



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

SVODIČE PŘEPĚTÍ, JEJICH KONSTRUKCE A POUŽITÍ V ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVĚ

STRUCTURE OF SURGE ARRESTERS AND THEIR APPLICATION IN POWER SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MIROSLAV STRAPKO

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAVA ORSÁGOVÁ,
Ph.D.

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Miroslav Strapko

ID: 106796

Ročník: 3

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Svodiče přepětí, jejich konstrukce a použití v elektrizační soustavě

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Přepětivé jevy v ES a jejich klasifikace.
2. Prostředky k ochraně před přepětím používané na jednotlivých napěťových úrovních.
3. Zásady návrhu a dimenzování svodičů přepětí.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 31.5.2010

Vedoucí práce: doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.

Předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

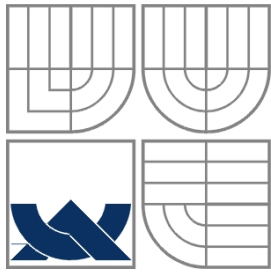
Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citácia práce:

STRAPKO, M. *Zvodiče prepätia, ich konštrukcia a použitie v elektrizačnej sústave*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačných technológií, 2010. 56 strán. Vedúca bakalárskej práce doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

Prehlasujem, že som svoju bakalársku prácu vypracoval samostatne a použil som iba podklady (literatúru, projekty, SW atď.) uvedené v priloženom zozname.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky**

Bakalářská práce

Svodiče přepětí, jejich konstrukce a použití v elektrizační soustavě

Miroslav Strapko

vedoucí: doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2010

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Bachelor's Thesis

Structure of Surge Arresters and Their Application in Power System

by

Miroslav Strapko

Supervisor: doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

Brno University of Technology, 2010

Brno

ABSTRAKT

Práca sa zaoberá vnútornou a vonkajšou ochranou pred prepäťovými javmi, ktoré sa vyskytujú v elektrizačnej sústave. Popisuje atmosférické a prevádzkové prepätie. Hlavným cieľom je teoreticky popísať problematiku ochrán – zvodíčov prepätia, ktoré sú používané na jednotlivých napäťových úrovniach z hľadiska parametrov, použitia a konštrukcie.

Posledná časť ukazuje výpočet dostatočného odstupu medzi zariadeniami vonkajšej ochrany pred bleskom – bezpečná oddeľovacia vzdialenosť, výpočet ochrannej vzdialenosti zvodíčov a praktický výber obmedzovačov prepätia pre vysokonapäťový transformátor.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: atmosférické prepätie; prevádzkové prepätie; bleskozvod; zóny ochrany pred bleskom; zvodíčov prepätia; parametre zvodíčov; ventilová bleskoistka; obmedzovač prepätia

ABSTRACT

This work deals with internal and external protection against surge phenomena occurring in the power system. Describes the atmospheric and the operating overvoltage. The main objective is to theoretically describe the issue of protection – surge arresters, which are used for different voltage levels from the view of parameters, use and construction.

The last part shows the calculation of a sufficient gap between the devices of external protection against lightning – a safe isolating distance, the calculation of a protective distance of surge arresters and practical choice of overvoltage limiters for high-voltage transformer.

KEY WORDS: atmospheric overvoltage; operating overvoltage; lightning conductor; lightning protection zone; surge arrester; parameters of surge arresters; spark gap arrester; overvoltage limiter (metal oxid arrester)

OBSAH

ZOZNAM OBRÁZKOV	10
ZOZNAM TABULIEK	11
ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK	12
1 ÚVOD	15
2 CIEĽ PRÁCE	16
3 DRUHY PREPÄTÍ	17
3.1 ATMOSFÉRICKÉ PREPÄTIE	17
3.1.1 TYPY ÚDEROV BLESKU	20
3.2 PREVÁDZKOVÉ PREPÄTIE	21
3.3 INÉ DRUHY PREPÄTÍ	22
4 VONKAJŠIA OCHRANA PRED BLESKOM – BLESKOZVOD	23
4.1 ZACHYTÁVACIE ZARIADENIE	23
4.1.1 METÓDA OCHRANNÉHO UHLU	24
4.1.2 METÓDA BLESKOVEJ GULE	24
4.1.3 MREŽOVÁ ZACHYTÁVACIA SÚSTAVA	26
4.2 ZVOD	26
4.3 UZEMNENIE	27
5 VNÚTORNÁ OCHRANA PRED BLESKOM	29
5.1 ZÓNY OCHRANY PRED BLESKOM	29
5.2 NORMALIZÁCIA A STUPNE <i>SPD</i>	30
6 PARAMETRE ZVODIČOV PREPÄTIA	32
6.1 ZÁKLADNÉ PARAMETRE <i>SPD</i> PRE <i>NN</i>	32
6.2 ZÁKLADNÉ PARAMETRE <i>SPD</i> PRE <i>VN</i> A <i>VVN</i>	32
7 KONŠTRUKCIA A POUŽITIE ZVODIČOV PREPÄTIA	36
7.1 ZVODIČE PRE SIEŤ <i>NN</i>	36
7.1.1 ISKRISKO	36
7.1.2 VARISTOR	36
7.1.3 PLYNOM PLNENÁ BLESKOISTKA	40
7.1.4 OCHRANNÁ DIÓDA	41
7.2 ZVODIČE PRE SIEŤ <i>VN</i> A <i>VVN</i>	42
7.2.1 VENTILOVÁ BLESKOISTKA	44
7.2.2 OBMEDZOVAČ PREPÄTIA	45
8 PRÍKLADOVÁ ČASŤ	49
8.1 VLNOVÁ IMPEDANCIA, ŠÍRENIE PREPÄŤOVEJ VLNY	49
8.2 BEZPEČNÁ ODDELOVACIA VZDIALENOSŤ <i>S</i>, EKVIVALENTNÁ DĹŽKA <i>L₁</i>	49
8.3 VÝPOČET OCHRANNEJ VZDIALENOSTI <i>L</i>	50
9 ZÁVER	53

POUŽITÁ LITERATÚRA	54
PRÍLOHA A TRIEDY A TVARY PREPÄTÍ, NORMALIZOVANÉ TVARY NAPÄTÍ A NORMALIZOVANÉ SKÚŠKY VÝDRŽNÝM NAPÄTÍM [6]	55
PRÍLOHA B TOV KRIVKA OBMEDZOVAČA <i>HDA-MA</i> [17].....	55
PRÍLOHA C TOV KRIVKY OBMEDZOVAČA <i>PEXLIM R</i> [2].....	56
PRÍLOHA D KATALÓGOVÉ ÚDAJE OBMEDZOVAČOV <i>PEXLIM R</i> A <i>HDA-MA</i> [2], [17]	56

ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obr. 3-1 Impulz prúdu [9].....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 3-2 Impulz napätia [9].....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 4-1 Metóda ochranného uhlu podľa IEC 61024-1 [5].</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 4-2 Ochranný priestor bleskovej gule.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 4-3 Ochranný priestor pre vedenie so zemným lanom [10].</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 4-4 Zvodiče prepätia na stožiaroch [2].</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 4-5 Mrežová sústava</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 4-6 Závislosť dĺžky uzemňovača na odpore pôdy [5].</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 4-7 Vyrovnávanie potenciálu [5].....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 5-1 Zóny ochrany pred bleskom [5].....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 5-2 Rozmiestnenie SPD na rozhraní LPZ [5].</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 5-3 Zapojenie zvodičov v sieti TNC-S [5].....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 6-1 TOV krivka pre obmedzovač prepätia typu MWK [3].....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 6-2 Určenie ochrannej vzdialenosti zvodiča [10].....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 7-1 Charakteristika varistorov SiC [14].....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 7-2 Charakteristika varistora ZnO [14].</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 7-3 Náhradná schéma varistora ZnO [14].</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 7-4 Priebeh napätia pri rýchlej zmene prúdu vo varistore [14].....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 7-5 Zapojenia plynom plnených bleskoistiek alebo iskrísk s varistorami.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 7-6 Ochranné iskrisko.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 7-7 VA charakteristika odporov MO a SiC pre U_c 4kV [1].</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 7-8 Zvodič ZnO s porcelánovým izolátorom [2].....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 7-9 Modul ZnO obmedzovača v silikónovom puzdre [2].....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 7-10 Ochranný kruh zvodiča ZnO [2].</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 7-11 Špecifická energia kJ/kV (U_r) a trieda vybitia vedenia [11].</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 8-1 Konštrukcia obmedzovačov PEXLIM R a HDA-MA [2], [17].</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 8-2 Rozvodňa Komárov 110/22kV, Brno.</i>	<i>52</i>

ZOZNAM TABULIEK

<i>Tab. 3-1 Parametre bleskového výboja [9].....</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 3-2 Súvislosť polomeru bleskovej gule R a minimálnej vrcholovej hodnoty I_{min} uvažovaného bleskového prúdu [5].....</i>	<i>19</i>
<i>Tab. 4-1 Parametre bleskovej gule [16].</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 4-2 Veľkosť ôk mreže [16].....</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 4-3 Vzďialenosť medzi zvodmi [16].....</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 4-4 Hodnoty činiteľov pre výpočet vzdialenosti s [5], [16].</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 5-1 Vzťah medzi LPL a LPS [16].</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 5-2 Klasifikácia stupňov zvodíčov.....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 6-1 Základná impulzná izolačná hladina a ochranná hladina zvodíčov s $U_p=4p.u.$ [1].....</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 7-1 Zvodíč bleskového prúdu – iskrisko – trieda I, nn [9].</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 7-2 Zvodíč prepätia – varistor – trieda II a III, nn [9].....</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 7-3 Zvodíč bleskového prúdu – bleskoistka – trieda I, nn [9].</i>	<i>40</i>
<i>Tab. 7-4 Prepäťová ochrana pre dátové siete, nn [9].....</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 7-5 Trieda dlhotrvajúceho výboja a charakteristiky prenosových vedení [7].</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 7-6 Približné priemery MO tabliet [11].</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 7-7 Odporúčané triedy vybitia vedenia [11].</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 8-1 Parametre PEXLIM R a HDA-MA.</i>	<i>52</i>
<i>Tab. 9-1 Zhrňujúca tabuľka ochrán pred prepätím.</i>	<i>53</i>

ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

a	vzdialenosť medzi zvodmi
a, b	dĺžka vodiča
<i>BIL</i>	<i>Basic Impulse Insulation Level</i> – základná impulzná izolačná hladina
C	kapacita
<i>EMC</i>	<i>Electromagnetic Compatibility</i> – elektromagnetická zlučiteľnosť
<i>ESD</i>	<i>Electrostatic Discharge</i> – elektrostatický výboj (impulz)
H	výška zberača nad referenčnou rovinou
i	okamžitá hodnota prúdu
I_f	následný prúd siete; prúd dodávaný z elektrickej rozvodnej siete do zariadenia ochrany pred prepätím po jeho aktivácii vybíjajúcim prúdovým (napät'ovým) impulzom
I_{imp}	impulzný prúd, základný skúšobný impulz pre klasifikáciu zariadenia ochrany pred prepätím triedy I
I_{max}	maximálny zvodový prúd zariadenia ochrany pred prepätím
I_{min}	minimálna hodnota bleskového prúdu
I_n	menovitý zvodový prúd zariadenia ochrany pred prepätím; výbojový prúd
k_c	koeficient závislý na geometrickom usporiadaní vonkajšej ochrany pred bleskom
k_i	koeficient závislý od zvolenej triedy ochrany pred bleskom
k_m	závisí na oddeľujúcom materiále v mieste priblíženia
l	zvislá vzdialenosť k stanoveniu oddeľovacej vzdialenosti
l_1	minimálna dĺžka uzemňovača
L	<i>Line Conductor</i> – označenie fázového vodiča; ochranná vzdialenosť zvodníča; indukčnosť
<i>LEMP</i>	<i>Lightning Electromagnetic Impulse</i> – elektromagnetický impulz vyvolaný bleskom
<i>LPL</i>	<i>Lightning Protection Level</i> – hladina ochrany pred bleskom, číslo vzťahnuté k súboru hodnôt parametrov bleskového prúdu, odpovedajúce pravdepodobnosti, že príslušné minimálne a maximálne návrhové hodnoty nebudú u bleskov prekročené
<i>LPS</i>	<i>Lightning Protection System</i> – systém ochrany pred bleskom, kompletný systém používaný pre zníženie škôd spôsobených údermi blesku do stavby
<i>LPZ</i>	<i>Lightning Protection Zone</i> – zóna, v ktorej je definované elektromagnetické prostredie

<i>LPZ 0A</i>	zóna ochrany pred bleskom mimo chráneného objektu (výskyt priamych úderov blesku a veľkých bleskových prúdov)
<i>LPZ 0B</i>	ochranný priestor zachytávacej sústavy mimo chráneného objektu
<i>LPZ 0C</i>	ochranný priestor zachytávacej sústavy s výskytom životu nebezpečného dotykového a krokového napätia
<i>LPZ 1</i>	oblasť vo vnútri chráneného objektu s možnosťou výskytu čiastkových bleskových prúdov (kovový plášť budovy, armatúra)
<i>LPZ 2</i>	oblasť vo vnútri chráneného objektu s ďalším znížením účinkov elektromagnetických bleskových prúdov voči <i>LPZ 1</i>
<i>MO</i>	<i>Metal Oxid</i> – oxid kovu
<i>n, nn</i>	počet zvodov, nízke napätie (400V)
<i>N</i>	<i>Neutral Conductor</i> – neutrálny (stredný) vodič
<i>NEMP</i>	<i>Nuclear Electromagnetic Pulse</i> – nukleárny elektromagnetický impulz, ktorý je dôsledkom účinku atómového výbuchu
<i>PE</i>	<i>Protective Earth Conductor</i> – ochranný vodič
<i>PEN</i>	<i>Protective Earth Conductor + Neutral Conductor</i> – kombinovaný ochranný a neutrálny vodič
<i>p.u.</i>	<i>per unit</i> – jednotka veľkosti prepätia
<i>Q</i>	náboj
<i>R</i>	polomer bleskovej gule, polomer
<i>R_i</i>	izolačný odpor
<i>s</i>	bezpečná oddel'ovacia vzdialenosť
<i>S</i>	maximálna strmosť vzrastu napätia; ochranná vzdialenosť
<i>SEMP</i>	<i>Switching Electromagnetic Pulse</i> – spínací elektromagnetický impulz, ktorý vzniká pri spínacích procesoch
<i>SiC</i>	karbid kremíka
<i>SPD</i>	<i>Surge Protection Device</i> – zariadenie pre ochranu pred prepätím
<i>t</i>	čas
<i>TNC</i>	<i>Terre Neutral Conductor Combined</i> – sieť, v ktorej neutrálny vodič a ochranný vodič sú v celej sieti zlúčené do kombinovaného vodiča <i>PEN</i>
<i>TNC-S</i>	<i>Terre Neutral Conductor Combined Separated</i> – sieť, v ktorej v prírodnej časti inštalácie je vedený kombinovaný vodič <i>PEN</i> (spoločný neutrálny a ochranný vodič) a od ekvipotenciálnej svorkovnice je rozdelený na vodič <i>N</i> a vodič <i>PE</i> , ktoré sa už nesmú ďalej spojiť
<i>TNS</i>	<i>Terre Neutral Conductor Separated</i> – sieť, v ktorej neutrálny vodič <i>N</i> a ochranný vodič <i>PE</i> sú v celej sieti vedené oddelene ako dva samostatné vodiče

T_1	doba čela skúšobného impulzu
T_2	doba tyla skúšobného impulzu
U_c	trvalé prevádzkové napätie (efektívna hodnota) <i>SPD</i>
U_e	amplitúda prepätia
U_m	maximálna hodnota efektívneho napätia medzi fázami pri prevádzke siete
U_p	ochranná úroveň <i>SPD</i> , maximálne zapalovacie napätie príp. zostatkové napätie pri skúšobnom prúdovom impulze o menovitej hodnote
U_r	menovité napätie bleskoistky a obmedzovača prepätia
U_{res}	zostatkové napätie zvodníča pri výbojovom prúde
U_{TOV}	<i>Temporary Overvoltage</i> – dočasné prepätie
v_n	vysoké napätie (22kV, 35kV, ojedinele 6kV a 10kV)
v_{vn}	veľmi vysoké napätie (110kV, 220kV, 400kV)
W	absorbovaná energia
W/R	špecifická energia
ZnO	oxid zinku
Z_0	vlnová impedancia vedenia
α	ochranný uhol; exponent nelinearity varistora
ϑ	pracovná teplota

1 ÚVOD

V minulosti si ľudia mysleli, že blesk je nejaká nadprirodzená sila, ktorú je nutné odpudiť napríklad zapálenou sviečkou. Až neskôr sa zistilo, že blesk má charakter výboja, čo súvisí s elektrickou energiou. Rozvoj elektroniky a sietí elektronických zariadení je spojený s potrebou ich zabezpečenia pred vznikom poruchových stavov. Príčiny poruchovosti sa hľadali len v samotnom zariadení, no neskôr sa začal posudzovať aj výskyt prepät'ových javov v danom prostredí. Ich zdrojmi sú najmä atmosférické (vonkajšie) výboje, spínacie procesy v elektrických sieťach, spínacie procesy výkonových prvkov. Prepätie tak možno podľa pôvodu rozdeliť na atmosférické (vonkajšie), a prevádzkové.

Elektrické zariadenia sú počas svojej prevádzky namáhané menovitým napätím, na ktoré boli dimenzované. Cieľom navrhovania je, aby sa znižovali úrovne izolačných hladín zariadení, čím sa ale zároveň zvyšuje požiadavka na prepät'ové ochrany, ktoré musia odolávať rôznym druhom namáhania v danej prevádzke. Najväčšie ohrozenia silnoprúdových rozvodov spôsobujú prepätia, skraty a preťaženia. Proti týmto stavom treba rozvody istiť tak, aby sa nepoškodili časti rozvodných sústav, čo by mohlo znamenať pre časť elektrizačnej sústavy dlhodobé prerušenie dodávky elektrickej energie. Okrem namáhania napätím, sú aj neelektrické činitele, ako je znečistenie prostredia, klimatické podmienky, prípadne nadmorská výška.

Prepätia, ak dosiahnú nebezpečnej veľkosti, môžu spôsobiť poškodenie izolácie vedení, elektrických strojov, rozvodných zariadení, a tým obvykle aj skraty. S poruchami, ktoré vzniknú vplyvom prepätí, musíme počítat' vždy, aj keď prepätia nedosahujú veľkosť skúšobného napätia rozvodnej sústavy.

Keby sme mali definovať pojem prepätie, je to akékoľvek napätie, ktoré svojou hodnotou presahuje vrcholovú hodnotu najväčšieho pracovného napätia v rozvodnej sieti. Je to väčšinou jav náhodný, ktorý sa líši miestom svojho výskytu a časovým priebehom. Parametre sú určované nielen jeho príčinou (úder blesku, spínacie procesy), ale aj elektrickými vlastnosťami vedenia (vlnový odpor, vybíjacia schopnosť, dielektrická pevnosť izolácie).

Zariadenia pre ochranu pri účinku blesku, prípadne pri účinku prepätia, obmedzujú vysoký rozdiel potenciálov medzi dvoma vodivými časťami zariadenia na prípustnú hodnotu. Patria medzi ne otvorené a uzavreté iskriská, plynom plnené bleskoistky, varistory, obmedzovacie diódy a ich kombinácie. Obmedzovače prepätia postupne nahrádzajú iskriská. Ventilová bleskoistka sa skladá z radov iskrísk a napät'ovo závislých odporových blokov v sérii s iskriskami, ktoré sú uzavreté v porcelánovom valci.

Dôvodom, prečo používať ochrany pred prepätím, je chránenie života a zdravia osôb, zvierat, chránenie vecí a stavieb. Špecifickou oblasťou vzniku prepätia a následného rušenia sa zaoberá odbor elektromagnetická kompatibilita (*EMC*). Rušivá energia (prepätie) môže prenikať do objektu pomocou tzv. väzieb, v ktorých hlavnou úlohou zohráva priestorové rozloženie káblových rozvodov a samotné káblové rozvody. Rozoznávame väzbu galvanickú, kapacitnú a induktívnu.

Prepätie sa tak do našich zariadení môže dostať rôznymi spôsobmi. Preto je snahou, aby sme mu zabránili prekročiť prah nášho bytového zariadenia alebo fabriky.

2 CIEĽ PRÁCE

Je teoreticky popísať problematiku vzniku prepät'ových javov vyskytujúcich sa v elektrizačnej sústave – atmosférické a prevádzkové prepätie, prepät'ové ochrany (z hľadiska ich parametrov, konštrukcie, návrhu a aplikácie v rozvodoch elektrizačnej sústavy na jednotlivých napät'ových úrovniach).

3 DRUHY PREPÄTÍ

Prepätie v trojfázových striedavých sústavách je akékoľvek napätie medzi fázami alebo medzi fázami a zemou, ktoré svojou veľkosťou prekračuje amplitúdu menovitého napätia. Prepätia sa líšia svojou veľkosťou, časovým priebehom, príčinou vzniku, frekvenciou výskytu. Podľa [10] delíme prepätia podľa časového priebehu do skupín:

- *trvalé prepätie* – striedavé prepätie sieťovej frekvencie a konštantnej efektívnej hodnoty,
- *dočasné prepätie* U_{TOV} – striedavé prepätie sieťovej frekvencie a doby trvania od 0,03 do 3600s,
- *prechodné prepätie* – prepätie trvajúce niekoľko ms alebo menej, ktoré má tlmený oscilačný alebo impulzný priebeh,
- *kombinované prepätie* – prepätie vzniknuté súčasným výskytom dvoch druhov prepätí.

Prechodné prepätie delíme na *prepätie s dlhým čelom (pomalé)*, *prepätie s krátkym čelom (rýchle)* a *prepätie s veľmi krátkym čelom (veľmi rýchle prepätie)*.

Ďalej možno prepätie deliť podľa príčiny jeho vzniku, ktorá môže byť vnútri elektroenergetickej sústavy (*vnútorné prepätie*) alebo mimo elektroenergetickej sústavy (*vonkajšie prepätie*).

Veľkosť prepätia sa niekedy udáva v jednotkách *p.u. (per unit)*, ktorá je definovaná [1] ako

$$1p.u. = \frac{\sqrt{2} \cdot U_m}{\sqrt{3}} \quad [\text{kV}; \text{kV}], \quad (3.1)$$

kde U_m je maximálna hodnota efektívneho napätia medzi fázami.

3.1 Atmosférické prepätie

Niekedy tiež nazývané vonkajšie. Má pôvod vo vybití atmosférickej elektriny. Namáha najmä izoláciu elektrických zariadení. Je zdrojom nárazovej vlny, ktorá sa šíri po vzdušnom vedení rýchlosťou až $3 \cdot 10^8 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, po káblovom vedení asi polovičnou rýchlosťou [4]. Vzniká priamym úderom blesku alebo elektrostatickou indukciou vo vonkajších vedeniach. Búrkové prepätia trvajú veľmi krátky čas (do $100 \mu\text{s}$). Elektrostatickou indukciou vznikajú vo vedeniach náboje, ktoré sa uvoľňujú pri výbojoch medzi mrakmi a v podobe postupných vln (napätových a prúdových) sa šíria vedením na obe strany. Najväčšie vrcholové hodnoty indukovaných napätí dosahujú až 300kV. Veľkosť jednopólových prepätí v sieťach *vn* môže dosiahnuť i nad 10 *p.u.* Väčšina atmosférických prepätí v našich krajoch (asi 90 %) je menšia ako 20kV. Len asi 1 % je väčšia ako 100kV [4]. Elektromagnetický impulz vyvolaný bleskom sa označuje *LEMP (Lightning Electromagnetic Impulse)*.

Rozoznávame niekoľko druhov blesku:

- podľa *dráhy*:

- výboj medzi mrakom a zemou s kľukatou dráhou a niekoľko vetvami,

- výboj medzi mrakmi (plošný blesk),
 - výboj vo voľnej atmosfére (dlhá horizontálna dráha nekončiaca na zemi);
- podľa *spôsobu a formy*:
- čiarový blesk (najčastejšia forma),
 - perlový (ružencový, šošovkový),
 - stuhový,
 - guľový,
 - plošný.

Prevažná väčšina škôd od blesku na elektrických zariadeniach je zavinená čiarovým bleskom. Priemerná dĺžka bleskového výboja je asi 1200 metrov.

Podľa súboru noriem ČSN EN 62 305 možno bleskový výboj charakterizovať piatimi základnými parametrami (Tab.3-1). Ďalším parametrom, ktorý je uvádzaný pri klasifikácii búrkovej činnosti je tzv. intenzita búrkovej činnosti, alebo početnosť úderov blesku na km²/rok. V našich zemepisných šírkach, sa pohybuje v rozmedzí 2–8 úderov/ km²/rok, v subtropickej až tropickej oblasti je to 30–70 úderov/ km²/rok [9].

	Merná jednotka	Rozsah
Celkový bleskový náboj	C	max 300 C
Impulzný náboj bleskového prúdu	C	max 100 C
Amplitúda prvého úderu bleskového prúdu I_{imp}	kA	max 200 kA
Špecifická energia W/R	MJ/ Ω	max 10 MJ/ Ω
Strmosť bleskového prúdu di/dt	kA/ μ s	max 200 kA/ μ s

Tab. 3-1 Parametre bleskového výboja [9].

Veľkosť náboja Q závisí na okamžitej hodnote prúdu i a čase jeho trvania t . Obecne možno napísať výraz

$$Q = \int |i| dt . \quad (3.2)$$

Špecifická energia W/R závisí na druhej mocnине okamžitej hodnoty prúdu i , ktorú podľa [5] vyjadríme ako

$$\frac{W}{R} = \int i^2 dt \quad [\text{J}/\Omega; \text{A}, \text{s}]. \quad (3.3)$$

Vzniku atmosférického výboja, ktorý je energeticky najsilnejším prejavom prepätia, nie je možné zabrániť. Možno vytvoriť len *systém ochrany*, ktorý obmedzí nežiadúce účinky prepätí. Spoľahlivé plnenie funkcií ochrany spočíva v umiestnení systému ochrany na niektorom z miest v trase prenosu potlačovaných prepäťových javov (v cieľovom zariadení, v trase možného prenosu prepätia a v zdroji prepätia).

Maximálna uvažovaná hodnota prúdu bleskového výboja [5] 200kA a súvisiaci náboj 100C odpovedajú najnáročnejšiemu bleskovému výboju, ktorý spadá do tzv. *prvej úrovne ochrany pred bleskom*. Od tejto úrovne sa odvodzujú maximálne parametre pre menej náročné úrovne. *Druhá*

ochranná úroveň má definované parametre ako 75 % prvej úrovne ochrany a tretia a štvrtá úroveň ochrany ako 50 % prvej ochrannej úrovne.

Rozloženie atmosférických výbojov však nepracuje len s hornými (vrcholovými) medznými hodnotami, ale aj s minimálnymi hodnotami bleskových prúdov, ktoré závisia na polomere bleskovej gule R , čo je základný parameter metódy pre výpočet ochranného priestoru zariadenia vonkajšej ochrany pred bleskom. Súvislosť oboch parametrov s ohľadom na príslušnú úroveň ochrany vyjadruje Tab. 3-2.

veľičina	jednotka	úroveň ochrany			
		I	II	III	IV
R	m	20	30	45	60
I_{min}	kA	2,9	5,4	10,1	15,7

Tab. 3-2 Súvislosť polomeru bleskovej gule R a minimálnej vrcholovej hodnoty I_{min} uvažovaného bleskového prúdu [5].

Celkový priebeh výboja závisí na tom, či ide o zostupný blesk, smerujúci od búrkového mraku k zemi (väčšina priebehov), alebo vzostupný blesk, ktorý postupuje od zemského povrchu smerom k mrakom. Tento priebeh je závislý na pomeroch v mraku a na geometrických pomeroch dráhy blesku. Vyznačuje sa energeticky významnou prvou prúdovou vlnou, za ktorou nasleduje jeden alebo niekoľko čiastkových výbojov. Za model tejto prúdovej vlny bol zvolený *prúdový impulz (rázová vlna)*, ktorý svojou amplitúdou a energiou aproximuje reálny priebeh impulzu bleskového prúdu. Prúdový impulz (Obr. 3-1) s dobou čela $T_1 = 10\mu\text{s}$ a s dobou poltylu – pokles na polovicu maximálnej hodnoty – $T_2 = 350\mu\text{s}$, sa nazýva *skúšobná vlna bleskového prúdu 10/350 μs* .

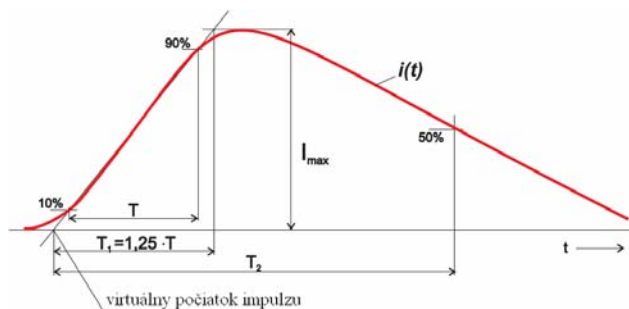
Najdôležitejšie parametre používaných normalizovaných priebehov sú:

- *vrcholová hodnota* U_{max} , I_{max} – je to maximálna hodnota napätia alebo prúdu, ktorú sledovaný impulzný priebeh dosiahne počas svojho trvania,
- *čelo impulzu* – časť impulzu napätia alebo prúdu pred vrcholom,
- *doba čela napätového impulzu* T_1 – je 1,67-násobok časového intervalu medzi okamžikmi, v ktorých okamžitá hodnota napätia vzrastie z 30 % na 90 % svojej vrcholovej hodnoty,
- *doba čela prúdového impulzu* T_1 – je 1,25-násobok časového intervalu medzi okamžikmi, v ktorých okamžitá hodnota prúdu vzrastie z 10 % na 90 % svojej vrcholovej hodnoty,
- *tylo impulzu* – časť impulzu (napätia, prúdu) za vrcholom,
- *doba poltylu* T_2 – časový interval medzi virtuálnym počiatkom impulzu a okamžikom, kedy sledovaný priebeh poklesne na 50 % vrcholovej hodnoty.

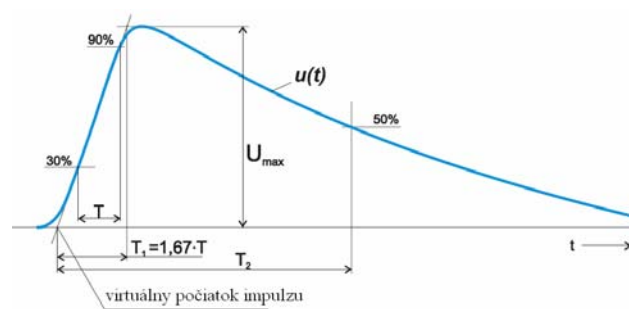
Pri skúškach zariadení ochrany pred prepätím sú používané nasledovné typy skúšobných impulzov [9]:

- *skúšobný impulz bleskového prúdu* I_{imp} – čas trvania čela $10\mu\text{s}$, čas trvania poltylu $350\mu\text{s}$, označovaný ako impulz 10/350; je používaný k simulácii bleskového prúdu,
- *skúšobný prúdový impulz* I_{max} – parameter 8/20, používa sa k simulácii nepriamych účinkov blesku a spínacích prepätí,

- *skúšobný napäťový impulz* – charakterizovaný časom trvania čela vlny $1,2\mu\text{s}$, a časom trvania poltylu $50\mu\text{s}$ (Obr. 3-2).



Obr. 3-1 Impulz prúdu [9].



Obr. 3-2 Impulz napätia [9].

Pre každú triedu napätia a prepätia musí byť určené tzv. *reprezentatívne napätie a prepätie* (pre trvalé striedavé napätie, pre dočasné prepätie, pre prepätie s pomalým a rýchlym čelom, pre prepätie s veľmi rýchlym čelom, pre prepätie fáza – fáza s pomalým čelom, pre pozdĺžne prepätie s pomalým alebo rýchlym čelom) [6] s uvažovaním charakteristík izolácie, s ohľadom na rôzne správanie sa pri tvaroch napätí a prepätí v sieti a na normalizované tvary napätí použitých pri normalizovanej výdržnej skúške, čo uvádza Príloha A. Reprezentatívne napätie a prepätie môže byť charakterizované [6]:

- predpokladanou maximálnou hodnotou,
- radou vrcholových hodnôt,
- úplným štatistickým rozdelením vrcholových hodnôt.

Najvyššie napätie pre zariadenie je volené ako najbližšia normalizovaná hodnota U_m , ktorá je rovná alebo vyššia než najvyššie napätie siete, v ktorej bude zariadenie nainštalované. Normalizované najvyššie napätia pre zariadenia sa delia do nasledovných rozsahov [6]:

- *rozsah I* – nad 1kV do 245kV vrátane (tento rozsah zahrňuje prenosové aj distribučné siete),
- *rozsah II* – nad 245kV (tento rozsah zahrňuje hlavne prenosové siete).

3.1.1 Typy úderov blesku

Ak sa do dráhy výboja postaví cudzí objekt ako prekážka, výboj si vyhľadáva najvýhodnejšiu cestu, buď po jeho povrchu alebo dokonca cez neho. Rozlišujeme tieto typy úderov blesku [16]:

- *priamy úder blesku do objektu bez vonkajšej ochrany pred bleskom* – výboj prechádza nekontrolovateľne rôznymi časťami objektu; vzniká oteplenie, dynamické namáhanie, potenciálový rozdiel s možnosťou priameho ohrozenia života,
- *priamy úder blesku do objektu s vonkajšou ochranou pred bleskom* – zámerne je vytvorená vodivá dráha pre zvedenie blesku do zeme, pre zvýšenie bezpečnosti zariadení je potrebná ochrana pred prepätím – zvodič,

- *priamy úder blesku do vzdušného vedenia nn* – po vedení sa šíri prepäťová vlna s veľkou energiou; ochrana sa zabezpečí kvalitne zhotoveným uzemňovacím systémom doplneným zvodičmi,
- *priamy úder blesku do vzdušného vedenia vn, vvn* – pre samotné zariadenia nn menej nebezpečný; bleskový prúd je podstatne redukovaný zvodičmi vn/nn transformátora, avšak prenos prepäťových impulzov sa zabezpečuje indukčnými, kapacitnými a galvanickými väzbami; podľa [1] prepäťovou ochranou na strane vn môže byť dlhý kábel vn alebo kondenzátor s nízkou indukčnosťou,
- *blízky úder blesku v okolí chránenej budovy,*
- *vzdialený úder blesku,*
- *výboj medzi mrakmi.*

Ako bolo spomenuté, pri **priamom údere blesku do vedenia** v zasiahnutom mieste do vedenia je injektovaný prúdový impulz. Od miesta zásahu sa na obe strany vedenia šíria napäťové a prúdové vlny, ktoré sa odrážajú všade tam, kde dochádza k zmene lokálnej vlnovej impedancie vedenia Z_0 [10]

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad [\Omega; \text{H/m}, \text{F/m}], \quad (3.4)$$

kde L je indukčnosť na jednotku dĺžky, C kapacita na jednotku dĺžky.

Ak je bleskom zasiahnuté zemné lano vedenia, dochádza k odrazom aj v mieste spojenia zemného lana so stožiarom vedenia, ktoré je tiež potrebné považovať za vedenie s určitou vlnovou impedanciou. Pri výpočtoch je vhodné považovať blesk za zdroj prúdu, ktorého impedancia reprezentuje impedanciu dráhy výboja a jej veľkosť je odhadovaná na niekoľko 1000 ohmov.

Najnebezpečnejšie prepätia vznikajú pri priamom zásahu blesku do vodiča vedenia. Pravdepodobnosť priameho zásahu do vedenia sa znižuje zemnými lanami (kap. 4.1.2).

3.2 Prevádzkové prepätie

Spínacie prepätie (*SEMP – Switching Electromagnetic Pulse*) sa vyskytuje vo všetkých vysokonapäťových aj nízkonapäťových silových sieťach. Jeho vrcholová hodnota presahuje v niektorých prípadoch 10kV a závisí na druhu, usporiadaní a impedancie siete a jej záťaže. Medzi zdroje spínacích prepätí patrí:

- odpínanie nezaťažených zariadení s indukčnosťou pripojených paralelne k zdrojom napätí,
- odpínanie sériovo pripojených zariadení s indukčnosťou od veľkých prúdových zdrojov, kompenzátorov,
- iskrenie zberačov na komutátoroch a zberačoch točivých strojov,
- skraty v napájacej sieti.

Zemné spojenie je najčastejšia príčina prevádzkových prepätí. Môže nastať len v izolovaných alebo kompenzovaných sústavách, pričom jeho trvanie je medzi 0,1s až niekoľko hodinami. Dochádza pri ňom ku zvýšeniu napätí fáz a uzla oproti zemi. Zemné spojenie býva často oblúkové. Elektrický oblúk zhasína a znovu sa zapáľuje vplyvom napätia na postihnutej fáze, vtedy hovoríme o *prerušovanom zemnom spojení*. Prepätie pri zemnom spojení bežne dosahuje 3 až 4,5-násobok menovitého napätia sústavy. Opakovaným zemným spojením sa izolácia unavuje a potom často dochádza k prierazom na iných miestach rozvodu.

Pri **zapnutí vedenia naprázdno** sa menovité napätie na konci neobjaví okamžite, ale od napájacieho miesta sa šíri prepäťová vlna k otvorenému koncu (impedancia vedenia sa blíži k nekonečnu), odrazom sa teoreticky zdvojnásobí. Rýchlosť vlny v je potom [4]

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad [\text{km/s; H/km, F/km}], \quad (3.5)$$

kde L je indukčnosť, C kapacita vedenia.

Pri chode vedenia naprázdno vzniká teda väčšie napätie na konci vedenia ako na začiatku. Vzniká tak prepätie, spôsobené nabíjacím kapacitným prúdom vedenia. Nabíjací prúd môže vybudieť aj pripojený generátor – nastáva samobudenie generátora – nebezpečný stav. Vzniknuté prepätie môže zničiť generátor. Tento jav nameral Ferranti prvýkrát v roku 1890 v Anglicku na vvn kábli, a nazýva sa *Ferrantiho jav*.

Rezonančné javy v sieti sú ďalšou príčinou prevádzkového prepätia. Rezonancia s kmitočtom 50Hz môže vzniknúť pri jedнопólovom spínaní. Príčinou môže byť nesprávna činnosť vypínača alebo prerušovanie oblúka pri zemnom spojení alebo spätný zápal na kontaktoch spínača. Vnútorne prepätie nebýva vyššie ako 3-násobok vrcholových hodnôt menovitého napätia zariadenia.

3.3 Iné druhy prepätí

Elektrostatický výboj (*ESD – Electrostatic Discharges*) nastane pri vyrovnaní náboja vzniknutého mechanickým trením dvoch izolantov a je takmer vždy lokálneho charakteru. Príkladom je výboj pri styku človeka oblečeného do syntetického odevu (vlákien) s kovovou kostrou alebo s obvodmi rôznych elektrických zariadení. Vrcholová hodnota môže dosiahnuť až niekoľko desiatok kilovoltov, a dokáže poškodiť veľa elektrostaticky citlivých elektronických súčiastok.

Nukleárny elektromagnetický impulz vznikne pri jadrovom výbuchu vo výške niekoľko stoviek kilometrov. Ten môže byť príčinou silného elektromagnetického rušenia, ktorého pôvodcom je strmý a silný elektromagnetický impulz – *NEMP (Nuclear Electromagnetic Pulse)*.

4 VONKAJŠIA OCHRANA PRED BLESKOM – BLESKOZVOD

Bleskozvod zaisťuje vonkajšiu ochranu pred účinkom blesku. Vytvára vodivú cestu k zachyteniu a zvedeniu výboja blesku do zeme.

Stožiarový bleskozvod je zberač, ktorý je upevnený na stožiar takej výšky, aby chránený objekt ležal v jeho ochrannom priestore. *Závesný bleskozvod* je lano, zavesené nad chráneným objektom v smere jeho pozdĺžnej osi. Ak sú objekty rozľahlejšie, možno použiť *krížový*, *hviezdicový závesný*, prípadne *klietkový bleskozvod*. Úlohou *aktívneho bleskozvodu* (bleskozvod s emisiou toku iónov) je vytvoriť vhodné podmienky na rýchlu generáciu stúpajúcej vetvy blesku. Podľa technológie výroby poznáme tieto typy [16] aktívnych bleskozvodov:

- *s elektronickým spúšťaním* – sú tvorené tyčou, na ktorej je upevnený elektronický obvod umožňujúci ionizáciu vzduchu potrebnú na vytvorenie vzostupného výboja,
- *piezoelektrické* – získavajú energiu z piezoodporu, pomocou ktorého sa mení mechanické napätie na elektrické; toto napätie sa privádza na úroveň hrotu nachádzajúceho sa vo vnútri špičky bleskozvodu; tento pomocný hrot generuje ióny korónou,
- *so špeciálnym profilom* – systém skladajúci sa z klasického bleskozvodu spojeného so zemou a z izolovaných kovových častí s okolitým elektrickým potenciálom.

Bleskozvod môže byť *izolovaný* (spojený so systémom potenciálového vyrovnania), alebo bežne používaný *neizolovaný* (tyčové, mrežové a hrebeňové bleskozvody).

Každý bleskozvod má časti, ktoré musia byť spolu vodivo prepojené:

- zachytávacie (zberacie) zariadenie,
- zvod,
- uzemnenie (uzemňovač),

a ktorým sa venujú nasledovné kapitoly.

4.1 Zachytávacie zariadenie

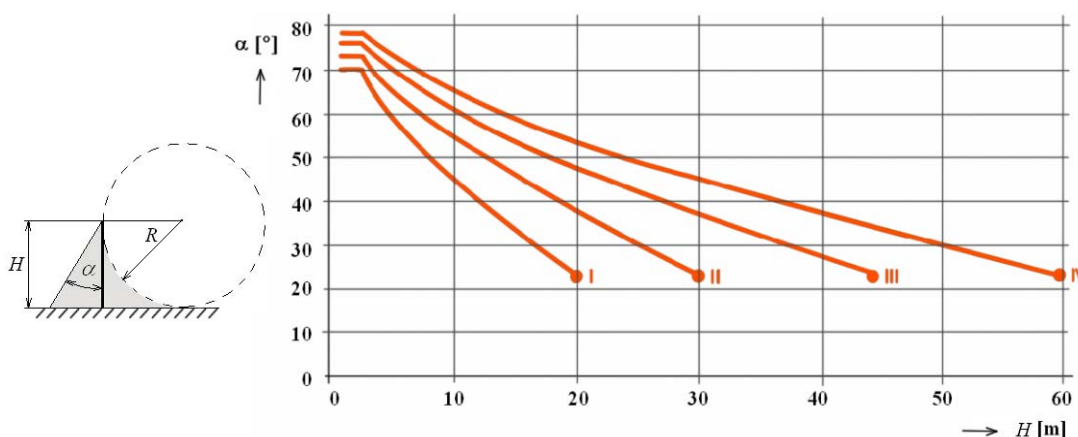
Jeho základnou úlohou je zachytiť bleskový výboj, ktorý smeruje ku chránenému objektu alebo inak vymedzenému priestoru. Skladá sa z tyčí, napnutých drôtov alebo špeciálnych vedení. Norma ČSN 34 1390 rozlišuje dve metódy návrhu zachytávacieho zariadenia [5]. Ide o metódu mrežovej zachytávacej sústavy, a metódu ochranného uhlu. Norma IEC 61024-1 rozlišuje metódu ochranného uhlu, metódu mrežovej zachytávacej sústavy, a metódu bleskovej gule.

Pri voľbe metódy návrhu zachytávacieho zariadenia je ochranný uhol a mrežová zachytávacia sústava vhodná len pre určité typy objektov, ale metóda bleskovej gule má všeobecnú platnosť.

Ochranný uhol je priestor, chránený s určitou úrovňou spoľahlivosti pred úderom atmosférického výboja. K vymedzeniu ochranného priestoru možno využiť nielen jednotlivé postupy návrhu, ale aj ich vzájomné kombinácie.

4.1.1 Metóda ochranného uhlu

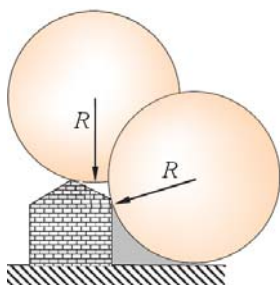
Metóda ochranného uhlu ako návrh zachytávacieho zariadenia je považovaný za zjednodušený a používa sa spravidla u jednoduchých stavieb s tyčovými zachytávačmi, hrebeňovou alebo kombinovanou hrebeňovou zachytávacou sústavou. Túto metódu možno využiť len v oblasti kriviek I, II, III a IV (Obr. 4-1). Základom návrhu zachytávacieho zariadenia na stavebnom objekte je zistenie výšky hrebeňa H , ktorú vynesieme na vodorovnú os grafu podľa Obr. 4-1. Odtiaľ postupujeme zvisle nahor, pokiaľ nenarazíme na krivku odpovedajúcu ochrannej triede. Na zvislej ose tohto grafu zistíme veľkosť ochranného uhla a preniesieme ho na chránený objekt. Pred úderom blesku sú chránené všetky časti objektu vnútri priestoru vytvoreného týmto uhlom α .



Obr. 4-1 Metóda ochranného uhlu podľa IEC 61024-1 [5].

4.1.2 Metóda bleskovej gule

Metóda pre výpočet ochranného priestoru, ktorá najviac rešpektuje rozvoj blesku pomocou vyhládavacieho výboja. Je vhodná pre zložité stavby. Ochranný priestor je tvorený pomysleným pohybom gule po zemskom povrchu, pri ktorom dochádza ku kontaktu so zachytávačmi a obvodom stavieb (Obr. 4-2). Cieľom je zamedziť priamemu kontaktu povrchu gule s povrchom chráneného objektu. Polomer použitej bleskovej gule závisí na zaradení chráneného objektu do triedy ochrany pred bleskom podľa Tab. 4-1.



Trieda LPS	Polomer bleskovej gule R [m]
I	20
II	30
III	45
IV	60

Obr. 4-2 Ochranný priestor bleskovej gule.

Tab. 4-1 Parametre bleskovej gule [16].

Ochranný priestor vytvorený pomocou bleskovej gule nie je rovnaký s priestorom stanoveným metódou ochranného uhlu.

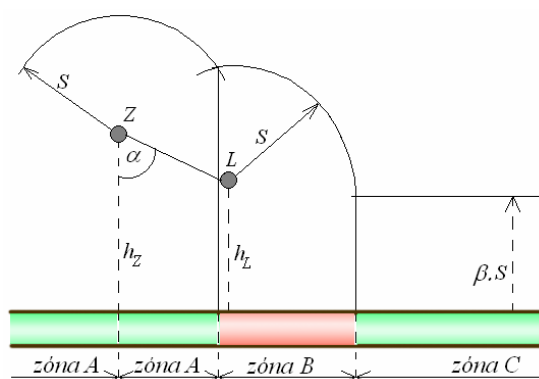
ČSN 33 3201 metódu bleskovej gule uvádza ako doporučený spôsob ochrany nadzemných vedení *vvn*, *zv*. Základom tejto ochrany je použitie *zemných lán*, ktoré sú natiahnuté súbežne

s fázovými vodičmi, sú uzemnené a umiestené tak, aby pravdepodobnosť ich zasiahnutia bleskom bola podstatne väčšia než pravdepodobnosť priameho úderu blesku do fázových vodičov. Voľba polohy zemných lán vychádza z teórie ochranného priestoru. Vzďialenosť, na ktorú je blesk k danému objektu priťahovaný, sa nazýva *ochranná vzdialenosť*. Ochranná vzdialenosť je polomerom *ochranného priestoru*, ktorého stred leží v mieste ústretového výboja a je obvykle totožný s najvyšším bodom daného objektu. Veľkosť ochrannej vzdialenosti S je daná empirickým vzťahom [10]

$$S = 10 \sqrt[3]{I^2} \quad [\text{m}; \text{kA}], \quad (4.1)$$

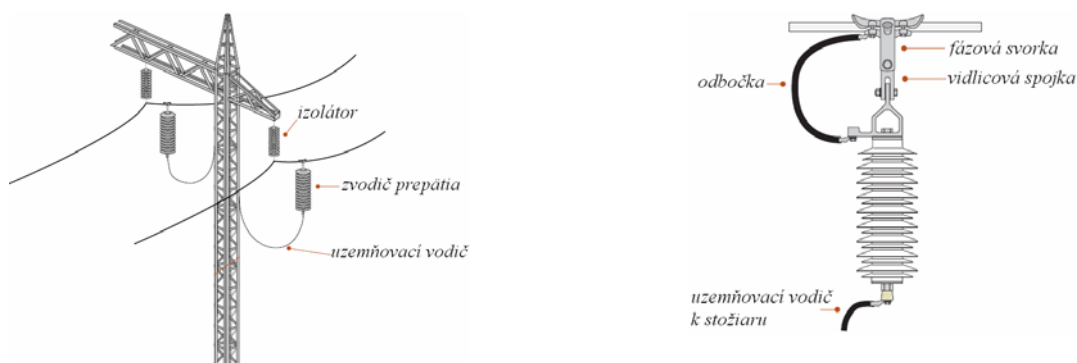
kde I je veľkosť prúdu blesku.

Konštrukcia *ochranných priestorov pre vedenia so zemným lanom* bude objasnená podľa Obr. 4-3. Poloha zemného lana nad fázovým vodičom je daná spomínaným ochranným uhlom α ($25\text{--}35^\circ$ od osi stožiaru). Pokiaľ sa vedúci výboj bude približovať k zemi v **zóne A**, bude priťahovaný k **zemnému lanu Z** (vo výške h_Z), v **zóne C** bude priťahovaný k povrchu zeme. **Zóna B** predstavuje nechránený priestor, v ktorom je blesk priťahovaný k **fázovému vodiču L** (vo výške h_L). S rastúcim prúdom blesku sa zväčšuje ochranná vzdialenosť (4.1), a tým sa znižuje zóna B a teda aj pravdepodobnosť priameho úderu do fázového vodiča. Veľkosť zóny B možno zmenšiť voľbou menšieho ochranného uhlu α , prípadne použitím dvoch zemných lán.



Obr. 4-3 Ochranný priestor pre vedenie so zemným lanom [10].

Napriek tomu, že zemné lano ochráni vedenie pred priamym úderom blesku, nezabráni vzniku prepätia vo vodičoch vedenia. Prepät'ové vlny vyvolané priamym úderom blesku v zemnom lane indukujú vznik vĺn vo vodičoch fázových a tie s podobnými vlnami vznikajúcimi v stožiaroch vedenia môžu viesť ku vzniku *spätneho preskoku* zo stožiaru na vedenie. Použitie zemných lán sa preto doplňuje ďalším opatrením, a to použitím *zvodičov prepätia* (Obr. 4-4).

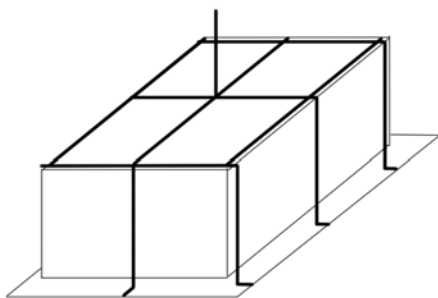


Obr. 4-4 Zvodiče prepätia na stožiaru [2].

Asi do roku 1960 mali aj vedenia 22kV zemné laná. Bolo však zistené, že u týchto vedení 98 % porúch zo všetkých možných bolo spôsobených spätnými preskokmi. Preto sa dnes u liniek *vn* zemné laná nepoužívajú. Vybavujú sa však pri káblovom zaústení výbehovými lanami, ktoré sa umiestňujú od rozvodného zariadenia do vzdialenosti 600 až 1000 metrov [4]. Na stožiar, na ktorom výbehové lano končí, musí byť znížená izolačná hladina vedenia (napr. bleskoistkou, iskriskom). Odpor uzemnenia týchto zvodov smie byť najviac 10Ω .

4.1.3 Mrežová zachytávacia sústava

Je vhodná pre rovinné plochy. Predpokladom je vytvorenie siete (Obr. 4-5) alebo mreže vodivých zachytávacích vedení, prepojených v miestach vzájomného križovania. Tam, kde zo strechy vystupujú časti technologických zariadení (antény, klimatizačné jednotky, vzduchotechnika), sa dopĺňa pomocnými vertikálnymi zachytávačmi. Veľkosť ôk navrhovanej zachytávacej sústavy závisí na zatriedení chráneného objektu do tried ochrany pred bleskom, čo znázorňuje Tab. 4-2.



Obr. 4-5 Mrežová sústava

Trieda ochrany	Veľkosť ôk mreže [m]
I	5x5
II	10x10
III	15x15
IV	20x20

Tab. 4-2 Veľkosť ôk mreže [16].

Pri návrhu mrežovej zachytávacej sústavy je potrebné pokryť zachytávacím zariadením najprv všetky pravdepodobné miesta úderu blesku (hrebene, klenby a hrany), pričom možno využiť strojené aj náhodné zachytávače.

4.2 Zvod

Zabezpečuje zvedenie energie od zachytávacieho zariadenia do uzemňovacej sústavy. Pri ich realizácii dodržiavame určité pravidlá: zaistenie čo najkratšej prúdovej cesty od zachytávacieho zariadenia k zemničom, vytvorenie niekoľko paralelných vodivých ciest. Väčší počet paralelných prepojených zvodov, ktoré sú rozmiestnené rovnomerne po obvode chráneného objektu, zväčšuje vodivosť a rozdelenie prúdu medzi zachytávacím zariadením a uzemnením. Zvody majú byť rozmiestnené v blízkosti rohov chráneného objektu a rovnomerne pozdĺž jeho obvodových stien.

Vzdialenosť medzi jednotlivými zvodmi a stanoví norma na základe zaradenia stavebného objektu do tried ochrany pred bleskom. Typické hodnoty zobrazuje Tab. 4-3. Norma IEC 62305-3 rozlišuje podmienky pre zriaďovanie oddialených a blízkych systémov vonkajšej ochrany pred bleskom. Pri oddialených systémoch musí byť dodržaná *minimálna bezpečnostná vzdialenosť* s od všetkých vodivých častí stavby. Ak tento odstup nie je možné dodržať, je potrebné zachytávacie zariadenie, prípadne zvody prepojiť vždy s vodivými časťami priliehajúcich stavebných konštrukcií. Odkvapové rúry, ktoré nie sú využívané ako zvody, sa pripájajú v päte na systém potenciálového vyrovnania alebo k uzemňovaciemu zariadeniu.

Vplyvom nedodržania bezpečnej oddeľovacej vzdialenosti s môže dochádzať k preskokom medzi zachytávacím zariadením alebo zvodmi a vnútornými elektrickými alebo inými rozvodmi. Stará norma prikazovala pripájať kovové konštrukcie, anténové stožiare a zariadenia na strechách k bleskozvodnej sústave, čím sa umožnilo vniknutie bleskového prúdu do objektu. Od roku 2006 však ČSN EN 62305-3 odporúča tieto zariadenia nepripájať k bleskozvodnej sústave. Príklad výpočtu oddeľovacej vzdialenosti uvádza kap.8.2.

Vzt'ah (4.2) [5] k určení bezpečnej oddeľovacej vzdialenosti s vychádza z toho, že pri údere blesku do zachytávacej sústavy sa bleskový prúd rozdelí rovnomerne do všetkých zvodov (v skutočnosti sa však rozdelí do zvodov v závislosti na ich impedancií). Je nasledovný:

$$s = k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} \cdot l \quad [\text{m}; -, -, -, \text{m}], \quad (4.2)$$

kde k_i je koeficient závislý od zvolenej triedy ochrany pred bleskom, k_c koeficient závislý na geometrickom usporiadaní vonkajšej ochrany pred bleskom (koeficient rozdelenia prúdu), k_m závisí na oddeľujúcom materiále v mieste priblíženia (vzduch, betón, tehla) vid' Tab. 4-4, l je zvislá vzdialenosť medzi miestom stanovenia s a najbližším miestom vyrovnania potenciálu.

Trieda ochrany LPL	Vzdialenosť medzi zvodmi a [m]
I	10
II	10
III	15
IV	20

Tab. 4-3 Vzdialenosť medzi zvodmi [16].

Trieda ochrany LPL	Činiteľ k_i [-]
I	0,1
II	0,075
III a IV	0,05
Počet zvodov n [-]	Činiteľ k_c [-]
1	1
2	0,66
4 a viac	0,44
Materiál izolácie	Činiteľ k_m [-]
vzduch	1
tehly, betón	0,5

Tab. 4-4 Hodnoty činiteľov pre výpočet vzdialenosti s [5], [16].

Keďže pri tyčovom bleskozvode s jedným zvodom zvedie celý bleskový prúd práve jeden zvod, činiteľ k_c je rovný jednej. Pri hrebeňovej sústave s dvoma zvodmi najväčšiu časť bleskového prúdu zvedie ten zvod, ktorý je najbližšie k miestu priameho zásahu blesku. Pri sústave mrežovej sa presieťovaním vodičov dosiahne rozdelenie prúdu oveľa rovnomernejšie.

Skúšobná (meracia) svorka má byť umiestnená na každom zvode k uzemňovacej sústave a zároveň z dôvodov merania na ochrannnej sústave bleskozvodu musí byť rozpojiteľná pomocou náradia. Podľa [16] sa skúšobná svorka umiestňuje:

- vonkajšie – vo výške 1,8 až 2 m, chránené pred vplyvom počasia,
- skryté – vo výške 0,6 až 1,8 m, skrinky musia byť dostatočne priestorné.

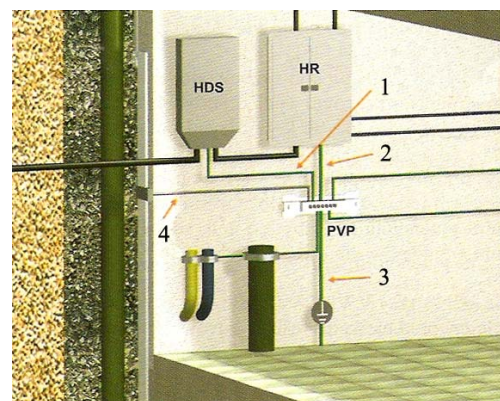
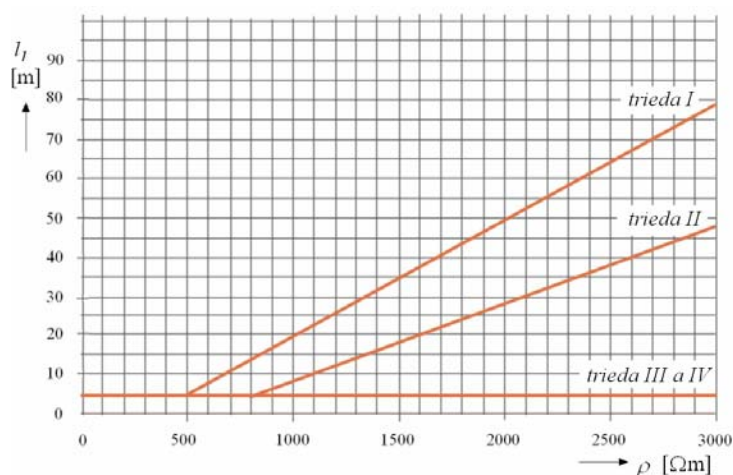
4.3 Uzemnenie

Úlohou uzemňovacej sústavy je zviest' prúd atmosférického výboja pod zemský povrch a tam ho rozptýliť. Podmienka správnej funkcie uzemňovacej sústavy je celková kvalita pospájania všetkých kovových konštrukcií zavedených do objektu a ich prepojenie so všetkými náhodnými zemničmi. Uzemňovač môže byť *náhodný alebo zhotovený (umelo vytvorený)*. Rozoznávame niekoľko druhov základných usporiadaní zemničov:

- zemnič typu A – horizontálny paprskový zemnič alebo vertikálny hĺbkový zemnič,
- zemnič typu B – kruhový povrchový zemnič,
- zemnič typu B – základový zemnič.

Zemnič typu A je charakterizovaný hĺbkovým zemničom, tvoreným zemniacimi tyčami zabudovanými obvykle zvisle a dostatočne hlboko do zeme. Kruhový zemnič je povrchový zemnič, ktorý má tvar uzatvoreného kruhu vedeného okolo vonkajšieho obvodu chráneného stavebného objektu. Základový zemnič je uložený v betónových základoch chráneného objektu. Minimálna dĺžka uzemňovačov l_I sa stanovuje podľa grafu závislosti dĺžky uzemňovača na odpore pôdy (Obr. 4-6) pre triedy ochrany I až IV.

Rozmery uzemňovačov a spôsob ich uloženia do zeme v podstatnej miere ovplyvňujú výsledný odpor uzemňovacej sústavy. Pre usporiadanie typu A nesmie byť počet uzemňovačov menší ako 2.



Obr. 4-6 Závislosť dĺžky uzemňovača na odpore pôdy [5]. Obr. 4-7 Vyrovnanie potenciálu [5].

Vyrovnanie potenciálu je vzájomné prepojenie *LPS* s kovovými konštrukciami objektu, inštaláciami z kovu, vonkajšími vodivými časťami, zariadeniami pripojenými k silovému rozvodu. Tohto prepojenia možno dosiahnuť vodičmi vyrovnania potenciálu, zariadeniami ochrany pred prepätím *SPD*.

Rozlišujeme tri *stupne pospájania*: hlavné, doplnkové a pospájanie v podružnom rozvážači. V každom objekte budovy musí byť hlavné pospájanie, ktoré tvorí základ pre vyrovnanie potenciálu. Potrebným prvkom je *hlavná (ekvipotenciálna) uzemňovacia svorka* (Obr. 4-7), na ktorú sa musí pripojiť: hlavný ochranný a uzemňovací vodič, vodivé časti prichádzajúce do budovy zvonku (potrubia), rozvody potrubia v budove (voda, plyn), kovové konštrukčné časti budov. Na Obr. 4-7 jednotlivé symboly značia: **1** – pripojenie vodiča PEN k uzemneniu objektu, **2** – pripojenie zvodíčov k uzemneniu objektu, **3** – pripojenie PVP k uzemneniu objektu, **4** – pripojenie kovových prvkov stavby, **PVP** – prípojnica potenciálového vyrovnania, **HDS** – hlavná domová skriňa, **HR** – hlavný rozvážač.

5 VNÚTORNÁ OCHRANA PRED BLESKOM

5.1 Zóny ochrany pred bleskom

Medzinárodná norma IEC 1312-1: Ochrana pred elektromagnetickým impulzom spôsobeným bleskom (*LEMP*), zavádza pojem *zóna bleskovej ochrany ZBO* (*Lightning Protection Zone – LPZ*), ktorý ilustruje *Obr. 5-1*. Jeho význam je nasledovný:

LPZ 0_A – oblasť s možnosťou výskytu priamych úderov blesku (značných bleskových prúdov).

LPZ 0_B – oblasť chránená pred priamymi údermi blesku, tvorená ochranným priestorom zachytávacej sústavy. Elektromagnetické pole bleskového výboja je tak, ako v *LPZ 0_A*, stále plne účinné.

LPZ 0_C – oblasť 3x3m tesne nad zemou, chránená pred priamymi údermi blesku. Ide o špecifickú oblasť s možnosťou výskytu nebezpečných dotkových alebo krokových napätí pri údere blesku do zariadenia vonkajšej ochrany pred bleskom.

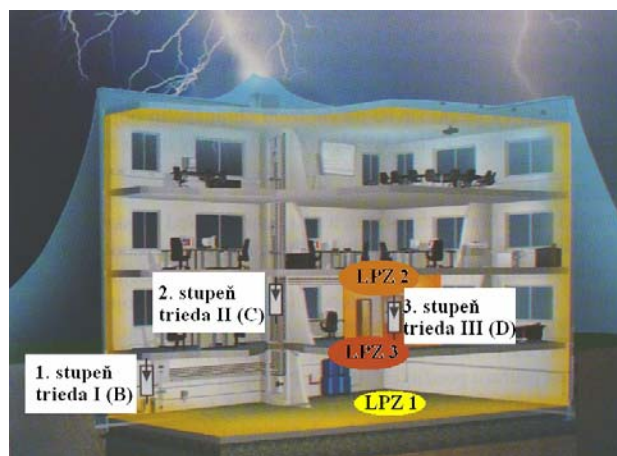
LPZ 1 – oblasť s možnosťou výskytu čiastkových bleskových prúdov prechádzajúcich napríklad vedením vyrovnania potenciálu. Elektromagnetické pole tlmí tienenie budovy.

LPZ 2 – oblasť kde čiastkové bleskové prúdy boli už obmedzené na rozhraní *LPZ 0*, *LPZ 1* a zvyšné elektromagnetické pole je práve tmené ďalším tienením – tienením miestností.

LPZ 3 – a ostatné zóny, ktoré zaisťujú ďalšie obmedzovanie bleskových prúdov a súvisiaceho elektromagnetického poľa vnútri objektu, prípadne v daných zariadeniach.

Ak nie je možné vyrovnat' potenciály na hraniciach zón ochrany galvanickou väzbou, používajú sa zariadenia ochrany pred prepätím *SPD* podľa *Obr. 5-2*, ktorý zobrazuje úplnú trojstupňovú ochranu pracovných vodičov v sieťach *nn* (kap. 5.2). Stupne charakterizujeme nasledovne:

- 1. stupeň** – rozhranie *LPZ 0* a *LPZ 1*. Pri existencii vonkajšej ochrany pred bleskom musí byť na jeho mieste použitia vždy zariadenie ochrany pred prepätím triedy I podľa IEC 61643-1 prípadne zvodiče bleskových prúdov *triedy B* podľa DIN VDE 0675, skúšané rázovou vlnou bleskového prúdu $10/350\mu s$. Umiestňuje sa do prípojrovej skrine alebo hlavného rozvádzača.
- 2. stupeň** – rozhranie *LPZ 1* a *LPZ 2*. Má vlastnosti ochrany triedy II, prípadne zvodičov prepätia *triedy C*, skúšaných vlnou prepätia $8/20\mu s$. Umiestňuje sa do podružných rozvádzačov.
- 3. stupeň** – rozhranie *LPZ 2* a *LPZ 3*. Patria sem ochrany pred prepätím triedy III, alebo zvodičmi prepätia *triedy D*, skúšaných vlnou $8/20\mu s$. Inštaluje sa čo najbližšie k chráneným technologickým celkom [5].



Obr. 5-1 Zóny ochrany pred bleskom [5].

Obr. 5-2 Rozmiestnenie SPD na rozhraní LPZ [5].

Objekty sa rozdeľujú do štyroch ochranných úrovní *LPL* (*Lightning Protection Level*). Ku každej ochrannej úrovni sa viaže systém ochrany pred bleskom *LPS* (*Lightning Protection System*). Vzťah medzi ochrannou úrovňou a triedou ochrany znázorňuje Tab. 5-1.

Úroveň <i>LPL</i>	Trieda <i>LPS</i>	Druh objektu
I	I	energetické zdroje, strategické budovy
II	II	školy, múzea, supermarkety
III	III	bytové domy, administratívne budovy
IV	IV	obyčajné sklady, rodinné domy

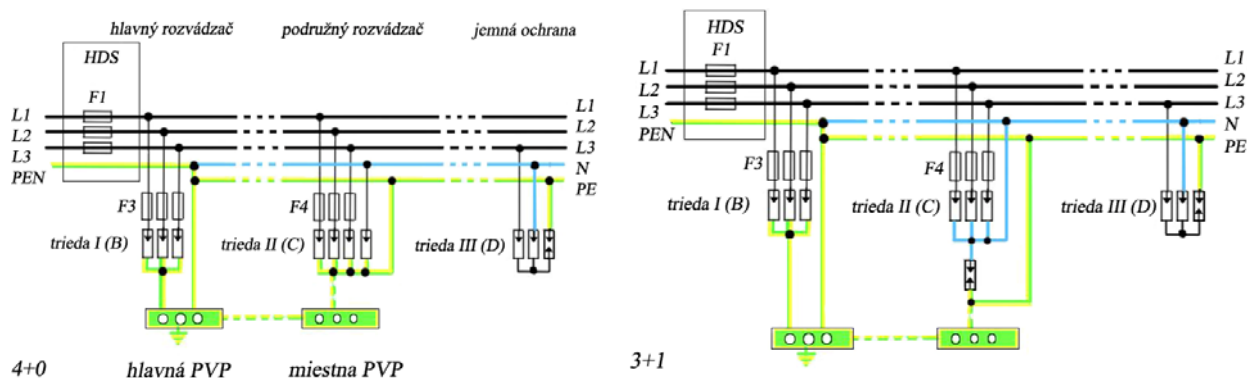
Tab. 5-1 Vzťah medzi *LPL* a *LPS* [16].

5.2 Normalizácia a stupne *SPD*

SPD (*Surge Protection Device*) je skratka pre zariadenie ochrany pred prepätím – zvodičom, ktorý pozostáva z kombinácie prvkov hrubej a jemnej ochrany. Jeho úlohou je vyrovnanie potenciálu v prípade, kedy nie je možné jednotlivé vodivé časti, u ktorých môže vzniknúť rozdiel potenciálov, prepojiť priamou galvanickou väzbou. *SPD* sa pri normálnom prevádzkovom stave chráneného zariadenia vôbec neprejavuje. Jeho činnosť je aktivovaná iba neprístupným nárastom amplitúdy svorkového napätia.

Aby bola ochrana pri prepätí účinná, musia byť jednotlivé prvky ochrany radené za sebou v niekoľkých stupňoch na postupné odvedenie bleskového prúdu. Bežné **zapojenie zvodičov v sieti TNC-S** zobrazuje Obr. 5-3. Jeho význam je nasledovný: ochranný a nulový vodič sú do budovy privádzané spoločne ako vodič *PEN*. V budove sa rozvetví na samostatný nulový vodič *N* a ochranný vodič *PE*;

- prvý ochranný stupeň má byť umiestnený v blízkosti vstupu prívodu do chráneného stavebného objektu (podľa teórie *LPZ* – kap. 5.1),
- druhý stupeň je umiestnený v päťvodičovej časti (*TN-S*), chránia sa všetky 4 pracovné vodiče, toto zapojenie bolo skôr využívané v zapojení **typu 4+0**, avšak dnes je preferované zapojenie **typu 3+1**,
- tretí stupeň je zobrazený ako jednofázový typu *Y*.



Obr. 5-3 Zapojenie vodičov v sieti TNC-S [5].

Zatiaľ čo záväzná norma ČSN EN 61643-11 člení *SPD* 1., 2. a 3. stupňa na triedy I, II, III, norma DIN VDE 0675 robí rozdelenie *SPD* na triedy **A**, **B**, **C** a **D**. **Zvodiče triedy A** sú určené pre použitie mimo chránených objektov na ochranu nadzemného vedenia *nn*. **Zvodiče triedy B, C, D** sú určené k použitiu na rozhraní *ZBO* 0→1, 1→2 a 2→3. Norma DIN VDE 0110 zase uvádza pojem kategória prepätia, čo je pojem prevzatý aj normami IEC 664-1/ČSN 33 0420-1. Tieto normy definujú členenie rozvodov sietí *nn* do 4 kategórií (**IV**, **III**, **II**, **I**) a určujú tzv. *maximálne impulzné výdržné prepätie (ochranné úrovne U_p)*, povolené pre pripojené zariadenia.

Pre rozvod *TNC* 230/400V/50Hz nesmie prepätie na prívode do objektu prekročiť úroveň 6kV, za hlavným rozvádzačom 4kV, na vývodoch z podružných rozvádzačov 2,5kV a v časti určenej k pripojeniu chránených zariadení na pevnú inštaláciu 1,5kV [9]. Súvislosť klasifikácie *SPD* podľa ČSN EN 61643-11 a DIN VDE 0675 dopĺňa Tab. 5-2.

Trieda ochrany	Trieda požiadaviek	Obvyklé umiestnenie <i>SPD</i>
ČSN EN 61643-11	DIN VDE 0675-6	
I	B	prípojková skriňa, hlavný rozvádzač
II	C	podružný rozvádzač
III	D	zásuvkové obvody

Tab. 5-2 Klasifikácia stupňov vodičov.

Ďalej je možné zariadenia ochrany pred prepätím rozlišovať podľa tvaru pracovnej charakteristiky (kap. 7), a to na zariadenie:

- spínajúce prepätie – s veľkou impedanciou v kľudovom stave a reagujúcou na výskyt prepätia náhlou zmenou impedancie na veľmi nízku úroveň (**iskrisko**),
- obmedzujúce prepätie – s veľkou impedanciou v kľudovom stave a reagujúcou na výskyt prepätí plynulým zmenšením impedancie na malú hodnotu (**varistory a supresorové diódy**),
- kombinované – využívajúce kombináciu oboch predchádzajúcich.

6 PARAMETRE ZVODIČOV PREPÄTIA

6.1 Základné parametre SPD pre nn

Stanovujú ich podľa technických parametrov príslušné normy pre výrobky ich zaradením do ochranných tried. Medzi základné parametre patria [5]:

- ochranná úroveň U_p – napäťová ochranná hladina, predstavuje maximálnu hodnotu svorkového napätia SPD, odpovedajúca aktivácií impulzom predpísaného priebehu,
- maximálny prúd impulzu I_{imp} – prípustná hodnota zvädzaného impulzného prúdu pri definovanom tvare prúdového impulzu,
- menovitý výbojový prúd I_n – menovitý zvodový prúd. Je to vrcholová hodnota skúšobného impulzu 8/20 μ s, ktorú je SPD schopné vydržať opakovane v rýchлом slede, bez zmien svojich vlastností,
- maximálny výbojový prúd I_{max} – maximálny zvodový prúd,
- zostatkové napätie U_{res} – reziduálne napätie, udáva napätie na svorkách SPD behom činnosti,
- doba odozvy – oneskorenie reakcie, spôsobené obmedzenou rýchlosťou ochranného zariadenia,
- následný prúd siete I_f , zhašiaci prúd siete, prípustné predistenie, kapacita a indukčnosť na svorkách SPD, vložný útlm, sériová impedancia.

Správna koordinácia medzi zvodičmi v inštalácii v sieti nn spočíva vo výbere súčastí do rozvádzačov a krabíc a v dosiahnutí dostatočnej dĺžky vedenia medzi rozvádzačmi alebo použitím obmedzovacích tlmiviek. **Koordinácia medzi zvodičmi B a C** sa dosiahne:

- indukčnosťou medzi zvodičmi B a C: ovplyvňuje ju dĺžka vedenia, vložená tlmivka;
- zvodič B je ako iskrisko.

Koordinácia medzi zvodičmi C a D sa dosiahne dĺžkou vedenia a spoluprácou varistorov vo zvodičoch tried C a D.

Je výhodné, ak sa za zvodičom triedy B použije viac zvodíčov triedy C (vyššia impedancia medzi stupňami zaisťuje koordináciu pre väčší rozsah tvarov vln bleskového prúdu).

Viac účinnejšia je koordinácia zvodíčov triedy D s ochranou v obvodoch zariadení, ak sa opakujú v zásuvkových okruhuoch zvodiče (vo vzdialenosti asi 10 až 15m), ktoré likvidujú vplyv odrazov na koncoch vedenia.

6.2 Základné parametre SPD pre vn a vvn

Základné parametre **bleskoistiek** (zvodíčov prepätia s iskriskami) sa určujú pomocou skúšok impulzného priebehu napätia a prúdu. Sú nasledovné [7]:

- menovité napätie bleskoistky U_r – maximálna prípustná efektívna hodnota striedavého napätia medzi svorkami bleskoistky, pre ktoré je navrhnutá tak, aby pôsobila správne; používa sa ako referenčný parameter,

- menovitý výbojový prúd I_n – vrcholová hodnota výbojového prúdu tvaru 8/20; používa sa k vyvolaniu následného prúdu pri skúške prevádzkovej funkcie a stanovenie hladiny pre atmosférické prepätie,
- striedavé zapaľovacie napätie – efektívna hodnota najnižšieho napätia medzi svorkami zvodíča, ktorá spôsobuje jeho zapálenie; charakter ochrannej schopnosti pri atmosférickom impulze,
- zostatkové napätie, trvalé prevádzkové napätie, výdržná schopnosť pri znečistení,
- trieda dlhotrvajúceho výboja – číslo, ktoré vyjadruje schopnosť bleskoistky absorbovať energiu pri vybití dlhého vedenia,
- trieda tlakového odľahčenia – číslo, ktoré je vzťahnuté ku schopnosti bleskoistky vydržať vnútorný poruchový prúd bez prudkého roztriešenia izolačného plášťa.

Veľkosti menovitého výbojového prúdu sú obvykle dané niektorou hodnotou z nasledovnej rady: 1,5kA, 2,5kA, 5kA, 10kA, 20kA, 40kA.

Základné parametre **obmedzovačov prepätí** (beziskriskové zvodíče prepätia z kysličníkov kovov) sa určujú pomocou skúšok impulzného priebehu prúdu. Podľa [7] sú nasledovné:

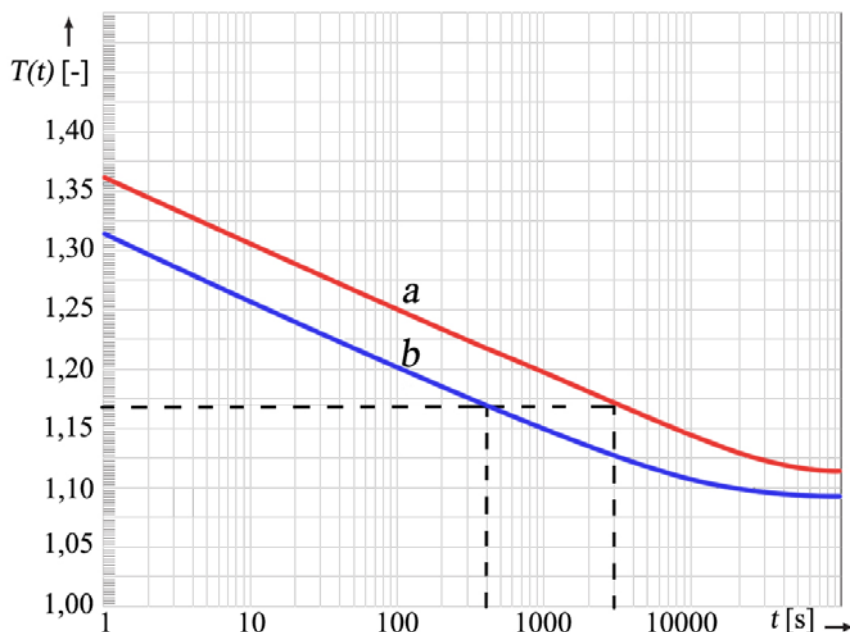
- trvalé prevádzkové napätie U_c – najväčšia prípustná hodnota napätia, ktoré môže byť trvale pripojené na svorky obmedzovača prepätia, pre túto hodnotu sa používa aj výraz *MCOV* (*Maximum Continuous Operating Voltage*),
- menovité napätie U_r – najväčšie napätie, ktoré sa používa pri skúške prevádzkovej funkcie po dobu 10s; pomer U_c/U_r býva asi 0,8 [10]; referenčný parameter pre stanovenie charakteristiky – závislosť napätia priloženého na obmedzovač a čas,
- menovitý výbojový prúd – určuje ochrannú charakteristiku a schopnosť pohltienia energie,
- zostatkové napätie pri menovitom výbojovom prúde U_{res} – ochranná hladina U_p obmedzovača prepätia pri atmosférickom impulze; najvyššia hodnota napätia, ktorá sa objaví medzi svorkami obmedzovača prepätia pri priechode výbojového prúdu, závisí od veľkosti a na priebehu výbojového prúdu,
- trieda vybitia vedenia, trieda tlakového odľahčenia.

Obmedzovače *MO* môžu byť preťažené zvýšenou hodnotou prevádzkového napätia len na určitý čas. Trvalé prevádzkové napätie U_c musí byť preto volené podľa predpokladaného dočasného prepätia U_{TOV} a času t , počas ktorého toto prepätie pôsobí podľa vzťahu [11]

$$T(t) \geq \frac{U_{TOV}}{U_c} \quad [-; s, kV, kV]. \quad (6.1)$$

Vzťah (6.1) znázorňuje *Obr. 6-1*, kde $T(t)$ je rozsah prípustnej hodnoty U_{TOV} . Ako príklad je použitý obmedzovač *MO* s $U_c = 24kV$. V bežnej prevádzke je namáhaný napätím U_c . V čase $t = 0s$ dôjde k výboju (poruche), ktorého energetická hodnota je porovnateľná s impulzom prúdu 100kA 4/10 μ s. Obmedzovač je namáhaný energiou vzťahnutou k $U_c - 5,5kJ/kV(U_c)$. Následne sa na jeho svorkách objaví dočasné prepätie $U_{TOV} = 28kV$. V tomto okamžiku $T(t) = U_{TOV}/U_c = 28/24 = 1,17$. Pre $T = 1,17$ a krivku **b** (s predchádzajúcou absorpciou energie impulzu) je výsledný čas $t = 400s$. Obmedzovač môže odolávať zvýšenému napätiu po dobu 400s bez toho,

aby sa stal tepelne nestabilným. Pri oneskorení odstránenia poruchy (nad 400s) by sa pracovný bod nachádzal nad krivkou *b*, čo by znamenalo, že obmedzovač bude tepelne zničený. Ak pred uplynutím spomínaného času klesne napätie späť na hodnotu U_c , obmedzovač nebude preťažený. Ak obmedzovač nebol namáhaný predchádzajúcou absorpciou energie impulzu pred objavením dočasného prepätia, podľa krivky *a*, obmedzovač odolá dočasnému prepätiu U_{TOV} po dobu 3000 s. Preto výška a prípustná doba dočasného prepätia na svorkách obmedzovača, závisia na predchádzajúcom zaťažení. Výrobca v technickej dokumentácii obmedzovača udáva graf závislosti prípustného dočasného prepätia (ako násobok U_c) na čase jeho pôsobenia. Z hľadiska dočasných prepätí musí obmedzovač vyhovieť podľa krivky *b*, pretože dočasné prepätia môžu nastať práve po údere blesku, ktorého energiu obmedzovač absorboval.



Obr. 6-1 TOV krivka pre obmedzovač prepätia typu MWK [3].

Dôvodom nižšieho trvalého prevádzkového napätia môže byť pevnosť izolačného plášťa pri znečistení, prípadne veľkej nerovnomernosti v rozložení napätia pozdĺž stĺpca blokov ZnO .

Ďalšími parametrami ochranej charakteristiky zvodiča je správanie sa zvodiča pri strmých čelách vln (najmä pri zariadeniach *vn*) a správanie zvodiča behom spínacích prepätí. V iskriskových zvodičoch dosahuje preskokové napätie približne hodnotu U_p (ochranná hladina zvodiča) pri týchto pomaly rastúcich prepätiach. Zvodiče *MO* nemajú žiadne preskokové napätie. Pri *vn* zvodičoch je spínacia ochranná hladina [1] daná zostatkovým napätím pri 500A prúdovej vlny 30/60 μ s. Zostatkové napätie dosahuje 0,77–0,83-násobok U_p v závislosti na type zvodiča. Medzné napätie u iskriskových zvodičov behom spínacích prepätí je najmenej o 20 % vyššie, ako pri zvodičoch *MO*.

Elektrické zariadenie je tým lepšie chránené pri atmosférickom prepätí, čím viac prevyšuje **základná impulzná izolačná hladina** zariadenia (*BIL* – *Basic Impulse Insulation Level*) ochrannú úroveň U_p zvodiča. Podľa [1] moderné zvodiče s $U_p = 3,25 \cdot U_c$ (kde U_c je maximálne trvalé prevádzkové napätie zvodiča) udržiavajú $U_p \leq 4 \cdot p.u.$. Pre elektrické zariadenia, ktoré sú vystavené atmosférickým prepätím, doporučuje norma *IEC* pre koordináciu izolácie hodnoty *BIL* uvedené v *Tab. 6-1*. Ďalej však pre siete *vn* je požiadavka $BIL > 1,4 \cdot U_p$. Prepätie v elektrickom zariadení môže prekročiť U_p , preto činiteľ 1,4 je počítaný s rezervou [1].

U_m	kV	3,6	7,2	12	17,5	24	36
BIL	kV	40	60	75	95	125	170
U_p	kV	11,8	23,5	39,2	57,2	78,4	118
BIL/U_p	-	3,4	2,55	1,91	1,66	1,59	1,45

Tab. 6-1 Základná impulzná izolačná hladina a ochranná hladina zvodičov s $U_p=4p.u.$ [1].

Pre efektívny návrh ochrany pred prepätím je potrebné poznať ďalší parameter, a to **ochrannú vzdialenosť zvodiča** L . Je to maximálna vzdialenosť medzi zvodičom a chráneným elektrickým zariadením, ktorá umožňuje dostatočnú ochranu, teda obmedzenie prepätia. Príklad jej výpočtu uvádza kap 8.3. Teoretický návrh ochrannej vzdialenosti bude vysvetlený podľa Obr. 6-2, [10] a [1]. Po nadzemnom distribučnom vedení je prenášané prepätie U ako postupná vlna rýchlosťou v ku koncu vedenia E . Elektrické zariadenie, ktoré sa má chrániť, je v bode E . Po príchode napätvej vlny k rozhraniu tvorenému vedením a SPD, dochádza k jej čiastočnému prestupu a odrazu. Ak chráni zvodič napríklad transformátor, ktorého impedancia je veľká, nastane po príchode už obmedzenej vlny na transformátor k jej odrazu a tým ku vzniku prepätia, odpovedajúceho dvojnásobku zapalovacieho napätia zvodiča. Zvodič má tomuto zabrániť. Vlna prestúpená rozhraním je teda zvodičom obmedzená na zostatkové napätie U_p , odrazená vlna má podobný tvar ako vlna pôvodná, avšak s opačnou polaritou. Superpozíciou prichádzajúcej a odrazenej vlny je napätie pred zvodičom nižšie, ako by odpovedalo prichádzajúcej vlne. Ochranná vzdialenosť je v podstate vzdialenosť, v ktorej nevznikne väčšie napätie ako BIL . Ak predpokladáme konštantnú strmosť čela S prichádzajúcej vlny v čase, maximálna hodnota U_E [1]

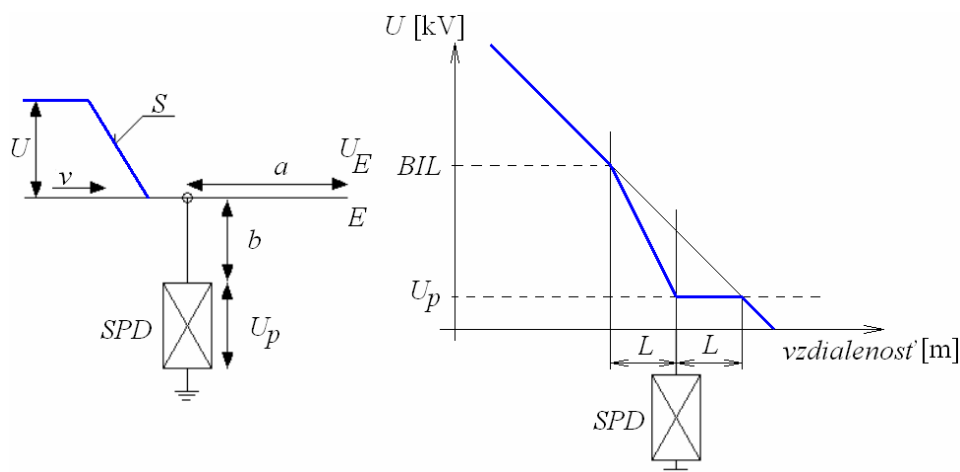
$$U_E = U_p + \frac{2 \cdot S \cdot (a + b)}{v} \quad [\text{kV}; \text{kV}, \text{kV}/\mu\text{s}, \text{m}, \text{m}, \text{m}/\mu\text{s}], \quad (6.2)$$

kde U_p je ochranná hladina zvodiča SPD; S strmosť čela U ; a, b dĺžka pripojovacích vedení; $v = 300 \text{ m}/\mu\text{s}$. S uvažovaním bezpečnostného faktora 1,2 vzt'ah (6.2) možno upraviť na

$$\frac{BIL}{1,2} \geq U_E = U_p + \frac{2 \cdot S \cdot (a + b)}{v}. \quad (6.3)$$

Pre medznú hodnotu $L = a + b$, možno vyjadriť ochrannú vzdialenosť zvodiča L

$$L = \frac{v}{2 \cdot S} \cdot \left(\frac{BIL}{1,2} - U_p \right) \quad [\text{m}; \text{m}/\mu\text{s}, \text{kV}/\mu\text{s}, \text{kV}, \text{kV}]. \quad (6.4)$$



Obr. 6-2 Určenie ochrannej vzdialenosti zvodiča [10].

7 KONŠTRUKCIA A POUŽITIE ZVODIČOV PREPÄTIA

7.1 Zvodiče pre sieť *nn*

V tejto kapitole sú uvedené konštrukčné prvky používaných zvodičov prepätí tried B, C a D.

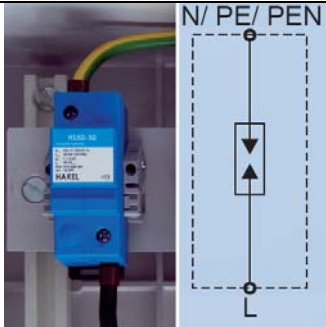
7.1.1 Iskrisko

Zvodiče na princípe iskriska ako zvodiče triedy I sa používajú pre prvý stupeň prepät'ovej ochrany (Tab. 7-1). Podľa konštrukcie ich môžeme rozdeliť na *otvorené* a *uzavreté* iskriská. Ich spoločnou vlastnosťou je značne veľký vnútorný odpor v kľudovom stave, ktorý zabraňuje vzniku nežiadúcich unikajúcich prúdov. Základnou časťou iskrisk je komora s dvoma alebo viac kovovými alebo uhlíkovými elektródami. Vzďialenosť elektród a vlastnosti okolitého prostredia určujú hodnotu zapal'ovacieho napätia. Pri ňom dôjde k vyrovnaniu potenciálov medzi najbližšími elektródami prostredníctvom elektrického výboja. Otvorené iskrisko má nevýhody, medzi ktoré patrí výboj vo voľnom priestore (môže spôsobiť požiar), rozdielne zapal'ovacie napätie vzhľadom k vlhkosti vzduchu, tlak ovzdušia a znečistenie. Naopak jeho výhoda je to, že vyniká vysokými zvodovými schopnosťami ($I_{imp} = 50\text{kA}$, 10/350) pri vysokých úrovniach samočinne zhášaného následného prúdu. Nedostatok otvoreného iskriska šľahať horúcu plazmu sa vyriešilo iskriskom uzavretým, avšak za cenu zníženia parametrov samočinne zhášaného následného prúdu (max. 25kA).

Medzi otvorené iskriská patria *uhlíkové bleskoistky* s malou priepustnosťou. Používajú sa preto s spojením s hrubými iskriskami vo vhodnom držiaku [13].

Malé svorkové napätie na zvodiči počas činnosti však môže spôsobovať aj komplikácie – vytvára skrat v chránenej silovej časti. K zhasnutiu už zapáleného oblúku v iskrisku je potrebné prerušiť prechádzajúci prúd, prirodzenou cestou tak dochádza len v striedavých sieťach. Preto nie je takmer vôbec možné používať *SPD* na princípe iskriska pre obvody s jednosmerným napájaním.

menovité pracovné napätie	U_r	230V AC
max. trvalé pracovné napätie	U_c	255V AC
izolačný odpor	R_i	> 100M Ω
max. impulzný prúd (10/350)	I_{imp}	50kA
- náboj	Q	25As
- merná energia	W/R	600kJ/ Ω
napät'ová ochranná úroveň pri I_{imp}	U_p	<1,3kV
trieda I, LPZ 0→1, IP 20		
zvodič bleskového prúdu – iskrisko		



Tab. 7-1 Zvodič bleskového prúdu – iskrisko – trieda I, *nn* [9].

7.1.2 Varistor

Názov pochádza z angl. variable resistor (VARresISTOR). Je to napät'ovo závislý rezistor, vyrobený lisovaním a spekaním práškovej zmesi z oxidov kovov. Voltampérová charakteristika je nelineárna, preto sa ich odpor mení v závislosti na veľkosti priloženého napätia. Najpoužívanejšie sú varistory na báze 90% oxidu zinku ZnO vo funkcii keramického základu a prísad, ktoré slúžia pre rast zrn a tvorbu hradlovej vrstvy medzi zrnami ZnO . Ďalej sa

stretávame s varistormi vyrobenými z karbidu kremíka SiC použitím rôznych pojív, oxidu bizmutitého (Bi_2O_3) či titaničitého (TiO_2) [14]. Varistor má tvar kotúča, na ktorého čelných stranách sa pokovením vytvoria elektródy. Celá súčiastka je pokrytá epoxidovou pryskyricou.

Často sa porovnávajú elektrické hodnoty **varistorov** ZnO s **varistormi** SiC , každý má však vlastnú oblasť použitia. Ak sa používajú oba ako prvky na vymedzenie napätia, majú varistory SiC dlhšiu životnosť, zatiaľ čo varistory ZnO majú na základe ich vyhranenej nelineárnosti priaznivejší priebeh pre vymedzenie prepätia.

Keďže sa zvodiče pripájajú paralelne k vedeniu, znamená každé zhoršenie ich izolačných vlastností vyššie výkonové straty (zvýšenie prevádzkovej teploty a degradácia ich voltampérových charakteristík). Môže dôjsť ku konečnému prerazu (tepelná deštrukcia zvodiča). Pretekajúci prúd poškodzuje polovodivé prechody na rozhraní jednotlivých zrn materiálu. Takmer pravouhlá voltampérová charakteristika nového varistoru sa postupne napriamuje, zväčšuje sa unikajúci prúd pri menovitom napätí. Preto pripájame zvodiče k chránenému vedeniu cez poistky (prípadne ističe), aby v prípade prerazu bolo zaistené ich bezpečné odpojenie. Dôležitým prvkom je aj koordinácia pôsobenia zvodíčov kategórie C a D.

Chyby vedúce k zničeniu varistoru:

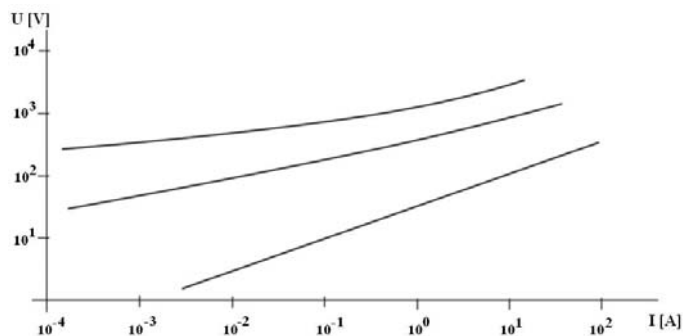
- nepripojenie nulového vodiča u štvorpólového zvodiča v zapojení 3 + 1 (tri póly medzi L a N , jeden pól medzi N a PE),
- uvoľnenie vodiča N , prípadne PEN , v sieti s nesymetrickým odberom,
- pripojenie varistora pre menovité napätie 230V AC k združenému napätiu 400V AC (zámena vodiča $PE(N)$ a fázového vodiča L).

Varistory SiC sú vysoko zaťažiteľné prvky, ktorých napäťová závislosť je udávaná exponentom nelinearity α (obvykle medzi hodnotami 3–7). Zisťuje sa dvoma bodmi na charakteristickej línii U/I príslušného varistora. Túto hodnotu možno určiť zo vzťahu [14]

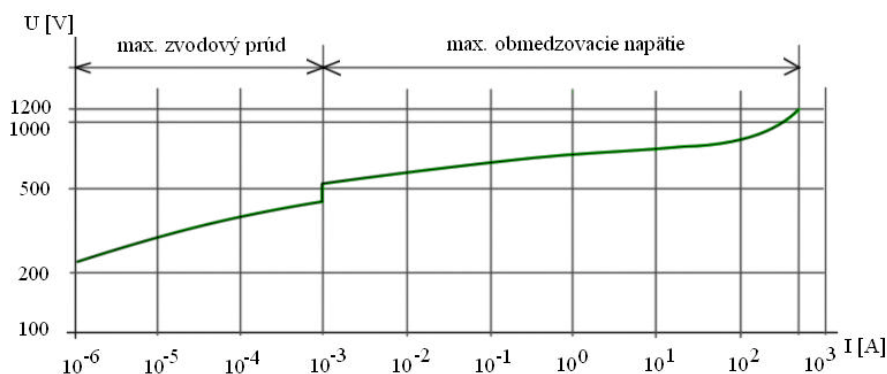
$$\alpha = \frac{\log i_2 - \log i_1}{\log u_2 - \log u_1} \quad [-; A, A, V, V]. \quad (7.1)$$

Zaťažiteľnosť (tepelná v trvalej prevádzke, tepelná zaťažiteľnosť výbojovými prúdmi z prepätia) týchto varistorov sa zisťuje podľa ich vlastného zahriatia. Charakteristiku varistorov SiC zobrazuje *Obr. 7-1*.

Varistory ZnO predstavujú kotúče z oxidu zinočnatého s prísadou oxidou kovov, čím sa mení schopnosť absorbovať energiu. Exponent nelineárnosti týchto varistorov $\alpha > 30$. Charakteristika varistorov ZnO je na *Obr. 7-2*.



Obr. 7-1 Charakteristika varistorov SiC [14].



Obr. 7-2 Charakteristika varistora ZnO [14].

Varistory *ZnO* sú zaradené podľa charakteristických hodnôt (napätie pri 1mA) do určitého maximálneho napätia. Podľa Obr. 7-2 krivka od bodu 1mA je hornou medzou tolerancie, prípadne najväčšie možné obmedzovacie napätie pri odpovedajúcom prúde. Ľavá časť krivky je spodnou medzou tolerancie, ktorá udáva maximálny zvodový prúd pre dané prevádzkové napätie.

Spotrebu energie pri rázových prúdoch vyjadruje vzťah (7.2) [14]

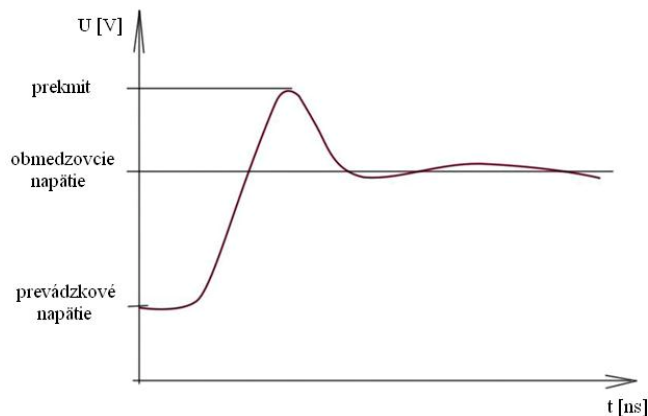
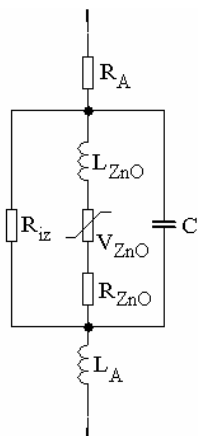
$$W = i_s \cdot u_{is} \cdot T \cdot K \quad [\text{J}; \text{A}, \text{V}, \text{s}], \quad (7.2)$$

kde i_s je rázový prúd varistora, u_{is} obmedzovacie napätie pri i_s , T šírka polovičnej hodnoty impulzu, K faktor tvaru $\alpha = 30$ (faktor tvaru je pre rôzne rázové prúdy rôzny).

Ak u varistora dôjde k poklesu napätia (bod 1mA), varistor je preťažený. Pri vyššom prevádzkovom napätí môže byť zahriatie tak vysoké, že varistor bude mať až do samozničenia ešte nižšiu ohmickú hodnotu. Preto je nutné, aby bod 1mA bol umiestnený v charakteristike dostatočne vysoko. Ak to možné nie je, predradzuje sa správne dimenzovaná poistka.

Ako už bolo spomenuté, varistory menia svoje napätie v závislosti na prúde. Ak následkom strmého prepätia stúpne rýchlo prúd varistora, dôjde na základe indukčnosti prvku a jeho prípojných drôtov (Obr. 7-3) k zakmitaniu prúdu varistora. Pri vzostupe prúdu 10kA/ μs [14] môže predstavovať až 50 % vlastného obmedzovacieho napätia (Obr. 7-4).

Príklad varistorového zvodíča prepätia znázorňuje Tab. 7-2.



Obr. 7-3 Náhradná schéma varistora ZnO [14].

Obr. 7-4 Priebeh napätia pri rýchlej zmene prúdu vo varistore [14].

Jednotlivé prvky náhradnej schémy značia: R_A odpor pripojovacích drôtov, L_A indukčnosť pripojovacích drôtov, L_{ZnO} indukčnosť výrobku, V_{ZnO} napäťovo závislý odpor (varistor), R_{ZnO} odpor výrobku, R_{iz} izolačný odpor a C vlastná kapacita.

max. trvalé pracovné napätie	U_c	275V AC
max. zvodový prúd (8/20)	I_{max}	50kA
menovitý zvodový prúd (8/20)	I_n	20kA
napäťová ochranná úroveň pri I_n	U_p	<1,3kV
skratová odolnosť	-	60kA
trieda II, LPZ 1→2, IP 20		
zvodíčov prepätia – varistor		
max. trvalé pracovné napätie	U_c	275V AC
menovité pracovné napätie	U_r	230V AC
menovitý zvodový prúd (8/20)	I_n	3kA(L/N, L/PE) 5kA(N/PE)
napäťová ochranná úroveň	U_p	<1kV(L/N), <1,2kV(L/PE) <1,2kV(N/PE)
predistenie	-	16A
trieda III, LPZ 2→3, IP 20		
zvodíčov prepätia – varistor		
menovité pracovné napätie	U_r	230V AC
menovitý prúd	I_n	16A
max. trvalé pracovné napätie	U_c	275V AC
menovitý zvodový prúd (8/20)	I_n	3kA(L/N, L/PE) 5kA(N/PE)
predistenie	-	16A
zvodíčov prepätia – varistor – zásuvky		

N(PEN)

N L
PE

L N
PE

ok
fault

Tab. 7-2 Zvodíčov prepätia – varistor – trieda II a III, nn [9].

7.1.3 Plynom plnená bleskoistka

Spravidla sa skladá z dvoch kovových elektród, ktoré sú opatrené povlakmi dopravujúce emisie. Umiestňujú sa v malej vzdialenosti od seba na čelných stranách sklenených alebo keramických trubičiek, z ktorých je vyčerpaný vzduch a sú naplnené vzácnym plynom pod tlakom. Sú vhodné pre ochranu prístrojov.

max. trvalé pracovné napätie	U_c	255V AC
preskokové napätie 1,2/50 μ s	-	<1,5kV
izolačný odpor	R_i	> 1000M Ω
max. impulzný prúd (10/350)	I_{imp}	25kA
- náboj	Q	12,5As
- merná energia	W/R	156kJ/ Ω
max. zvodový prúd (8/20)	I_{max}	50kA
menovitý zvodový prúd (8/20)	I_n	30kA
napätová ochranná úroveň pri I_{imp}	U_p	<1,3kV
trieda I, LPZ 0->1, IP 20		
zodič bleskového prúdu – bleskoistka		

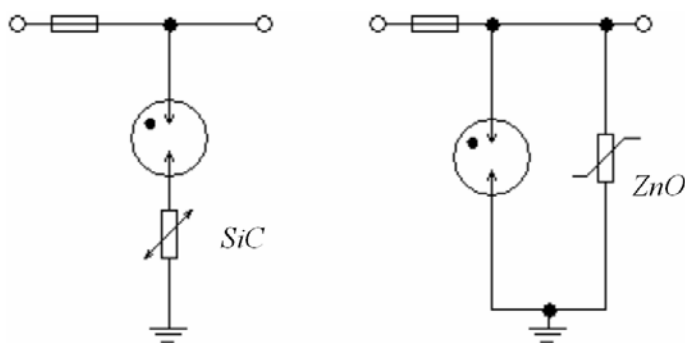


Tab. 7-3 Zodič bleskového prúdu – bleskoistka – trieda I, nn [9].

Dobré bleskoistky majú krátku dobu reakcie a veľkú priepustnosť. Tieto parametre by sa mali v priebehu doby a podľa zaťaženia meniť čo najmenej.

V striedavých sieťach tieto bleskoistky po zvedení spravidla nezahášajú (Tab. 7-3). Doba v priechode striedavého napätia nulou je na prerušenie následne tečúceho prúdu zo siete (skratového prúdu) príliš krátka. Aby bolo zhasenie umožnené, zapájajú sa k iskriskám alebo plynom plneným bleskoistkám v sérii varistory. Tieto sériové zapojenia sa označujú ako ventilové bleskoistky. Priepustnosť týchto bleskoistiek určuje nižšiu priepustnosť jedného z oboch prvkov a obvykle je určovaná varistorom. Aby ventilová bleskoistka po zapálení bezpečne zhasla, musí byť varistor vysokoohmický. Tieto ventilové bleskoistky majú preto oproti plynom plneným bleskoistkám menšiu priepustnosť pri omnoho vyššom objeme a vysokom zostatkovom napätí.

Obr. 7-5 znázorňuje ďalšiu možnosť zapojenia. Jedná sa o paralelné zapojenie plynom plnenej bleskoistky s varistorom z oxidu zinočnatého. Sieťové prechodné prepätie so slabou energiou je vo varistore obmedzená natoľko, že paralelne zapojená bleskoistka nazapáli. V prípade nebezpečného prepätia stúpa výbojový prúd vo varistore a tým aj pokles napätia v ochranej kombinácii. Po dosiahnutí zapalovacieho napätia preberá plynom plnená bleskoistka celý výbojový rázový prúd a chráni varistor chrániaci zariadenie. K obmedzeniu následného prúdu zo siete po zvedení musí byť pred bleskoistkou na strane zdroja predradená tavná poistka.

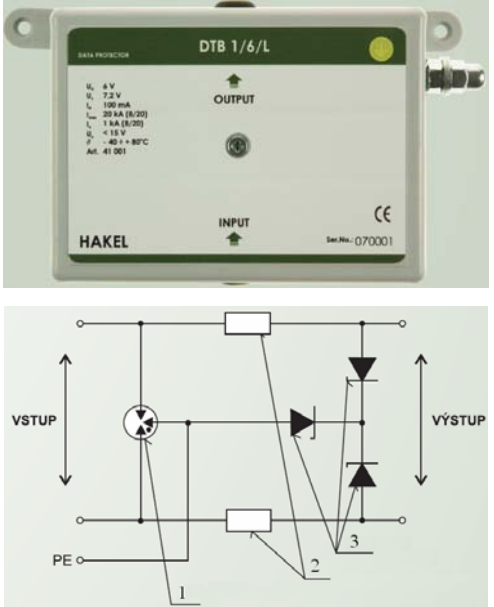


Obr. 7-5 Zapojenia plynom plnených bleskoistiek alebo iskrísk s varistorami.

7.1.4 Ochranná dióda

Označuje sa ako bežná alebo špeciálna Zenerova dióda, ak je používaná ako prepäťový ochranný prvok. Rýchle Zenerove diódy pod názvom *supresorové diódy* možno zaťažovať prúdovými impulzmi. Majú malé rozmery, krátke vybavovacie časy a nízke ochranné úrovne. Zenerove diódy plnia funkciu stabilizácie napätia, avšak používame ich aj ako ochranné diódy pri prechodnom prepätí. Tieto ochranné diódy sa líšia od bežných Zenerových diód homogénnejším kremíkovým materiálom, priaznivejším rozložením prúdu na povrchu čipu, lepšou ochranou hrán kryštálov a ostatnou mechanickou konštrukciou. K prepäťovej ochrane sú ochranné diódy vhodnejšie a sú aj drahšie ako bežné Zenerove diódy. Často sa stretávame s komerčnými názvami pre ochrannú diódu ako: TRANSIL, ZAP, TRANSZORB.

Chránia väčšinou elektronické obvody v dátových, meracích a regulačných sieťach. Väčšinou sa používajú na rozhraní ochranných zón LPZ 0→1. Ochrana je tvorená dvoma stupňami. Prvý stupeň je riešený pomocou trojpólovýchbleskoistiek, druhý stupeň tvoria transily. Vyrábajú sa na menovité pracovné napätia v rozmedzí 6V až 170V (Tab. 7-4). Počet chránených párov je voliteľný v závislosti od výrobcu, prípadne druhu tejto ochrany.

menovité pracovné napätie	U_r	6V	
max. trvalé pracovné napätie	U_c	7,2V	
menovitý prúd	I_n	100mA	
bleskový prúd (10/350) line/PE	I_{imp}	2,5kA	
max. zvodový prúd (8/20)	I_{max}	20kA	
napätová ochranná úroveň pri I_n	U_p	15V	
vložená impedancia	-	1,5–10Ω	
parazitná kapacita	C	1,5nF	
pracovná teplota	ϑ	-40–80 °C	
stupeň krytia	-	IP 20	

Tab. 7-4 Prepäťová ochrana pre dátové siete, nn [9].

Podľa Tab. 7-4 jednotlivé symboly značia: 1 – dvojitábleskoistka, 2 – obmedzujúca impedancia, 3 – transily.

7.2 Zvodiče pre sieť vn a vvn

Prvú bleskoistku zavádzala spoločnosť Westinghouse, zaoberajúca sa výrobou elektrickej energie pre napäťové úrovne až do 110kV pred vojnou. Nazývala sa *Torokova trubica*, ktorá mala dve do série zapojené iskriská. *Vonkajšie iskrisko* tvorené tým, že sa rúrka svojou elektródou upevní v určitej vzdialenosti od živej časti, ktorú má chrániť. *Vnútorne iskrisko* je aktívne a bolo v rúrke z izolačného materiálu. Pri prepätí vzniká výbojový prúd, ktorý ňou prechádzal. Uvoľnilo sa tak veľké množstvo plynov (fíber, živica, tvrdená guma, PVC). Tlak vytvoreného plynu v rúrke zhasia oblúk medzi elektródami vnútorného iskriska. Vonkajšie iskrisko zväčšovalo izolačnú pevnosť rúrky, ktorá mala po odvedení prepätia do zeme zuhoľnatené vnútro. Keďže pri aktívnom pôsobení vznikalo horenie plynov a pár, ktoré sú tlakom vyfukované do atmosféry, dnes sa od vyfukovacích bleskoistiek odstúpilo.

Bleskoistky obmedzujú napätie na ochrannú úroveň len na svojich svorkách. Pri prepätí správne istia vtedy, ak sú čo najbližšie k chránenému objektu. V transformovniach ide predovšetkým o ochranu transformátorov. Bleskoistky sa preto montujú čo najbližšie k svorkám dôležitých transformátorov (max. 35 metrov od svoriek vn a 50 metrov od svoriek vvn). Táto vzdialenosť sa meria pozdĺž spojovacích vodičov (vrátane zvodov bleskoistiek k zemničom). Ďalej sa bleskoistky montujú aj na prípojnicách rozvodných zariadení tak, aby vzdialenosť bleskoistiek od súpravy prístrojových transformátorov napätia na prípojnicách (pozdĺž vodičov) nebola väčšia ako 70 metrov pri zariadení vn a 100 metrov pri zariadení vvn. Generátor, ktorý je pripojený k distribučnému vedeniu, má veľkú kapacitu medzi fázou a zemou. Čím je táto kapacita väčšia, tým je kratšia ochranná vzdialenosť vodiča [1], [4].

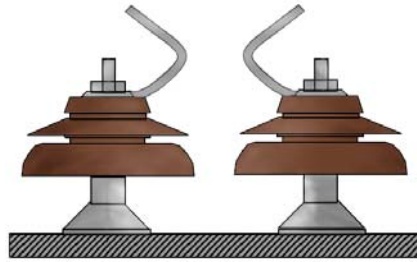
Pri atmosférickom prepätí sa v transformovniach vn/nn používali ventilové a vyfukovacie bleskoistky na vedeniach vo vzdialenosti 600 metrov od transformovne.

Definujú sa pomerom medzi nárazovou izolačnou hladinou sústavy a ochrannou hladinou (zapaľovacím napätím) bleskoistky, ktorý je smerodajný pre voľbu ventilových bleskoistiek podľa menovitých napätí. Tento pomer sa pri zariadeniach do 25kV volí asi 1,4 a pri zariadeniach s vyšším napätím najmenej 1,2 [4].

Ochranné iskrisko spôsobuje pri prepätí prechodné spojenie so zemou. Následný prúd môže spôsobiť zemné spojenie (v izolovaných sieťach) alebo skrat. Ich hlavnou úlohou je zaistiť koordináciu izolácie v uvažovanej rozvodnej sústave, a to sa dosiahne:

- vhodným rozdielom medzi izolačnou hladinou zariadenia a ochrannou hladinou (zapaľovacím napätím) vodiča prepätia,
- vhodným rozdielom medzi izolačnými hladinami zariadení rôznych typov,
- správnym rozmiestnením vodičov prepätí,
- opatreniami, ktoré obmedzia veľkosť prepätia.

Ochranné iskriská (*Obr. 7-6*) sa používajú len na hrubú, zálohovú ochranu pri prepätí. Montujú sa na priechodky, podperné izolátory alebo izolátorové reťazce ako ich ochrana proti poškodeniu priamym výbojom. Po prekročení zapaľovacieho napätia je impedancia daná malým odporom elektrického oblúku, ktorý horí medzi elektródami. Iskriskom tak prechádza následný prúd zo siete.



Obr. 7-6 Ochranné iskrisko.

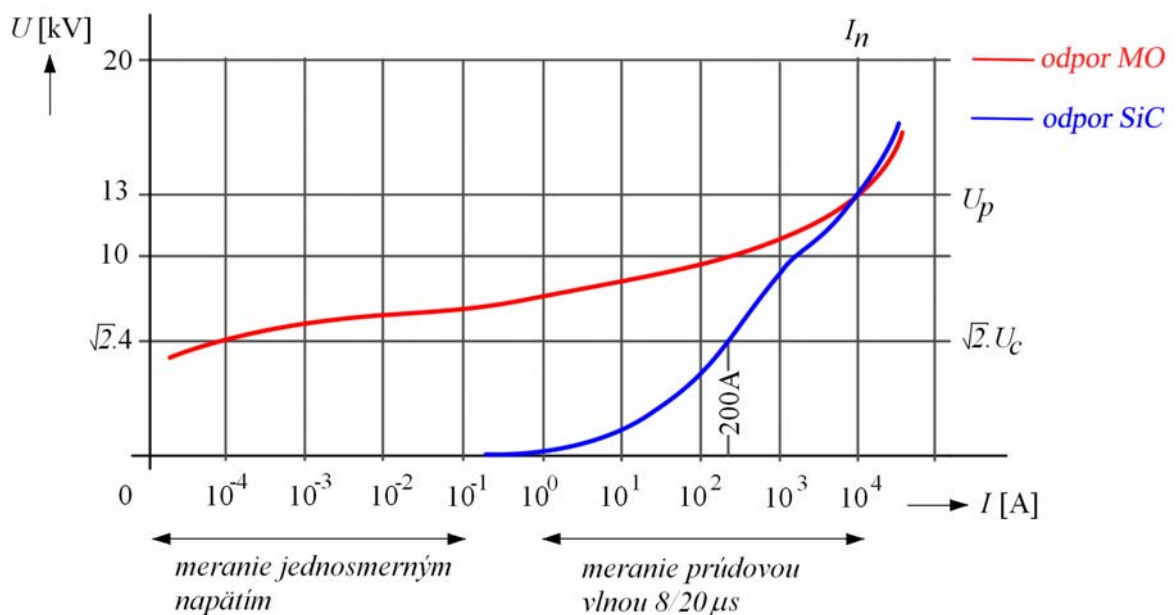
Dokonalejšie zvodiče prepätia z hľadiska stability zapalovacieho napätia a obmedzenia následného prúdu sú **ventilové bleskoistky**, ktoré sú postupne nahradzované **obmedzovačmi prepätia**.

Schopnosť ventilových bleskoistiek a obmedzovačov prepätia obmedziť následný prúd po odznení prepätia je určená napäťovo závislými odpormi, ktoré sú obvykle vyrobené z *karbidu kremíku SiC* alebo *oxidu zinočnatého ZnO*. Ich VA charakteristiky popisuje vzťah [10]

$$I = k.U^{\alpha} , \quad (7.3)$$

kde α nadobúda hodnôt 2–6 pre *SiC* a 20–50 pre *ZnO*, k odpovedá napäťovej úrovni, pre ktorú je zvodič určený.

Túto závislosť (7.3) zobrazuje Obr. 7-7 pre menovitý výbojový prúd I_n 10kA s efektívnou hodnotou prevádzkového napätia U_c 4kV. Ak je varistor *ZnO* zaťažovaný jednosmerným napätím predstavujúcim hodnotu $\sqrt{2} \cdot U_c$, prechádza ním jednosmerný prúd v rozsahu 0,1mA. Od hodnoty 1A je zaťažovaný prúdovou vlnou typu 8/20 μ s. Zvodič z oxidu kovu *MO* a zvodič z odporu *SiC* majú v tomto prípade rovnakú ochrannú úroveň U_p 13kV. Pre porovnanie, odpor *SiC* má výrazne menšiu nelinearitu, preto by zvodičom, ktorý je vyrobený zo *SiC* bez iskrísk, tiekol pri menovitom zaťažení trvalý prúd približne 200A.

Obr. 7-7 VA charakteristika odporov MO a SiC pre U_c 4kV [1].

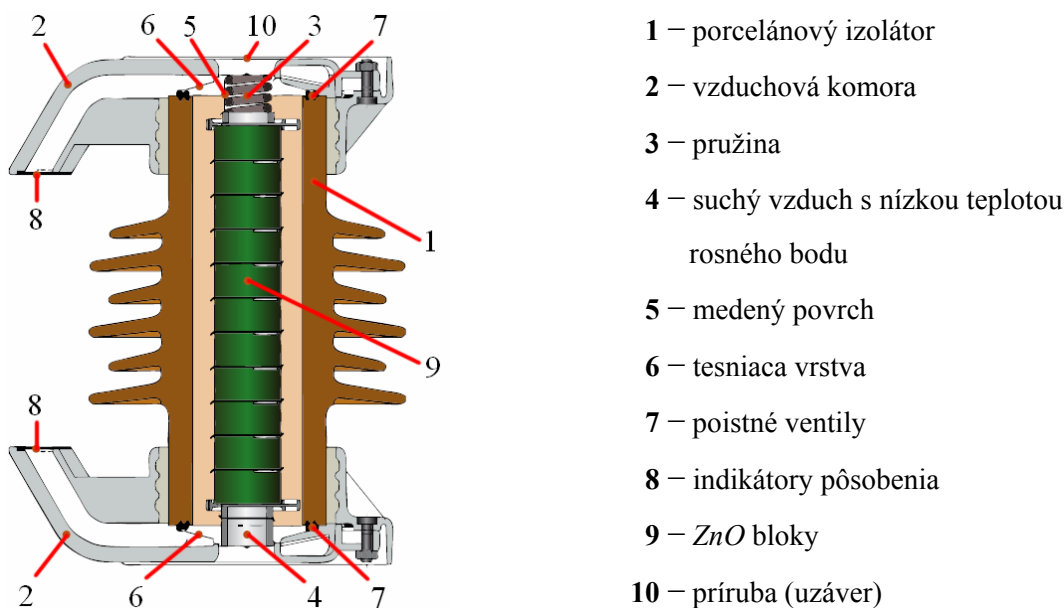
7.2.1 Ventilová bleskoistka

Je vyrobená z napäťovo závislých odporov z karbidu kremíku SiC , ktorý má potrebné vlastnosti pre obmedzenie prepätia, ale pri prevádzkovom napätí je jeho odpor pomerne malý. To znamená, že tečúci prúd by spôsobil veľké straty energie a tento zvodíčov by bol tepelne preťažovaný. Túto nevýhodu sa podarilo odstrániť tým, že bolo tomuto odporu do série priradené iskrisko, ktoré zaisťuje pri prevádzkovom napätí veľkú impedanciu zvodíča. Pri prepäťovej vlne sa iskrisko zapáli a pripojí tak odpor, ktorý obmedzí následný prúd produkovaný zo siete. Vďaka tomu oblúky medzi doskovými iskriskami zhasnú následne v okamžiku, keď napätie prechádza nulou. Zvodíče tejto konštrukcie dostali názov ventilové bleskoistky, alebo zvodíče prepätia s nelineárnymi odpormi a iskriskom.

Napätie, pri ktorom ventilová bleskoistka začína pôsobiť, je určené vlastnosťami iskriska. Jeho zapalovacie napätie závisí na strmosti prepätia. Bežne sa bleskoistky volia tak, aby vydržali namáhanie dočasnými prepätiami.

V sieťach rozsahu I (kap. 3.1), kde podľa [7] dĺžky vedení medzi bleskoistkami sú malé (pod 5km), sa používa bleskoistka u distribučného transformátora s menovitým výbojovým prúdom 5kA. Naopak bleskoistke s menovitým výbojovým prúdom 10kA sa dáva prednosť pri potrebe lepšej ochrany, no najmä v oblastiach s vysokou hustotou úderov blesku.

Druhým typom bleskoistky je zapojenie blokov ZnO paralelne s iskriskom (Obr. 7-8). Tieto zvodíče zapuzdrené v porceláne majú podobný princíp ako iskriskový zvodíčov SiC . Preťaženie spôsobí preraz alebo preskok odporu. V aktívnej časti zvodíča nasleduje oblúk. Skratový výkon siete určuje prúd samotného oblúku. Pokiaľ nie je skratový prúd siete vysoký, otvoria sa poistné ventily 7 (ionizovaný plyn spôsobí zvýšenie vnútorného tlaku) zvodíča skôr, než sa dosiahne tlaku, pri ktorom puzdro praskne. To však nie je možné vtedy, keď je prúd extrémne vysoký – hrozí explózia puzdra. Keďže sú komory 2 na oboch stranách otočené k sebe, výsledkom bude vonkajší oblúk – výboj. Zabránilo sa tak zničeniu zvodíča vysokým tlakom.



Obr. 7-8 Zvodíčov ZnO s porcelánovým izolátorom [2].

Zvodíče v porcelánovom puzdre majú podobné nevýhody ako zvodíče SiC . Patria medzi ne problémy s tesnosťou, deformácia pri blízkom údere blesku (až deštrukcia porcelánu).

Určitého zlepšenia však dosiahneme použitím vnútornej výstelky z umelej hmoty. Ak je zasiahnutý zvodíčov *MO* bleskom, tiež dôjde k preťaženiu. Určitý rozdiel medzi porcelánovým puzdrom a zvodíčov s výstelkou z umelej hmoty (ktorá je spojená s kotúčmi *ZnO*) je v tom, že sa preskok neoddelí tak, ako u zvodíčov *SiC* od siete iskrikom. Cez dráhu preskoku pri opätovnom zapnutí preteká zvýšený prúd zvodu. Zmenili sa tak vlastnosti zvodíčov. Okamih, kedy zvodíčov vypadne, je závislý na intenzite poškodenia [15]. To znamená, že stav preťaženia a stav výpadku je ťažko rozpoznateľný.

Trieda dlhotrvajúceho výboja bleskoistky je obvykle založená na odpovedajúcom napätí siete, v ktorej je pripojená, čo udáva *Tab. 7-5*.

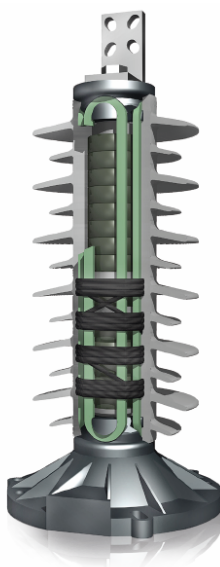
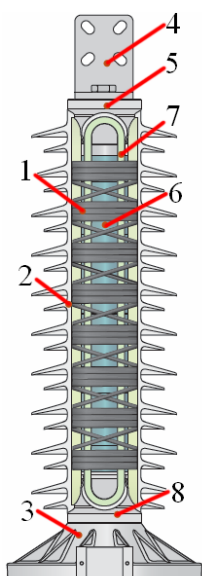
Trieda dlhotrvajúceho výboja	Rozsah najvyššieho napätia siete [kV]	Dĺžka vedenia [km]	Vlnová impedancia vedenia [Ω]	p.u. [kV]
1	245	300	450	3
2	300	300	400	2,6
3	420	360	350	2,6
4	525	420	325	2,4
5	765	480	300	2,2

Tab. 7-5 Trieda dlhotrvajúceho výboja a charakteristiky prenosových vedení [7].

Ochranné charakteristiky ventilových bleskoistiek [10] sú odvodzované od rázovej charakteristiky (napäťový impulz 1,2/50 μ s), a od závislosti zostatkového napätia na veľkosti výbojového prúdu – impulz 8/20 μ s.

7.2.2 Obmedzovač prepätia

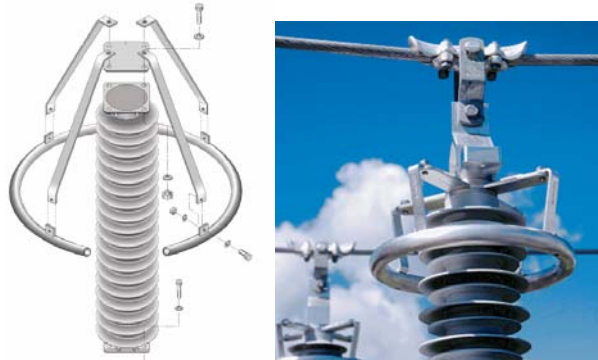
Konštrukcia obmedzovača (beziskrskovej *ZnO* bleskoistky) pozostáva z varistorových tabliet *MO*, ktoré sú mechanicky a elektricky spojené do série (*Obr. 7-9*). Ďalším znakom konštrukcie je homogénny obal zo sklenených vlákien zaliatych pryskyricou, ktorý prilieha k celému izolovanému povrchu diskov *ZnO*. Obmedzovač musí byť schopný absorbovať energiu injektovanú počas výboja, a obmedziť následný prúd.



- 1 – ochranné vinutie
- 2 – nalisované silikónové puzdro
- 3 – podstavec
- 4 – svorka pre fázový vodič
- 5 – koncové uchytenie
- 6 – *ZnO* bloky s vrstvou skla
- 7 – sklolaminátové prúty
- 8 – koncové uchytenie

Obr. 7-9 Modul *ZnO* obmedzovača v silikónovom puzdre [2].

Požadované zostatkové napätie U_{res} a menovité napätie U_r sú dané výškou palety, menovitý zvodový prúd je daný prierezom tabliet. Stĺpec týchto tabliet je inštalovaný v hermeticky utesnenom porcelánovom puzdre, alebo je izolovaný v silikóne. Ak sa na odporové stĺpce priloží trvalé prevádzkové napätie U_c , správajú sa ako kondenzátory. Rozptylová kapacita voči zemi u rôznych odporov má za následok to, že rozdelenie napätia pozdĺž osi stĺpca nie je lineárny. Nelineárnosť sa zväčšuje so zväčšujúcou sa dĺžkou stĺpca [1]. Preto sú vo vysokonapäťových MO zvodíchoch potrebné ochranné kruhy (*grading rings*), ktoré kompenzujú nepriaznivý vplyv rozptylovej kapacity a upravujú zapal'ovacie rázové napätie. Nie sú však potrebné pre zvodíče vn, nakoľko je stĺpec krátky. Konštrukcia ochranného kruhu je zobrazená na Obr. 7-10.



Obr. 7-10 Ochranný kruh zvodíča ZnO [2].

Veľkosť ZnO odporov je závislá aj na teplote. Dlhodobé zvýšenie napätia na obmedzovači spôsobí v dôsledku poklesu jeho odporu nárast prúdu, a tým aj vývin tepla. Ak nie je dostatočne odvádzané do okolia, spôsobí ďalší pokles odporu a opäť zvýšenie strát. Výsledkom je tepelná nestabilita, vedúca k zničeniu obmedzovača.

VA charakteristika obmedzovačov je meraná rôznymi spôsobmi (kap. 7.2). V časti, ktorá odpovedá prevádzkovým napätiam a dočasným prepätiam (prúdy do jednotiek ampér), sa meria pri jednosmernom alebo striedavom napätí. Krivka, ktorá odpovedá spínacím a atmosférickým prepätiam sa meria pomocou generátorov prúdových (4/10 alebo 8/20 μ s) a napäťových (1,2/50 μ s) impulzov [10].

Ochranné vlastnosti obmedzovačov možno rozdeliť na parametre charakterizujúce vlastnosti obmedzovača z hľadiska obmedzovania prepätia a parametre vyjadrujúce odolnosť voči preťaženiu. Musia byť schopné absorbovať energiu, vyvolanú prechodnými prepätiami v elektrizačnej sústave. Pri ochranných hladinách obmedzovača môže byť absorbovaná energia W [7] pri zapnutí alebo vypnutí vedenia

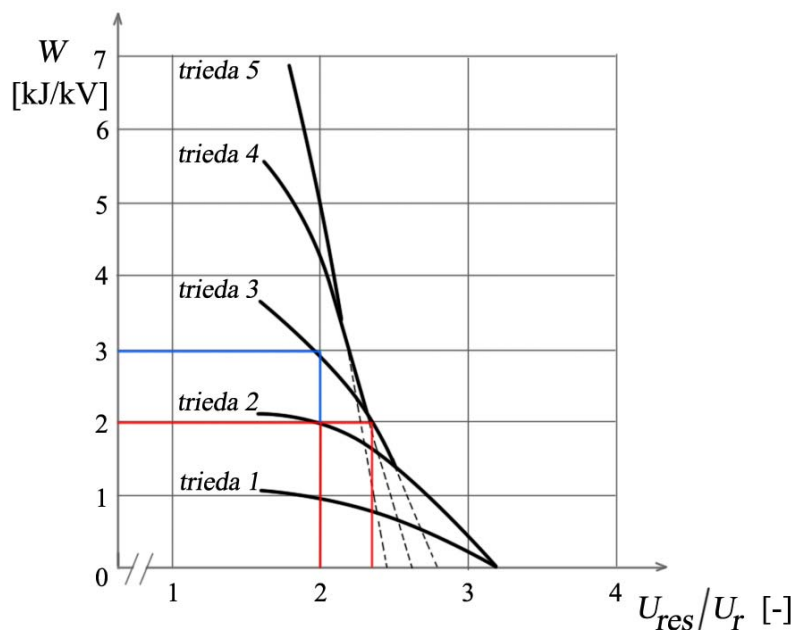
$$W = 2U_p \cdot (U_e - U_p) \cdot \frac{t}{Z_0} \quad [\text{kJ}; \text{kV}, \text{kV}, \text{kV}, \text{ms}, \Omega], \quad (7.4)$$

a pri spínaní kapacity alebo káblu rovná

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \left[(3U_c)^2 - (\sqrt{2}U_r)^2 \right] \quad [\text{J}; \mu\text{F}, \text{kV}, \text{kV}], \quad (7.5)$$

kde U_p je ochranná hladina obmedzovača, U_e amplitúda prepätia, t čas šírenia pozdĺž vedenia, Z_0 vlnová impedancia vedenia, C kapacita káblu alebo kondenzátora, U_c vrcholová hodnota fázového prevádzkového napätia, U_r menovité napätie obmedzovača.

Vysokonapäťové obmedzovače sú obvykle navrhnuté pre špecifickú **triedu vybitia vedenia** (*line discharge class – LD class*). Cieľom tejto klasifikácie je to, že vyššia trieda reprezentuje vyššiu schopnosť absorpcie energie (*energy absorption capability*) pre daný obmedzovač. To je pravda len v prípade, že pomer medzi spínacím impulzom zostatkového napätia k menovitému napätiu je približne 2-násobný. Ak je zostatkové napätie oveľa vyššie, trieda vybitia vedenia sa stane nepoužiteľná. Príkladom je Obr. 7-11, ktorý znázorňuje relatívne energie v kJ/kV menovitého napätia U_r pre rôzne triedy vybitia vedenia. Ak sú v obmedzovači použité rezistory, ktoré sú schopné absorbovať 2kJ/kV energie na výboj vedenia, obmedzovač má triedu vybitia vedenia 2 (červená čiara), čo v pomere predstavuje $U_{res}/U_r = 2$. Avšak, s tými istými MO rezistormi môže byť určený pre triedu vybitia vedenia 3 (modrá čiara), v pomere $U_{res}/U_r = 2,35$. Zdanlivo „lepší“ obmedzovač s triedou vybitia vedenia 3, môže byť pre určitú aplikáciu horším (ochranná úroveň je vyššia). Za účelom dosiahnutia triedy vybitia vedenia 3 pokiaľ je pomer $U_{res}/U_r = 2$, MO rezistory musia byť používané so schopnosťou absorpcie energie takmer 6kJ/kV (3kJ/kV na výboj), čo znamená ich väčšie priemery (Tab. 7-6). Odporúčané triedy vybitia vedenia vzhľadom na prevádzkové napätie dopĺňa Tab. 7-7.



Obr. 7-11 Špecifická energia kJ/kV (U_r) a trieda vybitia vedenia [11].

Trieda vybitia vedenia	Priemer MO rezistora [mm]
1 a 2	50
2 a 3	60
3 a 4	70
4 a 5	80
5 a väčšia	100 (príp. 2.70 paralelne)

Tab. 7-6 Približné priemery MO tabliet [11].

Trieda vybitia vedenia	Prevádzkové napätie siete [kV]
1	≤ 245
2	≤ 300
3	≤ 420
4	≤ 550
5	≤ 800

Tab. 7-7 Odporúčané triedy vybitia vedenia [11].

Z hľadiska puzdra vodiča, porcelán má trvalú mechanickú a dielektrickú pevnosť. Pri umelohmotných puzdrách musí byť mechanická pevnosť zaistená trubkou z umelej hmoty a zosilnená sklenenými vláknami, ktoré sú navinuté na kotúči ZnO . Uzatvorené trubky sa na určitých miestach zoslabia, aby sa umožnilo roztrhnutie pri preťažení [15].

Silikónový izolačný materiál vodiča je odolný voči znečisteniu najlepšie aj vďaka tomu, že odpudzuje vodu. Ak sú v prevádzke vystavené veľkému znečisteniu vzduchu, fungujú lepšie ako vodiče porcelánové. Pri znečistení izolácie vodiča je rozloženie napätia pozdĺž vonkajšieho povrchu nerovnomerné. Medzi tzv. striedkami môžu vznikáť čiastočné preskoky. Norma IEC 60815 rozlišuje 4 triedy znečistenia [15]:

- ľahké (*light*) – špecifická dĺžka plazivých prúdov 18 mm/kV (U_m),
- stredné (*medium*) – špecifická dĺžka plazivých prúdov 20 mm/kV (U_m),
- ťažké (*heavy*) – špecifická dĺžka plazivých prúdov 25 mm/kV (U_m),
- veľmi ťažké (*very heavy*) – špecifická dĺžka plazivých prúdov 31 mm/kV (U_m).

Nevýhodou vodičov v silikónovom puzdre je značná horľavosť silikonelastomeru a pri výpadku spôsobuje v sieti *vn* zemný prúd dlhší čas. Naopak výhodou oproti iskriskovým vodičom je to, že pri pôsobení *MO* vodičov vedú všetky stĺpce prúd súčasne. Zvádzaná energia prepätia je rozdelená na všetky paralelne zapojené vodiče.

Na záver konštrukčného vývoja vodiča sa uskutočňujú **typové a kusové skúšky**, ktorých výsledkom je skutočnosť, že daný vodič vyhovuje normám. Pre napäťovú hladinu *vn* ide o nasledovné typové skúšky [1]:

- skúška požadovaných prevádzkových parametrov – zistenie tepelnej stability vodiča,
- izolačná skúška puzdra – zistenie, či izolácia puzdra vodiča splňuje napäťové požiadavky,
- skúška zostatkového napätia – nepresiahnutie ochrannej úrovne vodiča,
- skúška odolnosti proti dlhodobým prúdovým rázom, a urýchlená skúška stárnutia,

a kusové skúšky:

- meranie referenčného napätia – čím vyššia hodnota referenčného napätia v danom rozsahu, tým väčšia je aj stabilita pri prevádzke siete,
- skúška tesnosti – pre porcelánové puzdrá, a skúška čiastočných výbojov.

Pre väčšinu obmedzovačov prepätia sú zaručené hodnoty U_c pre rozsah teplôt od -50°C do 45°C . Ak sa v ich blízkosti nachádzajú tepelné zdroje, je potrebné uvažovať aj s vyššou hodnotou U_c .

Obecne, vodiče v porcelánovom puzdre nemajú schopnosť plniť funkciu podperného izolátora, na rozdiel od vodičov silikónových. Maximálne prípustné momentové zaťaženie je udávané ako súčin prípustného zaťaženia a výšky vodiča. Dočasné zaťaženie vo funkcií záťažového momentu je väčšie ako trvalé prevádzkové zaťaženie.

8 PRÍKLADOVÁ ČASŤ

8.1 Vlnová impedancia, šírenie prepäťovej vlny

Prenosové vedenie na napäťovej hladine 220kV má dĺžku $a = 400\text{km}$ s parametrami $R_k = 0,1\Omega/\text{km}$ (rezistancia), $L_k = 1,26\text{mH}/\text{km}$ (indukčnosť), $C_k = 0,009\mu\text{F}/\text{km}$ (kapacita), $G_k = 0\text{S}$ (konduktancia). Vypočítajme vlnovú impedanciu Z_0 tohto vedenia, rýchlosť šírenia vlny v pri zanedbaní rezistancie vedenia a čas t , potrebný na šírenie vlny po vedení. Riešenie:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{L_k}{C_k}} = \sqrt{\frac{1,26 \cdot 10^{-3}}{0,009 \cdot 10^{-6}}} = 374,166\Omega \quad (8.1)$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{L_k \cdot C_k}} = \frac{1}{\sqrt{(1,26 \cdot 10^{-3}) \cdot (0,009 \cdot 10^{-6})}} = 2,97 \cdot 10^5 \text{ km/s} \quad (8.2)$$

$$t = \frac{a}{v} = \frac{400 \cdot 10^3}{2970 \cdot 10^3} = 1,346\text{ms} \quad (8.3)$$

8.2 Bezpečná oddeľovacia vzdialenosť s , ekvivalentná dĺžka l_1

Objekt rodinného domu s plochou o rozmeroch $x = 12\text{m}$, $y = 10\text{m}$ je zaradený do *LPL III* s usporiadaním zemničov typu A (každý zemnič spojený s jedným zvodom). Určíme oddeľovaciu vzdialenosť s medzi zvodom bleskozvodu a elektrickým silnoprúdovým zariadením, keď miesto s najbližším miestom vyrovnania potenciálu je $l = 10\text{m}$. Riešenie:

Minimálny počet zvodov pre usporiadanie zemniča typu A je $n = 2$. Potrebný počet zvodov n určíme ako podiel obvodu domu s danými rozmermi x , y ku vzdialenosti medzi zvodmi $a = 15\text{m}$ pre *LPL III* určenej z *Tab. 4-3* (kap. 4.2)

$$n = \frac{2 \cdot (x + y)}{a} = \frac{2 \cdot (12 + 10)}{15} = 2,93 \doteq 3, \quad (8.4)$$

keďže je objekt symetrický, použijeme $n = 4$.

Pre určenie bezpečnej oddeľovacej vzdialenosti s sú potrebné hodnoty koeficientov k_b , k_c a k_m . Z *Tab. 4-4* (kap. 4.2) pre *LPL III* $k_i = 0,05$, pre materiál izolácie betón $k_m = 0,5$. Veľkosť činiteľa k_c závisí na dĺžke zachytávacieho vedenia, výške príp. vzdialenosti kruhového zemniča a počte zvodov, teda $k_c = 0,44$. Potom bezpečná oddeľovacia vzdialenosť s je

$$s = k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} \cdot l = 0,05 \cdot \frac{0,44}{0,5} \cdot 10 = 0,44\text{m}. \quad (8.5)$$

V prípade, že sa jedná o objekt s usporiadaním zemniča typu B (jeden zemnič, spoločný pre všetky zvody) zistíme, či je potrebné inštalovať dodatočné horizontálne príp. vertikálne zemniče (ak zemnič nevyhovuje svojou dĺžkou, príp. zemným odporom, je potrebné doplniť ďalšie zemniče mimo objekt – pre každý zvod).

Plocha, tvorená základovým zemničom s rozmermi x, y musí byť rovná ekvivalentnej ploche o polomere R , pre ktorý platí

$$R = \sqrt{\frac{x \cdot y}{\pi}} = \sqrt{\frac{12 \cdot 10}{\pi}} \doteq 6,2m, \quad (8.6)$$

a nesmie byť menší než ekvivalentná dĺžka zemniča l_l pre LPL III z Obr. 4-5 (kap. 4.3). Po jej odčítaní je $l_l = 5m$. Keďže je $R > l_l$, nie je potrebné inštalovať dodatočné zemniče.

8.3 Výpočet ochrannej vzdialenosti L

Do distribučného vedenia napäťovej hladiny a) *vvn* b) *vn* udrie blesk. Vedenie je spojené s transformátorom 110/22kV s menovitým výkonom 40MVA (Obr. 8-2). Riešenie:

Pre ochranu transformátora na strane *vvn* použijeme obmedzovače prepätia typu *PEXLIM R*, na strane *vn* typu *HDA-MA*, ktorých katalógové údaje zobrazuje Príloha D.

a) obmedzovače *vvn*

Maximálnu hodnotu napätia medzi fázami na hladine 110kV predpokladáme $U_m = 123kV$. Obmedzovače budú zapojené medzi fázový vodič a zem, budú teda namáhané fázovým napätím (sieť účinne uzemnená – uzol transformátora spojený so zemou, skrat musí byť vypnutý v krátkom čase). Trvalé prevádzkové napätie U_c zvolíme podľa podmienky, aby maximálna hodnota napätia medzi fázami U_m podelená odmocninou z troch bola menšia ako U_c

$$U_c \geq \frac{U_m}{\sqrt{3}} = \frac{123 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} = 71kV. \quad (8.7)$$

Menovité napätie obmedzovača U_r pre krátkotrvajúce (vypínateľné) poruchy [2]

$$U_r \geq 0,72 \cdot U_m = 0,72 \cdot 123 \cdot 10^3 = 88,56kV. \quad (8.8)$$

To znamená, že možno zvoliť obmedzovače s $U_c \geq 71kV$ a $U_r \geq 88,56kV$.

Pre ochrannú úroveň obmedzovača U_p platí predpoklad z kap. 6.2 (Príloha D $U_c = 72kV$)

$$U_p = 3,25 \cdot U_c = 3,25 \cdot 72 = 234kV. \quad (8.9)$$

Základná impulzná izolačná hladina *BIL* (kap. 6.2) musí byť minimálne

$$BIL > 1,4 \cdot U_p = 1,4 \cdot 234 = 327,6kV. \quad (8.10)$$

Podľa [11] je $BIL = 550kV$.

Z Tab. 7-5 (kap. 7.2.1) určíme približnú vlnovú impedanciu vedenia Z_0 pre rozsah najvyššieho napätia siete 245kV, 450Ω . Z vyžadovanej hodnoty prúdu $I_n = 10kA$ a vlnovej impedancie vedenia Z_0 určíme strmosť napäťovej vlny S (na $1\mu s$), ktorá zasiahne vedenie

$$S = \frac{Z_0 \cdot I_n}{\mu s} = \frac{450 \cdot 10000}{1\mu s} = 4,5 \cdot 10^{12} V \cdot s^{-1}. \quad (8.11)$$

Potom môžeme určiť ochrannú vzdialenosť L vvn obmedzovača prepätia ako

$$L = \frac{v}{2.S} \cdot \left(\frac{BIL}{1,2} - U_p \right) = \frac{2,97 \cdot 10^8}{2,4,5 \cdot 10^{12}} \cdot \left(\frac{550 \cdot 10^3}{1,2} - 234 \cdot 10^3 \right) = 7,4m, \quad (8.12)$$

keď sme využili už vypočítanú rýchlosť šírenia vlny v vid' kap. 8.1.

Obmedzovač *PEXLIM R* má trvalé prevádzkové napätie $U_c = 72kV$. Pre predpokladané dočasné prepätie $U_{TOV} = 82kV$ určíme čas t , počas ktorého obmedzovač odolá prepätiu:

$$T(t) \geq \frac{U_{TOV}}{U_c} = \frac{80 \cdot 10^3}{72 \cdot 10^3} \doteq 1,12, \quad (8.13)$$

podľa *TOV* krivky pre *PEXLIM R* a $T(t) = 1,12$ (Príloha C) $t = 4s$.

b) obmedzovače vn

Maximálnu hodnotu napätia medzi fázami na hladine 22kV predpokladáme $U_m = 24kV$. Obmedzovače v sieti kompenzovanej, zapojené medzi fázový vodič a zem, sú pri poruche, ktorá môže trvať až niekoľko hodín (v závislosti na použitej kompenzačnej tlmivke), namáhané združeným napätím. Preto trvalé prevádzkové napätie U_c zvolíme podľa podmienky, aby maximálna hodnota napätia medzi fázami U_m bola menšia alebo rovná U_c

$$U_c \geq U_m = 24kV. \quad (8.14)$$

Pre ochrannú úroveň obmedzovača U_p platí predpoklad z kap. 6.2 (Príloha D $U_c = 24kV$)

$$U_p = 3,25 \cdot U_c = 3,25 \cdot 24 = 78kV. \quad (8.15)$$

Z *Tab. 6-1* (kap. 6.2) pre $U_m = 24kV$ odčítame základnú impulznú izolačnú hladinu $BIL = 125kV$. Strmosť napät'ovej vlny S a rýchlosť šírenia vlny v budeme predpokladať rovnakú, vid' vzťahy (8.11) a (8.2). Potom môžeme určiť ochrannú vzdialenosť L vvn obmedzovača prepätia

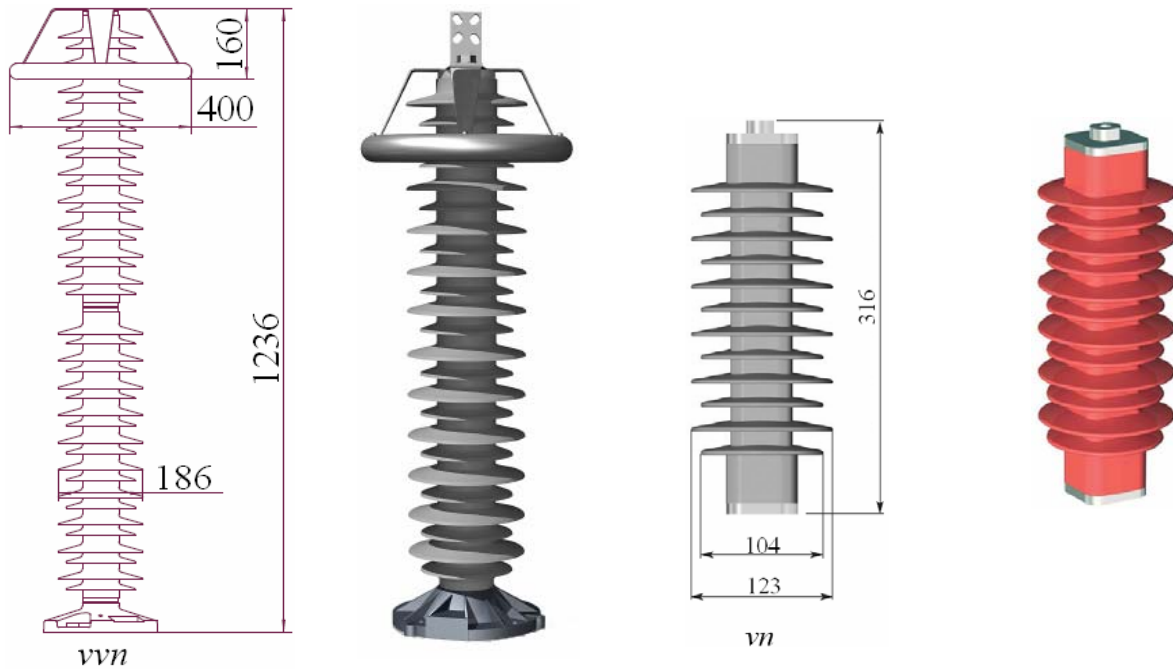
$$L = \frac{v}{2.S} \cdot \left(\frac{BIL}{1,2} - U_p \right) = \frac{2,97 \cdot 10^8}{2,4,5 \cdot 10^{12}} \cdot \left(\frac{125 \cdot 10^3}{1,2} - 78 \cdot 10^3 \right) = 0,86m. \quad (8.16)$$

Obmedzovač *HDA-MA* má trvalé prevádzkové napätie $U_c = 24kV$. Pre predpokladané dočasné prepätie $U_{TOV} = 31,5kV$ určíme čas t , počas ktorého obmedzovač odolá prepätiu:

$$T(t) \geq \frac{U_{TOV}}{U_c} = \frac{31,5 \cdot 10^3}{24 \cdot 10^3} = 1,31, \quad (8.17)$$

podľa *TOV* krivky pre *HDA-MA* a $U_{TOV}/U_c = 1,31$ (Príloha B) $t = 5000s$, čo je asi jedna hodina a 23 minút.

Z katalógov sú vybrané obmedzovače vvn a vn vid' *Obr. 8-1* a *Tab. 8-1*.



Obr. 8-1 Konštrukcia obmedzovačov PEXLIM R a HDA-MA [2], [17].

	vn	vvn
U_r [kV]	30	90
U_m [kV]	24	123
U_c [kV]	24	72
	zdužené	fázové
Hmotnosť [kg]	3,25	26
trieda vybitia LD	1	2
momentové zaťaženie [Nm]	350	1000



Tab. 8-1 Parametre PEXLIM R a HDA-MA.

Obr. 8-2 Rozvodňa Komárov 110/22kV, Brno.

9 ZÁVER

Elektrizačná sústava zahŕňa všetky silnoprúdové zariadenia slúžiace na výrobu elektrickej energie, na jej prenos a rozvod až po jednotlivé koncové spotrebiče. Izoláciu týchto zariadení namáha najmä prepätie atmosférické. Jeho vzniku nie je možné zabrániť, možno vytvoriť len systém ochrany, ktorý obmedzí nežiaduce účinky prepätí. Najčastejšou príčinou prevádzkových prepätí je zemné spojenie a zapnutie vedenia naprázdno.

Vonkajšiu ochranu pri účinku blesku zaisťuje bleskozvod. Vytvára vodivú cestu k zachyteniu a zvedeniu výboja blesku do zeme. V rozvodoch *nn* sa dopĺňa vnútornou ochranou v podobe zvodičov prepätia tried B, C a D. Ich zapojenie v sieti *TNC-S* je typu 3+1.

Dokonalejšie zvodiče prepätia v sieti vysokého napätia oproti ochranným iskriskám z hľadiska stability zapaľovacieho napätia a obmedzenia následného prúdu sú ventilové bleskoistky, ktoré sú postupne nahradzované obmedzovačmi prepätia. Výhodou týchto zvodičov z oxidu kovov je to, že nepotrebujú iskrisko. Prúd začína pretekať obmedzovačom skôr, než prepätie dosiahne hodnotu ochrannej úrovne. Preto znižujú prepätie skôr, než iskriskové zvodiče. Obmedzovače prepätia sú vhodné pre ochranu pri prepätí s pomalým čelom v sieťach s nižšími dočasnými prepätiami, zatiaľ čo bleskoistky pôsobia pri prepätiach s pomalým čelom iba po zapálení iskrísk (vodivé až po dosiahnutí ochrannej úrovne). Obmedzovače taktiež možno použiť pre obmedzenie prepätí, spôsobených zapnutím alebo vypnutím vedenia alebo zapnutím indukčného príp. kapacitného prúdu.

Pokiaľ čas trvania dočasného prepätia neprekročí určitú medzu, obmedzovače sú schopné mu odolávať. Možnosť zníženia ochrannej hladiny sa využíva v sieťach s priamo uzemneným uzlom, keďže čas trvania dočasných prepätí neprekročí niekoľko sekúnd. V sieťach, ktoré sú prevádzkované s uzlom neúčinne uzemneným, môže dočasné prepätie trvať aj niekoľko hodín. V tomto prípade je menovité napätie pre obmedzovač volené nad úrovňou dočasného prepätia. V porovnaní s ventilovou bleskoistkou sa zníženie ochrannej hladiny nedosiahne. Ďalšou výhodou obmedzovačov oproti ventilovým bleskoistkám je to, že pri kontrole stavu nie je nutné ich odpojenie od siete – kontrola je robená za prevádzky.

Zvodiče prepätia teda môžu prevziať funkciu bleskozvodu (k zvodu bleskového prúdu), obmedzovača (k obmedzeniu prepätia), absorbátora energie či ako prostriedok ku kordinácií izolačných hladín. Porovnanie používaných zvodičov prepätia nízkeho, vysokého a veľmi vysokého napätia uvádza ako príklad zhrňujúca *Tab. 9-1*.

	<i>nn</i>	<i>vn</i> (22kV)	<i>vvn</i> (110kV)
metóda návrhu ochrany	metóda ochranného uhlu	–	metóda bleskovej gule
	metóda bleskovej gule		
	mrežová sústava		
zapojenia zvodičov	<i>TN-S</i> : L1-N, L2-N, L3-N, N-PE	L1-zem, L2-zem, L3-zem L1-L2, L1-L3, L2-L3	L1-zem, L2-zem, L3-zem
triedy	B, C, D (LPZ)	1, 2, 3, 4, 5 (LD)	
typy použitých varistorov	ZnO, SiC		
puzdro zvodiča	plast	silikón, porcelán	

Tab. 9-1 Zhrňujúca tabuľka ochrán pred prepätím.

POUŽITÁ LITERATÚRA

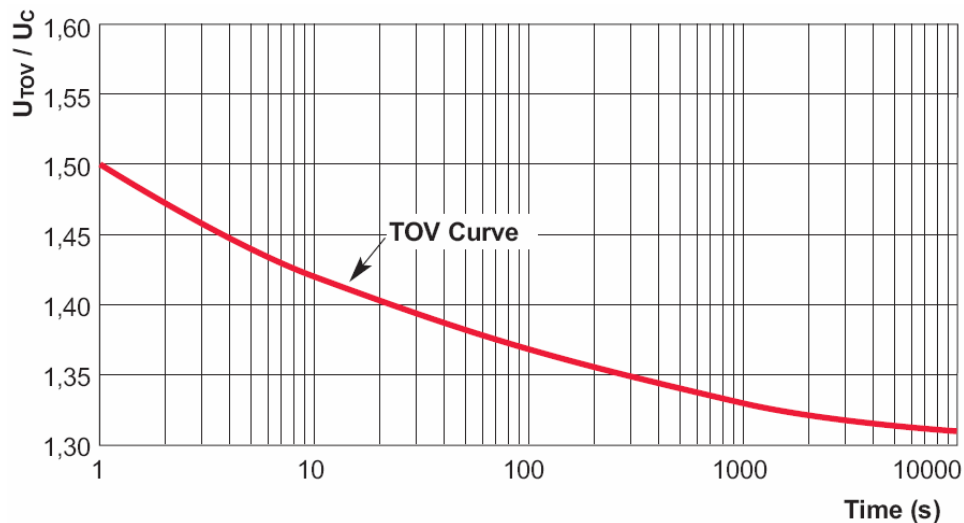
- [1] ABB HIGH VOLTAGE TECHNOLOGIES LTD, Division Surge Arresters. *Dimenzování, zkoušení a používání svodičů z oxidu kovů v sítích vysokého napětí*. Wettingen, Switzerland: ABB, 1995, 3. vyd. 55 strán.
- [2] ABB HIGH VOLTAGE TECHNOLOGIES LTD, Division Surge Arresters. *High Voltage Surge Arresters – Buyer’s Guide*. Wettingen, Switzerland: ABB, 08/2008. 51 strán. Dostupný z WWW: <<http://www.abb.com/product/cz/9AAC710009.aspx?country=00>>.
- [3] ABB HIGH VOLTAGE TECHNOLOGIES LTD, Division Surge Arresters. *Application Guidelines*. Wettingen, Switzerland : ABB, 02/2009, 4th rev. ed. 86 strán. Dostupné z WWW: <<http://www.abb.com/product/sk/9AAC30300290.aspx?country=SK>>.
- [4] BALÁK, R. PAUZA, J. *Elektroenergetika II*. Bratislava: Alfa, 1982, 1. vyd. 496 strán. 63-339-82.
- [5] BURANT, J. *Blesk a přepětí*. Praha: FCC Public s.r.o., 2006, 256 strán. ISBN 80-86534-10-3.
- [6] ČSN EN 60071-1 (33 0419). *Koordinace izolace – Část 1: Definice, principy a pravidla*. Praha: ČNI, 12/2006. 34 strán.
- [7] ČSN EN 60099-5 (35 4870). *Svodiče přepětí – Část 5: Doporučení pro volbu a použití*. Praha: ČNI, 05/1999. 44 strán.
- [8] DUDÁŠ, J. *Principy konstrukce a funkce varistorových svodičů přepětí*. ELEKTRO [online]. 05/2006, [cit. 2009-11-07]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26801>. ISSN 1210-0889.
- [9] HAKEL-TRADE. *Katalog 2009–2010*. Hradec Králové: HAKEL-TRADE s.r.o., 2009, 124 strán.
- [10] HASMAN, T. *Přepětí v elektroenergetických soustavách*. Praha: ČVUT, 2004, 2. vyd. 129 strán. ISBN 80-01-02952-2.
- [11] HINRICHSSEN, V. *Metal-Oxide Surge Arrester*. [Http://www.energy.siemens.com/entry/energy/hq/en/?tab=energy](http://www.energy.siemens.com/entry/energy/hq/en/?tab=energy) [online]. 2009, 1st edit. [cit. 2009-11-07]. Dostupný z WWW: <<http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/power-transmission/high-voltage-products/surge-arresters-and-limiters/aboutus/arrester-book-1400107.pdf>>.
- [12] HOLBA, J., ŘÍHA, J., KOČMAN, K. *Elektrické stroje a přístroje*. Bratislava: Alfa, 1991, 1. vyd. 520 strán. ISBN 80-05-00997-6.
- [13] HORÁK, K. *Elektroenergetika I*. Bratislava: Alfa, 1971, 1. vyd. 270 strán. 63-718-71.
- [14] HUDEC, J. *Přepětí a elektromagnetická kompatibilita*. Hradec Králové: HAKEL, 1996, 1. vyd. 229 strán. ISBN 80-902201-0-X.
- [15] KUBÍN, M. *Energetika – perspektivy – strategie – inovace*. Brno: Jihomoravská energetika a.s., 2003, 1. vyd. 540 strán.
- [16] MERA VÝ, J., KOČMAN, K. *Elektrotechnická spôsobilosť pre elektrikárov*. Trenčín: LIGHTNING – služby elektro, 2007, 2. vyd. 317 strán. ISBN 978-80-968509-3-8.
- [17] TYCO ELECTRONICS RAYCHEM GMBH, Energy Division. *Metal Oxide Surge Arresters for Distribution Networks up to 110kV – Catalogue 2010*. Munich, Germany: Tyco Electronics, 09/2009. 32 strán. Dostupný z WWW: <www.yerenergo.am/media/documents/tykoed/TEED_EN_3_10.pdf>.

Príloha A Triedy a tvary prepätí, normalizované tvary napätí a normalizované skúšky výdržným napätím [6]

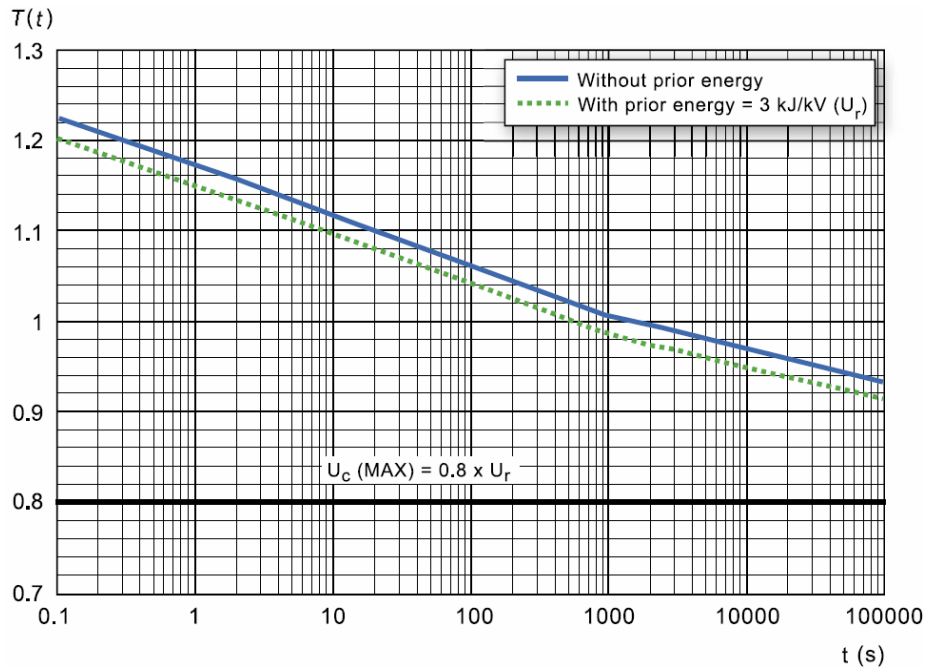
Trieda	S nízkym kmitočtom		Prechodné		
	Trvalé	Dočasné	S pomalým čelom	S rýchlym čelom	S veľmi rýchlym čelom
Tvary napätí alebo prepätí					
Rozsah tvarov napätí alebo prepätí	$f = 50 \text{ Hz}$ nebo 60 Hz $T_t \geq 3\,600 \text{ s}$	$10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $0,02 \text{ s} \leq T_t < 3\,600 \text{ s}$	$20 \mu\text{s} < T_p \leq 5\,000 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20 \text{ ms}$	$0,1 \mu\text{s} < T_1 \leq 20 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300 \mu\text{s}$	$T_t \leq 100 \text{ ns}$ $0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$
Normalizované tvary napätí	 $f = 50 \text{ Hz}$ nebo 60 Hz T_t^a	 $48 \text{ Hz} \leq f \leq 62 \text{ Hz}$ $T_t = 60 \text{ s}$	 $T_p = 250 \mu\text{s}$ $T_2 = 2\,500 \mu\text{s}$	 $T_1 = 1,2 \mu\text{s}$ $T_2 = 50 \mu\text{s}$	a
Normalizovaná skúška výdržným napätím	a	Skúška krátkodobým striedavým napätím	Skúška spínacím impulzom	Skúška atmosférickým impulzom	a

a Stanoví príslušná komisia pre zariadenie

Príloha B TOV krivka obmedzovača HDA-MA [17]



Príloha C TOV krivky obmedzovača PEXLIM R [2]



Príloha D Katalógové údaje obmedzovačov PEXLIM R a HDA-MA [2], [17]

Max. system voltage U_m kV _{rms}	Rated voltage U_r kV _{rms}	Max. continuous operating voltage		TOV capability		Max. residual voltage with current wave						
		as per IEC U_c kV _{rms}	as per ANSI/IEEE MCOV kV _{rms}	1 s kV _{rms}	10 s kV _{rms}	30/60 μ s			8/20 μ s			
						0.5 kA kV _{peak}	1 kA kV _{peak}	2 kA kV _{peak}	5 kA kV _{peak}	10 kA kV _{peak}	20 kA kV _{peak}	40 kA kV _{peak}
123 ••	90	72	72.0	103	99.0	186	193	202	220	234	262	299
	96	77	77.0	110	105	198	206	215	235	249	279	319
	102	78	82.6	117	112	210	218	229	250	265	296	339
	108	78	84.0	124	118	223	231	242	264	280	314	359
	120	78	98.0	138	132	247	257	269	294	311	349	398
	132	78	106	151	145	272	283	296	323	342	383	438
	138	78	111	158	151	284	295	309	338	358	401	458
	144	78	115	165	158	297	308	323	352	373	418	478

HDA-MA	U_c kV	U_r kV	Ures in kV when tested to impulse waveforms						
			Lightning (8/20 μ s)			Steep lightning (1/20 μ s)		Switching (30/60 μ s)	
			5kA	10kA	20kA	10kA	125A	500A	
HDA-03MA-xxx	3	3,7	9,3	9,9	10,9	10,2	7,4	7,9	
HDA-04MA-xxx	4	5,0	12,4	13,2	14,6	13,6	9,8	10,5	
HDA-06MA-xxx	6	7,5	18,6	19,8	21,8	20,4	14,8	15,7	
HDA-18MA-xxx	18	22,5	55,8	59,4	65,5	61,2	44,3	47,2	
HDA-20MA-xxx	20	25,0	62,0	66,0	72,8	68,0	49,2	52,4	
HDA-21MA-xxx	21	26,2	65,1	69,3	76,4	71,4	51,7	55,0	
HDA-24MA-xxx ••	24	30,0	74,4	79,2	87,4	81,6	59,0	62,9	