

基于有功和无功功率协调分配的 统一电能质量调节器控制策略

黄晓明¹, 范志华², 刘子文², 苗世洪², 李献伟³, 楼伯良¹, 黄弘扬¹

(1. 国网浙江省电力有限公司电力科学研究院, 浙江 杭州 310014; 2. 华中科技大学 电气与电子工程学院
强电磁工程与新技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430074; 3. 许继集团有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要:统一电能质量调节器(UPQC)由串联型有源滤波器和并联型有源滤波器组合而成。在常规功率控制策略中,串、并联变流器与馈线之间存在的有功功率环流增大了串、并联单元的容量负担和损耗,且当电源电压跌落较大时,串、并联单元在补偿电能质量过程中有可能发生容量超限。提出了基于有功和无功功率协调分配的UPQC控制策略,通过合理分配串、并联变流器的功率输出,充分发挥串联变流器的作用,使得串联变流器承担部分负载无功功率以减轻并联变流器的负担,并消除有功功率环流;基于并联变流器补偿容量恒定的原则分配电源与储能单元提供的有功功率,以减小配电网馈线过电流的风险,并保证串、并联单元在补偿电能质量过程中不会发生容量超限。在电源电压完全跌落的极限情况下,负载有功完全由储能提供,实现了不间断电源的功能。在PSCAD/EMTDC中搭建了仿真算例,结果验证了所提策略的正确性和有效性,能够实现UPQC串、并联变流器以及储能单元的协调控制。

关键词:统一电能质量调节器;电能质量;储能单元;功率分配;协调控制

中图分类号:TM 761

文献标识码:A

DOI:10.16081/j.issn.1006-6047.2018.03.024

0 引言

近年来,分布式电源的接入和非线性负荷的不断增长,导致现代配电系统中电源与负荷的结构出现了新的特征。一方面,大量分布式电源和冲击性负荷的接入使得配电网电压波动、跌落等多种电压质量问题更为突出^[1-2];另一方面,电弧炉、电气化铁路等非线性负荷的不断增长,使得配电网电流波形发生畸变,造成了配电网的谐波污染^[3-4]。近年来,以电力电子技术、微处理与控制技术等高新技术为核心的定制电力技术,为解决配电网中日益严重的电能质量问题提供了切实可行的途径^[5-6]。有源滤波器^[7]凭借其优越的性能,在电力电子技术进步的推动下,已步入工业实用化的推广应用阶段。为了对电压、电流质量问题进行综合调节,统一电能质量调节器(UPQC)^[8]结合了串联型有源滤波器和并联型有源滤波器两者的功能,可同时保证负载侧的电压质量和系统侧的电流质量,是功能最为全面的配电系统柔性交流输电(DFACTS)技术装置,将是未来高效治理和改善电能质量问题的首选模式^[9]。

UPQC由串联有源滤波单元和并联有源滤波单元相结合,串联有源滤波单元的行为类似于受控电压源,通常用以解决电压相关质量问题;而并联变流器的行为类似于受控电流源,通常用以解决电流相关质量问题并补偿负载无功功率;UPQC的串、并联有源滤波单元通过直流侧进行功率交换,直流侧采用储能电容或蓄电池等连接^[10]。常规UPQC控制

策略中,当配电网电源电压发生跌落时,UPQC串联单元补偿负载电压的同时吸收有功功率;并联单元发出无功功率以补偿负载功率因数,并发出有功功率。因而在常规功率控制策略下,系统存在的有功环流增大了串、并联单元的容量负担和损耗,且无功功率没有得到合理分配。同时配电网电压的跌落导致其提供的电流增大,增加了系统与输电线路过电流的风险。文献[11]提出了基于容量均分的UPQC功率控制策略,但当补偿电压暂降所需能量较大时,串联单元的功率输出有可能会超出其设计容量;文献[12]提出的UPQC功率控制策略中,负载无功需求优先由并联单元供应,当负载无功需求大于并联变流器额定容量时,由串联单元分担部分负荷无功功率,但这种分配原则可能会导致较大的有功环流,增大变流器的损耗和容量;文献[13]通过粒子群优化算法求解得到最优串联变流器补偿电压注入角度,保证了串、并联变流器容量之和最小,但未达到串、并联变流器各自容量协调分配的目的,且不利于工程实现;文献[14]提出了UPQC串、并联单元及超级电容器储能之间的功率协调控制策略,但以投资费用最少为优化配置的目标函数中无法确定储能单元的功率,且需要通过作图来确定串联变流器补偿电压注入角度。如何实现UPQC功率的合理分配,使得串联变流器承担部分负载功率以减轻并联变流器的负担的同时,消除有功功率环流,并保证串、并联单元在补偿电能质量过程中不会发生容量超限,目前国内外鲜有相关文献报道。

本文提出了基于有功和无功功率协调分配的

UPQC 控制策略,通过合理分配串、并联变流器的功率输出,充分发挥串联变流器的作用,使得串联变流器承担部分负载无功功率以减轻并联变流器的负担,并消除有功功率环流;同时本文基于并联变流器补偿容量恒定的原则分配电源与储能单元提供的有功功率,以减小配电网馈线过电流的风险,并保证串、并联单元在补偿电能质量过程中不会发生容量越限。在电源电压完全跌落的极限情况下,负载有功完全由储能提供,实现了不间断电源的功能。在 PSCAD/EMTDC 中搭建了所提策略的仿真算例,验证了本文所提策略的正确性和有效性,实现了 UPQC 串、并联变流器以及储能单元的协调控制。

1 UPQC 拓扑结构与工作原理

1.1 UPQC 基本拓扑结构

图 1 为本文采用的 UPQC 结构拓扑图,其主要是由串联和并联 2 个背靠背连接的电压源变流器单元与直流侧储能单元组成。其中串联变流器单元的交流输出被串联接入电源与负载之间,用于调节负载电压的幅值以及谐波等电压质量问题,以实现负载侧电压的标准正弦化;并联变流器的交流输出则并联接入系统中,用于补偿非线性负载产生的谐波电流,同时可以补偿负载侧的无功,实现电源侧电流的正弦化以及系统功率因数为 1;储能单元通过 DC/DC 变换器接入,进行功率的缓冲、能量的传递,保证直流母线电压的稳定,必要时可提供补偿所需的能量,当电源电压跌落太大或直接断电时,储能单元可以用作不间断电源(UPS)给负载用户提供功率。

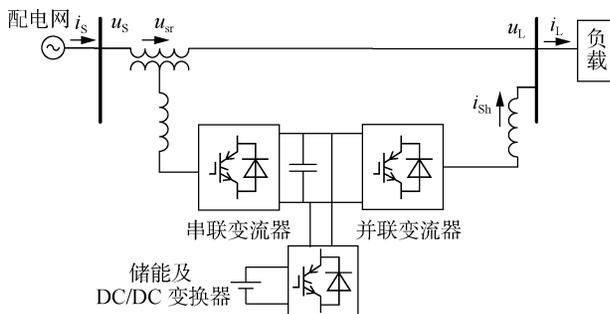


图 1 UPQC 系统结构图

Fig.1 Structure diagram of UPQC system

1.2 UPQC 功率控制策略

电压跌落是电能质量中最常见也是最值得关注的问题,UPQC 是最适合解决电压跌落问题的设备之一。为了合理地协调 UPQC 串、并联变流器的功率分配,文献[15]提出功率角控制 PAC (Power Angle Control) 的概念,UPQC 的 PAC 是指通过选择合适的电源电压与补偿后负载电压夹角(即功率角),同时不改变负载电压幅值的大小,从而确定串、并联变流器的电压和电流补偿量,合理地分配串、并

联变流器的负载补偿容量。图 2 为 PAC 的工作原理图。图中, U_s 、 I_L 分别为正常情况下的电源电压、负载电流; U_L 为经串联补偿电压 U_{sr} 补偿后的负载侧电压; δ 为发生跌落的电源电压 U'_s 与负载侧电压 U_L 之间的功率角,不同的 δ 意味着串联变流器可以通过不同幅值、不同相位的补偿电压 U_{sr} 来保证负载电压 U_L 的幅值不随电源电压的跌落而跌落,而功率角 δ 的存在使得串联变流器承担部分负载功率,从而减轻了并联变流器的无功功率负担; I'_L 为补偿后的负载电流; φ_L 为 U_s 与 I_L 的夹角,即负载功率因数角; I_s 为经并联补偿电流 I_{sh} 补偿后的电源侧电流; β 为相量 I_s 与 I'_L 的夹角。并联变流器通过补偿电流 I_{sh} 对负载侧电流 I'_L 进行补偿,将电源电流大小补偿为 $|I_s|$ 的同时,保证 I_s 与电源电压 U'_s 同相位,从而达到了电源功率因数为 1 的目的。

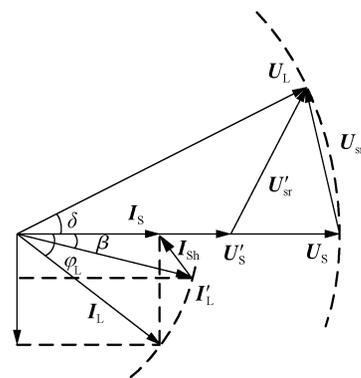


图 2 UPQC 功率角控制示意图

Fig.2 PAC of UPQC

2 基于有功、无功协调分配的 UPQC 功率控制

在常规的 UPQC 控制策略中,负载无功功率的补偿全部由并联变流器承担。串联变流器在补偿电源电压跌落的同时吸收有功功率,因此在系统的串、并联变流器与馈线之间存在有功功率环流,且当电源电压跌落时,有功环流增大,从而增大了串、并联单元的容量负担和损耗。为此,本文采用基于无功功率补偿的串联变流器功率控制策略。UPQC 功率协调分配控制示意图如图 3 所示,当电源电压跌落时,在保证负载电压 U'_L 幅值不变的前提下,串联补偿电压 U_{sr} 始终垂直于电源电压 U'_s ,保证了串联变流器只输出无功功率,这样不仅消除了系统的有功换流,且此时负载无功功率由串、并联变流器两者提供,从而减轻了并联变流器的无功负担。在该控制策略下首先要确定发生跌落的电源电压 U'_s 与负载侧电压 U'_L 之间的功率角 δ 。

在电压跌落过程中,由于负载功率因数角保持不变,因此有:

$$\varphi_L = \beta + \delta \quad (1)$$

保串联变流器的设计容量满足负载无功需求,即可保证串联变流器的补偿功率维持在额定容量范围内。

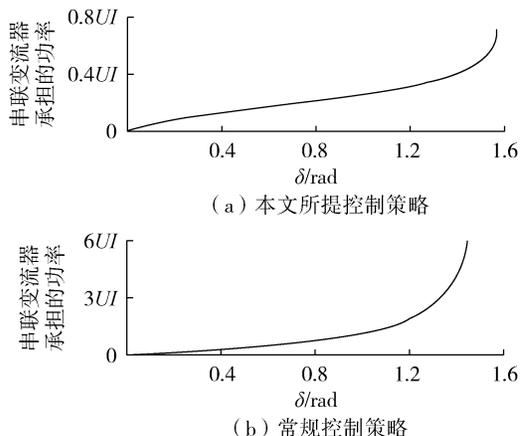


图4 串联单元补偿功率与功率角关系图

Fig.4 Relationship between compensation power of shunt unit and power angle

图4(b)为常规控制策略^[16]下,串联变流器承担功率 S_{sr} 随功率角 δ 的变化趋势。在常规控制策略下,负载有功功率完全由电源承担,当电源电压发生跌落时,为了保证电源输出功率不变,电源电流将不断增大,同时由于串联电压随跌落程度的加深而增加,因此串联变流器承担的补偿功率急剧增加。当电源电压跌落到一定程度时,串联变流器输出的无功功率超过负载无功功率,并导致并联变流器吸收无功功率,所以常规控制策略下当电源电压跌落较大时,串联变流器极易发生容量越限的情况。

图5给出了基于有功和无功协调分配控制的UPQC功率流动示意图。在配电网电压正常的情况下,负载的无功功率由并联变流器单元承担,且串联变流器单元与储能单元不工作,负载有功功率由电源承担;当电源电压发生跌落时,串联变流器单元开始承担部分无功功率 Q_{sr} ,且电压跌落越大, Q_{sr} 随之增大,而并联变流器单元承担的无功功率 Q_{sh} 减小;同时储能单元开始工作,其提供的有功功率 P_E 经并联变流器流入负载,与 P_S 共同承担负载有功功率。随着电源电压跌落越大,储能提供的功率 P_E 逐渐增大而电源提供的功率 P_S 逐渐减小,在电源电压完全

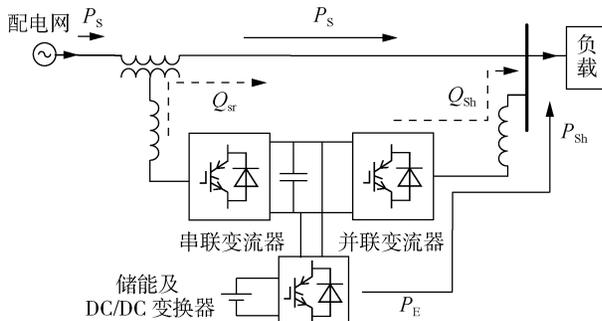


图5 UPQC功率流动示意图

Fig.5 Schematic diagram of UPQC's power flow

跌落的极限情况下,负载有功完全由储能提供,实现了不间断电源的功能。

3 UPQC各单元控制策略

3.1 UPQC串、并联单元控制策略

图6、图7分别给出了在 dq 坐标系下UPQC串、并联单元补偿控制策略。图中, L_1 为串联变流器输出滤波器电感; L_2 为并联变流器输出滤波器电感。在串联变流器单元中,根据式(4)并合成得到三相串联补偿电压参考值 U_{sra}^* 、 U_{srb}^* 、 U_{src}^* ,经过Park变换后得到 dq 坐标系下的参考补偿电压 U_{srd}^* 、 U_{srq}^* 。考虑到电源电压可能发生的谐波畸变,利用低通滤波器(LPF)提取电压谐波的补偿量 $U_{Sd,h}$ 、 $U_{Sq,h}$,并将其叠加到串联补偿电压参考值中。得出的补偿电压参考值与实际值之差经过PI调节器消除稳态误差,使串联变流器输出电压跟踪其参考值,达到电压补偿的目的。 $U_{srd,f}$ 、 $U_{srq,f}$ 作为前馈电压补偿加入控制回路的前向通道中,以加快PI调节器的响应速度。

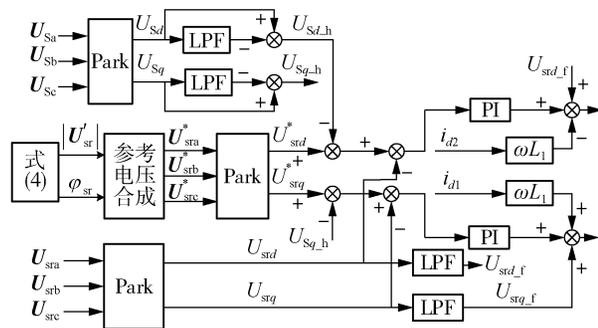


图6 UPQC串联变流器单元控制策略

Fig.6 Control strategy of UPQC series inverter unit

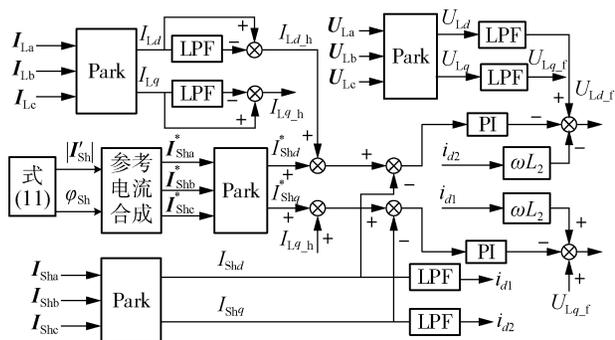


图7 UPQC并联变流器单元控制策略

Fig.7 Control strategy of UPQC shunt inverter unit

在并联变流器单元中,根据式(11)并合成得到三相并联补偿电流参考值,经过Park变换后得到 dq 坐标系下的参考补偿电流 I_{shd}^* 和 I_{shq}^* 。由于负载电流存在谐波畸变,利用LPF提取出电流谐波的补偿量 $I_{Ld,h}$ 和 $I_{Lq,h}$,并叠加到并联补偿电流参考值中。将得出的电流补偿参考值与实际值之差经过PI调节器,以使得并联变流器输出电流跟踪其参考值,达到电流补偿的目的。并联变流器的输出电压经过LPF得到的

$U_{srd,f}$ 和 $U_{sq,f}$ 同样可以作为前馈电压补偿加入控制回路的前向通道中,从而提高 PI 调节器的响应速度。

3.2 UPQC 储能单元控制策略

UPQC 的直流储能单元主要包括储能单元模块、DC/DC 升压变流器。直流电压的稳定状态将直接影响 UPQC 的工作状态、补偿效果,UPQC 直流侧电压采用电压电流双闭环反馈控制方法可使 UPQC 具有直流侧电压自动维持能力,其控制框图见图 8。

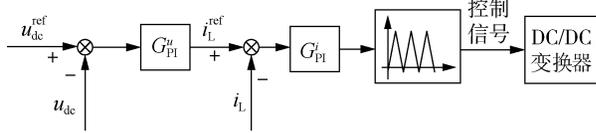


图 8 UPQC 储能单元控制框图

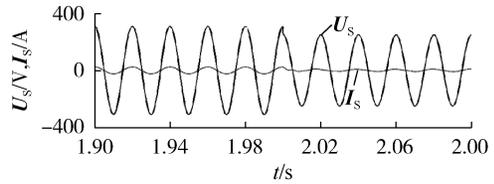
Fig.8 Control diagram of UPQC energy storage unit

图 8 中, u_{dc}^{ref} 为给定的直流电压参考值, u_{dc} 为 DC/DC 变换器实际输出直流电压,二者构成电压外环负反馈调节,经过 PI 调节器 G_{pi}^u 后作为储能单元输出电流的参考值 i_L^{ref} ,与实际输出电流 i_L 构成电流内环负反馈,经过 PI 调节器 G_{pi}^i 后,再通过限幅比较驱动得到 DC/DC 变换器的控制信号,实现储能单元的功率输出与稳定直流母线电压的功能。在配电网电源电压发生暂降时,UPQC 直流母线的功率流波动较大,通过 DC/DC 变换器的电压电流双环反馈调节,可实现能量的快速缓冲,增强直流电压的稳定性。

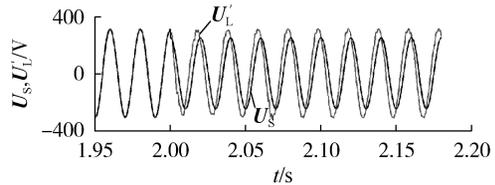
4 仿真验证

在 PSCAD/EMTDC 仿真平台上对 UPQC 的功率协调分配控制策略进行仿真验证,系统结构如图 1 所示。仿真参数为:电源额定线电压有效值为 380 V;负载为三相对称阻感性负载,负载电阻为 6.28 Ω ,负载电感为 20 mH,功率因数角为 $\varphi_L = \pi/4$,负载额定功率为 $P = 11.5$ kW、 $Q = 11.5$ kvar;串、并联变流器的容量均为 11.5 kV·A。

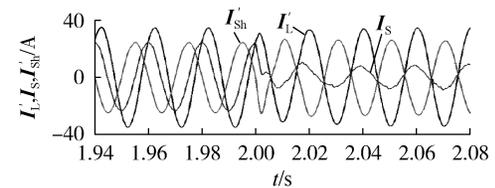
为了验证本文提出的控制策略,仿真过程在 2 s 时电源电压发生 60 V (20%) 的电压暂降,仿真结果如图 9、10 所示。从图 9 中可以看出,在串联变流器的补偿作用下,负载电压 U_L' 维持在负载额定电压,保障了负载的供电质量;在并联补偿电流 I_{sh} 的作用下,实现了电源电流 I_s 与电源电压 U_s 同相位,达到了电源功率因数为 1 的目的。从图 10 中可以看出,当电压正常时,并联变流器承担无功补偿的功能,电源承担负载的全部有功功率。当电源电压发生暂降时,串联变流器发出 $Q_{sr} = 2.8$ kvar 以分担部分负载无功功率,而有功功率 P_{sr} 依然为 0,达到只进行无功功率补偿从而消除有功环流的目的;并联变流器发出有功功率 $P_{sh} = 7.6$ kW,该部分的功率由储能单元提供,同时并联变流器提供的无功功率降为 $Q_{sh} = 8.6$ kvar,保证并联变流器在电压暂降前后补偿容量



(a) 电源电压、电流波形



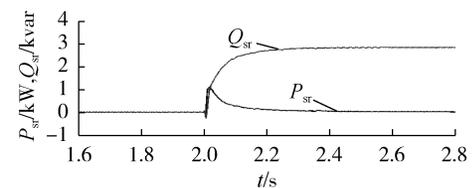
(b) 负载电压、电源电压波形



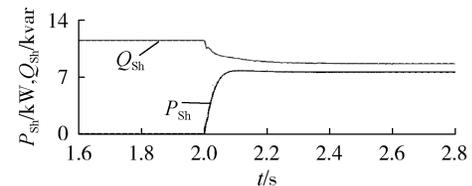
(c) 并联变流器补偿电流、负载电流波形

图 9 电压、电流仿真波形

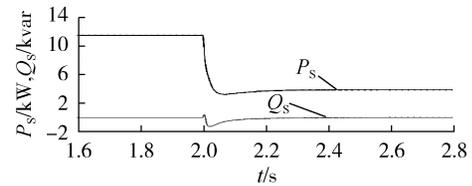
Fig.9 Simulative curves of voltage and current



(a) 串联变流器有功、无功功率波形



(b) 并联变流器有功、无功功率波形



(c) 电源输出有功、无功功率波形

图 10 有功、无功功率仿真波形

Fig.10 Simulative curves of active and reactive power

保持不变,且不会发生容量越限。仿真效果与原理一致,达到了预期的效果。

为了进一步验证本文提出的控制策略,设置电源在 2 s 时发生断电故障,仿真结果如图 11、12 所示。由于电源电流降为 0,因此此时的 i_s 为串联变流器的输出电流。从图 11 中可以看出,尽管此时电源电压降低为 0,但在串联变流器的补偿作用下,负载电压仍可以维持在额定值,实现了不间断电源的功能。由图 12 可以看出,当电源电压正常时,并

联变流器承担无功补偿的功能,此时电源承担负载的全部有功功率;当电源电压降为 0 后,串联变流器承担负载无功功率,即 $P_{sr}=0$ 、 $Q_{sr}=11.5$ kvar,而并联变流器只需承担负载有功功率,即 $P_{sh}=11.5$ kW、 $Q_{sh}=0$,并联变流器提供的有功功率由储能单元提供,实现了有功和无功功率的合理分配,同时保证了串、并联变流器在电压跌落前后不会发生容量越限。

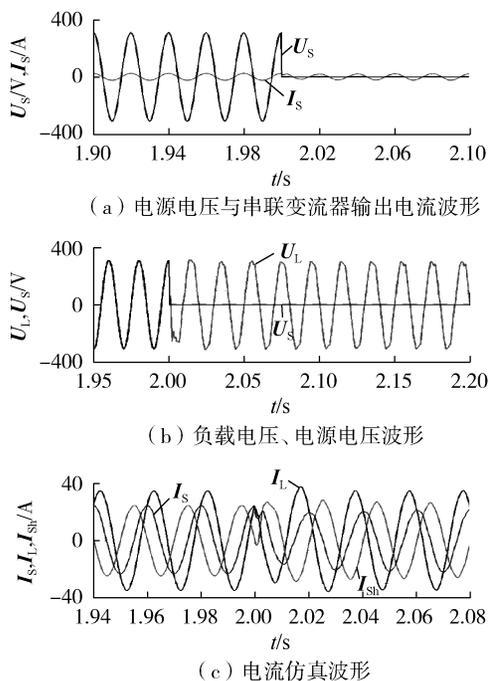


图 11 电压、电流仿真波形

Fig.11 Simulative curves of voltage and current

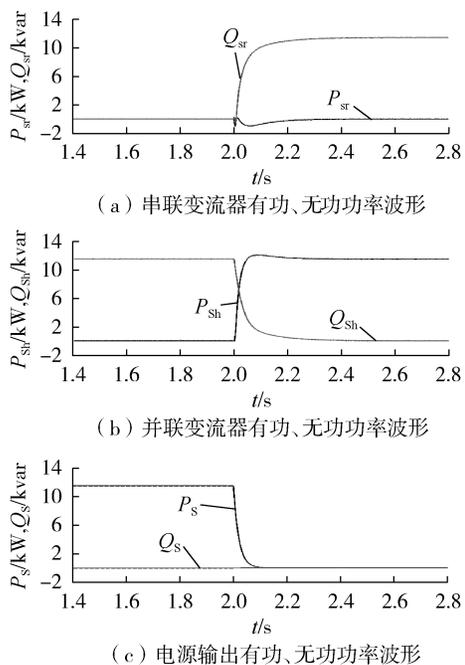


图 12 有功、无功功率仿真波形

Fig.12 Simulative curves of active and reactive power

5 结论

为了实现 UPQC 工作时有功和无功功率的合理分配,本文通过合理分配串、并联变流器的功率输出,使得串联变流器承担部分负载无功功率以减轻并联变流器的负担,并消除有功功率环流;同时基于并联变流器补偿容量恒定的原则分配电源与储能单元提供的有功功率,以降低配电网馈线过电流的风险,并保证串、并联单元在补偿电能质量过程中不会发生容量越限。当电源电压完全跌落时,负载有功完全由储能提供,实现了不间断电源的功能。在 PSCAD/EMTDC 中对上述策略进行仿真验证,结果验证了本文所提策略的正确性和有效性,实现了 UPQC 的串、并联变流器以及储能单元的协调控制。

参考文献:

- [1] 张喆,李庚银,魏军强. 考虑分布式电源随机特性的配电网电压质量概率评估[J]. 中国电机工程学报,2013,33(13):150-156. ZHANG Zhe, LI Gengyin, WEI Junqiang. Probabilistic evaluation of voltage quality in distribution networks considering the stochastic characteristic of distributed generators [J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(13): 150-156.
- [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] 朱国锋,牟龙华. 多馈线型低压配电网分布式谐波治理的优化控制[J]. 电工技术学报,2016,31(9):25-33. ZHU Guofeng, MU Longhua. Optimal control of distributed harmonic compensation in low-voltage distribution network with multiple feeders [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(9): 25-33.
- [4] 马宏忠,徐刚,宋树平,等. 配电网中谐波电流责任划分定量分析[J]. 电力自动化设备,2014,34(6):44-49. MA Hongzhong, XU Gang, SONG Shuping, et al. Quantitative analysis of harmonic current responsibility in distribution network [J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(6): 44-49.
- [5] 易皓,卓放,詹文达,等. 用于并联型有源电力滤波器的谐振调节器选择性特性比较分析[J]. 中国电机工程学报,2014,34(30):5320-5328. YI Hao, ZHUO Fang, ZHAN Wenda, et al. Comparison analysis on selectivity of resonant controllers for parallel active power filters [J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(30): 5320-5328.
- [6] 荆龙,唐芬,王之赫,等. 基于模块化多电平换流器的牵引供电系统电能质量治理方法[J]. 电力系统自动化,2015,39(11):173-179. JING Long, TANG Fen, WANG Zhihe, et al. A power quality compensating method for traction power supply system based on MMC [J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(11): 173-179.
- [7] 姜齐荣,赵东元. 有源电力滤波器:结构、原理与控制[M]. 北

- 京:科学出版社,2005:16.
- [8] AKAGI H. New trends in active filters for power conditioning [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1996, 32(6) : 1312-1322.
- [9] KHADKIKAR V. Enhancing electric power quality using UPQC: a comprehensive overview [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2012, 27(5) : 2284-2297.
- [10] HIROFUMI A, EDSON H W, MAURICIO A. 瞬时功率理论及其在电力调节中的应用 [M]. 徐政, 译. 北京:机械工业出版社, 2009:205.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] KUMAR G S, VARDHANA P H, KUMAR B K, et al. Minimization of VA loading of Unified Power Quality Conditioner (UPQC) [C] // International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives. Lisbon, Portugal: IEEE, 2009: 552-557.
- [14] 冯兴田, 张丽霞, 康忠健, 等. 基于超级电容器储能的 UPQC 工作条件及控制策略 [J]. 电力自动化设备, 2014, 34(4) : 84-89.
FENG Xingtian, ZHANG Lixia, KANG Zhongjian, et al. Working conditions and control strategy of UPQC based on supercapacitor energy storage [J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(4) : 84-89.
- [15] KHADKIKAR V, CHANDRA A. A new control philosophy for a Unified Power Quality Conditioner (UPQC) to coordinate load-reactive power demand between shunt and series inverters [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2008, 23(4) : 2522-2534.
- [16] BASU M, DAS S P, DUBEY G K. Performance study of UPQC-Q for load compensation and voltage sag mitigation [C] // IEEE 2002 28th Annual Conference of the Industrial Electronics Society. Sevilla, Spain: IEEE, 2002: 698-703.

作者简介:



黄晓明

黄晓明 (1969—), 男, 浙江杭州人, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护技术;

范志华 (1996—), 男, 江西丰城人, 硕士研究生, 通信作者, 主要研究方向为分布式发电接入及微电网运行与控制 (E-mail: fzhust@hust.edu.cn);

刘子文 (1991—), 男, 江苏淮安人, 博士研究生, 主要研究方向为电力系统运行与控制、分布式发电接入及微电网运行与控制;

苗世洪 (1963—), 男, 湖北随州人, 教授, 博士研究生导师, 主要研究方向为电力系统运行与控制、微电网与配电网新技术 (E-mail: sa2000999@126.com)。

Control strategy of UPQC based on active and reactive power coordination distribution

HUANG Xiaoming¹, FAN Zhihua², LIU Ziwen², MIAO Shihong², LI Xianwei³,
LOU Boliang¹, HUANG Hongyang¹

(1. State Grid Zhejiang Electric Power Company Electric Power Research Institute, Hangzhou 310014, China;

2. State Key Laboratory of Advanced Electromagnetic Engineering and Technology, School of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

3. XJ Group Corporation Ltd., Xuchang 461000, China)

Abstract: UPQC (Unified Power Quality Conditioner) is composed of series active power filter and shunt active power filter. In the conventional power control strategy, the active power circular flow existing between feeders and series and shunt converters increases the capacitance burden and loss of series and shunt units, and a big voltage drop of power source may cause the overload of series and shunt units in the power quality compensating process. The control strategy of UPQC based on active and reactive power coordination distribution is proposed. The output power of series and shunt converters is reasonably allocated to make full use of series converter and make it take part of the reactive power of load to lighten the burden of shunt converter and eliminate the active power circulation. The active power of power source and energy storage unit is distributed based on the principle of constant compensation capacity of shunt converter to decrease the overcurrent risk of distribution network feeders and avoid capacity overload of series and shunt converters in the power quality compensating process. When the voltage of power source drops completely, the load active power is completely provided by the energy storage unit, realizing the function of uninterrupted power supply. Results of a simulation example built in PSCAD/EMTDC verify the validity and efficiency of the proposed control strategy and show that the proposed strategy can realize power coordination distribution among series and shunt converters of UPQC and energy storage unit.

Key words: unified power quality conditioner; power quality; energy storage unit; power distribution; coordination control