



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112350586 B

(45) 授权公告日 2023. 07. 11

(21) 申请号 202011394666.1

G06N 3/006 (2023.01)

(22) 申请日 2020.12.03

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112350586 A

CN 105591549 A, 2016.05.18

CN 107612409 A, 2018.01.19

CN 107769595 A, 2018.03.06

(43) 申请公布日 2021.02.09

CN 109638876 A, 2019.04.16

CN 110957726 A, 2020.04.03

(73) 专利权人 郑州铁路职业技术学院
地址 450000 河南省郑州市郑东新区鹏程
大道56号

US 2020328709 A1, 2020.10.15

WO 2020089739 A1, 2020.05.07

(72) 发明人 张少辉 易楠 王英杰 吴甜甜
索利巧 杨青

审查员 邹羽施

(74) 专利代理机构 郑州华智星知识产权代理事
务所(普通合伙) 41145
专利代理师 刘迪

(51) Int. Cl.

H02M 5/00 (2006.01)

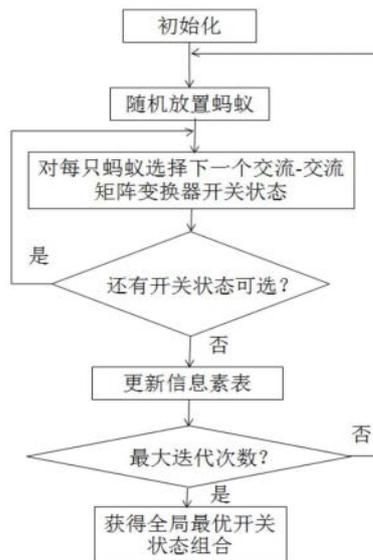
权利要求书3页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于蚁群算法的交流-交流矩阵变换器功率控制方法、系统、介质和装置

(57) 摘要

一种基于蚁群算法的交流-交流矩阵变换器功率控制方法、系统、介质和装置。现有交流-交流矩阵变换器的功率控制方法无法快速获得全局最优解,本发明将适于发现全局最优组合方式的蚁群算法应用于矩阵变换器的功率预测最小误差的计算中,实现了矩阵变换器功率预测最小误差的快速计算,并保证该功率预测最小误差的计算为全局最优解,能够获得矩阵变换器最优开关状态组合,最终实现了对矩阵变换器的实时精确控制。



1. 一种基于蚁群算法的交流-交流矩阵变换器功率控制方法,其特征在于,

步骤1:依据交流-交流矩阵变换器的开关数量初始化蚁群算法,并将蚂蚁放置在不同的开关状态上;

步骤2:蚂蚁每完成一次遍历,全局最优开关状态组合模块需要计算交流-交流矩阵变换器预测功率误差;

步骤3:最大迭代次数完成后依据获得的交流-交流矩阵变换器全局预测功率最小误差,得到当前交流-交流矩阵变换器的最优开关状态组合;

步骤4:依据步骤3获得的最优开关状态组合,调整交流-交流矩阵变换器;

步骤1具体为:

蚁群中蚂蚁数量为 m ,交流-交流矩阵变换器中的开关数为 n ,每个开关表示为 SW_1, SW_2, \dots, SW_n ,每个开关具有通和断两种状态,表达为 $SW_{1-1}/SW_{1-0}, SW_{2-1}/SW_{2-0}, \dots, SW_{n-1}/SW_{n-0}$,蚂蚁需要遍历 n 个开关、 $2n$ 种开关状态,最终找到 n 个开关通断情况的最优解;

步骤1还包括:

tc 时刻开关状态 i 与开关状态 j 连接路径上的信息素浓度为 $\tau_{ij}(tc)$;初始时刻,蚂蚁被放置在不同的开关状态上,且各开关状态连接路径上的信息素浓度相同,都为 $\tau_{ij}(tc) = \tau_0$;然后蚂蚁将按一定概率选择线路, $p_{ij}^q(tc)$ 表示 tc 时刻蚂蚁 q 从开关状态 i 转移到开关状态 j 的概率;

$$p_{ij}^q(tc) = \frac{[\tau_{ij}(tc)]^\mu \cdot [\varphi_{ij}(tc)]^\theta}{\sum_{s \in \text{allow}_{com}} [\tau_{ij}(tc)]^\mu \cdot [\varphi_{ij}(tc)]^\theta}$$

其中, $\varphi_{ij}(tc)$ 为启发函数,表示蚂蚁从开关状态 i 转移到开关状态 j 的期望程度,

$\varphi_{ij}(tc) = 1/d_{ij}$; allow_{com} 为蚂蚁待访问开关状态的集合,若开关状态 j 属于 allow_{com} ,则

$p_{ij}^q(tc) = \frac{[\tau_{ij}(tc)]^\mu \cdot [\varphi_{ij}(tc)]^\theta}{\sum_{s \in \text{allow}_{com}} [\tau_{ij}(tc)]^\mu \cdot [\varphi_{ij}(tc)]^\theta}$,若开关状态 j 不属于 allow_{com} ,则 $p_{ij}^q(tc) = 0$; μ 表示信息素重要程度因子,值越大表明信息素浓度在转移中作用越大; θ 为启发函数重要程度因子,其值越大表示启发函数在转移中作用越大;开关状态 i 到开关状态 j 之间的距离设为 d_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, 2n$),其中 d_{ij} 的计算方式为:

$$d_{ij} = \begin{cases} \infty, & j \text{ 与 } \overline{\text{allow}_{com}} \text{ 中某一开关状态为同一个开关的通断状态;} \\ \gamma, & j \text{ 与 } \overline{\text{allow}_{com}} \text{ 中任一开关状态均不是同一个开关的通断状态} \end{cases}$$

$\overline{\text{allow}_{com}}$ 是 allow_{com} 的取非运算,表示已经访问过的开关状态的集合, γ 为常量;

步骤2具体为:

步骤2.1:在矩阵变换器的输入端,采集相应的电压、电流,将其传递给全局最优开关状态组合模块;

步骤2.2:全局最优开关状态组合模块依据交流-交流矩阵变换器功率预测模型计算第 k 拍采样点的下一拍,即第 $k+1$ 拍矩阵变换器的输出功率;

步骤2.3:将交流-交流矩阵变换器第 $k+1$ 拍输出端的电压和电流传递给全局最优开关状态组合模块;

步骤2.4:全局最优开关状态组合模块计算交流-交流矩阵变换器输出端实际功率;

步骤2.5:全局最优开关状态组合模块依据步骤2.2和步骤2.4的计算结果计算交流-交流矩阵变换器预测功率误差;

步骤2还包括:

预测功率计算公式为: $P^{k+1} = u_{in_α}^k \cdot i_{in_α}^{k+1} + u_{in_β}^k \cdot i_{in_β}^{k+1}$,其中, $i_{in_α}^{k+1}$ 和 $i_{in_β}^{k+1}$ 为α_β坐标系下输入端第k+1拍电流预测值, $u_{in_α}^k$ 和 $u_{in_β}^k$ 为α_β坐标系下输入端第k拍采样电压值;交流-交流矩阵变换器输出端第k+1拍功率的计算公式为 $P_{out}^{k+1} = u_{out}^{k+1} \cdot i_{out_α}^{k+1} + u_{out_β}^{k+1} \cdot i_{out_β}^{k+1}$,其中, u_{out}^{k+1} 和 $u_{out_β}^{k+1}$ 为α_β坐标系下输入端第k+1拍电压值, $i_{out_α}^{k+1}$ 和 $i_{out_β}^{k+1}$ 为α_β坐标系下输入端第k+1拍电流值;

将交流-交流矩阵变换器第k+1拍时,输入端对矩阵变换器输出功率的预测值与矩阵变换器输出功率求差后再平方,可以获得交流-交流矩阵变换器功率预测误差方差err,即

$$err = |P^{k+1} - P_{out}^{k+1}|^2$$

2.根据权利要求1所述的方法,其特征还在于,初始时, $allow_{com}$ 中有 $2n-1$ 个元素,即除了蚂蚁q出发的开关状态之外的其他所有开关状态,随着时间推移, $allow_{com}$ 中的元素不断减少,直至为空,表示所有开关状态均访问完毕;在蚂蚁释放信息素的同时,各个开关状态连接路径上的信息素逐渐消失,当所有蚂蚁完成一次循环后,各个开关状态连接路径上的信息素浓度进行实时更新,具体为:

$$\begin{cases} \tau_{ij}(tc+1) = (1-\varepsilon)\tau_{ij}(tc) + \Delta\tau_{ij} \\ \Delta\tau_{ij} = \sum_{q=1}^{2n} \tau_{ij}^q \end{cases}$$

式中, τ_{ij}^q 为第q只蚂蚁在开关状态i与开关状态j连接路径上释放信息素浓度; $\Delta\tau_{ij}$ 为所有蚂蚁在开关状态i与开关状态j连接路径上释放信息素浓度之和;参数ε表示信息素挥发程度, $0 < \varepsilon < 1$; $\Delta\tau_{ij} = \begin{cases} Q/L_q, & \text{第 } q \text{ 只蚂蚁从开关状态 } i \text{ 到开关状态 } j \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$,其中Q为常数,取值为

[20,2000],表示蚂蚁循环一次所释放的信息素总量, L_q 为第q只蚂蚁经过的路径长度,以节点个数表示。

3.根据权利要求1所述的方法,步骤3具体为:设定目标函数为 $\min(err)$,err表示交流-交流矩阵变换器功率预测误差方差,求解预测功率误差的最小值,依据获得的预测功率误差最小值,选出最优开关状态组合。

4.一种基于蚁群算法的交流-交流矩阵变换器功率控制系统,该系统能够实现权利要求1-3任一项所述的基于蚁群算法的交流-交流矩阵变换器功率控制方法。

5.一种存储介质,该存储介质上存储有计算机程序,能够实现权利要求1-3任一项所述的基于蚁群算法的交流-交流矩阵变换器功率控制方法。

6.一种基于蚁群算法的交流-交流矩阵变换器功率控制装置,包括输入参数模块、交流-交流矩阵变换器、全局最优开关状态组合模块,该装置能够实现权利要求1-3任一项所

述的基于蚁群算法的交流-交流矩阵变换器功率控制方法。

一种基于蚁群算法的交流-交流矩阵变换器功率控制方法、系统、介质和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及交流-交流矩阵变换器的功率控制领域。

背景技术

[0002] 随着电力电子技术的发展,对电能转换的高效性的追求日益迫切。对矩阵变换器功率进行预测有各种好处。过去几十年,交流-交流矩阵变换器由于其独特的特征:输入功率因数可控、输入电流谐波小、高功率密度、能量双向流动等,已经得到了巨大的发展。

[0003] 由于交流-交流矩阵变换器没有直流储能元件,所以外部干扰对变换器的影响非常突出。因此,有必要寻求一种原理简单、性能优良,可提升矩阵变换器抗扰性能的控制方法、系统和装置,以确保其安全稳定运行。

[0004] 通常利用采集的电压电流,以及变换器离散数学模型,循环计算预测功率误差,通过寻找最小预测功率误差,选出最优矢量,实现变换器的预测控制。由于采集电压电流信息有时间延迟,预测结果受到影响,采样周期缩短有利于预测精度提升,但是对芯片计算能力有较高要求,因此,现有技术中采用粒子群优化方法来计算矩阵变换器的功率预测值,虽然这种方法减轻了芯片计算负担,但不能保证找到最优解。

[0005] 本发明将蚁群算法引入到矩阵变换器功率预测误差的计算中,能够确保找到最优解。通过本发明提出的基于蚁群算法的矩阵变换器功率预测控制方法、系统和装置,将能快速找到全局最小预测功率误差,获得全局最优矢量,实现快速、精确的交流-交流矩阵变换器功率控制。

发明内容

[0006] 本发明要解决的问题是,提供一种基于蚁群算法的交流-交流矩阵变换器功率控制方法、系统、介质、装置。

[0007] 本发明一方面提供一种基于蚁群算法的交流-交流矩阵变换器功率控制方法,其特征在于,步骤1:依据交流-交流矩阵变换器的开关数量初始化蚁群算法,并将蚂蚁放置在不同的开关状态上;步骤2:蚂蚁每完成一次遍历,全局最优开关状态组合模块需要计算交流-交流矩阵变换器预测功率误差;步骤3:最大迭代次数完成后依据获得的交流-交流矩阵变换器全局预测功率最小误差,得到当前交流-交流矩阵变换器的最优开关状态组合;步骤4:依据步骤3获得的最优开关状态组合,调整交流-交流矩阵变换器。

[0008] 步骤1具体为:蚁群中蚂蚁数量为 m ,将交流-交流矩阵变换器中的开关数设为 n ,每个开关表示为 SW_1, SW_2, \dots, SW_n ,每个开关具有通和断两种状态,表达为 $SW_{1-1}/SW_{1-0}, SW_{2-1}/SW_{2-0}, \dots, SW_{n-1}/SW_{n-0}$,蚂蚁需要遍历 n 个开关、 $2n$ 种开关状态,最终找到 n 个开关通断情况的最优解。

[0009] 本发明将 m 设为 $2n$ 的1.5倍,即 $m=3n$,开关状态 i 到开关状态 j 之间的距离设为 $d_{i,j}$ ($i, j=1, 2, \dots, 2n$),尤其是同一个开关的不同状态之间的距离设定为最大值,以此表达同

一个开关只能有一个状态,或通或断,优选的,同一个开关不同状态之间的距离设定为无穷大 ∞ 。

[0010] t_c 时刻开关状态 i 与开关状态 j 连接路径上的信息素浓度为 $\tau_{ij}(t_c)$ 。初始时刻,蚂蚁被放置在不同的开关状态上,且各开关状态连接路径上的信息素浓度相同,都为 $\tau_{ij}(t_c) = \tau_0$ 。然后蚂蚁将按一定概率选择线路, $p_{ij}^q(t_c)$ 表示 t_c 时刻蚂蚁 q 从开关状态 i 转移到开关状态 j 的概率。

$$[0011] \quad p_{ij}^q(t_c) = \frac{[\tau_{ij}(t_c)]^\mu \cdot [\varphi_{ij}(t_c)]^\theta}{\sum_{s \in \text{allow}_{\text{com}}} [\tau_{ij}(t_c)]^\mu \cdot [\varphi_{ij}(t_c)]^\theta}$$

[0012] 其中, $\varphi_{ij}(t_c)$ 为启发函数,表示蚂蚁从开关状态 i 转移到开关状态 j 的期望程度,

$\varphi_{ij}(t_c) = 1/d_{ij}$; $\text{allow}_{\text{com}}$ 为蚂蚁待访问开关状态的集合,若开关状态 j 属于 $\text{allow}_{\text{com}}$,则

$p_{ij}^q(t_c) = \frac{[\tau_{ij}(t_c)]^\mu \cdot [\varphi_{ij}(t_c)]^\theta}{\sum_{s \in \text{allow}_{\text{com}}} [\tau_{ij}(t_c)]^\mu \cdot [\varphi_{ij}(t_c)]^\theta}$,若开关状态 j 不属于 $\text{allow}_{\text{com}}$,则 $p_{ij}^q(t_c) = 0$; μ 表示信息

素重要程度因子,值越大表明信息素浓度在转移中作用越大; θ 为启发函数重要程度因子,其值越大表示启发函数在转移中作用越大,蚂蚁会较大概率转移到距离短的开关状态;其中 d_{ij} 的计算方式为:

$$[0013] \quad d_{ij} = \begin{cases} \infty, & j \text{ 与 } \overline{\text{allow}_{\text{com}}} \text{ 中某一开关状态为同一个开关的通断状态;} \\ \gamma, & j \text{ 与 } \overline{\text{allow}_{\text{com}}} \text{ 中任一开关状态均不是同一个开关的通断状态} \end{cases}$$

[0014] $\overline{\text{allow}_{\text{com}}}$ 是 $\text{allow}_{\text{com}}$ 的取非运算,表示已经访问过的开关状态的集合, γ 为常量;

[0015] 初始时, $\text{allow}_{\text{com}}$ 中有 $2n-1$ 个元素,即除了蚂蚁 q 出发的开关状态之外的其他所有开关状态,随着时间推移, $\text{allow}_{\text{com}}$ 中的元素不断减少,直至为空,表示所有开关状态均访问完毕。在蚂蚁释放信息素的同时,各个开关状态连接路径上的信息素逐渐消失,当所有蚂蚁完成一次循环后,各个开关状态连接路径上的信息素浓度进行实时更新,具体为:

$$[0016] \quad \begin{cases} \tau_{ij}(t_c + 1) = (1 - \varepsilon)\tau_{ij}(t_c) + \Delta\tau_{ij} \\ \Delta\tau_{ij} = \sum_{q=1}^{2n} \tau_{ij}^q \end{cases}$$

[0017] 式中, τ_{ij}^q 为第 q 只蚂蚁在开关状态 i 与开关状态 j 连接路径上释放信息素浓度; $\Delta\tau_{ij}$ 为所有蚂蚁在开关状态 i 与开关状态 j 连接路径上释放信息素浓度之和;参数 ε 表示信息

素挥发程度, $0 < \varepsilon < 1$; $\Delta\tau_{ij} = \begin{cases} Q/L_q, & \text{第 } q \text{ 只蚂蚁从开关状态到开关状态 } j \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$,其中 Q 为常数,

通常取值为 $[20, 2000]$,表示蚂蚁循环一次所释放的信息素总量, L_q 为第 q 只蚂蚁经过的路径长度,以节点个数表示。

[0018] 步骤2具体为:

[0019] 步骤2.1:在矩阵变换器的输入端,采集相应的电压、电流,将其传递给全局最优开关状态组合模块;步骤2.2:全局最优开关状态组合模块依据交流-交流矩阵变换器功率预

测模型计算第k拍采样点的下一拍,即第k+1拍矩阵变换器的输出功率;步骤2.3:将交流-交流矩阵变换器第k+1拍输出端的电压和电流传递给全局最优开关状态组合模块;步骤2.4:全局最优开关状态组合模块计算交流-交流矩阵变换器输出端实际功率;步骤2.5:全局最优开关状态组合模块依据步骤2.2和步骤2.4的计算结果计算交流-交流矩阵变换器预测功率误差。

[0020] 具体的,预测功率计算公式为: $P^{k+1} = u_{in_α}^k \cdot i_{in_α}^{k+1} + u_{in_β}^k \cdot i_{in_β}^{k+1}$,其中, $i_{in_α}^{k+1}$ 和 $i_{in_β}^{k+1}$ 为 $α_β$ 坐标系下输入端第k+1拍电流预测值, $u_{in_α}^k$ 和 $u_{in_β}^k$ 为 $α_β$ 坐标系下输入端第k拍采样电压值。

交流-交流矩阵变换器输出端第k+1拍功率的计算公式为 $P_{out}^{k+1} = u_{out}^{k+1} \cdot i_{out_α}^{k+1} + u_{out_β}^{k+1} \cdot i_{out_β}^{k+1}$,

其中, u_{out}^{k+1} 和 $u_{out_β}^{k+1}$ 为 $α_β$ 坐标系下输入端第k+1拍电压值, $i_{out_α}^{k+1}$ 和 $i_{out_β}^{k+1}$ 为 $α_β$ 坐标系下输入端第k+1拍电流值。

[0021] 将交流-交流矩阵变换器第k+1拍时,输入端对矩阵变换器输出功率的预测值与矩阵变换器输出功率求差后再平方,可以获得交流-交流矩阵变换器功率预测误差方差err,

即 $err = |P^{k+1} - P_{out}^{k+1}|^2$

[0022] 步骤3具体为:设定目标函数为 $\min(err)$,即求解预测功率误差的最小值,依据获得的预测功率误差最小值,选出最优开关状态组合。

[0023] 步骤4具体为:将最优开关状态组合传递给交流-交流矩阵变换器,控制其正常运行。

[0024] 本发明的另一方面是提供一种基于蚁群算法的交流-交流矩阵变换器功率控制系统,该系统能够实现本发明第一方面提供的基于蚁群算法的交流-交流矩阵变换器功率控制方法。

[0025] 本发明的另一方面是提供一种基于蚁群算法的交流-交流矩阵变换器功率控制的计算机该程序可以实现本发明第一方面提供的基于蚁群算法的交流-交流矩阵变换器功率控制方法。

[0026] 本发明的另一方面是提供一种存储介质,该存储介质上存储有执行本发明提出的实现蚁群算法的交流-交流矩阵变换器功率控制方法的计算机程序。

[0027] 本发明的另一方面是提供一种一种基于蚁群算法的交流-交流矩阵变换器功率控制装置,包括输入参数模块、交流-交流矩阵变换器、全局最优开关状态组合模块,可以实现本发明第一方面提供的基于蚁群算法的交流-交流矩阵变换器功率控制方法。

[0028] 有益效果:本发明将蚁群算法应用到矩阵变换器的预测控制中,能够在短时间内获得全局最优解,找到交流-交流矩阵变换器的最优开关状态组合,实现矩阵变换器功率预测的精确控制。

附图说明

[0029] 附图1:交流-交流矩阵变换器功率控制结构图

[0030] 附图2:交流-交流矩阵变换器的拓扑图

[0031] 附图3:基于蚁群算法的交流-交流矩阵变换器获得最优开关状态组合的计算流程图

[0032] 附图标记

[0033] U_a 、 U_b 、 U_c 为三输入电压， L_f 表示输入端等效电感， C_f 表示输入端等效电容； L 表示交流-交流矩阵变换器输出端等效电感， R 表示交流-交流矩阵变换器输出端等效电阻； S_{A1} 、 S_{A2} 、 S_{A3} 、 S_{B1} 、 S_{B2} 、 S_{B3} ... S_{P1} 、 S_{P2} 、 S_{P3} 均为交流-交流矩阵变换器的开关，每个开关由两个带有反向并联二极管的IGBT按照共射级连接组成。

具体实施方式

[0034] 下面结合实施例对本发明做进一步说明。

[0035] 交流-交流矩阵变换器若想更快更精准的实现功率控制，需要获得其内部开关状态的最优组合方式。

[0036] 依据本发明附图1所示，采集输入端采样拍时的电压、电流值，传递给全局最优开关状态组合模块，该模块计算采样拍下一拍输出端的预测功率；同时交流-交流矩阵变换器的输出端的前述下一拍输出端的电压和电流传递给全局最优开关状态组合模块，该模块计算输出端的实际功率；全局最优开关状态组合模块基于预测功率与实际功率，计算功率误差，通过求解最小功率误差，获得交流-交流矩阵变换器的最优开关状态组合，用该组合调整矩阵变换器的设置，实现矩阵变换器功率预测的精确控制。

[0037] 以 T 为离散周期，基于瞬时功率计算方式，交流-交流矩阵变换器的离散数学模型为：

$$[0038] \quad \begin{cases} u_{in}^{k+1} = e^{AT} u_{in}^k + (\int_0^T e^{A(T-t)} B dt) u_{out}^k \\ i_{out}^{k+1} = e^{AT} i_{out}^k + (\int_0^T e^{A(T-t)} B dt) i_{in}^k \end{cases} \quad \begin{cases} A = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{C} \\ -\frac{1}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \\ B = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{C} \\ \frac{1}{L} & 0 \end{bmatrix} \end{cases}$$

[0039] u_{in} 、 i_{in} 分别表示采样的输入电压、电流； u_{out} 、 i_{out} 分别表示输出电压和电流； L 为输出端等效电感， R 为输出端等效电阻， C 为输出端等效电容； T 为离散周期， t 为时间常数， k 表示第 k 拍采样。

[0040] 由于采样频率非常高，所以可以认为连续两次的输入端的电压近似相等， $u_{in}^{k+1} \approx u_{in}^k$ 。

预测功率计算公式为： $P^{k+1} = u_{in_\alpha}^k \cdot i_{in_\alpha}^{k+1} + u_{in_\beta}^k \cdot i_{in_\beta}^{k+1}$ ，其中， $i_{in_\alpha}^{k+1}$ 和 $i_{in_\beta}^{k+1}$ 为 α - β 坐标系下输入端第 $k+1$ 拍电流预测值， $u_{in_\alpha}^k$ 和 $u_{in_\beta}^k$ 为 α - β 坐标系下输入端第 k 拍采样电压值。交流-交流矩阵变换器输出端第 $k+1$ 拍功率的计算公式为 $P_{out}^{k+1} = u_{out}^{k+1} \cdot i_{out_\alpha}^{k+1} + u_{out_\beta}^{k+1} \cdot i_{out_\beta}^{k+1}$ ，其中， u_{out}^{k+1} 和 $u_{out_\beta}^{k+1}$ 为 α - β 坐标系下输入端第 $k+1$ 拍电压值， $i_{out_\alpha}^{k+1}$ 和 $i_{out_\beta}^{k+1}$ 为 α - β 坐标系下输入端第 $k+1$ 拍电流值。

[0041] 将交流-交流矩阵变换器第 $k+1$ 拍输入端对矩阵变换器输出功率的预测值与矩阵变换器输出功率求差后再平方，可以获得交流-交流矩阵变换器功率预测误差方差 err ，即 $err = |P^{k+1} - P_{out}^{k+1}|^2$ ，设定目标函数为 $\min(err)$ ，即求解预测功率最小误差值，并依据最小误差值获得最优开关状态组合，最后将最优开关状态组合传递给交流-交流矩阵变换器，控

制其正常运行。

[0042] 图2展示的是交流-交流矩阵变换器的拓扑图, U_a 、 U_b 、 U_c 为三输入电压, L_f 表示输入端等效电感, C_f 表示输入端等效电容; L 表示交流-交流矩阵变换器输出端等效电感, R 表示交流-交流矩阵变换器输出端等效电容; S_{A1} 、 S_{A2} 、 S_{A3} 、 S_{B1} 、 S_{B2} 、 S_{B3} ... S_{P1} 、 S_{P2} 、 S_{P3} 均为交流-交流矩阵变换器的开关, 每个开关由两个带有反向并联二极管的IGBT按照共射级连接组成。图2交流-交流矩阵变换器的开关状态组合共有 2^{3P} 种开关状态, P 表示最后第 P 个开关组, 总共有 $3P$ 个开关。开关状态组合如下表所示:

[0043]

序号	S_{A1}	S_{A2}	S_{A3}	S_{B1}	S_{B2}	S_{B3}	...	S_{P1}	S_{P2}	S_{P3}
1	0	0	0	0	1	1	...	0	0	0
2	0	0	1	1	0	0	...	0	0	1
3	1	1	0	0	0	0	...	0	1	0
4	1	0	0	1	0	0	...	0	1	1
5	1	0	0	0	0	1	...	1	0	0
6	0	0	1	0	0	1	...	1	0	1
7	0	1	0	0	1	0	...	1	1	1
8	0	1	1	0	0	0	...	0	0	0
9	0	0	0	1	1	0	...	0	0	1
10	0	0	0	0	0	1	...	0	1	0
...	...	...	...	...	...	...	...	0	1	1
$2^{3P}-1$	—	—	—	—	—	—	...	—	—	—

[0044] 为了能够快速获得目标函数 $\min(\text{err})$ 的全局最优解, 将蚁群算法引入交流-交流矩阵变换器预测功率最小误差的计算中, 图3展示了基于蚁群算法的交流-交流矩阵变换器获得最优开关状态组合的计算流程图。首先对蚁群算法进行初始化, 并随机放置蚂蚁到任意开关状态, 对每只蚂蚁选择下一个交流-交流矩阵变换器的开关状态, 并进行信息素浓度计算; 之后判断是否遍历完所有开关状态, 若遍历结束, 则更新信息素表, 否则继续选择下一个开关状态, 直至把所有开关状态遍历完; 接着, 判断是否完成了蚁群算法的最大迭代次数, 若完成, 则获得了全局最优开关组合状态, 否则, 再重新执行蚁群算法, 直至完成最大迭代次数。

[0045] 蚁群中蚂蚁数量为 m , 将交流-交流矩阵变换器中的开关数设为 n , 每个开关可以表示为 SW_1, SW_2, \dots, SW_n , 每个开关具有通和断两种状态, 表达为 $SW_{1-1}/SW_{1-0}, SW_{2-1}/SW_{2-0}, \dots, SW_{n-1}/SW_{n-0}$, 蚂蚁需要遍历 n 个开关、 $2n$ 种开关状态, 最终找到 n 个开关通断情况的最优解。依据实验结果发现, 将 m 设为 $2n$ 的 1.5 倍, 即 $m=3n$, 可以较快的获得全局最优解, 同时防止局部不当收敛。开关状态 i 到开关状态 j 之间的距离设为 d_{ij} ($i, j=1, 2, \dots, 2n$), 尤其是同一个开关的不同状态之间的距离设定为最大值, 以此表达同一个开关只能有一个状态, 或通或断, 优选的, 同一个开关不同状态之间的距离设定为无穷大 ∞ 。tc 时刻开关状态 i 与开关状态 j 连接路径上的信息素浓度为 $\tau_{ij}(tc)$ 。初始时刻, 蚂蚁被放置在不同的开关状态上, 且各开关状态连接路径上的信息素浓度相同, 都为 $\tau_{ij}(tc) = \tau_0$ 。然后蚂蚁将按一定概率选择线路, $p_{ij}^q(tc)$ 表示 tc 时刻蚂蚁 q 从开关状态 i 转移到开关状态 j 的概率。

$$[0046] \quad p_{ij}^q(tc) = \frac{[\tau_{ij}(tc)]^\mu \cdot [\varphi_{ij}(tc)]^\theta}{\sum_{s \in \text{allow}_{com}} [\tau_{ij}(tc)]^\mu \cdot [\varphi_{ij}(tc)]^\theta}$$

[0047] 其中, $\varphi_{ij}(tc)$ 为启发函数, 表示蚂蚁从开关状态 i 转移到开关状态 j 的期望程度,

$\varphi_{ij}(tc) = 1/d_{ij}$; allow_{com} 为蚂蚁待访问开关状态的集合, 若开关状态 j 属于 allow_{com} , 则

$$p_{ij}^q(tc) = \frac{[\tau_{ij}(tc)]^\mu \cdot [\varphi_{ij}(tc)]^\theta}{\sum_{s \in \text{allow}_{com}} [\tau_{ij}(tc)]^\mu \cdot [\varphi_{ij}(tc)]^\theta}, \text{ 若开关状态 } j \text{ 不属于 } \text{allow}_{com}, \text{ 则 } p_{ij}^q(tc) = 0; \mu \text{ 表示信息}$$

素重要程度因子, 值越大表明信息素浓度在转移中作用越大; θ 为启发函数重要程度因子, 其值越大表示启发函数在转移中作用越大, 蚂蚁会较大概率转移到距离短的开关状态; 其中 d_{ij} 的计算方式为:

$$[0048] \quad d_{ij} = \begin{cases} \infty, & j \text{ 与 } \overline{\text{allow}_{com}} \text{ 中某一开关状态为同一个开关的通断状态;} \\ \gamma, & j \text{ 与 } \overline{\text{allow}_{com}} \text{ 中任一开关状态均不是同一个开关的通断状态} \end{cases}$$

[0049] 初始时, allow_{com} 中有 $2n-1$ 个元素, 即除了蚂蚁 q 出发的开关状态之外的其他所有开关状态, 随着时间推移, allow_{com} 中的元素不断减少, 直至为空, 表示所有开关状态均访问完毕。在蚂蚁释放信息素的同时, 各个开关状态连接路径上的信息素逐渐消失, 当所有蚂蚁完成一次循环后, 各个开关状态连接路径上的信息素浓度进行实时更新, 具体为:

$$[0050] \quad \begin{cases} \tau_{ij}(tc+1) = (1-\varepsilon)\tau_{ij}(tc) + \Delta\tau_{ij} \\ \Delta\tau_{ij} = \sum_{q=1}^{2n} \tau_{ij}^q \end{cases}$$

[0051] 式中, τ_{ij}^q 为第 q 只蚂蚁在开关状态 i 与开关状态 j 连接路径上释放信息素浓度; $\Delta\tau_{ij}$ 为所有蚂蚁在开关状态 i 与开关状态 j 连接路径上释放信息素浓度之和; 参数 ε 表示信息

素挥发程度, $0 < \varepsilon < 1$; $\Delta\tau_{ij} = \begin{cases} Q/L_q, & \text{第 } q \text{ 只蚂蚁从开关状态到开关状态 } j \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$, 其中 Q 为常数,

通常取值为 $[20, 2000]$, 表示蚂蚁循环一次所释放的信息素总量, L_q 为第 q 只蚂蚁经过的路径长度, 以节点个数表示。

[0052] 整个蚁群算法最大迭代次数设为 iter_max , 通常最大迭代次数取值范围为 $[100, 600]$, 这样不宜过早收敛, 同时也能保证找到全局最优解, 优选的, iter_max 取值为 220。

[0053] 以上对本发明的一个实施例进行了详细说明, 但所述内容仅为本发明的较佳实施例, 不能被认为用于限定本发明的实施范围。凡依本发明申请范围所作的均等变化与改进等, 均应仍归属于本发明的专利涵盖范围之内。

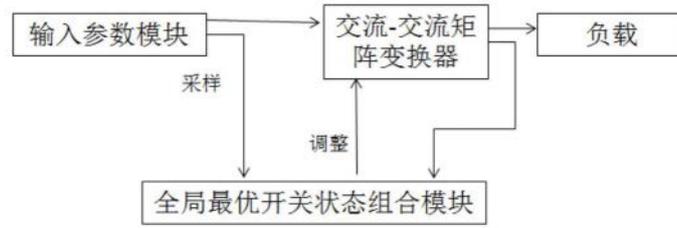


图1

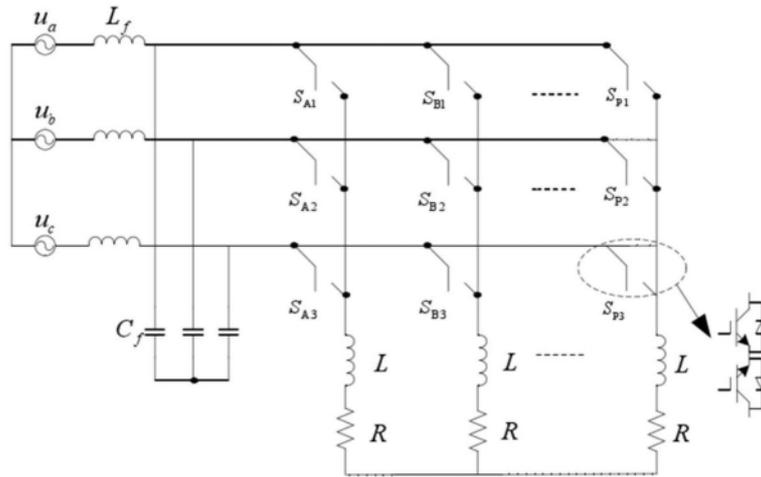


图2

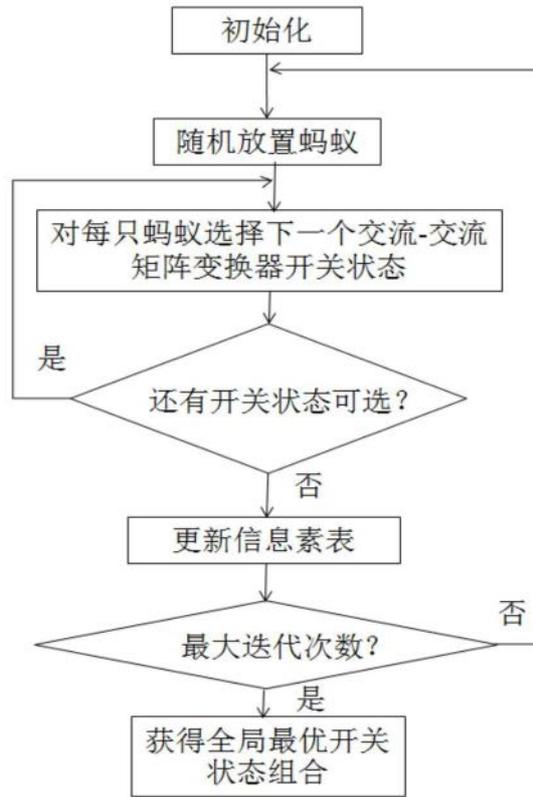


图3