

Потенциал применения микроконтроллеров для целей разработки систем мониторинга электромагнитных помех и защиты информации в оборудовании телекоммуникаций и радиосвязи

В. Е. Митрохин, Е. И. Легоцкий

В данной статье рассмотрены виды электромагнитных помех (ЭМП) и их временные характеристики. А также рассмотрены возможности микроконтроллеров STM32 для разработки систем мониторинга ЭМП объектов связи.

Ключевые слова: ЭМП, микроконтроллер, мониторинг, STM32.

1. Введение

Любое электромагнитное излучение может быть источником ЭМП. Источники ЭМП могут быть как естественными, так и искусственными. Электромагнитный импульс при ударе молнии является самым распространенным естественным источником ЭМП. Искусственными же источниками являются собственные электромагнитные излучения, которые могут быть как полезным сигналом, например, для аппаратуры радиосвязи в случае функциональных источников ЭМП, так и побочным явлением в процессе работы в случае нефункциональных источников ЭМП. При этом условия эксплуатации телекоммуникационного оборудования на узлах связи железных дорог усугубляются наличием источников наведенных помех от тяговых подстанций железных дорог.

Таким образом, наличие информации об электромагнитной обстановке в местах размещения технических средств связи имеет большое значение, так как позволяет определить уровни электромагнитной совместимости для ЭМП различных видов и устанавливать предельные уровни помехоустойчивости, которые обеспечивают электромагнитную совместимость технических средств в заданных условиях эксплуатации, что важно при проектировании нового оборудования, которое будет эксплуатироваться в заданных условиях ЭМП.

2. Виды электромагнитных помех и их характеристики

В зависимости от среды распространения ЭМП подразделяются международными и отечественными стандартами на индуктивные (излучаемые) и кондуктивные ЭМП. Кондуктивными называются ЭМП, которые представляют собой токи, текущие по проводящим конструкциям и земле, тогда как индуктивными ЭМП являются помехи, распространяющиеся по непроводящим средам в виде электромагнитных полей. Данное деление можно считать условным в связи с тем, что в процессе распространения ЭМП могут превращаться из кондуктивных в индуктивные и наоборот. Так, электромагнитное поле источника излучения

ЭМП может наводить ЭМП в токопроводящих частях близлежащей электронной аппаратуры.

Влияние же ЭМП на аппаратуру может быть самым различным: от непредсказуемых временных ухудшений характеристик канала передачи информации, сбоев цифровой техники и искажения изображения на экранах мониторов до физического повреждения и даже возгорания аппаратуры и ее кабелей. При этом зачастую очень трудно определить, что могло послужить источником той или иной аварийной ситуации.

По степени влияния на технические средства электромагнитные помехи можно разделить на следующие виды:

1) Помеха допустимая – наблюдаемая или прогнозируемая помеха, удовлетворяющая количественным критериям помехи и критериям совместного использования частот.

2) Помеха опасная (вредная) – помеха, которая мешает стабильной работе систем связи, существенно ухудшает качество сигнала, затрудняет или прерывает передачу информации по каналам связи.

3) Помеха приемлемая – помеха с более высоким уровнем, чем та, которая определяется как допустимая, но которая согласована между двумя системами связи без ущерба качеству каналов связи.

Также в соответствии с ГОСТ Р 51317.2.5-2000 определены следующие категории и виды электромагнитных помех.

Таблица 1. Виды электромагнитных помех

Категория ЭМП	Вид ЭМП
НЧ кондуктивные ЭМП	Гармоники, интергармоники напряжения электропитания. Напряжения сигналов, передаваемых в системы электроснабжения
	Колебания напряжения электропитания
	Провалы, кратковременные перерывы напряжения электропитания и временные перенапряжения
	Отклонение напряжения электропитания
	Изменения частоты в системах электроснабжения
	Наведенные низкочастотные напряжения
	Постоянные составляющие в сетях электропитания
НЧ излучаемые ЭМП	Магнитные поля
	Электрические поля
ВЧ кондуктивные ЭМП	Наводимые напряжения или токи
	Апериодические и колебательные переходные процессы
ВЧ излучаемые ЭМП	Магнитные поля
	Электрические поля
	Электромагнитные поля, в том числе вызываемые переходными процессами
Электростатические разряды	

Характерными источниками электромагнитных воздействий, влияющих на объекты связи, являются:

1. Переходные процессы в цепях высокого напряжения при коммутациях силовыми выключателями и разъединителями.

2. Переходные процессы в цепях высокого напряжения при КЗ срабатывания разрядников или ограничителей перенапряжений.

3. Электрические и магнитные поля промышленной частоты, создаваемые силовым оборудованием станций и подстанций.

4. Переходные процессы в заземляющих устройствах подстанций, обусловленные токами КЗ промышленной частоты и токами молний.

5. В цепях различных классов напряжений при ударах молнии непосредственно на объект или вблизи него.

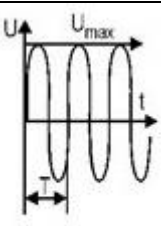
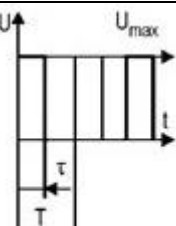
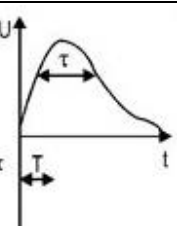
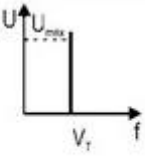
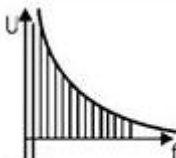
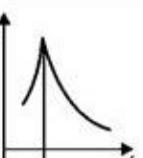
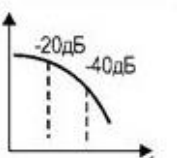
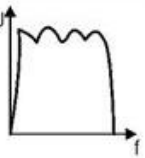
6. Разряды статического электричества.

7. Радиочастотные поля различного происхождения.

8. Электромагнитные возмущения в цепях оперативного тока.

Помехи, создаваемые источниками электромагнитных воздействий, могут возникать как в виде периодически появляющихся, так и в виде случайно распределенных во времени величин. В обоих случаях речь может идти как об узкополосных, так и широкополосных процессах. При систематизации в первом приближении выделяют 4 типа помех (табл. 2) [2, 3].

Таблица 2. Типы электромагнитных помех

Периодические		Непериодические		Шумы
Узкополосные	Широкополосные	Узкополосные	Узкополосные	Широкополосные
Временная область				
				
Частотная область, амплитудные спектры				
				
Радиопередатчики, высокочастотные генераторы, сеть частотой 50 Гц	Тактовые импульсы ПЭВМ, тиристорные выпрямители, искра зажигания автомобиля	Коммутации в сетях электропитания, разряды статического электричества, короткие замыкания	Грозовые разряды, разряды статического электричества	Космический шум, совместное действие искр зажигания автомобилей, корона воздушных линий

Параметры помех в зависимости от электромагнитной обстановки на объекте могут изменяться в очень широком диапазоне (табл. 3).

Таблица 3. Возможные диапазоны значений параметров помех

Параметр	Значение
Частота, Гц	$0 - 10^{10}$
Максимальное значение U , В	$10^{-6} - 10^6$
Скорость изменения U , В/с	$0 - 10^{12}$
Напряженность электрического поля E , В/м	$0 - 10^5$
Максимальное значение тока, А	$10^{-9} - 10^5$
Скорость изменения тока, А/с	$0 - 10^{11}$
Напряженность магнитного поля, А/м	$10^{-6} - 10^8$
Время нарастания импульса, с	$10^{-9} - 10^{-2}$
Длительность импульса, с	$10^{-8} - 10$
Энергия импульса, Дж	$10^{-9} - 10^7$

Учитывая вышеперечисленные аспекты и нормативные документы, логичным представляется применение во встраиваемых системах мониторинга молниезащиты АЦП с длительностью преобразования, равной 1 мкс или меньшей, что позволит фиксировать ЭМП как с длительными временными интервалами, так и факт появления наиболее быстрых импульсных воздействий. Например, импульса молнии, что позволит оценивать характер грозовой активности в месте применения системы мониторинга. Это позволит разрабатывать адекватные меры по улучшению устойчивости объектов связи к электромагнитным помехам и импульсным перенапряжениям.

3. Применимость контроллеров STM для разработки систем мониторинга электромагнитных помех систем связи

Учитывая перечисленные характеристики ЭМП, воздействующих на системы автоматики, телемеханики и связи, возникает необходимость выбора соответствующей базы для разработки аппаратуры мониторинга. В частности, микроконтроллерного ядра, которое будет отвечать за обработку данных с датчиков ЭМП.

Одними из возможных кандидатов являются ARM контроллеры, которые имеют низкую стоимость и высокую производительность, что делает их подходящими для встраиваемых систем. В частности, контроллеры STM32 на базе ядра Cortex-M4 производства STMicroelectronics, которые адаптированы для применения OCPB.

В зависимости от серии микроконтроллеры STM32 на базе Cortex-M4 имеют следующий ряд максимальных частот работы процессора: 84 МГц, 168 МГц и 180 МГц. Количество итераций процессора в секунду: 105 DMIPS, 210 DMIPS и 225DMIPS соответственно. Также в зависимости от версии контроллера присутствует аппаратная поддержка протокола локальных сетей Ethernet MAC, поддержка LCD-дисплеев и Flash-памяти, что значительно расширяет и упрощает возможность разработки многофункционального устройства.

АЦП микроконтроллеров серии STM32F407 способен работать с частотой 1 МГц в секунду, а при обработке канала попеременно двумя АЦП можно увеличить частоту выборки до 2 МГц, что полностью соответствует минимальным требованиям по разработке встраиваемого устройства для оцифровки импульсных помех. В старших моделях частота АЦП колеблется около 5 МГц.

Также были проведены испытания оцифровки средствами АЦП STM32 импульсных и периодических сигналов. В первой серии опытов был сгенерирован синусоидальный сигнал,

источником которого являлся контроллер STM32. Во второй серии опытов аperiodический импульсный сигнал генерировался внешним источником импульсов.

В первой серии тестов использовалась генерация синусоидального сигнала. Шаг изменения формы сигнала регулировался таймером, по окончании отсчета которого генерировался следующий уровень на выходе ЦАП1, сигнал с которого передавался на АЦП микроконтроллера. Для проверки формы оцифрованного сигнала использовался ЦАП2, с которого генерировался оцифрованный сигнал. С выходов ЦАП1 и ЦАП2 цифровым осциллографом снимался сигнала для дальнейшего сравнения.

На рис. 1 изображен исходный сигнал, который генерировался микроконтроллером STM при проведении опытов; в данном опыте частота синусоидального сигнала составляет 11666 Гц. Это максимальное значение частоты стабильного сигнала, которого удалось достичь при построении сигнала синусоидальной формы по 360 точкам. При этом отчетливо видно, что сигнал не искажился при прохождении преобразования АЦП и повторной подаче сигнала на ЦАП контроллера. Частота выборки АЦП контроллера была настроена на 1 МГц. Данный опыт показывает, что контроллер способен точно оцифровывать ЭМП низкой частоты, обнаруживая влияние токов и напряжений промышленных частот.

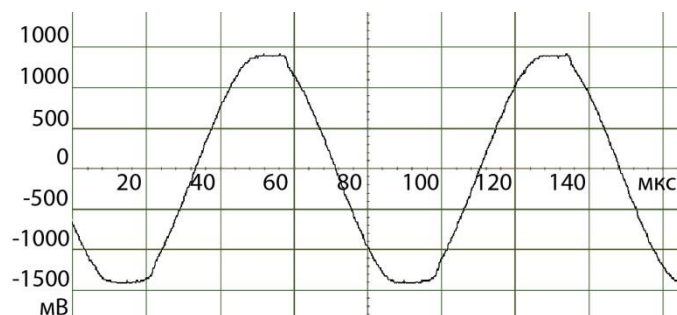


Рис. 1. Форма синусоидального сигнала с выхода ЦАП1

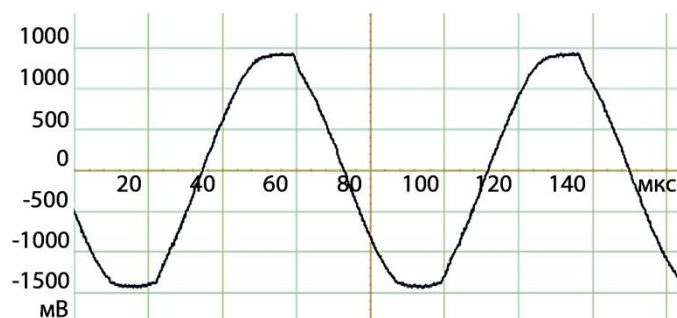


Рис. 2. Форма синусоидального сигнала с выхода ЦАП2

Во второй серии опытов сигнал подавался на АЦП контроллера STM32 с внешнего генератора импульсов через делитель напряжения 1 к 100. На рис. 3 изображены первичный и оцифрованный микроконтроллером сигналы. Оцифрованный сигнал с микроконтроллера выдавался с задержкой в несколько микросекунд. Уровень первичного импульса до прохождения через делитель напряжения составлял 60 В.

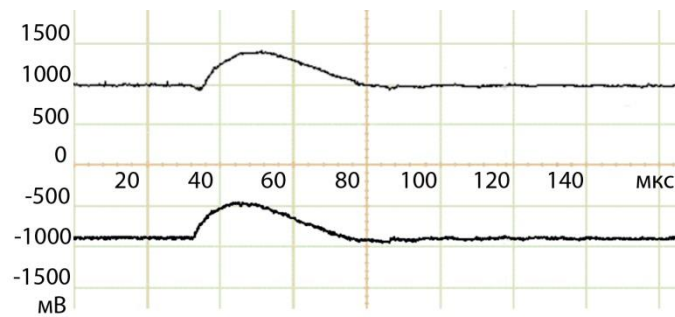


Рис. 3. Сигнал с выхода ЦАП микроконтроллера и с внешнего источника импульсов

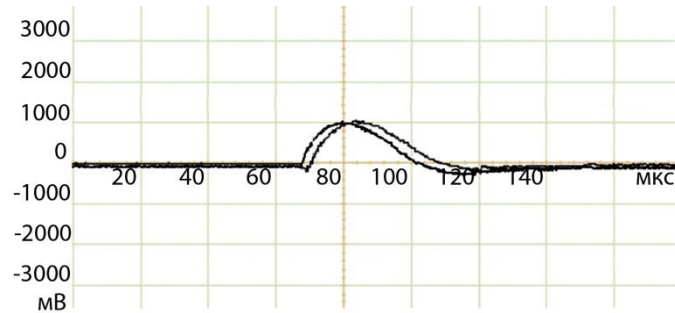


Рис. 4. Уровень первичного импульса до прохождения через делитель напряжения составлял 220 В

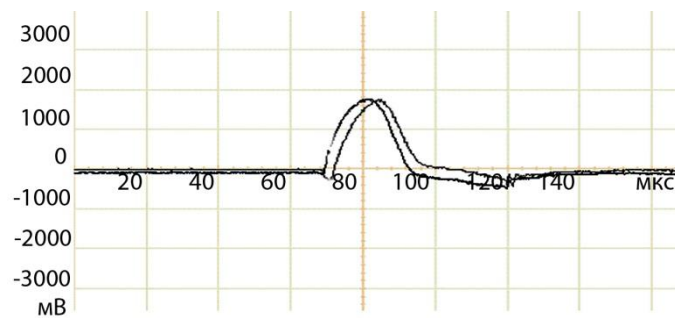


Рис. 5. Уровень первичного импульса до прохождения через делитель напряжения составлял 450 В

Исходя из вышеприведенных тестов, становится возможным утверждение, что данный тип микроконтроллеров достаточен для сборки простого устройства мониторинга и регистрации электромагнитных помех, учитывая скоростные характеристики АЦП данного типа микроконтроллеров и временные характеристики предполагаемых к регистрации и мониторингу ЭМП.

4. Модуль согласования

При разработке устройства мониторинга и фиксации импульсных перенапряжений требуется учитывать биполярный характер перенапряжений.

АЦП микроконтроллеров STM32 позволяет оцифровывать сигналы, имеющие только положительный уровень сигнала, что требует разработки модуля согласования.

Простейшим модулем согласования может служить схема инверсного подключения датчика к операционному усилителю, выход которого подключается ко входу АЦП посредством делителя напряжения с подтяжкой по питанию на вход АЦП или подтяжкой опорного напряжения. Схема приведена на рис. 6.

Микроконтроллеры серии STM32, в частности STM32F4, работают с источниками опорного напряжения до трех вольт с частотой оцифровки до 5 МГц в зависимости от конкретной модели и режимов работы.

Используется операционный усилитель AD823, работающий с сигналами, у которых скорость нарастания импульса составляет до 25 В/мкс. Данной скорости работы операционного усилителя достаточно для обработки сигнала с датчика, который не должен превышать ± 1.5 В.

В качестве источника напряжения отрицательной полярности для операционного усилителя используется инвертер TPS60403.

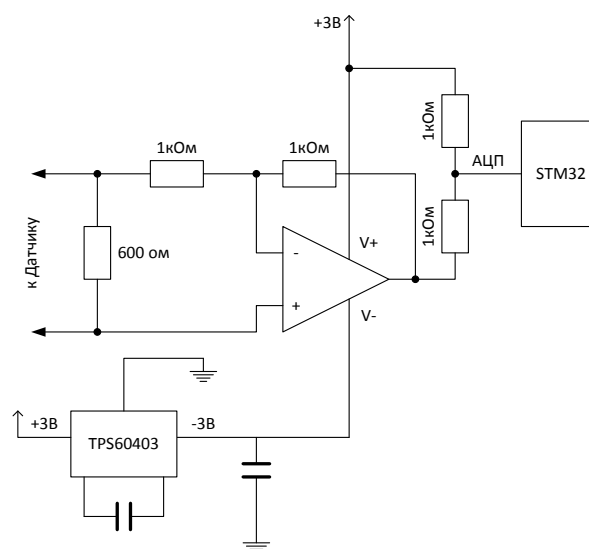


Рис. 6. Схема простейшего модуля согласования

4. Заключение

1) Исходя из временных характеристик электромагнитных помех, можно дать точные параметры минимального быстродействия для платформы, на базе которой должно разрабатываться встраиваемое устройство системы мониторинга ЭМП.

2) С точки зрения необходимого быстродействия и современного уровня развития электроники можно утверждать, что микроконтроллеры серии STM32F4XX, разрабатываемые STMicroelectronics, могут быть оптимальным выбором для разработки подобного устройства.

3) Также преимуществом данного типа микроконтроллеров является наличие обширной и полной технической документации с развитой поддержкой различными платформами разработки.

4) Данный тип микроконтроллеров может быть применен для оцифровки как низкочастотных ЭМП, так и для возможной регистрации грозовых импульсов и прочих непериодических сигналов.

Литература

1. Гурина Л. А. Электромагнитные помехи и методы защиты от них / АмГУ: Благовещенск, 2006.
2. Дьяков А. Ф., Максимов Б. К., Борисов Р. К., Кужекин И. П., Жуков А. В. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике / под ред. А. Ф. Дьякова. М.: Энергоатомиздат, 2003.

3. *Хабигер Э.* Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике: пер. с нем. И. П. Кужекина; под ред. Б. К. Максимова / М.: Энергоатомиздат, 1995.
4. RM0214 Programming manual. STM32F3xxx and STM32F4xxx Cortex-M4 programming manual. 2012. STMicroelectronics.

Статья поступила в редакцию 04.02.2016

Митрохин Валерий Евгеньевич

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Инфокоммуникационные системы и информационная безопасность» ФГБОУ ВО «ОмГУПС», тел. (3812) 31-06-94,
e-mail: mitrokhin@list.ru

Легоцкий Евгений Игоревич

аспирант кафедры «Инфокоммуникационные системы и информационная безопасность» ФГБОУ ВО «ОмГУПС», тел. (3812) 31-06-94, e-mail: win32conficker@gmail.com

Microcontrollers application potential for the development of electromagnetic interference monitoring systems and information security in telecommunication and radio equipment

V. Mitrokhin, E. Lehocky

This article considers types of electromagnetic interference (EMI) and their temporal characteristics. Capabilities of microcontrollers STM32 for the development of monitoring systems EMI for communication facilities are also discussed.

Keywords: EMI, microcontroller, monitoring, STM32.