Работа данной схемы нагружателя была проверена на имитационной модели, созданной в программе Matlab и его приложениях. В модели коэффициент мощности рассчитывается по формуле

$$K_{\text{м}} = \frac{P}{S}, \tag{2}$$

где P, S – активная и полная мощности генератора соответственно

Результаты расчетов по формулам (1) и (2) оказались достаточно близкими, что свидетельствует о возможности применения предложенной схемной реализации НУ для регулирования коэффициента мощности.

В ходе исследования также было установлено, что, управляя ведомым инвертором, можно задавать необходимый ток нагрузки генератора, а само устройство является энергосберегающим, рекуперируя в сеть до 80 % вырабатываемой энергии. Таким образом, устройства нагружения на основе управляемых полупроводниковых выпрямителей могут применяться для испытания синхронных генераторов под нагрузкой резервных источников питания.

Литература

1. Энергоэффективные испытательные стенды / И. В. Дорощенко, М. Н. Погуляев, В. А. Савельев, В. В. Тодарев // Энергоэффективность. – 2018. – № 9. – С. 26-30.
2. Погуляев, М. Н. Энергосберегающее устройство нагружения резервных электрогенераторов на основе статических преобразователей / М. Н. Погуляев // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2022. – № 3 (90). – С. 96–103.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ГРАНИЧНЫХ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ ДЛЯ АНАЛИЗА МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК НА КРУПНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ И МОРСКИХ СУДАХ: КРАТКИЙ ОБЗОР

Ли Дэцян

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель В. П. Кудин

Многоэлементные антенные решетки на борту крупногабаритных летательных аппаратов и морских судов работают в условиях сложного электромагнитного взаимодействия с крупной проводящей платформой. Это приводит к постановке граничных задач электродинамики, при решении которых применяются дифференциальные, интегральные, высокочастотные, модальные и гибридные методы. Кратко рассмотрены возможности этих подходов при анализе решеток на электрически больших носителях. Особое внимание уделено модальным и гибридным схемам как наиболее перспективным для сочетания приемлемой точности и умеренной вычислительной трудоемкости.

Ключевые слова: многоэлементные антенные решетки, дифференциальные методы, метод моментов, высокочастотные методы, метод характеристических мод, гибридные методы.

Многоэлементные антенные решетки на крупных летательных аппаратах и морских судах должны обеспечивать направленное излучение и устойчивое сканирование луча в условиях сильного влияния проводящего корпуса, размеры которого значительно превышают длину волны. В таких задачах необходимо учитывать взаимную связь эле-

ментов, переотражения от поверхности носителя и дифракцию на его конструктивных элементах, поэтому анализ опирается на методы вычислительной электродинамики [1]. В современной практике для этого используются дифференциальные и интегральные методы, метод моментов, высокочастотные асимптотические схемы, а также гибридные и модальные подходы [1, 2]. Среди них метод характеристических мод и гибридные схемы представляют наибольший интерес для анализа и последующей оптимизации решеток на электрически больших платформах [2, 3].

Основные классы методов решения граничных задач электродинамики. При анализе многоэлементных антенных решеток на крупных летательных аппаратах и морских судах применяются как строгие численные, так и приближенные методы вычислительной электродинамики. К первой группе относятся дифференциальные методы и методы интегральных уравнений, включая метод моментов. Они позволяют подробно описывать распределение полей, токи на проводящих поверхностях и взаимную связь элементов решетки, что особенно важно в локальной области вокруг антенного модуля. Однако при переходе к расчету всей платформы их применение ограничивается быстрым ростом числа неизвестных и вычислительных затрат [1].

Для электрически больших носителей все более важную роль играют высокочастотные, модальные и гибридные подходы. Высокочастотные методы позволяют быстрее учитывать влияние корпуса, а метод характеристических мод дает физически наглядное представление о вкладе платформенных и антенных мод в формирование диаграммы направленности. Наиболее перспективными для многомасштабных задач являются гибридные схемы, в которых строгий расчет вблизи решетки сочетается с приближенным описанием удаленных участков корпуса. Такое сочетание делает возможным компромисс между точностью и вычислительной трудоемкостью, и поэтому рассматривается как основа дальнейшего анализа и оптимизации решеток на крупных носителях [3].

Применимость методов к анализу многоэлементных антенных решеток. Рассмотрим особенности задач для крупных летательных аппаратов и морских судов.

Антенные решетки на крупных летательных аппаратах и морских судах работают в условиях сильного влияния проводящего корпуса, плотной компоновки элементов и большого электрического размера платформы. В таких задачах необходимо одновременно учитывать взаимную связь излучателей, переотражения от поверхности носителя и дифракцию на его конструктивных элементах [1, 4]. Дифференциальные и интегральные методы обеспечивают высокую точность в локальной области вокруг решетки, однако при расчете всей платформы их применение быстро становится вычислительно затратным [5–7]. Поэтому при анализе крупных носителей все большее значение приобретают высокочастотные, модальные и гибридные подходы, позволяющие учитывать влияние корпуса при более умеренных ресурсах [8].

Сравнительная оценка и рекомендации к выбору. Выбор метода для анализа многоэлементных решеток на крупных носителях определяется требуемой точностью, уровнем учета взаимной связи элементов и допустимой вычислительной трудоемкостью [6]. Строгие полноволновые методы предпочтительны для локальных и эталонных расчетов, высокочастотные методы удобны для быстрого учета влияния всей платформы, а модальные и гибридные схемы наиболее полезны в задачах оптимизации и многомасштабного моделирования [2, 3, 8–13]. Сопоставление их возможностей приведено в таблице.

Сравнительная характеристика основных классов методов для анализа решеток на крупных носителях

Класс методов	Сильные стороны в задачах решеток	Ограничения и типичные задачи
Дифференциальные (МКЭ, FDTD)	Точное поле в локальной области вокруг решетки	Слишком большой объем при моделировании всего корпуса
Методы интегральных уравнений и МоМ	Точные токи и взаимная связь элементов	Плохая масштабируемость по размеру платформы
Высокочастотные асимптотические	Быстрый учет влияния большого корпуса	Приближение вблизи источников и в сложных областях
Модальные и гибридные	Анализ вкладов мод платформы и решетки, баланс затрат	Требуется полноволновая база и настрой-ка гибрида

Примечание. Составлена по материалам работ [1–13].

В заключение можно отметить, что анализ многоэлементных антенных решеток на крупных летательных аппаратах и морских судах требует сочетания нескольких классов методов вычислительной электродинамики, поскольку ни один из них не является универсальным для всех масштабов и условий расчета. Строгие дифференциальные и интегральные методы наиболее полезны в локальных областях, где требуется высокая точность описания поля и взаимной связи элементов, тогда как для электрически больших платформ более практичными оказываются высокочастотные, модальные и гибридные подходы. Наибольший интерес для дальнейших исследований представляют гибридные схемы, поскольку именно они позволяют совместить приемлемую точность с допустимыми вычислительными затратами при анализе и оптимизации решеток на крупных носителях.

Литература

1. Sumithra, P. Review on computational electromagnetics / P. Sumithra, D. Thiripurasundari // Advanced Electromagnetics. – 2017, N 6 (1). – P. 42–55.
2. Medgyesi-Mitschang, L. N. Hybrid methods in computational electromagnetics: A review / L. N. Medgyesi-Mitschang, D. S. Wang // Computer Physics Communications. – 1991. – N 68 (1–3). – P. 76–94.
3. A review of antenna analysis using characteristic modes / B. B. Q. Elias, P. J. Soh, A. A. Al-Hadi [et al.] // Ieee Access. – 2021. – N 9. – P. 98833–98862.
4. Augustyniak, M. Finite element method applied in electromagnetic NDTE: A review / M. Augustyniak, Z. Usarek // Journal of Nondestructive Evaluation, – 2016. – N 35 (3). – 39 p.
5. Finite-difference time-domain methods / F. L. Teixeira, C. Sarris, Y. Zhang [et al.] // Nature Reviews Methods Primers. – 2023. – N 3 (1). – 75 p.
6. Mavrikakis, P. S. Surface Integral Equations in Computational Electromagnetics: A Comprehensive Overview of Theory, Formulations, Discretization Schemes and Implementations / P. S. Mavrikakis, O. J. F. Martin // Applied Computational Electromagnetics Society Journal (ACES). – 2025. – P. 279–301.
7. Method of moments based on equivalent periodic problem and FFT with NURBS surfaces for analysis of multilayer periodic structures / R. Florencio, Á. Somolinos, I. González [et al.] // Electronics. – 2020. – N 9 (2). – 234 p.
8. Wu, Y. M. The modern high frequency methods for solving electromagnetic scattering problems / Y. M. Wu, W. C. Chew // Progress In Electromagnetics Research. – 2016. – N 156. – P. 63–82.
9. Physical optics framework for electromagnetic scattering from electrically large targets coated with a uniaxial electric anisotropic medium based on point-source excitation / J. J. He, S. Y. He, G. Q. Zhu [et al.] // Optics Express. – 2021. – N 29 (21). – P. 33642–33664.

10. Lau, B. K. Characteristic modes: Progress, overview, and emerging topics / B. K. Lau, M. Capek, A. M. Hassan // IEEE Antennas and Propagation Magazine. – 2022. – N 64 (2). – P. 14–22.
11. Antenna element design using characteristic mode analysis: Insights and research directions / J. J. Adams, S. Genovesi, B. Yang [et al.] // IEEE Antennas and Propagation Magazine. – 2022. – N 64 (2). – P. 32–40.
12. Okan, T. Analysis of antennas around NURBS surfaces by using a hybrid method / T. Okan, N. AKçAM // Radioengineering. – 2018. – N 27 (3).
13. Modeling of Multiscale Wave Interactions Based on an Iterative Scheme of MoM-PO-EPA Algorithm / L. Guo, M. Li, S. Xu [et al.] // Electronics. – 2022. – N 11 (7). – P. 990.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ С СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧИ СЛЕДОВАНИЯ ЗА ОБЪЕКТОМ

К. А. Головач

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель В. В. Брель

Рассмотрен вопрос проектирования и реализации автономного колесного робота, способного осуществлять визуальное детектирование и автоматическое сопровождение целевого объекта. Описана двухуровневая архитектура системы, включающая вычислительный модуль на базе Raspberry Pi Zero 2W и программный комплекс на основе библиотеки OpenCV.

Ключевые слова: компьютерное зрение, OpenCV, Raspberry Pi, цветовая сегментация, автосопровождение, ПИД-регулятор.

Навигация и следование за подвижной целью являются фундаментальными задачами современной мобильной робототехники. В отличие от стационарных промышленных манипуляторов, требующих жестко детерминированной среды, мобильные платформы должны обладать адаптивностью к динамическим изменениям окружения. Актуальность работы обусловлена потребностью в бюджетных и эффективных решениях для логистических систем и сервисной робототехники, где робот должен выполнять роль автономного ассистента, следующего за оператором или грузом

Для реализации вычислительной подсистемы выбран одноплатный компьютер Raspberry Pi Zero 2W. Данный выбор обоснован необходимостью обработки видеопотока в реальном времени при жестких ограничениях на массогабаритные характеристики и энергопотребление платформы.

Исполнительная система представляет собой шасси с дифференциальным приводом. Управление коллекторными двигателями осуществляется посредством широтно импульсной модуляции (ШИМ) через специализированный драйвер. В качестве основного сенсора используется цифровая камера, обеспечивающая получение визуальных данных о пространственном положении цели.

Программная реализация системы распознавания базируется на библиотеке OpenCV. Процесс обработки изображений разделен на несколько этапов:

– предварительная фильтрация – применение медианного фильтра для устранения импульсных шумов в видеопотоке;

– цветовая сегментация – перевод кадра в цветовое пространство HSV (Hue, Saturation, Value), которое менее чувствительно к изменениям освещенности по срав-