

新型配电台区柔性互联装置及控制技术研究

电气2103班：王硕 指导教师：宋久旭 论文类型：毕业论文

摘要：随着电力电子技术的快速发展，基于电力电子变换器的混合变压器已成为实现配电台区柔性互联与电能质量综合治理的核心装置，可以同时实现电能质量治理和功率互济。论文以统一电能质量调节器（United Power Quality Controller，UPQC）和背靠背变流器为基础，研究其拓扑结构及协同控制策略，重点研究单台区故障穿越与两台区功率互济关键技术，论文主要工作如下：

1) 以左串右并型 UPQC 拓扑结构为基础，建立基于三相静止坐标系与 dq 同步旋转坐标系的 UPQC 数学模型，实现了串联侧与并联侧变流器的解耦控制，为复杂工况下的动态调控提供理论支撑。

2) 针对配电台区典型电能质量问题，提出分层动态补偿方案：并联侧采用电压-电流双闭环 PI 控制，兼顾直流母线电压稳定与负载无功功率补偿，串联侧采用准比例谐振（PR）控制策略，实现电网电压和设置参考电压的无静差跟踪控制，对电压暂升，暂降、背景谐波及三相不平衡等多类工况下 UPQC 的快速故障穿越进行仿真验证，结果表明 UPQC 可以对单台区内各种故障工况快速响应，具备较好的电压质量治理能力。

3) 构建基于背靠背变流器的双台区互联系统，提出“恒压-恒功率”协同控制策略：台区 1 变流器维持直流母线电压稳定，台区 2 变流器实现跨台区功率交互，有效避免了配电台区变压器过载问题，仿真结果表明，该控制策略可有效实现两配电台区功率互济，实现两台区之间柔性互联。

论文研究的混合变压器拓扑结构与控制策略，是配电台区柔性互联技术的基础，更重要的是 MATLAB/Simulink 仿证明论工作的正确性，对推动新型配电台区柔性互联具有重要意义。

关键词：统一电能质量调节器；柔性互联；电能质量治理；功率调动；准比例谐振控制

1 单台区 UPQC 故障穿越及控制策略

1.1 UPQC工作原理

论文选取三相三线制左串右并型 UPQC 为研究对象，其电路拓扑如图 1.1 所示。串联变换器和并联变换器之间通过直流母线电容耦合在一块，串联变换器输出端经 LC 滤波后，通过变压器耦合输入电网，并联变换器输出端经过电感滤波后，直接与负载端相连。并联变换器实现电网电流和负载电流正弦化，同时维持直流母线电压稳定，串联变换器工作在逆变状态，治理电网侧电能质量问题。

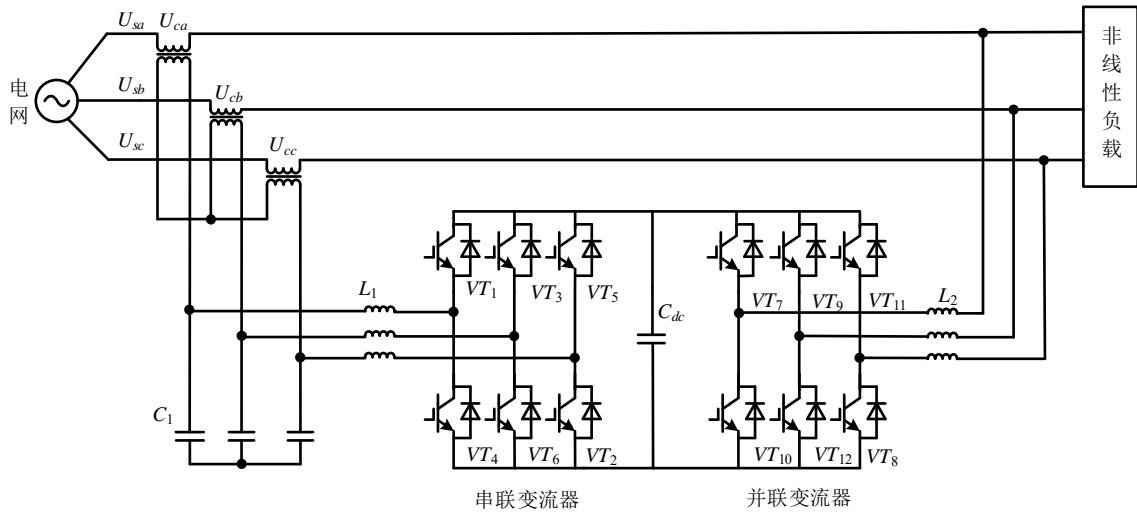


图1.1 三相三线制UPQC拓扑结构

1.2 UPQC控制策略

并联侧和串联侧的总体控制框图如下图 1.2, 1.3 所示。并联侧采用传统 PI 控制, 电压外环加电流内环控制, 对直流电压和电流 dq 直流分量有较好的跟踪效果。串联侧采用准比例谐振控制, 对交流量可以实现无静差跟踪控制, K_p 控制总体增益, K_r 控制谐振点处增益。

$$G_{QPR}(s) = K_p + \frac{K_r 2\omega_c s}{s^2 + 2\omega_c s + \omega_o^2} \quad (1.1)$$

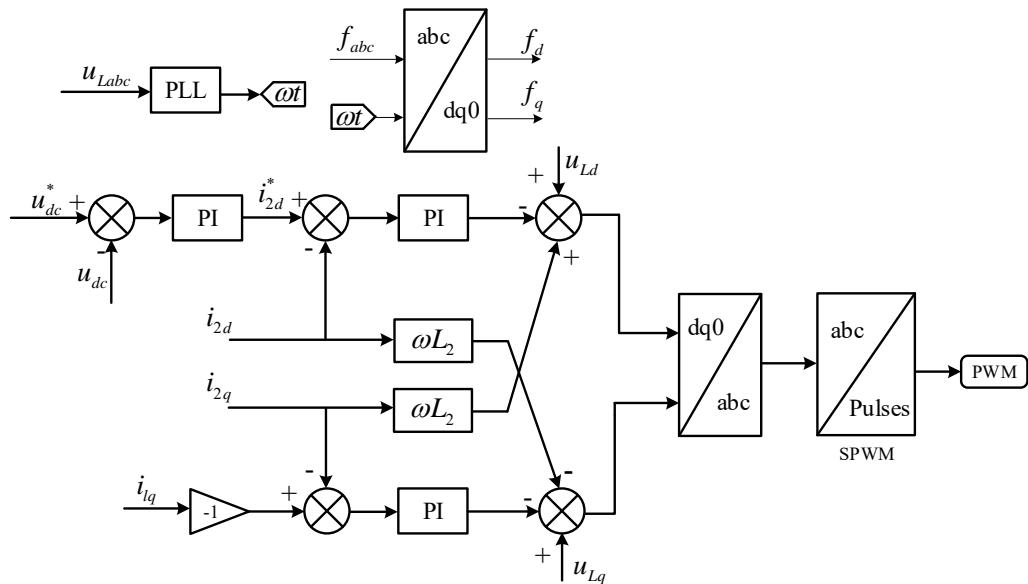


图1.2 并联侧变换器总体控制框图

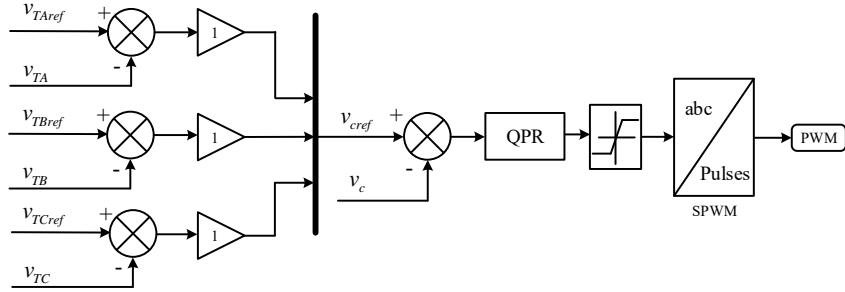


图1.3 串联侧变换器总体控制框图

1.3 单台区UPQC故障穿越仿真分析

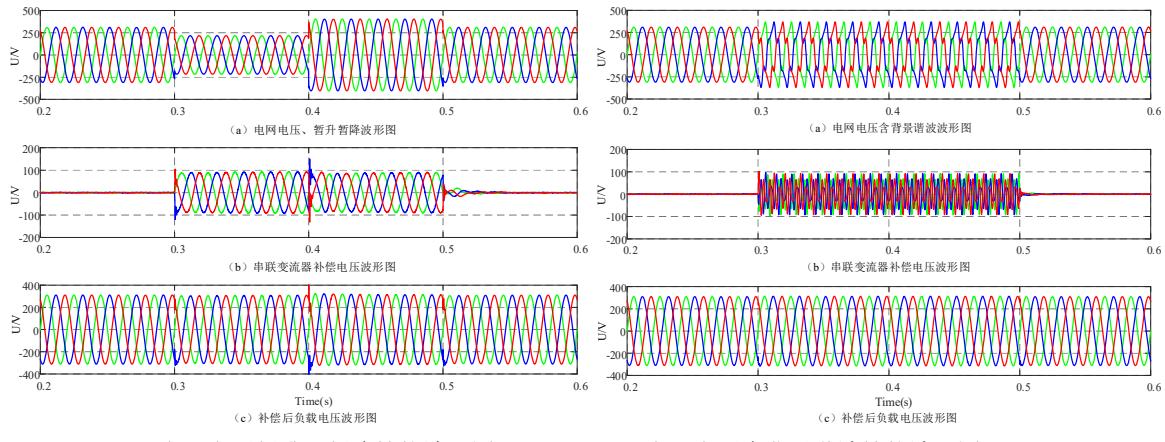


图 1.4 UPQC 故障穿越仿真图

如图 1.4 所示，0.3 秒时电网电压幅值暂降 30%，0.4 秒时电网电压幅值暂升 30%，0.5 秒电网电压恢复正常。0.3 秒~0.5 秒电网出现 5 次负序和 7 次正序谐波，经补偿后满足电网要求。

2 两台区柔性互联功率流动控制

2.1 拓扑结构

如图 2.1 所示，两个台区柔性互联采取“恒压-恒功率”控制，两个变流器一个采用恒压控制，工作在整流模式，稳定直流母线电压，一个采用恒功率控制，工作在逆变状态。

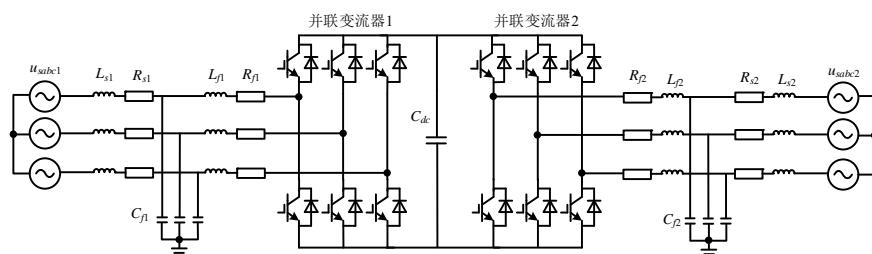


图2.1 背靠背变流器拓扑结构

2.2 仿真结果

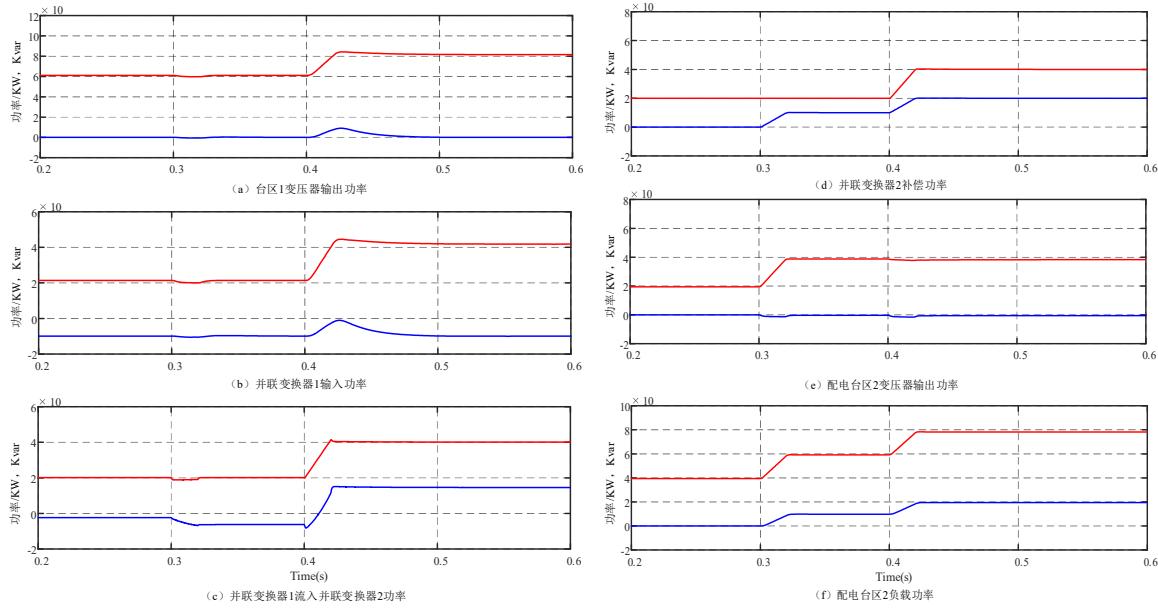


图 2.2 两台区功率流动波形图

在 0.3 秒之前台区 2 负载功率为 40KW，台区 2 变压器输出功率为 20KW，并联变流器 2 补偿有功功率为 20KW；0.3 秒时台区 2 负载增加 20KW 有功，10KVar 无功，此时控制并联变流器 2 输出有功不变，无功功率为 10KVar，台区 2 变压器输出功率增加为 40KW，，变压器不过载；0.4 秒台区 2 负载继续增加 20KW 有功，10KVar 无功，此时控制并联变流器 2 输出 40KW 有功功率，20KVar 无功功率，台区 2 变压器输出功率依旧为 40KW，不过载。并联变流器 2 补偿的有功功率由台区 1 变压器提供，经并联变流器 1 流向并联变流器 2，电网侧始终为单位功率因数。

3 总结

- 对国内外关于柔性互联装置的研究现状进行总结与分析，明确了以 UPQC 为核心的混合变压器在配电网电能质量治理和功率柔性调控领域的重要价值。
- 对比了左串右并型与左并右串型 UPQC 的动态特性，通过建立三相静止坐标系下的数学模型，接着将其数学模型转换到同步旋转坐标系，实现 dq 轴解耦控制，降低控制复杂度。
- 针对单个配电台区内部电能质量问题，实现了对电压暂升，暂降，背景谐波，三相不平衡等故障的治理。最后通过在 MATLAB/Simulink 中搭建仿真模型进行验证。
- 基于 UPQC 的混合变压器拓扑结构，建立了背靠背变流器互联系统，采用“恒压-恒功率”协同控制策略，实现台区间柔性互联，最后通过 MATLAB/Simulink 搭建仿真模型，进行验证。