

НЕЛИНЕЙНЫЙ НАБЛЮДАТЕЛЬ СОСТОЯНИЯ ДЛЯ КОМПЛЕКСОВ БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДА

Золотарев А.В. ¹

Научный руководитель – доктор. физ.-мат. наук, в.н.с., Капитанова П.В. ¹,
канд. техн. наук, доцент Демидова Г.Л. ¹

¹Университет ИТМО

a.zolotarev@metalab.ifmo.ru

Введение

Технология беспроводной передачи энергии (БПЭ) открывает новые возможности для автономной зарядки беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), устраняя необходимость в физическом подключении зарядного кабеля к АКБ и повышая устойчивость системы к неблагоприятным внешним условиям. Однако эффективность индуктивной БПЭ существенно снижается при возникновении несоосности между передающей и приемной катушками, при изменениях воздушного зазора или под воздействием ветровых нагрузок во время посадки дрона. Данная статья посвящена решению этой проблемы путем разработки комбинированной системы управления на основе скользящих режимов и наблюдателя с высоким коэффициентом усиления, способного компенсировать возмущающие воздействия и обеспечивать стабильный процесс заряда

Основная часть

Беспроводная передача энергии (БПЭ) является ключевой технологией для создания полностью автономных зарядных станций для БПЛА (беспроводных дронапортов), поскольку она исключает необходимость физического подключения зарядного кабеля человеком. Однако широкое внедрение индуктивной БПЭ сдерживается проблемой низкой эффективности, вызванной внешними факторами. Основными возмущающим воздействием является несоосность приемной и передающей катушек, изменение воздушного зазора при посадке.

В настоящей работе используется комбинированная система управления, включающая в себя нелинейный регулятор скользящего режима и наблюдатель состояния с высоким коэффициентом усиления). Скользящий режим отвечает за подавление «дребезга» и отработку возмущений, в то время как наблюдатель состояния в реальном времени оценивает критические параметры системы: взаимную индуктивность между катушками, коэффициент связи, а также резонансную частоту. Такая синергия позволяет адаптировать управление к изменяющимся условиям еще до того, как они успеют существенно повлиять на процесс заряда.

Математическая основа работы строится на моделировании БПЭ в пространстве состояний пятого порядка. В этой модели переменными являются токи и напряжения в резонансных контурах передатчика и приемника. Для компенсации неизмеряемых возмущений (шумов переключения и механических смещений) в структуру классического наблюдателя вводится корректирующая обратная связь по ошибке. Устойчивость предложенного наблюдателя доказывается с помощью методов Ляпунова, что гарантирует сходимость оценок параметров к их реальным значениям даже в условиях неопределенности.

Экспериментальная проверка проводилась на специализированном стенде, имитирующем работу зарядной станции. В качестве управляющего воздействия использовался фазовый сдвиг инвертора, который нелинейно влияет на амплитуду тока в передающей катушке. В ходе экспериментов варьировались воздушный зазор, боковое смещение катушек и входное напряжение. Результаты наглядно подтвердили эффективность подхода: предложенная система успешно стабилизировала зарядный ток на заданном уровне во всем диапазоне возмущений, в то время как без управления ток и эффективность менялись хаотично.

Особенно показательным стало сравнение динамических характеристик предложенной системы с традиционными подходами. При быстром смещении приемной катушки (имитация порыва ветра) предложенный регулятор продемонстрировал значительное превосходство над классическим ПИД-регулятором. Время переходного процесса сократилось с двух секунд до менее чем одной секунды, а величина перерегулирования — с 0,25 А до 0,1 А. Таким образом, интеграция адаптивного наблюдателя с высокими коэффициентами усиления в контур скользящего управления позволяет существенно повысить робастность и быстродействие беспроводных зарядных станций для БПЛА, что подтверждено экспериментальными данными.

Выводы

В данной работе предложена и экспериментально подтверждена эффективность комбинированной системы управления для беспроводной зарядки БПЛА, объединяющей регулятор скользящего режима и наблюдатель с высоким коэффициентом усиления. Разработанный подход позволяет динамически оценивать и компенсировать возмущающее воздействие несоосности катушек, изменения воздушного зазора и других возмущений, обеспечивая стабильный зарядный ток. Сравнительный анализ подтвердил превосходство предложенного метода над классическим ПИД-регулятором: время переходных процессов сократилось вдвое, а перерегулирование уменьшилось более чем в два раза. Полученные результаты демонстрируют высокую робастность и быстродействие предложенной системы, что открывает перспективы для ее практического внедрения в автономные зарядные станции для БПЛА и для других устройств.

Золотарев А.В. _____

Капитанова П.В. _____

Демидова Г.Л. _____