

无差拍优化 T 型三电平 APF 模型预测电流控制

刘广思¹, 肖先勇¹, 刘建鑫²

(1. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065; 2. 山东水发集团有限公司, 山东 济南 250104)

摘要:为实现 T 型三电平有源电力滤波器(APF)的高性能电流跟踪控制及其鲁棒性,提出了一种无差拍优化有限集模型预测控制(FCS-MPC)算法,并设计了滤波电感在线观测器。首先,为降低滚动优化过程的运算量,提出了一种基于谐波电流无差拍预测的电压矢量控制集简化方法,减少了每个控制周期内迭代计算的次数。然后,为降低电感参数失配对 FCS-MPC 算法性能的影响,设计了一种电感观测器完成参数的在线修正。最后,通过仿真对所提算法完成验证。仿真结果表明,所提算法不仅保持了传统 FCS-MPC 优越的动静态响应性能,同时显著减少了数字实现的运算量,提升了参数失配时控制系统的鲁棒性。

关键词:T 型三电平 APF; 中点电位平衡; 无差拍预测; 有限集模型预测; 优化控制集; 电感失配

中图分类号:TM933

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2019)05-0078-07

0 引言

目前大规模电力电子变流设备在电力系统中得到广泛应用,已成为电网中主要谐波源。谐波源的投入导致电能质量下降,影响到电力系统的稳定运行。有源电力滤波器(active power filter, APF)是实现谐波动态补偿、提高电能质量的关键技术。相较于传统两电平拓扑 APF,多电平 APF 在高压大容量非线性负载的谐波补偿中得到了较好应用^[1-5]。

实现对谐波电流的精确快速跟踪控制是 APF 谐波补偿效果的关键^[6-8]。现有的三电平 APF 电流控制算法主要有无差拍预测控制^[9]、滞环电流控制^[10]、模型预测控制^[11]、智能控制算法^[12]等。文献[13]研究了一种基于重复预测观测器的无差拍控制方法,利用电流采样值与离散状态方程对下一个控制周期的指令电流值进行预测,稳态跟踪精度良好,但存在动态响应速度慢、依赖系统参数的缺点。文献[14-15]研究了一种非线性滞环电流控制器,无需设计脉宽调制(pulse-width-modulation, PWM)算法,具有动态响应速度快、不依赖系统参数的优点,但开关频率不固定,不具有中点电位平衡能力。文献[16-17]研究了有限集模型预测控制(finite control set model predictive control, FCS-MPC)在三电平 APF 中的应用,每个控制周期内根据系统离散数学模型滚动计算 27 个开关矢量对应的电流预测值,分别与电流指令值作差,并选出最优的开关矢量作为下一个控制周期的输出。文献

[18]针对三电平 APF 模型预测控制中滚动计算耗时的问题,研究了一种基于扇区判断的矢量选择简化方法,保证每次迭代计算的矢量集为 10 个,有效缩减了计算耗时。文献[19]针对三电平中点电位平衡控制问题,设计了多目标价值函数,同时考虑电流跟踪控制和中点电位平衡,但模型预测控制的效果依赖准确的系统参数。

为实现 T 型三电平 APF 的高性能电流跟踪控制及其鲁棒性,提出了一种无差拍优化模型预测电流控制算法,并设计了滤波电感在线观测器,通过 Matlab/Simulink 仿真完成验证,所提算法不仅保持了 FCS-MPC 优越的动静态响应性能,同时显著减少了数字实现的运算量,提升了系统鲁棒性。

1 T 型三电平 APF 工作原理

三相三线制 T 型三电平 APF 主电路拓扑如图 1 所示, T_{an} 、 T_{bn} 、 T_{cn} 为绝缘栅双极型晶体管; D_{an} 、 D_{bn} 、 D_{cn} 为反并联二极管; e_a 、 e_b 、 e_c 为三相电网电压; u_a 、 u_b 、 u_c 为 APF 交流侧输出电压; i_{a1} 、 i_{b1} 、 i_{c1} 为 APF 输出补偿电流; C_{d1} 、 C_{d2} 为直流侧均压电容; L_1 、 r_1 为输出侧滤波电感和等效电阻。谐波源为不可控整流器的非线性负载, APF 与谐波源并联接入三相电网,通过控制功率器件开/断,实现负载谐波电流的动态补偿。

在 $\alpha\beta$ 坐标系下得到 T 型三电平 APF 数学模型为:

$$\begin{cases} e_\alpha = L_1 \frac{di_\alpha}{dt} + r_1 i_\alpha + u_\alpha \\ e_\beta = L_1 \frac{di_\beta}{dt} + r_1 i_\beta + u_\beta \end{cases} \quad (1)$$

收稿日期:2019-03-05;修回日期:2019-04-28

基金项目:四川省科技厅重点研发计划资助项目(2017GZ0-348)

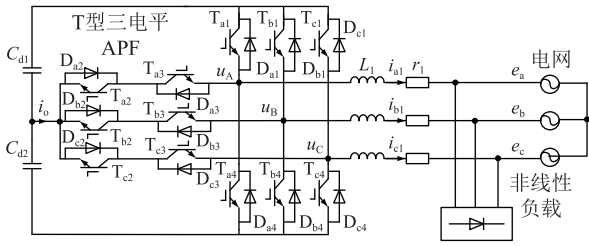


图1 T型三电平 APF 主电路拓扑

Fig.1 Main circuit topology of T-type three-level APF

式中: u_α, u_β 由 u_A, u_B, u_C 经克拉克 (Clark) 变换得到。

定义开关函数 $S_x (x = a, b, c)$, 且满足如下条件:

$$S_{x(x=a,b,c)} = \begin{cases} 1 & T_{a1}, T_{a2} \text{ 导通}, T_{a3}, T_{a4} \text{ 关断} \\ 0 & T_{a2}, T_{a3} \text{ 导通}, T_{a1}, T_{a4} \text{ 关断} \\ -1 & T_{a3}, T_{a4} \text{ 导通}, T_{a1}, T_{a2} \text{ 关断} \end{cases} \quad (2)$$

不为 0 的直流侧中点电流是引起电容电压不平衡的根本原因。图 1 所示中点电流 i_o 满足下式:

$$i_o = -(i_{a1}|S_a| + i_{b1}|S_b| + i_{c1}|S_c|) \quad (3)$$

假设均压电容满足 $C_{d1} = C_{d2} = C$, 则电压差值满足:

$$\frac{d(U_{d1} - U_{d2})}{dt} = \frac{i_o}{C} = -\frac{1}{C}(i_{a1}|S_a| + i_{b1}|S_b| + i_{c1}|S_c|) \quad (4)$$

2 传统电流控制算法

2.1 无差拍预测电流控制

无差拍预测电流控制的原理如图 2 所示, 其中 3 个输入分别为 APF 采样电流、谐波指令电流、网侧电压, 输出为调制电压矢量作为 SVPWM 模块的输入。无差拍预测的关键方程见式(5), 在数字化实现时通常需考虑一拍延时补偿^[18], 即向前多预测一个控制周期 T_s , 真正实现电流的无差跟踪。

$$i_\alpha^{\text{ref}} + j i_\beta^{\text{ref}} = i_\alpha(k+1) + j i_\beta(k+1) \quad (5)$$

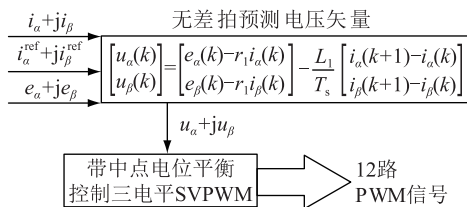


图2 无差拍预测电流控制原理

Fig.2 Principle of deadbeat predictive current control

同时, 针对 T 型三电平拓扑结构, 设计 SVPWM 算法时必须考虑中点电位的平衡控制, 此处采用零序电压注入的平衡调节算法。此部分实现原理不再赘述, 详细可参考文献[12]。

由图 2 可知, 无差拍预测电流控制中, 对调制电压矢量的预测受滤波电感参数值影响。而且, 采用三电平 SVPWM 模块也使得 APF 开关频率可控且恒定, 更容易实施中点电位平衡控制算法。

2.2 有限集模型预测电流控制

有限集模型预测控制 (FCS-MPC) 依据被控对象离散状态方程和 kT_s 时刻采样值, 预测出 $(k+1)T_s$ 时刻状态变量在电压矢量控制集作用下的取值。由式(1)可得到式(6)中电流预测模型。此处不考虑数字处理器固有的一拍延时补偿。

$$\begin{bmatrix} i_\alpha(k+1) \\ i_\beta(k+1) \end{bmatrix} = \frac{T_s}{L_1} \begin{bmatrix} e_\alpha(k) - u_\alpha(k) - r_1 i_\alpha(k) \\ e_\beta(k) - u_\beta(k) - r_1 i_\beta(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} i_\alpha(k) \\ i_\beta(k) \end{bmatrix} \quad (6)$$

不同于无差拍控制, FCS-MPC 通过设计目标函数进行滚动优化, 完成最优电压矢量的输出, 而无需 SVPWM 模块。三电平 APF 的 FCS-MPC 目标函数如式(7)所示, 有 2 个要求: (1) 谐波电流的精确快速跟踪; (2) 中点电位平衡控制。

$$G(o) = \lambda_1 |i_\alpha + j i_\beta(k+1) - (i_\alpha^{\text{ref}} + j i_\beta^{\text{ref}})| + \lambda_2 |u_{d1} - u_{d2}| \quad (7)$$

式中: u_{d1}, u_{d2} 分别为直流侧上下电容电压值预测值; λ_1, λ_2 为权重因子, 其取值对预测结果影响较大, 文中参考文献[11]中的研究结论, 取 $\lambda_1 = \lambda_2 = 1$ 。

3 无差拍优化模型预测电流控制算法

上述传统电流控制算法均存在各自的问题: 无差拍预测电流控制本质上是一种线性控制, 需要额外设计复杂的三电平 SVPWM 算法; FCS-MPC 本质上是一种非线性寻优控制, 基于有限控制集进行滚动寻优, 无需设计复杂的 SVPWM 算法。同时, 二者的控制效果受参数影响较大。传统的 FCS-MPC 以三电平所有的 27 个电压矢量作为控制集, 决定了每个控制周期内均需 27 次运算, 运算量较大。

3.1 无差拍预测优化控制集

为降低滚动优化过程的运算量, 提出一种基于谐波电流无差拍预测的控制集优化方法, 根据预测出的调制电压矢量, 在每个控制周期内完成电压矢量控制集的优化, 极大地简化了循环计算次数。图 3 给出了 T 型三电平 APF 空间电压矢量分布, 此处为 60° 坐标系 gh 下的简化示意图^[20]。

为解决控制集的优化问题, 现有做法采用类似传统三电平 SVPWM 的扇区判断方法^[19], 将矢量空间按规则划分为 6 个扇区, 如图 3 所示, 如此可将每次滚动优化过程的控制集限值在某个扇区如①, 且

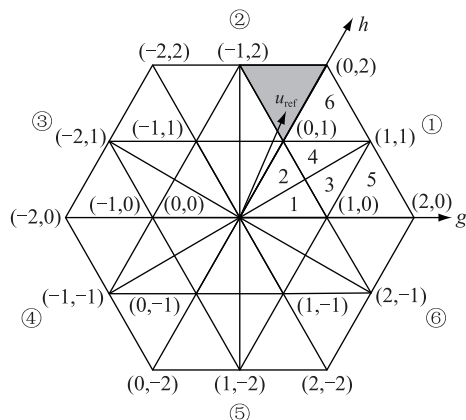


图3 T型三电平 APF 空间电压矢量分布

Fig.3 Space voltage vector distribution diagram of T-type three-level APF

计算次数由 27 减小到 10。为进一步优化控制集,采取无差拍预测电流的方法预先计算出最优调制电压,即图 2 中 $u_{ref} = u_{\alpha} + ju_{\beta}$, 然后根据矢量位置筛选控制集,可将控制集定位到图 3 所示灰色小扇区。

文中采取的为单矢量 FCS-MPC, 根据无差拍预测计算得到的调制电压 $u_{\alpha} + ju_{\beta}$, 在单个控制周期内只能选取单一矢量进行等效, 不可避免地可能会存在误差, 所以相角位置更接近的电压矢量无疑是最优的, 这也说明所提基于谐波电流无差拍预测的控制集优化方法是正确的。为减小甚至消除误差, 可采用多矢量 FCS-MPC 算法, 或者提高控制频率 $1/T_s$ 。而更少的滚动优化计算次数比如所提算法的 5 次, 无疑更有利于提升控制器性能。

采取的无差拍优化 FCS-MPC 算法的流程如图 4 所示, $size()$ 为求矢量数组大小的函数。 u_{d1}, u_{d2} 预测方程为:

$$\begin{cases} u_{d1} = U_{d1} + \frac{T_s}{C} i_{c1} \\ u_{d2} = U_{d2} + \frac{T_s}{C} i_{c2} \end{cases} \quad (8)$$

式中: i_{c1}, i_{c2} 分别为上下电容电流, 此值由中点电流和开关函数 $S_x (x=a, b, c)$ 决定。

3.2 电感观测器设计

由式(6)可知, 在每个控制周期内, FCS-MPC 电流预测值非常依赖准确的系统参数, 其中等效电阻的压降较小可忽略, 而影响的较大的是滤波电感。若电感参数失配, 则很容易造成控制器实际输出非最优电压矢量, 导致电流跟踪精度下降、网侧电流谐波畸变等, 甚至造成控制系统不稳定。

当实际电感 L_o 和标称电感 L_n 失配时, 即存在:

$$\Delta L = |L_n - L_o| \quad (9)$$

根据式(6)可得电感失配时的电流预测误

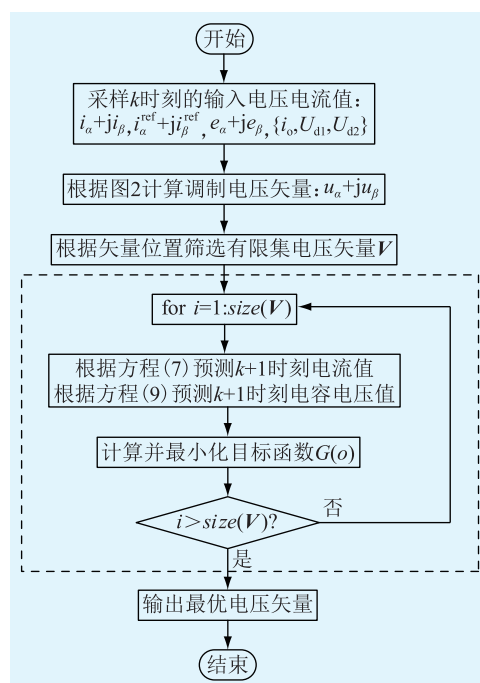


图4 无差拍优化 FCS-MPC 算法流程

Fig.4 Flow diagram of FCS-MPC with deadbeat optimization

差为:

$$\begin{cases} [i_{pa}(k) - i_{\alpha}(k-1)] / [i_{\alpha}(k) - i_{\alpha}(k-1)] = \frac{L_o}{L_n} \\ [i_{pb}(k) - i_{\beta}(k-1)] / [i_{\beta}(k) - i_{\beta}(k-1)] = \frac{L_o}{L_n} \end{cases} \quad (10)$$

式中: $i_{pa}(k), i_{pb}(k)$ 为标称电感 L_n 电流预测值; $i_{\alpha}(k), i_{\beta}(k), i_{\alpha}(k-1), i_{\beta}(k-1)$ 为电流实际值。由式(10)可搭建出电感参数在线观测器, 如图 5 所示。

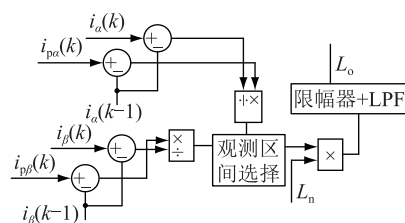


图5 电感参数在线观测器

Fig.5 Online observer of inductance parameter

其中, 观测区间选择比较关键, 因为 APF 的控制变量为非线性时变谐波电流, 若直接采取式(10)观测电感值则存在奇点, 即式(10)左侧表达式分母为 0, 此时电感估计值无意义, 并且非理想观测区间电感观测值存在不规则的跳变, 使得电感值的选取极其复杂。程序在进行电感值估算之前, 会预先判断采样电流值是否为奇异点, 存在奇点的区间则可

以直接保持前一拍观测值,从而保证每个基波周期内至少更新4次电感观测值。进一步,为了保证观测器值得稳定,可在输入滚动优化计算前,加入限幅模块和低通滤波器,避免高次谐波和奇异值的影响。通过大量仿真结果分析得出观测区间的选择方法为:在电流变化率最小的有限区间内,按照式(10)估算电感值,估算结果基本满足控制要求。

4 仿真结果对比分析

以T型三电平APF的电流跟踪控制为研究对象,基于Matlab/Simulink搭建仿真模型并完成对文中所提出算法的验证。仿真参数设置如下:三相电网电压幅值311 V,频率工频50 Hz,非线性谐波源为不可控整流桥带阻感负载,电感值2 mH,电阻值在0.34 s时由10 Ω 突变为5 Ω ,APF滤波电感值2 mH,电阻值0.01 Ω ,直流侧均压电容值4 700 μF ,仿真步长为 2×10^{-5} s。

为验证文中电感在线观测器和所提FCS-MPC算法的有效性,仿真中设定电感偏差 $\Delta L = L_0$,且标称值大于实际值。图6给出了仿真电流波形,包括APF输出的A相补偿电流、A相网侧电流和A相负载电流,蓝色为指令值,绿色为实际跟踪值。可以看到文中设计的FCS-MPC算法能够有效地补偿谐波电流,保证APF正常工作。对比图6(a)与图6(b)可知,负载电流和谐波电流指令值一致,当存在电感失配时,无电感观测器在线参数修正模块的电流跟踪性能会下降。如图6(a)所示,在一个基波周期内,APF输出补偿电流无法实现对谐波指令电流的精确跟踪,存在较大的跟踪误差,此误差主要由电感失配导致FCS-MPC输出非最优电压矢量。而当采用文中仿真模型的电感观测器,仿真波形如图6(b)所示,在一个基波周期内,APF输出补偿电流实现了对谐波指令电流的精确跟踪,跟踪误差在合理的范围内波形,证明了所设计电感观测器的有效性,提升了FCS-MPC系统的鲁棒性。

图7给出了图6中A相网侧电流的FFT频谱分析图,可以看到电感参数失配对FCS-MPC算法性能的影响,增大了网侧电流畸变率。采用文中设计的电感观测器可以得到修正,网侧电流的THD由电感失配时的2.75%减小到1.29%,验证了观测器的有效性。图8给出了观测器输出电感值和谐波电流波形,可以看到观测值在实际值2 mH附近存在不规律的波动,甚至不合理的突变,这种现象符合式(10)中的分析,因为用于计算的电流值为高频谐波电流,且FCS-MPC采样频率较高,因此观测区间的

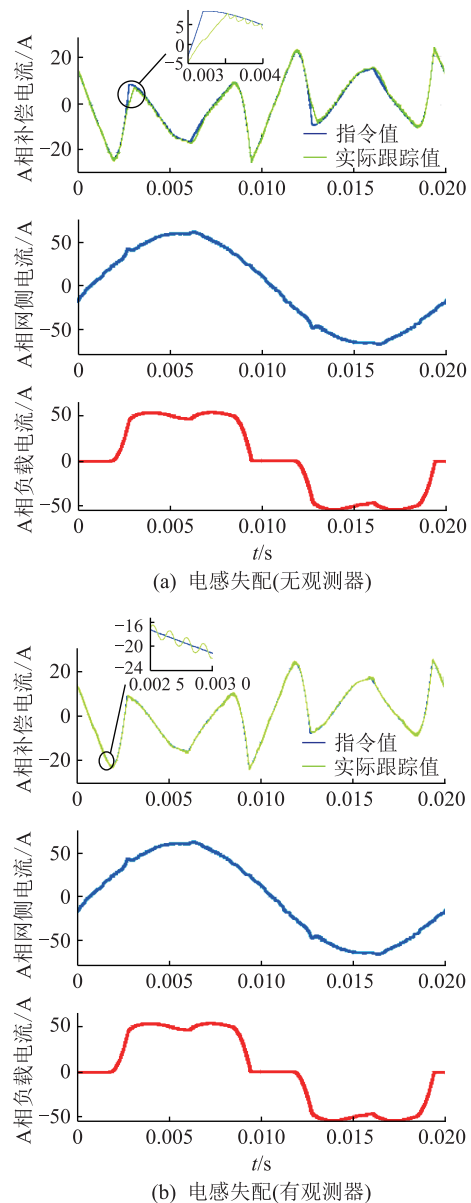
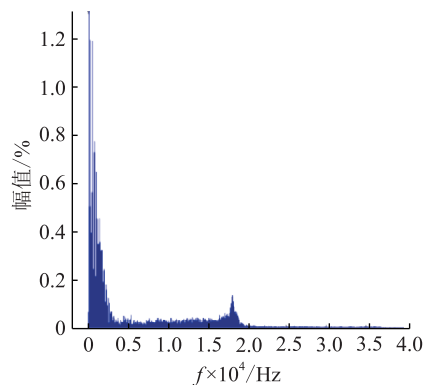


图6 FCS-MPC 仿真电流波形

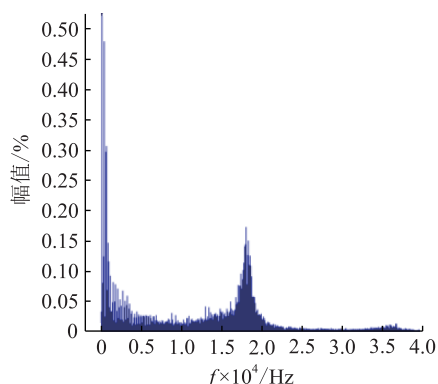
Fig.6 Current waveforms of FCS-MPC

设计就很必要。在一个控制周期内至少可更新4次电感估算值,即存在4个有效观测区间,有效观测区间的选择方法以电流拐点,或者是电流变化率为依据,基本上在电流拐点处电流变化率最小,且电流斜率基本恒定,此时电感估算值较为平滑且恒定,不存在跳变值。图8(b)局部放大波形也说明了理想观测区间选择的正确性。

图9为所提算法的中点电位平衡控制仿真结果,其中图9(a)为直流侧电容相等情况下的仿真波形,图9(b)为直流侧电容不相等情况下的仿真波形,此时 $C_{d1} = 4\ 700\ \mu\text{F}$, $C_{d2} = 470\ \mu\text{F}$ 。图9中,上下电容初始电压值分别为500 V和300 V,且在0.34 s处不控整流桥负载由10 Ω 突变为5 Ω ,动态响应下直流侧上下电容电压均可保持平衡,且电容值不相



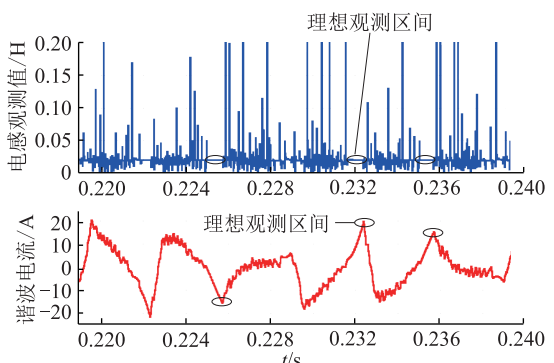
(a) 电感失配(无观测器)



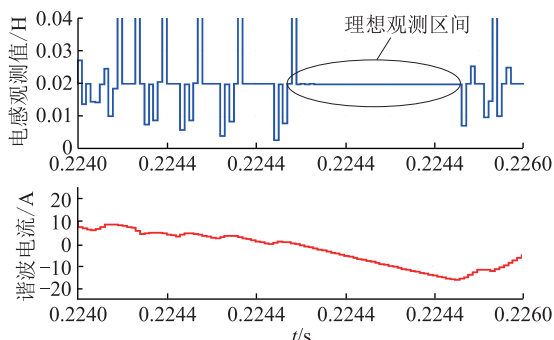
(b) 电感失配(有观测器)

图7 A相网侧电流频谱

Fig.7 Spectrum of phase A grid current



(a) 基波周期内波形



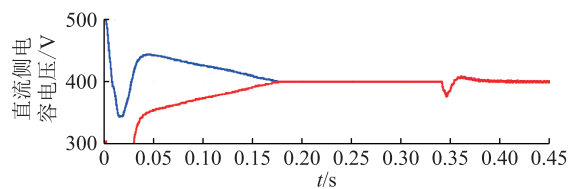
(b) 局部放大波形

图8 电感观测器输出波形

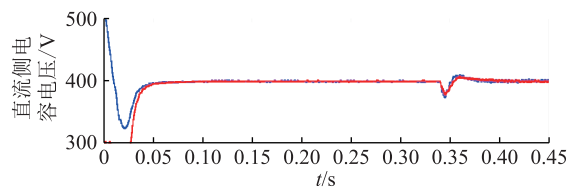
Fig.8 Output waveforms of inductor observer

等对控制算法影响不大,验证算法的有效性。

为验证所提算法的动态响应性能,图10给出了



(a) 直流侧电容相等情况下中点电位平衡控制



(b) 直流侧电容不相等情况下中点电位平衡控制

图9 中点电压平衡控制波形

Fig.9 Waveform of midpoint voltage balance control

负载突变过程中的仿真波形,从上到下依次为 APF 输出补偿电流波形、APF 输出相电压波形、网侧电流波形和负载电流波形。可以看到在 0.34 s 处负载电流突增,APF 输出补偿电流能够快速精确地跟踪谐波电流指令值,网侧电流波形也实现了快速的正弦化,系统动态响应性能较好。

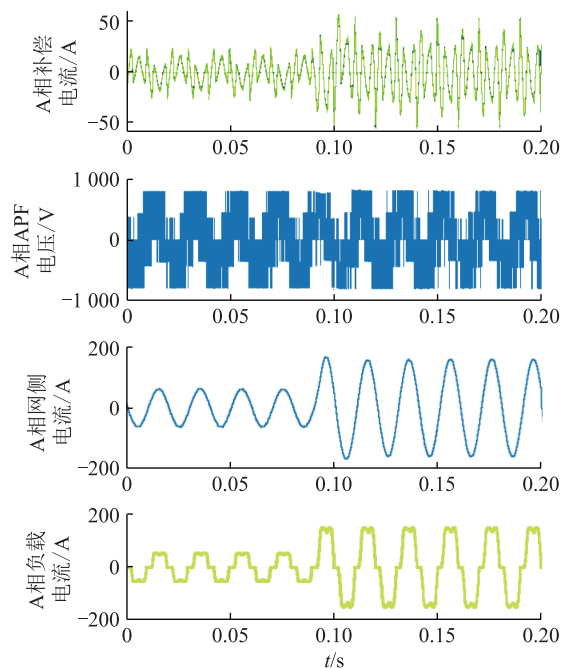


图10 FCS-MPC 负载突变仿真波形

Fig.10 Simulation waveforms of the proposed FCS-MPC with load mutation

5 结语

以 T 型三电平 APF 为对象,重点研究了 FCS-MPC 高性能电流跟踪及其鲁棒性,通过合理设计目标函数,同时实现了 APF 的谐波电流跟踪与中点电位平衡控制。文中主要从 2 个方面进行改进:

(1) 提出一种基于谐波电流无差拍预测的控制

集优化方法,用于降低运算量。根据无差拍算法预测出的调制电压矢量,在每个控制周期内精简优化控制集,在减少循环计算次数的同时,实现了与传统 FCS-MPC 一致的控制效果。

(2) 设计了一种电感参数在线观测器,有效地补偿了因电感参数失配导致的谐波电流跟踪误差、网侧电流谐波畸变率。在实际应用时,需关注观测区间的选取,剔除奇异观测点。

参考文献:

- [1] CHEN Dongdong, XU Qunwei, HU Yaowei. A DC-link voltage balancing strategy based on controllable neutral current injected for T-type three-level active power filter[C]//2016 IEEE 2nd Annual Southern Power Electronics Conference (SPEC), 2016.
- [2] 谭风雷,陈梦涛,高世宇,等. 单相三电平 APF 单周控制矢量模式研究[J]. 电力工程技术,2019,38(1):140-145.
TAN Fenglei, CHEN Mengtao, GAO Shiyu, et al. Single-phase three-level APF vector mode for one-cycle control[J]. Electric Power Engineering Technology, 2019, 38(1): 140-145.
- [3] 王峰,张旭隆,何凤有,等. 基于复合模型预测控制策略的三电平 APF 研究[J]. 电力系统保护与控制,2014,42(11): 79-85.
WANG Feng, ZHANG Xulong, HE Fengyou, et al. Research of three-level shunt APF control method based on composite model predictive control strategy[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(11): 79-85.
- [4] 付瑞清. 基于复合控制的三电平 APF 的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(14): 105-112.
FU Ruiqing. Research on three-level active power filter based on composite control[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(14): 105-112.
- [5] 周京华,柴小丰,祝天岳,等. 三电平有源电力滤波器谐波电流及中点电位平衡控制[J]. 电网技术, 2017, 41(6): 2012-2019.
ZHOU Jinghua, CHAI Xiaofeng, ZHU Tianyue, et al. Control of harmonic current and neutral-point potential balance for three-level active power filter[J]. Power System Technology, 2017, 41(6): 2012-2019.
- [6] 丁星星. 模块化三电平有源电力滤波器的若干问题研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2018.
DING Xingxing. Research on several problems of modular three-level active power Filter [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2018.
- [7] ZHANG Maosong, WANG Quanjing, LI Guoli, et al. Study on robust current and neutral-point potential control for D-STATCOM based on NPC three-level inverter[J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(14): 3868-3875.
- [8] 荣盘祥,刘兆宇,杨常伟. 有源电力滤波器谐波检测仿真设计[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2015, 20(1):66-70.
RONG Panxiang, LIU Zhaoyu, YANG Changwei. Harmonic detection simulation design of active power filter[J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2015, 20(1): 66-70.
- [9] SHU Zeliang, LIU Ming, ZHAO Li, et al. Predictive harmonic control and its optimal digital implementation for MMC-based active power filter[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2016, 63(8): 5244-5254.
- [10] 潘玥. 基于新型无差拍控制的并联型 APF 研究[D]. 广西: 广西大学, 2018.
PAN Yue. Research on parallel APF based on new deadbeat control [D]. Guangxi: Guangxi University, 2018.
- [11] BODE G H, HOLMES D G. Implementation of three level hysteresis current control for a single phase voltage source inverter [C]//2000 IEEE 31st Annual Power Electronics Specialists Conference, 2000.
- [12] ZANCHETTA P, CORTES P, PEREZ M, et al. Finite states model predictive control for shunt active filters[C]//IECON 2011, Conference on IEEE Industrial Electronics Society. IEEE, 2011:581-586.
- [13] 颜文旭,韩立圣,惠晶,等. 三相四线有源电力滤波器新型神经预测控制[J]. 电力系统及其自动化学报, 2011, 1: 28-33.
YAN Wenxu, HAN Lisheng, HUI Jing, et al. Novel neural network predictive control scheme for three-phase four-wire active power filter[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2011, 1: 28-33.
- [14] 梁莹玉,刘建政,李治艳. 有源电力滤波器改进无差拍-重复控制策略[J]. 电工技术学报, 2018, 33(19): 4574-4582.
LIANG Yingyu, LIU Jianzheng, LI Zhiyan. Improved deadbeat-repetitive control strategy for active power filter[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2018, 33(19): 4574-4582.
- [15] 黄清,陈兵. 有源电力滤波器稳态和动态特性分析[J]. 电力工程技术,2018,37(4):78-83.
HUANG Qing, CHEN Bing. Analysis of steady-state and dynamic characteristics of active power filter[J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(4): 78-83.
- [16] 谭风雷,朱超,吴兴泉. 基于单周控制的四桥臂 APF 矢量模式研究[J]. 电力工程技术,2018,37(1):141-146.
TAN Fenglei, ZHU Chao, WU Xingquan. Research on APF vector model of four-leg based on one-cycle control [J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(1): 141-146.
- [17] 鄢志平,何英杰,李毅,等. 三电平四桥臂 SVG 三电流滞环控制方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(20): 5576-5583.
YAN Zhiping, HE Yingjie, LI Yi, et al. Three current hysteresis control strategy of four-leg three-level SVG [J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(20): 5576-5583.
- [18] ANTONIEWICZ K, JASINSKI M, KAZMIERKOWSKI M P, et al. Model predictive control for three-level four-leg flying capacitor converter operating as shunt active power filter[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2016, 63(8):

5255-5262.

- [19] 樊露丹, 王晓杰, 苗长新. 基于扇区判断的三电平 APF 多目标模型预测电流控制[J]. 电力电容器与无功补偿, 2017, 38(2): 40-45.

FAN Ludan, WANG Xiaojie, MIAO Changxin. Current control prediction of three-level APF multiple target model based on partition judgment [J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2017, 38(2): 40-45.

- [20] 赵辉, 李瑞, 王红君, 等. 60°坐标系下三电平逆变器 SVPWM 方法的研究[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(24): 39-45.

ZHAO Hui, LI Rui, WANG Hongjun, et al. Study on SVPWM method based on 60° coordinate system for three-level in-

verter[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(24): 39-45.

作者简介:



刘广思

刘广思(1994),男,硕士在读,研究方向为电能质量及其控制技术研究(E-mail: 244275362@qq.com);

肖先勇(1975),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为电能质量及其控制技术研究、智能电网;

刘建鑫(1988),男,双学位,工程师,从事水利水电、新能源技术与经济分析、配电自动化与能源互联网技术工作。

Model predictive current control algorithm with deadbeat optimization for T-type three-level APF

LIU Guangsi¹, XIAO Xianyong¹, LIU Jianxin²

(1. School of Electrical and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. Shandong Shuifa Group Co., Ltd., Jinan 250104, China)

Abstract: In order to realize the high-performance current tracking control and robustness of T-type three-level active power filter (APF), a no-beat optimization model predictive current control (FCS-MPC) algorithm is proposed and designed. Filter inductor online observer. Firstly, in order to reduce the computational complexity of the rolling optimization process, a simplified method of voltage vector control set based on harmonic current deadbeat prediction is proposed, which reduces the number of iterative calculations in each control cycle. Then, in order to reduce the influence of the inductance parameter mismatch on the performance of the FCS-MPC algorithm, an in-line correction of the parameters of the inductive observer is designed. Finally, the proposed algorithm is verified by simulation. The simulation results show that the proposed algorithm not only maintains the superior dynamic and static response performance of the traditional FCS-MPC, but also significantly reduces the computational complexity of the digital implementation and improves the robustness of the control system when the parameters are mismatched.

Keywords: T-type three-level APF; midpoint potential balance; deadbeat prediction; finite set model prediction; optimal control set; inductance mismatch

(编辑 钱悦)