

基于超级电容器储能的 UPQC 工作条件及控制策略

冯兴田, 张丽霞, 康忠健

(中国石油大学(华东) 信息与工程学院, 山东 青岛 266580)

摘要: 为处理常规统一电能质量调节器(UPQC)难以解决的电源瞬时中断或电压暂降较深的问题,提出利用超级电容器储能系统(SESS)构成 UPQC 的直流储能单元。针对基于 SESS 的 UPQC 拓扑结构,研究 UPQC 单元优化配置的影响因素和目标函数,得出 UPQC 系统级功率流协调控制的最佳工作条件;分析 SESS 的主电路结构特点和性能,确定储能单元的容量和 SESS 控制策略;根据 UPQC 串、并联变流器的工作要求,提出基于 PI 控制和重复控制的 UPQC 单元级控制策略。仿真与实验分析结果表明,所提出的拓扑结构和控制策略在达到电能质量治理目标的同时,实现了 UPQC 串、并联变流器以及 SESS 协调控制。

关键词: 统一电能质量调节器; 超级电容器; 储能; 协调控制; 工作条件; 重复控制; 电能质量

中图分类号: TM 761

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.04.015

0 引言

配电网本身由于电力系统的非线性特性、电力系统故障以及非线性负载等问题,存在不同程度的电能质量问题;另外,大量分布式发电单元并入配电网,对配电网的影响愈加严重,电能质量问题更为突出^[1-2]。定制电力技术的发展提供了有效解决配电网电能质量问题的方法。统一电能质量调节器(UPQC)作为一种定制电力技术装置,性能优越、功能全面,可用于解决配电网的各类电能质量问题^[3-5]。

UPQC 将串联电压补偿原理和并联电流补偿原理结合在一个装置中,用于配电系统,既能补偿电源电压的不对称和谐波,也能补偿非线性负载的不对称和谐波^[6]。UPQC 的系统结构多基于单相系统、三相三线制系统;有的也采用三相四线制结构,其中有的串、并联单元均采用三桥臂结构,而有的串联单元采用三桥臂、并联单元采用四桥臂结构。这些结构大多不具备母线储能设备,不具备不间断电源(UPS)功能,难以解决电源瞬时中断或电压暂降较深时的电能质量问题^[7-12],如文献[7-9]涉及的 UPQC 为常规结构,其直流侧仍采用普通电容器缓冲能量;文献[10]则主要从常规 UPQC 滤波器的设计出发,通过优化改善了补偿效果;文献[11]突出

了 UPQC 实现故障换流功能的应用,亦没有涉及直流储能的分析应用。UPQC 的常规控制中,串、并联单元功能相对单一,控制相对独立,难以实现配备直流储能单元的 UPQC 系统各单元之间有效的协调控制^[13-15],如文献[14]基于 UPQC 提出的一种混合型电能质量调节器,其各变换器仍具有相对独立的功能;文献[15]则直接实现了 UPQC 的串、并联单元完全解耦控制。

本文拓展基于超级电容器储能系统(SESS)的 UPQC 拓扑结构,解决了电源瞬时中断或电压暂降较深时的电能质量问题;同时针对 UPQC 系统功率流协调控制的最佳工作条件,提出基于 PI 控制和重复控制的 UPQC 单元控制策略,治理了配电网的各类电能质量问题,并实现了 UPQC 串联单元、并联单元以及 SESS 的协调配合控制。仿真研究与实验分析验证了该拓扑结构及控制策略准确可靠、合理适用,达到了电能质量的治理目标。

1 基于 SESS 的 UPQC 拓扑结构

图 1 给出了本文设计的基于 SESS 的 UPQC 单相主回路拓扑结构原理图,主要包括串联变流器、并联变流器、SESS 3 个单元。串联变流器输出经滤波与串联隔离变压器 T_s 后,串入电网电压 u_c ,用于补偿电源电压 u_s 的暂降、骤升、谐波、不平衡、瞬间中断等电能质量问题,以保持关键负荷上的负载电压 u_L 的幅值不变以及正弦特性;并联变流器输出经滤波输出电流 i_c ,用于解决负载侧的无功补偿、电流谐波、电流不平衡等电能质量问题,补偿负载电流 i_L ,以实现电网电流 i_s 的正弦特性;控制使得 u_s 与 i_s 保持同相位,实现网侧的高功率因数特性。

收稿日期:2013-05-15;修回日期:2014-01-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51207170,61271001,51177096);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(14CX02085A);山东省自然科学基金资助项目(ZR2010EM011)
Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51207170,61271001,51177096),the Fundamental Research Funds for the Central Universities(14CX02085A) and the Natural Science Foundation of Shandong Province(ZR2010EM011)

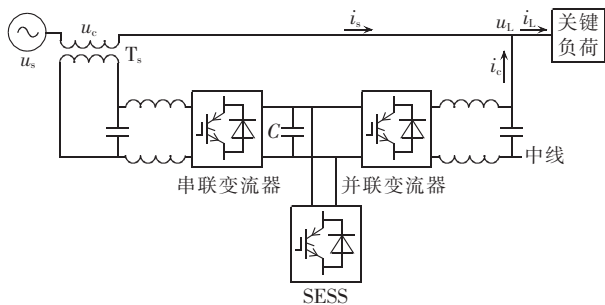


图 1 基于 SESS 的 UPQC 结构原理图

Fig.1 Structure of SESS-based UPQC

SESS 发挥无功功率的缓冲、串并联变流器之间的能量传递与交换、提供电源电压暂降补偿时所需的能量、吸收电源电压骤升时的能量等作用,实现串、并联变流器的解耦控制,同时能够解决常规 UPQC 拓扑结构不能处理的电源瞬时中断或电压暂降较深的电能质量问题。

2 UPQC 系统及单元控制策略

基于 SESS 的 UPQC 拓扑结构通过 SESS 提供串、并联变流器的能量,增强了 UPQC 的功能。本节针对图 1 的 UPQC 拓扑结构,研究 UPQC 系统级和单元级的控制策略,实现各单元协调控制,解决电能质量问题。

2.1 UPQC 系统级功率流控制最佳工作条件

UPQC 系统级功率流协调控制策略详见文献[16],通过分析 \$\gamma\$ 角(串联变流器输出电压与电源电压的夹角)的选取依据,使 UPQC 工作在最佳工作条件,可实现 UPQC 串、并联变流器的容量优化配置,降低生产成本。此处以 UPQC 系统级功率流协调控制策略中电压暂降时的优化配置为例进行分析。

忽略变流器及线路的自身功率损耗,根据功率流协调控制策略中的功率计算结果,可以得到串联变流器容量 \$S_s\$ 和并联变流器容量 \$S_p\$ 的表达式,分别如式(1)和式(2)所示。

$$S_s = \frac{\sqrt{(UI \sin \gamma \cos \varphi)^2 + (UI \sqrt{1+k^2 - 2k \cos \gamma} \cos \beta \cos \varphi)^2}}{UI \cos \varphi \sqrt{\sin^2 \gamma + (1+k^2 - 2k \cos \gamma) \cos^2 \beta}} \quad (1)$$

$$S_p = \frac{\sqrt{[UI(\sin \varphi - \sin \gamma \cos \varphi)]^2 + [UI(1 - \cos \gamma) \cos \varphi]^2}}{UI \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin \gamma \sin(2\varphi) + 2(1 - \cos \gamma) \cos^2 \varphi}} \quad (2)$$

$$\beta = \arctan \frac{\sin \gamma}{\cos \gamma - k} \quad (3)$$

其中,暂降系数 \$k\$ (暂降后的电源电压与正常电源电压之比)根据实际情况确定;功率因数角通常取值 \$\varphi \in (0, \frac{\pi}{4})\$;根据式(3)知, \$\beta\$ 可由 \$\gamma\$ 和 \$k\$ 表示。优化

配置 UPQC 串、并联变流器的容量,即需要合理选择最佳 \$\gamma\$ 角,以实现经济效益高、投资费用少、装置容量小的要求。因而,确定优化配置的目标函数为式(4)所示的 \$f(\gamma)\$ 取最小值。

$$f(\gamma) = \mu_1 S_s + \mu_2 S_p + \mu_3 (S_s + S_p) + C \quad (4)$$

其中, \$\mu_1\$ 为 UPQC 串联单元单位容量价格,取值 0.3 万元/(kV·A); \$\mu_2\$ 为 UPQC 并联单元单位容量价格,取值 0.2 万元/(kV·A),此处未考虑并联单元抑制谐波的容量部分; \$\mu_3\$ 为 UPQC 的 SESS 单位容量价格,取值 0.1 万元/(kV·A); \$C\$ 为固定部分成本,取值 0.5 万元;取 \$U=220\$ V, \$I=50\$ A。将式(1)~(3)代入式(4),即可得到关于 \$\gamma\$ 的函数表达式。

当 \$\gamma \in (0, \varphi)\$ 时,可由 MATLAB 绘出 \$f(\gamma)\$ 的曲线,如图 2 所示,其中图 2(a)为 \$\varphi = \pi/4\$、\$k\$ 取值不同时变化情况;图 2(b)为 \$k=0.8\$、\$\varphi\$ 取值不同时变化情况。从图中可以看出,函数 \$f(\gamma)\$ 存在极小值,求出此时的 \$\gamma\$ 值即可得到 UPQC 功率流协调控制的最佳工作条件。

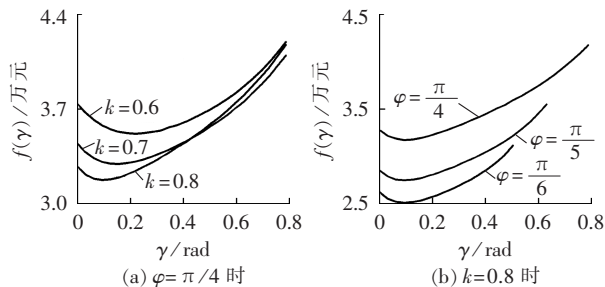


图 2 成本变化曲线

Fig.2 Curves of cost variation

2.2 SESS 控制策略

SESS 的主电路拓扑结构如图 3 所示,主要包括超级电容器模组、DC/DC 双向变换器和泄放单元三部分。超级电容器模组作为储能设备,提供电压暂降较深或电压瞬时断电时所需的能量。DC/DC 双向变换器由功率开关管 \$V_{T1}\$、\$V_{T2}\$ 和电感 \$L\$ 构成,实现输出电压的调节。功率开关管 \$V_{T3}\$ 和功率电阻 \$R\$ 构成泄放单元,当直流电压高于设定阈值时,提供能量泄放回路,保护设备。

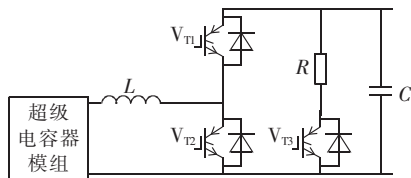


图 3 SESS 拓扑结构

Fig.3 Topological structure of SESS

鉴于单只超级电容器端电压低、储能量相对较小,实际应用中,超级电容器模组通常由多只超级

电容器串并联起来使用,其使用数量 N_c 可由式(5)近似求出。

$$N_c = \frac{2PT\rho}{C(U_1^2 - U_2^2)} \quad (5)$$

其中, P 为提供功率; T 为时间; ρ 为冗余; C 为单体电容容值; U_1 为电容初始电压; U_2 为电容放电后电压。按照提供 50 kW、30 s 的容量水平,取 $\rho=1.1$, $C=3\,000\text{ F}$, $U_1=2.5\text{ V}$, $U_2=1\text{ V}$ (一般放电至额定电压的一半左右),则可根据式(5)求得所需超级电容器的个数 $N_c=210$ 。根据直流侧电压需要,可将这些超级电容器串联使用,提供 DC/DC 双向变换器的电源。

系统的储能容量主要取决于串联变流器补偿方式(即补偿方式决定的串联变流器输出的有功功率部分)和电压暂降程度、持续时间等。前者依据 UPQC 的控制策略分析,后者通常根据现场可能出现的最恶劣情况确定,并考虑适当的裕量。储能单元选择时应兼顾储能容量和直流电压的要求,计算储能单元所需超级电容器的串并联数量,即可确定该部分成本;而储能容量也决定了超级电容器充放电时电压平衡单元的数量以及 DC/DC 双向变换器的容量,进行成本预算时要统筹兼顾。

电源电压暂降期间,UPQC 直流母线的功率流波动较大,通过 DC/DC 变换器的电压外环、电流内环的调节,可实现能量的快速缓冲传递,增强直流母线电压的稳定性。SESS 的 DC/DC 变换器控制框图如图 4 所示。

图中,给定直流参考电压 U_{dr} 与 DC/DC 变换器输出电压 U_d 构成电压外环负反馈,经过 PI 调节器后作为超级电容器输出电流给定 I_{dr} ,再与超级电容器输出电流 I_d 构成电流内环负反馈,经过 PI 调节器后与前馈信号 U_{dr} 叠加,通过限幅、比较驱动得到 PWM 信号,分别驱动图 3 中的功率器件 V_{T1} 和 V_{T2} ,实现 DC/DC 变换器的控制。

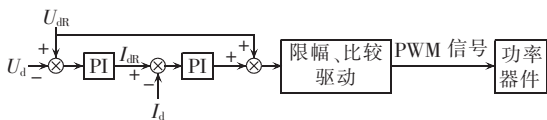


图 4 SESS 变换器控制框图

Fig.4 Block diagram of SESS converter control

2.3 串、并联变流器控制策略

UPQC 系统的串联变流器控制,由于受快速性补偿的要求,一般情况下采用 P 或 PI 调节器控制,甚至有时开环控制也能满足要求。并联变流器由于需进行谐波抑制,PI 调节器对于次数较高的谐波补偿控制作用较差,实验效果不理想。鉴于负载在一定时间内相对稳定,即其谐波含量相对稳定,且呈周期性变化,适合于应用具有“记忆”功能的重复控

制 RC (Repetitive Control) 进行并联变流器单元的控制。

重复控制利用负载扰动的周期性规律,“记忆”扰动发生的位置,有针对性地逐步修正,改善输出波形,对周期性扰动具有良好的抑制能力。本文提出基于 PI 和 RC 的 UPQC 控制策略,当系统负载处于稳定运行状态时,RC 起主导作用,周期性地输出所需补偿谐波;当负载突变引起补偿量变化时,PI 感知突变及时调节,一个参考周期后,RC 输出相应变化,随之主导输出,如此便实现了快速性和稳定性的双重控制目标。

基于 PI 和 RC 的 UPQC 控制器结构如图 5 所示, i_c^* 为并联变流器参考电流给定信号; i_c 为并联变流器输出补偿电流,负反馈调节; RC 中的参数,系数 k_1 通常取 0.95 左右,系数 k_2 为 0.7 左右, N 为一个周期内采样点数(此处取 144), $S(z)$ 选取 6 阶滤波器(需 3 个采样周期补偿),另需考虑 2 个周期的系统延迟,所以取 $M=139$; PI 调节器和 RC 调节器叠加后输出控制信号,经过比较驱动环节输出控制并联变流器的输出。

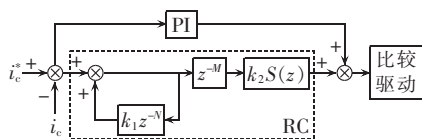


图 5 RC+PI 控制结构图

Fig.5 Structure of RC+PI control

UPQC 系统级和单元级的控制策略协调统一,针对用户设备的需求,即对电源侧的电能质量要求和(或)负载侧的电能质量要求,可以选择同时(或者分组、独立)投入 UPQC 的串联变流器和并联变流器以及直流储能单元进行相应补偿。当强调电源侧电能质量问题时,根据指标要求和补偿容量、方式控制串联变流器和直流储能单元投入运行,提供补偿功率;当需处理负载侧谐波以及无功等问题时,根据指标要求投入并联变流器发挥抑制及补偿作用,直流单元保持电压恒定发挥能量缓冲功能;当电源侧和负载侧都需满足用户设备的需求时,各单元同时投入工作,满足用户设备电能质量指标要求的前提下,合理分配容量,实现优化配置。

3 仿真与实验验证

通过确定 γ 角,满足 UPQC 系统功率流协调控制的最好条件,同时针对 UPQC 的 SESS、串并联变流器各单元的控制策略,进行仿真与实验研究。

图 6 为 SESS 变换器仿真电压、电流波形, U_d 为 DC/DC 变换器输出电压,即直流母线电压; U_{dr} 为直流母线参考电压(此处设定为 690 V); I_d 为超级电

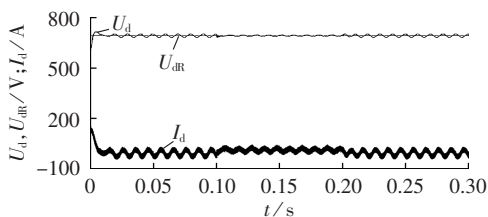
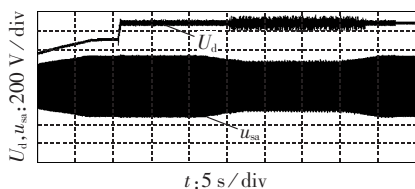
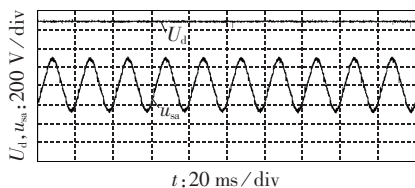


图 6 SESS 变换器仿真波形

Fig.6 Simulative waveforms of SESS converter

容器输出电流。从图中可以看出, U_d 在 SESS 整个工作过程中逼近 U_{dR} ; 电压正常时, I_d 或正或负维持能量平衡; 电压暂降时 (暂降区间 0.1~0.2 s), SESS 输出有功功率补偿电压暂降。

图 7(a) 为 UPQC 系统工作过程中, SESS 的控制输出直流母线电压 U_d 波形和 a 相电网电压 u_{sa} 波形, U_d 在 u_{sa} 暂降期间、串并联变流器都工作的情况下能够保持稳定, 效果良好。图 7(b) 为 u_{sa} 暂降期间的局部放大波形。

(a) U_d 和 u_{sa} 波形

(b) 局部放大波形

图 7 SESS 变换器实验波形

Fig.7 Experimental waveforms of SESS converter

图 8 为基于 RC 的 UPQC 系统仿真波形, 电源电压在 0.1~0.2 s 之间三相不平衡, 带非线性及不平衡负载; u_{ca} 、 u_{cb} 、 u_{cc} 为三相补偿电压波形; u_{la} 、 u_{lb} 、 u_{lc} 为三相负载电压波形; u_{sa} 、 u_{sb} 、 u_{sc} 为三相电网电压波形 (正常相电压有效值均为 220 V); i_{ca} 、 i_{cb} 、 i_{cc} 、 i_{c0} 为三相补偿电流及中线补偿电流波形; i_{la} 、 i_{lb} 、 i_{lc} 、 i_{l0} 为三相负载及中线电流波形; i_{sa} 、 i_{sb} 、 i_{sc} 、 i_{s0} 为三相电网及中线电流波形。从图中可以看出, 电压各量正常补偿, 不受影响, 负载电压维持恒定; 经并联变流器补偿后, 电源电流波形较好, 计算网侧电流谐波含量可知, 电流谐波总畸变率 $THD_i = 4.1\%$, 符合要求 ($THD_i < 5\%$)。b 相电压 u_{sb} 和电流 i_{sb} 保持同相, 网侧功率因数高。

图 9(a)、(b) 为串联变流器单元实验波形, 其中图 9(b) 为暂降状态时的局部放大波形, 从图中可以看出: 电源电压 u_s 暂降期间, 串联变流器能够及时准确地输出补偿电压, 使得负载电压 u_l 始终维持原

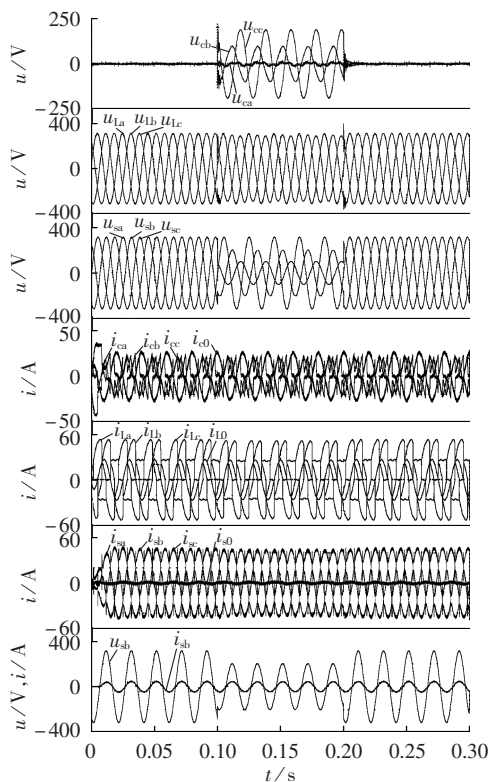
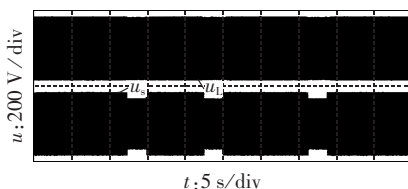


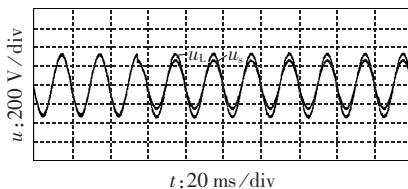
图 8 基于 RC 的 UPQC 仿真波形

Fig.8 Simulative waveforms of RC-based UPQC

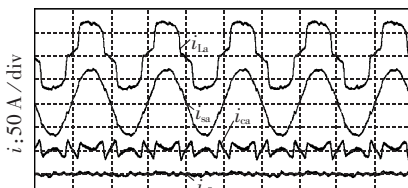
来的幅值和相位。图 9(c) 为并联变流器工作时 a 相对应的负载电流 i_{la} 、电网电流 i_{sa} 、并联变流器输出电流 i_{ca} 以及电网中线电流 i_{s0} 波形, 图 9(d) 为 UPQC 投入前后的网侧电流 THD。从图中可以看出: 并联变流器投入之前, 网侧电流 (即负载电流 i_{la}) 畸变严重, 谐波含量较高, THD 为 16.8%, 远高于 5% 的要求; 并联变流器投入后, 网侧电流 i_{sa} 谐波含量大幅



(a) 负载电压和电源电压波形



(b) 暂降状态时图 (a) 的局部放大波形



(c) a 相电流波形

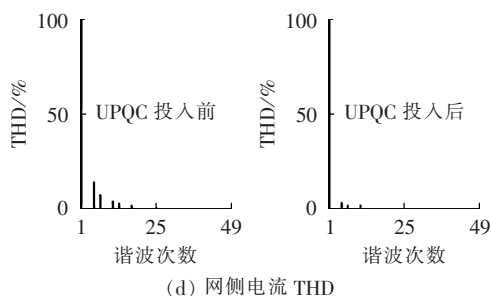


图9 UPQC 实验波形

Fig.9 Experimental waveforms of UPQC

降低,THD 为 3.5%,达到指标要求,且由于三相电流趋于平衡,中线电流 i_{s0} 非常小。

仿真和实验分析表明,在电源电压暂降及来自负荷谐波和无功等问题的影响时,所提 UPQC 系统级和单元级的控制策略能够改善这些电能质量问题,并可以根据不同用户的需要进行定制(特别是针对用户设备对电能质量要求较高的场合),以提供不同电能质量指标的电力要求,同时能够协调分配串、并联变流器容量实现 UPQC 的最优配置。

4 结论

针对常规 UPQC 难以处理电源瞬时中断或电压暂降较深时电能质量的问题,设计了基于 SESS 的 UPQC 拓扑结构。根据 UPQC 系统级功率流协调控制的最佳工作条件,优化配置了 UPQC 的串并联单元以及 SESS 的容量,实现了生产成本的降低。基于 PI 和 RC 提出了 UPQC 单元级控制策略,包括 SESS 的控制策略、串并联变流器的控制策略,稳定了直流母线电压,实现了 UPQC 各单元配合控制,有效治理了配电网的各类电能质量问题。仿真和实验结果表明,所提出的基于 SESS 的 UPQC 拓扑结构和控制策略正确、有效、适用,具有理论指导和工程实践意义。

参考文献:

- [1] 俞红祥,梅广益,徐洪. 基于准同步采样技术的配电网电能质量在线监测装置[J]. 仪器仪表学报,2008,29(10):2201-2206.
YU Hongxiang,MEI Guangyi,XU Hong. Quasi-synchronous sampling technique based online power quality monitoring device for distribution network[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2008,29(10):2201-2206.
- [2] 陈炜,艾欣,吴涛,等. 光伏并网发电系统对电网的影响研究综述[J]. 电力自动化设备,2013,33(2):26-32.
CHEN Wei,AI Xin,WU Tao,et al. Influence of grid-connected photovoltaic system on power network[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(2):26-32.
- [3] 韩英铎,严干贵,姜齐荣,等. 信息电力与 FACTS 及 DFACTS 技术[J]. 电力系统自动化,2000,24(19):1-7.
HAN Yingduo,YAN Gangui,JIANG Qirong,et al. Electric power

- in information society and FACTS & DFACTS[J]. Automation of Electric Power Systems,2000,24(19):1-7.
- [4] 吴峰,郑建勇,梅军. 多换流器式统一电能质量控制器的多目标控制策略[J]. 电力自动化设备,2012,32(10):88-93.
WU Feng,ZHENG Jianyong,MEI Jun. Multi-objective control strategy of multi-converter unified power quality conditioner[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(10):88-93.
- [5] 张旭,杨学友,刘常杰. 模型预测控制在统一电能质量调节器中的应用[J]. 电网技术,2010,34(5):35-40.
ZHANG Xu,YANG Xueyou,LIU Changjie. Application of model predictive control in unified power quality conditioner[J]. Power System Technology,2010,34(5):35-40.
- [6] 张国荣. 电能质量综合调节器(UPQC)及其控制策略研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2008.
ZHANG Guorong. Research on the Unified Power Quality Conditioner(UPQC) and its control strategies[D]. Hefei:Hefei University of Technology,2008.
- [7] LEON A E,AMODEO S J,SOLSONA J A,et al. Non-linear optimal controller for unified power quality conditioners[J]. IET Power Electronics,2011,4(4):435-446.
- [8] KHADKIKAR V,CHANDRA A. A novel structure for three-phase four-wire distribution system utilizing Unified Power Quality Conditioner(UPQC)[J]. IEEE Transactions on Industry Applications,2009,45(5):1897-1902.
- [9] AXENTE I,GANESH J N,BASU M,et al. A 12 kVA DSP-controlled laboratory prototype UPQC capable of mitigating unbalance in source voltage and load current[J]. IEEE Transactions on Power Electronics,2010,25(6):1471-1479.
- [10] 李哲,夏立,吴正国,等. UPQC 输出滤波器的优化设计[J]. 电力自动化设备,2011,31(7):56-61.
LI Zhe,XIA Li,WU Zhengguo,et al. Optimum design of output filter for UPQC[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(7):56-61.
- [11] 吴峰,郑建勇,梅军,等. 用于故障限流与电能补偿的多换流器式统一电能质量调节器[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(7):32-37.
WU Feng,ZHENG Jianyong,MEI Jun,et al. Multiconverter-unified power quality conditioner for fault current limitation and power compensation[J]. Power System Protection and Control,2011,39(7):32-37.
- [12] KHADKIKAR V. Enhancing electric power quality using UPQC: a comprehensive overview[J]. IEEE Transactions on Power Electronics,2012,27(5):2284-2297.
- [13] KHADKIKAR V,CHANDRA A. UPQC-S:a novel concept of simultaneous voltage sag/swell and load reactive power compensations utilizing series inverter of UPQC[J]. IEEE Transactions on Power Electronics,2011,26(9):2414-2425.
- [14] 丁洪发,段献忠,朱庆春. 混合型电能质量调节器及其控制策略[J]. 中国电机工程学报,2006,26(8):33-38.
DING Hongfa,DUAN Xianzhong,ZHU Qingchun. A hybrid power quality conditioner and its control strategy[J]. Proceedings of the CSEE,2006,26(8):33-38.
- [15] 周海亮,万健如,李树超,等. 电压畸变和不平衡状态下无锁相环

UPQC 补偿量检测方法[J]. 电力自动化设备,2012,32(5):50-56.
ZHOU Hailiang,WAN Jianru,LI Shuchao,et al. Compensation
detection for UPQC without PLL under voltage distortion and
unbalance[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32
(5):50-56.

[16] 冯兴田,韦统振,齐智平. 电压质量调节器功率流协调控制策略
[J]. 电网技术,2013,37(1):218-223.
FENG Xingtian,WEI Tongzhen,QI Zhiping. Coordinated control
strategy of power flow in voltage quality conditioner[J]. Power
System Technology,2013,37(1):218-223.

作者简介:



冯兴田 冯兴田(1978-),男,山东东营人,讲师,
博士,主要研究方向为分布式电力系统电能
质量控制技术(E-mail:topfxt@163.com);
张丽霞(1978-),女,山东潍坊人,副教
授,博士,主要研究方向为电力电子在电力
系统中的应用;
康忠健(1971-),男,四川安岳人,教授,
博士,主要研究方向为电力系统分析与控制、电力系统故障检
测与诊断。

Working conditions and control strategy of UPQC
based on supercapacitor energy storage

FENG Xingtian,ZHANG Lixia,KANG Zhongjian

(College of Information and Control Engineering,China University of Petroleum(East China),Qingdao 266580,China)

Abstract: Aiming at the instantaneous supply interrupt and deep voltage sag of conventional UPQC (Unified Power Quality Conditioner),SESS(Supercapacitor Energy Storage System) is recommended as its DC storage unit. According to the topology of SESS-based UPQC,the influencing factors and target function of its optimal allocation are studied and the best working conditions of its coordinated power flow control are obtained. The characteristics and performances of SESS’s main circuit are studied and the storage unit capacity and SESS control strategy are determined. PI and repetitive control is proposed as the unit control strategy of UPQC according to the working requirements of its serial-parallel converters. Simulative and experimental results show that the coordinated control between serial-parallel converters and SESS is realized as well as the target of power quality management.

Key words: unified power quality conditioner; supercapacitor; energy storage; coordinated control; working condition; repetitive control; power quality

(上接第 83 页 continued from page 83)

Staircase modulation scheme based on PSO for modular multilevel converter

SHEN Ke,WANG Jianze,BAN Mingfei,JI Yanchao,CAI Xingguo

(School of Electrical Engineering and Automation,Harbin Institute of Technology,Harbin 150001,China)

Abstract: The selection of appropriate iterative initial switching angles is the essential step of staircase modulation for MMC(Modular Multilevel Converter) and a staircase modulation scheme is proposed,which applies the PSO(Particle Swarm Optimization) algorithm to achieve the optimized initial switching angles and the Newton iteration method to calculate the exact switching angles. Combined with the sorting balance strategy,it effectively balances the sub-module capacitor voltage with low complexity and switching frequency. As an example,a low-voltage verification platform is developed for a physical model of three-phase five-level MMC system. Simulative and experimental results demonstrate the correctness and feasibility of the proposed scheme.

Key words: renewable energy; modular multilevel converter; staircase modulation; capacitor voltage balancing; particle swarm optimization; Newton iteration method