

ПРЕДНОСТ МИКРОПРОЦЕСОРСКЕ РЕЛЕЈНЕ ЗАШТИТЕ У ОДНОСУ НА КЛАСИЧНУ ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧКУ И ЕЛЕКТРОНСКУ

Аутори: Драган Ристивојевић¹, Снежана Вуковић, Слободан Марковић, Драган Славковић

Апстракт: Микропроцесорска заштита је постала правило, како у високонапонској, тако и у средњенапонској мрежи. Предности у односу на класичну релејну заштиту (електромеханичку, електронску) су вишеструке, како у избору карактеристика, тако и у осетљивости реаговања. Такође, минималном улазном отпорношћу, обезбеђује се адекватан прекострујни број струјних трансформатора, што је од изузетног значаја, нарочито кад је у питању настанак кратких спојева у мрежи.

Кључне речи: Микропроцесорска заштита, Струјни трансформатори, Земљоспој, Кратак спој

ADVANTAGES OF MICROPROCESSOR RELAY PROTECTION IN COMPARISON TO USUAL ELECTROMECHANICAL AND ELECTRONIC PROTECTION

Abstract: Microprocessor protection has become widely used in both high voltage power grid and mid voltage power grid. When compared to usual relay protection (electromechanical and electronic), its advantages are numerous – regarding the choice of characteristics as well as the sensitivity of reaction. It is important to add that minimal input impedance provides an adequate security factor of a current transformer. This is of the highest importance when the short circuit occurs.

Key words: Microprocessor switch, Current transformers, Ground fault, Short circuit

При анализи и пројектовању заштите електроенергетских постројења, потребно је посебно обратити пажњу на захтеве везане за струјне трансформаторе. Такозвани прекострујни број би требало да обезбеди правилну информацију при преносу вредности максималне струје трополног кратког споја I_{kmax} настале на примарној страни струјног редуктора, без настанка засићења магнетног кола. При овом разматрању, занемарује се једносмерна компонента струје кратког споја.

За језгро струјног трансформатора, предвиђено за заштиту 5P10,15VA; струја кратког споја I_{kmax} , која је 10 пута већа од називне примарне струје I_{pn} , прецизно се преноси на секундар са тачношћу 1% (што омогућава класа тачности 5P) при називном оптерећењу 15 VA. Уколико се ради о језгру 10P20, струја кратког споја I_{kmax} , која је 20 пута већа од I_{pn} , верно се преноси с примара на секундар с тачношћу од 3% , што омогућава класа тачности 10P, уз минимално оптерећење 30VA. Максимално оптерећење секундара би било дефинисано на следећи начин:

$$5P10;15VA \Rightarrow Z_n = S_n / I_n^2 = 15VA / [5 (1) A]^2 = 0,6(15) \Omega \quad (1)$$

$$10P20;30VA \Rightarrow Z_n = S_n / I_n^2 = 30VA / [5 (1) A]^2 = 1,2(30) \Omega \quad (2)$$

При различитом радном оптерећењу у односу на номинално $P_o \neq P_n$, стварни прекострујни број n' износи:

$$n' = n * \frac{P_n + P_i}{P_o + P_i} \quad (3)$$

где је n - прекострујни број при номиналном оптерећењу секундара струјних трансформатора,
 P_o - радно оптерећење секундара струјног трансформатора,
 P_i - унутрашње оптерећење струјног трансформатора

¹ Драган Ристивојевић, дипл. инж. електротехн., ПД РБ «Колубара» e-mail: mernagrupa@rbkolubara.co.yu

Радно оптерећење P_o чине губици на проводницима кола и потрошња струјних кола релеја

$$P_o = P_{rel} + P_{kab} \quad (4)$$

Електромеханички релеји имају потрошњу реда 10 до 12 VA, статички (електронски) до 1VA, док су микропроцесорски релеји у великој предности с потрошњом од 0,1 до 0,15 VA, чиме се знатно добија на пољу дефинисања актуелног прекострујног броја.

$$P_n > P_o \Rightarrow n' > n \quad (5)$$

Дакле, стварни пркострујни број при употреби микропроцесорске заштите, превазилази знатно вредност прекострујног броја при номиналном оптерећењу секундарна струјног редуктора, а тиме се знатно избегава могућност уласка магнетног кола у засићење и стварање великих грешака при редукцији.

Посебна предност ове врсте релеја је елиминисање употребе струјних међутрансформатора при примени диференцијалне заштите, јер се преносни однос и фазни став нумерички уносе у реле.

Ако је отпорност кола од секундарна струјног трансформатора до релеја R_{kab} , можемо поставити следећу релацију:

$$P_{kab} = R_{kab} * I_{sn}^2 = 2 \rho * \frac{l}{S} * I_{sn}^2 \quad (6)$$

где је I_{sn} - називна секундарна струја струјних трансформатора (5А или 1А).

Што се тиче унутрашњег оптерећења струјних трансформатора P_i , податак се добија од произвођача и ред величине P_i је око 15-20% називне снаге језгра P_n .

$$P_i = R_i * I_{sn}^2 \quad (7)$$

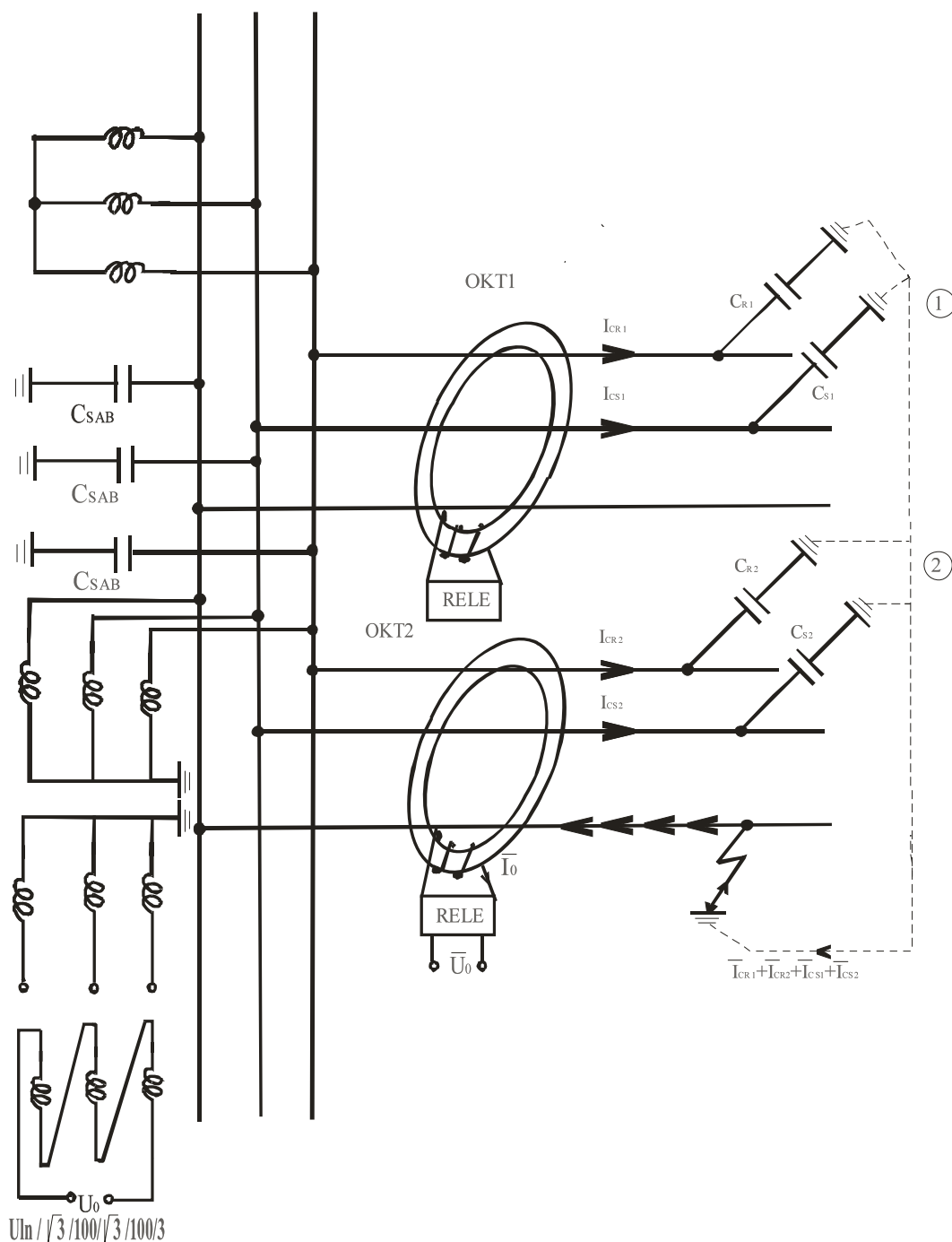
где је R_i - унутрашња отпорност секундарна струјног трансформатора, која се може регистровати мерењем

Коришћење микропроцесорских релеја омогућава регулацију, надзирање и управљање на нивоу електроенергетског постројења. Омогућена је размена аналогних и бинарних сигнала између елемената погона и микропроцесорске комбинације. Ради се о обради сигнала у дигиталном облику. Претварање сигнала се врши у такозваној крајњој станици, која је основни ниво у систему управљања. Поред размене података са постројењем, крајња станица остварује и комуникацију са радном станицом (статички рачунар). Крајње станице и тзв. управљачке јединице морају имати улазно-излазне модуле:

- аналогне улазе за мерење електричних компонената
- аналогне излазе за регулацију подешене или израчунате вредности
- бинарне опто-каплерске улазе за прихватање сигнала (аларм)
- бинарне излазе за управљање (издавање команде)

Микропроцесорска заштита за разлику од статичке, а поготову електромеханичке, омогућава велику осетљивост и веома низак праг подешавања електричних величина. Овим се остварује потпуно покривање читавог дијапазона могућих вредности у пракси остварених. Анализираћемо неке од најчешће примењиваних заштита у високо и средњенапонској мрежи и повлачити паралелу између микропроцесорских с једне стране и електронских (статичких) и електромеханичких релеја с друге стране. Показаће се потпуна доминација микропроцесорске технологије.

Усмерена земљоспојна заштита у изолованим мрежама



Слика 1- Прерасподела капацитивних струја при настанку земљоспоја у изолованој мрежи (занемарена радна компонента струја I_c)

На слици 1, приказан је део постројења напајан трансформатором X/10KV са изолованим звездиштем на секундару. Постоје два кабловска извода, са одређеном доземном капацитивношћу сваке од фаза према земљи (C_{R1} , C_{S1} , C_{T1} , C_{R2} , C_{S2} , C_{T2}). На сваком од извода фигурише обухватни кабловски трансформатор који нема одређени преносни однос, већ му он зависи од прилагођења излазне импедансе ОКТ и улазне отпорности релеја. Обухватни кабловски трансформатор региструје појаву нулте компоненте струје $3 \bar{I}_0$ при настанку земљоспоја.

Једнополно изоловани напонски трансформатори прикључени на сабирнице постројења, детектују преко отвореног троугла вредност (постојање), нулте компоненте напона $3 \bar{U}_0$.

На слици су представљене и доземне капацитивности сабирница C_{sab} , које су изузетно мале и реда су неколико nF.

Струја земљоспоја се затвара кроз место квара и функција је вредности напона, фреквенције подужне (доземне) капацитивности кабла и дужине линије.

$$I_z = 3 U_f [\text{KV}] * \omega * C [\text{nF/km}] * l [\text{km}] \quad (8)$$

Струју квара на кабловском изводу 2 одређује дужина кабла на изводу 1 и обрнуто. Када не би постојао кабловски извод 1 било би немогуће побудити усмерени земљоспојни реле 2, тако да земљоспој теоретски може трајати дуго. Решење би било прикључење кондензаторских батерија на сабирнице према земљи, да би се остварила вредност струје I_c за реаговање релеја (земљоспојног, усмереног) на кабловском изводу 2. При употреби микропроцесорских релеја, секундарна струја побуде је реда величине 500 до 1000 μA , што значи да би вредност капацитивности сабирница могла бити довољна за реаговање земљоспојне заштите на изводу 2 при непостојању извода 1.

Сличност у реакцији при употреби статичке или електромеханичке релејне заштите се не може ни замислити (статичка заштита $I_{\text{sek}_{\text{min}}} \approx 3 \text{ mA}$; електромеханичка заштита $I_{\text{sek}_{\text{min}}} \approx 10 \text{ mA}$).

Уз претпостављену вредност преносног односа обухватног кабловског трансформатора ≈ 50 (зависи од оптерећења) и струју прораде микропроцесорског релеја 500 μA , рачунамо вредност доземне капацитивности сабирница:

$$I_z = \sqrt{3} U_1 * C_s \quad (9)$$

$$500 * 10^{-6} * 50 = \sqrt{3} * 10^4 * \omega C_s$$

$$C_s = \frac{25 * 10^3 * 10^{-6}}{1,73 * 10^4 * 314} = \frac{25 * 10^{-7}}{5 * 10^2} \approx 5 * 10^{-9} = 5 \text{ nF}$$

Остваримо ли вредност доземне капацитивности сабирница реда 5 nF, можемо рачунати на потпуну функционалност усмерене земљоспојне микропроцесорске заштите и при постојању само једног прикљученог извода, што се до појаве ове генерације релеја сматрало немогућим, због високог прага реаговања. Мултифункционална микропроцесорска заштита опремљена је углавном и меморијом за осцилографско снимање квара, што омогућава потпуну анализу квара, амплитудно, фазорски у одређеном временском интервалу. У случају квара подаци се бележе у току променљивог временског периода, који обично није већи од 5 секунди. Одређени број снимања се смешта у меморију која се аутоматски освежава сваким новим кваром, без захтева информације о претходном.

Интермитентна земљоспојна заштита

Интермитентни земљоспојни кварови имају особину да по настанку аутоматски нестају (гашење електричног лука) и после извесног времена се поново појављују. Време трајања може бити у дијапазону од неколико ms, до неколико s. Кратко време трајања је разлог што не могу бити детектовани обичним релејима. Ипак, остаје проблем ослабљених места (по питању изолације) која могу изазвати вишеструке кварове. Интермитентни земљоспојеви носе ризик од термичког преоптерећења опреме. У оквиру микропроцесорске заштите, постоји функција која омогућава детекцију интермитентних земљоспојева и акумулацију њиховог трајања. Уколико се интегрисањем временских интервала трајања квара достиже подешена вредност долази до активирања релеја (лимит угрожености опреме). Ако земљоспој после извесног времена нестане и не иницира се више, након времена Δt , није потребно активирање заштите. Узрок настанка интермитентних земљоспојева може бити: продор влаге у кабловске спојнице, лоша изолација, мања струја квара од струје самогашења електричног лука.

Краткоспојна заштита

Време деловања краткоспојне заштите је скоро увек тренутно (кабловски извод, ваздушни вод), сем када се ради о заштити сабирница на секундару трансформатора, која се подешава на 0,1 sec. Потребно је да се са примарне стране струјних трансформатора, информација о кратком споју што верније пренесе на секундар. То ће се остварити, уколико магнетно коло струјних трансформатора не уђе у засићење, односно буде испоштована називна вредност прекострујног броја. Веома мала унутрашња отпорност микропроцесорских релеја омогућава да прекострујни број достигне чак и већу вредност од називне и то је њихова огромна предност у односу на статичке и електромеханичке релеје.

Локација квара

Локација квара је од изузетног значаја при деловању усмерене и неусмерене заштите. Када се она иницира, одређује се мерна петља. Парови вредности струје кратког споја и напона кратког споја напојног трансформатора, чувају се у меморији и на основу њих се прорачунавају вредности отпорности R и реактансе X . Мерене електричне величине се филтрирају и број прорачуна импедансе се аутоматски подешава, док се не добије стабилан пар мерених вредности.

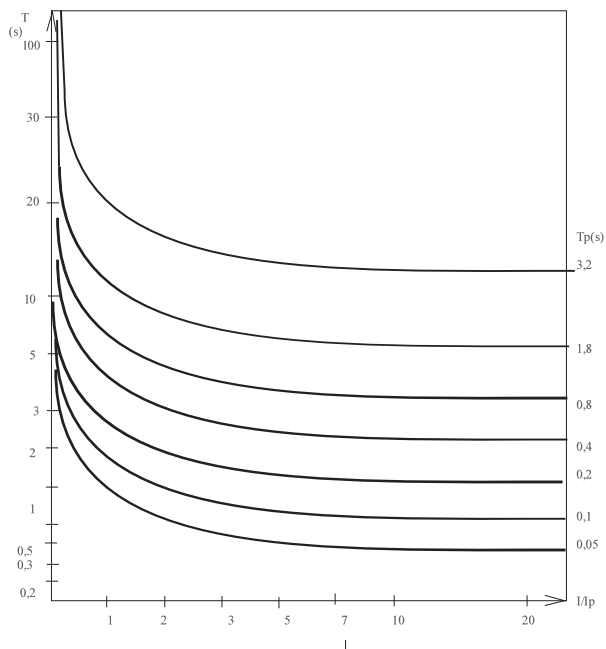
Прорачун мерених величина се врши по искључењу насталог квара. Минимум три пара вредности R и X се прорачунавају на основу меморисаних и филтрираних мерења. Уколико се израчуна мање од три пара вредности R и X , неће бити приказан резултат локације квара. на основу датих парова резултата рачунају се просечна и стандардна девијација. Елиминисањем нереалних резултата (велика разлика у односу на стандардну вредност) рачунају се просечне вредности за X . На тај начин се добија вредност имедансе квара која је пропорционална удаљености места квара.

Усмерена и неусмерена прекострујна заштита са инверзном карактеристиком

Поред временски зависне и дефинисане карактеристике, могуће је одабрати тзв. инверзну карактеристику. Поента је да се добро проуче услови рада штићеног објекта, степен изолације, топлотни импулс и иза тога одабере инверзна карактеристика деловања микропроцесорске заштите, која би представљала термичку слику самог објекта. Свака од фазних струја се посебно пореди са подешавањем на микропроцесорском релеју, са инверзном карактеристиком.

Уколико нека од струја достигне 1,2 подешене вредности одговарајући елемент проради и сигнализира. Прорада релеја функционише на средњој вредности основног хармоника. Време затезања се одређује на основу интегрисане мерне шеме, док израчунато време затезања зависи од тока струје квара и селектованих карактеристика деловања.

Можемо се ослонити на инверзне карактеристике које сами креирамо или пак на оне који се базирају на IEC или ANSI стандардима. Располажемо нормално инверзним, веома инверзним и екстремно инверзним карактеристикама.



Слика 2- Нормално инверзна карактеристика

$$t = \frac{0,14}{(I/I_p)^{0,02} - 1} * T_p [\text{sec}] \quad (10)$$

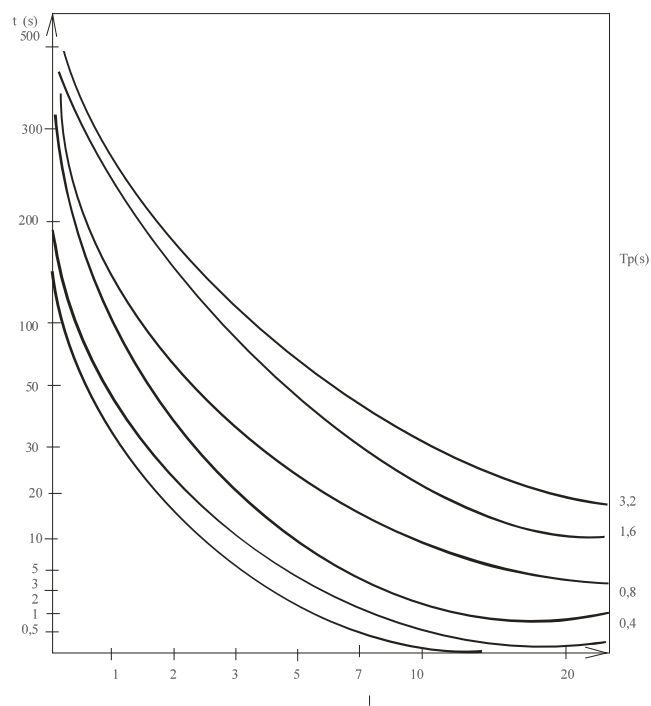
где је:

t- време деловања релеја (sec)

T_p - подешена вредност мултипликатора времена

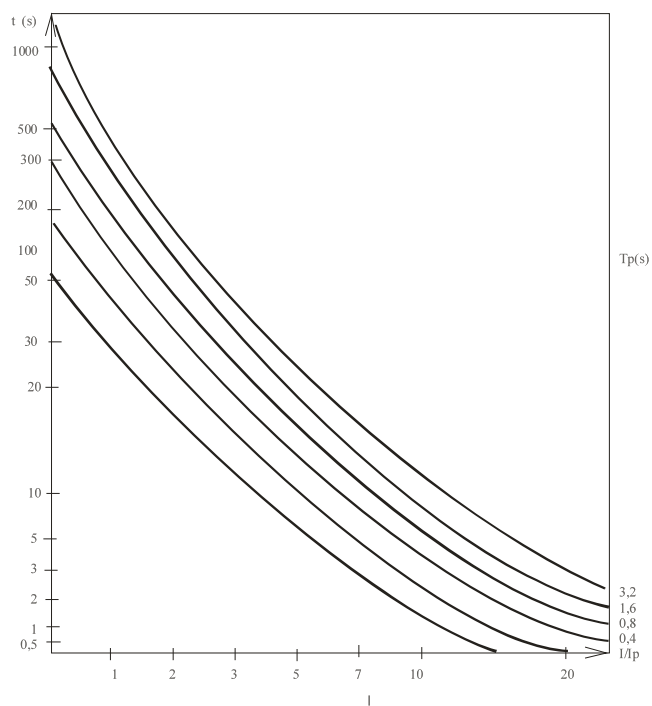
I - струја квара

I_p - подешена вредност струје побуде



Слика 3- Веома инверзна карактеристика

$$t = \frac{13,5}{(I/I_p)^1 - 1} * T_p [\text{sec}] \quad (11)$$



Слика 4- Екстремно инверзна карактеристика

$$t = \frac{120}{(I/I_p)^1 - 1} * T_p [\text{sec}] \quad (12)$$

Анализирајмо избор веома инверзне карактеристике, чији је дијаграм приказан на слици 3, а математички модел :

$$t = \frac{13,5}{(I/I_p)^1 - 1} * T_p [\text{sec}] \quad \text{при преоптерећењу 50\%} \Rightarrow I/I_p = 1,5. \text{ Усвојимо } T_p=3,2$$

$$t = \frac{13,5}{1,5-1} * 3,2 = 86,4 \text{ sec}$$

При преоптерећењу 100% $\Rightarrow I/I_p = 2$ за исто време $T_p=3,2$ биће:

$$t = \frac{13,5}{2-1} * 3,2 = 43,2 \text{ sec}$$

За различите вредности мултипликатора времена T_p , добијамо различита времена реаговања.

При преоптерећењу 250% $\Rightarrow I/I_p = 3,5$ за исто време $T_p=3,2$ биће:

$$t = \frac{13,5}{3,5-1} * 3,2 = 17,3 \text{ sec}, \text{ а уз време } T_p=0,4 \text{ sec и преоптерећење 250\% биће}$$

$$\Rightarrow t=2,16 \text{ sec}$$

Дакле, фантастичан је одабир различитих карактеристика, тако да је могуће остварити услове копије термичке слике штићеног уређаја без икаквих проблема.

Када су у питању електромоторни погони (који нису предмет овог рада), најкритичнији услови покретања могу бити под савршеном контролом. Електроенергетска постројења су у суштини мањи проблем.

Дат је приказ пар практичних предности микропроцесорских релеја у односу на класичне статичке и електромеханичке.

Посматране су као пример само неке од заштитних функција, земљоспојна, краткоспојна, инверзна прекострујна, интермитентна земљоспојна, локација квара..., што је само део огромних предности оваквог вида заштите.

Једини недостатак је осетљивост на пренапонске таласе (прелазни процеси у мрежи, ферорезонанса), мада се и на том пољу доста постигло у задње време.

Микропроцесорска заштита постаје незаобилазна и незаменљива компонента при ревизији електроенергетских постројења, како у дистрибутивној, тако и индустријској мрежи.

Литература:

1. *Г.Дотлић*: Електроенергетика кроз стандарде