

РАЗРАБОТКА ГРАДИЕНТНОГО УСИЛИТЕЛЯ ДЛЯ НИЗКОПОЛЬНОГО АППАРАТА МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Матнина А. В.¹

Научный руководитель – канд. техн. наук, Маматов А. Г.¹

¹Университет ИТМО

avmatnina@itmo.ru

Введение

В последнее десятилетие активное развитие получили низкопольные системы МРТ (с индукцией основного поля до 0.5 Т), которые значительно повышают доступность метода благодаря компактной конструкции и минимальным требованиям к инфраструктуре [1]. Ограничением низкопольных систем является снижение качества изображения вследствие уменьшения величины магнитной индукции, что приводит к снижению отношения сигнал/шум [2]. Это снижение может быть компенсировано развитием методов реконструкции, использованием высокочувствительных радиочастотных катушек, совершенствованием импульсных последовательностей и улучшением однородности магнитного поля [2]. Одним из путей развития низкопольных МРТ аппаратов является использование градиентных систем с высокой амплитудой и скоростью нарастания магнитного поля, сопоставимых с более мощными аппаратами. Это позволяет реализовывать ранее недоступные радиочастотные импульсные последовательности, повысить качество реконструкции изображений, сократить время сканирования. Градиентный усилитель (далее – Гру) предназначен для формирования заданных импульсных последовательностей тока в градиентных катушках. Показателями качества работы Гру являются максимальная амплитуда тока, точность отработки токовых последовательностей, пульсации тока при отработке постоянного задания и скорость нарастания тока от нуля до максимального значения [3]. В исследовании рассматриваются подходы к совершенствованию силовой и информационной подсистем Гру, направленные на для снижения пульсаций тока и повышение точности отработки токовых последовательностей.

Основная часть

В результате выполнения исследования была реализована математическая модель многоуровневого силового преобразователя на базе трех полномостовых схем, позволяющая использовать высокий уровень напряжения для режима нарастания тока и низкий для работы на постоянное задание. Использованный подход позволяет снизить амплитуду пульсаций тока до 0.1 % от максимального значения. Разработан прототип силового преобразователя Гру по предложенной схеме.

Разработаны алгоритмы регулирования тока градиентной катушки по заданным последовательностям. Алгоритмы включают в себя канал с предсказанием и канал обратной связи. Канал с предсказанием, используя эталонную математическую модель градиентной катушки и заданную траекторию тока вычисляет производную, которую необходимо приложить в следующий момент времени, чтобы сформировать нужное управление. Это позволяет минимизировать задержки отработки траектории и добиться нулевой ошибки регулирования при отработке нарастающего сигнала. Канал обратной связи компенсирует статическую ошибку и неточность оценки параметров математической модели катушки. Регуляторы по обратной связи выполнены в двух

вариантах: регулятор состояния с внутренней моделью сигнала задания и регулятор с активным подавлением возмущений. Разработанные алгоритмы апробированы на математической модели многоуровневого ГрУ и на экспериментальном образце ГрУ, выполненном на основе одной полномостовой схемы. Экспериментальные результаты показывают, что разработанные алгоритмы обеспечивают нулевую среднеквадратичную ошибку регулирования тока как при нарастании тока, так и при постоянном задании, отсутствие задержки отработки импульса тока. Присутствуют выбросы ошибки регулирования при смене знака тока, что вызвано нелинейностью силового преобразователя.

Выводы

В работе предложен подход к построению ГрУ для низкочастотного МРТ аппарата на основе многоуровневого силового преобразователя из трёх каскадно соединённых полномостовых схем. Разработанная математическая модель подтверждает возможность снижения амплитуды пульсаций тока до 0.1 % от максимального значения. Предложенные алгоритмы регулирования тока, сочетающие канал с предсказанием и канал обратной связи, обеспечивают высокую точность отработки токовых последовательностей: нулевую среднеквадратичную ошибку регулирования и отсутствие задержки отработки импульса тока, что подтверждено моделированием и экспериментальными результатами. Выявленные выбросы ошибки при смене знака тока, обусловленные нелинейностью силового преобразователя. Дальнейшие исследования предполагают разработку методов компенсации нелинейностей силового преобразователя и апробацию разработанного прототипа многоуровневого силового преобразователя.

Литература

1. Arnold T. C., Freeman C. W., Litt B., et al. Low-field MRI: Clinical promise and challenges // *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. — 2023. — Vol. 57, No. 1. — P. 25–44.
2. Блинк Э. МРТ: физика. Основы / Пер. с англ. Е. Макаровой. — 2004.
3. Li S., Jiang X. Digital controlled MOSFET gradient amplifier for magnetic resonance imaging // *Proc. IEEE International Conference on Electrical Machines and Systems*. — 2008. — P. 3584–3588.