

УДК 0004.7

К.Ю.Гордиевская, Д.Н.Халимов, Т.В.Мельникова, А.О.Гриднева

## ВОПРОСЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ СИСТЕМ

*Воронежский институт высоких технологий*

*Обсуждаются основные этапы структурного синтеза электрифицированной системы. Приведена структурная схема формирования многоальтернативной оптимизационной модели структурного синтеза электрифицированной системы. Проведено построение имитационной модели в задаче, связанной с проектированием сложных электрифицированных систем.*

**Ключевые слова:** моделирование, электрифицированная система, структурный синтез.

Электрифицированные сложные системы на первом этапе их разработок требуют не только чтобы разрабатывались объектно-ориентированные процедуры анализа и синтеза проектных решений, но и проводились работы по их исследованию и выбору по комплексу показателей. В этом плане наиболее нацелены на решение этих проблем специализированные САПР [1-4].

С другой стороны, проектирование может быть основано на применении сконструированных и апробированных на практике модулей (звеньев).

Поэтому основной объем проектной деятельности, требующей автоматизации, состоит в структурном синтезе конструктивного объединения модулей в единую систему, которая способна к работе в заданных режимах. При этом одновременно с наиболее эффективным вариантом структуры системы следует выбирать структуру алгоритма управления режимами ее работы [5-11].

Разнообразие проектных решений по разработке структуры и возможность выбора наилучшего варианта приводит к необходимости использования процедур оптимального проектирования. Одним из эффективных подходов в этом случае является многоальтернативная оптимизация.

Структурный синтез электрифицированной системы предлагается рассматривать как одновременное, автоматизированное решение двух задач выбора:

порядка модульной сборки;

варианта настройки априорно периодического закона изменения параметров ( $y, z$ ), определяющих режимы работы.

В качестве оптимального решения выбирается то, которое обеспечивает наилучшее (максимальное) значение интегральной функции эффективности [12-15]

$$f=(y^2+z^2)/NN_y \quad (1)$$

где,  $y, z$  – параметры системы после отработки одного цикла моделирования при условии, что их изменение при моделировании начинается в точке с нулевыми координатами,  $N$  – число модулей в системе,  $N_y$  – количественная оценка сложности алгоритма управления режимами.

Множество проектных элементов, влияющих на выбор структуры, представим в виде альтернативных переменных, принимающих значение 1 или 0.

Рассмотрим множество проектных элементов и введем соответствующие альтернативные переменные путем представления дискретных чисел, соответствующих этим элементам, в двоичном исчислении. Обозначим количество модулей, объединяемых в систему,

$$n = \overline{1, N}$$

Тогда в двоичном исчислении имеем при  $N \leq 16$ .

$$n=1+x_1+2x_2+4x_3+8x_4,$$

$$\text{где } \overline{x_1, x_4} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

При модульной сборке системы считается, что сопряжение каждого нового модуля с ранее подключенными должно осуществляться вдоль выбранного направления и обеспечиваться стыковкой его первых интерфейсов с одним из свободных на любых других элементах системы, которые занимают ближайшее положение. Описание порядка соединения сводится к указанию направления и места крепления очередного элемента. Направление стыковки для  $n$ -го модуля  $n_{cm}$  принимает четыре значения ( $n_{cm}=1$  – север,  $n_{cm}=2$  – восток,  $n_{cm}=3$  – юг,  $n_{cm}=4$  – запад) и представляется через альтернативные переменные

$$n_{cm,n}=1+x_{5n}+2x_{6n},$$

$$\text{где } n = \overline{1, N}, x_{5n}, x_{6n} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

Номер интерфейса, выбираемого для стыковки  $n$ -го модуля в двоичном исчислении, запишется в следующем виде

$$n_{пл,n} = 1 + x_{7n} + 2x_{8n} + 4x_{9n},$$

$$\text{где } n = \overline{2, N}, \overline{x_{7n}, x_{9n}} = \begin{cases} 1, \\ 0. \end{cases}$$

Поскольку  $n_{пл,n} = 6$ , то для соединения используется следующее условие. Если номер интерфейса  $n_{пл,n}$  при определенных значениях альтернативных переменных  $\overline{x_{7n}, x_{9n}}$  превышает их фактическое значение  $n'_{пл,n}$  на выбранной стороне конструкции, то в качестве номера интерфейса берется значение [1]

$$n_{пл} = \text{mod}(n_{пл} / n'_{пл,n}),$$

где  $\text{mod}(b/c)$  – функция определения остатка от деления целых чисел  $b$  и  $c$ .

Теперь рассмотрим как вводятся альтернативные переменные для описания параметров периодического закона [11-15]

$$A^1 = A + B \sin(\omega t + \varphi),$$

где  $A^1$  – новое значение обобщенной координаты,  $A$  – значение обобщенного параметра ( $y$  или  $z$ ), относительно которой происходит периодическое изменение;  $B$  – амплитуда периодического колебания обобщенного параметра; суммарная величина  $|A| + |B|$  не должна превышать максимально допустимого отклонения обобщенного параметра модуля;  $\varphi$  – смещение фазы периодического движения. Настройки параметров этого закона определяют алгоритмы управления синтезируемой системы.

Будем считать, что эти параметры характеризуются дискретными значениями, имеющими соответствующие численные номера в пределах 16. Именно эти номера для первого и второго обобщенного параметра представим в двоичном исчислении:

Для параметра  $y$

$$n_{A1n} = 1 + x_{10n} + 2x_{11n} + 4x_{12n} + 8x_{13n}, \quad n_{B1n} = 1 + x_{14n} + 2x_{15n} + 4x_{16n} + 8x_{17n}, \\ n_{\omega 1n} = 1 + x_{18n} + 2x_{19n} + 4x_{20n} + 8x_{21n}, \quad n_{\varphi 1n} = 1 + x_{22n} + 2x_{23n} + 4x_{24n} + 8x_{25n}.$$

Для параметра  $z$

$$n_{A2n} = 1 + x_{26n} + 2x_{27n} + 4x_{28n} + 8x_{29n}, \quad n_{B2n} = 1 + x_{30n} + 2x_{31n} + 4x_{32n} + 8x_{33n}, \\ n_{\omega 2n} = 1 + x_{34n} + 2x_{35n} + 4x_{36n} + 8x_{37n}, \quad n_{\varphi 2n} = 1 + x_{38n} + 2x_{39n} + 4x_{40n} + 8x_{41n}.$$

В этом случае задача оптимизационного структурного синтеза [16] состоит в выборе значений альтернативных переменных  $x_1^*, x_{41n}^*$  обеспечивающих максимальное значение функции (1).



Рисунок 1 – Структурная схема формирования многоальтернативной оптимизационной модели структурного синтеза электрифицированной системы

$$f = \frac{\overline{[y(x_1, x_{41n})]^2 + [z(x_1, x_{41n})]^2}}{N(x_1, x_{41n})N_c(x_1, x_{41n})} \rightarrow \max \quad (2)$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} |A_1(x_{10}, x_{12n}) + B_1(x_{14n}, x_{17n})| &\leq y^{\max}, \\ |A_2(x_{26}, x_{29n}) + B_2(x_{30n}, x_{33n})| &\leq z^{\max}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\overline{x_1, x_{4n}} = \begin{cases} 1, & n = \overline{1, N} \\ 0, & \end{cases}$$

где  $y^{\max}$ ,  $z^{\max}$  - максимально допустимые отклонения обобщенного параметра модуля относительно ее нулевого значения.

Обозначим вектор оптимизируемых переменных

$$x = (\overline{x_1, x_{41n}}, n = \overline{1, N})$$

В качестве оптимизируемой функции  $F(x)$  будем использовать функцию Лагранжа, которая дает возможность перейти от задачи оптимизации, включающей целевую функцию (2) и ограничения (3), к задаче оптимизации без ограничений

$$F(x, \lambda_1, \lambda_2) = f(x) + \lambda_1(y^{\max} - |A_1(x) + B_1(x)|) + \lambda_2(z^{\max} - |A_2(x) + B_2(x)|).$$

где  $\lambda_1 \geq 0$ ,  $\lambda_2 \geq 0$  - неопределенные множители функции Лагранжа.

Структурная схема многоальтернативного оптимизационного моделирования приведена на рис. 1.

Поскольку одновременно с поиском оптимального значения вектора  $x$  требуется определение переменных  $\lambda_1, \lambda_2$  конкурирующим вариантом оптимизационного моделирования является переход к многокритериальной задаче с последующим определением весовых коэффициентов глобальной целевой функции.

Таким образом, рассмотренный подход может быть использован для повышения эффективности проектирования электрифицированных систем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Преображенский А.П., Юров Р.П. САПР современных радиоэлектронных устройств и систем / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2006. Т. 2. № 3. С. 35-37.
2. Львович Я.Е., Львович И.Я. Принятие решений в экспертно-виртуальной среде / Воронеж, Издательство: ООО "Издательство "Научная книга", 2010, 139 с.
3. Кульнева Е.Ю., Гащенко И.А. О характеристиках, влияющих на моделирование радиотехнических устройств / Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-2. С. 50.
4. Мишин Я.А. О системах автоматизированного проектирования в беспроводных сетях / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 153-156.
5. Антамошкин А.Н., Казаковцев Л.А. Алгоритм случайного поиска для обобщенной задачи вебера в дискретных координатах / Информатика и системы управления. 2013. № 1 (35). С. 087-098.
6. Антамошкин А.Н., Кагиров Р.Р. Алгоритмы муравьиных колоний для многомерной задачи о рюкзаке / Системы управления и информационные технологии. 2007. Т. 27. № 1.2. С. 214-218.
7. Пеньков П.В. Экспертные методы улучшения систем управления / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 108-110.
8. Зяблов Е.Л., Преображенский Ю.П. Построение объектно-семантической модели системы управления / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2008. № 3. С. 029-030.
9. Паневин Р.Ю., Преображенский Ю.П. Задачи оптимального управления многостадийными технологическими процессами / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2010. № 6. С. 77-80.
10. Ерасов С.В. Оптимизационные процессы в электродинамических задачах / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 20-26.
11. Самойлова У.А. Анализ сложных электродинамических объектов на основе параллельных вычислений / Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-2. С. 55-56.
12. Бурдаков С.Ф. Математические модели и идентификация роботов с упругими элементами. / СПбГТУ, СПб, 1990.
13. Андраханов С.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Учебно-исследовательская САПР мехатронно-модульных роботов / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2013. Т. 9. № 3-1. С. 24-27.

14. Андраханов С.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Реализация интегрированного алгоритма многоальтернативного выбора и генетического алгоритма / *Фундаментальные исследования*. 2013. № 10-11. С. 2391-2395.
15. Андраханов С.В., Львович Я.Е. Многоальтернативная оптимизационная модель автоматизации структурного синтеза мехатронно-модульных роботов / *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2011. Т. 7. № 3. С. 75-77.
16. Львович Я.Е. Многоальтернативная оптимизация: теория и приложения. / Воронеж, Издательство "Кварт", 2006, 415 с.

K.Y. Gordievskaya, D.N.Halimov, T.V.Melnikova, A.O.Gridneva  
**THE QUESTIONS OF SIMULATION OF ELECTRIFIED  
SYSTEMS**

*Voronezh Institute of High Technologies*

*The main stages of structural synthesis of the electrified system are discussed. The structural diagram of the formation of multi-alternative optimization models structural synthesis of the electrified system is given. The construction of simulation models in the task of electrified design of complex systems is carried out.*

**Keywords:** simulation, electrical system, structural synthesis.