

Информационное агентство
Энергопресс

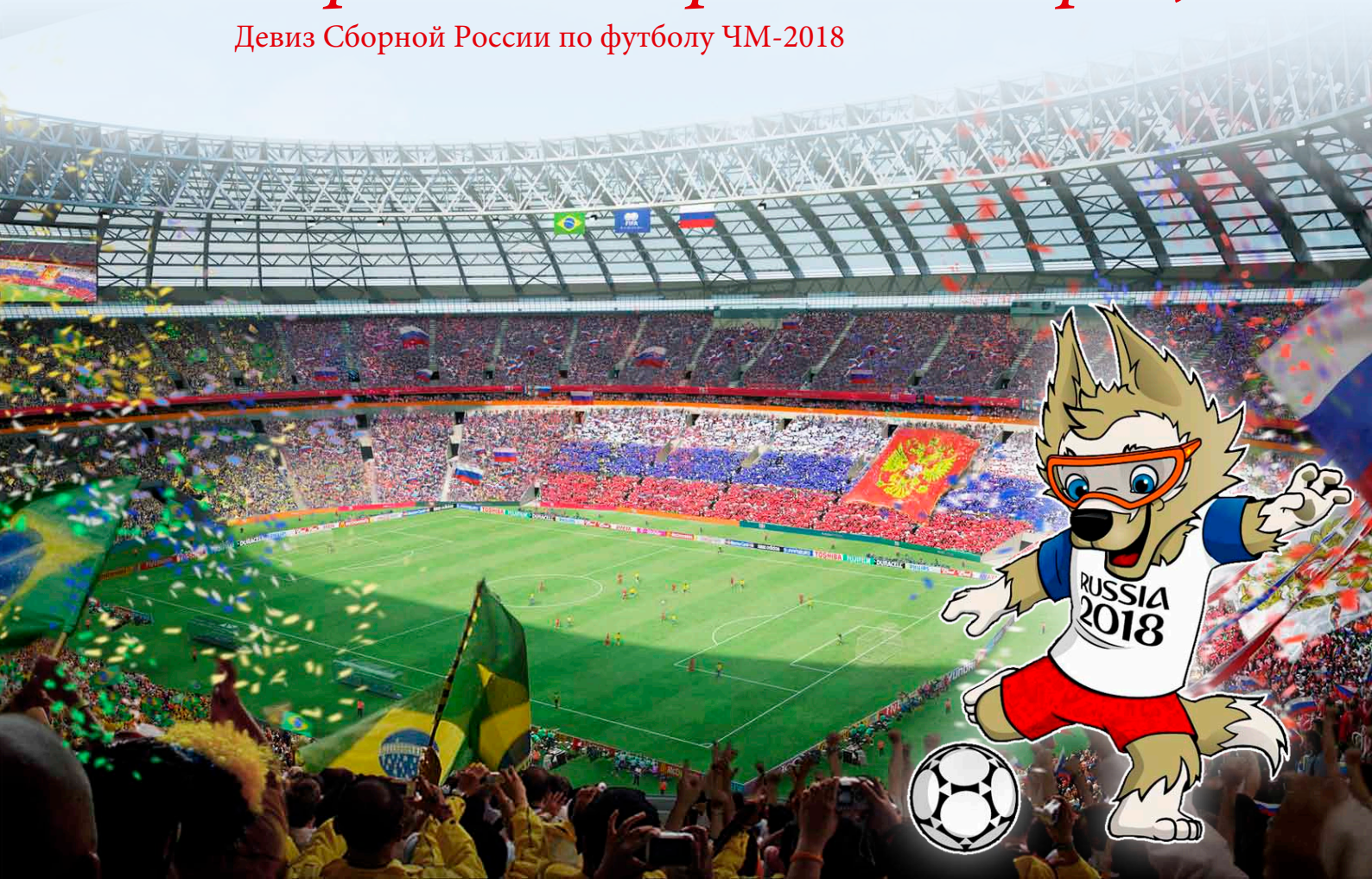
ISSN 2312-055X

6'2018

Новое в российской электроэнергетике

Играй с открытым сердцем

Девиз Сборной России по футболу ЧМ-2018



НОВОЕ В РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Ежемесячный научно-технический электронный журнал

№ 6 июнь 2018 г.

Издается с января 1997 года

Редколлегия

Главный редактор

Н.Д. Рогалев,

доктор технических наук, профессор. Ректор НИУ “МЭИ”

Первый заместитель главного редактора

В.Д. Буров,

кандидат технических наук, профессор НИУ “МЭИ”

Ответственный секретарь

Е.Ф. Галтеева,

кандидат технических наук, заместитель директора
ООО Информационное агентство “Энерго-пресс”

Члены редколлегии:

Э.К. Аракелян, доктор техн. наук, профессор
НИУ “МЭИ”

А.В. Богловский, канд. техн. наук, ст.н.с. НИУ “МЭИ”

И.П. Верещагин, доктор техн. наук, профессор
НИУ “МЭИ”

В.А. Гашенко, доктор техн. наук. Зам. директора
ОАО “ЭНИЦ”

В.Г. Грибин, доктор техн. наук, профессор
НИУ “МЭИ”

С.В. Грибков, канд. техн. наук. Генеральный директор
НИЦ ВИНДЭК, ведущий научный сотрудник ЦАГИ,
академик РИА

С.А. Грузков, канд. техн. наук, профессор НИУ “МЭИ”

А.А. Дудолин, канд. техн. наук, доцент НИУ “МЭИ”

В.В. Жуков, доктор техн. наук, профессор НИУ “МЭИ”

Ю.И. Жуков, канд. техн. наук. ОАО “Россети”

В.М. Зорин, доктор техн. наук, профессор НИУ “МЭИ”

А.Т. Комов, доктор техн. наук, профессор НИУ “МЭИ”

А.Я. Копсов, доктор техн. наук, профессор.
Президент ООО “ИЦ-ГТ”

В.М. Лавыгин, канд. техн. наук, профессор
НИУ “МЭИ”

С.Н. Ленов, заместитель управляющего директора –
главный инженер ПАО «Мосэнерго»

Е.Н. Олейникова, канд. техн. наук, шеф-редактор
ООО Информационное агентство “Энерго-пресс”

Т.И. Петрова, доктор техн. наук, профессор
НИУ “МЭИ”

А.П. Пильщиков, канд. техн. наук, доцент.
ООО Информационное агентство “Энерго-пресс”

П.В. Росляков, доктор техн. наук, профессор
НИУ “МЭИ”

Б.А. Рыбаков, канд. техн. наук. Директор
по стратегическому развитию ООО
“ГлобалТехЭкспорт”

А.А. Сухих, доктор техн. наук, профессор
НИУ “МЭИ”

Г.В. Томаров, доктор техн. наук, профессор.
Генеральный директор ЗАО “Геотерм-ЭМ”

М.Г. Тягунов, доктор техн. наук, профессор
НИУ “МЭИ”

Р.М. Хазиахметов, АО Техническая инспекция
ЕЭС, советник генерального директора

Н.Ш. Чемборисова, доктор техн. наук, профессор
НИУ “МЭИ”

Журнал включен 29 декабря 2015 г. в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (перечень ВАК)

Редактор *А.П. Пильщиков*

Корректурa *Г.Н. Грошева*

Верстка *Л.В. Софeyчук*

Подписано к выпуску 27.06.18 Объем 5.7 уч.-изд. л.

Адрес редакции: 111250, Россия, Москва, Красноказарменная ул., д. 14. Телефон/факс (495) 362-7589

E-mail: avs@energo-press.ru <http://www.energo-press.info>

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 6, 2018

О подписке на электронный журнал "НОВОЕ В РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ" 4

Электрические станции и электроэнергетические системы

Особенности создания сетей электроснабжения напряжением 20 кВ
В.В. Жуков, М.М. Закаржаев 6

Некоторые особенности построения транспортных
и распределительных сетей постоянного тока
Р.Н. Шульга, М.Ю. Дружинин 15

Анализ особенностей броска тока намагничивания силового
трансформатора с подключенной нагрузкой
В.Е. Глазырин, М.А. Купарев, И.И. Литвинов 25

Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты

Исследование вопросов оптимизации схем и параметров ПГУ-ТЭЦ
на базе ПГУ средней мощности для условий Российской Федерации
А.А. Дудолин, С.М. Крашенинников 34

Электротехнические комплексы и системы

Активная защита персонала объектов энергетики от воздействия
магнитных полей
Н.Я. Илюшов, С.М. Коробейников, А.В. Ридель, Н.Н. Чуприна 46

АКТИВНАЯ ЗАЩИТА ПЕРСОНАЛА ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

© 2018 г. Илюшов Н.Я., Коробейников С.М., Ридель А.В., Чуприна Н.Н.

Новосибирский государственный технический университет

e-mail: kamchatka1234@rambler.ru

Рассмотрены вопросы защиты персонала объектов энергетики от воздействия магнитного поля. Работа посвящена краткому анализу существующих методов защиты от воздействия магнитных полей, их особенностям и недостаткам. Представлены сведения о разработке новой системы активной защиты от магнитного поля промышленной частоты на основе контроллера.

Ключевые слова: магнитное поле, промышленная частота, напряженность, линии электропередач, экранирование, объекты энергетики, активная защита.

Одной из наиболее острых проблем, стоящих в настоящее время перед человечеством, является существенный рост уровней электромагнитных полей (ЭМП). Данный рост обусловлен развитием и широчайшим распространением средств связи, электротехнических и радиотехнических устройств, а также использованием высоковольтных линий электропередач (ЛЭП). Особую озабоченность вызывает тот факт, что большинство документов, регламентирующих уровни ЭМП, были разработаны еще в СССР в 80-е годы прошлого века и значения этих уровней автоматически переносятся во все последующие документы. Так, например, в соответствии с санитарными требованиями уровни электромагнитного поля промышленной частоты в жилых помещениях для электрической составляющей ЭМП не должны превышать 0.5 кВ/м, а для магнитной составляющей – 4 А/м, или 5 мкТл [1, 2]. В настоящее время эти нормы устарели и не соответствуют результатам последних исследований по воздействию ЭМП на человека. Исследования шведских ученых показали, что раковые заболевания могут начать развиваться при воздействии на организм магнитного поля при магнитной составляющей $B = 0.2\text{--}0.3$ мкТл [3].

Кроме этого, современные исследования показывают, что в настоящее время самыми распространенными гигиенически значимыми источниками магнитных полей промышленной частоты (МП ПЧ), воздействующих на население, являются несбалансированные токи (токи утечки) систем электроснабжения 0.4 кВ. Указанные системы электроснабжения включают

в себя электропроводку, электротехническое оборудование, установленное в зданиях, в том числе трансформаторы, кабельные линии, распределительные щиты [4]. Допустимые уровни магнитного поля ПДУ промышленной частоты для персонала, приведенные в таблице [1], косвенно позволяют судить о том, насколько реальные уровни магнитного поля на производстве могут превышать уровни, безопасные для здоровья человека.

Еще одной и очень важной особенностью магнитных полей является то, что поле способно изменять свои параметры в очень широком диапазоне. Например, напряженность МП промышленной частоты при коротких замыканиях способна многократно превысить уровни, действующие при нормальной работе объекта. Так, во время проведения испытаний на ВЛ 750 кВ в момент короткого замыкания напряженность H составила 22.8 кА/м, что более чем в четыре раза превышает ПДУ 5 кА/м. Фантомные измерения на модели, выполненной в натуральную величину, показали, что при этом степень воздействия магнитного поля на мозг человека, определяемая по плотности наведенного тока, составила 21 мА/м², что относится к зоне не опасных для здоровья эффектов. Но в момент однофазного автоматического включения (ОАПВ) плотность тока в мозге человека может достигнуть 181.5 мА/м², что уже относится к зоне неблагоприятного влияния [5].

ПДУ воздействия периодического магнитного поля частотой 50 Гц

Время пребывания, ч	Допустимые уровни МП H , А/м / B , мкТл, при воздействии	
	общем	локальном
Менее 1	1600 / 2000	6400 / 8000
2	800 / 1000	3200 / 4000
4	400 / 500	1600 / 2000
8	80 / 100	800 / 1000

Особенно остро вопросы защиты персонала от МП стоят в помещениях закрытых распределительных устройств высоковольтных подстанций. Но проблема эффективной защиты на объектах энергетики актуальна и для любого высоковольтного источника магнитного поля промышленной частоты. К таким источникам относятся силовые трансформаторы, токоограничивающие и шунтирующие реакторы, сильноточные линии электропередачи и т.д.

Традиционные способы защиты

На сегодняшний день основным способом защиты от МП промышленной частоты является использование пассивных экранов на основе ферромагнитных материалов с высокой магнитной проницаемостью. Помимо высокой дороговизны, такие экраны обладают еще рядом существенных недостатков. Например, необходимая эффективность экранирования достигается за счет увеличения толщины экрана и, следовательно, увеличения его массы и стоимости. Кроме этого, любые отверстия и любые соединения, даже в виде сварных швов, приводят к появлению неоднородностей, что значительно уменьшает эффективность экранирования.

Не следует забывать и о возможном многократном росте напряженности МП в результате тех же коротких замыканий, ведь в этом случае повышенный уровень МП приводит к насыщению ферромагнитного материала экрана и, соответственно, снижению его экранирующей способности.

Считаем, что более востребованными способами защиты от МП промышленной частоты на объектах энергетики, а зачастую и единственно возможными, являются активные методы экранирования. Принцип данного метода заключается в том, что роль экрана выполняют компенсирующие системы в виде петлевых обмоток или катушек с током, создающие поля, близкие по своей структуре и значению с действующим магнитным полем, но направленные в противоположную сторону.

Подобное устройство было описано в [3], где была предложена схема компенсации переменного магнитного поля с помощью трех петлевых обмоток, компенсирующее поле которых создается при пропускании тока через данные катушки. Недостатком данной схемы, на наш взгляд, является ограниченность ее применения из-за возможного влияния компенсирующих полей на датчики. При близком расположении источника магнитных полей и компенсирующего оборудования неизбежно влияние на датчики не только со стороны источника сигнала, но и со стороны компенсирующего устройства, что влечет за собой искажение сигнала, поступающего с датчиков, и, следовательно, некорректной компенсации магнитных полей. Кроме этого, невозможность размещения датчика и компенсирующих катушек на небольших расстояниях друг от друга делает подобные схемы малопривлекательными для использования их в мобильных устройствах защиты.

Способ защиты на основе контроллера

Считаем, что идею, предложенную в [3], можно значительно улучшить, если использовать контроллер. Он предназначен для управления электронными устройствами, при этом сочетает в себе функции процессора и периферийных устройств и имеет энергозависимую память. Другими словами, микроконтроллер является однокристальным компьютером, способным выполнять простейшие задачи. Отличие его от микропроцессора заключается в наличии интегрированных устройств ввода-вывода, таймеров.

Функциональная блок-схема предлагаемого устройства активной защиты представлена на рис. 1. Датчиком магнитного поля данного устройства служит приемная антенна МА, синусоидальный сигнал с которой поступает на преобразователь переменного напряжения в постоянное АС-DC. Далее напряжение проходит через усилитель УМА и поступает на управляющий контроллер МК, где аналоговый сигнал преобразуется в цифровой. При обнаружении приемной антенной магнитного поля контроллер вырабатывает команду на преобразователь постоянного напряжения DC-DC, регулирующего величину сигнала относительно действующего магнитного поля. Далее на инверторе DC-AC формируется синусоидальный сигнал, управляющий устройством сдвига фаз ФСД, где и происходит смещение фазы сигнала до противофазы. Угол сдвига фаз между сигналом с приемной антенны и с устройства ФСД контролируется фазометром ФА, также связанным через усилитель УС с контроллером. В итоге, выработанный

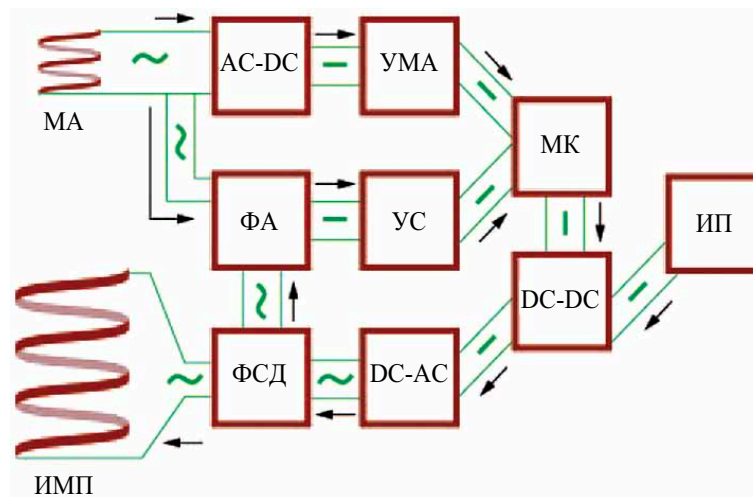


Рис. 1. Функциональная блок-схема устройства активной защиты от магнитных полей промышленной частоты.

МА – приемная магнитная антенна; АС-DC – преобразователь переменного напряжения в постоянное; УМА – усилитель магнитной антенны; МК – управляющий контроллер; ФА – фазометр (измерение угла сдвига фаз); УС – усилитель сигнала; ИП – источник питания; DC-DC – преобразователь постоянного напряжения; DC-AC – инвертор (формирование синусоидального сигнала); ФСД – устройство, создающее сдвиг фазы; ИМП – источник ответного магнитного поля

противофазный сигнал подается на катушку ИМП, являющуюся источником компенсирующего магнитного поля.

Главными требованиями при выборе контроллера были: универсальность, наличие плат расширения, простота программирования, доступность. Этим требованиям удовлетворяет продукция компании Arduino, которая разрабатывает программную и аппаратную части.

Программная часть контроллера включает в себя бесплатную программную оболочку (Arduino IDE), предназначенную для написания программ, их компиляции и программирования аппаратуры. Аппаратной частью являются смонтированные печатные платы, которые производят как официальные, так и сторонние производители. Полностью открытая архитектура системы позволяет свободно копировать и дополнять линейку продукции Arduino. Расчеты показали, что из всей линейки контроллеров, выпускаемых данной фирмой, для предлагаемой схемы активной защиты наилучшим образом подходит контроллер Arduino Uno на базе микроконтроллера ATmega328.

Схема устройства активной защиты от магнитных полей промышленной частоты на базе выбранного контроллера, разработанная с помощью системы схемотехнического моделирования Proteus Professional, представлена на рис. 2.

Данная схема позволяет ступенчато управлять силой тока, протекающего в компенсирующей катушке. Контроллер управляет релейным модулем с подключенной нагрузкой, поочередно открывающим и, тем самым, регулирующим ток, протекающий через ИМП. В этот момент начинается компенсация магнитного поля, и контроллер анализирует информацию, поступающую с датчика. Информация с датчика выводится на дисплей, что позволяет контролировать процесс компенсации магнитного поля визуально.

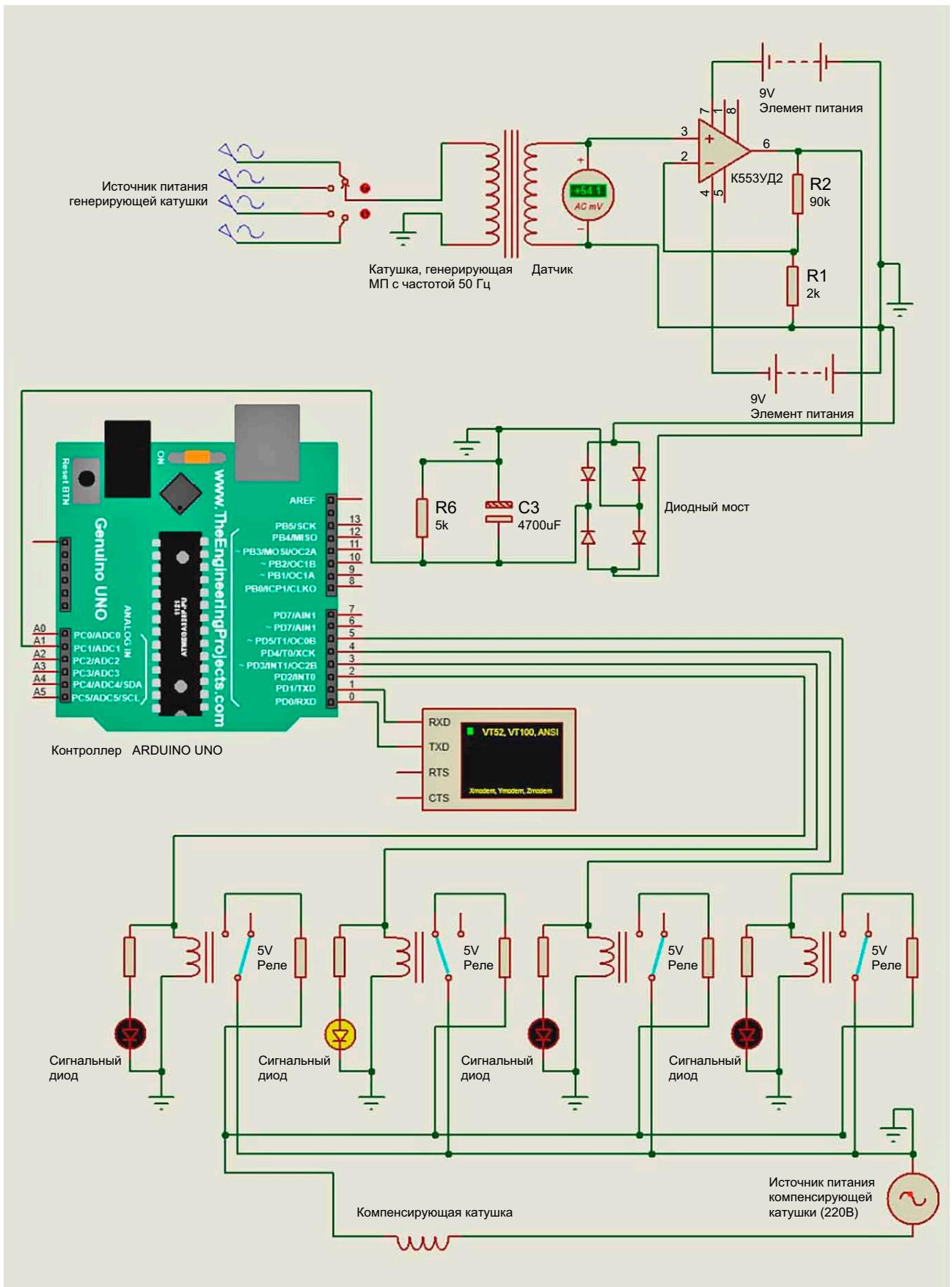


Рис 2. Схема устройства активной защиты

Анализ результатов

Исследования, проведенные по той же программе схемотехнического моделирования Proteus Professional, показали, что схема, разработанная на базе контроллера, может работать по принципу ступенчатого регулирования магнитного поля, причем диапазон регулирования зависит только от чувствительности датчика магнитного поля. Но так как датчик может быть расположен вблизи компенсирующей катушки и на него оказывает большое влияние не только действующее магнитное поле источника, но и компенсирующее поле ИМП, то он может автоматически переключиться на более низкий режим компенсации, т.е. не полностью компенсировать воздействующее поле. Для устранения этого недостатка был разработан и записан в контроллер программный код, разработанный на языке программирования C# с использованием программы Arduino IDE. Данный программный код управляет датчиком через управляющее реле и поддерживает стабильность работы всей активной системы компенсации магнитного поля.

Исследования показали, что спроектированная схема устройства активной защиты от магнитного поля промышленной частоты на основе контроллера отвечает основным требованиям, необходимым для успешной работы.

Выводы

Схема устройства активной защиты, разработанная на базе контроллера, позволяет:

- исключить прямую связь датчика с компенсирующим устройством;
- создать гибкую систему активной защиты, способную достаточно легко настраиваться под определенный диапазон действующего магнитного поля.

Это позволит создать легкую мобильную и универсальную установку, способную эффективно экранировать магнитные поля любого диапазона частот.

Список литературы

1. **СанПиН 2.2.4.1191-03.** Электромагнитные поля в производственных условиях. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003.
2. **Постановление** Главного государственного санитарного врача РФ от 10 июня 2010 г. № 64 “Об утверждении СанПиН 2.1.2.2645-10”.
3. **Аполлонский С.М., Горский А.Н.** Расчеты электромагнитных полей / под ред. А.Н. Горского. М.: Маршрут, 2006.
4. **Никитина В.Н.** Современное состояние проблемы защиты от электромагнитных полей // Сб. докл. Девятой Российской науч.-техн. конф. по электромагнитной совместимости ЭМС. СПб., 2006, С. 34–39.
5. **Токарский А.Ю.** Обеспечение электромагнитной безопасности электросетевых объектов: дис. докт. техн. наук. Иваново, 2011.