

Неџад Хаџиџендић, Електротехнички факултет, Београд
Александар Таталовић, Електротехнички факултет, Београд
Марко Давидовић, студент мастер студија на Електротехничком факултету, Београд
Владимир Вукајловић, студент мастер студија на Електротехничком факултету, Београд
Јован Трифуновић, Електротехнички факултет, Београд

Могућности унапређења заштите објеката од пожара инсталирањем компоненти за детекцију редног електричног лука

Апстракт – Лош контакт у нисконапонској електричној инсталацији може се појавити како у самом разводном орману, тако и било где у струјном колу (на оштећеном проводнику, у утикачу или утичници, на споју утикача и утичнице, у продужном каблу, као и у самом пријемнику електричне енергије). Уколико се лош контакт прогресивно развије у опаснији квар – редни електрични лук, веома лако може доћи до појаве пожара. На европском тржишту се недавно појавила заштитна AFDD (Arc Fault Detection Device) компонента, која се уграђује у разводну таблу уместо аутоматског прекидача и која има могућност да, између осталих кварова, препозна и нежељени редни електрични лук и на време прекине напајање струјног кола у коме се он појавио. У раду су представљени резултати експерименталног испитивања функционалности AFDD уређаја, спроведеног у Лабораторији за испитивање нисконапонских електричних инсталација Електротехничког факултета у Београду. У раду је дат и детаљан преглед кварова на нисконапонским електричним инсталацијама као и поређење могућности њиховог детектовања помоћу класичних и савремених заштитних електроинсталационих компоненти.

Кључне речи: лош контакт, врела тачка, пожар, редни електрични лук, AFDD уређај

1. Увод

Велики број пожара настаје услед кварова на нисконапонским електричним инсталацијама [1]. У европским државама у којима постоји статистика о узроцима пожара, утврђено је да су кварови на електричним инсталацијама узрочници 15–20% укупног броја пожара [2]. Према истом извору, у периоду 1988–1998. год. број пожара који су у тим државама узроковани кваром на електричним инсталацијама повећао се за 25%, док је у истом периоду пораст броја пожара изазваних неелектричним узроцима износио само 5%.

Истраживањима је утврђено да су главни узроци који при настанку квара на електричним инсталацијама могу довести до паљења електричне изолације, или запаљивих материјала у близини електричних инсталација, електрични лук (редни и паралелни) и велико омско загревање компоненти електричне инсталације (без електричног лука) [3,4]. Лоши контакти, који су главни узрок великог омског загревања

компоненти електричне инсталације [3], и редни електрични лук представљају најопасније кварове према вероватноћи да изазову пожар зато што их не детектује ниједна класична заштитна компонента (осигурач, аутоматски прекидач, заштитни уређај диференцијалне струје...) [5]. Лошим контактом у електричној инсталацији назива се онај контакт код кога је повећана контактна отпорност услед смањене силе затезања (лабав контакт), повећаног слоја оксида (стар контакт) и појаве слоја страних честица (запрљан контакт). Контактна отпорност контакта, односно степен „погоршања“ контакта, расте са порастом сваког од три наведена фактора (лабавост, старост, запрљаност) [6].

Лош контакт у нисконапонској електричној инсталацији може се појавити како у самом разводном орману, тако и било где у струјном колу (на оштећеном проводнику, у утикачу или утичници, на споју утикача и утичнице, у продужном каблу, као и у самом пријемнику електричне енергије). Уколико се овакав квар на време не отклони, повећава се вероватноћа да он прогресивно прерасте у опаснији квар – редни електрични лук.

2. Теоријска разматрања загревања лошег контакта и настанка редног електричног лука

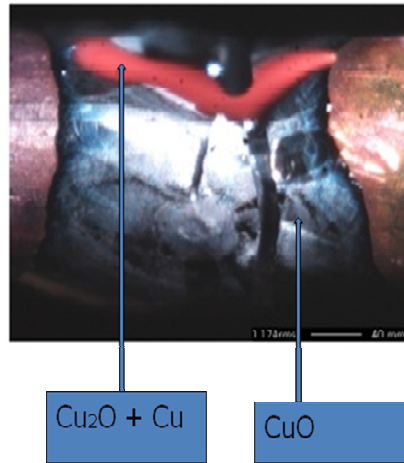
Уколико електрични контакт није добро изведен и има повећану прелазну отпорност, он временом може да прерасте у прогресивни квар. Процес често има особине нестабилне позитивне повратне спреге. Последица велике отпорности контакта је локално загревање, услед чега се поспешује процес оксидације контакта и врши микромерање његових делова. Услед тога се дисипација енергије на контакту повећава (Џулов ефекат) и температура наставља да расте. Температура расте док се на месту лошег контакта не успостави термодинамичка равнотежа, тј. док се не изједначе генерисана топлотна снага на контакту и укупна снага одвођења топлоте са контакта (струјањем, провођењем и зрачењем).

Излагањем изолације проводника високим температурама, услед прегревања долази до њене термичке деградације (која може да кулминира њеном карбонизацијом). Када се изолација једном оштети прегревањем, њена диелектрична чврстоћа значајно опада, па може доћи до електричног пробоја изолације и при номиналном напону и стандардним собним температурама.

Лоши контакти који представљају потенцијално место настанка редног електричног лука (веома брзо и пожара) могу да се појаве на великом броју места у нисконапонским електричним инсталацијама [6]:

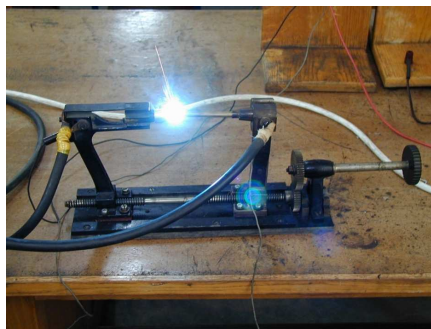
1. у унутрашњости пријемника електричне енергије (критичнији су пријемници са више спојева и већим струјама оптерећења),
2. на прикључцима напојног кабла у пријемнику електричне енергије,
3. на вези напојног кабла пријемника са утикачем,
4. на споју утикача са утичницом,
5. на споју утичнице и инсталационог проводника,
6. на стезаљкама у разводном орману итд.

На месту где се између два метална проводника појави лош електрични контакт после краћег или дужег временског периода, а у зависности од јачине струје, температуре споја и материјала који формирају електрични контакт, формираће се тзв. мост састављен од метала и металног оксида. На сл. 1 приказан је пример моста формираног на лошем контакту прекинутог бакарног проводника.



Слика 1. Пример моста формираног на лошем контакту прекинутог бакарног проводника

Проводни део моста приказаног на сл. 1 формиран је од смеше атома бакра и слоја Cu_2O који има полупроводничка својства, док је непроводни део моста формиран од слабо проводног једињења CuO [7]. Протицање струје кроз повећану отпорност суженог проводног канала изазива повећање температуре до тачке топљења полупроводничког слоја Cu_2O (око 1230°C), када се на месту прекинутог проводног канала успоставља електрични лук. Он представља протицање струје кроз непотпуно јонизовану плазму насталу ударном јонизацијом гасова и пара. Чврст материјал врхова електрода преводи се, преко течне и гасовите фазе, у фазу непотпуно јонизоване плазме. У референци [8] дат је опис физичког процеса у електричном луку. У нормалним условима, под утицајем потенцијалне разлике између две блиско постављене електроде раздвојене изолатором, у електричном колу се региструје проток електричне струје. Када температура контакта прогресивним процесом достигне одређену вредност, формирају се услови за одржавање лука. Потребно је да постоји гасна средина која омогућава интензивно кретање носилаца електрицитета како би се електрични лук успоставио и одржао. Електрични лук може бити прекидног или непрекидног карактера. Карактеристике лука су велика густина струје, мали катодни пад напона и висока температура у јонизованој области (од 2000 до 6000°C [8]). На сл. 2 је приказан редни електрични лук успостављен у лабораторијским условима.



Слика 2. Апаратура за формирање електричног лука

3. AFDD уређај – принцип рада и основне карактеристике

AFDD (Siemens) намењен је систему 230 V, 50 Hz, са струјама до 16 A. Састоји се од AFD јединице и додатне заштитне компоненте (аутоматски прекидач (једнополни или двополни) или заштитни уређај диференцијалне струје) [9]. Напоменимо да се варијанта са двополним аутоматским прекидачем користи у системима у којима је неопходно приликом квара остварити и прекидање неутралног проводника. Ова комбинација обезбеђује заштиту од кратког споја, преоптерећења, пренапона и електричног лука, због чега је струјно коло у потпуности заштићено. На сл. 3 је приказан спољни изглед 5SM6 AFD јединице, која се комбинује или са аутоматским прекидачем или са заштитним уређајем диференцијалне струје (тзв. ФИД склопком).



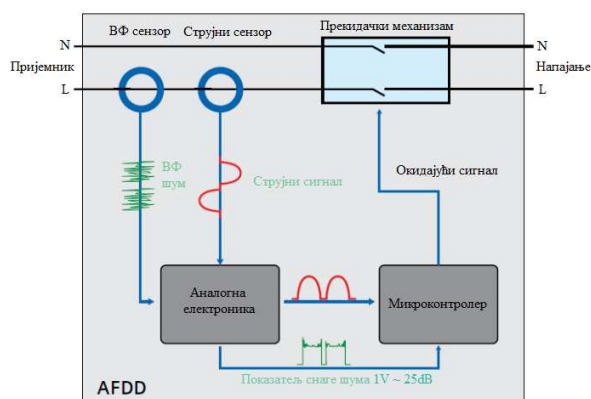
Слика 3. Приказ заштитне 5SM6 AFDD компоненте (без и са једнополним аутоматским прекидачем – прва и друга слика, односно без и са заштитним уређајем диференцијалне струје – трећа и четврта слика)

На сл. 4 је приказана принципска шема 5SM6 AFDD уређаја (комбинација AFD јединице и двополног аутоматског прекидача). Сви активни проводници – у овом случају фазни и неутралан проводник – пролазе кроз AFD јединицу. Фазни проводник пролази кроз два одвојена сензора:

- струјни сензор за откривање нискофреквентних спектралних компоненти струјног сигнала, и
- ВФ сензор за откривање високофреквентних спектралних компоненти струјног сигнала.

Аналогна електроника припрема струјне сигнале за обраду у микроконтролеру, који помоћу одговарајућих алгоритама препознаје карактеристике које су својствене појављивању редног електричног лука.

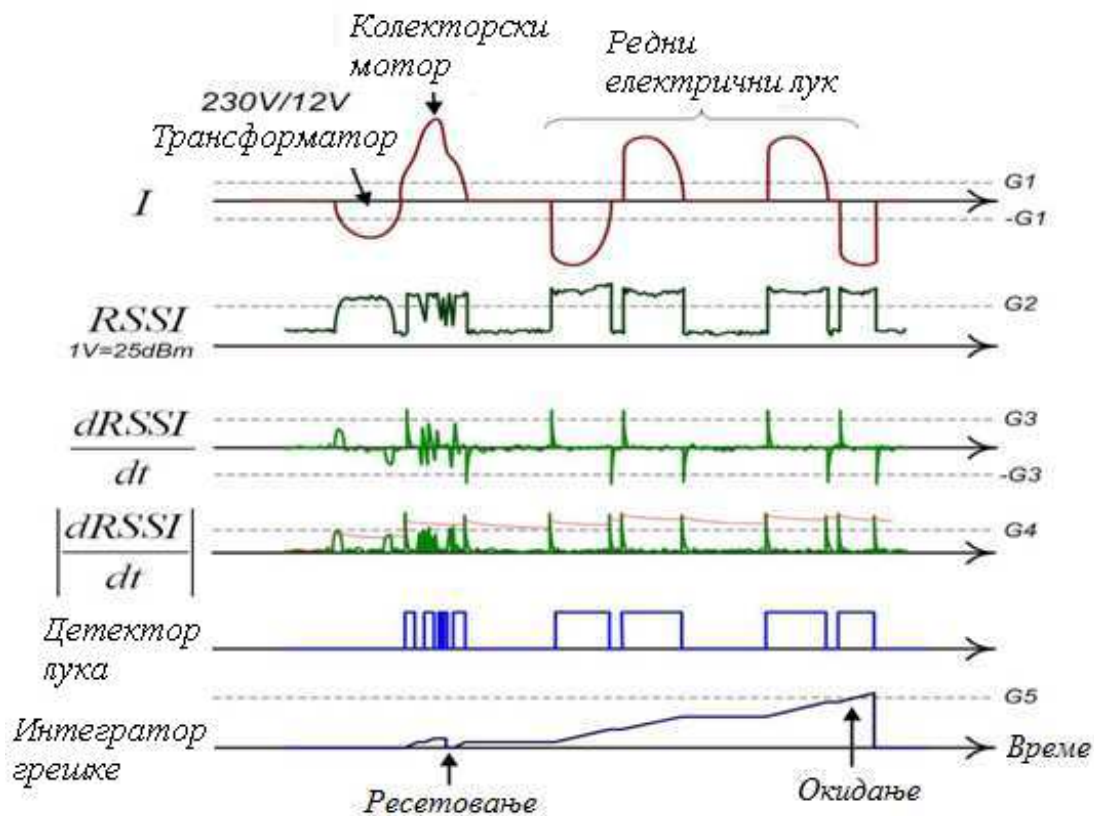
AFD јединица је механички спрегнута са прекидачким механизмом двополног аутоматског прекидача, чијим се окидањем струјно коло у коме се појавио редни електрични лук искључује са мреже. Уколико је дошло до детекције редног електричног лука, после реаговања аутоматског прекидача, на предњој страни кућишта AFD јединице пали се и гаси жута лампица.



Слика 4. Принципска (блок) шема AFDD уређаја

3.1. Откривање редног електричног лука

Пошто произвођач AFDD уређаја није дао потпуно објашњење његовог рада, у наставку је дато објашњење настало нашом анализом дијаграма приказаних на сл. 5.



Слика 5. Обрада сигнала на основу које се изводи закључак о појави редног електричног лука

Око 80% свих прорачуна које извршава микроконтролер “отпада” на детекцију редног електричног лука (остатак од 20% прорачуна односи се на детекцију паралелног

електричног лука). Детекција редног електричног лука се базира на анализи сигнала RSSI (Received Signal Strength Indication) који представља ниво снаге свих спектралних компоненти сигнала чије се учестаности налазе у опсегу 30 kHz – 300 GHz. Анализа се заснива на испитивању брзих промена у сигналу RSSI, јер ће тада апсолутна вредност извода овог сигнала, $|dRSSI/dt|$, имати генерисане “пикове” (видети сл. 5). Управо се ти пикови користе за детекцију редног електричног лука, и то у случају када се јављају у близини проласка струје кроз нулу.

Алгоритам AFD-а закључује да је дошло до појаве редног електричног лука у струјном колу уколико вредност интеграла сигнала “детектор лука” (сл. 5) премаши дефинисану вредност G5. Поред овог услова користи се допунски критеријум који спречава лажно реаговање заштитног уређаја, а заснован је на анализи високофреквентног шума у струји пријемника у опсегу 22 – 24 MHz. Уколико су оба услова задовољена, микроконтролер шаље окидачки сигнал аутоматском прекидачу.

Два услова морају једновремено да буду задовољена да би се формирао сигнал детектор лука:

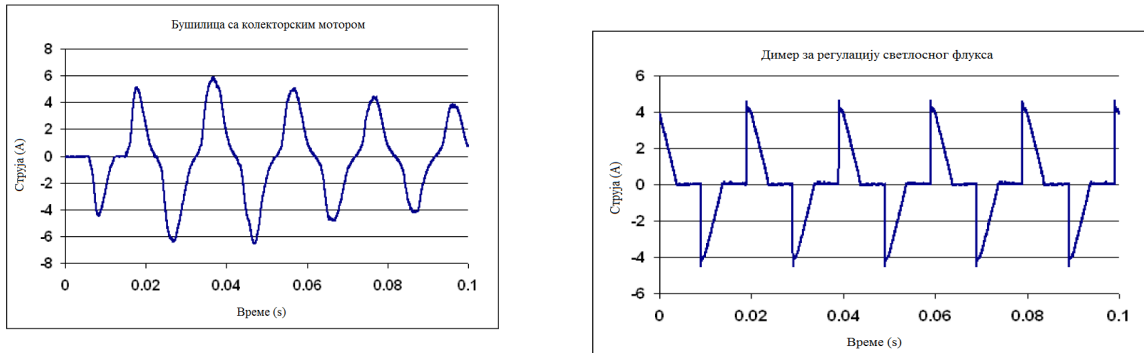
1. у неком тренутку (блиском тренутку проласка струје кроз нулу) апсолутна вредност извода сигнала RSSI премашила је граничну вредност G4 (посматрају се само временски тренуци у којима се вредност струје налази између $-G1$ и $G1$), и
2. вредност сигнала RSSI мора бити већа од дефинисане граничне вредности G2 (за разлику од претходног, овај услов се проверава све време између два проласка струје кроз нулу).

Да би се избегла искључења струјног кола у случајевима у којима није успостављен редни електрични лук, AFD јединица мора да направи разлику између струјног сигнала редног електричног лука и струјних сигнала који, на пример, потичу од нормалног рада колекторских мотора у коме се јављају варнице на четкицама колектора.

Појава “радних варницења” на колектору мотора у RSSI сигналу изазива вишеструке промене између два проласка струје кроз нулу (видети пример на сл. 5). Када настану овакве промене у RSSI сигналу, при чему је претходно испуњен услов бр. 1, долази до вишеструке појаве сигнала детектор лука између два проласка струје кроз нулу, што се користи као критеријум за ресетовање интегратора сигнала детектор лука, чиме се онемогућава слање окидачког сигнала аутоматском прекидачу.

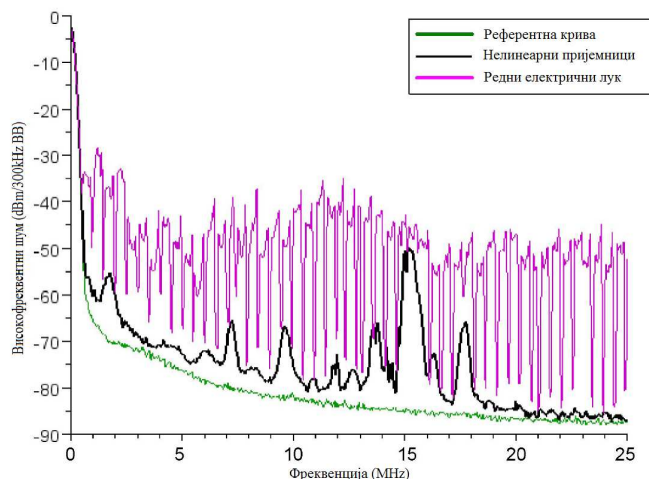
3.2. Заштита од нежељеног окидања

На сл. 6 су приказани примери таласних облика струја електричних пријемника које садрже спектралне компоненте веома сличне онима које се појављују за време горења редног електричног лука. Ова сличност је нарочито изражена у случају пријемника који садрже колекторске моторе код којих се јавља варницење између четкица и колектора (бушилица, фен, усисивач итд.), као и пријемника који садрже димере за регулацију светлосног флуksа или јединице напајања у енергетској електроници (исправљачи, инвертори, фазни регулатори итд.).



Слика 6. Примери електричних пријемника који имају спектрални састав струје сличан оном који карактерише струју редног електричног лука

Поузданост деловања AFDD уређаја за детекцију редног електричног лука значајно је повећана анализом високофреквентних електричних шума који настају како радом нелинеарних пријемника, тако и горењем редног електричног лука. На сл. 7 се могу видети значајне вредности електричног шума у струји нелинеарних пријемника у фреквентном опсегу 15–18 MHz, док се у фреквентном опсегу 22–24 MHz јавља само шум који потиче од струје редног електричног лука. AFD јединица управо скенирањем шума у овом опсегу (22–24 MHz) проверава допунски критеријум као потврду за појаву редног електричног лука.

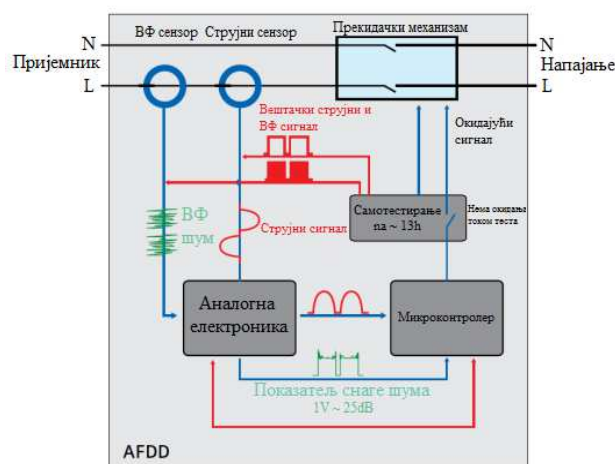


Слика 7. Позадински електрични шум нелинеарних пријемника и шум настао од редног електричног лука

Описана анализа параметара и критеријума за детекцију редног електричног лука заснована је на искуству стеченом изучавањем тзв. AFCI (Arc-Fault Circuit Interrupter) прекидача [10], уређаја сличне намене који се на америчком тржишту налази од 2002. год.

3.3. Посебна својства AFDD уређаја

Важно је напоменути да 5SM6 AFDD уређај има опцију самотестирања функционалности (видети блок шему на сл. 8).

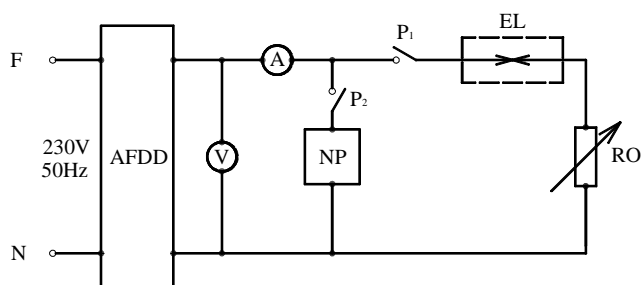


Слика 8. Блок шема AFDD уређаја (дијаграм самотестирања)

Самотестирање се аутоматски покреће на сваких 13 сати да би се проверила исправност AFD јединице. Софтвер микроконтролера производи вештачке високофреквентне електричне шуме и струјне сигнале који одговарају сигналима код појаве редног електричног лука. Ови сигнали се помоћу посебног електронског кола убацују иза ВФ, односно струјног сензора (као што је приказано на сл. 8) и анализирају од стране аналогног електронског кола и микроконтролера. Као доказ исправности AFD јединице очекује се да микроконтролер изда окидачку команду. Слање окидачког сигнала аутоматском прекидачу је у току теста онемогућено како би се избегло стварно окидање AFDD уређаја за време самотестирања. Након успешно обављеног самотестирања AFD јединице, “стварни” окидачки сигнал поново може да активира аутоматски прекидач. У случају да се добије негативан резултат самотестирања, AFDD уређај ће се тренутно искључити (електричар тада треба да изврши његову замену). Циклус самотестирања ће бити одложен уколико су се појавили почетни знаци настанка стварног редног електричног лука или уколико је дошло до појаве струјног преоптерећења.

4. Експериментална провера функционалности AFDD уређаја

Сви експерименти у оквиру предметног истраживања вршени су помоћу апаратуре чија је шема веза приказана на сл. 9.



Слика 9. Шема веза апаратуре за испитивање функционалности AFDD уређаја

У претходном поглављу су описани принцип рада AFDD уређаја и реализација заштите од лажног реаговања. У овом поглављу ће се описати експерименти помоћу којих је извршено тестирање уређаја (комбинација AFD јединице и двополног аутоматског прекидача) и приказати резултати експеримената и изведени закључци. Сва испитивања су извршена у Лабораторији за испитивање нисконапонских електричних инсталација на Електротехничком факултету у Београду.

Извршени су:

1. Експерименти помоћу којих је вршена провера функционалности (реаговања) AFD јединице у случају успостављања редног електричног лука, и то за следеће комбинације материјала електрода: бакар – бакар и бакар – месинг. Помоћу регулационог термичког пријемника (отпорничке кутије) извршени су експерименти при струјама оптерећења 1–16 А (са кораком $\Delta I = 1$ А).
2. Експерименти помоћу којих је вршена провера функционалности (нераговања) AFD јединице при нормалном раду нелинеарних пријемника који садрже енергетску електронику (фрижидера, РС рачунара, ласерских штампача, микроталасних пећница и клима уређаја).
3. Експерименти помоћу којих је вршена провера функционалности (нераговања) AFD јединице при нормалном раду пријемника који садрже колекторски мотор (усисивач, бушилица и фен).
4. Експерименти помоћу којих је вршена провера функционалности (реаговања) AFD јединице при појави редног електричног лука у струјном колу термичког пријемника на које су прикључени и нелинеарни пријемници или пријемници који у свом саставу имају колекторске моторе (РС рачунари, ласерски штампачи, микроталасна пећница, клима уређај, фрижидер, усисивач, фен, бушилица итд.). Помоћу ових тестова се проверава да ли струје наведених пријемника могу да “маскирају” јединствен таласни облик струје редног електричног лука.

5. Резултати и дискусија

Резултати испитивања функционалности AFDD уређаја приказани су помоћу табела и слика. Табеле садрже струје при којима је вршено испитивање, информацију о томе да ли је AFDD уређај реаговао и коментар. На сликама су дате шеме веза извршених експеримената. Редни електрични лук је изазиван помоћу механичког система за фино подешавање размака између електрода између којих се он формирао (на шеми веза приказаној на сл. 9 означен са EL).

5.1. Резултати експеримената са термичким пријемницима

За симулацију термичког пријемника (шпорет, пегла, електрични радијатор, бојлер, кварцна грејалица итд.) коришћена је регулациона отпорничка кутија 30 А, 230 V (на шеми веза приказаној на сл. 9 означен са RO). У првом случају редни електрични лук је успостављен уз помоћ апаратуре (на шеми веза приказаној на сл. 9 означеној са EL) у којој је једна електрода била од бакра, а друга од месинга. На овај начин је симулиран веома чест контакт у пракси између бакарне жице и месинганог прикључка у утикачу или утичници. Шантом на отпорничкој кутији вршено је фино подешавање струје у струјном колу чије су вредности читаване на амперметру који је на шемама означен са А.

Резултати испитивања су дати у табели 1, а шема веза је приказана на сл. 9 (P_1 у затвореном стању, P_2 у отвореном стању).

Табела 1. Провера функционалности (реаговања) AFDD уређаја при појави струје редног електричног лука (1–16 А) – комбинација електрода: бакар – месинг

Вредност струје (А)	AFDD реагује ДА/НЕ	Коментар
1 – 2 (корак 1 А)	НЕ	Тешко се успоставља “варничење” на лошем контакту
3 – 6 (корак 1 А)	ДА	Нестабилан (прекидни) редни електрични лук; AFDD тренутно реагује
7 – 16 (корак 1 А)	ДА	Стабилан редни електрични лук; AFDD тренутно реагује

У другом случају су за симулацију могућег прекида бакарног проводника и успостављање редног електричног лука на месту прекида у EL-у коришћене обе електроде од бакара. Резултати испитивања су дати у табели 2, а шема веза је приказана на сл. 9 (P_1 у затвореном стању, P_2 у отвореном стању).

Табела 2. Провера функционалности (реаговања) AFDD уређаја при појави струје редног електричног лука (1–16 А) – комбинација електрода: бакар – бакар

Вредност струје (А)	AFDD реагује ДА/НЕ	Коментар
1 – 3 (корак 1 А)	НЕ	Не може да се успостави редни електрични лук
4 – 9 (корак 1 А)	ДА	Нестабилан (прекидни) редни електрични лук; AFDD реагује после 1 – 2 s
10 – 16 (корак 1 А)	ДА	Стабилан редни електрични лук; AFDD тренутно реагује

5.2. Резултати експеримената са нелинеарним пријемницима

Нелинеарни пријемници који су коришћени у овом експерименту су: микроталасна пећ типа АНИТА номиналне снаге 1300 W (радна учестаност 2450 MHz), клима уређаји типа GALANZ номиналне снаге 1300 W при хлађењу и 1380 W при грејању, фрижидер типа TELEFUNKEN (TRSCC860A) номиналне снаге 360 W, РС рачунари (са монитором) и ласерски штампачи типа HEWLETT PACKARD. Пошто микроталасна пећ има више режима рада, испитивања су вршена са 20%, 50% и 90% њене номиналне снаге. И клима уређаји су имали могућност подешавања режима рада (радне струје су износиле 0.5–5.5 А). На шеми веза приказаној на сл. 9 сви ови пријемници су симболички означени знаком NP.

Прво је извршена провера функционалности (нераговања) AFDD уређаја тако што је у струјном колу које он штити била прикључена само микроталасна пећ. Ни у једном од три поменута режима рада микроталасне пећи AFDD уређај није реаговао. Затим су изведени експерименти са два клима уређаја, па са фрижидером, онда са два РС рачунара и, на крају, са два ласерска штампача. У свим случајевима је констатовано да AFDD уређај

није реаговао. После овога су на заједничко струјно коло биле прикључене разне комбинације нелинеарних пријемника: микроталасна пећ – два клима уређаја, два РС рачунара – два ласерска штампача, два клима уређаја – два РС рачунара и микроталасна пећ – два РС рачунара. Резултат експеримента је био исти: AFDD уређај није реаговао. За све ове експерименте, према шеми веза приказаној на сл. 9 прекидач P_2 је био у затвореном стању, а прекидач P_1 у отвореном стању.

Затим су извршени експерименти у којима су на заједничко струјно коло били прикључени нелинеарни пријемници и термички пријемник (отпорничка кутија). У делу струјног кола са термичким пријемником успостављан је редни електрични лук. Успостављање редног електричног лука је поново вршено уз помоћ EL апаратуре за критичан случај бакарне и месингане електроде. На овај начин је вршена провера функционалности (реаговања) AFDD уређаја, односно показано је да струје нелинеарних пријемника не „маскирају“ струју редног електричног лука. За све ове експерименте, према шеми веза приказаној на сл. 9 оба прекидача (P_1 и P_2) су у затвореном положају.

Резултати ових испитивања су дати у табелама 3, 4, 5 и 6.

Табела 3. Провера функционалности (реаговања) AFDD уређаја (анализа једновременог рада микроталасне пећи и термичког пријемника у чијем делу струјног кола је успостављен редни електрични лук)

Вредност струје (А)	AFDD реагује ДА/НЕ	Коментар
5	ДА	AFDD је успешно реаговао у свим испитиваним режимима рада микроталасне пећи
8	ДА	
10	ДА	

Табела 4. Провера функционалности (реаговања) AFD уређаја (анализа једновременог рада клима уређаја и термичког пријемника у чијем делу струјног кола је успостављен редни електрични лук)

Вредност струје (А)	AFDD реагује ДА/НЕ	Коментар
6	ДА	AFDD је успешно реаговао у свим испитиваним режимима рада клима уређаја
8	ДА	
10	ДА	
12	ДА	

Табела 5. Провера функционалности (реаговања) AFDD уређаја (анализа једновременог рада два рачунара, два штампача и термичког пријемника у чијем делу струјног кола је успостављен редни електрични лук)

Вредност струје (А)	AFDD реагује ДА/НЕ	Коментар
6	ДА	AFDD је успешно реаговао
10	ДА	

Табела 6. Провера функционалности (реаговања) AFDD уређаја (анализа једновременог рада фрижидера и термичког пријемника у чијем делу струјног кола је успостављен редни електрични лук)

Вредност струје (А)	AFDD реагује ДА/НЕ	Коментар
8	ДА	AFDD је успешно реаговао
13	ДА	

5.3. Резултати експеримената са пријемницима који у свом саставу имају колекторски мотор

Последњом групом експеримената извршена је провера функционалности (нераговања) AFDD уређаја при нормалном раду пријемника који садрже колекторски мотор. То су били следећи пријемници: усисивач типа СЛОБОДА Чачак номиналне снаге 1000 W, бушилице типа ИСКРА номиналне снаге 550 W и 650 W и фен марке EOLIC номиналне снаге 1800 W (са 2 степена брзине и 3 степена јачине грејања). На шеми веза приказаној на сл. 9 сви ови пријемници су симболички означени ознаком NP.

Прво је извршена провера функционалности (нераговања) AFDD уређаја у случајевима када су на струјно коло појединачно били прикључени сви напред наведени пријемници са колекторским мотором. AFDD уређај није реаговао. Затим су на исто струјно коло биле прикључене комбинације пријемника са колекторским мотором: усисивач – бушилица, усисивач – фен, бушилица – фен, усисивач – две бушилице – фен. Ни у једном случају AFDD уређај није реаговао. За све ове експерименте, према шеми веза приказаној на сл. 9 прекидач P_2 је био у затвореном стању, а прекидач P_1 у отвореном стању.

На крају су извршени експерименти у којима су на исто струјно коло били прикључени пријемник са колекторским мотором и термички пријемник (отпорничка кутија) у чијем делу струјног кола се успостављао редни електрични лук. Успостављање редног електричног лука је поново вршено помоћу EL-а за критичан случај бакарне и месингане електроде. Тиме је извршена провера функционалности (реаговања) AFDD уређаја, односно показано је да струје пријемника са колекторским мотором не “маскирају” струју редног електричног лука. За све ове експерименте, према шеми веза приказаној на сл. 9 оба прекидача (P_1 и P_2) су у затвореном положају.

Резултати ових испитивања су дати у табелама 7, 8 и 9.

Табела 7. Провера функционалности (реаговања) AFDD уређаја (анализа једновременог рада усисивача и термичког пријемника у чијем делу струјног кола је успостављен редни електрични лук)

Вредност струје (А)	AFDD реагује ДА/НЕ	Коментар
4	ДА	AFDD је успешно реаговао у свим испитиваним режимима рада усисивача
7	ДА	
12	ДА	

Табела 8. Провера функционалности (реаговања) AFDD уређаја (анализа једновременог рада бушилица и термичког пријемника у чијем делу струјног кола је успостављен редни електрични лук)

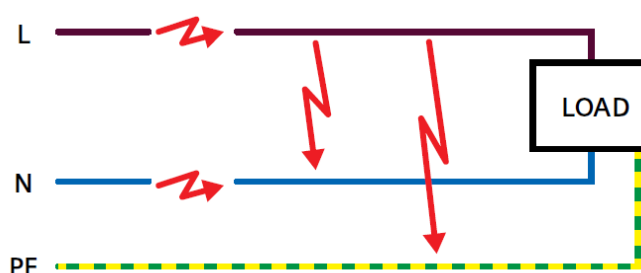
Вредност струје (А)	AFDD реагује ДА/НЕ	Коментар
6	ДА	AFDD је успешно реаговао у свим испитиваним варијантама са једном или две бушилице
10	ДА	

Табела 9. Провера функционалности (реаговања) AFDD уређаја (анализа једновременог рада фена и термичког пријемника у чијем делу струјног кола је успостављен редни електрични лук)

Вредност струје (А)	AFDD реагује ДА/НЕ	Коментар
4	ДА	AFDD је успешно реаговао у свим режимима рада фена
7	ДА	
10	ДА	

6. Преглед кварова и поређење могућности њихове детекције класичним и савременим заштитним компонентама

Када се говори о кваровима на електричним инсталацијама при којима се за време њиховог трајања успоставља електрични лук треба имати у виду могуће варијанте његовог појављивања. На сл. 10 су јасно приказане могућности његовог настанка било где на фазном и неутралном проводнику, као и између фазног и неутралног проводника, и фазног и заштитног проводника. Редни електрични лук обично настаје на месту неотклоњеног лошег контакта, док се паралелни електрични лук углавном јавља због дотрајалости и оштећења електричне изолације проводника. Сваки електрични лук може бити стабилан тј. непрекидан (трајан) или нестабилан тј. интермитентни (прекидан).



Слика 10. Редни и паралелни електрични лук у монофазном струјном колу

Како би се упоредиле предности савремених заштитних компоненти (AFDD на европском тржишту и AFCI – Arc Fault Circuit Interrupter на америчком тржишту) у односу на класичне компоненте (топљиви уметак, аутоматски прекидач, ФИД склопа...) у табели 10 је дат преглед свих могућих кварова у нисконапонским електричним инсталацијама и које заштитне компоненте могу да нас заштите од њих.

Табела 10. Преглед кварова и заштитних компоненти које их детектују

Редни број	Врста квара у нисконапонским електричним инсталацијама	Заштитне компоненте које реагују на квар
1	Кратак спој (метални), фаза-фаза	Аутоматски прекидач и топлјиви уметак, AFCI, AFDD
2	Кратак спој (метални), фаза-нула	Аутоматски прекидач и топлјиви уметак, AFCI, AFDD
3	Преоптерећење	Аутоматски прекидач, топлјиви уметак, AFCI, AFDD
4	Земљоспој (метални)	Аутоматски прекидач и топлјиви уметак (може да одреагује недовољно брзо, брже у ТН систему него у ТТ систему заштите), ЗУДС (ФИД склопка), AFCI, AFDD
5	Земљоспој (преко стабилног ел. лука)	Аутоматски прекидач и топлјиви уметак (може да одреагује недовољно брзо, брже у ТН систему него у ТТ систему заштите), ЗУДС (ФИД склопка), AFCI, AFDD
6	Земљоспој (преко прекидног (интермитентног) ел. лука)	Аутоматски прекидач и топлјиви уметак (мала вероватноћа да одреагују на варничење), ЗУДС (ФИД склопка) (већа вероватноћа да одреагује у ТН систему заштите него у ТТ систему заштите), AFCI, AFDD
7	Паралелни електрични лук (фаза-фаза)	Аутоматски прекидач и топлјиви уметак, AFCI, AFDD
8	Паралелни електрични лук (фаза-нула)	Аутоматски прекидач и топлјиви уметак, AFCI, AFDD
9	Паралелни прекидни (интермитентни) електрични лук (фаза-фаза)	Аутоматски прекидач и топлјиви уметак (мала вероватноћа да одреагују на варничење), AFDD
10	Паралелни прекидни (интермитентни) електрични лук (фаза-нула)	Аутоматски прекидач и топлјиви уметак (мала вероватноћа да одреагују на варничење), AFDD
11	РЕДНИ ЕЛЕКТРИЧНИ ЛУК – стабилни (на фазном или неутралном проводнику)	AFCI, AFDD
12	РЕДНИ ЕЛЕКТРИЧНИ ЛУК – нестабилни (на фазном или неутралном проводнику)	AFCI, AFDD

7. Техно-економска анализа

Приликом разматрања могућности да се у будућности AFDD компонента уведе у стандардну праксу пројектовања и извођења електричних инсталација у стамбеним објектима у Србији, треба размотрити додатна финансијска улагања неопходна за уградњу овакве компоненте уместо аутоматских прекидача.

Цена AFDD компоненте која се одскора појавила и на нашем тржишту износи око 100€. Пошто у стану просечне величине (60–70m²) број струјних кола код којих номинална струја аутоматског прекидача није мања од 10А износи десетак, додатно улагање би износило око 1000€ (мање од 2% цене стана), што се може сматрати оправданим јер би се значајно смањила вероватноћа појаве пожара услед настанка

електричног лука. Напоменимо да је цена AFCI прекидача у САД-у, када се ова компонента први пут појавила на тржишту 2002. године, износила око 150\$, а да је данас цена ове заштитне компоненте око 25\$. На основу ове чињенице за очекивати је да ће и цена AFDD компоненте временом брзо опасти и да њена уградња неће представљати значајан трошак за инвеститора.

8. Закључци

На основу експеримената који су се односили на функционисање AFDD уређаја, изведених у Лабораторији за испитивање нисконапонских електричних инсталација, можемо извести следеће закључке:

1. AFDD уређај је реаговао у свим случајевима у којима је редни електрични лук (стабилан или нестабилан) био успостављен у струјном колу термичког пријемника (анализирана су оба типа лоших контаката: бакар – месинг и бакар – бакар).
2. AFDD уређај је реаговао у свим случајевима у којима је редни електрични лук (стабилан или нестабилан) био успостављен у струјном колу термичког пријемника (на лошем контакту бакар – месинг), иако су на исто струјно коло били прикључени нелинеарни пријемници (микроталасна пећ, клима уређаји, рачунари, ласерски штампачи и фрижидер) или пријемници који у свом саставу имају колекторски мотор (бушилица, усисивач и фен).
3. AFDD уређај није реаговао ни у једном случају када је на струјно коло био прикључен само нелинеарни пријемник или пријемник који у свом саставу има колекторски мотор, или је била прикључена комбинација више њих.

Укратко, испитивања су показала да није било лажног реаговања AFDD уређаја, као и да је до његовог реаговања увек долазило када је у струјном колу био успостављен редни електрични лук (стабилан или нестабилан). Тиме су практично потврђене карактеристике AFDD уређаја декларисане од стране произвођача.

Напоменимо да проблем локације дела струјног кола у коме се појавио редни електрични лук није решен. Уређај има задатак само да открије појаву редног електричног лука у одређеном струјном колу и да правовремено искључи његово напајање, чиме се спречава појава пожара. Улога електричара је да прегледа струјно коло детектовано од стране AFDD уређаја и открије место настанка лука.

Овакви уређаји представљају будућност у погледу заштите објеката од пожара, јер су у једном уређају интегрисане како заштите од преоптерећења, кратког споја и земљоспоја, тако и заштите од редног и паралелног електричног лука. Додатно финансијско улагање за инсталирање AFDD уређаја (цена појединачног уређаја износи око 100€) може се сматрати прихватљивим с обзиром на чињеницу да је на тај начин објекат са великом вероватноћом заштићен од пожара које може да изазове квар у електричној инсталацији.

Уређаје сличне AFDD-у треба инсталирати како у стамбеним, тако и у јавним објектима у којима се окупља већи број људи. Такви објекти су, на пример, обданишта, школе, факултети, болнице, спортске хале, робне куће, биоскопи, позоришта итд. Такође их треба инсталирати на свим местима на којима има лако запаљивог или скупоценог материјала (разна складишта и радионице, музеји, библиотеке итд.).

9. Захвалност

Представљени резултати су добијени истраживањима која су спроведена у оквиру пројекта ТР 36018 финансираног од стране Министарства просвете и науке Републике Србије.

Литература

- [1] Хаџиефендић Н., Радаковић З., Трифуновић Ј., Вићковић Д., Електричне инсталације - чест узрок пожара, Зборник радова са 36. међународног сајма Заштита и безбедност, стр. 111-122, Београд, 2008.
- [2] European Copper Institute, Overview of electrical safety in 11 countries, Barcelona, 2002.
- [3] Babrauskas V., How Do Electrical Wiring Faults Lead to Structure Ignitions?, pp. 39-51, in Proc. Fire and Materials 2001 Conf., Interscience Communications Ltd., London, 2001.
- [4] Gillman T.H., Le May I., Mechanical and Electrical Failures Leading to Major Fires, Engineering Failure Analysis, Vol. 14, pp. 995-1018, 2007.
- [5] Hadziefendic N., Kostic M., Radakovic Z., Detection of series arcing in low-voltage electrical installations, European Transactions on Electrical Power, Vol. 19, pp. 423-432, 2009.
- [6] Хаџиефендић Н., Трифуновић Ј., Костић Н. и Костић М., Анализа утицаја лоших контаката у електричним инсталацијама на изазивање пожара, Техника, бр. 1, стр. 81-87, 2013.
- [7] John J. Shea, Conditions for Series Arcing Phenomena in PVC Wiring, IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, Volume: 30, Issue: 3, pp. 532 – 539, 2007.
- [8] Хот Е., Електрично загревање, Светлост, Сарајево, 1989.
- [9] www.siemens.com/lowvoltage/afdd
- [10] Костић М., Хаџиефендић Н. и Трифуновић Ј., Термовизијска детекција и AFCI уређаји, Зборник радова II саветовања у области заштите од пожара, стр. 25-42, Београд, 2013.