

文章编号 1000-5013(2005)03-0283-04

分层遗传算法在 DC/DC 变换器中的应用

郑耀林 党淑雯

(华侨大学机电及自动化学院, 福建 泉州 362021)

摘要 DC/DC 变换器为强非线性、时变及不确定系统. 由于其自身的特点, 使得 DC/DC 变换器的控制研究工作比较困难. 文中提出一种用遗传算法优化的模糊控制器, 控制 DC/DC 变换器. 对传统的遗传算法进行改进, 使之优化能力更好. 由仿真和实际试验证明, 经过改进的遗传算法优化的模糊控制器, 对 DC/DC 变换器的控制效果更显著, 动态特性和静态特性都得到进一步改善. 同时说明所介绍的自适应遗传算法的寻优能力更好, 收敛速度也更快.

关键词 DC/DC 变换器, 遗传算法, 自适应优化, 模糊控制

中图分类号 TN 624. 02; TP 273+ . 4

文献标识码 A

目前大多数 DC/DC 变换器的控制方案, 仍是基于空间状态平均模型或线性化小信号模型. 由于系统的强非线性, 使这些模型的应用范围受到很大限制. 不同的自适应理论, 都设法克服这一类问题, 但由此所得到的控制器往往复杂且难以实现. 智能控制, 包括专家系统、模糊逻辑、神经网络、遗传算法, 为解决这些问题提供新的、强有力的工具. 近年来, 模糊逻辑在 DC/DC 变换器的控制方面有了实际应用. 但仍然有一些不足, 因此, 必须对模糊控制器进行改进, 我们在以前基础上采用遗传算法, 优化模糊控制器的结构和参数^[1~4]. 因为遗传算法的特点是不需要系统的结构信息和梯度信息, 对问题的维数不敏感, 并且具有并行搜索和全局收敛等特性. 遗传算法在解决模糊控制器中隶属度函数及规则的参数调节方面, 收到了很好的控制效果.

1 模糊控制器设计

模糊控制器设计的关键是模糊规则的设计, 一般包括 3 部分内容——选择描述输入输出变量的词集, 确定一个模糊变量的子集和建立模糊控制器的控制规则. 我们取误差 E 和误差的变化速度 CE 作为输入. 因模糊控制器的输入、输出取相同的论域, 故模糊控制器的模糊控制规则可表示为

$$U = INT(\alpha E + (1 - \alpha)CE). \tag{1}$$

其中 INT 为取整函数, E 为误差的模糊集, CE 为误差变化速度的模糊集, α 为可调的参数. 因此可自动建立模糊规则库. 模糊控制程序的模糊控制规则用如下的方法产生, 即

```
for i = 1: 7
for j = 1: 7
rr(i, j) = round(alpha* i+ (1- alpha)* j);
end
end
```

程序中用 Alpha 表示 α 这样的模糊控制系统, 可通过改变 α 的值方便地改变模糊控制规则.

模糊控制器首先要把精确量离散化. 我们所采用的是两输入一输出的二维模糊控制器, 可把输入在 $[-6, +6]$ 之间变化的连续量划分为

收稿日期 2004-09-30

作者简介 郑耀林(1943-), 男, 教授, 主要从事电力电子技术及微机应用方面的研究. E-mail: ylzheng@hqu.edu.cn

$$E = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}, \tag{2}$$

$$EC = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}, \tag{3}$$

$$E = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}, \tag{4}$$

$$EC = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}. \tag{5}$$

它们的论域分别为 13, 13 和 7 个等级. 每一档对应一个模糊集, 这样处理使模糊化简单. 模糊控制器在把精确量离散化后要经过模糊推理. 我们应用最简单最方便的玛达尼的极大极小推理法. 模糊推理结束之后要进行反模糊化. 重心法是取模糊隶属度函数曲线, 与横坐标围成的面积的重心为模糊推理最终输出值, 即

$$v_0 = \frac{\int_v v \mu_v(v) dv}{\int_v \mu_v(v) dv}. \tag{6}$$

对于具有 m 个输出量化级数的离散论域的情况, 有

$$v_0 = \frac{\sum_{k=1}^m v_k \mu_v(v_k)}{\sum_{k=1}^m \mu_v(v_k)}. \tag{7}$$

与最大隶属度函数法相比, 重心法具有更平滑的输出控制. 因此我们选用重心法, 且因 K_e, K_c 和 K_u 由如下公式确定为

$$K_e = n/e_{\max}, \tag{8}$$

$$K_c = m/e_{c\max}, \tag{9}$$

$$K_u = u_{\max}/l. \tag{10}$$

诸式中, $e_{\max}, e_{c\max}, u_{\max}$ 分别为误差、误差变化率、输出变量的最大值. $n, m, l = 2k + 1, (k = 0, 1, 2, \dots)$. 可见输入量化因子 K_e, K_c 和比例因子 K_u , 对模糊控制器的动态控制性能影响很大. 量化因子即是输入量的增益, 而比例因子则是输出量的增益.

2 遗传算法的设计

我们知道, 只要改变 Alpha 的值, 就可以调整模糊控制规则, 但仅凭人工调整难以达到最优值. 我们采用遗传算法, 优化模糊控制的 Alpha 值、比例因子 K_u 以及量化因子 K_e 和 K_c . 分层遗传算法也可分为 3 个步骤进行——选择, 交叉, 变异. 该算法具有运算速度快、收敛速度快的优点, 但容易引起局部收敛. 为了克服这一缺点, 应对它进行改进, 可设计一种自适应分层遗传算法使其具有更好的性能.

遗传算法的参数中交叉概率 P_c 和变异概率 P_m 的选择, 是影响遗传算法性能和行为的关键. 于是针对不同的问题需要经过反复的试验才能确定 P_c 和 P_m , 这是一件繁琐的过程, 而且很难找到问题的最佳值. Srinivas 等提出一种自适应遗传算法(Adaptive GA, AGA), 使 P_c 和 P_m 能够随适应度值而自动调整. 在自适应遗传算法中, P_c 和 P_m 按如下公式调整, 即

$$P_c = \begin{cases} P_{c1} - \frac{(f - f_{\text{avg}})(P_{c1} - P_{c2})}{f_{\max} - f_{\text{avg}}}, & f \geq f_{\text{avg}}, \\ P_{c1}, & f < f_{\text{avg}}, \end{cases} \tag{11}$$

$$P_m = \begin{cases} P_{m1} - \frac{(f_{\max} - f)(P_{m1} - P_{m2})}{f_{\max} - f_{\text{avg}}}, & f \geq f_{\text{avg}}, \\ P_{m1}, & f < f_{\text{avg}}. \end{cases} \tag{12}$$

在式(7), (8)中, f_{\max} 为群体中最大的适应度值, f_{avg} 为每代群体中的平均适应度值, f 为要变异或交叉的个体的适应度值.

根据文[5], 一般 P_c 取值在 0.75~ 0.95 之间, P_m 取值在 0.001~ 0.01 之间. 通过高变异来提高群体的多样性, 故 P_{m2} 取 0.01. 又据文[4], 我们把 P_{c2} 取较低的概率 0.6, 以限制过快的收敛. 最终, 取 $P_{c1} = 0.9, P_{c2} = 0.6, P_{m1} = 0.01, P_{m2} = 0.001$, 经多次仿真可得较满意的效果.

至此, 我们所设计的自适应分层遗传算法(图 1), 首先是随机生成 $N \times n$ 个样体($N \geq 2, n \geq 2$), 并将

这些样体分配给 N 个子种群; 然后, 将每个子种群独立地进行各自的遗传操作. 为了计算方便, 我们使

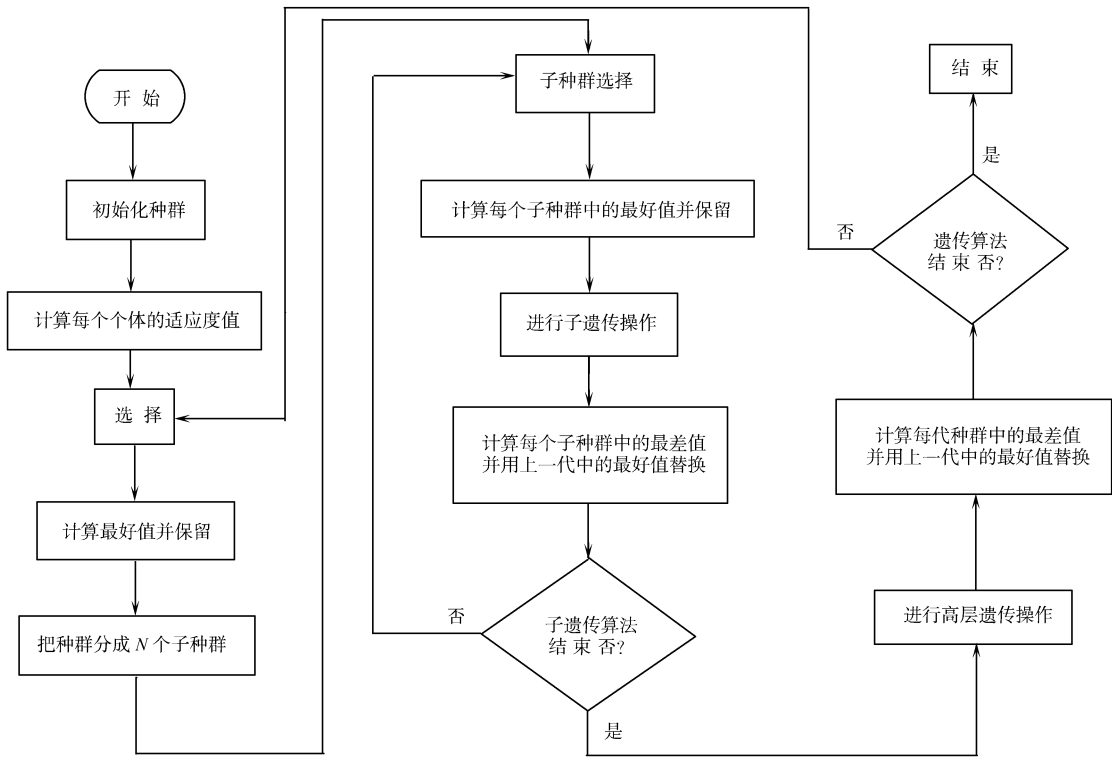


图 1 自适应分层遗传算法的流程图

用实数编码方式. 每个子种群的遗传算法在设置特性上有较大的差异. 例如, 可以将第 1 个遗传算法的交叉设置为单点式交叉, 变异设置为一致性变异; 第 2 个遗传算法设置为启发式交叉, 变异设置为非一致性变异. 这样 N 个遗传算法就可以为将来的高层遗传算法, 产生更多种类的优良模式.

每个子遗传算法运行到一定代数后, 进入高层遗传算法. 把每个子遗传算法的最后结果合在一起, 然后进行一次高层遗传操作, 这样就给每个子种群中的个体一个平等的竞争机会. 高层遗传操作结束后, 把所得结果重新分配给 N 个子遗传算法, 然后再次进行子遗传算法的操作. 自适应分层遗传算法的流程图, 如图 1 所示.

3 仿真实验

我们以 Buck 型变换器为控制对象, 电路如图 2 所示. Buck 变换器参数为主开关管为 MOSFET 型号 40 卷= 24 桥 桥= 6 V, $L=300\text{ }\mu\text{H}$, $C=470\text{ }\mu\text{F}$, 电感 L 的内阻 $r_L=0.03\text{ }\Omega$, 开关频率 $f_s=100\text{ kHz}$. Buck 变换器的传递函数为

$$G(s) = (0.000\ 000\ 141\ s^2 + 0.000\ 03\ s + 1)^{-1}.$$

用分层自适应遗传算法, 优化模糊控制器. 遗传算法运行 20 代后得到的优化结果可以表示为

$$\begin{aligned} \text{Alpha} &= 0.949\ 4, & k_u &= 79.495\ 2, \\ k_e &= 60.838\ 7, & k_c &= 29.741\ 8. \end{aligned}$$

此时, 其阶跃响应如图 3 所示, 而图 4 为普通模糊控制器的阶跃响应. 从以上两图相比较可看出, 基于分层自适应遗传算法的模糊控制器, 控制效果比一般的模糊控制器系统的响应速度更快, 稳态精度更高. 由此说明, 分层自适应遗传算法的寻优能力强, 其收敛速度比普通的遗传算法要快.

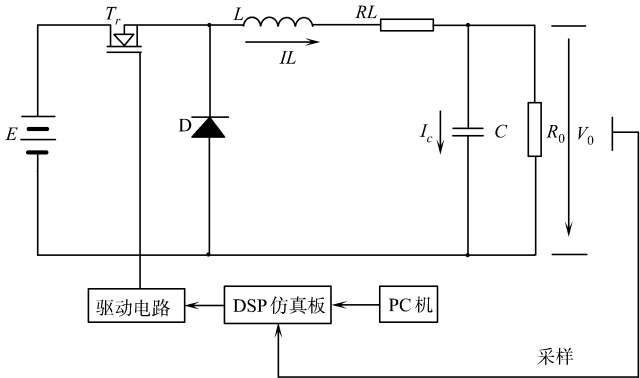


图 2 BUCK 变换器及其控制实验电路

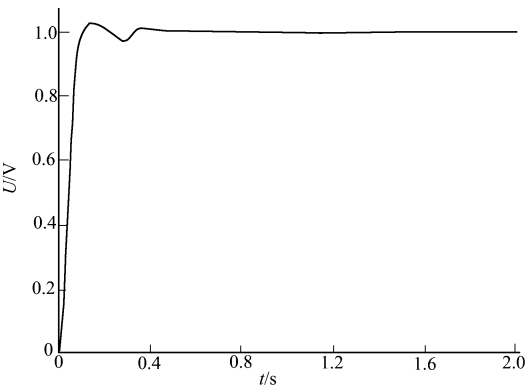


图 3 系统对阶跃响应的输出曲线

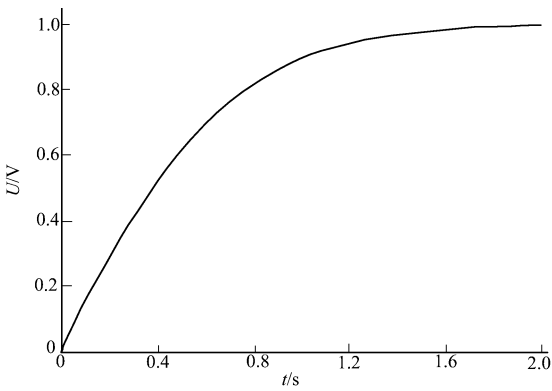
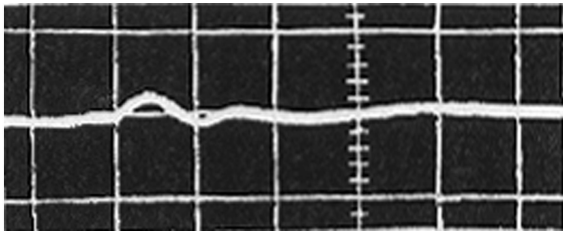


图 4 普通模糊控制器的阶跃输出曲线

为了验证仿真的结果,利用具有TMS320LF2407DSP芯片的仿真板,经开发后对Buck变换器进行了控制实验.利用上述的分层自适应遗传算法,优化控制器进行20代后的优化参数,在E变化2V时的特性如图5所示.

4 结束语

由仿真和实验可见,经过遗传算法优化的模糊控制器,其控制性能得到显著提高,可取得很好的控制效果,并且具有自学习、自适应的功能.模糊规则库可以调整,遗传算法可以根据不同的DC/DC变换器的特点,找出最优的模糊规则库.同时,调整模糊控制器的量化因子和比例因子,能够使整个模糊控制器达到最优化.



纵坐标: 1 V · 格⁻¹; 横坐标: 1 ms · 格⁻¹

图 5 实测波形

参 考 文 献

1 Sung K O, Witold P. Identification of fuzzy systems by means of an auto tuning algorithm and its application to non-linear systems[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 115: 205~ 230
2 刘 勇. 非数值并行算法——遗传算法: 第 2 册[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 2~ 3
3 甘俊英. 基于遗传算法的非线性控制系统参数优化方法[J]. 工业仪表与自动化装置, 2000, 21(2): 200~ 204
4 李海民. 吴成柯. 自适应变异遗传算法及其性能分析[J]. 电子学报, 1999, 5: 90~ 91
5 Fogel D B. An introduction to simulated evolutionary optimization[J]. IEEE Trans on Neural Networks, 1994, 5(1): 96~ 101

The Control of DC/DC Converter by Applying a Hiererchical Genetic Algorithm-Optimized Fuzzy Controller

Zheng Yaolin Dang Shuwen

(College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, 362021, Quanzhou, China)

Abstract DC/DC converter is a quite nonlinear and time varying and uncertain system. Owing to the characteristic of itself, its control and study are fairly difficult. For its control, the authors put forward a genetic algorithm optimized fuzzy controller. This genetic algorithm is an improvement of conventional genetic algorithm and thus shows a better ability of optimization. As proved by simulation and actual test, DC/DC converter can be better controlled by this improved fuzzy controller, namely, the genetic algorithm optimized fuzzy controller, its dynamic and static characteristics are all further improved. This result also accounts for that the adaptive genetic algorithm described here has a better ability of optimization and a faster convergence speed.

Keywords DC/DC converter, genetic algorithm, adaptive optimization, fuzzy control