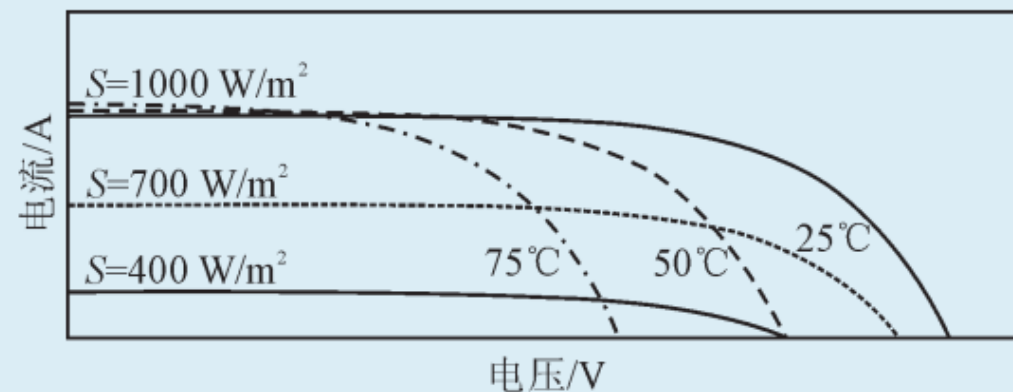
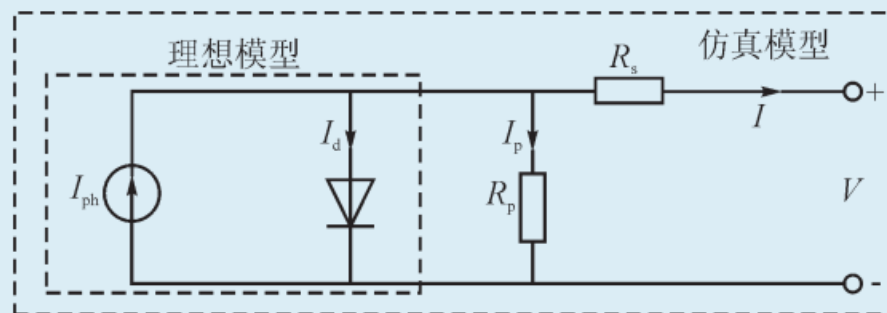


一、命题背景

光伏电池

光伏电池厂商给出的数据包括标准条件
($S=1000 \text{ W/m}^2$, $T=25 \text{ }^\circ\text{C}$, AM1.5) 下的开路
电压 U_{OCn} 、短路电流 I_{SCn} 、最大功率点电压
 U_{m} 、最大功率点电流 I_{m} 、开路电压温度变化
系数 K_V 、短路电流温度变化系数 K_I

光伏阵列模拟器



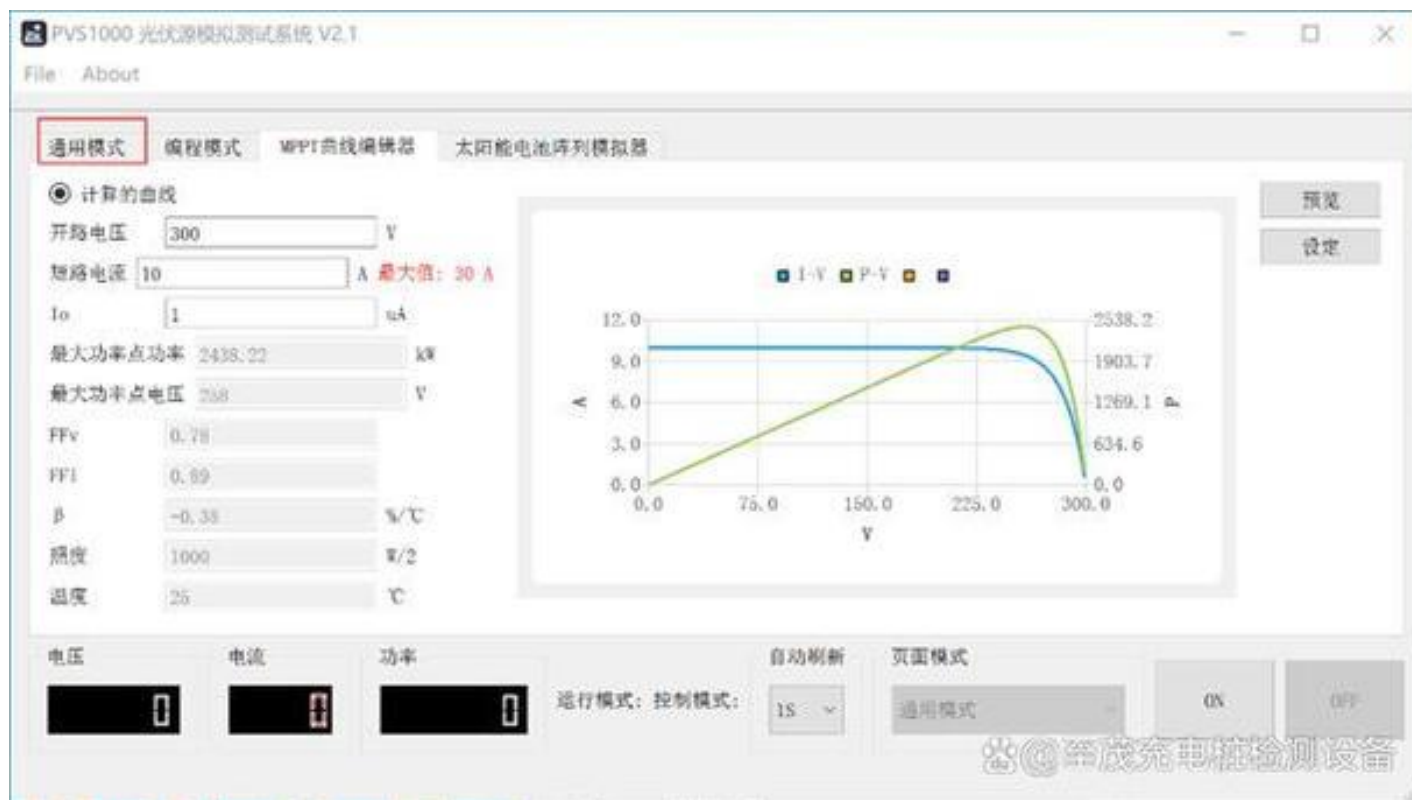
一、命题背景

光伏阵列模拟器

光伏模拟器类型

主拓扑：线性电路、开关电路型：Buck、Buck-Boost、PWM整流器。

模拟算法：模拟式、数字式和混合式

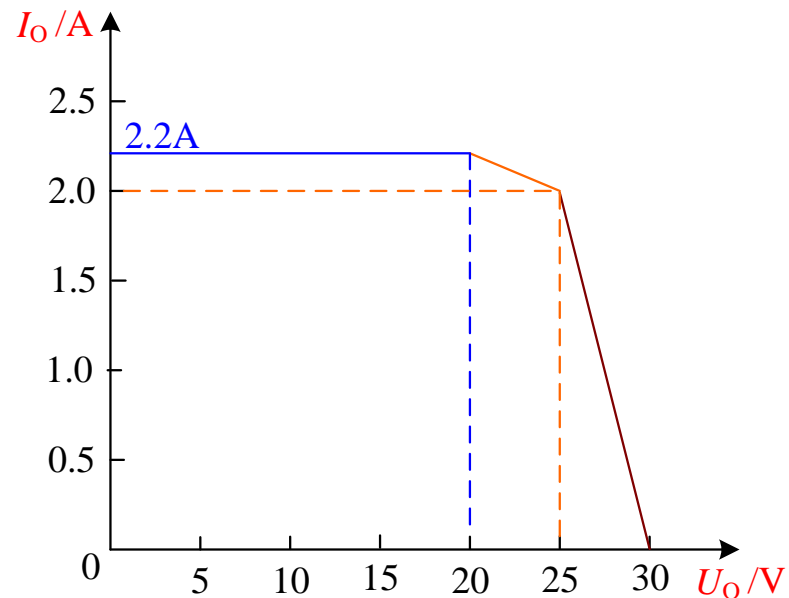
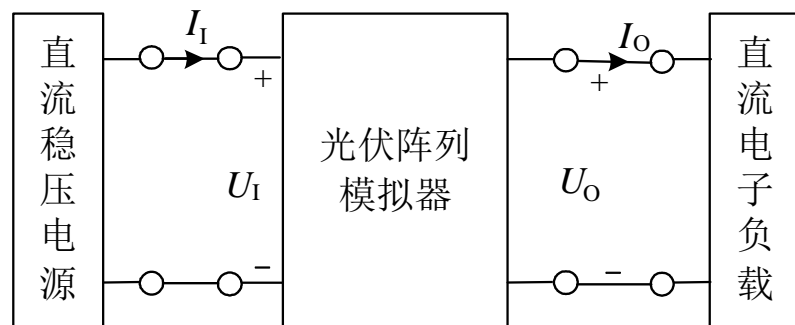


二、题目说明

光伏阵列模拟器

(一) 任务

设计并制作光伏阵列模拟器（以下简称模拟器），如图1所示。输入由直流稳压电源提供，负载采用直流电子负载，电子负载工作在恒流模式。模拟器输出特性曲线如图2所示。



二、题目说明

光伏阵列模拟器

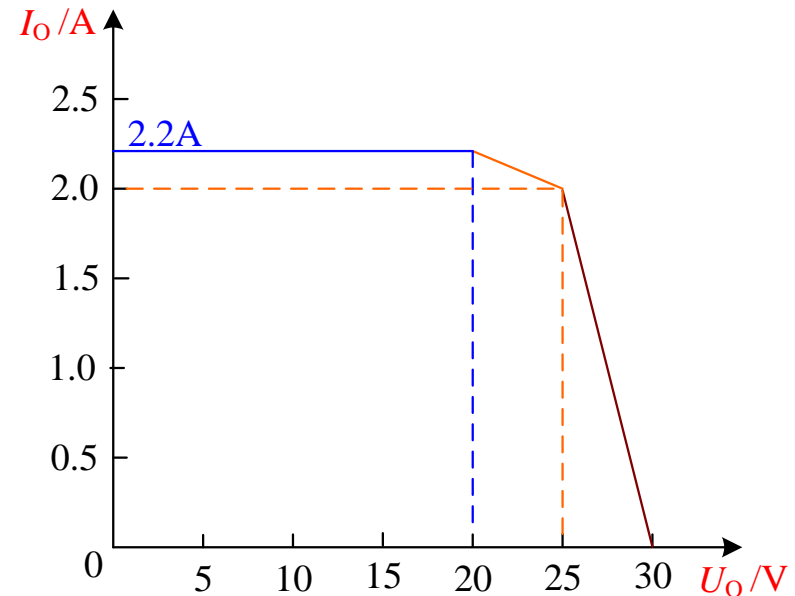
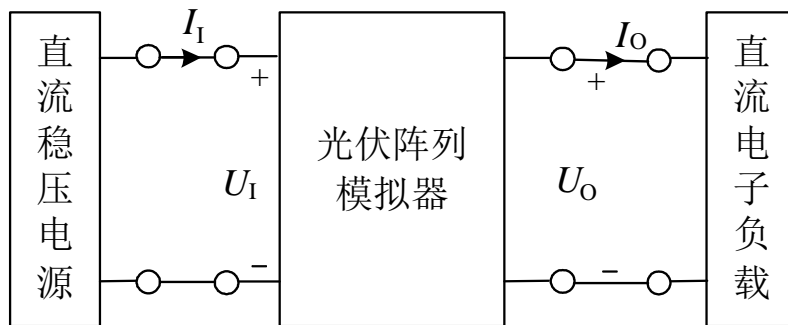
(二) 要求

1. $U_I=40V$ 条件下，通过直流电子负载改变输出电流 I_O ，使模拟器输出状态 (U_O, I_O) 按图2所示输出特性曲线变化，模拟器输出从某一状态变为新状态并达到稳定所需调整时间不大于2s，且稳态控制精度满足以下要求：(控制精度、50分)

(1) 开路输出电压 $U_{OC}=30V$ ，实测 U_O 偏差的绝对值不大于50mV；

(2) $I_O=0.1\sim 2.1A$ 时，实测 U_O 与曲线标准值偏差的绝对值不大于50mV；

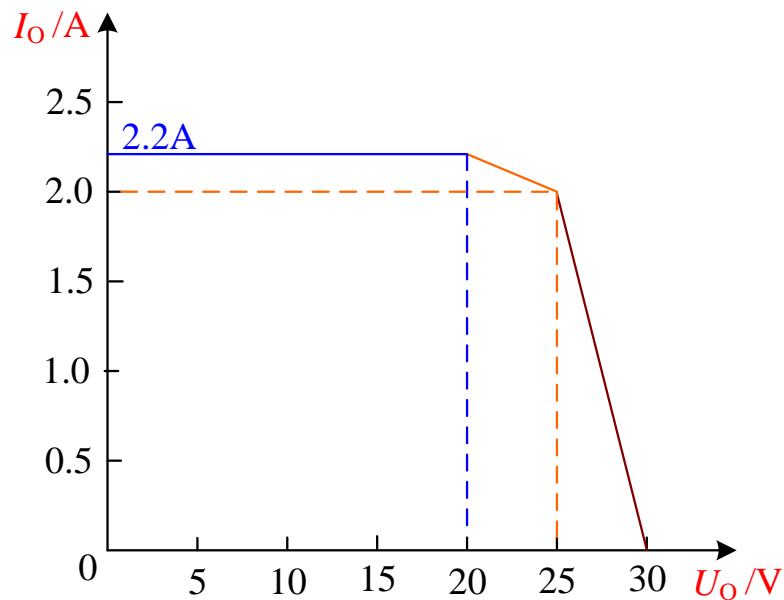
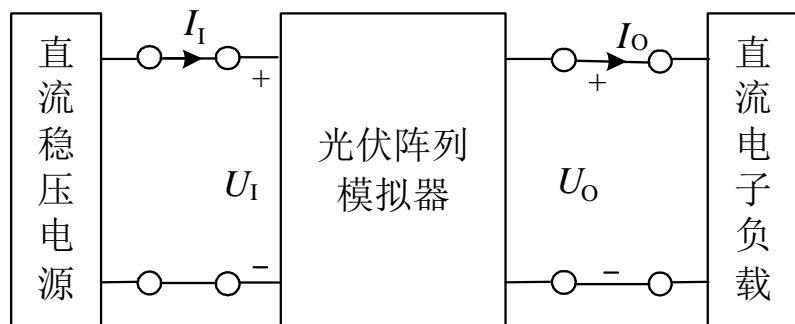
(3) 短路输出电流 $I_{SC}=2.2A$ ，实测 I_O 偏差的绝对值不大于50mA。



二、题目说明

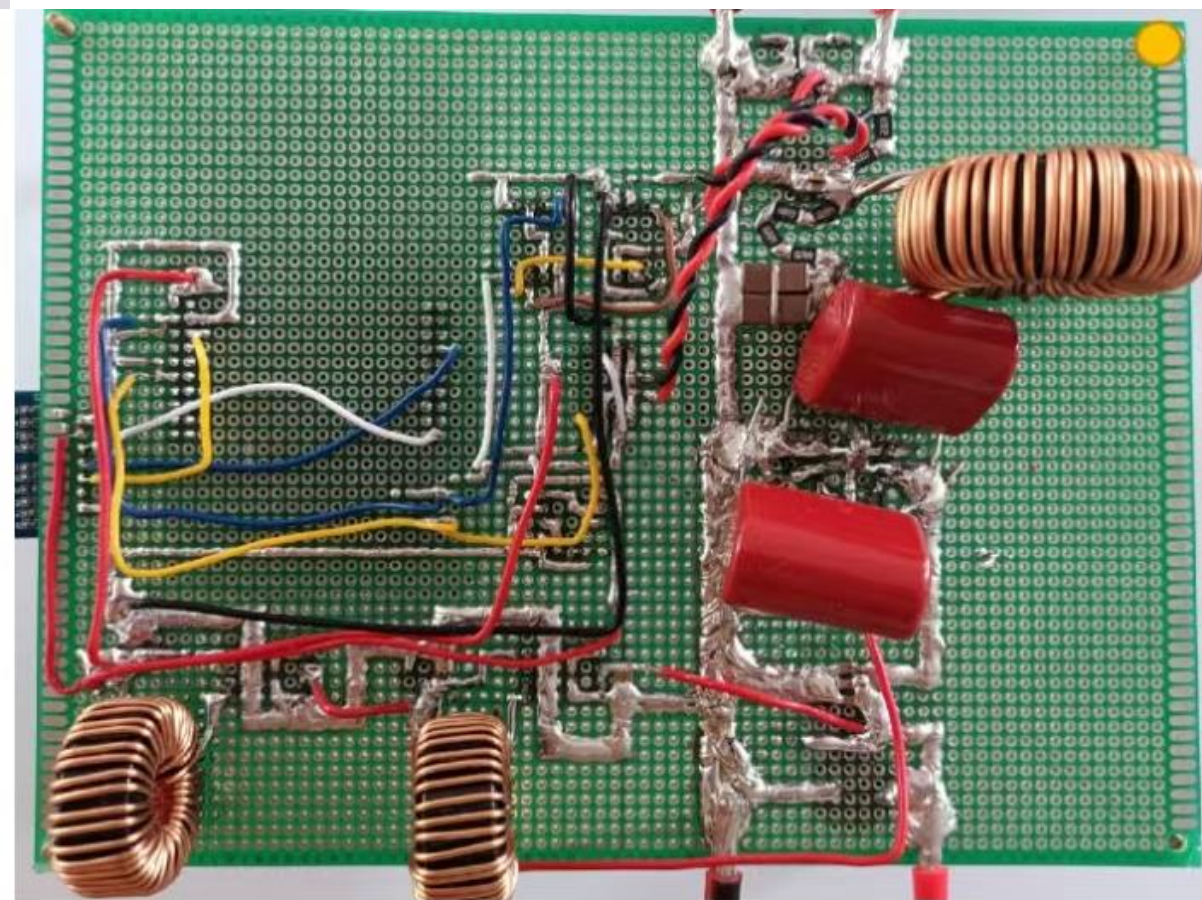
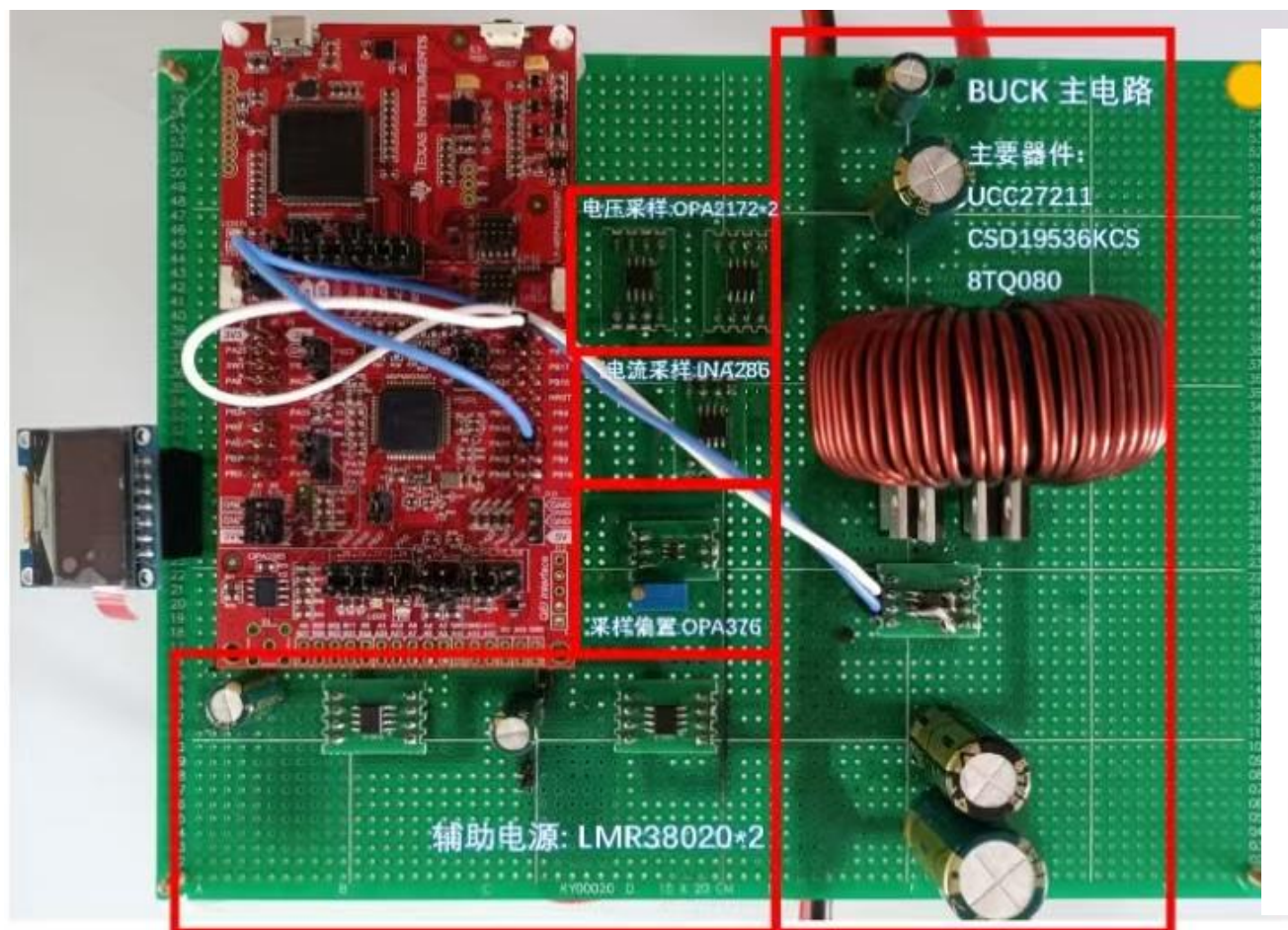
光伏阵列模拟器

2. 模拟器具有输出电压 U_O 、输出电流 I_O 的测量和显示功能， U_O 测量相对误差的绝对值不大于0.1%， I_O 测量相对误差的绝对值不大于1%。（测量精度 20分）
3. $I_O=2A$ 条件下，当 U_I 由32V增加至48V时，输出电压 U_O 的电压变化率 $S_U \leq 0.1\%$ 。（稳压指标 10分）
4. $U_I=40V$ 、 $I_O=2A$ 时，模拟器的效率 $\eta \geq 95\%$ 。（效率 14分）



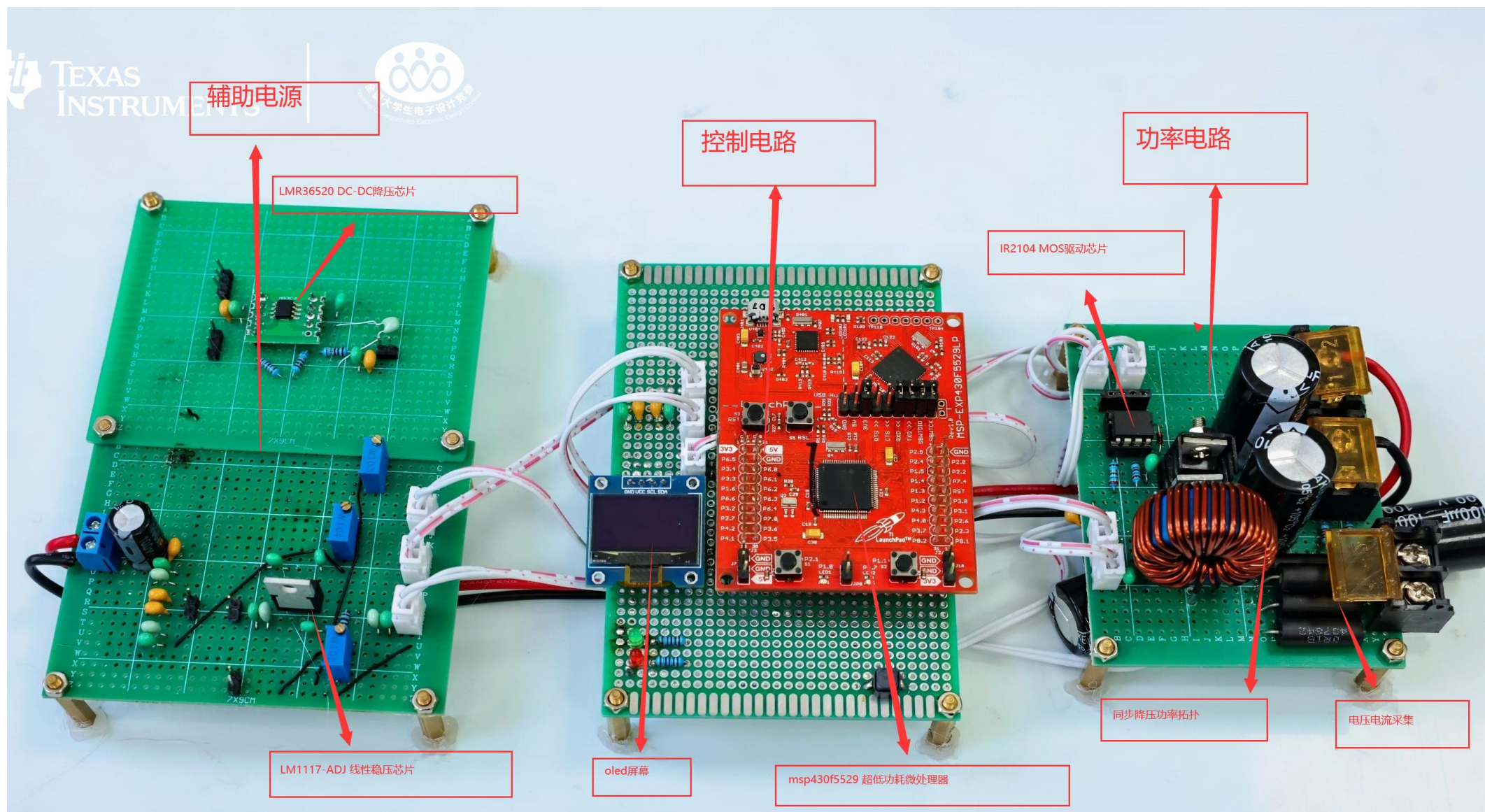
二、题目说明

光伏阵列模拟器



二、题目说明

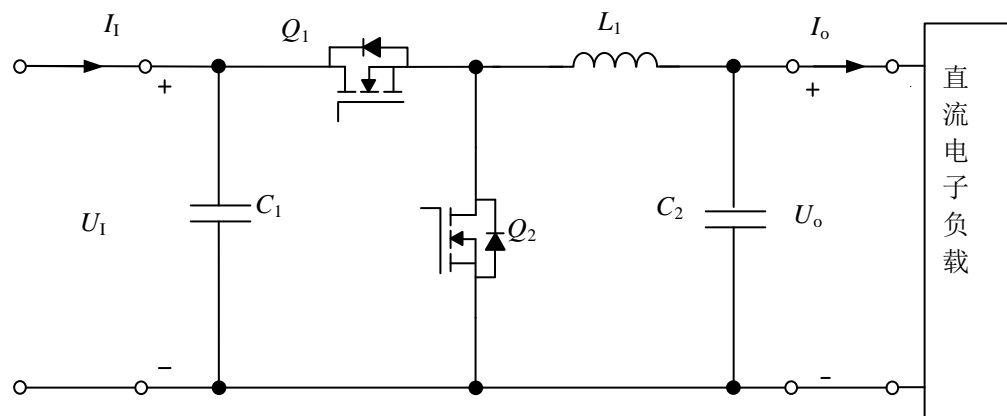
光伏阵列模拟器



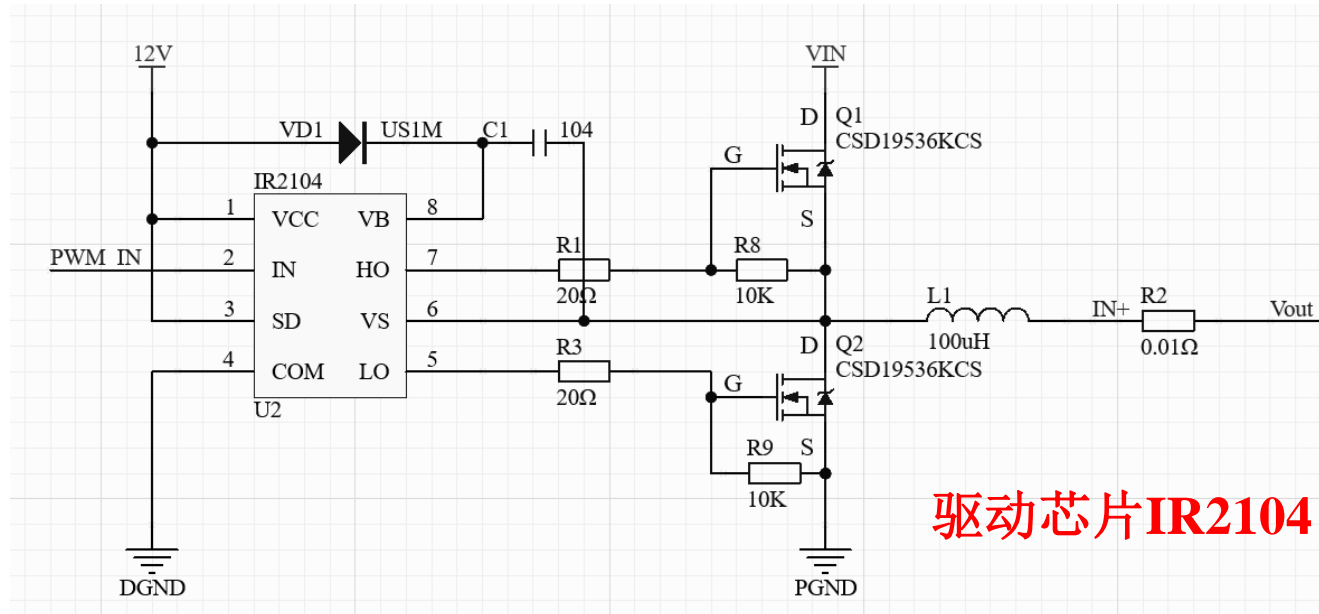
三、方案解析

光伏阵列模拟器

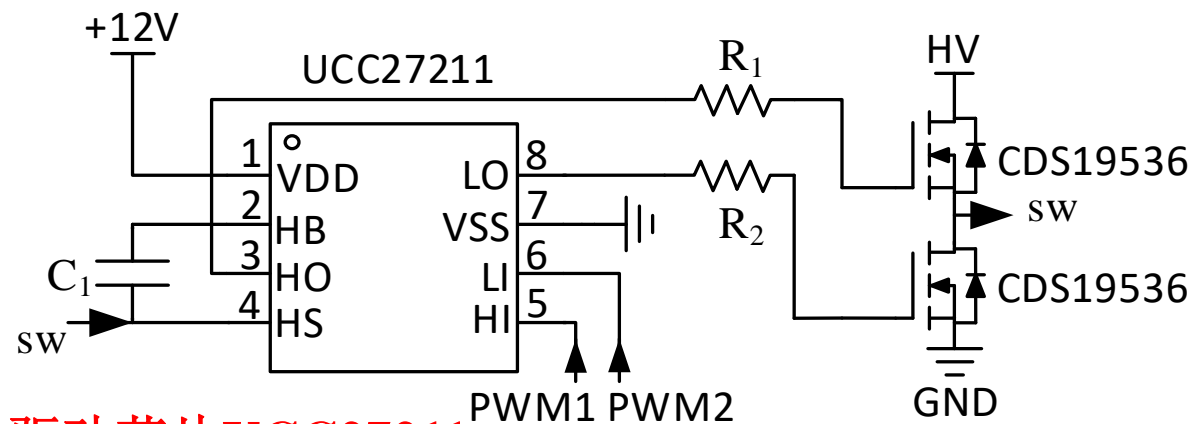
1. 主电路



同步BUCK变换器



驱动芯片IR2104

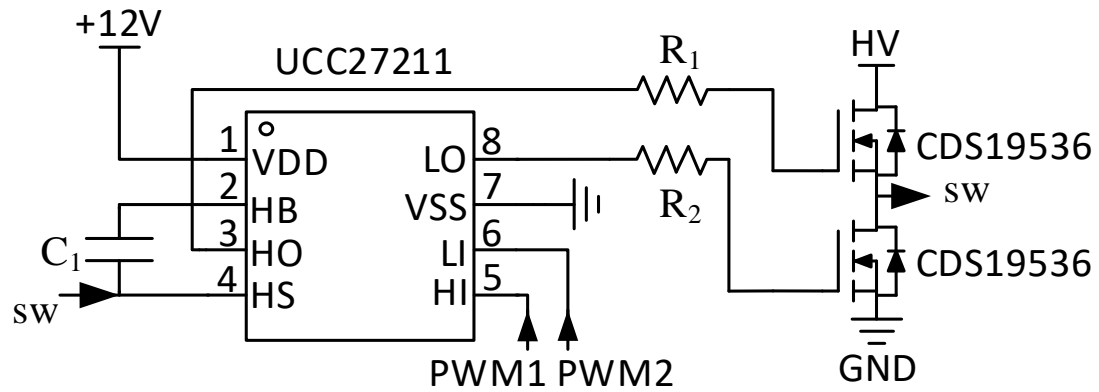


驱动芯片UCC27211

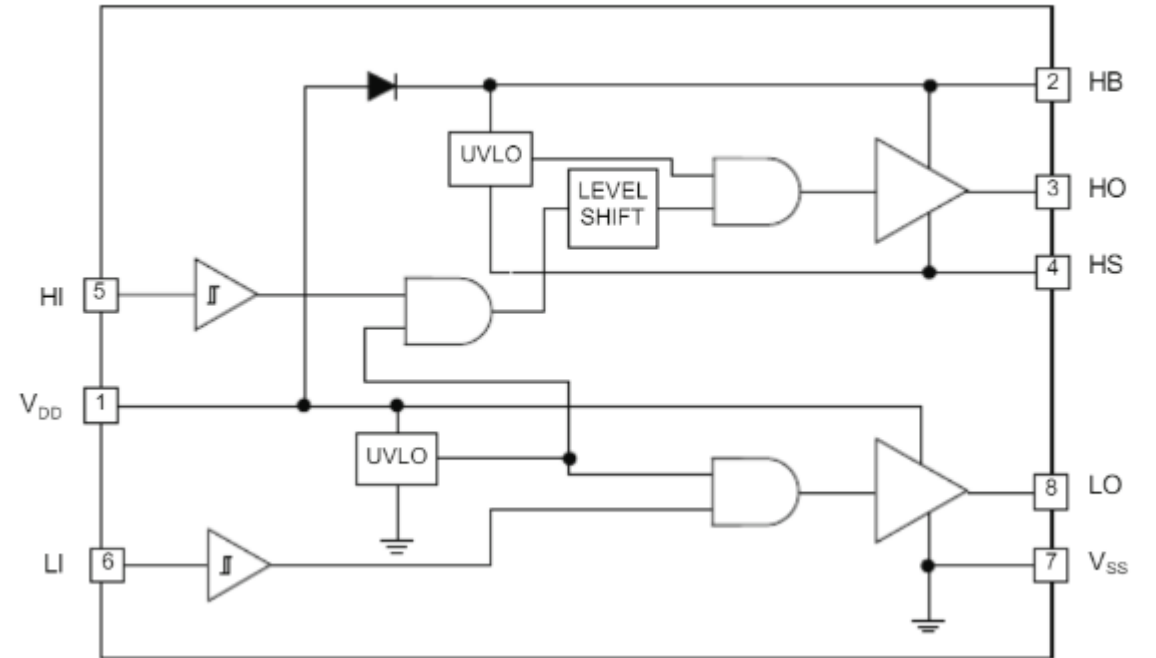
三、方案解析

光伏阵列模拟器

2. 驱动芯片



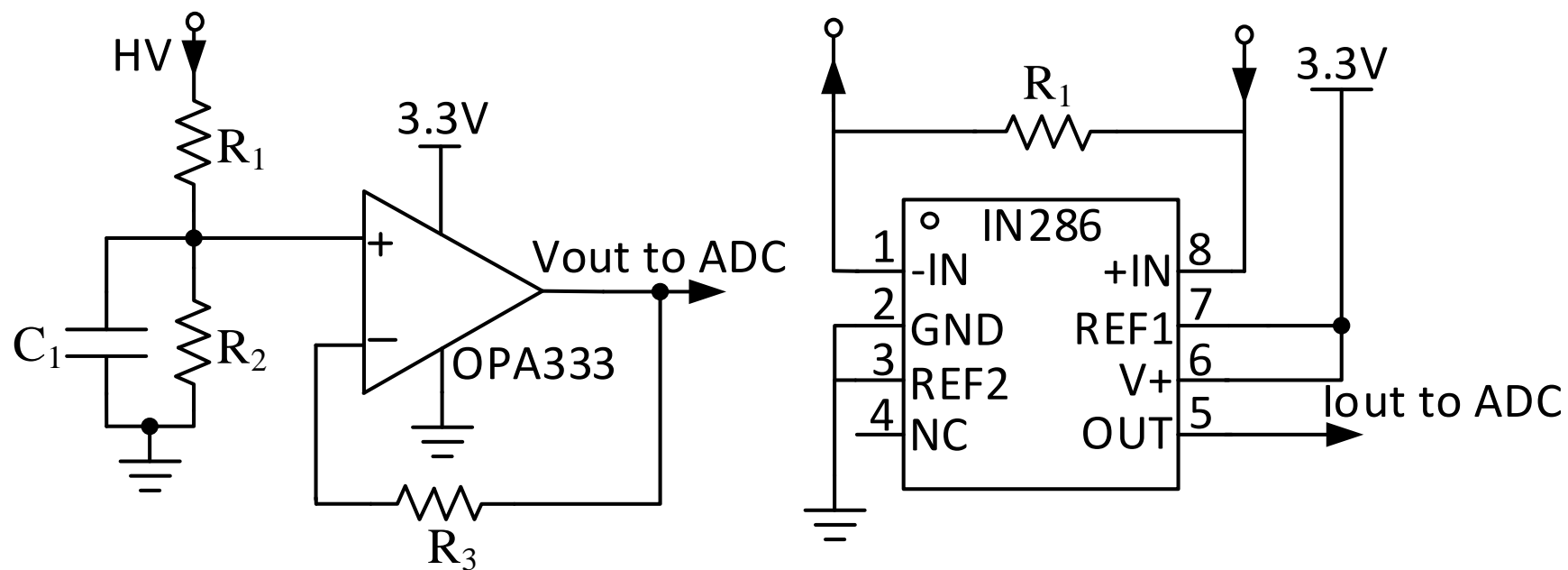
Functional Block Diagram



三、方案解析

光伏阵列模拟器

3. 电流电压检测



三、方案解析

光伏阵列模拟器

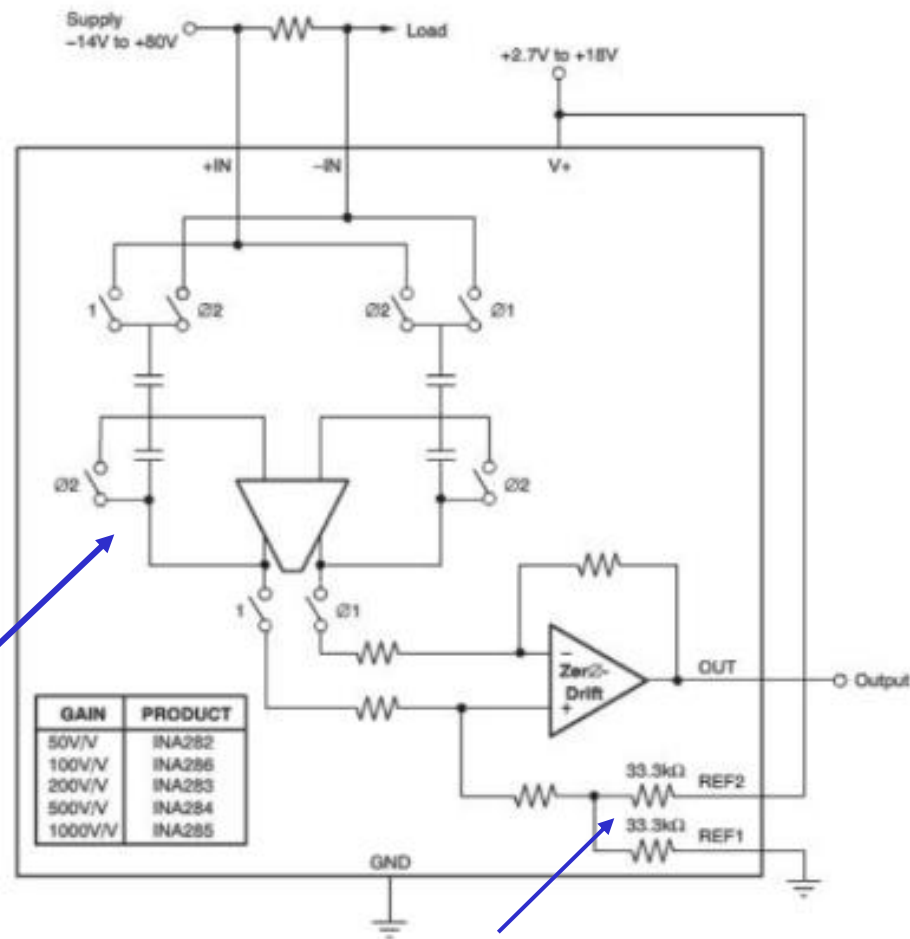
3. 电流检测 放大器INA28X

INA28X是TI公司的高精度，宽共模输入范围的双向电流检测放大器。

- (1) 共模电压输入范围：-14 V 至 80 V；
- (2) 共模抑制比 140 dB；
- (3) 差分输入电压范围：-5 V ~+5 V；
- (4) +2.7V 至 18 V 单电源供电，功耗低。
- (5) 具有微弱电流检测能力，电压放大倍数 50 /100/200/500/1000，输出可直接进行AD变换。

输入级采用开关电容结构代替电阻，输入电阻高，电阻对称性好

高端取样检测



设置灵活的偏置电压匹配AD

三、方案解析

光伏阵列模拟器

4. 辅助电源

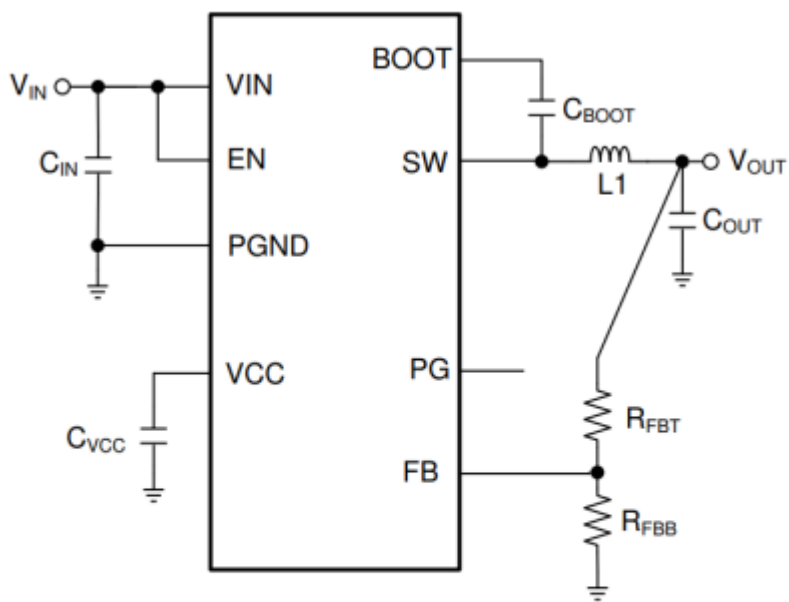
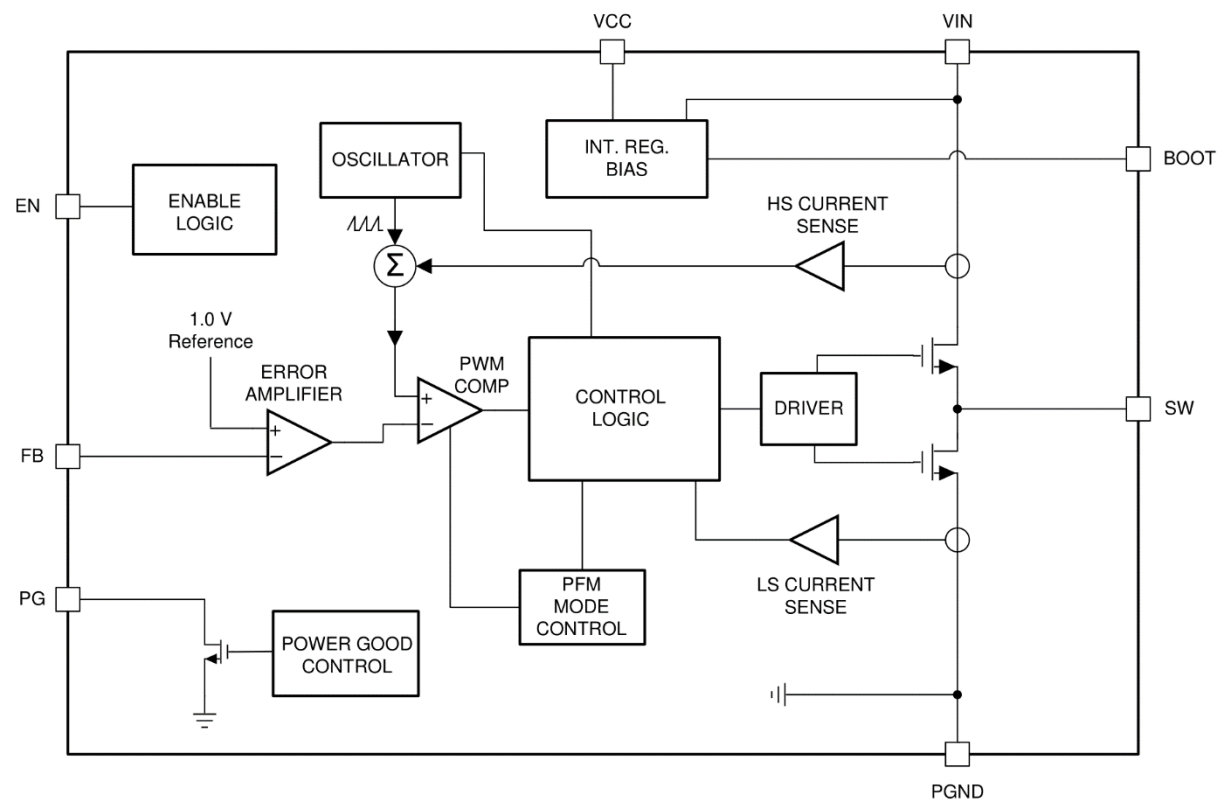


图 1 LMR36520 简易原理图

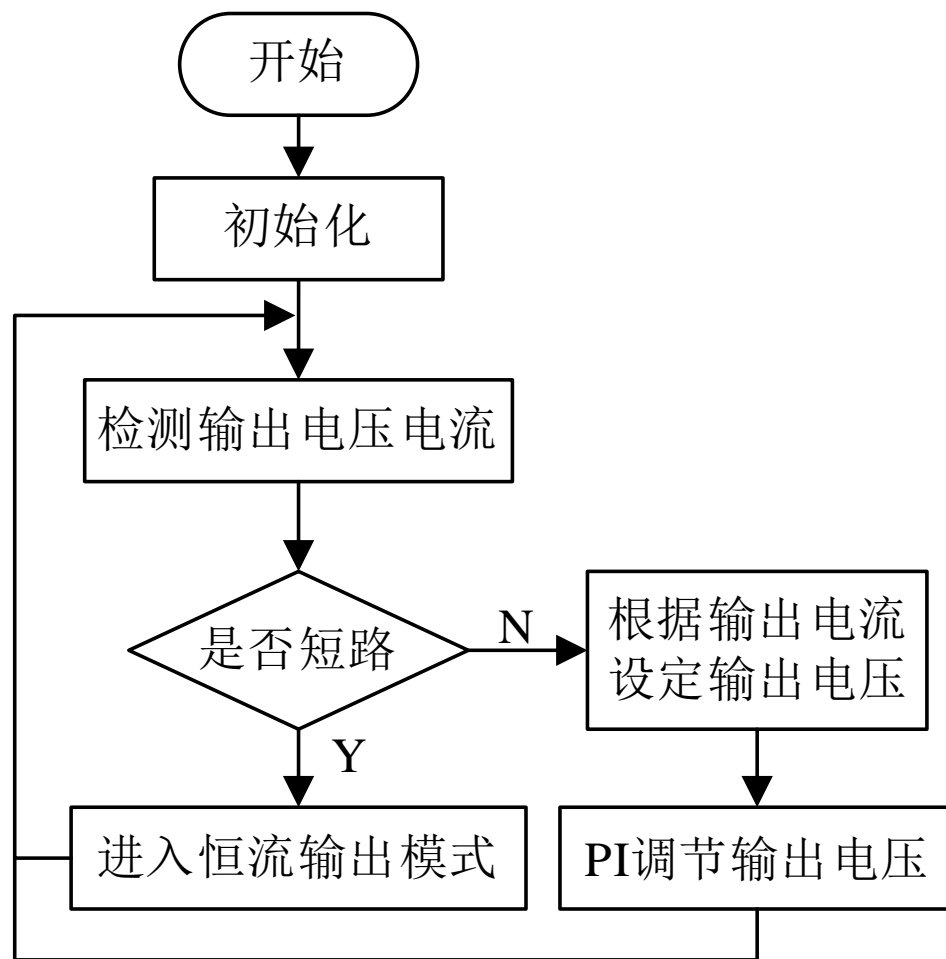
- 宽转换范围
 - 输入电压范围：4.2V 至 65V
 - 输出电压范围：1V 至 95% 的 V_{IN}
- 典型效率为90%
- 具有滤波器和延迟释放功能的电源正常状态输出



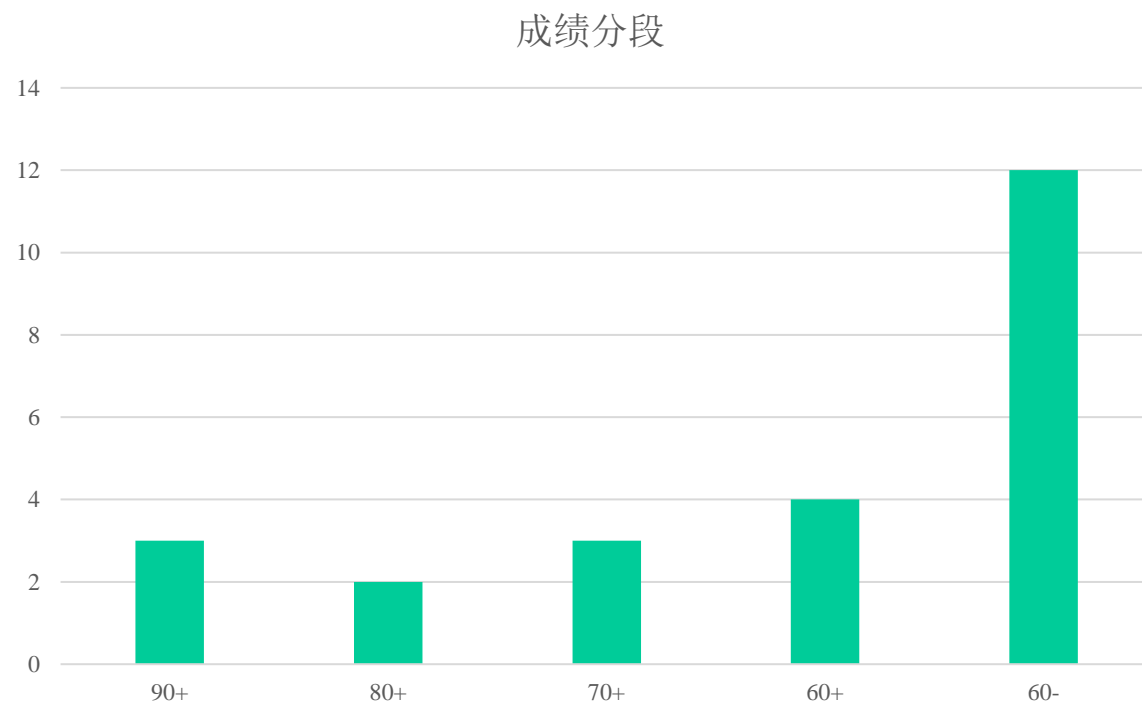
三、方案解析

光伏阵列模拟器

5. 控制流程



成绩分析



失分点：测量和控制精度+短路状态控制方法的切换

结束语

- 电源题目属于基础类赛题，由主回路、测量电路、控制电路组成，适用面宽（不仅强电专业），准备到位的情况下成功率比较高。
- 熟练掌握各种功率变换拓扑，并实际制作调试；
- 熟悉各种控制算法、PWM实现方法，完成程序编制；
- 熟悉电流、电压测量方法，并搭建电路、实验。