

# PARAMETRIZÁCIA OCHRANNÝCH RELÉ V ELEKTRIZAČNÝCH SÚSTAVÁCH

*SYSTÉMY CHRÁNENIA V  
ELEKTRIZAČNEJ SÚSTAVE*

**SEL - 751/751A**

**SEL - 700G/GT**

**SEL - 787**

**SEL - 387E**

**SEL - 421**

*AUTOR  
RÓBERT ŠTEFKO*



TECHNICKÁ UNIVERZITA  
V KOŠICIACH



SCHWEITZER  
ENGINEERING  
LABORATORIES

Prvé vydanie publikované v roku 2022  
Technickou univerzitou v Košiciach  
Letná 9, 04001 Košice

© 2022 Technická univerzita v Košiciach  
© 2022 Róbert Štefko

Názov	Parametrizácia ochranných relé v elektrizačných sústavách
Autor	Ing. Róbert Štefko
Vydavateľ	Technická univerzita v Košiciach
Rok vydania	2022
Vydanie	Prvé
Počet strán	115
Copyright	Technická univerzita v Košiciach
ISBN	978-80-553-4068-5
Edícia	Učebné texty

*V učebnom texte sú popísané podrobné postupy pre parametrizáciu nadprúdových, rozdielových a dištančných ochranných relé od firmy SEL, teoretický základ k ochranným relé, popis a zapojenie jednotlivých častí ochranných relé. Ďalej sú uvedené inštruktážne videá spolu so zapojením pre otestovanie pomocou zariadenia Omicron.*

*Učebný text je určená študentom elektrotechnických fakúlt v študijných programoch zameraných na elektroenergetiku, používateľom elektroenergetických zariadení a odbornej verejnosti.*

Všetky práva vyhradené. Žiadna časť tejto publikácie nesmie byť reprodukováná, distribuovaná alebo prenášaná v akejkoľvek podobe alebo akýmkoľvek prostriedkami, vrátane fotokopírovania, záznamu alebo iných elektronických alebo mechanických metód, bez predchádzajúceho písomného súhlasu vydavateľa, s výnimkou stručných citácií pri kritických recenziách a niekoľkých ďalších nekomerčných použitíach povolených autorským zákonom.

# OBSAH

- Teória ochrán
  - Nadprúdové ochrany
  - Rozdielové ochrany
  - Frekvenčná ochrana
  - Napät'ová ochrana
  - Dištančná ochrana
- Výpočet
  - Nadprúdové ochrany
  - Rozdielové ochrany
- Zapojenie a Testovanie
  - Nadprúdová ochrana
  - Generátorová ochrana
  - Transformátorová ochrana
  - SEL-AMS



TECHNICKÁ UNIVERZITA  
V KOŠICIACH



SCHWEITZER  
ENGINEERING  
LABORATORIES

**Tento učebný text bol podporovaný agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-19-0576 a grantová agentúra kultúry a vzdelávania Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky v rámci projektu VEGA č. 1/0757/21.**

**Pod'akovanie patrí rovnako aj firme SEL za darovanie rôznych ochranných relé.**



# *Teória ochrán*

Hlavnou úlohou chránenia zariadenia je zabezpečiť, aby dané zariadenie alebo úsek neboli vystavované nepriaznivým stavom napr. preťažovanie zariadenia a tým zníženie životnosti zariadenia, alebo náhodným poruchovým stavom v dôsledku skratu na zariadení.

Z týchto dôvodov je potrebné poznať vzťahy pôsobenia medzi zariadením alebo úsekom voči okolitému priestoru, ktorý má veľmi významný vplyv na zariadenie. Preto potrebujeme poznať vzájomné pôsobenia zariadenia na okolie a okolia na zariadenie. Pri samotnom nastavovaní a návrhu by sme mali mať o spomenutých dôvodov, čo najpodrobnejšie informácie. *V prípade neúplných alebo nejasných informácií, by sme ani nemali začínať s výpočtom pre chránenie zariadenia, alebo úseku, prípadne prísnejšie posudzovať vplyv okolia na zariadenie.*



# *Teória ochrán – nadprúdové ochrany*



# Teória ochrán – nadprúdové ochrany

Ochrany stupňovité – pre zaistenie selektívneho vypínania potrebujeme zaistiť pôsobenie s časovým oneskorením, ktoré bude vhodne odstupňované a zabezpečí sa tak vzájomné zálohovanie ochrán. Z tohto dôvodu obsahujú rozbehový a časový člen, ktoré prípadne s členom meracím a smerovým určí poruchový stav a v závislosti od nastavených časov bude vypínať ochrany. Medzi stupňovité ochrany patria nadprúdové a dištančné ochrany.

Nadprúdové ochrany pracujú na jednoduchom princípe a využívajú sa, ako záložné alebo pri VN vedeniach a menej dôležitých vedeniach nižších napät'ových úrovní ako hlavné. Ako už z názvu vyplýva ochrana reaguje na zvýšené hodnoty prúdu nad hodnotu nastaveného rozbehového prúdu  $I_r$ , pri preťažení vedení alebo skratoch.

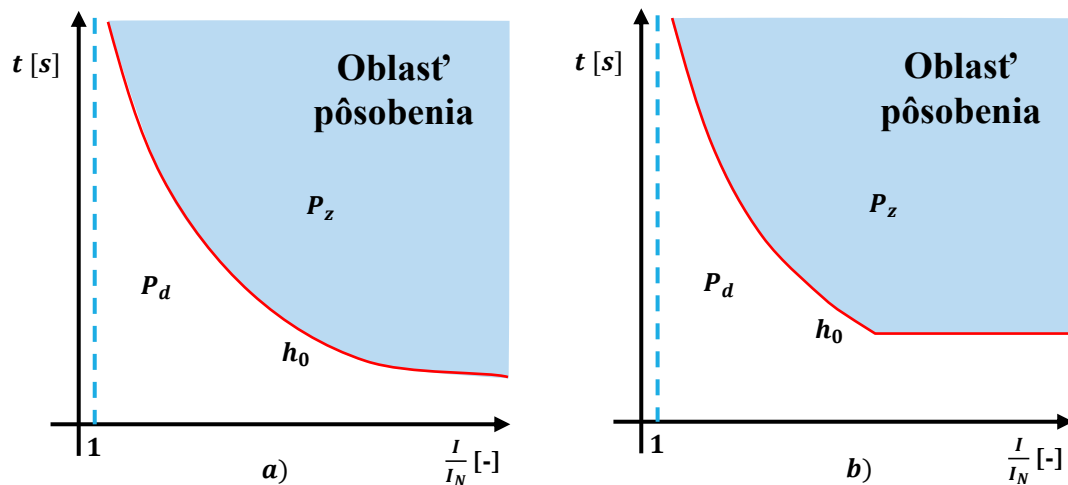


# Teória ochrán – nadprúdové ochrany

Časovo závislá – má klesajúcu závislosť podobnú poistkám, podľa rovnice  $t = K/(I/I_N - I)$  pre  $I/I_N > I$  a  $t = \infty$  pre  $I/I_N \leq I$ ,

Polozávislá – má charakteristiku rovnakú do veľkosti  $I_0$ . Pre väčšie prúdy  $I/I_N > I_0$  už má konštantnú dobu pôsobenia a nezávisí od zmeny prúdu.

$P_d$  - dovolená oblasť;  $P_z$  - zakázaná oblasť;  $h_0$  - hranica pôsobenia



Obr. 1 Charakteristiky rýchlosti pôsobenia a) časovo závislá; b) polozávislá



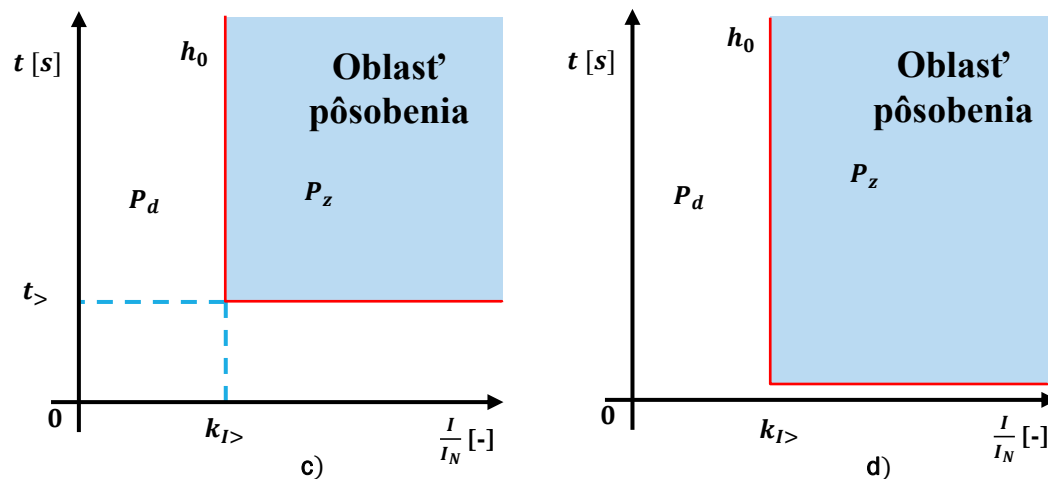


# Teória ochrán – nadprúdové ochrany

Časovo nezávislá – pôsobí podľa nastaveného času  $t_{>}$  pri dosiahnutí prúdu  $k_{I>}$ . Pre väčšie prúdy  $I/I_N > k_{I>}$  už má konštantnú dobu pôsobenia a nezávisí od zmeny prúdu.

Okamžitá – pôsobí pri prekročení nastaveného prúdu  $k_{I>}$  skoro bez oneskorenia. Oneskorenie predstavuje reakčný čas ochrany do 10 ms.

$P_d$  - dovolená oblasť;  $P_z$  - zakázaná oblasť;  $h_0$  - hranica pôsobenia;  $t_{>}$  - časové oneskorenie;  $k_{I>}$  - prúdové vysunutie



Obr. 2 Charakteristiky rýchlosti pôsobenia c) časovo nezávislá; d) okamžite pôsobiaca



# Teória ochrán – nadprúdové ochrany

Pri nastavovaní jednotlivých časoch sa vychádza všeobecne z predpokladu, kde najvzdialenejšia ochrana vypína najrýchlejšie, pre ktorú platí rovnica  $t_2 = t_1 + \Delta t$ . Koordinačný časový interval  $\Delta t$  závisí na vyhotovení časového relé a vypínača, pričom najčastejšie je v intervale 0.2 až 0.5 s. Pričom netreba zabúdať na prúdové nastavenie relé tak, aby sa ochrany vzájomne záložovali. K správne nastaveniu rozbehových prúdov  $I_r$  potrebujem poznať prúdové pomery skratových prúdov, pret'azení a menovitých prúdov. Veľkosť skratových prúdov sa môžu líšiť pre rôzne časy prevádzky. Z týchto dôvodov je potrebné poznať maximálny a minimálny skratový prúd.

*Pri zmene schémy siete je potrebné preveriť či dané nastavenie ochrán vyhovuje a v prípade potreby je možné využiť inú sadu nastavenia ochrany, keďže digitálne ochrany majú štandardne 4 sady, medzi ktorými je možné prepínať.*



# Nastavenie nadprúdových ochrán

## Určenie veľkosti časového koordinačného intervalu $\Delta t$ :

- maximálnymi chybami časového relé,
- dobou vypnutia výkonových vypínačov,
- záložným bezpečnostným časom, ktorý sa volí cca 0.1 s.

## Nastavenie rozbehového prúdu $I_r$ :

- rozbehový prúd relé  $I_r$  musí byť väčším ako  $I_n$ :

$$I_r \geq I_n * \frac{k_b}{k_p * p_i} \quad (1)$$

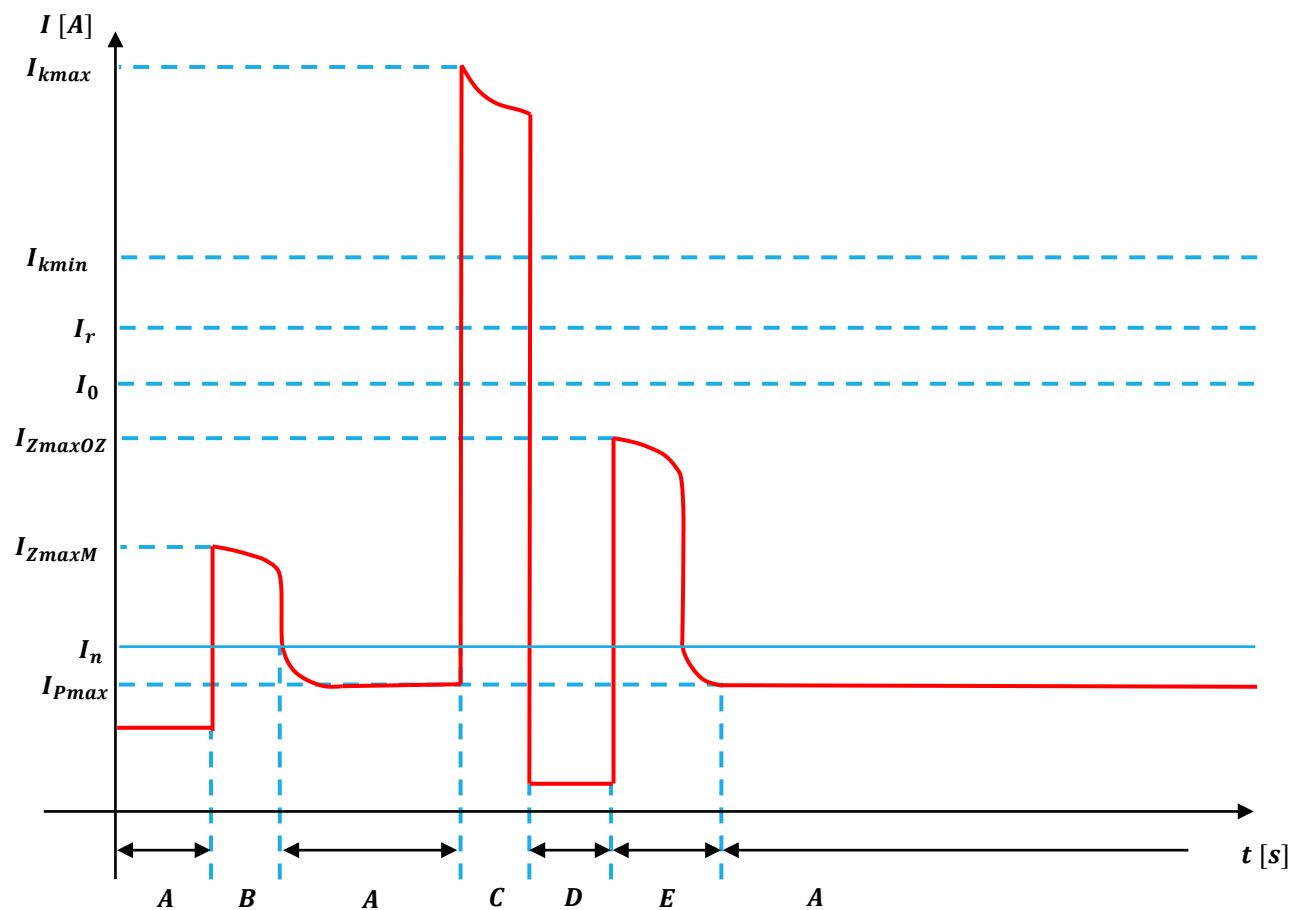
kde  $k_b$  je koeficient bezpečnosti a vyberá sa z intervalu 1.1 až 1.35

$k_p$  je prídržný pomer relé a je udávaný výrobcovi v rozsahu 0.94 až 0.98

$p_i$  je menovitý prevod prúdových transformátorov.



$I_{kmax}$  – maximálny skratový prúd (3f);  $I_{kmin}$  – minimálny skratový prúd;  
 $I_r$  – rozbehový prúd;  $I_0$  – odpadový prúd;  $I_{zmaxOZ}$  – maximálny zapínací prúd pre opätovné zapínanie;  
 $I_{zmaxM}$  – maximálny rozbehový prúd motorov;  $I_n$  – nominálny prúd;  $I_{pmax}$  – maximálny prevádzkový prúd



Obr. 3 Prúdové pomery pri rôznych prevádzkových a poruchových stavoch



# Nastavenie nadprúdových ochrán

Ďalej rozbehový prúd nadprúdového relé musí byť menší ako minimálny vypočítaný skratový prúd  $I_{k2fmin}$  na konci záložného úseku.

$$I_r \leq I_{k2fmin} * \frac{1}{k_c * p_i} \quad (2) \quad k_c = \frac{I_{k2fmin}}{I_r * p_i} \quad (3)$$

kde  $k_c$  je koeficient citlivosti najmenej pre okamžité pôsobiacce 2 a ostatné 1.5

$p_i$  je menovitý prevod prúdových transformátorov.

V prípade, že koeficient citlivosti  $k_c$  vyjde menší ako 1.5 u nadprúdových nezávislých časových ochrán, potom sa citlivosť ochrany zvýši tak, že znížime hodnotu rozbehového prúdu  $I_r$ . Týmto prestavením ochrany bude rozbiehať pri nižších prúdoch.



# Nastavenie nadprúdových ochrán

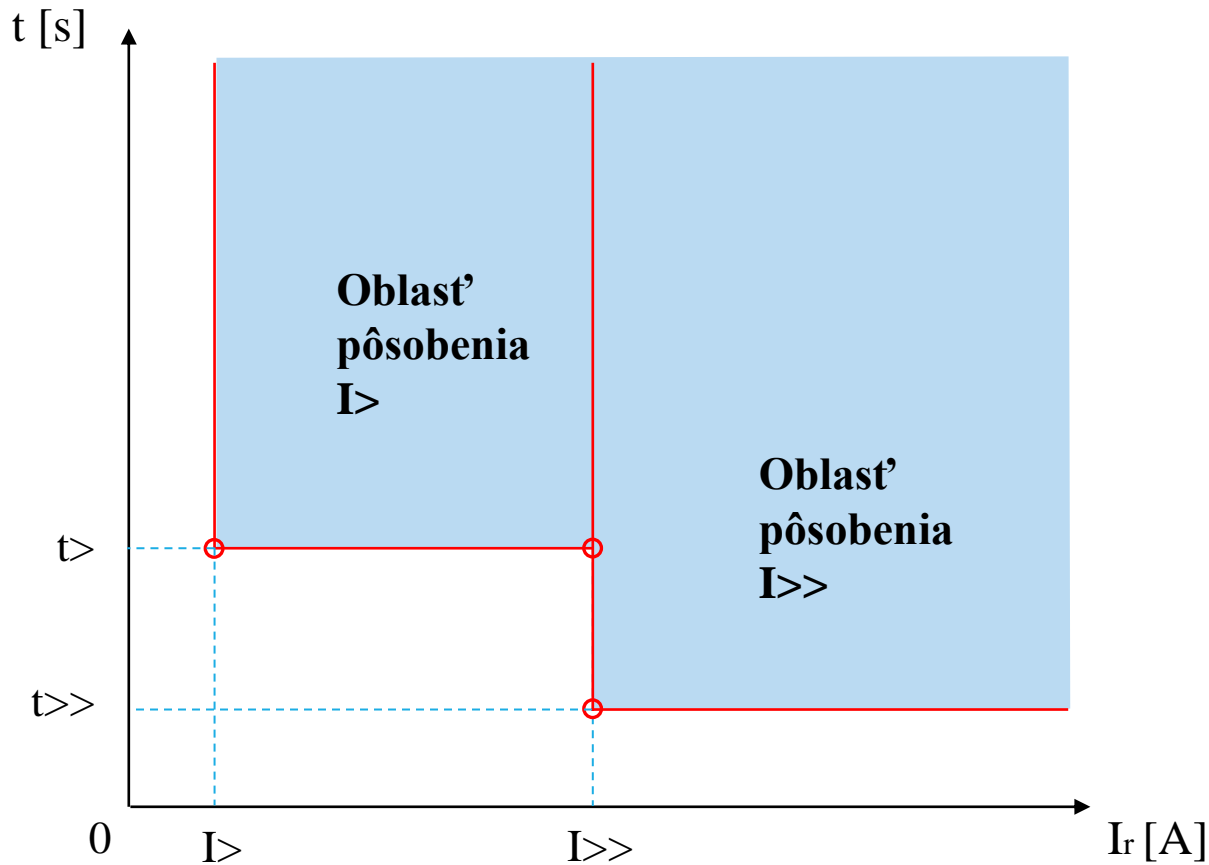
Trojfázový skratový prúd je spravidla najväčší. V prípade skratu v blízkosti transformátora s uzemneným uzlom alebo uzemňovacím transformátorom môže byť jednofázový skratový prúd väčší ako trojfázový. Platí to hlavne pre transformátory so zapojením Yz, Dy a Dz pre uzemnenie vinutia y alebo z na strane nižšieho napätia transformátora. Z tohto dôvodu sa pri výpočte rozbehových skratových prúdov počíta s dvojfázovým skratovým prúdom.

Keďže elektrické zariadenia sa dimenzujú na najvyšší skratový prúd, pričom vo väčšine prípadov je to práve trojfázový skratový prúd. Na rozdiel od vonkajších vedení sa u káblových vedení vyskytujú skoro vo všetkých prípadoch trojfázové skraty, pričom oblúk poruší izoláciu všetkých troch fáz. Dvojfázové skraty na vedeniach môžu spôsobiť zvýšené namáhanie pre jednofázové transformátory, ktoré sa spájajú s trojfázovými prípojnícami.



# Charakteristika nadprúdovej ochrany

$t_{>}$  - časové oneskorenie pre preťaženie;  $t_{>>}$  - časové oneskorenie pre skraty;  $I_{>}$  - prúdové vysunutie pre preťaženie;  $I_{>>}$  - prúdové vysunutie skratové



# Nadprúdová ochrana

- 1 2\*16 znakový LCD displej poskytuje navigáciu, ovládanie relé, údaje a diagnostiku prostredníctvom predvolených správ alebo až 32 prispôsobiteľných správ na displeji
- 2 Programovateľné LED diódy na prednom paneli s používateľsky konfigurovateľnými štítkami upozorňujú obsluhu na poruchu a základné operácie
- 3 Programovateľné tlačidlá obsluhy s užívateľsky konfigurovateľnými štítkami umožňujú prispôbenie predného panela





# Nadprúdová ochrana

- 1 Dotykový kapacitný displej o uhlopriečke 12.7cm a rozlíšení 800x480 ponúka priamu navigáciu prostredníctvom dotykovej obrazovky
- 2 Adresáre a aplikácie poskytujú rýchly prístup k schéme vývodu, meraniu a aktuálnych dátach, hláseniam, nastaveniam a k ostatným funkciám.
- 3 Tlačidlo domov vás vždy ľahko vráti na základnú domovskú obrazovku
- 4 Programovateľné LED diódy na prednom paneli s užívateľsky konfigurovateľnými štítkami upozorňujú obsluhu na poruchu a základné operácie
- 5 Programovateľné tlačidlá obsluhy s užívateľsky konfigurovateľnými štítkami umožňujú prispôsobenie predného panela



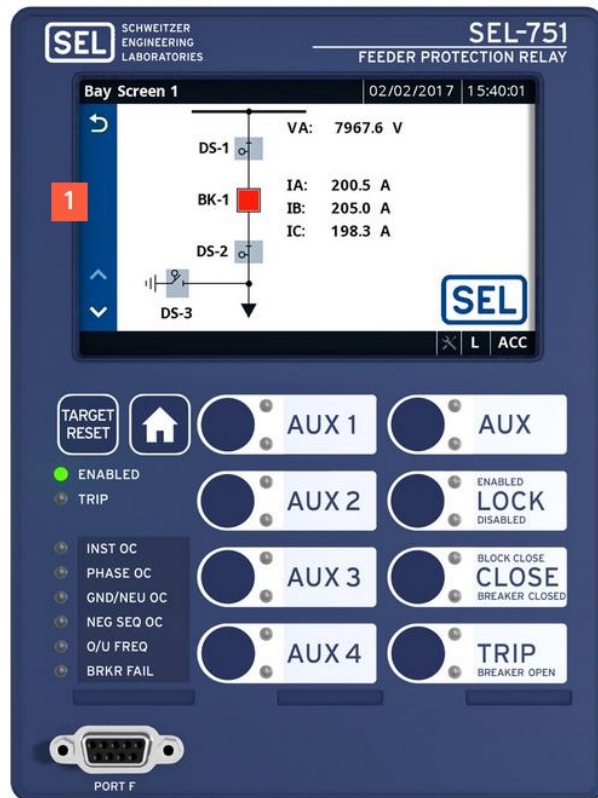
# Nadprúdová ochrana

## 1 Schéma vývodu a ovládanie prvkov

Vyberte si z preddefinovaných schém vývodov alebo si nakonfigurujte až päť vlastných schém vývodu pomocou softvéru acSELeRator® Bay Screen Builder SEL-5036 a softvéru acSELeRator QuickSet® SEL-5030.

Môžete ovládať jeden istič, osem dvojpólohových odpojovačov a dva trojpólohové odpojovače a rovnako je možné zobraziť analógové a digitálne údaje na kontextovom displeji.

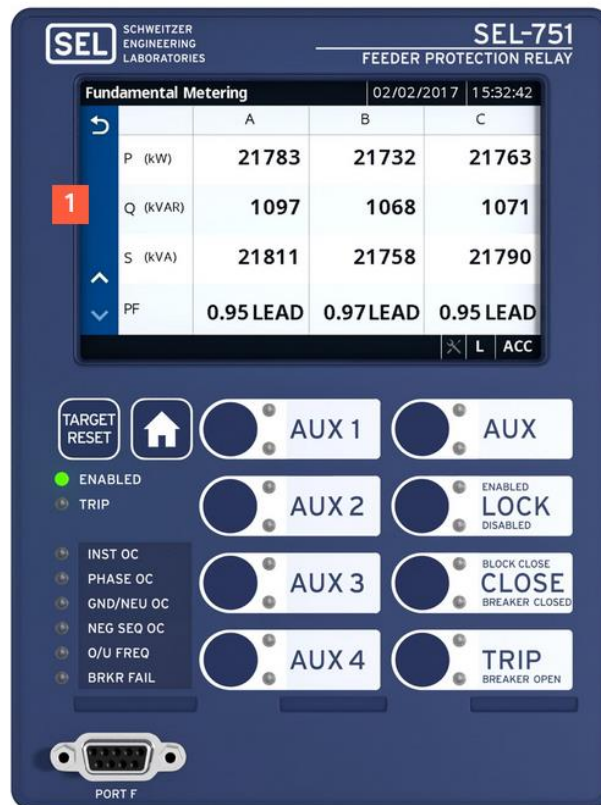
Ak chcete ovládať istič alebo odpojovač, jednoducho klepnite na aplikáciu Bay Screens na domovskej obrazovke a potom na istič alebo odpojovač, ktorý chcete ovládať.



# Nadprúdová ochrana

## 1 Základné meranie

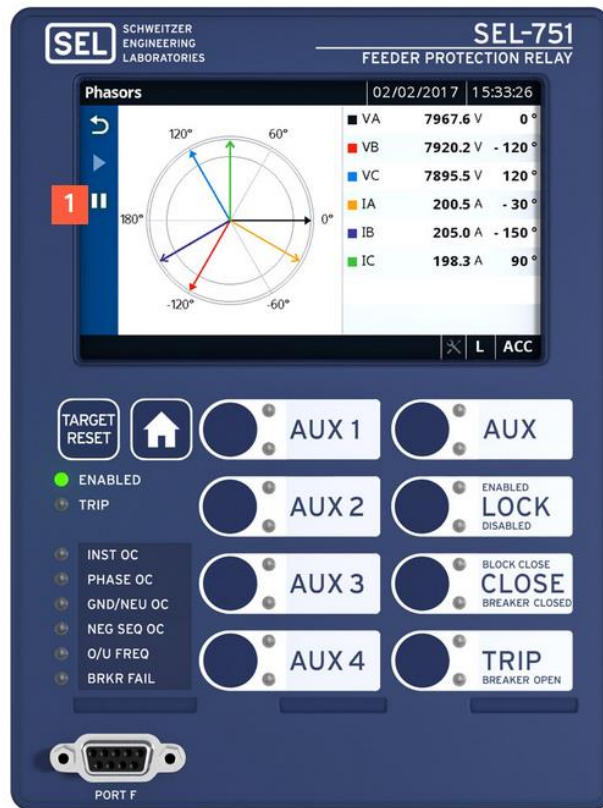
Zobrazuje reálny, jalový a zdanlivý výkon každej fázy v systéme a rovnako zobrazuje aj informácie o účinníku, aby ste zistili, či fázový prúd predbieha alebo zaostáva za fázovým napätím.



# Nadprúdová ochrana

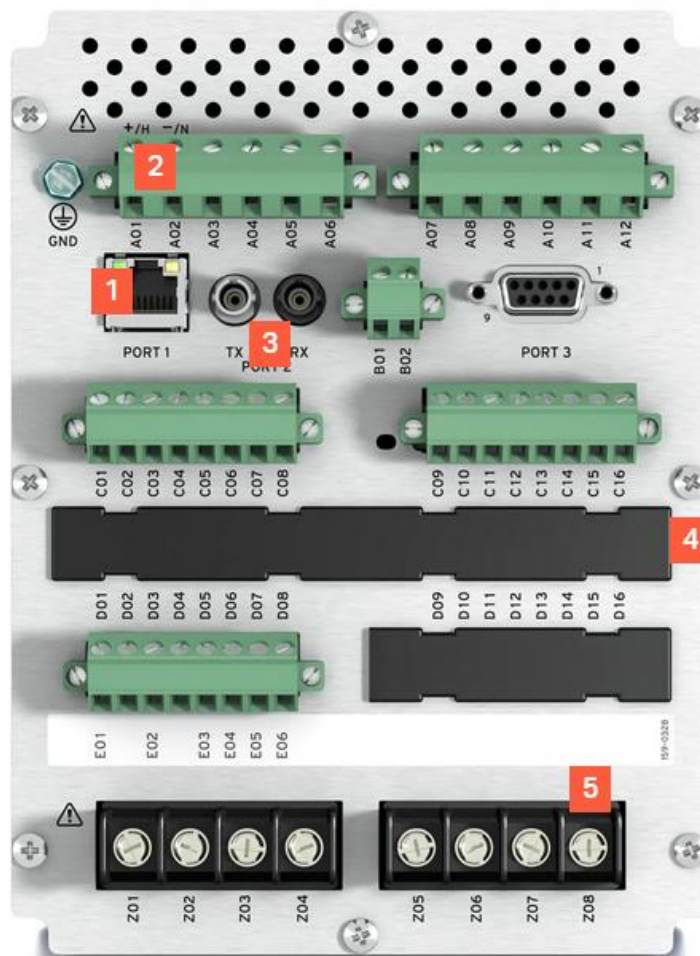
## 1 Zobrazenie meraných fázorov

Zobrazenie grafického a textového znázornenia napätí a prúdov v energetickej sústave v reálnom čase počas vyvážených a nevyvážených podmienok.



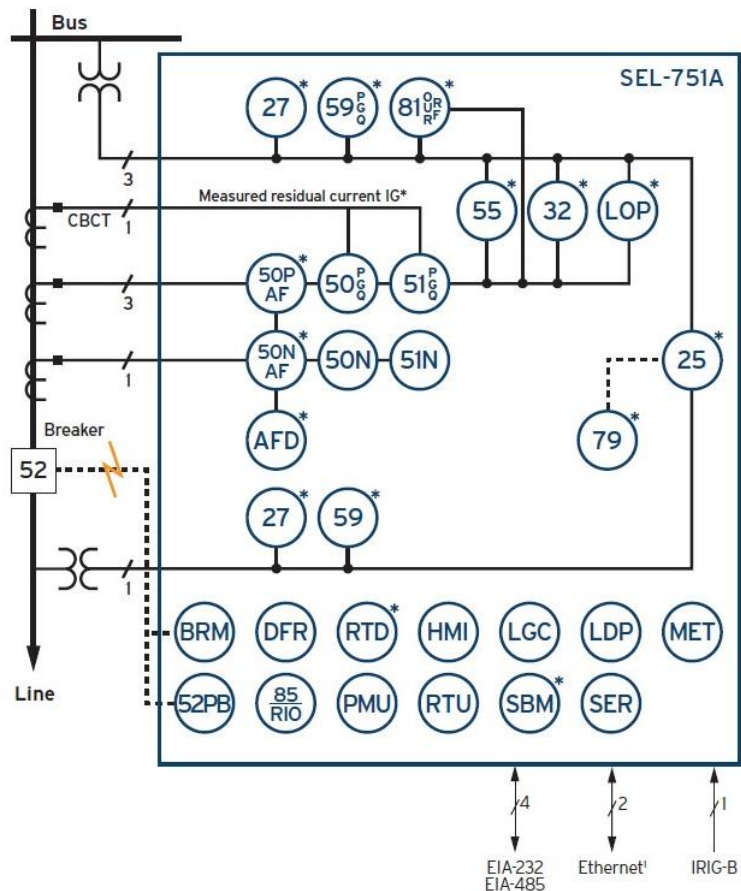
# Nadprúdová ochrana

- 1 Široká škála komunikačných protokolov a médií poskytuje flexibilitu pri komunikácii s inými zariadeniami a riadiacimi systémami
- 2 Možnosť napájania 24 - 48 V DC alebo 110 - 250 V DC/110 - 240 V AC
- 3 Voliteľný optický sériový port poskytuje rýchly a jednoduchý technický prístup
- 4 Sloty na karty obsahujú pozície pre voliteľné vstupy/výstupy, kartu napätového vstupu alebo kartu na detekciu oblúkových výbojov so senzormi, ktoré pomáhajú zvyšovať bezpečnosť a predchádzať škodám.
- 5 Vstupy fázového prúdu a voliteľného fázového napätia sú na jednej karte, čím sa uvoľní miesto pre výber ďalších voliteľných vstupno/výstupných kariet



# Nadprúdová ochrana

Tab. 1 Ochranné funkcie vývodovej ochrany  
SEL-751A



## ANSI Numbers/Acronyms and Functions

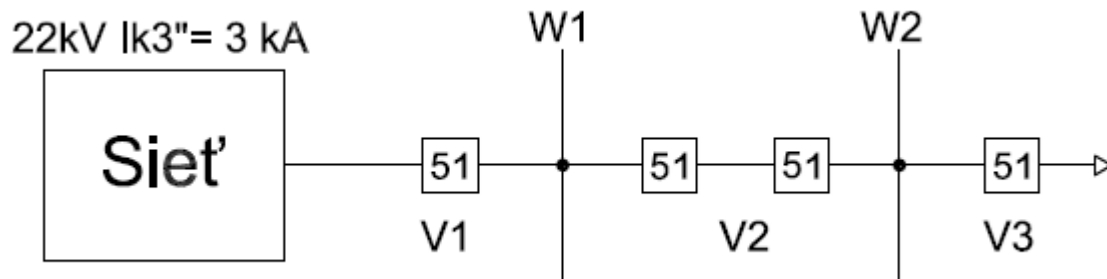
25	Synchronism Check*
27	Undervoltage*
32	Directional Power*
50	Adaptive Overcurrent
50 (P,G,Q)	Overcurrent (Phase, Ground, Neg. Seq.)
50N	Neutral Overcurrent
50N AF	Arc-Flash Neutral Overcurrent*
50P AF	Arc-Flash Phase Overcurrent*
51 (P,G,Q)	Time Overcurrent (Phase, Ground, Neg. Seq.)
51N	Neutral Time Overcurrent
52PB	Trip/Close Pushbuttons
55	Power Factor*
59	Overvoltage*
79	Autoreclosing*
81 (O,U,R,RF)	Over-/Underfrequency (Rate, Fast Rate)*
85 RIO	SEL MIRRORED BITS® Communications
AFD	Arc-Flash Detector*
BRM	Breaker Wear Monitor
DFR	Event Reports
LOP	Loss-of-Potential Logic*

## Additional Functions

HMI	Operator Interface
LDP	Load Data Profiling
LGC	SELogic® Control Equations
PMU	Synchrophasors
RTD	Temperature
RTU	Remote Terminal Unit
SBM	Station Battery Monitor*
SER	Sequential Events Recorder



# Nadprúdová ochrana selektívne vypínanie



## Parametre schémy:

V1: 240 AlFe  $R_{M1} = 0.121\Omega/\text{km}$ ,  $X_{M1} = 0.392\Omega/\text{km}$ ,  $I_N = 579\text{A}$ ,  $l = 5\text{km}$

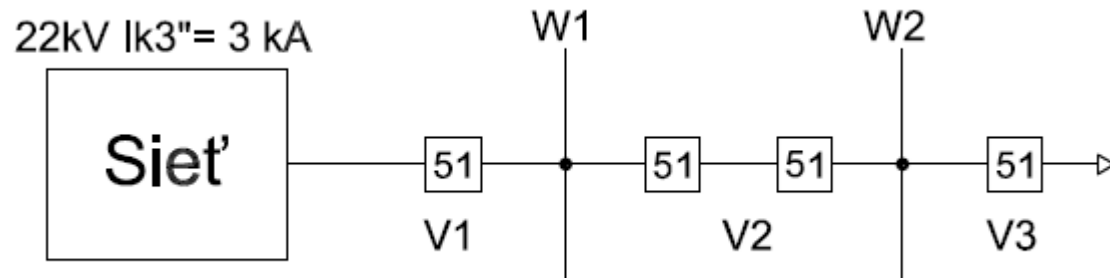
V2: 185 AlFe  $R_{M1} = 0.156\Omega/\text{km}$ ,  $X_{M1} = 0.4\Omega/\text{km}$ ,  $I_N = 486\text{A}$ ,  $l = 3\text{km}$

V3: 185 AlFe  $R_{M1} = 0.156\Omega/\text{km}$ ,  $X_{M1} = 0.4\Omega/\text{km}$ ,  $I_N = 486\text{A}$ ,  $l = 1\text{km}$

Použité PTP = 600A/5A; Uvažujeme s 80% zat'az'ením vedení



# Nadprúdová ochrana selektívne vypínanie



Vypočítané parametre:

Koniec V3

$$Z_{k1\_V3} = (1.6503 + 7.7727i) \Omega; I_{k2\_V3} = 1.3843 \text{ kA}$$

Prípojnice W2

$$Z_{k1\_V2} = (1.4943 + 7.3727i) \Omega; I_{k2\_V2} = 1.4623 \text{ kA}$$

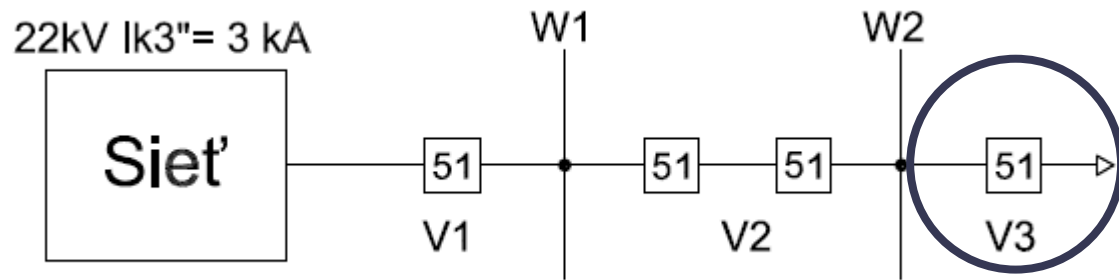
Prípojnice W1

$$Z_{k1\_V1} = (1.0263 + 6.1727i) \Omega; I_{k2\_V1} = 1.7579 \text{ kA}$$





# Nadprúdová ochrana selektívne vypínanie



Vypočítané parametre:

Koniec V3

$$I_{>} = 3.7516 \text{ A} \leq I_{R>} = 4 \text{ A};$$

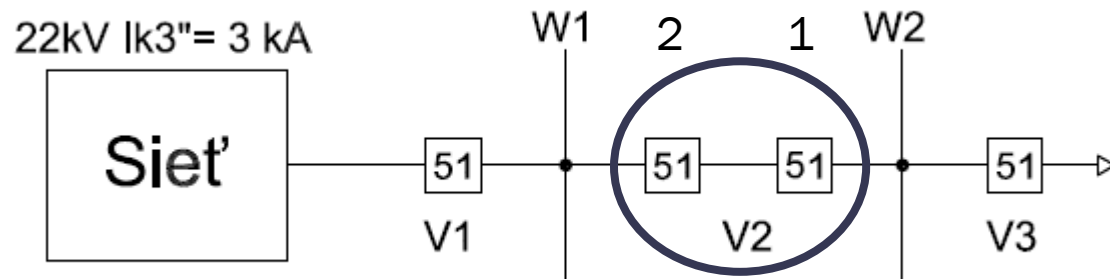
$$I_{>>} = 7.6908 \text{ A} \geq I_{R>>} = 6 \text{ A} > I_{R>} = 4 \text{ A}$$

$$t_{>} = 0.35 \text{ s}$$

$$t_{>>} = 0.1 \text{ s}$$



# Nadprúdová ochrana selektívne vypínanie



Vypočítané parametre:

Prípojnice W2

$$I_{>} = 4A < I_{R>} = 5A \text{ \& } 6A$$

$$I_{>>} = 8.1236A \geq I_{R2>>} = 8A > I_{R1>} = 7A$$

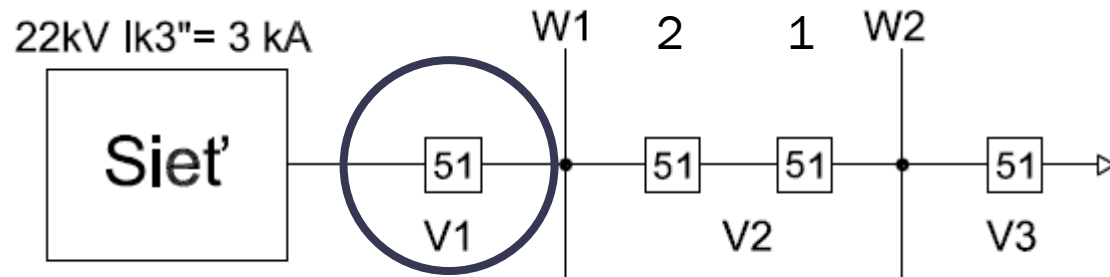
$$t_{1>} = 0.55s; t_{2>} = 0.75s; t_{2>} > t_{1>}$$

$$t_{1>>} = 0.15s; t_{2>>} = 0.2s; t_{2>>} > t_{1>>}$$

$$\begin{aligned} I_{R>} &= 4A; \\ t_{>} &= 0.35s \\ I_{R>>} &= 6A; \\ t_{>>} &= 0.1s \end{aligned}$$



# Nadprúdová ochrana selektívne vypínanie



$IR_{1>} = 5A;$   
 $IR_{2>} = 6A$   
 $t_{1>} = 0.55s$   
 $t_{2>} = 0.75s$   
 $IR_{1>>} = 7A;$   
 $IR_{2>>} = 8A;$   
 $t_{1>>} = 0.15s$   
 $t_{2>>} = 0.2s$

$IR_{>} = 4A;$   
 $t_{>} = 0.35s$   
 $IR_{>>} = 6A;$   
 $t_{>>} = 0.1s$

Vypočítané parametre:

Prípojnice W1

$I_{>} = 6A < IR_{>} = 7A$

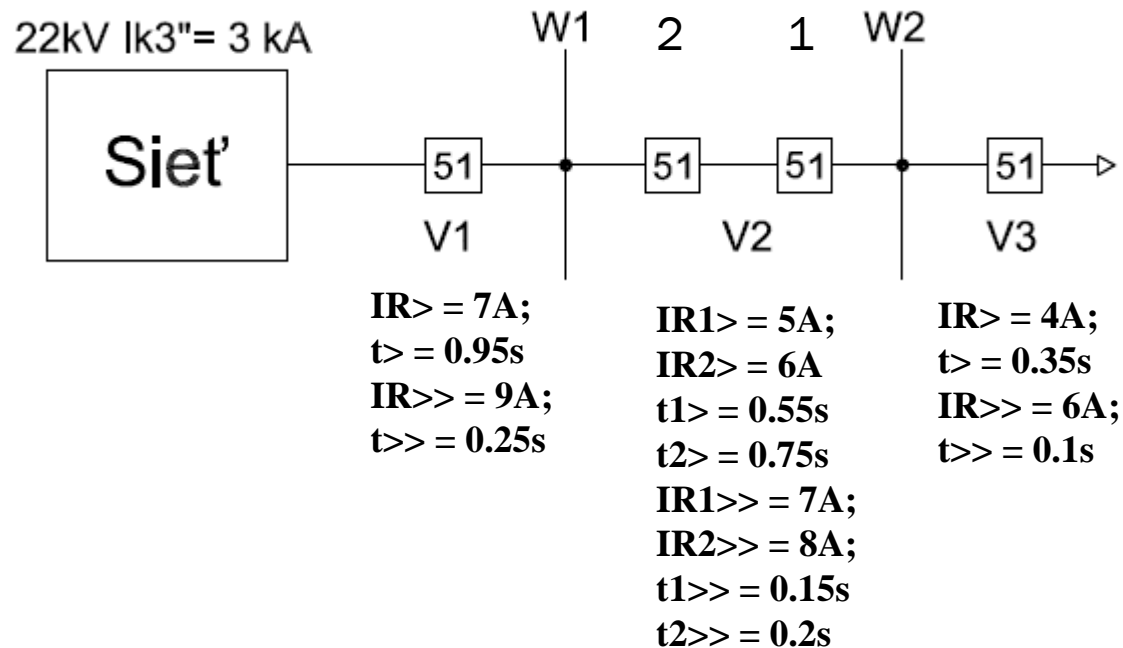
$I_{>>} = 9.7661A \geq IR_{3>>} = 9A > IR_{2>} = 8A$

$t_{3>} = 0.95s; t_{3>} > t_{2>}$

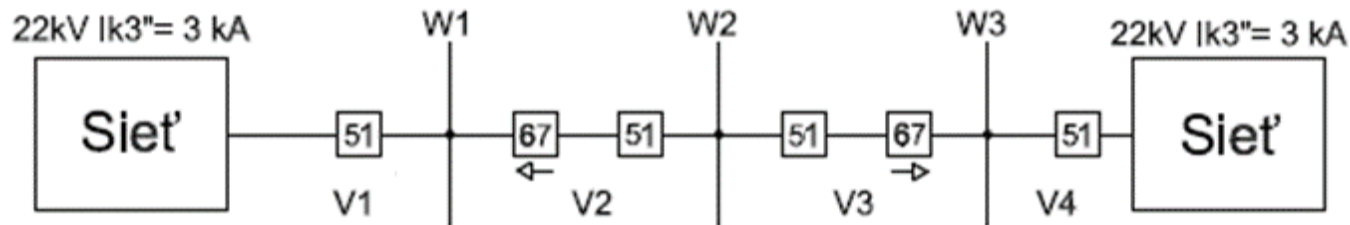
$t_{3>>} = 0.25s; t_{3>>} > t_{2>>}$



# Nadprúdová ochrana selektívne vypínanie



# Nadprúdová ochrana selektívne vypínanie



## Parametre schémy:

V1: 240 AlFe  $R_{M1} = 0.121\Omega/\text{km}$ ,  $X_{M1} = 0.392\Omega/\text{km}$ ,  $I_N = 579\text{A}$ ,  $l = 5\text{km}$

V2: 185 AlFe  $R_{M1} = 0.156\Omega/\text{km}$ ,  $X_{M1} = 0.4\Omega/\text{km}$ ,  $I_N = 486\text{A}$ ,  $l = 3\text{km}$

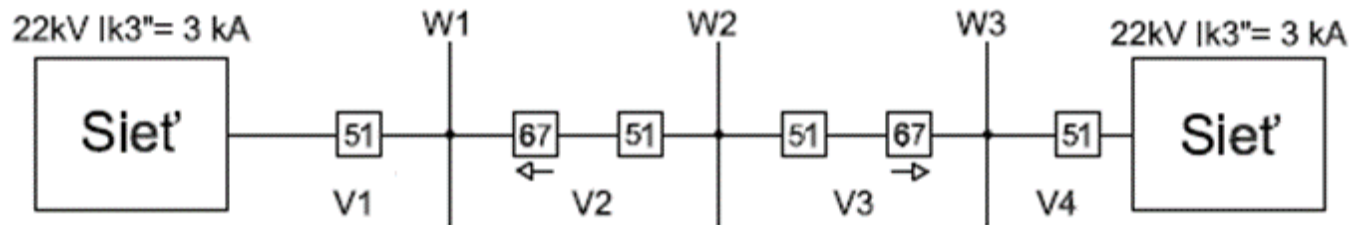
V3: 185 AlFe  $R_{M1} = 0.156\Omega/\text{km}$ ,  $X_{M1} = 0.4\Omega/\text{km}$ ,  $I_N = 486\text{A}$ ,  $l = 1\text{km}$

V4: 240 AlFe  $R_{M1} = 0.121\Omega/\text{km}$ ,  $X_{M1} = 0.392\Omega/\text{km}$ ,  $I_N = 579\text{A}$ ,  $l = 5\text{km}$

Použitie PTP = 600A/5A; Uvažujeme s 80% zat'azžením vedení



# Nadprúdová ochrana selektívne vypínanie



Vypočítané parametre:

Prípojnice W1

$$Z_{k1\_w1\_prava} = (1.6503 + 7.7727i) \Omega; I_{k2\_W1\_prava} = 1.3843 \text{ kA}$$

$$Z_{k1\_w1\_lava} = (1.0263 + 6.1727i) \Omega; I_{k2\_W1\_lava} = 1.7579 \text{ kA}$$

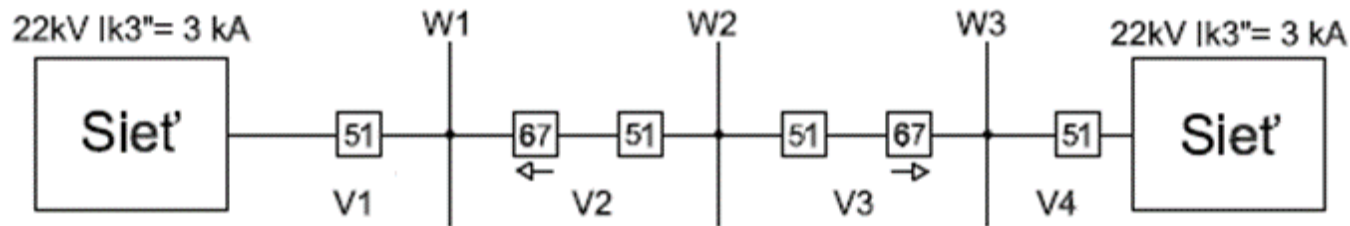
Prípojnice W2

$$Z_{k1\_w2\_prava} = (1.1823 + 6.5727i) \Omega; I_{k2\_W2\_prava} = 1.6471 \text{ kA}$$

$$Z_{k1\_w2\_lava} = (1.4943 + 7.3727i) \Omega; I_{k2\_W2\_lava} = 1.4623 \text{ kA}$$



# Nadprúdová ochrana selektívne vypínanie



Vypočítané parametre:

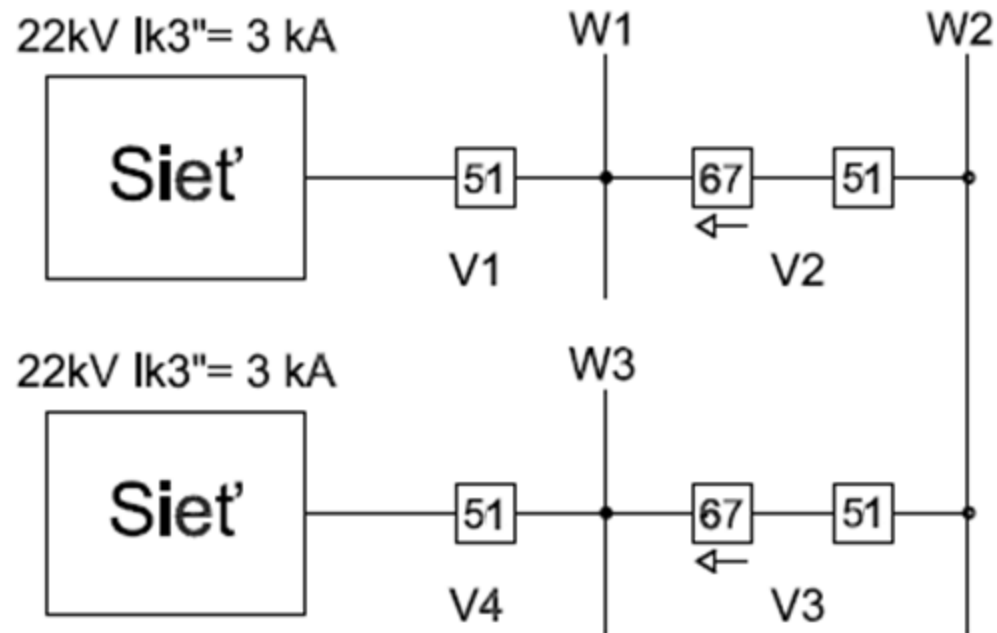
Prípojnice W3

$Z_{k1\_w1\_prava} = (1.0263 + 6.1727i) \Omega$ ;  $I_{k2\_W1\_prava} = 1.7579 \text{ kA}$

$Z_{k1\_w1\_lava} = (1.6503 + 7.7727i) \Omega$ ;  $I_{k2\_W1\_lava} = 1.3843 \text{ kA}$

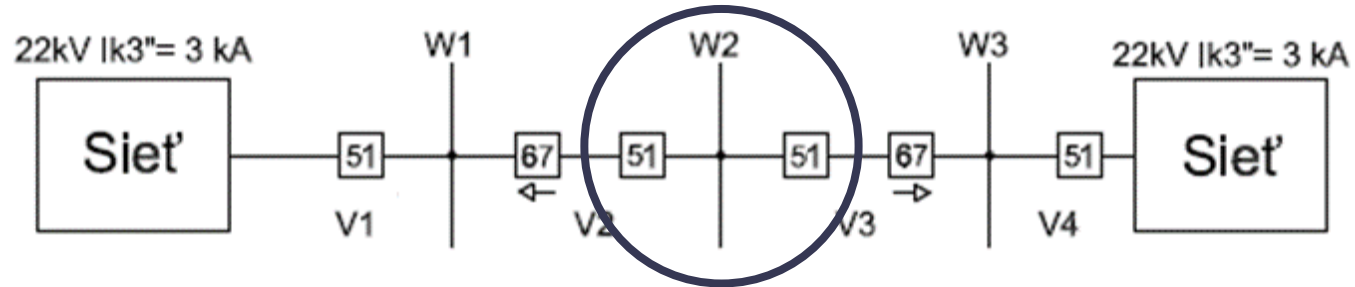


# Nadprúdová ochrana selektívne vypínanie





# Nadprúdová ochrana selektívne vypínanie



Vypočítané parametre:

W2\_ľava

$$I_{>} = 3.7516A \leq I_{R>} = 4A;$$

$$I_{>>} = 8.1236A \geq I_{R>>} = 6A > I_{R>} = 4A$$

$$t_{>} = 0.35s$$

$$t_{>>} = 0.1s$$

Vypočítané parametre:

W2\_prava

$$I_{>} = 3.7516A \leq I_{R>} = 4A;$$

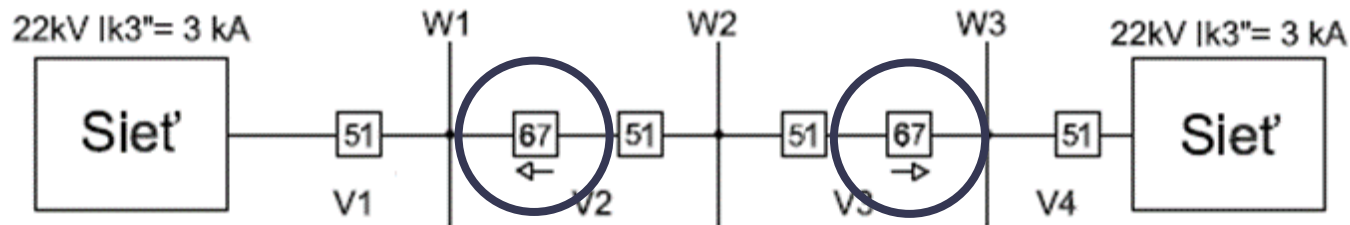
$$I_{>>} = 9.1508A \geq I_{R>>} = 6A > I_{R>} = 4A$$

$$t_{>} = 0.35s$$

$$t_{>>} = 0.1s$$



# Nadprúdová ochrana selektívne vypínanie



Vypočítané parametre:

W1\_prava

$$I_{>>} = 7.6908A \geq IR_{>>} = 7A > IR_{W2}> = 6A$$

$$t_{>>} = 0s$$

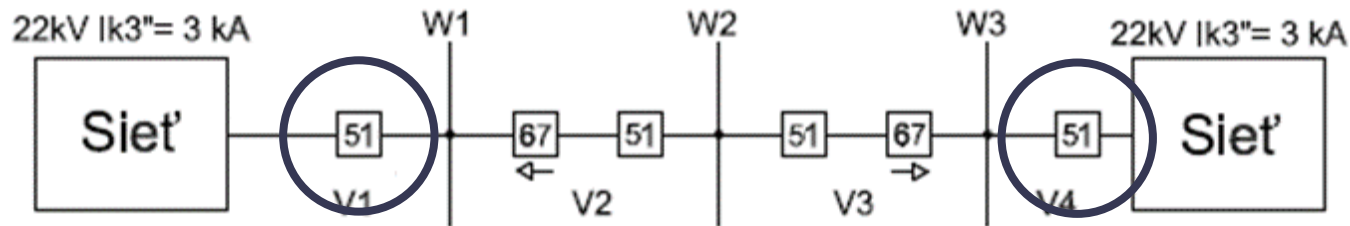
W3\_lava

$$I_{>>} = 7.6908A \geq IR_{>>} = 7A > IR_{W2}> = 6A$$

$$t_{>>} = 0s$$



# Nadprúdová ochrana selektívne vypínanie



Vypočítané parametre:

W1\_ľava

$$I_{>} = 4.4695\text{A} \leq I_{R>} = 5\text{A};$$

$$I_{>>} = 9.7661\text{A} \geq I_{R>>} = 8\text{A} > I_{R>} = 6\text{A}$$

$$t_{>} = 0.55\text{s}$$

$$t_{>>} = 0.2\text{s}$$

Vypočítané parametre:

W3\_prava

$$I_{>} = 4.4695\text{A} \leq I_{R>} = 5\text{A};$$

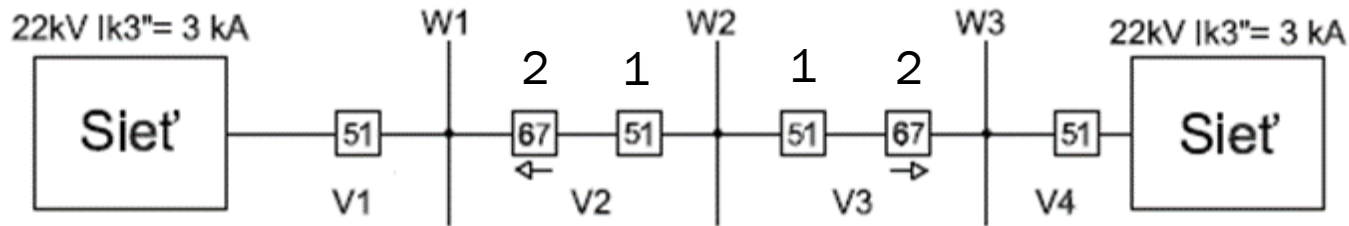
$$I_{>>} = 9.7661\text{A} \geq I_{R>>} = 8\text{A} > I_{R>} = 6\text{A}$$

$$t_{>} = 0.55\text{s}$$

$$t_{>>} = 0.2\text{s}$$



# Nadprúdová ochrana selektívne vypínanie



$I_{R>} = 5A;$

$t_{>} = 0.55s$

$I_{R>>} = 8A;$

$t_{>>} = 0.2s$

$I_{R1>} = 4A;$

$t_{1>} = 0.35s$

$I_{R1>>} = 6A;$

$I_{R2>>} = 7A;$

$t_{1>>} = 0.1s$

$t_{2>>} = 0s$

$I_{R1>} = 4A;$

$t_{1>} = 0.35s$

$I_{R1>>} = 6A;$

$I_{R2>>} = 7A;$

$t_{1>>} = 0.1s$

$t_{2>>} = 0s$

$I_{R>} = 5A;$

$t_{>} = 0.55s$

$I_{R>>} = 8A;$

$t_{>>} = 0.2s$



# *Teória ochrán – rozdielové ochrany*



# Teória ochrán – rozdielové ochrany

Ochrany porovnávacie – pracujú na princípe porovnávania nameraných fyzikálnych veličín na vstupe a výstupe chráneného úseku alebo objektu. Z názvu samotnej skupiny ochrán je zrejmé, že ide o porovnanie dvoch nameraných veličín z dvoch miest, ktoré sa väčšinou merajú na začiatku a konci chráneného úseku alebo objektu.

Aby si porovnávacie ináč nazývané rozdielové ochrany mohli porovnať tieto veličiny medzi vstupom a výstupom musia sa prepojiť pomocným vedením. Tento typ zapojenia je pre dané ochrany typickým znakom. Ak je chránený úsek alebo objekt vnútri tejto časti bez poruchy, sú hodnoty porovnávacích veličín rovnaké. Pri rozdielnych porovnávacích hodnotách, ochrana vyhodnocuje či sa porucha nachádza vnútri chránenej oblasti a pri vnútornej poruche dáva impulz k vypnutiu. *Porovnávacie ochrany monitorujú iba svoj ochránený objekt alebo úsek, nepotrebujú sa časovo prispôbiť ďalším ochranám a patria ku základným rýchlym ochranám.*



Diferenciálna rozdielová ochrana má za úlohu citlivo a selektívne chrániť elektrické stroje. Najčastejšie sú to transformátory, generátory alebo veľké motory. V súčasnosti sa už bežne používajú diferenciálne ochrany pre vedenia.

Rozdielové ochrany sa pomerne dosť často používajú na ochranu alternátorov, a to ako ochrany rotorov a ochrany statorov. Rozdielové ochrany sa zapájajú pred a za vinutie. Z tohto dôvodu je potrebné, aby mal generátor vyvedený uzol statorového vinutia.

Výpočet prevádzkových charakteristík vychádza z meracích chýb, ktoré ovplyvňujú jednotlivé odchýlky jednotlivých použitých zariadení. Preto je potrebné mať informácie o všetkých použitých zariadeniach, teda úplné informácie o prevádzke a parametre všetkých použitých prístrojov.

Pre každý prístrojový transformátor prúdu platia rovnaké princípy, ako pre bežný transformátor pričom pri funkcii v lineárnom rozsahu sú odchýlky minimálne v závislosti od typu CT. Chybovosť významne narastá hlavne v saturačnom rozsahu, kedy sú odchýlky nepresnosti merania vysoké. Kompenzácia takýchto chýb sa počíta ako suma všetkých poruchových faktorov.



Výpočet celkového chybového prúdu:

$$I_{d2} = PT_{chyby} + \text{budiaci prúd} + TR_{chyby} + \text{bezpečnostná rezerva} + \text{chyby relé} \quad (4)$$

$$I_{d2} = 2 * 5\% + 1\% + 5\% + 5\% + 5\% = 26\%$$

Výpočet nastavenia prvého sklonu:

$$SLP_1 = PT_{chyby} + \text{budiaci prúd} + TR_{chyby} + \text{bezpečnostná rezerva} + \text{chyby relé} \quad (5)$$

$$SLP_1 = 2 * 7\% + 1\% + 5\% + 5\% + 5\% = 30\%$$

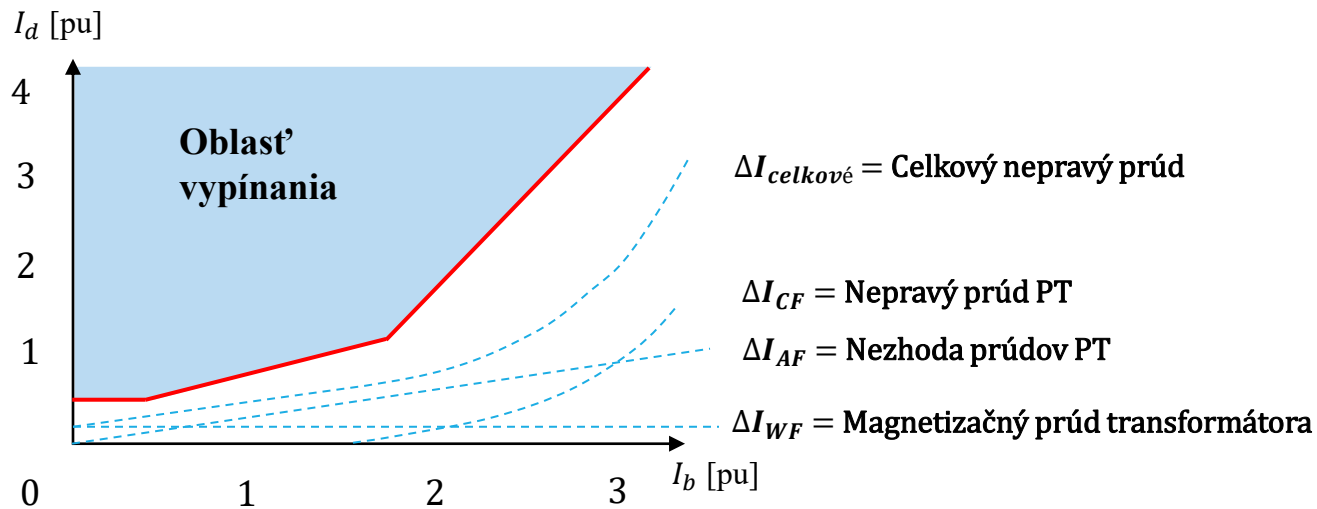
Výpočet nastavenia druhého sklonu:

$$SLP_2 = 2 * SLP_1 = 60\% \quad (6)$$

Pre zaistenie bezpečnosti pri vysokých poruchových prúdoch mimo chránenej zóny môže dôjsť k saturácii PT. Z tohto dôvodu sa odporúča nastavenie sklonu zdvojnásobeným prvého.







Obr. 4 Charakteristika pôsobenia rozdielovej ochrany

Zvyšné chýbajúce body sa vypočítajú podľa vzťahu:

$$SLP_x = \frac{I_{di} - I_{di-1}}{I_{bi} - I_{bi-1}} \quad (7)$$

Kompenzačný činiteľ PT TAP sa vypočítajú podľa vzťahu:

$$TAP = \frac{S \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{L-L}} * PT = \frac{10.5 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 11} * \frac{5}{600} = 4.592 \quad (8)$$

Kontrola správneho dimenzovania PT sa vypočítajú podľa vzťahu:

$$\frac{TAP_{max}}{TAP_{min}} \leq 7.5 \quad (9)$$



# Rozdielová ochrana

**1** LED diódy na prednom paneli upozorňujú obsluhu na poruchu a na základné operácie

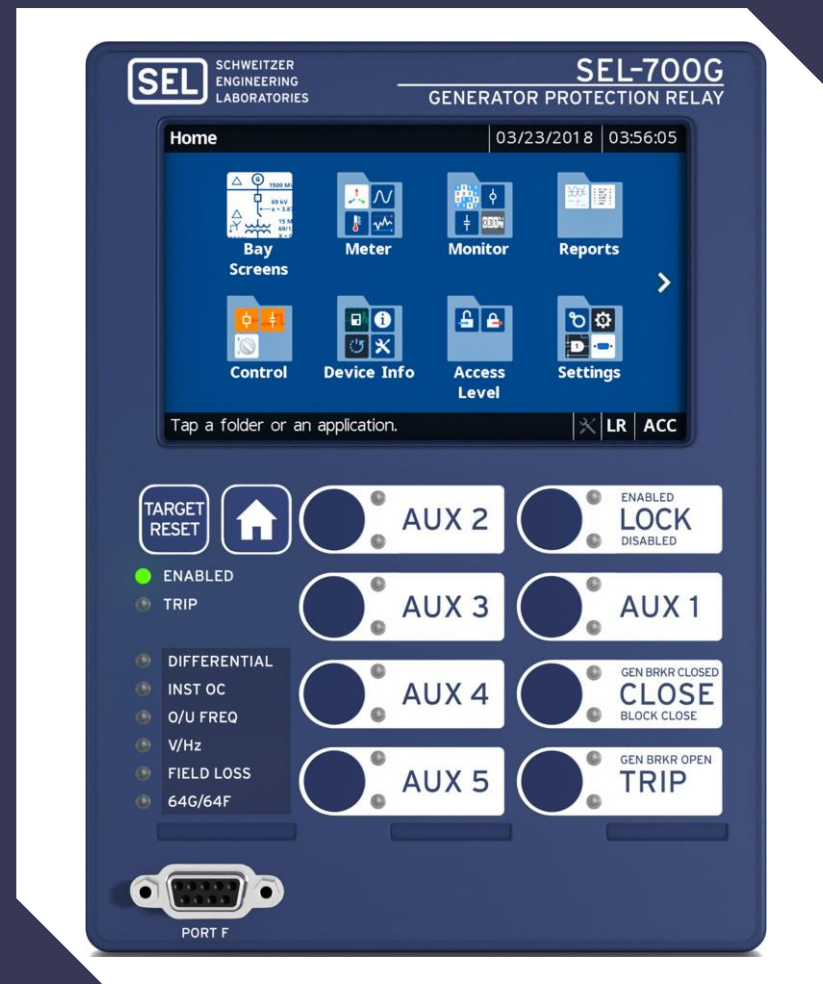
**3** Tlačidlá pre ovládanie rozdielovej ochrany

**2** 2\*16 znakový LCD displej poskytuje navigáciu, ovládanie relé, údaje a diagnostiku prostredníctvom predvolených správ alebo až 32 prispôbitelných správ na displeji



# Rozdielová ochrana

- 1 Sloty na karty obsahujú pozície pre vstupy/výstupy
- 2 Široká škála komunikačných protokolov a médií poskytuje flexibilitu pri komunikácii s inými zariadeniami a riadiacimi systémami
- 3 Štítok označujúci povolené napájacie napätie pre rozdielové relé
- 4 Sloty na kartu napätového a prúdového vstupu



# Teória ochrán – rozdielové ochrany

## Faktory ovplyvňujúce saturáciu PT:

- *Zvyškový magnetizmus v jadre PT*
- *Nesúlad charakteristík PT*
- *Preťaženie obvodu PT*

*Zlomový bod sa určuje pre stabilizačný prúd  $I_b$  v rozsahu 1.5 až 2.5 pre zabezpečenie stability a citlivosti chráneného úseku.*

*Určuje koniec prvého sklonu a začiatok druhého sklonu v operačnej charakteristike.*

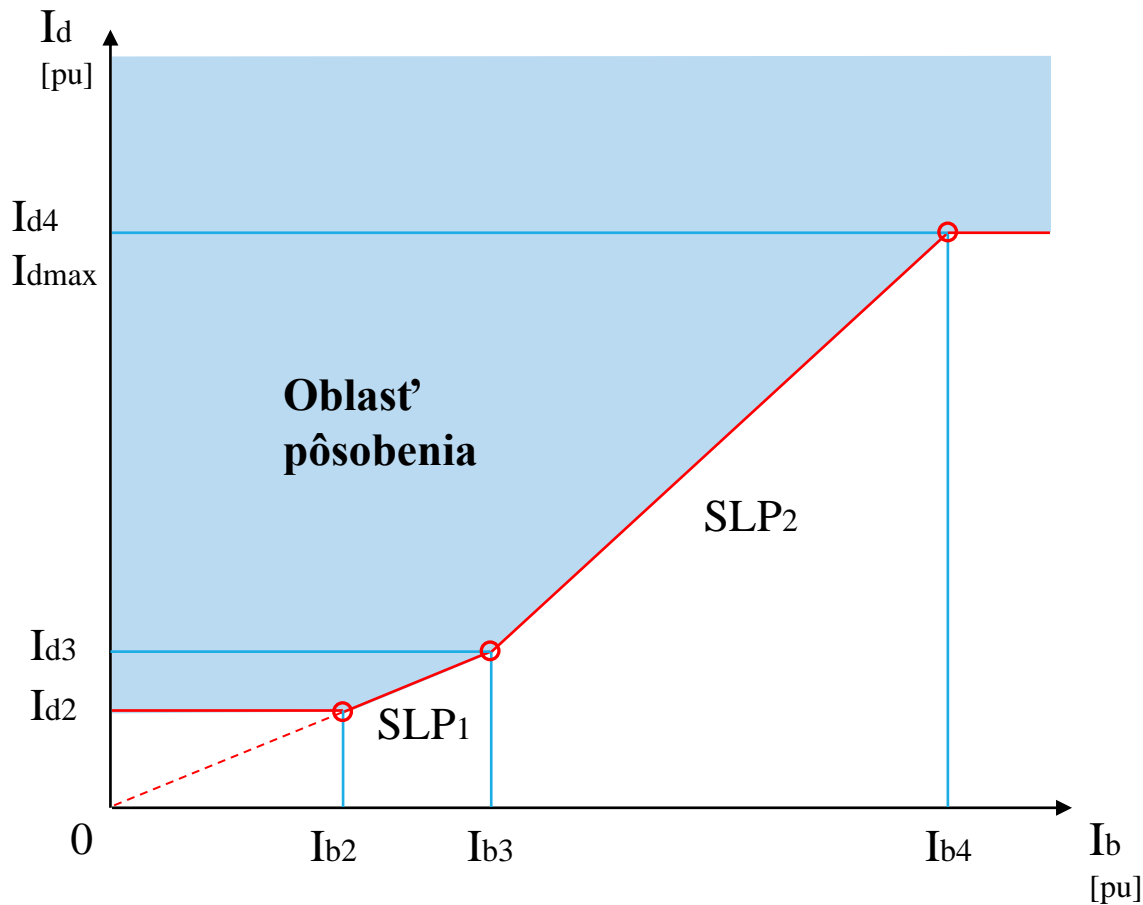
*Horné obmedzenie rozdielového prúdu  $I_{dmax}$  sa volí v rozsahu 8 až 10.*



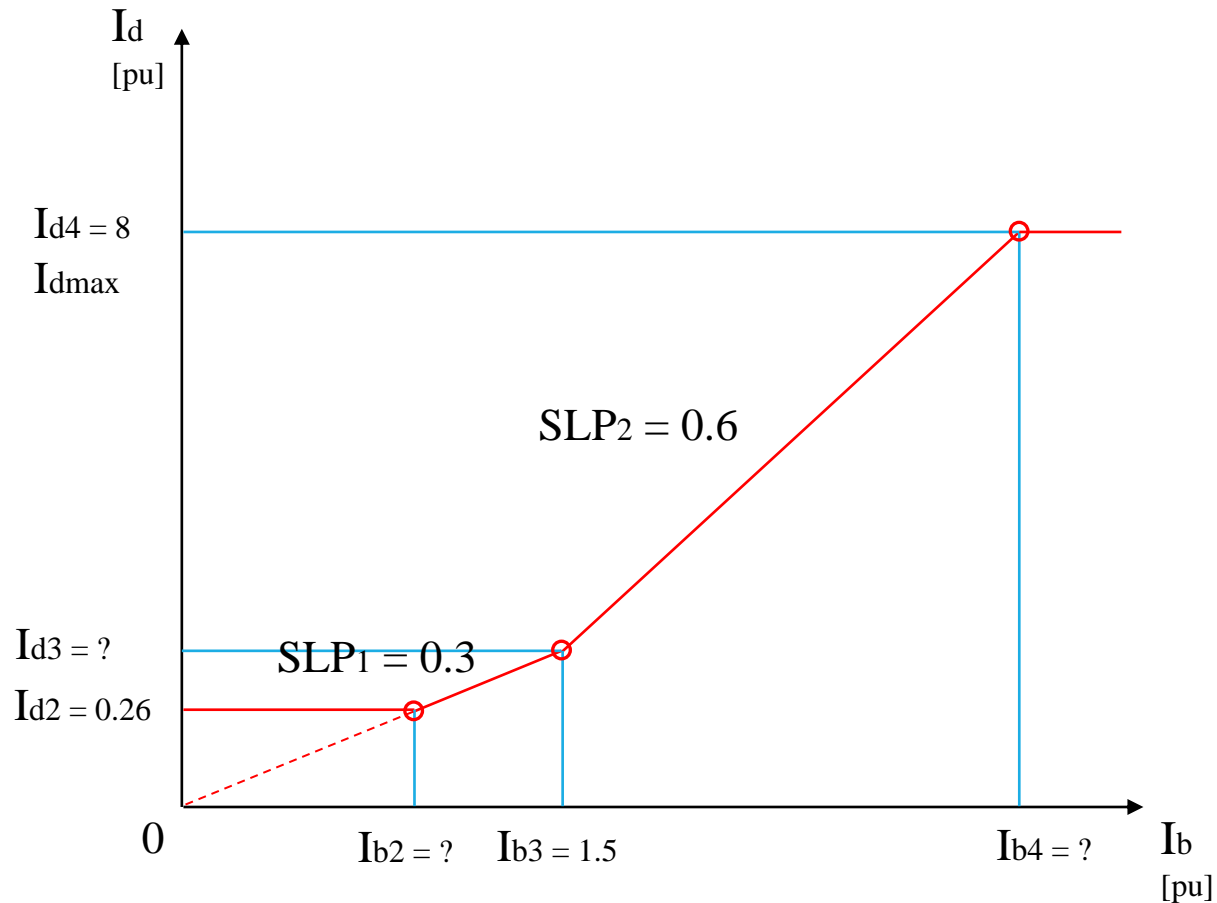
# Charakteristika rozdielovej ochrany

$I_{S^*}$  – prúd sekundárnej strany PTP

$$I_d = |\overline{I_{1S^*}} * TAP + \overline{I_{2S^*}} * TAP| \quad (9) \quad I_b = \frac{|\overline{I_{1S^*}} * TAP| + |\overline{I_{2S^*}} * TAP|}{2} \quad (10)$$

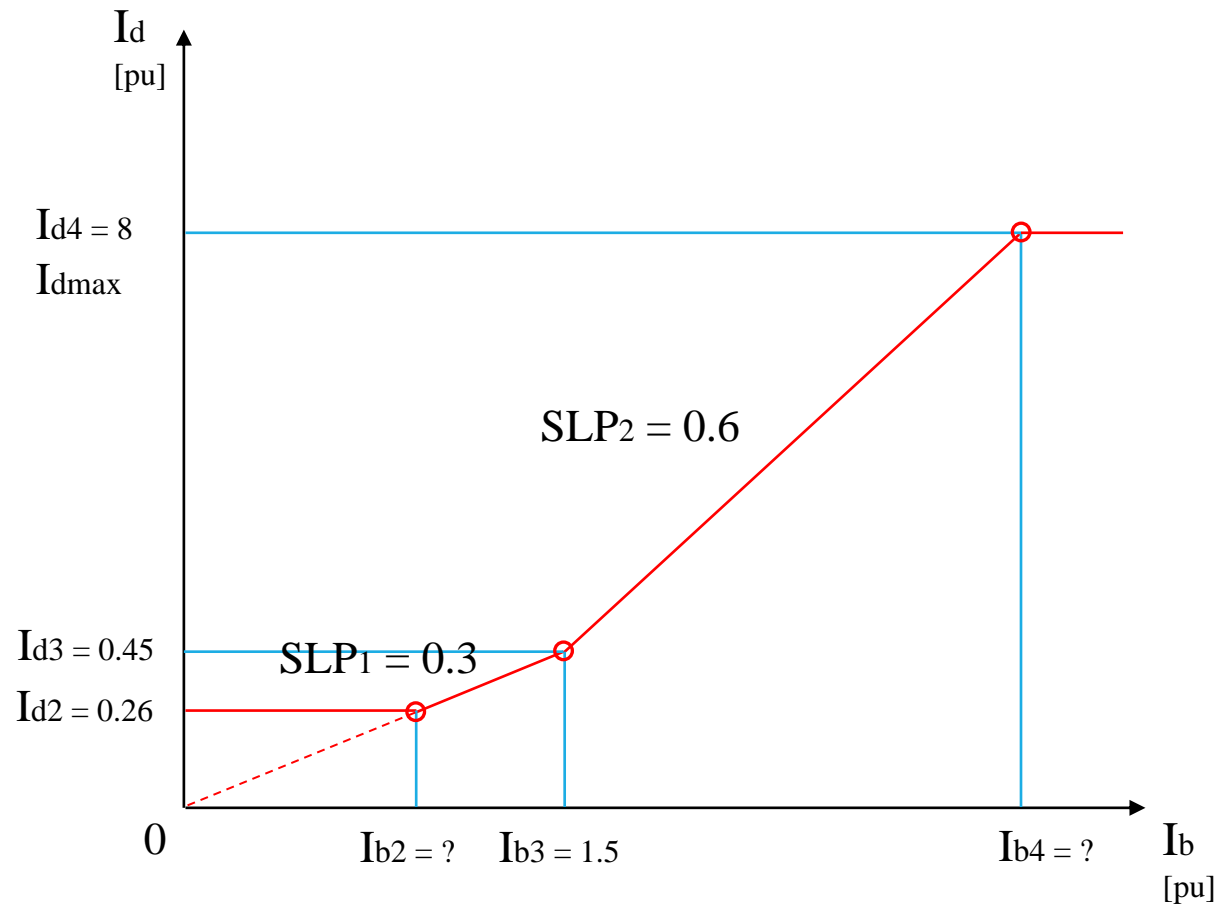


# Charakteristika rozdielovej ochrany



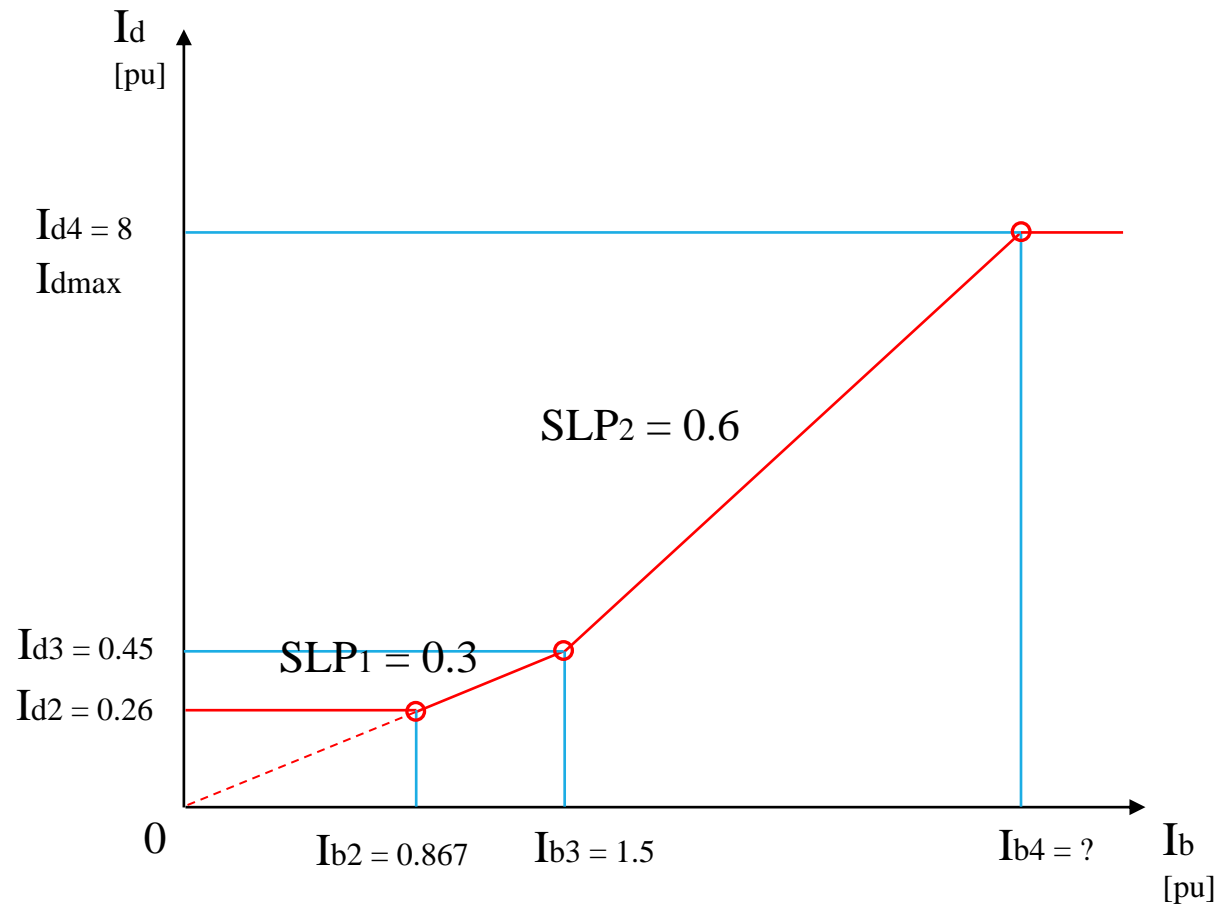
# Charakteristika rozdielovej ochrany

$$0.3 = \frac{I_{d3} - 0}{1.5 - 0} \Rightarrow I_{d3} = 0.3 * 1.5 = 0.45$$



# Charakteristika rozdielovej ochrany

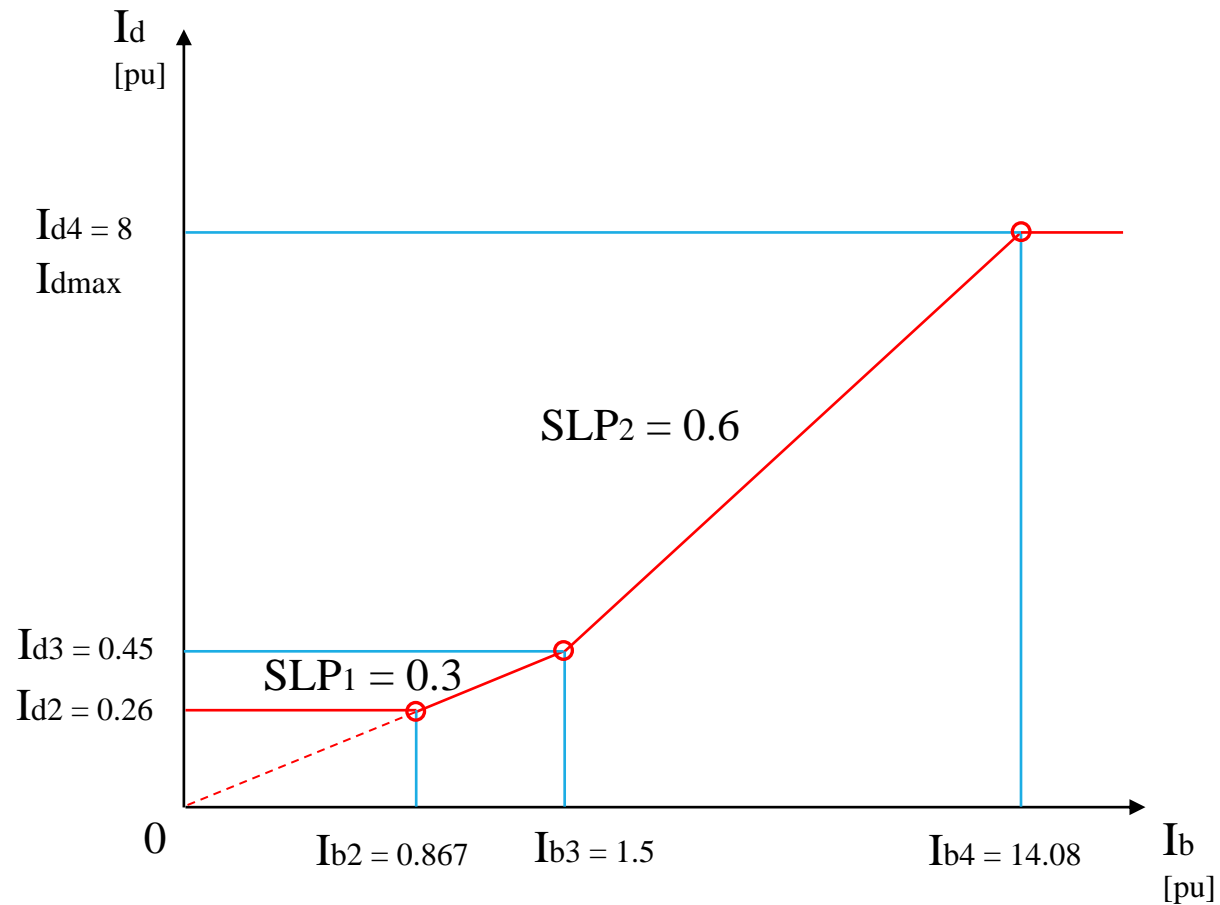
$$0.3 = \frac{0.45 - 0.26}{1.5 - I_{b2}} \Rightarrow I_{d2} = (0.45 - 0.19) / 0.3 = 0.867$$



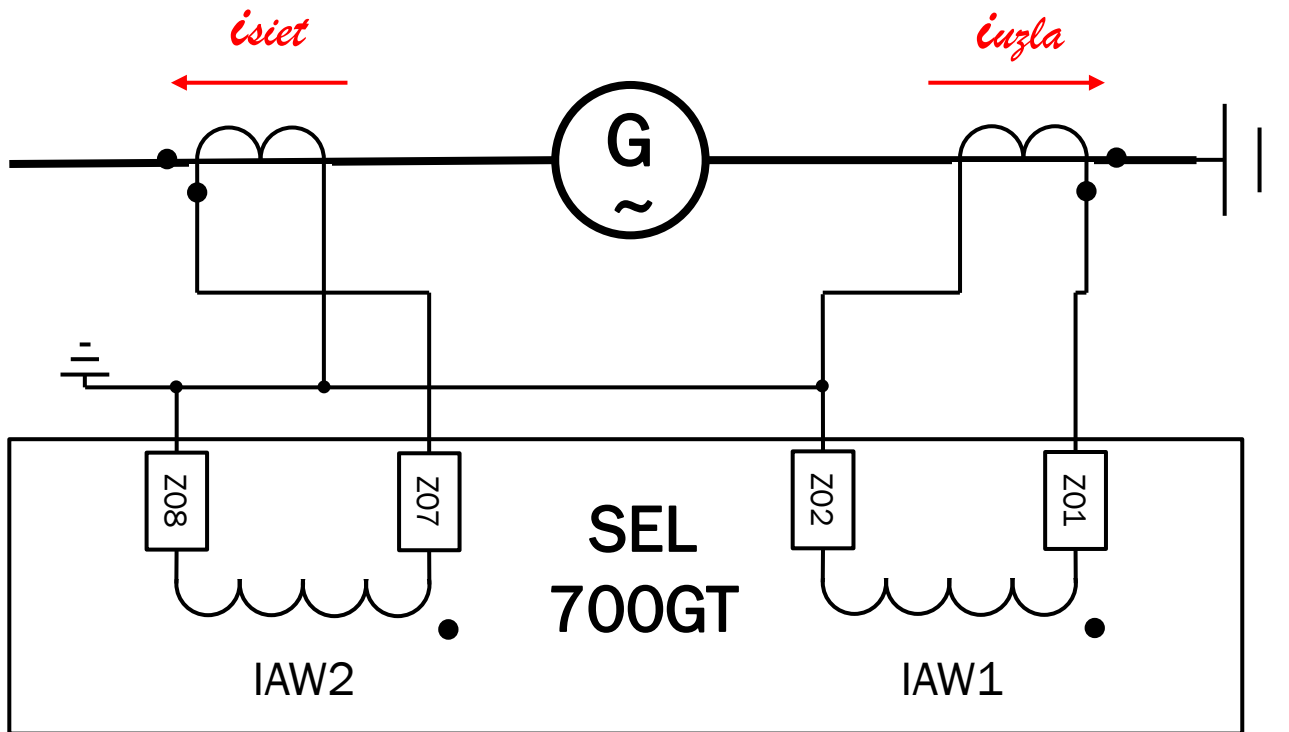


# Charakteristika rozdielovej ochrany

$$0.6 = \frac{8 - 0.45}{I_{b4} - 1.5} \Rightarrow I_{b4} = (7.55 + 0.9) / 0.6 = 14.08$$

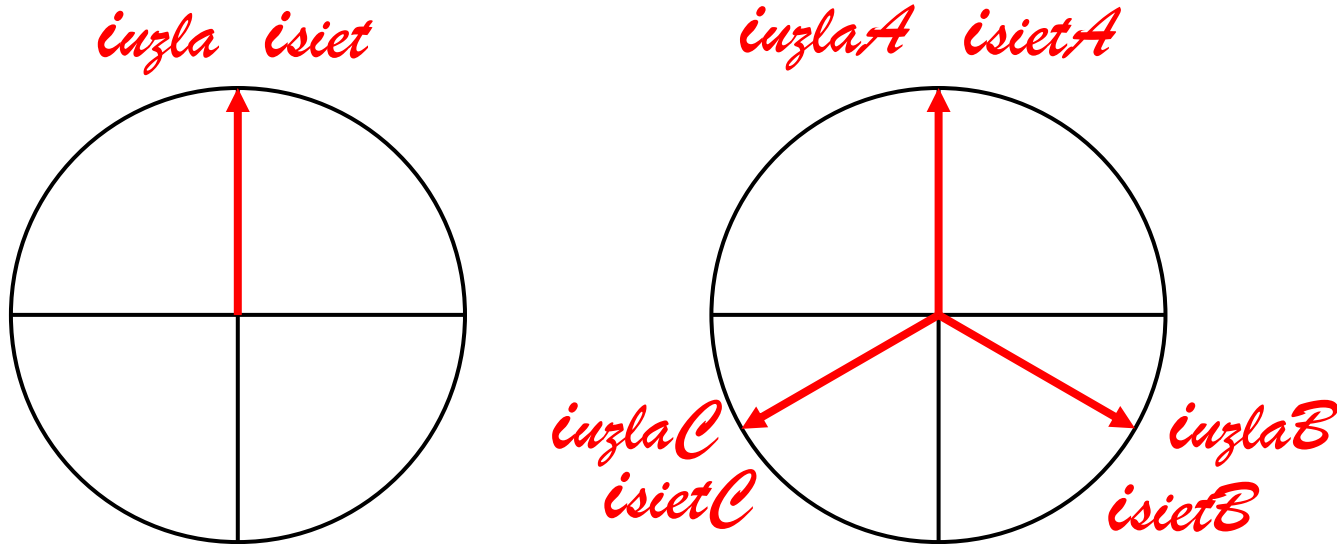


# Rozdielová ochrana generátora



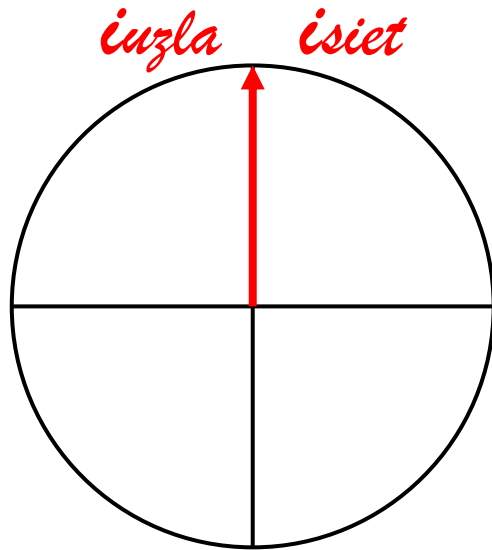
# Rozdielová ochrana generátora

Vektorové zobrazenie prúdov  $G$

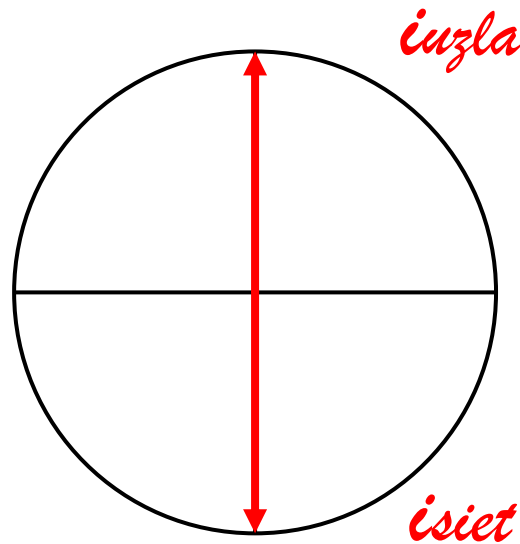


# Rozdielová ochrana generátora

*QuickCMC test*



Test stability

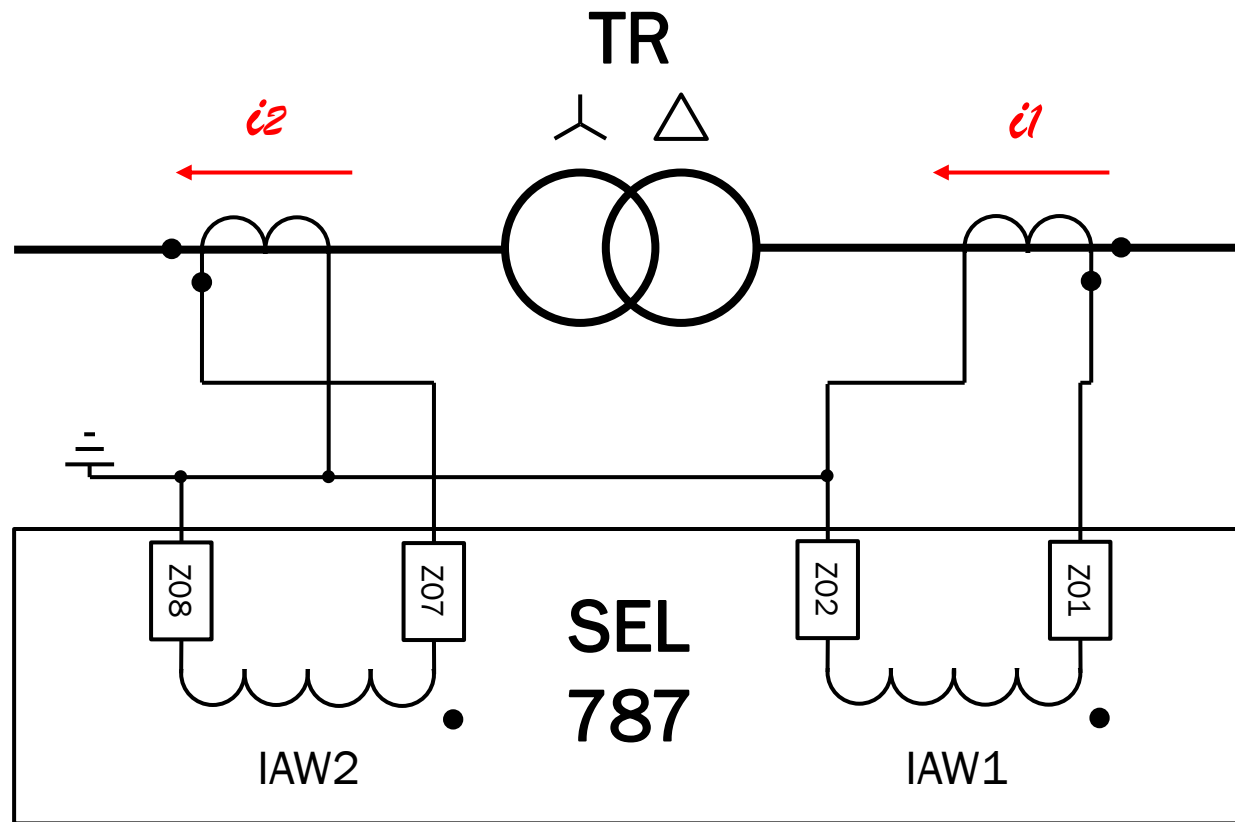


Test nestability

*Uhol vektora závisí od zapojenia testovacieho zariadenia k ochrane a od samotného zariadenia.*

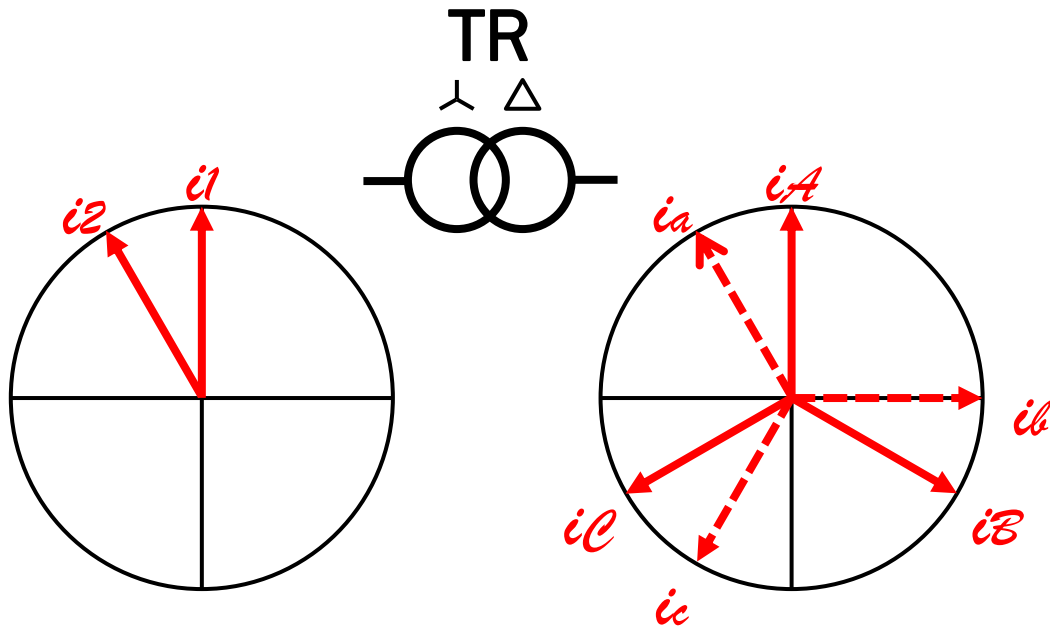


# Rozdielová ochrana transformátora



# Rozdielová ochrana transformátora

Vektorové zobrazenie prúdov TR

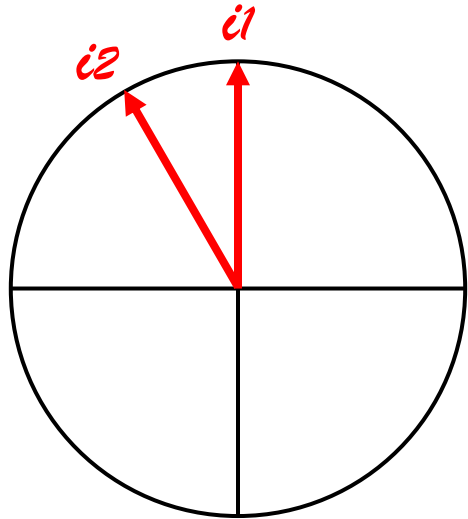


Hodinový uhol transformátora Dyn11

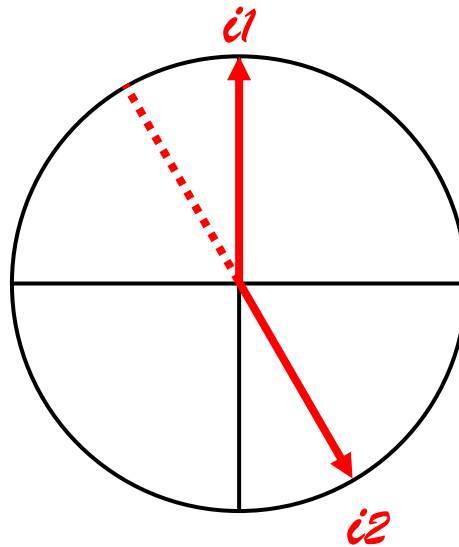


# Rozdielová ochrana transformátora

QuickCMC test



Test nestability



Test stability

*Uhol vektora závisí od zapojenia testovacieho zariadenia k ochrane a od samotného zariadenia.*



# Rozdielová ochrana generátora

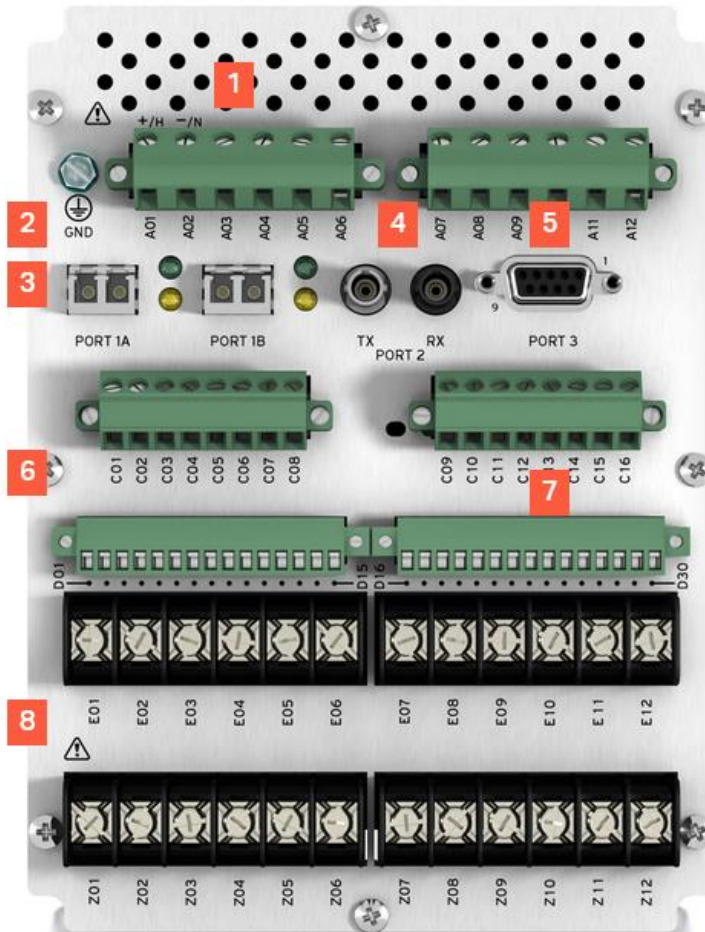
- 1 Veľký 2\*16 znakový LCD displej
- 2 Predvolené správy alebo až 32 prispôsobiteľných štítkov na displeji informujú personál o udalostiach v energetickom systéme alebo o stave relé
- 3 Programovateľné trojfarebné LED diódy na prednom paneli
- 4 Programovateľné tlačidlá a štítky
- 5 Používateľsky konfigurovateľná súprava
- 6 Dve programovateľné trojfarebné LED diódy na tlačidlo





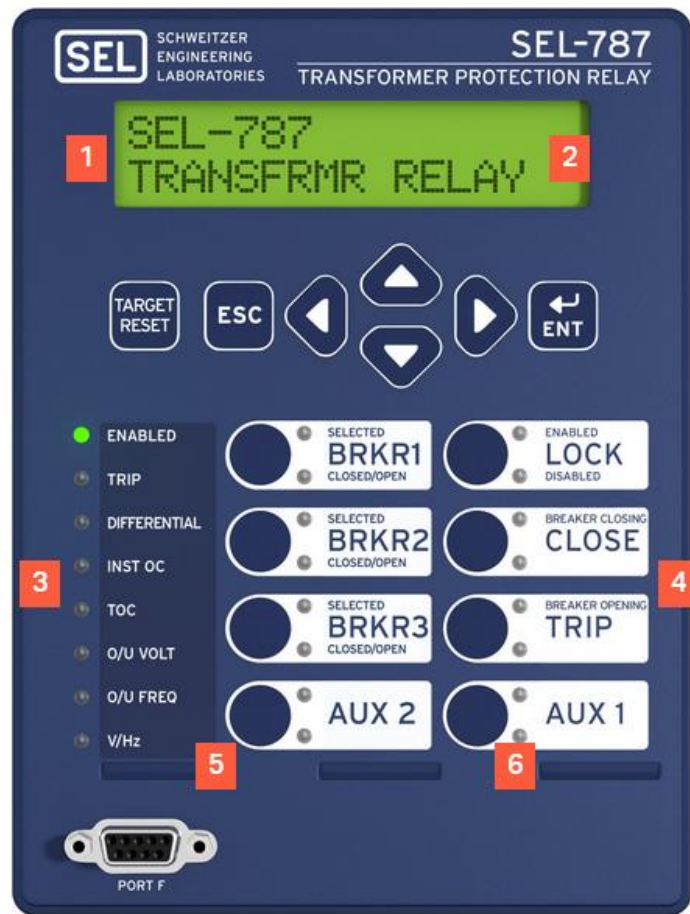
# Rozdielová ochrana generátora

- 1 Možnosti napájania 110 - 250 V DC/110 - 240 V AC alebo 24 - 48 V DC
- 2 Integrovaný webový server umožňuje priamy prenos meracích a monitorovacích údajov bez potreby externého počítačového softvéru
- 3 Široká škála komunikačných protokolov a médií poskytuje flexibilitu pri komunikácii s inými zariadeniami a riadiacimi systémami
- 4 Optický sériový port
- 5 Zrkadlenie bitov poskytuje rýchlu a spoľahlivú komunikáciu medzi relé
- 6 Pozícia pre voliteľné rozširujúce karty
- 7 Voliteľné vstupy odporových detektorov teploty
- 8 Vstupy transformátorov prúdu a fázových transformátorov napätia sú umiestnené na jednej karte, čo umožňuje viac vstupov/výstupov pre iné sloty



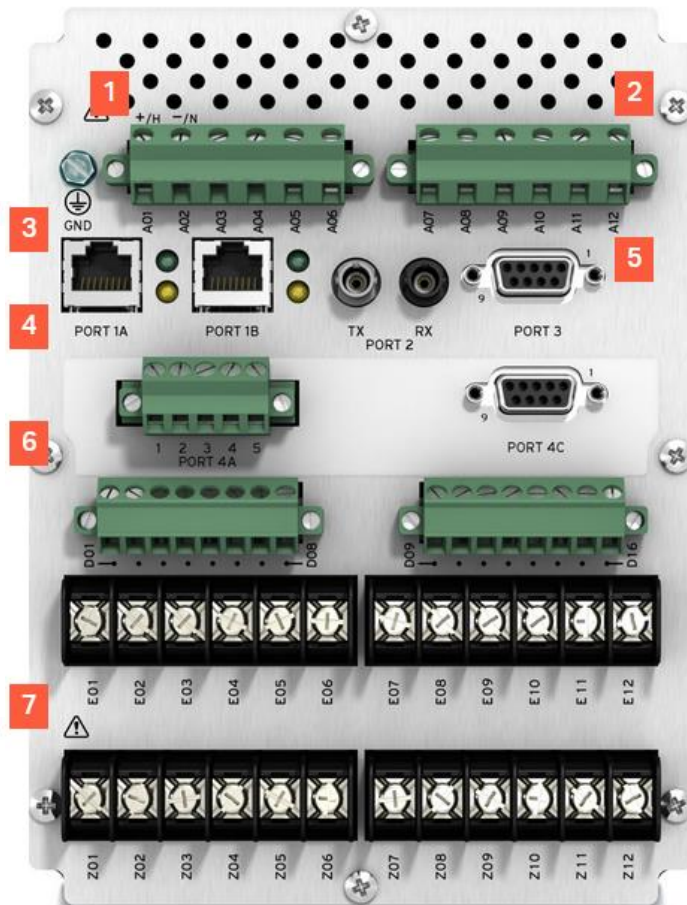
# Rozdielová ochrana transformátora

- 1 Veľký 2\*16 znakový LCD displej
- 2 Predvolené správy alebo až 32 prispôsobiteľných štítkov na displeji informujú personál o udalostiach v energetickom systéme alebo o stave relé
- 3 Programovateľné trojfarebné LED diódy na prednom paneli
- 4 Programovateľné tlačidlá a štítky
- 5 Používateľsky konfigurovateľná súprava
- 6 Dve programovateľné trojfarebné LED diódy na tlačidlo



# Rozdielová ochrana transformátora

- 1 Možnosti napájania 110 - 250 V DC/110 - 240 V AC alebo 24 - 48 V DC
- 2 2 digitálne vstupy a 3 digitálne výstupy
- 3 Široká škála komunikačných protokolov a médií poskytuje flexibilitu pri komunikácii s inými zariadeniami a riadiacimi systémami
- 4 Integrovaný webový server umožňuje priamy prenos meracích a monitorovacích údajov
- 5 Sériový port EIA-232 a optický sériový port EIA-232 so vstupom IRIG-B
- 6 Pozícia pre voliteľné rozširujúce karty
- 7 Pozície pre možnosti prúdu a napätia



# *Teória ochrán – frekvenčná ochrana*



# Teória ochrán – frekvenčná ochrana

Pre chránenie dôležitého globálneho parametra, ako je frekvencia je potrebné pri zmenách frekvencie použiť frekvenčnú ochranu (81).

## Podfrekvenčná ochrana (81U):

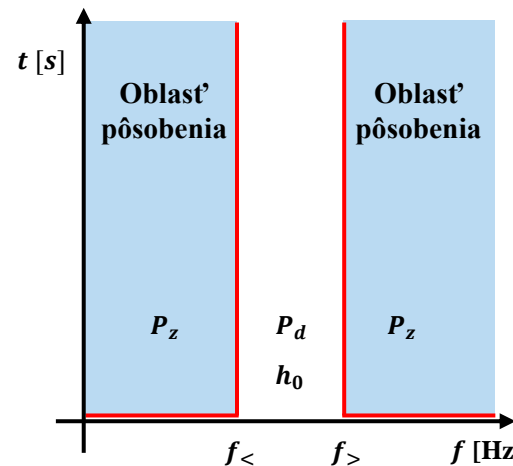
- Rozsah nastavenia: 45 – 50 Hz

## Nadfrekvenčná ochrana (81O):

- Rozsah nastavenia: 50 – 55 Hz

## Nastavenie frekvenčnej ochrany (81):

- Podfrekvenčná (81U):  $f_{<} = 48 \text{ Hz}$ ;  $t_{>} = 0.1 \text{ s}$
- Nadfrekvenčná (81O):  $f_{>} = 52 \text{ Hz}$ ;  $t_{>} = 0.1 \text{ s}$



Obr. 5 Charakteristika pôsobenia frekvenčnej ochrany

$P_d$  - dovolená oblasť  
 $P_z$  - zakázaná oblasť  
 $h_0$  - hranica pôsobenia  
 $t_{>}$  - časové oneskorenie



*Teória ochrán –  
nadpät'ová/podpät'ová ochrana*



# Teória ochrán – nadpät'ová/podpät'ová ochrana

Pred samotným nastavením je vždy potrebné zistiť skutočný prevod PTN. Najčastejšie sekundárne napätie PTN je 100V alebo 110V. Pre nastavenie viacerých stupňov musíme dodržať  $\Delta U \geq 0.1 * U_n$ . Podpät'ová ochrana sa v praxi používa s nadprúdovou ochranou a vzájomným blokovaním, teda ako nadprúdová ochrana s podpät'ovým blokovaním (50/27).

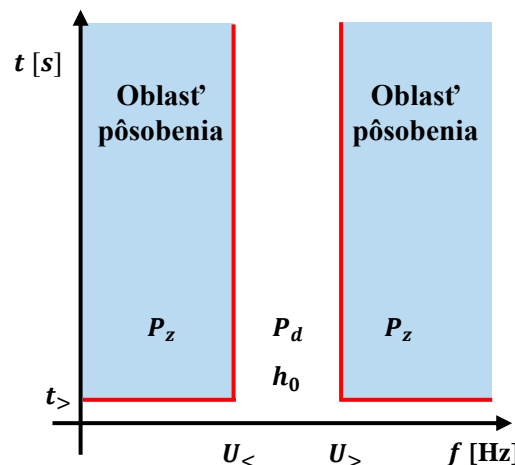
## Napät'ová ochrana (81U/81O):

- *Rozsah nastavenia kc:  $(0.8 - 2) * U_n$*
- *Rozsah časového oneskorenia:  $(0.1 - 10) s$*

## Výpočet nastavenia:

$$U_r = \frac{kc * U_n}{PTN} = \frac{1 * 15.75e3V}{\frac{15000V}{100V}} = 105V \quad (11)$$

Čas oneskorenia  $t_r = 0.5 s$



Obr. 6 Charakteristika pôsobenia frekvenčnej ochrany

**Pd** - dovolená oblasť; **Pz** - zakázaná oblasť  
**h0** - hranica pôsobenia; **tr** - časové oneskorenie

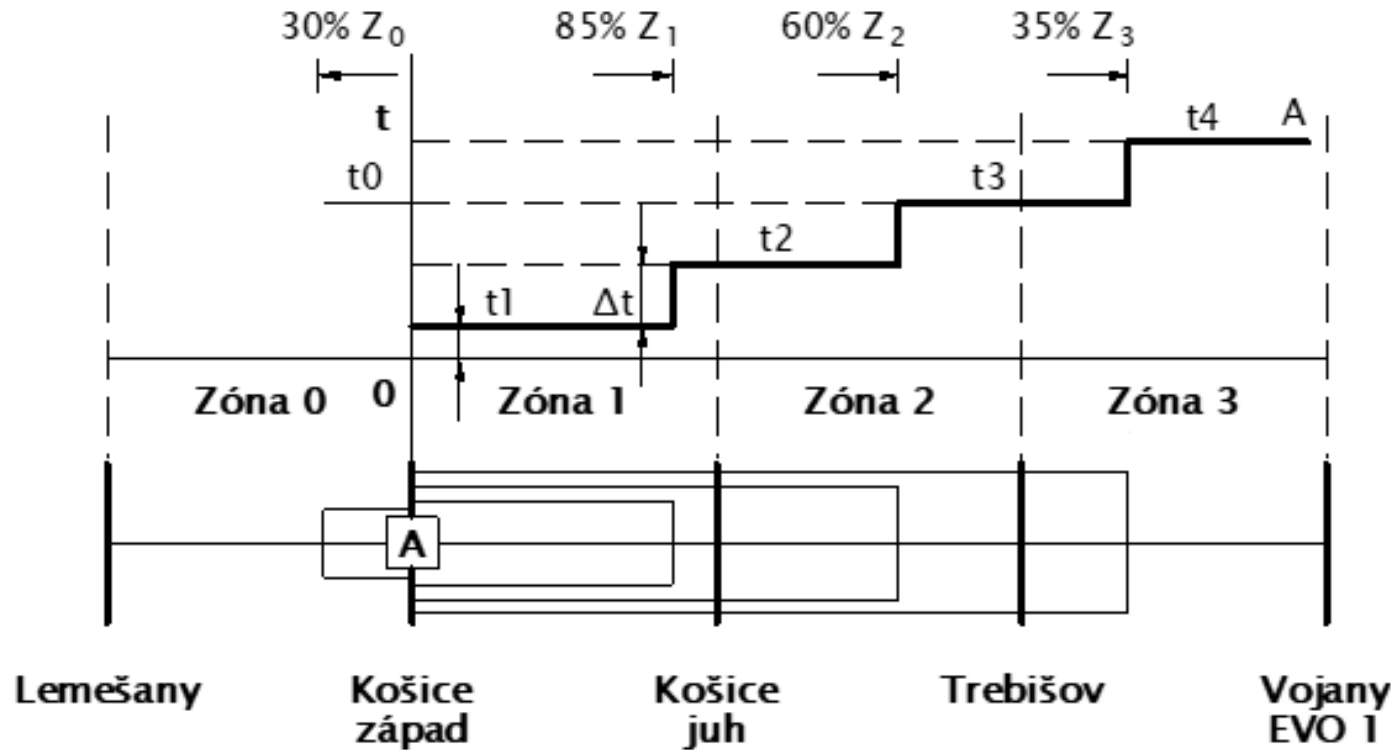


# *Teória ochrán – dištančná ochrana*





# Dištančná ochrana



Obr. 7 Schematické označenie zón dištančnej ochrany

Schéma označenia zón dištančnej ochrany zobrazuje pôsobenie jednotlivých zón, a to pre doprednú oblasť sú to zóny 1, 2 a 3 a pre spätnú oblasť zónou 0.

Zóna 1 zobrazuje chránenia vedenia č.1 na 85%.

Zóna 2 zobrazuje chránenia vedenia č.2 na 60% a vedenia č.1 na 100%.

Zóna 3 zobrazuje chránenia vedenia č.3 na 35% a úsekov č.1 a č.2 na 100%.

Zóna 0 zobrazuje chránenia vedenia č.0 na 30%. Táto zóna chráni spätnú oblasť.

Časové oneskorenie jednotlivých zón je odstupňované konštantou  $\Delta t$  s hodnotou 0,4s pričom doba  $t_1$  sa určuje z rozsahu 20 až 50 ms + doby vypnutia vypínača.

# Dištančná ochrana

Tab. 2 Typová tabuľka vedení (merné parametre na 1 km vedenia)

Typ	R <sub>m1</sub>	X <sub>m1</sub>	B <sub>m1</sub>	I <sub>dov</sub>	R <sub>m0</sub>	X <sub>m0</sub>	B <sub>m0</sub>	Napätie
	[W/km]	[W/km]	[mS/km]	[A]	[W/km]	[W/km]	[mS/km]	[kV]
150 AlFe 3.6	0.201	0.403	2.810	420	0.603	1.209	8.430	110
185 AlFe	0.156	0.400	2.860	486	0.468	1.200	8.580	110
240 AlFe	0.121	0.392	2.920	579	0.363	1.176	8.760	110
450 AlFe	0.067	0.387	3.150	825	0.201	1.161	9.450	110
AAAC182-AL3	0.183	0.400	?	490	0.548	1.200	?	110
AAAC243-AL3	0.137	0.400	?	585	0.412	1.200	?	110
AAAC299-AL3	0.111	0.400	?	670	0.334	1.200	?	110



AAAC (All Aluminium Alloy  
Conductors)

# Dištančná ochrana

*% Výpočet impedancie vedenia*

$$Z_{\text{vedenia1}} = l1 * (R_m + jX_m)$$

*% prevod podľa zadaného transformátora prúdu a napätia*

$$p = PTP/PTN = (300A/5A)/(22000V/100V)$$

*% výpočet impedancie pre danú zónu 1*

*% súsledná*

$$Z_{1\text{zóna1}} = p * 0.85 * Z_{\text{vedenia1}}$$

*% netočivá*

$$Z_{0\text{zóna1}} = p * 0.85 * Z_{\text{vedenia0}}$$

$$\text{Line Angle} = \text{uhol}(Z_{\text{vedenia1}})$$

Postup výpočtu:

*Zóna 1: je nastavená na 85% impedancie vedenia č.1.*

*Prevod transformátora: prúdu v danej stanici, kde je umiestnená dištančná ochrana je 300A/5A a napätie je 22000V/100V. Pričom prístrojový transformátor prúdu musí zvládnuť 20x pret'aženie s presnosťou  $\pm 10\%$  (hranica saturácie).*

*Výpočet impedancie pre zónu 1 sa realizuje pre súslednú a netočivú zložku impedanciu podľa parametrov daného vedenia.*

# Dištančná ochrana

*% Výpočet impedancie vedenia*

$$Z_{\text{vedenia2}} = l_2 \cdot (R_m + jX_m)$$

*% prevod podľa zadaného transformátora prúdu a napätia*

$$p = PTP/PTN = (300\text{A}/5\text{A})/(22000\text{V}/100\text{V})$$

*% výpočet impedancie pre danú zónu 2*

*% súsledná*

$$Z_{1\text{zóna2}} = p \cdot (0.6 \cdot Z_{\text{vedenia2}} + Z_{\text{vedenia1}})$$

*% netočivá*

$$Z_{0\text{zóna2}} = p \cdot (0.6 \cdot Z_{\text{vedenia2}} + Z_{\text{vedenia1}})$$

*S obdobným výpočtom sa uvažuje pre ostatné zóny.*

*Postup výpočtu:*

*Zóna 2: je nastavená na 60% impedancie vedenia č.2 a 100% vedenia č.1.*

*Prevod transformátora: prúdu v danej stanici, kde je umiestnená dištančná ochrana je 300A/5A a napätie je 22000V/100V. Pričom prístrojový transformátor prúdu musí zvládnuť 20x preťaženie s presnosťou  $\pm 10\%$  (hranica saturácie).*

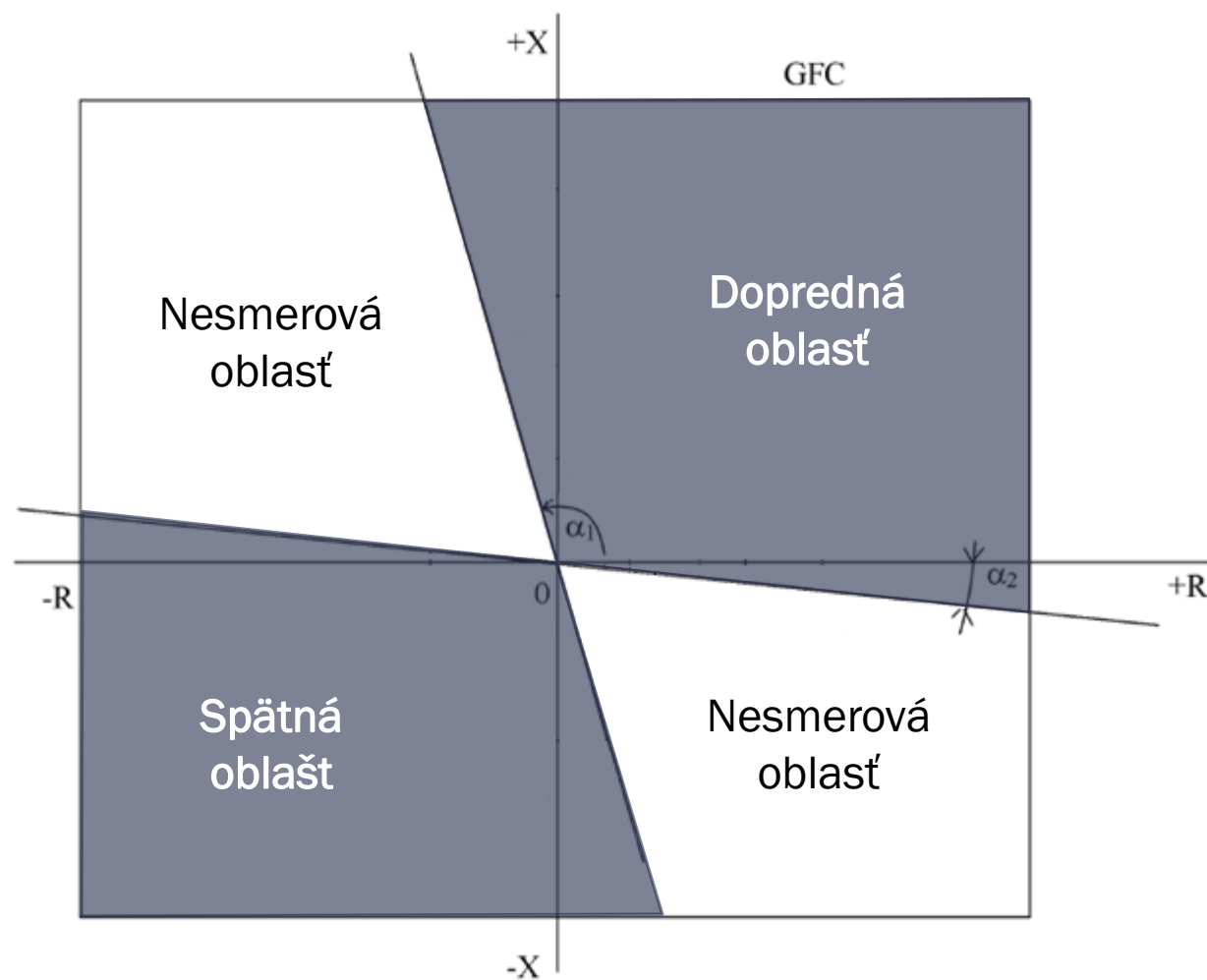
*Výpočet impedancie pre zónu 2 pozostáva z impedancie vedenia č.1 a vedenia č.2 pre súslednú a netočivú zložku impedanciu podľa parametrov daného vedenia.*

# Dištančná ochrana

Tento typ charakteristiky vznikol kombináciou smerovej, reaktančnej a rezistančnej charakteristiky.

Polygonálne charakteristiky sa skladajú z dvoch priamok. Priamky sú vo väčšine prípadov prechádzajú počiatkom súradnicového systému a s osou +R zvierajú uhly  $\alpha_1 = 115$  až  $125$  stupňov a  $\alpha_2 = -15$  až  $-25$  stupňov.

Tieto priamky rozdelia R-X charakteristiku na štyri kvadranty pričom sa využíva doprednú oblasť v prvom kvadrante a spätnú oblasť v treťom kvadrante.

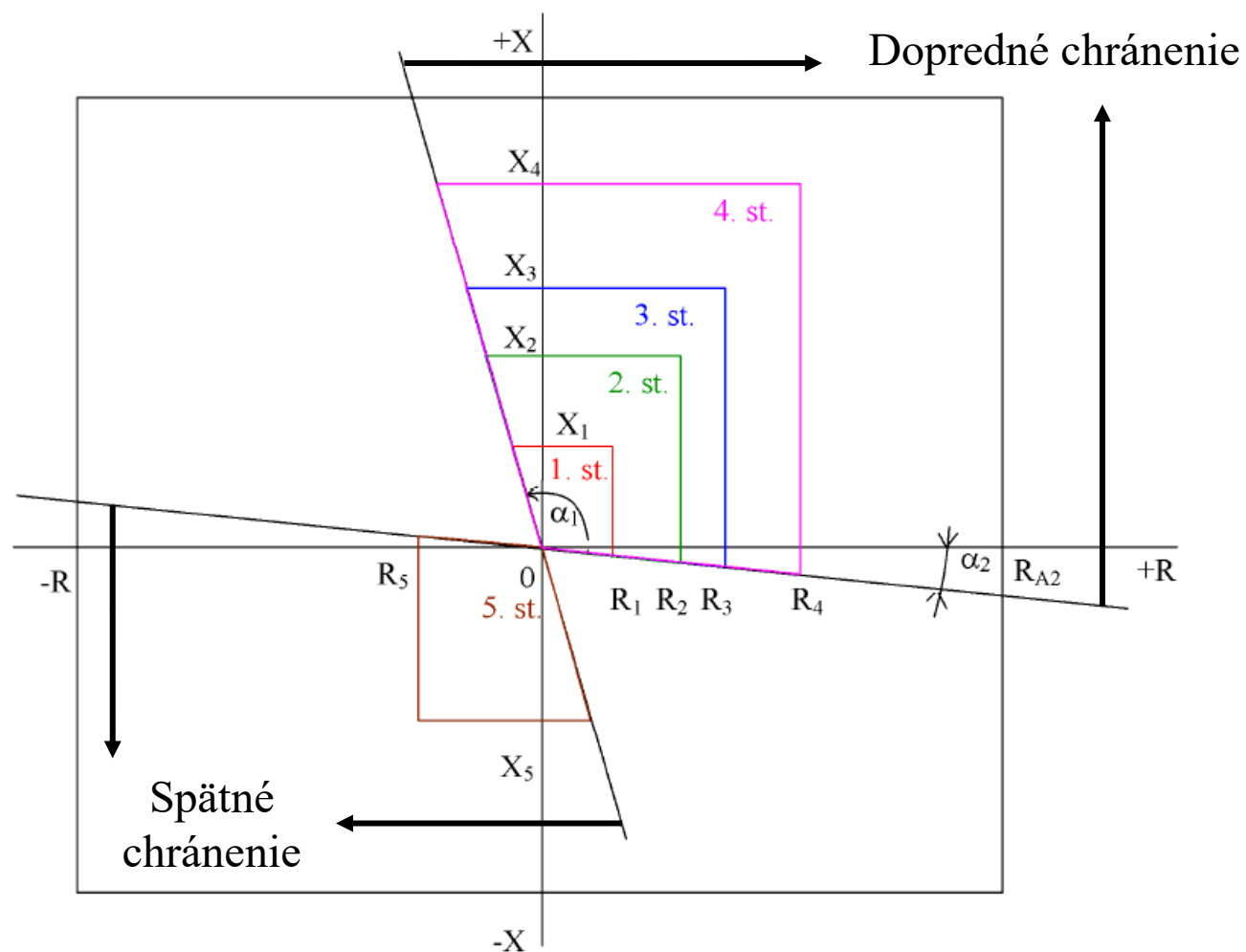


Obr. 8 Smerová charakteristika dištančnej ochrany R-X grafe

# Dištančná ochrana

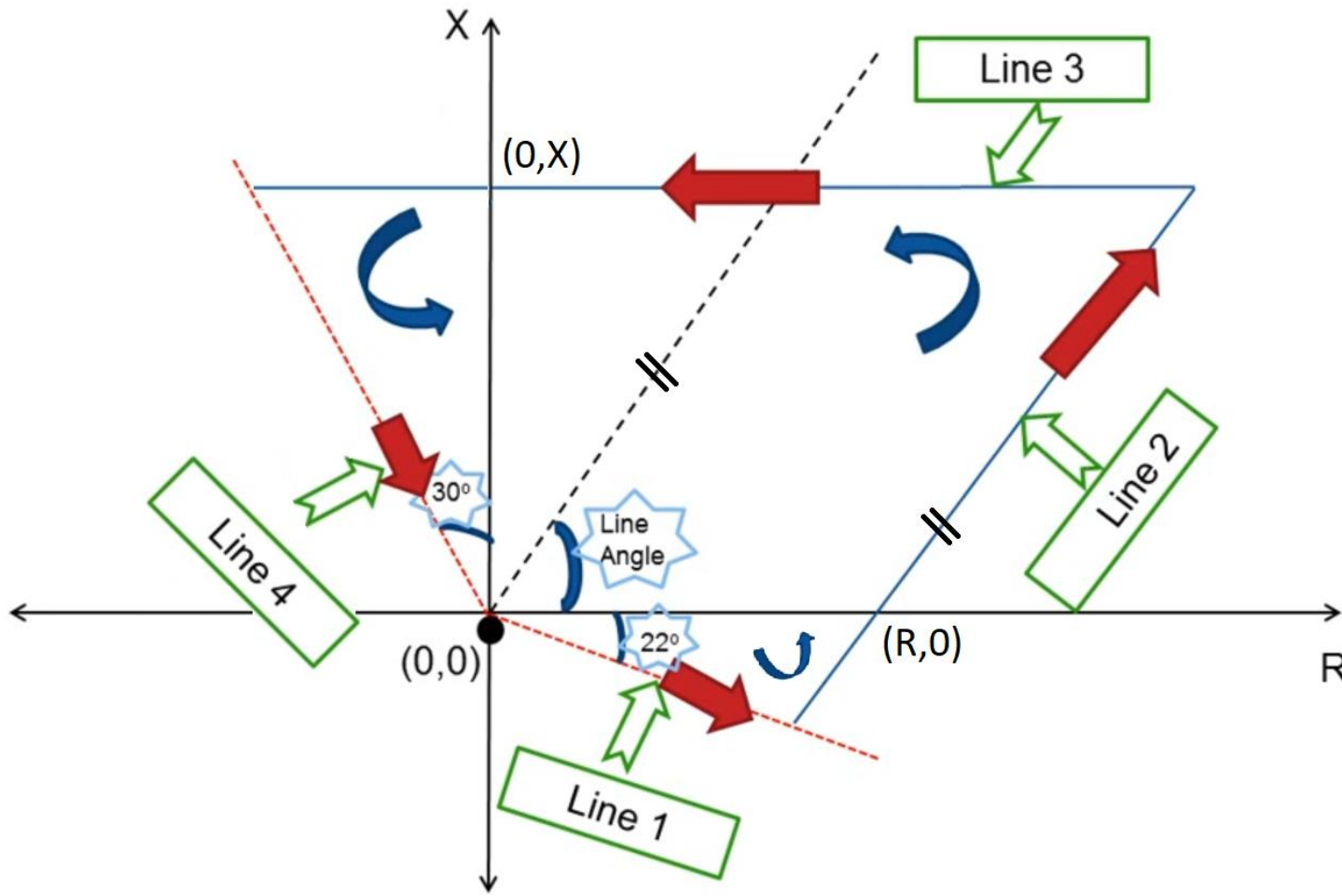
Polygonálny tvar charakteristiky je ďalej ohraničený priamkami rovnobežnými s reálnou a imaginárnou osou.

V záujme zabezpečenia selektivity sú charakteristiky zoradené do piatich stupňov s možnosťou rôzneho časového nastavenia. Obyčajne sa prvé 4. charakteristiky nastavujú v smere do vedenia a piata charakteristika v smere do prípojnice.



Obr. 9 Impedančná polygonálna charakteristika dištančnej ochrany

# Dištančná ochrana



Obr. 10 Polygónová charakteristika dištančnej ochrany

## Postup kreslenia polygonálnej charakteristiky:

*Line 1: veľkosť úsečky vychádza z výpočtu veľkosti strán trojuholníka známe uhly (Line Angle a  $a_2 = 22^\circ$ ) a súradnice  $(R,0)$ .*

*Line 2: veľkosť úsečky vychádza z výpočtu veľkosti strán pravouhlého trojuholníka známe uhly (Line Angle a  $90^\circ$ ) a súradnice  $(0,X)$ .*

*Line 3: veľkosť úsečky vychádza z výpočtu pre Line 2 a súradnice  $(0,X)$ .*

*Line 4: veľkosť úsečky vychádza z výpočtu veľkosti strán pravouhlého trojuholníka známe uhly ( $90^\circ$  a  $30^\circ$ ) a súradnice  $(0,0)$ .*

*Vzorový výpočet nastavenia  
ochrán*





*Výpočet nastavenia  
nadprúdovej ochrany vývodu*



# Nadprúdová ochrana

% Impedancia siet'ového napájača

$$Z_{1siet} = c \cdot U_n / (\sqrt{3} \cdot I_{k3siet}) = 1 \cdot 22e3 / (\sqrt{3} \cdot 3.2328e3) = 3.929 \Omega$$

$$X_{1siet} = 0.995 \cdot Z_{1siet} = 0.995 \cdot 3.929 = 3.909 \Omega$$

$$R_{1siet} = 0.1 \cdot X_{1siet} = 0.1 \cdot 3.909 = 0.391 \Omega$$

$$Z_{1siet} = R_{1siet} + jX_{1siet} = 0.391 + j3.909 \Omega$$

% Nominálny prúd vetvy

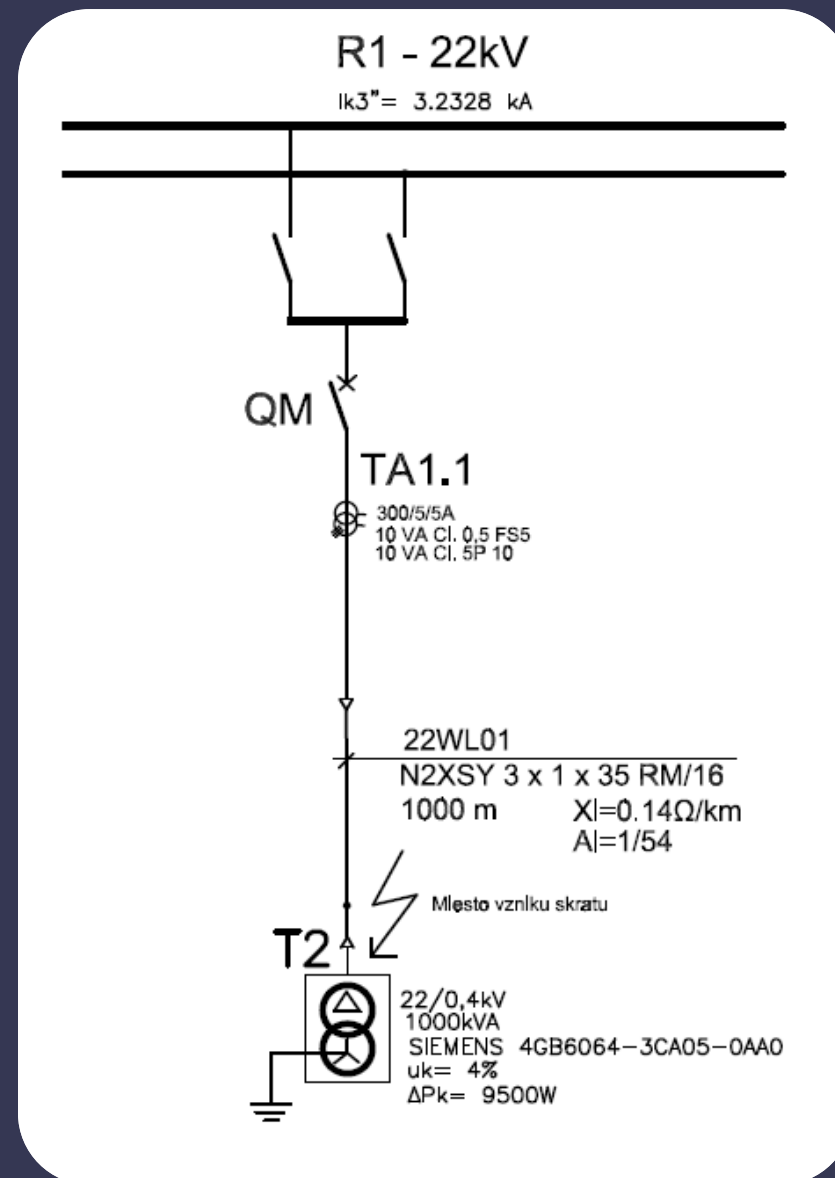
$$I_N = S_n / (\sqrt{3} \cdot U_{n1}) = 1000e3 / (\sqrt{3} \cdot 22e3) = 26.243 \text{ A}$$

% Impedancia káblového vedenia

$$R_l = p / qn \cdot 1000 = 1 / 54 / 35 \cdot 1000 = 0.529 \Omega / \text{km}$$

$$X_l = 0.14 \Omega / \text{km}$$

$$Z_{lvedenia} = l \cdot (R_l + jX_l) = 1 \cdot (0.529 + j0.14) = 0.529 + j0.14 \Omega$$



Obr. 11 Ukázkové zadanie

# Nadprúdová ochrana

% Výpočet skratového prúdu

$$Z_{1skrat} = Z_{1siet} + Z_{1vedenia} = 0.391 + j3.909 + 0.529 + j0.14 = 0.92 + j4.049 \Omega$$

$$I_{k3R1} = (c \cdot U_n) / (\sqrt{3} \cdot \text{abs}(Z_{k1})) = 1 \cdot 22e3 / \sqrt{3} \cdot \text{abs}(Z_{1skrat}) = 3.058 \text{ kA}$$

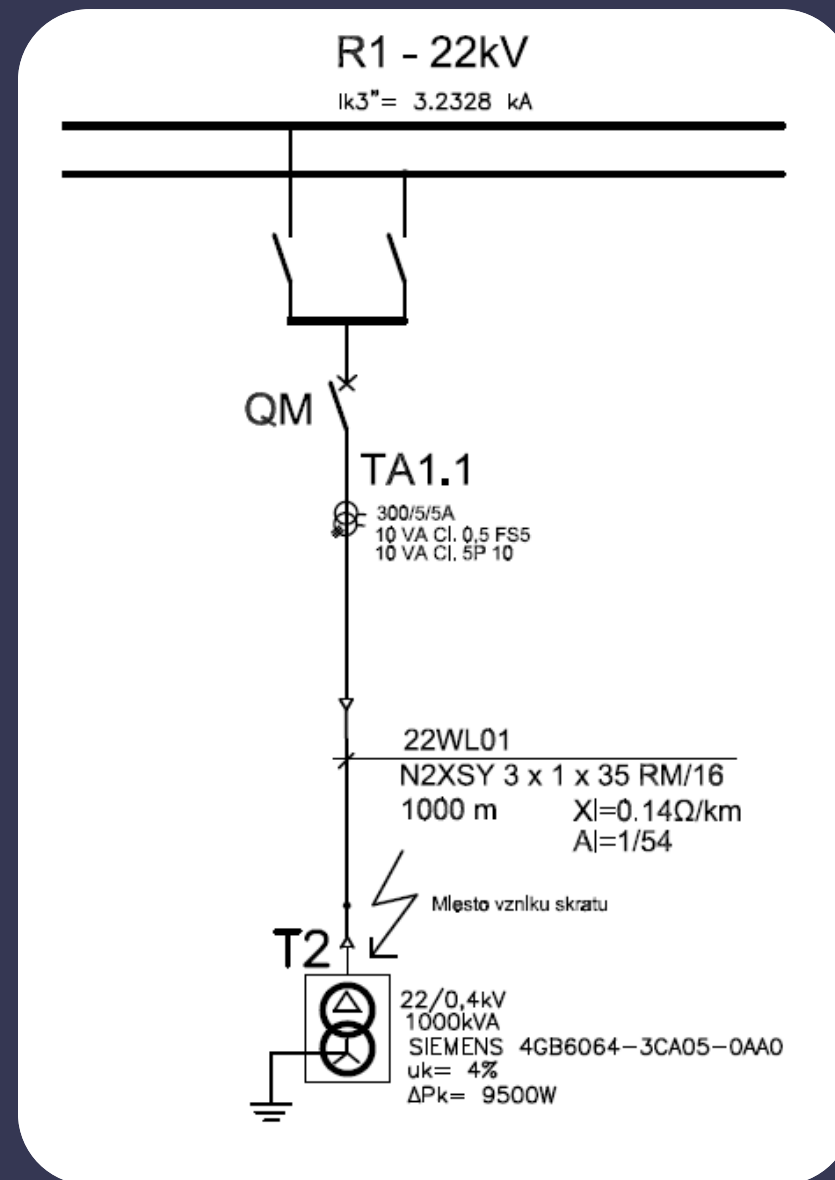
$$I_{k2R1} = \sqrt{3} / 2 \cdot I_{k3R1} = \sqrt{3} / 2 \cdot 3.058 = 2.649 \text{ kA}$$

% Výpočet rozbehového prúdu ochrany pre pret'aženie

$$I_{>} = (k_b \cdot I_N) / (k_p \cdot p_p) = 1.1 \cdot 26.243 / 0.95 \cdot 300 / 5 = 0.506 \text{ A}$$

% Výpočet rozbehového prúdu ochrany pre skraty

$$I_{>>} = (0.8 \cdot I_{k2R1}) / (k_c \cdot p_p) = 0.8 \cdot 2.649e3 / 1.5 \cdot 300 / 5 = 23.547 \text{ A}$$



Obr. 11 Ukázkové zadanie

# Nadprúdová ochrana

*%Hodnota rozbehového prúdu ochrany pre preťaženie*

$$I_{>} \leq I_{R>}$$

$$0.506A \leq I_{R>}$$

$$I_{R>} = 1A$$

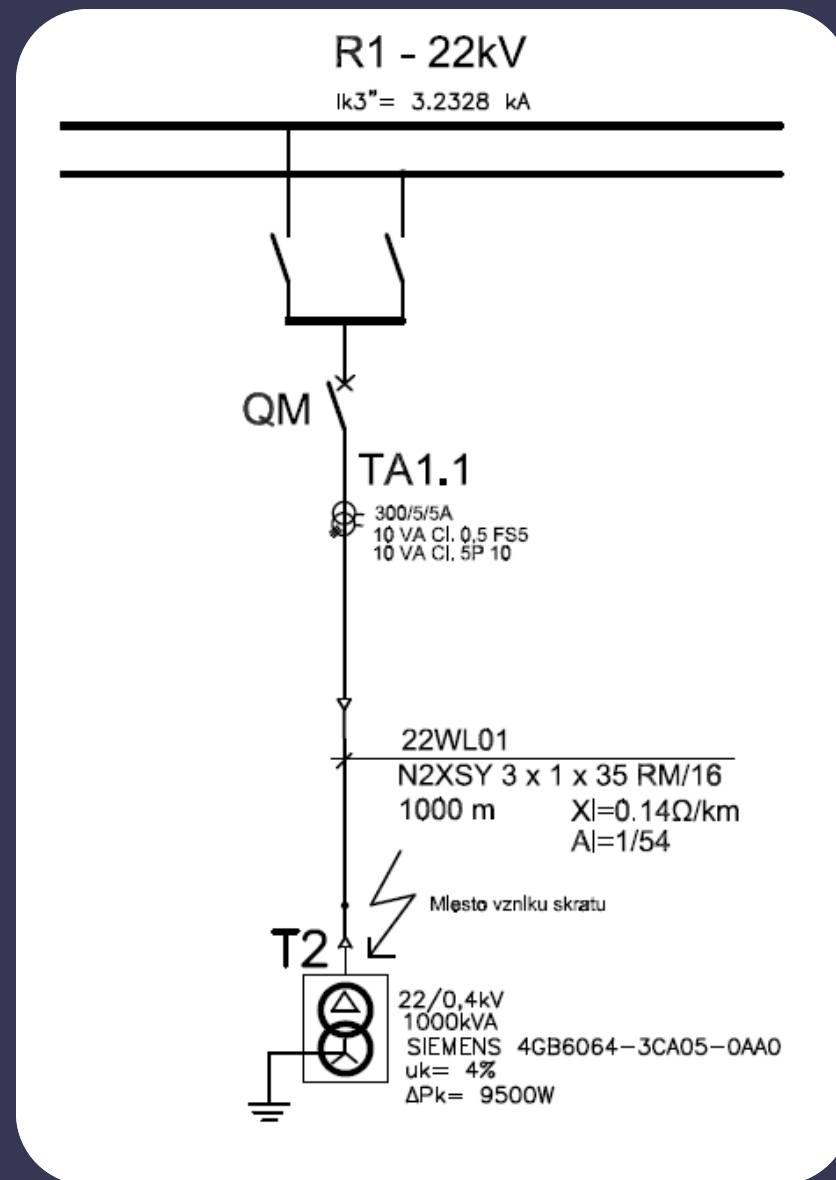
*%Hodnota rozbehového prúdu ochrany pre skraty*

$$I_{\gg} \geq I_{R\gg} > I_{R>}$$

$$23.547A \geq I_{R\gg} > 1A$$

$$I_{R\gg} = 3.5A$$

*Časové oneskorenie si volíme pre preťaženie  $t > 0.25s$  a pre skraty  $t \gg 0s$  uvažovaním pre chránenie ďalších úsekov už len použitím poistiek a ističov.*



Obr. 11 Ukážkové zadanie

*Výpočet nastavenia  
nadprúdovej ochrany  
generátora*



# Nadprúdová ochrana generátora

Pri výpočte  $R_g$  počítame s pomerným koeficientom, ktorý prepočítava reaktanciu na približnú rezistancu podľa veľkosti reaktancie. Teda zohľadňuje odpor vodiča použitého na vinutie podľa veľkosti reaktancie výkonu a napätia generátora.

$R_g = 0.05 * X_d''$  pre generátory s  $U_{rg} > 1 \text{ kV}$  a  $S_g \geq 100 \text{ MVA}$ .

$R_g = 0.07 * X_d''$  pre generátory s  $U_{rg} > 1 \text{ kV}$  a  $S_g < 100 \text{ MVA}$ .

$R_g = 0.15 * X_d''$  pre generátory s  $U_{rg} \leq 1000 \text{ V}$ .

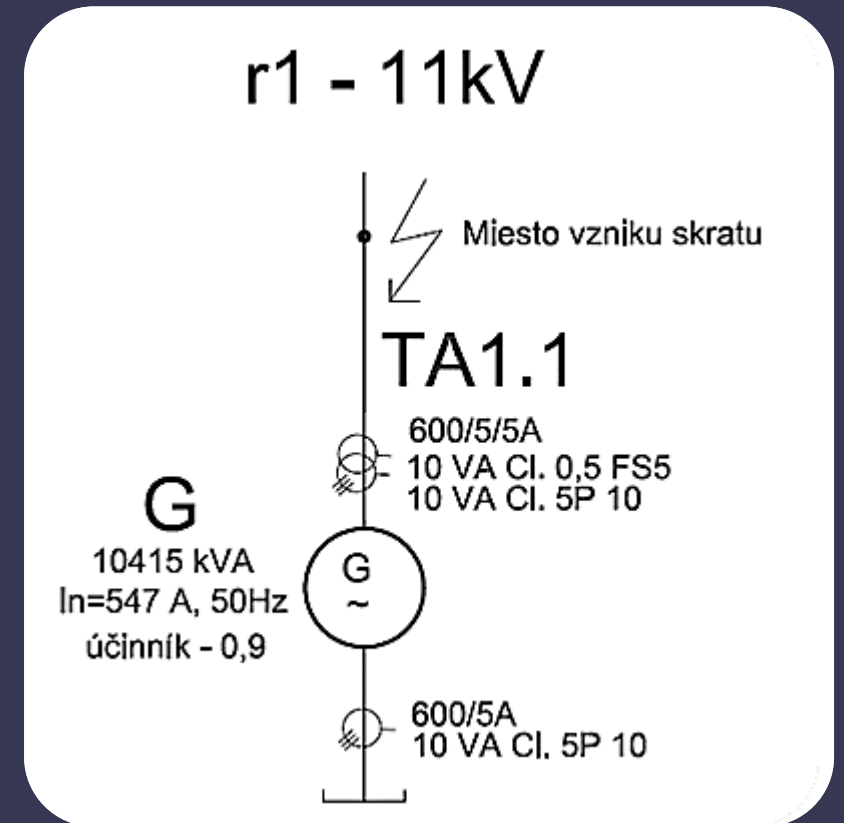
%Impedancia generátora

$$X_d = x_d'' * Z_{rG} = 0.165 * 11.618 = 1.917 \Omega$$

$$R_g = 0.07 * X_d'' = 0.07 * 1.917 = 0.134 \Omega$$

$$K_g = U_n / U_{rg} * c / (1 + x_d'' * \sin(\text{fig})) = 11e3 / 11e3 * 1 / (1 + 0.165 * \sin(\arccos(0.9))) = 0.933$$

$$Z_{1g} = K_g * (R_g + j * X_d'') = 0.933 * (0.134 + j1.917) = 0.125 + j1.788 \Omega$$



Obr. 12 Ukážkové zadanie

# Nadprúdová ochrana generátora

*% Výpočet skratového prúdu*

$$I_{k3g} = (c \cdot U_n) / (\sqrt{3} \cdot \text{abs}(Z_{1g})) = 1 \cdot 11 \text{e}3 / \sqrt{3} \cdot \text{abs}(Z_{1g}) = 3542.569 \text{A}$$

$$I_{k2g} = \sqrt{3} / 2 \cdot I_{k3g} = \sqrt{3} / 2 \cdot 3542.569 = 3067.956 \text{A}$$

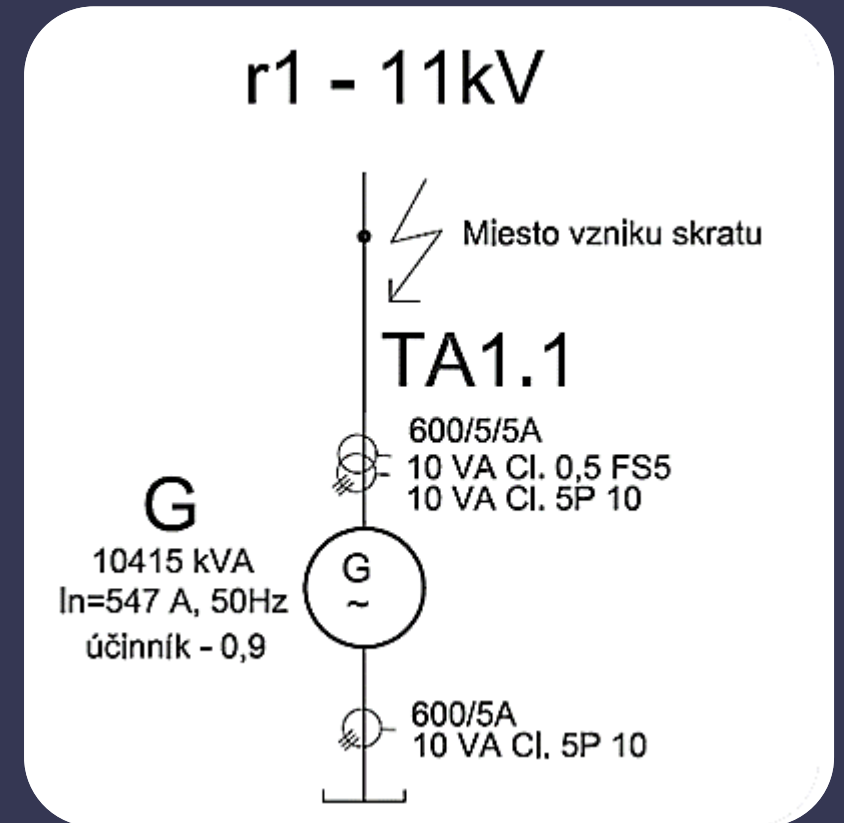
$$I_N = 547 \text{A}$$

*% Výpočet rozbehového prúdu ochrany pre pret'aženie*

$$I_{>} = (k_b \cdot I_N) / (k_p \cdot p_p) = 1.1 \cdot 547 / 0.95 \cdot 600 / 5 = 5.28 \text{A}$$

*% Výpočet rozbehového prúdu ochrany pre skraty*

$$I_{>>} = (0.8 \cdot I_{k2g}) / (k_c \cdot p_p) = 0.8 \cdot 3067.956 / 1.5 \cdot 600 / 5 = 13.635 \text{A}$$



Obr. 12 Ukážkové zadanie

# Nadprúdová ochrana generátora

*%Hodnota rozbehového prúdu ochrany pre pret'aženie*

$$I_{>} \leq I_{R>}$$

$$5.28A \leq I_{R>}$$

$$I_{R>} = 5.7A$$

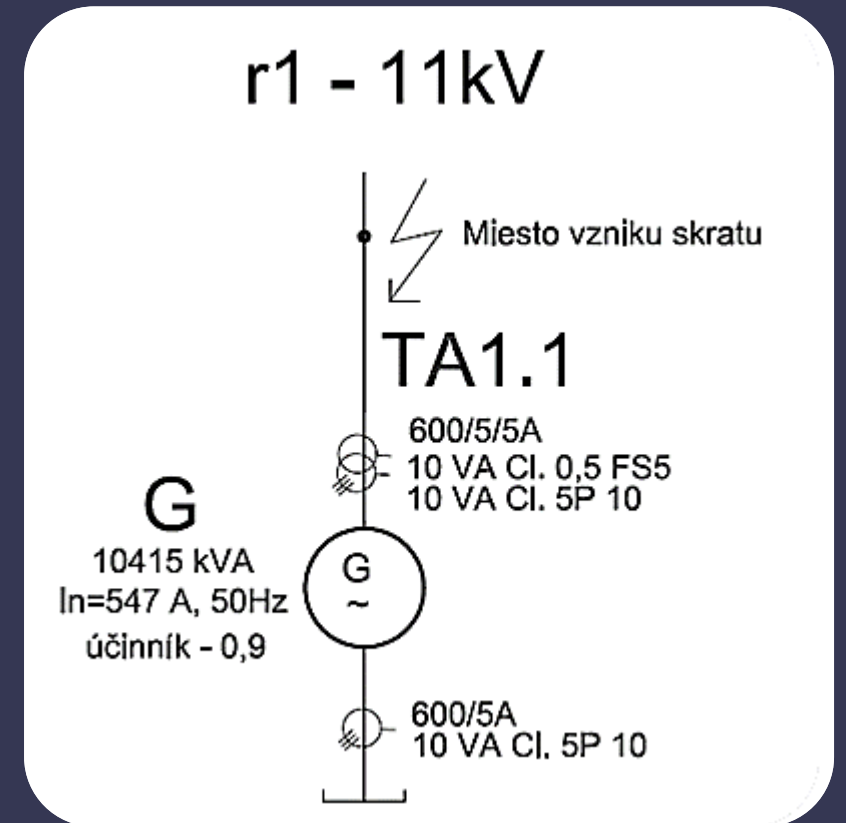
*%Hodnota rozbehového prúdu ochrany pre skraty*

$$I_{\gg} \geq I_{R\gg} > I_{R>}$$

$$13.635A \geq I_{R\gg} > 5.7A$$

$$I_{R\gg} = 10A$$

*Časové oneskorenie si volíme pre pret'aženie  $t > 0.25s$  a pre skraty  $t \gg 0s$ .*



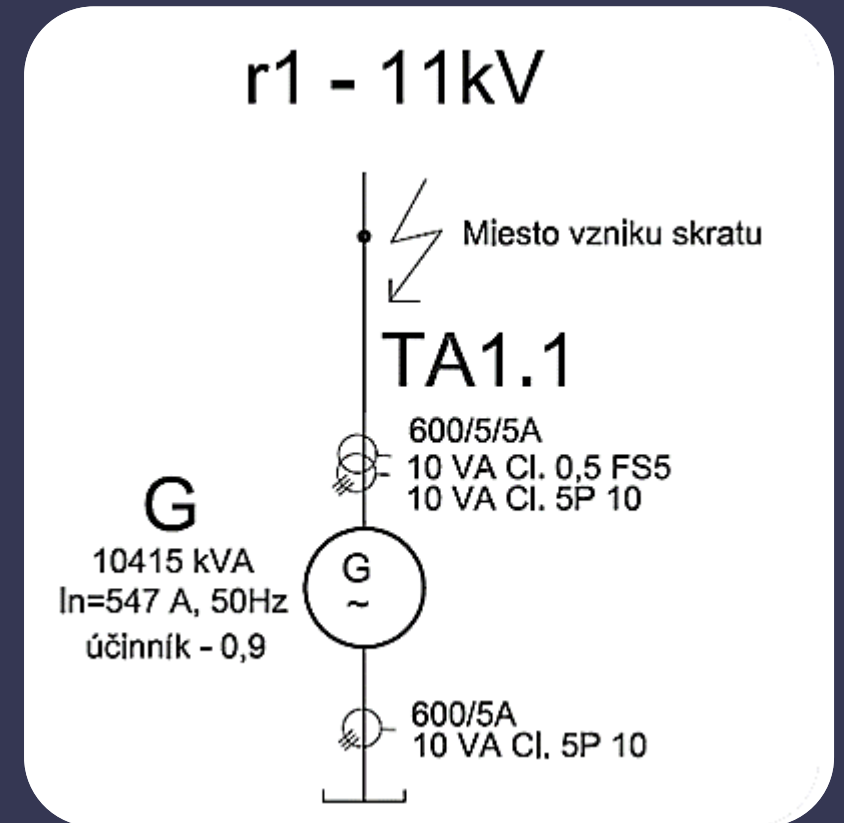
Obr. 12 Ukážkové zadanie



# Nadprúdová ochrana generátora

Nadprúdová ochrana generátora vzhľadom na chránené zariadenie pre tento príklad generátor je potrebné, aby táto ochrana vypínala, ako posledná ak sa pred touto ochranou nachádzajú ďalšie. Tento princíp je veľmi dôležitý pre správne selektívne vypnutie poruchového úseku alebo zariadenia, keďže generátor vystupuje v sieti, ako napájací prvok tak jeho časové oneskorenie pre skraty a preťaženia je zaradené medzi najpomalšie, aby bola udržiavaná stabilita elektrickej sústavy a nenastal najhorší stav BLACKOUT pre zle nastavené chrániace zariadenia.

*BLACKOUT* - Týmto pojmom označujeme rozsiahly výpadok dodávok elektrickej energie na veľkom území po dobu desiatok hodín alebo dní, ktorý zasiahne veľké množstvo obyvateľov. => Rozpad prenosovej sústavy na oddelené ostrovy => kaskádové šírenia porúch => BLACKOUT.



Obr. 12 Ukážkové zadanie

*Výpočet nastavenia rozdielovej  
ochrany generátora*



# Rozdielová ochrana generátora

Výpočet celkového chybového prúdu O87P:

$I_{d2} = PT_{chyby} + \text{budiaci prúd} + TR_{chyby} + \text{bezpečnostná rezerva} + \text{chyby relé}$

$$I_{d2} = 2 * 5\% + 1\% + 5\% + 5\% + 5\% = 26\%$$

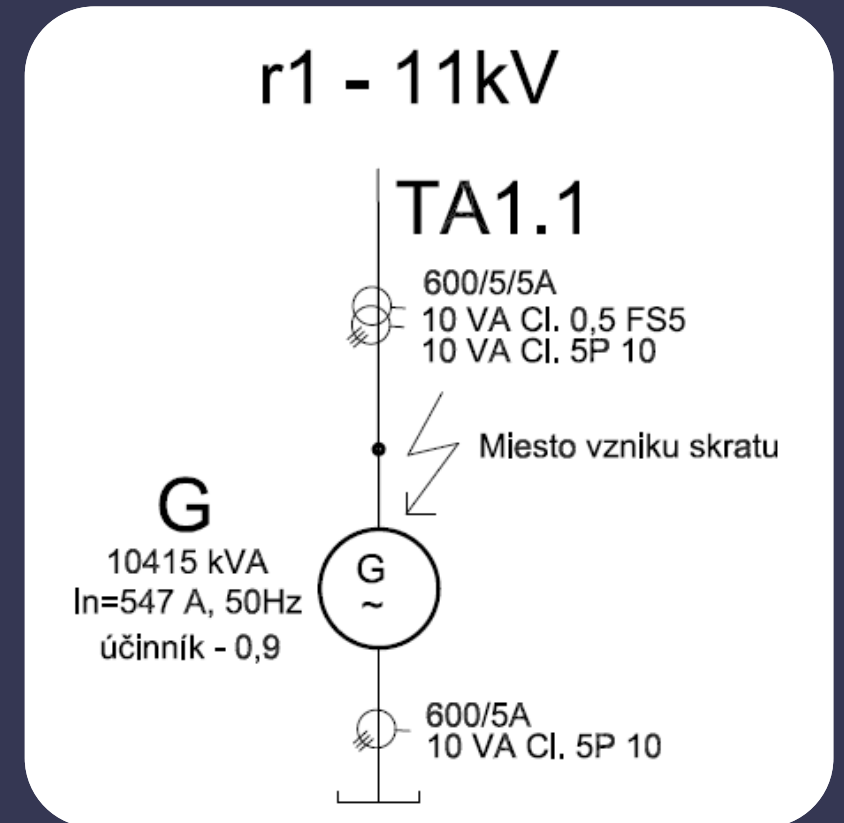
Výpočet nastavenia prvého sklonu:

$SLP_1 = PT_{chyby} + \text{budiaci prúd} + TR_{chyby} + \text{bezpečnostná rezerva} + \text{chyby relé}$

$$SLP_1 = 2 * 7\% + 1\% + 5\% + 5\% + 5\% = 30\%$$

Výpočet nastavenia druhého sklonu:

$$SLP_2 = 2 * SLP_1 = 60\%$$



Obr. 13 Ukážkové zadanie

# Rozdielová ochrana generátora

Výpočet koeficientu transformátorov prúdu:

$$CTR_1 = \frac{600}{5} = 120 \qquad CTR_2 = \frac{600}{5} = 120$$

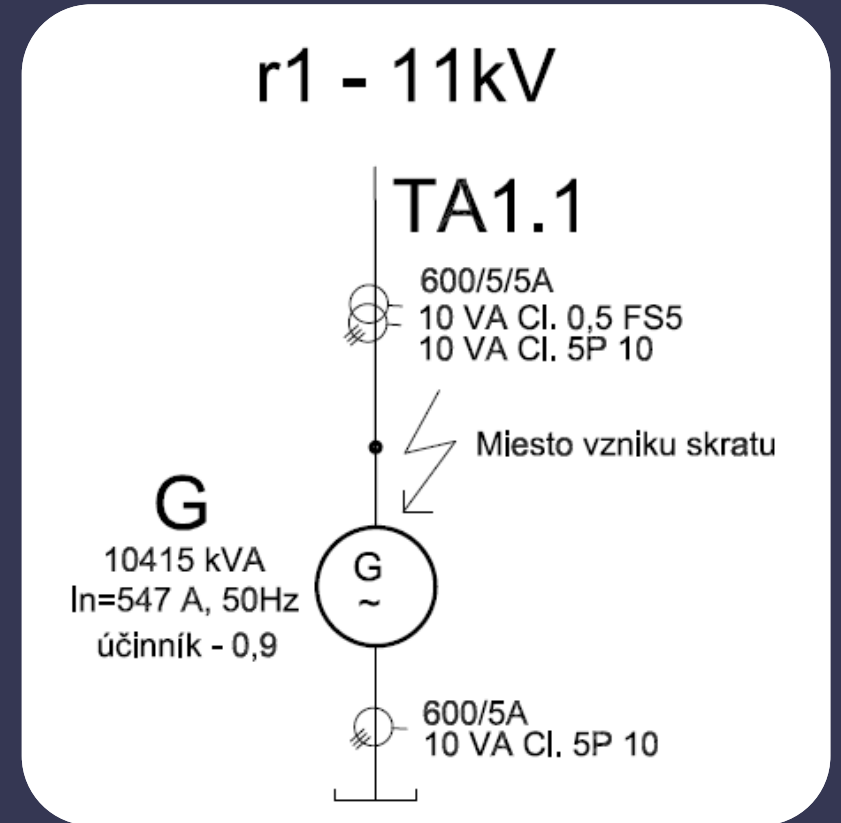
Zlomový bod IRS1 sa určuje pre stabilizačný prúd  $I_b$  v rozsahu 1.5 až 2.5. Pre príklad volíme 1.5. Horné obmedzenie U87P rozdielového prúdu  $I_{dmax}$  sa volí v rozsahu 8 až 10. pre príklad volíme 8. Druhú harmonickú nastavíme na 20% a piatu harmonickú nastavíme na 40%.

Kompenzačný činiteľ PT TAP sa vypočítajú podľa vzťahu:

$$TAP = \frac{S \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{L-L}} * PT = \frac{10.5 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 11} * \frac{5}{600} = 4.593$$

Nábehový test rozdielovej ochrany

$$Id_{Prim.} = Id_{Sek.} = TAP * SLP_1 = 4.593 * 0.3 = 1.378A$$



Obr. 13 Ukážkové zadanie

*Výpočet nastavenia  
nadprúdovej ochrany  
transformátora*

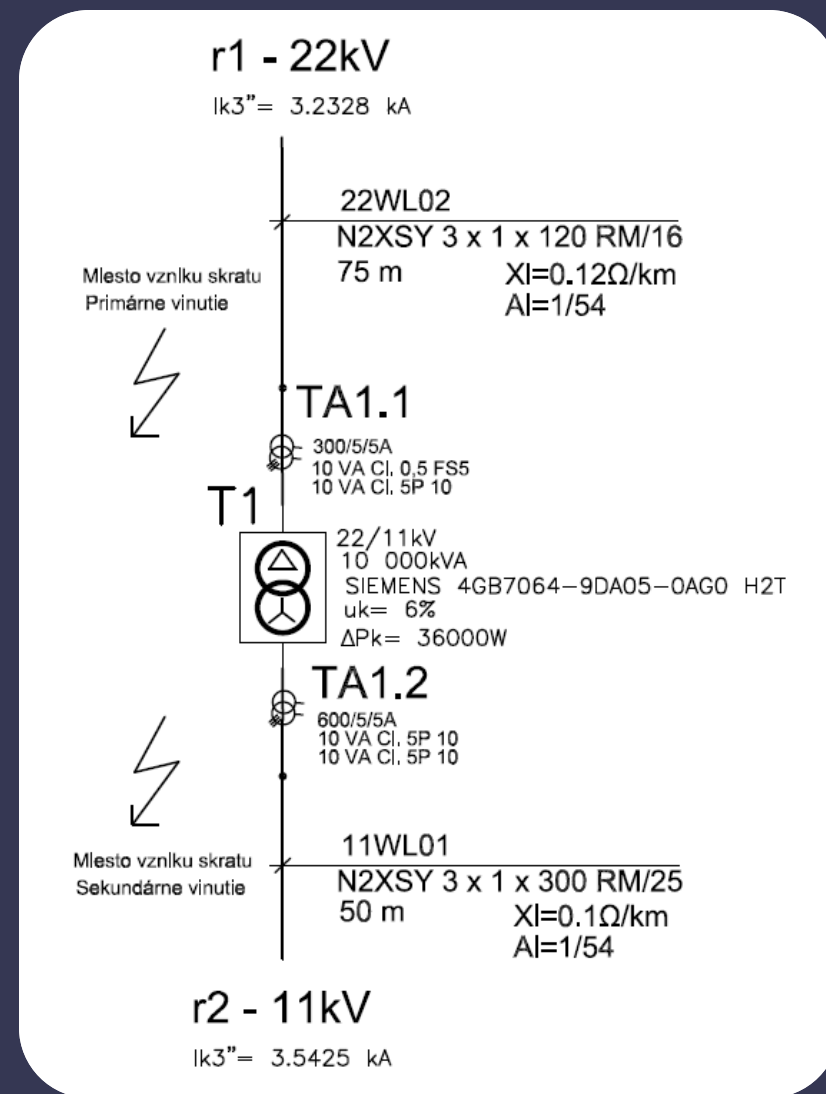


# Nadprúdová ochrana transformátora

Prúdový transformátor má prevod  $pp = 300/5A$  a je pripojený na primárne vinutie transformátora. Pri nominálnom prúde primárneho vinutia pre daný úsek  $I_N = 209.5 A$ .

Prúdový transformátor má prevod  $pp = 600/5A$  a je pripojený na sekundárne vinutie transformátora. Pri nominálnom prúde sekundárneho vinutia pre daný úsek  $I_N = 419 A$ .

Zmena je v tom, že pre nastavenie nadprúdovej ochrany pre primárne vinutie počítame so skratom na sekundárnej strane transformátora a pre sekundárne vinutie transformátora naopak, teda so skratom na primárnej strane transformátora.



Obr. 14 Ukázkové zadanie

# Nadprúdová ochrana transformátora

*%Impedancia siet'ového napájača primárne vinutie TR*

$$Z_{Psiet} = c \cdot U_n / (\sqrt{3} \cdot I_{k3siet}) = 1 \cdot 22e3 / (\sqrt{3} \cdot 3.2328e3) = 3.929 \Omega$$

$$X_{Psiet} = 0.995 \cdot Z_{Psiet} = 0.995 \cdot 3.929 = 3.909 \Omega$$

$$R_{Psiet} = 0.1 \cdot X_{Psiet} = 0.1 \cdot 3.909 = 0.391 \Omega$$

$$Z_{Psiet} = R_{Psiet} + jX_{Psiet} = 0.391 + j3.909 \Omega$$

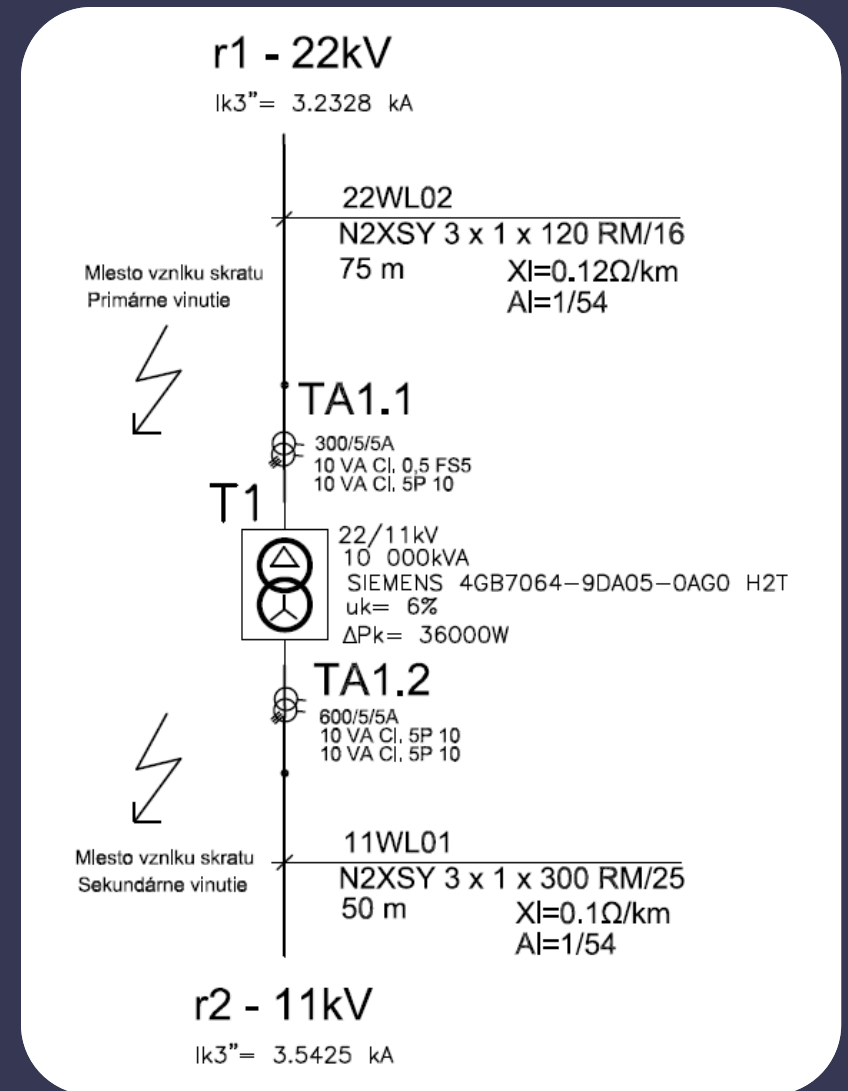
*%Impedancia siet'ového napájača sekundárne vinutie TR*

$$Z_{Ssiet} = c \cdot U_n / (\sqrt{3} \cdot I_{k3siet}) = 1 \cdot 11e3 / (\sqrt{3} \cdot 3.5425e3) = 1.793 \Omega$$

$$X_{Ssiet} = 0.995 \cdot Z_{Ssiet} = 0.995 \cdot 1.793 = 1.784 \Omega$$

$$R_{Ssiet} = 0.1 \cdot X_{Ssiet} = 0.1 \cdot 1.784 = 0.178 \Omega$$

$$Z_{Ssiet} = R_{Ssiet} + jX_{Ssiet} = 0.178 + j1.784 \Omega$$



Obr. 14 Ukázkové zadanie

# Nadprúdová ochrana transformátora

% Nominálny prúd vetiev TR

$$INP = 209.5 \text{ A}$$

$$INS = 419 \text{ A}$$

% Impedancia káblového vedenia primárneho vinutia TR

$$RIP = p/qn * 1000 = 1/54/120 * 1000 = 0.154 \Omega/km$$

$$XIP = 0.12 \Omega/km$$

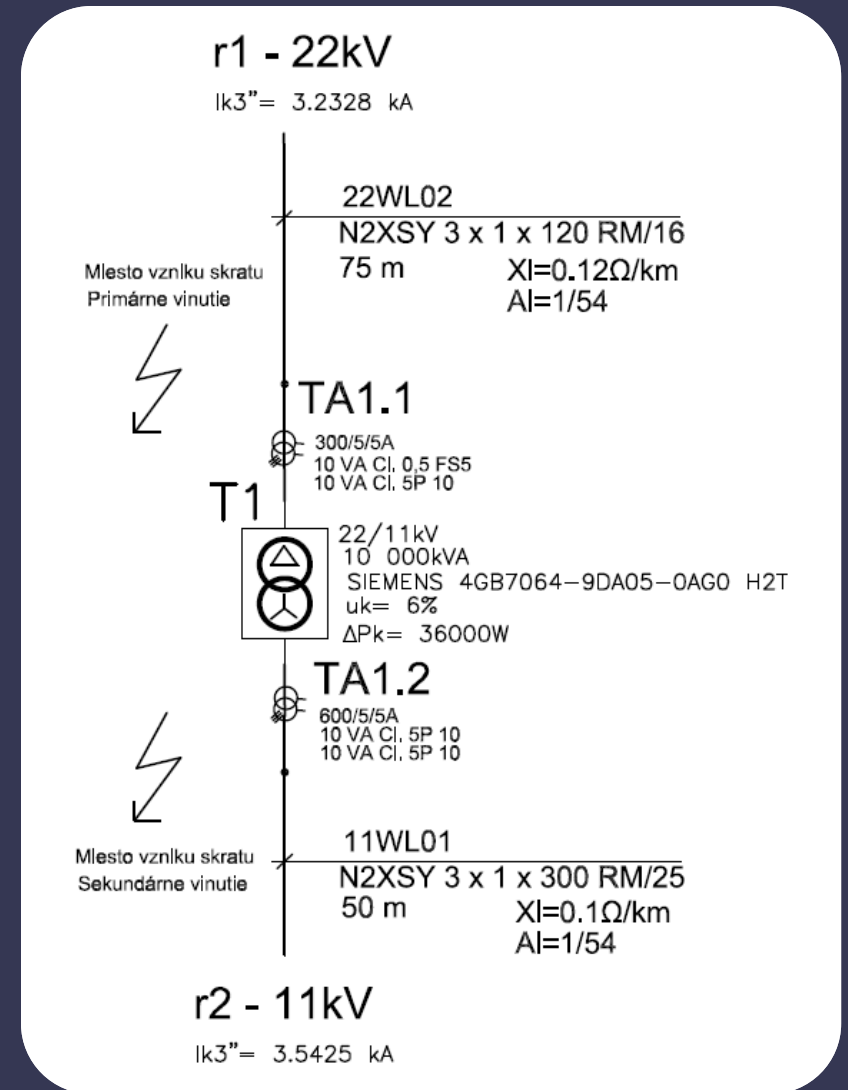
$$ZPvedenia = l * (RIP + 1j * XIP) = 0.075 * (0.154 + j0.12) = 0.012 + j0.009 \Omega$$

% Impedancia káblového vedenia sekundárneho vinutia TR

$$RIS = p/qn * 1000 = 1/54/300 * 1000 = 0.062 \Omega/km$$

$$XIS = 0.1 \Omega/km$$

$$ZSvedenia = l * (RIS + 1j * XIS) = 0.05 * (0.062 + j0.1) = 0.003 + j0.005 \Omega$$



Obr. 14 Ukázkové zadanie



# Nadprúdová ochrana transformátora

% Výpočet impedancie transformátora

$$u_r = dPk/S_n = 0.0036$$

$$R_t = (u_r * U_{n1}^2) / S_n = (0.0036 * 22e3^2) / 10e6 = 0.174 \Omega$$

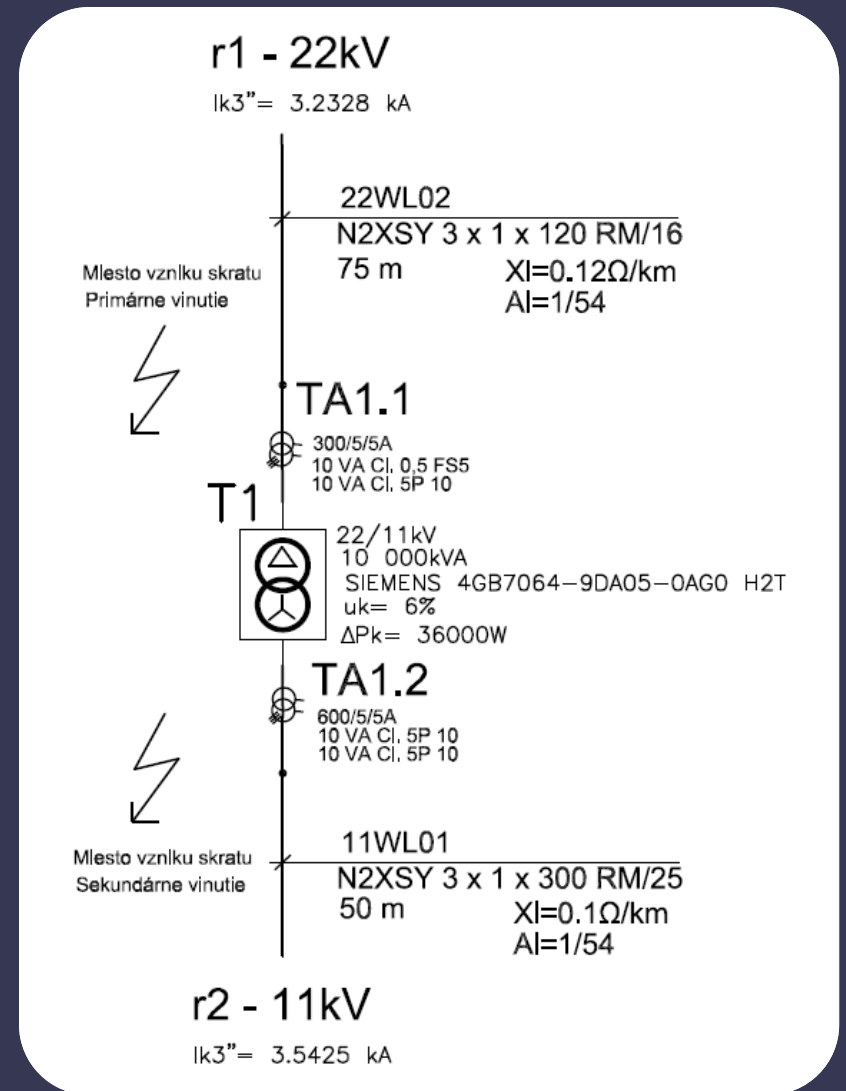
$$u_x = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} = \sqrt{0.06^2 - 0.0036^2} = 0.0599$$

$$X_t = (u_x * U_{n1}^2) / S_n = (0.0599 * 22e3^2) / 10e6 = 2.899 \Omega$$

$$K_{t1} = 0.95 * c / (1 + 0.6 * (X_t / (U_{n1}^2 / S_n)))$$

$$= 0.95 * 1 / (1 + 0.6 * (2.899 / (22e3^2 / 10e6))) = 0.917$$

$$Z_{1T1} = K_{t1} * (R_t + jX_t) = 0.917 * (0.174 + j2.899) = 0.16 + j2.658 \Omega$$



Obr. 14 Ukázkové zadanie

# Nadprúdová ochrana transformátora

% Výpočet skratového prúdu primárneho vinutia TR

$$Z_{1P} = Z_{Ssiet} * ((22e3/11e3)^2) + Z_{Svedenia} * ((22e3/11e3)^2) + Z_{IT1}$$

$$= (0.178 + j1.784) * ((22e3/11e3)^2) + (0.003 + j0.005) * ((22e3/11e3)^2) + (0.16 + j2.658) = 0.886 + j9.814 \Omega$$

$$I_{k3P} = (c * U_n) / (\sqrt{3} * \text{abs}(Z_{k1})) = 1 * 22e3 / \sqrt{3} * \text{abs}(Z_{1P}) = 1.289 \text{ kA}$$

$$I_{k2P} = \sqrt{3} / 2 * I_{k3P} = \sqrt{3} / 2 * 1.289e3 = 1.116 \text{ kA}$$

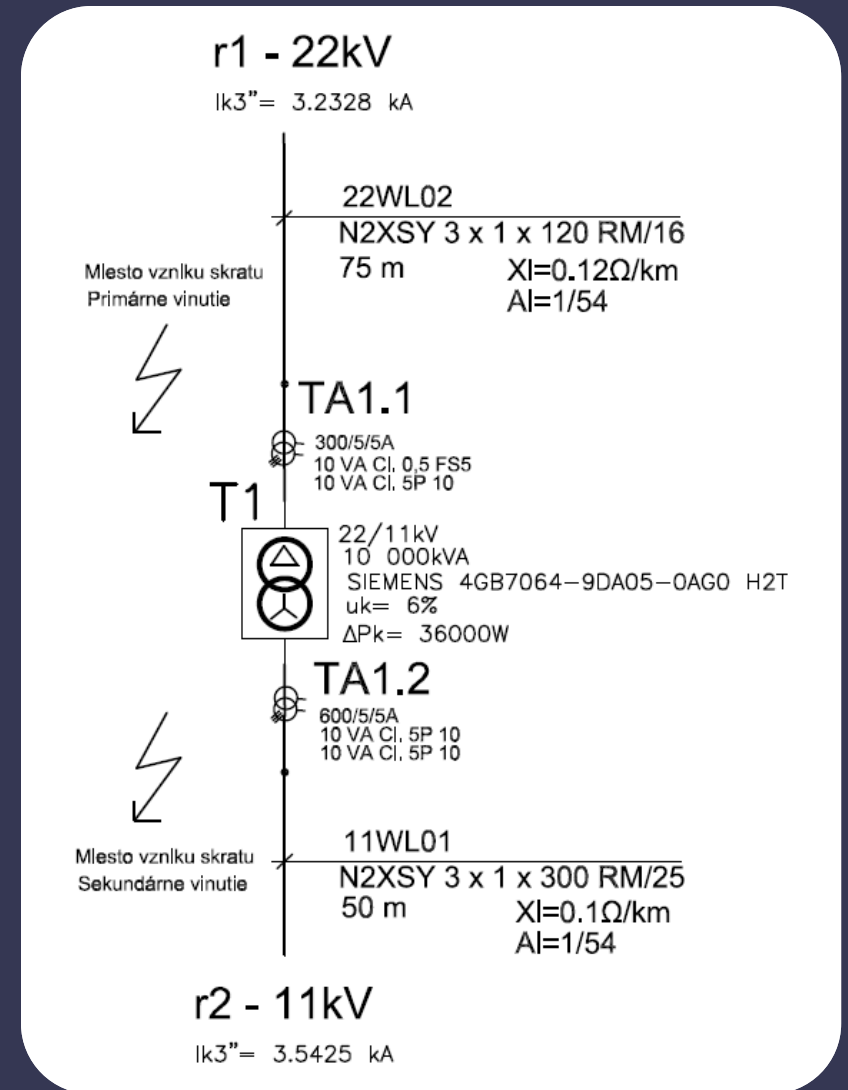
% Výpočet skratového prúdu sekundárneho vinutia TR

$$Z_{1S} = Z_{Psiet} * ((11e3/22e3)^2) + Z_{Pvedenia} * ((11e3/22e3)^2) + Z_{IT1} * ((11e3/22e3)^2)$$

$$= (0.391 + j3.909) * ((11e3/22e3)^2) + (0.012 + j0.009) * ((11e3/22e3)^2) + 0.16 + j2.658 * ((11e3/22e3)^2) = 0.141 + j1.644 \Omega$$

$$I_{k3S} = (c * U_n) / (\sqrt{3} * \text{abs}(Z_{k1})) = 1 * 11e3 / \sqrt{3} * \text{abs}(Z_{1P}) = 3.849 \text{ kA}$$

$$I_{k2S} = \sqrt{3} / 2 * I_{k3S} = \sqrt{3} / 2 * 3.849e3 = 3.333 \text{ kA}$$



Obr. 14 Ukázkové zadanie

# Nadprúdová ochrana transformátora

% Výpočet rozbehového prúdu ochrany pre pret'aženie primárne vinutie

$$I_{>P} = (k_b \cdot I_{NP}) / (k_p \cdot p_p) = (1.1 \cdot 209.5) / (0.95 \cdot 300/5) = 4.043A$$

% Výpočet rozbehového prúdu ochrany pre pret'aženie sekundárne vinutie

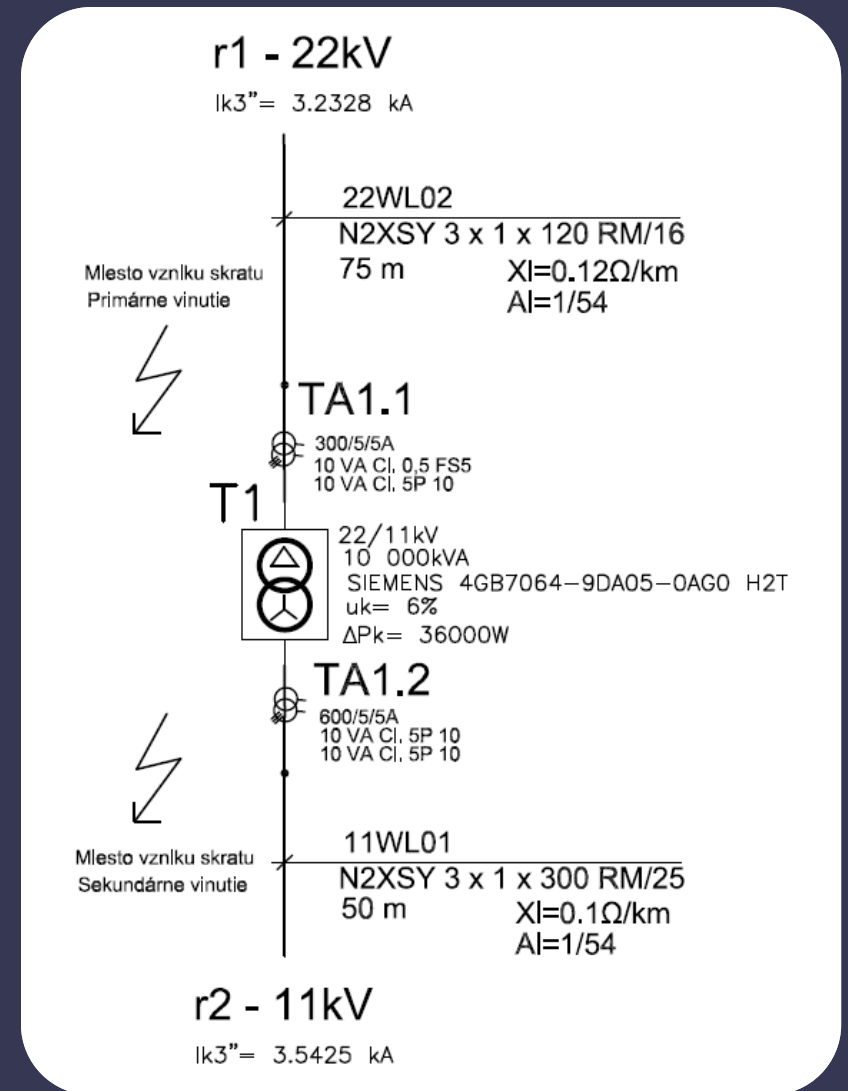
$$I_{>S} = (k_b \cdot I_{NS}) / (k_p \cdot p_p) = (1.1 \cdot 419) / (0.95 \cdot 600/5) = 4.043A$$

% Výpočet rozbehového prúdu ochrany pre skraty primárne vinutie

$$I_{>>P} = (0.8 \cdot I_{k2S}) / (k_c \cdot p_p) = (0.8 \cdot 3.333e3) / (1.5 \cdot 300/5) = 29.627A$$

% Výpočet rozbehového prúdu ochrany pre skraty sekundárne vinutie

$$I_{>>S} = (0.8 \cdot I_{k2P}) / (k_c \cdot p_p) = (0.8 \cdot 1.116e3) / (1.5 \cdot 600/5) = 4.96A$$



Obr. 14 Ukázkové zadanie

# Nadprúdová ochrana transformátora

*%Hodnota rozbehového prúdu ochrany pre primár TR preťaženie*

$$I_{>} \leq I_{R>}$$

$$4.043A \leq I_{R>}$$

$$I_{R>} = 4.5A$$

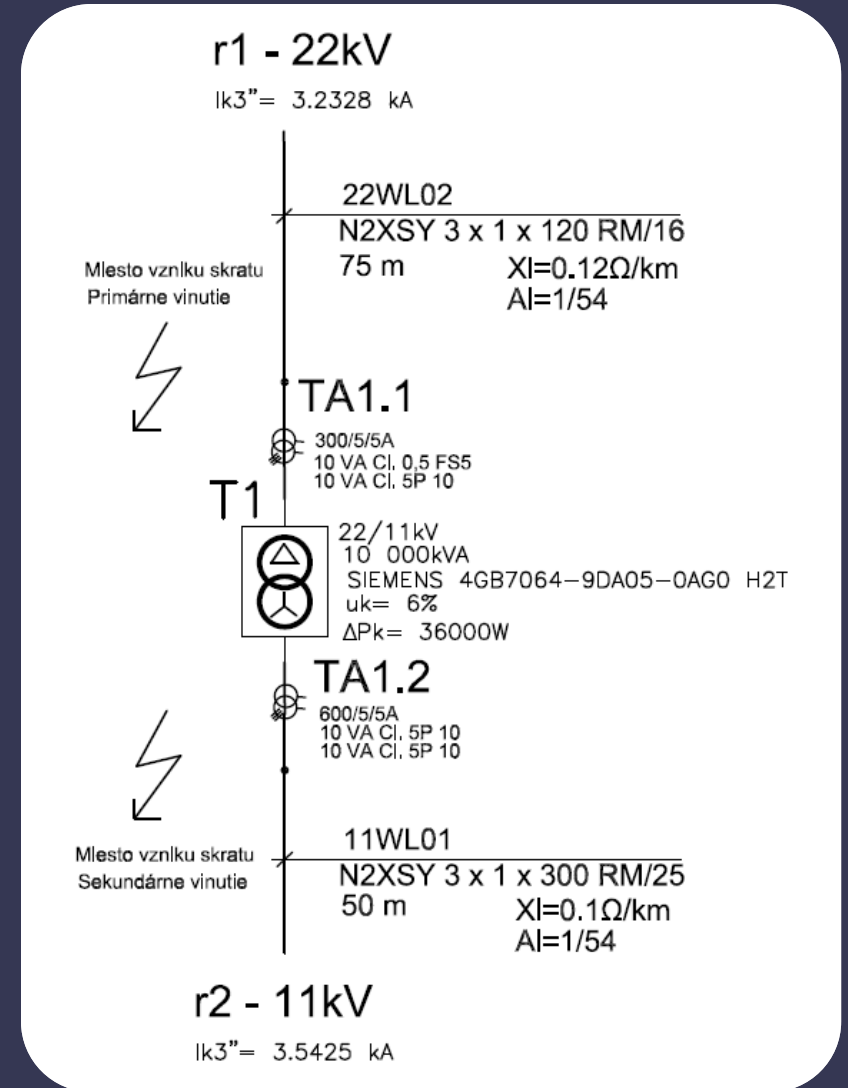
*%Hodnota rozbehového prúdu ochrany pre primár TR skrat*

$$I_{\gg} \geq I_{R\gg} > I_{R>}$$

$$29.627A \geq I_{R\gg} > 4.5A$$

$$I_{R\gg} = 7A$$

*Časové oneskorenie si volíme pre preťaženie  $t > 0.25s$  a pre skraty  $t \gg 0s$  s uvažovaním pre chránenie ďalších úsekov už len použitím poistiek a ističov.*



Obr. 14 Ukázkové zadanie

# Nadprúdová ochrana transformátora

*%Hodnota rozbehového prúdu ochrany pre sekundár TR preťaženie*

$$I_{>} \leq I_{R>}$$

$$4.043A \leq I_{R>}$$

$$I_{R>} = 4.1A$$

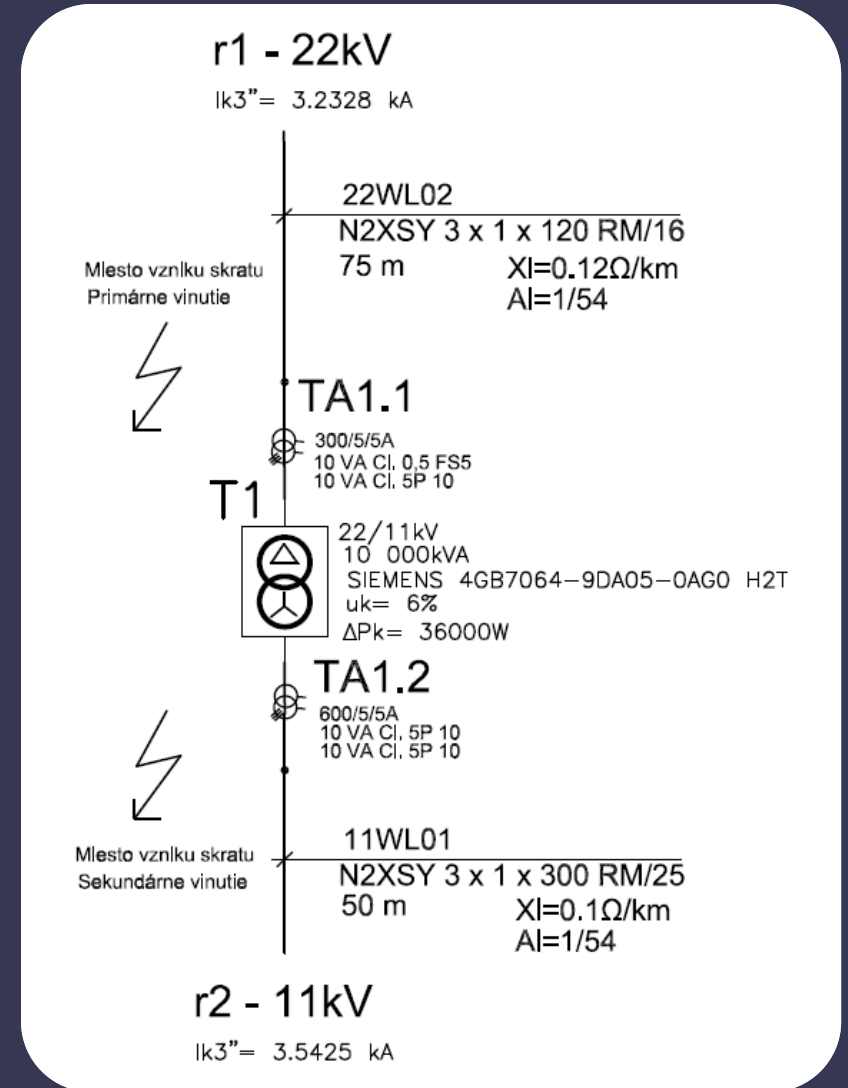
*%Hodnota rozbehového prúdu ochrany pre sekundár TR skrat*

$$I_{\gg} \geq I_{R\gg} > I_{R>}$$

$$4.96A \geq I_{R\gg} > 4.1A$$

$$I_{R\gg} = 4.8A$$

*Časové oneskorenie si volíme pre preťaženie  $t > 0.25s$  a pre skraty  $t \gg 0s$  s uvažovaním pre chránenie ďalších úsekov už len použitím poistiek a ističov.*



Obr. 14 Ukázkové zadanie

*Výpočet nastavenia rozdielovej  
ochrany transformátora*



# Rozdielová ochrana transformátora

Výpočet celkového chybového prúdu O87P:

$I_{d2} = PT_{chyby} + \text{budiaci prúd} + TR_{chyby} + \text{bezpečnostná rezerva} + \text{chyby relé}$

$$I_{d2} = 2 * 5\% + 1\% + 5\% + 5\% + 5\% = 26\%$$

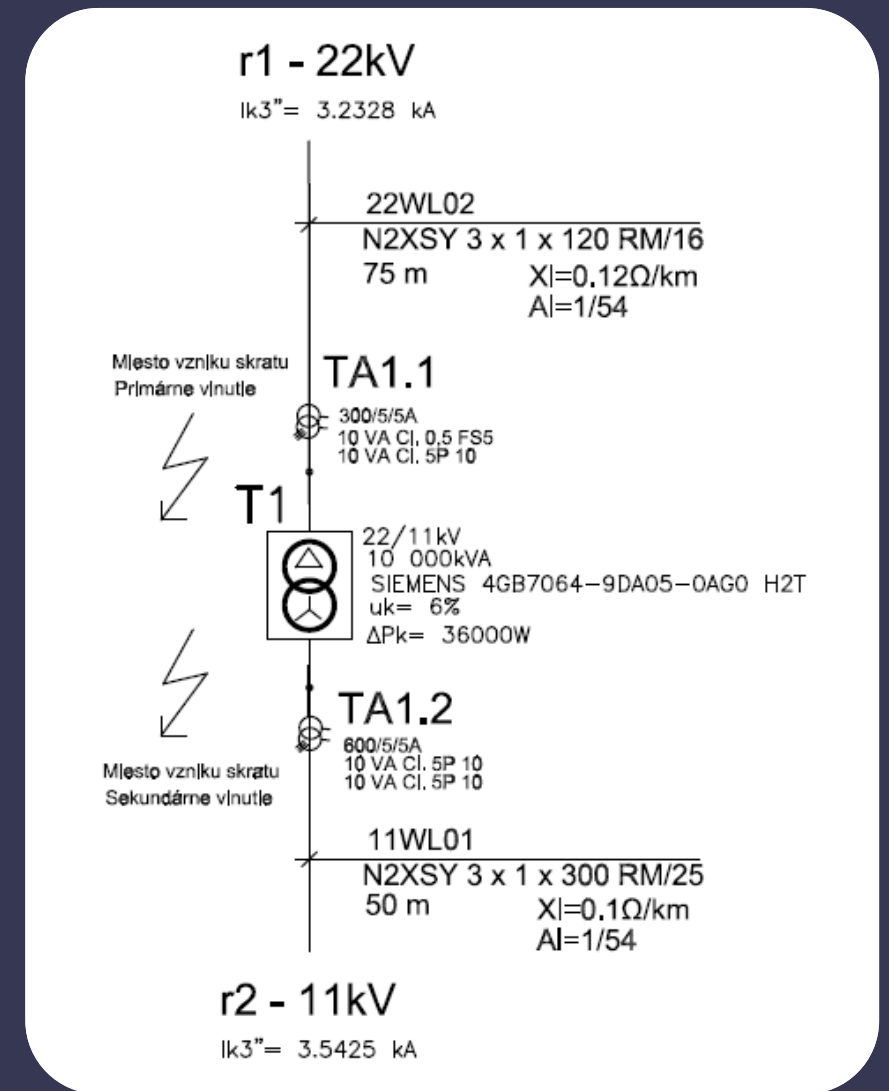
Výpočet nastavenia prvého sklonu:

$SLP_1 = PT_{chyby} + \text{budiaci prúd} + TR_{chyby} + \text{bezpečnostná rezerva} + \text{chyby relé}$

$$SLP_1 = 2 * 7\% + 1\% + 5\% + 5\% + 5\% = 30\%$$

Výpočet nastavenia druhého sklonu:

$$SLP_2 = 2 * SLP_1 = 60\%$$



Obr. 15 Ukázkové zadanie

# Rozdielová ochrana transformátora

Výpočet koeficientu transformátorov prúdu:

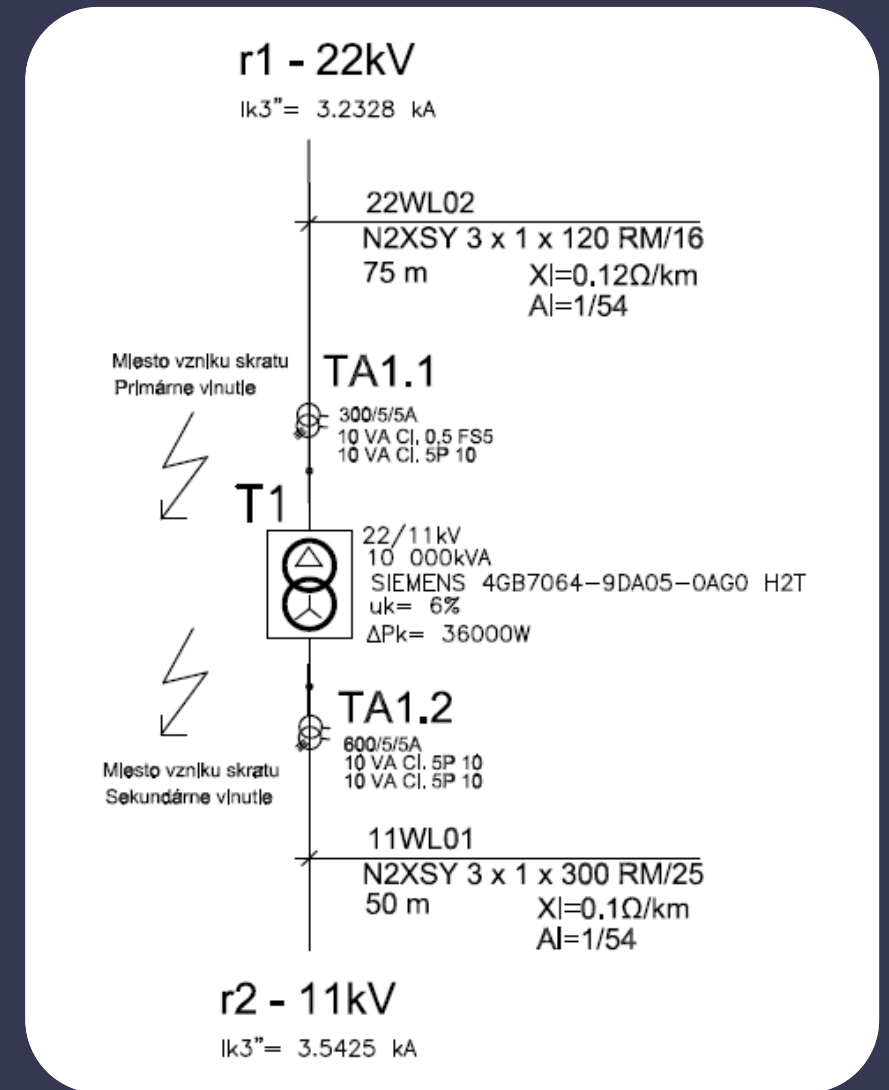
$$CTR_1 = \frac{300}{5} = 60$$

$$CTR_2 = \frac{600}{5} = 120$$

Zlomový bod IRS1 sa určuje pre stabilizačný prúd  $I_b$  v rozsahu 1.5 až 2.5. Pre príklad volíme 1.5.

Horné obmedzenie U87P rozdielového prúdu  $I_{dmax}$  sa volí v rozsahu 8 až 10. pre príklad volíme 8.

Druhú harmonickú nastavíme na 20% a piatu harmonickú nastavíme na 40%.



Obr. 15 Ukázkové zadanie



# Rozdielová ochrana transformátora

Kompenzačný činiteľ PT TAP sa vypočítajú podľa vzťahu:

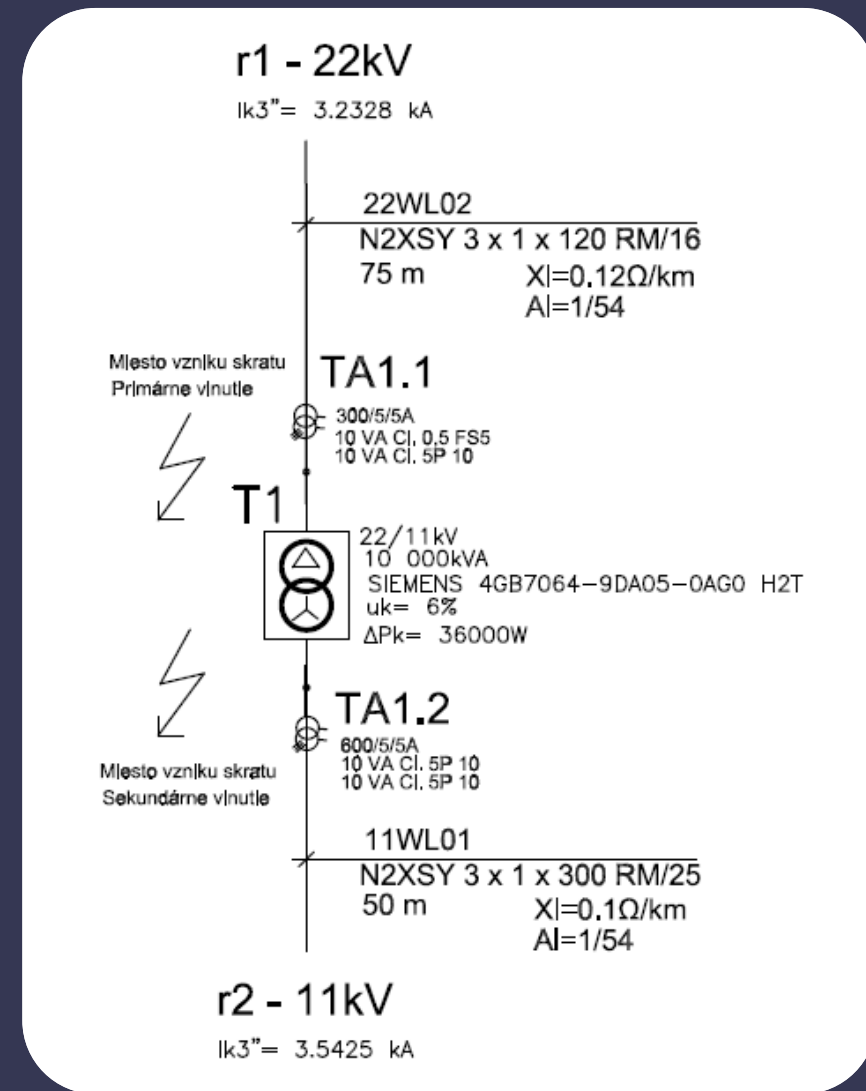
$$TAP = \frac{S \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{L-L}} * PT = \frac{10 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 22} * \frac{5}{300} = 4.374$$

Kompenzačný činiteľ PT TAP sa vypočítajú podľa vzťahu:

$$TAP = \frac{S \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{L-L}} * PT = \frac{10 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 11} * \frac{5}{600} = 4.374$$

Nábehový test rozdielovej ochrany

$$Id_{prim.} = Id_{sek.} = TAP * SLP_1 = 4.374 * 0.3 = 1.312A$$



Obr. 15 Ukázkové zadanie

*Vzorové zapojenie  
nastavovaných ochrán  
a testovanie*



# Nadprúdová ochrana SEL-751/751A

*Inštruktážny video návod k meraniu SEL-751/751A*



<https://selinc.com/products/751/?vidId=117499#tab-video>



<https://moodle.tuke.sk/moodle/mod/resource/view.php?id=50793>

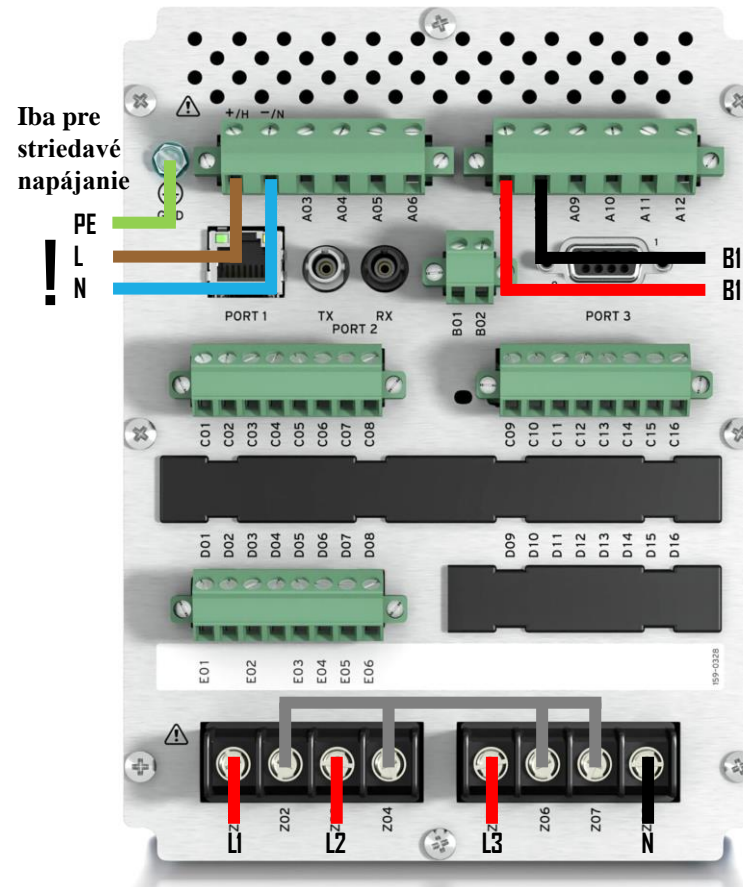
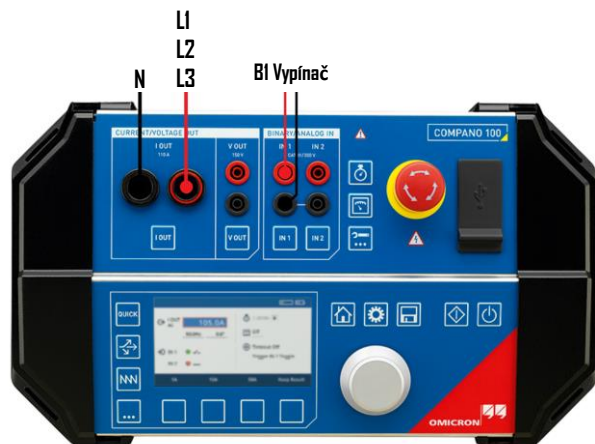
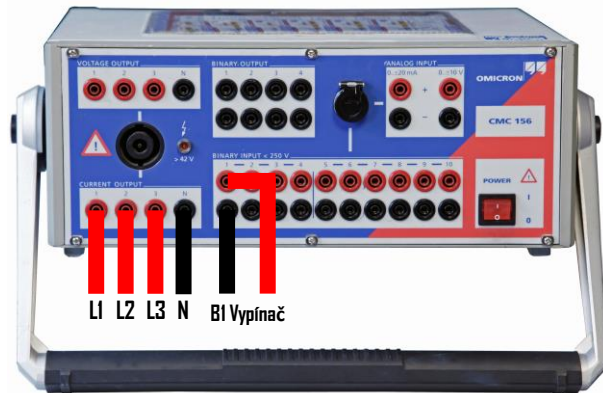


<https://www.youtube.com/watch?v=aWA-BxFz1vM&t=1s>



# Nadprúdová ochrana SEL-751/751A

Schéma zapojenia z video návodu k meraniu REF 543



# Generátorová ochrana SEL-700G/700GT

*Inštruktážny video návod k meraniu SEL-700G/700GT*



<https://moodle.tuke.sk/moodle/mod/resource/view.php?id=50810>

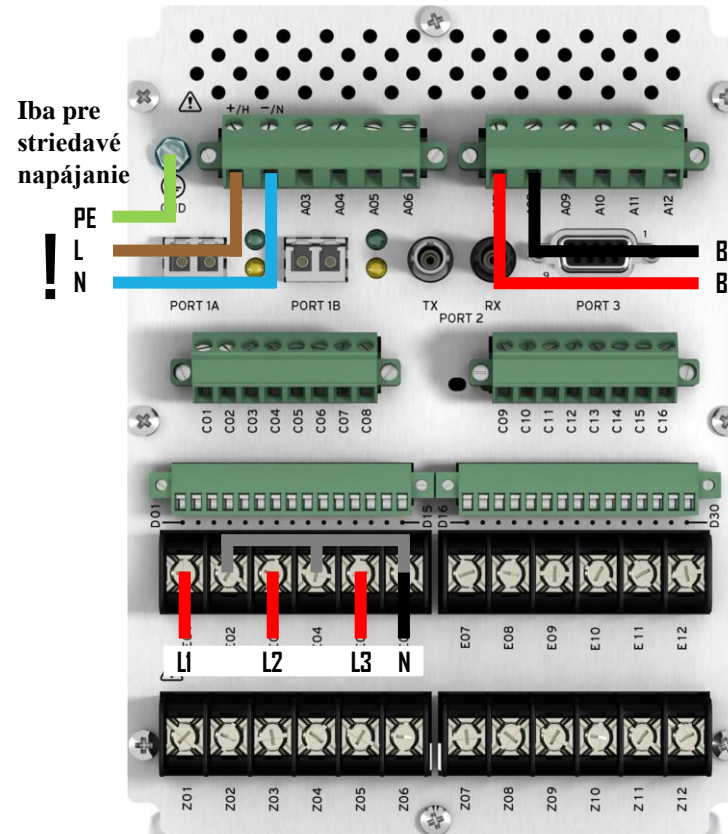
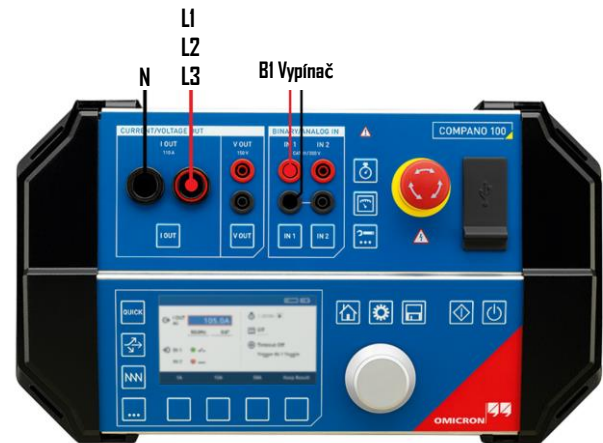
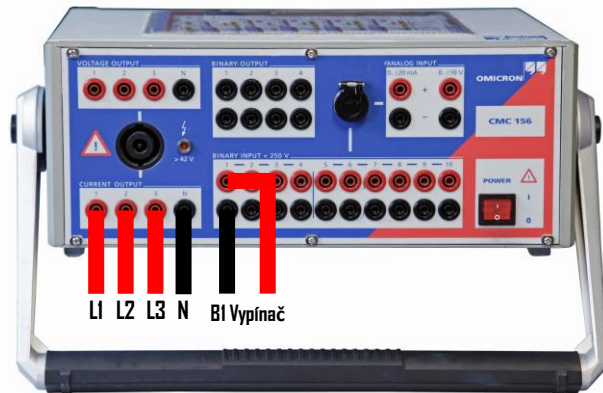


<https://www.youtube.com/watch?v=Pk44-tIxNDU>



# Generátorová ochrana SEL-700G/700GT

Schéma zapojenia z video návodu k meraniu SEL-700GT



# Transformátorová ochrana SEL-787

*Inštruktážny video návod k meraniu SEL-787*

*Nadprúdová ochrana SEL-787*



<https://moodle.tuke.sk/moodle/mod/resource/view.php?id=50818>

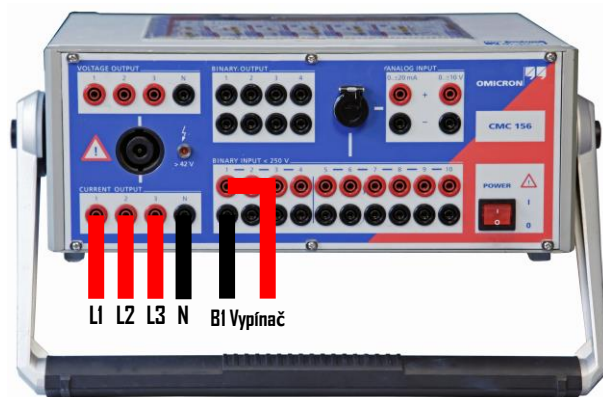


<https://www.youtube.com/watch?v=Qm3J9yngE5I>

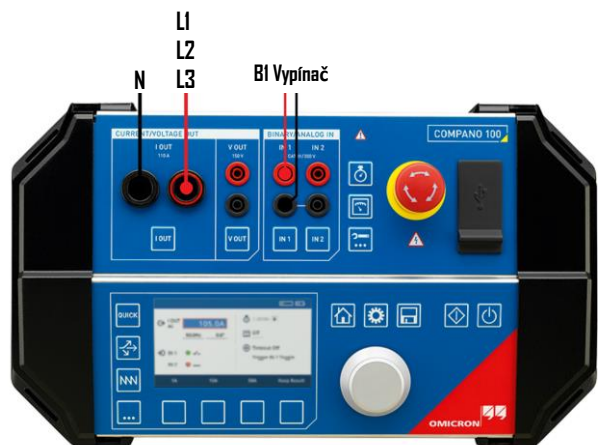
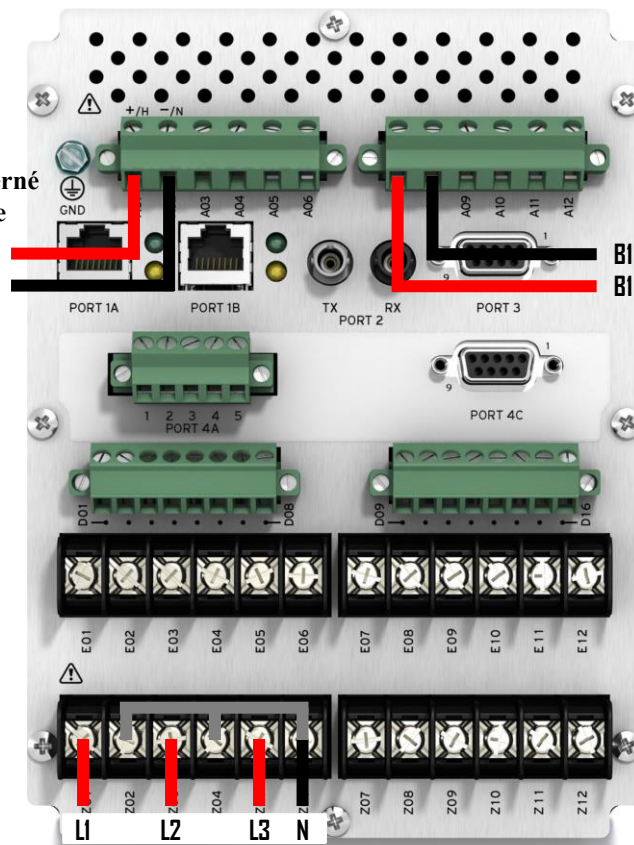


# Transformátorová ochrana SEL-787 nadprúdová primár

Schéma zapojenia z video návodu k meraniu SEL-787



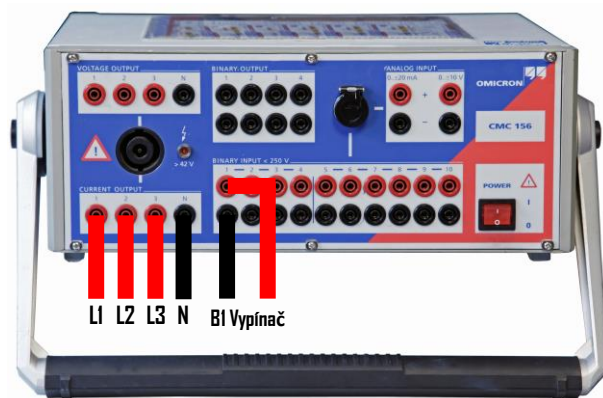
Iba pre  
jednosmerné  
napájanie



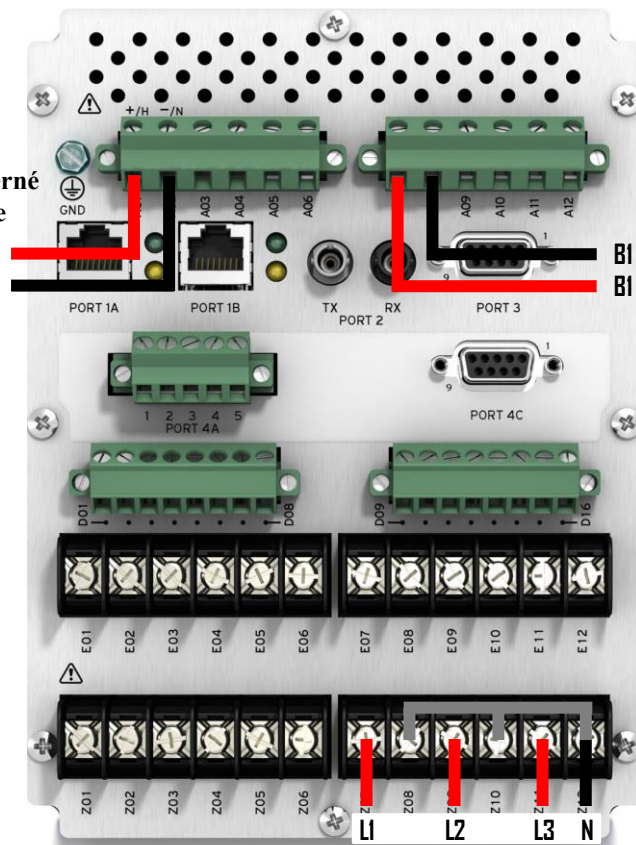


# Transformátorová ochrana SEL-787 nadprúdová sekundár

Schéma zapojenia z video návodu k meraniu SEL-787



Iba pre  
jednosmerné  
napájanie



# Transformátorová ochrana SEL-787

*Inštruktážny video návod k meraniu SEL-787*

*Rozdielová ochrana SEL-787*



<https://moodle.tuke.sk/moodle/mod/resource/view.php?id=50828>

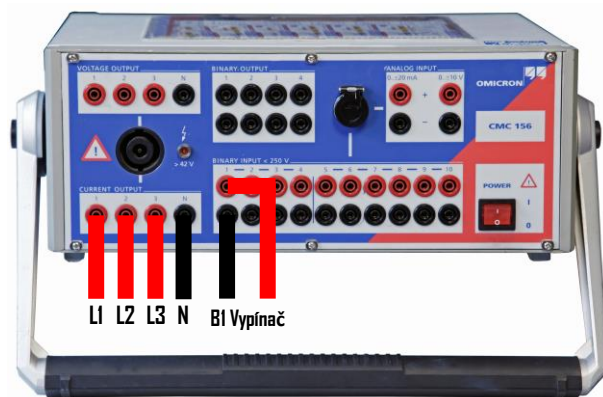


<https://www.youtube.com/watch?v=d8hEM48tIh4>



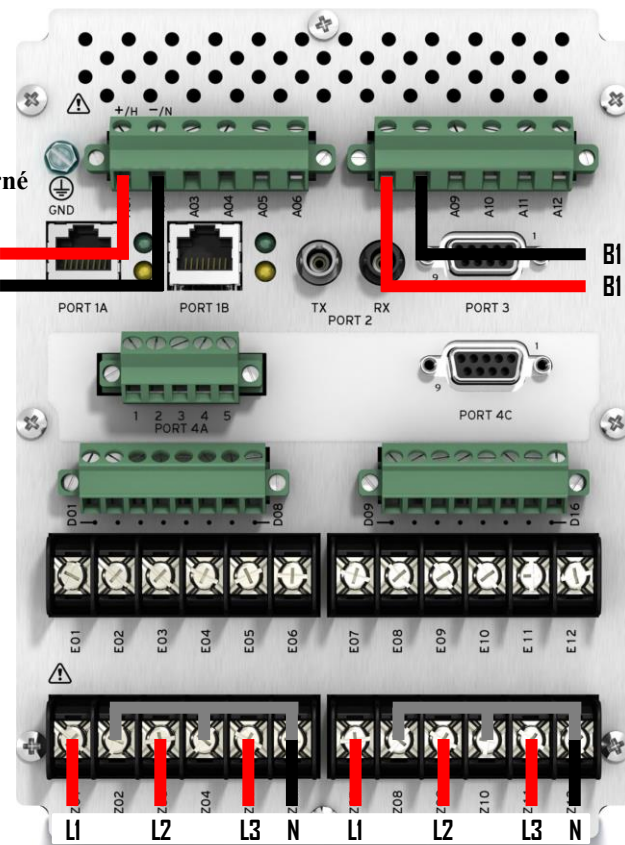
# Transformátorová ochrana SEL-787

Schéma zapojenia z video návodu k meraniu SEL-787



Iba pre  
jednosmerné  
napájanie

! +  
-



*Vzorové zapojenie  
a testovanie pomocou  
SEL-AMS*



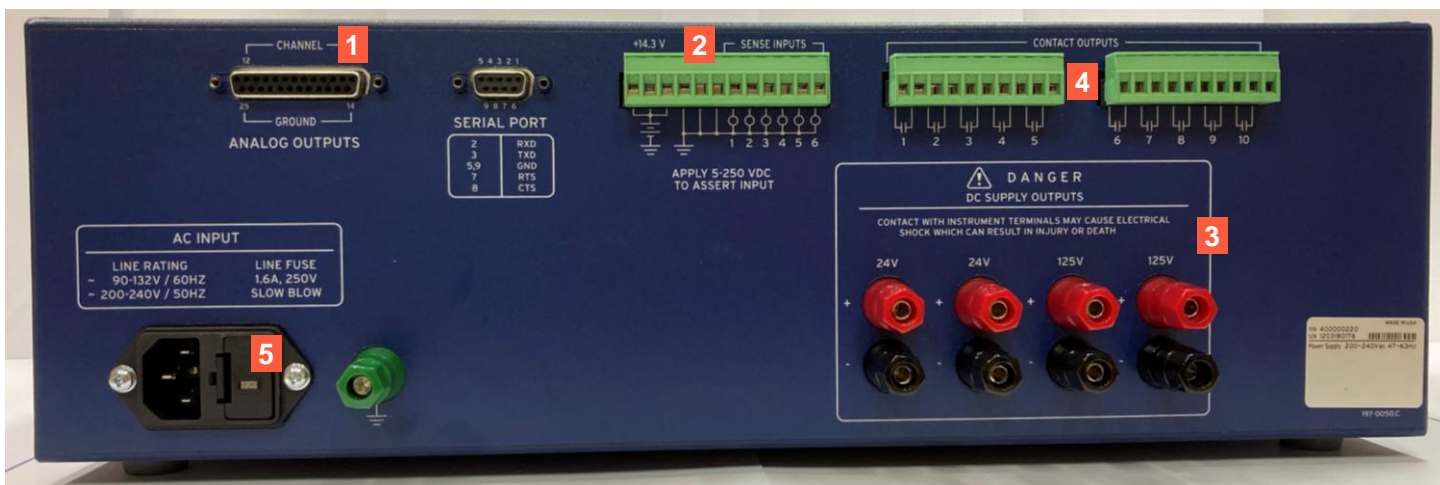
# SEL-AMS testovací systém

- 1** LED diódy na prednom paneli zobrazujú stav vstupov a výstupov testovacieho zariadenia
- 2** Vypínač pre zapnutie/vypnutie jednosmerného zdroja napájania 24V a 125V.
- 3** Vypínač pre zapnutie/vypnutie testovacieho zariadenia SEL-AMS (4000)



# SEL-AMS testovací systém

- 1** Analógové výstupy pre napájanie prúdových a napäťových vstupov ochranného relé.
- 2** Vstupná lišta a lišta uzemnenia
- 3** Výstupy jednosmerného zdroja pre 24V a 125V
- 4** Výstupná lišta spínacích kontaktov
- 5** Konektor pre napájanie testovacieho zariadenia SEL-AMS (4000) a uzemňovacia svorka



# *SEL-AMS testovací systém*

## Parametre testovacieho systému SEL-AMS

Frekvenčný rozsah 10 – 300 Hz

*Čas oneskorenia vstupu nesmie presiahnuť 255 milisekúnd.*

*Napät'ový a prúdový rozsah nemôže prekročiť 3.535 násobok prednastavených hodnôt výstupu pre jednotlivé ochranné relé.*

## Príklad pre SEL-787

Napät'ový rozsah 0 – 720 V

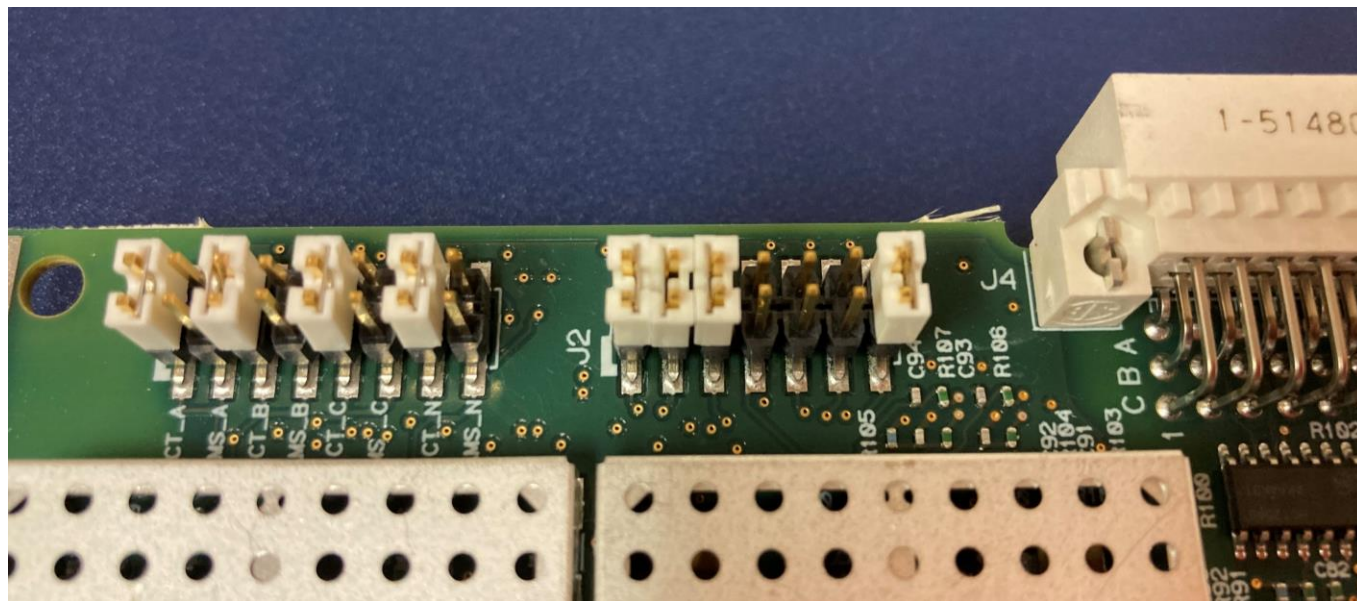
Prúdový rozsah 0 – 374.5 A

*Potrebný softvér na ovládanie testovacie zariadenia SEL-5401.*



# *SEL-AMS testovací systém*

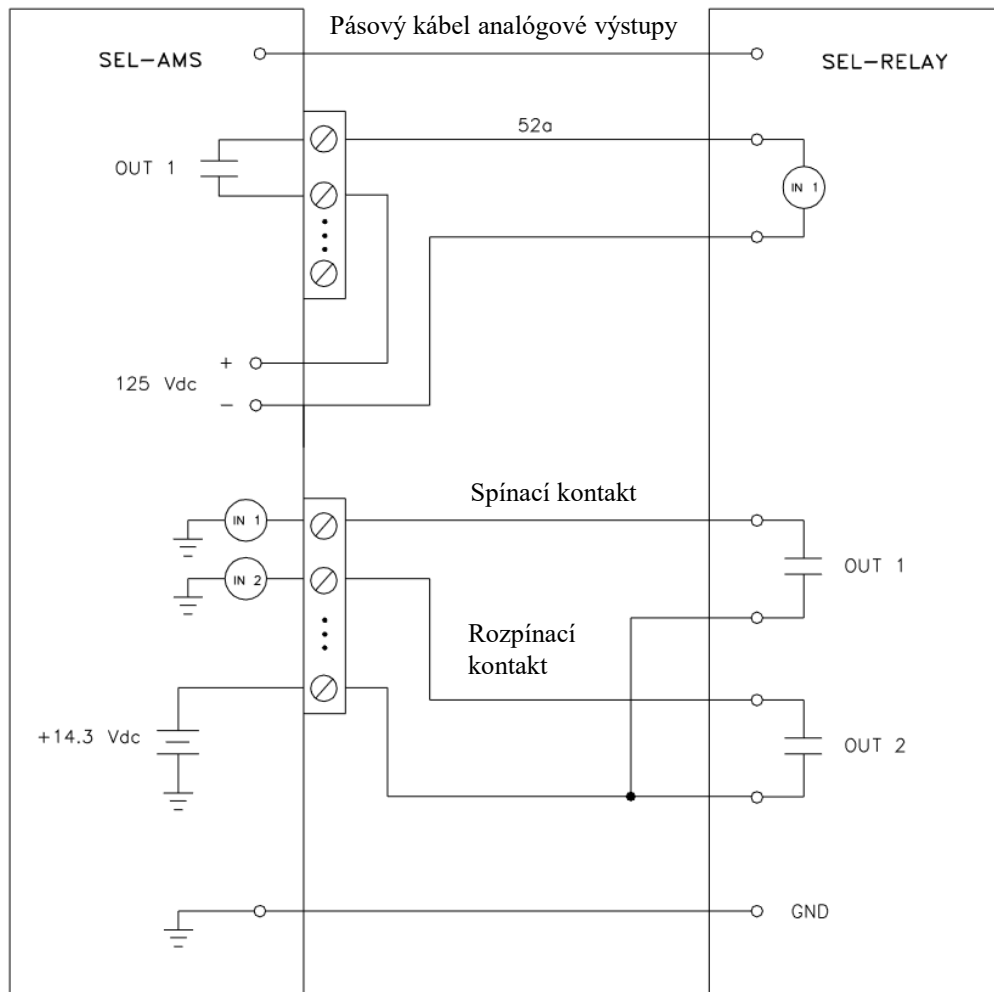
*Podmienkou použitia tohto testovacieho systému SEL-AMS je aj kompatibilita s testovaným relé. Jednoducho sa to dá zistiť pohľadom na dosku E (doska vstupov pre PTP a PTN), kde musia byť dostupné vstupy na pripojenie pasového kábla a kontakty na prepojenie AMS.*





# *SEL-AMS testovací systém*

*Schéma zapojenia SEL-AMS a testovaného relé*



# Zoznam použitej literatúry

- [1] Mešter, Marian: Výpočet skratových prúdov v trojfázových striedavých sústavách, Banská Bystrica: PRO, 2005, 94 s, ISBN 80-89057-10-1.
- [2] STN EN 60909-3:2003, Skratové prúdy v trojfázových striedavých sústavách Časť 0: Výpočet skratových prúdov.
- [3] Omicron: Compano 100: Manuál [Online], Rakúsko, Viedeň: OMICRON electronics GmbH, 2022, [cit. 2022-03-04], Dostupné na internete: <<https://www.omicronenergy.com/en/products/compano-100/>>.
- [4] Omicron: CMC 156: Referenčná príručka[Online], Rakúsko, Viedeň : OMICRON, 2000, [cit. 2021-10-10]. Dostupné na internete : <[https://moodle.tuke.sk/moodle/pluginfile.php/121423/mod\\_folder/content/0/CMC156.pdf?forcedownload=1](https://moodle.tuke.sk/moodle/pluginfile.php/121423/mod_folder/content/0/CMC156.pdf?forcedownload=1)>.
- [5] Schweitzer Engineering Laboratories: SEL-751: Dokumentácia [Online], USA, Washington: Schweitzer Engineering Laboratories, 2020, [cit. 2021-09-15], Dostupné na internete: <<https://selinc.com/products/751/docs/>>.
- [6] Schweitzer Engineering Laboratories: SEL-751A: Dokumentácia [Online]. USA, Washington: Schweitzer Engineering Laboratories, 2020, [cit. 2021-09-25], Dostupné na internete: <<https://selinc.com/products/751A/docs/>>.
- [7] Schweitzer Engineering Laboratories: SEL-700G: Dokumentácia [Online], USA, Washington: Schweitzer Engineering Laboratories, 2020, [cit. 2021-10-20], Dostupné na internete: <<https://selinc.com/products/700G/docs/>>.
- [8] Schweitzer Engineering Laboratories: SEL-787: Dokumentácia [Online], USA, Washington: Schweitzer Engineering Laboratories, 2020, [cit. 2021-11-16], Dostupné na internete: <<https://selinc.com/products/787/docs/>>.
- [9] Schweitzer Engineering Laboratories: SEL-387E: Dokumentácia [Online]. USA, Washington: Schweitzer Engineering Laboratories, 2020, [cit. 2021-11-28], Dostupné na internete: <<https://selinc.com/products/387E/>>.
- [10] Schweitzer Engineering Laboratories: SEL-421: Dokumentácia [Online], USA, Washington: Schweitzer Engineering Laboratories, 2020, [cit. 2021-12-16], Dostupné na internete: <<https://selinc.com/products/421/docs/>>.
- [11] Schweitzer Engineering Laboratories: SEL-4000: Dokumentácia [Online], USA, Washington: Schweitzer Engineering Laboratories, 2020, [cit. 2022-03-20], Dostupné na internete: <<https://selinc.com/products/4000/docs/>>.



Ing. Róbert Štefko

Parametrizácia ochranných relé v elektrizačných sústavách

Vydala Technická univerzita v Košiciach v roku 2022

Sadzba textu písmom Time New Roman (Microsoft Office)

Sadzba matematiky písmom Cambria Math (Microsoft Office)

115 strán, 15 obrázkov, 2 tabuľky

Vydanie prvé

ISBN 978-80-553-4068-5

Učebný text je určený študentom elektrotechnických fakúlt v študijných programoch zameraných na elektroenergetiku, používateľom elektroenergetických zariadení a odbornej verejnosti.