

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЦИФРОВОГО НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

Е. А. Левон, И. Ф. Домнин, В. П. Северин,
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
Кафедра «Радиоэлектроника», НТУ «ХПИ», ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина
Тел.: (057) 706-2599, E-mail: elena_levon@ukr.net

Annotation – The operation of the digital fuzzy controller in the control system of a filter compensating device is described. The parameters for the digital regulator are defined. The article describes the dependence of the efficiency of the work of the regulator from the parameters necessary to configure it. The vector optimization methods of objective functions for the fuzzy control system of a filter compensating device are proposed to use.

Key words – fuzzy controller, parameter setting, optimization method

ВВЕДЕНИЕ

Применение нечеткого управления в ряде случаев обеспечивает более высокие показатели качества переходных процессов по сравнению с классическими законами. К большому преимуществу нечеткого управления также следует отнести возможность создания систем управления для объектов, алгоритмы функционирования которых трудно формализуемы методами традиционной математики. В настоящее время проектирование нечетких регуляторов (НР) осуществляется на основе пакета нечеткой логики Fuzzy Logic Toolbox с использованием мощного средства моделирования и исследования систем управления с обратной связью Simulink интерактивной системы MATLAB. В работах [1, 2] описан метод проектирования нечеткого регулятора в составе системы управления устройством компенсации неактивных составляющих полной мощности (фильтрокомпенсирующего устройства). В предложенной структуре автоматизированной системы управления фильтрокомпенсирующим устройством (ФКУ) введен дополнительный контур регулирования с fuzzy регулятором, который реализует процедуру нечеткого вывода и дает возможность получить требуемые значения регулируемых и контролируемых параметров объекта, а

именно осуществляет управление уровнем амплитуды выбранной гармоники тока питающей сети k_i и приведение его к требуемому значению. Этого можно добиться изменением напряжения на конденсаторе инвертора U_c за счет управляющих сигналов ΔU_c на выходе дополнительного контура регулирования. В предложенной системе управления на базе нечеткой логики входные сигналы fuzzy регулятора и управляющие воздействия на выходе рассматриваются как лингвистические переменные, качественно характеризующиеся терм-множествами. Каждый терм рассматривается как нечеткое множество и формализуется с помощью функции принадлежности. Формирование управляющего воздействия осуществляется на основании лингвистических правил управления, устанавливающих средствами естественного языка связь между состоянием динамической системы и управляющим воздействием в системе управления ФКУ.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Важной задачей является настройка параметров нечеткого регулятора, от которых непосредственно зависит выходной управляющий сигнал. Параметрический синтез fuzzy регулятора предлагается осуществлять путем

оптимизации диапазонов изменения входных и выходного параметров НР, а также параметров функций принадлежности нечетких термов, с помощью которых оцениваются входы и выход НР. Путем математического моделирования замкнутой системы автоматического управления с цифровым нечетким регулятором при определенных входных воздействиях необходимо определить такие значения настроечных параметров fuzzy регулятора, которые позволят обеспечить требуемое качество регулирования контролируемых параметров объекта.

РЕШЕНИЕ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

Для выбора оптимальных параметров настройки цифрового НР предложено использовать математические методы оптимизации целевых функций. При оптимизации параметров цифрового нечеткого регулятора в данной системе автоматического управления следует определить варьируемые параметры, а также целевую функцию, в качестве которой выступает контролируемый параметр объекта. Оптимальные параметры соответствуют минимальному значению целевой функции, а минимизация целевой функции автоматически приводит к оптимизации переходных процессов в системе управления.

Таким образом, в качестве целевой функции выступает контролируемый параметр – амплитуда выбранной гармоники тока питающей сети k_i , по величине которого также можно сделать вывод об эффективности использования fuzzy регулятора, а в качестве варьируемых параметров заданы граничные значения диапазона изменения входного параметра fuzzy регулятора – напряжения на конденсаторе накопителя ФКУ U_{cmin} и U_{cmax} , а также граничные значения диапазона изменения выходного параметра – управляющего сигнала δU_{cmin} и δU_{cmax} .

На варьируемые параметры накладываются ограничения, формируя так называемые штрафные функции:

$$a < U_{cmin} < b, \quad c < U_{cmax} < d,$$

$$a1 < \delta U_{cmin} < b1, \quad c1 < \delta U_{cmax} < d1,$$

причем $a, a1, \dots, d, d1$ задаются пользователем, а целевую функцию необходимо минимизировать в процессе моделирования $k_i = k_{imin}$. Варьирование параметров fuzzy регулятора и вычисление целевой функции происходит в едином процессе моделирования. Целевая функция не определена, если хотя бы одно из этих ограничений будет нарушено. Для решения задач оптимизации настроечных параметров регулятора целесообразно применение методов, позволяющих эффективно решать оптимизационные задачи, в которых функции ограничений и целевая функция вычисляются в едином вычислительном процессе и имеют ограниченные области определения в пространстве варьируемых параметров.

Перспективным является подход, сводящий систему параметрических и критериальных ограничений к векторной целевой функции и заключающийся в оптимизации этой функции модифицированными методами оптимизации векторных целевых функций. При этом целесообразно использовать лабораторию моделей и методов оптимизации систем автоматического управления в пакете MATLAB [3] и его расширение — пакет имитационного моделирования Simulink.

Постановка задачи векторной оптимизации параметров регулятора заключается в формировании векторной функции $F(x)$ с двумя проекциями:

$F_1(x)$ – число выполненных ограничений,

$F_2(x)$ – векторная функция следующего общего вида:

$$F_2(x) = (F_i(x), F_{i+1}(x), K, F_M(x)),$$

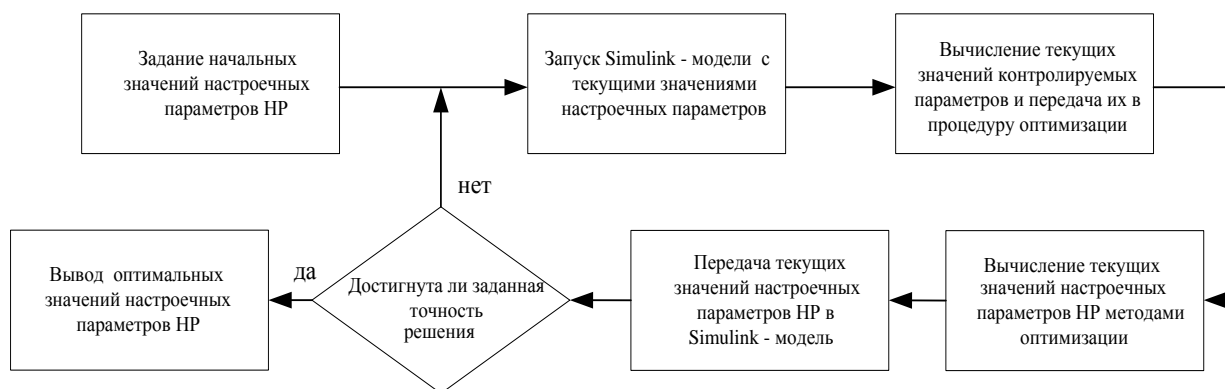


Рис. 1

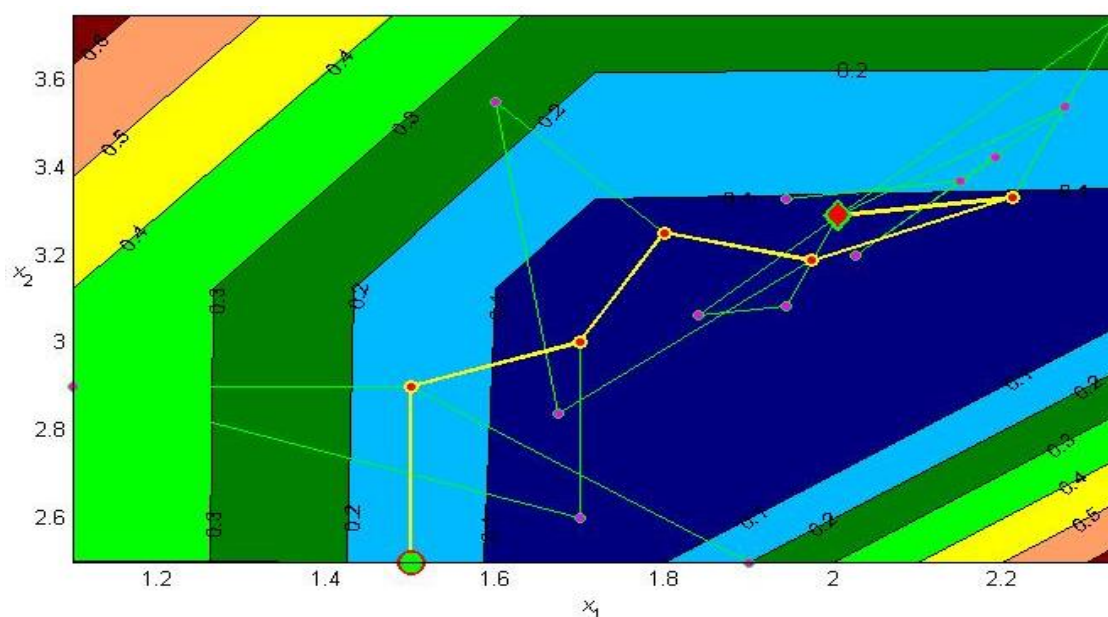


Рис. 2

Таблица 1

Оптимизационный параметр	$U_{\text{сmin}}$ x1	$U_{\text{сmax}}$ x2	$\text{delta_}U_{\text{сmin}}$ x1 *0.001	$\text{delta_}U_{\text{сmax}}$ x2 *0.001
Значение, отн. ед	1900	3100	1,9	3,1

где $x \in R^n$, n — число варьируемых параметров, M — размерность векторной функции. Векторная функция $F_2(x)$ состоит из $M-1$ штрафных функций и последнего критерия — целевой функции. Для эффективного применения этой векторной функции каждая ее составляющая должна быть определена во всем пространстве варьируемых параметров, в противном случае ее необходимо доопределить некоторой функцией штрафа. Каждую проекцию

этой векторной функции необходимо минимизировать с учетом приоритета проекций.

Поиск оптимальных настроечных параметров регулятора выполняется в соответствии с алгоритмом, приведенным на рис. 1 и основан на использовании метода деформируемого многогранника Нелдера-Мида в блоке вычисления текущих значений настроечных параметров нечеткого регулятора.

Таблица 2

Ni	Nb	Nf	H	F1	F2	x1	x2	Действие
0	1	1	0.4	2	0.0564	1.5	2.5	начало
0	1	2	0.4	1	0.2	1.9	2.5	нач. многогр.
0	2	3	0.4	2	0.0336	1.5	2.9	нач. многогр.
1	2	4	0.4	0	0.4	1.1	2.9	отражение
1	2	5	0.4	2	0.0378	1.7	2.6	сжатие
2	3	6	0.4	2	0.0298	1.7	3	отражение
2	4	7	0.4	2	0.0297	1.8	3.25	растяжение
3	4	8	0.65	0	0.05	1.6	3.55	отражение
3	4	9	0.65	2	0.0326	1.675	2.8375	сжатие
4	5	10	0.415	2	0.0285	1.975	3.1875	отражение
4	5	10	0.415	2	0.0285	1.975	3.1875	конец

В результате решения поставленной задачи параметрического синтеза НР с помощью векторных методов оптимизации целевых функций были получены оптимальные параметры НР, приведенные в таблице 1. В процессе моделирования автоматизированной системы управления фильтрокомпенсирующим устройством при полученных оптимальных настройках fuzzy регулятора, происходит установление напряжения на конденсаторе инвертора на определенном уровне, при котором амплитуда седьмой гармоники тока питающей сети I_{m7} не превышает 5% от уровня амплитуды первой гармоники I_{m1} .

Рисунок 2 и таблица 2 иллюстрируют ход процесса оптимизации значений варьируемых параметров. Значения $x1$ и $x2$ соответствуют граничным значениям диапазона изменения входных параметров fuzzy регулятора, F1 – количество выполненных ограничений в порядке приоритета, F2 – целевая функция, либо степень нарушения не выполненного ограничения в порядке приоритета, H – шаг метода, Ni – номер итерации, Nf – количество вычислений целевой функции, Nb – количество лучших точек поиска.

ВЫВОДЫ

Исходя из полученных результатов, сформированы следующие выводы:

1. Поставлена и решена задача параметрического синтеза fuzzy регулятора.
2. С помощью модифицированных методов оптимизации векторных целевых функций найдены оптимальные настроечные параметры fuzzy регулятора
3. Полученные настроечные параметры позволили обеспечить управление уровнем амплитуды выбранной гармоники тока питающей сети k_i и привести ее к требуемому уровню, не превышаемому 5% от уровня амплитуды первой гармоники.

[1] Домнин И. Ф., Кайда Е. А. Многоконтурная система управления фильтрокомпенсирующим устройством // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск “Силова електроніка та енергоефективність”. –2010.– Часть 2.– С. 44– 47.

[2] Кайда Е. А. Нечеткое регулирование устройством компенсации неактивных составляющих полной мощности // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск “Силова електроніка та енергоефективність”. –2011.– Часть 1.– С. 184 – 188.

[3] Северин В. П. Лаборатория моделей и методов оптимизации систем автоматического управления // Труды III Всероссийской научной конференции «Проектирование научных и инженерных приложений в среде MATLAB». Санкт-Петербург: СПбГУ.2007. С. 1189-1200.