

Испитивање модула пренапонске заштите код нисконапонских каблова

*Testing of Surge Protection Modules for Low-Voltage Cables*Милан Бањац, Дејан Јеркан, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Студијски програм – ЕНЕРГЕТИКА,
ЕЛЕКТРОНИКА И ТЕЛЕКОМУНИКАЦИЈЕ**

Кратак садржај – У раду је анализирана функција модула пренапонске заштите у продужном каблу, као и њен утицај на заштиту крајњих потрошача прикључених на тај продужни кабл. Објашњено је шта су пренапони и њихове кључне карактеристике, као и функција компоненти које се налазе у модулу пренапонске заштите. Такође је објашњен и принцип рада самог модула.

Кључне речи: пренапон, модул пренапонске заштите, продужни кабл.

Abstract – This paper analyzes the function of the surge protection module in power strip, as well as its impact on protecting end users connected to that power strip. It explains what surges are and their key characteristics, along with the function of the components contained within the surge protection module. The operating principle of the module itself is also described.

Keywords: (three to five): surge, surge protection module, power strip

НАПОМЕНА: Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Дејан Јеркан, ванредни професор.

1. УВОД

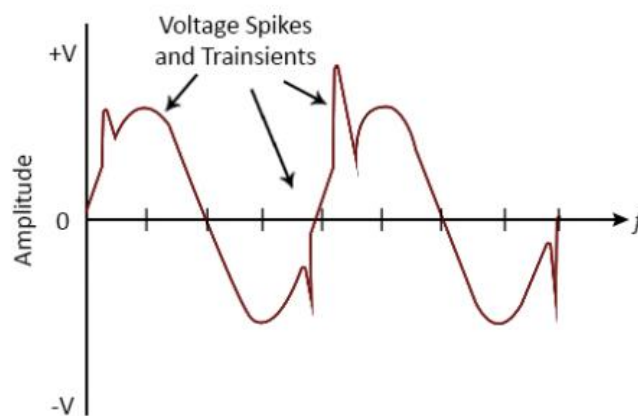
Савремено друштво је незамисливо без поуздане и стабилне испоруке електричне енергије. Са развојем технологије и растом броја електронских уређаја у домаћинствима и индустрији, значајно се повећала и осетљивост корисника на квалитет напајања електричном енергијом. Чак и краткотрајна одступања од номиналних вредности напона могу изазвати озбиљна оштећења, прекиде у раду или смањење животног века електронске опреме. Међу свим поремећајима у електроенергетским мрежама, посебно место заузимају пренапони - краткотрајни скокови напона који могу имати природно или вештачко порекло. Управо пренапони представљају један од главних узрока отказа електричне и електронске опреме, која није димензионисана тако да може да их издржи самостално без помоћи потпуних каскадних заштита од пренапона.

Иако се основна заштита од пренапона у електроенергетским инсталацијама обезбеђује заштитама од пренапона типа 1 и типа 2, њихова ефикасност често није довољна да у потпуности заштити осетљиве електронске уређаје. Због тога тип 3 заштите, имплементиран директно у продужне каблове, има кључну улогу у очувању опреме прикључене у утичнице наших домова и канцеларија. На овај начин обезбеђује се додатни ниво сигурности и повећава поузданост свакодневне употребе електричне енергије.

На тај начин тип 3 заштита у продужним кабловима омогућава да се наша опрема заштити од делимичног оштећења или потпуног кvara, без потребе за додатном уградњом, ангажовањем мајстора или скупом опремом као приликом инсталације заштите код типа 1 и типа 2. Довољно је користити продужни кабл са интегрисаном пренапонском заштитом, који се једноставно прикључује и спречава материјалне и физичке последице на наше уређаје изазване пренапонима.

1.1. Шта су пренапони

Пренапон је појава краткотрајног, али значајног повећања напона у електричној мрежи изнад предвиђене називне вредности. За дистрибутивне мреже у Европи, називни напон је 230 V (фаза-нула), са дозвољеним варирањем од $\pm 10\%$. Сваки напон који значајно и краткотрајно премашу овај опсег (нпр. досегне стотине или чак хиљаде волти) сматра се пренапоном, што сликовито приказује Слика 1.



Слика 1. Приказ мрежног напона са пренапонским импулсима

Кључне карактеристике пренапона су:

1. Временско трајање: Врло кратко, од микросекунди до неколико милисекунди.
2. Амплитуда: Може бити до неколико десетина хиљада волти.
3. Енергетски садржај: Варира од занемарљивих количина енергије (код комутационих пренапона) до веома високих (код атмосферских пражњења).
4. Облик таласа: Најчешће се описује стандардизованим импулсима (нпр. $8/20 \mu s$ за струју, $1.2/50 \mu s$ за напон).

2. КОМПОНЕНТЕ МОДУЛА ПРЕНАПОНСКЕ ЗАШТИТЕ У ПРОДУЖНОМ КАБЛУ И ЊИХОВА УЛОГА

Да би пренапонска заштита успешно обавила своју функцију и заштитила прикључене уређаје, од кључног је значаја правилно пројектовање модула. Ово подразумева не само избор одговарајућих компоненти већ и њихову оптималну међусобну везу и распоред унутар самог кућишта. Правилно димензионисан модул, где свака компонента има своју специфичну улогу, омогућава ефикасно скретање и апсорпцију енергије пренапона, чиме се обезбеђује поуздана и дуготрајна заштита, истовремено омогућавајући једноставну употребу – довољно је да се продужни кабл укључи, без потребе за додатном инсталацијом или интервенцијом стручњака.

Модул пренапонске заштите унутар продужног кабла фирме ELCO пројектован је као Тип 3 или Тип D (према IEC 61643-11), намењен за заштиту крајњих потрошача у нисконапонској мрежи 230 V AC.

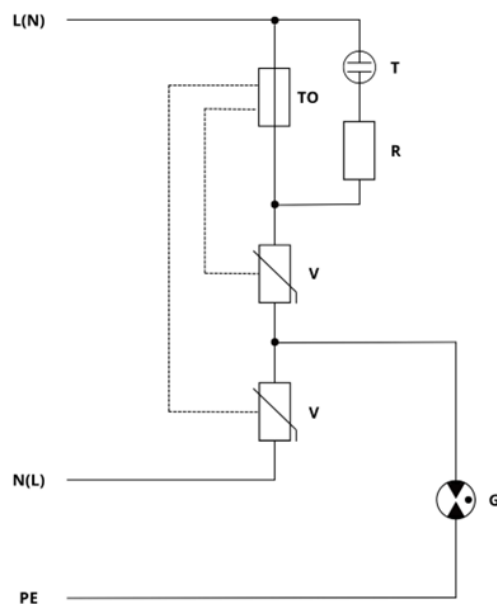
Компоненте које се налазе унутар модула пренапонске заштите (приказане на Слици 2) су:

1. TO (термички осигурач – A1-3A-F, $102^\circ C$) – у серији са варистором. Он прекида струју ако се варистор прегреје (нпр. после више удара пренапона варистор почиње да проводи и да се загрева).
2. R (отпорник $100 k\Omega$) и T (тињалица – 65 V) – паралелно повезани. Тињалица је сигнална лампица – светли када је пренапонска заштита исправна и када кроз отпорник протиче мала струја. Отпорник ограничава струју кроз тињалицу.
3. G (гасни одводник пренапона – N81A350X) – везан између заједничке тачке варистора и РЕ. Он се пали на још вишем напону него варистори и обезбеђује додатну заштиту тако што га директно одводи у земљу.
4. V (варистори – S14K250) – два комада, везани између фазе и нуле и између фазе и РЕ. Они „се активирају“ тек кад напон пређе одређену границу (нпр. $275 V AC$). Тада постају проводници и одводе вишак енергије.

Основна топологија комбинује брзо ограничење напона (V) и енергетски робустно премोшћавање према заштитном потенцијалу (G), уз сигурносно искључење (термички осигурач) и визуелну индикацију стања (тињалица + отпорник).

Као што је раније наведено, модул пренапонске заштите располаже термичким осигурачем који у случају прегоривања заштитних елемената доводи до њиховог искључења, што се сигнализује паљењем сигналне тињалице.

Захваљујући хибридној конструкцији која комбинује варистор (V), гасни одводник (G) и термичку заштиту (T), њени параметри су побољшани у односу на стандардне Тип 3 уређаје. Ова комбинација омогућава бољу апсорпцију пренапонских импулса и ефикасно смањење пренапона, што у пракси пружа заштиту приближну Типу 2. Важно је нагласити да формална класификација остаје Тип 3, док се побољшане перформансе односе на стварну способност заштите прикључене електронике од пренапонских удара.



Слика 2. Шема повезивања модула пренапонске заштите у продужном каблу

3. ПРИНЦИП РАДА СКЛОПА

Компоненте уграђене у модул пренапонске заштите унутар продужног кабла фирме ELCO приказане су на Слици 3.1. Принцип рада овог модула састоји се из следећих стања:

3.1. Нормални услови (230 V AC):

- Варистори не проводе (само су „на чекању“).
- Гасни одводник не ради.
- Тињалица не светли.

3.2. Пренапонски удар:

- Ако напон порасте преко прага варистора, они постају проводници и одводе вишак енергије према нули и РЕ.
- Ако пренапон траје или је веома јак, укључује се и гасни одводник (велики удар), који директно одводи импулс у земљу.

3.3. Заштита од оштећења:

- Ако се варистор прегреје (после много интервенција или услед квара), термички осигурач прекида везу и спречава пожар.
- Тада се пали тињалица јер сада мали напон тече кроз њу и кориснику показује да пренапонска заштита више није активна тј. исправна.

4. ИСПИТНА МЕТОДА

Сва испитивања су извршена у складу са препорукама Међународне електротехничке комисије IEC 1312 и IEC 61643, односно IEC 60-1 и IEC 60-2, као и препорукама телекомуникационе уније ITU K20, ITU K21 и ITU K44.

Испитивање се ради на три узорка. Испитивање се састоји из следећих секвенци:

- 5 удара позитивног поларитета у прикључак L према прикључку N који је везан за PE
- 5 удара негативног поларитета у прикључак L према прикључку N који је везан за PE
- 5 удара позитивног поларитета у прикључак N према прикључку L који је везан за PE
- 5 удара негативног поларитета у прикључак N према прикључку L који је везан за PE
- 5 удара позитивног поларитета у прикључке L и N према прикључку PE, снимање на L
- 5 удара позитивног поларитета у прикључке L и N према прикључку PE, снимање на N
- 5 удара негативног поларитета у прикључке L и N према прикључку PE, снимање на L
- 5 удара негативног поларитета у прикључке L и N према прикључку PE, снимање на N

Због симетричности прикључака, потпуно је свеједно који ће прикључак бити декларисан као линијски (L), а који као неутрални (N).

Укупан број удара које трпи сваки узорак је 40. Са овим је тестирање извршено како за случај када имамо пренапон између фаза (L–N), тако и за случај када је пренапон према земљи (L–PE, N–PE, L+N–PE) за оба поларитета.

Овде ће бити приказана само табеле на којима су приказане максималне вредности параметара при мерењу на сваком од три узорка.

Табела 1. Максималне вредности параметара при мерењу 1. узорка

Umin(kV)	Umax(kV)	Sigma(kV)	Usred(kV)
0.996	1.140	0.032	1.074

Табела 2. Максималне вредности параметара при мерењу 2. узорка

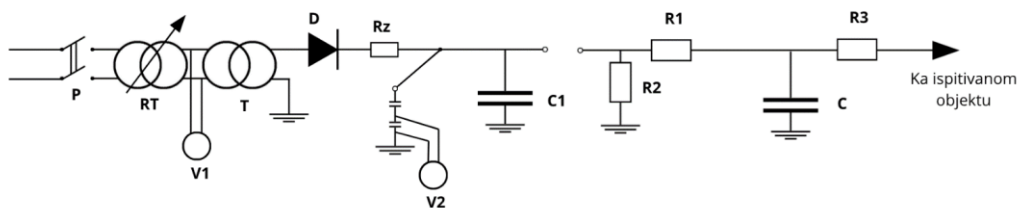
Umin(kV)	Umax(kV)	Sigma(kV)	Usred(kV)
0.955	1.118	0.042	1.041

Табела 3. Максималне вредности параметара при мерењу 3. узорка

Umin(kV)	Umax(kV)	Sigma(kV)	Usred(kV)
0.623	1.140	0.057	1.069

5. ШЕМА ВЕЗА И МЕРНА ОПРЕМА ЗА ДОБИЈАЊЕ УДАРНОГ НАПОНА СТАНДАРДНОГ ОБЛИКА 10/700 И РЕГИСТРАЦИЈУ ТАЛАСНИХ ОБЛИКА

Испитивање ударним напонам вршено је помоћу ударног напонског генератора сопствене производње за добијање атмосферских ударних таласа облика 10/700 μ s. Принципијелна шема уређаја дата је на Слици 3:



Слика 3. Заменска шема за испитивање ударним напонам облика таласа 10/700 μ s

Ознаке на Слици 3 имају следеће значење:

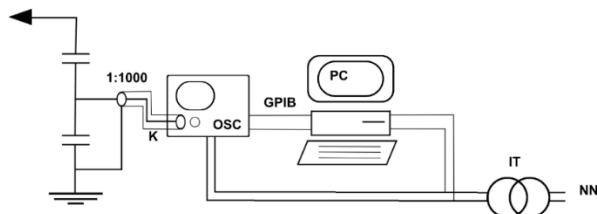
- P - главни прекидач на командној табли уређаја
- V1 - показни волтметар који мери примарни напон ВН трансформатора
- D - високонпонска диода
- R2 - заштитни отпорник за ограничавање пуњења кондензатора
- C1 - батерија кондензатора називног напона 10kV, капацитета 20 μ F
- S - високонпонска капацитивна сонда 1000:1 за прикључак мерног инструмента до 20kV Tektronix P 6015A

- V2 - волтметар за мерење једносмерног напона пуњења кондензатора C1
- R1 - отпорник променљиве отпорности за подешавање времена чела
- R2 - отпорник променљиве отпорности за подешавање времена зачеља
- C2 - кондензатор за подешавање чела и зачеља таласа
- R3 - излазни отпорник од 25 Ω , који се прикључује између ударног генератора и испитиваног објекта

Снимање напона је урађено на самом прикључку објекта који се испитује. Снимање се врши помоћу

високонпонске сонде за 20 kV, помоћу дигиталног осцилоскопа и рачунара.

Шема склопа за мерење дата је на Слици 4:



Слика 4. Шема Система за регистрацију ударних напона

6. ЗАКЉУЧАК

Резултати спроведених испитивања показују да је испитивани модул за пренапонску заштиту успешно ограничио стандардизовани атмосферски импулсни напон (4 kV, 10/700 μ s) у оба испитивана мода:

- у случају пренапона између фаза (L–N) на максималну вредност од 1180 V,
- у случају пренапона према земљи (L–PE) на максималну вредност од 787 V.

Ови резултати потврђују високу ефикасност и поузданост заштитног модула из следећих разлога:

1. Прекорачене декларисане перформансе:

Измерене вредности од 1180 V (пренапон између фаза) и 787 V (пренапон према земљи) значајно су ниже од декларисаних граничних вредности од 1300 V и 1000 V. То показује да је модул пројектован са великом сигурносном маргином и резервом у енергетском капацитету, што указује на висок квалитет коришћених компоненти (варистора и гасних одводника) и њихову правилну координацију.

2. Ефикасност у заштити осетљиве електронике:

Ограничење пренапона између фаза на 1180 V обезбеђује да улазни елементи напајања са импулсним претварањима (SMPS), који су у складу са стандардом IEC 61000-4-5 пројектовани да издрже краткотрајне импулсне напоне до око 1500 V, остану у безбедном режиму рада без појаве оштећења или деградације. Иако је ова вредност изнад њиховог номиналног радног опсега (600–1000 V), кратко трајање импулса и ограничена енергија обезбеђују да напон на улазу уређаја остане у границама отпорности компоненти. Истовремено, ограничење пренапона према земљи на 787 V значајно смањује ризик од појаве високог потенцијала између фазе и кућишта уређаја, чиме се спречавају пробоји изолације, оштећења комуникационих интерфејса и евентуалне електричне сметње или удари..

3. Отпорност на екстремне услове:

Испитивања су спроведена импулсом 10/700 μ s, који садржи већу енергију од стандардног импулса 8/20 μ s, чиме су заштитне компоненте изложене значајно већем оптерећењу. Упркос томе, нису забележена никаква оштећења ни деградација функције модула,

што потврђује његову робусност и дуготрајну стабилност у реалним условима рада.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] IEC 61643: Low-voltage surge protective devices – Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems – Requirements and test methods.
- [2] IEC 61643: Low-voltage surge protective devices – Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Selection and application principles.
- [3] IEC 61643: Low-voltage surge protective devices – Part 1: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Requirements and tests.
- [4] IEC 61643: Components for low-voltage surge protection - Part 331: Specification for metal oxide varistors (MOV).
- [5] ITU-T Recommendation K.20: Resistibility of telecommunication equipment installed in a telecommunication centre to overvoltages and overcurrents.
- [6] ITU-T Recommendation K.21: Resistibility of telecommunication equipment installed in customer premises to overvoltages and overcurrents.
- [7] ITU-T Recommendation K.44: Resistibility tests for telecommunication equipment exposed to overvoltages and overcurrents - Basic Recommendation.
- [8] IEC 60060: High-voltage test techniques, Part 1: General definitions and test requirements 11/1989.
- [9] IEC 60060: High-voltage test techniques, Part 2: High voltage test techniques – Part 2: Measuring systems, 11/1994

Кратка биографија:

Милан Бањац рођен је 1994. године у Руми. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Електротехнике и рачунарства – Енергетска електроника и електричне машине одбранио је 2025. год.

Дејан Јеркан је ванредни професор на Факултету техничких наука у Новом Саду, на катедри за Енергетску електронику и претвараче. Област интересовања су му моделовање и дијагностика електричних машина као и метода коначних елемената.

Контакт: banjacm94@gmail.com