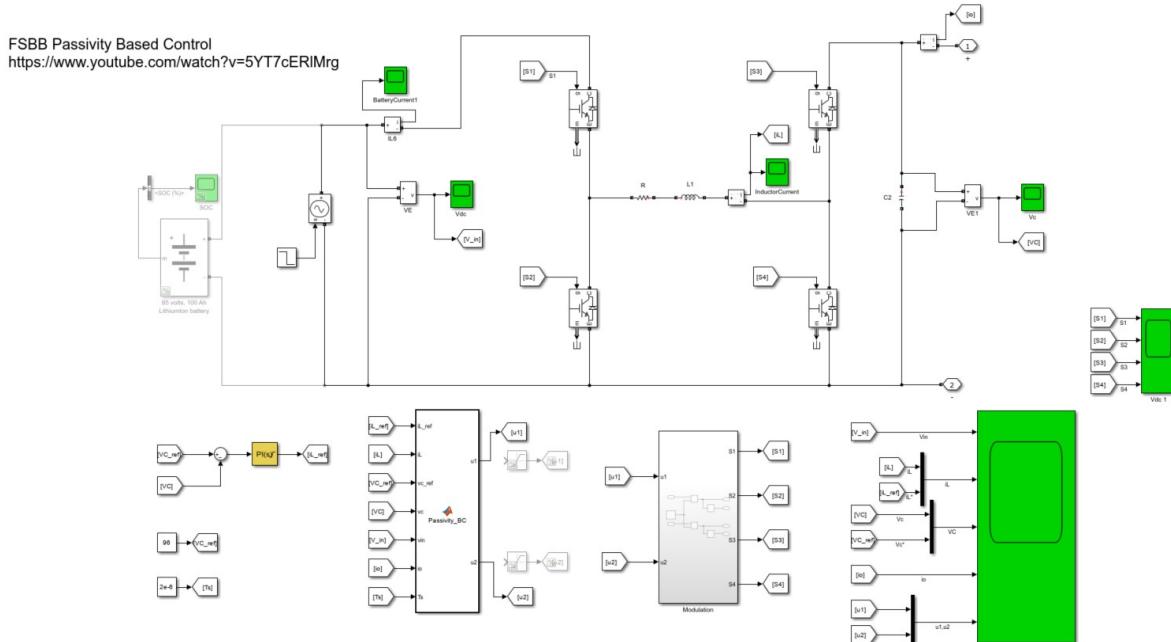


# FSBB\_battery\_control ⚡

Author LokiXun



- Simulation file

仿真文件统一存放再 gitee 远程仓库下: [gitee远程仓库url](#) 🌐

⚠ Matlab Version: R2022

```
# base_path = "LithiumIonBattery/BidirectionalDCDC_BatteryCharge" # 参考git  
仓库目录  
  
../Battery_charge_discharge_ChgDiscModeChange.slx  
# latest 1. 实现双向非隔离DCDC充放电（母线电压闭环方式）  
# 2. 手动充放电切换逻辑 + 母线电压稳定  
  
../Battery_charge_discharge_100ah_only2directionChrgDischarge.mdl  
# 第一版：实现双向充电，无充放电切换逻辑  
  
../battery_Charg_Discharg_from_DCSOURCE_bidirectionalDCConv.slx  
# rawVersion: 双向非隔离DCDC，只能满足网侧电压 > 电池电压的情况  
  
../Battery_charge_discharge_FSBB_DCDC.slx  
# 四开关BuckBoost: 实现四开关 buck-boost
```

- requirement description 📄

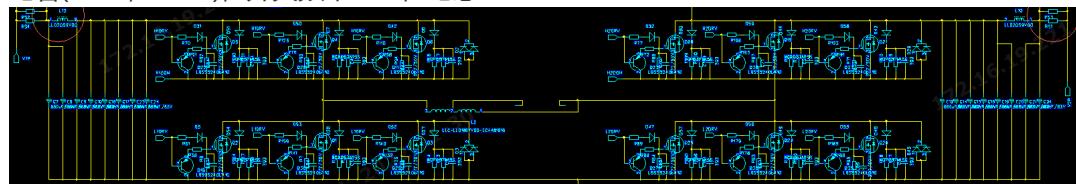
- 电池组参数信息参考
  - [LFP-100Ah \(8S\) 捆扎模组产品参考](#)
  - [G102-100 电池文档参考](#)
- 基本功能

现在是微电网项目里面锂电池的一个模块，想要实现 90kwh (电量，不固定) 的锂电池组模块 (100Ah 容量, 102.4V 电压变化范围85-112V, 具体信息参考下面的文档)，通过并联多个双向非隔离 dc-dc 连到母线 (96V) 实现双向充放电的功能。

- 100Ah 102.4V 锂电池组，组合成 90kwh电池组（目前视为一个整体，组合的话仿真太慢跑不动），这个锂电池组是船上一个动力锂电池。96V/3.2== 30 串
  - 整体电池组 SOC 估计
- 多个双向非隔离 dc/dc：母线电压96V，电池电压 85-115v 需要那种双向 boostbuck 即能升又能降得那种，就是电池电压过低 < 96V 时候，需要母线给电池充电要升压。

## Simulation Target

- 实现基本硬件电路：电池组+双向DCDC
  - 电池组模块：100ah, 电压范围 85-119V, 可实现 SOC 输出
  - 双向非隔离 DC/DC：DC/DC 结构参考高斯宝硬件电路，四开关 Buck-Boost，输入输出各8电容(160V,180UF)，开关频率 45k，电感20uh



- 控制 dc/dc 输出电压，维持电池模块（电池+dc/dc）的输出功率恒定3kw
- 测试负载突卸，输出电压是否仍稳定于 96V
- 测试电池满充满放：目前测试方案暂定为，输入电压跳变 102.5V -> 96V

## Bi-direction buck-boost

目前实现了：1. 双向充放电；2. 母线电压稳定+超调<1%；3. 满足电池组电压范围 85-112V的充放电

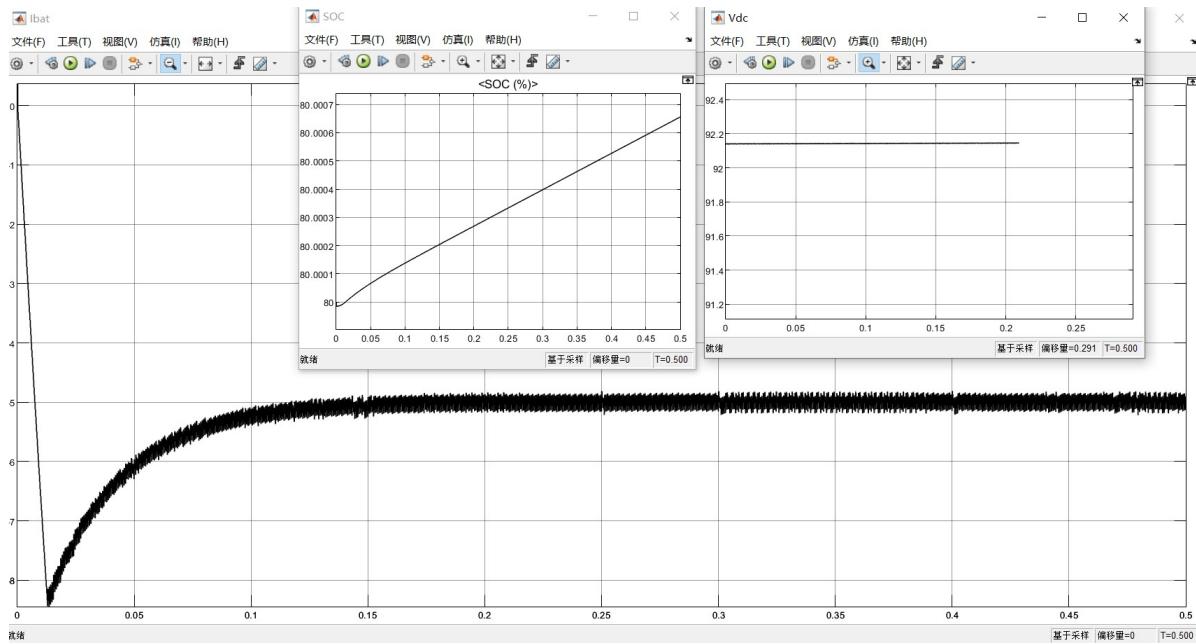
- 参考 "蓄电池闭环设计" [论文参考](#)
- 连接方式  
100AH 102.4V的电池模块（用的matlab官方模块）接入一个双向非隔离DCDC连接到母线（仿真里面我视为电压源加上一个负载）
  - 电池参数（使用 Battery mask Matlab官方模块）
- 充放电逻辑  
根据**直流母线的电压**来决定电池的充放电  $\nwarrow$  (电压闭环)
  - 直流母线电压 < 96V，电池组给母线充电，满足1) 母线电压稳定在96V；2) 母线电压的超调 <1% （增加了电压源旁边负载电阻的阻值）；3) 输出的电池恒流：保持电流稳定在20A（符合在0-30A了）同时电池因为放电 SOC下降；
  - 母线电压 > 96V，给电池充电，此时不考虑母线电压的稳定了，就只看电池的电流是否为恒流，此时电流反向为 -5A 给电池充电，电池SOC上升

## 仿真测试

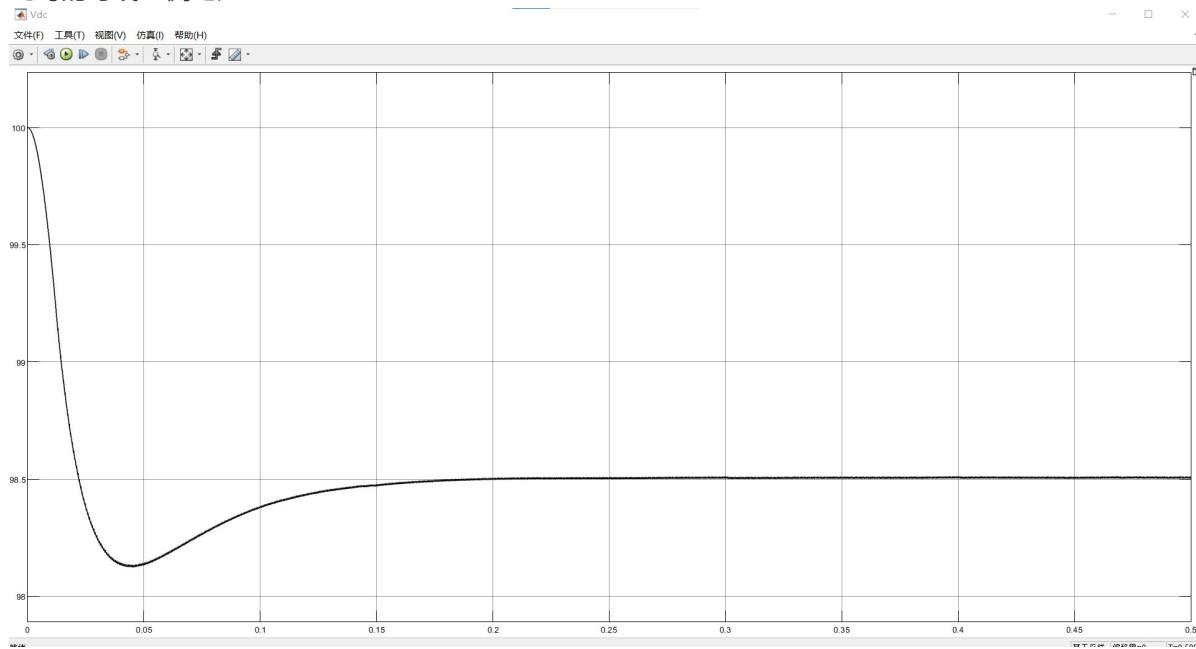
- 验证
  - 双向DC/DC的电流环充放电**恒流模式**
  - 调节**输出电压的电压模式**的功能

## -5A恒流充电

母线电压100V(>96V), 给电池充电。电池以电流 -5A 进行充电, 电压稳定在 92.15V : 电池 SOC 上升, 电流恒流



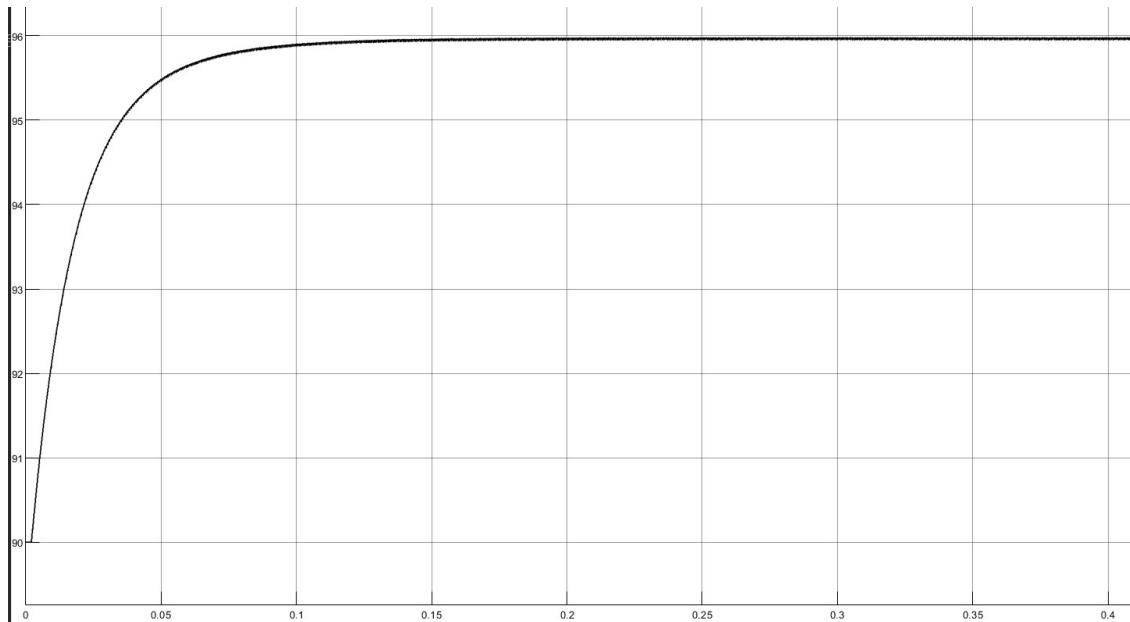
此时的母线一侧电压



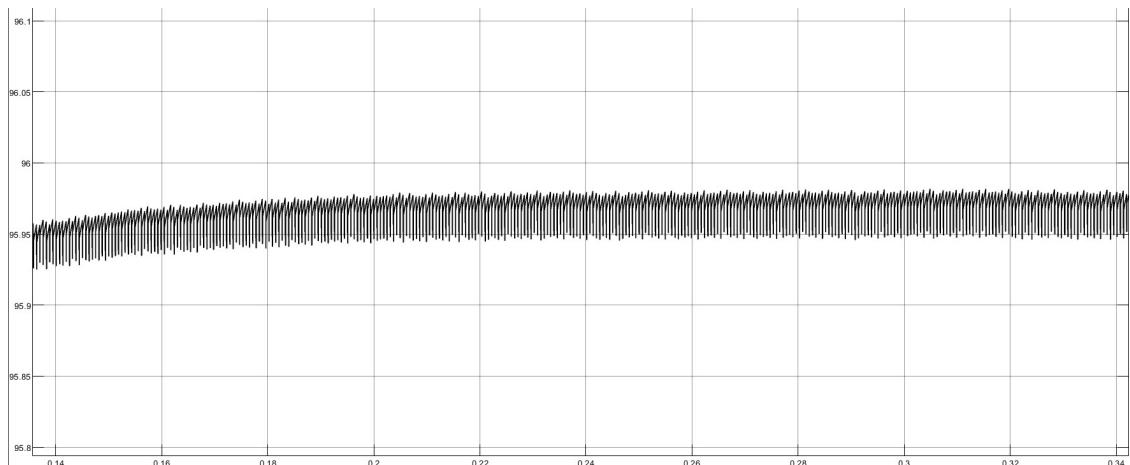
## Mode=3 20A电池恒流放电

母线一侧电压小于96V (使用90V测试) : 由蓄电池放电曲线稳定在 96V, 超调量<0.5%; 电源控制模块: 使用 mode==3 使用20A恒流放电

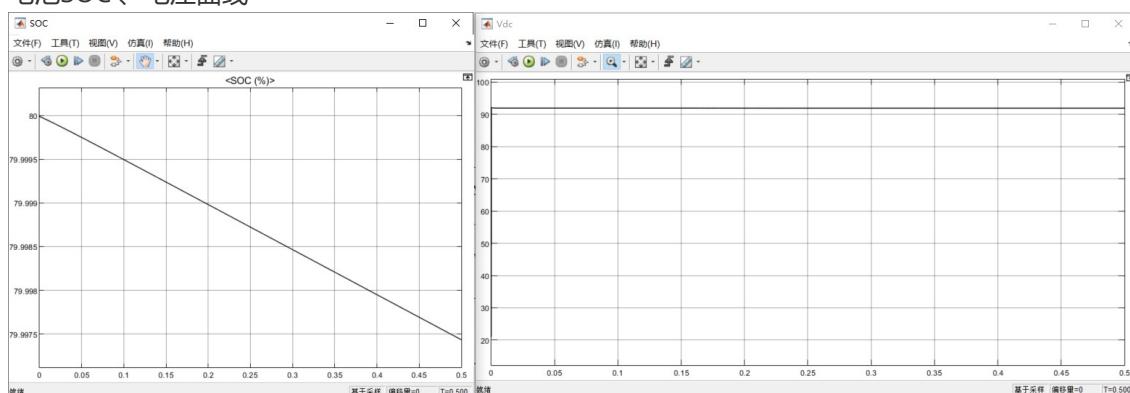
- overall



- detail



- 电池SOC、电压曲线



referenced paper: [Passivity Based Control of Four-Switch Buck-Boost DC-DC Converter without Operation Mode Detection](#)

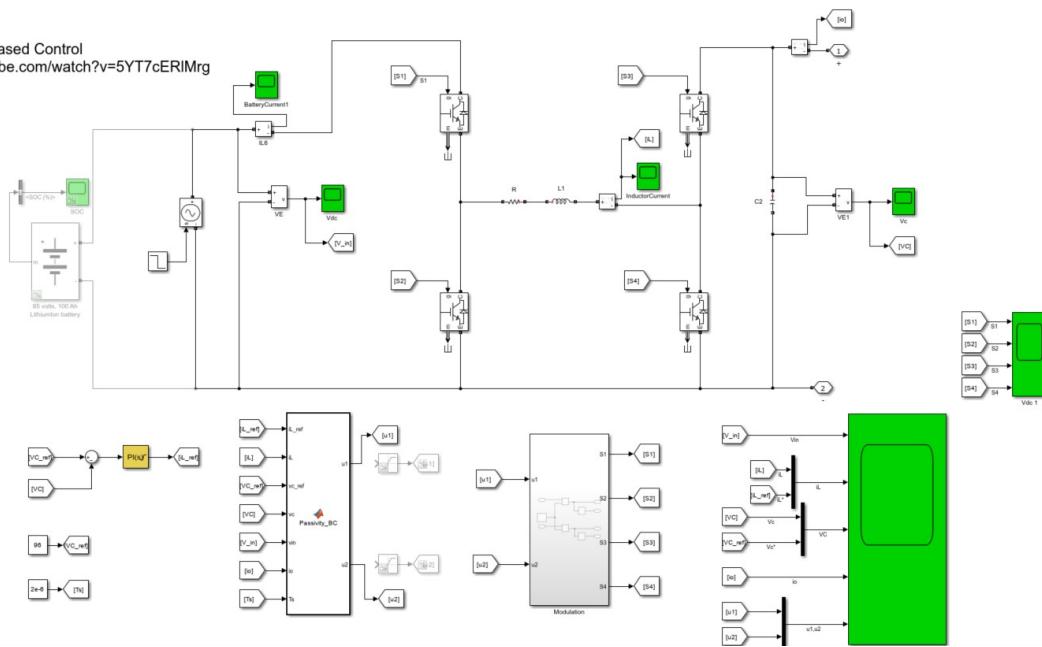
[paper's youtube video tutorial](#)

仿真文件 path =

```
LithiumIonBattery/BidirectionalDCDC_BatteryCharge/Battery_charge_discharge_FSBB
_DCDC.slx
```

# Topology

FSBB Passivity Based Control  
<https://www.youtube.com/watch?v=5YT7cERIMrg>



- 待调整参数

目前不确定如何调整此参数 ?

```

P, I # PI 模块
C, L, R_L # 电容电感参数计算
saturation_range # u1, u2 控制信号饱和环接参数
triangular_wave_frequency # 三角波频率
z1, z2 # dumping_gains
  
```

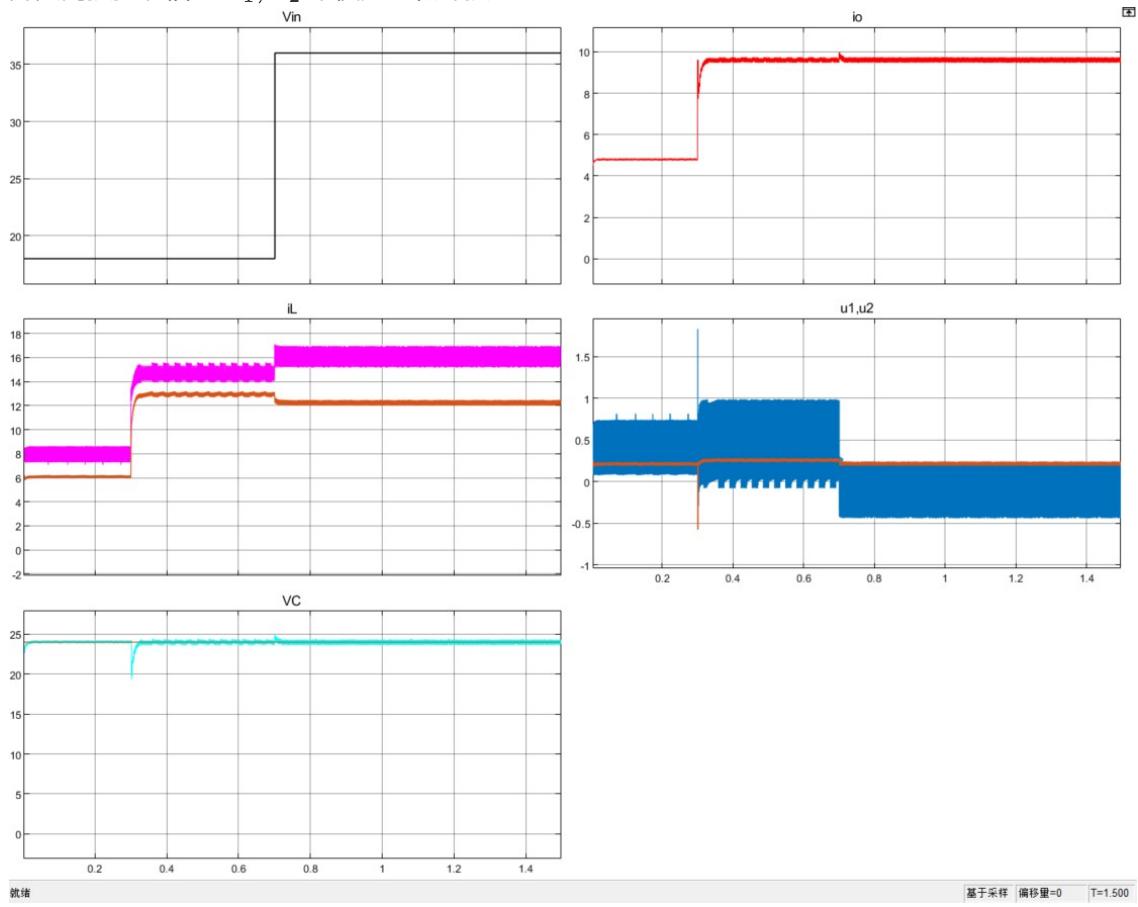
- 存在问题

使用 switch 实现 if-else 的问题：咨询了一个电网里面做仿真的朋友，说这种需要切换状态的四开关 buckBoost 不好实现，matlab 里面仿真延迟很严重，会存在上个状态还没切换完成，实际变换到下一个状态的情况，他了解的都是把模式拆看单独看，每次只验证一种 buck 或者 boost 的情况。

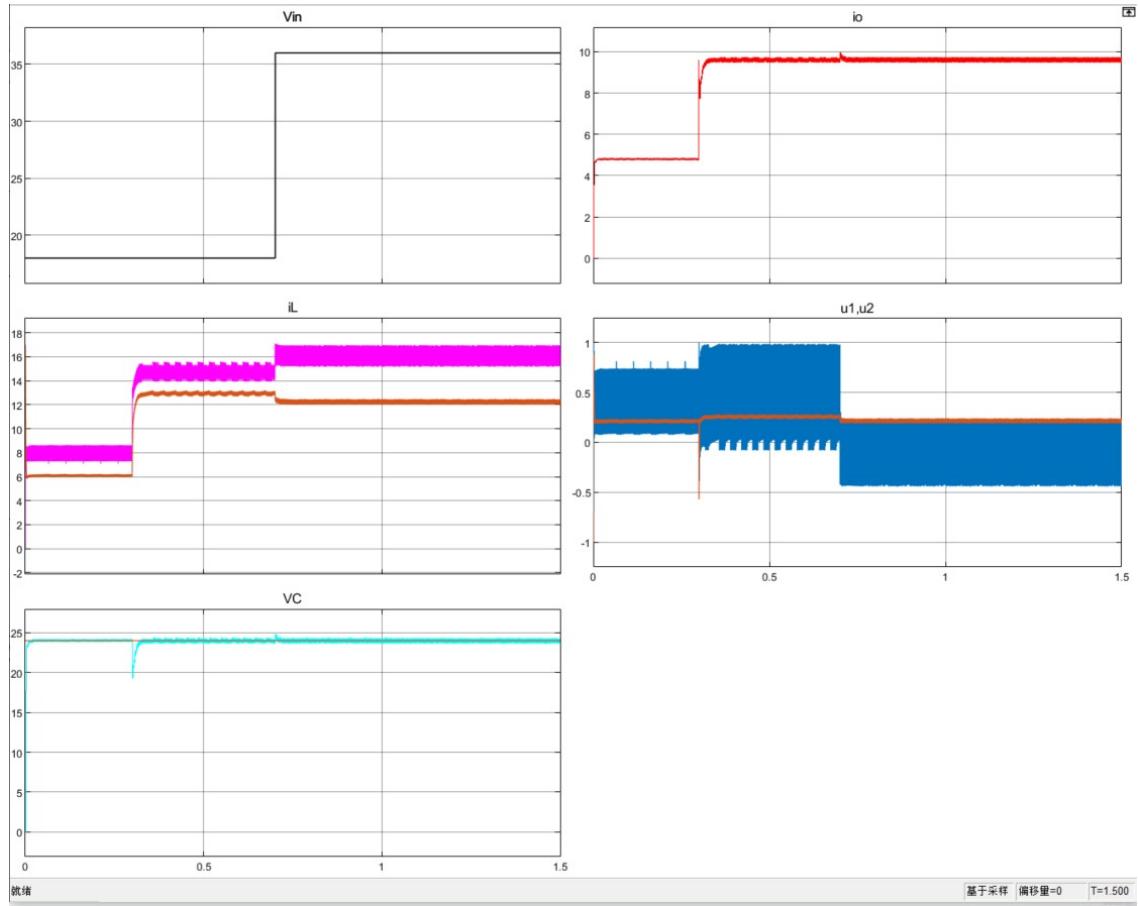
## 论文复现

仿真 1.5s， $V_{in}$  输入电压（电池一侧）初始 24V，0.7s 跳变至 36V。输出参考电压 24V。负载初始 10Ω，0.4s 时负载突卸，降至 5Ω。

- 开关间接控制信号  $u_1, u_2$  未使用饱和环接



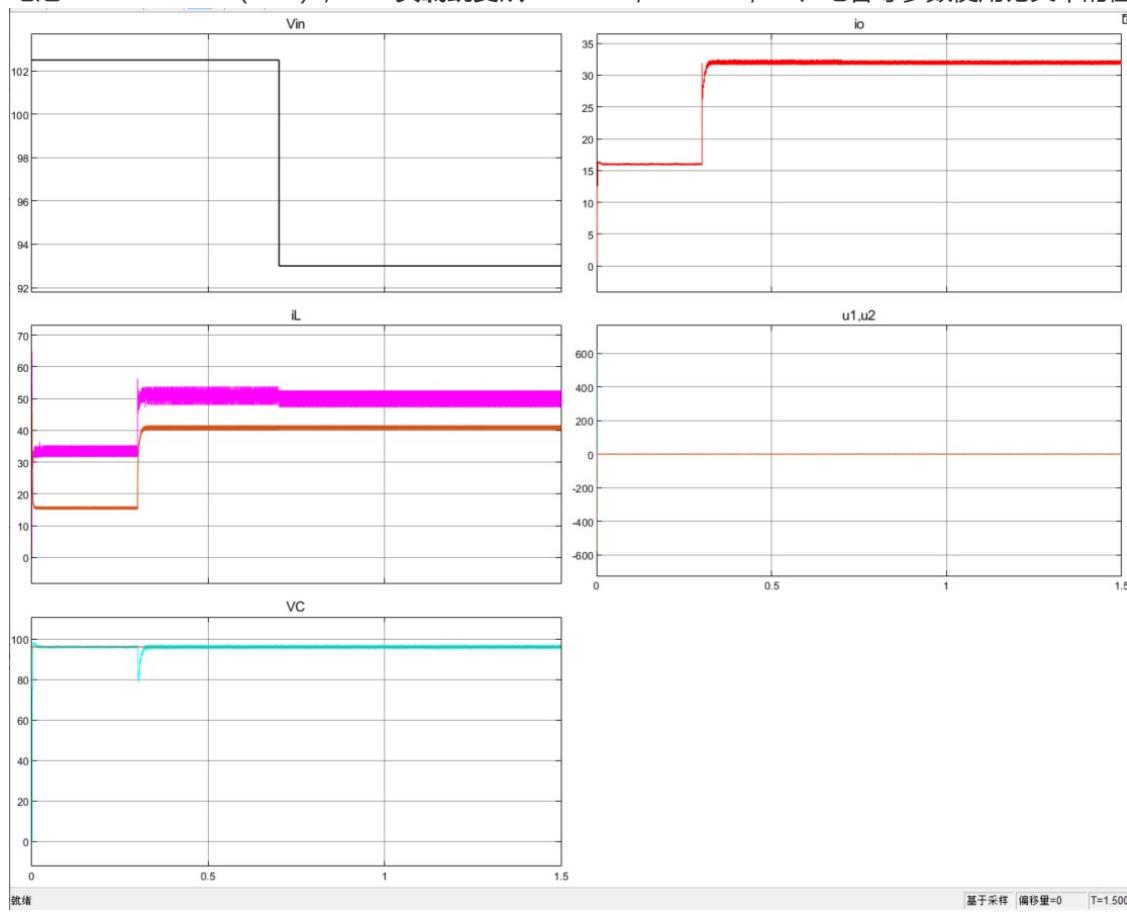
- 使用  $[-1, 1]$  的饱和环接: 效果类似



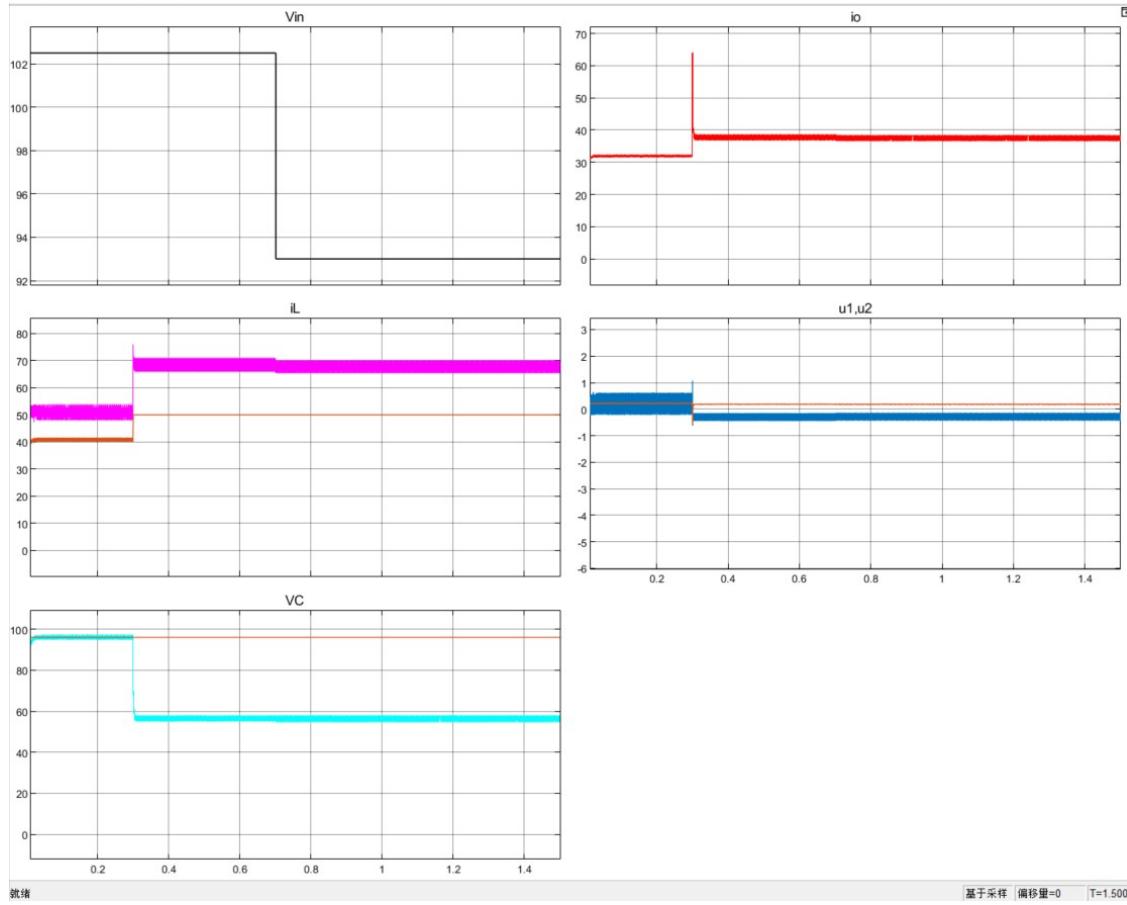
# Constant Voltage

负载的初始大小对仿真结果,  $V_C$  输出电压结果的赋值影响很大

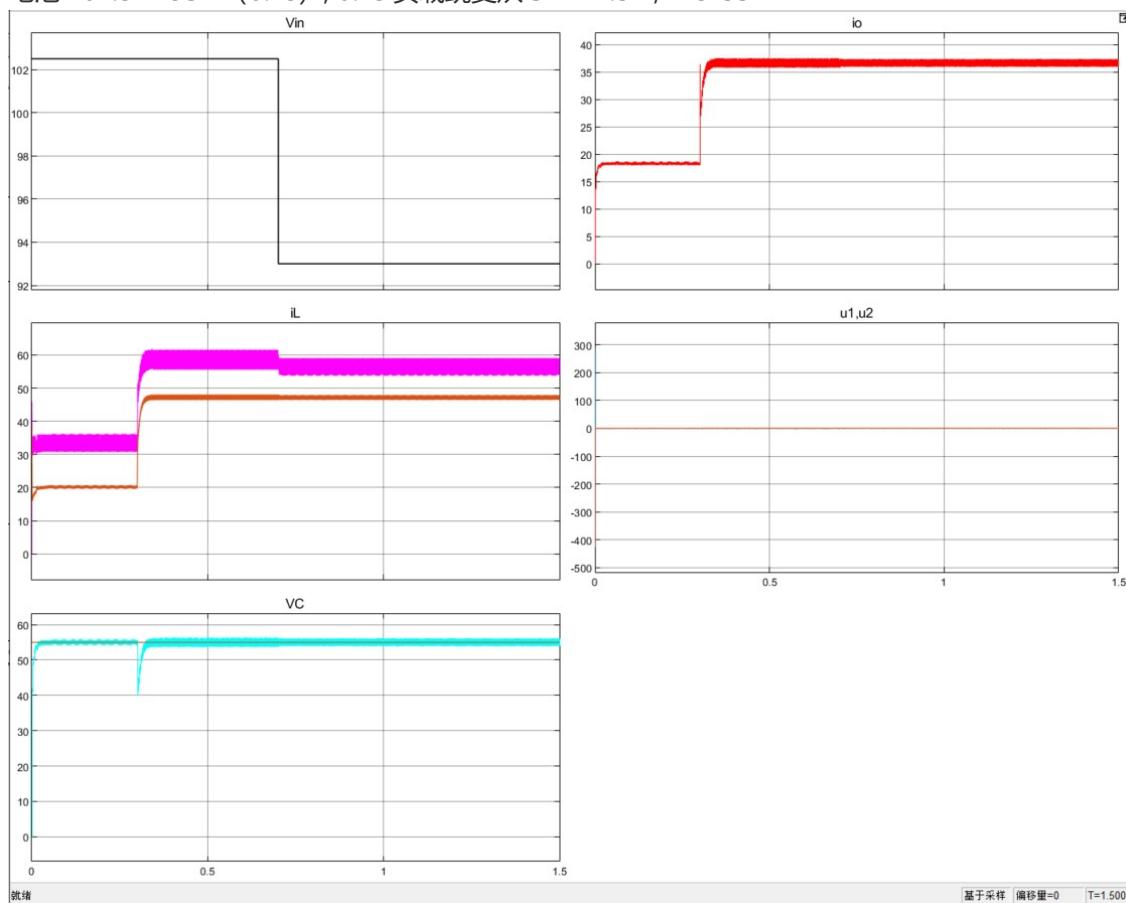
- 电池  $102.5 \rightarrow 93V$  (0.7s) ; 0.4s 负载跳变从  $6\Omega \rightarrow 3\Omega$ ,  $V_C=96V$ ; PI、电容等参数使用论文中的值



- 电池  $102.5 \rightarrow 93V$  (0.7s) ; 0.4s 负载跳变从  $3\Omega \rightarrow 1.5\Omega$ ,  $V_C=96V$ ; PI、电容等参数使用论文中的值



- 电池  $102.5 \rightarrow 93V$  (0.7s) ; 0.4s 负载跳变从  $3\Omega \rightarrow 1.5\Omega$ ,  $Vc=55V$



- 电容、电感更改为高斯宝提供参数

- 高斯宝：输入输出各8电容(160V,180UF), 开关频率 45k, 电感20uh;
- 目前拓扑存在差异, 仅使用输出并联 8 个电容 (使用一个电容 1440e-6代替), 电感 20uh, 开关频率使用 10k (45k仿真速度太慢)

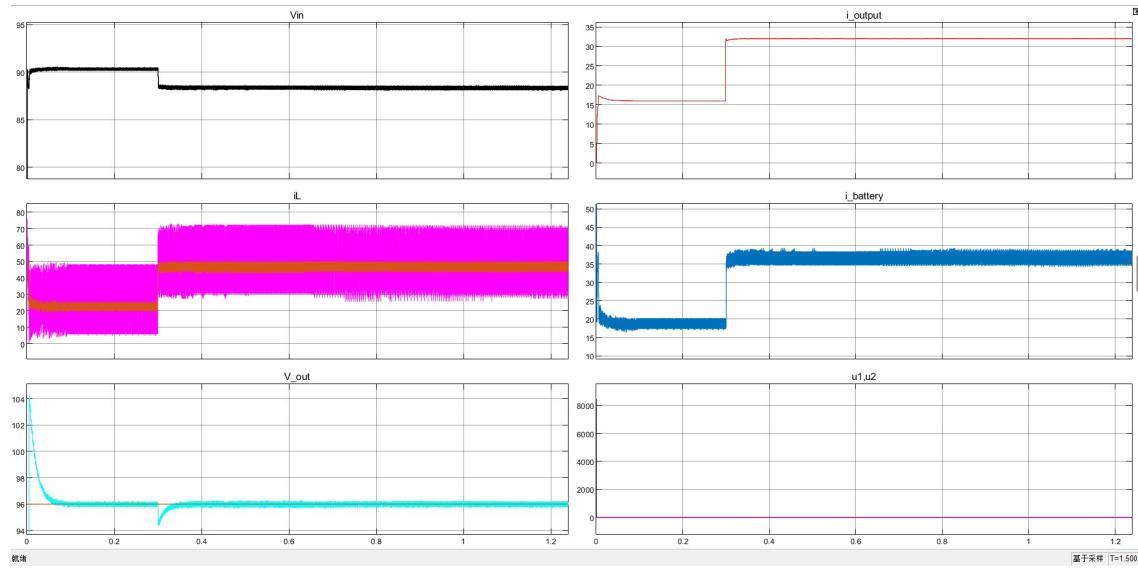
## Sudden Load drop

修改参数后, 实现电压突变 < 2%

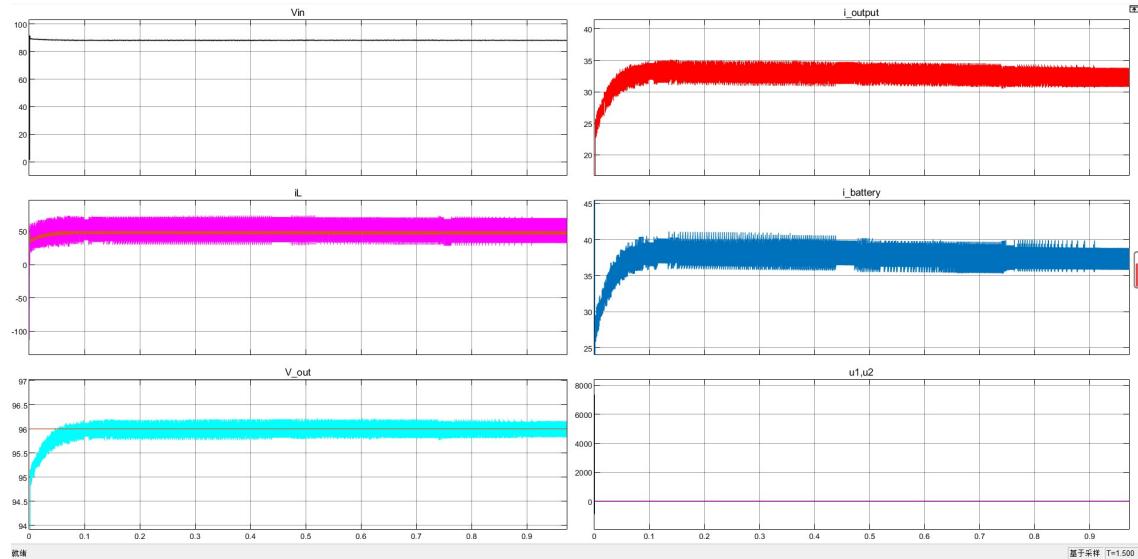
```
P=15, I=1000 # PI 模块
C_motherLine=1440e-6, L=20e-6, R_L=0.004 # 电容电感参数计算
saturation_range=None "not used" # u1, u2 控制信号饱和环接参数
triangular_wave_frequency=45e3 # 三角波频率
z1=6, z2=0.08 # dumping_gains
```

## 恒压放电

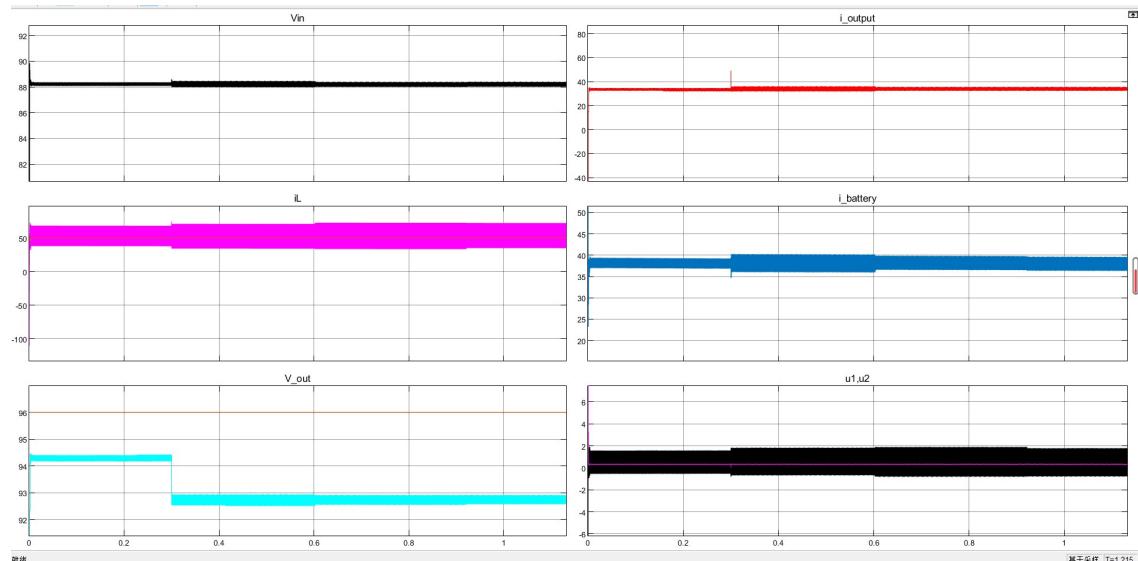
- 输出端仅连接负载, 0.3s负载突加 6ohm  $\rightarrow$  3ohm



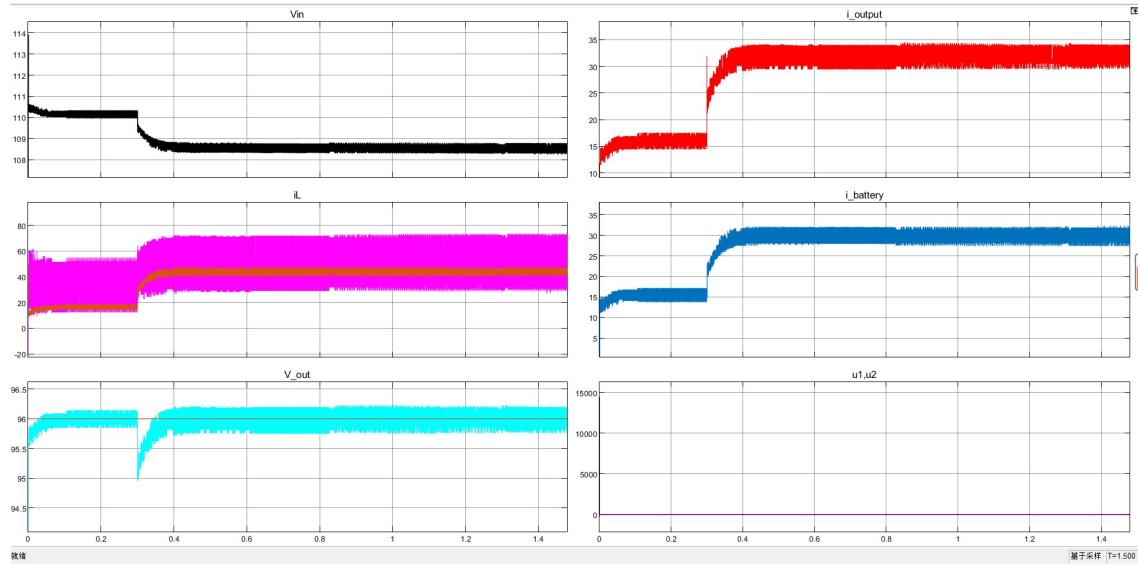
- 输出端连接: SOC=80% 的电池模块



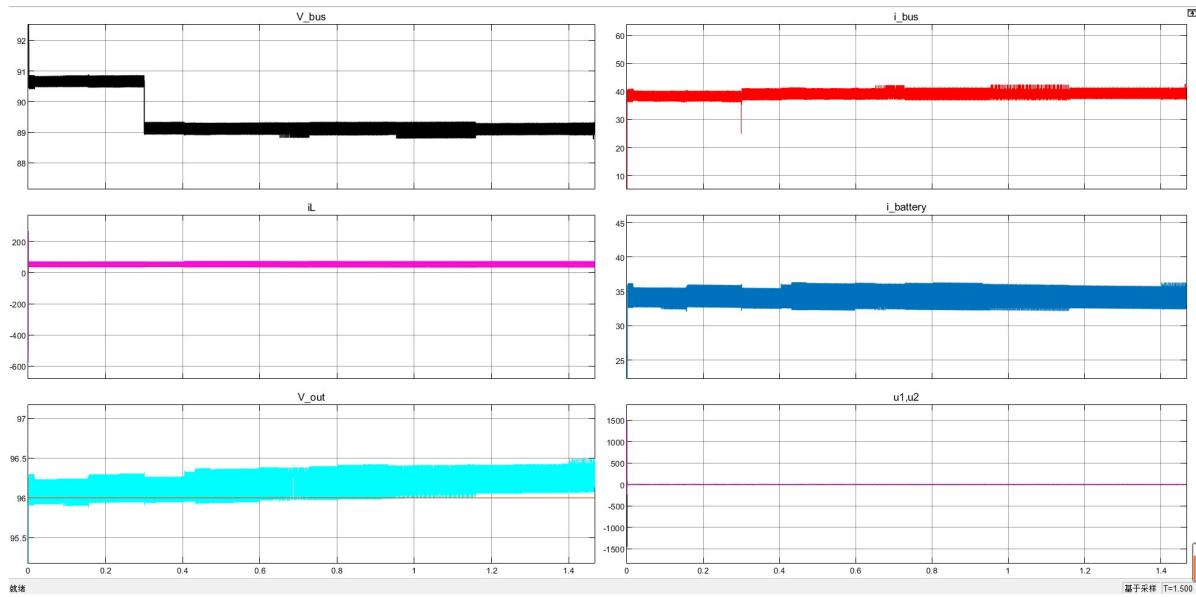
- 输出连接电池 + 负载 (0.3s 负载突加)



- 输出连接 96V 电压源 + 负载 (0.3s 负载突加)



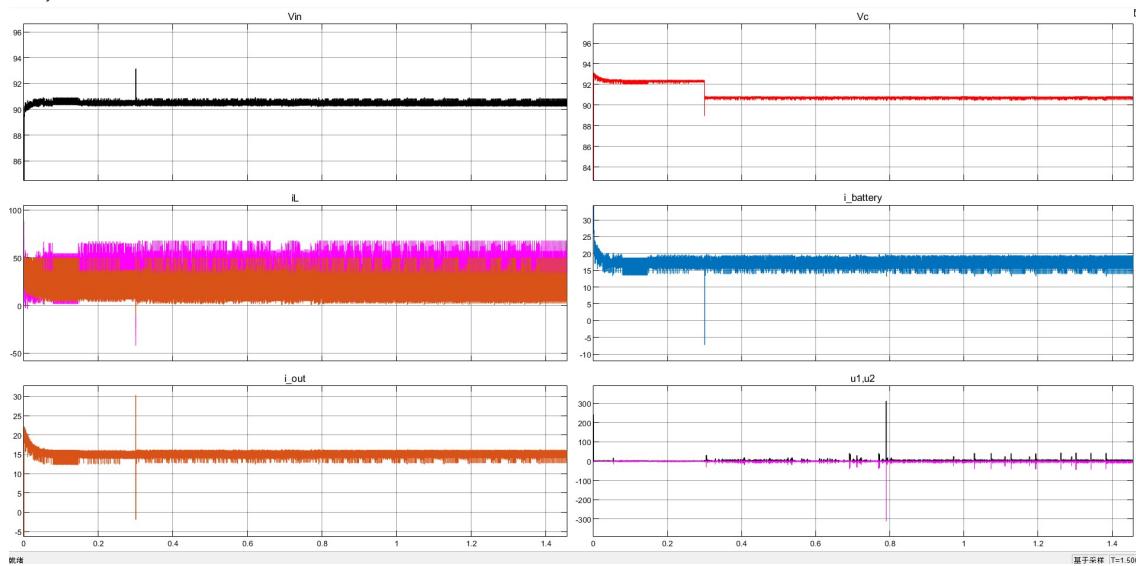
### 恒压给 DC/DC 内电池充电



## Constant Current

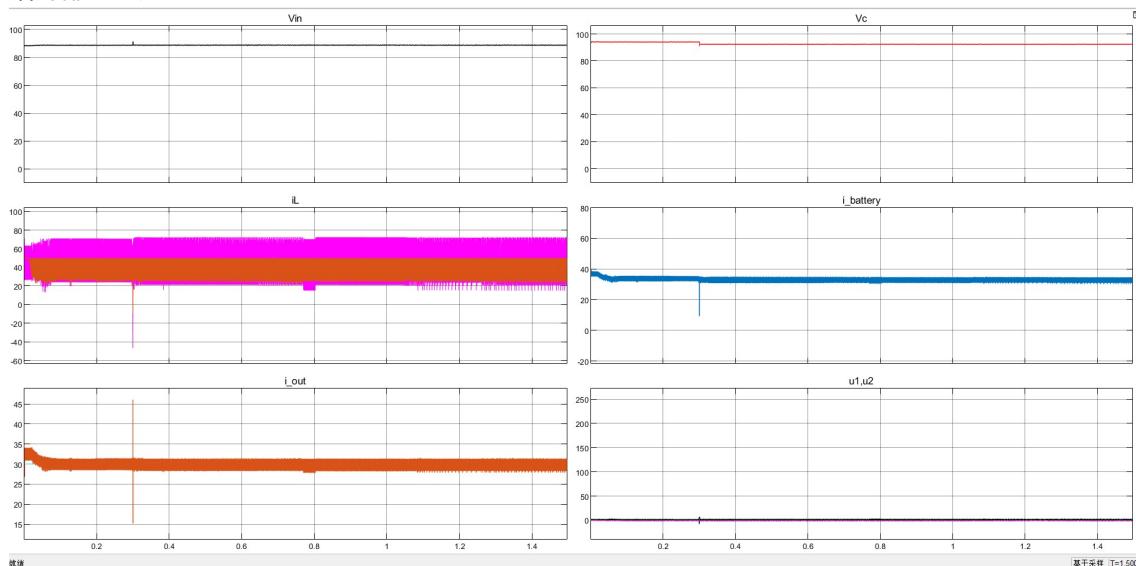
能够实现 dc-dc 输出恒流；外部电源给 dc-dc 内部电池恒流充电

- 期望的输出电流值（恒流） $i_{out\_ref} = 15A$ , dc-dc 恒流输出, 0.3s 负载突加（6Ω, 再并联一个 6Ω）

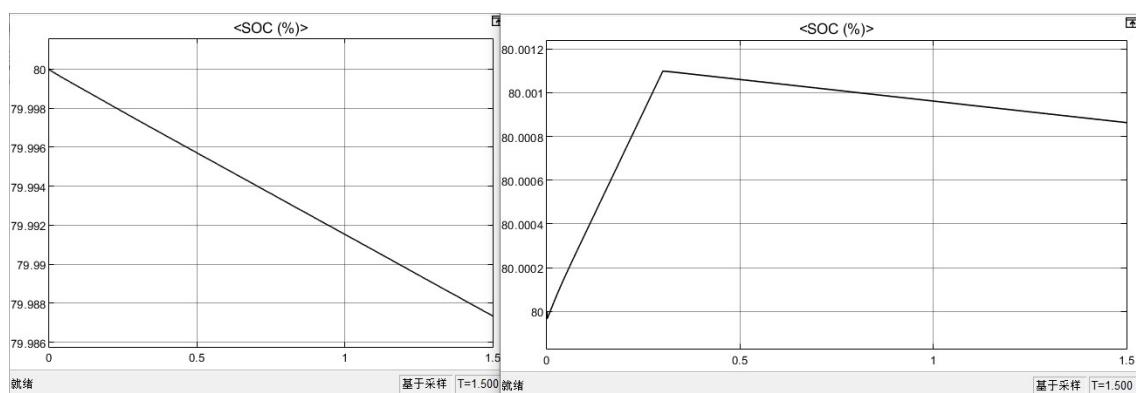


- 期望的输出电流值（恒流） $i_{out\_ref} = 30A$ , dc-dc 恒流输出, 0.3s 负载突加（6Ω, 再并联一个 6Ω）

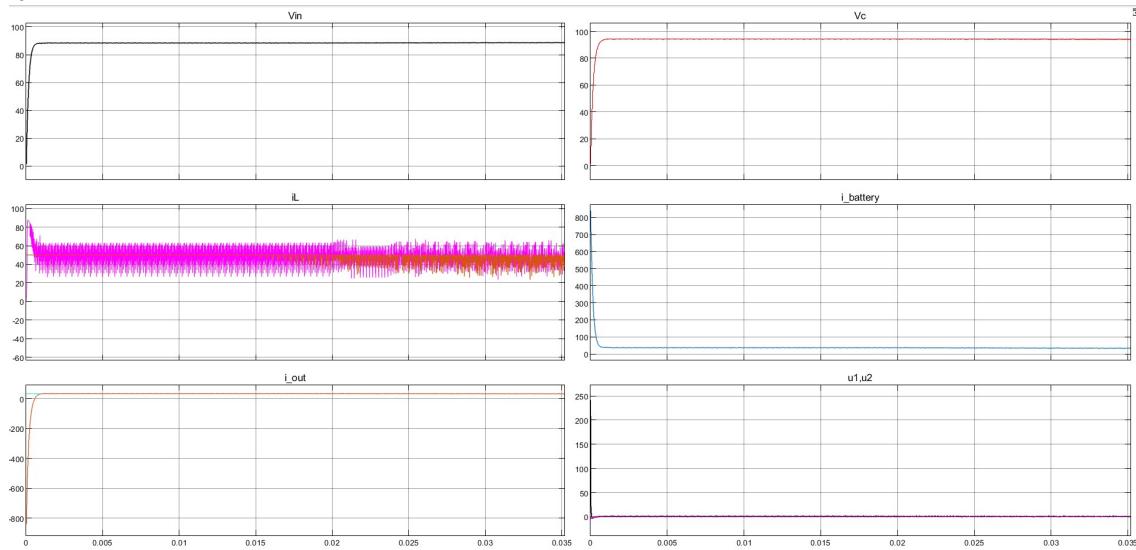
### 给外部电池充电



电池 SOC 变化情况：左侧为 dc-dc 内部电池，右侧为输出端连接的电池。0.3s 之前恒流充电，之后突加负载（并联一个 6ohm）



- ② 观察恒流模式下，电池电压在 0s 刚启动的时候接近 0，电流接近-8000



- 规格书中的 电流设置精度

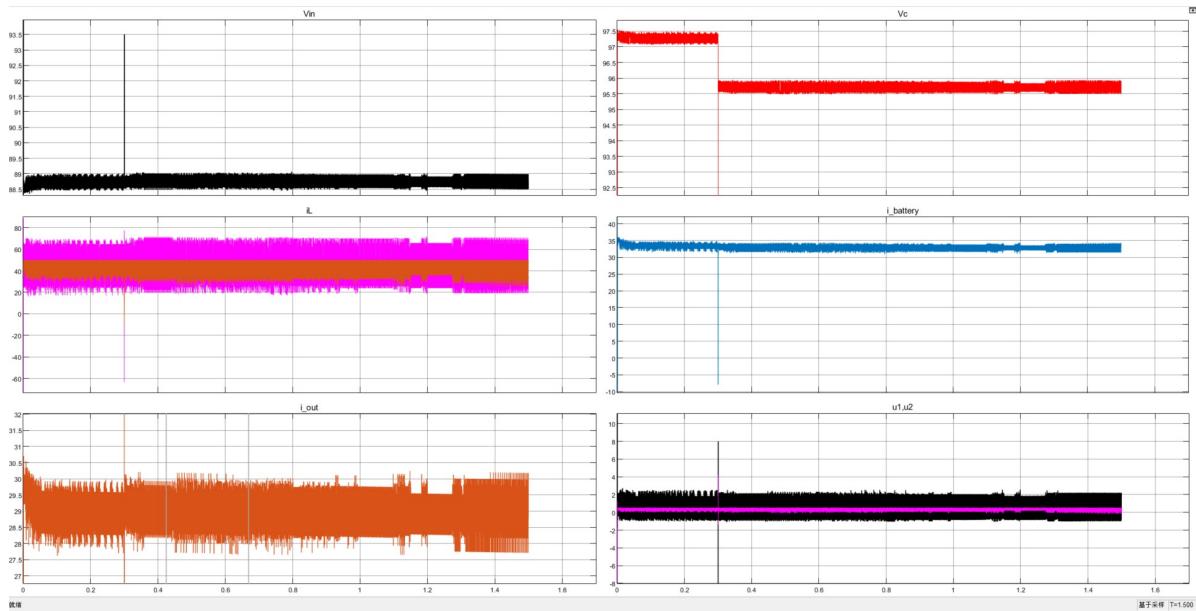
给电池恒流充电，充电电流是50A，而我的电源检测的电流也是50A，这就是没有误差，如果我上报是51A就代表有1A的误差

- ③ 恒流模式下，电流纹波太大，接近2A

电流纹波在电感上产生的，取决于电感电流  $\Delta I$  的变化量，加大电感或者开关频率会有改善。电源规格书都没有电流纹波这个东西

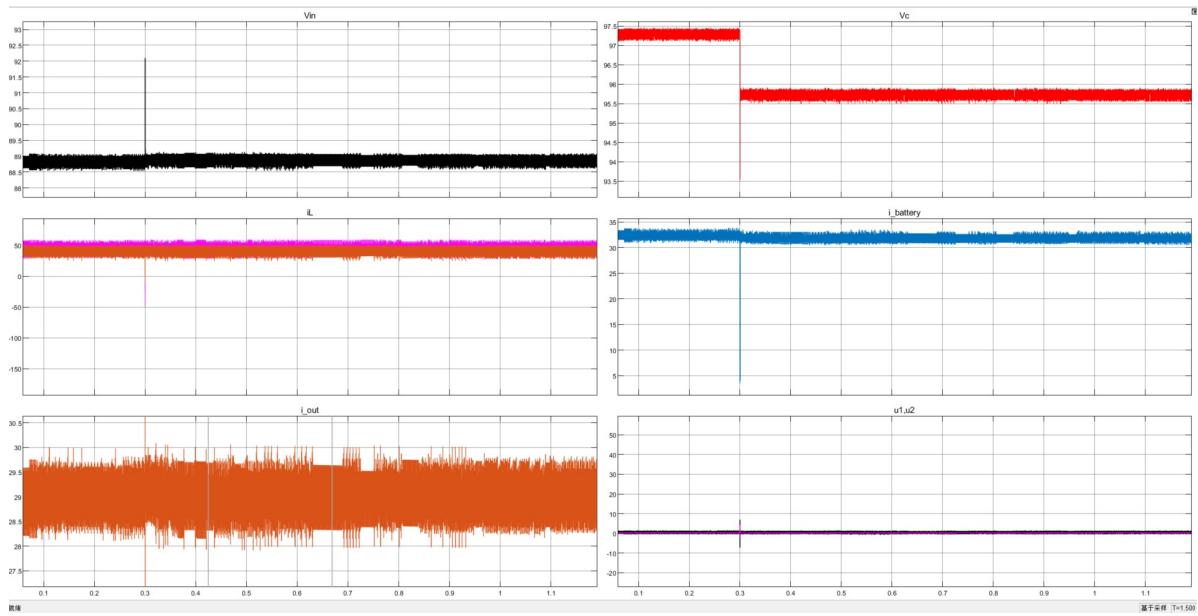
## Lower Current oscillation

根据实际电路修改拓扑，在输入输出端增加两个 $2.2e - 6H$  的差模电阻

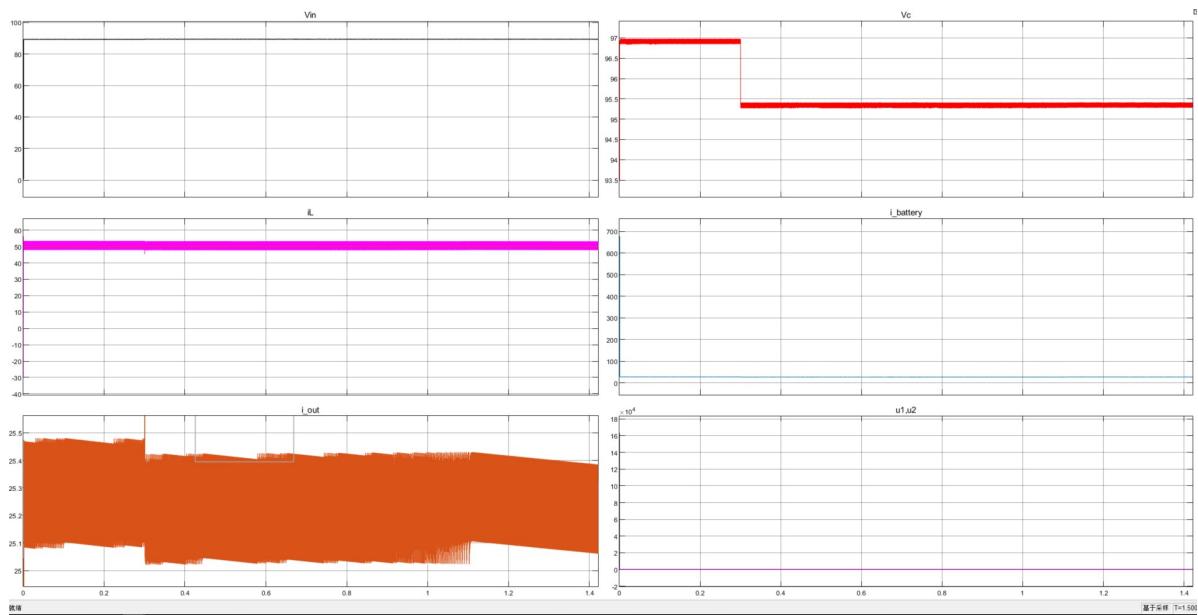


```
45e3 # 开关频率 Hz
20e-6 # 主电感 H
2.2e-6 # 差模电感 H
```

增大主电感至  $40e - 6H$ ，输出电流纹波略微减小



80e-6 H 主电感 + 100hz

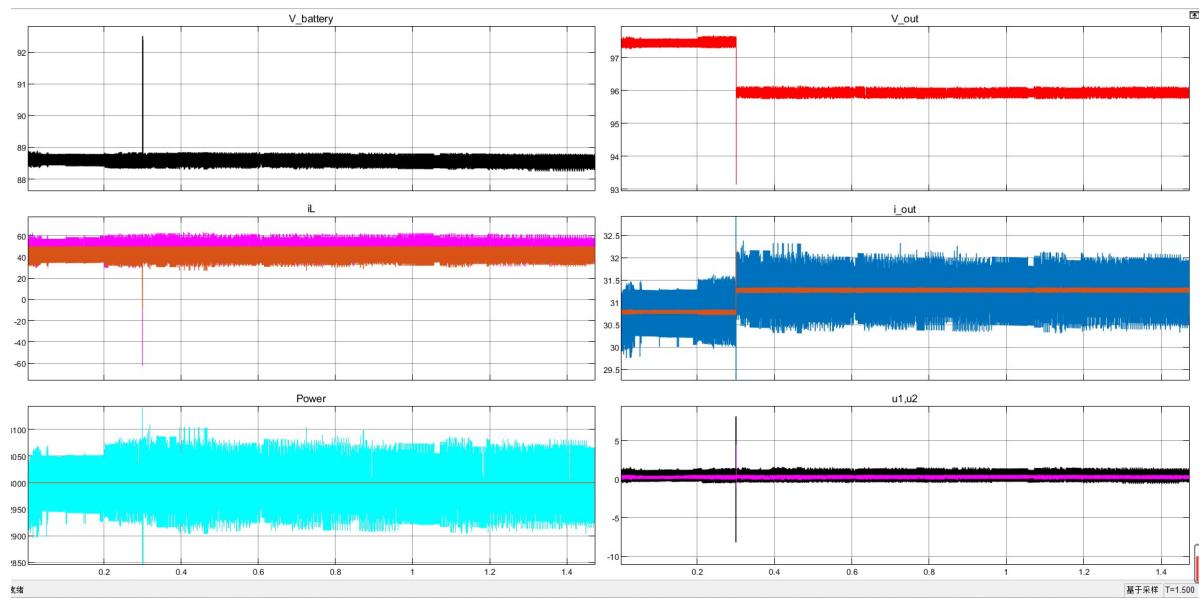


## constant Power

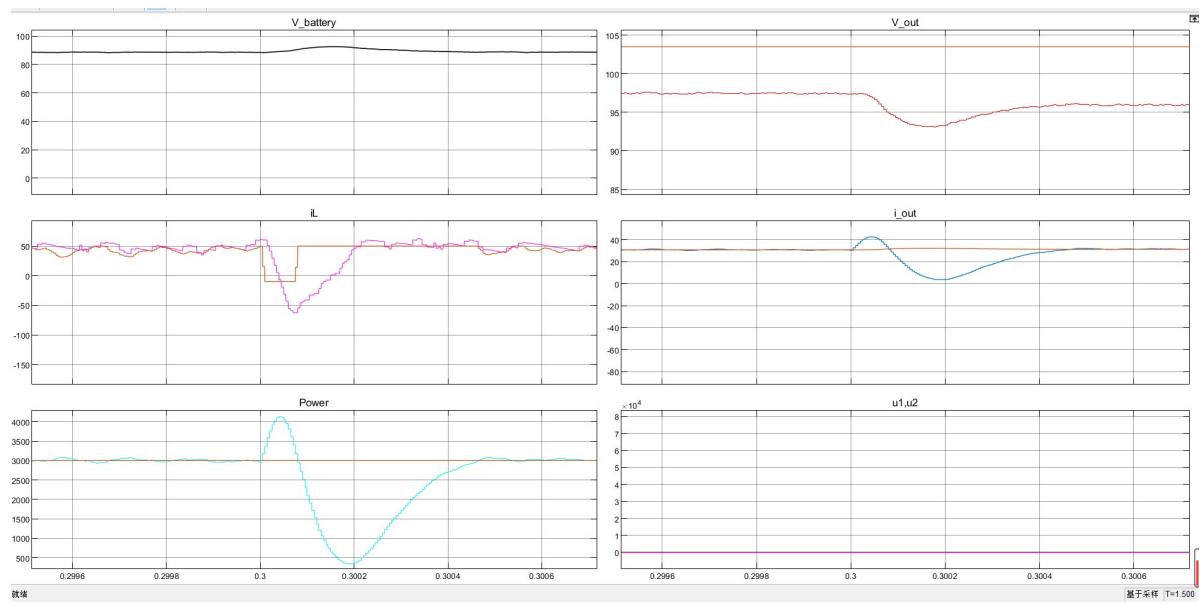
恒功率，使用电流恒流实现。对于某一时刻的电流参考值，根据当前输出电压计算出来  
 $I_{ref} = P/U_{out}$ 。

### Battery discharge

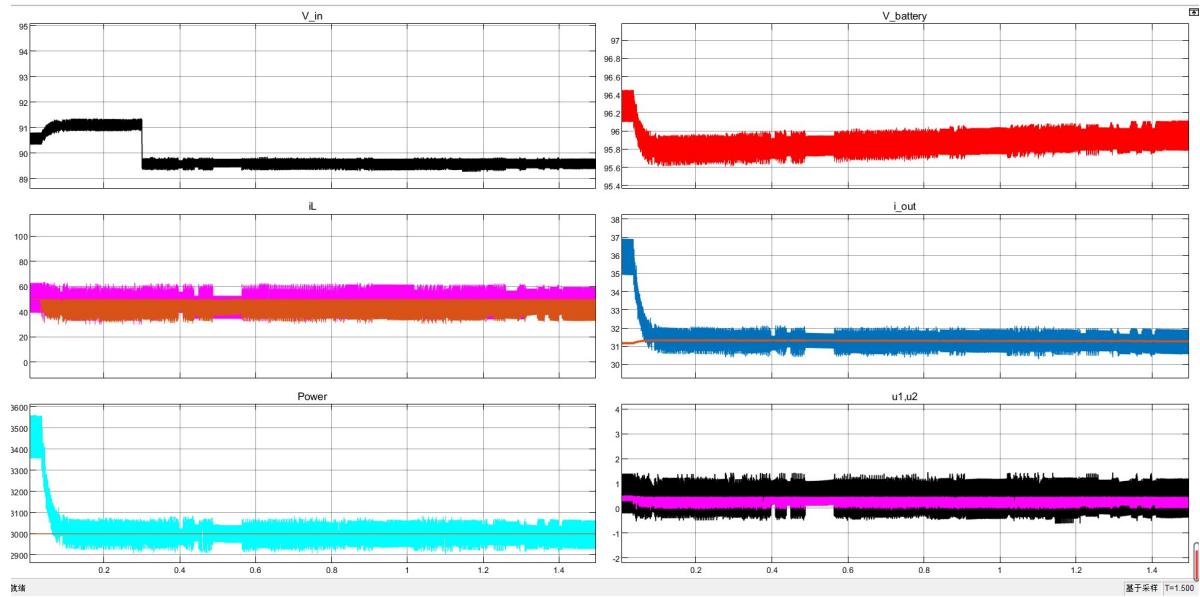
45kHz  
 40e-6H  
 2.2e-6H



负载突卸时的功率曲线



charge Battery



## Later improvement

该部分锂电池模块，目前实现了基本充放电需求。待连入整体微电网结构，进一步优化，**主要分为两方面的优化：控制策略、拓扑结构**

- 控制策略：目前使用 PI 控制
  - 模糊 PI
  - SMC 滑模控制
- 拓扑结构：目前使用非隔离双向DCDC，更新为隔离型DCDC
- **充放电切换逻辑：**目前为手动模式，后续与风力发电整体进行联调，修改其切换策略，有了大的整体系统在进行修改。

## QA

- 恒流、恒压无法稳定在参考值?  
调整电池串联的电阻，或者母线电压源串联的电阻
- DCDC  
电路里面，电容、电感的值如何选取：**参数根据波形调试**
- **BatteryController** 控制部分
  - **母线电压控制：**输入 96V 期望值，与实际采集到的母线电压，计算误差作为输入
    - PI 控制器参数(经验值)：P 调节快速性（跟踪速度）；I 调节超调量（稳定性）
  - 电流控制：输入蓄电池的电流  $I_{sc}$ ，实现电池恒流的要求（否则电池就炸了）
    - ？为啥电压误差过 PI 控制的结果，直接可以和  $I_{sc}$  电池电压比较呢
    - 外环电压环输出的结果是电流环的参考值>> 参考 "蓄电池闭环设计" ☆
  - **PWM** 控制模块：产生高低频脉冲，提供给 DCDC >> **IGBT** 实现充放电  
**single-phaseHalfBridge(2pulses)**
- 三种模式各自功能：**电压电流双闭环，与恒流充放电如何切换呢？**  
**电压电流双闭环（维持母线96V稳定）、恒流-5A（电池充电）、恒流20A（电池放电）的切换，具体的切换规则需要看具体场景：**因为实际电网会存在很多情况，比如，切除负荷，单独给蓄电池充电，或者蓄电池检查性放电。
  - 当下只能手动切换，后期放在风力系统可以动态
- 锂电池
  - 电池组内部考虑 SOC均衡  
咨询电网仿真工作人员，说不建议搞，如果考虑电池内部组合情况，会出现**SOC不均衡环流的情况**，更加难以控制。仿真开发周期更长，SOC均衡复杂，且数量越多越复杂。
  - 电池参数

```

{
    "Type": "Lithium-Ion" // 磷酸铁锂电池
    "Parameters": {
        "Nominal_Voltage(V)": 85,
        "Rated_Capacity(Ah)电池额定容量": 100,
        "Initial_StateOfCharge(%)": 80, // 电池初始状态 >> 所以额定电压
        102V * 0.8 左右
        "BatteryResponseTime(s)": 30, // ???
    },
    "Discharge": {
        "MaximumCapacity(Ah)": 107.6923, // ???
        "Cut-off_voltage(V)": 83.2,
        "FullyChargedCurrent(A)": 20,
        "Internal_resistance(Ohms)": 0.0085,
        "Capacity(Ah)at_nominal_voltage": 96.1538,
        "Exponential_zone[voltage(V),capacity(Ah)": [92.2034, 20],
        "Discharge_characteristics": {
            "Discharge_current[i1,i2,...)": [6.5, 13, 32.5],
        }
    }
}

```

■ 标称电压 Nominal\_Voltage

理论标称电压为 102.4V，但初始 SOC 设置为 80%，要调整一下。