

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**

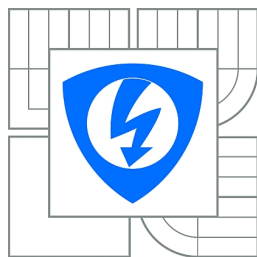
**NÁVRH SVODIČŮ PŘEPĚTÍ V ROZVÁDĚČI
VYSOKÉHO NAPĚTÍ V ZÁVISLOSTI NA
PARAMETRECH PŘIPOJENÉ ZÁTĚŽE**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE
AUTHOR**

ONDŘEJ NĚMEC

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Ondřej Němec

ID: 115244

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Návrh svodičů přepětí v rozváděči vysokého napětí v závislosti na parametrech připojené zátěže

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Typy sítí VN.
2. Připojení transformátoru, motoru a generátoru jako zátěž rozváděče VN.
3. Výpočty omezovačů přepětí pro různé případy zátěže rozváděče VN.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 26.5.2011

Vedoucí práce: doc. Ing. Ilona Lázníčková, Ph.D.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

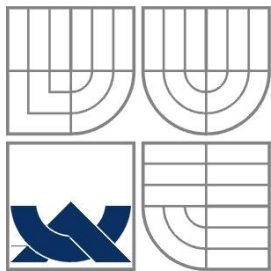
Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných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

Bibliografická citace práce:

NĚMEC, O. Návrh svodičů přepětí v rozváděči vysokého napětí v závislosti na parametrech připojené zátěže. Bakalářská práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2011, 51 stran.

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

Návrh svodičů přepětí v rozváděči vysokého napětí v závislosti na parametrech připojené zátěže

Ondřej Němec

vedoucí: doc. Ing. Ilona Lázníčková, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2011

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

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

Bachelor's Thesis

Design of surge arresters in medium voltage switchgear depending on parameters of connected load

by

Ondřej Němec

Supervisor: doc. Ing. Ilona Lázníčková, Ph.D.

Brno University of Technology, 2011

Brno

ABSTRAKT

Cílem práce je seznámit čtenáře s problematikou návrhu svodičů přepětí. První část práce popisuje problematiku přepětí.

V další části práce jsou popsány zkušební impulsy potřebné ke zkouškám svodičů přepětí.

Dalším tématem jsou rozváděče a svodiče přepětí ABB a jejich zkoušky.

V další části práce jsou popsány jednotlivé typy sítí podle typu uzemnění transformátoru.

Dalším bodem je pak aplikace svodiče přepětí, vzorce a výpočty pro síť, transformátory, generátory a motory.

Závěrem práce je zhodnocení celé problematiky svodičů přepětí.

KLÍČOVÁ SLOVA: svodič přepětí; přepětí; impuls; rozváděč; transformátor; generátor; motor

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to introduce the reader about the problems of design of surge arresters. The first part of this thesis describes problems of surge.

In the next part of this thesis are described test pulses needed to test surge arresters.

The next issues of this thesis are medium voltage switchgears and surge arresters ABB and their test.

In the next part of this thesis are described type of network according earthing of transformers.

The other point of this thesis are applications of surge arresters, figures and calculation for networks, generators, transformers and motors.

In the conclusion of this thesis is the appreciation of whole problems about surge arresters.

KEY WORDS: surge arrester; surge; puls; switchgear; transformer; generator; motor

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	12
1 ÚVOD	13
2 PŘEPĚTÍ.....	14
2.1 PŘEPĚTÍ OBECNĚ.....	14
2.2 ROZDĚLENÍ PŘEPĚTÍ.....	14
2.2.1 ROZDĚLENÍ PŘEPĚTÍ PODLE PŘÍČINY.....	14
2.2.2 ROZDĚLENÍ PŘEPĚTÍ PODLE ČASOVÉHO PRŮBĚHU	14
3 ZKUŠEBNÍ IMPULSY	15
3.1 ATMOSFÉRICKÝ IMPULS.....	15
3.2 PROUDOVÝ IMPULS	16
3.3 SPÍNACÍ IMPULS.....	17
4 ROZVÁDĚČE ABB	18
4.1 UniGear ZS1.....	18
4.1.1 POUŽITÍ	18
4.1.2 MAXIMÁLNÍ VÝDRŽNÉ PROUDY A NAPĚTÍ.....	19
4.1.3 ROZVÁDĚČ A JEHO ČÁSTI.....	19
5 SVODIČE PŘEPĚTÍ	21
5.1 OBECNĚ O SVODIČÍCH PŘEPĚTÍ.....	21
5.2 TECHNOLOGIE SVODIČŮ PŘEPĚTÍ.....	22
5.2.1 BLESKOJISTKY	22
5.2.2 OMEZOVAČE PŘEPĚTÍ	23
5.2.3 VÝHODY A NEVÝHODY OBOU ŘEŠENÍ.....	24
6 ABB OMEZOVAČE PŘEPĚTÍ.....	25
6.1 KONSTRUKCE OMEZOVAČŮ PŘEPĚTÍ ABB	25
6.2 OMEZOVAČE PŘEPĚTÍ ABB.....	27
6.3 DOBA OCHLAZENÍ	28
6.3.1 PŘÍPADY PŘETÍŽENÍ OMEZOVAČE PŘEPĚTÍ.....	28
6.3.2 OKOLNÍ TEPLOTA	29
6.4 STABILITA OMEZOVAČŮ PŘEPĚTÍ.....	29
7 ZKOUŠKY	30
7.1 TYPOVÉ ZKOUŠKY.....	30
7.2 KUSOVÉ ZKOUŠKY	31
7.3 PŘEJÍMACÍ ZKOUŠKY.....	31
7.4 SPECIÁLNÍ ZKOUŠKY.....	32

8 TYPY SÍTÍ.....	33
8.1 SÍŤE IZOLOVANÉ (IT).....	33
8.2 SÍŤE KOMPENZOVANÉ.....	33
8.3 SÍŤE ÚČINNĚ UZEMNĚNÉ (TN).....	34
8.4 SÍŤE UZEMNĚNÉ PŘES REZISTENCI (TT)	35
9 OCHRANNÉ CHARAKTERISTIKY SVODIČŮ PŘEPĚTÍ.....	36
9.1 OCHRANNÁ HLADINA SVODIČE PŘEPĚTÍ	36
9.2 DOČASNÁ PŘEPĚTÍ	36
9.3 OCHRANNÁ VZDÁLENOST SVODIČŮ PŘEPĚTÍ	37
9.3.1 IZOLAČNÍ HLADINA SVODIČŮ PŘEPĚTÍ.....	37
9.3.2 NÁVRH OCHRANNÉ VZDÁLENOSTI.....	38
9.3.3 STANOVENÍ VELIKOSTI STRMOSTI S.....	39
10 APLIKACE OMEZOVAČŮ PŘEPĚTÍ.....	40
10.1 SÍŤE S IZOLOVANÝM STŘEDEM A SÍŤE KOMPENZOVANÉ	40
10.2 SÍŤE S PŘÍMO UZEMNĚNÝM STŘEDEM A SE STŘEDEM UZEMNĚNÝM PŘES REZISTANCI	40
10.3 OCHRANA V KABELOVÝCH ÚSECÍCH	41
10.4 TRANSFORMÁTORY PŘIPOJENÉ NA VEDENÍ	42
10.4.1 PŘECHODOVÝ JEV PŘI PŘIPÍNÁNÍ TRANSFORMÁTORU	43
10.4.2 PŘECHODOVÝ DĚJ PŘI VYPÍNÁNÍ.....	44
10.5 OCHRANA GENERÁTORŮ	47
10.5.1 PŘECHODOVÝ JEV PŘI FÁZOVÁNÍ DO SÍŤE	47
10.5.2 PŘECHODOVÝ JEV PŘI VYPÍNÁNÍ.....	47
10.6 OCHRANA MOTORŮ PŘIPOJENÝCH NA VEDENÍ	47
10.6.1 PŘECHODOVÝ JEV PŘI ZAPÍNÁNÍ.....	47
10.6.2 PŘECHODOVÝ JEV PŘI VYPÍNÁNÍ.....	48
11 ZÁVĚR.....	49
POUŽITÁ LITERATURA	51

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3-1 Atmosférický impuls.....	15
Obr. 3-2 Proudový impuls	16
Obr. 3-3 Spínací impuls.....	17
Obr. 4-1 Rozváděč UniGear ZSI	18
Obr. 4-2 Části rozváděče.....	20
Obr. 5-1 Princip činnosti svodiče přepětí	21
Obr. 5-2 Charakteristika svodiče přepětí.....	24
Obr 6-1 Odporové bloky.....	25
Obr 6-2 Aktivní část omezovače ABB.....	26
Obr. 6-3 Omezovače přepětí MWK/MWD	28
Obr. 6-4 Teplotní stabilita omezovače přepětí	29
Obr. 8-1 Sít izolovaná v ustáleném stavu	33
Obr. 8-2 Izolovaná síť se zemním spojením	33
Obr. 8-3 Kompenzovaná síť se zemním spojením	34
Obr. 8-4 Jednofázový zkrat v síti s přímo uzemněným uzlem.....	34
Obr. 10-1 Schéma sítě s transformátorem.....	42
Obr. 10-2 Transformátor.....	44
Obr. 10-3 Přejídný děj při vypínání transformátoru	46
Obr. 10-4 Průběhy napětí na kontaktech jednotlivých fází	46

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 4-1 Dovolené klimatické podmínky při provozu rozváděče.....</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 4-2 Napěťové a proudové charakteristiky rozváděče.....</i>	<i>19</i>
<i>Tab. 6-1 Souvislost mezi průměrem bloku a svedeném proudu.....</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 6-2 Omezovače přepětí pro síť VN.....</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 9-1 Hodnoty BIL a U_p v závislosti na připojené hladině napětí.....</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 10-1 Max. dovolená délka kabelových sekcí.....</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 10.2 – Max. dovolená vzdálenost mezi koncovkou kabelu a transformátorem.....</i>	<i>43</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

C_G	Kapacita generátoru	F
C_T	Kapacita transformátoru	F
f	Frekvence	Hz
f_T	Frekvence obvodu chodu naprázdno	Hz
I	Proud	A
I_{US}	Proud v době useknutí	A
L	Ochranná vzdálenost	H
L_T	Indukčnost transformátoru	H
S	Strmost	$V \cdot \mu s^{-1}$
T_1	Doba čela	s
T_2	Doba půltýlu	s
U_C	Trvalé provozní napětí omezovače	V
U_m	Jmenovité napětí sítě	V
U_P	Ochranná hladina svodiče přepětí	V
U_{TOV}	Dočasné přepětí	V
v	Rychlost přepětěové vlny	$m \cdot \mu s^{-1}$
Z_1	Impedance zdroje	Ω
Z_2	Impedance spotřebiče	Ω
Z_P	Impedance svodiče přepětí	Ω

1 ÚVOD

Elektrickou energii využíváme dnes a denně a ve spoustě aplikací si bez ní nedokážeme představit život. Elektřina je soubor elektrostatických a elektrodynamických jevů. V prvopočátku všeho byly pozorovány silové účinky statické elektřiny. Mezi prvními byly silové účinky vznikající díky tření izolantů. Elektrická energie se však postupem čas vyvíjela a po jejím samotném objevení nic nebránilo tomu, aby vznikly první elektrárny v 90. letech 19. století. Zprvu byly s okolím spojeny jen jednoduchým, zpravidla stejnosměrným vedením, postupem času, zvláště po Teslových zásluhách, byly objeveny mnohem výhodnější účinky střídavého přenosu.

Dnes tedy elektrárny vyrábějí střídavé napětí a proud o hodnotách napětí do 25 kV, které se transformují zpravidla na hodnoty 400 kV a rozvádějí se tak do okolí. Z této přenosové soustavy se následně transformují na hodnoty 110 kV, do tzv. distribuční soustavy a tak dále až do hodnoty 6 kV pro některé průmyslové podniky a 230/400 V pro domácnosti.

Výroba, distribuce i přenos jsou důležité aspekty pro zajištění dodávek elektrické energie ke koncovým uživatelům, a proto se musí dbát zvýšené opatrnosti a předcházet možným poruchám vedoucím až k ukončení dodávky. Zvláště nebezpečné může být přepětí, které vzniká v důsledku spínacích pochodů nebo úderu blesku. Je nutné energetická zařízení proti těmto vlivům ochránit, k čemuž slouží svodiče přepětí, které zde budou probírány a diskutovány.

Práce je členěna do 8 kapitol. Druhá kapitola se zabývá problematikou přepětí. Je zde vysvětleno rozdělení přepětí podle příčiny, ale i podle časového průběhu. Třetí kapitola je věnována problematice zkušebních impulsů. Tyto jsou dále rozděleny na atmosférické impulsy, spínací impulsy a proudové impulsy. Čtvrtá kapitola se obecně zabývá rozváděči vysokého napětí, jejich napěťovým a proudovým nárokům a jejich jednotlivým částem. Pátá kapitola je o problematice svodičů přepětí, jak z hlediska historického, tak i novodobého, jejich technologie, jejich rozdíly a výhody jednotlivých řešení. Šestá kapitola je zaměřena na omezovače přepětí firmy ABB, jejich konstrukci a výrobní technologii. Sedmá kapitola popisuje jednotlivé zkoušky a normy, kterým musejí omezovače projít, aby byly vpuštěny do ostrého provozu. Osmá kapitola je věnována typům sítí z hlediska uzemnění uzlu transformátoru. V deváté kapitole jsou vysvětleny některé důležité pojmy jako ochranná hladina, ochranná vzdálenost a jiné. Poslední desátá kapitola obsahuje příklady a výpočty omezovačů přepětí v praxi.

2 PŘEPĚTÍ

2.1 Přepětí obecně

Přepětí je obecně taková hodnota napětí v trojfázových střídavých soustavách mezi fázemi nebo mezi fázemi a zemí, která překračuje hodnotu jmenovité amplitudy napětí.

2.2 Rozdělení přepětí

2.2.1 Rozdělení přepětí podle příčiny

Podle příčiny dělíme přepětí následovně:

- vnější (atmosférické) přepětí,
- vnitřní (provozní) přepětí.

Zatímco vnější přepětí, jak název napovídá, vzniká vně elektroenergetické soustavy, tak vnitřní vzniká uvnitř. Zásadní rozdíl je v příčině. Vnější přepětí je v zásadě způsobeno úderem blesku. Vnitřní přepětí je způsobeno spínáním.

2.2.2 Rozdělení přepětí podle časového průběhu

Podle časového průběhu přepětí dělíme na:

- trvalé přepětí,
- dočasné přepětí,
- přechodné přepětí,
- kombinované přepětí.

Trvalé přepětí může vzniknout například díky nesprávnému nastavení přepínače odboček na transformátoru, vyznačuje se konstantní efektivní hodnotou a frekvencí 50 Hz.

Dočasné přepětí může například vzniknout díky jednofázovému zemnímu spojení v soustavě s izolovaným uzlem nebo odlehčení zátěže, doba trvání je mezi 0,1 sekundami až několika hodinami. Nepředstavuje sice velké nebezpečí pro síť, ale je rozhodující pro dimenzování svodičů přepětí.

Přechodné přepětí může vzniknout díky spínání kondenzátorových baterií, ale obecně mají mnoho příčin, odezní však po nějaké době samy a není tedy potřeba zásah zvenčí, doba trvání je několik milisekund i méně a mají oscilační nebo impulzní průběh. Přechodná přepětí můžeme dále ještě dělit podle délky čela na přepětí s dlouhým čelem, s krátkým čelem a s velmi krátkým čelem.

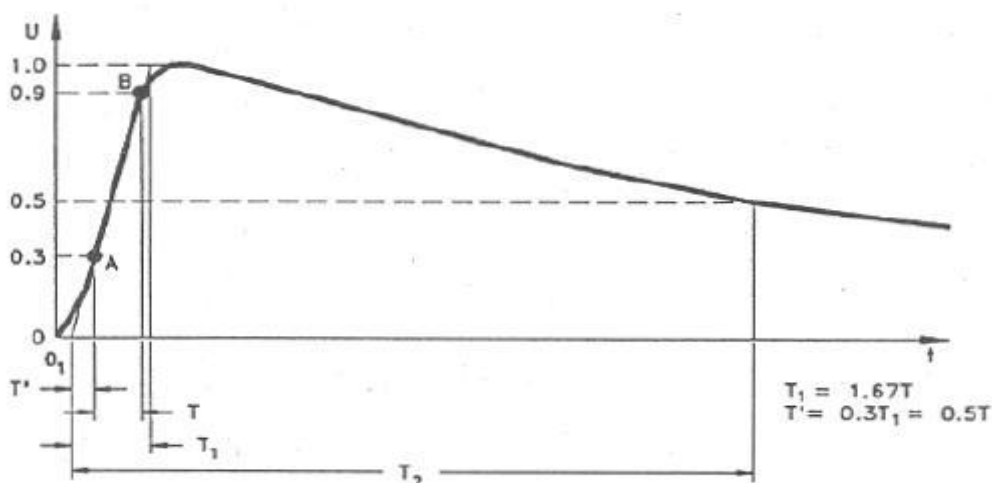
Svodiče přepětí, stejně jako další součásti rozvodu, mají za úkol bezchybně pracovat při připojených provozních napětích. V případě výskytu přepětí má svodič za úkol reagovat a ochránit tak zbytek zařízení, protože i krátkodobé působení vyšších hodnot napětí a proudů může mít za následek nenávratné zničení některých součástí.

Impuls je tedy účelově přiložené aperiodické přechodné napětí nebo proud [3]. Impuls se definuje pomocí dvou parametrů. Prvním z nich je doba čela, druhý pak doba půltýlu. Podle prvního zmiňovaného pak dělíme na impulsy na atmosférické a spínací. Atmosférickými nazýváme všechny ty, které mají dobu čela do 20 μs , ostatní nazýváme spínacími.

Na Obr. 3-1 [3] vyznačená doba T_1 je dobou čela, je to parametr, který se rovná velikostně 1,67 násobku hodnot impulsu mezi jeho 30 % a 90 % vrcholové hodnoty (zkráceně 1,67 T).

Pokud bychom se bavili o atmosférických impulsech přerušených průrazným napětím, pak by musely být definovány další parametry jako doba useknutí apod.

Nedůležitější druh atmosférického impulsu označujeme jako normalizovaný atmosférický impuls a má hodnotu $1,2/50 \mu\text{s}$, tedy dobu čela $1,2 \mu\text{s}$ a dobu půltýlu $50 \mu\text{s}$.



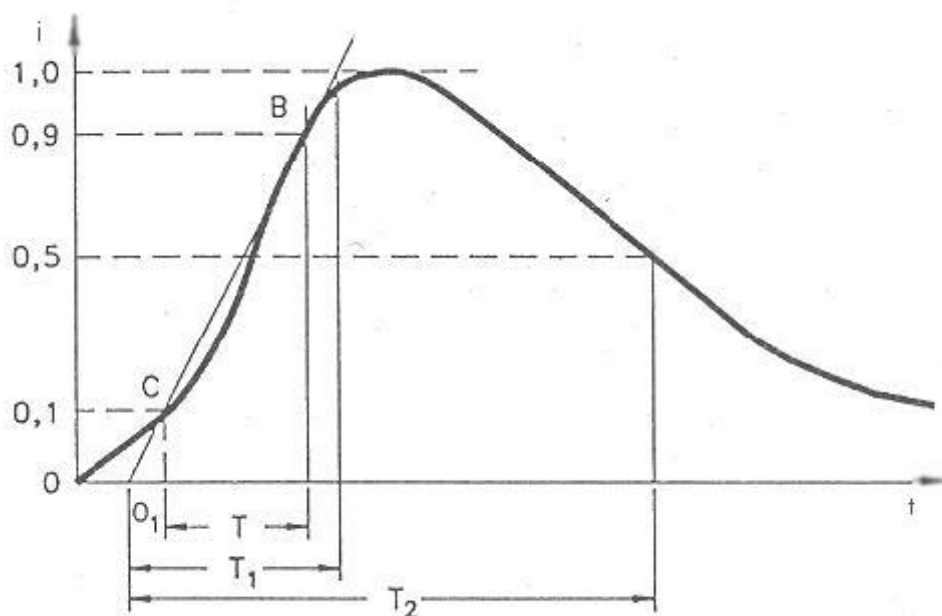
Obr. 3-1 Atmosférický impuls

3.2 Proudový impuls

Rozeznáváme dva druhy proudových impulsů:

- exponenciální proudový impuls,
- pravoúhlý proudový impuls.

Zabývat se zde budeme jen prvním jmenovaným impulsem, tedy impulsem rychle narůstajícím do vrcholové hodnoty a následným klesáním, zpravidla exponenciálním, k nule.



Obr. 3-2 Proudový impuls

Na Obr. 3-2 [3] zobrazený proudový impuls má dobu čela T_1 definovanou jako 1,25 násobek doby mezi 10 % a 90 % vrcholové hodnoty ($1,25 T$).

Doba půltýlu je doba mezi skutečným počátkem O_1 a dobou kdy proud dosáhne 50 % své vrcholové hodnoty, podobně jako u atmosférického impulsu.

Zatímco u atmosférického impulsu se používá výhradně jeden normalizovaný tvar, tak u proudových impulsů jsou čtyři, a to:

- impuls 1/20,
- impuls 4/10,
- impuls 8/20,
- impuls 30/80.

3.3 Spínací impuls

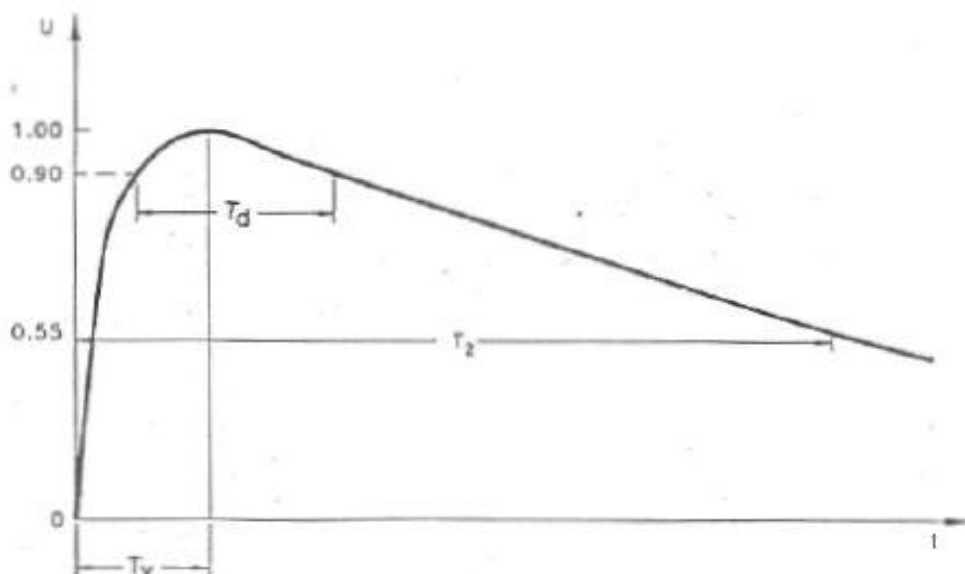
Na Obr. 3-3 [3] zobrazený spínací impuls je popsán těmito parametry:

Doba vrcholu T_v je doba mezi počátkem a časem, kdy impuls dosáhl vrcholové hodnoty.

Doba půltýlu T_2 je interval mezi počátkem a časem poklesu impulsu na polovinu své vrcholové hodnoty.

Hodnota T_d vyjadřuje dobu, kdy impuls přesahuje 90 % své vrcholové hodnoty.

Normalizovaný spínací impuls je 250/2500 μs , kdy 250 μs je doba do vrcholu T_v a 2500 μs je pak doba půltýlu.



Obr. 3-3 Spínací impuls

4 ROZVÁDĚČE ABB

Rozváděče se v poslední době velmi rozšířily a v budoucnu se počítá s tím, že tento trend bude pokračovat. Skříňové rozváděče se vyvinuly z původních kobkových rozvodů. Díky svým menším rozměrům a schopnosti chránit obsluhu uzemněným krytem bránícím nežádoucímu dotyku je možné tato zařízení umisťovat do centra spotřeby elektrické energie.

Firma ABB nabízí široké portfolio rozváděčů vysokého napětí od rozváděčů do vnitřních prostor přes dvojité systémy přípojníc až po některé námořní aplikace. Souhrnně jsou tyto rozváděče označovány obchodním názvem UniGear s příslušným typovým označením konkrétního rozváděče.

4.1 UniGear ZS1

4.1.1 Použití

Tento typ rozváděče zobrazený na Obr. 4-1 [4] má široké pole použití. Využití najde ve službách, v nákupních střediscích nebo nemocnicích, v dopravě na letištích, na železnici a v přístavech, v průmyslu v továrnách na výrobu různých komodit nebo v samotných rozvodných závodech a elektrárnách, popřípadě i v námořní oblasti.



Obr. 4-1 Rozváděč UniGear ZS1

Správné fungování rozváděče je zaručeno, pokud jsou klimatické podmínky v mezích zobrazených v tabulce Tab. 4-1 [4].

Tab. 4-1 Dovolené klimatické podmínky při provozu rozváděče

Minimální teplota okolního vzduchu	-5 °C
Maximální teplota okolního vzduchu	40 °C
Maximální relativní vlhkost	95 %
Maximální nadmořská výška	1000 m

4.1.2 Maximální výdržné proudy a napětí

Rozváděč snese následující proudy a napětí zobrazené v tabulce Tab. 4-2 [4].

Tab. 4-2 Napěťové a proudové charakteristiky rozváděče

Napěťové charakteristiky

Jmenovité napětí	[kV]	7,2	12	17,5	25
Jmenovité krátkodobé výdržné střídavé napětí po dobu 1 min	[kV]	20	28	38	50
Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém impulsu	[kV]	60	75	95	125

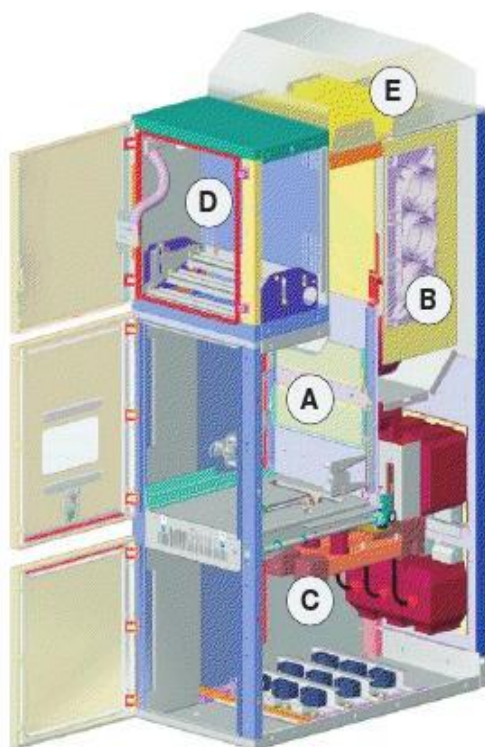
Proudové charakteristiky

Jmenovitý proud hlavních přípojníc	[kA]	4	4	4	2,5
Jmenovitý dynamický proud	[kA]	125	125	100	63
Jmenovitý krátkodobý výdržný proud po dobu 3 s	[kA]	50	50	40	25
Výdržný proud při vnitřním obloukovém zkratu po dobu 1 s	[kA]	40	40	40	25
Výdržný proud při vnitřním obloukovém zkratu po dobu 0,5s	[kA]	50	50	-	-

4.1.3 Rozváděč a jeho části

Rozváděč se skládá obecně z pěti částí zobrazených na Obr. 4-2 [4]. Patří sem tři silové oddíly. Část přístrojová na obrázku naznačená písmenem A, část přípojnícová označená písmenem B a část přívodní označená C. Dále je zde pomocný oddíl označený jako D, část uložení kabeláže a přístrojů. Oddíl E je kanál, který slouží k odvedení plynů vytvořených obloukem u rozváděčů odolných proti vnitřním obloukovým zkratům.

Přípojnícová část obsahuje hlavní přípojnice, které jsou jako oddíl po celé délce rozváděče. Přípojnice jsou ploché, a to tehdy, pokud jsou určeny pro proudy do 2500 A, pro větší proudy, zpravidla v rozsahu 3150 až 4000 A, jsou vytvořeny pomocí speciálních měděných profilů. Odbočky jsou v přívodním oddílu, kde tvoří celý systém. Na rozdíl od hlavních přípojníc jsou pro celou řadu proudů tvořeny jen plochými přípojnícemi. Pro zajištění bezpečnosti prochází celým rozváděčem uzemňovací přípojnice. Každý oddíl nebo přímo přípojnícový systém v daném oddíle může být vybaven uzemňovačem. Ten se ovládá z přední strany rozváděče ručně nebo motorovým pohonem. V přístrojové části jsou izolační průchodky obsahující pevné kontakty k připojení přístroje k přípojnícovému oddílu nebo k oddílu přívodu.



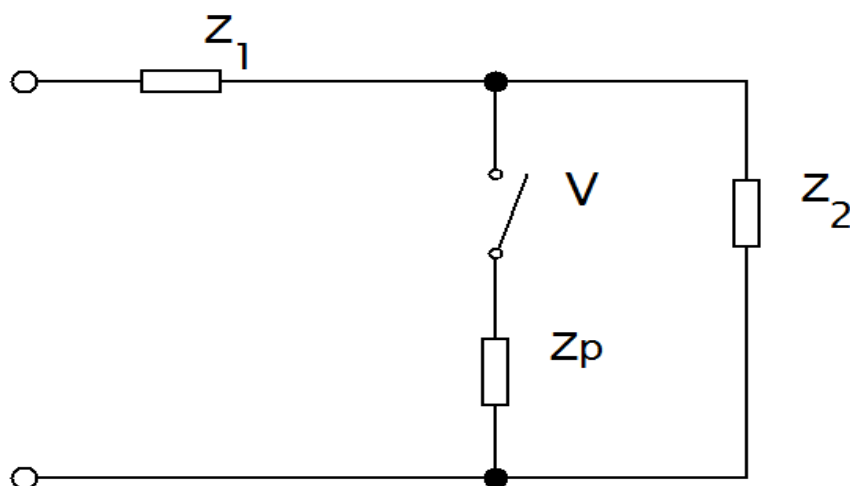
Obr. 4-2 Části rozváděče

5 SVODIČE PŘEPĚTÍ

5.1 Obecně o svodičích přepětí

Svodič přepětí má za úkol ochránit připojená zařízení před účinky přepětí, které by se mohly z různých příčin objevit v síti. K takto chráněnému objektu se připojují paralelně. Jeho princip spočívá ve změně impedance s rostoucím přiloženým napětím. Svodičů přepětí se v historii objevilo několik druhů, některé se do dneška pořád používají, jiné už spíše dožívají, jejich základní princip je pořád stejný. Liší se však způsob, jak tohoto výsledku docílí.

Princip práce svodiče přepětí kopíruje princip činnosti obvodu na Obr. 5-1 [1]. Svodič přepětí je reprezentován vypínačem V v sérii s impedancí Z_p . Impedance Z_1 je impedance zdroje a Z_2 impedance chráněného zařízení na který je svodič, jak již bylo řečeno výše, připojen paralelně. V případě rozepnutého vypínače se na chráněném zařízení nevyskytuje přepětí a svodič má velkou impedanci, sepnutý vypínač je důsledkem vzniku přepětí.



Obr. 5-1 Princip činnosti svodiče přepětí

Proud svodičem v sepnutém stavu vypočítáme podle [1] vztahem:

$$I_p = \frac{U}{Z_p + (Z_1 \cdot Z_2)/(Z_1 + Z_2)} = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_p \cdot Z_1 + Z_p \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_2} \cdot U. \quad (5.1)$$

Napětí je pak dáno vztahem podle [1] vztahem:

$$U_p = I_p \cdot Z_p = \frac{Z_p \cdot (Z_1 + Z_2)}{Z_p \cdot Z_1 + Z_p \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_2} \cdot U. \quad (5.2)$$

Napětí svodiče je tedy dáno nejen impedancí samotného svodiče (Z_P), ale i impedancí zdroje (Z_1) a chráněného zařízení (Z_2). O detailnějším principu práce omezovačů přepětí eventuelním rozdělení je pojednáno níže.

Schopnost omezovačů přepětí omezovat proud po odeznění přepětí je dána použitím odporů, které jsou napětově závislé. Jsou převážně vyrobeny z karbidu křemíku SiC nebo oxidu zinečnatého ZnO. Volt-ampérové charakteristiky omezovačů přepětí s použitím ZnO, ale i SiC popisuje vztah podle [1]:

$$I = k \cdot U^\alpha. \quad (5.3)$$

Exponent α nabývá různých hodnot podle materiálu, z kterého jsou vyrobeny odporové prvky konkrétního svodiče přepětí. Karbid křemíku má konstantu α v rozmezí 2 až 6 a oxid zinečnatý 20 až 50. Velikost konstanty k odpovídá napětové úrovni, pro kterou je svodič určen.

5.2 Technologie svodičů přepětí

5.2.1 Bleskojistky

Bleskojistky jsou tzv. „konvenční“ svodiče přepětí a patří mezi nejjednodušší svodiče přepětí. Existuje jich celá řada druhů, některé se již dnes nepoužívají a zbytek spíše dožívá, my si popíšeme nejmodernější ventilové bleskojistky. Skládají ze dvou hlavních jiskřišť, magnetické cívky s pomocným jiskřištěm, omezovacího odporu, který je napětově závislý a stabilizačních odporů, které jsou umístěny paralelně k celému systému jiskřišť. Jiskřiště zde plní úlohu oddělovacího prvku. Je předraženo odporům a v případě, že napětí připojené na svorky bleskojistky má hodnotu jmenovitého napětí dané sítě, pro kterou je bleskojistka konstruována, využíváme jeho velké impedance. Bez jiskřiště by odpor rezistorů vyrobených z karbidu křemíku byl příliš malý a protékající proud by zbytečně působil problémy z hlediska ztrát a tepelného zatížení. Při vyšším napětí než je v dané síti dovolené se obě jiskřiště zapálí a rezistory tak připojí. Dojde taktéž k nárůstu proudu procházejícího přes cívku. Napětí vzniklé nárůstem proudu na cívce vyvolá zapálení pomocného jiskřiště a tím dojde k vyřazení cívky. Její impedance se po svedení přepětí sníží, oblouk na pomocném jiskřišti zhasne a cívka se zpátky zařadí do obvodu. Její magnetické pole však dále působí na oblouky na hlavních jiskřištích a vytlačuje je do zhášecích komor a dochází tak k postupnému zhášení. Paralelní odpory slouží k rovnoměrnému rozložení napětí na jiskřištích a stabilizaci zapalovacího napětí.

Vlastnosti jiskřiště předurčují, při jakém napětí začne bleskojistka působit. Zapalovací napětí závisí do určité míry taky na strmosti napětí.

Vzhledem k závislosti bleskojistek na charakteru přepětí se musí při popisu vlastností vycházet z výsledků jejich zkoušek určitými průběhy proudu a napětí. Vlastnosti jiskřiště jsou popisovány pomocí rázové charakteristiky. Díky této charakteristice jsme schopni odvodit jmenovité zapalovací napětí bleskojistky při atmosférickém impulsu. Úbytek napětí vyvolaný průchodem proudu charakterizuje hodnotu zbytkového napětí bleskojistky a zjišťuje se pomocí proudového impulsu 8/20, který prochází bleskojistikou po její aktivaci. Výbojový proud je

vrcholová hodnota impulsu 8/20 a většinou je dán nějakou hodnotou z definované řady. Pro správný výběr bleskojistky na konkrétní napěťovou hladinu je potřeba znát hodnotu jmenovitého napětí bleskojistky. Toto efektivní napětí je nejvyšší, na které je bleskojistka ještě konstruována.

Ventilové bleskojistky se používají částečně i dnes, ale jsou masivně nahrazovány moderními omezovači přepětí bez jiskřišť.

Firma ABB už bleskojistky nemontuje od poloviny 80-tých let. Je však možné mít v jedné instalaci v provozu jak svodiče s jiskřišti, tak i bez. Dokonce není ani podmínkou mít stejný typ svodičů ve všech třech fázích.

5.2.2 Omezovače přepětí

Omezovače přepětí jsou svodiče přepětí s nelineárními odpory z oxidů kovů. Nelineární odpory prošly vývojem a dnešní trend je použití oxidu zinečnatého, který zvyšuje exponent α ve výrazu (5.3) na hodnotu 20 až 50. Díky tomuto řešení tedy odpadá použití jiskřišť, což je jejich největší výhoda. Je však potřeba zmínit fakt, že takto vyrobené odpory z oxidu zinečnatého jsou závislé nejen napěťově, ale i teplotně opět v důsledku zvýšeného napětí a tím souvisejícím poklesem odporu, který zapříčiňuje nárůst proudu a tím tedy i související teploty. Parametry popisující omezovač přepětí jsou dvojího druhu. Jedná se o odolnost omezovače přepětí vůči přetížení a pak také obecně jeho schopnost omezovat vzniklé přepětí.

Ochranné vlastnosti omezovačů přepětí jsou odvozeny od velikostí zbytkových napětí při zkouškách různými impulsy s různými parametry:

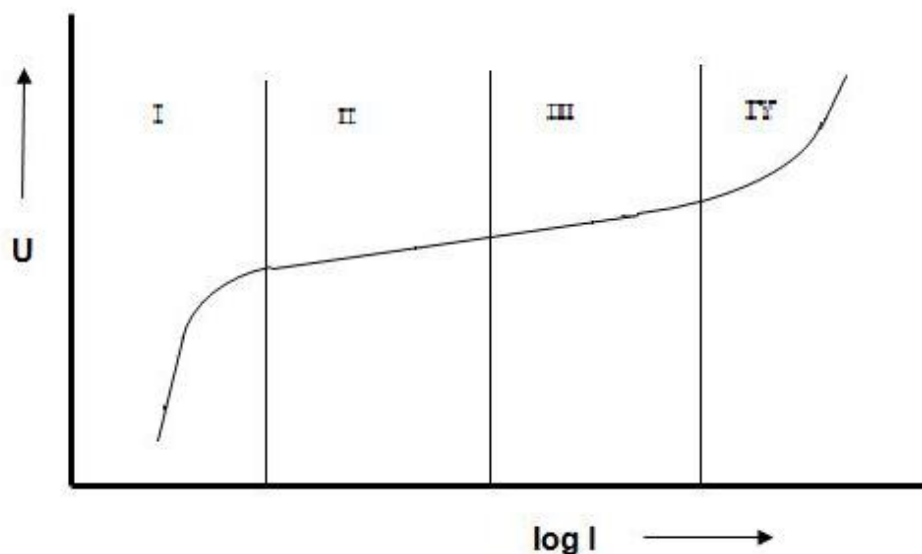
- impulz proudu 1/20 μs ,
- impulz proudu 8/20 μs ,
- spínací impulz proudu s dobou čela v rozmezí od 30 do 100 μs a dobou půltýlu v hodnotě dvojnásobku doby čela.

Oproti bleskojisktkám zde tedy zkoumáme podrobně zbytková napětí, ale už se nezabýváme žádnou rázovou charakteristikou, právě kvůli chybějícímu jiskřišti.

Pro návrh omezovače přepětí uvažujeme tyto parametry:

1. Trvalé provozní napětí omezovače – označujeme jako U_C , je to nejvyšší efektivní hodnota napětí síťové frekvence, která může být trvale připojena na svorky omezovače.
2. Jmenovité napětí omezovače – označujeme jako U_R , je to nejvyšší efektivní hodnota napětí síťové frekvence, pro kterou je omezovač konstruován, aby zapůsobil správně v případě dočasného přepětí. Napětí je také definováno jako to, které působí na svodič 10 s po předchozím namáhání. Bývá o něco málo vyšší jak U_C .

Obr. 5-2 [1] naznačuje skutečnou V-A charakteristiku omezovače přepětí. Tato charakteristika je zcela záměrně rozdělena do 4 částí díky nekonstantnosti činitele α ve výrazu (5.3). První část je oblast působení trvalého provozního napětí, činitel α zde nabývá hodnot 2 až 4, proud 2 mA. Druhá část je oblast působení dočasných přepětí, průměrně zde exponent α nabývá hodnot 15 až 25, proud 2 A. Ve třetí části se vyskytují spínací přepětí, α je zde v rozmezí 15 až 25, proud do 2 kA. Čtvrtá část je oblast výskytu atmosférických přepětí, α je zde 7 až 10 a proudy se zde vyskytují větší jak 2 kA.



Obr. 5-2 Charakteristika svodiče přepětí

Tvar jednotlivých částí této V-A charakteristiky je dán specifickým měřením pro každou část zvlášť. Části, kde působí provozní napětí nebo dočasné přepětí, tedy oblasti průtoku proudu do hodnoty jednotek ampér, používáme pro měření stejnosměrného i střídavého napětí. Pro oblasti působení spínacího nebo atmosférického přepětí se křivka měří pomocí impulzů.

5.2.3 Výhody a nevýhody obou řešení

Výhody a nevýhody omezovačů přepětí a bleskojistik jsou:

- omezovače přepětí nepotřebují žádné jiskřiště, tím odpadne většina poruch objevující se u bleskojistik,
- chybějící jiskřiště je u omezovačů přepětí nahrazeno větším počtem odporových bloků,
- omezovače přepětí omezují přepětí dříve než bleskojistky,
- u sítí VVN musí jmenovité napětí bleskojistky ležet vždy nad velikostí dočasných přepětí, u omezovačů přepětí může být trvalé provozní napětí níž, a tudíž se docílí snížené ochranné hladiny. U sítí VN, kde je doba dočasného přepětí několikanásobná, se tyto rozdíly stírají,
- při kontrole stavu se svodiče nemusí odpojovat od sítě,
- v případě paralelní kombinace bleskojistik zapálí vždy jen jedna, ta sníží napětí a nedojde tak k zapálení ostatních,
- omezovače přepětí mají vyšší odolnost vůči znečištění.

6 ABB OMEZOVAČE PŘEPĚTÍ

6.1 Konstrukce omezovačů přepětí ABB

V kapitole 5.2.2 byl obecně popsán princip činnosti omezovače přepětí. V této kapitole se však zaměříme už konkrétně na omezovače přepětí ABB. Omezovače přepětí se skládají ze dvou částí, a to části aktivní a pasivní.

Aktivní část je složena z jednoho nebo více odporových bloků oxidů kovů. Tyto bloky jsou slisovány z oxidů kovů v práškové podobě do tvaru kruhových odporů (Obr. 6-1 [2]). U omezovačů pro VN je průměr bloků mezi 38 mm až 75 mm a výška dosahuje mezi 23 mm a 46 mm. Průměr je důležitý pro procházející proud, kdy určuje jeho přenosovou kapacitu, výška zase určuje provozní napětí v ustáleném stavu a kapacitu energetické absorpce. Samotný sloupec odporových bloků se chová jako kondenzátor připojený na U_C . Kapacita každého bloku vůči zemi způsobuje zvlnění napětí U_C . Tato nelinearita se zvyšuje úměrně se zvyšujícím se sloupcem odporových bloků. U omezovačů přepětí pro VN je počet bloků relativně malý a tedy i nelinearita napětí U_C je malá a dá se zanedbat. U omezovačů v sítích VVN se však tato problematika již musí řešit, a to díky stínícím kruhům.

Kontaktní plochy odporových bloků jsou až po okraj pokoveny hliníkem, z boční strany jsou pokryty sklem za účelem zapouzdrazení a částečné izolace od nepříznivých vlivů.



Obr 6-1 Odporové bloky

V Tab. 6-1 je zobrazeno, jak spolu souvisí průměr bloku a svedený proud [2].

Tab. 6-1 Souvislost mezi průměrem bloku a svedeném proudu

Průměr bloku [mm]	38	47	62	75
Pravoúhlá vlna 2000 μ s [A]	250	550	1000	1350

Pasivní část je tvořena izolačním pláštěm, který odolává vnějšímu mechanickému působení a kompletně izoluje celý omezovač. Izolační plášť je především z polymeru, toto uspořádání je především výhodnější z hlediska zvýšení provozní účinnosti a nižší ochranné hladině při strmých přepětích. U venkovních omezovačů má také význam velká odolnost proti znečištění.

Další materiál, používaný jako izolační, je silikonový kaučuk, který se aplikuje už na sestavu omezovače metodou odlévání.

Silikon poskytne omezovači tyto vlastnosti:

- prevence vzniku zuhelnatělých vodivých drah a vysoká odolnost proti znečištění povrchu,
- vodoodpudivost.

Tři odlišné možnosti konstrukce omezovače přepětí:

- sklolaminátová trubka pokrytá izolačním materiálem – při znečištění mohou vznikat vnitřní výboje, potřebují systém uvolňování přetlaku a utěsnění,
- aktivní část obalena skelnou tkaninou, která je napuštěná pryskyřicí, čímž vznikne tuhý blok. Na tento blok je navlečen izolační plášť. Při přetížení hrozí roztržení, díky několika druhům materiálů taky hrozí možnost špatného utěsnění,
- aktivní část je dohromady svázána pomocí smyček nebo pásků ze skelné tkaniny. Na ní je pak nalisován izolační plášť. Díky tomuto uspořádání by uvnitř neměl vzniknout žádný volný prostor a omezovač by měl tedy dokonale těsnit. Nemůže proto nastat exploze ani vniknutí vlhkosti. Svodiče ABB jsou zhotoveny výhradně tímto způsobem. Toto řešení je na Obr. 6-2 [2].



Obr 6-2 Aktivní část omezovače ABB

6.2 Omezovače přepětí ABB

Firma ABB nabízí rozsáhlé portfolio modelů omezovačů přepětí pro různé napěťové hladiny, provozní potřeby a druhy chráněného zařízení. Všechny tyto omezovače přepětí jsou vyráběny na stejném principu. Skládají se ze dvou částí, které jsou k sobě připevněny dvěma nebo více skleněnými vlákny. Výsledkem je tvrdá kostra, která je velice dobře mechanicky odolná. V rámci této klece jsou nainstalovány odporové bloky. Přídavné kovové bloky stejné velikosti jako odporové bloky vyplňují zbývající vnitřní části a vzniká tak rovnoměrná kulatá aktivní část. Kontaktní tlak je zajištěn pomocí pružin. Aktivní část je ve formě zapečetěna silikonem. Takovýto omezovač přepětí tedy nemá uvnitř žádné vzduchové části.

Tab. 6-2 naznačuje nejpoužívanější typy omezovačů přepětí pro síť VN [2].

Tab. 6-2 Omezovače přepětí pro síť VN

Typ omezovače přepětí	I_n [kA]	U_p/U_c	Vysoký proud [kA]	E/U_c [kJ/kV]
POLIM-DN	5	3,33	65	2,6
POLIM-D	10	3,5	100	3,6
POLIM-DA	10	3,33	100	3,5
MWK/MWD	10	3,07	100	5,5
POLIM-I	10	3,07	100	5,5
POLIM-S	10	3	100	9
POLIM-H	20	3,19	100	13,3

Omezovače přepětí jsou různé konstrukce, která záleží mimo jiné taky na místě použití. Na Obr. 6.3 [2] jsou znázorněny tři různé možnosti použití omezovače přepětí MWK/MWD. Je to úplně vlevo umístěný MWK s prodlouženou povrchovou cestou, uprostřed MWK pro vnější použití a vpravo MWD pro vnitřní použití, který se montuje výhradně do rozváděčů.



Obr. 6-3 Omezovače přepětí MVK/MWD

6.3 Doba ochlazení

Omezovače přepětí mohou v systému pracovat spolehlivě jen tehdy, pokud jejich energetická absorpce je větší než očekávané energetické namáhání v systému, do kterého je připojen. V případě vícenásobného přepětí, kdy tato přepětí jdou po sobě, je energie kumulována v omezovači. Když však energie dosáhne určité kritické hodnoty, omezovač přepětí musí mít čas na ochlazení. Nezbytná doba ochlazení pro omezovače přepětí závisí na konstrukci, přikládaném napětí a teplotě okolí. V nejnepríznivějším případě při teplotě okolí 45 °C a napětí U_C je ochlazovací čas mezi dvěma působeními energetického namáhání u omezovačů typu MWD asi 60 min. Vzhledem k této době však omezovač stále vyhovuje, protože je krajně nepravděpodobné, že by během této ochlazovací doby přišel další silný výboj svou energií srovnatelný nebo vyšší než předchozí.

6.3.1 Případy přetížení omezovače přepětí

Přetížení omezovače přepětí nastane tehdy, pokud energie dosáhne určité kritické hodnoty. Toto vzniká v důsledku vysokého proudu výboje, velkého počtu opakovaných výbojů nebo v případě zkratu mezi soustavami o různých napěťových úrovních. Díky tomuto přetížení může nastat přeskok nebo průraz odporových bloků. Proud ve vzniklém oblouku omezovače přepětí je dán zkratovým výkonem sítě. U svodičů s porcelánovým izolátorem, pokud je zkratový proud sítě velký, může toto vést až k roztržení v důsledku enormního nárůstu tlaku v omezovači.

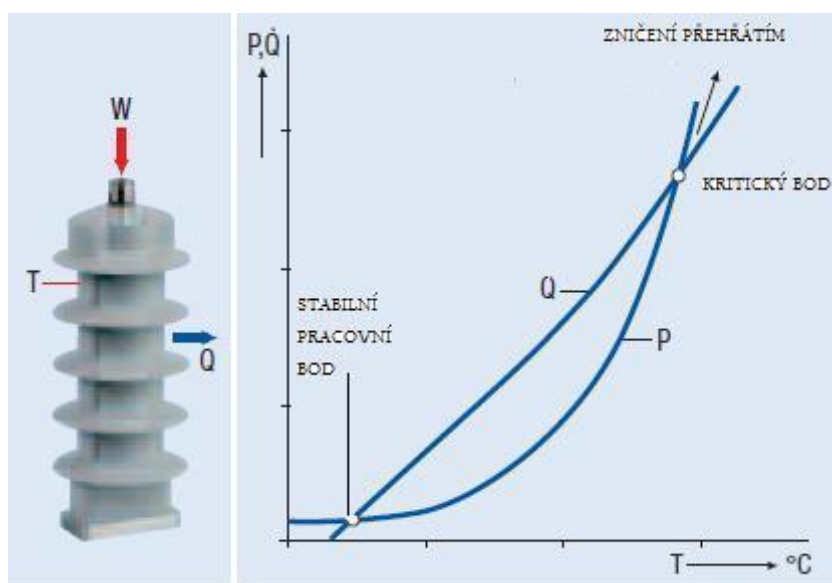
U modernějších omezovačů se silikonovým polymerovým pláštěm k roztržení nemůže dojít, protože uvnitř soustavy nejsou žádné vzduchové mezery, kde by došlo k nárůstu tlaku. U těchto svodičů se naopak v plášti objeví otvory, důsledkem toho vznikne externí oblouk.

6.3.2 Okolní teplota

Hodnoty pro U_C garantované výrobcem jsou platné až do 45 °C. V případě dalších okolních zdrojů tepla se musí i tyto vzít v úvahu. Hodnota U_C , v případě překročení 45 °C, musí být zvýšena o 2 % pro každých 5 % zvýšení teploty.

6.4 Stabilita omezovačů přepětí

Pojem stabilita omezovače přepětí zahrnuje především výkonové ztráty na omezovači přepětí při přiloženém napětí U_C . Výkon P exponenciálně vzrůstá s rostoucí teplotou odporových bloků. Aktivní část se postupně otepluje. Tokem tepla Q je naopak dáno ochlazování odporových bloků směrem k povrchu omezovače. Pokud výkonové ztráty svou hodnotou převyšují možnosti odtoku tepla Q , tedy chlazení aktivní části, pak není chlazení dostatečně účinné, odporové bloky se dále zahřívají a může dojít až ke zničení. Díky možnostem konstrukce hlavně v oblasti velikosti omezovače přepětí a díky správnému dimenzování omezovačů přepětí je možné tento kritický bod, kdy $P > Q$, určit na takovou hodnotu, které by i při nejkritičtějších podmínkách neměl omezovač přepětí dosáhnout. Tuto problematiku znázorňuje Obr. 6-4 [2].



Obr. 6-4 Teplotní stabilita omezovače přepětí

7 ZKOUŠKY

Omezovače přepětí z dílny ABB vyhovují svými parametry mezinárodním doporučením (IEC), které jsou v platnosti od roku 1998. Stejně tak vyhovují normám americkým (ANSI), které se s těmi mezinárodními shodují.

Zkoušky jsou prováděny:

- typové,
- kusové,
- přejímací.

Pro používání v provozu je samozřejmě nezbytné těmto normám vyhovovat, navíc jsou dále prováděny zkoušky nad rámec těchto norem a doporučení. Jsou to tzv. speciální zkoušky.

7.1 Typové zkoušky

Vývoj omezovače přepětí zpravidla končí vykonáním typové zkoušky. Typové zkoušky jsou garancí toho, že omezovač přepětí je schopen pracovat v našem případě v soustavě VN a zároveň odpovídá předepsaným normám. Testy se opakují jenom tehdy, pokud změny konstrukce zapříčiní změny vlastností nebo charakteristik. Jsou to:

Izolační výdržné zkoušky pláště omezovače přepětí – zajišťují fakt, že vnější izolace vyhovuje napěťovým nárokům omezovače přepětí.

Zkoušky zbytkového napětí – garantují fakt, že ochranná hladina nepřekračuje udávané parametry.

Zkoušky odolnosti proti dlouhému impulsu proudu – zaručují odolnost odporových bloků proti přeskočení nebo třeba roztrhnutí. Každý test má 18 impulsů, které jsou rozděleny do 6 skupin po 3 impulsích. Časové rozpětí mezi impulsy skupiny je od 50 do 60 sekund. Mezitím dochází k ochlazení na pokojovou teplotu. Provádí se na jednotlivých odporových blocích.

Zrychlená zkouška stárnutí – odporové bloky jsou zatíženy po dobu 1000 hodin teplotou 115 °C a vyšším napětím jak je U_C , přičemž se zkoumají ztráty, které mohou stoupat v průběhu doby životnosti. Ztráty výkonu pozorované během této zrychlené zkoušky stárnutí vlastně popisují ztráty výkonu omezovače přepětí během doby jeho životnosti. Omezovače přepětí firmy ABB dlouhodobě nevykazují žádné změny ztrát.

Zkouška tlakového odlehčení – omezovač přepětí nesmí v žádném případě prasknout, byť je vystaven různým velikostem přetížení. Tento fakt zajišťuje tato zkouška.

Zkouška umělým znečištěním – má za úkol prokázat, že vlivem znečištění pláště nedojde k narušení funkce vnitřních aktivních částí omezovače přepětí. Jde především o tepelné namáhání, které může vznikat v důsledku nerovnoměrného rozložení napětí na povrchu. Omezovače přepětí se silikonovým pláštěm musí být zatíženy cyklicky. Jednorázové znečištění by tu nemělo význam. Zkouška se provádí na kompletním omezovači přepětí.

Zkoušky provozní funkce se provádějí kvůli ověření teplotní stability omezovačů. Jsou prováděny ve dvou krocích. V prvním kroku se připojí napětí o velikosti 1,2 U_C , to se může připojit jak na samotné odporové bloky, tak i na hotový omezovač. Poté je omezovač vystaven 20

impulzům jmenovitého proudu. V druhém kroku je omezovač vystaven prvnímu vysokému impulzu proudu, poté se počká, než se samovolně ochladí a pak se uměle ohřeje na hodnotu 60 °C a posléze je vystaven druhému proudovému impulsu. Po 100 ms se tento omezovač připojí na napětí U_R asi 10 sekund a potom na napětí U_C asi 30 minut. Po těchto zkouškách se pak zkontroluje, jestli je vzorek tepelně stabilní nebo nestabilní.

Pokud je daný zkoušený omezovač přepětí teplotně stabilní, nejsou na něm změny zbytkového napětí větší jak 5 % a nejsou na něm žádné průrazy nebo prasknutí, pak omezovač vyhověl a může být instalován do provozu.

Pro zkoušky provozní funkce se používají následující parametry:

Referenční proud je proud, díky kterému se měří referenční napětí. Jeho velikost je dána výrobcem a v našem případě u omezovačů přepětí pro VN rozváděče má hodnotu 2,2 mA.

Referenční napětí je napětí, které na omezovači přepětí můžeme měřit, pokud jím protéká referenční proud.

Jmenovité napětí je nejvyšší hodnota napětí, které může působit na omezovači přepětí, aniž by se poškodil. Toto napětí podobně jako referenční proud je dáno výrobcem. U firmy ABB má hodnotu 1,25 násobku U_C . Obě tato napětí lze zvyšovat.

7.2 Kusové zkoušky

Kusové zkoušky zajišťují konstrukční správnost. Provádí se na každém omezovači přepětí jako celku nebo také na jeho částech. Podle normy IEC se provádí následující zkoušky:

Měření referenčního napětí: Toto napětí se vždy pohybuje v rozmezí určeném výrobcem, jeho spodní hranice určuje tepelnou stabilitu, horní zase určuje nižší výkonové ztráty.

Zkouška zbytkového napětí: Toto napětí je měřeno na každém odporovém bloku zvlášť při jmenovitém proudu. Tato napětí se pak na blocích sčítají a reprezentují konečné zbytkové napětí celého omezovače.

Zkouška částečných výbojů: Norma IEC dovoluje úroveň částečných výbojů do 10 pC. Firma ABB však garantuje nepřekročení hodnoty 5 pC, což prakticky znamená žádné částečné výboje. Tato zkouška se provádí při napětí 1,05 U_C .

Zkouška těsnosti: Neprovádí se u omezovačů se silikonovým pláštěm.

Navíc vzhledem k doporučení IEC firma ABB provádí zkoušky měření trvalého proudu U_C a zrychlenou zkoušku stárnutí po dobu 300 hodin vybraných vzorků odporových bloků z každé dávky.

7.3 Přejímací zkoušky

Pokud jsou tyto zkoušky dohodnuty, tak se na určitém počtu omezovačů přepětí provedou tři zkoušky se zaměřením na měření referenčního napětí, měření zbytkového napětí a měření hladiny částečných výbojů.

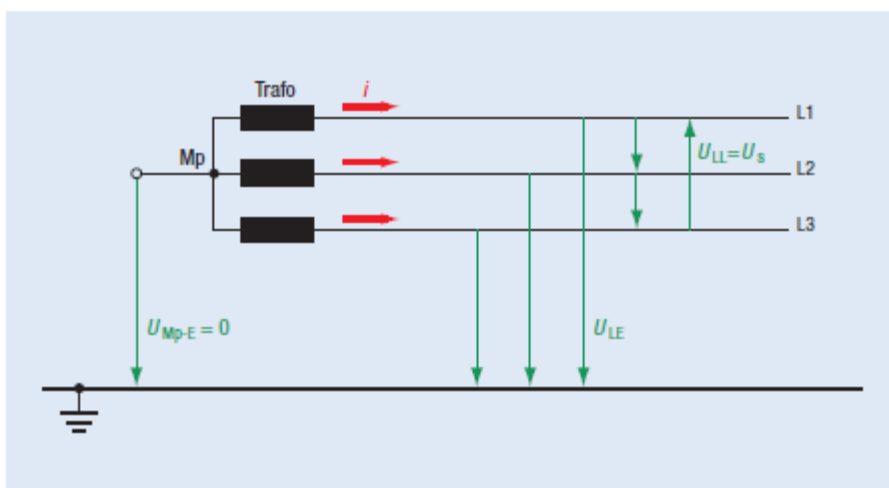
7.4 Speciální zkoušky

Speciální testy jsou jako součást vývoje omezovačů přepětí zajišťovány spolu s výzkumnými ústavy a uživateli. Zkoumají chování omezovačů přepětí se silikonovým pláštěm za určitých speciálních podmínek.

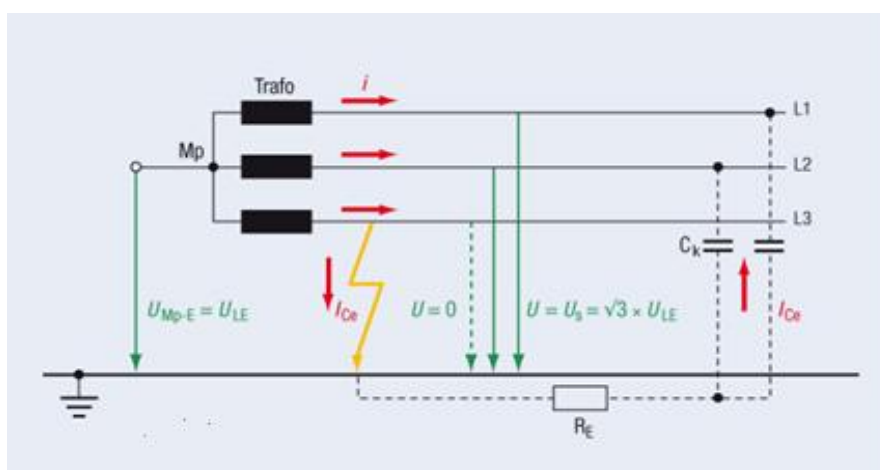
Zkouška teplotních cyklů: Omezovače přepětí firmy ABB jsou konstruovány do teplot minus 60 °C. Snesou také extrémní výkyvy teplot mezi -40 °C a 40 °C. To vše bez poškození pláště.

8.1 Sítě izolované (IT)

Místem spojení se zemí protéká proud kapacitního charakteru (při zanedbání rezistence uzavírací obvod). Za předpokladu, že je hodnota tohoto proudu do 10 A a zemní spojení není přerušované, pak toto nevádí a vedení nemusí být hned odpojeno. Z důvodu těchto omezení jsou izolované sítě používány jen na hladinách VN od 6 kV do 35 kV.



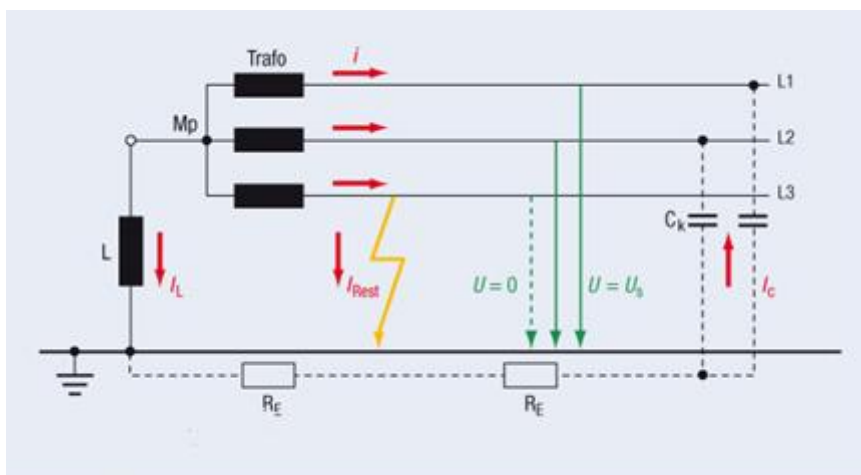
Obr. 8-1 Sít izolovaná v ustáleném stavu



Obr. 8-2 Izolovaná sít' se zemním spojením

Kompenzované sítě mají mezi nulový vodič transformátoru a zem připojenu zhašecí tlumivku, tzv. Petersenovu tlumivku. Ta je, při zemním spojení, zdrojem induktivního proudu. Tento proud kompenzuje kapacitní proud, který teče při doteku jedné fáze se zemí uzavřeným

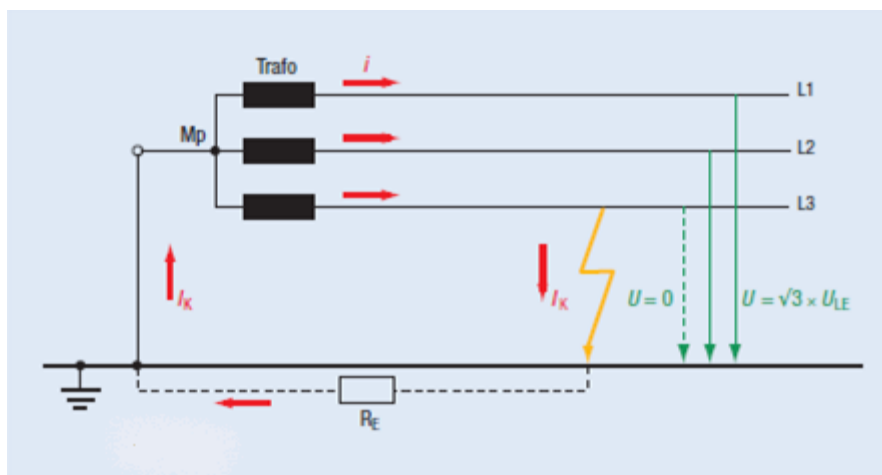
obvodem podobně jako v sítích izolovaných. Samozřejmostí tlumivky je její regulovatelnost, aby i při rozšiřování sítě nebo změně jejích parametrů byl proud induktivního charakteru roven velikosti kapacitního proudu. Uzemnění je dimenzováno na zbytkový proud, který protéká obvodem tlumivky, což má hlavně ekonomickou výhodu. Daní za protékající zbytkový proud relativně malé velikosti je zhoršená detekce místa zemního spojení. Velikost maximálního kapacitního proudu je u venkovních vedení 100 A, u smíšených vedení 350 A a u kabelových vedení 450 A. Tyto sítě jsou využívány především v rozvodech 22 kV. Kompenzovaná síť se zemním spojením je na Obr. 8-3.



Obr. 8-3 Kompenzovaná síť se zemním spojením

8.3 Síť účinně uzemněné (TN)

Účinně uzemněné sítě mají nulové body uzemněné přímo, popřípadě přes malou impedanci. Výhodné je hlavně dimenzování izolace této sítě na fázovou hodnotu napětí. Avšak při spojení fáze se zemí, jak je znázorněno na Obr. 8-4 [4], musí být vedení odpojeno z důvodu velkých proudů. V České Republice jsou tímto způsobem provozovány sítě VVN a sítě 0,4 kV.



Obr. 8-4 Jednofázový zkrat v síti s přímo uzemněným uzlem

8.4 Sítě uzemněné přes rezistenci (TT)

Sítě uzemněné přes rezistenci jsou používány u kabelových sítí většího rozsahu. Při zemním spojení omezuje připojený rezistor vzniklý kapacitní proud. Takto postižené vedení je však nutné vypnout. Svým chováním jsou tyto sítě velmi podobné sítím účinně uzemněným.

Ve zkratce lze tedy říci o jednotlivých sítích následující. Vodivé spojení jedné fáze se zemí se u izolovaných nebo kompenzovaných sítí označuje jako zemní spojení. V místě zemního spojení prochází malý proud kapacitního charakteru. Vodivé spojení jedné fáze se zemí u sítí s přímo uzemněným uzlem nebo u sítí uzemněných přes rezistenci je označováno jako jednofázový zkrat. Zkratový proud je několikanásobně větší, než provozní proud. Nezávisí taky na vzdálenosti od zdroje, má tedy přibližně stejnou hodnotu ve všech místech sítě.

9 OCHRANNÉ CHARAKTERISTIKY SVODIČŮ PŘEPĚTÍ

9.1 Ochranná hladina svodiče přepětí

Ochranná hladina se označuje U_P . Tato velikost je však rozdílná v případě použití bleskojistek nebo omezovačů přepětí. Je to nejvyšší hodnota napětí na vstupní svorce svodiče při průtoku jmenovitého výbojového proudu tvaru 8/20 μ s. U bleskojistek je toto napětí dáno zapalovacím napětím jiskřiště při normalizovaném atmosférickém impulsu (1,2/50 μ s). Je to hodnota, která je minimálně tak velká, že vždy způsobí zapálení. Ochranná hladina má hodnotu $U_P = 3,33 U_C$.

Další hodnotou, z které se skládají ochranné charakteristiky, je chování svodiče přepětí při strmém čele vlny. Tato hodnota je důležitá především u námi zkoumaných VN zařízení. U omezovačů přepětí tuto zkoušku provádíme při jmenovitém výbojovém proudu, který má však dobu čela zkrácenu z 8 μ s, na 1 μ s. Doba čela zbytkového napětí má pak díky nelinearitě charakteristiky svodiče přepětí hodnotu 50 ns a velikost tohoto zbytkového napětí činí 1,13 U_P . V porovnání s tímto je při stejné době čela velikost zbytkového napětí u bleskojistky rovno nejméně 1,4 U_P , což činí omezující napětí minimálně o 24 % vyšší, než u omezovačů přepětí.

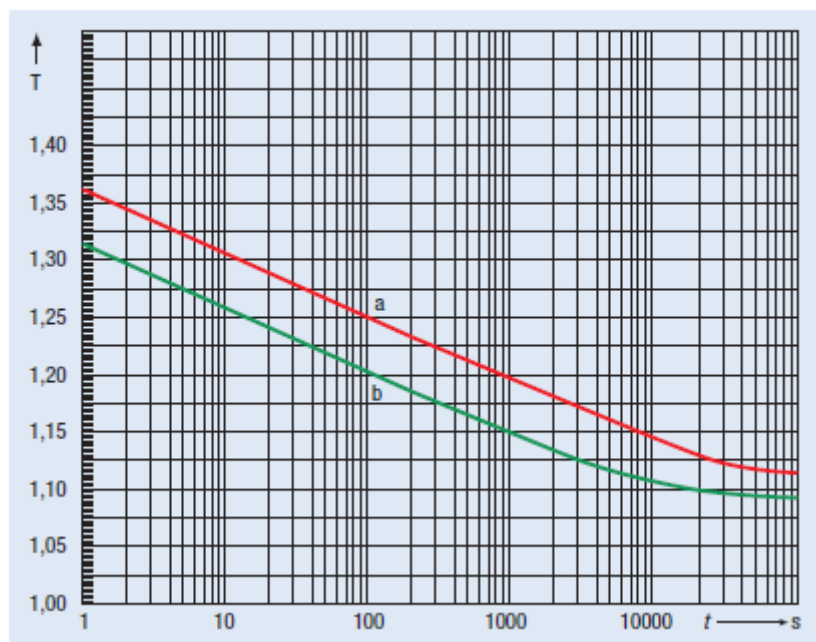
Doplňujícím údajem je chování svodiče přepětí při spínacích přepětích. Omezovače přepětí dosahují zbytkových napětí, v závislosti na typu omezovače, asi 0,77 až 0,83 U_P . Zbytkové napětí vzniká při průchodu vlny 30/60 μ s o hodnotě 500 A. U bleskojistek je vlivem zapalovacího napětí hodnota omezujícího napětí rovna hodnotě U_P a je tedy asi o 20 % vyšší než u omezovačů.

9.2 Dočasná přepětí

Dočasná přepětí se značí U_{TOV} . Při použití bleskojistek v sítích s výskytem těchto přepětí musí jmenovité napětí bleskojistky být rovno U_{TOV} . V opačném případě by byl následný proud příliš velký a jiskřiště by nebylo schopno uhasit elektrický oblouk. Bleskojistka by pak byla zničena v důsledku přehřátí.

Problémy s následným proudem u omezovačů přepětí odpadají, protože se zde vlivem nelineární charakteristiky vůbec nevyskytuje, je to vyloučeno extrémně nelineární charakteristikou. Z tohoto důvodu je omezovač schopen snášet zvýšené hodnoty napětí po delší dobu.

Na obrázku 9.1 [2] jsou znázorněny ochranné charakteristiky dvou omezovačů přepětí. Na křivce *a* je znázorněn omezovač přepětí bez předchozího zatížení, na křivce *b* pak omezovač zatížen garantovanou energií. Symbol *T* je to vlastně funkce trvání přepětí po dobu *t*, při okolní teplotě 45 °C.



Obr. 9-1 Závislost velikosti přepětí na době trvání

Dočasné přepětí U_{TOV} se vypočte podle vztahu 9.1 následovně:

$$U_{TOV} = T \cdot U_C. \quad (9.1)$$

Z obou křivek na Obr. 9.1 se v případě dočasného přepětí, s ohledem na jejich velikost, dá vyčíst maximální dovolená doba, po kterou omezovač toto přepětí snese, bez jakékoliv újmy.

9.3 Ochranná vzdálenost svodičů přepětí

9.3.1 Izolační hladina svodičů přepětí

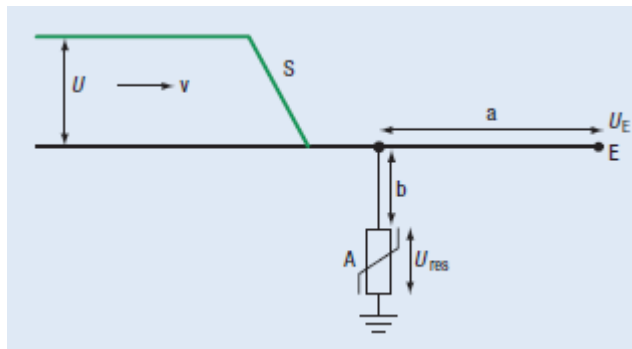
Izolační hladina svodičů přepětí je další charakteristikou, která se vyskytuje u svodičů přepětí při atmosférickém přepětí. Značí se zkratkou BIL z anglického Basic Isolation Level. Čím více tato hodnota převyšuje ochrannou hladinu U_P svodiče přepětí, tím lépe je elektrické zařízení chráněno proti účinkům přepětí způsobenými atmosférickými výboji. Hodnoty BIL jsou doporučeny dle IEC pro konkrétní napětíové hladiny v tabulce 9-1 [2].

Tab. 9-1 Hodnoty BIL a U_P v závislosti na připojené hladině napětí

U_m	[kV]	3,6	7,2	12	17,5	24	36
BIL	[kV]	40	60	75	95	125	170
U_P	[kV]	12	24	40	58,3	79,9	119,9

9.3.2 Návrh ochranné vzdálenosti

Na Obr. 9-2 [2] je zobrazena přepět'ová vlna o strmosti S , která se šíří rychlostí v po venkovním distribučním vedení. V místě E je elektrické zařízení, které chráníme pomocí omezovače přepětí označeného jako A . Předpokladem je fakt, že spotřebič v místě E má vysokou impedanci, tedy je to například vedení. Postupující přepět'ová vlna se od tohoto zařízení odrazí a její napětí se zvýší na dvojnásobek. Funkcí svodiče přepětí je eliminovat možné přepětí, které by se mohlo objevit na chráněném zařízení. Napětí U_{res} je námi definované napětí U_P .



Obr. 9-2 Přepět'ová vlna na vedení

Pokud celou situaci zjednodušíme a budeme považovat strmost čela přepět'ové vlny S za konstantní, pak platí následující vzorec podle [2]:

$$U_E = U_P + \frac{2 \cdot S \cdot (a + b)}{v}. \quad (9.2)$$

Činitel K_S je ochranný činitel beroucí do úvahy výdržné napětí izolace. Jeho hodnota je různá pro různé, hlavně místní, použití. Pro izolace u svodičů, které jsou ve vnitřních aplikacích je doporučená hodnota činitele $K_S = 1,15$, pro externí použití 1,05. Pro svodiče ve VN systémech je doporučená hodnota 1,2. Podle vztahu 9.3 [2] můžeme se zahrnutím K_S dále počítat:

$$\frac{BIL}{K_S} \geq U_E = U_P + \frac{2 \cdot S \cdot (a + b)}{v}. \quad (9.3)$$

Pak můžeme vyjádřit vzdálenost L jako součet a a b . Vzdálenost L je vyjádřena ve vztahu podle [2]:

$$L = \frac{v}{2 \cdot S} \cdot \left(\frac{BIL}{1,2} - U_P \right). \quad (9.4)$$

Pro spolehlivé chránění musí být hodnota vzdálenosti menší, než je vypočítaná vzdálenost podle vztahu 9.4.

9.3.3 Stanovení velikosti strmosti S

Strmost S se nedá jednoznačně určit. Její velikost záleží především na vzdálenosti od úderu blesku.

Ze statistik plyne, že více než v 90 % úderů blesků je změna proudu menší než $32 \text{ kA}/\mu\text{s}$. Uvážíme-li impedanci o hodnotě $400 \text{ }\Omega$, pak je přepětí menší než $7200 \text{ kV}/\mu\text{s}$. Navíc takovou strmost můžeme v rozvodně čekat pouze tehdy, pokud úder blesku nastane v blízkosti rozvodny. Ze statistik v [2] plyne, že ve vzdálenosti do 25 m od rozvodny by udeřil blesk průměrně jednou za 5 000 let.

10 APLIKACE OMEZOVAČŮ PŘEPĚTÍ

Pro konkrétní výpočet omezovačů přepětí jsou důležité především hodnoty napětí U_C , které musí být vyšší, než trvalé napětí připojené na jeho svorky. Dalším důležitým parametrem je pak hodnota U_{TOV} , která je dána dobou t , po kterou se toto přepětí v síti vyskytuje. Tato hodnota je mimo jiné taky závislá na typu sítě. Podle konkrétního času se pak odečte z grafu z Obr. 9-1 hodnota T a dosadí se spolu s U_C do vztahu (9.1).

10.1 Sítě s izolovaným středem a sítě kompenzované

U izolovaných a kompenzovaných sítí stoupne napětí na „zdravých“ fázích při zemním spojení na hodnotu sdruženého napětím U_m .

U těchto sítí se používají hladiny 6 kV až 35 kV. Základním předpokladem provozu těchto sítí je, aby hodnota U_C byla rovna nebo větší, než hodnota U_m . Pozor je třeba dát v případě výskytu oscilačních obvodů s rezonančním kmitočtem blízkým provoznímu kmitočtu. V těchto případech musí být zvoleno U_C tak, aby bylo větší jako změněné U_m , které je zvýšené právě o rezonanční napětí. V praxi se však počítá s 10 % bezpečnostní rezervou.

Izolované sítě s automatickým odstraňováním zemní poruchy jsou sítě svými parametry podobné sítím popsaným výše. Výhoda včasného odstranění zemní poruchy tkví především v tom, že lze snížit U_C pomocí koeficientu T . Tento koeficient lze odečíst z Obr. 9-1. Vezmeme-li v úvahu, že odstranění zemní poruchy může být v čase do 10 sekund pak lze z nižší křivky na Obr. 9-1 odečíst díky času $t = 10$ s hodnotu $T = 1,26$. Pak pro omezovač přepětí platí podle [4] následující rovnice:

$$U_c \geq \frac{U_m}{T}. \quad (10.1)$$

10.2 Sítě s přímo uzemněným středem a se středem uzemněným přes rezistanci

U sítí s přímo uzemněným středem platí pro U_C následující rovnice:

$$U_c \geq \frac{C_E \cdot U_m}{T \cdot \sqrt{3}}. \quad (10.2)$$

U těchto sítí platí tzv. faktor zemní poruchy C_E , který zde má hodnotu menší než 1,4. Vyjadřuje fakt, že v případě dotyku fáze se zemí fázové napětí nepřekročí 1,4 násobek původního fázového napětí. Při předpokladu, že doba vypnutí postiženého vedení je menší jak 3 sekundy, pak při odečtení z Obr. 9-1 je hodnota $T = 1,28$.

Pro omezovače přepětí v sítích se středem uzemněným přes rezistenci platí taktéž vztah (10.2) jen s rozdílem tím, že za T dosazujeme hodnotu 1,28, odečtenou z nižší křivky na Obr. 9-1 podle času 3 s.

10.3 Ochrana v kabelových úsecích

Kabelové vedení má impedanci proti zemi 20 - 60 Ω oproti 300 – 400 Ω u venkovního vedení. Díky těmto hodnotám by mělo být atmosférické přepětí u kabelových vedení menší. Pokud vlna vstoupí do kabelu, pak prochází její redukovaná část tímto kabelem a na konci se odrazí a její napětí stoupne téměř dvojnásobně. Poté se vrací na začátek a je opět odražena. Napětí se pak svoji velikostí blíží k hodnotě atmosférického přepětí.

Kabelové vedení je mnohem náchylnější k průrazům a poškození. Eventuelní poškození vyžaduje opravy a odstavení vedení na delší dobu. To může vést k velkým ekonomickým škodám. Proto musíme kabelové vedení chránit jako jiná elektrická zařízení.

V tabulce 10-1 [4] jsou znázorněny maximální délky kabelů chráněných z jedné strany. Pokud by délka kabelů překročila tuto stanovenou vzdálenost, pak by musel být tento kabel chráněn z obou stran. Vzdálenost L_k není limitována u sítí 3,3 kV. Je to z důvodu vysoké hodnoty BIL vzhledem k hladině sítě. Svodič přepětí musí obecně omezit hodnotu napětí do velikosti desetinásobku vrcholové hodnoty sítě. Do této hodnoty je provozování kabelu bezpečné.

Jiná situace nastane, pokud je kabel součástí venkovního vedení. Zde, pokud je kabel chráněn jen z jedné strany a přepětí přijde ze strany druhé, pak má svodič přepětí sníženou účinnost. Dovolená délka venkovního kabelového vedení chráněného z jedné strany je pak přirozeně menší. Vzdálenost obecně taky závisí na typu stožárů.

Tab. 10-1 Max. dovolená délka kabelových sekcí

		Svodič přepětí na začátku kabelu				Svodič přepětí na konci kabelu			
Typ stožárů		Dřevěné		Uzemněné		Dřevěné		Uzemněné	
Typ svodiče přepětí		MO	SiC	MO	SiC	MO	SiC	MO	SiC
Um	Zk	Lk	Lk	Lk	Lk	Lk	Lk	Lk	Lk
kV	Ω	m	m	m	m	m	m	m	m
3,6	30	∞	∞	∞	∞	7	6	17	17
	60	∞	∞	∞	∞	3	3	10	10
7,2	30	64	30	64	28	9	9	22	14
	60	45	20	50	19	4	4	13	11
12	30	40	15	40	14	9	7	19	9
	60	30	11	32	10	4	3	14	7
17,5	30	25	6	26	5	6	4	15	4
	60	21	4	22	4	3	2	13	3
24	30	28	6	28	5	10	5	17	4
	60	23	5	24	4	5	3	15	3
36	30	22	1	22	1	8	1	15	1
	60	20	1	20	1	4	1	14	1

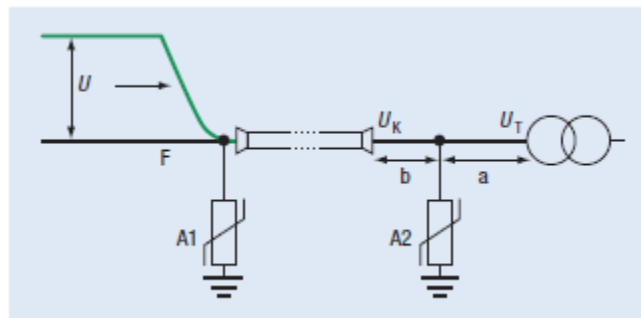
Opláštění kabelů je uzemňováno, z tepelných důvodů, pouze na jedné straně. Pokud však přepětí nastane na neuzemněném, tedy druhém konci kabelového vedení, pak izolace nemusí odolat a může dojít k průrazu. Neuzemněnou část je tedy nutné chránit proti přepětí svodičem. *Uc*

by se pak u takového svodiče vypočítalo podle vzorce [2], kde I_K je maximální poruchový proud, doba trvání menší jak 3 s, L_K je délka neuzemněného kabelového úseku a U_i je indukované napětí na 1 kA a 1 km, dosahuje hodnoty max. 0,3.

$$U_C \geq \frac{U_i}{T} \cdot I_k \cdot L_K. \quad (10.3)$$

10.4 Transformátory připojené na vedení

Situace na Obr. 10-1 [4] je následující: Vedení, které je potencionálním zdrojem atmosférických přepětí je připojeno na kabelovou koncovku. Z kabelu na druhém konci je přípojnicí připojen transformátor. Kabel je chráněn z obou stran svodičem přepětí A1 a A2. Předpoklad pro správné fungování a spolehlivou ochranu je, aby byl svodič umístěn co nejbližší kabelové koncovce na obou stranách kabelu. Hlavně na straně transformátoru roste napětí U_K strmě se vzrůstající vzdáleností. Na straně transformátoru musíme proto minimalizovat vzdálenost b , se vzrůstající vzdáleností a sice napětí U_T taky roste, ne však již tak strmě jako v případě vzdálenosti b . Maximální povolené hodnoty pro vzdálenost a jsou znázorněny v tabulce 10.2 [4].



Obr. 10-1 Schéma sítě s transformátorem

Tab. 10.2 – Max. dovolená vzdálenost mezi koncovkou kabelu a transformátorem

	Dřevěné sloupy		Uzemněné konzoly	
Zk[Ω]	30	60	30	60
Um[kV]	a[m]	a[m]	a[m]	a[m]
3,6	300	300	500	500
7,2	43	37	53	53
12	20	14	20	14
17,5	17	10	16	10
24	19	12	19	12
36	19	11	20	11

Pokud je transformátor připojen pouze z jedné strany na výbojem ohrožené vedení, musí být i druhá strana chráněna nejlépe opět omezovači přepětí. Pokud totiž dojde k výboji na straně VVN transformátoru, přenesou se kapacitní vazbou až 40 procent i na VN stranu. Proto musíme zvážit použití přepětíové ochrany i na VN straně, i když se tu vlastně žádné atmosférické přepětí nevyskytuje. Přepětíová ochrana může být také kromě svodičů přepětí realizována nízkoinduktivními kondenzátory nebo dostatečně dlouhým VN kabelem. Z hlediska vzniku možných přídavných namáhání nebo taky lepší ochrany obvodu za transformátorem je však lepší použít svodič přepětí.

10.4.1 Přechodový jev při připínání transformátoru

Transformátor jako netočivý elektrický stroj se chová jako indukčnost s uzavřeným magnetickým obvodem. Při připojení do sítě probíhá děj mezi dvěma ustálenými stavy. Na počátku jsou obvodové veličiny nulové, na konci odpovídají činnosti v nominálních hodnotách. Při přechodném ději dochází ke krátkodobému nárůstu proudu. Tento proud však může dosáhnout až stonásobku proudu v ustáleném stavu.

Velikost zapínacího proudu závisí na velikosti zbytkové (remanentní) indukce a příslušného remanentního toku. Okamžik, kdy vznikne maximální a minimální přechodový jev ilustruje vztah podle [5]:

$$\Phi_m \cos \psi - \Phi_r = 0. \quad (10.4)$$

Pokud je zařízení zapnuto v okamžiku maximálního napětí, pak je výraz (10.4) minimální hodnoty a výsledný tok je roven toku v ustáleném stavu, přechodný děj tedy nenastane.

V případě zapnutí transformátoru v nule, má výraz (10.4) maximální hodnotu a výsledný magnetický tok bude zvětšen o hodnotu stejnosměrné magnetické složky, která vzniká v důsledku přechodového jevu. Tento přechodový děj u menších transformátorů zaniká po desítkách period a u větších po tisících period.

Velký význam na přechodový jev má také impedance primárního obvodu a především její poměr k impedanci transformátoru pracujícího ve jmenovitých podmínkách. Do impedance primárního obvodu musíme zahrnout impedanci přívodů a dalších přídavných obvodů.

Zapínací proudy lze do jisté míry eliminovat třemi známými způsoby:

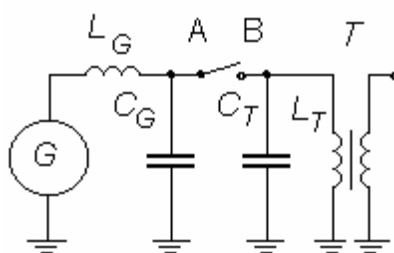
Prvním nejlogičtějším vyústěním by bylo připojit transformátor ve vhodné fázi. Je to nejvýhodnější metoda z fyzikálního pohledu. Transformátor pracuje okamžitě v ustálených hodnotách, neprobíhá žádný přechodový děj. Bohužel je tato metoda náročná a v praxi se téměř nevyskytuje.

Druhým způsobem je snížení pracovní indukce stroje. Můžeme toho docílit zvětšením průřezu jádra a zvýšením počtu závitů vinutí. Což má však za důsledek zvětšení fyzických rozměrů stroje a ceny. Snížení této indukce má vlastně na zapínací proud nepřímý vliv. Od pracovní indukce je totiž odvozena jak velikost stejnosměrné složky magnetického toku při přechodovém ději, tak i velikost remanentního magnetického toku.

Třetím způsobem je odstranění remanentní indukce stroje. Princip je podobný jako v předchozím případě. Teoreticky se však zapínací proud může snížit až o třetinu.

10.4.2 Přechodový děj při vypínání

U vypínání transformátoru je důležité, jestli vypínač vypne při průchodu nulou nebo při určité hodnotě proudu v obvodu. Můžou vznikat přepětí, které jsou násobky jmenovitého napětí. To představuje problém pro izolaci.



Obr. 10-2 Transformátor

Ve schématu zobrazeném na Obr. 10.2 [5] máme transformátor T , vypínač s kontakty A a B , kapacitu C_T , kapacitu C_G a indukčnost L_G . Zdrojem je zde generátor G .

Pokud proud vypneme v nulové hodnotě vypínačem, bude průběh napětí na obou koncích A i B odlišný. Kontakt A bude ovlivněn napětím generátoru, kontakt B je ovlivněn napětím, které je dáno kmitočtem f_T obvodu vybíjení kondenzátoru C_T přes indukčnost L_G . Pro tento kmitočet platí vztah podle [5]:

$$f_T = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_G C_T}}. \quad (10.5)$$

Pokud se nám podaří proud vypnout v nenulové hodnotě, pak jsou počáteční podmínky přechodného jevu odlišné. Předně energie tlumivky nebude nulová, ale bude mít velikost podle následujícího vztahu [5]:

$$W_L = \frac{1}{2} \cdot L_T \cdot I_{us}^2, \quad (10.6)$$

kde proud I_{us} je proud v době useknutí.

Kapacita C_T je nabita na hodnotu zdroje, při useknutí proudu se ale začne nabíjet na hodnotu energie vyjádřenou vztahem podle [5] :

$$\frac{1}{2} \cdot L_T \cdot I_{us}^2 = \frac{1}{2} \cdot C_T \cdot U_P^2, \quad (10.7)$$

napětí na C_T se tedy zvýší o hodnotu napětí U_P , jejíž velikost můžeme stanovit ze vztahu podle [5], což je vztah vycházející z rovnosti energie v kondenzátoru a v tlumivce:

$$U_P = I_{us} \cdot \sqrt{\frac{L_T}{C_T}}, \quad (10.8)$$

dá se předpokládat, že energie v tlumivce bude maximální, dojde – li k useknutí proudu v maximu. Pak platí podle [5] vzorec:

$$I_{us} = \frac{U_C}{Z_T} \quad (10.9)$$

a

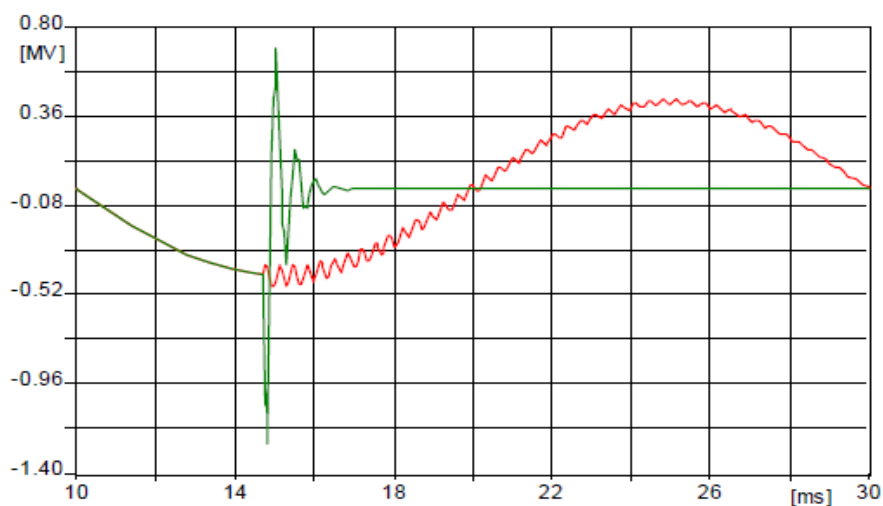
$$U_{P\text{MAX}} = \frac{U_C}{\omega \cdot L_T} \cdot \sqrt{\frac{L_T}{C_T}}, \quad (10.10)$$

po dosazení do vzorce (10.10) vznikne vzorec výsledného napětí:

$$U_{P\text{MAX}} = U_C \cdot \frac{f_T}{f}. \quad (10.11)$$

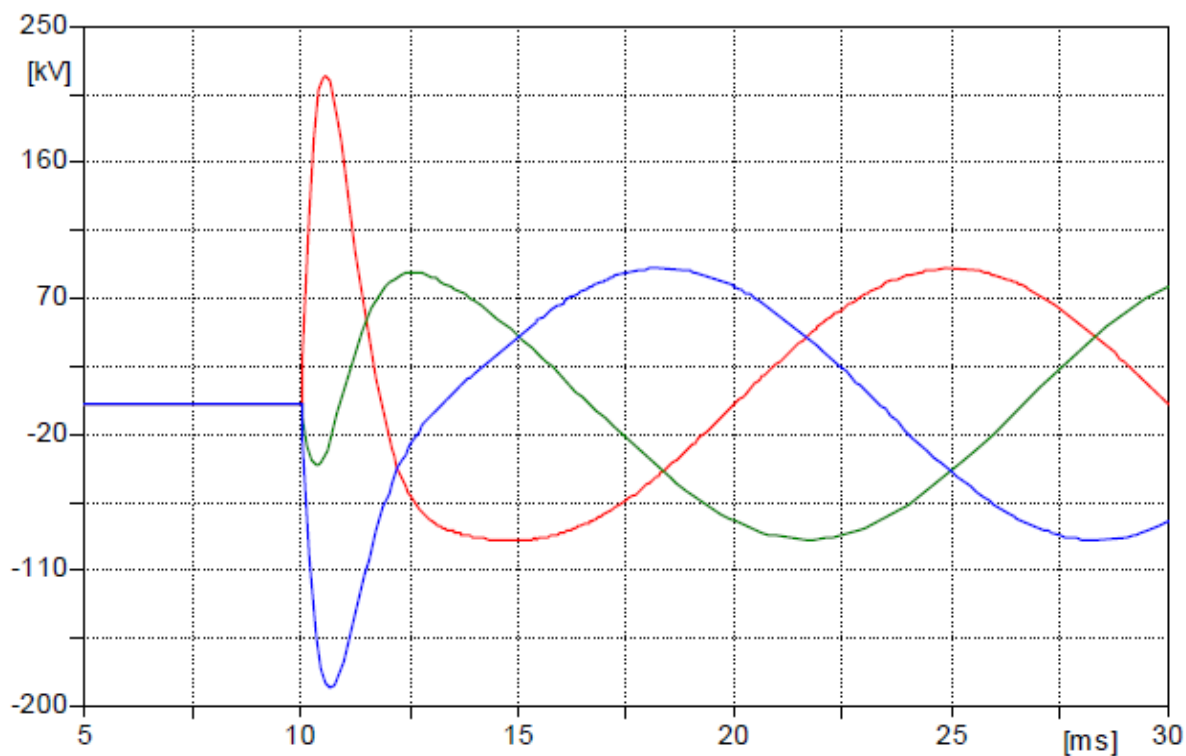
Kmitočet f_T se pohybuje řádově mezi 300 až 600 Hz. To znamená nárůst napětí 6 až 12- ti násobek napětí U_C .

Příklad na Obr. 10-3 [5] je proveden pro obvod na Obr. 10-2 s jednofázovým transformátorem a generátorem o amplitudě 430 kV.



Obr. 10-3 Přechodný děj při vypínání transformátoru

Situace je v zásadě podobná i u trojfázových transformátorů, jen s tím rozdílem, že se zde jednotlivé fáze mohou ovlivňovat. Příklad takového přechodného děje je na Obr. 10-4 [5] pro třífázový transformátor s poměrem 110/22 kV a třífázovým generátorem s amplitudou 90 kV. Modrou barvou je znázorněna fáze C, zelenou fáze B a červenou fáze A.



Obr. 10-4 Průběhy napětí na kontaktech jednotlivých fází

10.5 Ochrana generátorů

10.5.1 Přejchodový jev při fázování do sítě

Fázováním rozumíme připojení generátoru k síti. Pokud nechceme, aby v okamžiku připojení došlo k proudovému rázu, musíme dodržet takzvané fázovací podmínky. Tyto podmínky jsou čtyři a jsou to:

1. Stejná velikost napětí stroje a sítě. Napětí stroje se reguluje přibuzováním nebo odbuzováním. Pokud se tyto napětí nerovnají, pak jejich rozdíl při zapnutí způsobí náraz jalového proudu.
2. Stejná velikost kmitočtu stroje a sítě. Kmitočet stroje je dán zařízením, který generátor pohání. Pokud je kmitočet sítě vyšší než generátoru, musí se při připojení do sítě kmitočet rotoru zvýšit. Pokud je kmitočet sítě nižší, musí se naopak snížit. V obou případech je tato změna rychlosti otáčení doprovázena poměrně velkým nárazem činného proudu.
3. Fázový posuv mezi napětím sítě a generátoru musí být minimální. Proudový náraz stoupá prakticky s velikostí úhlu.
4. Sled fází sítě a generátoru musí být stejný.

10.5.2 Přejchodový jev při vypínání

Přepětí na generátoru může vzniknout tak, že ho náhle odpojíme od sítě. Jeho svorkové napětí však dále roste, dokud ho neomezí napěťový regulátor. Po dobu několika sekund je však poměr dočasného přepětí ku jmenovitému napětí až 1,5. Tento poměr nazýváme součinitel snižování zátěže a značíme ho v_L . Dočasné přepětí U_{TOV} se pak stanoví jako součin v_L a U_m . Pro omezovač přepětí pak platí podle vztahu [4] následující:

$$U_c \geq \frac{v_L \cdot U_m}{T}. \quad (10.12)$$

10.6 Ochrana motorů připojených na vedení

Motor je nejvíce namáhán tepelnými účinky, způsobovanými elektrickou energií, kterou motor mění na energii mechanickou. Hlavními důvody přetížení jsou opakované restarty, velký zatěžovací moment, zablokovaný rotor, nesymetričnost sítě nebo výpadek jedné fáze.

10.6.1 Přejchodový jev při zapínání

Rozeznáváme několik druhů rozběhu motorů:

1. Rozběh pomocí měniče – měnič frekvence je zařízení umožňující změnu frekvence ze sítě na požadovanou hodnotu frekvence. Pomocí změny frekvence pak dosáhneme změnu otáček asynchronního motoru nebo jeho hladký rozběh. Výhodou je bezesporu úspora elektrické energie, nevýhodou pak může být cena měniče, která je hlavně pro vyšší výkony vysoká.
2. Rozběh za použití soft startu – soft start slouží pro omezení zapínacího proudu motoru. Docílí toho tak, že sníží napětí pomocí fázového řízení. Po odeznění přechodného děje

pak opět zařízení připojeno na plné napětí. Úspěšně se dá použít především na velké výkony.

3. Rozběh s přepínačem hvězda-trojúhelník – tento rozběh je pro motory určené pro trvalý chod do trojúhelníka, tato metoda je schopna při spouštění snížit hodnotu statorového napětí až třikrát. Při rozběhu je vinutí motoru zapojeno do hvězdy, po odeznění přechodného jevu se přepne přepínačem do trojúhelníka.
4. Rozběh pomocí rotorového odporu – velký záběrný proud se dá také redukovat zvětšením odporu rotoru. Odpor se v průběhu rozběhu pomalu zmenšuje, až se vyřadí úplně.
5. Přímým připojením do sítě – při přímém připojení do sítě odebírá motor záběrný proud ve výši 3 až 7 násobku jmenovité hodnoty proudu. Průběh záběrného proudu neklesá lineárně v průběhu rozběhu, nýbrž se jeho hodnota mění jen nepatrně a až v závěru rozběhu prudce klesá. Udává se, že v objektech, které mají k dispozici vlastní transformátor, lze připojit motor o velikosti maximálně poloviny výkonu transformátoru.

10.6.2 Přechodový jev při vypínání

Vzhledem k analogii motoru s transformátorem, bude přechodný jev vypínání motoru podobný jako přechodný jev při vypínání transformátoru popsany v kapitole 10.4.2.

11 ZÁVĚR

Přepětí je obecně takové napětí, které svou velikostí přesahuje trvalé napětí sítě. Přepětí můžeme dále dělit podle několika hledisek, nejdůležitější je rozdělení na atmosférické a spínací. Hlavním zdrojem atmosférických přepětí je úder blesku. Ze statistických údajů plyne, že úder blesku v okruhu 25 m od rozvodny je velmi vzácný. Udává se, že takovýto úder nastane jednou za 5000 let. Bakalářská práce se zabývá především spínacími přepětími. To jsou přepětí vzniklá provozními stavy prvků elektroenergetické soustavy.

Přepětí jsou nebezpečná všem zařízením v elektrické síti. Pro ochranu prvků elektroenergetické soustavy před působením přepětí chrání svodiče přepětí. Pod pojmem svodič přepětí rozumíme omezovače přepětí a bleskojistky. Bleskojistky se od poloviny osmdesátých let nemontují a jsou nahrazovány modernějšími omezovači přepětí. Výhody moderních omezovačů přepětí jsou hlavně v jejich rychlé reakci. Tím, že neobsahují jiskřiště, jsou schopny reagovat mnohem rychleji. Jiskřiště bylo také místem častých poruch, pro které musely být bleskojistky měněny. Dalšími velkými výhodami je u omezovačů přepětí větší odolnost vůči znečištění a možnost kontroly i v neodpojeném stavu.

Před samotným použitím omezovače přepětí musíme v laboratorních podmínkách simulovat jeho odolnost a schopnost reagovat. Toho docílíme pomocí zkušebních impulsů. U omezovačů přepětí také provádíme zkoušky, které zajistí správné fungování a životnost zařízení. Zkoušky jsou typové, kusové a přejímací. Typové zkoušky se provádějí na jednom kusu dané série a pokud nedojde k zásadním konstrukčním změnám, tak se neopakují. Jsou garancí toho, že omezovač přepětí je schopen pracovat v dané napěťové hladině. Kusové zkoušky se provádějí na každém omezovači nebo jeho částech a jsou garancí konstrukční správnosti.

Pro zvolení správného svodiče přepětí je jedním z kritérií typ sítě, v které bude svodič provozován. V práci jsou diskutovány síť izolované, kompenzované, s přímo uzemněným uzlem a uzlem uzemněným přes rezistor. Základním parametrem omezovače přepětí je jeho trvalé provozní napětí, což je napětí síťové frekvence, které může být trvale připojeno na svorky omezovače. Vypočítané trvalé provozní napětí závisí nejen na jmenovitém napětí sítě, ale i na době trvání poruchy. Kabelové úseky musíme také chránit omezovači přepětí a to i přesto, že je jejich impedance oproti impedanci vedení asi desetinásobně menší. Kabel je totiž mnohem náchylnější k průrazům a poškození. Jsou stanoveny délky kabelů na konkrétních napěťových hladinách. Pokud kabel překročí stanovenou délku, musí být chráněn z obou stran.

V práci jsou dále podrobně rozebrány zapínací a vypínací děje transformátoru, motoru a generátoru.

Při zapnutí transformátoru hraje roli fáze napětí, v které jsme transformátor zapnuli a také zbytková indukce. Nejhorší případ nastane, pokud zapneme transformátor v nule. Pak je nárazový proud největší.

Při vypnutí transformátoru a motoru hraje roli to, kdy vypínač vypne, jestli při průchodu nulou nebo určité hodnoty proudu v obvodu. Vzniklé přepětí namáhá izolaci. Nejméně příznivý stav nastane, pokud vypínač vypne v maximu procházejícího proudu. Pak je výsledné napětí až dvanáctinásobkem původního napětí.

Při zapínání motoru se snažíme omezit proudovou špičku, která nastane, když motor připojíme přímo na síť. Docílíme toho použitím měniče, soft startu, přepínače hvězda -trojúhelník nebo pomocí rotorového odporu.

K omezení proudové špičky při zapnutí generátoru musíme dodržet fázovací podmínky, pokud je nedodržíme, pak nastane náraz činného nebo jalového proudu.

Při vypnutí generátoru roste jeho svorkové napětí do té doby, než ho omezí regulátor napětí. Dočasné přepětí je pak závislé na jmenovitém napětí sítě, době vypnutí a poměru dočasného přepětí ku jmenovitému.

Při návrhu svodiče přepětí je důležité zvážit několik aspektů. V první řadě musíme zajistit ochranu konkrétním prvkům navrhnutím svodiče tak, aby dokázal omezit přepětí na co nejmenší možnou hodnotu, na druhou stranu však musí omezovač vyhovět náročnému provozu sítě.

Z toho plynoucím hlavním požadavkem kladeným na svodiče přepětí je jeho selektivita. V budově volíme svodič s ochrannou hladinou o několik procent vyšší, než venku. Je to z důvodu vzniku přeskočů při možném přetížení, který by mohl elektrické zařízení uvnitř budovy poškodit.

V dnešní době je také nezanedbatelným aspektem pořízení svodiče přepětí především jeho cena. Především se vzrůstajícím počtem rozváděčů je cena nezanedbatelná.

POUŽITÁ LITERATURA

[1] HASMAN, T. Přepětí v elektroenergetických soustavách, Vydavatelství ČVUT, Praha 2004, 130 stran, ISBN 80-01-02952-2

[2] ABB S.R.O., UTILITIES. Uživatelská příručka přepět'ové ochrany. ABB High Voltage Technologies Ltd, červenec 1999, 48 stran.

[3] BLAŽEK, V., SKALA, P. Vysoké napětí a elektrické přístroje, Část I: Vysoké napětí, Vydavatelství VUT, Praha 2004, 130 stran, ISBN 80-01-02952-2

[4] ABB S.R.O., UTILITIES., ROZVÁDĚČE ABB

[5] MIŠÁK, Stanislav. 6transformátory. In [online]. [s.l.] : [s.n.], 2010 [cit. 2011-05-13].

Dostupné z WWW:

<http://www.stanislavmisak.com/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=19:6transformatory&id=3:pokrocily&Itemid=126>.