

2. *Самотин И.Е., Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р.* Кабельные и полосковые модальные фильтры. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 208 с.

3. *Заболоцкий А.М.* Модальные фильтры для защиты бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов. – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2013. – 151 с.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕКТРОКАРДИОСТИМУЛЯТОРОВ И МЕТОДЫ ЕЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ: ОБЗОР

*Е.В. Бебякина, магистрант; А.В. Бусыгина, аспирант каф. ТУ
Томск, ТУСУР, fskatya@gmail.com*

Обеспечение устойчивой работы радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) в условиях воздействия электромагнитных помех актуально в связи с интеграцией компонентов, ростом плотности монтажа печатных плат и повышения быстродействия цифровых схем и рабочих частот аналоговых схем. Такая тенденция увеличивает восприимчивость к электромагнитному полю (ЭМП) и предъявляет всё более жёсткие требования к электромагнитной совместимости (ЭМС) РЭА. Нарушение работы таких устройств, как электрокардиостимулятор (ЭКС), может привести к серьёзным последствиям. На сегодняшний день существует ряд исследований, посвященных изучению воздействия ЭМП от различных источников на ЭКС.

Целью данной статьи является составление обзора существующих результатов исследований в области ЭМС ЭКС и методов защиты ЭКС от ЭМП.

Для анализа воздействия ЭМП на ЭКС используют аналитические модели и математический анализ. С помощью таких методов проведено детальное исследование влияния внешних AM, GSM, PAL сигналов на ЭКС и показаны значения их напряжения [1], найден метод ослабления воздействия ЭМП, который основан на том, что чем медленнее нарастает передний фронт приложенного сигнала, тем менее восприимчив ЭКС к этому сигналу [2], и разработана модель связи между внешними магнитными полями и наведенными напряжениями на входе ЭКС с однополярными и биполярными электродами, которая позволяет определить наведенное напряжение в кардиостимуляторе, находящемся в магнитном поле с частотой в диапазоне 10 Гц – 30 кГц [3].

Одним из основных источников воздействия, находящихся вблизи ЭКС, является сотовый телефон. Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что необходимо поддерживать расстояние между ЭКС и телефоном минимум 20 см [4], а результаты влияния ЭМП сотового телефона на ЭКС в кабине лифта не показали существенных изменений в работе ЭКС [5]. Также оценено влияние ЭМП путей высокоскоростных поездов и доказано, что корпус вагона имеет достаточный коэффициент экранирования, и люди с ЭКС могут пользоваться данным видом транспорта [6].

Стоит отметить, что со временем конструкция ЭКС усложняется, и инженеры пытаются продлить время работы батареи и разработать устройство для сбора тепловой энергии [7] или дистанционного заряда [8], чтобы избежать хирургического вмешательства. А также производится оценка воздействия ЭМП устройства дистанционного заряда на работу ЭКС [9]. Помимо этого, предлагается использовать корпус ЭКС в качестве направленной антенны для передачи мощности, достаточной для заряда устройства [10]. Появляется всё больше ЭКС с устройством дистанционной передачи данных о состоянии пациента в медицинский центр и проводится оценка их влияния на работу ЭКС, которая показала, что уровень помех должен быть как минимум на 25 дБ ниже амплитуды сердцебиения [11].

Одним из конструкторских решений для защиты от ЭМП является выбор материала для корпуса ЭКС. Сложностью в данном вопросе является то, что материал должен быть биологически совместимым. В статье [12] показано, что резистивная плёнка имеет коэффициент экранирования до 20 дБ, что является хорошим результатом по сравнению с результатом, полученным при отсутствии резистивной плёнки. Также существуют схемные решения проблемы ЭМС радиоэлектронной аппаратуры. В случае с ЭКС применяют усилители сигналов и фильтры для подавления помех и выделения сердечного ритма [13–17].

В ходе изучения материала выявлено, что ЭМП оказывает существенное влияние на ЭКС. В таблице выделены основные электромагнитные излучения (ЭМИ), оказывающие влияние на работу ЭКС, проблемы, связанные с их воздействием на ЭКС, и существующие на сегодняшний день пути преодоления этих проблем. Все это позволяет использовать полученный материал в разработке как самих ЭКС, так и методов их защиты от ЭМП.

Источники воздействия ЭМП и методы защиты ЭКС

ЭМИ	Проблема	Решение	Источник
Крайне низкие частоты 10 Гц – 30 кГц	Нарушение обнаружения ЭКГ и спонтанная асинхронная стимуляция сердечного ритма	Использовать фильтр для выделения ЭКГ и подавления помех	[13–17]
	Затруднение обнаружения ЭКГ	Уменьшить электропроводность электродов	[3]
Немод. сигнал 100 Гц – 150 кГц	Нарушение обнаружения электрокардиограммы (ЭКГ)	Использовать модель для расчёта пороговых амплитуд сигналов, которая поможет оценить электромагнитную устойчивость ЭКС до его выпуска	[1]
АМ 150 кГц – 100 МГц			
PAL 100 МГц – 1 ГГц			
GSM 900 МГц, 1800 МГц		Соблюдать минимальное расстояние (20 см) между устройством связи и ЭКС	[4]
Радиочастоты 3 кГц – 300 ГГц	Задержка сигнала в устройстве обнаружения ЭКГ	Снизить скорость нарастания переднего фронта сигнала	[2]
	Ложное срабатывание ЭКС	Обеспечить запас порогового уровня между полезным сигналом и шумом (минимум 25 дБ)	[11]

ЛИТЕРАТУРА

1. *Schenke S. et al.* EMC modelling of cardiac pacemakers // Proc. 18th Int. Zurich Symp. on EMC. – Munich, 2007. – PP. 33–36.
2. *Ogirala A. et al.* Electromagnetic Interference of Cardiac Rhythmic Monitoring Devices to Radio Frequency Identification: Analytical Analysis and Mitigation Methodology // IEEE trans. on inform. Techn. in biomed. – November 2011. – Vol. 15, No. 6. – PP. 848–853.
3. *Hille S. et al.* Determination of the interference voltage in implantable medical devices with bipolar electrodes // IEEE Int. Symp. on EMC. – 2008. – PP. 1–5.
4. *Schlegel R.E. et al.* Wireless phones and cardiac pacemakers: in vitro interaction study // Proc. 19th Int. Conf. – IEEE IEMBS 1997. – PP. 2551–2554.
5. *Higashiyama J. et al.* EMI risk assessment of electromagnetic field from mobile phone in elevator cabin for implantable pacemaker // IEEE Int. Symp. on EMC. – 2012. – PP. 1–6.

6. Rizzi R. *et al.* Electromagnetic interferences on implantable medical devices onboard of high speed trains // IEEE Int. Symp. on EMC. – 2006. – PP. 1–6.
7. Ashraf M. *et al.* A thermal energy harvesting power supply with an internal startup circuit for pacemakers // IEEE trans. on VLSI syst. – 2015. – PP. 26–37.
8. Gore V.B. *et al.* Wireless power transfer technology for medical applications // CASP Cummins College of Engin for Women. – 2016. – PP. 455–460.
9. Campi T. *et al.* Induced effects in a pacemaker equipped with a wireless power transfer charging system // IEEE Trans. on EMC. – 2017. – PP. 1–4.
10. Kod M. *et al.* Feasibility study of using the housing vases of implantable devices as antennas // IEEE Access. – 2016. – Vol. 4. – PP. 6939–6949.
11. Anzai D. *et al.* EMI evaluation based on electromagnetic and circuit analysis for human body communication systems // Int. Symp. on EMC. – 2014. – PP. 745–748.
12. Wang J. *et al.* Effectiveness evaluation of shielding material for reducing electromagnetic interference of cardiac pacemaker by portable information terminals // Int. Symp. on EMC. – 2001. – PP. 1054–1057.
13. Lai W.C. A band pass filter to near Infrared charging for implantable cardiac pacemaker and ECG micro-stimulator application // IEEE MTT-S IMWS-BIO. – 2015. – P. 51–52.
14. Stevenson R.A. Design and application of broadband ceramic feedthrough capacitor EMI filters to cardiac pacemakers and implantable defibrillators // Proc. 19th Int. Conf. – IEEE/EMBS. – 1997. – PP. 2558–2562.
15. Stevenson R.A. Feedthrough EMI filter with ground isolation for cardiac pacemakers and implantable cardioverter defibrillators // Proc. of the 20th Annual Int. Conf. of the IEEE Engin. in Med. and Biol. Soc. – 1998. – PP. 3319–3323.
16. Gerosa A. *et al.* A fully integrated dual-channel log-domain programmable preamplifier and filter for an Implantable Cardiac Pacemaker // IEEE trans. on circuits and sys. – 2004. – P. 1916–1925.
17. Basak D. *et al.* A Low Noise Preamplifier and Switched Capacitor Filter for Heart-rate Detection // Int. Conf. on ICAES. – 2013. – PP. 184–188.

**РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСА ПРОГРАММЫ
ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ
МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОРПУСА С АПЕРТУРОЙ**

А.В. Веселовский, К.Э. Джанбаев, магистранты;

М.Е. Комнатнов, м.н.с.

Томск, ТУСУР, каф. ТУ, weselalex93@mail.ru

Экранирование является одним из конструкторских средств обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС). Экранирование должно быть обоснованным и рассмотрено после применения методов оптимальной компоновки и трассировки узлов и блоков РЭС [1]. Между тем получение быстрой