

СИСТЕМА С ДИСТАНЦИОНЕН КОНТРОЛ ЗА ЕЛЕКТРОЗАЩИТА НА ОБЕКТИ СЪС СПЕЦИАЛНО ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ

Васил Димитров*, Емилия Димитрова, Драгомира Димитрова

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков” - София, ул. „Гео Милев” 158, България
Кореспондиращ автор: vdimitroff@vtu.bg*

REMOTE CONTROL SYSTEM FOR ELECTRICAL PROTECTION OF SPECIAL-PURPOSE FACILITIES

Vasil Dimitrov*, Emiliya Dimitrova, Dragomira Dimitrova

*¹ Todor Kableshkov University of Transport – Sofia, 158 Geo Milev str., Bulgaria
Corresponding author: vdimitroff@vtu.bg*

Abstract

The report provides a comprehensive analysis of modern electrical protection devices. The need to incorporate several types of protection has also proven. An electrical protection system has been developed to be installed in special-purpose facilities in various sectors of the economy. An opportunity has been created to reduce electricity consumption by connecting to a solar power plant and switching consumers by installing a remotely controlled electricity meter.

Keywords: Residual Current Circuit Breaker; Arc-Fault Detection Device; Smart Energy Meter.

ВЪВЕДЕНИЕ

Електрическото оборудване и инсталация, изградени в строго съответствие с нормативните документи, осигуряват пасивна безопасност чрез локализиране на аварията и недопускане на сериозни последици. Защитните устройства се монтират в електрически табла и могат да бъдат разделени на две основни категории [1]: устройства, предпазващи от отделяне на излишна топлина в инсталацията по време на работа (особено на места, където първоначално не е планирано загряване), и устройства, предпазващи от нестандартно електрозахранване, когато нивата на напрежение надвишават допустимите граници и представ-

ляват опасност за електрическите уреди (вкл. фазови последователности и др.).

В доклада е извършен обстоен анализ на съвременните устройства за електрозащита и е разработено табло за обекти със специално предназначение, което осигурява и възможности за дистанционен контрол и намаляване на консумацията на електроенергия.

СЪВРЕМЕННИ УСТРОЙСТВА ЗА ЕЛЕКТРОЗАЩИТА

Първата категория, освен прекъсвачи (Circuit Breaker) и предпазители за изключване на веригата в случай на късо съединение или при натоварване, по-голямо от изчисленото, включва и следните устройства:

Диференциалнотокова защита (ДТЗ), защитен прекъсвач RCD (residual current device) или прекъсвач за остатъчен ток RCCB (Residual Current Circuit Breaker): изключва веригата, ако е налице ток на утечка (към земята). Това може да е вследствие повреда на изолацията, което причинява локално нагриване на мястото на утечка, овъгляване на изолацията и предизвикване на пожар.

Устройство за защита от дъгов пробив изключва веригата, ако открие изкривяване на тока, което е характерно за волтовата дъга. Ако проводник е лошо захванат в клемата или е скъсано жило, поради лош контакт и искрене ще се получи нагриване, което може да прерасне в пожар.

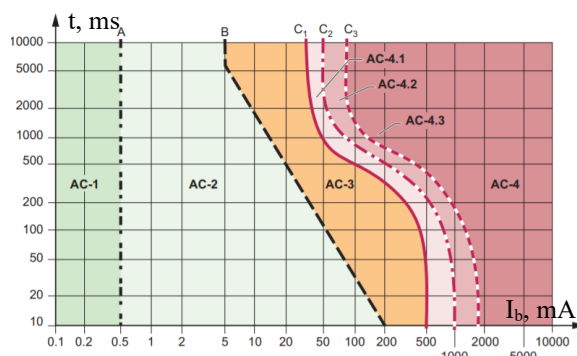
Към втората категория могат да се причислят следните устройства:

Реле за контрол на напрежение: защитава, ако напрежението е твърде ниско или твърде високо, например ако нулевият проводник (N) е прекъснат. Това е устройство, което задейства за 0.01 s и предпазва домакинските уреди от повреда.

Устройството за защита от импулсни пренапрежения (Surge Protection Device – SPD): защитава устройствата във веригата, ако импулс с високо напрежение, предизвикан от мълния, пристигне по електропровода. Такъв импулс с кратка продължителност, но висока стойност на напрежението, унищожава изолацията; най-уязвими към такива смущения са електронните схеми.

Особено внимание заслужава ДТЗ (RCCB). В допълнение към противопожарната функция, това са единствените устройства, които предпазват не само електрическото оборудване, но и персонала директно от токов удар. Те реагират при допир и изключват захранването преди да се увреди сериозно човешкият организъм [2]. Времетоковите зони са показани на фиг. 1 [3]. Ток през тялото $I_b < 0,5$ mA е неосезаем – imperceptible (зона AC-1). Линия А представлява границата на усещане. При то-

кове 0,5-20 mA (зона AC-2 – perceptible, осезаем) токът се усеща неприятно. Границата на мускулна реакция се описва с линия В. При токове 20-100 mA (зона AC-3 – обратими ефекти) в човешкия организъм настъпват неконтролируеми конвулсии и протичащият ток причинява болка. При токове над 100 mA (зона AC-4) настъпват необратими последствия за човешкия организъм. Крива C_1 описва границата, до която вентрикуларната фибрилация е малко вероятна, крива C_2 – вероятността е 5%, C_3 – 50%. Видно е, че при $I_b < 30$ mA рискът за живота е малко вероятен и човек може сам да реагира, ако почувства, че е под въздействието на ел. ток. При по-големи стойности на тока трябва да се предприемат действия по спасяване на човешкия живот.



Фиг. 1. Ефект на големината на тока през тялото като функция на времето

Конвенционалният RCCB, задействан само от променлив ток, се обозначава като тип AC (фиг. 2). Разработени са RCCB, предназначени да работят и с постоянен пулсиращ ток на утечка (тип A), а за много случаи (напр. повреда на вериги след превключватели на захранването в преобразуватели с високи честоти на преобразуване, повреда на изхода на токоизправител с мощни изглаждащи кондензатори) се предлагат и RCCB тип B [4].

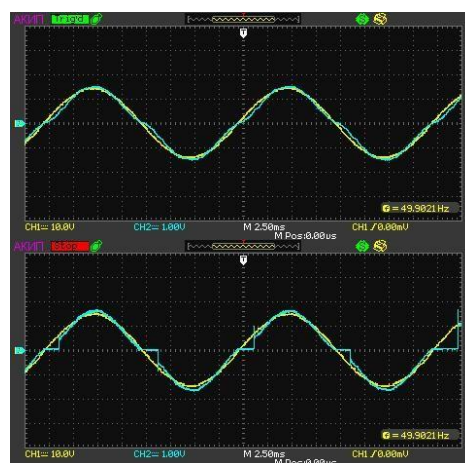


Фиг. 2. Обозначения на RCCB

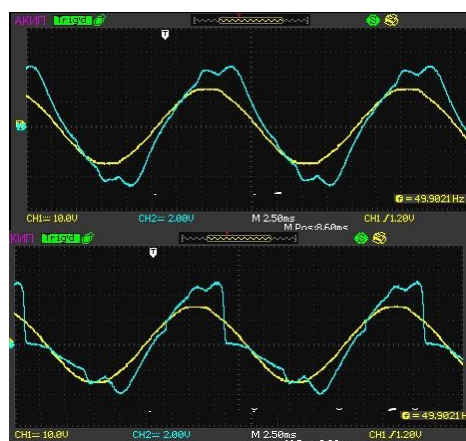
За да се осигури селективност при последователно свързване на ДТЗ, са създадени специални варианти с обозначение S или G – имат вградено закъснение при изключване от няколко десетки до стотици милисекунди и ще сработят само ако в края на закъснението диференциалният ток не изчезне.

Необходимостта от устройства за защита от дъгово късо съединение, известни още като устройства за откриване на дъгов пробив (AFDD – arc-fault detection device) и като прекъсвачи на веригата за дъгова повреда (AFCI – arc-fault circuit interrupter) е дефинирана в [5]. Паралелният дъгов пробив (дъгата възниква между проводници L и N или L и PE) най-вероятно ще прерасне в късо съединение и максималнотокова защита ще сработи. Последователен дъгов пробив (дъгата е в отворена верига последователно с консуматора) е труден за откриване и следователно – най-опасен, тъй като и автоматичният прекъсвач, и ДТЗ няма да реагират: токът не е превишен (стойността му е ограничена от товара), няма и диференциален ток. Дъгата ще гори, докато контактът бъде случайно възстановен или прекъснат. Такъв пробив може да бъде открит поради една характерна особеност – дъгата не се запалва веднага. Напрежението трябва да се повиши до напрежението на пробив и в повредения кабел се появява искра, която йонизира въздуха и позволява да се запали електрическа дъга. Тя светва и гасне 100 пъти в секунда, което води до специфични изкривявания във формата на тока (фиг. 3 и 4). Вижда се, че скоростта на нарастване на тока във веригата след повреда е огромна, скокът е почти вертикален. Следователно трябва да се следи производната на тока (скоростта на нарастване). Най-лесният начин е да се анализира спектърът на сигнала: колкото по-стръмен е фронтът, толкова по-широк е наговият спектър. В резултат на това принципът на действие на защитата се базира на анализ на спектъра на сигнала от датчик на тока. Ако се на-

блюдава повишаване на високочестотната част на спектъра, има дъгов пробив и трябва да се изключи.



Фиг. 3. Форма на тока, консумиран от нагревателя на вентилатора – при нормална работа и при поява на последователен дъгов пробив



Фиг. 4. Форми на сумарния ток на няколко консуматора – при нормална работа и при последователен дъгов пробив на един от консуматорите

Могат да възникнат, обаче, лъжливи сработвания при включване на шлайф машина с накъсосъединен ротор. Ако има няколко такива устройства на една линия, техните токове се сумират, шумът ще бъде сумиран и е трудно да се локализира дъгов пробив.

Следователно, от една страна е необходимо да се увеличи чувствителността, а от друга – да не се допускат фалшиви сработвания. Това се постига чрез изпъл-

зване на различни видове филтри и методи (табл. 1).

Табл. 1. Представителни методи за AFDD и съответните точности

Метод	Използвана функция	Най-ниска прогноза	Проблемни консуматори
Представяне на оскъдни данни и невронна мрежа [6]	250 приблизителни коефициенти от всеки полупериод на тока	88 %	Компютърна техника
Chirp Zeta Transform (CZT) и разлика в токовете [7]	Средната стойност на разликата между два последователни прозореца за наблюдение	96,7 %	Електрически пробивни машини
Фрактална теория и SVM (Support vector machines) алгоритъм [8]	Изграждане на база данни от примерни стойности на тока и нелинейна сортираща система	98 %	Микровълнови печки и индукционни котлони
Авторегресивен Биспектърен анализ [9]	Двуизмерно преобразуване на Фурие с кумуланти от трети ред	97 %	Домакински прахосмукачки
Високочестотна вариация на енергията и тока [10]	Интегрален ток от един период – кратковременно преобразуване на Фурие	96 %	Електрически пробивни машини

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА НАМАЛЯВАНЕ КОНСУМАЦИЯТА НА ЕНЕРГИЯ

В последно време все по-широко приложение намират различни системи за сградна автоматизация. Това се налага от повишените изисквания, предявявани по отношение на осветлението и микроклимата в промишлените, административните и особено в сгради със специално предназначение. Системите предоставят и възможности за мониторинг и управление на електроенергийната ефективност в сградата, за гарантиране на оптимизирана експлоатация на ел. мрежа и спестяване на финансов ресурс. Изграждането на подобни системи създава следните възможности:

- Дистанционен мониторинг чрез приложение, инсталирано на мобилен телефон или таблет;
- Събиране на данни за измерени текущи и интегрални стойности на различни параметри;
- Обработка на данните и извеждане на информация за състоянието и съобщения за събития или аларми;
- Управление от разстояние: подаване на команди за управление на обектите и процесите чрез промяна на определено

състояние, поддържане или промяна на стойностите на дадени параметри;

- Оптимизиране на електропотреблението при повишена консумация или отклонения от допустимите стойности на определени параметри;

- Прогнозиране надеждността на ел. инсталация;

- Организирано техническо обслужване на електрообзавеждането и др.

Икономически ефект може да се постигне не само чрез управление на осветлението и оптимален контрол на микроклимата, но и чрез оптимизиране на електрическата инсталация чрез осигуряване на необходимите защиты от токове на утечка, заземяване и др.

Постигането на електроенергийна ефективност изисква измервания на напрежение, ток, мощност (активна и реактивна), фактор на мощността, хармоници и т.н. Анализът на получената информация се използва при вземането на енерго-спестяващи мерки, като данните могат да бъдат свързани с конкретни консуматори, т.е. за рационално управление на електро-енергийния процес, за контрол изправността на инсталацията и локализиране на повреда, за инициране на

своевременно техническо обслужване и др. Редица фирми-производители на съвременна измервателна техника предлагат технически средства за измерване и анализ на параметрите на електрическата енергия. Повечето от тях предоставят възможност за дистанционен контрол, а с вградените цифрови изходи или чрез добавянето на модули могат да се изпълняват и управляващи команди по прекъсвания и задействане на аларми.

РАЗРАБОТВАНЕ НА ЕЛЕКТРО-ЗАЩИТНА СИСТЕМА

Системата е предназначена за предотвратяване на необичайни режими на работа на ел. вериги в обекти със специално предназначение, като осигури изключване на захранването преди да се развие неизправност в инсталацията или да възникне опасност от пожар. Електрозахранването е с променливо напрежение 230 V, 50 Hz.

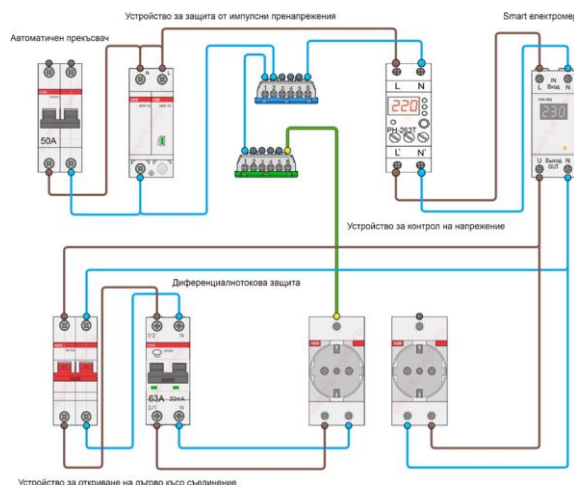
Избрани са елементи на фирмата Yueqing Tongzheng Electric Co., Ltd. – марка "TOMZN" [11]. Компанията е специализирана в производството на миниатюрни прекъсвачи (Miniature Circuit Breakers MCB и DC MCB), прекъсвачи за остатъчен ток (RCCB), устройства за защита от пренапрежение, разединители, аксесоари за прекъсвачи, захранвания и др. Всички устройства притежават сертификати за ISO9001, CE, CCC и електромагнитна съвместимост.

Предвиден е и уред за измерване на параметрите на електрическата енергия (Smart Energy Meter) с възможност за дистанционно наблюдение и управление с цел намаляване на консумацията на електроенергия (посредством wi-fi). Схема на разработената система е дадена на фиг. 5 (показани са схематично само два от контактите).

Избраните компоненти са свързани в следната последователност:

1. Автоматичен прекъсвач тип TOV1-63H C63, двуполусен – за изключване на веригата при токово претоварване и късо съединение.

2. SPD - Устройство за защита от импулсни пренапрежения TZG40-C – за защита на ел. система и оборудване от



Фиг. 5. Свързване на устройствата от електрозащитната система

мълнии и мигновено пренапрежение. Номинално напрежение 385 V AC; пренапрежение до 1800 V; номинален/ максимален ток на разряд (8/20s): 20/40 kA (време за реакция 25 ns), клас I- предназначено за монтаж на входно табло. Отговаря на Стандарт IEC/EN 61643-11.

3. Реле за контрол на напрежението TOVPD1-60-EC (Over Voltage Current and Under Voltage Protective Device). Предлага следните функции:

- Защита от пренапрежение – диапазон 230V÷300V / OFF, по подразбиране 270V; автоматично възстановяване: диапазон 225V÷295V (по подразбиране: 250V);
- Защита от ниско напрежение диапазон 140V÷210V / OFF (по подразбиране: 170V); автоматично възстановяване: диапазон 145V÷215V (по подразбиране: 190V);
- Защита от претоварване по ток: максимален ток на товара: регулируем 1÷40 A (по подразбиране: 20A);
- Време за реакция: 0,1s÷30s (по подразбиране: 0,5 s); време за забавяне на възстановяването: 1s÷500s (по подразбиране: 30 s) – поотделно за всички защиты;
- Измерване и визуализация на тока и напрежението (на два дисплея).

4. Прекъсвач за дефектнотокова защита (RCCB) тип TPNL-32 C16 с но-

минален ток 16 A и диференциален ток на задействане 30 mA, време за реакция $\leq 0,1$ s.

5. Устройство за защита от дъгово късо съединение тип AFDD-63 C16 за номинално напрежение 230V, 50/60Hz, време на задействане ≤ 0.1 s. Предлага следните функции: откриване на дъгово късо съединение и изключване на веригата; защита от претоварване по ток (номинален ток 16 A); защита от токове на утечка (диференциален ток 30 mA), от късо съединение (Тип C), от пренапрежение и импулсни пренапрежения.

6. Интелигентен електромер (Smart Energy Meter Switch) тип DDS238-2 Wifi, версия IVAP – с възможност за дистанционен мониторинг и управление чрез приложение TuYa или Smart Life APP за мобилен телефон или таблет (фиг. 6). Електромерът е двупосочен (подходящ е при използване на фотоволтаична централа), измерва общата консумирана/върната активна енергия (клас 1, 1600 imp/kWh), визуализира в реално време напрежение, ток, активна/реактивна мощност, фактор на мощността, честота, енергия (на LCD дисплей и чрез APP). Има функции за управление на таймера, за изключване на времето за забавяне, както и следните възможности:

- сравняване на мощността с тази на общия измервателен уред и визуализация на сметки за електроенергия;
- показване на кривата на мощността на всеки 15 минути за 24 часа от деня;
- записи на операциите и алармите, история на мощностите, експортиране на имейл;
- настройки на въглеродните емисии;
- ръчно управление чрез бутон;
- настройки за защита от пренапрежение и свръхток;
- защита на настройките с парола.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада е разработена електро-защитна система, която да се инсталира в обекти със специално предназначение в различни сфери на икономиката. Извър-

шен е обстоен анализ на съвременните устройства и е доказана необходимостта от вграждане на няколко типа



Фиг. 6. Електромер и приложение за дистанционен контрол чрез смартфон

защити. Обърнато е внимание и на способите за намаляване консумацията на електроенергия чрез монтаж на дистанционно управляем електромер с възможност за включване към соларна централа и за превключване на консуматори. Разработката може да се използва като ръководство за избор на съвременни компоненти за електро-защита с дистанционен контрол.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Serkov P., Electrical Amulets, Publishing Solutions, ISBN 978-5-0059-9202-4, 2023.
- [2] Ground-Fault Circuit Interrupters: Preventing Electrocution Since 1971, ESFI, Electrical Safety, January-February 2020.
- [3] IEC 60479-1:2018 – Effects of current on human beings and livestock, International Electrotechnical Commission, 2018
- [4] AC-DC sensitive residual current devices. Instructions for use and technical information. Doepke UK Ltd, 2017
- [5] IEC62606:2013+AMD1:2017+AMD2:2022 General requirements for arc fault detection and protection devices (AFDDs), IEC, 2022.
- [6] Y. Wang, F. Zhang and S. Zhang, A New Methodology for Identifying Arc Fault by

- Sparse Representation and Neural Network, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 67, pp. 2526-2537, 2018
- [7] G. Artale, A. Cataliotti, V. Cosentino, D. D. Cara, S. Nuccio and G. Tine, Arc Fault Detection Method Based on CZT Low-Frequency Harmonic Current Analysis, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 66, pp. 888-896, 2017
- [8] B. Jieqiu, Z. Yi, D. Zhiqiang and Z. Hongqiang, Arc fault identification method based on fractal theory and SVM, Int. Conf. on Power System Technology, pp. 1182-1187, 2014
- [9] K. Yang, R. Zhang, S. Chen, F. Zhang, J. Yang and X. Zhang, Series Arc Fault Detection Algorithm Based on Autoregressive Bispectrum Analysis, Algorithms, vol. 8(4), pp. 929-950, 2015
- [10] K. Yang, R. Zhang, J. Yang, C. Liu, S. Chen and F. Zhang, A Novel Arc Fault Detector for Early Detection of Electrical Fires, Sensors, 2016
- [11] <https://tomzn.com/bg/products/>