

然而实际上桥臂输出电流会和指令电流有一个电流开关误差, 设:

$$i_c = i_c^* + \Delta i_c \quad (5)$$

这样就使得网侧实际电流和指令电流之间也有误差:

$$i_s = i_s^* + \Delta i_s \quad (6)$$

由于:

$$i_s^* = i_{Uf} = i_L - i_{Lh} = i_L - i_c^* \quad (7)$$

结合式(1)和式(7), 可发现:

$$\Delta i_s = -\Delta i_c \quad (8)$$

即可以通过检测网侧电流误差 Δi_s 来代替 APF 桥臂输出电流误差 Δi_c 。

2 无负载侧谐波检测控制

无负载侧谐波检测控制如图 2 所示, 依旧保留了 APF 经典控制中的电流控制器和直流侧电压闭环控制器, 只是如前文所述采用 Δi_s 代替了 Δi_c 。

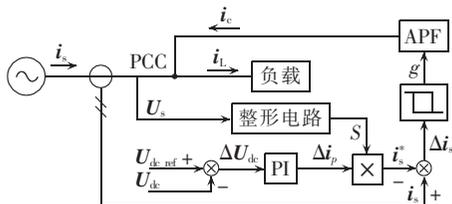


图 2 无负载侧谐波检测的 APF 控制方案

Fig.2 Strategy of APF control without load-side harmonic detection

参考电流 i_s^* 通过直流侧电压反馈得到。当负载电流的有功分量突增时, 如果网侧电流没有来得及实时调整, 则突增的这一部分有功电流将由 APF 桥臂输出电流提供, 直流侧电容放电, 电压下降。当直流侧电压低于设定值 $U_{dc,ref}$ 时, PI 控制器输出的 Δi_p 会相应增大, 则参考电流 i_s^* 也会增大, 由于电流控制器的跟踪控制使 i_s 去跟踪, 导致桥臂输出电流 i_c 输出有功分量减少, 直流侧电压抬高恢复, 这样就完成了谐波电流跟踪补偿。当负载电流有功分量突减时, 情况反之亦然。

正是因为当负载电流的有功分量突增时, 网侧电流可能来不及实时调整, 当负载有功变化剧烈时, 会导致直流侧电压迅速拖垮或冲飞, 这无疑对系统的稳定性是有害的。

所以对于一般 U_s , 经过整形电路得到的 S 就是一个和 U_s 相位相同的正弦波, 指令波 i_s 的幅值信息就完全由 PI 控制器决定, 如果不要一个过大的 K_p 参数, 会在稳态时有一个较大的直流侧电压差 ΔU_{dc} , 这样就使得直流侧电压有一个误差。所以本文将整形电路得到的波形乘上一个比例系数 D , 使得 $S = D \sin(\omega t)$, 尽量减小直流侧电压的偏差。

但是只是这么做还是不够的, 最好的办法就是

让网侧电流能够实时等于负载的基波有功电流。由于失去了负载侧信号的前馈控制, 为了能够达到或者接近这一点, 本文采用自适应滤波器预测算法对网侧电流进行提前一拍估算。

3 网侧电流自适应预测算法

3.1 自适应预测算法

文献[10-12]将基于有限脉冲响应(FIR)模型的自适应预测滤波器应用于 APF 控制中, 自适应滤波器兼具了滤波和预测的功能。事实上, 自适应滤波器的预测功能在各种形式的滤波器中都得到了验证, 通过对离散化系统下一拍的预测, 可以从信息处理方面解决数字化系统离散化延时和控制器件采样延时^[11]。

文献[12]提出在进行横向滤波器参数滚动迭代的时候, 将期望理论值 $y(n)$ 与预测值 $\hat{y}(n)$ 做差作为 $e(n)$ 送入, 如图 3 所示。然而, 对 APF 参考电流的预测实际上是一个自回归(AR)模型, 预测得到的 $y(n)$ 是数据列本身的下一个值, 即 $x(n+1)$ 。而 $n+1$ 时刻的实际电流正是需要预测的量, 于是文献[9]中将 $e(n) \approx x(n) - \hat{x}(n)$, 用上一个周期的误差值去估计下个周期的滤波器系数, 这样得到的滤波器权值实际上是 $H(n-1)$, 毫无疑问, 预测算法中差一拍会给整个系统带来新的误差延时。

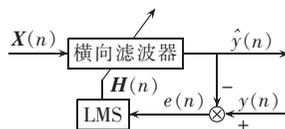


图 3 自适应滤波器原理

Fig.3 Principle of adaptive filter

对此, 本文采用一种基于 AR 模型的自适应预测滤波器, 如图 4 所示。首先根据历史数据 $I(n-1)$ 通过自适应滤波器得到 n 时刻的预测参考电流 $\hat{i}(n)$, 再与 n 时刻期望值即当前时刻实际测量值 $i(n)$ 相减得到误差信号 $e(n)$, 这样通过新的滚动迭代得到的滤波器权值 $H(n)$ 就是 n 时刻的期望权值。

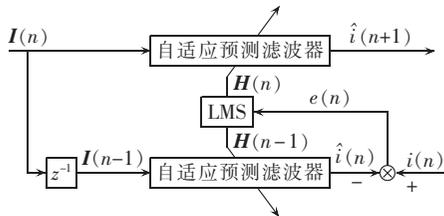


图 4 自适应预测滤波器原理

Fig.4 Principle of adaptive forecasting filter

自适应预测滤波器的预测精度在很大程度上取决于滤波器的系数, 为了保证算法在动态条件下的鲁棒性, 即保证预测算法对系统的时变性和负载的

不确定适应性,应对滤波器系数进行反复的在线滚动优化^[13]。

本文采用基于 LMS 变步长的自适应滤波器网侧电流预测方法,自适应模型的输出可以表示为当前和过去的输入 $X_N(n)$ 的线性组合:

$$\hat{y}(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h_k(n)x(n-k) = \mathbf{H}_N^T(n)\mathbf{X}_N(n) \quad (9)$$

$$\mathbf{X}_N(n) = [x(n), x(n-1), \dots, x(n-N+1)]^T \quad (10)$$

$$\mathbf{H}_N^T(n) = [h_0(n), h_1(n), \dots, h_{N-1}(n)] \quad (11)$$

LMS 算法的滤波器系数滚动迭代,表示为:

$$\mathbf{H}_N(n+1) = \mathbf{H}_N(n) + 2\mu(n)e(n)\mathbf{X}(n) \quad (12)$$

基于 LMS 准则的自适应预测算法的收敛速度和步长 μ 的大小有关,当 μ 值较大时收敛速度得到提升,然而 μ 值过大又影响了算法的收敛性,即稳定性。因此在实际应用中 μ 的选取极为重要,为了解决这一问题,文献[14-19]提出了变步长自适应滤波算法。

文献[14]指出对 μ 的取值进行在线滚动优化,使得 μ 的取值能根据实时预测误差状况进行在线自适应调整,从而使自适应预测滤波器在系数的收敛速度和预测精度方面均取得良好的性能。

由于 μ 不断地进行滚动优化,可记为 $\mu(n)$ 。 $\mu(n)$ 滚动优化的目标是使函数 $J(n) = 0.5E[|e(n)|^2]$ 最小。

文献[15]首先提出了步长因子 μ 随迭代次数 n 的增加而逐渐减小。文献[16]则将步长 μ 与均方瞬时误差 $e^2(n)$ 建立了关系,使 $\mu(n+1) = \alpha\mu(n) + \gamma e^2(n)$ 。文献[17]给出了 Sigmoid 函数变步长 LMS 算法,其中 $\mu(n) = \beta[1 - \exp(-\alpha|e(n)|) - 0.5]$ 。针对 Sigmoid 函数过于复杂,且在误差 $e^2(n)$ 接近零处变化太大、不具有缓慢变化的缺点,文献[18]在此基础上做出改进,步长的更新不需要用到上次的步长,给出了 $\mu(n) = \beta[1 - \exp(-\alpha|e(n)|^2)]$ 。为了解决在低信噪比情况下 APF 能正常滤除基波信号,文献[19]利用误差信号的时间均值 $p(n)$ 估计来控制补偿。

在众多文献研究的基础上,结合本文内容所述,当负载有功突变时,由于网侧电流来不及变化,可以在直流侧立即检测到电容电压降低(负载有功突增)、升高(负载有功突减)。所以本文以直流侧电压误差量作为变步长的前馈信号,通过自适应滤波器实时调整步长参数。步长的递推公式如下:

$$\mu(n+1) = \alpha\mu(n) + \gamma p(n) \quad (13)$$

$$p(n) = \beta p(n-1) + (1-\beta)\Delta U_{dc}(n) \quad (14)$$

为了保证算法的稳定性, $\mu \in [\mu_{\min}, \mu_{\max}]$, 其中 μ_{\max} 接近补偿的临界稳定值,理论上为 $2/\lambda_{\max}$, λ_{\max} 为输入自相关阵的最大特征根,此时有较快的收敛速度,本文中取值 0.1; μ_{\min} 则兼顾收敛速度和预测精度是否失调,取一较小整数 0.005。式(13)中 α 和 γ 的参数值选取参考文献[19],本文中 $\alpha = 0.97, \gamma = 0.0004$ 。式(14)中 β 称为遗忘因子, $0 < \beta < 1$, 用来控制过去的

数据对预测值的影响, $1-\beta$ 为时间均值估计权系数。

在步长公式中引入了 $p(n)$ 以后,一旦跟踪信号发生突变,直流侧电压将实时受到影响变化,新的算法则会通过 $p(n)$ 表现在步长上,稳态时 μ 主要考虑稳定性,动态时 μ 则主要兼顾收敛速度,这大幅提高预测精度。实际上通过式(14)可以看出 $p(n)$ 其实是对 ΔU_{dc} 的滑窗迭代,不断地对窗内数据进行加权平均计算,通过历史数据在线更新步长,更准确地预测未来趋势。

可能单从最终表达式上已经超出了 LMS 算法的范畴,而是介于 LMS 和最小递归二乘(RLS)算法之间,步长因子随着新进数据在线实时调整,对时间较近点的数据加以更大的权数。这也就是本文改进的算法在收敛速度和计算精度方面优于 LMS 算法的根本原因。实际上作为一种变步长的 LMS 算法,该算法的码元间计算量远小于 RLS 算法。在算法的速度和精度上都能满足 APF 应用要求。

3.2 网侧电流预测

基于无负载侧谐波检测的 APF 自适应预测方法如图 5 所示。它由网侧基波电流检测、自适应预测和补偿模块组成。

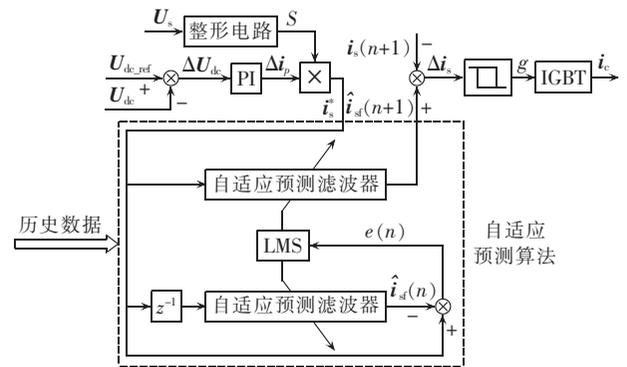


图 5 电流自适应预测控制方法的示意图

Fig.5 Sketch map of current adaptive forecasting control

通过直流侧电压反馈获得网侧基波电流,并将其和历史数据一起送入预测模块,预测模块采用变步长的自适应算法。为了提高运算速度,且没有必要将所有的历史数据送入预测运算,假设系统的每个工频周期采样 M 个点,在每 k 个采样周期进行一次自适应预测算法。如图 6 所示,从过去的一个周期中等间隔抽取 $N(N=M/k)$ 个数据,用这 N 个数据进

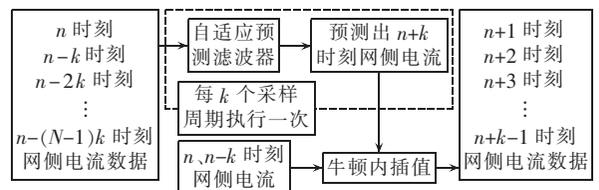


图 6 自适应预测算法和牛顿内插值算法的数据流程图

Fig.6 Data stream of adaptive forecasting algorithm and Newton interpolation algorithm

行自适应预测出 $n+k$ 时刻的数据,再通过牛顿内插值法得到预测的每个点的值。

在程序初始化的时候为了有较快的响应速度,取 μ_{\max} ,滤波器系数向量 $\mathbf{H}_N=[0,0,\dots,0,1]^T$ 。

4 仿真及实验

4.1 仿真

为了验证无负载侧谐波检测的自适应预测算法的可行性和正确性,基于 MATLAB/Simulink 建立了如图 2 所示的系统模型。仿真系统参数为:380 V 工频三相交流电源,系统阻抗忽略不计;非线性负载为三相不控整流桥,APF 直流侧采用 6800 μF 电解电容,直流侧稳定电压 800 V;输出滤波器为 L 滤波器, $L=4\text{ mH}$ 。

图 7 是无负载侧谐波检测环节的 APF 投入电网后稳定时的电网波形,从上至下依次是不加预测算法、定步长算法和本文提出的自适应预测方法。

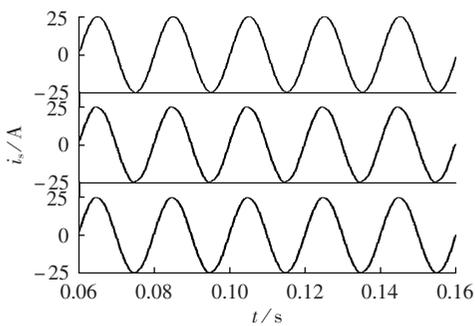


图 7 稳态仿真波形

Fig.7 Simulative static-state waveforms

从图 7 中可以看出,在稳态时 3 种方法均能有效补偿系统谐波,无需负载电流的前馈信号。网侧电流 THD 分别为 1.02%、0.78%、0.45%,均接近于完美正弦波,采用自适应预测算法可以弥补因为系统采样和数字离散化带来的延时。

为验证暂稳态情况下的动态性能,在整流桥直流侧接入两级阻感负载,次级为同样规格的负载。分别考虑在过零点和电流峰值时负载功率突变对系统的影响,如图 8(a)所示,在负载电流过零点时并入二级负载。图 8(b)分别显示了不加预测算法、定步长自适应预测和采用本文提出的变步长自适应预测时的网侧电流。

可以看出,当负载功率突变时,不加预测算法时网侧电流需要 1.5 个工频周期才能跟踪上电流;而采用定步长自适应预测算法后网侧电流跟踪松弛改善非常明显,只用了半个工频周期就可以跟踪上负载变化。当采用本文提出的在线迭代变步长自适应算法后,由于步长会迅速变大,所以在负载变化的前半周期内预测速度显著提升。

为了进一步验证算法暂态性能,如图 9(a)所示,

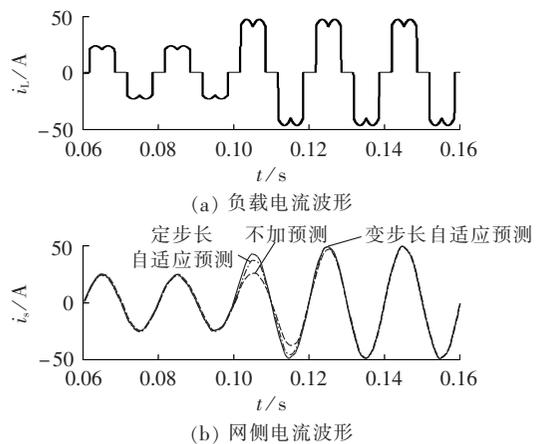


图 8 电流过零点投入负载仿真波形

Fig.8 Simulative waveforms of load inputted at zero-crossing point

当在网侧电流最大值时并入二级负载。图 9(b)分别显示了不加预测算法、定步长自适应预测算法和采用本文提出的变步长自适应预测算法时的网侧电流。

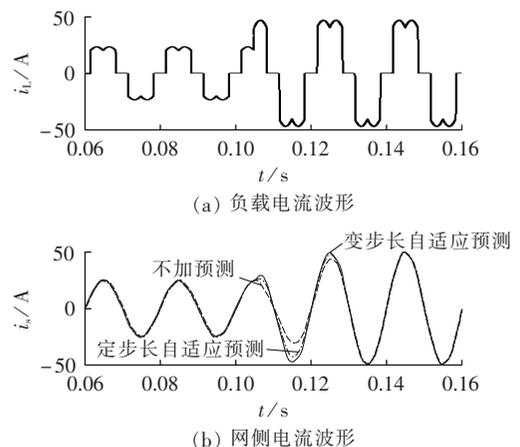


图 9 电流峰值投入负载仿真波形

Fig.9 Simulative waveforms of load inputted at peak point

从图 9 中可以看出,当在电流峰值时负载突变,无论加不加预测算法,电流都不能够立刻反应,但是加入自适应预测算法后,电流在半个工频周期内就可以跟踪上负载变化。

在稳态阶段,自适应滤波器的权值会趋于最优,使得稳态误差接近零。但是在动态阶段,预测算法由于算法延时性,误差是不能够完全消除的。考虑到在峰值时预测值和理论值的误差最大,表 1 分别给出了仿真中负载突变时刻后,不加入预测方法、采用本文提出的预测方法时的第 1 个电流峰值和理论值的

表 1 预测仿真结果误差分析

Tab.1 Error analysis for simulative results of forecasting algorithm

负载 突变时刻	突变后第 1 个电流峰值/A		误差比/%		
	理论值	无预测	本文预测	无预测	本文预测
电流过零点	50	26.9	44.2	46.2	11.6
电流峰值点	50	30.2	46.1	39.6	7.8

误差。

通过表 1 的对比可以看出,当负载突变时,采用本文提出的预测算法时的理论值误差要明显小于不加预测时的误差。

4.2 实验

为了进一步验证无负载侧谐波检测的 APF 自适应预测算法,研制了 50 kV·A 实验样机并完成了基于该控制策略下的 APF 全压并网实验。实验样机控制单元采用 32 位定点 DSP 芯片 TMS320F2812 结合 FPGA 芯片 EP1C6Q240C8,双核实现数据运算与逻辑功能。IGBT 模块采用西门康 SKM400GB176D,IGBT 驱动采用西门康 SKH123/17(R)。系统采样频率 9.6 kHz,自适应滤波器维数为 48,即每 4 个点进入一次自适应算法,这 4 个点内的数值通过牛顿内插值法得到。实验具体参数:380 V 工频三相交流电源,系统阻抗忽略不计;非线性负载为三相不控整流桥,APF 直流侧采用 6800 μF 电解电容,直流侧稳定电压 800 V;输出滤波器为 L 滤波器,L=2 mH。实验采用 TEK 示波器 DPO2024 和电能质量测试仪 FLUKE43B 对实验波形进行数据记录。

当投入 APF 并网稳态运行时,采用无负载侧谐波检测控制自适应预测算法实验波形如图 10 所示。

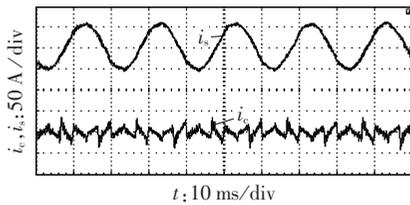


图 10 稳态补偿波形

Fig.10 Waveforms of static-state compensation

通过理论分析可知稳态运行时无负载侧谐波检测 APF 补偿效果和采用经典算法下的实验结果没有太大差别,图 10 中实验结果也再次验证了这一点。基于本文算法补偿前后网侧电流频谱分析见图 11,THD 从补偿前的 28.3% 改善到补偿后的 3.2%。

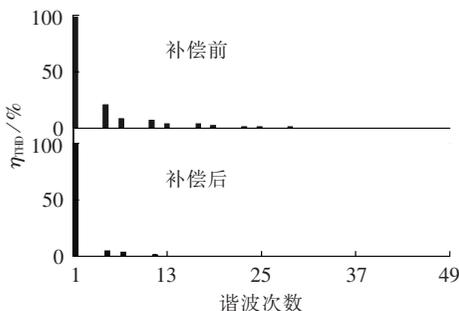


图 11 补偿前后网侧电流 THD

Fig.11 THD of grid-side current before and after compensation

无负载侧谐波检测 APF 补偿结果受到动态负载的影响较大,为了验证其加入自适应预测后的结

果,本文对变化的负载进行了实验。为了更全面地说明预测效果,同样分别在过零点和电流峰值点投入二级负载。

图 12 分别为不加预测算法和自适应预测算法情况下在网侧电流过零点投入二级负载的动态实验波形。图 12(a)中不加预测算法,在第 1 个工频周期内网侧电流最大值没有达到新的稳态值,系统暂态反应时间 t_1 约为 21 ms;图 12(b)采用变步长自适应预测算法,系统暂态反应时间 t_2 明显减小,大约需要 13 ms。

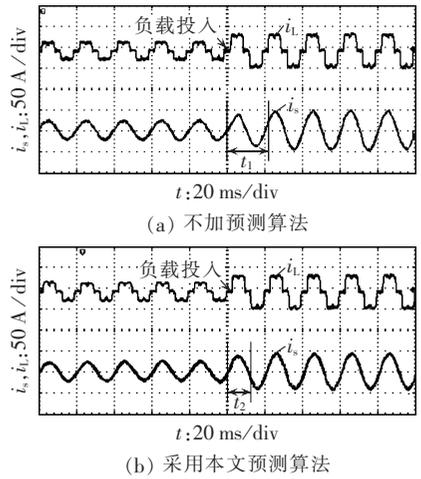


图 12 电流过零点投入负载实验波形

Fig.12 Experimental waveforms of load inducted at zero-crossing point

图 13 分别为不加预测算法和自适应预测算法情况下在网侧电流最大点投入二级负载的动态实验波形。图 13(a)中没有预测算法,系统暂态反应时间 t_3 约为 18 ms,而加入本文所述预测算法后(见图 13(b)),可以很清楚看出在第 2 个波峰到来时波形就达到新的稳态,系统暂态反应时间 t_4 约为 9 ms。

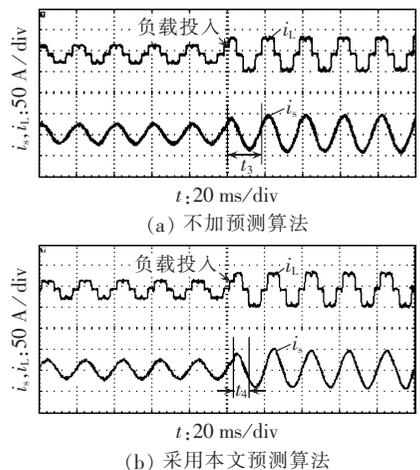


图 13 电流峰值投入负载实验波形

Fig.13 Experimental waveforms of load inducted at peak point

通过 2 组对比试验可以看出当采用本文提出的自适应预测算法后,无负载侧谐波检测 APF 动态性

能提升明显,预测算法的加入弥补了在负载变化时缺少负载电流前馈的作用。

同样考虑到动态时预测会出现误差,在峰值时预测值和理论值的误差最大,表 2 给出了实验中负载突变时刻后,不加入预测方法、采用本文提出的预测方法时的第 1 个电流峰值和理论值的误差。

表 2 预测实验结果误差分析

Tab.2 Error analysis for experimental results of forecasting algorithm

负载 突变时刻	突变后第 1 个电流峰值/A		误差比/%		
	理论值	无预测	本文预测	无预测	本文预测
电流过零点	50	37.8	42.3	24.4	15.4
电流峰值点	50	39.2	47.4	21.6	5.2

通过表 2 的对比可以看出,实验结果和仿真结果趋势基本一致,再次验证了预测算法的有效性。

5 结论

直接通过直流侧电压反馈控制而无负载侧谐波检测的 APF 算法可以等效经典传统的谐波检测算法,但是由于缺少了负载电流前馈环节,在负载动态变化时补偿会出现跟踪松弛现象。对此本文提出了一种基于 LMS 算法的自适应 AR 模型,利用横向滤波器步长实时变化,系数动态滚动,结合牛顿内插值法可以有效预测下一拍的网侧电流数据。仿真和实验验证无负载侧谐波检测的 APF 自适应预测算法的正确性和可行性。

参考文献:

- [1] 赵伟,王文,肖勇,等. 并联有源电力滤波器空间矢量电流控制新方法[J]. 电力自动化设备,2013,33(8):83-87.
ZHAO Wei,WANG Wen,XIAO Yong,et al. Space vector current control of shunt active power filter[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(8):83-87.
- [2] 侯桂兵,涂春鸣,罗安,等. 微电网中 APF 接入位置与容量优化配置方案[J]. 电力自动化设备,2012,32(5):29-33.
HOU Guibing,TU Chunming,LUO An,et al. Optimal configuration of APF in microgrid[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(5):29-33.
- [3] 王盼,刘飞,查晓明. 基于有源阻尼的并联有源滤波器输出 LCL 滤波器设计[J]. 电力自动化设备,2013,33(4):161-166.
WANG Pan,LIU Fei,ZHA Xiaoming. Design of output LCL filter based on shunt APF with active damping[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(4):161-166.
- [4] 唐欣,曾启明,陈伟乐. 有源电力滤波器的双闭环串级控制[J]. 中国电机工程学报,2008,28(24):59-63.
TANG Xin,TSANG K M,CHAN W L. Double closed-loop cascade control for active power filter[J]. Proceedings of the CSEE,2008,28(24):59-63.
- [5] 王广柱. 并联型有源电力滤波器电流控制的等效原理[J]. 中国电机工程学报,2006,26(15):40-45.
WANG Guangzhu. Equivalence principle of current control for

- shunt active power filter[J]. Proceedings of the CSEE,2006,26(15):40-45.
- [6] 陈仲,罗颖鹏,石磊,等. 并联型 APF 两种典型控制方式的机制解析[J]. 中国电机工程学报,2010,30(33):37-43.
CHEN Zhong,LUO Yingpeng,SHI Lei,et al. Analysis on mechanisms of two typical control schemes for parallel APF[J]. Proceedings of the CSEE,2010,30(33):37-43.
- [7] 王广柱. 有源电力滤波器谐波及无功电流检测的不必要性(一)[J]. 电工技术学报,2007,22(1):137-141.
WANG Guangzhu. The unnecessaries of harmonic and reactive current detection for active power filters-part I[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2007,22(1):137-141.
- [8] 王广柱. 有源电力滤波器谐波及无功电流检测的不必要性(二)——仿真及实验[J]. 电工技术学报,2007,22(2):132-136.
WANG Guangzhu. The unnecessaries of harmonic and reactive current detection for active power filters(part II)—simulation and experiment[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2007,22(2):132-136.
- [9] SMEDLEY K M,ZHOU Luwei,QIAO Chongming. Unified constant-frequency integration control of active power filters-steady-state and dynamics[J]. IEEE Transactions on Power Electronics,2001,16(3):428-436.
- [10] 漆铭钧,罗安,刘定国,等. 有源电力滤波器参考电流的预测方法及其实现[J]. 中国电机工程学报,2009,29(7):128-134.
QI Mingjun,LUO An,LIU Dingguo,et al. Prediction of the reference current of active power filter and its realization[J]. Proceedings of the CSEE,2009,29(7):128-134.
- [11] 刘传林,刘开培. 基于 LMS 的加速收敛步长选择原理与自适应三相电网谐波检测[J]. 电力自动化设备,2013,33(4):77-81.
LIU Chuanlin,LIU Kaipei. Principle of step-size selection for accelerating convergence and adaptive current detection of three-phase power system[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(4):77-81.
- [12] 于晶荣,滕召胜,章兢,等. 有源电力滤波器预测电流控制及稳定性分析[J]. 电工技术学报,2009,24(7):164-170.
YU Jingrong,TENG Zhaosheng,ZHANG Jing,et al. Predictive current control and stability analysis of active power filter[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2009,24(7):164-170.
- [13] 罗安. 电网谐波治理和无功补偿技术及装备[M]. 北京:中国电力出版社,2006:62-70.
- [14] 栗梅,王莉娜,张泰山,等. 基于自适应滤波器的电网谐波电流预测法[J]. 控制与决策,2004,19(12):1429-1432.
SU Mei,WANG Lina,ZHANG Taishan,et al. Harmonic prediction method based on adaptive filter[J]. Control and Decision,2004,19(12):1429-1432.
- [15] GITLIN R D,WEINSTEIN S D. On the design of gradient algorithms for digitally implemented adaptive filters[J]. IEEE Transactions on Circuit Theory,1973,20(2):125-136.
- [16] KWONG R H,JOHNSTON E W. A variable step-size LMS algorithm[J]. IEEE Transactions on Signal Processing,1992,40(7):1633-1642.
- [17] 覃景繁,欧阳景正. 一种新的变步长 LMS 自适应滤波算法[J]. 数据采集与处理,1997,12(3):171-194.

QIN Jingfan, OUYANG Jingzheng. A novel variable step size LMS adaptive filtering algorithm based on Sigmoid function[J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 1997, 12(3): 171-194.

[18] 高鹰, 谢胜利. 一种变步长 LMS 自适应滤波算法及分析[J]. 电子学报, 2001, 29(8): 1094-1097.

GAO Ying, XIE Shengli. A variable step size LMS adaptive filtering[J]. Acta Electronica Sinica, 2001, 29(8): 1094-1097.

[19] 李辉, 李亦斌, 邹云屏, 等. 一种新的变步长自适应谐波检测算法[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(2): 69-73.

LI Hui, LI Yibin, ZOU Yunping, et al. A novel adaptive harmonic detecting algorithm based on variable step-size LMS[J].

Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(2): 69-73.

作者简介:



张宸宇

张宸宇(1989-),男,江苏扬州人,博士研究生,主要研究方向为谐波抑制与无功补偿(E-mail: top@seu.edu.cn);

梅军(1971-),男,江苏南京人,副教授,博士,主要研究方向为电力电子与电气传动;

郑建勇(1966-),男,江苏南京人,教授,博士研究生导师,博士,主要研究方向为电力电子与电气传动。

Adaptive forecasting algorithm without load-side harmonic detection for active power filter control

ZHANG Chenyu, MEI Jun, ZHENG Jianyong, GUO Shaoqing, ZHOU Fujun
(College of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The classical APF(Active Power Filter) algorithm applies the DC voltage control algorithm to save the detection units for load current and output current. An APF control method based on an adaptive forecasting algorithm without load-side harmonic detection is proposed to enhance its dynamic performance, which continuously calculates the weighted average of DC voltage error based on the sliding-window iterative algorithm with the forgetting factor. The coefficient of adaptive filter is renewed during the online rolling iteration, the step length is upgraded in real time, and the grid current of next step is well forecasted by the interpolation algorithm. Simulative results demonstrate the excellent steady-state compensation effect and dynamic tracking performance of the proposed method. Experimental results of a prototype based on DSP also verify the feasibility and correctness of the given algorithm.

Key words: active filters; control without load-side harmonic detection; adaptive control; forecasting; interpolation algorithm; voltage control

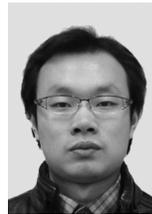
(上接第 54 页 continued from page 54)

[17] 王家林, 夏立, 吴正国, 等. 采用改进 Prony 算法的电力系统故障暂态信号分析[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(7): 89-98.

WANG Jialin, XIA Li, WU Zhengguo, et al. Analysis of power system transient signal based on improved Prony algorithm[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(7): 89-98.

作者简介:

许国瑞(1986-),男,山西新绛人,博士研究生,研究方向为



许国瑞

同步发电机模型及参数(E-mail: lingquan0624@163.com);

赵海森(1982-),男,河北邢台人,副教授,研究方向为电机损耗计算及节能(E-mail: zhaohisen@163.com);

刘晓芳(1961-),女,内蒙古呼和浩特人,教授,从事大型电机非正常运行等方面的研究(E-mail: liuxf@ncepu.edu.cn)。

Influence of stator and rotor resistances on transient time constant of synchronous machine

XU Guorui, ZHAO Haisen, LIU Xiaofang

(School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: When the traditional analytical expression of transient time constants is adopted to calculate the transient performance of synchronous machine, if the influences of stator and rotor resistances are partly neglected, the calculative results may be inaccurate. An improved analytical expression of direct transient time constant considering the stator resistance and an improved analytical expression of stator aperiodic time constant considering the rotor resistance are deduced. Their correctness is verified by the 7.5 kW prototype test and time step finite element method. The variation laws of transient time constant vs. the stator and rotor resistances are calculated by the improved analytical expressions and it is found that, the accuracy of transient time constant calculated by the improved analytical expressions is higher than that by the traditional method under different stator and rotor resistances.

Key words: transient time constant; aperiodic time constant; stators; rotors; electric resistance; synchronous motors