

EMS 核心算法设计说明书（详细版）

1. 文档定位与适用范围

1.1 文档定位

本文档是《EMS 核心算法设计说明书》的**工程级详细版本**，面向以下对象：

- EMS 核心算法研发人员
- EMS 产品架构与技术负责人
- 项目交付与系统集成人员
- 发明专利与技术交底撰写人员

本文档的目标是：**不依赖额外口头解释，仅凭文档即可完成 EMS 核心调度算法的实现、验证与产品化落地。**

1.2 适用系统范围

- 风 / 光 / 柴 / 储 / 充 混合微网
- 并网、弱电网、离网、黑启动
- 工商业储能、园区微网、充电站微网
- Linux ARM 平台（RK / NXP / TI 等）
- C++11 + 开源优化器（OSQP）

2. EMS 控制分层与算法定位

2.1 控制分层

层级	名称	时间尺度	功能
L0	设备控制	ms	电压 / 电流闭环
L1	一次控制	10-100ms	下垂 / 功率跟随
L2	EMS 调度（本文）	1-5s	功率最优分配
L3	预测与计划	5-15min	日前 / 日内

本算法运行于 **L2 层**。

2.2 算法输入与输出边界

输入（来自 SCADA / 通信） - 负荷功率 - 风光预测出力 - 各 BMS：SOC / SOH / Pmax - 并网可用度 - 电价 / 运行策略参数

输出（下发控制层） - PCS 有功功率指令 - 柴油机功率指令 - 弃电功率指令

3. 能源单元统一抽象模型

3.1 统一功率模型原则

所有能源与负荷均抽象为连续功率变量：

- 发电 / 放电：正功率
- 用电 / 充电：负功率

该抽象是消除场景分支的核心基础。

3.2 储能模型 (Battery)

状态参数：- 容量 C_i - SOC_i - SOH_i - 等效内阻 R_i

控制变量：- $P_{bat,i} \in [P_{min}, P_{max}]$

SOC 状态更新 (EMS 内部估计)：

$$SOC_i(k+1) = SOC_i(k) - \frac{P_{bat,i} \cdot \Delta t}{C_i}$$

3.3 可控电源模型 (柴油机等)

- 最小 / 最大功率
 - 启停状态由外部控制
 - EMS 仅调度连续功率
-

3.4 可再生能源模型

- 预测功率 P_{pred}
- 实际出力 = $P_{pred} - P_{curt}$

弃电功率 $P_{curt} \geq 0$

4. 调度变量与状态变量定义

4.1 决策向量结构

$$u = [P_{grid}, P_{bat,1} \dots P_{bat,N}, P_{gen,1} \dots P_{gen,M}, P_{curt,1} \dots P_{curt,K}]$$

该结构在所有项目中保持一致，仅维度变化。

4.2 状态变量集合

- 负荷功率 P_{load}

- 风光预测功率
- SOC / SOH
- $\text{GridAvailable} \in [0,1]$
- 电价、策略权重

5. 约束系统设计（工程级）

5.1 功率平衡（等式约束）

$$\sum P_{\text{gen}} + \sum P_{\text{bat}} + P_{\text{grid}} + \sum P_{\text{pred}} - \sum P_{\text{curt}} = P_{\text{load}}$$

5.2 功率上下限（不等式约束）

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max}$$

5.3 并网连续退化约束

$$|P_{\text{grid}}| \leq \text{GridAvailable} \cdot P_{\text{grid}}^{\max}$$

- $\text{GridAvailable}=1$: 完全并网
 - $\text{GridAvailable} \approx 0$: 自然离网
-

6. 目标函数体系（无 if-else 核心）

6.1 总体形式

$$\min \frac{1}{2} u^T H u + f^T u$$

6.2 经济性目标

$$J_{\text{cost}} = \text{price} \cdot P_{\text{grid}}$$

6.3 储能寿命与平滑

$$J_{\text{bat}} = \sum \alpha_i \cdot P_{\text{bat},i}^2$$

7. 多储能 SOC 协同算法（详细）

7.1 系统参考 SOC

$$\text{SOC}_{\text{sys}} = \sum (C_i \cdot \text{SOC}_i) / \sum C_i$$

7.2 协同目标项

$$J_{soc} = \sum \beta_i \cdot (SOC_i - SOC_{sys})^2$$

7.3 异构权重设计

$$\beta_i = k \cdot (C_i / C_{max}) \cdot (SOH_i / SOH_{max}) \cdot (1 / R_i)$$

该权重使调度自动偏向“更健康的储能”。

8. 策略模板化与产品化

8.1 模板类型

- 设备模板
 - 场景模板
 - 权重模板
-

8.2 示例：并网工商业模板

- 高电价权重
 - SOC 目标 60%
 - 最小弃电
-

9. 调度失败与降级策略

- QP 不可行：保持上周期解
 - 通信异常：移除对应变量
 - 设备告警：约束自动收紧
-

10. 软件实现建议（C++ / ARM）

- 固定内存分配
 - OSQP 模型复用
 - 调度线程独立
-

11. 专利与技术价值总结

本算法具备以下创新点：

- 连续优化统一多场景 EMS

- 异构多储能 SOC 协同
 - 并网能力连续退化建模
-

12. 总结

本文档给出了一套可直接工程落地、具备产品与专利价值的 EMS 核心算法详细设计方案。