

1-8-2019

Multi-objective Optimization of the Main Circuit and Control Parameters of the Buck-Boost Matrix Converter

Xiaoping Zhang

1. National-Local Joint Engineering Laboratory of Marine Mineral Resources Exploration Equipment and Safety Technology, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;;

Wenhao Song

1. National-Local Joint Engineering Laboratory of Marine Mineral Resources Exploration Equipment and Safety Technology, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;;

Hongping Zhu

2. College of Information and Electrical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Multi-objective Optimization of the Main Circuit and Control Parameters of the Buck-Boost Matrix Converter

Abstract

Abstract: The optimization of main circuit parameters and control parameters of the Buck-Boost matrix converter has been investigated. *The study takes the main circuit parameters and control parameters as optimization object and takes the harmonic distortion of output voltage, capacitance voltage deviation and inductance current deviation of the converter as optimization target. Firstly, multi-objective optimization satisfaction function is established correspondingly. Meanwhile, the fitness function is built and solved to achieve a set of optimizing parameters based on the fruit fly algorithm, which makes each optimizing target achieve synergistic optimal.* Finally, the optimization effect is verified by simulation. The results show that the optimization method has good optimization effect, fewer parameters to adjust and not easy to fall into a local optimal solution, etc, which proved to be well application value.

Keywords

BBMC, main circuit parameters optimization, controls parameter optimization, FOA, simulation

Recommended Citation

Zhang Xiaoping, Song Wenhao, Zhu Hongping. Multi-objective Optimization of the Main Circuit and Control Parameters of the Buck-Boost Matrix Converter[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(8): 3042-3049.

Buck-Boost 矩阵变换器主电路及控制参数多目标优化

张小平¹, 宋文浩¹, 朱红萍²

(1. 湖南科技大学海洋矿产资源探采装备与安全技术国家地方联合工程实验室, 湖南 湘潭 411201;

2. 湖南科技大学信息与电气工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 针对 Buck-Boost 矩阵变换器主电路参数及相关控制参数进行优化研究。以该变换器主电路参数及相关控制参数为优化对象, 以其输出电压波形的谐波失真度、电容电压偏差和电感电流偏差为优化目标, 建立了相应的多目标优化满意度函数, 基于果蝇算法构建其适应度函数并对其进行优化求解, 获得一组最优参数, 使各优化目标达到协同最优, 通过仿真对其优化效果进行了验证, 结果表明: 该优化方法优化效果好, 具有调整参数少及不易陷入局部最优解等特点和较好的应用价值。

关键词: Buck-Boost 矩阵变换器; 主电路参数优化; 控制参数优化; 果蝇算法; 仿真

中图分类号: TM46

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2018) 07-3042-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201808027

Multi-objective Optimization of the Main Circuit and Control Parameters of the Buck-Boost Matrix Converter

Zhang Xiaoping¹, Song Wenhao¹, Zhu Hongping²

(1. National-Local Joint Engineering Laboratory of Marine Mineral Resources Exploration Equipment and Safety Technology, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. College of Information and Electrical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: The optimization of main circuit parameters and control parameters of the Buck-Boost matrix converter has been investigated. *The study takes the main circuit parameters and control parameters as optimization object and takes the harmonic distortion of output voltage, capacitance voltage deviation and inductance current deviation of the converter as optimization target. Firstly, multi-objective optimization satisfaction function is established correspondingly. Meanwhile, the fitness function is built and solved to achieve a set of optimizing parameters based on the fruit fly algorithm, which makes each optimizing target achieve synergistic optimal. Finally, the optimization effect is verified by simulation. The results show that the optimization method has good optimization effect, fewer parameters to adjust and not easy to fall into a local optimal solution, etc, which proved to be well application value.*

Keywords: BBMC; main circuit parameters optimization; controls parameter optimization; FOA; simulation

引言

Buck-Boost 矩阵变换器 (Buck-Boost matrix



收稿日期: 2017-05-02 修回日期: 2017-09-07;
基金项目: 国家自然科学基金(51477047);
作者简介: 张小平(1966-), 男, 湖南株洲, 博士, 教授, 硕导, 研究方向为电力电子与电力传动、智能控制等; 宋文浩(1993-), 男, 湖北武汉, 硕士生, 研究方向为电力电子与电力传动。

converter, BBMC)是一种具有高电压传输比的新型电力变换器^[1], 它具有一系列的优点, 如输入电流正弦、输入功率因数可调、可直接输出高品质的正弦波而无需滤波环节等。然而研究表明, 该变换器输出电压波形的谐波失真度不仅与其主电路参数有关, 而且还与相应控制策略的控制参数相关, 若上述主电路参数或相关控制参数选择不合适, 则会

引起 BBMC 输出电压波形的谐波失真度过大, 从而导致负载运行性能下降、损耗增大等问题^[2-3]; 另外, BBMC 中两状态变量即电容电压和电感电流与其参考值间的偏差也与主电路参数和相关控制参数相关, 由于这两个状态变量与其参考值间存在偏差, 从而导致 BBMC 实际输出电压与其参考输出电压之间存在偏差, 进而影响诸如以 BBMC 为变频器的异步电机调速系统的调速控制精度等方面的应用。以往在选择 BBMC 主电路参数和相关控制参数时主要采用试凑法获得, 因而难以获得最佳的运行效果, 因此有必要对该变换器的主电路参数及相关控制参数展开优化研究。

近年来有研究者提出采用微粒群算法(Particle Swarm Optimization, PSO)分别针对 BBMC 主电路参数和相关控制参数进行优化^[4-5], 虽取得了一定的效果, 但 PSO 算法存在需要调整的参数多、容易陷入局部最优解等问题^[6-7], 同时在文[4-5]中是分别针对 BBMC 主电路参数和相关控制参数进行优化, 而没有考虑到 BBMC 主电路参数和相关控制参数对优化目标的相互影响, 也即没有实现 BBMC 主电路参数和相关控制参数的协同最优, 因而效果极其有限。为此, 文中提出采用果蝇优化算法(Fruit Fly Optimization Algorithm, FOA)来对 BBMC 主电路参数和相关控制参数进行协同优化, 取得了满意的效果。文中对 FOA 优化 BBMC 主电路参数和相关控制参数的具体设计方法进行了说明, 并对其优化效果进行了仿真验证, 同时与采用 PSO 的优化效果进行了对比分析。

1 BBMC 拓扑结构简介

BBMC 主电路拓扑结构如图 1 所示^[1], 该变换器包括整流级和逆变级两部分, 其整流级为一个 3/2 相变换器, 逆变级则采用三相 Buck-Boost 逆变器的结构形式, 由结构相同的 3 个 Buck-Boost DC/DC 变换器组成, 三相负载采用 Y 型连接。

2 BBMC 控制策略

根据 BBMC 在结构和功能上分为整流级和逆

变级两部分并可独立控制的特点, 分别研究采用相应的控制策略。其中, 整流级采用无零矢量的空间矢量调制策略^[8], 逆变级则采用基于重复控制的复合控制策略^[9]。而在逆变级的控制中, 则分别以其电容电压和电感电流为状态变量, 并针对这两个状态变量分别构建相应的控制闭环, 其中以电容电压为控制外环, 电感电流为控制内环, 下面分别予以简要介绍。

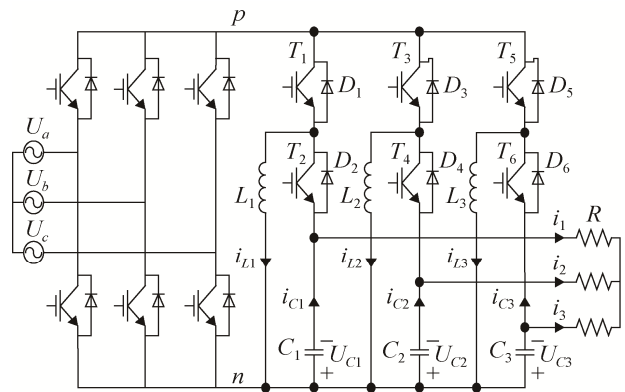


图 1 BBMC 主电路拓扑结构
Fig.1 Main circuit topology of BBMC

2.1 电容电压控制外环控制策略

电容电压控制外环基本结构见图 2^[9], 基本工作原理: 将电容电压参考值 u_{cref} 与其实际值 u_c 比较, 其偏差 Δu_c 经重复控制器延时补偿后, 产生相应的输出信号 Δu_{cb} , 该输出信号经 PI 控制器运算处理后得到电容电流的参考值 i_{cref} , 再通过检测 BBMC 直流侧电压 \bar{u}_{dc} 、逆变级输出电流 i_1 及电容电压实际值 u_c , 由公式: $i_{Lref} = (i_{cref} - i_1)(u_c + \bar{u}_{dc}) / \bar{u}_{dc}$ 即可计算得到电感电流控制内环的参考输入 i_{Lref} 。在该控制环中, PI 控制器中比例系数 k_{pC} 和积分系数 k_{iC} 以及重复控制器中低通滤波器的截止频率 ω_C 对电容电压能否准确跟踪其参考值存在较大影响, 文中将以其为优化对象展开优化研究。

2.2 电感电流控制内环控制策略

电感电流控制内环基本结构如图 3 所示^[9], 基本工作原理是: 将电感电流参考值 i_{Lref} 与其实际值 i_L 比较, 其偏差 Δi_L 经重复控制器延时补偿后, 产

生相应的输出信号 Δi_{Lb} , 该信号再经 PI 控制器运算处理后得电感电压参考值 u_{Lref} , 同样再通过检测 u_{dc} 及 u_C , 由公式 $D = (u_C + u_{Lref}) / (u_C + \bar{u}_{dc})$ 即可计算得到占空比 D, 根据该占空比控制 BBMC 逆变级中对应功率开关的开通时间, 从而调节电感电流和电容电压使其按确定的参考值变化, 即可实现 BBMC 实际输出电压对其参考输出电压的准确跟踪。同样, 在该控制内环中, PI 控制器中的比例系数 k_{pL} 和积分系数 k_{iL} 以及重复控制器中低通滤波器的截止频率 ω_L 对电感电流能否准确跟踪其参考值也存在较大影响, 文中同样将以其为优化对象进行优化研究。

3 建立多目标满意度优化函数

满意度优化函数的核心是将每一个优化结果转化为[0, 1]区间上的个体满意度函数^[10-11], 然后建立综合满意度函数, 对其求最大值, 从而得到最优参数解。对于一些不能精确建模或强非线性系统, 该方法更具实用价值, 满意度优化是根据系统的实际运行结果进行判断的, 极大减小了系统的寻优代价。满意度优化函数一般有升半正态、降半正态、升半哥西、降半哥西、升半梯形、降半梯形等多种形式^[12], 本文采用降半正态形式。

以 BBMC 输出电压波形的谐波失真度 THD、电容电压偏差信号 Δu_C 和电感电流偏差信号 Δi_L 为优化目标, 各优化目标的满意度函数如下:

1) 谐波失真度 THD 的满意度函数为:

$$f_1 = \begin{cases} 1 & THD \leq THD' \\ e^{-c_1(THD-THD')} & THD > THD' \end{cases} \quad (1)$$

2) 电容电压偏差信号 Δu_C 的满意度函数为:

$$f_2 = \begin{cases} 1 & \Delta u_C \leq \Delta u_C' \\ e^{-c_2(\Delta u_C-\Delta u_C')} & \Delta u_C > \Delta u_C' \end{cases} \quad (2)$$

3) 电感电流偏差信号 Δi_L 的满意度函数为:

$$f_3 = \begin{cases} 1 & \Delta i_L \leq \Delta i_L' \\ e^{-c_3(\Delta i_L-\Delta i_L')} & \Delta i_L > \Delta i_L' \end{cases} \quad (3)$$

式中: THD' 、 $\Delta u_C'$ 、 $\Delta i_L'$ 为根据系统要求而设的临界值; c_1, c_2, c_3 为满意度曲线系数, 其中 c_1 的取值范围为1~5, c_2, c_3 的取值范围为0.1~5。

根据式(1)~(3), 建立多目标满意度优化函数, 如式(4)所示:

$$f = k_1 f_1 + k_2 f_2 + k_3 f_3 \quad (4)$$

式中: k_1, k_2 和 k_3 分别为 THD、 Δu_C 和 Δi_L 对应的权重系数, 且 $k_1+k_2+k_3=1$ 。

在实际优化过程中可能会出现整体满意度较高, 但其中某一项指标的满意度却很低的情况, 从而导致系统运行效果不理想。为此在多目标满意度优化函数中引入惩罚因子, 并为此设定一个阈值 H; 即当某一优化目标的满意度小于该阈值 H 时, 则在多目标满意度优化函数中乘上一个对应的惩罚因子。

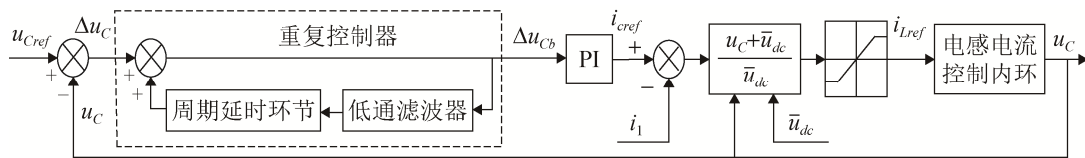


图2 电容电压控制外环原理示意图

Fig.2 Schematic diagram of principle of voltage control loop

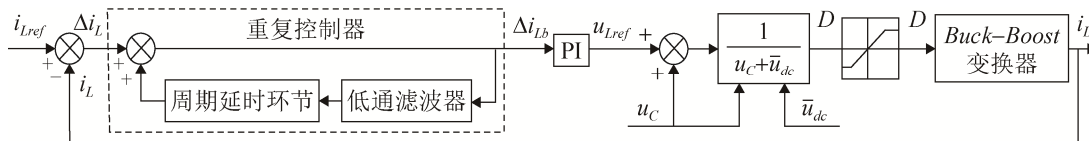


图3 电感电流控制内环原理示意图

Fig.3 Schematic diagram of principle of current control loop

设在多目标满意度优化函数中有 n 个优化目标的满意度小于 H , 其惩罚因子用 $b_j(j=1, 2, \dots, n)$ 表示, 则对应的总惩罚因子为 $\prod_{j=1}^n b_j$ 。当考虑惩罚因子后, 式(4)对应的多目标优化满意度函数表示为:

$$f = (k_1 f_1 + k_2 f_2 + k_3 f_3) \prod_{j=1}^n b_j \quad (5)$$

式中: 阈值 H 的取值范围为 0.5~0.8, 惩罚因子 b_j 的取值范围为 0.4~0.6。

4 基于智能算法的 BBMC 参数优化

4.1 基于微粒群算法的 BBMC 参数优化

微粒群算法的基本思想是通过群体中个体之间的协作和群体信息共享来寻找最优解^[13]。假设在 D 维的寻优求解空间中, 有 M 个粒子组成的种群, 每个粒子的当前位置由位置矢量 $X_i=(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$, $i=1, 2, \dots, M$ 来表示, 每个粒子的移动速度由速度矢量 $V_i=(v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})$, $i=1, 2, \dots, M$ 来表示, 每个粒子都有一个由目标函数确定的适应值, 由适应值可得出每个粒子经历过的历史最好位置, 即个体极值, 记为 $P_i=(P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{iD})$, $i=1, 2, \dots, M$, 这可看成粒子的自我经验。另外, 由适应值也可获得种群经历过的历史最好位置, 即群体极值, 记为 $P_g=(P_{g1}, P_{g2}, \dots, P_{gD})$, 这可看成是粒子的群体经验。粒子通过自我经验和群体经验可决定下一步的运动。在粒子运动过程中, 第 i 个粒子从第 k 步到第 $k+1$ 步的移动, 可由下面的速度和位置更新公式得到:

$$v_{iD}^{k+1} = w_k v_{iD}^k + c_1 \text{rand}() (P_{iD}^k - x_{iD}^k) + c_2 \text{rand}() (P_{gD}^k - x_{iD}^k) \quad (6)$$

$$x_{iD}^{k+1} = x_{iD}^k + v_{iD}^{k+1} \quad (7)$$

式中: $i=1, 2, \dots, M$, w_k 是惯性权重因子; c_1 和 c_2 是加速因子; $\text{rand}()$ 是 $[0,1]$ 范围内的随机函数。

在优化过程中, 惯性权重因子 w_k 在整个寻优过程中并非一直不变, 而是随着迭代次数增加线性减少, 即:

$$w_k = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{w_{\max}} \times k \quad (8)$$

式中: $k=1, 2, \dots, k_{\max}$, w_{\max} 和 w_{\min} 分别是惯性权重因子的最大值和最小值。在该优化过程中, 惯性权重因子线性减少, 这样有利于寻优初期以比较大的惯性权重因子加速搜索解空间, 而在后期以比较小的惯性权重因子加强局部精细搜索的能力。

取式(5)作为 PSO 的目标函数, 设种群规模为 M , 每个种群粒子的位置矢量 X_i 由主电路中的电容值 C 、电感值 L 、电容电压控制外环中 PI 控制器的比例系数 k_{PC} 、积分系数 k_{IC} 及重复控制中低通滤波器的截止频率 ω_C 、电感电流控制内环中 PI 控制器的比例系数 k_{PL} 、积分系数 k_{IL} 及重复控制中低通滤波器的截止频率 ω_L 共 8 个参数构成, 即粒子矢量维度 $D=8$, 其搜索范围以试凑法得到的参数为核心, 向周围扩散形成, 如果优化结果接近搜索空间的边缘, 则可以在该优化结果的基础上进一步扩展。采用微粒群算法优化 BBMC 参数的流程如图 4 所示。

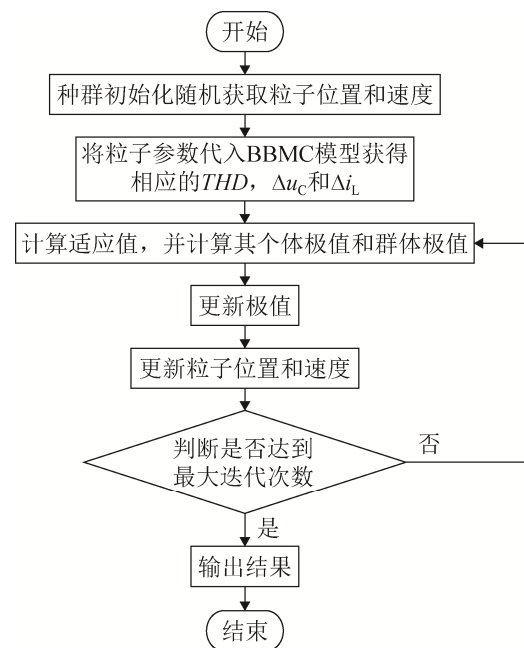


图 4 PSO 优化流程图

Fig.4 Flow chart of optimizing by PSO

具体优化步骤如下:

- 1) 初始化: 确定种群规模 M 、粒子矢量维度 D 、最大迭代次数 k_{\max} 、随机初始化粒子位置和速度。
- 2) 计算适应值: 将各个粒子矢量代入目标函

数, 获得该粒子的适应值, 并计算其个体极值和群体极值。

3) 更新极值: 将该粒子的当前适应值与该粒子个体极值进行比较, 如果该粒子的当前适应值大于该粒子个体极值的适应值, 则该粒子的当前位置成为该粒子新的个体极值; 将该粒子的当前适应值与群体极值的适应值比较, 如果该粒子的当前适应值小于群体极值的适应值, 则该粒子的当前位置成为新的群体极值。

4) 更新粒子位置和速度: 根据公式(6)~(8)更新粒子速度、位置和惯性权重因子, 若粒子速度大于 v_{\max} , 则该粒子的速度限定为 v_{\max} ; 若该粒子位置超出搜索空间, 则将该粒子位置限定在搜索空间的边缘位置。

5) 判断迭代次数: 判断迭代次数是否达到最大值, 如果达到最大值, 则输出优化结果, 否则返回步骤(2)继续寻优。

4.2 基于果蝇算法的 BBMC 参数优化

果蝇优化算法(FOA)是 2011 年潘文超博士提出的一种智能优化算法^[14]。该算法原理简单, 调节参数少, 收敛速度快且运行效率高。论文采用该算法对 BBMC 的主电路参数和相关控制参数进行优化, 从而使 BBMC 各优化目标达到协同最优。

该算法设计中取式(5)作为 FOA 的适应度函数; 味道浓度判定值 $S(i, d)(i=1, 2, \dots, \text{Sizepop}, d=1, 2, \dots, D, D$ 为维数)分别表示 L 、 C 、 ω_C 、 k_{PC} 、 k_{IC} 、 ω_L 、 k_{PL} 和 k_{LL} 8 个优化对象, 即共有 sizepop 组数据, 每组数据有 8 个参数; 味道浓度 Smell 表示总体满意度 f , 即:

$$\text{Smell}(i) = f = (k_1 f_1 + k_2 f_2 + k_3 f_3) \prod_{j=1}^n b_j \quad (9)$$

式中: $\text{Smell}(i)$ 的取值范围为 0~1, 其值越高, 表示效果越优。

采用 FOA 算法优化 BBMC 参数的流程见图 5。具体步骤如下:

1) 初始化参数: 设定最大迭代次数 Maxgen 、种群规模 Sizepop 、维数 D 及随机初始化果蝇群体位置 X_0, Y_0 ;

2) 配置果蝇个体随机搜索方向和搜索距离, 计算第 i 个果蝇的位置:

$$\begin{cases} X(i, d) = X_0 + 2 * \text{rand}() - 1 \\ Y(i, d) = Y_0 + 2 * \text{rand}() - 1 \end{cases} \quad (10)$$

3) 获取第 i 个果蝇的味道浓度判定值, 得到一组数据 $S(i, d)$:

$$\begin{aligned} D(i, d) &= \sqrt{X(i, d)^2 + Y(i, d)^2} \\ S(i, d) &= \frac{1}{D(i, d)} \end{aligned} \quad (11)$$

4) 将这一组数据代入 BBMC 模型中得到相对应的 THD 、 Δu_C 和 Δi_L ;

5) 计算味道浓度: 根据所得到的 THD 、 Δu_C 和 Δi_L , 计算第 i 个果蝇的味道浓度;

6) 判断 i 是否到达果蝇群体上限, 若是则执行步骤(7), 否则执行步骤(2);

7) 在果蝇群体中寻找出味道浓度最高的果蝇个体作为最优个体, 并保留最优果蝇个体的味道浓度 bestSmell 和坐标 $(X_{\text{best}}, Y_{\text{best}})$;

$$[\text{bestSmell } \text{bestindex}] = \max(\text{Smell})$$

$$X_{\text{best}} = X(\text{bestindex}) \quad (12)$$

$$Y_{\text{best}} = Y(\text{bestindex})$$

8) 采用自适应因子更新果蝇群体的位置: 利用公式(13)获取自适应因子; 计算变步长因子 L , 采用自适应公式更新果蝇群体的位置, 如式(14):

$$L = \frac{k}{S(\text{bestindex})} \times \left(\frac{\text{maxgen} - g + 1}{\text{maxgen}} \right) \quad (13)$$

$$\begin{cases} X(i, d) = X_{\text{best}} + 2 * L * \text{rand}() - L \\ Y(i, d) = Y_{\text{best}} + 2 * L * \text{rand}() - L \end{cases} \quad (14)$$

式中: g 为当前迭代次数; k 为调整系数, $k \in (0.1, 10)$, $S(\text{bestindex})$ 为果蝇算法中最佳味道浓度判定值, $\text{rand}()$ 为 0~1 间的随机数;

9) 计算果蝇群体新的味道浓度判定值;

10) 调用适应度函数公式(5), 计算果蝇群体新的味道浓度;

11) 判断此时最佳味道浓度值是否优于前一次迭代的最佳味道浓度值,若是则更新最佳浓度及其位置坐标,否则返回步骤8);

12) 迭代寻优:重复执行步骤2)~11),判断当前迭代次数 g 是否大于最大迭代次数,若是,则迭代结束;否则,迭代次数加1,继续迭代寻优,直到满足结束条件。

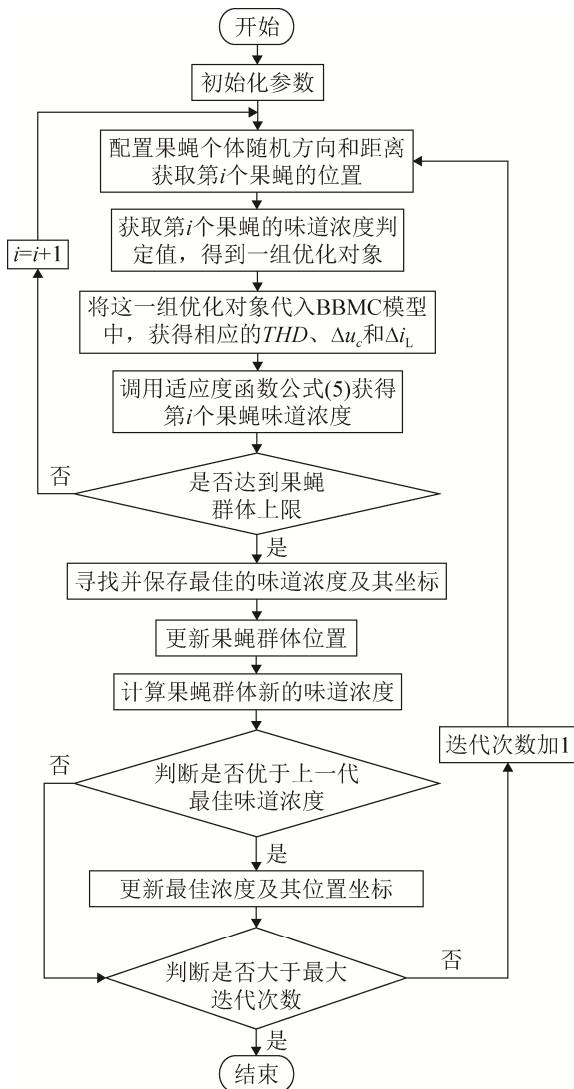


图5 FOA 优化 BBMC 参数流程图

Fig.5 Flow chart of optimizing circuit parameters by FOA

5 仿真分析

为验证 FOA 算法的优化效果,同时与 PSO 算法和试凑法所获得的参数进行对比分析,采用 Matlab 对上述 3 种方法获得的 BBMC 主电路参数

及相关控制参数进行仿真验证^[15-16]。假设三相电源、电感、电容和功率开关等均为理想元件。仿真参数设置如下:输入为 220 V/50 Hz 对称三相交流电源,三相对称电阻负载 $R=50 \Omega$, FOA 和 PSO 算法的群体规模均设置为 $\text{sizepop}=10$,最大迭代次数 $\text{maxgen}=50$,电容 C 的搜索范围为 $0\sim 800 \mu\text{F}$,电感 L 的搜索范围为 $0\sim 300 \mu\text{H}$,BBMC 整流级采用无零矢量的空间矢量调制策略,逆变级采用基于重复控制的复合控制策略^[9],其中电容电压控制外环 PI 控制参数和电感电流控制内环 PI 控制参数在试凑法所获得的参数基础上进行寻优。

在取相同参考输出电压和频率条件下,分别采用 FOA、PSO 及试凑法确定 BBMC 的主电路参数和相关控制参数,如表 1 所示。其中 FOA 和 PSO 算法的满意度寻优图分别如图 6 和图 7 所示。

表 1 BBMC 优化参数
Tab. 1 BBMC optimizing parameters

优化参数	试凑法	PSO	FOA
主电路 电容 $C/\text{F}\cdot 10^{-5}$	54	48.194 4	49.986 4
参数 电感 $L/\text{H}\cdot 10^{-4}$	7	1.504 1	1.420 2
外环控 比例系数 K_{PC}	5.538	1.109 1	2.141 3
制参数 积分系数 K_{IC}	$4.99\cdot 10^{-4}$	$6.0376\cdot 10^{-5}$	$9.502 9\cdot 10^{-5}$
截止频率 W_{C}	1 000	821.564 5	547.294 3
内环控 比例系数 K_{PL}	80	2.674 6	48.098 3
制参数 积分系数 K_{IL}	$8.44\cdot 10^{-5}$	$8.240 8\cdot 10^{-5}$	$5.344 3\cdot 10^{-5}$
截止频率 W_{L}	1 000	814.786 2	544.365 1

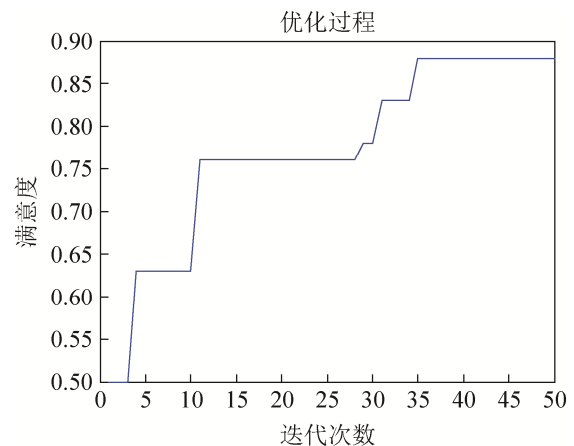


图6 PSO 寻优图

Fig.6 PSO optimal figure

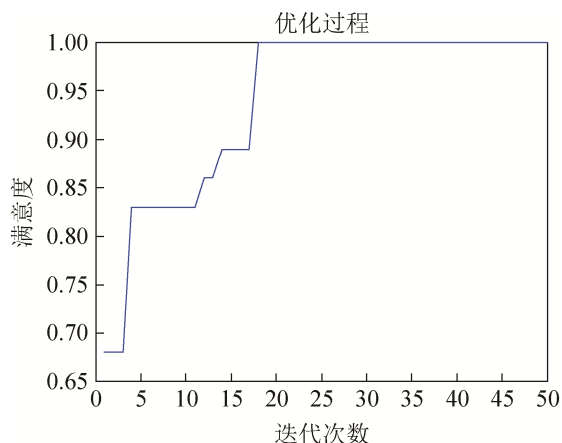


图7 FOA寻优图
Fig.7 FOA optimal figure

取参考输出电压和频率为311 V/50 Hz(对应于参考电压的相电压有效值/频率),相应的BBMC输出电压仿真波形如图8所示,仿真结果见表2。

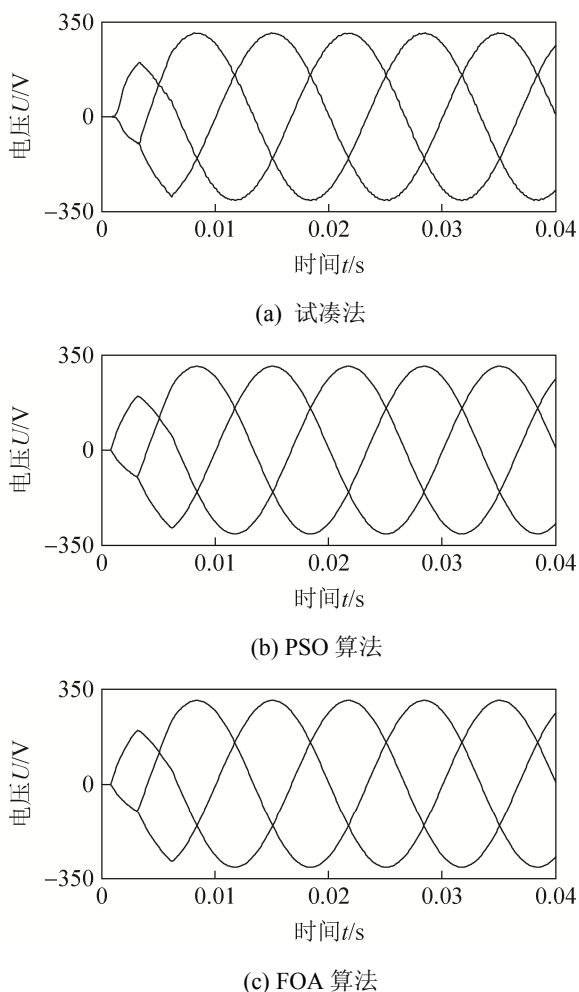


图8 BBMC输出电压仿真波形
Fig.8 BBMC output voltage simulation waveform

表2 仿真结果

Tab.2 Results of Simulation

优化目标	试凑法	PSO	FOA
THD / %	0.65	0.09	0.06
$\Delta u_c / V$	1.8	0.8	0.2
$\Delta i_L / A$	2.0	1.1	0.1

由图6~8及表2可见: ① 采用FOA和PSO算法优化BBMC主电路参数和相关控制参数后,其输出电压波形的谐波失真度及电容电压与电感电流对其参考值的跟踪误差均明显小于试凑法,并且FOA算法所获得的优化效果比PSO算法更好; ② 相对于PSO算法,采用FOA算法优化BBMC参数时,具有寻优过程短、不易陷入局部最优解等特点,因而具有更好的优化效果。

6 结论

针对Buck-Boost矩阵变换器主电路参数和相关控制参数进行优化。以该变换器主电路参数和相关控制参数为优化对象,以其输出电压波形的谐波失真度、电容电压偏差信号和电感电流偏差信号为优化目标,建立了优化目标与优化对象间的多目标优化满意度函数,在此基础上构建了果蝇算法的适应度函数,采用果蝇算法对其进行优化求解,获得一组最优参数,使各优化目标达到协同最优,最后对该优化算法的效果进行了仿真验证,同时与微粒群算法及试凑法进行了对比仿真分析,结果表明:相对于微粒群算法和试凑法,果蝇算法所获得的输出电压谐波失真度、电容电压偏差和电感电流偏差更小,且具有实现简单、调整参数少及不易于陷入局部最优解等特点,因而具有较好的应用价值。

参考文献:

[1] 张小平, 朱建林, 唐华平, 等. 一种新型 Buck-Boost 矩阵变换器[J]. 信息与控制, 2008, 37(1): 40-45.
Zhang Xiaoping, Zhu Jianlin, Tang Huaping, et al. A Novel Buck-Boost matrix converter[J]. Information and Control, 2008, 37(1): 40-45.

[2] Nimy V P, Surasmi N L. Harmonics and DC offset elimination scheme for buck-boost converter fed single phase inverter[C]. IEEE International Conference on

- Control Communication & Computing, India, 2015: 254-259.
- [3] Georgakakos K G, Vovos P N, Vovos N A. Harmonic reduction method for a single-phase DC-AC converter without an output filter[J]. IEEE Transactions on Power Electronics(S0885-8993), 2014, 29(9): 4624-4632.
- [4] 黄毅, 张小平, 吴亮红. 基于微粒群算法的 Buck-Boost 矩阵变换器主电路参数优化[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2014, 29(4): 89-92.
Huang Yi, Zhang Xiaoping, Wu Lianghong. Optimization of BBMC main circuit parameters based on particle swarm optimization[J]. Journal of Hunan University of Science & Technology(Natural Science Edition), 2014, 29(4): 89-92.
- [5] 黄毅, 张小平, 吴亮红, 等. 基于微粒群算法的 BBMC 控制参数优化研究[J]. 电气自动化, 2015, 37(1): 27-30.
Huang Yi, Zhang Xiaoping, Wu Lianghong, et al. Research of the Optimization of Control Parameters for BBMC Based on Particle Swarm Optimization[J]. Electrical Automation, 2015, 37(1): 27-30.
- [6] 夏学文, 桂凌, 戴志锋, 等. 基于多尺度选择性学习和探测-收缩机制的 PSO 算法[J]. 电子学报, 2016, 44(5): 1090-1100.
Xia Xuewen, Gui Ling, Dai Zhifeng, et al. A PSO Algorithm Based on Multiscale-Selective-Learning and Detecting-Shrinking Strategies[J]. ACTA ELECTRONICA SINICA, 2016, 44(5): 1090-1100.
- [7] 蔡兴泉, 布尼泓灏, 李梦旋, 等. 面向可交互式智慧鱼群的权重动态约束的微粒群方法[J]. 系统仿真学报, 2016, 28(10): 2490-2496.
Cai Xingquan, Buni Honghao, Li Mengxuan, et al. Particle Swarm Optimization Method Based on Weighted Dynamic Constraints for Interactive Intelligent Fish Swarm[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(10): 2490-2496.
- [8] 邓文浪, 杨欣荣, 朱建林, 等. 18 开关双级矩阵变换器的空间矢量调制策略及其仿真研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(15): 84-90.
Deng W L, Yang X R, Zhu J L, et al. Multiple strategies based orthogonal design particle swarm optimizer for numerical optimization[J]. Computers & Operations Research, 2005, 25(15): 84-90.
- [9] 张小平, 唐水平, 周兰, 等. Buck-Boost 矩阵变换器的复合控制策略[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(6): 931-936.
Zhang Xiaoping, Tang Shuiping, Zhou Lan, et al. The Composite Control Strategy of Buck-Boost Matrix converter [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2016, 30(6): 931-936.
- [10] 邵健, 唐荻, 何安瑞, 等. 基于多目标满意优化的热轧非对称工作辊设计[J]. 北京科技大学学报, 2012, 34(9): 1077-1083.
Shao J, Tang D, He A R, et al. Design of asymmetric work rolls in hot strip mills based on multi-criterion satisfactory optimization[J]. Journal of University of Science & Technology Beijing, 2012, 34(9): 1077-1083.
- [11] 吴翔, 谭国俊, 叶宗彬, 等. 三相电压源型逆变器的多目标满意优化脉宽调制策略[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(6): 1674-1685.
Wu Xiang, Tan Guojun, Ye Zongbin, et al. Pulse Width Modulation Strategy for Three-phase Voltage Source Inverters Based on Multi-objective Satisfactory Optimization[J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(6): 1674-1685.
- [12] 刘志坚, 束洪春, 于继来, 等. 一种满意控制的水轮机调速系统参数优化方法[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(20): 99-105.
Liu Zhijian, Shu Hongchun, Yu Jilai, et al. A Method to Optimize Parameters of the Hydraulic Turbine Governor With Satisfactory Control[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(20): 99-105.
- [13] 黄松, 田娜, 纪志成. 基于自适应变异概率微粒群优化算法的研究[J]. 系统仿真学报, 2016, 28(4): 874-879.
Huang Song, Tian Na, Ji Zhicheng. Study of Modified Particle Swarm Optimization Algorithm Based on Adaptive Mutation Probability[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(4): 874-879.
- [14] 潘文超. 应用果蝇优化算法优化广义回归神经网络进行企业经营绩效评估[J]. 太原理工大学学报(社会科学版), 2011, 29(4): 1-5.
Pan Wenchao. Using Fruit Fly Optimization Algorithm General Regression Neural Network to Construct the Operating Performance of Enterprises Model[J]. Journal of Taiyuan University of Technology (Social Sciences Edition), 2011, 29(4): 1-5.
- [15] Wu L, Xiao W, Zhang L, et al. An improved fruit fly optimization algorithm based on selecting evolutionary direction intelligently[J]. International Journal of Computational Intelligence Systems(S1875-6883), 2016, 9(1): 80-90.
- [16] 曹旺斌, 尹成群, 孙利梅, 等. 无功补偿器装置对 PLC 信道特性影响的研究[J]. 系统仿真学报, 2017, 29(1): 206-211, 225.
Cao Wangbin, Yin Chengqun, Sun Limei, et al. Influence of Reactive Power Compensator on Power Line Communication Channel Characteristics[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(1): 206-211, 225.