

## Прорачун подешења заштитних функција нових елемената 500 kV преносног система

Никола Сучевић<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Универзитет у Београду, Електротехнички институт „Никола Тесла“,  
Косте Главинића 8а, 11000 Београд, Србија

[nikola.sucevic@ieent.org](mailto:nikola.sucevic@ieent.org)

**Кратак садржај:** У овом раду приказан је прорачун подешења заштитних функција елемената преносног система. Анализирани преносни систем чине елементи 500 kV и 230 kV напонског нивоа. Дат је прорачун подешења појединих заштитних функција 500 kV реактора, 500/230 kV/kV ауто-трансформатора и 500 kV далековода. Моделовање мреже и анализе вршене су у софтверском пакету DigSILENT PowerFactory.

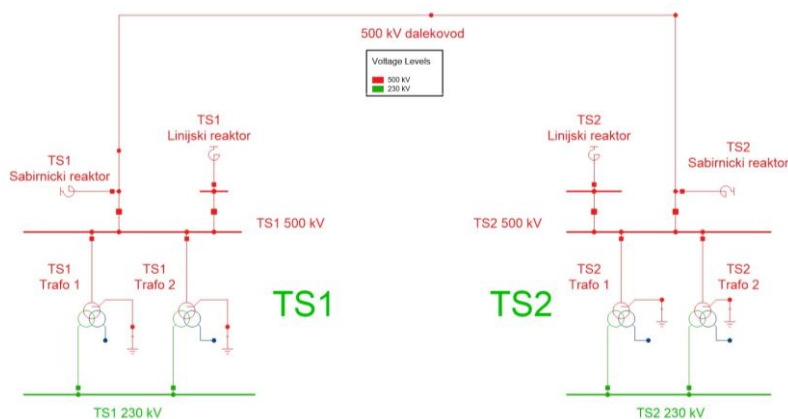
**Кључне речи:** преносни систем, подешење заштитних функција, софтверске симулације

### 1. Увод

У овом раду дат је приказ прорачуна подешења заштитних функција елемената преносног система. Анализирани систем чине 500 kV и 230 kV напонски нивои. Постојећа 230 kV преносна мрежа ојачана је додавањем 500 kV напонског нивоа. Постојећа 230 kV постројења TC1 и TC2 повезана су 230 kV водовима у мрежи. У постројења TC1 и TC2 инсталирана су по два ауто-трансформатора 500/230 kV/kV, те је 500 kV водом TC1-TC2 реализован нови коридор за пренос енергије. На 500 kV сабирнице TC1 и TC2 инсталирани су сабирнички реактори који служе за управљање напонским приликама у мрежи. Такође, на обе стране 500 kV вода инсталирани су и линијски реактори у сврху компензације реактивне енергије генерисане од стране дугачког преносног вода. Линијски реактори у неутралној тачки имају и додатни реактор који служи томе да омогући гашење лука при једнополном искључењу далековода у фази која је искључена.

Модел анализиране мреже креиран је у софтверском пакету DigSILENT PowerFactory.

Једнополна шема анализираног дела мреже приказана је на слици 1.



Слика 1: Једнополна шема анализираног дела преносне мреже

## 2. Заштитне функције елемената преносног система

Интерна правила оператора анализираног преносног система захтевају имплементацију одређених заштитних функција за сваки елемент, а такође дају и критеријуме за подешавање заштитних функција.

За заштиту реактора примењују се следеће заштитне функције:

1. Диференцијална заштита (ANSI 87T)
2. Фазна прекострујна заштита (ANSI 51)
3. Земљоспојна заштита (ANSI 51N)

За заштиту ауто-трансформатора примењују се следеће заштитне функције:

1. Диференцијална заштита (ANSI 87T)
2. Фазна прекострујна заштита на високонапонској и ниже напонској страни (ANSI 51)
3. Земљоспојна заштита (ANSI 51N)

За заштиту далековода примењују се следеће заштитне функције:

1. Дистантна заштита (ANSI 21)
2. Усмерена земљоспојна заштита (ANSI 67N)
3. Диференцијална заштита (ANSI 87L)

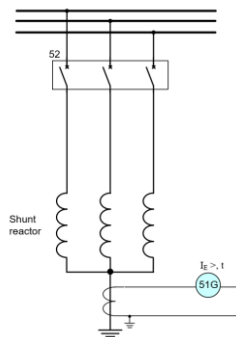
У овом раду ће бити приказани резултати прорачуна подешења следећих заштитних функција:

- I. Земљоспојна заштита линијских реактора на 500 kV далеководу (ANSI 51N)
- II. Земљоспојна заштита 500/230 kV/kV ауто-трансформатора (ANSI 51N)
- III. Усмерена земљоспојна заштита 500 kV далековода (ANSI 67N)
- IV. Дистантна заштита далековода (ANSI 21)

### 3. Приказ резултата прорачуна подешења заштитних функција

#### 3.1. Земљоспојна заштита линијских реактора на 500 kV далеководу (ANSI 51N)

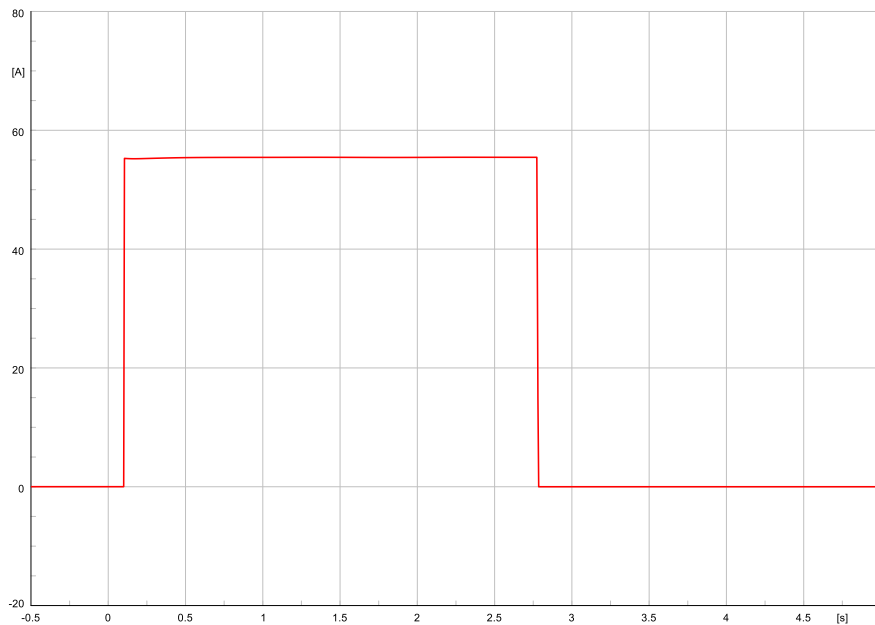
Земљоспојна заштита линијских реактора користи се као резервна заштита реактора од унутрашњих кратких спојева са земљом, као и од кратких спојева у преносном систему. Функција мери нулту компоненту струје из трансформатора у неутралној тачки реактора, што је приказано на слици 2 [1]:



Слика 2: Шема везивања струјних трансформатора за земљоспојну заштиту реактора

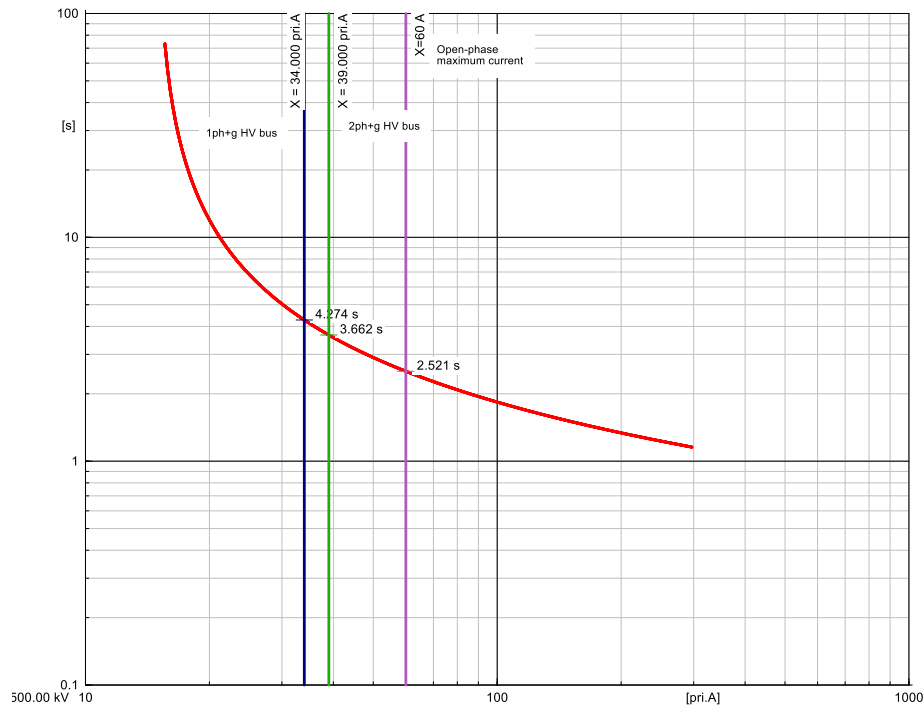
Према интерним правилима оператора преносног система, функција је реализована са инверзном карактеристиком реаговања. Струја прораде се подешава на 15 А примарно, користи се нормално инверзна карактеристика (IEC Normal Inverse), док се временски мултипликатор бира тако да је минимално време елиминисања квара 1,3 s, при квару са земљом на ВН прикључку реактора. Такође, потребно је обезбедити да при једнополном искључењу вода, не долази до прораде заштитне функције за време краће од подешеног времена аутоматског поновног укључења вода од 2,5 s.

У софтверском моделу система симулирано је једнополно искључење вода. Слика 3 приказује струју коју мери заштитна функција линијског реактора у ТС1 при једнополном искључењу вода:



Слика 3: Струја коју мери земљоспојна заштита линијског реактора у ТС1 при једнополном искључењу вода

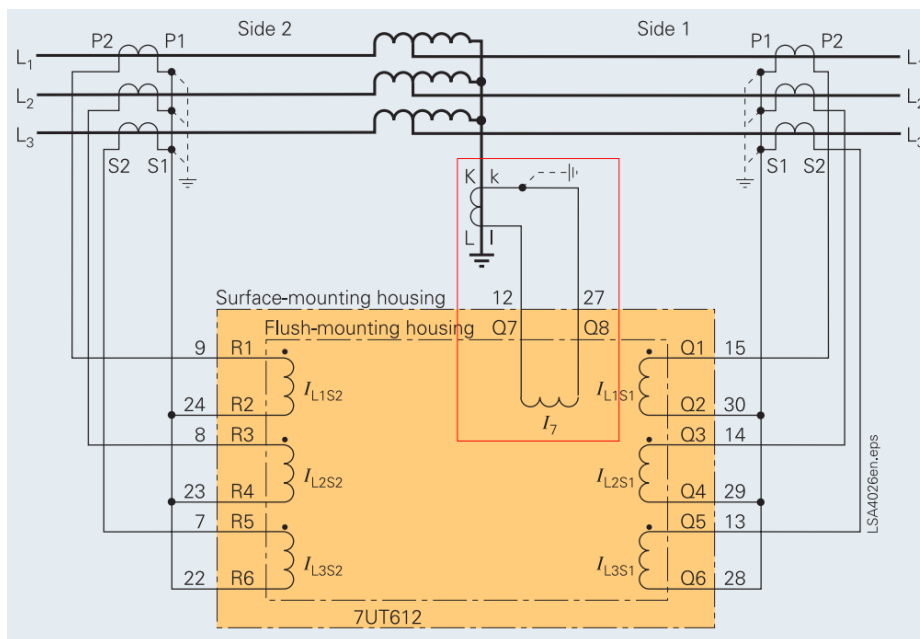
На слици се види да максимална струја коју мери заштитна функција не прелази 60 А. Такође, симулирани су једнофазни и двофазни кратки спојеви са земљом на ВН прикључку линијских реактора и приказане су струје које мери заштитна функција, које износе 45 А и 37 А, респективно. На основу задатих критеријума за подешавања функције и критичних струја, прорачуната вредност временског мултипликатора износи 0,51 s. Слика 4 приказује карактеристику реаговања земљоспојне заштите линијског реактора у ТС1 и времена реаговања за критеријумске струје.



Слика 4: Карактеристика реаговања земљоспојне заштите линијског реактора у TC1 и критичне струје кварова

### 3.2. Земљоспојна заштита 500/230 kV/kV ауто-трансформатора (ANSI 51N)

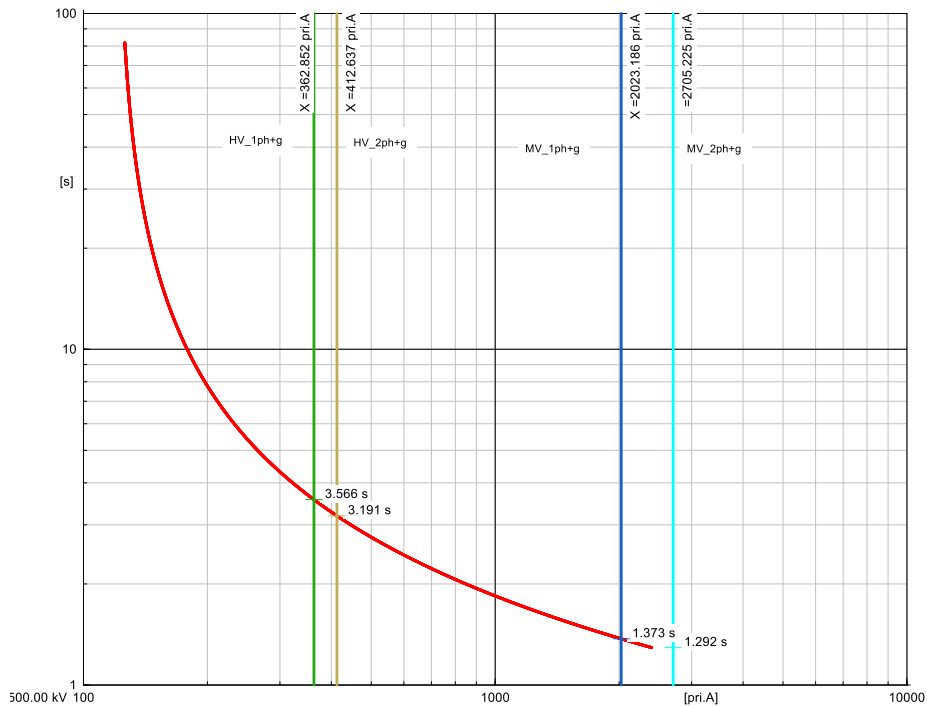
Земљоспојна заштита ауто-трансформатора користи се као резервна заштита ауто-трансформатора од унутрашњих кратких спојева са земљом, као и од кратких спојева у преносном систему. Функција мери нулту компоненту струје из трансформатора у неутралној тачки ауто-трансформатора, што је приказано на слици 5 [2]:



Слика 5 Шема везивања струјних трансформатора за земљоспојну заштиту ауто-трансформатора

Према интерним правилима оператора преносног система, функција је реализована са инверзном карактеристиком реаговања. Струја прораде се подешава на 120 A примарно, користи се нормално инверзна карактеристика (IEC Normal Inverse), док се временски мултипликатор бира тако да је минимално време елиминисања квара 1,3 s, при квару са земљом на ВН и НН страни ауто-трансформатора.

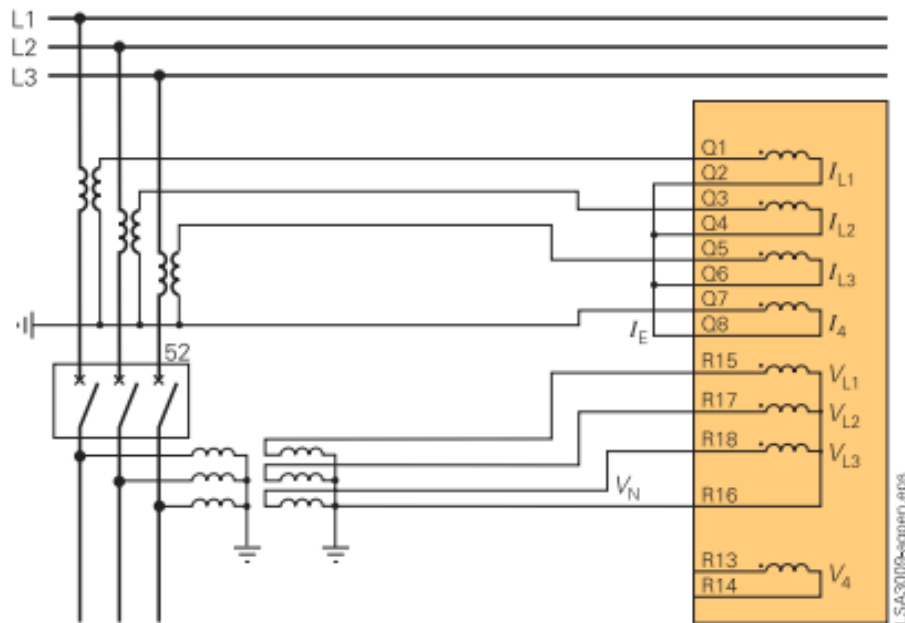
У софтверском моделу система симулирани су једнофазни и двофазни кварови са земљом на ВН и НН страни ауто-трансформатора у ТС1. На основу задатих критеријума за подешавања функције и критичних струја, прорачуната вредност временског мултипликатора износи 0,57 s. Слика 6 приказује карактеристику реаговања земљоспојне заштите ауто-трансформатора и времена реаговања за критеријумске струје при задатим кваровима у систему:



Слика 6: Карактеристика реаговања земљоспојне заштите ауто-трансформатора у TC1 и критичне струје кварова

### 3.3. Усмерена земљоспојна заштита 500 kV далековода (ANSI 67N)

Земљоспојна заштита водова користи се као основна заштита вода од кратких спојева са земљом који нису детектовани од стране дистантне заштите, као и резервна заштита вода од кратких спојева на суседним водовим у систему. Функција прорачунава нулту компоненту струје из фазних струја, нулту компоненту напона из фазних напона, што је приказано на слици 7 [3]:

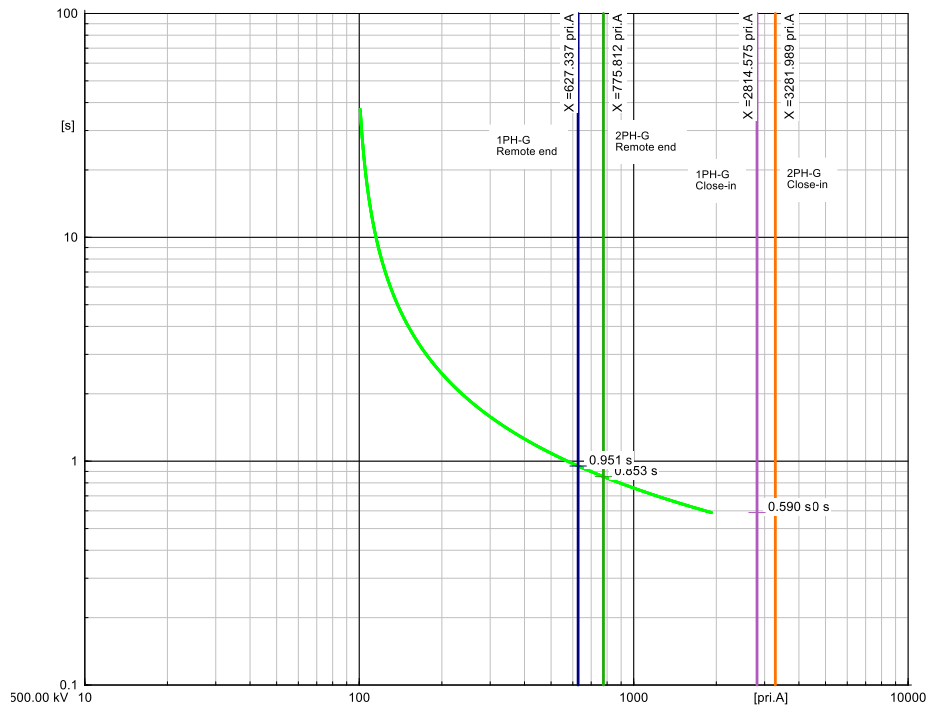


Слика 7: Шема везивања струјних трансформатора за усмерену земљоспојну и дистантну заштиту далековода

Према интерним правилима оператора преносног система, функција је реализована са нормално инверзном карактеристиком реаговања (IEC Normal Inverse). Струја прораде се подешава на 80% минималне струје коју мери заштита при једнофазном кратком споју са земљом на крају најкраћег далековода који полази са сабирница на другом крају штићеног вода, уз уважен отпор лука од 50  $\Omega$ . Додатно, струја прораде мора бити у опсегу 60-120 А. Временски мултипликатор бира се тако да је минимално време елиминисања квара >0,84 s, при квару са земљом на другом крају штићеног вода и >0,5 s, при квару на почетку штићеног вода.

У софтверском моделу система симулирани су једнофазни и двофазни кварови са земљом на почетку штићеног вода (са отпором лука  $R_f=0 \Omega$ ), као и на крају најкраћег далековода који полази са сабирница на другом крају штићеног вода (са отпором лука  $R_f=50 \Omega$ ). На основу задатих критеријума за подешавања функције и критичних струја, прорачуната вредност струје прораде износи 120 А, а временски мултипликатор износи 0,26 s. Слика 8 приказује карактеристичку реакцију усмерене земљоспојне заштите далековода у ТС1 и времена реаговања за критеријумске струје при задатим кваровима у систему:



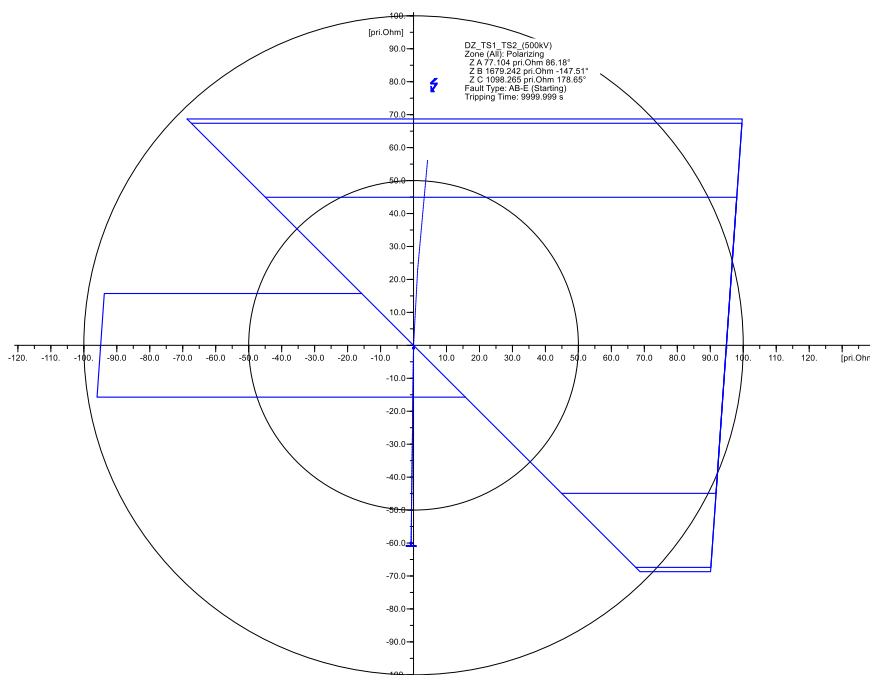


Слика 8: Карактеристика реаговања усмерене земљоспојне заштите далековода у ТС1 и критичне струје кварова

### 3.4. Дистантна заштита далековода (ANSI 21)

Дистантна заштита далековода користи се као основна заштита вода од кратких спојева и као резервна заштита вода од кратких спојева на суседним елементима преносне мреже. На основу мерених струја и напона, функција прорачунава импедансу петље квара, што је илустровано на слици 7 [3].

Према интерним правилима оператора преносног система, функција је реализована са три степена. Први степен подешава се тако да реагује само при кратким спојевима на штићеном воду (80% импедансе вода), без временске задршке. Други степен подешава се тако да сигурно детектује кварове на другом крају вода (120% импедансе вода  $\approx 67,38 \Omega$ ), са временском задршком од 240 ms. Трећи степен подешава се тако да не детектује кварове на 230 kV страни ауто-трансформатора у постројењу на другом крају штићеног вода (90% мерене импедансе  $\approx 68,68 \Omega$ ), са временским одлагањем од 840 ms. Слика 9 приказује карактеристику дистантне заштите 500 kV далековода у ТС1 и мерену импедансу при задатом квару у систему:



Слика 9: Карактеристика реаговања дистантне заштите 500 kV далековода у ТС1 и мерена импеданса при квару на 230 kV сабирницама у постројењу на другом крају штићеног вода

#### 4. Закључна разматрања

У овом раду дат је приказ прорачуна подешења појединих заштитних функција елемената преносног система. Дат је приказ имплементираних заштитних функција на елементима 500 kV напонског нивоа. За изабране функције наведени су критеријуми за подешавање према интерним правилима оператора преносног система. Извршене су софтверске симулације критичних поремећаја и кварова у систему како би се добиле критеријумске величине потребне за прорачун подешења заштитних функција. У раду су приказани резултати прорачуна подешења параметара заштитних функција и дати су графички прикази карактеристика реаговања анализираних заштитних функција.

## Литература

- [1] *Protection, Monitoring and Control of Shunt Reactors, Final Draft, August 2012, CIGRE WG B5.37*
- [2] Transformer Differential Protection / 7UT6, SIPROTEC 4 7UT6 differential protection relay for transformers, generators, motors and busbars, Catalogue SIP, Edition No. 7, Siemens
- [3] SIPROTEC Numerical Protection Relays, Protection Systems, Catalogue SIP 2008, Siemens

**Abstract:** In the paper the protection function setting calculations for elements of the transmission system are shown. Analyzed transmission system consists of the 500 kV and 230 kV voltage levels. The setting calculations are shown for several protection functions for the 500 kV reactors, 500/230 kV/kV autotransformers and 500 kV line. Network modeling and analysis have been performed using DlgSILENT PowerFactory.

**Keywords:** transmission system, protection function settings, software simulations

## Calculation of Protection Function Settings of New Elements of the 500 kV Transmission System

Nikola Sučević

Rad primljen u uredništvo: 23.11.2022. godine.

Rad prihvaćen: 23.12.2022. godine.

