

# 基于微粒群算法的 Buck - Boost 矩阵变换器 主电路参数优化

黄毅, 张小平, 吴亮红

(湖南科技大学 先进矿山装备教育部工程研究中心, 湖南 湘潭 411201)

**摘要:** 鉴于 Buck - Boost 矩阵变换器输出电压波形的谐波失真度与其主电路参数直接相关, 为此采用微粒群算法对其主电路参数进行优化. 文中介绍了微粒群算法的基本原理, 阐述了采用微粒群算法对 BBMC 主电路参数进行优化的具体设计方法, 并利用 Matlab/Simulink 对其优化效果进行了仿真验证. 结果表明, 利用微粒群优化算法获得的主电路参数较传统计算方法获得的主电路参数其输出电压波形的谐波失真度更小, 因而具有一定的应用价值.

**关键词:** Buck - Boost 矩阵变换器; 微粒群算法; 主电路参数; 优化; 仿真

**中图分类号:** TM46      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-9102(2014)04-0089-04

## Optimization of BBMC main circuit parameters based on particle swarm optimization

Huang Yi, Zhang Xiaoping, Wu Lianghong

(Engineering Research Center of Advanced Mining Equipment, Ministry of Education,  
Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**Abstract:** In view of the harmonic distortion of Buck - Boost matrix converter (BBMC) output voltage waveform was directly related to its main circuit parameters, the Particle Swarm Optimization (PSO) was used to optimize its main circuit parameters. The basis of PSO was explained, and the method of optimizing its main circuit parameters by PSO was elaborated. Its optimization effect was tested by using Matlab/Simulink. Results show that compared with traditional method, main circuit parameters obtained by PSO have lower harmonic distortion of output voltage waveform, and thus it has the certain application value.

**Key words:** Buck - Boost matrix converter; particle swarm optimization; main circuit parameters; optimization; simulink

矩阵变换器(matrix converter, MC)是一种具有简单拓扑结构和一系列理想电气特性的新型电力变换器<sup>[1-2]</sup>,但因存在电压传输比低等缺陷而限制了其推广应用<sup>[3]</sup>.据研究通过改变控制策略可有效提高电压传输比<sup>[4-5]</sup>,但同时带来如输出谐波过大等不良后果.为此,文献[6]从改变矩阵变换器主电路拓扑结构出发进行研究,提出了一种称为

Buck - Boost 矩阵变换器(Buck - Boost matrix converter, BBMC)的拓扑结构,该结构可有效克服电压传输比低的缺陷,而文献[7]针对 BBMC 提出采用双闭环控制策略,取得了较好的控制效果.研究表明, BBMC 输出电压波形的谐波失真度与其主电路参数直接相关,而采用传统计算方法得到的主电路参数难以获得理想的波形质量.为

此,本文提出采用微粒群算法(Particle Swarm Optimization, PSO)对其主电路参数进行优化.文中阐述了PSO的基本原理,重点研究了采用该算法对BBMC主电路参数进行优化的具体设计方法,并采用Matlab/Simulink对其效果进行了仿真验证.

## 1 BBMC拓扑结构简介

三相BBMC拓扑结构如图1所示<sup>[6]</sup>.该结构采用AC-DC-AC两级变换器的结构形式,中间直流环节无储能元件;其整流级为一个3/2相矩阵变换器,逆变级则采用三相Buck-Boost逆变器的结构形式,它由3个电流可双向流动的Buck-Boost DC-DC变换器组成;三相负载采用Y型连接,跨接于三相逆变器的输出端.

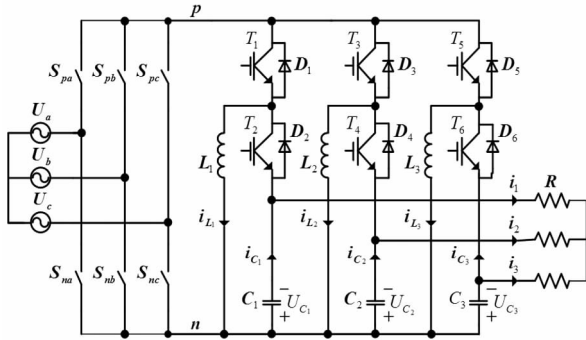


图1 三相-三相BBMC拓扑结构

## 2 采用PSO优化BBMC主电路参数

鉴于BBMC输出波形的谐波失真度与其主电路参数直接相关,而采用传统计算方法难以获得最佳的主电路参数,为此采用微粒群算法对该参数进行优化.微粒群算法是一种成熟有效的优化算法,能有效克服传统计算方法的局限性,适用于对该主电路参数进行寻优<sup>[8-10]</sup>.

### 2.1 PSO基本原理

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<sup>[11-13]</sup>.假设在 $D$ 维的寻优空间中,有 $M$ 个粒子组成的种群,每个粒子的当前位置由位置矢量 $\mathbf{X}_i = (x_{i1}; x_{i2}; \dots; x_{iD})$ ,  $i = 1, 2, \dots, M$ 来表示,每个粒子的移动速度由速度矢量 $\mathbf{V}_i = (v_{i1}; v_{i2}; \dots; v_{iD})$ ,  $i = 1, 2, \dots, M$ 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:

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

$$x_{iD}^{k+1} = x_{iD}^k + v_{iD}^{k+1}. \quad (2)$$

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,在整个优化过程中,惯性权重因子 $w_k$ 在整个寻优过程中并非一直不变,而是随着迭代次数线性减少.

$$w_k = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{w_{\max}} \times k. \quad (3)$$

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.

### 2.2 基于PSO的BBMC主电路参数优化设计

通过优化主电路参数,使BBMC输出波形的谐波失真度达到最小.因此取BBMC输出的谐波失真度(the harmonic distortion, THD)作为微粒群算法的适应值,目标函数如下:

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_n^2}}{U_1}. \quad (4)$$

式中, $U_n$ 为 $n$ 次谐波电压有效值; $N$ 为所能考虑的最高谐波次数; $U_1$ 为基波相电压有效值.设的种群规模为 $M$ ,每个种群粒子的位置矢量 $\mathbf{X}_i$ 由主电路中的电容值 $C$ 和电感值 $L$ 组成,即粒子矢量维度 $D = 2$ ,其搜索范围以传统计算方法得到的主电路参数为核心,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主电路参数结构框图如图2所示.

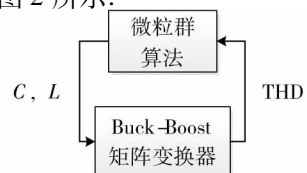


图2 PSO优化BBMC主电路参数结构框图

采用微粒群算法优化主电路参数的流程如图3所示。

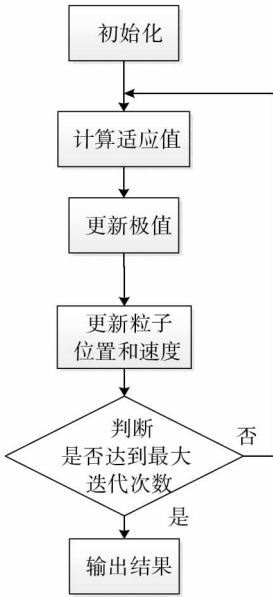


图3 PSO 优化主电路参数流程图

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: 将各个粒子矢量导入基于双闭环控制的 BBMC 模型中, 获得该粒子的适应值, 即 BBMC 输出电压波形的谐波失真度, 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的适应值进行比较, 如果该粒子的当前适应值小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: 根据式(1)~式(3)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, 输出优化结果, 否则返回2)继续寻优。

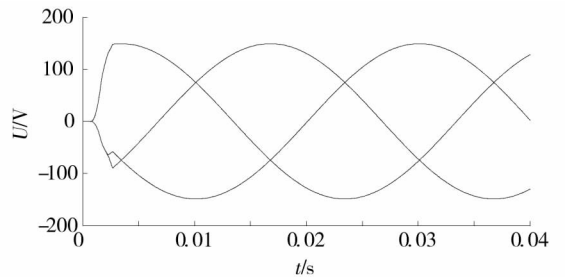
### 3 仿真分析

利用 Matlab/Simulink 对采用微粒群算法优化获得的主电路参数进行仿真验证<sup>[14-15]</sup>。假设三相

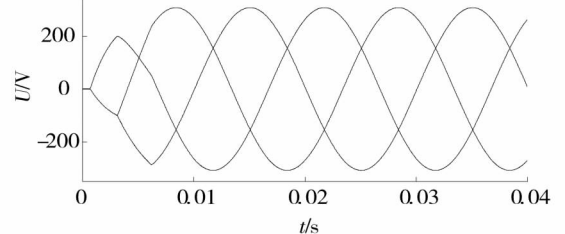
电源, 功率开关, 电感及电容等均为理想元件。仿真参数设置如下: 输入为 220 V/50 Hz 对称三相交流电源; 采用三相对称阻感负载; 粒子矢量维度  $D = 2$ , 种群规模  $M = 30$ , 最大迭代次数  $k_{max} = 50$ , 惯性权重因子最大值  $w_{max} = 0.9$ , 最小值  $w_{min} = 0.4$ , 加速因子  $c_1$  和  $c_2$  取 2.0,  $C$  的搜索范围为 0 ~ 1 000  $\mu\text{F}$ ,  $L$  的搜索范围为 0 ~ 500  $\mu\text{H}$ , BBMC 的整流级采用无零矢量的空间调制策略, 逆变级采用双闭环控制策略<sup>[7]</sup>, 其中电容电压控制环 PI 调节器中  $k_{p1} = 5.538$ ,  $k_{i1} = 4.99 \times 10^{-4}$ , 电感电流控制环中 PI 调节器  $k_{p2} = 80$ ,  $k_{i2} = 8.44 \times 10^{-5}$ 。为验证微粒群算法的优化效果, 取参考输出为电压 150 V/25 Hz, 311 V/50 Hz 及 450 V/75 Hz 进行优化, 优化获得的参数见表 1, 再将优化得的主电路参数代入仿真模型进行仿真。其仿真波形分别如图 4 所示, 仿真结果见表 2。

表1 主电路参数

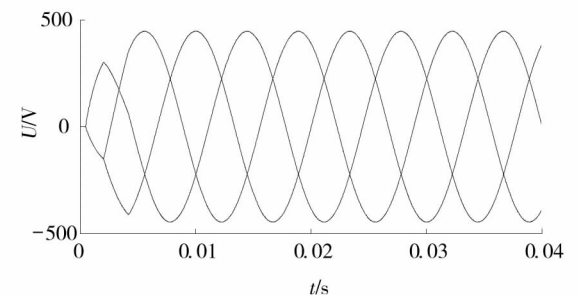
参考电压/(V/Hz)	$C/10^{-4}\text{F}$	$L/10^{-4}\text{H}$
150/25	6.772 02	3.816 63
311/50	4.819 45	1.504 06
450/75	1.697 33	0.894 44



(a) 参考输出电压为150 V/25 Hz的仿真波形



(b) 参考输出电压为311 V/50 Hz的仿真波形



(c) 参考输出电压为450 V/75 Hz的仿真波形

图4 仿真波形图

表2 仿真结果

参考电压/(V/Hz)	谐波失真度/%
150/25	0.06
311/50	0.09
450/75	0.15

由仿真波形图4及表2可知:采用微粒群算法优化获得的主电路参数的BBMC输出波形的谐波失真度更小。

## 4 结论

针对采用传统计算方法难以获得最佳BBMC主电路参数的状况,提出采用微粒群算法对其主电路参数进行优化,介绍了微粒群算法的基本原理,阐述了采用该算法优化主电路参数的设计方法,并对优化获得的主电路参数进行仿真验证。结果表明,微粒群算法能准确获得最佳主电路参数,使BBMC输出波形的谐波失真度小。

## 参考文献:

- [1] Xing W W, Hua L, Hong W S, et al. A research on space vector modulation strategy for matrix converter under abnormal input - voltage conditions [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2012, 59(1): 93 - 104.
- [2] Yamamoto E, Hara H, Uchino T, et al. Development of MCs and its applications in industry [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011, 5(1): 4 - 12.
- [3] Alesina A, Venturini M G B. Analysis and design of optimum - amplitude nine - switch direct AC - AC converters[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 1989, 4(1): 101 - 112.
- [4] 朱建林, 张建华, 郭有贵, 等. 过调制矩阵变换器的电压传输特性及谐波分析[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(10): 110 - 113.
- [5] Chang J, Sun T, Wang A H. Highly compact AC - AC converter achieving a high voltage transfer ratio[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2002, 49(2): 345 - 352.
- [6] 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.
- [7] 张小平, 朱建林, 唐华平, 等. 新型 Buck - Boost 矩阵变换器的双闭环控制策略[J]. 控制理论与应用, 2009, 26(2): 203 - 208.
- [8] Gong Y J, Zhang J, Liu O, et al. Optimizing the vehicle routing problem with time windows: a discrete particle swarm optimization approach [J]. IEEE Transactions on Systems, 2012, 2(42): 254 - 267.
- [9] Wu C W, Men S T. Application of enhanced integer coded particle swarm optimization for distribution system feeder reconfiguration[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2011, 26(3): 1591 - 1599.
- [10] 朱兴统, 左敬龙, 张晶华. 改进量子粒子群优化支持向量机的网页分类[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2012, 3(27): 81 - 85.
- [11] Kennedy J, Eberhart R C. Particle swarm optimization [C]//Proceedings IEEE International Conference on Neural Networks. Perth: IEEE Piscataway, 1995.
- [12] Wu C W, Men S T. Application of enhanced integer coded particle swarm optimization for distribution system feeder reconfiguration [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2011, 26(3): 1591 - 1599.
- [13] 雷秀娟, 付阿利, 孙晶晶. 改进的 PSO 算法的性能分析与研究[J]. 计算机应用研究, 2010, 2(27): 453 - 458.
- [14] 李明, 张勇, 李军权, 等. 改进 PSO - SVM 在说话人识别中的应用[J]. 电子科技大学学报, 2007, 6(36): 1345 - 1349.
- [15] 左富勇, 胡小平, 谢珂, 等. 基于 Matlab Robotics 工具箱的 SCARA 机器人轨迹规划与仿真[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2012, 2(27): 41 - 44.