

рощается, так как на неё не накладывается ограничение величины воздушного зазора, появляется возможность извлечения большой пиковой мощности за короткое время. Из вышесказанного следует, что главные потери в этих машинах – потери в обмотках. Эти потери могут быть минимизированы увеличением количества меди в обмотках. При использовании магнитной системой Холбаха в магнитоэлектрических генераторах, возможно исполнение с внутренним и внешним индуктором, с неподвижными обмотками и магнитными системами, вращающимися вокруг обмоток.

Появление новых магнитных материалов и новых способов концентрации магнитного потока дает возможность создавать новые конструкции синхронных магнитоэлектрических машин, обладающих большей удельной мощностью, меньшей инерционностью по сравнению с традиционными магнитными системами на постоянных магнитах (звездочка, с полюсными башмаками, с полюсными наконечниками). Подобные системы возбуждения могут быть использованы также для улучшения характеристик электрических машин постоянного тока.

Список литературы:

1. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. М.: Энергия, Т.1. 2005. - 728 с.
2. Балагуров В.А. Электрические генераторы с постоянными магнитами. -М.: Энергоатомиздат, 1988.-279с.: ил.; 21см.-Библиогр.:с.276-278.
3. J.M.D. Coey. Permanent magnet applications. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 248 (2002) 441-456.
4. K. Halbach. Design of Permanent Magnet Multipole Magnets with Oriented Rare Earth Cobalt Material. Nuclear Instruments and Methods. 1980, pp. 1-10.
5. EICUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 53. Руководство пользователя. <http://elcut.ru>.

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ И УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОНАГРУЗКАМИ

Карелин А.Н., Карелин Е.Н.

*Филиал Санкт-Петербургского государственного морского технического университета,
Северодвинск, Россия*

Электроснабжение наружного освещения в жилых, общественных, торговых и производственно-технических зданиях и сооружениях осуществляется от отдельной части вводно-распределительных устройств (ВРУ) по отдельным групповым линиям электропитания. По своему назначению групповые линии, питающие наружное освещение этих зданий и сооружений можно разделить на следующие функциональные группы:

1) Групповые линии наружного освещения внутридворовой территории и фасадов зданий и сооружений, освещение автостоянок.

2) Групповые линии наружного иллюминационного и рекламного освещения различного назначения.

3) Групповые линии наружного освещения парадных входов и подъездов.

4) Групповые линии общедомового (домоуправленческое) наружного освещения основных лестничных площадок, холлов и вестибюлей.

По режиму работы, групповые линии, питающие наружное освещение, в основном подразделяются: работающие только вечером или вечером и ночью, с отключением в утренние часы. Исключения могут составлять особые требования к освещению общественных зданий учреждений культуры, спорта и др.

Таким образом, исходя из назначения и режима работы групповых линий наружного освещения рассматриваются различные способы их управления.

Для решения этих задач автором разработан и изготавливается на предприятии силовой блок - «Блок релейный управления освещением» (БРУО). Блок предназначен для автоматического управления электронагрузками различных производственных территорий (фасады зданий, рекламные щиты, освещение АЗС и т.д.). Адаптивный режим работы БРУО устанавливается при монтаже прибора и может меняться по запросу заказчика.

БРУО рассчитан на подключение нагрузки от 1 до 45 кВт (интернет: <http://www.kascad.h1.ru>). Многолетний период безаварийной эксплуатации прибора в различных климатических условиях (-40⁰С ÷ до 35⁰С, влажность - 70%), а также организациях и предприятиях Государственного Российского центра атомного судостроения говорит о надежности примененного схемотехнического решения.

«ВИЗУАЛЬНОЕ» ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Кондратенко А.В., Варакин М.Ю., Бабак Л.И.
*Томский Университет Систем Управления и
Радиоэлектроники (ТУСУР), Томск, Россия*

Процесс разработки фильтров СВЧ в последнее время существенно усложнился из-за возрастания сложности новых систем и необходимости более тщательного и точного проектирования. Предъявляемые требования зачастую оказываются противоречивыми, поэтому проектирование представляет собой многокритериальную задачу. Вопрос еще более усложняется из-за того, что возможности подстройки и регулировки некоторых устройств после изготовления ограничены либо полностью отсутствуют. Данные обстоя-

тельства привели к тому, что автоматизированное проектирование стало неотъемлемым этапом разработки фильтров СВЧ. Современные системы автоматизированного проектирования (САПР) устройств СВЧ можно условно разделить на две основные группы:

1. Программы, которые базируются на электрических моделях и эквивалентных схемах. Использование данных программ целесообразно в тех случаях, когда может быть составлена эквивалентная схема, в достаточной степени соответствующая реальному устройству. При этом неидеальность используемых моделей во многих случаях можно учесть путем введения подстроечных элементов на этапе проектирования.

2. Программы, в которых задача анализа решается на электродинамическом уровне. Данная группа программ традиционно делится на две категории: 2D – моделирующие программы, предназначенные для анализа только непрерывных структур, бесконечных в одном направлении, и 3D – моделирующие программы, способные анализировать практически любую объемную структуру с высокой точностью, но требующие значительных временных и вычислительных ресурсов.

Требования к точности проектирования фильтров СВЧ высоки и, по-видимому, во многих случаях могут быть удовлетворены только в рамках многомерного электродинамического анализа. Поэтому весьма актуальным является использование такого подхода к проектированию, который бы обеспечивал высокую точность при небольших затратах временных и вычислительных ресурсов. Одним из таких подходов является использование нейронных сетей [1].

Идея использования нейронной сети заключается в том, что после затрат времени на обучение на основе совокупности характеристик устройства, полученных в результате электродинамического (ЭД) моделирования, нейромодель имитирует свойства данного устройства. При ее использовании можно значительно сократить время, необходимое для анализа и оптимизации.

Нейронное моделирование проводилось в пакете NeuroModeler 1.2.2. В качестве объекта обучения выбран трехслойный персептрон, пред-

ставляющий собой нейронную сеть с тремя слоями нейронов: входным, промежуточным (скрытым) и выходным. Входными (управляемыми) параметрами сети выбраны геометрические параметры фильтра (длины резонаторов ($r1, r2$) и диафрагм ($d1, d2$)). В качестве выходных параметров нейронной сети выбрана следующая совокупность критериев:

- центральная частота полосы пропускания (f_0);
- ширина полосы пропускания (Δf);
- минимальное значение коэффициента передачи в полосе пропускания ($S_{21_{\min}}$);
- неравномерность коэффициента передачи в полосе пропускания (ΔS_{21});
- максимальное значение коэффициента отражения в полосе пропускания ($S_{11_{\max}}$);
- уровень затухания при заданных отстройках от центральной частоты (R_{low}, R_{up}).

В качестве обучающих примеров использовалась выборка, представляющая собой совокупности значений критериев, вычисленных из результатов ЭД анализа при вариациях геометрических параметров. Каждый из четырех управляемых параметров мог принимать три различных значения, таким образом, расчет проводился для 81 комбинации значений параметров. Выбор небольшого количества обучающих примеров был сделан с целью сокращения суммарного времени расчета (время, необходимое для однократного ЭД анализа характеристик фильтра с точностью не хуже 1%, составляет порядка тридцати минут).

Для получения обучающей выборки в среде программирования Delphi была написана вспомогательная программа, которая, исходя из результатов ЭД анализа, производила расчет значений критериев, подготовку данных для пакета NeuroModeler, а также предоставляла возможность тестирования обученной нейромодели. Обобщенные сведения о структуре используемой нейронной сети приведены в табл. 1.

Таблица 1. Обобщенные сведения о структуре используемой нейронной сети.

Параметр	Значение
Количество входов нейронной сети	4
Количество выходов нейронной сети	7
Количество нейронов на промежуточном слое	40
Количество обучающих примеров	81
Количество повторений обучения	5
Общее количество итераций при обучении (эпох)	1500
Время обучения (в часах)	3
Достигнутое значение целевой функции	0,007745

В табл. 2 представлены относительные значения максимальных ошибок $\delta_{\max}(X)$ по каждому критерию, полученные в результате тестирования нейромодели на примерах участвовавших в обучении.

Таблица 2. Тестирование нейронной модели на примерах, участвовавших в обучении.

Критерий	f_0	Δf	$S21_{\min}$	$\Delta S21$	$S11_{\max}$	R_{low}	R_{up}
$\delta_{\max}(X)$, %	1,127	6,241	0,786	0,745	1,139	2,137	5,342

В табл. 3 представлены относительные и абсолютные значения ошибок предсказания ($\delta(X)$ и $\Delta(X)$), полученные для трех вариаций значений геометрических параметров, не участвовавших в процессе обучения.

Таблица 3. Тестирование нейронной модели на примерах, не участвовавших в обучении.

Критерий	f_0	Δf	$S21_{\min}$	$\Delta S21$	$S11_{\max}$	R_{low}	R_{up}
$\delta_I(X)$, %	$5,5 \times 10^{-4}$	0,35	12,85	12,36	1,44	0,09	1,42
$\Delta_I(X)$	211кГц	1,01МГц	0,023дБ	0,022дБ	0,21дБ	0,03дБ	0,45дБ
$\delta_{II}(X)$, %	$5,94 \times 10^{-4}$	0,14	4,03	4,38	1,27	3,38	1,41
$\Delta_{II}(X)$	214кГц	0,4МГц	0,021дБ	0,022дБ	0,12дБ	1,22дБ	0,45дБ
$\delta_{III}(X)$, %	$2,74 \times 10^{-3}$	0,09	4,18	5,69	0,48	2,84	2,61
$\Delta_{III}(X)$	985кГц	266кГц	0,009дБ	0,012дБ	0,07дБ	0,99дБ	0,84дБ

Из табл. 3 видно, что максимальные ошибки соответствуют критериям $S21_{\min}$ и $\Delta S21$. Абсолютные значения ошибок могут быть сравнимы с погрешностями измерения параметров реального устройства. Таким образом, точность нейромодели после обучения можно считать достаточной для практических применений.

После тестирования нейронная модель была экспортирована из пакета NeuroModeler в виде файла с расширением С. Для анализа и оптимизации частотных характеристик фильтра нейронная модель в виде DLL-файла подключена к системе визуальных вычислений Image.

В основу системы Image положены концепции «визуальных вычислений» и «визуального проектирования» (последний термин использует

ся применительно к разработке технических объектов) [2, 3]. Главной особенностью реализованного в данной системе подхода является то, что он позволяет получить в принципе полное множество допустимых решений задачи. Это качество особенно ценно при решении систем неравенств, задач одно- и многокритериальной оптимизации, задач проектирования технических объектов и т.д. При этом пользователю предоставляется возможность задавать значения управляемых параметров, визуально контролировать допустимые области изменения этих параметров и все выходные критерии. В результате может быть получен набор наиболее приемлемых альтернативных решений, учитывающий как формализуемые, так и неформализуемые критерии.

Для решения задачи оптимизации к значениям критериев предъявлены следующие требования:

$$35,9999ГГц \leq f_0 \leq 36,0001ГГц; 280МГц \leq \Delta f \leq 285МГц;$$

$$S21_{\min} \geq -0,2дБ; S11_{\max} \leq -15дБ; \Delta S21 \leq 0,2дБ; R_{low} \leq -30дБ; R_{up} \leq -30дБ.$$

(1)

Ограничения на управляемые параметры (в миллиметрах):

$$1,19 \leq d1 \leq 1,21; 3,52 \leq d2 \leq 3,54; 4,91 \leq r1 \leq 4,93; 4,93 \leq r2 \leq 4,95. \quad (2)$$

Совокупность ограничений (1) и (2) задает область допустимых значений (ОДЗ) D_X в четырехмерном пространстве. Двумерные проекции области D_X на различные плоскости управляемых параметров позволяют определить в принципе все допустимые значения управляемых параметров.

Предварительный анализ показал, что наибольшей чувствительностью к изменению управляемых параметров обладают критерии $S21_{\min}$ и $\Delta S21$, поэтому именно для них решалась задача оптимизации. Частота настройки фильтра полагалась равной 36 ГГц.

С использованием линий уровня критериев $S21_{\min}$ и $\Delta S21$ выбраны значения переменных $r1(1)$ и $r2(1)$, принадлежащие проекции ОДЗ на плоскость управляемых параметров $r1$ и $r2$, которые одновременно обеспечивают минимальные потери и неравномерность коэффициента передачи в полосе пропускания фильтра. Затем на плоскости оставшихся свободных параметров $d1$, $d2$ при выбранных значениях $r1(1)$ и $r2(1)$ выбраны значения $d1(1)$ и $d2(1)$. Набор значений параметров $\{d1(1), d2(1), r1(1), r2(1)\}$ является реше-

нием. Задача оптимизации может быть аналогично решена для любых других критериев.

Для проверки достоверности результатов, полученных в системе Image, в программе трехмерного ЭД моделирования проведен анализ фильтра. В табл. 4 приведены значения критериев, полученные в системе Image (прогнозируемые величины) и в результате электродинамического расчета, а также абсолютные и относительные значения ошибок прогнозирования, полученных по каждому критерию.

Таблица 4. Результаты сравнительного анализа.

Критерий	f_0 , ГГц	Δf , МГц	$S21_{\min}$, дБ	$\Delta S21$, дБ	$S11_{\max}$, дБ	R_{low} , дБ	R_{up} , дБ
Image	36	284	-0,154	0,146	-15,00	-34,61	-31,86
ЭД анализ	36,00 1	283,9	-0,190	0,189	-14,27	-34,73	-31,49
$\Delta(X)$	0,000 7	0,1	0,036	0,043	0,73	0,12	0,37
$\delta(X)$, %	$2,8 \times 10^{-3}$	0,035	18,95	22,75	4,87	0,35	1,16

Как видно из табл. 4, абсолютные значения ошибок для критериев Δf , $S11_{\max}$, R_{low} , R_{up} являются незначительными, а для критериев f_0 , $S21_{\min}$, $\Delta S21$ - пренебрежимо малыми. Можно утверждать, что совокупность данных погрешностей в целом не изменяет качества фильтрации.

Список литературы:

1. М. Н. Bakr, J. W. Bandler, M. A. Ismail, "Neural space-mapping optimization for EM-based design," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 48, pp. 2307-2315, December 2000.
2. Бабак Л.И., Л.Поляков А.Ю. Система визуальных вычислений Image для решения математических и технико-экономических задач// Докл. междунар. симп. СИБКОНВЕРС'99. – Томск, 1999.
3. Бабак Л.И., Поляков А.Ю. Design Problem Solver - программа для решения задач проектирования технических устройств и систем. Основные концепции// Докл. междунар. симп. СИБКОНВЕРС'97.–Томск, 1997. С. 218- 228.

КОМБИНИРОВАННАЯ ОПОРА ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА

Космынин А.В., Щетинин В.С., Виноградов С.В.
Космопольский-на-Амуре государственный
технический университет,
Космопольск-на-Амуре, Россия

Достижение высокой точности и параметрической надежности металлообрабатывающего оборудования является важной проблемой современного высокоразвитого машиностроения.

Уже на стадии проектировочных расчетов требуется создание таких узлов и элементов станков, которые бы в течение всего эксплуатационного периода обеспечивали заданную точность обработки. Исследования по оценке влияния различных факторов на точность обработки говорят, что ее до 80% определяет шпиндельный узел (ШУ). Поскольку движение формообразования осуществляется шпинделем и шпиндельными подшипниками, то именно они вносят решающий вклад в выходные характеристики станков.

Работа ШУ на опорах качения сопровождается нестабильной траекторией движения шпинделя, тепловыми смещениями подшипниковых узлов, периодическим изменением жесткости подшипников, что связано с изменением угла поворота сепаратора с комплектом тел качения и т.д. Применение в конструкциях высокоскоростных ШУ гидростатических подшипников приводит к ограничению частоты вращения шпинделя (из-за потерь на трение) и усложнению конструкции опорного узла. Шпиндели на электромагнитных опорах пока не нашли широкого применения вследствие сложности электронных систем управления. Таких недостатков лишены ШУ с подшипниками на газовой смазке, у которых, как и у электромагнитных опор, отсутствует механический контакт между валом и телом подшипника.

В настоящее время определилось несколько областей техники, в которых применение газовой смазки считается целесообразным, а в некоторых случаях единственно возможным решением, обеспечивающим нормальную работу узлов трения машин. Так, подшипники на газовой смазке нашли свое применение в станкостроении,