



微电网电能质量 分布式协同治理与安全控制

陈剑波

南京邮电大学-碳中和先进技术研究院
江苏省主动配电网零碳运行控制工程研究中心

2024年05月12日

个人简介---陈剑波

➤ 教育经历

2016-09 ~ 2021-06	南京邮电大学	自动化学院、人工智能学院	博士
2015-09 ~ 2016-07	南京邮电大学	自动化学院、人工智能学院	硕士
2011-09 ~ 2015-07	南京邮电大学	自动化学院、人工智能学院	学士

➤ 工作经历

2021-07 ~ 2023-07	上海华为技术有限公司	智能光伏技术开发	高级工程师
2024-02 ~ 至今	南京邮电大学	碳中和先进技术研究院	校长特聘副教授

➤ 学术成果

[1] Jianbo Chen (陈剑波), Dong Yue (岳东), Chunxia Dou (窦春霞), et al. **Distributed Control of Multi-Functional Grid-Tied Inverters for Power Quality Improvement**[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, 2021, 68(2):918-928.

[2] Jianbo Chen (陈剑波), Dong Yue (岳东), Chunxia Dou (窦春霞), et al. **Static and Dynamic Event-Triggered Mechanisms for Distributed Secondary Control of Inverters in Low-Voltage Islanded Microgrids**[J]. IEEE Transactions on Cybernetics, 2022, 52(7):6925-6938.

[3] Jianbo Chen (陈剑波), Dong Yue (岳东), Chunxia Dou (窦春霞), et al. **A Virtual Complex Impedance Based P-Vdot Droop Method for Parallel-Connected Inverters in Low-Voltage AC Microgrids**[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2021, 17(3): 1763-1773.

[4] Shengxuan Weng (翁盛煊), Dong Yue (岳东), Jianbo Chen (陈剑波), et al. **Distributed Resilient Self-Triggered Cooperative Control for Multiple Photovoltaic Generators Under Denial-of-Service Attack**[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2023, 53(1): 226-237.

[5] Shengxuan Weng (翁盛煊), Dong Yue (岳东), Jianbo Chen (陈剑波), et al. **Distributed resilient event-triggered control for power quality improvement in grid-tied microgrid under Denial-of-Service attack**[J]. IEEE Systems Journal, 2024, doi:10.1109/JSYST.2024.3367307

➤ 个人主页

www.chenjianbo.top 知乎 www.zhihu.com/people/XiaoMaoXiaoYuGan



目录

- 1 研究背景
- 2 基于MFGTI的微电网电能质量分布式协同治理
- 3 DoS攻击下的MFGTI电能质量分布式弹性控制
- 4 基于虚拟复阻抗的改进 $P-\dot{V}$ 下垂控制方法
- 5 基于静/动态事件触发机制的分布式二次控制策略

一、研究背景

目录

1 研究背景

2 基于MFGTI的微电网电能质量分布式协同治理

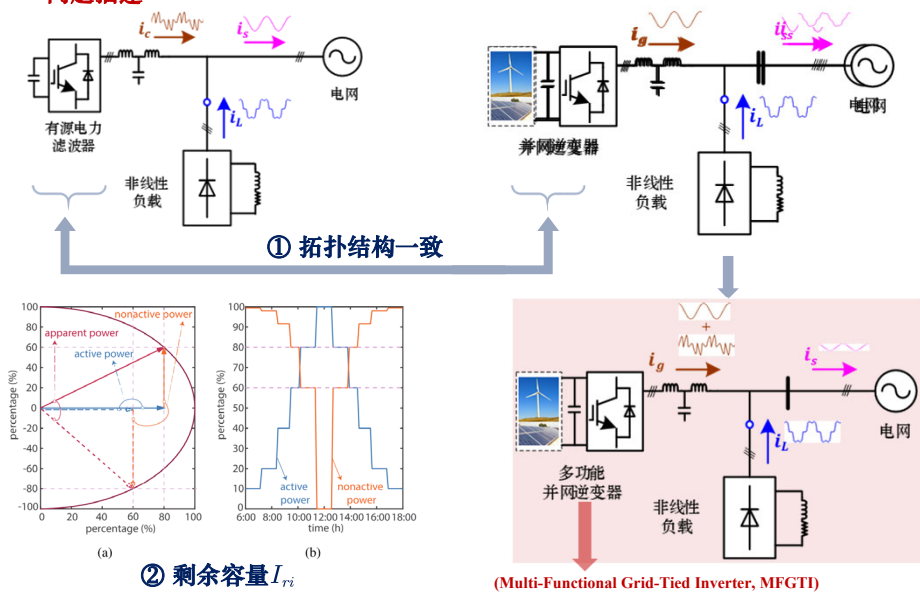
3 DoS攻击下的MFGTI电能质量分布式弹性控制

4 基于虚拟复阻抗的改进 $P-\dot{V}$ 下垂控制方法

5 基于静/动态事件触发机制的分布式二次控制策略

二、基于MFGTI的微电网电能质量分布式协同治理

➤ 问题描述



二、基于MFGTI的微电网电能质量分布式协同治理

微电网拓扑

现有方案

集中式控制 → 分散控制

所提方案

分布式控制

➤ 控制目标

PCC点处的电能质量治理任务由网内的n台MFGTI根据自身的剩余容量在总剩余容量中的比值进行分配。在补偿后，PCC点处的THD需小于标准中规定的5%。

MFGTI i 承担的治理任务 $i_{ci}(k) = \frac{I_{ri}(k)}{\sum_{i=1}^n I_{ri}(k)} \cdot i_{LC}(k)$ 总电能质量治理任务

二、基于MFGTI的微电网电能质量分布式协同治理

➤ 多智能体一致性算法

设每个智能体的状态为 $x_i(k)$, 其状态更新方程为: $x_i(k+1) = x_i(k) + u_i(k)$

$u_i(k)$ 为控制输入量, 若采用如下一致性算法:

$$u_i(k) = -\epsilon \sum_{j \in N_i} a_{ij} (x_i(k) - x_j(k))$$

则所有智能体的状态将会渐进收敛到稳态值 (初始状态的平均值)

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{x_i(0)}{n}$$

$$i_{ci}(k) = \frac{I_{ri}(k)}{\sum_{i=1}^n I_{ri}(k)} \cdot i_{LC}(k)$$

传统一致性方法

预期效果

二、基于MFGTI的微电网电能质量分布式协同治理

➤ 剩余容量充足

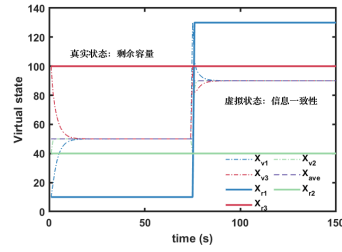
对于给定常数 ε_i ，定义 $\gamma_i(k)$ 为：

$$\gamma_i(k) = \begin{cases} 1, & |x_{ri}(k) - x_{ri}(k-1)| > \varepsilon_i \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

状态重置标志

提出了如下分布式一致性策略：

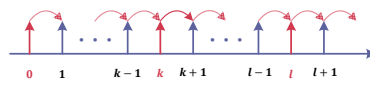
$$x_{vi}(k) = \begin{cases} x_{ri}(k), & \gamma_i(k) = 1 \text{ or } \sum_{j \in N_i} \gamma_j(k) \geq 1 \\ x_{vi}(k-1) + u_i, & \text{otherwise} \end{cases}$$



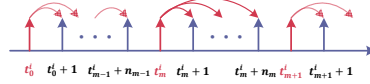
所提方法效果

视角一

传统方法



所提方法



视角二



二、基于MFGTI的微电网电能质量分布式协同治理

➤ 剩余容量充足

$$\sum_{i=1}^n \|I_{ri}(k)\| \geq I_{LC}(k)$$



$$\|i_{ri}(k)\| = \left\| \frac{I_{ri}(k)}{\sum_{i=1}^n \|I_{ri}(k)\|} \cdot i_{LC}(k) \right\| \leq I$$

➤ 剩余容量不充足

$$\sum_{i=1}^n \|I_{ri}(k)\| < I_{LC}(k)$$



$$\|i_{ri}(k)\| = \left\| \frac{I_{ri}(k)}{\sum_{i=1}^n \|I_{ri}(k)\|} \cdot i_{LC}(k) \right\| > I_{ri}(k)$$



$$\|i_{ri}(k)\| = \left\| \frac{I_{ri}(k)}{\|i_{LC}(k)\|} \cdot i_{LC}(k) \right\| = I_{ri}(k)$$

➤ 基于Leader-Follower的一致性算法

$$\beta_o(k) = \beta_o(k-1) + k_p (TRD^r - TRD(k))$$

$$\beta_i(k) = \beta_i(k-1) - c_{\beta i} \sum_{j \in N_i} [\beta_i(k-1) - \beta_j(k-1)] - c_{\beta o i} \cdot a_{io} [\beta_i(k-1) - \beta_o(k-1)]$$

$$\text{有功参考值} \leftarrow P_i^*(k) = \beta_i(k) \cdot P_{Mi}(k) \rightarrow \text{MPPT有功输出能力}$$

二、基于MFGTI的微电网电能质量分布式协同治理

➤ 算法流程图

Algorithm 1 Proposed consensus protocol of agent i

Input: $x_{ri}(k)$, $x_{ri}(k-1)$, $x_{vi}(k-1)$, $\gamma_j(k)$ and $x_{vj}(k-1)$
for $j \in N_i$

Output: $x_{vi}(k)$, $\gamma_i(k)$

1: Given parameters c_i, ε_i and positive integer N . Set $Cnt = 0$, $\gamma_i(0) = 1$, $flag = 0$.

2: **while** (1) **do**

3: **if** $|x_{ri}(k) - x_{ri}(k-1)| > \varepsilon_i$ **then**

4: $\gamma_i(k) = 1$.

5: $flag = 1$.

6: **end if**

7: **if** $\gamma_i(k) == 1$ or $\sum_{j \in N_i} \gamma_j(k) \geq 1$ **then**

8: **if** $Cnt < N$ **then**

9: $\gamma_i(k) = 1$.

10: $flag = 0$.

11: $Cnt = Cnt + 1$.

12: **else**

13: **if** $flag == 1$ **then**

14: $\gamma_i(k) = 1$.

15: $flag = 0$.

16: **else**

17: $\gamma_i(k) = 0$.

18: **end if**

19: **end if**

20: **else**

21: $Cnt = 0$.

22: **end if**

23: **if** $\gamma_i(k) = 1$ **then**

24: $x_{vi}(k) = x_{ri}(k)$.

25: **else**

26: $u_i(k) = -c_i \sum_{j \in N_i} (x_{vi}(k-1) - x_{vj}(k-1))$.

27: $x_{vi}(k) = x_{vi}(k-1) + u_i(k)$.

28: **end if**

29: **end while**

Algorithm 2 Proposed consensus protocol of agent i

Input: $P_{Mi}(k)$, $v_{di}(k)$, $x_{ri}(k-1)$, $x_{vi}(k-1)$, $\beta_i(k-1)$, $\beta_i(k-1)$, $\beta_j(k-1)$, $\gamma_j(k)$ and $x_{vj}(k-1)$ for $j \in N_i$

Output: $P_i^*(k)$, $x_{ri}(k)$, $\gamma_i(k)$

1: Given parameters I_{Ni} , c_i , $c_{\beta i}$, a_{i0} , $c_{\beta i}$, ε_i and positive integer N . Set $Cnt = 0$, $\gamma_i(0) = \beta_i(0) = 1$, $flag = 0$.

2: **while** (1) **do**

3: $u_{\beta i}(k) = -c_{\beta i} \sum_{j \in N_i} [\beta_i(k-1) - \beta_j(k-1)]$.

4: $u_{\beta i}(k) = -c_{\beta i} \cdot a_{i0} [\beta_i(k-1) - \beta_0(k-1)]$.

5: $\beta_i(k) = \beta_i(k-1) + u_{\beta i}(k) + u_{\beta i}(k)$.

6: **if** $\beta_i(k) > 1$ **then**

7: $\beta_i(k) = 1$.

8: **else**

9: **if** $\beta_i(k) < 0$ **then**

10: $\beta_i(k) = 0$.

11: **end if**

12: $P_i^*(k) = \beta_i(k) \cdot P_{Mi}(k)$.

13: $I_{di}(k) = 2P_i^*(k)/(3v_{di}(k))$.

14: $x_{ri}(k) = \sqrt{I_{Ni}^2 - I_{di}^2(k)}/2$.

15: The rest is the same as Step 3 – 28 of Algorithm 1

16: **end while**

二、基于MFGTI的微电网电能质量分布式协同治理

➤ Simulink仿真结果

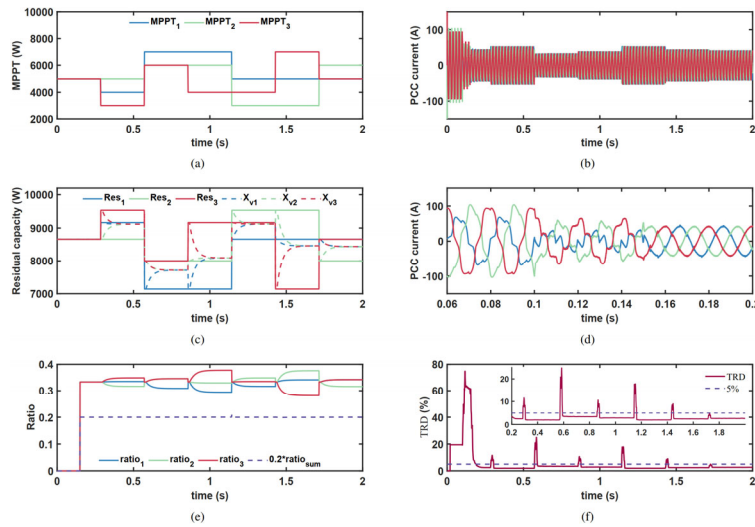
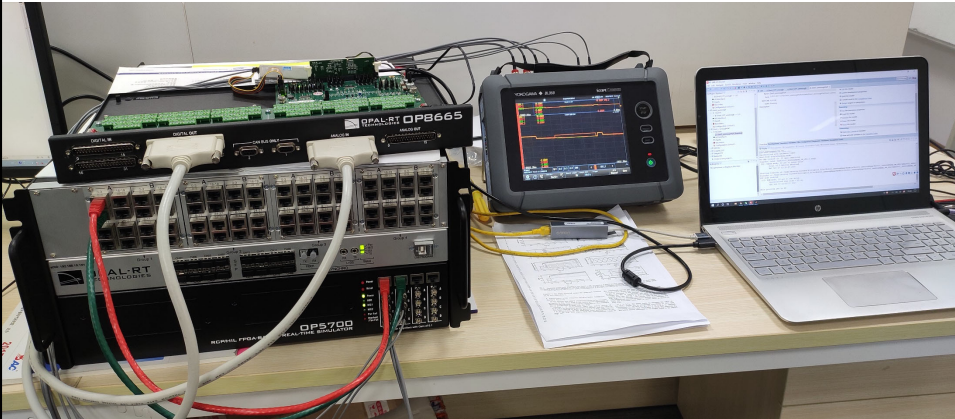


Fig. 5. Regulation process under algorithm 1. (a) Variation of MPPT. (b) PCC current during whole simulation. (c) Residual capacity and consensus of x_{vi} . (d) PCC current during $t \in [0.06s, 0.2s]$. (e) Sharing ratio of power quality improvement task of $MFGTI_i$. (f) TRD of the PCC current.

二、基于MFGTI的微电网电能质量分布式协同治理

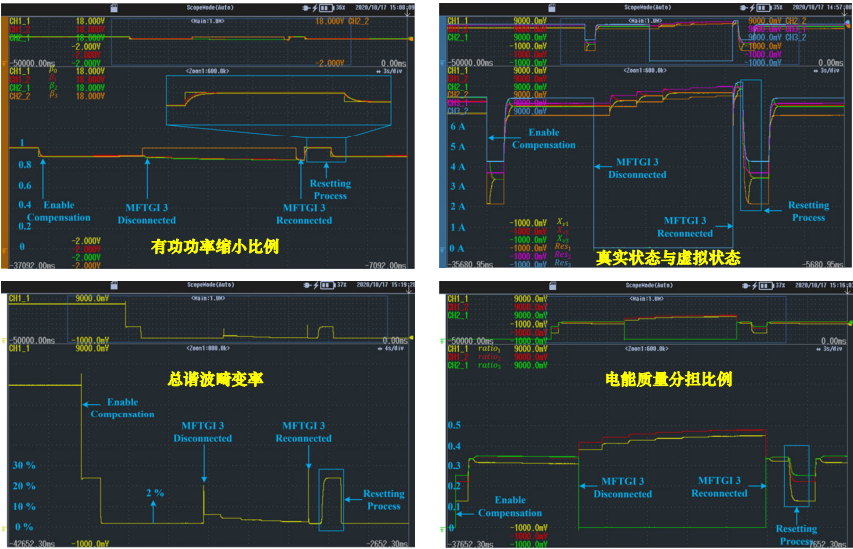
➤ RTLAB半实物仿真平台



OP5700仿真机 + OP8655控制板 +DL350录波仪+PC

二、基于MFGTI的微电网电能质量分布式协同治理

➤ RTLAB半实物仿真结果



二、基于MFGTI的微电网电能质量分布式协同治理

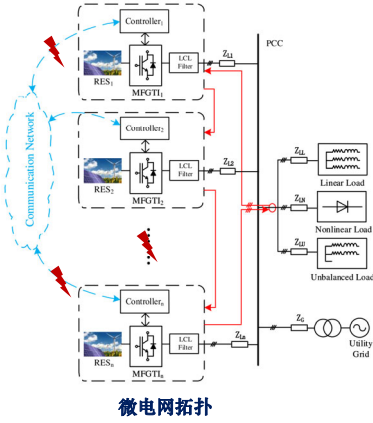
- **研究问题：**并网型微电网电能质量的分布式治理
- **创新点：**
 - ① 将多智能体一致性算法引入到微电网电能质量的治理中，区分了真实状态与虚拟状态；
 - ② 在微电网总剩余容量充足时，基于多智能体一致性算法，将电能质量治理任务根据多功能并网逆变器的实时能力大小，进行比例分配；
 - ③ 在总剩余容量不充足时，基于Leader-Follower算法，按比例降低逆变器输出的有功功率，同时利用第②点中算法进行治理任务的分配，直到PCC点总谐波畸变率满足相应标准。
- **发表论文：** J. Chen, D. Yue, et al. Distributed Control of Multi-Functional Grid-Tied Inverters for Power Quality Improvement[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, 2021, 68(2):918-928.

目录

1	研究背景	
2	基于MFGTI的微电网电能质量分布式协同治理	
3	DoS攻击下的MFGTI电能质量分布式弹性控制	
4	基于虚拟复阻抗的改进 $P-\dot{V}$ 下垂控制方法	
5	基于静/动态事件触发机制的分布式二次控制策略	

三、DoS攻击下的MFGTI电能质量分布式弹性控制

问题描述



控制目标

- ① 在MFGTI剩余容量充足的情况下，各MFGTI公平的补偿谐波电流，即

$$\sum_k i_k^c + i_{LC} = 0$$

$$\frac{i_k^c}{I_k^r} = \frac{i_j^c}{I_j^r} \quad (\forall k, j \in \mathcal{V})$$

- ② 在MFGTI剩余容量不足的情况下，各MFGTI公平的调整剩余容量，并进一步实现目标①。

令 $I_k^r(t) = \sqrt{I_k^2 - (\phi_k(t) I_k^a(t))^2}$ ，使得

$$\phi_k = \phi_j \quad (\forall k, j \in \mathcal{V})$$

$$|i_{LC}| \leq \sum_k I_k^r$$

三、DoS攻击下的MFGTI电能质量分布式弹性控制

控制流程

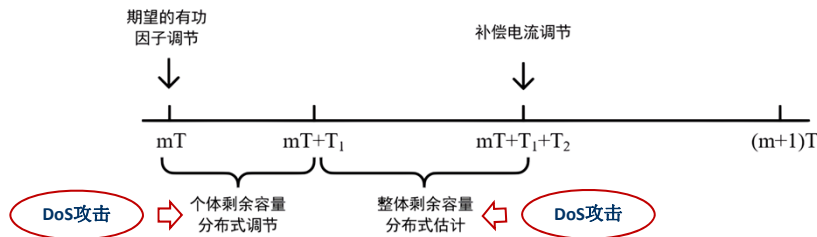
Control Flow:

Step 1: Desired active power factor control. The desired active power factor ϕ_0 is updated at time instant mT at the selected MFGTI_i.

Step 2: Individual residual capacity regulation. The active power factor ϕ_k for each MFGTI_k is driven to the desired value ϕ_0 in time interval $[mT, mT + T_1]$.

Step 3: Total residual capacity estimation. Each MFGTI_k updates its own estimated value of total residual capacity, i.e. RC_k^{sum} , in time interval $[mT + T_1, mT + T_1 + T_2]$.

Step 4: Compensating current reference regulation. The compensating current reference of MFGTI_k is calculated as $i_k^c(t) = -\frac{I_k^c(t)}{RC_k^{sum}(mT + T_1 + T_2)} i_{LC}(t)$ if $|i_{LC}(t)| \leq RC_k^{sum}(mT + T_1 + T_2)$, otherwise $i_k^c(t) = -\text{sign}(i_{LC}(t)) I_k^c(t)$, where $t \in [mT + T_1 + T_2, (m+1)T + T_1 + T_2]$ and $\text{sign}(\cdot)$ is the sign function.



三、DoS攻击下的MFGTI电能质量分布式弹性控制

分布式控制策略

基于事件触发机制的个体剩余容量分布式调节策略

$$\frac{d}{dt}\phi_k(t) = K_1 u_k^\phi(t)$$

$$u_k^\phi(t) = \sum_{j=1}^N a_{kj} (\phi_j(n_{s',j}^{\phi,j} T_e) - \phi_k(n_{s',k}^{\phi,k} T_e)) + a_{k0} (\phi_0((m+1)T) - \phi_k(n_{s',k}^{\phi,k} T_e))$$

基于事件触发机制的整体剩余容量分布式估计策略

$$\frac{d}{dt} RC_k^{sum}(t) = K_2 u_k^{RC}(t)$$

$$u_k^{RC}(t) = \sum_{j=1}^N a_{kj} \left(RC_j^{sum}(n_{s',j}^{RC,j} T_e) - RC_k^{sum}(n_{s',k}^{RC,k} T_e) \right)$$

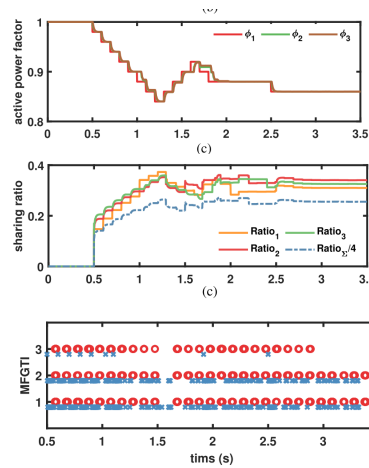
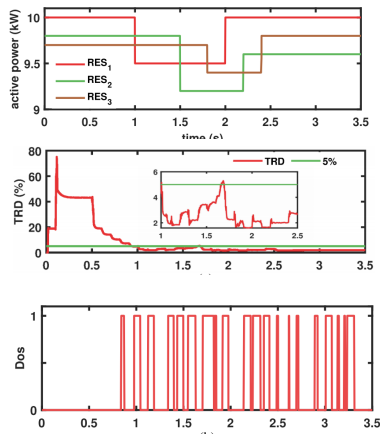
抵御DoS攻击的事件触发机制

Algorithm 1: Event-Triggered Mechanism About ϕ_k Under DoS Attack.

- Initialize the parameters $n = n_{s',k}^{\phi,k}$ and $label_k^\phi = 0$;
- WHILE $n_{s+1}^{\phi,k}$ is not determined
 - IF $label_k^\phi == 0$ and $|e_k^\phi(nT_e)| > \alpha^\phi |u_k^\phi(nT_e)|$
 - * IF DoS attack does NOT exists at time instant nT_e
 - MFGTI_k determines $n_{s+1}^{\phi,k} = n$, transmits its own information $\phi_k(n_{s+1}^{\phi,k} T_e)$ to the neighbors, and sets $label_k^\phi = 0$;
 - * END IF
 - * IF DoS attack exists at time instant nT_e
 - MFGTI_k sets $label_k^\phi = 1$;
 - * END IF
 - END IF
 - IF $label_k^\phi == 1$
 - * IF DoS attack does NOT exists at time instant nT_e
 - MFGTI_k determines $n_{s+1}^{\phi,k} = n$, transmits its own information $\phi_k(n_{s+1}^{\phi,k} T_e)$ to the neighbors, and sets $label_k^\phi = 0$;
 - * END IF
 - * IF DoS attack exists at time instant nT_e
 - MFGTI_k sets $label_k^\phi = 1$;
 - * END IF
 - END IF
 - Update $n := n + 1$;
- END WHILE

三、DoS攻击下的MFGTI电能质量分布式弹性控制

Simulink仿真结果



	MFGTI ₁	MFGTI ₂	MFGTI ₃
ETM about ϕ_k	9	252	339
PSM about ϕ_k	27	2700	2700
rate about ϕ_k	33.3%	9.3%	12.6%
ETM about RC_k^{sum}	166	242	247
PSM about RC_k^{sum}	2700	2700	2700
rate about RC_k^{sum}	6.1%	8.9%	9.1%

三、DoS攻击下的MFGTI电能质量分布式弹性控制

➤ **研究问题：**DoS攻击下的MFGTI电能质量分布式弹性控制

➤ **创新点：**

- ① 根据可再生能源的变化及谐波电流的补偿要求，动态调整逆变器的剩余容量及各MFGTI的补偿电流，实现MFGTI的公平利用，补偿PCC处的谐波电流。
- ② 构建满足如下4个要求的事件触发控制策略以抵御DoS攻击：1)调节速度与精度的量化；2)基于采样数据的触发机制执行，且采样周期具备可调性；3)符合实际特征的拒绝服务攻击建模；4)控制策略参数选取机制的提供。

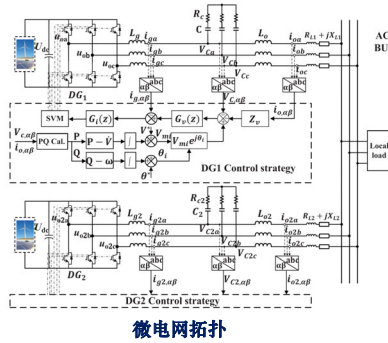
➤ **发表论文：** S. Weng, D. Yue, J. Chen, et al. Distributed Resilient Event-Triggered Control for Power Quality Improvement in Grid-Tied Microgrid Under Denial-of-Service Attack. IEEE Systems Journal, Early Access, 2024.

目录

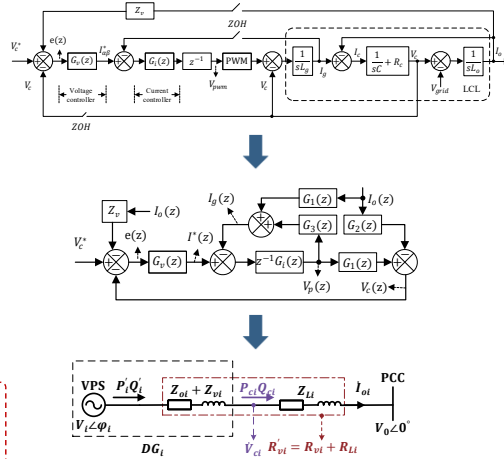
- 1 研究背景
- 2 基于MFGTI的微电网电能质量分布式协同治理
- 3 DoS攻击下的MFGTI电能质量分布式弹性控制
- 4 基于虚拟复阻抗的改进 $P-\dot{V}$ 下垂控制方法
- 5 基于静/动态事件触发机制的分布式二次控制策略

四、基于虚拟复阻抗的 $P-\dot{V}$ 下垂控制方法

问题描述

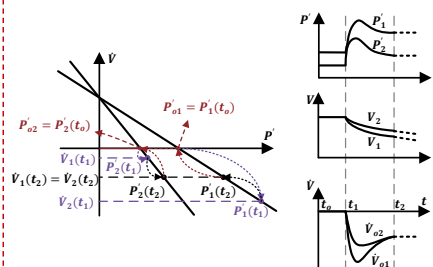


- 控制目标：提高逆变器之间的有功功率、无功功率的分担精度。
- 难点：线路阻抗不匹配

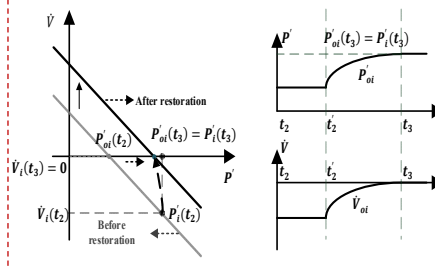


四、基于虚拟复阻抗的 $P-\dot{V}$ 下垂控制方法

- 传统下垂控制策略 $V_i = V^* - m_i P'_i$
 $\omega_i = \omega^* + n_i Q'_i$
无法应对线路阻抗不匹配问题！



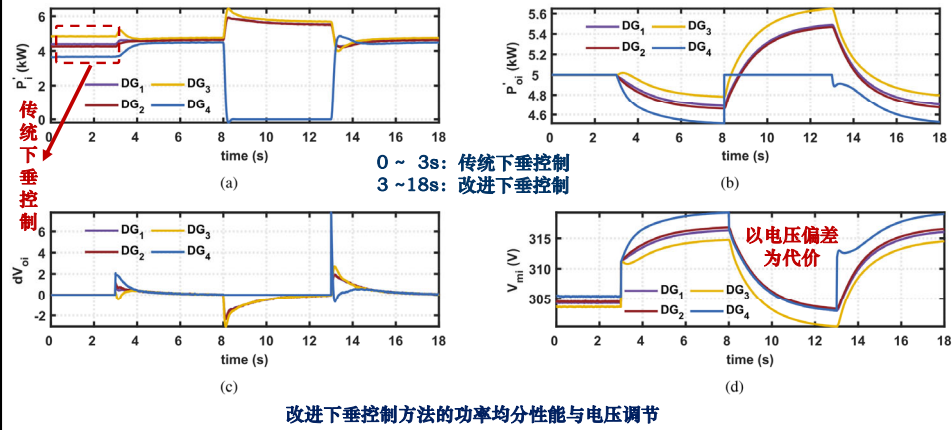
- 所提策略 $\dot{V}_{oi} = m_i (P'_{oi} - P'_i)$
 $V_i = V^* + S_p \cdot \int_t \dot{V}_{oi} d\tau$
 $\dot{P}'_{oi} = -k_{res} P'_{Ni} \dot{V}_{oi}$



以电压偏差为代价，应对线路阻抗不匹配问题！

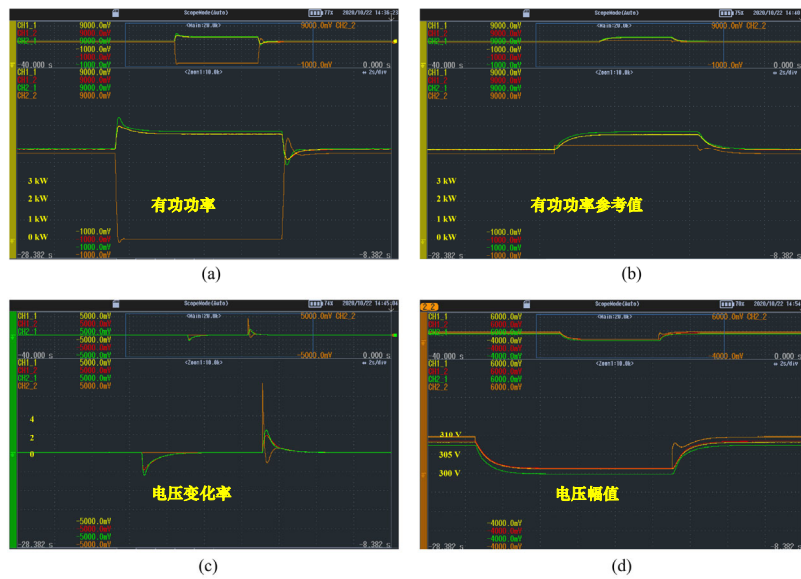
四、基于虚拟复阻抗的 $P-\dot{V}$ 下垂控制方法

➤ Simulink仿真结果



四、基于虚拟复阻抗的 $P-\dot{V}$ 下垂控制方法

➤ RTLAB半实物仿真结果



四、基于虚拟复阻抗的 $P-\dot{V}$ 下垂控制方法

- **研究问题：**阻性微电网的有功功率均分精度
- **创新点：**
 - ① 与常规采用PI控制器的策略不同，本文基于PR控制器与虚拟复阻抗策略，将逆变器的输出阻抗重塑为纯阻性；
 - ② 提出了 $P-\dot{V}$ 下垂控制方法，在无通信条件下，改善由于线路阻抗不匹配引起的有功功率均分精度；
 - ③ 提出了改进 $P-\dot{V}$ 下垂控制方法，通过比例系数 S_p 不仅加速了暂态调节速度而且进一步改善了功率均分精度。
- **发表论文：** J. Chen, D. Yue, et al, A Virtual Complex Impedance Based P-Vdot Droop Method for Parallel Connected Inverters in Low-Voltage AC Microgrids[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2021, 17(3):1763-1773.

目录

1	研究背景	•
2	基于MFGTI的微电网电能质量分布式协同治理	•
3	DoS攻击下的MFGTI电能质量分布式弹性控制	•
4	基于虚拟复阻抗的改进 $P-\dot{V}$ 下垂控制方法	•
5	基于静/动态事件触发机制的分布式二次控制策略	•

五、基于静/动态事件触发机制的分布式二次控制策略

➤ 静态触发条件

$$e_{pi}^s(t) > \sum_{j \in N_i} \frac{D_{pi}^2}{4|N_i|} \left(\frac{p_j(t_g^i(t))}{D_{pj}} - \frac{p_i(t_g^i)}{D_{pi}} \right)^2 + \frac{D_{pi}(P_i^* - P_i(t) - p_i(t))^2}{2\lambda k_{pr} V_i |N_i|} + \frac{D_{pi}^2}{\lambda k_{pr} |N_i|} \eta_{pi}$$

$$e_{qi}^s(t) > \sum_{j \in N_i} \frac{D_{qi}^2}{4|N_i|} \left(\frac{q_j(\tau_h^i(t))}{D_{qj}} - \frac{q_i(\tau_h^i)}{D_{qi}} \right)^2 + \frac{D_{qi}(Q_i^* - Q_i(t) - q_i(t))^2}{2\lambda k_{qr} |N_i|} + \frac{D_{qi}^2}{\lambda k_{qr} |N_i|} \eta_{qi}$$

➤ 动态触发条件

$$e_{pi}^d(t) > \alpha_{pi} \left(\sum_{j \in N_i} \frac{D_{pi}^2}{4|N_i|} \left(\frac{p_j(t_g^j(t))}{D_{pj}} - \frac{p_i(t_g^i)}{D_{pi}} \right)^2 + \frac{D_{pi}(P_i^* - P_i(t) - p_i(t))^2}{2\lambda k_{pr} V_i |N_i|} + \frac{D_{pi}^2}{\lambda k_{pr} |N_i|} \varphi_{pi}(t) \right)$$

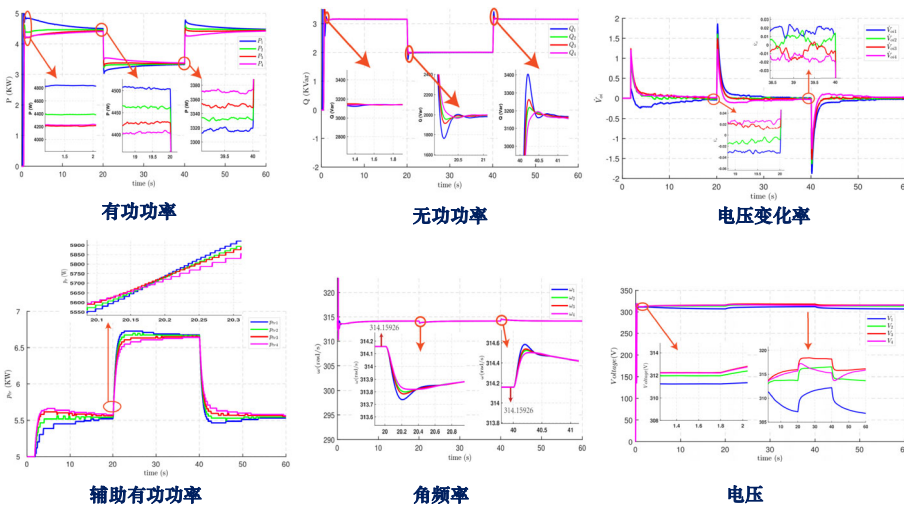
$$e_{qi}^d(t) > \alpha_{qi} \left(\sum_{j \in N_i} \frac{D_{qi}^2}{4|N_i|} \left(\frac{q_j(\tau_h^j(t))}{D_{qj}} - \frac{q_i(\tau_h^i)}{D_{qi}} \right)^2 + \frac{D_{qi}(Q_i^* - Q_i(t) - q_i(t))^2}{2\lambda k_{qr} |N_i|} + \frac{D_{qi}^2}{\lambda k_{qr} |N_i|} \varphi_{qi}(t) \right)$$

$$\dot{\varphi}_{pi}(t) = -\beta_{pi} \varphi_{pi}(t) + \gamma_{pi} \left(\sum_{j \in N_i} \frac{\alpha_{pi} D_{pi}^2}{4|N_i|} \left(\frac{p_j(t_g^j(t))}{D_{pj}} - \frac{p_i(t_g^i)}{D_{pi}} \right)^2 + \frac{\alpha_{pi} D_{pi}}{2\lambda k_{pr} V_i |N_i|} (P_i^* - P_i(t) - p_i(t))^2 - e_{pi}^s(t) \right)$$

$$\dot{\varphi}_{qi}(t) = -\beta_{qi} \varphi_{qi}(t) + \gamma_{qi} \left(\sum_{j \in N_i} \frac{\alpha_{qi} D_{qi}^2}{4|N_i|} \left(\frac{q_j(\tau_h^j(t))}{D_{qj}} - \frac{q_i(\tau_h^i)}{D_{qi}} \right)^2 + \frac{\alpha_{qi} D_{qi}}{2\lambda k_{qr} |N_i|} (Q_i^* - Q_i(t) - q_i(t))^2 - e_{qi}^s(t) \right)$$

五、基于静/动态事件触发机制的分布式二次控制策略

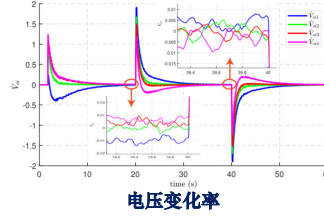
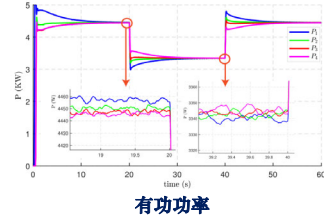
➤ Simulink仿真结果



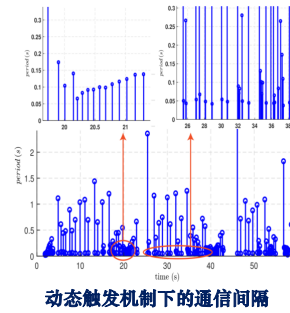
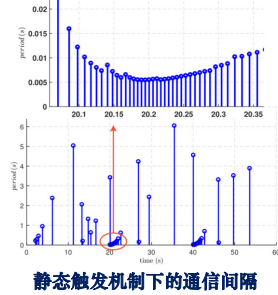
静态事件触发机制下的调节过程

五、基于静/动态事件触发机制的分布式二次控制策略

➤ 动态事件触发机制下的调节过程

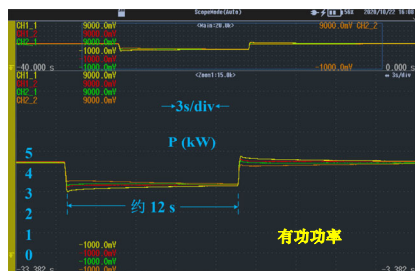


➤ 通信间隔比较

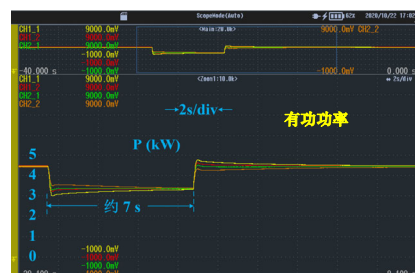
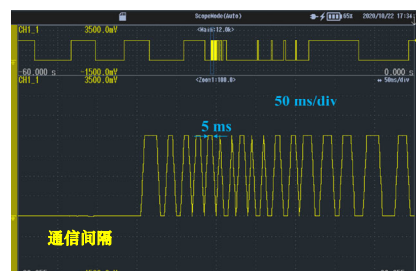


五、基于事件触发机制的分布式二次控制策略

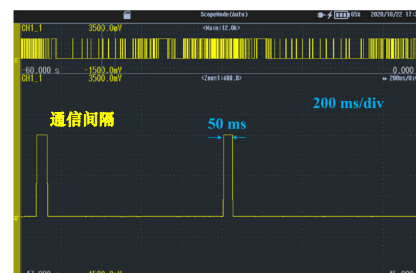
➤ RTLAB半实物仿真结果



静态触发机制



动态触发机制



五、基于静/动态事件触发机制的分布式二次控制策略

➤ **研究问题：**考虑事件触发机制的阻性微电网二次控制策略

➤ **创新点：**

- ① 在前一章改进下垂控制的基础上，提出了基于事件触发机制的阻性微电网二次控制策略；
- ② 提出了静态事件触发条件，证明了闭环系统的有界稳定性，实现了电压的二次调整及功率均分精度的改善。稳态时，通信速率大大降低，最小通信间隔为5ms；
- ③ 提出了动态事件触发条件，证明了闭环系统的渐进稳定性，更快地实现了电压的二次调整与功率均分。暂态时，通信速度大大降低，最小通信间隔为50ms。

➤ **发表论文：** J. Chen, D. Yue, et al. Static and Dynamic Event-triggered Mechanisms for Distributed Secondary Control of Inverters in Low-Voltage Islanded Microgrids[J]. IEEE Transactions on Cybernetics, 2023, 53(1): 226-237.

感谢各位专家批评指正！