

# Poznámky k přednáškám EK, J. Sadil

Tento dokument pomáhá zvládnout bezkontaktní formu výuky tím, že k prezentacím předmětu, které jsou ke stažení na webových stránkách, doplňuje vybrané vysvětlující poznámky, komentáře apod.

Dokument je členěn pomocí dat, kdy měla být látka probrána a čísel přednášek z webu (pozor, čísla přednášek v souladu s harmonogramem neodpovídají výukovým týdnům).

Dokument bude postupně aktualizován podle situace s COVID-19 a na základě zpětné vazby studentů.

## 1 Vyučovací hodina 10. 3. 2020

### 1.1 Přednáška č. 6 (Bezpečnost el. Předmětů)

Celkově stačí si prezentaci pročíst, důležité jsou snímky č. 5, 7, 9 až 11

#### 1.1.1 Snímek 7

Každé elektrické zařízení, které se uvede na trh, musí být navrženo na určitý stupeň ochrany (ve fázi vývoje a výroby zařízení). Obecně se musí zajistit ochrana za běžného provozu a v případě jedné poruchy.

- Třída ochrany 0 – napětí vyšší než bezpečné malé, pouze základní izolace – není dovoleno (neřeší případ poruchy)
- Třída ochrany 1 – opatřeno prostředky pro připojení (ochranného) vodiče PE. Ochrana při poruše je zajištěna samočinným odpojením od zdroje. Tj. pokud nastane porucha (=výskyt napětí na naživé části), spojení s vodičem PE zajistí, že jistič poruchu odpojí.
  - Poznáte na první pohled podle větší třípólové vidlice (viz obr. na snímku), i když teoreticky může existovat i zařízení třídy ochrany 2 s touto větší vidlicí, pokud je ochranný vodič požadován z pracovních (ne ochranných) důvodů.
- Třída ochrany 2 – zařízení má dvojitou nebo zesílenou izolaci. Touto dvojitou nebo zesílenou izolací je zajištěna ochrana při poruše. Pokud nastane porucha (zde poškození základní izolace), ochranu zajišťuje ještě druhá nezávislá izolace (popř. zesílená izolace, která je realizována fyzicky jako jedna vrstva izolace, ale dostatečně „předimenzovaná“ aby měla vlastnosti jako dvojitá izolace)
  - Poznáte na první pohled podle menší dvojpólové vidlice (viz obr. na snímku)
- Třída ochrany 3 – spočívá v použití bezpečného malého napětí pro napájení elektrického zařízení.

### 1.2 Přednáška č. 7 (První pomoc)

Obecně šedivou barvou jsou okrajové informace, černou a červenou je postup první pomoci. Čtěte i to šedivé..

Zkuste prezentaci nečíst jako nudná fakta, ale představit si, že jste sami v situaci záchránce a řešíte ve velmi omezeném čase, co budete dělat.

#### 1.2.1 Snímek č. 5

Vyproštění postiženého by mělo proběhnout ideálně do 1 sekundy. Z hlediska bezpečnosti záchránce je nejlepším způsobem „vypnutí přívodu elektrického proudu“, ale musí to být „okamžité“ (vypínač při ruce, vytažení vidlice ze zásuvky, těžko půjde záchránce na chodbu hledat jističe...)

Důležitá poznámka v posledním bodu o vysokém napětí. Pozor u spadlých drátů vysokého napětí, i když jsou v určitém okamžiku třeba bez napětí, brzy mohou pod napětím opět být.

#### 1.2.2 Snímek č. 9

Přivolání zdravotnické pomoci by mělo být provedeno vždy po úrazu. Podle záchranářů laik nemusí poznat „hmatný tep“ postiženého od svého tepu „bušícího srdce“.

#### 1.2.3 Snímek č. 10

Operátor záchranné služby může určit jiný postup resuscitace, než je uvedeno na snímku.

K umělému dýchání:

- Některé plakáty v MHD navádí, že umělé dýchání není potřebné. Není to úplně pravda, tyto plakáty vycházejí z faktu, že lidé se umělého dýchání štítí a raději neposkytnou první pomoc vůbec. Pokud se ale neštítíme, umělé dýchání je prospěšné, doplňuje více kyslíku do těla postiženého než při samotné nepřímé srdeční masáži.
- Důležité je uspat nos, jinak se tolik vzduchu nedostane do plic postiženého.

#### 1.2.4 Snímek č. 13

Ad tekutiny: nesmí se podávat, hrozí mrtvice.

#### 1.2.5 Doporučená videa

Přehledové video o bezpečnosti v elektrotechnice:

<https://www.youtube.com/watch?v=cyXmm-gTvFU>

Videa česky:

[https://www.youtube.com/watch?v=TI1U\\_AJOZaY&t=188s](https://www.youtube.com/watch?v=TI1U_AJOZaY&t=188s)

<https://www.youtube.com/watch?v=QH3oPdl2SKY>

<https://www.youtube.com/watch?v=yNINSPN8m9s>

## 2 Vyučovací hodina 17. 3. 2020

### 2.1 Přednáška č. 8 (Technické uspořádání a bezpečnost práce)

#### 2.1.1 Snímek č. 4 – pojmy je potřeba znát

Cizí vodivá část: na „oblíbeném příkladu koupelny“ budiž příkladem cizí vodivé části kovové topidlo (radiátor). Aby ochrana při poruše fungovala, musí i topná soustava být uzemněna, jinak by při propojení živé části s radiátorem bylo rozvedeno nebezpečné napětí 230V po celém objektu. Je-li topná soustava uzemněna, proteče velký proud a jistič poruchu vypne.

#### 2.1.2 Snímek č. 8

Je potřeba znát z paměti.

#### 2.1.3 Snímek č. 9

Jde o vysvětlující obrázek ke schémátům sítí na snímcích 10 až 18.

Vedení k objektu/zařízení může být dlouhé pár metrů nebo také kilometr (na venkově od transformovny k poslednímu domu ve vesnici).

#### 2.1.4 Snímky č. 10 až 12

- Síť TN-C ... lidově „dvojdrát“, protože kabelem ve zdi k jednofázové zásuvce vedou 2 vodiče

- Síť TN-S ... lidově „trojdrát“, protože kabelem ve zdi k jednofázové zásuvce vedou 3 vodiče

Výhody sítě TN-S oproti dříve (do r. 1997) používané síti TN-C:

- Možnost použití proudového chrániče (viz následující přednáška)
- Nižší rušení sítě, pracovní proud teče vodiči blízko u sebe, toto uspořádání má malou indukčnost a malé rušení. V síti TN-C se zpětný pracovní proud vracel cizími vodivými částmi (potrubí, nosníky, armování apod.), takže smyčka měla velký povrch, velkou indukčnost, velké rušení.
- V síti TN-S se vodič PE uplatní pouze při poruše, je tedy pořád „jako nový“. Svým způsobem je to ale nevýhoda, protože při přerušení vodiče PE to nepoznáme.

Snímek č. 10 – bod c) v obrázku – spotřebič musí být pevně připojen (tj. na svorky, ne přes prodlužovací přívod, aby nedošlo k prohození vodičů fázového a PEN)

#### 2.1.5 Snímek č. 14

Případ a) není dovolen, dvojpólová vidlice by mohla být do zásuvky zapojena obráceně a došlo by k připojení fáze na neživou část (kostru) zařízení.

#### 2.1.6 Snímek č. 16

V objektu pohledem na zásuvku nepoznáte, o jakou síť se jedná. V sítích TT bývá vodič PE po objektu rozveden skupinově, ale není přiveden k objektu od společného uzlu distribučního transformátoru. Ochranný vodič se připojí k zemniči. Spojení zemí má vyšší impedanci než spojení vodičem (řádkově v sítích TN je to cca 0,2 Ohm, v sítích TT bývá 20 Ohm).

#### 2.1.7 Snímek č. 18

Síť IT je vhodná do průmyslu, nemocnic a jiných provozů, kde by výpadek sítě způsobil velké škody. Pokud dojde k vodivému spojení fázového vodiče se zemí, nejde o zkrat, nýbrž o tzv. zemní spojení. Zem totiž k síti IT nemá žádný vztah (kdyby byla síť zcela oddělena od země, tak teoreticky nebude mít definovaný potenciál vůči zemi). V případě zemního spojení se detekuje porucha, ale síť není nutno ihned vypnout.

#### 2.1.8 Snímek č. 25

Doba odpojení 0,4s v sítích TN souvisí s vypínací napěťovou křivkou (viz EK, předn. č. 3, snímek 14).

V sítích TT je impedance zpětné cesty proudu vyšší (výše uvedených 20 Ohm), takže místo 90V lze na neživých částech očekávat z 230V až cca 200V, proto doba odpojení se požaduje pouze 0,2s (přísnější požadavek).

## 2.2 Přednáška č. 9 (Jisticí a ochranné prvky)

### 2.2.1 Snímek č. 6

- Pájka s nízkou teplotou tavení chrání jištěné zařízení proti nadproudům.
- Zúžené místo tavného vodiče chrání jištěné zařízení proti zkratům.

### 2.2.2 Snímek č. 11

Bezpečnostní rizika s pojistkovým spodkem

- nutná manipulace pomocí pojistkového držadla („kleští“),
- nutno pojistku vyndávat bez zatížení, jinak hrozí vytvoření elektrického oblouku,
- přívod může zůstat pod napětím.

### 2.2.3 Snímek č. 12

Zkratky vypíná (rychleji) zkratová (elektromagnetická) spoušť – to znamená rychleji než nadproudá tepelná spoušť.

### 2.2.4 Snímek č. 14

- Časově nezávislá spoušť – zkratová
- Časově závislá spoušť – nadproudá

## 3 Vyučovací hodina 24. 3. 2020

### 3.1 Seminární cvičení: 1. část – obvody ve stacionárním ustáleném stavu

#### 3.1.1 PŘ. 1 – účinky DC proudu

Spočtete si sami.

Přímá aplikace Ohmova zákona.

U [V]	10	20	50	100	250
R [Ω]	10000	2500	2000	1300	1000
I=? [A]	1 mA	8 mA	25 mA	77 mA	250 mA

$$I = \frac{U}{R}$$

pod prahem reakce  
nad -||-  
po 2s mezi uvolnění (práh odprutání)  
nad mezi uvolnění (práh odprutání)

pravděpodobnost fibrilací komor po výhledu 7s je 50%

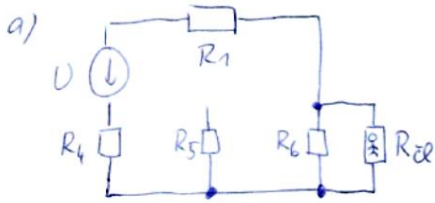
#### 3.1.2 PŘ. 2 – blízký zkrat v soustavě AC 25 kV

Soustava AC 25 kV, 50 Hz je trakční napájecí soustavou pro železniční dopravu v části ČR, jde o perspektivní napájecí soustavu používanou v Evropě, v ČR je plánována konverze stávající soustavy DC 3 kV použité v části ČR právě na soustavu AC 25 kV, 50 Hz.

Příklad přibližuje, co by se stalo, kdyby nedaleko napájecí stanice došlo ke zkratu mezi trolejí a stožářem (trakční podpěrou), kterého by se držel člověk. Odpor R1 je vnitřní odpor zdroje napětí, R4 je odpor uzemnění napájecí stanice, R5 a R6 jsou odpory uzemnění jednotlivých stožárů vzdálených od sebe cca 60 m, R2 a R3 jsou odpory zemnicího lana nataženého mezi stožáry. Člověk se drží druhého stožáru od napájecí stanice, tj. cca 120 metrů od napájecí stanice.

Varianta a) odpovídá současnému stavu v ČR, kdy zemnicí lano není nataženo, v tom případě v obvodu nejsou rezistory R2 a R3.

Varianta b) je se zemnicím lanem, můžete si všimnout příznivého efektu zemnicího lana.



$R_5$  „se vzdáchn“ ,  $I_5 = 0 \Rightarrow U_5 = R_5 I_5 = 0 \text{ V}$   
 $\Rightarrow$  nemusíme uvažovat  $R_5$

Metoda postupného zjednodušování

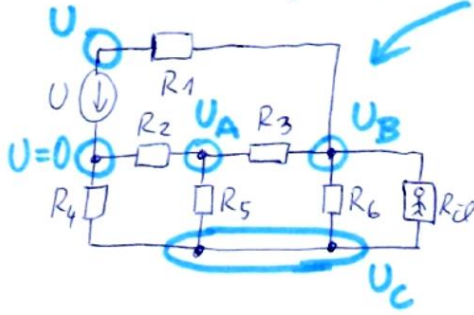
$$R_{6\text{cel}} = \frac{R_6 \cdot R_{\text{cel}}}{R_6 + R_{\text{cel}}} = 29,126 \Omega$$

$$R_{\text{celk}} = R_1 + R_{6\text{cel}} + R_4 = 37,126 \Omega$$

$U_{6\text{cel}} = U_{\text{cel}} , I_{\text{cel}} = \frac{U_{\text{cel}}}{R_{\text{cel}}} = 19,6 \text{ A}$  okamžitá nastava srdce  
 $I_{\text{celk}} = I_{6\text{cel}} , U_{6\text{cel}} = R_{6\text{cel}} \cdot I_{6\text{cel}} = 19613 \text{ V}$   
 $I_{\text{celk}} = \frac{U}{R_{\text{celk}}} = 673,4 \text{ A}$

b) Metoda uzlových napětí

Volba uzlových napětí



Obvodové rovnice:

$$U_A: \frac{U_A}{R_2} + \frac{U_A - U_C}{R_5} + \frac{U_A - U_B}{R_3} = 0$$

$$U_B: \frac{U_B - U}{R_1} + \frac{U_B - U_A}{R_3} + \frac{U_B - U_C}{R_6} + \frac{U_B - U_C}{R_{\text{cel}}} = 0$$

$$U_C: \frac{U_C}{R_4} + \frac{U_C - U_A}{R_5} + \frac{U_C - U_B}{R_6} + \frac{U_C - U_B}{R_{\text{cel}}} = 0$$

Dosazení:  $U_A: \frac{U_A}{0,5} + \frac{U_A - U_C}{30} + \frac{U_A - U_B}{0,5} = 0$

$$U_B: \frac{U_B - 25000}{7} + \frac{U_B - U_A}{0,5} + \frac{U_B - U_C}{30} + \frac{U_B - U_C}{1000} = 0$$

$$U_C: \frac{U_C}{1} + \frac{U_C - U_A}{30} + \frac{U_C - U_B}{30} + \frac{U_C - U_B}{1000} = 0$$

Řeším rovnice (... v ruce, nebo použijte vhodný „solver“)

$$U_A = 1498 \text{ V} , U_B = 3019 \text{ V} , U_C = 144 \text{ V}$$

$$\Rightarrow U_{\text{cel}} = U_B - U_C = 2875 \text{ V}$$

$$I_{\text{cel}} = \frac{U_{\text{cel}}}{R_{\text{cel}}} = 2,875 \text{ A}$$

Diskuse výsledků:

Jednoznačně není vhodné se dotýkat trakčních stožárů, kdyby došlo ke zkratu, může být člověk vystaven nebezpečnému dotykovému napětí.

Příznivý efekt zemního lana: pokud bychom obvod „prodloužili“ na 16 stožáru, cca 1 km, proud člověkem by byl již nižší než 0.5 A, což by po dobu 100 ms člověk na 95% přežil. Ve variantě bez zemního lana by ani při maximální vzdálenosti od napájecí stanice 25 km nedošlo k výraznému snížení proudu člověkem.

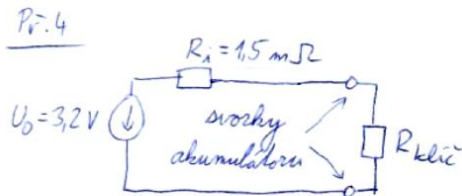
### 3.1.3 PŘ. 3 – kroková napětí

Prozatím vynecháme.

### 3.1.4 PŘ. 4 – zkrat akumulátoru

Příklad ze života. Akumulátor viz <https://shop.gwl.eu/d1578.html>

Zdánlivě neškodné napětí 3.2 V, ale větší akumulátory mají při zkratu velké tepelné efekty, pokud utáhnete šroub stranovým klíčem a „podaří“ se Vám svorky zkratovat, získáte i při tomto malém napětí de facto svářečku.



$$R_{\text{celk}} = R_a + R_{\text{klíč}} = 2.5 \text{ m}\Omega$$

Ohmův zákon  $U = R \cdot I$

$$I_{\text{celk}} = \frac{3.2}{2.5 \cdot 10^{-3}} = 1280 \text{ A} = I_{\text{klíč}}$$

$$P = U \cdot I = R \cdot I \cdot I = R \cdot I^2$$

$$P_{\text{klíč}} = R_{\text{klíč}} \cdot I_{\text{klíč}}^2 = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 1280^2 = 1638 \text{ W}$$

Odhad ... neuvažujeme sdílení tepla chráničeho klíče s okolím (velká chyba to ale není, klíč při teplotě 1500°C přídává okolnímu vzduchu tepelný výkon pouze ca 15 W)

$$W_{\text{el}} = W_{\text{tepelná}} \quad \text{rozdíl teplot delta theta}$$

$$P_{\text{klíč}} \cdot \Delta t = m \cdot c \cdot \Delta \theta$$

$$\Delta t = \frac{m \cdot c \cdot \Delta \theta}{P} = \quad \text{a) } \underline{\underline{\Delta t = \frac{0.2 \cdot 27 \cdot (100 - 20)}{1638} = 0.26 \text{ s}}}$$

$$\text{b) } \underline{\underline{\Delta t = \frac{0.2 \cdot 27 \cdot (1500 - 20)}{1638} = 4.88 \text{ s}}}$$

$$\text{c) } Q_t = m \cdot l_f = 0.2 \cdot 300 = 60 \text{ kJ} = 60 \text{ kW}\cdot\text{s}$$

hání

$$W = P \cdot t \Rightarrow \Delta t_{\text{hání}} = \frac{Q_t}{P_{\text{klíč}}} = \frac{60000 \text{ W}\cdot\text{s}}{1638 \text{ W}} = 36.63 \text{ s}$$

pro  $P = \text{konst.}$

↑  
čas samostatného hání

$$\text{Celkový čas do roztažení klíče: } 36.63 + 4.88 = \underline{\underline{41.51 \text{ s} = \Delta t_{\text{celk}}}}$$

### 3.1.5 PŘ. 5 – Zkrat v rozvodné soustavě

Jedná se o DC obvod trochu podobný skutečnému AC obvodu: ve skutečnosti je rozvodná síť střídavá AC 230 V, 50 Hz. Pro začátek a pro jednoduchost počítáme jako by byla rozvodná síť stejnosměrná DC 230 V. Jako ve skutečnosti uvažujeme vnitřní odpor zdroje napětí (ve skutečné AC síti by šlo o vnitřní impedanci zdroje = transformátoru vn/nn na straně nn) a odpory pracovních vodičů (fázového L1 a ochranného PE). Ostatní odpory zanedbáváme. Celá smyčka zkratového proudu je naznačena tečkovanou čarou.

Jistič s charakteristikou B posazuje s jistotou 5-násobný (a vyšší) proud  
oproti jmenovitému proudu na proud skratový (její vypíná).

⇒ jistič B10 vyhodnotí proudy  $I > \underbrace{5 \cdot 10}_{50A}$  jako skrat

Hledáme minimální průřez  $S$  vodiče PE

Protože je  $R = \rho \cdot \frac{l}{S} \Rightarrow$  minimálnímu průřezu odpovídá maximální odpor

Protože je  $I = \frac{U}{R} \Rightarrow$  max. odporu odpovídá minimální proud. To souhlasí,  
proud musí být minimálně 50 A.

Postup:  $R_{\text{celk}} \leq \frac{U}{I} = \frac{230}{50} = 4,6 \Omega$

↑ vyhovovací proud jističe - tuto hodnotu jistič "vyhodnotí" jako skrat

$R_{\text{celk}} = R_{\text{zdr}} + R_{L1} + R_{PE} = 2 + R_{PE} \Rightarrow R_{PE} = R_{\text{celk}} - 2 \Rightarrow R_{PE} \leq 2,6 \Omega$   
pohledem na obvod, všechny rezistory v sérii

$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \Rightarrow S = \rho \cdot \frac{l}{R}$

$\underline{\underline{S \geq \rho \cdot \frac{l}{R_{PE}}} = 18 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{km}} \cdot \frac{1 \text{ km}}{2,6 \Omega} = 6,92 \text{ mm}^2}$   
resistivita mědi

Odpověď: průřez vodiče PE musí být vyšší než  $6,92 \text{ mm}^2$ .  
(vyžádá se např.  $10 \text{ mm}^2$ )

Výsledkem je, že vodič PE bude mít průřez stejný jako vodič fázový (můžete si snadno spočítat pomocí rezistivity mědi, že 1.8 Ohm odpovídá pro měděný vodič při délce vodiče 1 km právě průřezu vodiče  $10 \text{ mm}^2$ ).

## 4 Vyučovací hodina 31. 3. 2020

### 4.1 Seminární cvičení: 2. část – obvody v harmonickém ustáleném stavu

#### 4.1.1 PŘ. HUS 1 – Odpor a kapacita kůže

Tento příklad nebudete muset umět sami spočítat, ale projděte si postup, impedance sice musíme počítat komplexně, ale grafy impedancí lidského těla, požadavky na impedance v normách atd. jsou uváděny pro velikost impedance (absolutní hodnotu).

$\hat{z}_p, R_p$  a  $C_p$  reprezentují 2 pólový systém

230 V:  $R_p = 0 \Omega$ ,  $R_i = 1000 \Omega$ ,  $C_p$  nehráje roli

50 V:  $R_p = 1000 \Omega$  ... z grafu vyčtena hodnota 2000 Ohm celkem, protože je  $R_i = 1000$  Ohm, zbylých 1000 Ohm připadá na pokožku

$$|Z_T| = \left| R_i + \frac{R_p \hat{z}_{C_p}}{R_p + \hat{z}_{C_p}} \right| = \left| R_i + \frac{R_p \frac{1}{j\omega C_p}}{R_p + \frac{1}{j\omega C_p}} \right| = \left| R_i + \frac{R_p}{R_p j\omega C_p + 1} \right| = \left| R_i + \frac{R_p}{1 + j\omega R_p C_p} \right|$$

$$1500 = \left| 1000 + \frac{1000}{1 + 1000 \cdot 314 \cdot C_p \cdot j} \right| = \left| \frac{2000 + 314 \cdot 10^6 C_p j}{1 + 314 \cdot 1000 C_p j} \right| = \left| \frac{2000 - 628 \cdot 10^6 C_p j + 314 \cdot 10^6 C_p j + 10^{14} C_p^2 j^2}{1 - 314 \cdot 1000 C_p j} \right| = \left| \frac{2000 - 628 \cdot 10^6 C_p j + 314 \cdot 10^6 C_p j + 10^{14} C_p^2 j^2}{1 + (314 \cdot 10^3 C_p)^2} \right| =$$

$$= \left| \frac{2000 + 9,8596 \cdot 10^{13} C_p^2}{1 + 9,8596 \cdot 10^{10} C_p^2} + \frac{-314 \cdot 10^6 C_p j}{1 + 9,8596 \cdot 10^{10} C_p^2} \right| \Rightarrow \left( \frac{2000 + 9,8596 \cdot 10^{13} C_p^2}{1 + 9,8596 \cdot 10^{10} C_p^2} \right)^2 + \left( \frac{314 \cdot 10^6 C_p}{1 + 9,8596 \cdot 10^{10} C_p^2} \right)^2 = 1500^2$$

$$(2000 + 9,8596 \cdot 10^{13} C_p^2)^2 + (314 \cdot 10^6 C_p)^2 = 1500^2 (1 + 9,8596 \cdot 10^{10} C_p^2)^2$$

$$4 \cdot 10^6 + 3,9438 \cdot 10^{27} C_p^4 + 9,7242 \cdot 10^{27} C_p^4 + 9,8596 \cdot 10^{14} C_p^2 = 2,25 \cdot 10^6 (1 + 1,9719 \cdot 10^{11} C_p^2 + 3,7242 \cdot 10^{21} C_p^4)$$

$$9,7242 \cdot 10^{27} C_p^4 + 4,9298 \cdot 10^{12} C_p^2 + 4 \cdot 10^6 = 2,25 \cdot 10^6 + 4,4368 \cdot 10^{17} C_p^2 + 2,1873 \cdot 10^{28} C_p^4$$

$$-1,2951 \cdot 10^{28} C_p^4 + 4,4930 \cdot 10^{12} C_p^2 + 1,75 \cdot 10^6 = 0$$

$$C_p^4 - 4,0570 \cdot 10^{12} C_p^2 - 1,4402 \cdot 10^{22} = 0$$

$$D = b^2 - 4ac = 5,9252 \cdot 10^{22}$$

$$\sqrt{D} = 2,4342 \cdot 10^{11}$$

$$C_{p42} = \frac{4,0570 \cdot 10^{12} \pm 2,4342 \cdot 10^{11}}{2} = 1,4199 \cdot 10^{11}$$

$$C_p = \sqrt{1,4199 \cdot 10^{11}} = 3,7682 \cdot 10^{-6} \text{ F} \quad (Z_{C_p} = -315 \text{ j } \Omega)$$

$$\hat{z}_p = \frac{R_p \hat{z}_{C_p}}{R_p + \hat{z}_{C_p}} = \frac{R_p}{1 + j\omega R_p C_p} = \frac{R_p - j\omega R_p^2 C_p}{1 + \omega^2 R_p^2 C_p^2} = \frac{1000 - j 314 \cdot 10^6 \cdot 3,7682 \cdot 10^{-6}}{1 + 314^2 \cdot 10^6 \cdot (3,7682 \cdot 10^{-6})^2} = \frac{1000 - 1183 \text{ j}}{2,4} = 417 - 493 \text{ j}$$

#### 4.1.2 PŘ. HUS 2 – Proud protékající tělem pro různé trajektorie

$$a) \hat{I} = \frac{U}{\hat{z}_p + R_i} = \frac{50}{417 - 493 \text{ j} + 1000} = \frac{50}{1500 \cdot e^{j(-0,33)}} = 33,3 \cdot e^{0,33 \text{ j}} \text{ mA}$$

$$b) \hat{I} = \frac{50}{417 - 493 \text{ j} + 950} = \frac{50}{1453 \cdot e^{j(-0,35)}} = 34,4 \cdot e^{0,35 \text{ j}} \text{ mA}$$

$$c) \hat{I} = \frac{50}{417 - 493 \text{ j} + 900} = \frac{50}{1267 \cdot e^{j(-0,40)}} = 39,5 \cdot e^{0,40 \text{ j}} \text{ mA}$$

$$d) \hat{I} = \frac{50}{417 - 493 \text{ j} + 850} = \frac{50}{1041 \cdot e^{j(-0,49)}} = 48,0 \cdot e^{0,49 \text{ j}} \text{ mA}$$

$$x) \hat{I} = \frac{U}{R_i} = \frac{230}{1000} = 230 \text{ mA}$$

↙ při 230 V se již pokožka nepřelupí (ji přesarží)

$$f) \hat{I} = \frac{230}{0,95 \cdot 1000} = 242 \text{ mA}$$

↑ 45% dě raději

$$g) \hat{I} = \frac{230}{0,975 \cdot 1000} = 307 \text{ mA}$$

$$h) \hat{I} = \frac{230}{0,5 \cdot 1000} = 460 \text{ mA}$$



#### 4.1.3 PŘ. HUS 3 – Proud protékající tělem pro různé trajektorie s uvažováním obuvi

a)  $\hat{I} = \frac{\hat{U}}{\hat{Z}_p + R_1 + R_2} = \frac{50}{477 - 493j + 1000 + 1000} = \frac{50}{2467 - j0,2} = 20,3 \text{ e}^{j0,2} \text{ mA}$   
 paterka tělo obuv (1.60a)

b)  $\hat{I} = \frac{50}{477 - 493j + 0,95 \cdot 1000 + 0} = 34,4 \text{ e}^{j0,35} \text{ mA}$   
 na trajektorii ruky-ruka se obuv neoplátá

c)  $\hat{I} = \frac{50}{477 - 493j + 0,95 \cdot 1000 + \frac{1000 \cdot 1000}{1000 + 1000}} = \frac{50}{1738 - j0,29} = 28,8 \text{ e}^{j0,29} \text{ mA}$   
 2 boty paralelně ... = 500 Ω

d)  $\hat{I} = \frac{50}{477 - 493j + 0,95 \cdot 1000 + 500} = \frac{50}{1500 - j0,33} = 33,3 \text{ e}^{j0,33} \text{ mA}$

e)  $\hat{I} = \frac{\hat{U}}{R_1 + R_2} = \frac{230}{1000 + 1000} = 115 \text{ mA}$       g)  $\hat{I} = \frac{\hat{U}}{R_1 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}} = \frac{230}{750 + 500} = 184 \text{ mA}$

f)  $\hat{I} = \frac{\hat{U}}{R_1} = \frac{230}{0,95 \cdot 1000} = 242 \text{ mA}$       h)  $\hat{I} = \frac{230}{500 + 500} = 230 \text{ mA}$

#### 4.1.4 PŘ. HUS 4 – minimální průřez vodiče PE

ozn:  $\hat{Z}_{Tr}$  odpovídá impedanci distribučního transformátoru a  $S_n = 25 \text{ kVA}$

$\hat{Z}_{L1}$  odpovídá impedanci vodiče o průřezu  $S = 10 \text{ mm}^2$  | generovaný sdánkový výkon

Úroveň o průřezu vodiče a sřazovací proud jističe viz PŘ.5 (EK- symetrický obvod)

Restry:  $|\hat{Z}_{\text{celk}}| \leq \frac{|\hat{U}|}{|\hat{I}|} = \frac{230}{50} = 4,6 \Omega$   
 sřazovací proud jističe B10

$\hat{Z}_{\text{celk}} = \hat{Z}_{Tr} + \hat{Z}_{L1} + \hat{Z}_{PE} = 0,2 + 0,2j + 1,8 + 0,2j + R_{PE} = 2 + R_{PE} + 0,4j$

$4,6 \Omega \geq |\hat{Z}_{\text{celk}}| = \sqrt{(2 + R_{PE})^2 + 0,4^2}$

$4,6^2 \geq (2 + R_{PE})^2 + 0,4^2$

$\sqrt{4,6^2 - 0,4^2} \geq 2 + R_{PE}$

$R_{PE} \leq \sqrt{4,6^2 - 0,4^2} - 2 = 2,58 \Omega$

$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$

$S_{PE} \geq \rho_{\text{Cu}} \cdot \frac{l}{R_{PE}} = 18 \cdot \frac{1}{2,58} = 6,98 \text{ mm}^2$

ozn: - vyšlo číslo stejné jako pro symetrický obvod = PŘ.5 (6,98 mm<sup>2</sup>)

- podle normy ČSN 55 2000-4-41 je podmínka pro impedanci  $|\hat{Z}_{\text{celk}}|$  přísnější,

a to  $|\hat{Z}_{\text{celk}}| \leq \frac{|\hat{U}|}{1,5 \cdot |\hat{I}|}$  dále jako generované napětí sítě  $U_0 = |\hat{U}_0|$

dále jako sřazovací proud  $I_a = |\hat{I}_a|$  |  $|\hat{Z}_s| = Z_s$

a této impedanci budeme nadále mluvit jako o impedanci poruchové smyčky

Výsledný vztah dle normy  $1,5 Z_s I_a \leq U_0$

#### 4.1.5 PŘ. HUS 5 – impedance poruchové smyčky

dané:  $\hat{Z}_{Tr}$  odporová impedance distribučního transformátoru o  $S_n = 160 \text{ kVA}$   
 (např. v budově kontrol je autotransformátor o  $S_n = 400 \text{ kVA}$ ,  $\hat{Z}_{Tr} = 0,057 + j0,015 \Omega$ )

- všechny impedance ze sadární soustavy a dohledný vodič impedance poruchové smyčky  $\hat{Z}_S$

Postup:  $\hat{Z}_S = \hat{Z}_{Tr} + \hat{Z}_{Ln} + R_{jistič} + R_{obvod} + \hat{Z}_{PE} =$   
 $= 0,02 + j0,035 \Omega + 0,09 + j0,08 \Omega + 0,008 + 0,144 + j0,118 + 0,15 \Omega = 0,442 + j0,256 \Omega = 0,576 \Omega$

Výběr normy?  $1,5 \cdot Z_S \cdot I_a \leq U_0$

$$1,5 \cdot 0,576 \cdot 5 \cdot 16 \leq 230$$

výřarovací proud jističe B16 - 5 násobek jmenovitého proudu 16 A

$$61,9 \leq 230 \dots \text{O.K.}$$

#### 4.1.6 PŘ. HUS 6 – délka obvodu pračky

požadovaná impedance poruchové smyčky  
 $|\hat{Z}_S| \leq \frac{U_0}{1,5 I_a} = \frac{230}{1,5 \cdot 5 \cdot 16} = 1,91$  (sadrženkl. radij; dolů)

$$|\hat{Z}_S| = |\hat{Z}_{Tr} + \hat{Z}_{Ln} + R_{jistič} + \hat{Z}_{PE} + R_{obvod}| = \dots = |0,298 + R_{obvod} + j0,265 \Omega|$$

skutečná impedance poruchové smyčky

$$1,91 \geq \sqrt{(0,298 + R_{obvod})^2 + 0,265^2}$$

$$1,91^2 - 0,265^2 \geq (0,298 + R_{obvod})^2$$

$$R_{obvod} \leq \sqrt{1,91^2 - 0,265^2} - 0,298 = 1,59 \Omega$$

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

$$l_{pr} < \frac{R_{obvod} \cdot S}{\rho_{Cu}} = \frac{1,59 \cdot 2,5}{18} = 0,22 \text{ km}$$

délka přírodních vodičů obvodu - jeden pracovní vodič 2 km, dráty apod. (jaké a kde? přírodním směrem ke spotřebiči)

$$l_{obvod} \leq \frac{l_{pr}}{2} = 110 \text{ m} \dots \text{délka obvodu (směry, přírodních vodičů) musí být max. 110 m}$$

#### 4.1.7 PŘ. HUS 7 – délka obvodu pračky 2 km od transformátoru

Počítejte si sami, shodný postup jako v PŘ. HUS 6.

Výsledek pro kontrolu: délka obvodu by musela být max. 88 metrů.