



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112886884 B

(45) 授权公告日 2022.03.22

(21) 申请号 202110377168.4

(22) 申请日 2021.04.08

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112886884 A

(43) 申请公布日 2021.06.01

(73) 专利权人 太原理工大学
地址 030024 山西省太原市迎泽西大街79号太原理工大学

(72) 发明人 李岚 杨旭 侯传羽 杨琦 赵楠

(74) 专利代理机构 太原科卫专利事务所(普通合伙) 14100

代理人 朱源

(51) Int. Cl.

H02P 9/10 (2006.01)

H02P 21/14 (2016.01)

H02J 3/38 (2006.01)

H02P 101/15 (2015.01)

(56) 对比文件

CN 109687524 A, 2019.04.26

CN 105375804 A, 2016.03.02

CN 107565837 A, 2018.01.09

CN 111725837 A, 2020.09.29

CN 111244966 A, 2020.06.05

CN 111656673 A, 2020.09.11

CN 112019113 A, 2020.12.01

CN 105914744 A, 2016.08.31

CN 111130121 A, 2020.05.08

CN 112165271 A, 2021.01.01

CN 111221253 A, 2020.06.02

US 2020328709 A1, 2020.10.15

CN 106953570 A, 2017.07.14

谢震,等.不平衡电网电压下双馈发电机多目标模型预测控制.《中国电机工程学报》.2019,第39卷(第13期), (续)

审查员 李佳慧

权利要求书2页 说明书6页 附图5页

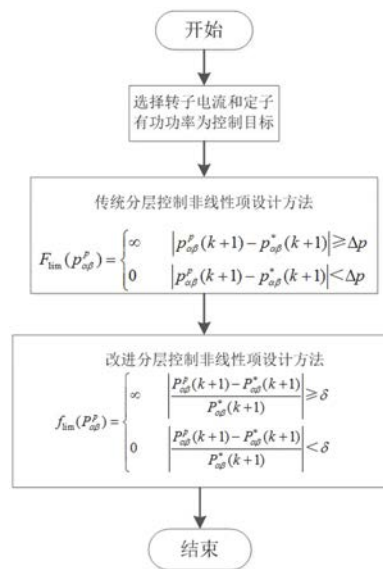
(54) 发明名称

一种DFIG多目标优化控制目标函数的设计方法

(57) 摘要

本发明属于双馈风力发电机的有限集模型预测控制技术领域,具体为一种DFIG多目标优化控制目标函数的设计方法,解决了背景技术中的技术问题,其包括选择两个被控对象;基于有限集模型预测控制,给出传统分层控制目标函数;将传统分层控制目标函数中的非线性项进行更新,重新构造包括两个被控对象在内的目标函数;根据电机动态反馈的效果,系统动态切换被控对象的权重系数,同时根据被控对象参考值的变化情况调整控制力度,使两个被控对象的控制精度保持稳定。本发明在传统分层控制的基础上,通过进一步改写目标函数中的非线性项,在目标函数中引入相对误差控制思想,可在被控对象参考值变化较大的情况下,实现各被控对象控制精度基本不变的目的。

CN 112886884 B



[接上页]

(56) 对比文件

沈坤,等.双馈风力发电系统模型预测控制算法研究.《电力电子技术》.2019,第53卷(第9期),

DANIEL Legrand Mon-Nzongo,等.不对称电压下基于NPC拓扑并网逆变器的模型预测控制研究.《中国测试》.2019,第45卷(第2期),

Tianqi Si, et al..Model predictive control for DFIG-based wind power

generation under unbalanced network condition.《2015 34th Chinese control conference (CCC)》.2015,

Zhenbin Zhang, et al..Direct model predictive control of three-level NPC back-to-back power converter PMSG wind turbine systems under unbalanced grid.《2015 IEEE International symposium on predictive control of electrical drives and power electronics (FRECEDE)》.2016,

1. 一种DFIG多目标优化控制目标函数的设计方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、选择转子电流,定子有功功率为被控对象;

S2、基于有限集模型预测控制,给出传统分层控制目标函数G如式(1):

$$G = \left| i_{r\alpha\beta}^*(k+1) - i_{r\alpha\beta}^p(k+1) \right| + F_{\lim}(P_{\alpha\beta}^p) \quad (1)$$

式(1)中, $i_{r\alpha\beta}^*(k+1)$ 表示在两相静止 $\alpha\beta$ 坐标系下的转子电流矢量在 $k+1$ 时刻的参考值;
 $i_{r\alpha\beta}^p(k+1)$ 表示在两相静止 $\alpha\beta$ 坐标系下的转子电流矢量在 $k+1$ 时刻的预测值; $F_{\lim}(P_{\alpha\beta}^p)$ 是非线性函数, $F_{\lim}(P_{\alpha\beta}^p)$ 表示如式(2):

$$F_{\lim}(P_{\alpha\beta}^p) = \begin{cases} \infty & |P_{\alpha\beta}^p(k+1) - P_{\alpha\beta}^*(k+1)| \geq \Delta P \\ 0 & |P_{\alpha\beta}^p(k+1) - P_{\alpha\beta}^*(k+1)| < \Delta P \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中, ΔP 是指允许定子有功功率 $k+1$ 时刻相对于其参考值上下波动, $P_{\alpha\beta}^*(k+1)$ 为定子有功功率 $k+1$ 时刻的参考值, $P_{\alpha\beta}^p(k+1)$ 为定子有功功率 $k+1$ 时刻的预测值;

S3、将传统分层控制目标函数中的非线性函数 $F_{\lim}(P_{\alpha\beta}^p)$ 改进为 $f_{\lim}(P_{\alpha\beta}^p)$, $f_{\lim}(P_{\alpha\beta}^p)$ 表示为式(3):

$$f_{\lim}(P_{\alpha\beta}^p) = \begin{cases} \infty & \left| \frac{P_{\alpha\beta}^p(k+1) - P_{\alpha\beta}^*(k+1)}{P_{\alpha\beta}^*(k+1)} \right| \geq \delta \\ 0 & \left| \frac{P_{\alpha\beta}^p(k+1) - P_{\alpha\beta}^*(k+1)}{P_{\alpha\beta}^*(k+1)} \right| < \delta \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中, δ 是允许定子有功功率 $k+1$ 时刻相对其参考值的预测误差范围; $P_{\alpha\beta}^p(k+1)$ 为定子有功功率 $k+1$ 时刻的预测值; $P_{\alpha\beta}^*(k+1)$ 为定子有功功率 $k+1$ 时刻的参考值;根据 $f_{\lim}(P_{\alpha\beta}^p)$ 重新构造包括转子电流和定子有功功率在内的目标函数g,重新构造的目标函数g表示为式(4):

$$g = \left| i_{r\alpha\beta}^*(k+1) - i_{r\alpha\beta}^p(k+1) \right| + f_{\lim}(P_{\alpha\beta}^p) \quad (4)$$

式(4)中, $i_{r\alpha\beta}^*(k+1)$ 表示在两相静止 $\alpha\beta$ 坐标系下的转子电流矢量在 $k+1$ 时刻的参考值;
 $i_{r\alpha\beta}^p(k+1)$ 表示在两相静止 $\alpha\beta$ 坐标系下的转子电流矢量在 $k+1$ 时刻的预测值;

S4、根据电机动态反馈的效果,控制系统根据逆变器的7种开关状态所对应的7个定子有功功率预测值的预测误差范围,动态切换目标函数中定子有功功率的权重系数;同时根据定子有功功率参考值的变化情况调整控制力度,使转子电流和定子有功功率的控制精度保持稳定。

2. 根据权利要求1所述的一种DFIG多目标优化控制目标函数的设计方法,其特征在于,步骤S4中,定子有功功率预测值允许的预测误差范围表达为式(5):

$$\left| \frac{P_{\alpha\beta}^p(k+1) - P_{\alpha\beta}^*(k+1)}{P_{\alpha\beta}^*(k+1)} \right| < \delta \quad (5)$$

式(5)中, δ 是允许定子有功功率 $k+1$ 时刻相对其参考值的预测误差范围。

3. 根据权利要求1所述的一种DFIG多目标优化控制目标函数的设计方法,其特征在于,步骤S4中,动态切换目标函数中定子有功功率的权重系数方法为:当7个定子有功功率预测值均在预测误差范围内时,系统只对转子电流进行控制,此时定子有功功率的权重系数为0;当7个定子有功功率预测值均超过预测误差范围时,系统只对定子有功功率进行控制,此时定子有功功率的权重系数为正无穷大;当7个定子有功功率预测值中的部分超过预测误差范围,部分在预测误差范围内时,系统从未超过预测误差范围的开关状态中选择一个使转子电流和定子有功功率总体误差最小的开关状态,此时定子有功功率的权重系数为0,但其优先受到控制。

4. 根据权利要求1所述的一种DFIG多目标优化控制目标函数的设计方法,其特征在于,步骤S4中,系统根据定子有功功率参考值的变化情况调整控制力度的方法为:当定子有功功率参考值降低时,对定子有功功率的控制力度升高;当定子有功功率参考值升高时,对定子有功功率的控制力度降低。

5. 根据权利要求1-4任一项所述的一种DFIG多目标优化控制目标函数的设计方法,其特征在于,被控对象还可替换为定子无功功率和定子电流。

一种DFIG多目标优化控制目标函数的设计方法

技术领域

[0001] 本发明属于不平衡电网电压下双馈风力发电机的控制技术领域,涉及双馈风力发电机的有限集模型预测控制技术,具体为一种DFIG多目标优化控制目标函数的设计方法。

背景技术

[0002] 近年来,随着大气污染,温室效应等环境问题的出现,人们逐渐意识到清洁能源代替化石能源的重要性。在各种新能源中,风能是一种重要的能源形式,现如今的电气时代,我们将风能转化为电能服务于人类的生产和生活。双馈风力发电机因其宽广的转速运行范围,所需励磁变换器容量小等优点,成为风力发电的主流机型。

[0003] 实际电网发生不对称故障的概率较大,为增强系统稳定运行的能力且保障电网的安全,需要双馈风力发电机具备一定的不对称故障穿越能力。因此,电网电压不对称条件下双馈风力发电机的运行能力控制成为国际风电技术发展的主要动向之一。

[0004] 模型预测控制可以通过一个统一的目标函数将所有的控制目标和约束条件集中进行优化,从而便利地控制多个不同物理尺度的控制目标,而不需要大幅改变控制结构。但是模型预测控制需要给每一个控制目标设计一个合理的权重系数,如果系数不合理,会导致各个目标无法实现协调控制。目前,研究人员多是基于经验主义,通过多次尝试来获得较优的权重系数组合,时间成本较高且不一定是最优组合。对于权重系数的设计问题,现有的文献和研究主要集中在优化算法或者改变目标函数结构来避免权重系数的设计。但是,这些方法也暴露出了大量的缺点,优化算法的设计方法实施起来比较耗时,而且会大大加重计算负担。改变目标函数结构的设计方法可能会使目标函数复杂化,无法应用于其他控制目标,缺乏普适性。

[0005] 综上所述,现有的权重系数设计方案不能根据用户自定义的准则进行明确的选择,避免权重系数的设计方案不够灵活,没有解决根本问题。

发明内容

[0006] 本发明旨在解决传统分层控制策略中,因被控对象参考值变化而导致的控制侧重点严重偏移,使某个被控对象控制效果恶化的技术问题,提供了一种DFIG多目标优化控制目标函数的设计方法。所述方法在电网电压不平衡条件下,能够实现对双馈风力发电机多个目标的协调控制,且可以在被控对象参考值变化较大的情况下自动调节控制力度,保持各目标控制精度稳定。

[0007] 本发明解决其技术问题采用的技术手段是:一种DFIG多目标优化控制目标函数的设计方法,包括以下步骤:

[0008] S1、选择转子电流,定子有功功率为被控对象;

[0009] S2、基于有限集模型预测控制,给出传统分层控制目标函数G如式(1):

$$[0010] \quad G = \left| i_{r\alpha\beta}^*(k+1) - i_{r\alpha\beta}^p(k+1) \right| + F_{\lim}(p_{\alpha\beta}^p) \quad (1)$$

[0011] 式(1)中, $i_{r\alpha\beta}^*(k+1)$ 表示在两相静止 $\alpha\beta$ 坐标系下的转子电流矢量在 $k+1$ 时刻的参考值; $i_{r\alpha\beta}^p(k+1)$ 表示在两相静止 $\alpha\beta$ 坐标系下的转子电流矢量在 $k+1$ 时刻的预测值; $F_{\text{lim}}(P_{\alpha\beta}^p)$ 是非线性函数,表示如式(2):

$$[0012] \quad F_{\text{lim}}(P_{\alpha\beta}^p) = \begin{cases} \infty & |P_{\alpha\beta}^p(k+1) - P_{\alpha\beta}^*(k+1)| \geq \Delta p \\ 0 & |P_{\alpha\beta}^p(k+1) - P_{\alpha\beta}^*(k+1)| < \Delta p \end{cases} \quad (2)$$

[0013] 式(2)中, Δp 是指允许定子有功功率 $k+1$ 时刻相对于其参考值上下波动 Δp , $P_{\alpha\beta}^*(k+1)$ 为定子有功功率 $k+1$ 时刻的参考值, $P_{\alpha\beta}^p(k+1)$ 为定子有功功率 $k+1$ 时刻的预测值;

[0014] S3、将传统分层控制目标函数中的非线性函数 $F_{\text{lim}}(P_{\alpha\beta}^p)$ 改进为 $f_{\text{lim}}(P_{\alpha\beta}^p)$, $f_{\text{lim}}(P_{\alpha\beta}^p)$ 表示为式(3):

$$[0015] \quad f_{\text{lim}}(P_{\alpha\beta}^p) = \begin{cases} \infty & \left| \frac{P_{\alpha\beta}^p(k+1) - P_{\alpha\beta}^*(k+1)}{P_{\alpha\beta}^*(k+1)} \right| \geq \delta \\ 0 & \left| \frac{P_{\alpha\beta}^p(k+1) - P_{\alpha\beta}^*(k+1)}{P_{\alpha\beta}^*(k+1)} \right| < \delta \end{cases} \quad (3)$$

[0016] 式(3)中, δ 是允许定子有功功率 $k+1$ 时刻相对其参考值的预测误差范围; $P_{\alpha\beta}^p(k+1)$ 为定子有功功率 $k+1$ 时刻的预测值; $P_{\alpha\beta}^*(k+1)$ 为定子有功功率 $k+1$ 时刻的参考值;根据

[0017] $f_{\text{lim}}(P_{\alpha\beta}^p)$ 重新构造包括转子电流和定子有功功率在内的目标函数 g ,重新构造的目标函数 g 表示为式(4):

$$[0018] \quad g = |i_{r\alpha\beta}^*(k+1) - i_{r\alpha\beta}^p(k+1)| + f_{\text{lim}}(P_{\alpha\beta}^p) \quad (4)$$

[0019] 式(4)中, $i_{r\alpha\beta}^*(k+1)$ 表示在两相静止 $\alpha\beta$ 坐标系下的转子电流矢量在 $k+1$ 时刻的参考值; $i_{r\alpha\beta}^p(k+1)$ 表示在两相静止 $\alpha\beta$ 坐标系下的转子电流矢量在 $k+1$ 时刻的预测值;

[0020] S4、根据电机动态反馈的效果,控制系统根据逆变器的7种开关状态所对应的7个定子有功功率预测值的预测误差范围,动态切换目标函数中定子有功功率的权重系数;同时根据定子有功功率参考值的变化情况调整控制力度,使转子电流和定子有功功率的控制精度保持稳定。

[0021] 本发明所述方法在电网电压不平衡条件下,能够实现对双馈风力发电机多个目标的协调控制,且可以在被控对象参考值变化较大的情况下自动调节控制力度,保持各目标控制精度稳定,能够根据用户自定义的准则进行明确的选择,权重系数的设计十分灵活。

[0022] 优选的,步骤S4中,定子有功功率预测值允许的预测误差范围表达为式(5):

$$[0023] \quad \left| \frac{P_{\alpha\beta}^p(k+1) - P_{\alpha\beta}^*(k+1)}{P_{\alpha\beta}^*(k+1)} \right| < \delta \quad (5)$$

[0024] 式(5)中, δ 是允许定子有功功率 $k+1$ 时刻相对其参考值的预测误差范围。采用相对于定子有功功率的相对误差作为控制标准,可以根据定子有功功率参考值的变化情况自动调节控制力度,以保证转子电流和定子有功功率控制精度保持稳定。

[0025] 优选的,步骤S4中,动态切换目标函数中定子有功功率的权重系数方法为:当7个定子有功功率预测值均在预测误差范围内时,系统只对转子电流进行控制,此时定子有功功率的权重系数为0;当7个定子有功功率预测值均超过预测误差范围时,系统只对定子有功功率进行控制,此时定子有功功率的权重系数为正无穷大;当7个定子有功功率预测值中的部分超过预测误差范围,部分在预测误差范围内时,系统从未超过预测误差范围的开关状态中选择一个使转子电流和定子有功功率总体误差最小的开关状态,此时定子有功功率的权重系数为0,但其优先受到控制。这样,用户可以根据被控对象的重要程度,对控制精度自行定义。

[0026] 优选的,步骤S4中,系统根据定子有功功率参考值的变化情况调整控制力度的方法为:当定子有功功率参考值降低时,对定子有功功率的控制力度升高,以防止定子有功功率的控制效果恶化;当定子有功功率参考值升高时,对定子有功功率的控制力度降低,以防止转子电流的控制效果恶化。这样,控制系统的整体控制效果更加协调,各个被控对象的控制精度保持稳定,不会出现控制效果失衡的现象。

[0027] 本发明的有益效果是:采用改进的分层控制思想,在参考值发生变化时,控制系统自动调节控制力度以保证控制精度不发生改变,使被控对象的控制精度可以在用户自定义的误差范围之内;本发明综合考虑了优化控制算法和提高协调控制能力两方面内容;通过在两相静止 $\alpha\beta$ 坐标系建立系统模型,简化了控制结构;通过用户自定义设置被控对象的误差范围,避免了重要程度较高的控制目标因权重系数设计不合理而控制效果变差的缺陷;目标函数的设计方法可实现多目标协调控制,增强了双馈风力发电机穿越不对称故障的能力。

附图说明

- [0028] 图1为本发明的改进分层控制策略非线性项的设计流程图。
- [0029] 图2为本发明中改进的目标函数进行多目标控制的控制逻辑流程图。
- [0030] 图3为传统分层控制策略下定子有功功率的仿真波形(有功功率参考值降低)。
- [0031] 图4为改进分层控制策略下定子有功功率的仿真波形(有功功率参考值降低)。
- [0032] 图5为传统分层控制策略下转子A相电流仿真波形(有功功率参考值降低)。
- [0033] 图6为改进分层控制策略下转子A相电流仿真波形(有功功率参考值降低)。
- [0034] 图7为传统分层控制策略下定子有功功率的仿真波形(有功功率参考值升高)。
- [0035] 图8为改进分层控制策略下定子有功功率的仿真波形(有功功率参考值升高)。
- [0036] 图9为传统分层控制策略下转子A相电流仿真波形(有功功率参考值升高)。
- [0037] 图10为改进分层控制策略下转子A相电流仿真波形(有功功率参考值升高)。

具体实施方式

[0038] 参照图1至图10,对本发明所述的一种DFIG多目标优化控制目标函数的设计方法进行详细说明。

[0039] 一种DFIG多目标优化控制目标函数的设计方法,如图1和图2所示,包括以下步骤:

[0040] S1、选择转子电流和定子有功功率为被控对象;

[0041] S2、基于有限集模型预测控制,给出传统分层控制目标函数G如式(1):

$$[0042] \quad G = \left| i_{ra\beta}^*(k+1) - i_{ra\beta}^p(k+1) \right| + F_{\lim}(P_{\alpha\beta}^p) \quad (1)$$

[0043] 式(1)中, $i_{ra\beta}^*(k+1)$ 表示在两相静止 $\alpha\beta$ 坐标系下的转子电流矢量在 $k+1$ 时刻的参考值; $i_{ra\beta}^p(k+1)$ 表示在两相静止 $\alpha\beta$ 坐标系下的转子电流矢量在 $k+1$ 时刻的预测值; $F_{\lim}(P_{\alpha\beta}^p)$ 是非线性函数,表示如式(2):

$$[0044] \quad F_{\lim}(P_{\alpha\beta}^p) = \begin{cases} \infty & |p_{\alpha\beta}^p(k+1) - p_{\alpha\beta}^*(k+1)| \geq \Delta p \\ 0 & |p_{\alpha\beta}^p(k+1) - p_{\alpha\beta}^*(k+1)| < \Delta p \end{cases} \quad (2)$$

[0045] 式(2)中, $\Delta p=90$,是指允许定子有功功率预测值在 $k+1$ 时刻相对其参考值上下波动90W, $p_{\alpha\beta}^*(k+1)$ 为定子有功功率在 $k+1$ 时刻的参考值, $p_{\alpha\beta}^p(k+1)$ 为定子有功功率在 $k+1$ 时刻的预测值;

[0046] 要求定子有功功率的控制误差在其参考值上下7%的范围内波动;

[0047] S3、则将传统分层控制目标函数中的非线性函数 $F_{\lim}(P_{\alpha\beta}^p)$ 改进为 $f_{\lim}(P_{\alpha\beta}^p)$, $f_{\lim}(P_{\alpha\beta}^p)$ 表示为式(3):

$$[0048] \quad f_{\lim}(P_{\alpha\beta}^p) = \begin{cases} \infty & \left| \frac{P_{\alpha\beta}^p(k+1) - P_{\alpha\beta}^*(k+1)}{P_{\alpha\beta}^*(k+1)} \right| \geq 7\% \\ 0 & \left| \frac{P_{\alpha\beta}^p(k+1) - P_{\alpha\beta}^*(k+1)}{P_{\alpha\beta}^*(k+1)} \right| < 7\% \end{cases} \quad (3)$$

[0049] 式(3)中, $\delta=7\%$,是允许定子有功功率预测值在 $k+1$ 时刻相对其参考值的预测误差范围, $P_{\alpha\beta}^p(k+1)$ 为定子有功功率在 $k+1$ 时刻的预测值, $P_{\alpha\beta}^*(k+1)$ 为定子有功功率在 $k+1$ 时刻的参考值;根据 $f_{\lim}(P_{\alpha\beta}^p)$ 重新构造包括转子电流和定子有功功率在内的目标函数 g ,重新构造的目标函数 g 表示为式(4):

$$[0050] \quad g = \left| i_{ra\beta}^*(k+1) - i_{ra\beta}^p(k+1) \right| + f_{\lim}(P_{\alpha\beta}^p) \quad (4)$$

[0051] 式(4)中, $i_{ra\beta}^*(k+1)$ 表示在两相静止 $\alpha\beta$ 坐标系下的转子电流矢量在 $k+1$ 时刻的参考值, $i_{ra\beta}^p(k+1)$ 表示在两相静止 $\alpha\beta$ 坐标系下的转子电流矢量在 $k+1$ 时刻的预测值;

[0052] S4、如图2所示,根据电机动态反馈的效果,控制系统根据逆变器的7种开关状态所对应的7个定子有功功率预测值的预测误差范围,动态切换目标函数中定子有功功率的权重系数,其中定子有功功率预测值允许的预测误差范围表达为式(5):

$$[0053] \quad \left| \frac{P_{\alpha\beta}^p(k+1) - P_{\alpha\beta}^*(k+1)}{P_{\alpha\beta}^*(k+1)} \right| < \delta \quad (5)$$

[0054] 式(5)中, δ 是允许定子有功功率预测值在 $k+1$ 时刻相对其参考值的误差范围,本实施例中,取 $\delta=7\%$,采用相对于定子有功功率参考值的相对误差作为控制标准,可以根据定子有功功率参考值的变化情况自动调节控制力度,以保证转子电流和定子有功功率控制精度保持稳定;具体的,动态切换目标函数中定子有功功率的权重系数方法为:当7个定子有功功率预测值均在预测误差范围7%内时,系统只对转子电流进行控制,此时定子有功功率

的权重系数为0;当7个定子有功功率预测值均超过预测误差范围7%时,系统只对定子有功功率进行控制,此时定子有功功率的权重系数为正无穷大;当7个定子有功功率预测值中的部分超过预测误差范围7%,部分在预测误差范围7%内时,系统从未超过预测误差范围的开关状态中选择一个使转子电流和定子有功功率总体控制误差最小的开关状态,此时定子有功功率的权重系数为0,但其优先受到控制;同时根据定子有功功率参考值的变化情况调整控制力度,使转子电流和定子有功功率的控制精度保持稳定;其中系统根据有功功率参考值的变化情况调整控制力度的方法为:当定子有功功率参考值降低时,对定子有功功率的控制力度升高,以防止定子有功功率的控制效果恶化;当定子有功功率参考值升高时,对定子有功功率的控制力度降低,以防止转子电流的控制效果恶化。

[0055] 进一步的,作为本发明所述的一种DFIG多目标优化控制目标函数的设计方法的一种具体实施方式,被控对象还可替换为定子无功功率和定子电流。

[0056] 实施例1:A相电网电压在 $t=0.35\text{s}$ 时单独降低至 0.8pu 。

[0057] 如图3和图4所示,在 $t=0\text{s}$ 到 $t=0.55\text{s}$,定子有功功率参考值为 1147W ,两种控制策略下定子有功功率波动范围为 1015W — 1210W ,定子有功功率控制精度均为 8.5% 。如图5和图6所示,两种控制策略下转子电流THD分别为 2.37% 和 2.31% ,此时两种控制策略的控制精度基本相同。

[0058] 当 $t=0.55\text{s}$ 时,定子有功功率参考值突变为 734W 。如图3所示,传统分层控制策略下定子有功功率波动范围为 570W — 800W ,定子有功功率控制精度为 15.67% 。如图4所示,改进分层控制策略下定子有功功率波动范围为 600W — 750W ,定子有功功率控制精度为 10.22% 。如图5和图6所示,两种控制策略下转子电流THD分别为 0.91% 和 2.62% 。可以看出,当定子有功功率参考值降低时,改进分层控制策略下定子有功功率和转子电流控制精度基本不变,而传统分层控制策略下控制侧重点发生严重偏移。

[0059] 结合图2至图6可以看出,在降低定子有功功率参考值后,传统分层控制策略下转子电流几乎无畸变,造成定子有功功率控制精度过低,转子电流控制精度过高的后果。而此时改进的分层控制策略在功率参考值降低前后定子有功功率和转子电流控制精度无过大变化,有更好的协调控制能力。

[0060] 实施例2:A相电网电压在 $t=0.25\text{s}$ 时单独降低至 0.8pu 。

[0061] 如图7和图8所示,在 $t=0\text{s}$ 到 $t=0.4\text{s}$,定子有功功率参考值为 734W ,两种控制策略下定子有功功率波动范围为 623W — 788W ,定子有功功率控制精度均为 11.24% 。如图9和图10所示,两种控制策略下转子电流THD分别为 2.69% 和 2.82% 。

[0062] 当 $t=0.4\text{s}$ 时,定子有功功率参考值突变为 1473W 。如图7所示,传统分层控制策略下定子有功功率波动范围为 1300W — 1520W ,定子有功功率控制精度为 7.45% 。如图8所示,改进分层控制策略下定子有功功率波动范围为 1270W — 1590W ,定子有功功率控制精度为 10.86% 。如图9和图10所示,两种控制策略下转子电流THD分别为 4.38% 和 2.68% 。可以看出,当定子有功功率参考值升高时,改进分层控制策略下定子有功功率和转子电流控制精度基本不变,而传统分层控制策略下控制侧重点发生严重偏移。

[0063] 结合图7至图10可以看出,在升高有功功率参考值后,传统分层控制策略下有功功率控制精度过高,转子电流控制精度过低。而此时改进的分层控制策略在功率参考值升高前后定子有功功率和转子电流控制精度无过大变化,有更好的协调控制能力。

[0064] 以上具体结构是对本发明的较佳实施例进行了具体说明,但本发明创造并不限于所述实施例,熟悉本领域的技术人员在不违背本发明精神的前提下还可做出种种的等同变形或者替换,这些等同的变形或替换均包含在本申请权利要求所限定的范围内。

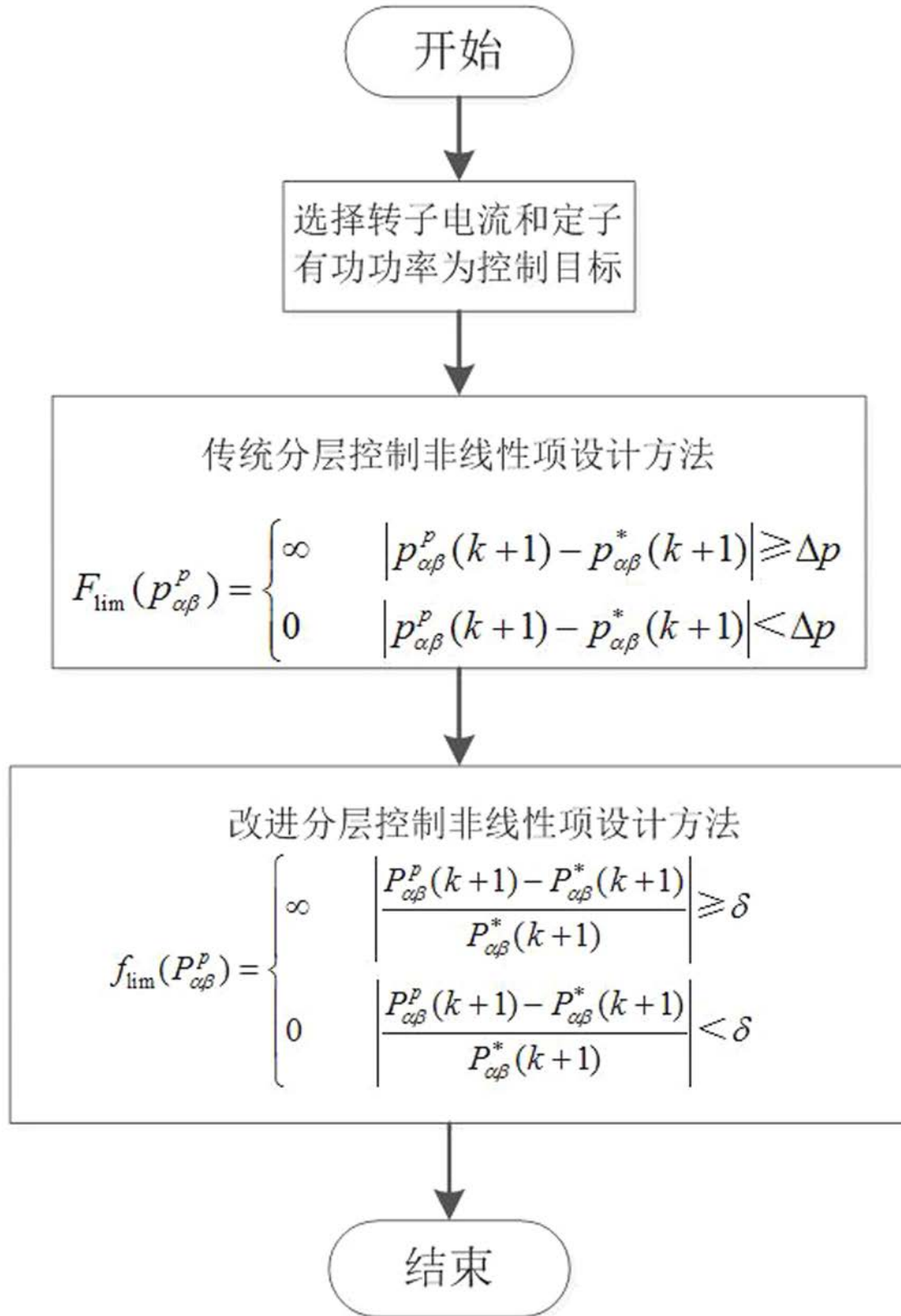


图1

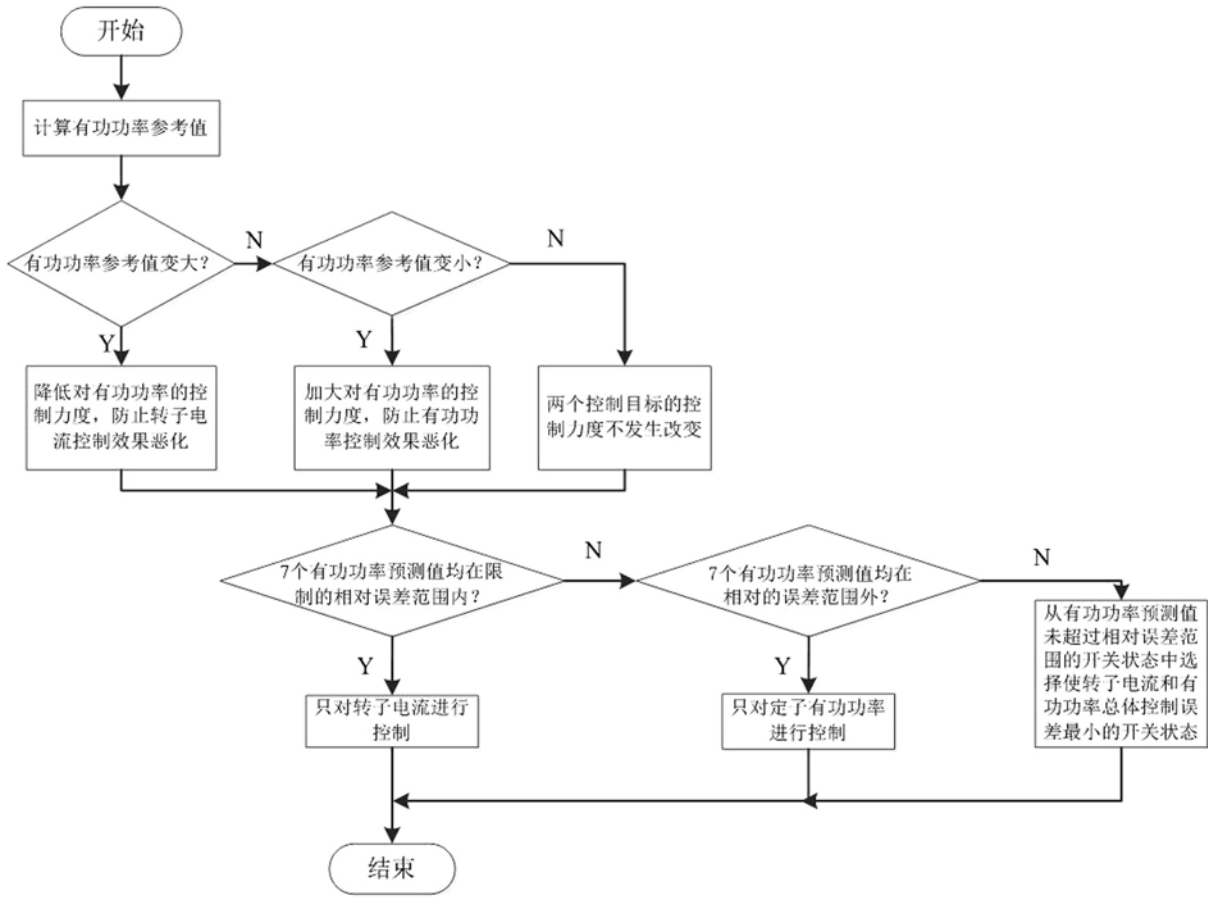


图2

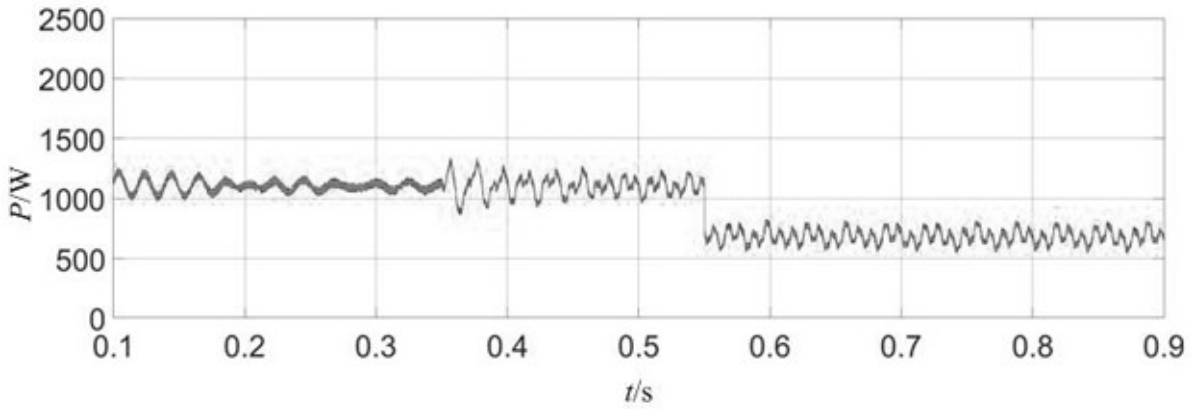


图3

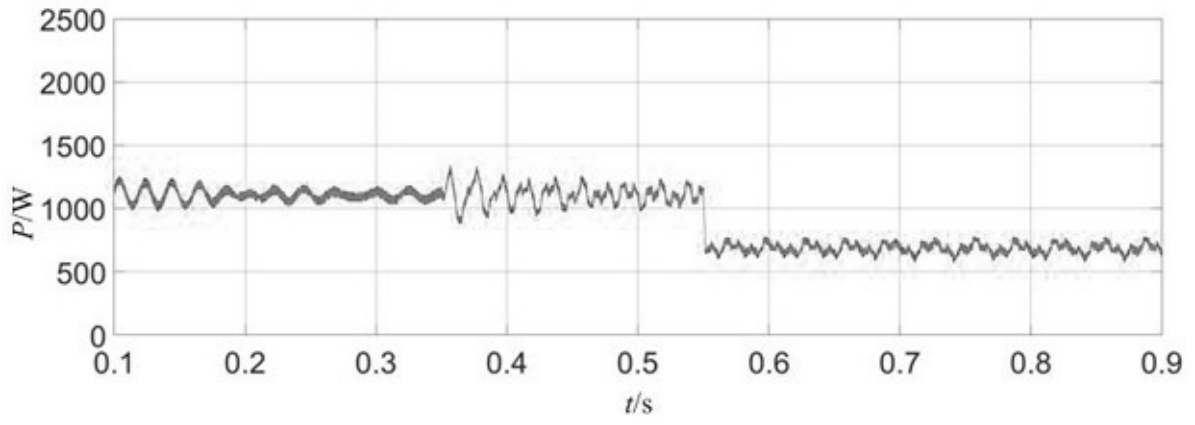


图4

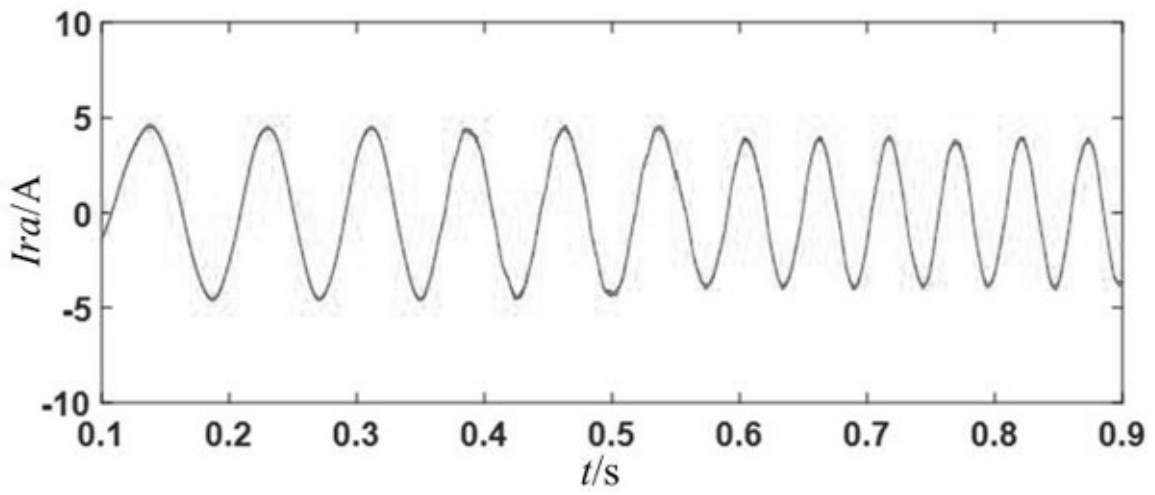


图5

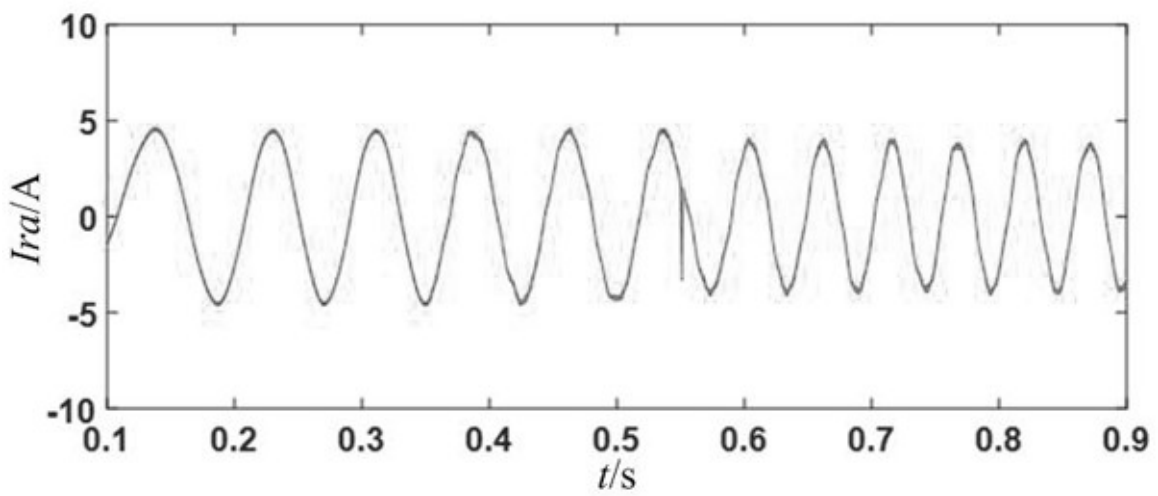


图6

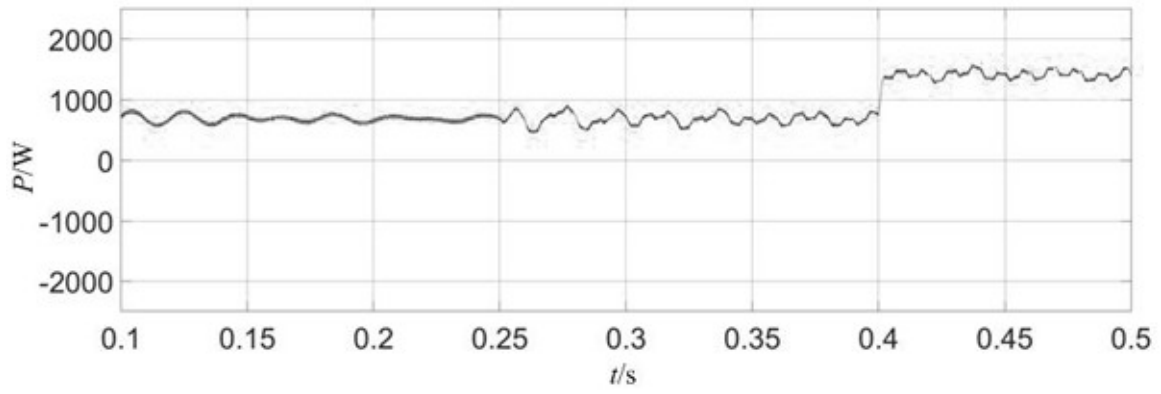


图7

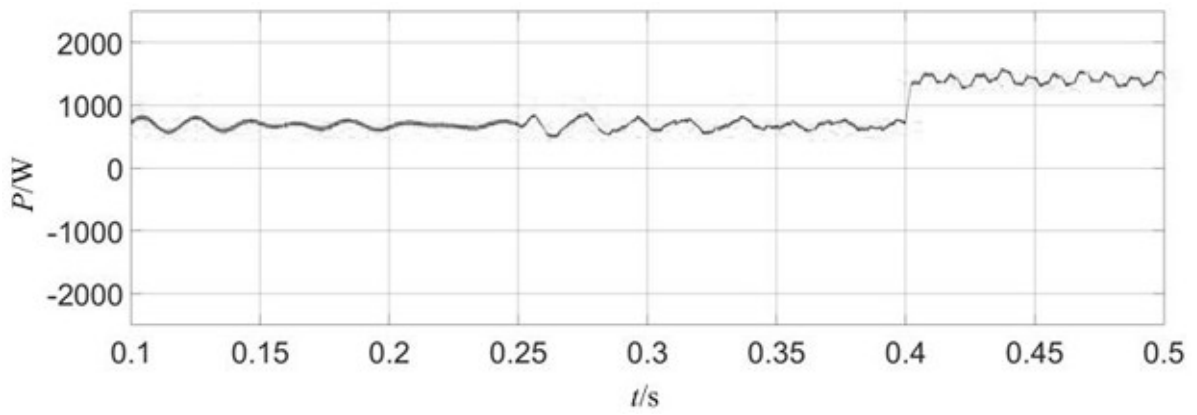


图8

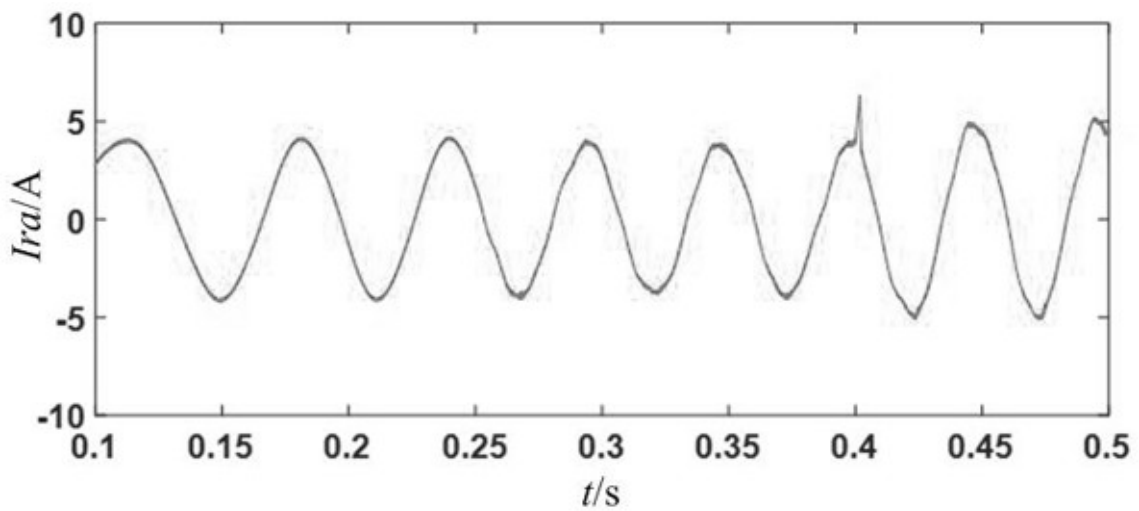


图9

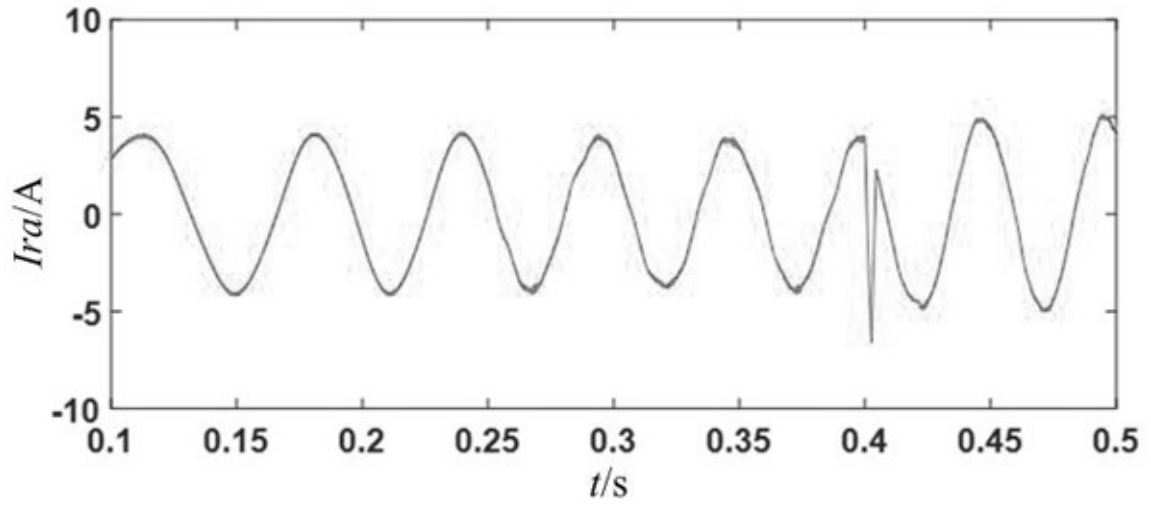


图10