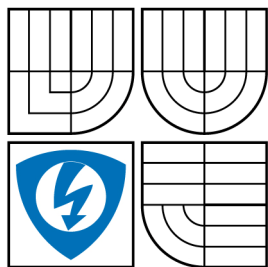


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

OCHRANA SAMOČINNÝM ODPOJENÍM OD ZDROJE

AUTOMATIC DISCONNECTION OF SUPPLY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

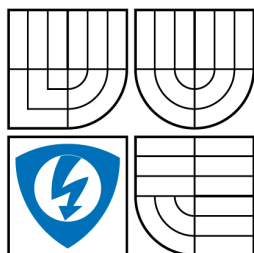
DAVID LEITNER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ VALENTA, Ph.D.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Leitner David
Ročník: 3

ID: 73106
Akademický rok: 2008/09

NÁZEV TÉMATU:

Ochrana samočinným odpojením od zdroje

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Vysvětlíte princip ochrany automatickým odpojením od zdroje dle normy CSN 33 2000-4-41 ed. 2. a porovnejte s předchozím vydáním.
2. Zpracujete projekt rozvodu elektrické energie a vhodným programem zkontrolujete splnění podmínek pro ochranu automatickým odpojením od zdroje.
3. Formou revize ověříte splnění podmínek pro automatické odpojení od zdroje daného elektrického rozvodu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle doporučení vedoucího.

Termín zadání: 1.10.2008

Termín odevzdání: 29.5.2009

Vedoucí práce Ing. Jiří Valenta, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: David Leitner
Bytem: Ketkovice 34, 664 91, Ivančice
Narozen/a (datum a místo): 25.6.1976, Havlíčkův Brod

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií,
se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno,
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.

(dále jen „nabyvatel“)

Článek 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☐ diplomová práce
- ☒ bakalářská práce
- ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP:	Ochrana samočinným odpojením od zdroje
Vedoucí/ školitel VŠKP:	Ing. Jiří Valenta, Ph.D.
Ústav:	Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky
Datum obhajoby VŠKP:	16.6. 2009

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- ☒ tištěné formě — počet exemplářů 1
- ☒ elektronické formě — počet exemplářů 1

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....

Nabyvatel

.....

Autor

Abstrakt

Tato práce si klade za cíl objasnit princip ochranného opatření automatické odpojení od zdroje, které je jedním ze základních opatření pro zajištění bezpečnosti v elektrických instalacích nízkého napětí nového vydání české technické normy ČSN 33 2000-4-41 ed. 2. Dále je provedeno porovnání příslušných ustanovení ČSN nového a předchozího vydání, se zaměřením na problematiku automatického odpojení od zdroje v základních druzích rozvodných sítí.

V souladu se zjištěnými teoretickými poznatky je v praktické části navržen projekt rozvodu elektrické energie. Důraz je kladen na názorné předvedení postupu při navrhování a ověřování podmínek automatického odpojení od zdroje s využitím kontrolního výpočtu v programu SICHR. Následně je splnění podmínek pro automatické odpojení elektrického zařízení ověřeno provedením revize elektrického rozvodu.

Klíčová slova

Ochranné opatření; elektrická instalace; automatické odpojení od zdroje; ochranný přístroj; síť (elektrická); dotykové napětí; smluvený vybavovací proud; SICHR

Abstract

The aim of this thesis is to explain the principle of automatic disconnection of supply, which is one of the basic protective measures for security assurance in electric installations of low voltage according to the new issue of Czech Technical Standard (ČSN 33 2000-4-41 ed. 2). Furthermore, the relevant clauses of the Czech Technical Standard in the new and previous issues are compared, with focus on the problem of automatic disconnection of supply in basic types of distribution networks.

In agreement with theoretical conclusions, a project of electric energy supply system is proposed in the practical part of the thesis. Special attention is paid to showing the methods of modeling and verification of conditions for automatic disconnection of supply, with using control calculations in the SICHR program. Finally, the fulfillment of the conditions for automatic disconnection of supply is verified by revising the electrical supply system.

Keywords

Protection for safety; electrical installation; automatic disconnection of supply; wiring system; touch voltage; conventional operating current; SICHR

Bibliografická citace

LEITNER, D. *Ochrana samočinným odpojením od zdroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 53 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Valenta, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Ochrana samočinným odpojením od zdroje jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

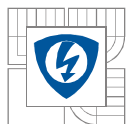
Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Valentovi Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

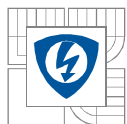
V Brně dne

Podpis autora



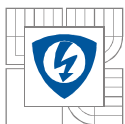
OBSAH

1 ÚVOD	14
2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	16
3 CÍLE PRÁCE	17
4 ZÁKLADNÍ PŘEHLED NOVÉHO VYDÁNÍ ČSN	18
4.1 ROZSAH PLATNOSTI	18
4.2 HLAVNÍ ZMĚNY OPROTI PŘEDCHOZÍMU VYDÁNÍ ČSN	19
4.3 ČLENĚNÍ OCHRANNÝCH OPATŘENÍ.....	19
4.3.1 PROSTŘEDKY PRO ZAJIŠTĚNÍ ZÁKLADNÍ OCHRANY	20
4.3.2 PROSTŘEDKY OCHRANY PŘI PORUŠE	20
4.3.3 PROSTŘEDKY ZVÝŠENÉ OCHRANY	20
4.4 ČLENĚNÍ PROSTOR.....	20
4.5 VŠEOBECNĚ POVOLENÁ OCHRANNÁ OPATŘENÍ.....	21
4.6 ÚČINKY PROUDU NA LIDSKÝ ORGANISMUS	22
4.7 MAXIMÁLNÍ DOBY ODPOJENÍ.....	22
5 POŽADAVKY NA AUTOMATICKÉ ODPOJENÍ V JEDNOTLIVÝCH SÍTÍCH.....	25
5.1 SÍŤ TN.....	25
5.2 SÍŤ TT	27
5.3 SÍŤ IT	28
5.3.1 SÍŤ IT, NEŽIVÉ ČÁSTI UZEMNĚNY SPOLEČNĚ	29
5.3.2 SÍŤ IT, NEŽIVÉ ČÁSTI UZEMNĚNY JEDNOTLIVĚ.....	30
5.4 FUNKČNÍ MALÉ NAPĚTÍ (FELV)	31
6 PRAKTICKÉ OVĚŘENÍ PODMÍNEK AUTOMATICKÉHO ODPOJENÍ OD ZDROJE.....	32
6.1 ÚVOD.....	32
6.2 ZÁKLADNÍ INFORMACE O NAVRHOVANÉM ZAŘÍZENÍ.....	32
6.3 VÝPOČET	34
6.3.1 ELEKTRICKÁ INSTALACE – síť TN-C.....	34
6.3.2 KONTROLNÍ VÝPOČET V PROGRAMU SICHR.....	39
6.3.3 ELEKTRICKÁ INSTALACE – síť TT	44
7 REVIZE ELEKTRICKÉ INSTALACE	48
7.1 VŠEOBECNĚ K REVIZÍM	48
7.2 REVIZE V SÍTI TN.....	48
7.3 REVIZE V SÍTI TT	50
ZÁVĚR.....	51
LITERATURA	52
PŘÍLOHY	53
PŘÍLOHA Č.1, PŘEHLEDOVÉ SCHÉMA EL. ROZVODU	53



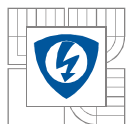
SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 4.1 Koordinace mezi normami.....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 4.2 Ochranná opatření.....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 4.3 Maximální přípustné doby trvání předpokládaného dotykového napětí.....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 5.1 Automatické odpojení v síti TN.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 5.2 Automatické odpojení v síti TT</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 5.3 Automatické odpojení v síti IT-1</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 5.4 Automatické odpojení v síti IT-2</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 6.1 Ochrana neživých částí v oblasti trakčního vedení napájených ze sítě TN nebo TT použitím proudového chrániče</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 6.2 Vypínací ampér-sekundové charakteristiky jističů LSN</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 6.3 Celkové schéma řešeného paprsku v síti TN-C.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 6.4 Grafické znázornění vypínacích charakteristik pro řešený paprsek.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 6.5 Vypínací časy proudových chráničů</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 6.6 Návrh provedení zemniče.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 6.7 Celkové schéma paprsku přechodu ze sítě TN-C na síť TT</i>	<i>47</i>



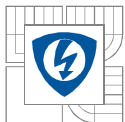
SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 4-1: Maximální doby odpojení pro koncové obvody.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabulka 7-1: Naměřené hodnoty impedancí</i>	<i>49</i>
<i>Tabulka 7-2: Naměřené hodnoty proudového chrániče.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 8-1: Hodnoty impedancí Z_s a $Z_{sv(m)}$.....</i>	<i>51</i>



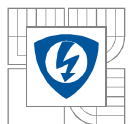
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značka	Název	Jednotka
$\cos\varphi$	účinník	-
e_k	napětí transformátoru na krátko	%
I_a	proud vyvolávající automatickou funkci přístroje v požadované době	A
I_d	poruchový proud při první poruše v síti IT	A
I_n	jmenovitý proud přístroje	A
$I_{\Delta n}$	jmenovitý reziduální vybavovací proud proudového chrániče	A
R_A	odpor zemniče	Ω
R_k	odpor jádra kabelu na 1km délky	Ω/km
t_v	vypínací čas	s
U_0	jmenovité napětí mezi fázovým vodičem a nulovým vodičem nebo zemí	V
X_k	indukční reaktance vodiče kabelu na 1km délky	Ω/km
Z_s	maximální impedance poruchové smyčky, s ohledem na vypínací čas	Ω
Z_{sv}	vypočtená hodnota impedance poruchové smyčky	Ω
$Z_{s(m)}$	naměřená hodnota impedance poruchové smyčky	Ω
Z_v	impedance vedení	Ω
Z_{tr}	impedance transformátoru	Ω
ČNI	Český normalizační institut, ze zákona pověřen tvorbou a vydáváním českých technických norem	
ČSN	Česká technická norma	
HD	harmonizační dokument, přebírá mezinárodní normy s modifikacemi a zavádí je do soustavy evropských národních norem zemí členů CENELEC	
IEC	International Electrotechnical Commission (Mezinárodní elektrotechnický výbor), se sídlem v Ženevě, Švýcarsko, vypracovává a publikuje mezinárodní normy IEC	
TNI	Technická normalizační informace, podává některé doplňující informace k nově vydaným normám ČSN	
IT	(sít'), první písmeno (I) se vztahuje k uzlu zdroje, který je izolován od země, druhé písmeno (T) označuje chráněné neživé části, které jsou uzemněny, tj. spojeny se zemí pomocí ochranného vodiče PE	
TN	(sít'), první písmeno (T) se vztahuje k uzlu zdroje, který je uzemněn, druhé písmeno (N) označuje chráněné neživé části spojené s uzlem zdroje prostřednictvím ochranného vodiče PE nebo PEN	
TT	(sít'), první písmeno (T) se vztahuje k uzlu zdroje, který je uzemněn, druhé písmeno (T) označuje chráněné neživé části, které jsou uzemněny, tj. spojeny se zemí pomocí ochranného vodiče PE	
C	doplňující písmeno za označením sítě TN, vodič PEN sdružuje zároveň funkci vodiče středního (N) i ochranného (PE)	
S	doplňující písmeno za označením sítě TN, ochranný vodič PE a střední vodič N jsou od určitého místa vedeny samostatně	



Předmluva

Protože tato práce byla zadána v době platnosti předchozího vydání ČSN 33 2000-4-41 z února 2000, je v názvu práce užito pojmu *samočinné* odpojení od zdroje. Toto označení je v souladu s názvoslovím uvedeným ČSN EN 61140 ed.2, která v českém rejstříku definic uvádí termín *samočinné* jako ekvivalent k termínu *automatické*. Rovněž česká verze Mezinárodního elektrotechnického slovníku připouští překlad anglického hesla „automatic disconnection of supply“ oběma způsoby.



1 ÚVOD

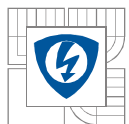
Česká technická norma ČSN 33 2000-4-41 ed.2 „*Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4 -41:Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti – Ochrana před úrazem elektrickým proudem*“ z měsíce srpna 2007, stanovuje požadavky na takové provedení elektrických instalací, aby provoz spotřebičů a zařízení, které se připojí k instalaci zhotovené podle této normy, byl bezpečný. Tato norma je českým ekvivalentem evropského harmonizačního dokumentu HD 60364-4-41:2007, který s modifikacemi převzal mezinárodní, celosvětově platnou IEC 60364-4-41:2005 pro uplatnění v členských zemích CENELEC v rámci Evropy. Od měsíce února 2009 nahrazuje předchozí vydání ČSN 33 2000-4-41 „*Elektrotechnické předpisy – Elektrická zařízení – Část 4:Bezpečnost – Kapitola 41:Ochrana před úrazem elektrickým proudem*“. Norma je součástí souboru norem ČSN 33 2000 „*Elektrické instalace nízkého napětí*“.

Jak již bylo výše zmíněno, účelem této normy je zajistit bezpečný provoz elektrických instalací. Dojde-li při poruše například základní izolace elektrického zařízení k průniku nebezpečného dotykového napětí živé části na neživou část, může při dotyku této části dojít k úrazu elektrickým proudem. Průchodem proudu tělem člověka dochází k jistým fyziologickým účinkům na organismus, přičemž u střídavého sinusového proudu s kmitočtem 15–100Hz lze za nejzávažnější považovat komorovou fibrilaci srdečního svalu, která může vést až k zástavě srdce a smrti postižené osoby.

Všechna elektrická zařízení musí být proto kromě prostředků základní ochrany vybavena i některým z prostředků pro zajištění ochrany před úrazem elektrickým proudem při poruše (ochranná opatření). V elektrických instalacích se nejčastěji uplatňují ochranná opatření zajišťovaná pomocí ochranného vodiče, především ochrana automatickým (samočinným) odpojením od zdroje. Smyslem tohoto opatření je zajistit, aby při poruše došlo k odpojení nebezpečného dotykového napětí na neživých částech za předepsaný čas. Podle způsobu uzemnění uzlu zdroje a spojení neživých částí chráněného zařízení s tímto uzlem pak lze rozlišit tři základní provedení tohoto ochranného opatření. Jedná se o síť TN (dříve ochrana nulováním), TT (dříve ochrana zemněním), IT (síť s izolovaným středem) a dále použití funkčního malého napětí FELV.

Ochrannému opatření automatické odpojení od zdroje byly novým vydáním ČSN stanoveny pro jednotlivé sítě maximální doby odpojení. V této souvislosti považuji za vhodné zmínit se krátce o způsobu jejich stanovení. Zde se vycházelo z poznatků o působení elektrického proudu na člověka, kdy odpojení musí být zajištěno dříve, než může dojít ke vzniku úrazu elektrickým proudem. Závislost maximální doby trvání předpokládaného dotykového napětí na neživých částech při poruše na velikosti tohoto napětí byla zpracována v IEC/TR 61200-413 a její grafické provedení se stručným komentářem je uvedeno v jedné z podkapitol této práce.

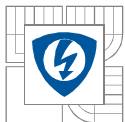
Při projektování elektrických instalací je nutno brát v úvahu celou řadu kritérií, přičemž jedním ze základních je kritérium elektrické bezpečnosti. V případě ochrany automatickým odpojením od zdroje to vyžaduje koordinaci způsobu uzemnění sítě a charakteristik ochranných přístrojů zajišťujících odpojení. To v praxi znamená provést výpočet impedance poruchového obvodu (smyčky), výpočet poruchového proudu v místě předpokládané poruchy a tento proud porovnat s vybavovacím proudem ochranného přístroje pro požadovaný čas. Vybavovací proud I_a ochranných prvků je možno odvodit z ampér – sekundových charakteristik přístrojů, které zpravidla dodává výrobce nebo je pro konkrétní přístroj přímo předepsán normou výrobku.



V praxi se však tyto výpočty a kontroly obvykle takto neprovádí, neboť existuje celá řada softwarových pomůcek, které potřebné výpočty a kontroly provedou automaticky. V této práci bude pro názornost proveden jak výpočet manuální, tak kontrola ve výpočtovém programu SICHR.

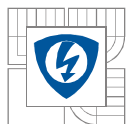
Poté co je navržena elektrická instalace realizována, musí být před uvedením do provozu podrobena předepsaným zkouškám a měřením, jejichž účelem je opět ověření splnění podmínek pro správnou funkci ochranných opatření. Tento postup je nazýván výchozí revizí elektrické instalace a platí pro něj ČSN 33 2000-6, kapitola 61 – Výchozí revize. Jak je uvedeno v jednom z úvodních článků této normy, součástí výchozí revize musí být porovnání zjištěných výsledků s odpovídajícími předepsanými požadavky, aby se potvrdilo splnění požadavků HD 60364. V této práci to s ohledem na zpracovávané téma znamená především měření impedančních smyček poruchového obvodu, měření hodnot odporu uzemnění, měření reziduálních proudů proudových chráničů a jejich vybavovacích časů a porovnávání takto zjištěných hodnot s příslušnými ustanoveními HD 60364. Dále je poukázáno i na některé odchylky od běžných instalací, vyplývající ze zvláštních předpisů pro provoz sítí nn v pásmu trakčního vedení AC 25kV.

V závěru práce pak je uvedeno srovnání hodnot získaných teoretickými výpočty se skutečnými naměřenými a provedeno vyhodnocení.



2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

K prvnímu vydání mezinárodní normy IEC 60364-4-41 u nás došlo vydáním ČSN 33 2000-4-41 v roce 1996. Tato norma nahradila části I až V do té doby platné ČSN 34 1010 „*Všeobecné předpisy pro ochranu před nebezpečným dotykovým napětím*“, z roku 1965. ČSN 34 1010 měla však zcela jiný rozsah a byla pojata jako základní norma bezpečnosti pro celou elektrotechniku. Protože mezinárodní norma IEC 60364-4-41:1992 řadu otázek týkajících se bezpečnosti elektrických předmětů a zařízení oproti ČSN 34 1010 neřešila (např. IEC neměla zpracována předpisy pro zařízení v oblasti nad 1 kV střídavých a 1,5kV stejnosměrných), bylo nutné při jejím zavádění zachovat velkou šíři požadavků do té doby platné ČSN 34 1010. Některé bezpečnostní požadavky nebyly však na mezinárodní ani evropské úrovni do té doby zpracovány, bylo tedy přistoupeno k zařazení těchto požadavků do ČSN 33 2000-4-41 z roku 1996 a později i ČSN 33 2000-4-41 z roku 2000 formou národních doplňků. Tento přechodný stav je nyní vyřešen změnou celkové koncepce požadavků na ochranu před úrazem elektrickým proudem, vyplývající ze zavedení mezinárodní základní normy bezpečnosti IEC 61140 do české normalizační soustavy.



3 CÍLE PRÁCE

Účelem této práce je objasnit základní principy ochrany před úrazem elektrickým proudem v elektrických instalacích nízkého napětí se zaměřením na ochranné opatření automatické odpojení od zdroje. Protože toto ochranné opatření je v zásadě postaveno na zajištění rychlého odpojení vadné části elektrické instalace v předepsaném čase, je jedna z kapitol věnována i způsobu stanovení těchto časů. Další část přibližuje odlišnosti požadavků na zajištění ochrany automatickým odpojením od zdroje v základních druzích sítí oproti staršímu vydání ČSN 33 2000-4-41. I když norma je obecně platná pro instalace napájené ze zdrojů střídavého i stejnosměrného napětí, s ohledem na naprostou převahu instalací střídavých je další text vztažen především k těmto.

V praktické části je cílem názorné zpracování projektu elektrické instalace se zaměřením na ochranu před úrazem elektrickým proudem. K ověření splnění příslušných požadavků a správnosti navržené instalace je zde využit výpočtový program SICHR. Protože navržená elektrická instalace je určena k provozování v podmínkách elektrifikovaných železničních drah, bylo nutno při zpracovávání jejího návrhu přihlídnout i k některým odlišnostem vyplývajících z požadavků ČSN EN 51120-1, které jsou krátce zmíněny.

Poslední část práce se věnuje ověření správnosti navrženého elektrického rozvodu z hlediska bezpečnosti před uvedením do provozu, kdy za tímto účelem je vypracována výchozí revizní zpráva podle požadavků ČSN 33 2000-6. Podkladem k vypracování zprávy o výchozí revizi elektrické instalace je kromě zpracované projektové dokumentace především měření předepsaných elektrických veličin. Tyto jsou následně porovnány s příslušnými ustanoveními ČSN 33 2000-4-41 ed.2. S ohledem na zpracovávané téma není revizní zpráva uvedena v plném rozsahu, ale jsou uvedeny jen ty části, vztahující se k ověření splnění podmínek pro automatické odpojení od zdroje.

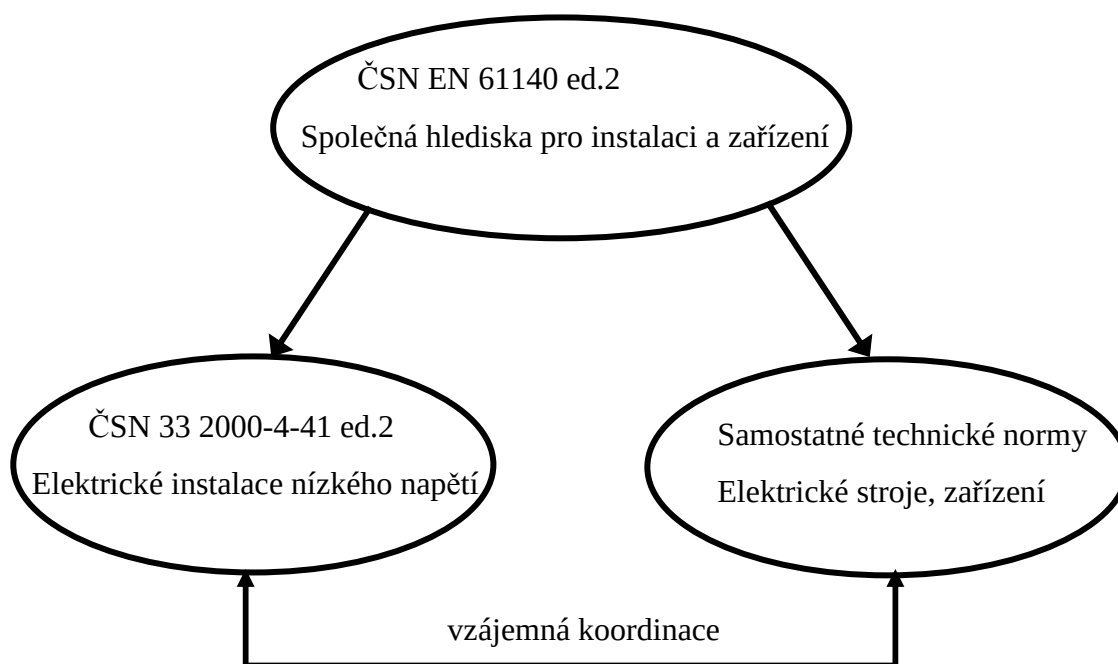
Pro výše uvedené praktické části bakalářské práce, byla zvolena část kabelového rozvodu pro osvětlení železniční stanice Brno – Maloměřice, na jejíž navrhování a uvádění do provozu se autor této práce podílel.

4 ZÁKLADNÍ PŘEHLED NOVÉHO VYDÁNÍ ČSN

4.1 Rozsah platnosti

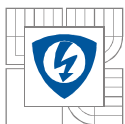
Jak již napovídá název nového vydání normy, zásadní změna je v rozsahu platnosti. Toto nové vydání se oproti předešlému nevztahuje na elektrická zařízení připojovaná k elektrické instalaci, především elektrické spotřebiče a stroje, ale pouze na samotné elektrické instalace nízkého napětí. Ochrana před úrazem elektrickým proudem u elektrických zařízení je nadále řešena příslušnými samostatnými technickými normami výrobců.

Základní normou bezpečnosti se stává evropská norma EN 61140 ed.2 a její česká verze ČSN EN 61140 ed.2 „Ochrana před úrazem elektrickým proudem – Společná hlediska pro instalaci a zařízení“. Tato mezinárodní norma platí pro ochranu osob a zvířat před úrazem elektrickým proudem a je určena pro poskytnutí základních principů a požadavků, které jsou společné pro elektrické instalace, sítě a zařízení, nebo jsou nezbytné pro jejich koordinaci.



Obr. 4.1 Koordinace mezi normami

Norma řeší v zásadě ochranu z hlediska nebezpečí úrazu elektrickým proudem v prostorech normálních a nebezpečných. Pro prostory zvlášť nebezpečné jsou další podmínky stanoveny v oddíle 7 souboru norem 33 2000 (např. v prostorech s vanou nebo sprchou je to část 7-701). Pokud nejsou požadavky na doplňkovou ochranu blíže specifikovány, lze postupovat podle přílohy NA.



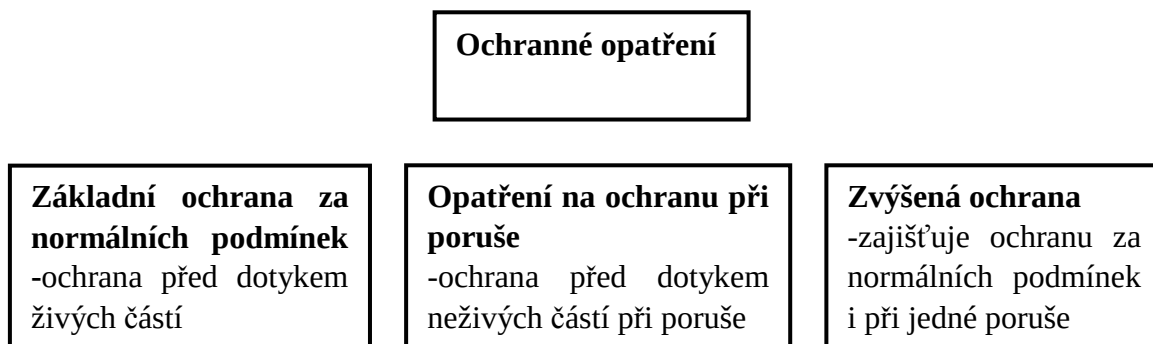
4.2 Hlavní změny oproti předchozímu vydání ČSN

- Oproti předchozímu vydání je norma nově uspořádána, bylo vypuštěno velké množství národních doplňků a z normy jsou vypuštěny požadavky na zařízení a instalace vysokého napětí, které jsou obsaženy v ČSN 33 3201.
- Nová norma ČSN 33 2000-4-41 ed.2 již využívá terminologii zavedenou ČSN EN 61140 ed.2., například původní název ochrana před nebezpečným dotykem živých částí je nahrazen termínem základní ochrana a ochrana před nebezpečným dotykem neživých částí je zde uváděna jako ochrana při poruše.
- Určité změny nastaly u předepsaných maximálních dob odpojení. Zatímco u sítí TN nedošlo k žádným změnám, pro samočinné odpojení v sítích TT byly přijaty kratší doby odpojení než pro sítě TN, což je v dalším textu podrobněji rozvedeno.
- V síti TT není již hodnota odporu uzemnění nulového bodu sítě omezována na poměrně malé hodnoty, vyplývající z dříve platných podmínek, ale může se pohybovat až v desítkách ohmů.
- V sítích IT se vypínací časy stanoví na základě provedení uzemnění neživých částí chráněných elektrických zařízení a vzniklých poměrů v síti při druhé poruše. Dále byly upřesněny některé podmínky pro použití proudových chráničů.
- Byl zaveden požadavek na doplňkovou ochranu zásuvek se jmenovitým proudem do 20A, které jsou užívány osobami bez elektrotechnické kvalifikace, proudovým chráničem s reziduálním proudem max. 30mA.

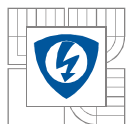
4.3 Členění ochranných opatření

EN 61140 určuje základní principy a požadavky, které jsou společné pro elektrické instalace a zařízení nebo jsou potřebné pro koordinaci těchto požadavků. Základním pravidlem ochrany před úrazem elektrickým proudem v souladu s EN 61140 je to, že nebezpečné živé části nesmějí být za normálních podmínek přístupné a přístupné vodivé části nesmějí být nebezpečné ani za normálních podmínek ani za podmínek jedné poruchy.

Za normálních podmínek je ochrana zajištěna základními ochrannými opatřeními a ochrana při jedné poruše je zajištěna opatřeními pro ochranu při poruše. Použití prostředků zvýšené ochrany zajišťuje ochranu jak za normálních podmínek tak při jedné poruše.



Obr. 4.2 Ochranná opatření



Ochranné opatření se musí sestávat z:

- vhodné kombinace opatření pro zajištění základní ochrany a nezávislého opatření pro zajištění ochrany při poruše
- zvýšené ochrany, která zajišťuje jak ochranu základní tak ochranu při poruše (příkladem je použití dvojité izolace)

4.3.1 Prostředky pro zajištění základní ochrany

(dříve ochrana před dotykem živých částí) jsou uvedeny v normativní příloze A a B. Jedná se o tato opatření:

- základní izolace živých částí
 - přepážky nebo kryty
 - zábrany
 - ochrana polohou
- > pouze v případech, kdy se zařízením manipulují osoby s elektrotechnickou kvalifikací

4.3.2 Prostředky ochrany při poruše

(dříve ochrana před dotykem neživých částí):

- ochranné pospojování
- samočinné (automatické) odpojení od zdroje

Jestliže je provoz instalace řízen osobou znalou nebo je pod jejím dozorem, je možno použít i následující ochranná opatření:

- neuzemněné místní pospojování
- elektrické oddělení pro napájení více než jednoho spotřebiče
- nevodivé okolí

4.3.3 Prostředky zvýšené ochrany

(zajišťují jak základní ochranu tak i ochranu při jedné poruše):

- zesílená izolace
- ochrana malým napětím SELV a PELV

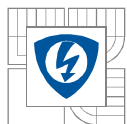
Doplňková ochrana:

- proudový chránič s reziduálním proudem nepřekračujícím 30mA
- doplňující ochranné pospojování

4.4 Členění prostor

Pro stanovení požadavku na doplňkovou ochranu je rozhodující hledisko velikosti nebezpečí úrazu elektrickým proudem, které může při provozu elektrického zařízení vzniknout. S ohledem na vnější vlivy a jejich působení se prostory člení na:

- prostory normální
- prostory nebezpečné
- prostory zvlášť nebezpečné



Toto členění je určující pro stanovení požadavků na doplňkovou ochranu v prostorech zvlášť nebezpečných, pro které není způsob ochrany stanoven v některém z oddílů IEC 60364 ani v jiné normě. Doplňková ochrana se zpravidla uplatní jako jeden z požadavků uvedených v souboru norem ČSN 33 2000-7. Klasifikace vnějších vlivů a přiřazení prostorů z hlediska nebezpečí úrazu elektrickým proudem vlivům prostředí řeší ČSN 33 2000-3.

Ochranná opatření, tak jak jsou uvedena v jednotlivých člancích normy 411 – 414 jsou kombinacemi prostředků základní ochrany a ochrany při poruše. Dohromady zajišťují kompletní ochranu zařízení.

4.5 Všeobecně povolená ochranná opatření

- automatické odpojení od zdroje
- dvojitá nebo zesílená izolace
- elektrické oddělení pro napájení jednoho spotřebiče
- malé napětí SELV a PELV

Protože se v elektrických instalacích jako nejběžnější ochranné opatření uplatňuje ochrana automatickým odpojením od zdroje, požadavky normy se zaměřují především na ochranu automatickým odpojením.

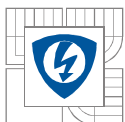
Automatické odpojení od zdroje je ochranné opatření kde:

- základní ochrana je zajištěna základní izolací živých částí nebo přepážkami nebo kryty
- ochrana při poruše je zajištěna ochranným pospojováním a automatickým odpojením v případě jedné poruchy

V některých případech je předepsána ještě ochrana proudovým chráničem obecného typu, jehož jmenovitý vybavovací reziduální proud nepřesahuje 30 mA. Přístroje pro monitorování reziduálního proudu (RCM, HIS - obecně hlídače izolačního stavu) se nepovažují za ochranné přístroje, ale mohou být použity aby reziduální proud monitorovaly. Tyto přístroje musí být vybaveny světelnou nebo akustickou signalizací překročení nastavené hodnoty reziduálního proudu.

Společné požadavky na ochranu automatickým odpojením při poruše

- neživé části současně přístupné dotyku (za takto přístupné se považují jsou-li od sebe vzdáleny méně jak 2,5 m) musí být spojeny ochranným vodičem se stejnou uzemňovací soustavou (jednotlivě, po skupinách nebo společně)
- v každé budově musí být do ochranného pospojování vzájemně spojeny ochranný vodič, uzemňovací přívod, kovová potrubí jako plyn a voda, ústřední topení a klimatizace, dosažitelné kovové konstrukční části budov
- ochranný přístroj (pojistka, jistič, proudový chránič) musí automaticky přerušit napájení pracovních vodičů obvodu v případě poruchy v maximálních dobách stanovených tabulkou 4-1. V sítích IT se obvykle při výskytu první poruchy automatické odpojení nevyžaduje.



Tabulka 4-1: Maximální doby odpojení pro koncové obvody

Síť ~ (AC)	$120V < U_0 \leq 230V$	$230V < U_0 \leq 400V$	$U_0 > 400V$
TN	0,4	0,2	0,1
TT	0,2	0,07	0,04

U_0 je jmenovité střídavé napětí vodiče vedení vůči zemi.

Maximální doby odpojení uvedené tabulkou 4-1, platí pro koncové obvody, které nepřesahují 32A. Pro distribuční obvody a pro obvody s proudy překračujícími 32 A je v síti TN dovolena doba odpojení do 5s a v sítích TT do 1s. Jestliže není možné dosáhnout stanovených dob odpojení, musí být provedeno doplňující pospojování.

Rozdílnost požadovaných maximálních dob odpojení pro sítě TN a TT, vyplývá z maximálního možného napětí, které se může objevit na neživých částech po dobu průchodu poruchového proudu. Tato hodnota pro síť TN vychází menší než polovina fázového napětí, protože zde se příznivě projevuje vliv přizemnění vodiče PEN. V síti TT potom podstatně větší část celkové impedance tvoří část poruchového obvodu od místa poruchy ke zdroji a tomu odpovídá i větší úbytek napětí na této impedanci, který se objeví na ochranném vodiči.

4.6 Účinky proudu na lidský organismus

Průchod proudu tělem člověka vyvolá jisté fyziologické účinky, které jsou závislé na velikosti tohoto proudu a na době, po kterou proud postiženým tělem protéká. Jedná se především o excitaci (dráždění) nervů a svalů, při větších proudech, řádově jednotky ampér, pak může docházet ke vzniku popálenin, které mohou být i vnitřní. Dráždění nervů a svalů může způsobovat dýchací potíže, stahy svalů vedoucí až ke křečím, či zvýšení krevního tlaku. Za největší nebezpečí se však považuje komorová fibrilace srdečního svalu, která je hlavní příčinou smrtelných úrazů v rozsahu kmitočtů 15 – 100 Hz. Další nežádoucí účinky elektrického proudu (např. elektrický oblouk, vliv silných elektromagnetických polí) nejsou z hlediska zpracovávaného tématu podstatné.

Za velikost proudu, který ještě při působení po dobu do 5s nezpůsobí nevratné patofyziologické změny v organismu, se považuje 30mA, práh vnímání je asi od 0,5mA. Zde je vhodné podotknout, že se jedná o hodnoty určené dohodou a u konkrétních osob se můžou i podstatně lišit. To je ostatně i důvod, proč bylo upuštěno od dříve deklarovaných hodnot bezpečných proudů, známých například z ČSN 34 1010.

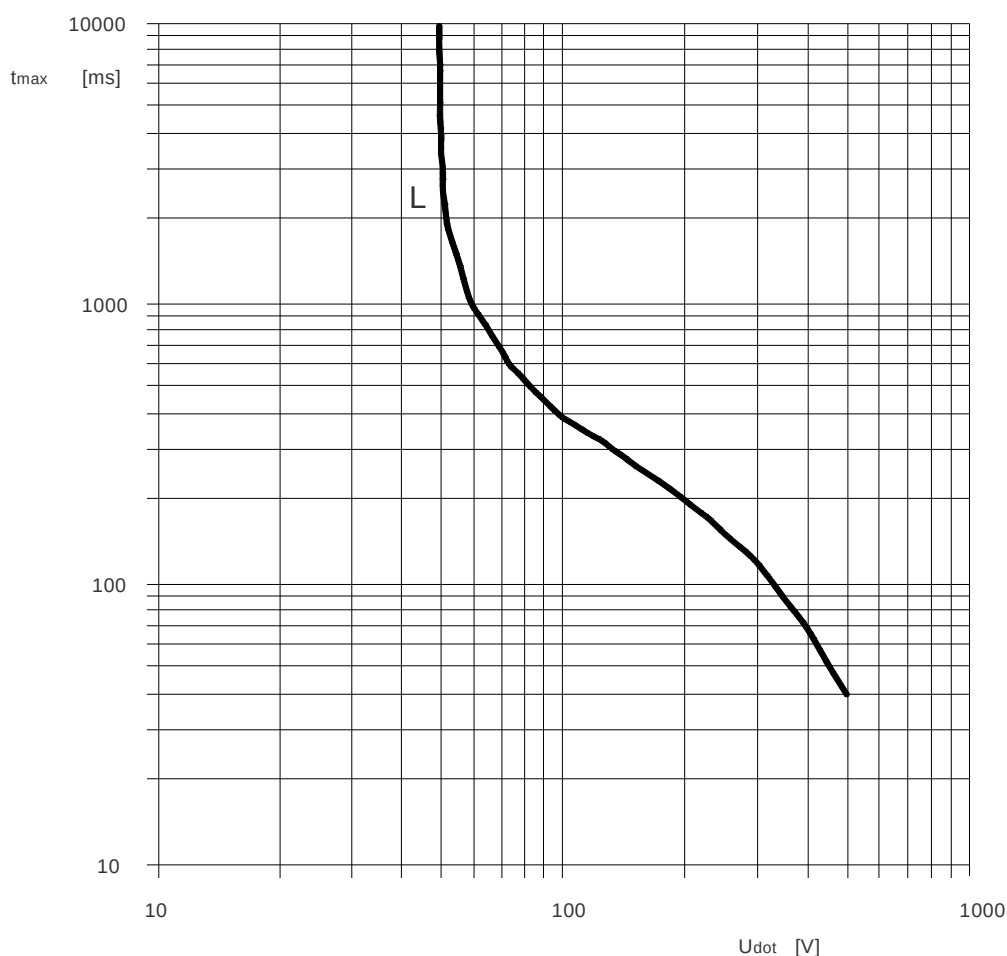
4.7 Maximální doby odpojení

Velikost proudu, který při dotyku živé části pod napětím nebo neživé části při poruše bude protékat lidským tělem, je závislá na celé řadě okolností. Různé části těla představují pro elektrický proud impedanci kapacitního a odporového charakteru. Hodnoty těchto impedancí jsou závislé zejména na dráze proudu tekoucího tělem, na velikosti dotykového napětí, době trvání průtoku proudu, kmitočtu, stupni vlhkosti kůže, ploše kontaktního povrchu, tlaku který působí, na teplotě a na samotných živých osobách.

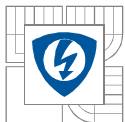
Protože vztah mezi dotykovým napětím a proudem tekoucím tělem není lineární, byly hodnoty impedancí stanoveny na základě různých experimentálních měření.

Na základě výsledků těchto měření a rovněž znalostí o fyziologických účincích proudu tekoucího tělem v závislosti na jeho velikosti a čase, byly stanoveny dohodnuté zóny účinků střídavého proudu na člověka. Pro jednotlivé zóny zde jsou popsány typické fyziologické účinky. Přepočtením proudů přes impedanci lidského těla, kde v úvahu byla vzata i do série s impedancí těla zařazená impedance podlahy a obuvi, mohla být potom odvozena grafická závislost předpokládaného dotykového napětí na době trvání dotyku. V této grafické závislosti byla dohodou stanovena takzvaná křivka L, znázorňující maximální přípustné doby trvání dotykového napětí na částech přístupných dotyku v závislosti na velikosti tohoto napětí. Z průběhu této křivky byly odvozeny maximální doby odpojení, které se uplatňují v prostorech normálních a nebezpečných. Pro prostory zvláště nebezpečné se již další zkracování vypínacích časů nepožaduje. V těchto případech se prostředky normální ochrany doplňují o další opatření, kterými se úroveň ochrany zvýší tak, aby vyhovovala i pro prostory zvláště nebezpečné. Tato opatření se nazývají doplňkovou ochranou a jsou již zmíněna v textu výše.

Grafické znázornění závislosti maximální doby trvání výskytu předpokládaného dotykového napětí na chráněných částech na velikosti tohoto napětí je uvedeno na obrázku 5.1. Tato grafická závislost je převzata z [2].



Obr. 4.3 Maximální přípustné doby trvání předpokládaného dotykového napětí



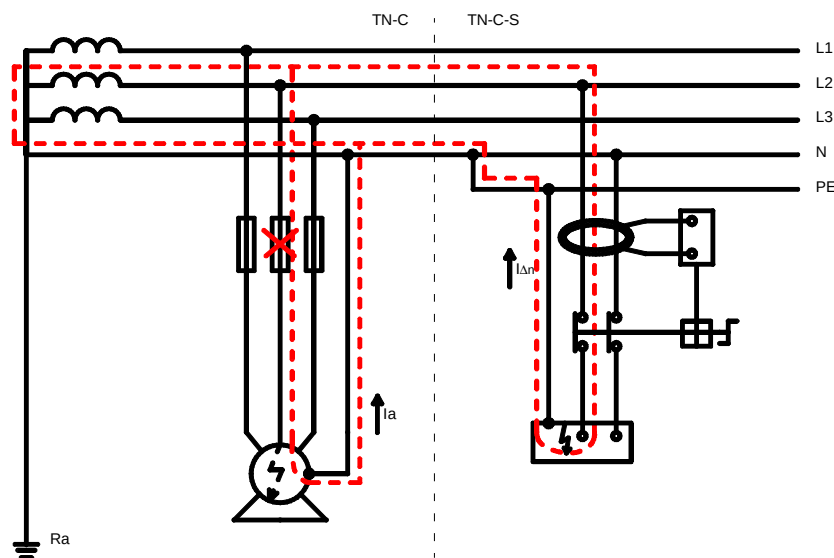
Oblast ležící na pravé straně od křivky L již představuje zónu, kde je pravděpodobnost vertikálních fibrilací až u 5% populace. Samotná křivka je vedena s určitým odstupem směrem do bezpečné zóny.

5 POŽADAVKY NA AUTOMATICKÉ ODPOJENÍ V JEDNOTLIVÝCH SÍTÍCH

5.1 Sít' TN

Při poruše, tj. průrazu napětí z živé na neživou vodivou část, dojde v síti TN-C ke zkratu. Zkratový proud prochází ze zdroje fázovým vodičem až do místa poruchy a odtud ochranným vodičem PEN nebo PE zpět ke zdroji. Aby bylo zajištěno odpojení zařízení s poruchou ve stanovené době, musí být ve vedení před tímto zařízením zařazen vhodně dimenzovaný nadproudový prvek, který působením zkratového proudu zařízení odpojí. Tímto prvkem jsou buď pojistky nebo jističe vybavené zkratovou spouští, ale v sítích se samostatně vedeným ochranným vodičem PE se může jednat i o proudové chrániče.

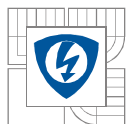
Použije-li se jako ochranný prvek proudový chránič, musí být v tomto obvodu zařazen i nadproudový ochranný přístroj, který v tomto případě neplní funkci ochrany při poruše, ale zajišťuje ochranu proti proudovým přetížením a zkratovým proudům. Přípustné je i použití přístrojů kombinujících funkci nadproudové ochrany a ochrany před nebezpečným dotykem, například proudový chránič s nadproudovou ochranou. Proudový chránič nesmí být používán v sítích TN-C. Jestliže se použije proudový chránič v síti TN-C-S, nesmí být vodič PEN použit za chráničem na straně zátěže. Vodič PEN musí být rozdělen na ochranný vodič PE a nulový vodič N před chráničem (na straně zdroje).



Obr. 5.1 Automatické odpojení v síti TN

V síti TN závisí správná funkčnost automatického odpojení na bezporuchovosti uzemnění instalace a na spolehlivosti a účinnosti spojení vodičů PEN nebo PE se zemí. Správné uzemnění má splňovat následující požadavky:

- vodič PEN má být uzemněn v řadě bodů a uložen tak, aby se minimalizovalo riziko jeho přerušení



- nulový nebo střední bod silové napájecí sítě musí být uzemněn
- doporučuje se, aby ochranné vodiče byly spojeny s účinným uzemněním kdekoliv je to možné a toto uzemnění bylo rozloženo co možná nejrovnoměrněji
- ve velkých (výškových) budovách se doporučuje ke splnění výše uvedených podmínek provést i ochranné pospojování mezi ochrannými vodiči a cizími vodivými částmi
- odpor uzemnění uzlu zdroje nemá být větší než 5Ω (výjimečně až 15Ω)
- celkový odpor uzemnění uzlu zdroje včetně uzemnění vodičů PEN odcházejících z transformovny nemá být větší jak 2Ω (platí pro síť $U_0=230V$)
- vodič PEN v síti TN-C nebo vodič PE v síti TN-S se musí uzemnit samostatným zemničem nebo spojit s uzemňovací soustavou kromě uzlu zdroje ještě v těchto místech:

ve venkovním rozvodu

- u vrchních vedení každých 500 m a na jeho konci
- u odboček z vrchního vedení delších než 200 m a na jejich konci
- u kabelového vedení delšího než 200 m od místa předchozího uzemnění na jeho konci
- u přípojkových skříní vzdálenějších než 100 m od předchozího uzemnění

ve vnitřním rozvodu

- u objektů s vlastním transformátorem vždy u hlavních rozváděčů
- u objektů bez vlastního transformátoru, je-li hlavní rozváděč vzdálen více než 100m od předchozího uzemnění, se uzemnění provede u tohoto rozváděče
- na konci odboček delších než 200m od místa předchozího uzemnění

V pevných instalacích může jediný vodič sloužit zároveň jako ochranný i jako nulový vodič (vodič PEN), a to za předpokladu, že jsou splněny požadavky ČSN 33 2000-5-54 na jeho průřez ($10 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$, $16 \text{ mm}^2 \text{ Al}$). Do vodiče PEN nesmějí být zařazována žádná spínací ani odpojovací zařízení.

K zajištění automatického odpojení od zdroje musí být instalovány takové ochranné prvky, jejichž vypínací charakteristiky spolu s impedancí daného obvodu splní požadavek:

$$Z_s \times I_a \leq U_0 \quad (5.1)$$

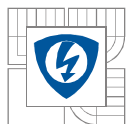
kde

Z_s je impedance poruchové smyčky v ohmech (Ω), sestávající z

- zdroj
- vodič vedení až k místu poruchy
- ochranný vodič mezi místem poruchy a zdrojem

I_a proud v ampérech (A) vyvolávající automatickou funkci přístroje způsobujícího odpojení v době stanovené v tabulce 41.1. Jestliže je použit proudový chránič, je tímto proudem jeho jmenovitý vybavovací reziduální proud zajišťující odpojení v stanovené době

U_0 jmenovité střídavé nebo stejnosměrné napětí vodiče vedení vůči zemi ve voltech (V)



Protože je třeba uvažovat nejméně příznivé podmínky, kdy v momentu vzniku zkratu dochází ke zvýšení impedance poruchové smyčky oteplením vedení na jeho maximální provozní teplotu (u kabelů s PVC izolací je to 70°C) a zároveň ke snížení napětí sítě vlivem jednofázového zkratu, zavádí se do vztahu pro výpočet a kontrolu impedanční smyčky ještě korekční součinitel 1,5. To umožňuje, aby běžné instalace byly považovány za vyhovující, je-li splněna podmínka podle vztahu:

$$1,5 \cdot Z_s \times I_a \leq U_0 \quad (5.2)$$

V případě projektování běžných elektrických instalací vychází jako vyhovující, jestliže část impedanční smyčky připadající na koncové obvody není větší než:

$$Z_s \times I_a \leq 0,5 \cdot U_0 \quad (5.3)$$

5.2 Sít' TT

Pro ochranu při poruše v sítích TT se přednostně musí používat proudové chrániče. Výjimečně mohou být použity i nadproudové ochranné přístroje (pojistky, jističe), ovšem za předpokladu, že je trvale a spolehlivě zajištěna dostatečně nízká hodnota impedance poruchové smyčky v ohmech Z_s . Všechny neživé části chráněné společně stejným ochranným přístrojem, musí být spojeny ochrannými vodiči se zemničem, který je pro všechny tyto neživé části společný.

Použije-li se pro ochranu při poruše proudový chránič, musí být splněny následující podmínky:

- doba odpojení podle tabulky 41.1 ČSN 33 2000 4-41 ed.2

$$R_A \times I_{\Delta n} \leq 50V \quad (5.4)$$

kde:

R_A je součet odporů v ohmech (Ω) zemniče a ochranného vodiče k neživým částem

$I_{\Delta n}$ je jmenovitý reziduální vybavovací proud proudového chrániče

Je –li použit nadproudový ochranný přístroj, musí být splněna následující podmínka:

$$Z_s \times I_a \leq U_0 \quad (5.5)$$

kde:

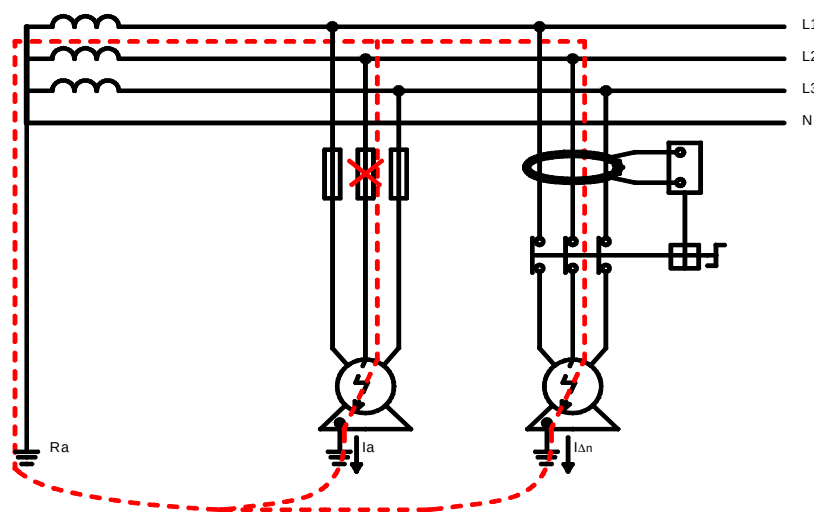
Z_s je impedance v ohmech (Ω) poruchové smyčky obsahující

- zdroj
- vodič vedení až k místu poruchy
- ochranný vodič k neživým částem
- uzemňovací přívod
- zemnič elektrické instalace
- zemnič zdroje

I_a je proud v ampérech (A) vyvolávající automatickou funkci odpojovacího přístroje

U_0 je jmenovité střídavé nebo stejnosměrné napětí vodiče vedení vůči zemi ve voltech (V)

Při poruše, tj. průrazu napětí ze živé na neživou část, dojde k zemnímu spojení. Protože je uzel zdroje uzemněn, prochází poruchový proud ze zdroje fázovým vodičem až do místa poruchy, odtud ochranným vodičem a uzemněním chráněného zařízení do země a zemí přes uzemnění uzlu zdroje ke zdroji. Vzniká tedy obdobná smyčka poruchového proudu jako při poruše v síti TN.



Obr. 5.2 Automatické odpojení v síti TT

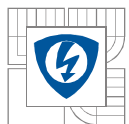
5.3 Síť IT

Tato síť se používá zejména tam, kde je požadována vysoká spolehlivost zajištění kontinuity napájení, to znamená kde je nežádoucí aby došlo k automatickému odpojení v případě první poruchy. Za podmínky jedné poruchy mezi živou částí a neživou částí nebo živou částí a zemí je poruchový proud velmi malý, nedojde k vytvoření nebezpečného dotykového napětí a proto se automatické odpojení nepožaduje. Musí však být provedena opatření k zabránění nebezpečí škodlivých patofyziologických účinků na osobu, která se dotýká současně přístupných neživých částí v případě, kdy dojde ke dvěma poruchám současně, v tom případě musí dojít k vypnutí izolačně vadné části sítě.

V sítích IT musí být živé části izolovány od země (neuzemněny) nebo spojeny se zemí přes dostatečně vysokou impedanci. Neživé části musí být uzemněny jednotlivě, po skupinách nebo společně.

Musí být splněna podmínka (ve střídavých sítích) $R_A \times I_d \leq 50V$, kde:

R_A je součet odporů v ohmech (Ω) zemniče a ochranného vodiče k neživým částem



I_d je poruchový proud v ampérech (A) při první poruše o zanedbatelné impedanci mezi vodičem vedení a neživou částí

V síti IT mohou být pro monitorování, hlídání a ochranu použity následující přístroje:

- hlídače izolačního stavu
- přístroje pro monitorování reziduálního proudu
- systémy pro vyhledávání izolačních poruch
- nadproudové ochranné přístroje
- proudové chrániče

V případech, kdy je síť IT použita z důvodu zajištění kontinuity napájení, musí být použit hlídač izolačního stavu, aby signalizoval výskyt první poruchy mezi živou částí a neživými částmi a zemí. Ten musí při první poruše spustit zvukový a nebo vizuální signál, který musí trvat tak dlouho, pokud porucha trvá. Doporučuje se, aby první porucha byla co nejdříve odstraněna.

Po té co se objeví první porucha, musí být splněny podmínky pro automatické odpojení v případě výskytu druhé poruchy na jiném pracovním vodiči. Tyto požadavky se stanovují odlišně pro dvojí provedení sítě, v závislosti na způsobu spojení neživých částí s uzemňovací soustavou a vzniklých poměrů v síti při druhé poruše:

5.3.1 Síť IT, neživé části uzemněny společně

- jestliže jsou neživé části propojeny ochranným vodičem a společně uzemněny ke stejné uzemňovací soustavě, platí podmínky podobné jako v síti TN a tyto podobné podmínky musí být splněny jestliže nulový bod v případě střídavých sítí nebo střední bod v případě stejnosměrných sítí není vyveden:

$$2I_a \times Z_s \leq U \quad (5.6)$$

- v případě, že nulový nebo střední bod je vyveden:

$$2I_a \times Z'_s \leq U_0 \quad (5.7)$$

kde:

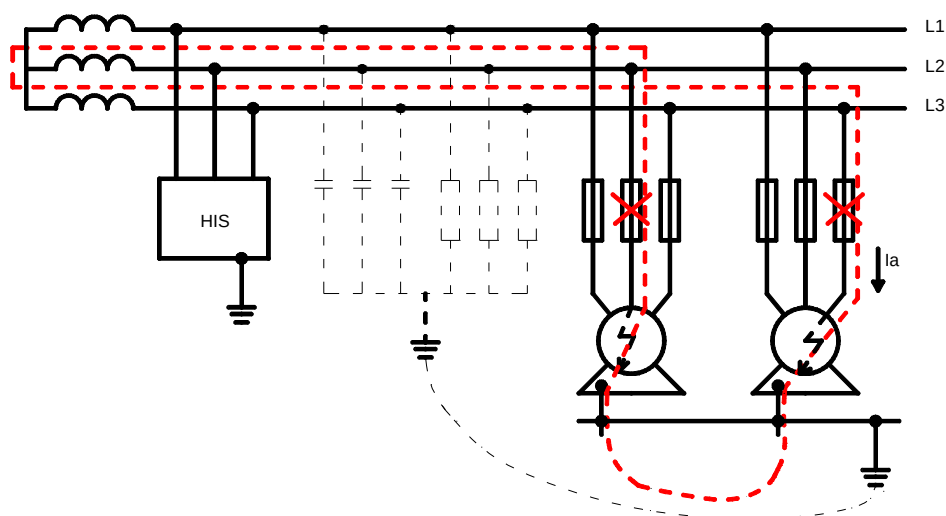
U_0 je jmenovité střídavé nebo stejnosměrné napětí mezi fázovým vodičem a nulovým nebo středním vodičem ve voltech (V)

U je jmenovité střídavé nebo stejnosměrné napětí mezi vodiči ve voltech (V)

Z_s je impedance poruchové smyčky v ohmech (Ω), sestávající z vodiče vedení a ochranného vodiče obvodu

Z'_s je impedance poruchové smyčky v ohmech (Ω), sestávající z nulového vodiče a ochranného vodiče obvodu

I_a je proud v ampérech (A) vyvolávající automatickou funkci odpojovacího přístroje



Obr. 5.3 Automatické odpojení v síti IT-1

5.3.2 Síť IT, neživé části uzemněny jednotlivě

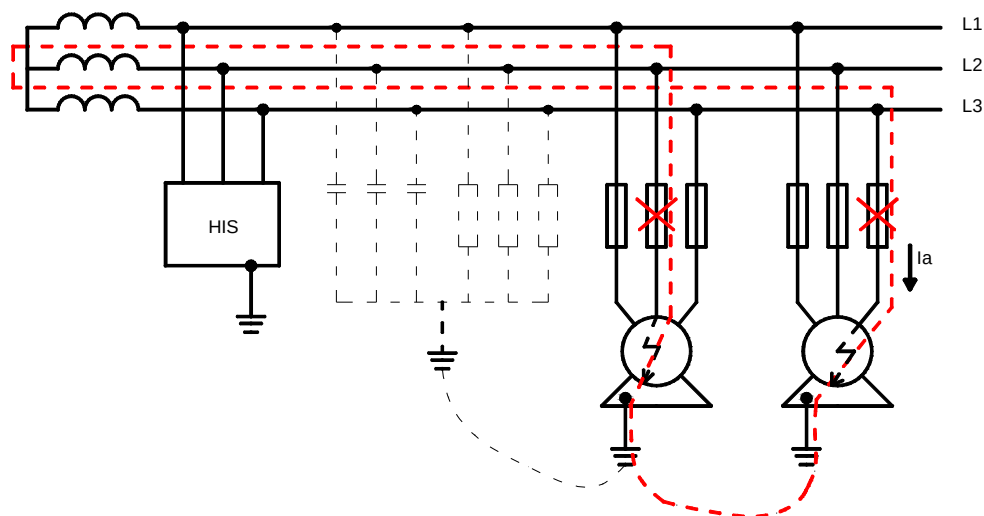
- jestliže jsou neživé části uzemněny po skupinách nebo jednotlivě, nastávají při druhé poruše podobné podmínky jako v síti TT, platí podmínka:

$$R_a \times I_a \leq 50V \quad (5.8)$$

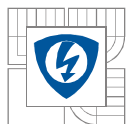
kde:

R_a je součet odporu zemniče a ochranného vodiče k neživým částem v ohmech (Ω)

I_a je proud zaručující odpojení v době stanovené pro síť TT v ampérech (A)



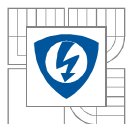
Obr. 5.4 Automatické odpojení v síti IT-2



5.4 Funkční malé napětí (FELV)

Jestliže se z funkčních důvodů používá napětí, které není vyšší než AC 50 V nebo DC 120 V, přičemž však nejsou splněny požadavky článku 414 týkající se SELV a PELV, a pokud SELV a PELV nejsou zapotřebí, pak aby byla zajištěna základní ochrana i ochrana při poruše, je nutno přijmout níže uvedená opatření.

- Pro zajištění základní ochrany slouží základní izolace nebo přepážky a kryty.
- Pro zajištění ochrany při poruše musí být neživé části spojeny s ochranným vodičem vstupního (primárního) obvodu zdroje. Přitom se předpokládá, že vstupní obvod je chráněn automatickým odpojením od zdroje (podle předchozích podmínek).
- Zdrojem sítě FELV musí být transformátor alespoň s jednoduchým oddělením vinutí.
- Zásuvky a vidlice pro FELV musí být nezáměnná se zásuvkami pro jiná napětí a musí mít ochranný kontakt.



6 PRAKTICKÉ OVĚŘENÍ PODMÍNEK AUTOMATICKÉHO ODPOJENÍ OD ZDROJE

6.1 Úvod

Ověřit, že podmínky automatického odpojení od zdroje navrhované elektrické instalace budou splněny, je nutné již při navrhování nového zařízení. Proto je důležité jednotlivé komponenty elektrické instalace navrhovat a dimenzovat nejen s ohledem na proudovou zatížitelnost, maximální provozní teplotu, nebo dovolený úbytek napětí, ale musí být brán v potaz i tento požadavek. Správně navržená elektrická instalace zajišťuje, že v každé její části dojde při poruše, jejímž následkem je průraz nebezpečného dotykového napětí na neživou část, k automatickému odpojení příslušné části instalace od zdroje a to v předepsaném čase. Aby byl projektant schopen navrhnout elektrickou instalaci splňující tyto požadované časy vypnutí pro danou síť a napěťovou hladinu, musí mít k dispozici celou řadu informací, jako jsou vypínací charakteristiky jistících prvků, impedance kabelů a zdrojů, charakteristiky zátěží, prostorové uspořádání navrhované sítě a další. Tyto údaje je možné získat od výrobců, z katalogů výrobků, popřípadě není-li jiná možnost měřením potřebných fyzikálních veličin metodou zajišťující dostatečnou přesnost.

Pohodlnou možností, jak při navrhování elektrické instalace zajistit splnění podmínek automatického odpojení od zdroje, je využití vhodného software. V této práci je využit výpočtový program SICHK, který v rámci technické podpory zákazníků zdarma poskytuje český výrobce elektrických přístrojů OZ Letohrad. Tento program na základě použitých prvků ve schématu provádí řadu kontrol a výpočtů paprskových sítí TN-C, TN-C-S a IT ve všech obvyklých napěťových hladinách nn.

6.2 Základní informace o navrhovaném zařízení.

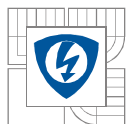
Úvodem je třeba zdůraznit, že účelem této části práce je především objasnění postupu při navrhování – projektování elektrické instalace nn z hlediska splnění podmínek pro automatické odpojení od zdroje. Nebudou zde tedy uváděny ty části původního projektu, nemající přímý vztah k zpracovávanému tématu, ale naopak podrobně, nad rámec běžně zpracovávaných projektových dokumentací se rozvede postup při kontrole splnění podmínek pro automatické odpojení.

Požadavkem investora je rekonstrukce nevyhovujících kabelových rozvodů nn pro osvětlovací stožáry a dále rozšíření stávajícího venkovního osvětlení železniční stanice Brno – Maloměřice o nové osvětlovací věže. Výchozím bodem je rozvodna nízkého napětí transformátorové stanice 22/0,4kV, vývodové pole č.10, určené pro napájení osvětlovacích rozvodů. Projekt bude řešit v zásadě dva hlavní proudové okruhy. První obvod pro napájení osvětlovacích stožárů a druhý pro osvětlovací věž.

Již z tohoto stručného zadání, vyplývá první důležitý bod celého postupu. Zatímco osvětlovací stožáry jsou situovány podél neelektrifikované koleje a z tohoto hlediska nejsou na elektrickou instalaci kladeny žádné zvláštní požadavky, osvětlovací věž je navržena v místě u koleje elektrifikované. Pro tyto případy je nutno brát v úvahu požadavky [6] ČSN EN 50122-1

The diagram illustrates a TN-C system where the neutral and protective earth functions are combined in a single PEN conductor. The PEN line runs horizontally at the top. On the left, it is grounded at the source (transformer symbol) and at a local point labeled 'ME'. Below the PEN line, a vertical busbar is connected to the PEN line and has four terminals labeled: 'Vodovodní a plynové potrubí' (Water and gas pipes), 'Topné potrubí' (Heating pipes), 'Hromosvod' (Lightning rod), and 'Uzemnění budovy' (Building earthing). The PEN line then branches into several distribution units, each containing an RCD (Residual Current Device). The first unit feeds a motor (M). The second unit feeds a heater (resistor symbol). The third unit feeds a lighting fixture (two lamp symbols). The fourth unit feeds a power pole (three-phase switch symbol). The PEN line is also grounded at the far right end.

V následující části práce je uveden nejprve výpočet pro dimenzování přívodu k osvětlovacím stožárům v síti TN-C, dále kontrolní výpočet tohoto obvodu programem *SICHR* a poslední podkapitola řeší obvod pro osvětlovací věž vedený v síti TT.



6.3 Výpočet

6.3.1 Elektrická instalace – síť TN-C

Zadané parametry el. instalace:

Požadovaný příkon (stožáry):	14 x 250=3500W
Účinník odběru (stožáry):	$\cos\varphi=0,85$
Napěťová soustava:	230/400V
Délka kabelového vedení (stožáry):	826m

Transformátor aTO 363/22:

Jmenovitý výkon	S=500kVA
Jmenovité primární napětí	$U_{\text{prim}}=22000\text{V}$
Jmenovité sekundární napětí	$U_{\text{sec}}=400/231\text{V}$
Zapojení vinutí	Yy0
Napětí na krátko	$e_k=5\%$
Jmenovitý primární proud	$I_{\text{prim}}=13\text{A}$
Jmenovitý sekundární proud	$I_{\text{sec}}=723\text{A}$
Rok výroby	r.v. 1958

Na základě těchto údajů je možné provést výpočet velikosti jištění a průřezu kabelu. V prvním kroku se provede dimenzování podle proudového zatížení.

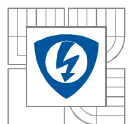
$$I_z = \frac{P}{3 \cdot U_f \cdot \cos \varphi} \quad (6.1)$$

$$I_z = \frac{3500}{3 \cdot 230 \cdot 0,85} \cong 6\text{A}$$

Vzhledem k předřazenému jištění jednotlivých svítidel pojistkou 10A, jako vyhovující pro jištění kabelového vedení vychází jistič 3x20, charakteristiky B- vedení.

Nyní je možno zvolit průřez kabelového vedení. Zde je nutno vzhledem k povaze projektovaného rozvodu vzít v úvahu především tyto parametry:

- 1) nejvyšší dovolenou teplotu
- 2) dovolený úbytek napětí
- 3) nejvyšší impedanci vzhledem k působení ochrany při poruše



Vzhledem k minimálnímu povolenému průřezu vodičů PEN pro hliníkové vodiče a s přihlédnutím k ČSN 33 2000-5-523 (dovolené proudy v elektrických zařízeních) vychází z hlediska oteplení jako postačující průřez vodičů kabelu 16mm². Tento průřez je však třeba zkontrolovat podle dalších požadavků, dovoleného úbytku napětí a maximální velikosti impedance z hlediska splnění podmínek pro automatické odpojení v požadovaném čase. Pro osvětlení je povolená tolerance úbytku napětí $\pm 3\% U_n$, to představuje při fázovém napětí 230V cca 7V.

Úbytek napětí se vypočte podle vztahu:

$$\Delta U = 2 \cdot (R_k \cdot I \cdot \cos \varphi + X_k \cdot I \cdot \sin \varphi) \cdot l \quad (6.2)$$

kde

R_k je činný odpor jádra vodiče daného průřezu o délce 1km, udaný výrobcem kabelů

X_k indukční reaktance vodiče daného kabelu na 1km, udaná výrobcem kabelů

l délka kabelu v kilometrech

vyhledáním hodnot R_k a X_k pro průřez 16mm² a dosazením do vztahu (6.2) je možno vypočíst úbytek napětí u první lampy, kde $l=150m$:

$$\Delta U = 2 \cdot (1,935 \cdot 6 \cdot 0,85 + 0,09 \cdot 6 \cdot 0,53) \cdot 0,15 = 3,05V$$

Proud tekoucí kabelem se s narůstající délkou snižuje, tak jak jsou podél kabelové trasy rozmístěny jednotlivé odběry. Je-li uvažován proud jednoho svítidla cca 1,3A, správné rozfázování odběrů a vzdálenost mezi jednotlivými odběry $l=52m$, postačí provést kontrolu pro jednu fázi, kdy na každých 156m délky připadá jeden odběr:

úbytek napětí u čtvrté lampy $l=306m$:

$$\Delta U = 3,05 + 2 \cdot (1,935 \cdot 4,7 \cdot 0,85 + 0,09 \cdot 4,7 \cdot 0,53) \cdot 0,156 = 5,53V$$

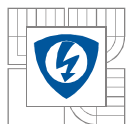
úbytek napětí u sedmé lampy $l=462m$:

$$\Delta U = 5,53 + 2 \cdot (1,935 \cdot 3,4 \cdot 0,85 + 0,09 \cdot 3,4 \cdot 0,53) \cdot 0,156 = 7,3V$$

Zvolený průřez by tedy z hlediska dovoleného úbytku napětí nevyhověl a je třeba ho zvýšit, je zvolen průřez $s=25mm^2$. Obdobně jako pro průřez 16mm² provede se kontrola na úbytek napětí i pro průřez 25mm².

Výsledkem je zjištění, že maximální úbytek napětí je cca 6V a tedy z hlediska kontroly na úbytek napětí je zvolený průřez vyhovující.

Poslední kontrola, která již přímo souvisí se zpracovávaným tématem, je kontrola splnění podmínek pro velikost impedance vypínací smyčky. Sestaví se tedy náhradní obvod poruchového obvodu, složený z impedancí jednotlivých prvků, v tomto případě je to impedance transformátoru a kabelového vedení a provede se výpočet celkové impedance.



pro výpočet impedance transformátoru je možné použít vztah:

$$Z_{tr,p} = e_k \cdot \frac{U_v^2}{S_{tr,n}} \quad (6.3)$$

$$Z_{tr} \approx X_{tr} = 0,05 \cdot \frac{(400)^2}{500 \cdot 10^3} = 0,016\Omega$$

Kabelového vedení:

Kabel AYKY-J 4x25mm²

rezistivita jádra udaná výrobcem $R_k=1,2384\Omega/\text{km}$

induktivní reaktance $X_k=0,089\Omega/\text{km}$

$$Z_v = 2 \cdot (R_k + jX_k) \cdot l \quad (6.4)$$

$$Z_v = 2 \cdot (1,2348 + j0,089) \cdot 0,824 = (2,04 + j0,15)\Omega$$

Celková vypočtená impedance poruchového obvodu:

$$Z_{sv} = (Z_{tr} + Z_v)$$

$$Z_{sv} = (2,04 + j0,15 + j0,016) = (2,04 + j0,17) = 2,05\Omega$$

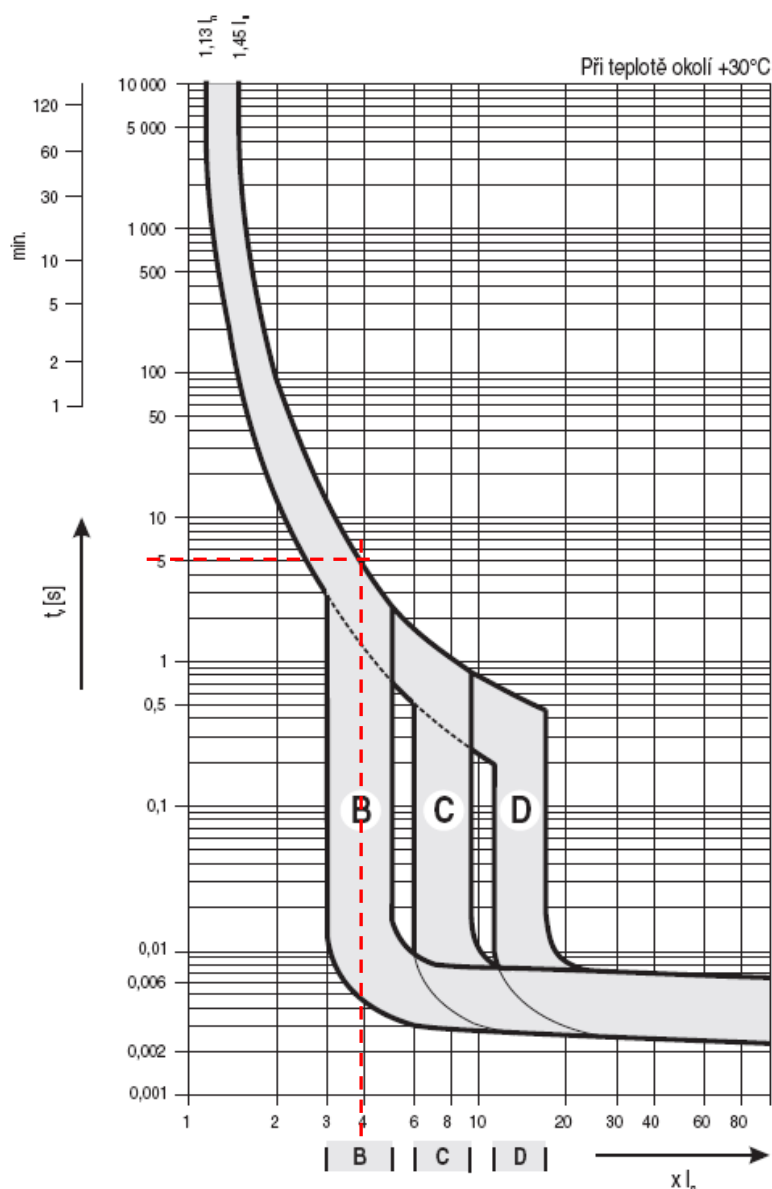
Pokud má být zaručen požadovaný vypínací čas, musí pro impedanci vypínací smyčky platit známý vztah (5.1):

$$Z_s \leq \frac{U_0}{I_a}$$

kde proud I_a je vypínací proud jistícího prvku pro požadovaný čas, v tomto případě se nejedná o koncový obvod a vypínací doba je v souladu s článkem 411.3.2.3 $t_v=5s$. Tento vypínací čas se v ampér – sekundové charakteristice nachází již v oblasti působení tepelné spouště a příslušný proud I_a je nutno odečíst z této charakteristiky. Postupuje se tak, že se určí průsečík horní obalové křivky pásma charakteristik a přímky pro čas $t_v=5s$, odtud se spustí kolmice a na ose proudů se odečte příslušný n-násobek jmenovitého proudu jističe.

Z ampér – sekundové charakteristiky odečteno pro čas $t_v=5s$, $I_a=I_n \times 4=80A$

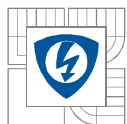
$$Z_s \leq \frac{230}{80} = 2,86\Omega$$



Obr. 6.2 Vypínací ampér-sekundové charakteristiky jističů LSN

ČSN 33 2000-4-41 ed.2 [1] uvádí v informativní národní poznámce N, vztahující se k výše uvedenému výpočtu ještě následující text:

Je třeba počítat s tím, že výše uvedená podmínka pro charakteristiky ochranných přístrojů a impedancí musí být splněna i za nejnepríznivějších předpokládaných podmínek. Ty jsou představovány zvýšením impedance smyčky způsobeným oteplením vedení na jeho maximální provozní teplotu a snížením napětí při poruše vlivem zatížení sítě při jednofázovém zkratu. Přitom je nutno počítat s tím, že k automatickému odpojení dojde až působením proudu I_a , který, odečtený pro předepsanou dobu odpojení z pásma charakteristik přístroje, je ten největší.



Uvedená podmínka se považuje za splněnou, jestliže pro vedení, jehož nejhorší provozní podmínky, které obvykle mohou přicházet v úvahu, jsou představovány maximální provozní teplotou vedení 70°C (u izolace PVC), není impedance smyčky Z_s počítaná nebo měřená při teplotě 20°C větší než podle vztahu (5.2).

Do součinitele 1,5 je přitom zahrnut součinitel oteplení vedení 1,2 a tzv. bezpečnostní součinitel 1,25 zahrnující velmi malé hodnoty impedancí ve spojích i napěťový součinitel zatížené sítě. S uvedenými vztahy je možno uvažovat jak z hlediska projektování elektrických instalací, tak z hlediska jejich revizí.

Dále se tedy ověří splnění podmínky podle národní poznámky:

$$1,5 \times Z_s \times I_a \leq U_0 \Rightarrow Z_s \leq \frac{2}{3} \cdot \frac{U_0}{I_a}$$

$$Z_s \leq \frac{2}{3} \cdot \frac{230}{80} = 1,92 \Omega$$

Tento koeficient maximální možnou hodnotu impedance podstatně zpřísňuje a porovnáním s vypočtenou impedancí ověřovaného obvodu $Z_{sv}=2,05$ je zřejmé, že průřez vedení 25mm² nevyhoví a je nutné použít kabel vyššího průřezu, tedy 35 mm².

Impedance vedení se potom sníží na hodnotu

$$Z_v = 2 \cdot (0,8846 + j0,086) \cdot 0,826 = 1,46 + j0,14 \Omega$$

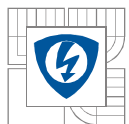
a celková impedance poruchového obvodu:

$$Z_{sv} = 1,46 + j0,14 + j0,016 = 1,47 \Omega,$$

pro tuto velikost impedance je již podmínka splněna a elektrickou instalaci je možno považovat za vyhovující z hlediska výše uvedených podmínek dimenzování.

TNI 33 2000-4-41 připouští i jiný postup, uvádí se zde, že při podrobnějším rozboru pro většinu případů vychází jako vyhovující impedance smyčky větší, než hodnoty impedance navýšené o koeficient 1,5. K přesnějšímu určení této hodnoty je třeba znát maximální provozní oteplení i maximální oteplení poruchovým proudem, kdy při působení zkratové spouště jističů nedojde průchodem poruchového proudu k takovému oteplení, se kterým by bylo nutno počítat.

Závěrem lze tedy říct, že hodnota koeficientu 1,5 je poměrně přísná a platí i pro skutečně nejméně příznivé případy.



6.3.2 Kontrolní výpočet v programu SICHR

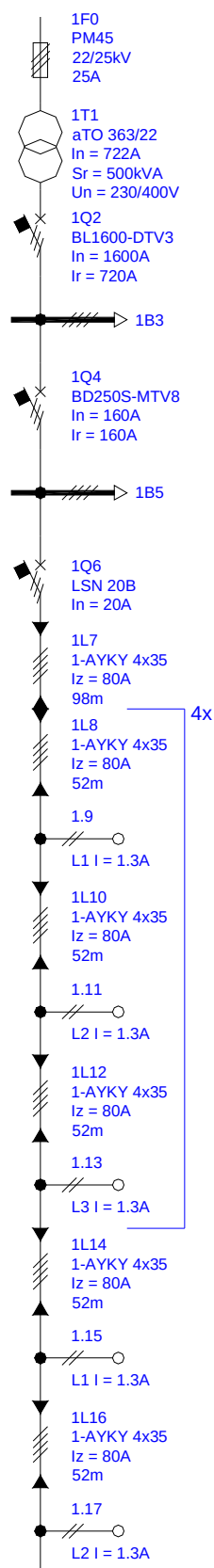
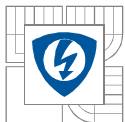
Celý tento výše uvedený postup dimenzování části elektrické instalace je poměrně zdlouhavý a pro praktické použití proto nevhodný. V běžné praxi lze využít vhodný software, který všechny zde uvedené výpočty a kontroly provede automaticky, podle zadaných parametrů. V této práci bude proveden kontrolní výpočet v programu SICHR.

Program pracuje ve třech základních režimech práce: vypínací charakteristiky, impedance a selektivita. V režimu impedance smyčky program počítá maximální dovolenou hodnotu impedanční smyčky Z_s pro stanovený vypínací čas t_v , danou vypínací charakteristikou jistícího přístroje (proud I_a) a napětím proti zemi U_0 a porovnává ji s vypočtenou hodnotou impedanční smyčky Z_{sv} projektovaného rozvodu. Zjistí-li program překročení hodnoty Z_{sv} nad dovolenou mez, je vypsána červenou barvou varovná zpráva.

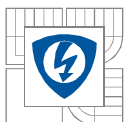
Po spuštění programu lze z nabízených šablon vybrat typ sítě a napěťovou hladinu. Poté je doporučeno provést pojmenování souboru a jeho uložení a dále je již možné začít s programem pracovat. Vedle možnosti zadání formálních údajů jako je datum, název projektu a jméno projektanta, umožňuje program v menu osobní nastavení provést určitá uživatelská nastavení nebo je zde možné nastavit limitní hodnoty úbytku napětí a zemního odporu Z_e . Program SICHR řeší paprskovou síť nn včetně napájecího VN přívodu. Jednotlivé paprsky jsou ukončeny vývody. Každý paprsek má přednastaven 25 pozic, přičemž na první pozici je umístěn napájecí bod a na 25. koncový vývod. Na ostatní pozice je možné vkládat jednotlivé prvky schématu. Mezi jednotlivými paprsky je možno přepínat nebo je zobrazeno celkové schéma. Program obsahuje databáze přístrojů vyráběných OEZ Letohrad, kabelů a transformátorů, ze kterých je možno snadno vybírat jednotlivé prvky a vkládat je do schématu. Práce je možná ve třech režimech a to charakteristiky, impedance a selektivita. V režimu impedance program kontroluje splnění podmínek pro zajištění automatického odpojení od zdroje při poruše. Je zde možné zadat požadovanou dobu odpojení. Program vyčísluje dvě hodnoty impedance smyček. Hodnota Z_{sv} je vypočtena z impedancí všech vložených prvků a uvažuje i se zvýšením impedance vlivem ohřátí vodičů poruchovým proudem. Hodnota Z_s je odvozena z charakteristiky jistícího prvku a vyjadřuje maximální možnou velikost impedance pro daný vypínací čas. Obě hodnoty jsou průběžně porovnávány a výsledek je uváděn výpisem ve schématu paprsku. Pokud impedance smyčky vyhoví jen s použitím přizemnění s odporem do Z_e limit, výpis ukáže velikosti vypočtené a dovolené smyčky a navíc údaj o max. velikosti odporu uzemnění Z_e max. Zároveň je nutnost přizemnění signalizována červeně blikající značkou uzemnění. Další informace o programu jsou uvedeny v uživatelském manuálu.

Výstupem programu SICHR je buď elektronický soubor typu xx.oez nebo tištěný dokument. Textová část projektu se ukládá jako formátovaný text rtf, celkové schéma ve formátu dxf lze dále zpracovávat v prostředí AutoCAD a pracovní stránku lze uložit k dalšímu užití ve formátu bmp.

Na následující stránce je uvedeno celkové schéma řešeného paprsku (paprsek 1), dále kontrolní výpočet řešeného obvodu tak, jak ho provedl a vypsál program SICHR a grafické znázornění vypínacích charakteristik jednotlivých jistících prvků.



Obr. 6.3 Celkové schéma řešeného paprsku v síti TN-C



Přehled parametrů a výpočtů pro řešení paprsek provedených programem SICHR

1T1aTO 363/22

$U_2 = 231/400 \text{ V}$ $S_r = 500 \text{ kVA}$ $I_k'' = 14.2 \text{ kA}$ Parametry vn sítě : $S_k = 500 \text{ MVA}$, $X/R = 10.01$
 $I_n = 722 \text{ A}$ $u_k = 5 \%$ $i_p = 36.0 \text{ kA}$; vn pojistky PM45, 22/25kV, 25A
 $dU = 0.1 \%$ $Z_s(5s) = 33 \text{ m}\Omega$ ($I_a = 6.97 \text{ kA}$)

1Q2

BL1600-DTV3

$I_n = 1600 \text{ A}$ $I_r = 720 \text{ A}$ $I_{cu} = 65 \text{ kA}$ $I_r = 720 \text{ A}$, $I_{rm} = 2.00 \text{ kA}$, $I_{mz} = 24 \text{ kA}$
 $i_p = 36.0 \text{ kA}$ $Z_s(5s) = 105 \text{ m}\Omega$ ($I_a = 2.20 \text{ kA}$)
1F0-1Q2 selektivní minimálně do 10.2 kA

1B3Sběrnice

$B = 1$ $I_k'' = 14.2 \text{ kA}$ O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ ($16.3 \text{ m}\Omega < 105 \text{ m}\Omega$)
 $U = 400 \text{ V}$ ($U_n - 0.1\%$) $i_p = 36.0 \text{ kA}$

1Q4

BD250S-MTV8

$I_n = 160 \text{ A}$ $I_r = 160 \text{ A}$ $I_{cu} = 65 \text{ kA}$ $I_r = 160 \text{ A}$, $t_r(7.2 \times I_r) = 3 \text{ s}$ (TV, To), $I_{rm} = 0.20 \text{ kA}$ (0ms)
 $i_o = 15.6 \text{ kA}$ $Z_s(5s) = 1.05 \text{ }\Omega$ ($I_a = 220 \text{ A}$)
1Q2-1Q4 zaručena plná selektivita

1B5Sběrnice

$B = 1$ $i_o = 15.6 \text{ kA}$ O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ ($16.3 \text{ m}\Omega < 1.05 \text{ }\Omega$)
 $U = 400 \text{ V}$ ($U_n - 0.1\%$)

1Q6

LSN 20B

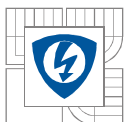
$I_n = 20 \text{ A}$ $I_{cn} = 10 \text{ kA}$ $I_{rm} = 90 \text{ A}$
 $i_o = 15.6 \text{ kA}$ $Z_s(5s) = 2.95 \text{ }\Omega$ ($I_a = 78 \text{ A}$)
 $I_{cm} = 17 \text{ kA}$ 1Q4-1Q6 selektivní minimálně do 170 A

1L71-AYKY 4x35

$I_z = 80 \text{ A}$ $t_m = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ $I_k'' = 2.53 \text{ kA}$ 98 m v zemi (D)
 $dU = 0.3 \%$ $I_{2t} < k_2 S_2$ $i_p = 3.65 \text{ kA}$ O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ ($184 \text{ m}\Omega < 2.95 \text{ }\Omega$)
Měrný tepelný odpor [K.m/W] : 2.5 = suchá půda, velmi řídké deště Teplota okolí [st. C] : 20
Uspořádání seskupených obvodů : 1 x přímo v zemi

1L81-AYKY 4x35

$I_z = 80 \text{ A}$ $t_m = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ $I_k'' = 1.68 \text{ kA}$ 52 m v zemi (D)
 $dU = 0.1 \%$ $I_{2t} < k_2 S_2$ $i_p = 2.43 \text{ kA}$ O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ ($277 \text{ m}\Omega < 2.95 \text{ }\Omega$)
 $i_o = 1.18 \text{ kA}$ O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ ($373 \text{ m}\Omega < 2.95 \text{ }\Omega$)
 $I_k'' = 558 \text{ A}$ O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ ($469 \text{ m}\Omega < 2.95 \text{ }\Omega$)
 $i_p = 805 \text{ A}$ O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ ($565 \text{ m}\Omega < 2.95 \text{ }\Omega$)



$I_k'' = 418 \text{ A}$ Měrný tepelný odpor $[K.m/W]$: 2.5 = suchá půda,
 $i_p = 603 \text{ A}$ Teplota okolí $[st. C]$: 20
Uspořádání seskupených obvodů : 1 x přímo v zemi

1.9 Vývod

$I = 1.3 \text{ A}$ $x_B = 1.3 \text{ A}$	$\cos \phi_i = 0.85$	$I_{k1}'' = 1.36 \text{ kA}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (277 mOhm < 2.95 Ohm)
$I = 1.30 \text{ A}$	$B = 1$	$i_{p1} = 1.96 \text{ kA}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (373 mOhm < 2.95 Ohm)
$U = 230 \text{ V}$ ($U_n - 0.4\%$)		$i_{o1} = 1.18 \text{ kA}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (469 mOhm < 2.95 Ohm)
$U = 229 \text{ V}$ ($U_n - 0.9\%$)		$i_{o1} = 805 \text{ A}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (565 mOhm < 2.95 Ohm)
$U = 228 \text{ V}$ ($U_n - 1.3\%$)		$i_{o1} = 603 \text{ A}$	
$U = 227 \text{ V}$ ($U_n - 1.6\%$)			

1L10

1-AYKY 4x35

$I_z = 80 \text{ A}$	$t_m = 24^\circ \text{ C}$	$I_k'' = 1.26 \text{ kA}$	52 m v zemi (D)
$dU = 0.2 \%$	$I_{2t} < k_2 S_2$	$i_p = 1.82 \text{ kA}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (370 mOhm < 2.95 Ohm)
$dU = 0.1 \%$		$I_k'' = 719 \text{ A}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (557 mOhm < 2.95 Ohm)
		$i_p = 1.04 \text{ kA}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (744 mOhm < 2.95 Ohm)
		$I_k'' = 502 \text{ A}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (932 mOhm < 2.95 Ohm)
		$i_p = 724 \text{ A}$	Měrný tepelný odpor $[K.m/W]$: 2.5 = suchá půda, Teplota okolí $[st. C]$: 20
	$I_k'' = 386 \text{ A}$	$i_p = 557 \text{ A}$	Uspořádání seskupených obvodů : 1 x přímo v zemi

1.11

Vývod

$I = 1.3 \text{ A}$ $x_B = 1.3 \text{ A}$	$\cos \phi_i = 0.85$	$I_{k1}'' = 1.02 \text{ kA}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (370 mOhm < 2.95 Ohm)
$I = 1.30 \text{ A}$	$B = 1$	$i_{p1} = 1.47 \text{ kA}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (557 mOhm < 2.95 Ohm)
$U = 229 \text{ V}$ ($U_n - 0.6\%$)		$i_{o1} = 1.04 \text{ kA}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (744 mOhm < 2.95 Ohm)
$U = 228 \text{ V}$ ($U_n - 1.1\%$)		$i_{o1} = 724 \text{ A}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (932 mOhm < 2.95 Ohm)
$U = 228 \text{ V}$ ($U_n - 1.4\%$)		$i_{o1} = 557 \text{ A}$	
$U = 227 \text{ V}$ ($U_n - 1.7\%$)			

1L12

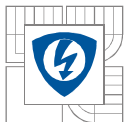
1-AYKY 4x35

$I_z = 80 \text{ A}$	$t_m = 24^\circ \text{ C}$	$I_k'' = 1.01 \text{ kA}$	52 m v zemi (D)
$dU = 0.2 \%$	$I_{2t} < k_2 S_2$	$i_p = 1.45 \text{ kA}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (463 mOhm < 2.95 Ohm)
$dU = 0.1 \%$		$I_k'' = 628 \text{ A}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (742 mOhm < 2.95 Ohm)
$dU = 0.0 \%$		$i_p = 906 \text{ A}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (1.02 Ohm < 2.95 Ohm)
		$I_k'' = 456 \text{ A}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (1.30 Ohm < 2.95 Ohm)
		$i_p = 658 \text{ A}$	Měrný tepelný odpor $[K.m/W]$: 2.5 = suchá půda, Teplota okolí $[st. C]$: 20
	$I_k'' = 358 \text{ A}$	$i_p = 517 \text{ A}$	Uspořádání seskupených obvodů : 1 x přímo v zemi

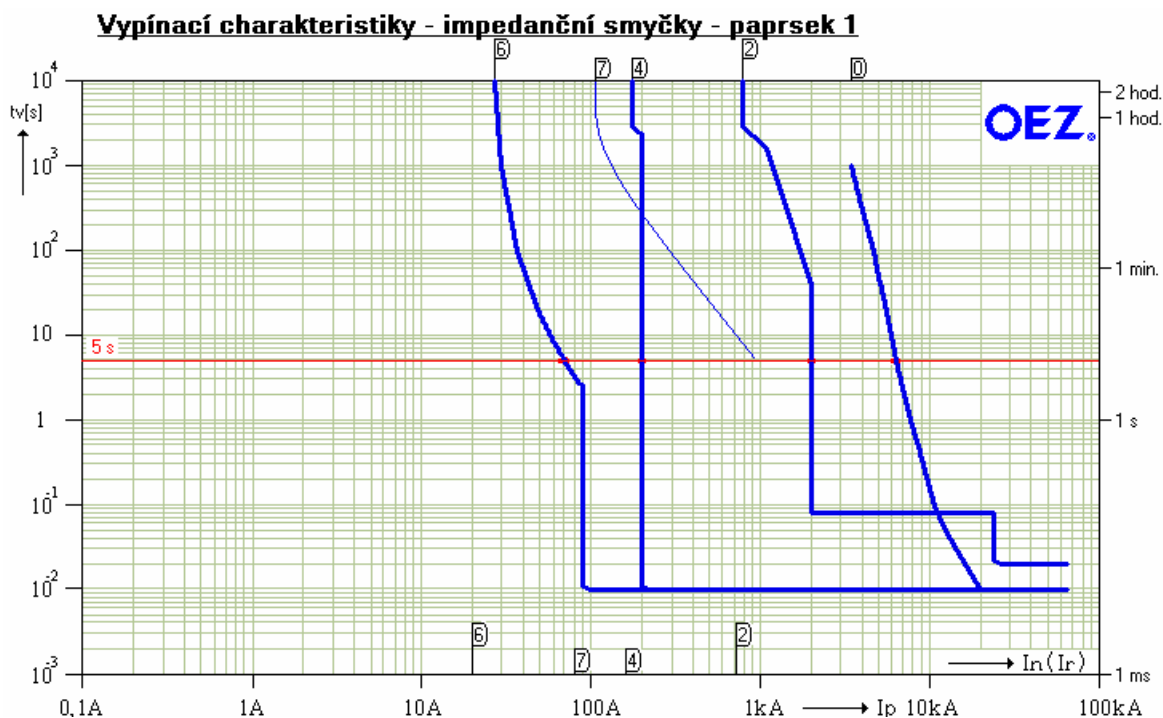
1.13

Vývod

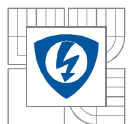
$I = 1.3 \text{ A}$ $x_B = 1.3 \text{ A}$	$\cos \phi_i = 0.85$	$I_{k1}'' = 816 \text{ A}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (463 mOhm < 2.95 Ohm)
$I = 1.30 \text{ A}$	$B = 1$	$i_{p1} = 1.18 \text{ kA}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (742 mOhm < 2.95 Ohm)
$U = 229 \text{ V}$ ($U_n - 0.8\%$)		$I_{k1}'' = 619 \text{ A}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (1.02 Ohm < 2.95 Ohm)
$U = 228 \text{ V}$ ($U_n - 1.2\%$)		$i_{p1} = 894 \text{ A}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (1.30 Ohm < 2.95 Ohm)
$U = 227 \text{ V}$ ($U_n - 1.5\%$)		$i_{o1} = 658 \text{ A}$	
$U = 227 \text{ V}$ ($U_n - 1.7\%$)		$i_{o1} = 517 \text{ A}$	



1L14	1-AYKY 4x35	$I_z = 80 \text{ A}$ $dU = 0.0 \%$	$t_m = 24^\circ \text{ C}$ $I_{2t} < k_2 S_2$	$I_k'' = 334 \text{ A}$ $i_p = 482 \text{ A}$	52 m v zemi (D) O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (1.39 Ohm < 2.95 Ohm) Měrný tepelný odpor [K.m/W] : 2.5 = suchá půda, Teplota okolí [st. C] : 20 Uspořádání seskupených obvodů : 1 x přímo v zemi
1.15	Vývod	$I = 1.3 \text{ A} \times B = 1.3 \text{ A}$ $I = 1.30 \text{ A}$ $U = 227 \text{ V} (U_n - 1.7\%)$	$\cos \phi_i = 0.85$ $B = 1$	$i_{o1} = 482 \text{ A}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (1.39 Ohm < 2.95 Ohm)
1L16	1-AYKY 4x35	$I_z = 80 \text{ A}$ $dU = 0.1 \%$	$t_m = 24^\circ \text{ C}$ $I_{2t} < k_2 S_2$	$I_k'' = 313 \text{ A}$ $i_p = 452 \text{ A}$	52 m v zemi (D) O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (1.49 Ohm < 2.95 Ohm) Měrný tepelný odpor [K.m/W] : 2.5 = suchá půda, Teplota okolí [st. C] : 20 Uspořádání seskupených obvodů : 1 x přímo v zemi
1.17	Vývod	$I = 1.3 \text{ A} \times B = 1.3 \text{ A}$ $I = 1.30 \text{ A}$ $U = 227 \text{ V} (U_n - 1.8\%)$	$\cos \phi_i = 0.85$ $B = 1$	$i_{o1} = 452 \text{ A}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ (1.49 Ohm < 2.95 Ohm)



Obr. 6.4 Grafické znázornění vypínacích charakteristik pro řešený paprsek



6.3.3 Elektrická instalace – síť TT

Zadané parametry el. instalace:

Požadovaný příkon (věž):	8 x 400=3200W
Účinník odběru (věž):	$\cos\varphi=0,95$
Délka kabelového vedení (věž):	260m

Z rozvodny nn je navržen samostatný kabelový přívod AYKY 3x120+70mm², ze kterého jsou v rozbočovacích skříních napojeny rozváděče jednotlivých osvětlovacích věží. Tento obvod je veden v síti TN-C a je záměrně dimenzován s velkou rezervou, protože se v budoucnu předpokládá rozšíření o další osvětlovací věže. Parametry tohoto paprsku byly ověřeny v programu SICHR. Předmětem následující části práce však nebude tento hlavní rozvod, jelikož výpočet pro síť TN-C je obdobný jako v předchozí části práce, ale až odbočka z hlavního rozvodu, kde bude proveden přechod na síť TT.

Změna sítě, jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly 7, se zde provádí kvůli omezení negativních vlivů trakční soustavy AC 25kV na napájecí síť nn. Mezi kabelovou skříní hlavního rozvodu a rozváděčem osvětlovací věže je provedena samostatně jištěná odbočka kabelem AYKY 4x35mm², kde všechny vodiče jsou již považovány za pracovní, to znamená tři fázové a vodič N. V rozváděči osvětlovací věže je potom na vstupu za hlavním jističem instalován proudový chránič, přes který jsou v souladu s [1] článek 411.5, vedeny všechny pracovní vodiče. Neživé části jsou spojeny se společným základovým zemnicem osvětlovací věže a rovněž s ukolejňovacím přívodem. Principiální schéma zapojení je uvedeno na obrázku 6.1.

Ke splnění požadavků na automatické odpojení v síti TT je při využití proudového chráničů především nutno ověřit platnost podmínky dle vztahu (5.5)

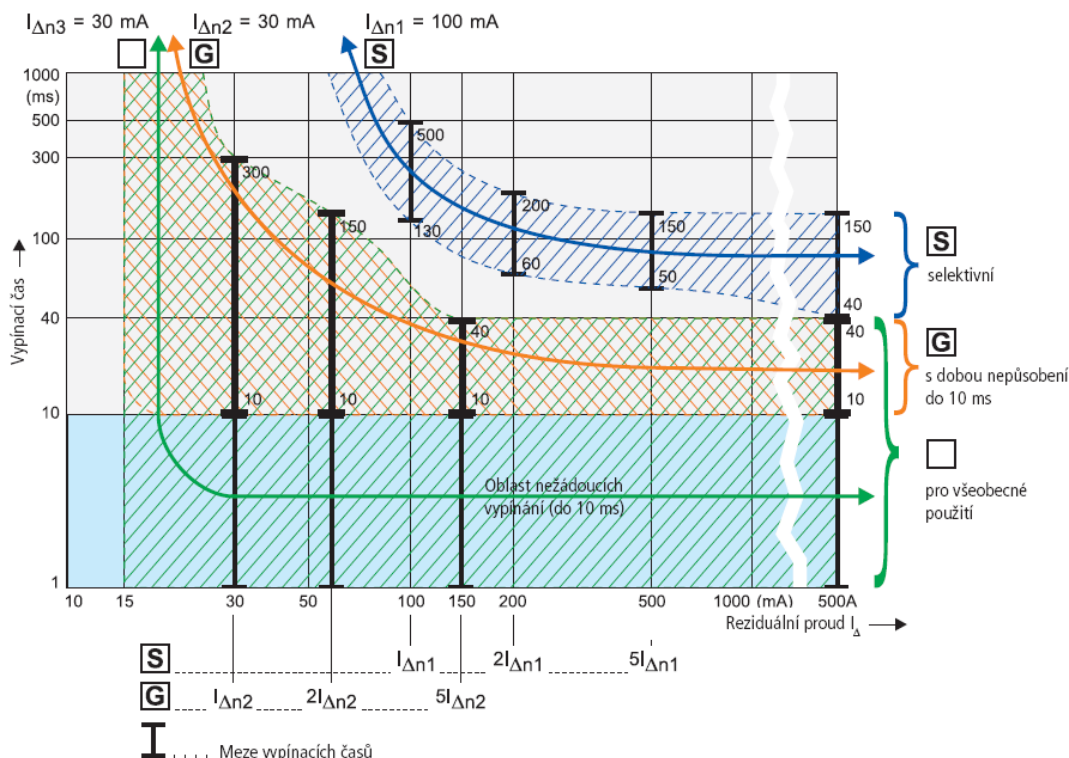
$$R_A \times I_{\Delta n} \leq 50V$$

kde

R_A je součet odporu zemnice a ochranného vodiče k neživým částem

$I_{\Delta n}$ je jmenovitý reziduální proud proudového chránič, který zajistí vybavení v předepsaném čase. V uvažovaném případě se jedná o koncový obvod a vypínací čas je v souladu s tabulkou 4.1 předepsán $t_v = 0,2s$.

TNI 33 2000-4-41 [2] doporučuje za tuto hodnotu dosazovat $5 \times I_{\Delta n}$. Je to z toho důvodu, že proudový chránič není omezující prvek. Neomezuje tedy velikost procházejícího proudu, ale pouze čas jeho průchodu. Skutečná velikost reziduálního proudu je dána pouze velikostí napětí proti zemi a impedancí uzavřeného obvodu a může být podstatně vyšší, než je jmenovitý vybavovací reziduální proud. Ochranná funkce proudového chránič tak spočívá především ve schopnosti rychlého vypnutí chráněného obvodu. Vypínací časy pro jednotlivé typy proudových chráničů jsou předepsány normou a jejich grafické znázornění je uvedeno na následujícím obrázku, převzato z [11].



Obr. 6.5 Vypínací časy proudových chráničů

Bude-li tedy použit proudový chránič se jmenovitým reziduálním proudem 30mA, musí být zajištěna minimální hodnota odporu uzemnění

$$R_A \leq \frac{50}{5 \cdot I_{\Delta n}} = \frac{50}{5 \cdot 0,03} = 333 \Omega$$

Pro předepsanou dobu vypnutí by vyhověla i nižší hodnota než je $5 \cdot I_{\Delta n}$, což je patrné z výše uvedeného obrázku 6.5, takže hodnota R_A je stanovena s jistou rezervou. Dimenzování ostatních parametrů, jako proudová zatížitelnost nebo dovolené úbytky napětí je obdobné jako v síti TN-C a nebude zde proto již znovu uváděno.

Úkolem projektanta je v tomto případě navrhnout takové provedené zemniče, které vyhoví výše uvedené podmínce. Návrh uzemnění se provádí podle ČSN 33 2000-5-54 ed.2 [3]. Informativní příloha ZA uvádí vzorce pro výpočet zemního odporu pro různé typy strojených zemničů. Protože jako nejúčinnější zemniče jsou uváděny zemniče horizontálně uložené, tvořené vodiči z pozinkované oceli, bude zde proveden návrh horizontálně uloženého zemniče.

Rezistence zemniče tohoto typu, lze přibližně určit podle vztahu:

$$R_A = 2 \cdot \frac{\rho}{L} \quad (6.5)$$

kde

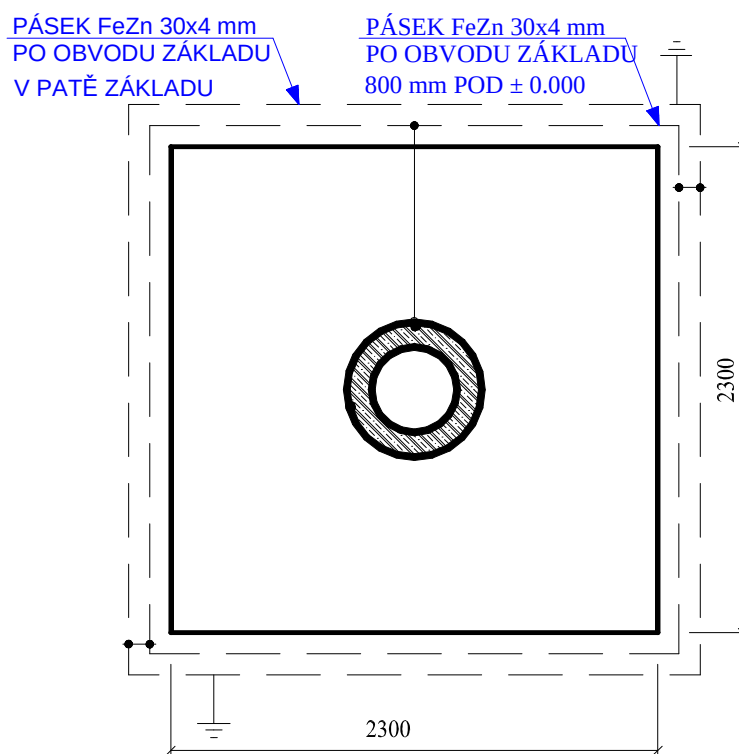
ρ je rezistivita půdy

L je délka výkopu (zemního pásu) ve kterém je zemnič uložen

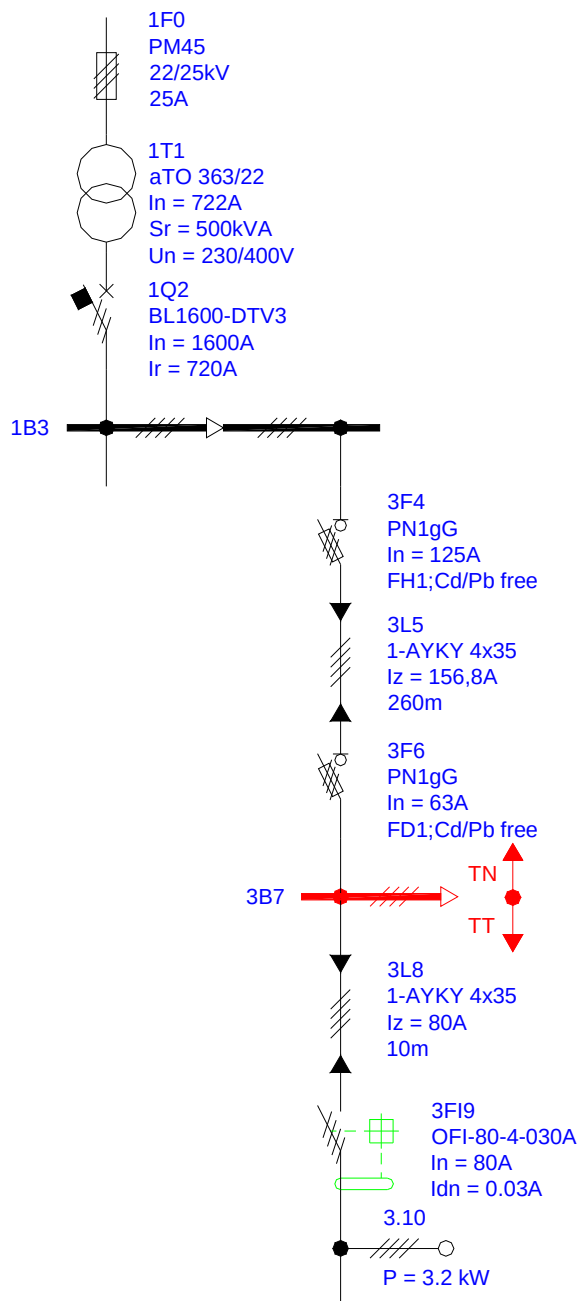
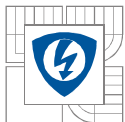
Rezistivita půdy je veličina značně proměnná, závislá na mnoha vlivech (vlhkost, teplota, druh půdy) a její stanovení bývá proto v praxi problematické. Hrubý odhad lze provést na základě tabulek průměrných hodnot rezistivity půdy, které jsou publikovány v odborné literatuře a jsou uvedeny i v tabulce ZA.54A ČSN 33 2000-5-54 ed.2. Přesnější hodnoty je možné získat pouze přímým měřením. V řešeném případě byla hodnota rezistivity půdy odhadnuta na 200 $\Omega \cdot m$. Dosazením do vztahu (6.5), s uvážením maximální velikosti odporu uzemnění a vyjádřením délky L , vyjde minimální požadovaná délka zemniče

$$L = 2 \cdot \frac{\rho}{R_A} = 2 \cdot \frac{200}{333} = 1,2m$$

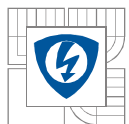
Při navrhování uzemnění je třeba vzít v úvahu i požadavky ČSN 34 1390 „Předpisy pro ochranu před bleskem“ kde článek 185 předepisuje pro kovové osvětlovací stožáry užití páskových zemničů, je-li jejich zemní odpor větší než 20 Ω . Je zřejmé, že přes všechny nepřesnosti a zjednodušení, které tento způsob výpočtu představuje, bude zcela vyhovující, použije-li se klasický základový zemnič po obvodu paty základu osvětlovací věže doplněný o páskový zemnič, uložený v horizontálním výkopu po obvodu základu. Délka L bude potom několikanásobně vyšší než je minimální požadovaná a úměrně k tomu se zmenší i odpor uzemnění. Hodnotu zemního odporu zemniče dále vylepší armování základové patky i samotné tělo stožáru. Na základě zkušeností s podobnými druhy zemničů lze odhadnout, že skutečná hodnota zemního odporu zemniče se bude pohybovat do deseti ohmů, čímž je požadavek normy s velkou rezervou splněn. Jako páskový zemnič se obvykle používá v ohni pozinkovaná ocel o rozměrech 30x4mm.



Obr. 6.6 Návrh provedení zemniče



Obr. 6.7 Celkové schéma paprsku přechodu ze sítě TN-C na síť TT



7 REVIZE ELEKTRICKÉ INSTALACE

7.1 Všeobecně k revizím

Tato kapitola se zabývá praktickým ověřením splnění podmínek automatického odpojení od zdroje na nové instalaci před jejím uvedením do provozu. Postup je nazýván výchozí revizí a platí pro něj samostatná norma ČSN 33 2000-6 [4], kapitola 61. V normě je zakotven požadavek, aby každá elektrická instalace před uvedením do provozu byla podrobena revizi. Samotný pojem revize je definován jako činnost prováděná na elektrickém zařízení za účelem zjištění stavu tohoto zařízení (instalace) z hlediska bezpečnosti. Dále je požadováno porovnání zjištěných výsledků s ustanoveními jednotlivých částí HD 60363. Osoba provádějící revizi musí mít k této činnosti předepsanou kvalifikaci. V České Republice je pro práce na vyhrazených technických zařízeních požadována odborná způsobilost podle vyhlášky č. 50/1978 Sb. Českého úřadu bezpečnosti práce ve znění pozdějších předpisů, o odborné způsobilosti v elektrotechnice. Jedná-li se o určená technická zařízení, je požadovaná kvalifikace stanovena vyhláškou č. 100/1995 Sb. ministerstva dopravy. Potřebnou kvalifikaci pro revizní činnost na vyhrazených technických zařízeních lze získat složením zkoušky na Institutu technické inspekce Praha, v případě určených technických zařízení potom přezkoušením zajišťuje Drážní úřad Praha.

Revize elektrické instalace začíná zpravidla její prohlídkou, je-li to možné za beznapěťového stavu. Rozsah prohlídky je v normě přesně stanoven. Druhou částí revize je zkoušení a měření. Norma opět předepisuje v jednotlivých bodech které zkoušky a v jakém pořadí mají být provedeny a jeden z bodů se týká ověření splnění podmínek automatického odpojení od zdroje. Tento bod dále rozvádí postup kontroly pro jednotlivé druhy rozvodných sítí, protože každá síť má svá jistá specifika. Pro měření jednotlivých veličin je nutné používat přístroje, jejichž parametry odpovídají normě EN 61557. K ověření účinnosti ochranných opatření navržených v teoretické části této práce, byl využit multifunkční přístroj Eurotest 61557, určený především k provádění revizí v elektrických sítích 230/400V.

Nejprve bude uvedeno ověření účinnosti ochranného opatření automatickým odpojením od zdroje v síti TN a následně obdobný postup pro síť TT.

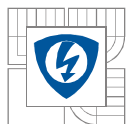
7.2 Revize v síti TN

Účinnost ochranného opatření se kontroluje především změřením impedance poruchové smyčky a jejím porovnáním s maximální možnou hodnotou pro daný vypínací čas. K tomu je samozřejmě zapotřebí znát vypínací charakteristiky příslušných jistících prvků, ze kterých se odvozuje proud I_a . Aby revizní technik nemusel zohledňovat všechny vlivy které mohou v nepříznivých případech vést ke zvýšení impedance poruchového obvodu a rovněž nejistoty měření, používá se obdobný vztah jako při projektování elektrických instalací. Naměřená impedance se považuje za vyhovující, pokud vyhovuje následující nerovnosti:

$$Z_s(m) \leq \frac{2}{3} \cdot \frac{U_0}{I_a} \quad (8.1)$$

kde

$Z_s(m)$ je naměřená hodnota impedance poruchového obvodu zahrnující zdroj, vedení od zdroje k místu poruchy a vedení od místa poruchy zpět ke zdroji



U_0 je napětí mezi fázovým a uzemněným nulovým vodičem

I_a je proud zajišťující automatickou funkci přístroje pro odpojení v době stanovené v tabulce 4.1 nebo do 5s. V tomto případě $t_v=5s$, jmenovitý proud jističe je $I_n=20A$ a tomu odpovídá proud $I_a=4 \times I_n$.

po dosazení

$$Z_s(m) \leq \frac{2}{3} \cdot \frac{230}{4 \cdot 20} \leq 1,92\Omega$$

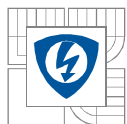
Pokud bude naměřená impedance vypínací smyčky menší než $1,92\Omega$, obvod v každém případě vyhoví. V případě že naměřená hodnota bude vyšší, neznamená to automaticky že při poruše k vypnutí v předepsaném čase nedojde. Bylo by však třeba provést podrobnější rozbor skutečných poměrů, které v obvodě při poruchovém stavu nastanou.

Impedance se měří mezi fázovým vodičem a neživou částí spojenou s ochranným vodičem nebo vodičem PEN. V tomto případě se měří na stožárové svorkovnici, kde propojení svorky PEN s tělem stožáru zajišťuje přímo konstrukce svorkovnice. Měření bylo provedeno ve všech stožárech (OS572-586) a zjištěné hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 7-1: Naměřené hodnoty impedancí

OS	$Z_s(m)$	$Z_s(max)$
	[Ω]	[Ω]
572	0,41	1,92
574	0,51	1,92
575	0,6	1,92
576	0,7	1,92
577	0,81	1,92
578	0,9	1,92
579	0,98	1,92
580	1,08	1,92
581	1,16	1,92
582	1,26	1,92
583	1,39	1,92
584	1,48	1,92
585	1,57	1,92
586	1,66	1,92

Z tabulky naměřených hodnot impedancí vypínacích smyček je patrné, že tento revidovaný obvod splňuje podmínky pro automatické odpojení a je možné ho považovat za vyhovující. V revizní zprávě se z důvodu zachování přehlednosti zpravidla uvádí pouze nejvyšší naměřená hodnota pro daný obvod.



7.3 Revize v síti TT

V síti TT závisí správná funkce ochrany automatickým odpojením od zdroje především na správně provedeném uzemnění neživých částí instalace a na účinnosti předřazeného ochranného přístroje. Měřením se zjistí odpor zemniče neživých částí instalace R_A a v závislosti na typu použitého ochranného přístroje se provede kontrola charakteristik a účinnosti předřazeného ochranného prvku, čímž se ověří dodržení maximální doby odpojení. Je-li tímto prvkem proudový chránič, je předepsána jeho prohlídka, porovnání zjištěných údajů na chrániči s požadavky norem a zkouška měřením.

Měření odporu uzemnění lze provést různými metodami, klasickou metodou měření je postup s využitím dvou pomocných zemničů. Tato poměrně přesná metoda není však vhodná pro případy, kdy je použití pomocných zemničů znemožněno místními podmínkami. To je i případ revidovaného obvodu, kdy osvětlovací věž je umístěna v kolejišti, jehož podklad tvoří silná vrstva šterkového lože. Pro tyto případy je možné postupovat tak, že se změří impedance smyčky fázový vodič zemnič. Pokud je naměřená hodnota menší než požadovaný odpor uzemnění, je možné považovat odpor zemniče R_A za vyhovující, protože naměřená hodnota je o odpor uzemnění uzlu zdroje větší než hodnota R_A .

Pro velikost odporu uzemnění R_A v sítích TT, kde jako ochranný přístroj je použit proudový chránič platí vztah (5.4). Je-li jmenovitý reziduální proud chrániče roven 30mA a s uvažáním skutečné velikosti reziduálního proudu při poruše ($5xI_{\Delta n}$), vychází maximální ještě vyhovující hodnota uzemnění $R_A = 333\Omega$.

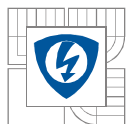
Skutečná změřená hodnota impedance smyčky fázový vodič zemnič je 8,5 Ω a je tedy možné odpor uzemnění R_A považovat za vyhovující.

Účinnost ochranného přístroje obvodu – proudového chrániče a ověření jeho správné funkce se provádí měřením vhodným testovacím přístrojem. Ověřuje se splnění požadavku na maximální dobu odpojení při generování reziduálního proudu $I_{\Delta n}$ a $5xI_{\Delta n}$ (to je při použití proudového chrániče s citlivostí 30mA zhruba tělový proud). Je-li použit chránič obecného typu, vybavovací čas při $5xI_{\Delta n}$ je předepsán max. 40ms. Tento požadavek je stanoven z toho důvodu, že není podstatné měřit vypínací čas při jmenovitém reziduálním proudu chrániče, ale naopak je důležité vědět, v jakém čase dojde k vypnutí při skutečném reziduálním proudu, který je zpravidla vyšší než jmenovitý. Vybavovací proud chrániče se měří plynule narůstajícím proudem až do velikosti jmenovitého reziduálního proudu. Chránič musí při této zkoušce vybavit. Norma [4] uvádí v příloze NA příklad postupu při ověřování proudových chráničů, obsahující i měření dalších parametrů, které však již přímo nesouvisí s ochranou automatickým odpojením.

Tabulka 7-2: Naměřené hodnoty proudového chrániče

vybavovací proud chrániče I_{Δ}	22mA
vybavovací čas chrániče t_v	29ms
dotykové napětí U_{lpe}	1,4V

Z naměřených hodnot vyplývá splnění požadavků na automatické odpojení v síti TT.



ZÁVĚR

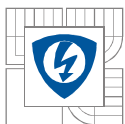
V teoretické části této práce byl uveden princip ochrany automatickým odpojením od zdroje ve smyslu nového vydání normy ČSN 33 2000-4-41ed.2. Toto ochranné opatření se uplatňuje nejvíce v elektrických instalacích a lze ho využít ve všech běžně používaných sítích. Samotné odpojení zajišťují buď nadproudové ochranné přístroje, využívající ke své funkci elektrodynamické a také tepelné účinky poruchového proudu, nebo přístroje pracující s reziduálním proudem – proudové chrániče. Přestože nová norma předpokládá mnohem širší nasazení proudových chráničů, stále platí že provozní spolehlivost nadproudových prvků při současném zajištění nízké impedance poruchové smyčky je obecně vyšší, než u proudových chráničů. Nemělo by tedy docházet k záměrnému poddimenzování průřezů kabelů a nevyhovující impedanci smyčky potom kompenzovat použitím proudového chrániče. Tento postup by se měl využívat pouze v případech, kdy již jiné řešení není možné. Za pozitivní přínos nového vydání ČSN lze považovat jednoznačně definované požadavky na doby odpojení pro jednotlivé sítě a přehlednější uspořádání a zjednodušení celého textu, které bylo umožněno vydáním ČSN EN 61140. Pozitivně lze hodnotit i požadavek na doplňkovou ochranu proudovými chrániči všech zásuvkových obvodů se jmenovitým proudem do 20A užívaných osobami bez elektrotechnické kvalifikace, který zvyšuje bezpečnost elektrických instalací.

V praktické části práce byl zpracován podrobný výpočet dimenzování kabelového vedení z hlediska splnění podmínek pro automatické odpojení v síti TN a TT. Zde bylo zdůrazněno, že při dimenzování průřezu vodičů kabelového vedení nestačí zohledňovat pouze jeden parametr – například nejvyšší dovolenou teplotu, ale vždy je nutné provést kontrolu i s ohledem na splnění dalších důležitých podmínek, které se vážou především k bezpečnosti elektrických rozvodů.

Dále byl výpočet v síti TN zkontrolován s využitím počítačového programu SICHR. Porovnáním hodnot získaných výpočtem s hodnotami vypsány programem je zřejmé, že vypočtená hodnota impedanční smyčky Z_{sv} na konci vedení se shoduje s hodnotou vypsanou programem. Odlišné hodnoty však byly stanoveny u velikosti impedance Z_s , která se odvozuje z vypínací charakteristiky jistícího prvku a která udává maximálně přípustnou velikost impedance vypínací smyčky pro daný vypínací čas. Zde hodnota určená výpočtem je podstatně přísnější, ve srovnání s hodnotou určenou programem SICHR. To lze vysvětlit jinou metodikou výpočtu. Zatímco program SICHR uvažuje při výpočtu skutečné poměry které v obvodu při poruše nastanou, při „ručním“ výpočtu byl v souladu s národní poznámkou v [1] použit součinitel 1,5. Tento součinitel zahrnuje součinitel oteplení vedení 1,2 a bezpečnostní součinitel 1,25 zahrnující velmi malé hodnoty impedancí ve spojích. Užitím koeficientu 1,5 tedy dochází k podstatnému zpřísnění požadavků na maximální hodnotu impedance smyčky. V některých případech může být proto účelné provedení podrobnějšího rozboru, umožňující přesnější určení impedance Z_s . Především u rozsáhlejších instalací, by totiž automatické používání koeficientu 1,5 vedlo k potřebě vyšších průřezů než je nezbytně nutné a tím ke zbytečnému nárůstu investičních nákladů staveb. Na druhou stranu může být výhodné ponechávat při návrhu elektrických instalací určitou rezervu, umožňující například pozdější rozšíření, popřípadě změnu jištění při nárůstu přenášeného výkonu. Porovnání hodnot impedancí získaných výpočtem, výpisem z programu SICHR a měřením, umožňuje následující tabulka.

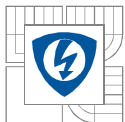
Tabulka 8-1: Hodnoty impedancí Z_s a $Z_{sv/(m)}$

	výpočet	SICHR	měření
impedance Z_s	1,92 Ω	2,95 Ω	-
impedance $Z_{sv/(m)}$	1,47 Ω	1,49 Ω	1,66 Ω



LITERATURA

- [1] ČSN 33 2000-4-41 ed.2 Elektrické instalace nízkého napětí – Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti – Ochrana před úrazem elektrickým proudem
- [2] TNI 33 2000-4-41 Elektrické instalace nízkého napětí – Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti – Ochrana před úrazem elektrickým proudem – Komentář k ČSN 33 2000-4-41 ed.2
- [3] ČSN 33 2000-5-54 ed.2 Elektrické instalace nízkého napětí – Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení – Uzemnění, ochranné vodiče a vodiče ochranného pospojování
- [4] ČSN 33 2000-6 Elektrické instalace nízkého napětí – Část 6: Revize
- [5] ČSN EN 61140 ed.2 Ochrana před úrazem elektrickým proudem – Společná hlediska pro instalaci a zařízení
- [6] ČSN EN 50122-1 Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Část 1: Ochranná opatření vztahující se na elektrickou bezpečnost a uzemňování
- [7] ČSN IEC 60050-826 Mezinárodní elektrotechnický slovník – Část 826: Elektrické instalace
- [8] sborníky přednášek konference elektrotechniků
- [9] odborné články časopisu ELEKTRO
- [10] technická dokumentace OEZ Letohrad
- [11] technická dokumentace Moeller elektrotechnika
- [12] uživatelský manuál k výpočtovému programu SICHR



PŘÍLOHY

Příloha č.1, přehledové schéma el. rozvodu

žst. BRNO MALOMĚŘICE, VENKOVNÍ OSVĚTLENÍ

