

УДК 621.316.925

А.В. МАЗУРЕНКО¹, А.Н. ОЩЕПКОВ², Ю.Ю. СИКАЛОВ¹¹ *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*² *Научно-исследовательское проектно-конструкторское бюро «Дизар», Украина*

РАДИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Для устранения недостатков, присущих дифференциальным устройствам защитного отключения, в статье предложена структура и принципы организации радиотехнической системы, предназначенной для защиты рабочего персонала от поражения электрическим током на производстве. В отличие от существующих решений, предложенная система позволяет не только осуществлять защиту от поражения, но и определять местоположение пострадавшего. Изложены принципы работы и описана структура разработанного индивидуального радиотехнического устройства защитного отключения. Приведены технические характеристики разработанного устройства, полученные по результатам предварительных испытаний.

Ключевые слова: электробезопасность, средства защиты от поражения электрическим током, радиотехническая система защитного отключения, индивидуальное радиоустройство защитного отключения.

Введение

Фундаментальные исследования по определению электрических параметров тела человека и физиологического воздействия электрического тока на него, которые служат базой для существующих стандартов обеспечения электробезопасности [1 – 3], были выполнены еще в середине 40-х годов прошлого столетия. С тех пор меры и средства защиты достигли значительного уровня развития, но, несмотря на это, статистика несчастных случаев и аварийных ситуаций во многих отраслях народного хозяйства (чаще всего в энергетической сфере) одним из самых опасных факторов на производстве называет электрический ток.

Характер и глубина воздействия электрического тока на организм человека зависит от силы и рода тока, времени его действия, пути прохождения через тело человека, физического и психологического состояния последнего. Ощутимым является ток около 1 - 2 мА. При большем токе человек начинает ощущать неприятные болезненные сокращения мышц, а при токе 15 - 20 мА уже не в состоянии управлять своей мышечной системой и не может самостоятельно оторваться от источника тока (неотпускающий ток). Действие тока свыше 25 мА на мышечные ткани ведет к параличу дыхательных мышц и остановке дыхания (опасный ток). При дальнейшем увеличении тока может наступить фибрилляция сердца (беспорядочные сокращения сердечной мышцы) и, как следствие, быстрый летальный исход.

Тяжесть последствий воздействия электрического тока на человека в значительной мере зависит от времени действия тока [4]. Как видно из рис. 1, относительно безопасным является переменный ток в 150 мА, действующий в течение 0,2 - 0,3 секунды или ток в 30 мА, действующий на отрезке времени до 1 секунды.

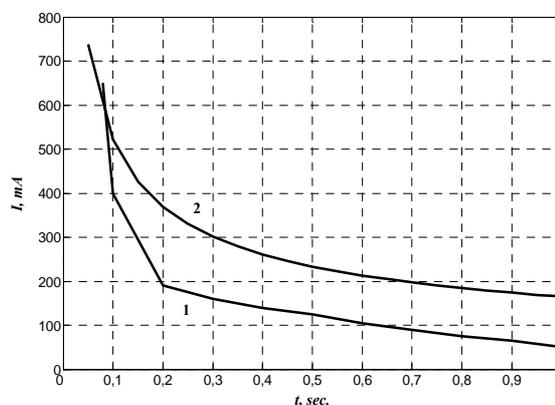


Рис. 1. Зависимость допустимой силы тока от времени воздействия:

1 – переменный ток 50 Гц; 2 – постоянный ток

Наибольшую опасность для человека при эксплуатации электроустановок представляет контакт участков тела с токоведущими частями установок. Эффективной мерой защиты от поражения током при прямом или косвенном прикосновении является защитное зануление, применяемое совместно с дополнительными средствами защиты – устройствами защитного отключения и устройствами защиты от

сверхтоков [3 – 5]. Последние обеспечивают защиту человека путем отключения автоматическими выключателями или предохранителями участка цепи, в котором ток превышает некоторое пороговое значение. Как правило, это значение значительно больше потенциально опасных для человека значений силы тока (сверхток).

При малых токах замыкания, при обрыве нулевого защитного проводника зануление, используемое совместно с защитой от сверхтоков, становится неэффективным. Основным средством защиты человека становится устройство защитного отключения (УЗО), в связи с чем УЗО получили широкое распространение, как в быту, так и на производстве.

Принцип действия УЗО основан на определении дифференциального тока (тока утечки) в проводниках, подводящих электроэнергию к установке [4, 5]. С помощью дифференциального трансформатора определяется разница между входящим и уходящим токами. Когда эта разница (дифференциальный ток) превышает некоторое пороговое значение (табл. 1), цепь электропитания отключается.

Таблица 1
Технические характеристики УЗО

Наименование параметра	Значение
Номинальный отключающий дифференциальный ток I_D , мА	10, 30, 100
Номинальный неотключающий дифференциальный ток I_{D0}	$0,5I_D$
Номинальное время отключения (при токе I_D) $T_{откл}$, не более, мс	30

Агрессивная рабочая среда, которая часто имеет место на производстве (повышенная влажность, перепад рабочих температур, химически активное воздействие и т.д.), способствует старению и, как следствие, приводит к разрушению и пробоем электрической изоляции оборудования, повышающему вероятность поражения персонала током. Наряду с этим, возможные механические повреждения изоляции, а также непосредственный контакт электролиний с землей приводят к появлению токов утечки в линиях электропередач. В протяженных рабочих зонах промышленных предприятий из-за невозможности выравнивания потенциалов фазового и нулевого проводов линий электропередач (так как длина линий достаточно большая), также появляются значительные дифференциальные токи. Все это приводит к ложному срабатыванию УЗО. Увеличивать номинальный отключающий дифференциальный ток УЗО не представляется возможным, так как ток свыше 25 мА уже является опасным для человека, а токи утечки могут значительно превышать указан-

ное значение. В таких случаях УЗО, работающие на основе дифференциального трансформатора, применять не представляется возможным.

Указанные причины приводят к необходимости разработки технических средств защиты персонала от поражения электротоком на основе иных принципов работы, что и является предметом настоящей статьи.

1. Радиотехническая система защитного отключения

Для устранения ограничений, присущих дифференциальным УЗО, предлагается использовать устройство, которое реагирует не на изменение тока в линии электропередачи (при поражении человека или при появлении тока утечки в электрооборудовании), то есть срабатывающее по косвенному признаку, а устройство, реагирующее на поражающий ток, непосредственно проходящий через тело человека (реакция на прямой признак поражения). Такое устройство должно включать в себя датчик тока, имеющий непосредственный контакт с телом человека, или расположенный в непосредственной близости к нему, и улавливающий радиоизлучения, возникающие при поражении [7, 8], компаратор для сравнения величины сигнала датчика тока с некоторым предварительно установленным пороговым значением, а также радиопередатчик для обеспечения свободы передвижения человека и передачи сигнала отключения электропитания, в случае поражения электрическим током (рис. 2). Таким образом, в отличие от существующих стационарных УЗО, предлагаемое защитное устройство является индивидуальным носимым портативным радиоустройством. Таким индивидуальным радиоустройством защитного отключения (ИРУЗО) должен быть снабжен весь рабочий персонал, находящийся в потенциально опасной зоне. В связи с этим жесткие требования выдвигаются к его массогабаритным характеристикам, энергопотреблению, надежности, а также цене.



Рис. 2. Структурная схема индивидуального ИРУЗО

Предлагаемая система защитного отключения представляет собой радиосеть, состоящую из радиоустройств двух типов: стационарных приемопередающих радиоузлов (ретрансляторов) и мобильных радиопередающих ИРУЗО (рис. 3). Диспетчерский пункт включает в себя приемо-передающее устройство (по типу ретрансляторов), один или несколько

автоматов защитного отключения (АЗО) и индикатор поражения электрическим током.

Принцип действия такой системы заключается в следующем.

В случае поражения человека электрическим током сигнал датчика тока (см. рис. 2) становится больше некоторого предварительно установленного порогового значения, после чего компаратор вырабатывает сигнал запуска радиопередатчика. Радиопередатчик ИРУЗО посылает ближайшему ретранслятору сообщение о факте поражения электрическим током и свой уникальный номер (идентификатор). В свою очередь ретранслятор посылает принятое сообщение, дополняя его своим идентификатором, соседним ретрансляторам или непосредственно диспетчерскому пункту. Сигнал, принятый радиоприемным устройством диспетчерского пункта, воздействует на АЗО, который отключает подачу электроэнергии.

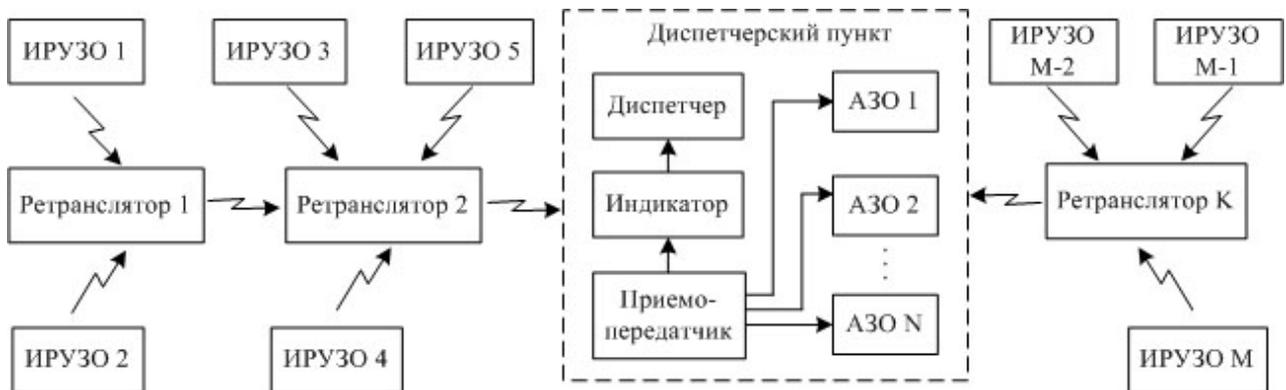


Рис. 3. Функциональная схема радиотехнической системы защитного отключения

2. Результаты предварительных испытаний системы защитного отключения

Предложенная радиотехническая система защитного отключения может использоваться для защиты от поражения, как переменным, так и постоянным током. Отличия будут касаться только используемых в ИРУЗО датчиков тока.

В некоторых отраслях народного хозяйства, например в угольной промышленности, велика опасность поражения рабочего персонала как раз постоянным током. Защита от постоянного тока имеет свои особенности, не позволяющие реализовать УЗО на известных принципах.

Поэтому авторами был разработан макетный вариант цифрового ИРУЗО, предназначенного для защиты персонала от поражения постоянным током. Структурная схема разработанного устройства представлена на рис. 4.

Датчик тока ИРУЗО представляет собой датчик прямого контакта и реагирует на ток, протекающий

Идентификатор ИРУЗО позволяет определить конкретного человека, подвергшегося поражению электрическим током, а идентификатор ретранслятора, принявшего сигнал ИРУЗО, позволяет определить примерное местоположение пострадавшего (с точностью до расстояния между ретрансляторами). Возможность определять местоположения пострадавшего является важным свойством предложенной системы, особенно в случае пространственно протяженных рабочих зон.

Точность определения местоположения зависит от расстояния между ретрансляторами, которое в каждом конкретном случае должно выбираться в зависимости от протяженности и конфигурации рабочей зоны, конкретного расположения потенциально опасного электрооборудования, радиуса действия ИРУЗО.

через тело человека в момент его поражения. Функции компаратора возложены на микроконтроллер, который кроме прочего осуществляет управление работой всего устройства.

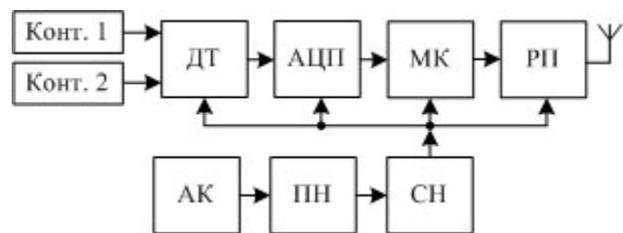


Рис. 4. Структурная схема разработанного ИРУЗО: Конт.1 – контакт 1; Конт.2 – контакт 2; ДТ – датчик тока; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; МК – микроконтроллер; РП – радиопередатчик; АК – аккумулятор; ПН – преобразователь напряжения; СН – стабилизатор напряжения питания

Предварительные испытания разработанного ИРУЗО показали, что чувствительность прибора достаточно высока (50...100 мкА), но в реальных

условиях работы имеют место помехи, вызванные физической активностью человека (артефакты, возникающие при движении человека) и промышленные помехи, которые могут приводить к ложному срабатыванию устройства. На рис. 5 приведен пример сигнала на выходе датчика тока, зафиксированный для интервала времени, на котором через тело человека пропускался тестовый ток.

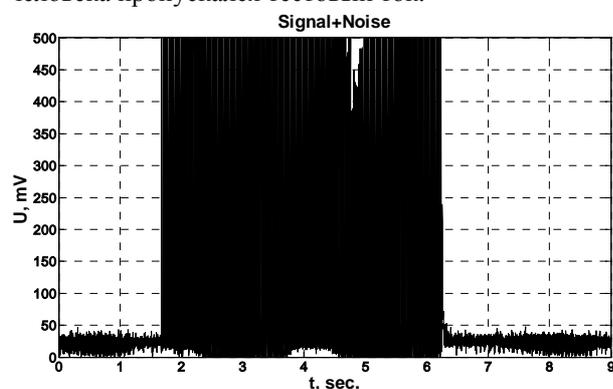


Рис. 5. Сигнал на выходе датчика тока

Спектральный анализ этого сигнала позволил установить, что кроме полезной составляющей спектр сигнала содержит и помеховые составляющие на частотах 50 и 100 Гц (рис. 6). Это так называемая сетевая помеха, возникающая в результате наводок на теле человека от промышленных установок.

Для устранения влияния сетевых помех в разработанном варианте ИРУЗО использован цифровой оконный усредняющий фильтр, амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) которого также приведена на рис. 6.

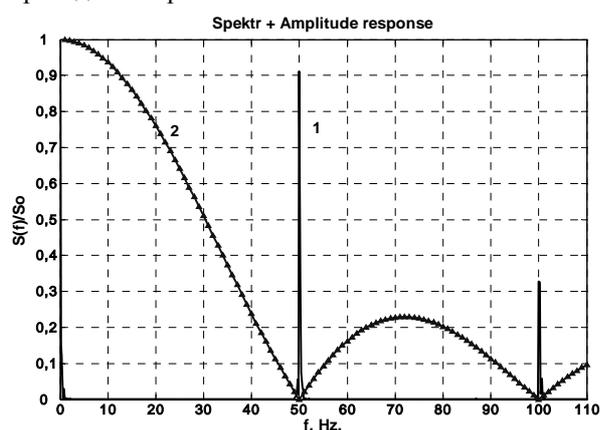


Рис. 6. Спектр сигнала на выходе датчика тока (1) и АЧХ цифрового фильтра сетевой помехи (2)

После обработки сигнала (рис. 5) таким фильтром напряжение на выходе датчика тока приобретает вид представленный на рис. 7. Отфильтрованный сигнал сравнивается в компараторе с предварительно установленным порогом и в случае его превышения вырабатывается и передается сообщение о поражении электрическим током.

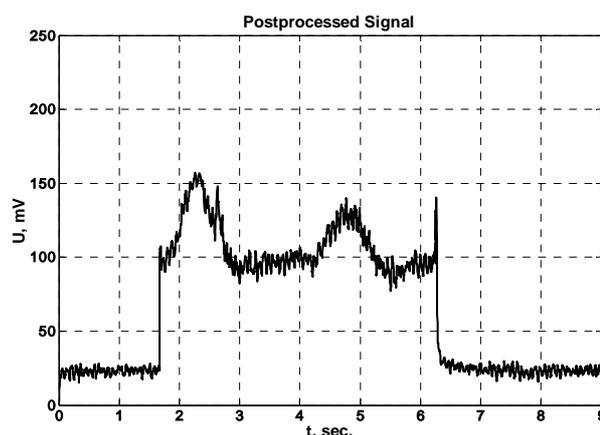


Рис. 7. Сигнал на выходе датчика тока после фильтрации фильтром сетевой помехи

Испытания разработанного ИРУЗО в составе экспериментальной РТСЗО показали, что время между моментом подачи тестового тока на тело человека и моментом выработки сигнала отключения АЗО составляет порядка 18 мс. При этом дешифрация сообщения о поражении электрическим током и выработка сигнала отключения электроэнергии осуществлялась с помощью персонального компьютера через последовательные интерфейсы связи с периферийными устройствами (радиоприемным устройством РТСЗО и индикатором).

Таким образом, полученное значение может быть существенно уменьшено в случае использования специализированного информационно-управляющего блока.

Заключение

В статье предложена структура радиотехнической системы защитного отключения, а также разработано индивидуальное устройство предупреждения поражения рабочего персонала электрическим током, которые, в отличие от известных [4, 6 – 8], позволяют не только предупреждать возникновение опасных ситуаций, но и определять примерное местоположение и идентифицировать человека, пораженного электрическим током.

Предварительные испытания разработанных образцов ИРУЗО в составе предложенной радиотехнической системы показали, что время реакции системы на поражение электрическим током меньше, чем у используемых в настоящее время дифференциальных УЗО.

Дальнейшим направлением разработок, на взгляд авторов, является уменьшение времени реакции системы, повышение надежности ее работы, минимизация массо-габаритных параметров ИРУЗО и разработка ИРУЗО для предупреждения поражения переменным электрическим током.

Литература

1. ГОСТ 12.1-2003. *Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.* – Взамен ГОСТ 12.1.019-79; введ. 01.07.2003. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 5 с.
2. ГОСТ 12.1-2001. *Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.* – Взамен ГОСТ 12.1.038-82; введ. 01.06.2001. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 5 с.
3. ГОСТ 12.1.030-2001. *Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.* – Взамен ГОСТ 12.1.030-81; введ. 01.06.2001. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.
4. Душкин Н.Д. *УЗО – устройства защитного отключения: учебно-справочное пособие / Н.Д. Душкин, В.К. Монаков, В.А. Старшинов.* – М.: ЗАО "Энергосервис", 2006. – 232 с.
5. ГОСТ 12.4.155-85. *Устройства защитного отключения. Классификация. Общие требования.* – Введ. 01.01.1985. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 15 с.
6. Pat. EP 1 580 860 A1 European Union, Int. Cl.⁷ H 02 H 5/12. *A radiofrequency system for the protection from electric shock hazard / Betti N., Spanu M., Gessa D. (IT).* – № 04425214.6; filed 26.03.2004; published 28.09.2005, Bulletin 2005/39.
7. А.с. 788258 СССР, МКИЗ H 02 H 5/12. *Устройство для защиты от поражения высоким напряжением / А.И. Фефер, В.А. Мусяченко (СССР).* – № 2727190/24-07; заявл. 22.02.1979; опубл. 15.12.1980, Бюл. № 46.
8. Pat. US 2003/0011484 A1 United States of America, Int. Cl.⁷ G 08 B 21/00. *Electrical injury protection system using radiofrequency transmission / Zeng S., Powers J.R., Jackson L.L., Conover D.L. (USA).* – № 10/204,31; filed 3.02.2001; published 16.01.2003, Bulletin № 60/186,860.

Поступила в редакцию 10.05.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры В.В. Печенин, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

РАДІОТЕХНІЧНА СИСТЕМА ЗАХИСТУ ПЕРСОНАЛУ ВІД УРАЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ

О.В. Мазуренко, А.М. Ощепков, Ю.Ю. Сікалов

Для усунення недоліків, властивих диференціальним пристроям захисного відключення, в статті запропоновані структура і принципи організації радіотехнічної системи, призначеної для захисту робочого персоналу від ураження електричним струмом на виробництві. На відміну від існуючих рішень, запропонована система дозволяє не тільки здійснювати захист від ураження, але і визначати місце розташування потерпілого. Викладено принципи роботи й описана структура розробленого індивідуального радіотехнічного пристрою захисного відключення. Приведено технічні характеристики розробленого пристрою, отримані за результатами попередніх випробувань.

Ключові слова: електробезпека, засоби захисту від ураження електричним струмом, радіотехнічна система захисного відключення, індивідуальний радіопристрій захисного відключення.

THE RADIO ENGINEERING SYSTEM OF PERSONNEL PROTECTION AGAINST ELECTRICAL SHOCK

A.V. Mazurenko, A.N. Oshchepkov, Yu.Yu. Sikalov

A structure and principles of organization of a safety shutdown system for personnel protection against electrical injury are described in the paper. The system proposed eliminates lacks inherent to differential switching-off devices and allows to protect peoples against electrical shock as well as to determine accident location. Principles of operation and structure of the protective wearable device designed are discussed. We also offer specification and technical features of the developed radio engineering system and discuss results of experimental operation.

Key words: electrosafety, means for electricshock protection, safety shutdown radiosystem, personal radiodevice of safety shutdown.

Мазуренко Александр Владимирович - канд. техн. наук, доцент кафедры проектирования радиоэлектронных систем летательных аппаратов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: almaz@xai.edu.ua.

Ощепков Анатолий Николаевич – директор ООО «Научно-исследовательское проектно-конструкторское бюро «Дизар»», Харьков, Украина, e-mail: kb.dizar@gmail.com.

Сикалов Юрий Юрьевич – студент 5 курса факультета радиотехнических систем летательных аппаратов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: uruk_hay@ukr.net.