

Elektrotechnická kvalifikace

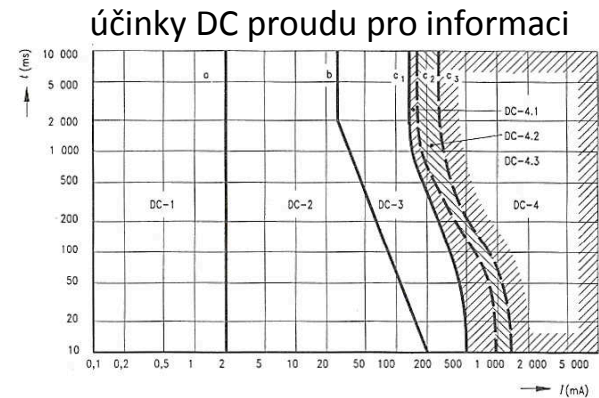
Seminární cvičení:

- Obvody ve stacionárním ustáleném stavu
- Obvody v harmonickém ustáleném stavu (HUS)
(související s bezpečností práce)

Př. 1

- Člověk překlene rukama konstantní rozdíl potenciálů U . Určete ustálený proud tekoucí tělem člověka. V tabulce jsou uvedeny hodnoty odporů těla včetně kůže pro stejnosměrný proud na úrovni 5-procentního percentilu populace.

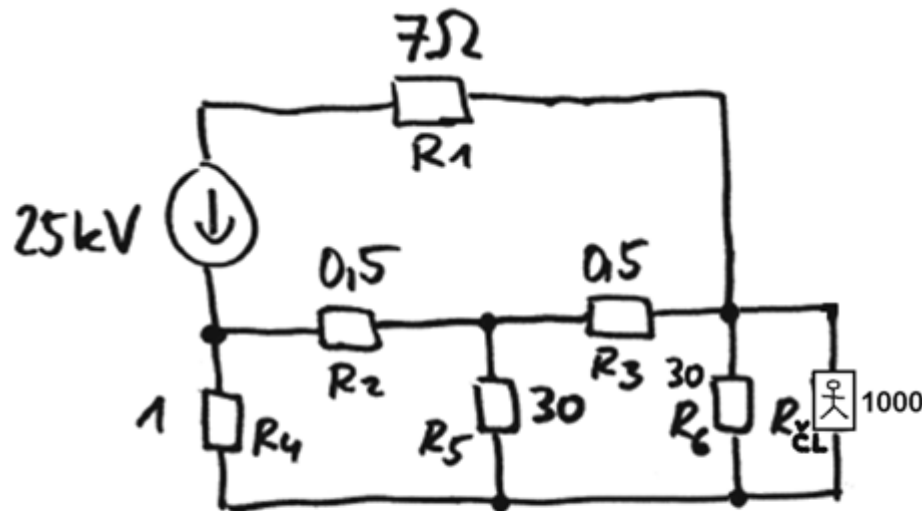
U [V]	10	20	50	100	250
R [Ω]	10000	2500	2000	1300	1000
I=? [A]					



Př. 2

- Určete proud rezistorem $R_{\text{čl}}$ při blízkém zkratu v soustavě AC 25 kV, 50 Hz
 - a) bez uvažování rezistorů R_2 a R_3 (trakční podpěry nepropojeny)
 - b) s uvažováním rezistorů R_2 a R_3 (trakční podpěry vodivě propojeny)

– pozn.: příklad zkratu v trakční soustavě AC 25 kV, 50 Hz počítá s řadou zjednodušujících předpokladů.



$$I_{R_{\text{čl}}} = ?$$

Př. 3

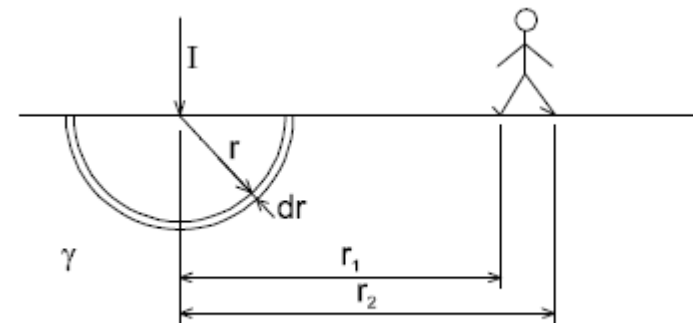
- a) Určete hodnoty krokového napětí ve vzdálenosti $r_1 = 1 \text{ m}$, 5 m , 10 m , 50 m a 100 m v okolí místa, do něž byl sveden bleskový proud. Uvažujte bleskový proud 30 kA , délku kroku 1 m a rezistivitu půdy:
- $100 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$ (vlhká písčítá/hlinitá/orná půda)
 - $50 \text{ k}\Omega \cdot \text{m}$ (suchá kamenitá půda)
- b) Totéž pro spadlý drát vedení vysokého napětí pro okamžitou hodnotu proudu 1 kA .
- c) Diskutujte vliv rezistivity půdy v souvislosti s úrazem elektrickým proudem.

• Použijte vztahy

- $E = \frac{J}{\gamma} = \frac{I}{2\pi r^2 \gamma} = \frac{I \cdot \rho}{2\pi r^2}$, kde
- E ...intenzita elektrického pole [V/m]
 - J ...proudová hustota [A/m^2]
 - γ ...konduktivita půdy [S/m], ρ ...rezistivita půdy [$\Omega \cdot \text{m}$]
 - r ...vzdálenost od místa vniku proudu do země [m]

- $U = \int_{r_1}^{r_2} E \cdot dr$, kde
- U ...napětí (rozdíl potenciálů) mezi místy ve vzdálenosti r_1 a r_2 od místa vniku proudu do země [V]
 - r ...vzdálenost od místa vniku proudu do země

ilustrativní obrázek

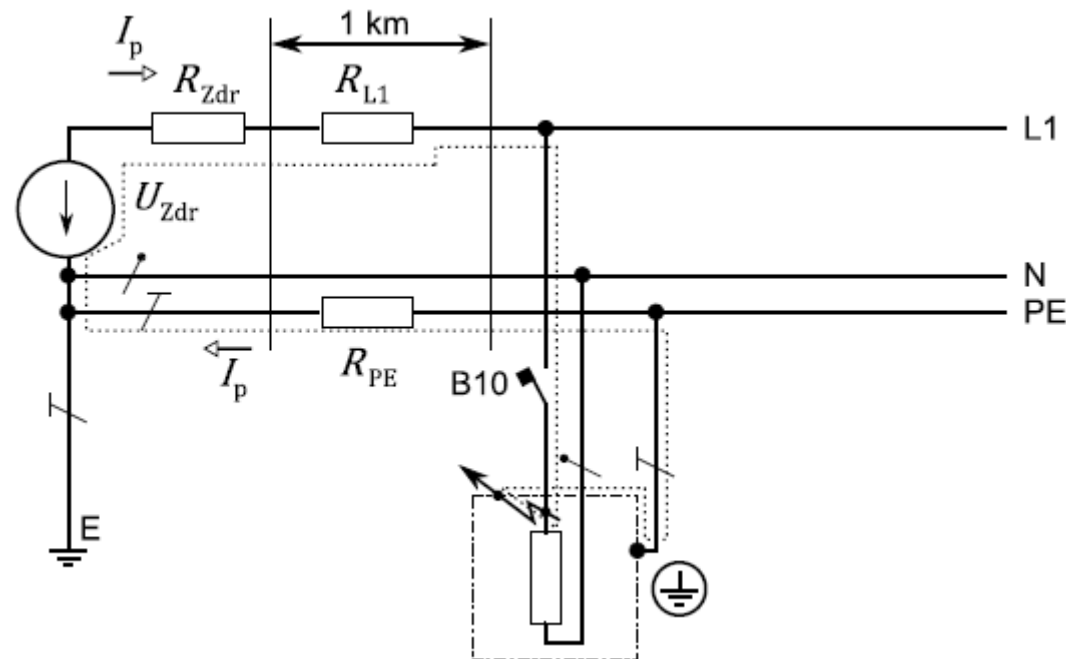


Př. 4

- Uvažujme lithiový akumulátor o kapacitě 90 Ah s napětím naprázdno $U_0 = 3,2 \text{ V}$ a vnitřním odporem $R_i = 1,5 \text{ m}\Omega$.
- Uvažujme překlenutí svorek akumulátoru ocelovým stranovým klíčem s následujícími parametry:
 - hmotnost klíče... $m = 200 \text{ g}$,
 - elektrický odpor klíče... $R_{kl} = 1 \text{ m}\Omega$,
 - tepelná kapacita klíče... $c = 27 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$,
 - teplota tání oceli... $t_t = 1500 \text{ }^\circ\text{C}$,
 - měrné skupenské teplo tání oceli... $l_t = 300 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.
- Odhadněte za jakou dobu od počátku zkratu
 - a) dosáhne teplota klíče hodnoty $100 \text{ }^\circ\text{C}$
 - b) se začne klíč tavit
 - c) se celý klíč rozteče

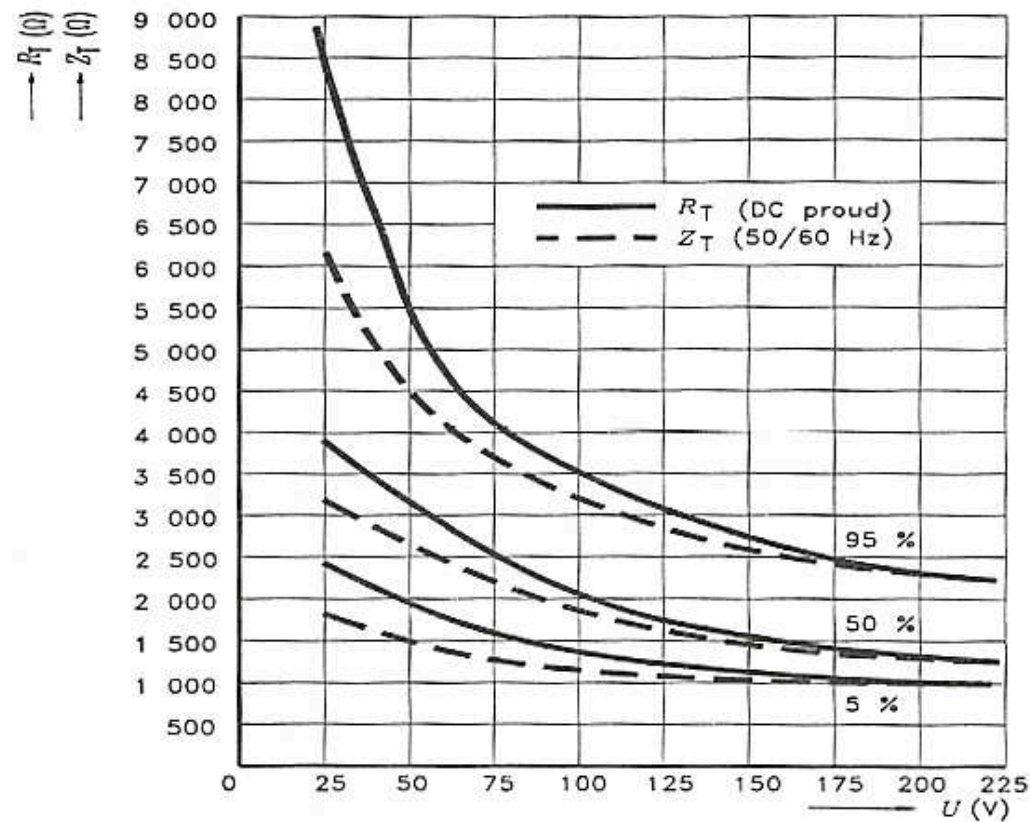
Př. 5

- Uvažujte zkrat podle obrázku. Určete minimální průřez měděného vodiče PE, který zajistí, že jistič B10 odpojí zkratový proud. Napětí zdroje uvažujte $U = 230$ V. Zadáno:
 - $R_{\text{zdr}} = 0,2 \Omega$, $R_{L1} = 1,8 \Omega$ (měděný vodič průřezu 10 mm^2)
 - $\rho_{\text{Cu}} = 18 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{km}^{-1}$
 - pozn.: jedná se o DC obvod trochu podobný skutečnému AC obvodu...



Př. HUS 1

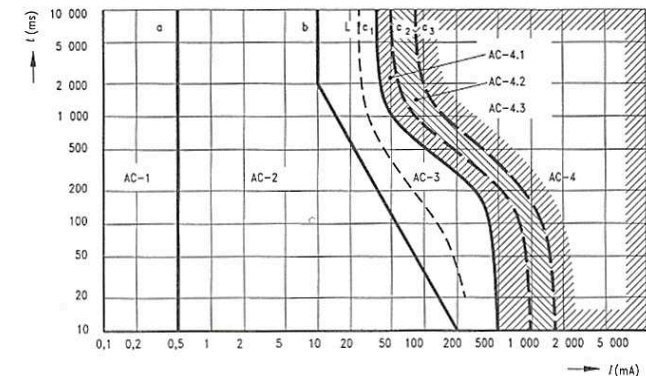
- Určete elektrický odpor, kapacitu a impedanci kůže lidského těla a vnitřní odpor lidského těla na základě hodnot vyčtených z grafu pro 50 V a 230 V pro 5-% percentil populace.
 - graf platí pro trajektorii proudu 1 ruka – 1 chodidlo
 - při napětí 200 V je již kůže prakticky proražena
 - Z_T resp. R_T je celková impedance resp. odpor těla, který je tvořen sériovou kombinací dvou impedancí kůže a vnitřní impedance těla.



Př. HUS 2

- S použitím výsledků předchozího příkladu určete velikost proudu, který poteče tělem při následujících zadaných místech dotyku a dotykových napětích
 - a) ruka – chodidlo při napětí 50 V
 - b) ruka – ruka při napětí 50 V
 - c) ruka – obě chodidla při napětí 50 V
 - d) obě ruce – obě nohy při napětí 50 V
 - e) ruka – chodidlo při napětí 230 V
 - f) ruka – ruka při napětí 230 V
 - g) ruka – obě chodidla při napětí 230 V
 - h) obě ruce – obě nohy při napětí 230 V

účinky AC proudu pro informaci



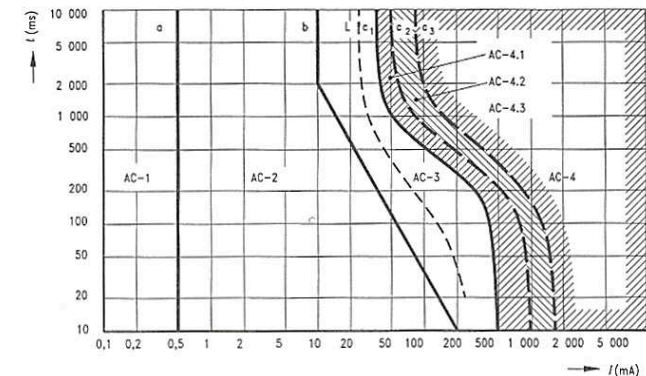
- Uvažujte následující předpoklad. Pokud impedanci 1 ruka – 1 noha vezmeme jako základ (100 %), potom pro impedance na jiných trajektoriích platí cca

– 1 ruka – 2. ruka	95 %
– 1 ruka – 2 nohy	75 %
– 2 ruce – 1 noha	75 %
– 2 ruce – 2 nohy	50 %
– 2 ruce – trup	25 %

Př. HUS 3

- S použitím výsledků minulých příkladů určete velikost proudu, který poteče tělem při následujících zadaných místech dotyku a dotkových napětích s uvažováním impedance obuvi $Z_1 = R_1 = 1000 \Omega$ (1 bota).
 - a) ruka – chodidlo při napětí 50 V
 - b) ruka – ruka při napětí 50 V
 - c) ruka – obě chodidla při napětí 50 V
 - d) obě ruce – obě nohy při napětí 50 V
 - e) ruka – chodidlo při napětí 230 V
 - f) ruka – ruka při napětí 230 V
 - g) ruka – obě chodidla při napětí 230 V
 - h) obě ruce – obě nohy při napětí 230 V

účinky AC proudu pro informaci

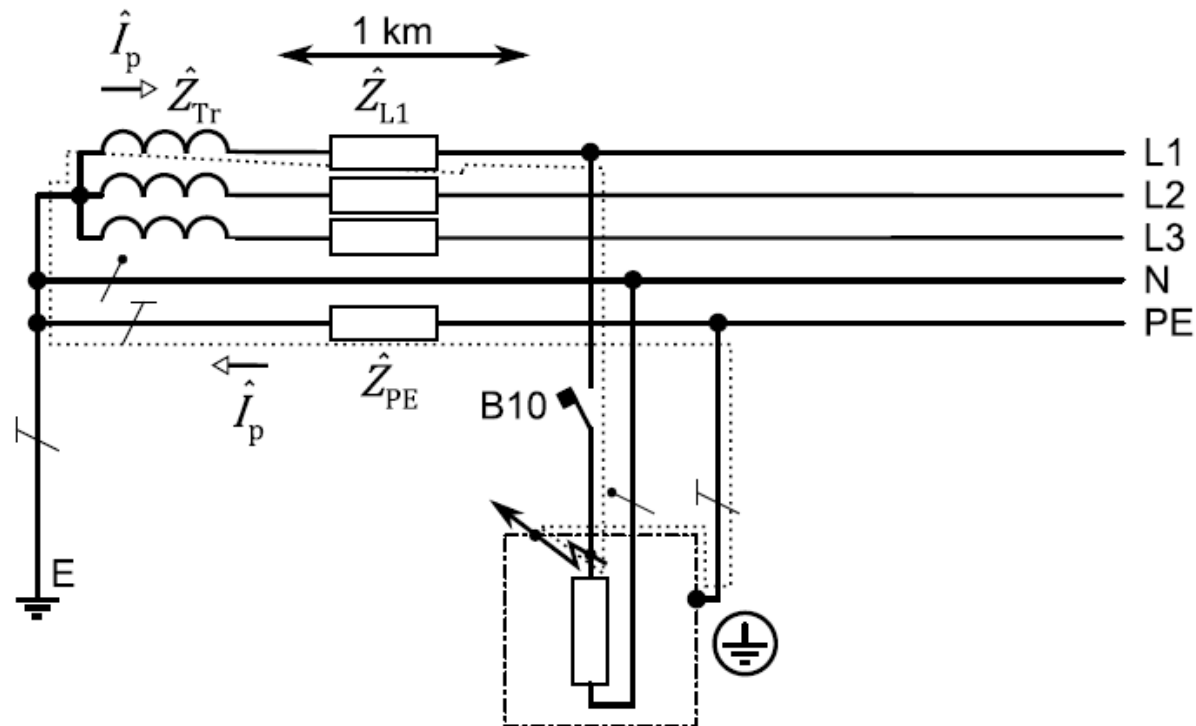


- Uvažujte následující předpoklad. Pokud impedanci 1 ruka – 1 noha vezmeme jako základ (100 %), potom pro impedance na jiných trajektoriích platí cca

– 1 ruka – 2. ruka	95 %
– 1 ruka – 2 nohy	75 %
– 2 ruce – 1 noha	75 %
– 2 ruce – 2 nohy	50 %
– 2 ruce – trup	25 %

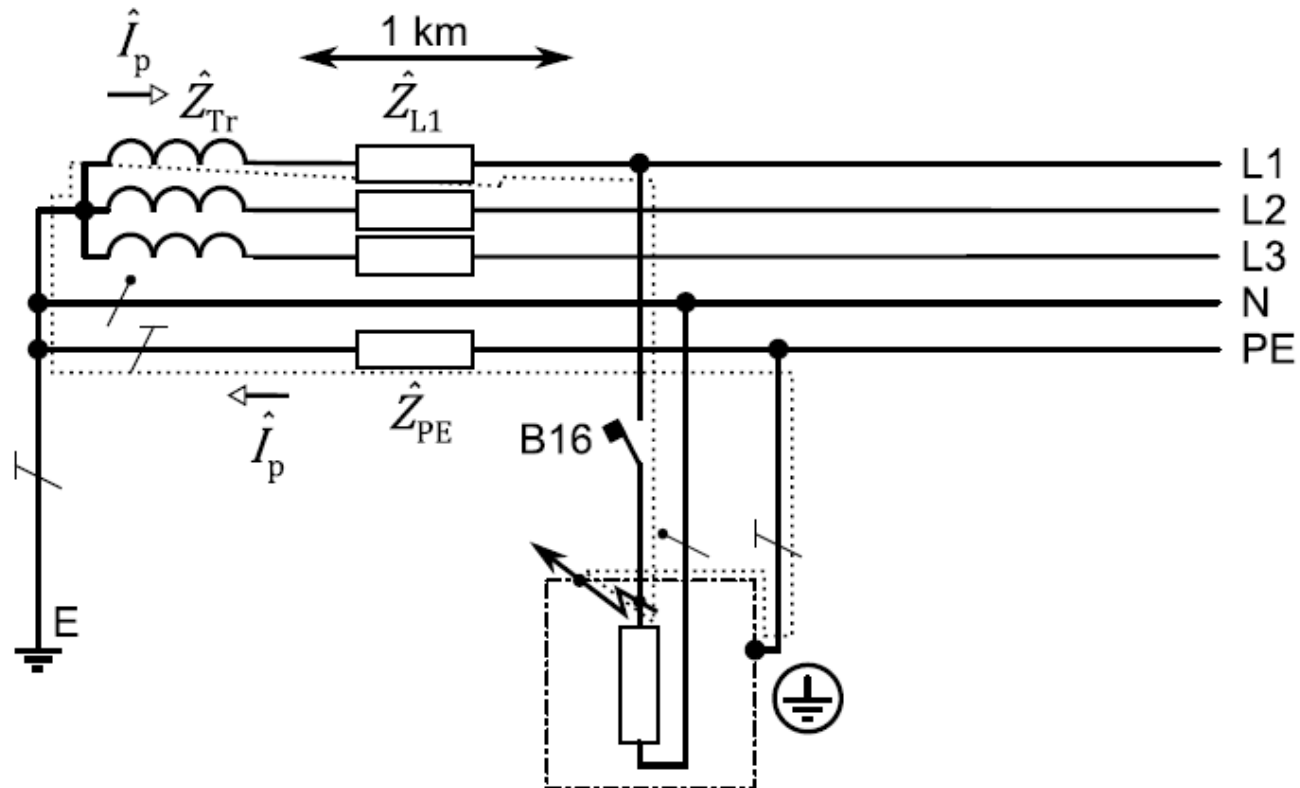
Př. HUS 4

- Uvažujte zkrat podle obrázku. Určete minimální průřez měděného vodiče PE, který zajistí, že jistič B10 odpojí zkratový proud. Napětí jedné fáze uvažujte $\hat{U} = 230 \text{ V}$. Zanedbejte indukčnost vodiče PE. Zadáno:
 - $\hat{Z}_{Tr} = 0,2 + 0,2j \Omega$, $\hat{Z}_{L1} = 1,8 + 0,2j \Omega$
 - $\rho_{Cu} = 18 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{km}^{-1}$
 - pozn.: porovnejte výsledek z příkladu č. 5 ze cvičení č. 1.



Př. HUS 5

- Jaká je impedance poruchové smyčky \hat{Z}_S obvodu pračky podle obrázku? Vyhoví tato impedance požadavku normy pro síť TN (tj. $1,5 \cdot Z_S \cdot I_a \leq U_0$)? Zadáno:
 - impedance distribučního transformátoru vč. pojistky $\hat{Z}_{Tr} = 0,02 + 0,035j \Omega$,
 - vedení k objektu $\hat{Z}_{L1} = 0,09 + 0,08j \Omega$, (1 km, průřez 185 mm²)
 - jistič B16 má odpor 0,008 Ω /pól
 - impedance vedení vodičů obvodu pračky $\hat{Z}_{Obvod} = 0,144 \Omega$ (10 m, průřez 2,5 mm²),
 - impedance vodiče PE k objektu $\hat{Z}_{PE} = 0,18 + 0,15j \Omega$ (1 km, průřez 95 mm²).



Př. HUS 6

- Jak dlouhý může být obvod pračky z minulého příkladu, aby vyhověl podmínce normy na impedanci poruchové smyčky $1,5 \cdot Z_s \cdot I_a \leq U_0$? Zadáno:
 - kabel použitý pro pračku je CYKY J 3x2,5 mm²
 - impedance distribučního transformátoru vč. pojistky $\hat{Z}_{Tr} = 0,02 + 0,035j \Omega$,
 - vedení k objektu $\hat{Z}_{L1} = 0,09 + 0,08j \Omega$, (1 km, průřez 185 mm²)
 - jistič B16 má odpor 0,008 Ω /pól
 - impedance vodiče PE k objektu $\hat{Z}_{PE} = 0,18 + 0,15j \Omega$ (1 km, průřez 95 mm²),

Př. HUS 7

- Uvažujte situaci z minulého příkladu. Jak dlouhý může být obvod pračky, je-li obvod pračky připojen ve vzdálenosti 2 km od distribučního transformátoru. V síti jsou použity stejné instalační prvky jako v minulém příkladu.

Odkazy, zkratky

Odkazy:

- Kříž M.: Automatické odpojení v síti TN podle nové ČSN 33 2000 4-41, dostupné z <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/38516.pdf>

Zkratky

- AC – alternative current (střídavý proud)
- DC – direct current (stejnsměrný proud)