

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

**Přírodovědecká fakulta**

Bakalářská práce

**Přepětí v elektrických sítích a ochrana  
elektrických zařízení proti přepětí**

**Kryštof Effenberk**

školitel: Ing. František Kojan

České Budějovice 2014/2015

## **Bibliografické údaje**

Effenberk K., 2015: Přepětí v elektrických sítích a ochrana elektrických zařízení proti přepětí.

[Surge in electrical networks and protection of electrical devices against surge.

Bc. Thesis, in Czech.] – 55 p., Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

## **Anotace**

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku přepětí. V úvodu jsou rozlišeny druhy přepětí. Konkrétně se pak práce zaměřuje na přepětí spínací a atmosférické. Další část popisuje vlny přepětí a jejich šíření po vedení nízkého napětí. Jsou zde znázorněny principiální schémata zapojení zdrojů, které generují zkušební vlny přepětí. V další části práce jsou probrány jak ochrany proti přepětí a základní ochranná opatření, tak svodiče přepětí. Na konci práce jsou poté znázorněna místa a způsoby zapojení svodičů třídy přepětí. Zmíněno je také chování přepětíové vlny na rozhraní dvou vlnových impedancí.

**Klíčová slova:** přepětí, atmosférické přepětí, provozní přepětí, blesk, atmosférický výboj, ochrana proti přepětí, Ferrantiho jev, bleskojistka, varistor, transil, trisil, jiskřiště, ochrana stíněním, ochrana pospojováním.

## **Annotation**

The bachelor thesis is focused to problems with surge. Different kinds of surge are distinguished in the introduction. Specifically it deals with the atmospheric surge and switching surge. Further on it describes surge waves and their propagation along lines of low voltage. The next section is focused on blueprints of signal generator. In a later section the author moves to the basic level of surge protection and surge protection devices. Last part of the bachelor thesis researches place, where we can plant surge protection devices. It also explains the behavior of the surge waves at interfaces of different impedances.

**Key words:** surge, atmospheric surge, switching surge, lightning, atmospheric discharge, surge protection, Ferranti effect, lightning arrester, varistor, transil, trisil, spark gap, bonding network, spatial shielding.

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 24.4.2015

.....

Kryštof Effenberk

**Poděkování**

Zde bych rád poděkovat panu Ing. Františku Kojanovi za vstřícnost, cenné rady a za odborné vedení mé bakalářské práce.

## Obsah

I.	Úvod.....	1
II.	Přepětí .....	2
	1. Vznik atmosférického přepětí .....	2
	1.1 Technické parametry atmosférických výbojů .....	2
	1.2 Aproximace průběhu proudu bleskového výboje .....	3
	1.3 Vznik a druhy bouřky .....	4
	2. Vznik provozního přepětí: .....	7
	2.1 Rázové zkoušky - atmosférické přepětí .....	11
	2.2 Hybridní generátor (generátor kombinované vlny) .....	13
	2.3 Rázové zkoušky - spínací přepětí .....	13
III.	Ochrana proti přepětí .....	15
	3. Koordinace izolace .....	15
	3.1 Jiskřiště .....	16
	3.2 Torokova trubice .....	16
	3.3 Ventilové bleskojistky .....	17
	3.4 Bezjiskřišťové omezovače přepětí .....	18
	3.5 Transil .....	21
	3.6 Trisil .....	22
	3.7 Ochrana pospojováním .....	23
	3.8 Ochrana stíněním .....	26
	4. Svodiče přepětí .....	29
	4.1 Parametry svodičů přepětí .....	29
	4.2 Třídy svodičů přepětí .....	30
	4.3 Svodiče přepětí třídy T1 .....	30
	4.4 Způsoby zapojení dle druhu sítě .....	36
	4.5 Svodiče přepětí třídy T2 .....	40
	4.6 Svodiče třídy T3 .....	40
	5. Šíření vln přepětí vedením: .....	41
	6. Parametry vedení .....	41
	7. Umístění svodičů přepětí v síti NN .....	49
	7.1 Venkovní vedení .....	49
	7.2 Kabelové zemní vedení .....	51
IV.	Závěr .....	52
V.	Seznam použité literatury .....	53

## Seznam zkratk:

NN.....	Nízké napětí
VVN.....	Velmi vysoké napětí
ZVN.....	Zvlášť vysoké napětí
PVC.....	Polyvinylchlorid
ZnO.....	Oxid zinečnatý
SiC.....	Karbid křemíku
PE.....	Protective Earthing (ochranný vodič)
PEN.....	Protective Earthing Neutral (sloučení středního a ochranného vodiče)
ER.....	Elektroměrový rozvaděč
R.....	Podružný rozvaděč (bytová rozvodnice)
RS.....	Samostatná rozvodná skříň pro umístění přepětové ochrany
PS.....	Vstupní místo elektrického rozvodu do objektu
PNE.....	Podniková norma energetiky
IEC.....	Mezinárodní elektrotechnická norma
TN - C.....	Trojfázová síť s uzemněným nulovým bodem, nulový a ochranný vodič je v celé síti sloučen
TN - C - S.....	Trojfázová síť s uzemněným nulovým bodem, nulový a ochranný vodič. je oddělen
TT.....	jeden bod sítě je přímo uzemněný a neživé části elektrických zařízení v této síti jsou spojeny se zemniči nezávislými na zemničích sítě.

# I. Úvod

Práce bude rozdělena do dvou hlavních částí. První část se bude zabývat hlavně teoretickým rozbohem, problematikou přepětí a jeho definicí. Dále vznikem přepětí a jeho šířením v sítích NN. Nachází se zde užívané zkoušky odolnosti, které se vykonávají na elektrických zařízení a druhy přepět'ových vln. Cílem této části je uvést čtenáře do problematiky přepětí.

V druhé části práce se nachází popis vlivu přepětí při šíření po metalických vedeních a vliv na elektronické zařízení a spotřebiče. Dále zde uvádím třídy svodičů přepětí, jejich umístění v elektrických instalacích, dle normy PNE 33 0000-5, 2. vydání.

## II. Přepětí

Přepětím se dá nazvat takový jev, u kterého se vyskytuje v síti jak nízkého, tak vysokého napětí vyšší hodnota amplitudy, než která je obvyklá. U amplitudy se však vyskytuje tolerance, a to  $\pm 10\%$  nebo  $\pm 5\%$ . Pokud se hodnota napětí nachází v této toleranci, hovoříme o podpětí a nadpětí, nikoliv o přepětí.

*„Pulzní přepětí je krátkodobé přepětí, trvající řádově nanosekundy až milisekundy. Patří sem nejvýraznější a nejškodlivější projevy elektromagnetické interference (rušivých vlivů). Ohrožuje zvláště elektronické zařízení obsahující polovodičové součástky.“ [1]*

Podle původu rozlišujeme:

- atmosférická přepětí, tento druh je způsobován ve většině případů bouřkou, konkrétně atmosférickým výbojem,
- spínací provozní přepětí, která vzniknou při spínání a provozu v sítích, přepětí může být také způsobeno například zemním spojením nebo Ferrantiho jevem,
- přepětí, vzniklá při nukleárním výbuchu,
- přepětí, vzniklá při výbojích statické elektřiny.

### 1. Vznik atmosférického přepětí

Atmosférický výboj neboli bleskový výboj je nejzásadnější původce přepětí v energetických soustavách. Není tedy divu, že se zkoumáním této problematiky věnuje mnoho lidí a vědců z celého světa a to již několik století nazpět.

#### 1.1 Technické parametry atmosférických výbojů

Mezi hlavní parametry patří:

- vrcholová hodnota  $I$  [A],
- náboj bleskového výboje  $Q$  [C],
- specifická energie  $W/R$  [J/ $\Omega$ ].



Velikost náboje závisí na okamžité hodnotě proudu a době jeho trvání. Je dána vztahem:

$$Q = \int |i| dt$$

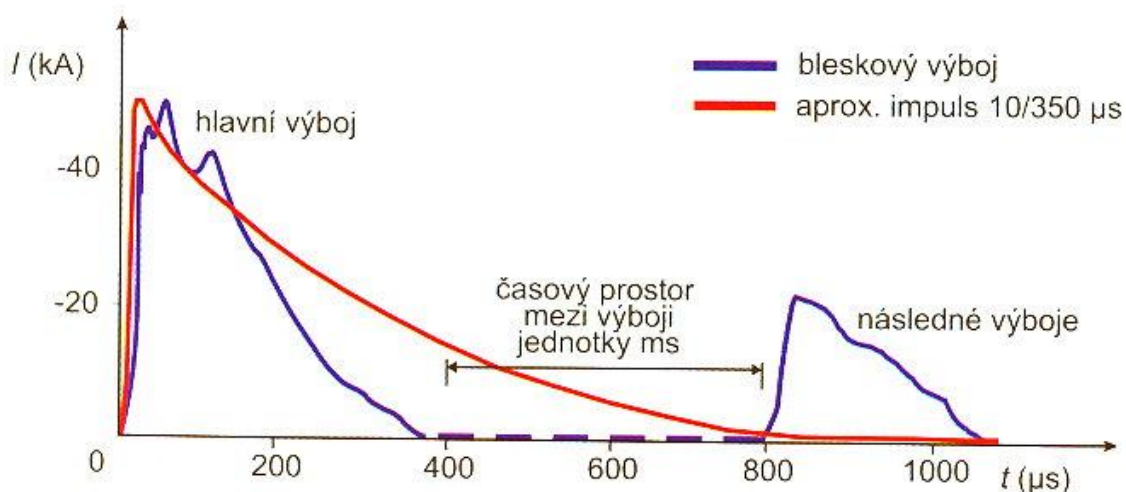
Specifická energie závisí na druhé mocnině okamžité hodnoty proudu a je dána vztahem:

$$\frac{W}{R} = \int i^2 dt$$

## 1.2 Aproximace průběhu proudu bleskového výboje

Z měření atmosférických výbojů připadá 10% kladným a 90% záporným výbojům. Poměr závisí na místní situaci, lze ho považovat v našich geografických a klimatických podmínkách za vyhovující. Z měření všech zaregistrovaných výbojů dále vychází maximální uvažované hodnoty proudu bleskového výboje  $I = 200$  kA a související náboj  $Q_{imp} = 100$  C. Tyto hodnoty odpovídají nejnáročnějšímu bleskovému výboji, který spadá do tzv. první úrovně bleskové ochrany. Podle této hodnoty se odvíjejí další úrovně (druhá úroveň má 75% první, třetí a čtvrtá 50% první úrovně). Tyto hodnoty uvádí mezinárodní normy IEC 61024-1, IEC 62305-1.

Podle skutečného průběhu energeticky náročnějšího sestupného bleskového výboje byla zvolena pro účely simulace rázová vlna s dobou čela  $T_1 = 10$   $\mu$ s a dobou půltýlu (poloviční pokles maximální hodnoty  $T_2 = 350$   $\mu$ s, obr. 1). Tato rázová vlna je nazývána jako zkušební vlna bleskového proudu 10/350  $\mu$ s.



Obrázek 1: Srovnání bleskového výboje a aproximačního impulsu tvaru 10/350  $\mu$ s [2]

### 1.3 Vznik a druhy bouřky

Hlavní druhy bouřky jsou (dělíme je dle druhu stoupání vzduchu)[4]:

1. Frontální bouře
2. Geografická bouře
3. Tepelná bouře

Výskyt bouřek má za následek vzájemná interakce mezi mraky popřípadě jejich částicemi a zemí. Oblaka jsou nadnášena vzhůru díky vzestupnému proudění vzduchu. Směrem od zemského povrchu ubývá teplota vzduchu a tak dochází k ochlazení a následnému kondenzování vodní páry, ze které jsou mraky tvořeny. Ze spodu na mrak stále působí teplý a vlhký vzduch, který mrak stále žene výš do oblasti ještě nižších teplot. *„Když dosáhne výšky, kdy jeho teplota klesne pod nulu, část zkondenzované vody zmrzne a část zůstane ve formě přechlazené vody. Ve výšce, kde teplota klesne pod cca -30 °C až -40 °C, již je prakticky všechna voda zmrzlá.“* [3]

U ledových částic, které jsou zahřívány z jedné strany a z druhé ochlazovány dochází k nabití elektřinou. Chladný konec se nabíjí s polaritou kladnou, oproti němu teplejší konec je nabit záporně. *„V bouřkovém mraku ve výšce o teplotě cca od -5°C až -25°C se vyskytuje přechlazená voda společně s různě velkými ledovými částicemi. Interakcí těchto ledových částic se poté menší a chladnější částice nabíjí kladně, kdežto větší a teplejší záporně. Lehčí, kladně nabité částice, poté stoupají vzhůru a těžší, záporně nabité, klesají dolů. Tím se v horní části oblaku vytváří centrum kladného náboje a v dolní části oblaku centrum záporného náboje.“* [3] Při dosažení určité elektrické intenzity se vytvoří elektrické napětí, což způsobuje tvorbu blesků.

Nejčastějším druhem bouřky je **frontální bouřka**. Vzniká tak, že studený vzduch, který proudí větší rychlostí se dostane pod vzduch teplý. Následně ho nadzvedne a u teplého vzduchu dojde k rapidnímu poklesu teploty.

**Geografická bouřka** vzniká v hornatých oblastech, dochází k tomu, když je vzduch vytlačen do vyšších poloh z důvodu přechodu přes zmíněné hory. Dojde k jeho rychlému ochlazení podobně jako u bouřek frontálních.

Posledním typem je **bouře tepelná**, na našem území se tyto bouřky vyskytují převážně v letním období. Vlivem ohřívání půdy od slunce a následného zahřívání vzduchu od půdy, dochází ke stoupání vzduchu, kde se stejně jako u dvou předchozích typů ochlazuje.

Rozdělení a parametry atmosférických výbojů:

Základním rozdělením pro nás může být to, mezi kterými místy výboj vzniká. A to jsou:

- a) **Výboj mrak - mrak**
- b) **Výboj mrak - zemský povrch**

Vzhledem k mému zaměření práce, nás bude zajímat pouze varianta b) a to výboj mrak - zem. U této varianty mohou nastat 4 případy[4]:

**1. Negativní výboj mrak - země.**

Výboj vychází z mraku a pohybuje se směrem k zemskému povrchu, jedná se o výboj tvořený záporným nábojem.

**2. Negativní výboj země - mrak.**

Záporně nabitý mrak stojící vůči kladně nabitému zemskému povrchu. Zde může dojít k výboji obsahující kladný náboj. Výboj směřuje od povrchu k mraku.

**3. Pozitivní výboj mrak - země.**

Obdobný příklad jako č.1, avšak kvůli obrácené polaritě mraků a země je přenášen výbojem směrem k zemi kladný výboj.

**4. Pozitivní výboj země - mrak.**

Mrak je nabitý kladně. Náboj země je naopak záporný. Jelikož vychází výboj od země a směřuje k mraku, přenáší se záporný náboj.

Až 95% atmosférických výbojů je tvořeno, negativním výbojem mrak - země. Zbylých 5% připadá na ostatní výboje. Blesk vzestupný je velice vzácný jev, který se může objevit v oblastech s vysokými stavbami nebo vrcholky hor.

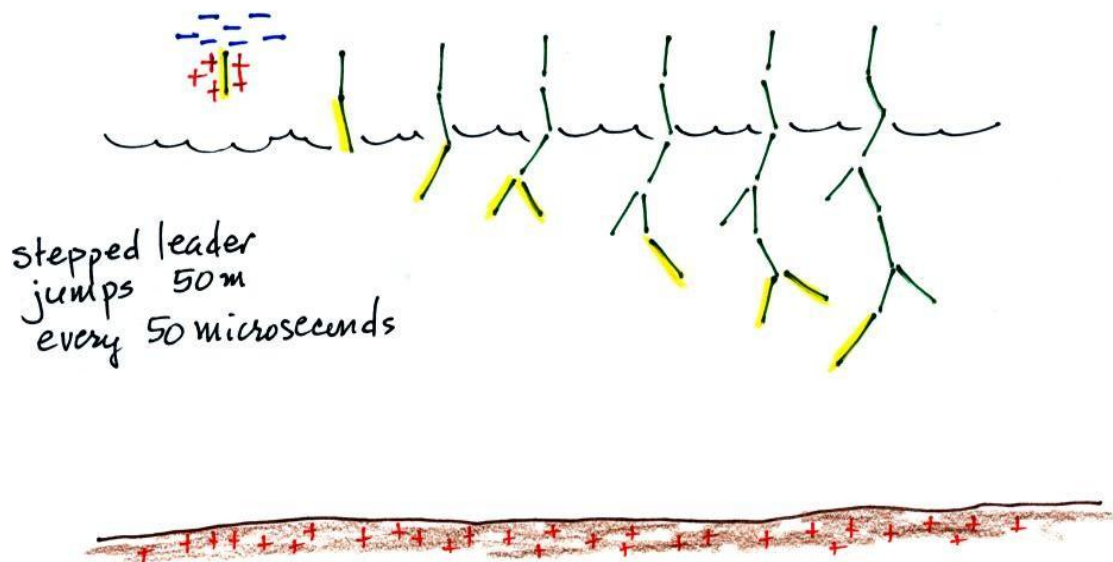
Průměr kanálu blesku: jednotky [mm] ÷ desítky [cm] [6]

Teplota výboje: až 25000 [K] [6]

Napětí mezi bleskem a zemí: cca 100 milionů [V] [6]

Proud tekoucí vodivostním kanálem: až 300 000 [A] [6]

Vznik a vývoj blesku si můžeme představit jako výboj v obřím kondenzátoru. Jakožto jednu desku kondenzátoru si představíme mrak, jako desku druhou zemský povrch. Dojde-li k dosažení intenzity elektrického pole asi na 100 kV/m [6], začne vznikat vůdčí výboj. To jest podnět ke vzniku viditelného kanálu s vysokou mírou ionizace, kterým po uzavření okruhu poteče elektrický proud. Vůdčí výboj se pohybuje cca po 50 metrech (obr. 2). Po takovýchto malých úsecích se pohybuje proto, že stále zastavuje a vyhledává cestu s nejlepší vodivostí. Je-li vůdčí výboj vzdálen už jen několik desítek metrů od povrchu, z místa s největším gradientem elektrické energie vychází naproti vzestupný výboj. Jakmile se oba výboje střetnou, dochází k uzavření elektrického obvodu a vodivým kanálem projde hlavní elektrický výboj.



obr.2 Průběh tvoření vůdčího výboje[7]

V případě úderu blesku do vedení, je jasné, že vodiče i síť by takový nárůst napětí a proudu nevydržely. Vedení se proti těmto účinkům aktivně chrání. Ochranou se budu zabývat v další části mé práce.

Atmosférický výboj má však i další nežádoucí účinky, a to: [4]

1. Tepelné
2. Mechanické
3. Elektrodynamické
4. Elektrický průraz
5. Elektromagnetickou indukci

Asi největším problémem pro vedení je účinek tepla. Průchodem proudu z blesku vodičem, který má nějaký odpor, dochází ve vodiči ke srážkám nosičů náboje s krystalickou mřížkou materiálu, a tím vzniká teplo. Je-li proud příliš vysoký, zvyšuje se počet srážek, a tím i generované množství tepla. V obytných domech může dojít například k poškození PVC izolace vodičů. U nových staveb může být problém s vlhkostí trámů či vazníků, po kterých mohou být vodiče taženy. Vlivem tepla dochází k rychlému odpařování a vzniklá pára, nemá-li kam uniknout, může zničit nebo poškodit tyto nosné konstrukce.

Vlivem elektrodynamické síly zase může dojít k vytrhávání vodičů z vodících lišt, či jiných úchytnů. V dalším případě mohou být vlivem elektrodynamických účinků poškozeny nebo zničeny i další spotřebiče.

## **2. Vznik provozního přepětí:**

V sítích s uzemněným uzlem transformátoru vzniká přepětí při jednopólovém zkratu. Zkratový proud má indukční charakter. Jeho velikost odpovídá několikanásobku provozního proudu.

Zemní spojení je jev, který vzniká u izolované soustavy a jejím spojením se zemí. Následkem spojení je nesouměrnost soustavy, trvalé navýšení napětí zdravých fází na sdružené napětí. Podle doby trvání se rozlišují 4 druhy zemního spojení[9]:

- a) mžikové (méně než 0,5s)
- b) krátkodobé (od 0,5s do 5min)
- c) trvalé (až několik hodin - většinou než problém odstraní obsluha)
- d) přerušované (zahrnuje mžiková a krátkodobá spojení, která se opakují, např. pohyb stromů za větru)

Při takovémto spojení se nachází v místě zemního spojení malý poruchový proud kapacitního charakteru, napětí je v tomto místě přibližně nulové. Problém nastává u sítí s velkou rozlohou. U těchto sítí může poruchový proud přesahovat hodnoty jednotek až desítek ampér. U hodnoty nad 5 ampér dochází k zapálení elektrického oblouku, který zpravidla vždy zasáhne a přepálí sousední fázové vodiče. Může však poškodit i dřevěné stožáry nebo izolanty. Vzniká tím vícefázový zkrat (dvojfázový, trojfázový). Přepětí u zemního spojení vzniká díky přerušovanému hoření oblouku (hlavně u varianty: d) přerušované spojení). Na zdravých fázích může být hodnota napětí 4x - 4,5x vyšší [9], než je hodnota efektivního fázového napětí.

Pokud zanedbáme činný odpor vedení, docházelo by k přenosu přirozeného výkonu (viz obr. 3,  $U_1 = U_2$ ). Teoreticky by se vedení chovalo jako bezdrátové. Při průchodu přirozeného výkonu však vedení klade odpor, který se nazývá vlnová impedance vedení a značí se  $Z_{vl}$ . Tento odpor se dá vyjádřit z následujícího porovnání energií:

Vycházíme ze zákona o zachování energie (1-1)

$$W_m = W_e \quad (1-1)$$

Do rovnice (1-1) dosadíme za energii  $W_m = 1/2 CU^2$  a za energii  $W_e = 1/2 LI^2$  a získáme rovnici (1-2)

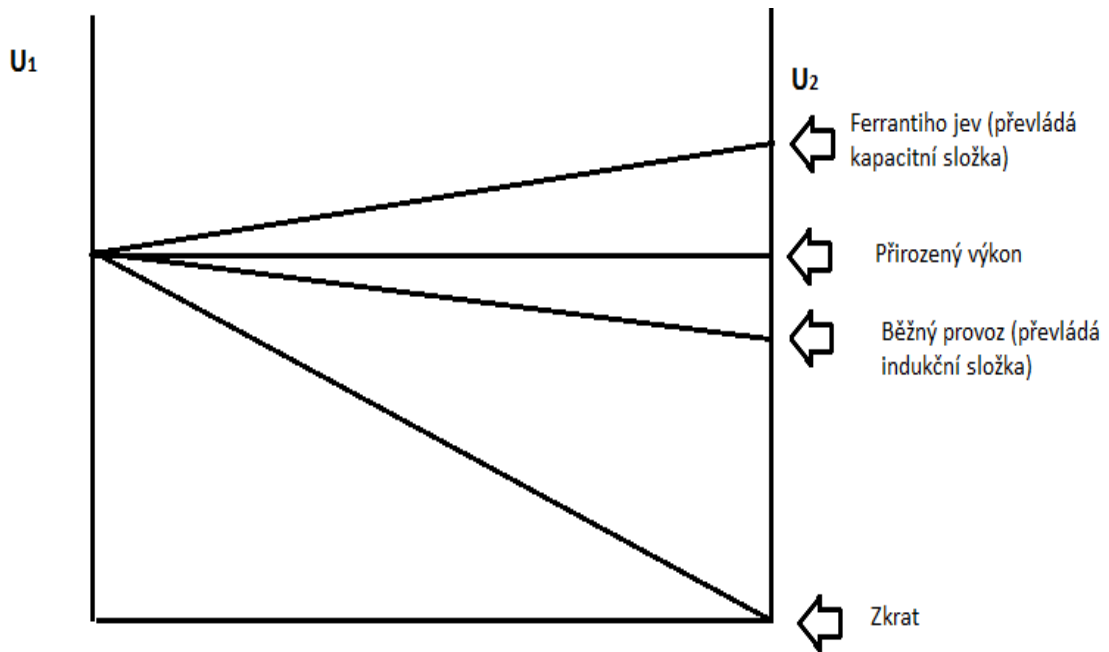
$$\frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}LI^2 \quad (1-2)$$

Zkrátíme v rovnici (1-2) 1/2, a ze znalosti vzorce  $Z = U/I$  dosadíme do něj zkrácenou rovnici (1-2), ze které vyjde konečný vztah pro  $Z_{vl}$ , jak vidíme v rovnici (1-3),

$$\text{kde: } Z_{vl} = \frac{U}{I} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (1-3)$$

Odpor  $Z_{vl}$  u kabelového vedení je přibližně:  $35 \div 40\Omega$

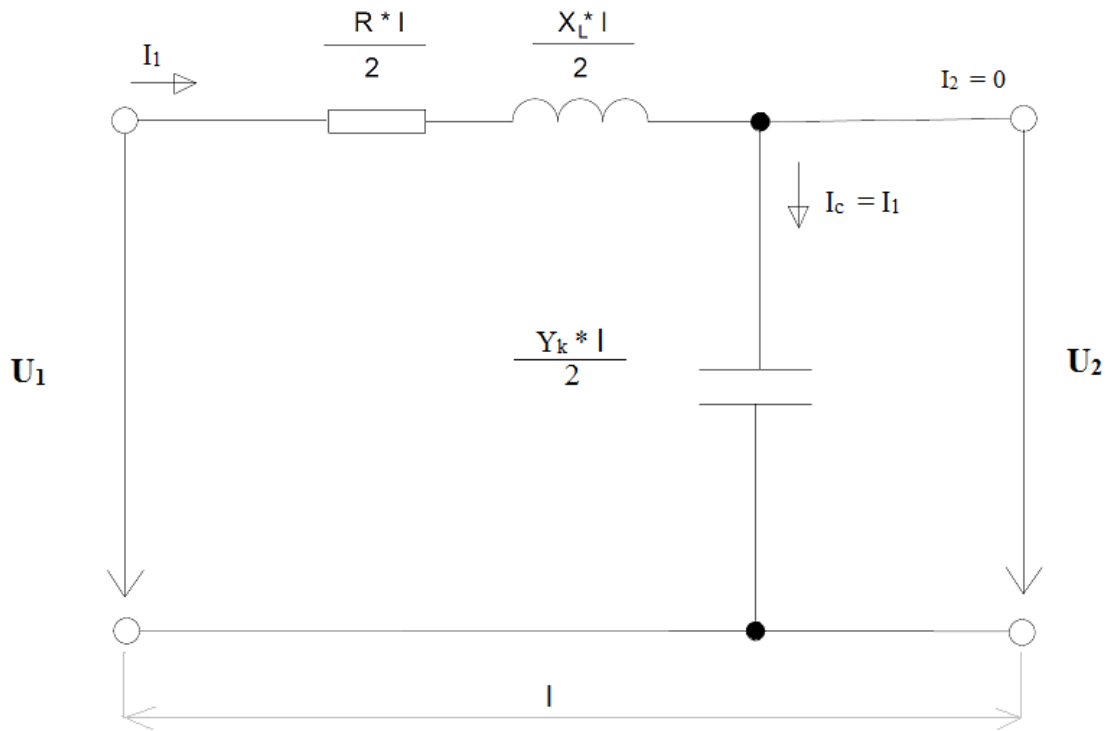
Odpor  $Z_{vl}$  u venkovního vedení je přibližně:  $350 \div 400\Omega$



obr. 3 Možné stavy vedení, upraveno z [23]

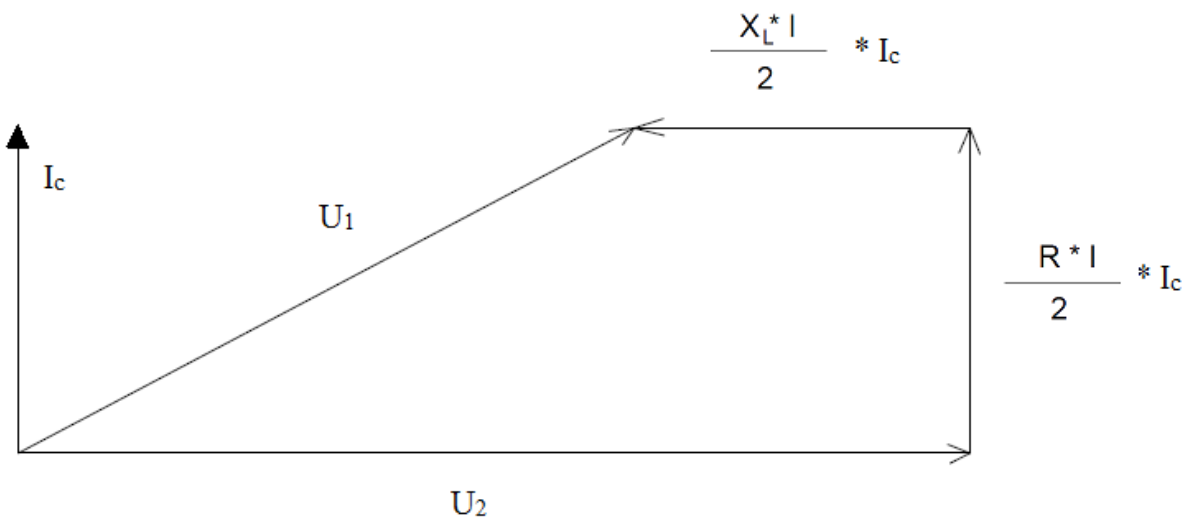
Dojde-li však u vedení například k poruše a následnému rychlému odpojení, nebo výraznému snížení zatížení, může zde nastat problém. U vedení se zanedbává činná složka příčné admitance, dochází k přenosu pouze složky kapacitní (protéká kapacitní proud). V tomto případě může nastat tzv. Ferrantiho jev, u kterého bude napětí na počátku vedení menší, než napětí na jeho konci. Tento jev postihuje zpravidla linky VVN a ZVN, které přenášejí elektrickou energii na dlouhých tratích. Jelikož není konec vedení zatížen, rovná se  $I_2 = 0$ . Můžeme proto zanedbat pravou stranu T-článku, pomocí kterého vedení popisujeme.

Účinek Ferrantiho jevu je větší u podzemních linek. Tato vedení mají oproti venkovnímu vysokou kapacitu. Proto musíme počítat s tím, že u podzemních linek může nastat Ferrantiho jev na mnohem kratších vzdálenostech, než u venkovního vedení.



obr. 4 T-článek bez pravé strany, upraveno z [23]

Z T-čláčku (obr. 4) vyjádříme fázorový diagram:



obr.5 Fázorový diagram T-čláčku, upraveno z [23]



Z obrázku č. 5 je vidět, že vstupní napětí  $U_1$  je skutečně menší než napětí na výstupu sítě. Kapacitní nabíjecí proud  $I_c$  působí na podélné impedanci úbytek napětí, který je ve fázi s výstupním napětím. Tento úbytek má však záporné znaménko, a tak místo odečtení dojde k přičtení k výstupnímu napětí.

## 2.1 Rázové zkoušky - atmosférické přepětí

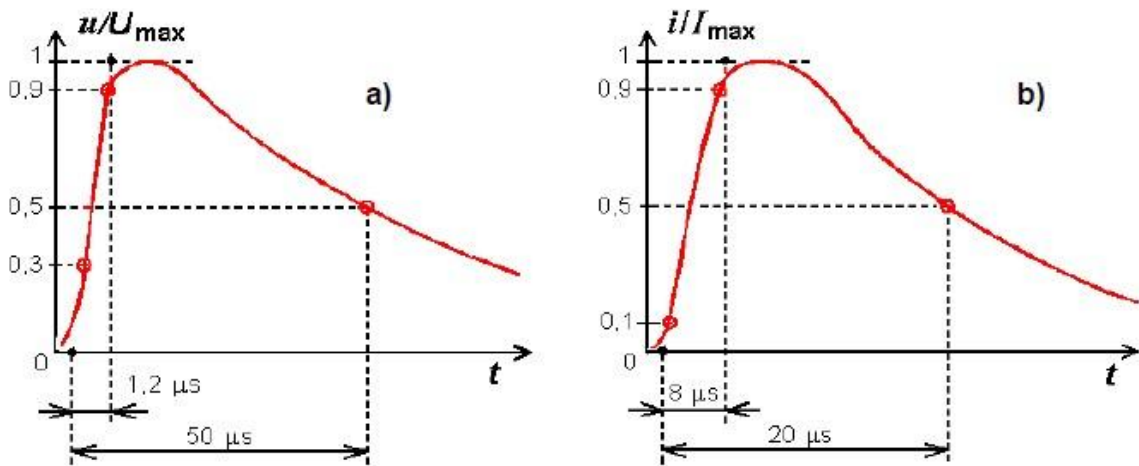
Pro návrh jednotlivých ochran proti přepětí je nutné vyzkoušet všeobecnou odolnost navrhovaných ochran proti účinkům atmosférických, vln uvedených v předchozí části. Na základě uvedených účinků provádíme zkoušky, které jsou popsány dále.

Chceme-li provádět zkoušku odolnosti, záleží na vstupní impedanci napájecích svorek zkoušeného zařízení[10]:

- a) pokud vstupní impedance je v porovnání s výstupní impedancí generátoru pulzů velká, generuje se napěťová rázová vlna.
- b) pokud vstupní impedance je v porovnání s výstupní impedancí generátoru pulzů malá, generuje se proudová rázová vlna.

Podle zjištěné vstupní impedance se musí vybrat náležitá odolnostní zkouška. Rázové vlny vytváří tzv. *Generátor kombinované vlny*[10], který musí být schopen vytvořit oba druhy normalizovaných vln, které se liší dobou náběhu a sestupu impulzu. „Tvar, velikost a parametry napěťového rázového impulzu (označovaného jako impulz 1,2/50  $\mu$ s, obr. 6a)) a proudového impulzu (označovaného jako impulz 8/20  $\mu$ s, obr. 6b)). Skutečný tvar vlny napětí a proudu se však mohou od těchto průběhů značně lišit, a to v závislosti na výstupní impedanci generátoru a vstupní impedanci zkoušeného zařízení, jež se mohou měnit i během zkoušky odolnosti.“ [10]

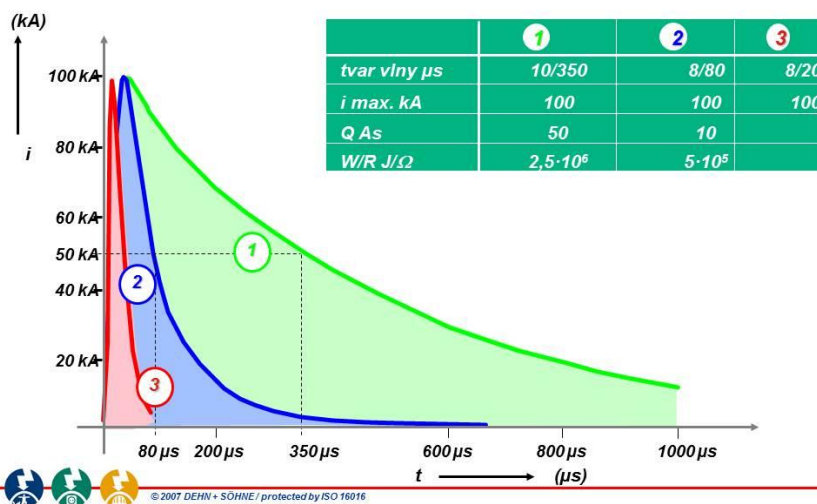
Ke generování vlny napěťové dochází, je-li vedení ve stavu naprázdno. U proudové vlny je to naopak stav nakrátko.



obr.6 Tvar a parametry normalizovaných přepětových vln[10]

Výše zmiňovaná proudová vlna 8/20  $\mu\text{s}$  nám vytváří obraz vlny naindukované do vedení nepřímým úderem atmosférického výboje. K simulování přímého úderu se využívá proudová vlna 10/350  $\mu\text{s}$ . Čela těchto vln mají sice podobné trvání, rozdíl ale najdeme u doby, za kterou hodnota týlu vlny klesne na polovinu, a to přibližně 18x. Uvážíme-li stejné maximální hodnoty u vlny 8/20  $\mu\text{s}$  a 10/350  $\mu\text{s}$  bude plošná energie impulzu až 25krát větší u vlny 10/350  $\mu\text{s}$  (obr. 7). [8]

### Srovnání zkušebních vln

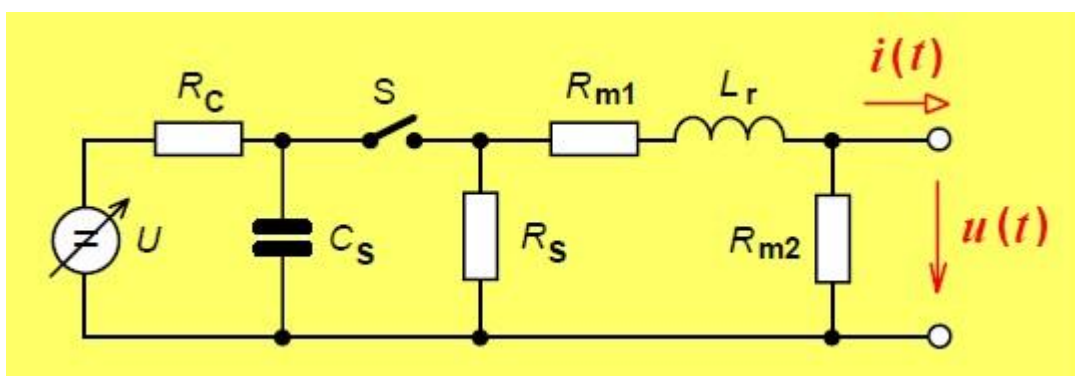


obr.7 Srovnání vln 8/20  $\mu\text{s}$  a 10/350  $\mu\text{s}$  [5]

## 2.2 Hybridní generátor (generátor kombinované vlny)

Základem generátoru (obr. 8) je regulovatelný zdroj stejnosměrného vysokého napětí  $U$ . Dále obsahuje nabíjecí rezistor  $R_C$  a sběrný kapacitor  $C_S$ . Součástky  $R_S$ ,  $R_{m1}$  a  $L_r$  nám slouží k tvarování tílu vlny, její impedanční přizpůsobení a čelo vlny.

Jelikož je rozsah u napěťové zkoušky 0,5kV až 4kV, u zkoušky proudové je to 0,25kA až 2kA, musí být generátor schopen vytvořit tyto maximální hodnoty. Generátor je schopen tvořit vlny kladné i záporné. U zkoušky odolnosti se totiž používají obě polarity, je vysláno vždy pět vln kladných a pět záporných. Dle normy ČSN EN 61000-4-5 Interval odstupů vln je jedna minuta. [10]



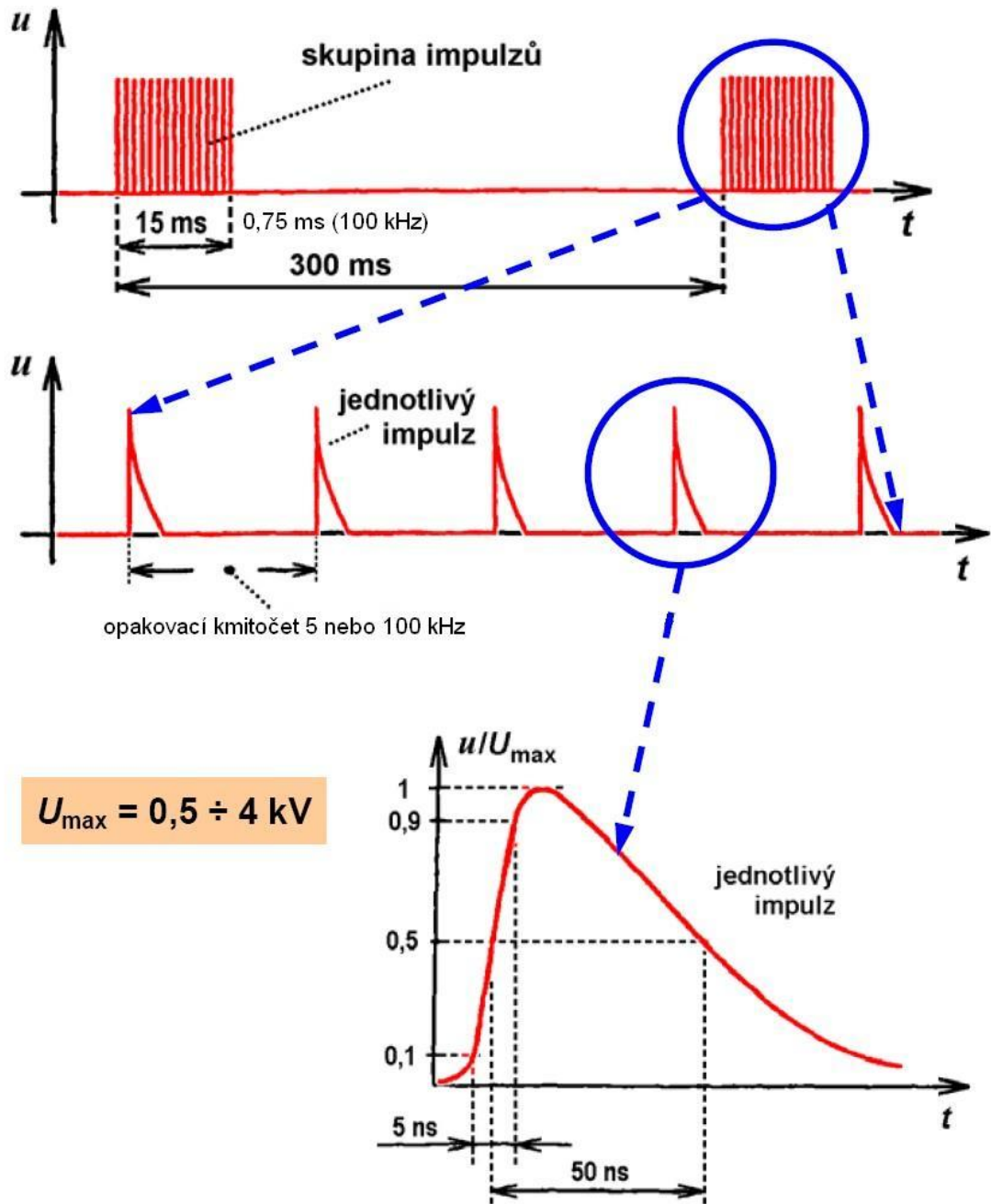
obr.8 Schéma hybridního generátoru [10]

## 2.3 Rázové zkoušky - spínací přepětí

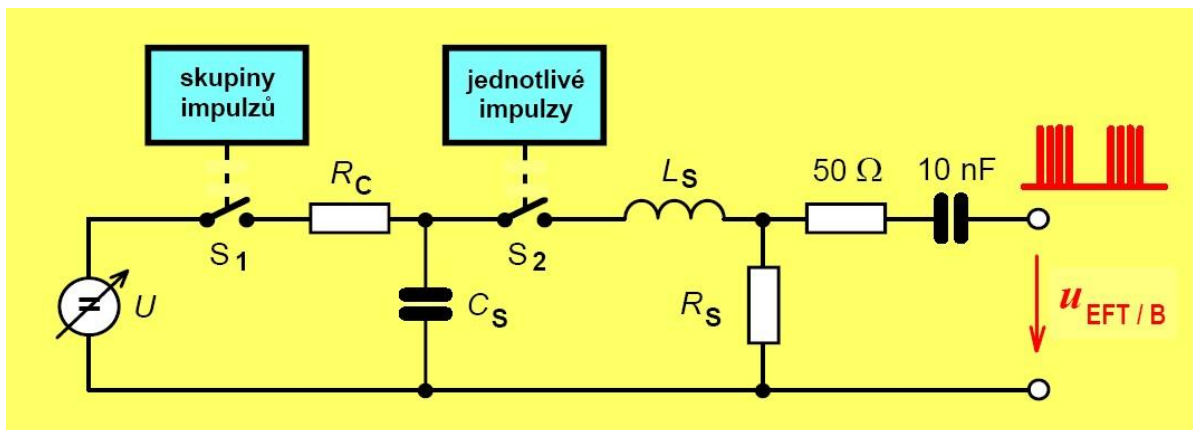
Impulzy spínacího přepětí nedosahují takových hodnot jako u vln způsobených úderem blesku. Jsou sice tvarem podobné vlně způsobené bleskem, mají však hodnoty jen  $5/50\mu\text{s}$ . Jedná se o malé vlny s nízkou hladinou energie formující se do skupin krátkých přechodných jevů. Nízká hladina energie ( $10^3 \text{ J}$ ) [11] většinou nezpůsobí přímé poškození izolace nebo zařízení, dochází spíše k elektromagnetickému rušení, které může poškodit zejména číslicová elektronická zařízení. Frekvence rušení může dosáhnout až hodnot 200MHz [11]. Dle zkoušené úrovně se nastavuje amplituda vln od 0,5kV do 4kV[11].

Signál, uvedený na obrázku (obr. 9), byl normou ČSN EN 61000-4-4 ed. 2 vybrán jako signál, který působil největší škody na číslicových zařízeních.

Signál je tvořen impulzy 5/50 $\mu$ s, které jsou skládány do skupiny impulzů. Tyto skupiny impulzů jsou při zkoušce vysílány v periodě 300ms. Počet impulzů ve skupinách je vždy stejný. Takto simulované rušení je pro číslicové zařízení nebezpečné proto, že rychlý vysokonapěťový průběh je shodný s pracovním stavem signálu zmiňovaných zařízení. Ke generování signálu se využívá podobný generátor, jaký se užívá k vytváření vln 8/20  $\mu$ s a 10/350 $\mu$ s.



obr.9 Složení vln 5/50 $\mu$ s do skupin testovacího signálu[11]



obr. 10 Princip zapojení generátoru[11]

Jedná se o principiální zapojení generátoru (obr. 10). Je i několik dalších typů zapojení. Spínač  $S_1$  hlídá opakování skupin impulzů a její dobu trvání, naopak spínač  $S_2$  se užívá k řízení vzniku a periody impulzů  $5/50\mu\text{s}$ .

## III. Ochrana proti přepětí

V následující části se budu věnovat rozboru jednotlivých typů ochran a ochranných opatření proti účinkům přepětí. Jednotlivé části budou popisovat, jak ochrany fungují a kde se případně používají.

### 3. Koordinace izolace

Tato ochrana má smysl proti atmosférickému přepětí. U vedení a na zařízeních se vytváří nejčastěji tři izolační hladiny. Tím se snažíme předem určit místa, kde má dojít k přeskočení nebo průrazu. K přeskočení by mělo dojít spíše na povrchu, než aby došlo k proražení izolace. Izolační hladina je definována jako: nejvyšší střídavé rázové napětí, které musí zařízení vydržet. Ochrana se provádí v kombinaci se svodiči přepětí, jinak by neměla smysl. Zavedení svodičů je asi nejlepší místní ochrana zařízení. Neochrání nám však síť proti výpadkům

Hlavním důvodem proč se postupuje takto, je co nejvíce minimalizovat škody na vedení a zařízení. Hlavně pak snížit na minimum finanční škody, napáchané úderem blesku a průchodem bleskového proudu. Jistě je levnější vyměnit svodič přepětí, než celý výkonový transformátor.

*Nejnižší izolační hladina:* v této izolační vrstvě jsou obsaženy svodiče přepětí. Jejich funkcí je odvézt z vedení větší hodnotu napětí, než na které jsou nastaveny. Hodnota napětí musí být vyšší, než je hodnota nejvyššího provozního napětí. Jakmile se na svorkách svodiče objeví větší hodnota, musí ihned zafungovat a svést přepětí do země.

*Střední izolační hladina:* zde se nacházejí izolátory a průchodky. Pokud by z nějakého důvodu nedošlo ke svedení přepětí v nejnižší izolační hladině, mělo by k tomu dojít zde. Sice už by náklady na opravy dosáhly větších hodnot, ale stále by byly přijatelnější, než kdyby došlo k průrazu u vrstvy nejvyšší hladiny.

*Nejvyšší izolační hladina:* umístíme sem stroje a přístroje, které jsou nejdražší a na výměnu nejsložitější. Jejich poškození by představovalo velmi těžké poruchy v provozu sítě a i dlouhodobější výpadky dodávky elektrické energie. Jsou zde například: transformátory, měřicí transformátory proudu i napětí, dále pak třeba odpojovače a vypínače.

### **3.1 Jiskřiště**

Jiskřiště se dnes využívají jako hrubá ochrana proti přepětí u sítí 22 kV. Nazývají se jako hrotová jiskřiště a jsou tvořeny dvěma hroty. Dnes jsou již nahrazovány modernějšími způsoby ochrany. Jejich princip je nicméně stále funkční. Využívají se jako koordinační jiskřiště pro přístroje a zařízení. Princip spočívá v umístění dvou elektrod (hrotů), u kterých se vzdálenost nastavuje dle žádané izolační hladiny. První elektroda se propojí s potenciálem chráněného zařízení. Druhá se pak přivede na zem.

Koordinační jiskřiště se užívá u venkovních izolátorů, průchodek vedení a transformátorů, odpojovačů, odpínačů a dalších zařízení.

### **3.2 Torokova trubice**

Jedná se o vyfukovací bleskojistku, která se skládá ze dvou sériově spojených jiskřišť. Vnější jiskřiště - elektroda spojená s trubicí se vloží do blízkosti chráněného zařízení k jeho živé části. Dále pak vnitřní jiskřiště se nachází uvnitř trubice. Trubice je z izolačního materiálu. Schválně se volí takový materiál, který při zásahu elektrickým obloukem vytváří velké množství plynu. Vznik plynu má za následek odfouknutí elektrického oblouku směrem ven z trubice, kde dochází k jeho zhasnutí. Jiskřiště vnější

poté zapůsobí jako odpojovač celého chráničícího zařízení proto, aby za běžného provozu vůbec nebylo pod napětím.

V dřívější době byly pro svou účinnost a nízké výrobní náklady hojně užívány. Užívaly se na každém izolátoru do 100kV, dále pak také k ochraně menších rozvodů (do 22kV). [12]

### 3.3 Ventilové bleskojistky

Jsou spolehlivými svodiči přepětí, složené ze dvou aktivních částí. První část je jiskřiště, druhá pak odporový blok. Jiskřiště je vytvořeno z daného počtu plechových kroužků. Mezi nimi se nachází slídové vložky, které udržují plechy v dané vzdálenosti od sebe. Tento soubor plechových kroužků a slídy tvoří několik sériových jiskřišť v kombinaci s bloky nelineárních odporů. Počet se určuje podle velikosti napětí, pro které budou využívány.

Odporový blok byl dříve tvořen z různých materiálů. Jednalo se především o pórovité materiály, protože jejich odpor byl závislý na napětí. Byl to například thyril nebo resorbit, později hojně využívaný materiál SiC.

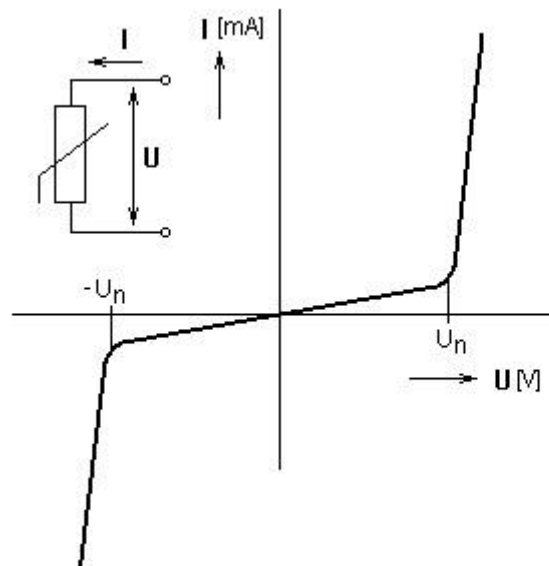
*„Zapalovací napětí vykazuje stejně jako u hrotových jiskřišť rázovou charakteristiku a při velmi strmých impulsech může být zapalovací napětí až o 30% vyšší, než při standardním atmosférickém impulsu 1,2/50  $\mu$ s. Nelineární bloky mají zhasací funkci, tzn. že proud bleskojistkou po jejím zapálení musí zhasnout při prvním průchodu proudu 50 Hz nulou. Pokud proud v jiskřištích při prvním průchodu proudu nulou nezhasne, bloky SiC nevydrží další absorpci tepelné energie a bleskojistka exploduje.“* [13]

Dalším problémem je pak křehkost celého bleskojistkového systému. Při převážení se musí velice dbát na minimalizaci otřesů. Dalším rizikovým faktorem je voda. Při navlhnutí trpí SiC bleskojistky korozí, která mění velikost zapalovacího napětí k horšímu. Bleskojistky jsou spojovány do trojic a při poruše na jedné z nich se vždy musí vyměnit celá sada. V dnešní době se bleskojistky využívají v sítích NN, jsou však postupně nahrazovány bezjiskřišťovými omezovači.

### 3.4 Bezjiskřišťové omezovače přepětí

Nejlepší ochrana současnosti. Je složena ze sloupce nelineárních bloků, odporů z materiálu ZnO. Jsou zde užívány odpory závislé na napětí, neboli varistory.

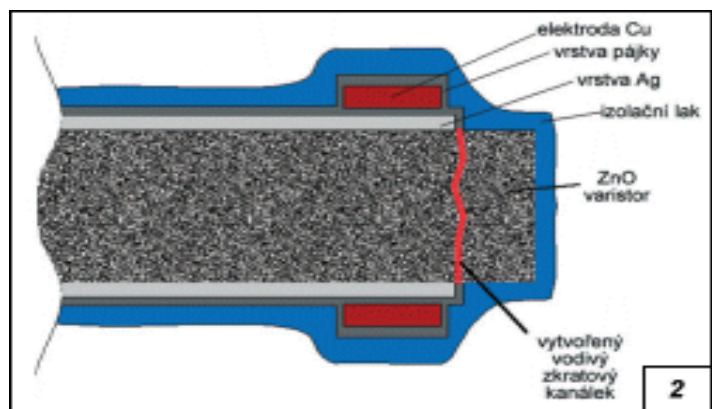
K výrobě se využívá spékaný granulovaný ZnO, obsahující ale i další příměsi. Mezi zrnky granulátu se vytvoří polovodivý přechod. Vznikne tak množství pomyslných diod. Když se materiál jádra správně nakonfiguruje, dojde k vytvoření charakteristiky s ostrým přechodem (obr. 11) mezi pásmem, kde je odpor vysoký, tudíž špatně vodivým a pásmem, kde naopak odpor klesne a vodivost se výrazně zvýší.



obr.11 VA charakteristika Varistoru + schematická značka [14]

Po stranách granulátu ZnO jsou napájeny elektrody (většinou vyráběné z mědi, obr. 12). Tvar elektrod je schválně volen tak, aby docházelo k rovnoměrnému rozložení proudu a tím i celkové zatížení součástky. V ideálním případě musí dojít k využití celkové kapacity varistoru. Celý varistor je poté výborně zaizolován. Pokud by byla izolace proražena, mohlo by dojít k povrchovým výbojům.

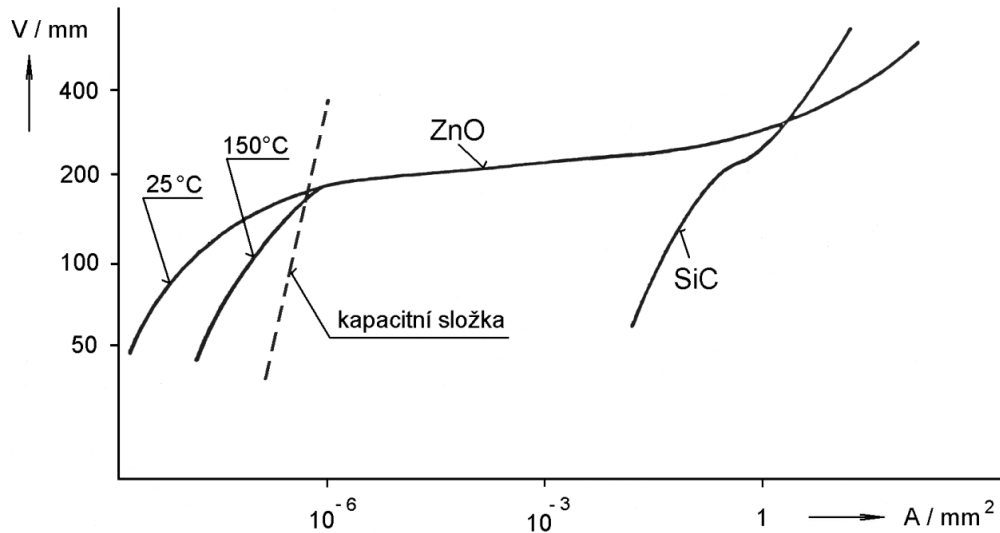




obr.12 Řez varistorem [14]

Svodič ZnO je vyráběn dvěma způsoby. Prvním je umístění celého svodiče do celistvé kazety. Druhý je naopak skládán ze dvou částí. Výměnná část obsahuje varistor, odpojovač, signalizační prvky, především pak pevně přednastavené jmenovité napětí, pro které se svodič využívá. Tento modul se připojuje do základní části, jenž se připojuje do obvodu.

Nevýhodou varistoru je to, že jím po připojení do chráněného obvodu stále uniká proud. Nainstalovaným svodičem přepětí prochází miniaturní kapacitní proud, přibližně se jedná o 0,2mA (činná složka proudu - desítky  $\mu\text{A}$ ) [13], při provozním napětí. Z počátku jde řádově o desetiny mA [14], postupem času ale varistor zhoršuje své vlastnosti a dochází ke stálému nárůstu proudu. Proud má špatný vliv na polovodivé přechody, tvořené zrnky granulátu. Ostrý přechod VA charakteristiky reaguje na poškození přechodů tak, že se stále srovnává a zhoršuje své vlastnosti. Procházející proud varistor zahřívá, což opět nepůsobí na součástku kladně. Kvůli ochraně před vzplanutím je integrován tepelný odpojovač. Jde o užití pájky, která se roztaví při nižších teplotách. Odpojení je realizováno při roztavení pájky. U modulů s výměnou částí pak lze zničený modul nahradit novým. Další nevýhodou je také vysoká kapacita součástky a tím pádem její neschopnost užití k ochraně vysokofrekvenčních sítí.



obr.13 Porovnání VA charakteristiky bloků ZnO a SiC[13]

„V grafu (obr. 13) je znázorněna poměrně velká závislost proudu na teplotě v oblasti malých provozních proudů. Zvyšuje-li se napětí, začne se blok (hmotový polovodič) otevírat a proud tekoucí omezovačem narůstá mnohem rychleji než přiložené napětí. Ve střední části lze nelinearitu VA charakteristiky vyjádřit vztahem mezi napětím a proudem  $I = AU^B$ , kde exponent  $B$  u kvalitních bloků je vyšší než 50, typicky  $B = 51$ . Znamená to, že zvýší-li se napětí o 20 %, proud naroste více než o 4 řády, např. ze 100 mA na 1 kA. Při proudech nad 1 kA se nelinearita otevírání bloků omezovače zmenšuje a proud již neroste tak rychle s rostoucím napětím. Největší využití omezovače k ochraně proti přepětí je ve střední části VA charakteristiky s proudy 1 A až 10 kA, kde je nelinearita největší. Nelinearita VA charakteristik (tzn. tvar křivky) je u různých typů bloků jiná.“ [13]

Nelinearitu hlavně ovlivňují vlastnosti polovodiče ZnO. Kvalitnější bloky mají větší hodnoty nelinearity, což zlepšuje tvar VA charakteristiky. Tím lépe svodič plní svoji ochrannou funkci. Dnes se v nabídce vyskytuje několik výrobců s tím, že každý z nich nabízí jiné parametry a tvary křivky. Energetické omezovače, jenž mají větší plochu bloků v kolmém řezu [13], dosahují plošší VA charakteristiky, a tím i lepší funkčnost ochrany.

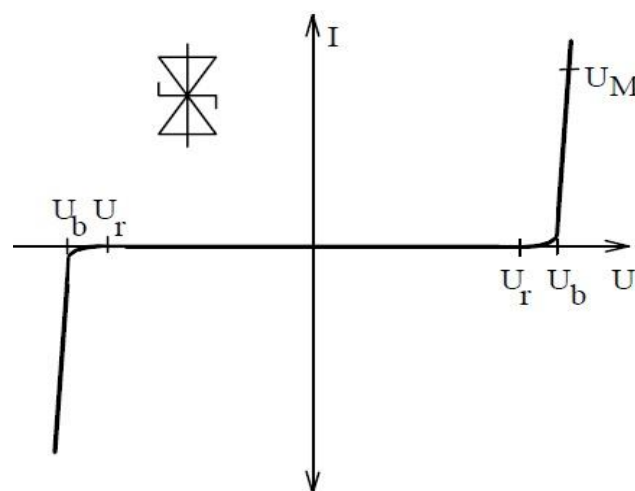
Problémová část charakteristiky je zpravidla horní, kde blok ZnO vydrží pouze mžikovou zátěž. Oproti jiskřišti nebo bleskojistce zde dochází k pohlcení celé energie přepětí. Naopak výhodou ZnO je reakční doba zařízení. Hodnota se pohybuje v řádu ns. [13]

### 3.5 Transil

Pro elektronické zařízení se používají elektronické ochranné prvky, a to z důvodu nevýhod varistorů, které pro elektronická zařízení a vysokofrekvenční zpracování signálů nejsou vhodné.

K jemnějšímu způsobu ochrany elektronických zařízení se využívá např. tzv. Transil, jinak označovaný jako lavinová dioda. Tyto elektronické omezovače jsou skládány na principu Zenerových diod. Tyto diody se používaly v ochranných elektronických prvcích už dříve. Nemají však takovou proudovou zatížitelnost. Z toho důvodu se vyvinuli speciální křemíkové lavinové diody, které oproti Zenerovým diodám mají proudovou zatížitelnost vyšší (v závěrném směru), jsou schopny pohltit větší množství energie přepětového impulzu, jsou i rychlejší (jednotky až desítky ps [15]). Transily mají téměř shodnou VA charakteristiku s varistory. Tato charakteristika je souměrná podle osy  $y$  (obr. 14 souměrná podle osy proudu  $I$ ).

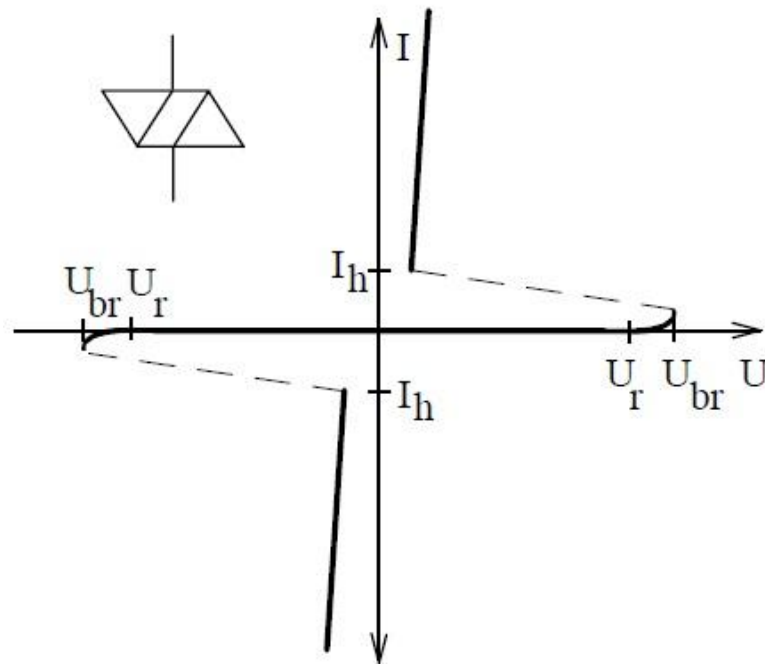
Rozsah ochranného napětí se nachází v intervalu od 6 do 440V[15]. Nevýhodou je zde i shodně vysoká vlastní kapacita, jenž se nachází i u varistorů. Jelikož by docházelo k velikému potlačení vysokých frekvencí, není proto úplně vhodný pro užití v těchto systémech. Využití má v systémech, kde dochází k rychlým přenosům dat, zde uplatní oná rychlost spínání Transilu. Součástka může být jednosměrná, tím pádem by docházelo k ochraně pouze u jedné polaritě. Spíše se tedy užívá obousměrného zapojení, jinak také antisériového zapojení.



obr.14 Schematická značka + VA charakteristika transilu[16]

### 3.6 Trisil

Tak jako je u transilu VA charakteristika (obr. 15) podobná varistoru, u trisilu je tato podobnost s triakem. Stejně pak jako obousměrné zapojení transilu, je určen trisil k ochraně proti oběma polaritám přepětového impulzu. K sepnutí dochází podobně jako u triaku překročením napětí  $U_r$ , následně pak k průrazu na hodnotě  $U_{br}$ . Poté bude mít vlastnosti jako sepnutý triak (napětí změní svojí velikost skokově a začne procházet proud). Trisil nedokáže po svedení sám vypnout, je k tomu potřeba dalšího prvku, například pojistky. K vypnutí dochází při poklesu proudu pod hranici hodnoty  $I_h$ . Trisil stejně jako transil vyniká svou rychlostí. Další výhodou bezesporu je možnost nastavit velikost napětí, kdy dojde k průrazu.



obr.15 Schematická značka + VA charakteristika trisilu[16]

### 3.7 Ochrana pospojováním

Ochrana pospojováním neboli uvedením na společný potenciál, souvisí se všemi druhy ochrany proti přepětí.

Ochrana pospojováním je principem založena na řízení potenciálu všech vodivých částí v budově nebo zařízeních. Jedná se o ochranu, která by měla být dnes již v každé novostavbě.

Vyrovnaní potenciálů nabízí tyto ochrany[17]:

- ochrana před úrazem elektrickým proudem,
- ochrana před přepětím, vznikajícího při úderu blesku,
- ochrana před rušivými vlivy jiných elektrických zařízení.

Ochranné pospojování se řadí mezi jednu z nejvíce uplatňovaných ochrany, před úrazem elektrickým proudem. V souvislosti s touto ochranou se užívá prvků samočinného odpojení od zdroje, jako jsou například pojistky, jističe, proudové a napěťové chrániče. Spojením obou prvků je splněna podmínka pro kompletní ochranu před úrazem elektrickým proudem, jenž se využívá u rozvodů v budovách a podobných objektech.

I k ochrannému pospojování se váže norma a to *ČSN 33 2000-4-41*. Stanovy normy uvádějí, že v každé budově se do ochranného pospojování musí propojit: ochranný vodič, uzemňovací přívod a další vodivé části (obr. 16). Např. tedy:

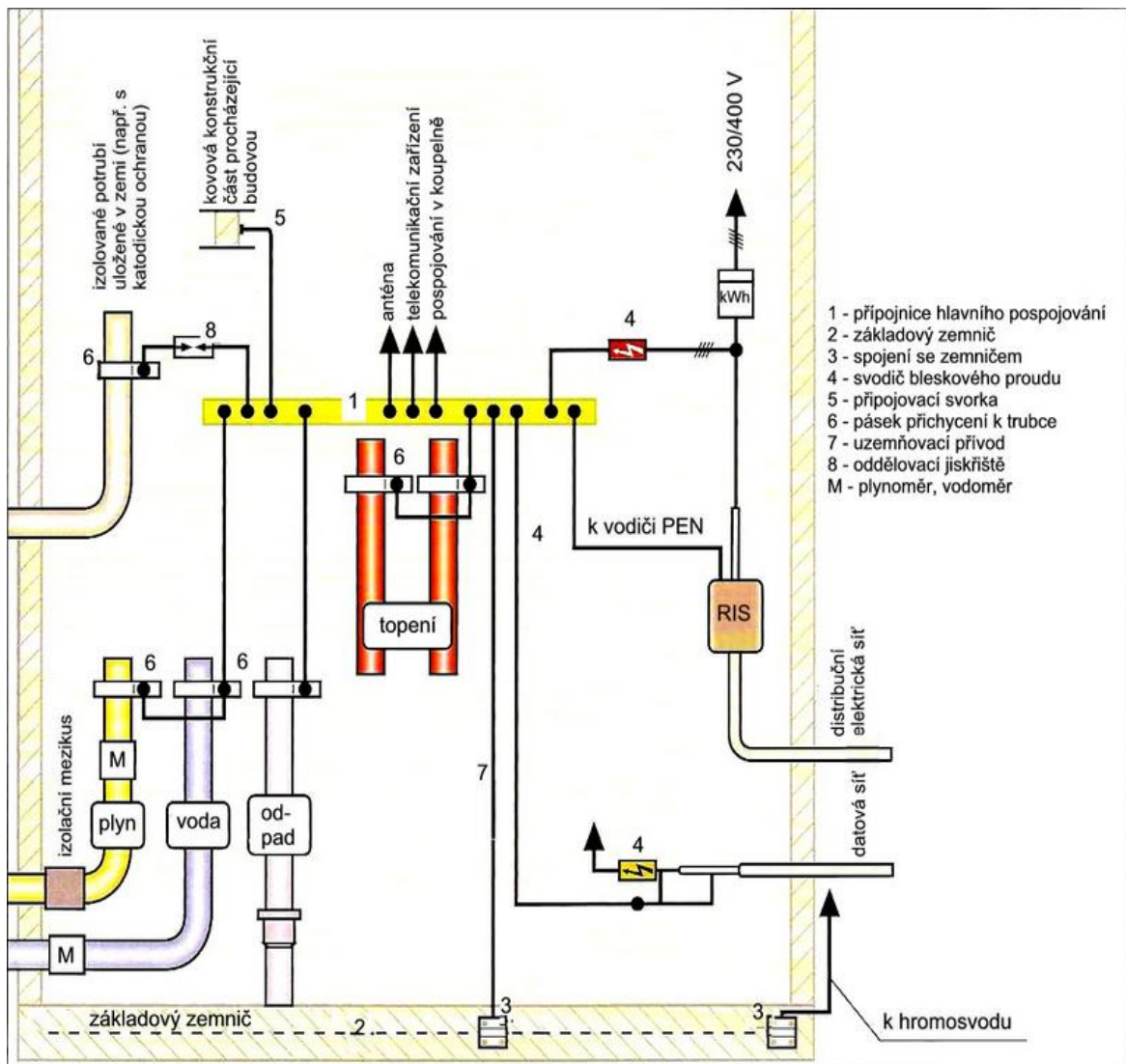
- zemnič - ocelové armování podlah, stropů, nosníků a podobně
- ochranný vodič PE
- topení, klimatizace, kotel, vodárna, bojler
- anténní stožár společně se stíněním ant. kabelů
- kovové rošty sádkartonů
- kovová komínová vložka
- přepěťové ochranné zařízení
- vnější izolační vložka HVI hromosvodu
- plechová střešní krytina
- kovový plášť telefonních kabelů (se souhlasem majitele nebo provozovatele)
- el. přístroje, zařízení, inf. technika

Dříve se spojení na společný potenciál provádělo pouze na ochranný vodič, jednalo-li se o síť TN se samočinným odpojovačem od zdroje, pak se prováděla stejně jako dnes kontrola impedance smyčky. Pro ochranný (dříve u sítě TN - nulovací) vodič je pravidlo, že se propojuje s co nejlepším uzemněním, které je k dispozici. Jedná-li se o kvalitně provedené pospojování, zajišťuje ochrana nejen řízení potenciálu na společný u všech neživých částí elektrických předmětů, zařízení a jiných vodivých předmětů, ale také v bezporuchovém stavu je potenciál celého pospojování přibližně na hodnotě neutrální země (považuje se téměř za nulový). Při poruše se tedy uzavírá pospojováním poruchový proud zpátky ke zdroji, což způsobuje uzavření smyčky a následné odpojení.

Čím je pospojování kvalitněji provedeno, tím menší je následná impedance poruchové smyčky a dojde tak rychleji k vypnutí. Je také lépe vyrovnána hodnota poruchových napětí na jednotlivých vodivých částech. Kvalita uzemnění pak ovlivňuje blízkost potenciálu vodivých částí, přístupných dotyku s potenciálem vzdálené země.  
[17]

Norma stanovuje i průřezy vodičů, které musíme k pospojování užít, a to nejméně na: [17]

- 6 mm<sup>2</sup> mědi nebo
- 16 mm<sup>2</sup> hliníku nebo
- 50 mm<sup>2</sup> oceli.



obr.16 Příklad ochranného pospojování v budově [17]

Ochranu pospojováním zde uvádím, protože se aktivně využívá právě u ochran proti přepětí - konkrétně pak proti přepětí atmosférickému. Ať už se jedná o úder blesku do budovy nebo o zavlečení pomocí úderu v blízkosti budovy a následnou indukci, může dojít uvnitř domu k jiskření či průrazu izolace, a to jak u vodičů, tak zařízení. Aby se dopad přepětí snížil na co nejmenší míru vzniklých škod, musíme počítat s tím, že pospojovanou síť může téci i část bleskového proudu.

„Vzájemné spojení s vnitřními sítěmi může být provedeno náhodnými spoji nebo přímo vodiči pospojování. Pokud je třeba zabránit průrazu izolace vedení, spojení je provedeno prostřednictvím přepětových ochran, přes které dojde k vyrovnání potenciálů i s izolovanými jádry vodičů a kabelů, tudíž nedojde k zavlečení nebezpečného přepětí do vnitřních částí zařízení. Způsob, kterým se dosáhne vyrovnání potenciálů při úderu

*blesku, musí být dohodnut s provozovateli příslušných sítí, nebo i s dotýčnými orgány (např. spojů). Vodiče pospojování, sloužící k vyrovnání potenciálů z hlediska ochrany před bleskem, musí být spolu s ostatními vodiči, jak uvádí ČSN 33 2000-4-41, připojeny k přípojnicí (svorce) pospojování (uzemnění), jak to stanoví norma ČSN 33 2000-5-54. U velkých objektů může být instalováno i více přípojníc pospojování. Ty se pak vzájemně spojují." [17]*

### **3.8 Ochrana stíněním**

S ochranným pospojováním velice úzce souvisí ochrana stíněním. Bleskový proud, ať už jde o celý proud nebo jeho část, vytváří při průchodu vedením silné elektromagnetické pole. Pokud dochází ke změně při narůstání bleskového proudu a je proud ve smyčce, dochází k indukci napětí. K indukci dochází v nestacionárním magnetickém poli(mění se). Toto pole může být způsobeno[18]:

- pohybujícím se vodičem,
- změnou velikosti proudu ve vodiči,
- pohybujícím se magnetem (elektromagnet nebo permanentní).

Uvážíme-li magnetický tok  $\Phi$  daný vztahem (2-1) [18]:

$$\Phi = B * S * \cos \alpha \quad (2-1)$$

$$(\alpha \neq 0)$$

pak u nestacionárního pole, kde dochází ke změnám indukčního toku v našem případě změnou velikosti magnetické indukce B (dochází zde k nárůstu I ve vodiči, obr. 17), můžeme určit velikost indukovaného napětí pomocí rovnice (2-2) - Faradayova zákona elektromagnetické indukce[18]:

$$U_i = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (2-2)$$

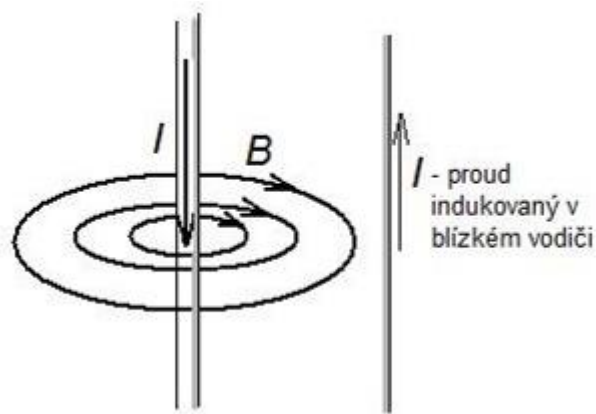
směr indukovaného proudu pak z Lenzova zákona[18]:

*Směr proudu je takový, aby síla, která jej vyvolala ( $F_m$ ), působila proti směru změny* (2-3).

$$F_m = I_i * (\vec{I} \times \vec{B}) \quad (2-3)$$

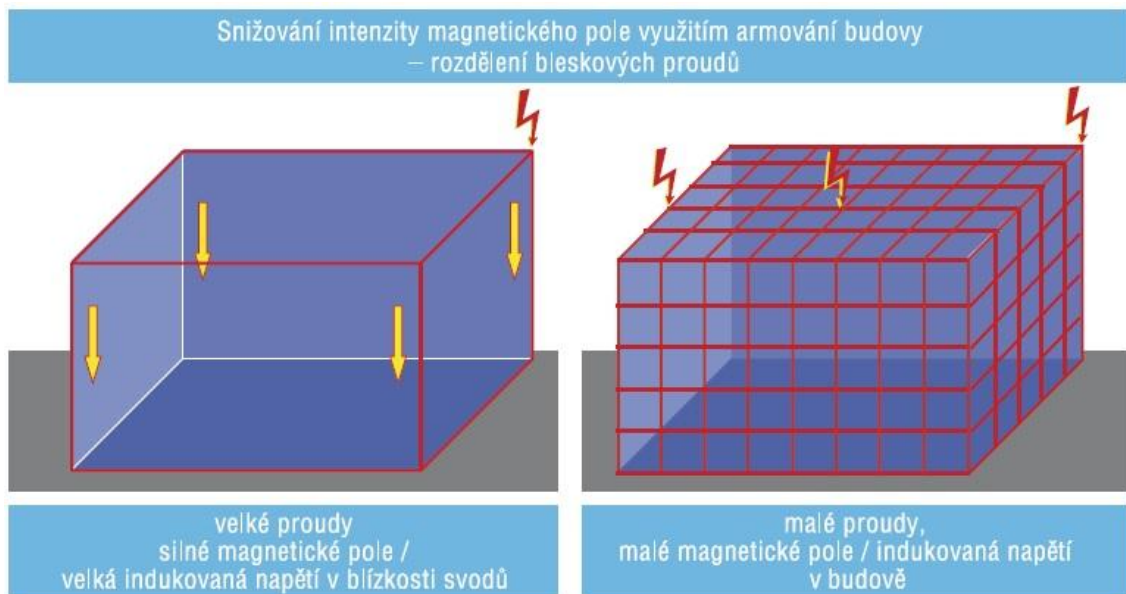
- orientace proti pohybu





obr.17 Indukovaný proud v blízkém vodiči [17]

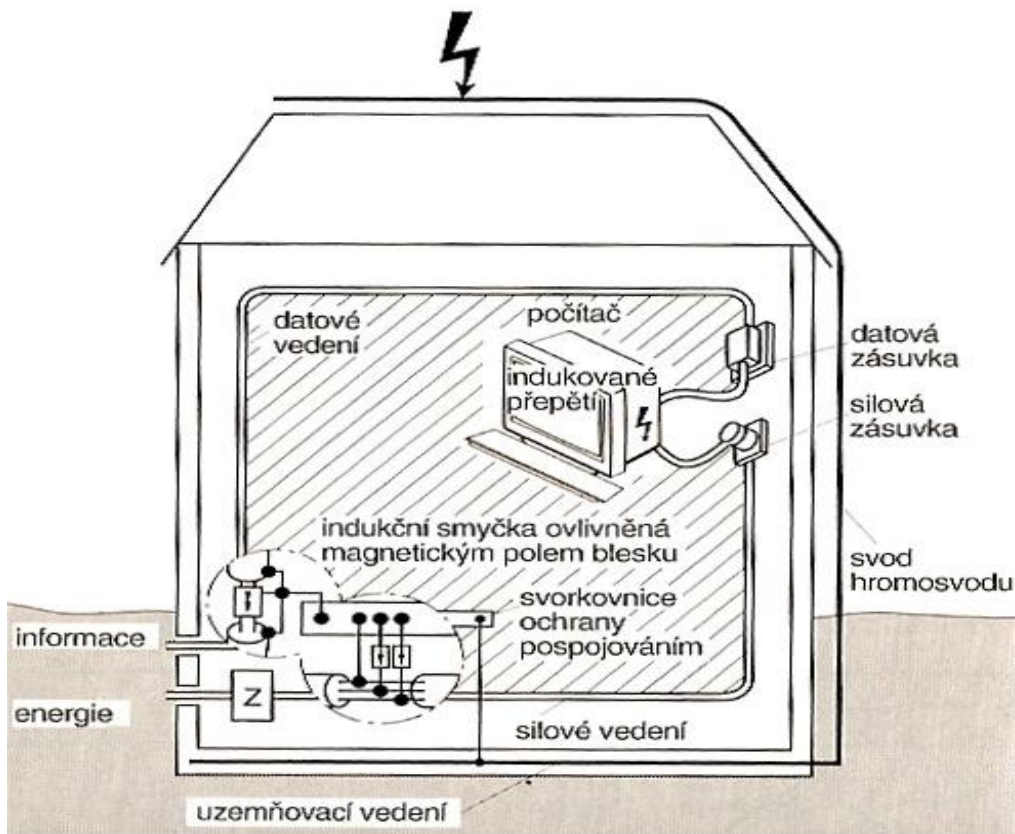
Chceme-li se tedy účinně chránit proti vlivům elektromagnetické indukce, musíme věnovat pozornost právě ochraně stíněním. Tato metoda pracuje na bázi snižování intenzity elektromagnetického pole. Pokud tedy pospojujeme všechny vodivé části v budově (jejich výčet najdeme u předchozí ochrany pospojováním), dochází k vytvoření vodivé slupky okolo budovy. Principiálně jde o Faradayovu klec. Na tomto obalu dojde k rozdělení velkých hodnot bleskových proudů do menších smyček (obr. 18), a tím pádem i k potlačení případného vlivu elektromagnetického pole.



obr.18 Příklad zmenšení indukčních smyček [19]

„Jen tak pro zajímavost je možno si spočítat, jaké napětí se může indukovat ve smyčce znázorněné na obr. 19. Uvažujme-li, že smyčka je v blízkosti jednoho ze dvou svodů, kterým protéká 66 % celkového proudu blesku, jehož maximální nárůst je,  $di/dt_{max} = 65 \text{ kA}/\mu\text{s}$ , přičemž smyčka je vysoká 3 m a bližší vedení je od svodu vzdáleno

1,5 m a vzdálenější je 5 m od svodu, tak napětí indukované v této smyčce, které se objeví mezi svorkami počítače je přibližně 47 000 V. Na takové napětí samozřejmě není žádná izolace uvnitř elektrického zařízení nízkého napětí (počítače, televizoru apod.) dimenzovaná, a pokud není použita přepěťová ochrana, dojde přinejmenším ke zničení zařízení." [17] - upraveno



obr.19 Smyčka, u které dochází k indukci napětí. [17]

Je tedy jasné, že čím menší je velikost smyčky, tím větší je magnetický útlum. Vliv na útlum má také průměr vodivého materiálu, z kterého je smyčka tvořena. Pokud dáme do poměru vliv velikosti smyčky a průměr prutu armování budovy, z kterých jsou sítě vyráběny, ovlivní nám magnetický útlum více velikost smyčky. Uvedu příklad na armování užívané v betonech. Pokud použijeme síť s velikostí oka 12x12mm a průměrem prutu 2mm, získáme lepší stínící vlastnosti, než kdyby se použila síť s oky velikosti 10cm a průměrem prutu 12mm. Velikost tlumení magnetického pole se udává v decibelech.

## 4. Svodiče přepětí

Nejvhodnějším způsobem jak ochránit elektrická zařízení před přepětím, je instalace svodičů přepětí (obr. 20) s dalšími vhodně kombinovanými ochrannými opatřeními. Aplikace svodičů přepětí, jako místní ochrana zařízení je neúčinnějším způsobem k zajištění nízké poruchovosti zařízení sítí s nevelkým negativním vlivem na počet přerušení dodávky elektřiny.

### 4.1 Parametry svodičů přepětí

Návrh přepět'ové ochrany není úplně jednoduchá záležitost. Musí se brát ohled na požadavky norem, předpisy a veličiny.

Výběr nejdůležitějších parametrů:

- *Impulzní proud (zn.  $I_{imp}$ )* – Definuje se pro zkušební proudovou vlnu s průběhem 10/350  $\mu$ s. Stanovuje nejvyšší možnou velikost střídavého proudu, kterou je zařízení schopno opakovaně svést bez změny svých vlastností. Uvádí se u zařízení třídy 1. [21]
- *Maximální výbojový proud (zn.  $I_{max.}$ )* – Maximální hodnota střídavého impulzního proudu tvaru vlny 8/20  $\mu$ s. Zařízení musí této hodnotě jednorázově odolat. Uvádí se u zařízení třídy 2. [21]
- *Jmenovitý výbojový proud (zn.  $I_n$ )* – Nejvyšší hodnota amplitudy zkušební proudové vlny 8/20  $\mu$ s, kterou chránič vydrží opakovaně a i při rychlých opakováních. Uvádí se u zařízení třídy 2. [1, 21]
- *Ochranná úroveň (zn.  $U_p$ )* – Rozčleňuje vedení do čtyř kategorií. Udává maximální možnou hodnotu přepětí za chráničem po vykonání své funkce. [20]
- *Zbytkové napětí (zn.  $U_{res.}$ )* – Představuje hodnotu napětí na výstupních svorkách svodiče přepětí po svedení přepět'ové vlny. Nesmí dojít k překročení této hodnoty, musí být maximálně stejná jako povolená hodnota popřípadě menší. [1, 20]



Obr. 20 Svodič přepětí na venkovní síti (odpojený omezovač při poruše)[24]

## 4.2 Třídy svodičů přepětí

Ochranné prvky jsou podle parametrů děleny do třech tříd (tabulka 1).

Typ dle ČSN EN 61643-11	Úloha	Max. ochranná úroveň dle ČSN EN 60664-1
Typ T1 (B)	Zařízení přepětové ochrany pro pospojování (vyrovnání potenciálů) proti blesku podle ČSN EN 62305 při přímých nebo blízkých úderech blesku ( <i>první stupeň ochrany, hrubá ochrana</i> )	IV
Typ T2 (C)	Zařízení ochrany před přepětím podle ČSN EN 62305 pro přepětí příšlá ze silové sítě vzniklá při úderech blesku nebo při spínacích jevech ( <i>druhý stupeň ochrany, střední ochrana</i> )	III
Typ T3 (D)	Zařízení určené k ochraně před přepětím dle ČSN EN 62305 místně proměnných spotřebičů v zásuvkách ( <i>třetí stupeň ochrany, jemná ochrana</i> )	II

Tabulka 1 [20]

Poznámka k tabulce:

„Zařízení přepětové ochrany třídy A (zkoušeno tvarem vlny 8/20) je určené pro distribuční venkovní vedení a snižuje přepětí pod úroveň IV - 6kV.“ Upraveno z [20]

## 4.3 Svodiče přepětí třídy T1

Ochranný prvek má za úkol svést bleskový proud a propustit dále hodnotu rovnou maximálně 4kV nebo menší. Proto se také nazývá jako svodič bleskových proudů. Svodič v této třídě musí bez problémů odolat a následně svést elektrický proud o amplitudě 50kA o impulzu 10/350  $\mu$ s. Ze statistiky vyplývá, že 99% všech atmosférických výbojů nepřesáhne hodnotu proudu 200kA. Přibližně polovina

bleskového proudu je svedena ihned do země, následná vlna ve vedení se pak šíří do obou směrů od místa úderu. Vyplývá z toho, že vlna bude mít právě čtvrtinu z celkové hodnoty, tedy 50kA.

Ve většině případů se zavádějí přepětěťová ochranná zařízení T1 do hlavních domovních skříní. Norma PNE 33 0000-5 se proto jasně zaměřuje na požadavky a vlastnosti, které musejí skříně splňovat. Jelikož zde dochází ke svodu proudového impulzu o vysokých hodnotách, dochází zde k nežádoucím vlivům: [20]

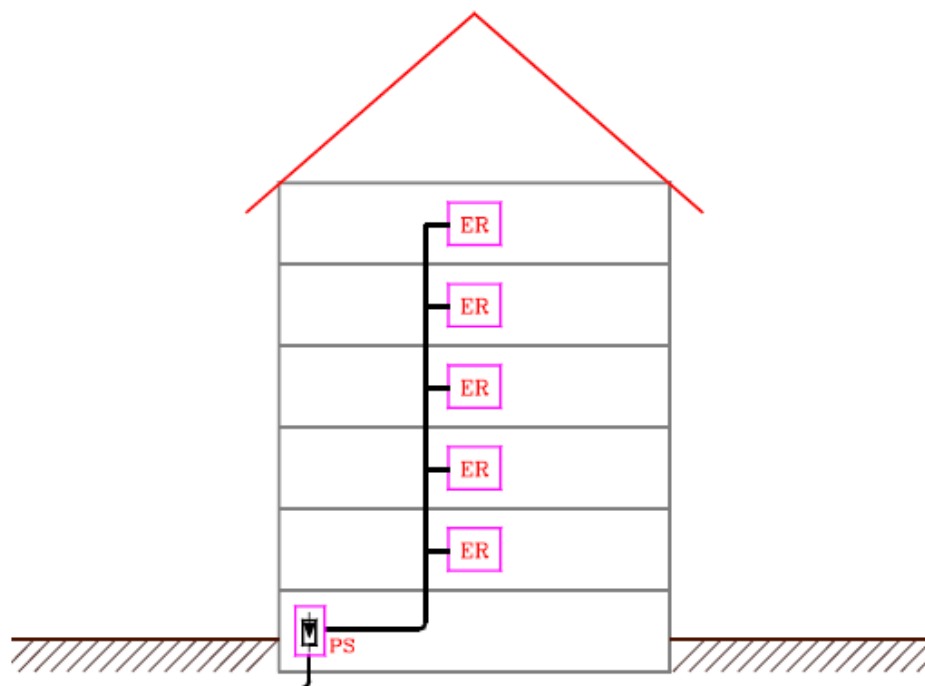
- dynamické účinky na vodiče,
- tepelné účinky,
- tlakové účinky při vyfukování oblouku.

Ve většině případů jsou již od výrobce předem stanoveny podmínky pro montáž svodičů a musejí se respektovat. Jejich nedodržením by mohlo dojít k poškození zařízení nebo i hůře ke zranění osob. Skříně užívané pro montáž svodičů třídy T1 se proto testují vlnou 10/350 $\mu$ s o amplitudě 100kA. Při zkoušce je povinnost osadit skříně funkčním a správně zapojeným svodičem dané třídy. Povinností výrobce je vyhotovit a předkládat protokol o zkoušce. Stejně pravidlo platí i pro rozvaděče a rozvodnice a to i elektroměrové.[20]

S ohledem na předchozí odstavec již můžeme popsat montáž svodičů kabelového i venkovního vedení. Uvedu zde některá častá zapojení svodičů třídy T1.

#### **Kabelové vedení:**

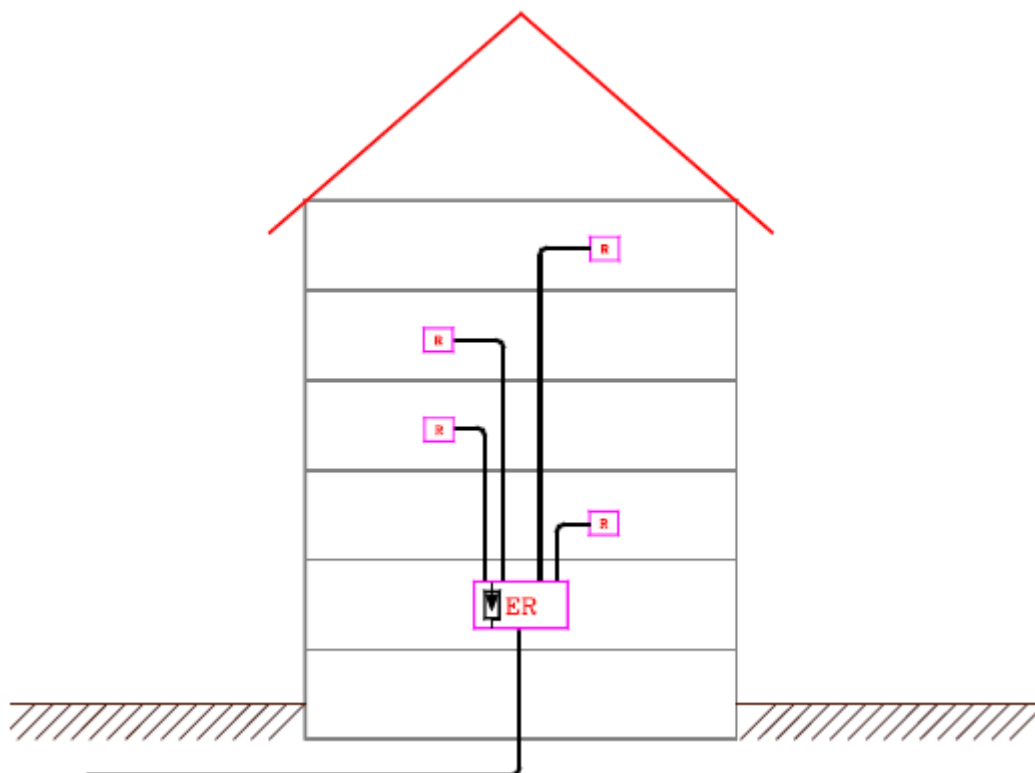
Obvykle se umísťují na rozhraní nechráněného přívodního kabelu a chráněného prostředí domu. Blíže pak přímo do hlavní domovní skříně, splňuje-li podmínky dodatku normy uvedené výše. Pokud není svodič montován přímo do skříně, umísťuje se pak do těsné blízkosti skříně (tzn. u vstupu vedení do budovy).



*obr.21 Princip zapojení svodiče 1. třídy na vstupu vedení do budovy [20]*

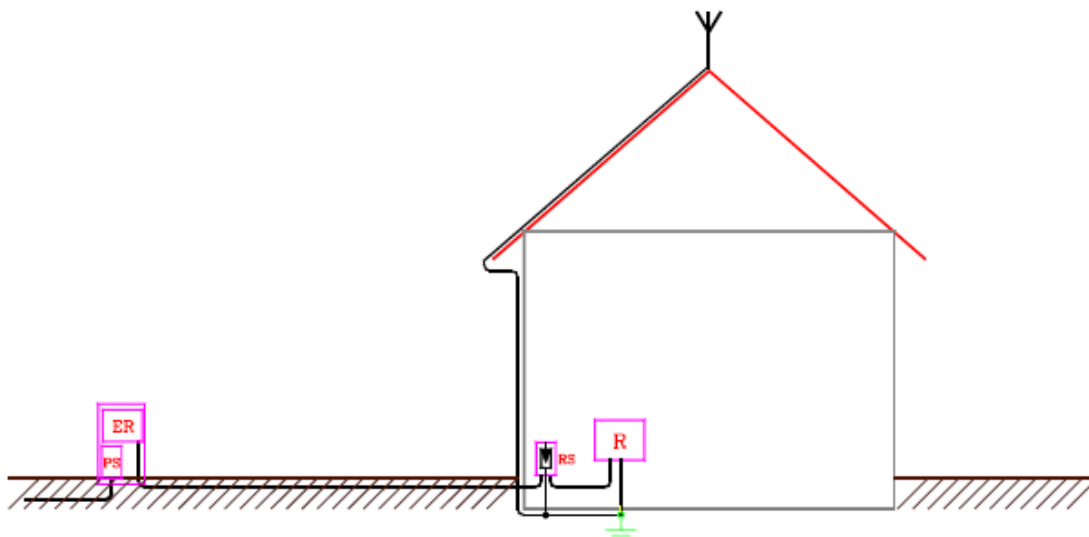
Toto provedení je vhodné pro stavby, jako jsou panelové domy, které mají elektroměry ve stejném podlaží jako byty a je zde nutné rozlišovat odběry jednotlivých bytů. Svodič je zde umístěn na vstupním místě přívodu elektrické energie do zástavby (obr. 21) v blízkosti hlavní domovní skříně nebo stoupacího vedení. Může být umístěn i přímo ve skříně, pokud splňuje podmínky normy. Stejně místo pro umístění svodiče se užívá také u objektů se společným elektroměrovým rozvaděčem umístěným ve sklepě, přízemí nebo prvním podlaží. Není zde potřeba měřit odběr jednotlivým bytům nebo podlažím.

Další varianta je umístit svodič do samostatné skříně v těsné blízkosti elektroměrového rozvaděče, nebo přímo v rozvaděči (obr. 22). Opět zde musejí být dodrženy podmínky normy. Užívá se pak u objektů, kde je více odběratelů a měření odběru se provádí z rozvodny nízkého napětí, ale není zde hlavní domovní skříně.

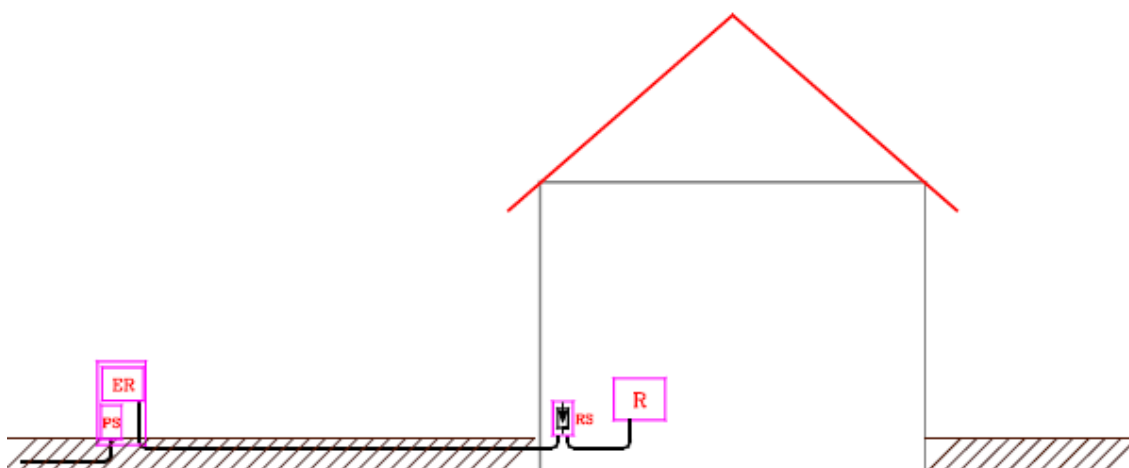


obr.22 Princip zapojení svodiče 1. třídy u elektroměru[20]

U novostaveb se v dnešní době elektroměr instaluje do kombinovaného elektroměrového pilíře na hranici pozemku, která musí být přístupná z veřejného prostranství. Pilíř je poté připojen na kabelové vedení nízkého napětí kabelovou přípojkou nebo smyčkou kabelového vedení. Pilíř se s objektem, ke kterému náleží, připojuje kabelovým přívodem. Musíme brát ohled na to, zda objekt má či nemá hromosvod a jak je vzdálen pilíř od objektu. Pokud zde hromosvod je, pak svodič přepětí T1 umístíme do těsné blízkosti vstupu vedení do budovy do samostatné skříně, je-li podružný rozvaděč umístěn v obvodovém zdivu a splňuje normu, může se svodič umístit i sem (obr. 23). Je povinnost připojit svodič na svorkovnici hlavního pospojování. Pokud objekt hromosvod nemá, umístění svodiče je stejné jako u verze s hromosvodem. Rozdíl spočívá v tom, že není nezbytně nutné spojení se svorkovnicí hlavního pospojování (obr. 24).



obr.23 Princip zapojení svodiče 1. třídy u vstupu vedení do budovy s hromosvodem [20]

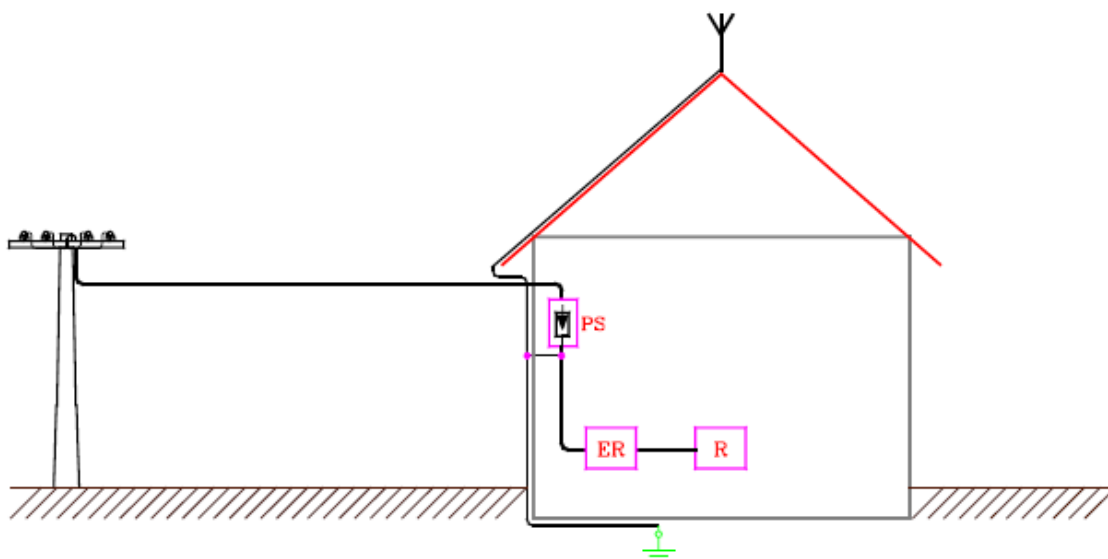


obr.24 Princip zapojení svodiče 1.třídy na vstupu vedení do budovy  
bez hromosvodu [20]

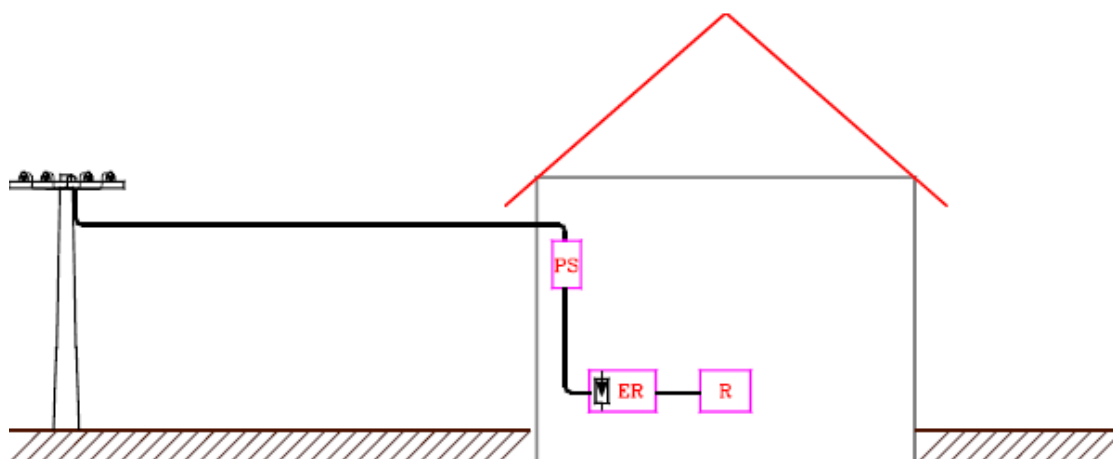
### Venkovní vedení:

V prvním případě uvažujeme, že objekt je připojen na venkovní vedení nízkého napětí (kabel je k budově veden vzduchem přímo ze sloupů). I v tomto případě musíme zohlednit, zda objekt má či nemá hromosvod. Pokud zde hromosvod je, pak svodič přepětí T1 umístíme do těsné blízkosti vstupu vedení do budovy (obr.25). Zemnicí svod přepěťové ochrany poté připojíme na hromosvod nejkratší možnou cestou. Svodič přepětí musí být připojen také k ochrannému vodiči elektrické přípojky.





obr.25 Princip zapojení svodiče 1 třídy na vstupu vedení do budovy s hromosvodem [20]



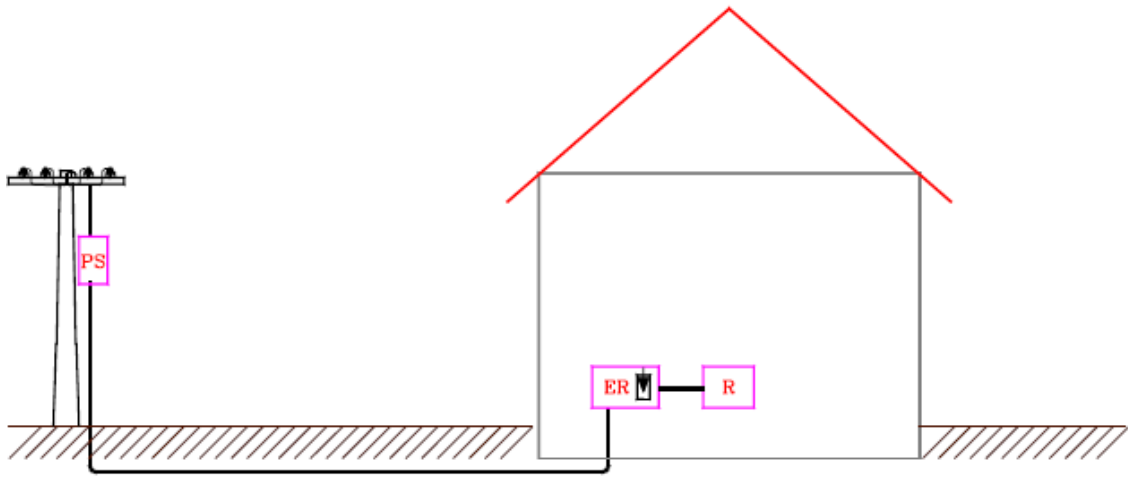
obr.26 Princip zapojení svodiče 1. třídy u elektroměru v budově  
bez hromosvodu [20]

Nenachází-li se hromosvod u objektu, pak se musí umístit svodič do blízkosti elektroměrového rozvaděče nebo přímo v něm (obr.26). Musí zde být dodrženy podmínky normy. V tomto případě musíme provést vodivé spojení se svorkovnicí hlavního pospojování. Zde se pak může jednat o budovy, jako jsou rodinné domky, chalupy, či menší výrobní a provozovny.

### Kombinace venkovního a kabelového vedení:

Zde si uvedeme případ, kde je sveden ze sloupů venkovního vedení nízkého napětí kabel, který je zemí tažen do objektu (obr. 27). Zde se umísťuje svodič do těsné

blízkosti elektroměrového rozvaděče nebo přímo do něj splňuje-li normu. Toto zapojení bychom mohli vidět u starších stavení nebo například u chalup na samotě.



obr.27 Princip zapojení svodiče 1. třídy u elektroměru [20]

Možné je vidět i svedení kabelu ze sloupu venkovního vedení a následné připojení do pilíře na hranici pozemku. Z pilíře je poté kabelem tažen přívod elektrické energie do budovy. U této varianty se opět bere v úvahu, zda budova je opatřena hromosvodem či nikoliv. Umístění svodiče přepětí je poté principiálně shodné s obrázkem č. 23, pokud je na budově hromosvod. Pokud není, je pak umístění svodiče shodné s obrázkem č. 24.

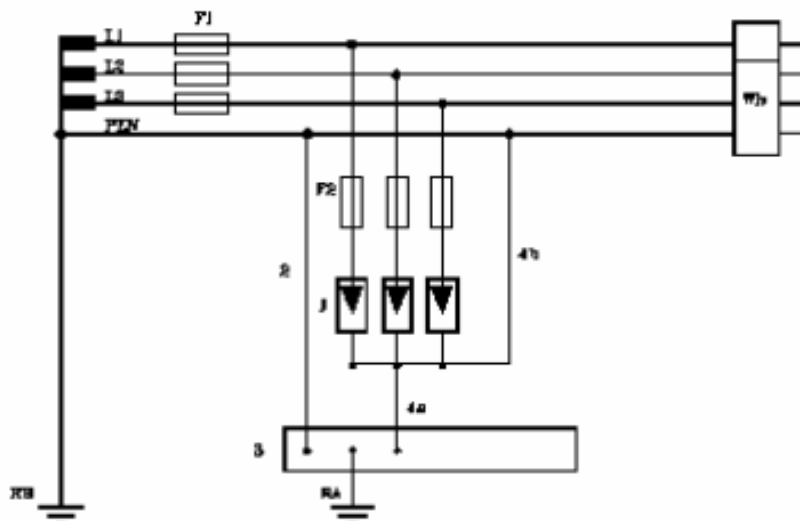
#### 4.4 Způsoby zapojení dle druhu sítě

Zapojení svodiče je ovlivněno druhem sítě, na kterou je připojen objekt. Jelikož žijeme na území České republiky, budeme se zabývat třemi druhy sítě.

Rozdělení dle způsobu zapojení sítě je rozděleno na následující:

1. síť TN-C,
2. síť TN-C-S,
3. síť TT.

Jako první je síť TN-C. U této sítě je zapotřebí čtyř vodičů, a to tři vodičů vedoucích fáze (L1, L2, L3) a jeden vodič kombinovaný - střední a ochranný (PEN). Zapojení přepěťové ochrany prvního stupně je znázorněno na obrázku (obr. 28).



obr.28 Přepětové ochranné zařízení T1 v síti TN-C [20]

"1- přepětové ochranné zařízení SPD typu T1

2 - vodič pospojování (vyrovnání potenciálů), dimenzovaný podle ČSN 33 2000-5-54, min. 16 mm<sup>2</sup>

3 - hlavní ekvipotenciální sběrnice (hlavní uzemňovací přípojnice)

4a, 4b - uzemňovací svody přepětového ochranného zařízení (viz. vysvětlivky)

F1- nadproudové jištění domovní přípojky

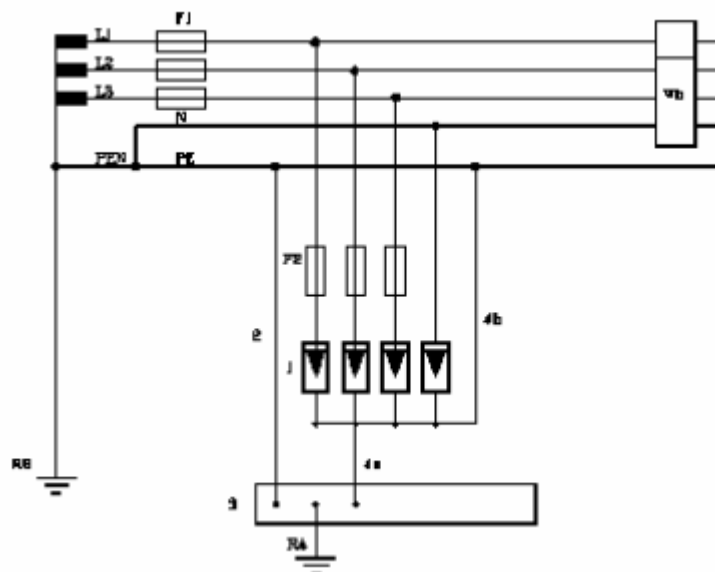
F2 - ochrana před zkratovým proudem podle údajů výrobce přepětových ochran

RA- uzemnění zařízení, např. základový zemnič

RB - provozní uzemnění

CU - (pospojování podle ČSN EN 62305)" [20]

Druhý způsob zapojení je prováděn v síti TN-C-S. Tato síť má opět tři fázové vodiče (L1,L2,L3), dále vodič střední (N) a vodič ochranný (PE). Celkem je tedy pět vodičů. Zde se zapojení přepětové ochrany stupně T1 provádí podle schématu zobrazeného na obrázku (obr. 29).



obr.29 Přepětové ochranné zařízení T1 v síti TN-C-S [20]

„1 - přepětové ochranné zařízení SPD typu T1

2 - vodič pospojování (vyrovnání potenciálů), dimenzovaný podle ČSN 33 2000-5-54, min. 16 mm<sup>2</sup>

3 - hlavní ekvipotenciální sběrnice (hlavní uzemňovací přípojnice), hlavní pospojování viz. ČSN 33 2000-4-41 čl. 413.1.2

4a, 4b - uzemňovací svody přepětového ochranného zařízení (viz vysvětlivky)

F1 - nadproudové jištění domovní přípojky

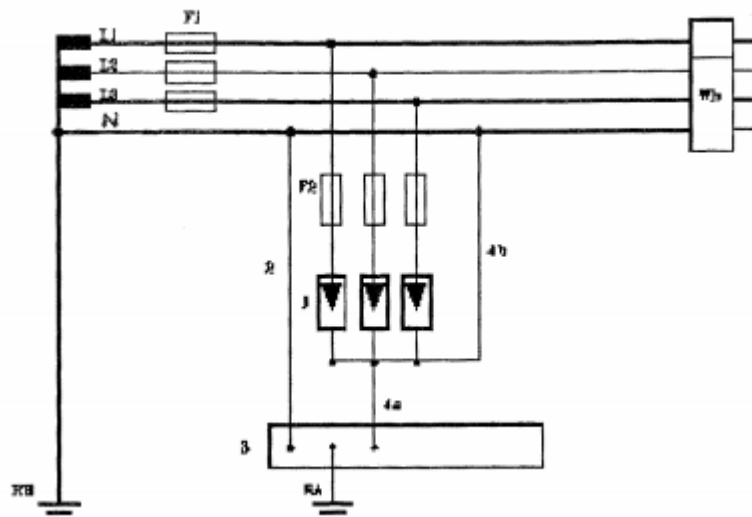
F2 - ochrana před zkratovým proudem podle údajů výrobce přepětových ochran

RA - uzemnění zařízení, např. základový zemnič

RB - provozní uzemnění

CU - (pospojování podle ČSN EN 62305)" [20]

Třetí možný způsob bude znázorněn pro síť TT. Zde je jeden bod sítě přímo uzemněný a neživé části zařízení, připojených k této síti, se přizemňují samostatně nezávislým zemnicím prvkem. Názorné zapojení svodiče přepětí třídy T1 v síti TT je schematicky zobrazeno na obrázku (obr 30).



obr.30 Přepětové ochranné zařízení T1 v síti TT [20]

„1 - přepětové ochranné zařízení SPD typu T1

1a - přepětové ochranné zařízení SPD typu T1 se zvláštními požadavky

2 - přívod N přepětového ochranného zařízení

3 - hlavní ekvipotenciální sběrnice (hlavní uzemňovací přípojnice), hlavní pospojování viz. ČSN 33 2000-4-41 čl. 413.1.2

4a, 4b - uzemňovací svody přepětového ochranného zařízení (viz vysvětlivky)

F1 - nadproudové jištění domovní přípojky

F2 - ochrana před zkratovým proudem podle údajů výrobce přepětových ochran

RA - uzemnění zařízení, např. základový zemič

RB - provozní uzemnění" [20]

Ve schématech (obr. 28 ÷ 30) vidíme, že jsou zapojeny společně s chráničem také pojistky. Máme uvedeny dvě možnosti, jak mají být pojistky zapojeny. První možnost - pojistky s označením F1 jsou užívány jako jistící prvek hlavního rozvodu. Instalují se do obvodu nezávisle na užití přepětové ochrany. Naopak pojistky označené jako F2 jsou v obvodu pouze v kombinaci s chráničem. Tyto pojistky zvyšují zkratovou pevnost obvodu a jsou určeny k přerušení následného proudu z rozvodné sítě NN.

Pojistky F2 se nemusí užívat, jestliže pojistky F1 ve všech ohledech souhlasí s požadavky výrobce svodiče přepětí třídy 1. Jestliže však mají pojistky F1 vyšší

hodnotu proudu, než je uváděno u pojistek F2, bezpodmínečně se pak pojistky F2 musí instalovat a musí přesně vyhovovat požadavkům výrobce.

Jelikož by se mělo co nejméně zasahovat do neměřené oblasti, je důležité vybrat správný typ svodiče třídy 1. Správným typem se rozumí takový svodič, který souhlasí s vybavovacím proudem pojistky F1, a tím pádem pojistky F2 nemusíme instalovat. Za druhé by měl být svodič vybírán s ohledem na zhášecí charakteristiku pojistky F1, aby nedocházelo k přepálení pojistky vlivem následného proudu z přípojky.

#### **4.5 Svodiče přepětí třídy T2**

Je určen k ochraně zařízení před účinky přepět'ové vlny, generované nepřímým úderem blesku do vedení, nebo před vlivem spínacího přepětí. Přímý úder blesku modelovaný vlnou 10/350 $\mu$ s bude sveden přepět'ovou ochranou třídy 1. Třída 2 je navrhována na zadržení a svedení vln o průběhu 8/20 $\mu$ s. Svodiče přepětí druhé třídy tedy svádějí oproti první třídě mnohem menší energii.

Umístění svodiče přepětí třídy 2 se většinou provádí do podružného rozvaděče. Pokud chráněný objekt má pouze jednoduchou elektroinstalaci a není podružný rozvaděč třeba, umístíme svodič přímo do hlavního rozvaděče vedle svodiče třídy 1. Pokud je takto nainstalován, musí zde být provedeno vzájemné oddělení obou tříd oddělovací impedancí. Novější varianta svodičů přepětí nabízí kombinovanou formu chráničů třídy 1 a 2, která impedanční oddělení nepotřebuje, protože je s ní počítáno a je již provedena přímo v ochranném bloku. Zde se užívá takzvané koordinace činnosti. Zaručuje nám postupný chod ochran ve stanoveném pořadí od první k poslední T1 => T2 => T3. Pokud by tomu tak nebylo a například by došlo k dřívější aktivaci ochrany třídy 2 před třídou 1. Mohlo by se stát, že ochrana třídy 2 nebude schopna svést takové množství energie a v lepším případě by došlo ke zničení ochrany, v tom horším pak k poškození či zničení chráněného zařízení.

#### **4.6 Svodiče třídy T3**

Svodiče této třídy jsou užívány jako jemná ochrana. Užívají se pro ochranu spotřebičů, které mají v sobě zakomponovány elektronické prvky, citlivé i na menší vzrůst napětí. Testování svodičů se v tomto případě provádí vlnou napětí 1,2/50 $\mu$ s a vlnou proudu 8/20 $\mu$ s. Normované napětí za svodičem musí být menší nebo rovno 1,5kV. Jelikož se u těchto prvků využívá součástek, jako je varistor a transil, u kterých dochází vlivem unikajícího proudu k omezené době života součástky, musí obsahovat

signalizaci poruchy. Pokud bychom součástku nekontrolovali, mohlo by dojít vlivem stále se navyšujícího unikajícího proudu až k vzplanutí součástky a možnému vzniku požáru.

Kvalitnější ochrany jsou doplňovány i propustí či filtrem, který hlídá frekvenci sítě. Pokud by došlo k překročení nastaveného limitu, může dojít také k odpojení.

Umístění svodičů třídy 3 je prováděno přímo do zásuvkového okruhu. Může být umístěn v podružném rozvaděči a chránit tak více zásuvek, nebo pak přímo v konkrétní zásuvce, hlídající dané zařízení. I mezi svodiči třídy 2 a 3 by měla být oddělovací impedance.

## 5. Šíření vln přepětí vedením:

Atmosférické přepětí může do vedení dodat přepětíovou vlnu dvěma způsoby. První je přímým úderem blesku do vedení. Druhý způsob pak nepřímý úder, kde se do vedení vlna naindukují.

Přepětíové vlny se vždy šíří vedením jako vlny napětíové a vlny proudové. Další druh je tzv. vlna rázová. Je to vlna, která se šíří jedním směrem. Velice rychle po jejím vzniku nabude své maximální hodnoty, poté její velikost klesá, až zanikne. Dojde-li k přímému úderu blesku do vedení, přepětíová vlna se šíří od místa úderu oběma směry. Elektrická zařízení, která mohou být vystavena vlivům přepětíových vln, musejí podléhat rázovým zkouškám, při kterých se ověřuje odolnost daného zařízení vůči takovýmto vlnám.

## 6. Parametry vedení

Každé vedení má svoje specifické vlastnosti, které jsou stanoveny parametry vedení. Tyto parametry se dělí do třech skupin - základní, sdružené a odvozené. Jejich rozdělení je následující:

Základní parametry:

- Činný odpor
- Indukční reaktance
- Kapacitní susceptance
- Svodová vodivost
- Koróna

Sdružené parametry:

- Podélná impedance
- Příčná admitance

Odvozené parametry:

- Vlnová impedance
- Přirozený výkon vedení

U parametrů, které jsou určovány na jednotku délky, ve většině případů přepočítáváme hodnoty na jeden kilometr délky.

1) Činný odpor:  $R = \rho * \frac{l}{S} [\Omega, \Omega * \text{mm}^2 * \text{m}^{-1}, \text{m}, \text{mm}^2]$

U venkovních vedení se užívají lana. Užívá se zde kombinace materiálů např. lano AlFe (hliník - vodivá část, železo má zase lepší odolnost na mechanické namáhání). Průtokem proudu - při provozu se vedení zahřívá, a tím se mění i velikost odporu. [23]

2) Indukční reaktance:  $X_L = \omega L = 2\pi f L [\Omega]$

Je závislá na uspořádání vodičů vedení. Každé vedení má 3 druhy indukčnosti: vlastní, vzájemnou a celkovou. U kabelového vedení závisí na konstrukci kabelu. Zpravidla bývá indukčnost kabelového vedení oproti venkovnímu o 1/4 nižší. [23]

3) Kapacitní susceptance:  $B_C = \frac{1}{X_C} = 2\pi f C [S]$

Představíme-li si vodiče vedení jako pomyslnou elektrodu kondenzátoru, pak vzduch tvoří dielektrikum a druhá elektroda je tvořena zemí. Celá tato soustava tvoří pomyslný kondenzátor. Druhý je pak tvořen přímo mezi lany vedení, kde dielektrikum představuje opět vzduch. U vedení kabelového dielektrikum tvoří PVC izolace. Kapacita kabelového vedení dosahuje několikanásobku kapacity vedení venkovního. Musíme brát zřetel na kapacitní proudy, které mohou dosahovat nemalých hodnot. Působí ztráty na jalovém proudu.



4) Svodová vodivost:  $G$  [S]

Lana venkovního vedení i kabely u kabelového vedení musejí být od země odizolované. Jelikož neexistuje ideální izolant, uvádí se vztahem:

$$G = \frac{1}{R_i} [\text{mS/km}], \text{ izolační odpor vedení. Nedokonalostí izolace zde dochází}$$

k úbytkům činné složky proudu. Pro příklad: ke snížení izolačního odporu izolátoru může dojít vlivem počasí - deště, nebo jeho znečištěním. Na svod se přihlíží pouze u výpočtů na sítích VVN.

5) Koróna:

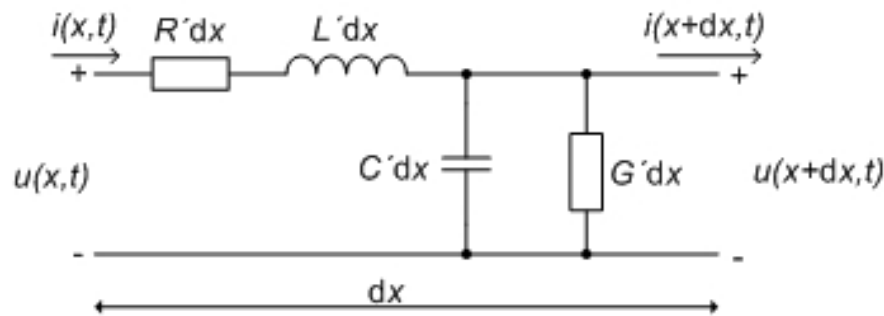
Je-li vodič v provozu pod napětím, generuje ve svém okolí nehomogenní elektrostatické pole, jeho intenzita dosahuje nejvyšších hodnot právě na povrchu vodiče. Postupně se pak hodnota intenzity zmenšuje směrem od vodiče.

*„V této části, kde intenzita je větší než přirozená pevnost vzduchu, vzniká nárazová ionizace vzduchu, doprovázená namodralým světélkováním, praskotem a vznikem šumu. Překročí-li intenzita el. pole průraznou pevnost vzduchu [30kV/cm ], dojde k průrazu, molekuly vzduchu na sebe narážejí, fyzikálně vznikne nesamostatný výboj plynu, který se nazývá koróna.“ [23]*

Tento jev se hlavně vyskytuje na svorkách vedení, kde se náboj hromadí. Důsledkem koróny je úbytek činné složky proudu, podobně jako u svodové vodivosti. Projevuje se na vedení VN a VVN a je značně ovlivněna počasím, především vlhkostí vzduchu.

Pro odvození našeho případu postačí vedení homogenní. Jedná se o spojitě vedení, které má rovnoměrně rozložené parametry ( $R$  - odpor,  $L$  - indukčnost,  $C$  - kapacitu,  $G$  - svod). Průřez vodičů vedení, pořadí měrných parametrů a okolní vlastnosti prostředí zůstávají po celou dobu stejné a nemění se. Pro stanovení rovnic a navržení náhradního schématu (obr. 31) bereme v úvahu pouze elementární část vedení. Na vedení se vyskytují ztráty elektrické energie, a to vlivem podélné impedance a příčné admitance.

Na obrázku (obr. 31) je znázorněn elementární úsek vedení. Levá strana obrázku představuje stranu blíže ke zdroji generující signál, pravá strana je pak vzdálenější konec vedení. Úsek označíme jako  $dx$ . V dalším kroku užijeme na úsek vedení první a druhý Kirchhoffův zákon a po úpravách dostaneme rovnice, které se v literatuře označují též jako telegrafní.



obr.31 Náhradní schéma homogenního vedení [22]

$$\frac{\partial u(t; x)}{\partial x} + R' i(t; x) + L' \frac{\partial i(t; x)}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial i(t; x)}{\partial x} + G' u(t; x) + C' \frac{\partial u(t; x)}{\partial t} = 0$$

Díky těmto rovnicím lze řešit postupné vlny napětí i proudu v libovolném místě i čase na vedení a to jak vlny hlavní i vlny odražené.

„Vzájemným řešením rovnic a úpravami získáme parametry popisující silnoproudé vedení, měrný činitel přenosu  $\gamma$  a charakteristickou impedanci  $Z_C$ ." [22]

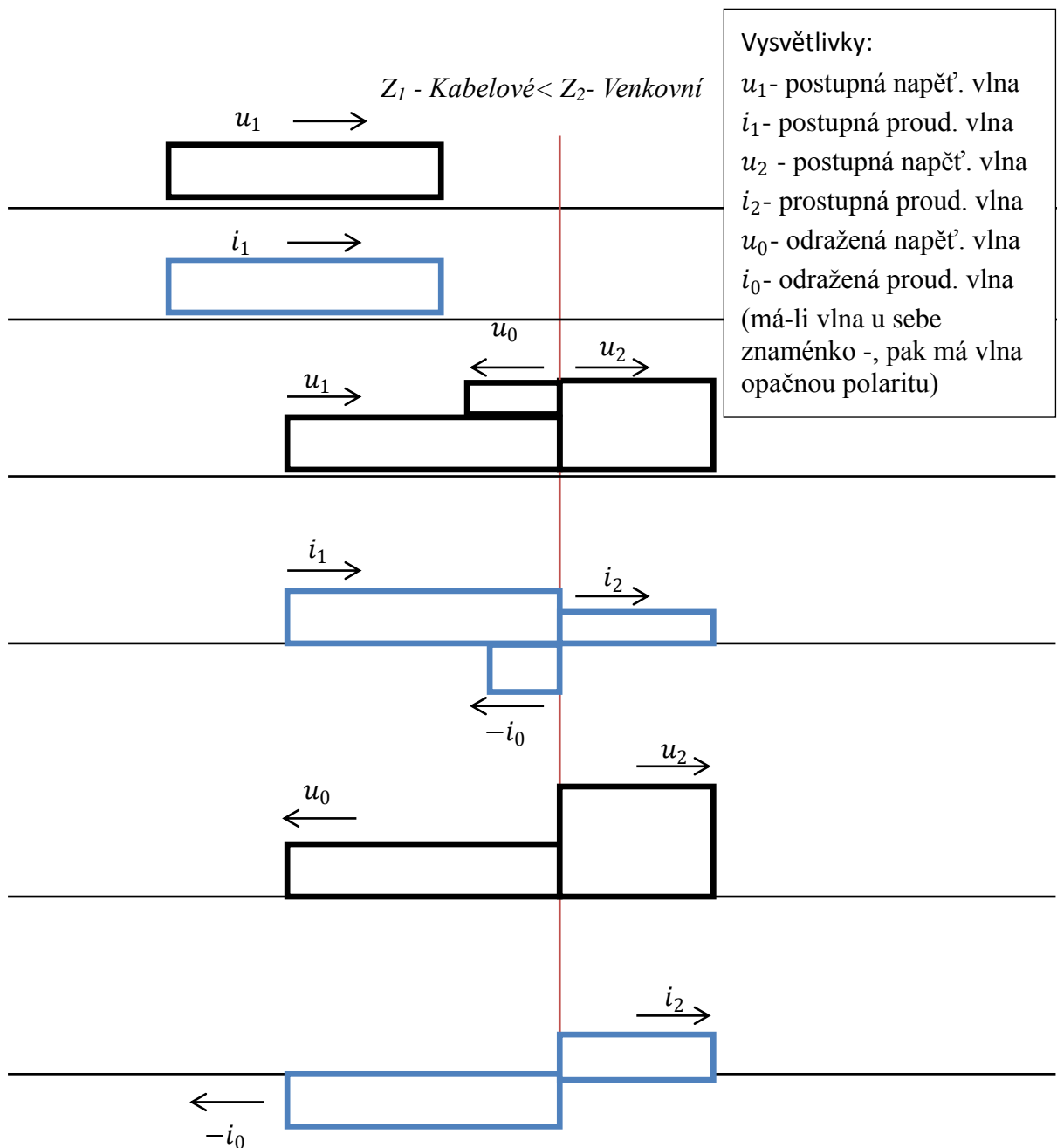
$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R' + j\omega L') * (G' + j\omega C')}$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}}$$

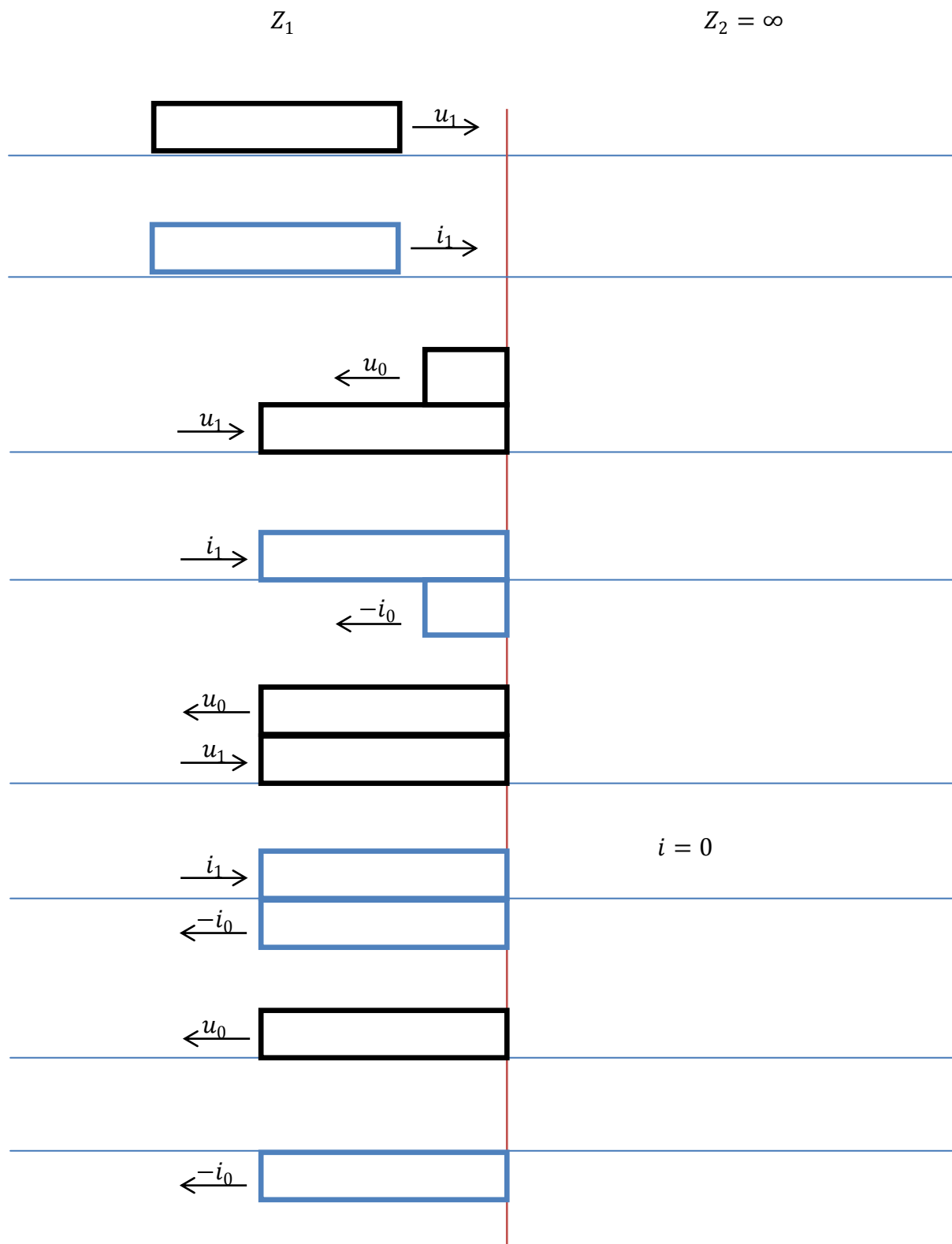
Kde  $\beta$  je měrný fázový posuv, jednotky pak jsou [rad/m] a  $\alpha$  je měrný útlum (udávající tlumení postupných vln) v jednotkách [ $m^{-1}$ ]. [22]

Ideálním homogenním vedením může být to, které má nulové hodnoty činného odporu a svodové vodivosti. Toto vedení může nést také označení jako bezeztrátové. Jako příklad si můžeme uvést venkovní vedení.

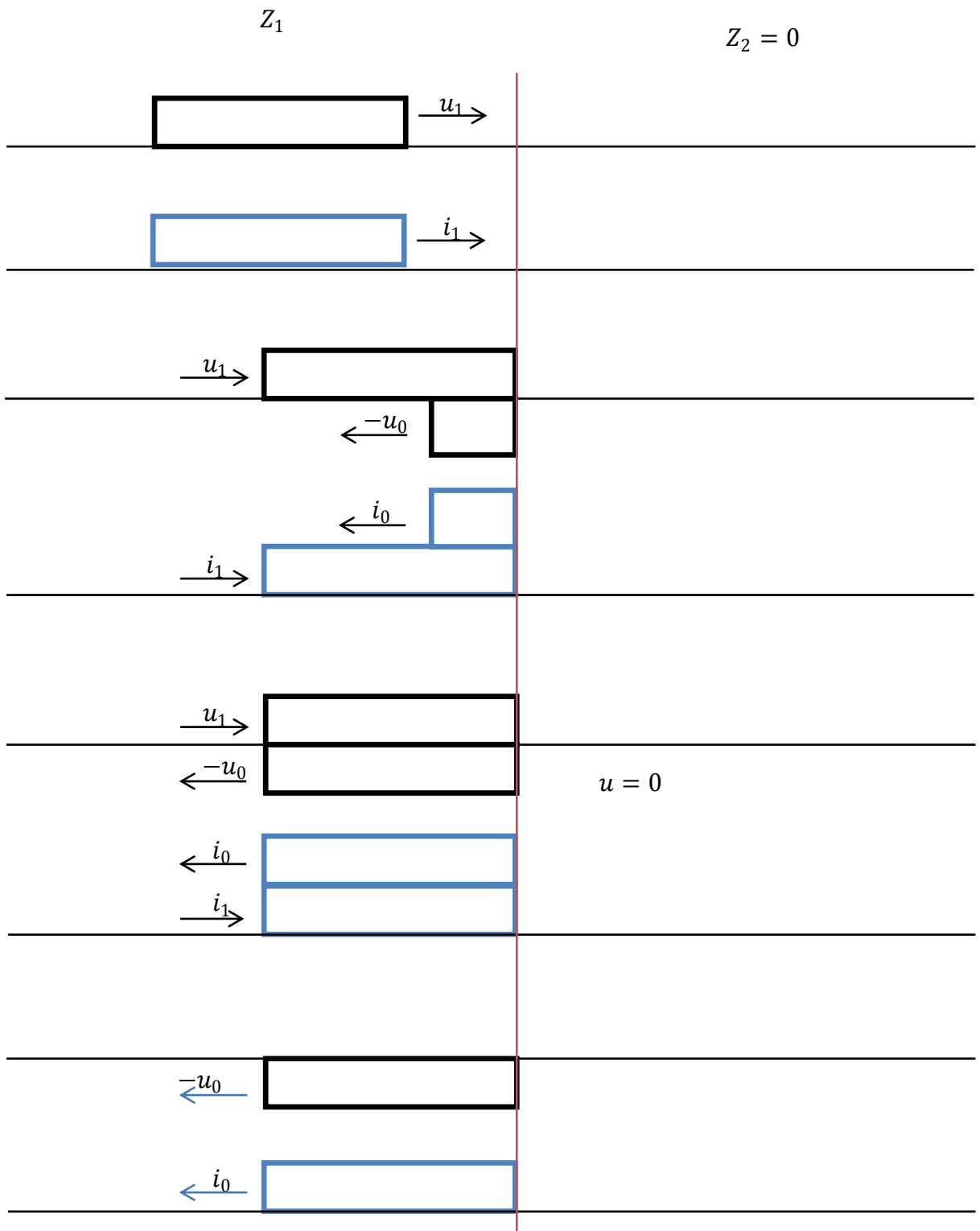
Pokud se jakýmkoliv způsobem na vedení vyskytne přepětí - bude se šířit jako postupná vlna. Když se přepět'ová vlna dostane na rozhraní dvou vedení (kabelové - venkovní nebo opačně), je na rozmezí dvou různých hodnot impedance (jak jsem již uvedl výše:  $Z_{v1}$  kabelového vedení  $35 \div 40\Omega$ ,  $Z_{v1}$  venkovního vedení  $350 \div 400\Omega$ ).



obr.32 Přepět'ové vlny na rozhraní dvou impedancí [23]



obr.33 Přepět'ové vlny - vedení naprázdno [23]



obr.34 Přepěťové vlny - vedení nakrátko [23]

Poté se velikost vln dá stanovit užitím Kirchhoffových zákonů v kombinaci s Ohmovým zákonem:

Z Kirchhoffových zákonů získáme rovnice:

$$u_2 = u_1 + u_0 \quad (3 - 1)$$

$$i_2 = i_1 - i_0 \quad (3 - 2)$$

Z Ohmova zákona pak:

$$i_1 = \frac{u_1}{Z_1} \quad (3 - 3)$$

$$i_0 = \frac{u_0}{Z_1} \quad (3 - 4)$$

$$i_2 = \frac{u_2}{Z_1} \quad (3 - 5)$$

Rovnice z Ohmova zákona (3 - 3) až (3 - 5) dosadíme do rovnic Kirchhoffových (3 - 1,2) a získáme:

$$\frac{u_2}{Z_2} = \frac{u_1}{Z_1} - \frac{u_0}{Z_1} \quad (3 - 6)$$

$$\frac{u_2}{Z_1} = \frac{u_1}{Z_1} - \frac{u_0}{Z_1} \quad (3 - 7)$$

Řešením rovnice (3 - 6,7) dostáváme vztah pro velikost postupných vln:

$$u_2 = \frac{2u_1Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$i_2 = \frac{2i_1Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

dále pak velikost vln odražených:

$$u_0 = u_1 * \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

$$i_0 = -i_1 * \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

Zde je výraz  $\frac{Z_2-Z_1}{Z_2+Z_1}$  nazýván jako činitel odrazu. Značit se může jako  $m$  nebo  $\zeta$ . Jeho hodnoty jsou 0 až 1, kde nula značí nulový odraz, naopak 1 odraz úplný.

Na prvním obrázku č.32 vidíme postupné přepět'ové vlny napětí a proudu, jak se šíří vedením, které má impedanci  $Z_1$ . Poté přichází na rozhraní kabelového a venkovního vedení - tedy na hranici dvou rozdílných impedancí. Na rozhraní část vlny projde ( $u_2$  a  $i_2$ ) a část se odrazí zpátky ( $u_0$  a  $i_0$ ).

Obrázek č.33 značí vedení na konci rozpojené - tudíž je impedance  $Z_2$  nekonečně velká. Z poměru napět'ových vln ( $u_0 = u_1$ ,  $i_0 = -i_1$ ) můžeme říci, že činitel odrazu je roven jedné. Napět'ová vlna se odrazí se stejným znaménkem, proto se hodnoty sečtou, tudíž se výsledná odražená vlna zdvojnásobí. U vlny proudu je odraz s opačným znaménkem, vlny se tedy vyruší a výsledný proud je nulový.

U vedení nakrátko (obr. 34) je impedance  $Z_2$  nulová. Odražená proudová vlna je zde dvojnásobná, oproti tomu hodnota odražené napět'ové vlny je nulová.

## 7. Umístění svodičů přepětí v síti NN

Dle obrázku č.32 je patrné, že nejohroženějším místem v sítích je rozhraní jednotlivých typů vedení. Proto se tyto rozhraní chrání instalací svodičů přepětí. Pokud není možné chránit přímo místo rozhraní, je možné z provozního hlediska instalovat svodiče i na jiném místě, protože svodič svojí funkcí dokáže ochránit zařízení na obě strany.

V následující části jsou popsány jednotlivé typy sítí:

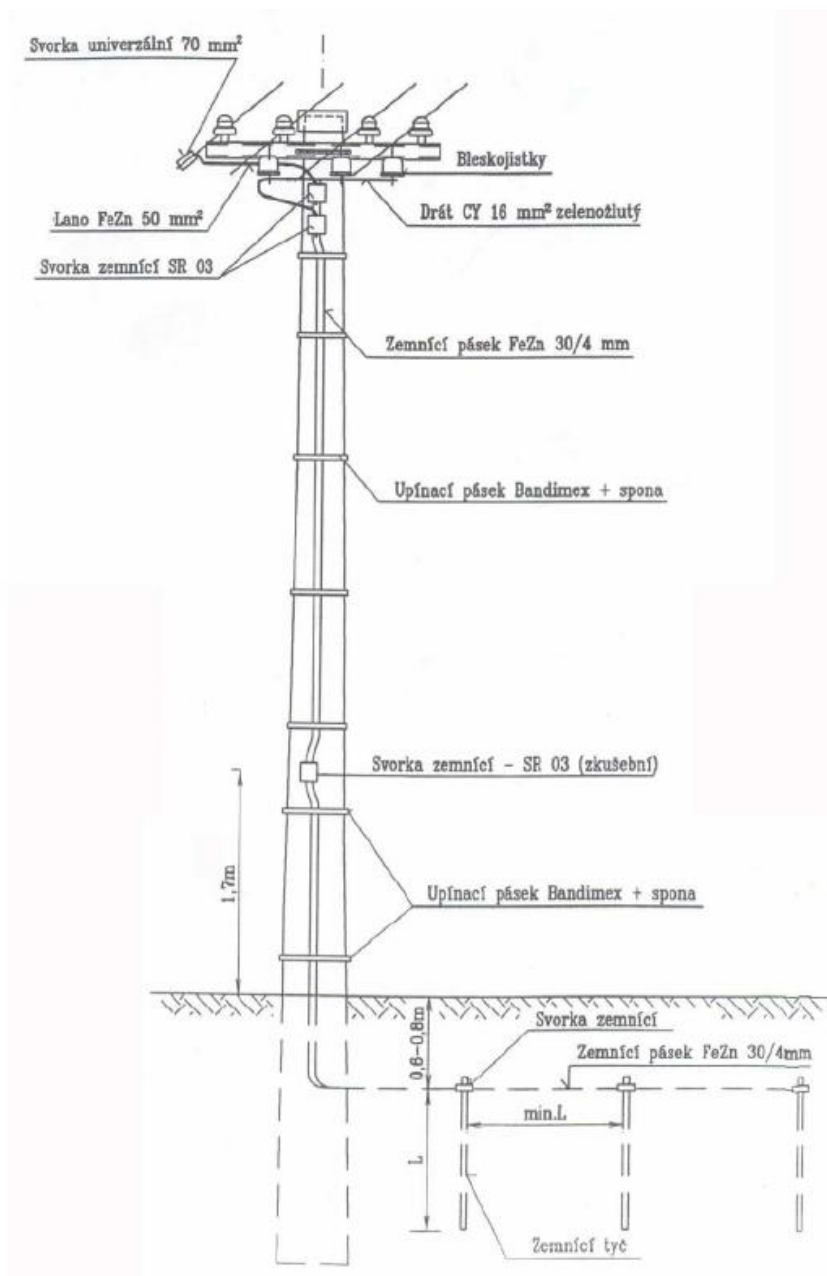
### 7.1 Venkovní vedení

U venkovních vedení NN bez ohledu na provedení sítě izolovanými nebo holými vodiči se svodiče přepětí umístí:

- V trase venkovních vedení (obr. 35) po 500 m za podmínky, že žádný podpěrný bod sítě nesmí být vzdálen od omezovačů přepětí více než 250 m.
- Na transformační stanici VN/NN (obr. 36, ve vývodech NN nebo v rozvaděči NN) nebo na prvním podpěrném bodě venkovního vedení.
- Na přechodech z venkovních vedení do zemního kabelového vedení (netýká se přípojek kratších než 250 m).

Uvedené vzdálenosti jsou měřeny podél napájecích distribučních vedení (tzn. vzdálenosti trasy vedení).

Doporučuje se svodiče přepětí dále umisťovat na místech s častým výskytem úderů blesku, toto vychází ze zkušeností provozu dané sítě. [20]



Obr. 35 Umístění sady omezovačů přepětí na venkovní síť NN [24]





*Obr. 36- Příklad umístění omezovačů přepětí NN v rozvaděči NN distribuční trafostanice.[24]*

## **7.2 Kabelové zemní vedení**

V kabelových sítích do 1 kV se ochrana před spínacím přepětím a před atmosférickým přepětím běžně neprovádí. Ochrana se provede pouze ve zdůvodněných případech vycházející ze zkušeností s provozem dané sítě. [20]

## IV. Závěr

Cílem mé bakalářské práce byl popis vzniku přepětí v sítích nízkého napětí a to z pohledu atmosférického a spínacího přepětí. Šíření přepět'ových vln po vedení kabelovém i venkovním. Pro zkušební účely aproximovány vlnami proudu 8/20  $\mu$ s a 10/350  $\mu$ s a vlnou napětí 1,2/50  $\mu$ s.

V druhé kapitole je znázorněno chování přepět'ových vln proudu i napětí na rozhraní dvou vlnových impedancí, dále pak u vedení naprázdno a vedení nakrátko.

K ochraně proti přepětí zde uvádím, jak svodiče instalované přímo na vedení, tak svodiče užívané v bytových a domovních rozvodech. Je zde také ukázka důležité ochrany pospojováním (uvedením na společný potenciál) a ochrana stíněním. Nejlepší způsob ochrany objektu dosáhneme kombinací těchto ochrany a užitím svodičů přepětí třídy I, II a III. I u takto chráněného objektu však nemůžeme mít jistotu, že nedojde ke škodám.

Problematika přepětí je velice rozsáhlá a sahá nad rámec mé bakalářské práce. Snažil jsem se však co nejsrozumitelněji popsat hlavní problémy přepětí a následnou ochranu.

## V. Seznam použité literatury

- [1] [Http://www.fe1.vsb.cz/](http://www.fe1.vsb.cz/) [online]. [cit. 2015-01-07]. Dostupné z: [http://fe1.vsb.cz/kat420/vyuka/BC\\_FBI/Prednasky/prepeti\\_pres.pdf](http://fe1.vsb.cz/kat420/vyuka/BC_FBI/Prednasky/prepeti_pres.pdf)
- [2] Antoš, Karel. *Návrh chránění zařízení vn a vvn*, ZČU v Plzni 2011.
- [3] JŮZA, Pavel. INFOMET. In: *Jak vzniká bouřka?* [online]. 2011-06-08 [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1307570519>
- [4] BURANT, Jiří: *Blesk a přepětí. Systémová řešení ochran*. Praha: FCC Public, 2006. ISBN 80-86534-10-3.
- [5] DEHN + SOHNE: *lightningprotectionguide*. Vyd. 2. Neumarkt: DEHN + SOHNE,2007. ISBN 3-00-015975-4, česká zkrácená verze
- [6] SKŘEHOT, Petr: *Stručné základy teorie bouřek*, Meteorologická Operativní Rada, Praha, 2004.
- [7] Lightning. In: *Stepped\_leader* [online]. 03.11.2007 [cit. 2015-03-09]. Dostupné z: <http://www.atmo.arizona.edu/students/courselinks/spring07/nats101s7/lecturenotes/lightning/>
- [8] [www.odbornecasopisy.cz](http://www.odbornecasopisy.cz) online [Cit.: 10.3.2015]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=36747](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=36747)
- [9] [Https://www.powerwiki.cz](https://www.powerwiki.cz). [online]. [cit. 2015-01-11]. Dostupné z:<https://www.powerwiki.cz/attach/ES/ZemniSpojeni.pdf>
- [10] *Ústav radioelektroniky* [online]. [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/index.php?src=node61>

- [11] *Ústav radioelektroniky* [online]. [cit. 2015-03-10]. Dostupné z:  
<http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/index.php?src=node62>
- [12] MRAVEC, Rudolf. *Elektrické stroje a přístroje, II. elektrické stroje*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1982.
- [13] Přednáška, přednášející Ing. Lubomír Kočiš, PNE 330000-7. *Navrhování a umístování svodičů přepětí v distribučních sítích do 1 kV*. 2007.
- [14] [www.odbornecasopisy.cz](http://www.odbornecasopisy.cz) online [Cit.: 15.3.2015]. Dostupné z:  
[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=26801](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26801)
- [15] *Ústav radioelektroniky* [online]. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z:  
<http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/index.php?src=node25>
- [16] <http://brve.strojar.com/> online [Cit.: 17.3.2015]. Dostupné z:  
<http://brve.strojar.com/data/Download/Skola/MEL/Soucastkyprepetochra ny.pdf>
- [17] <http://www.in-el.cz/online> [Cit.: 18.3.2015]. Dostupné z:  
<http://www.in-el.cz/?t=205&p=101283>
- [18] Přednáška, přednášející doc. RNDr. Vítězslav Straňák, Ph.D.  
předmět: Fyzika II - elektřina a magnetismus, České Budějovice, JČU 2013.
- [19] *DEHNinfo č. 4/2003, Ochrana před účinky elektromagnetického pole při přímém úderu blesku Stínění budov, místností a vedení* [online]. 4/2003 [cit. 2015-03-23].  
Dostupné z: <http://www.lumaplus.cz/Obrazky/DEHNinfo4n.pdf>
- [20] PNE 33 0000-5. *Umístění přepětového ochranného zařízení SPD typu T1 (třídy požadavků B) v elektrických instalacích odběrných zařízení*. 2.vydání. 1.1.2008.

- [21] *SCHRACK TECHNIK, č. 2009, Svodiče bleskových proudů a přepětí*  
[online]. 4/2003 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z:  
[http://image.schrack.com/produktkataloge/w\\_svodiceprepeti10\\_cs.pdf](http://image.schrack.com/produktkataloge/w_svodiceprepeti10_cs.pdf)
- [22] ČVUT FEL. In: *Modelování silnoprůdých vedení I – metody* [online].  
21-07-2010 [cit. 2015-03-30]. ISSN 1214-9675.  
Dostupné z: <http://access.fel.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2010070001>
- [23] Přednáška, přednášející Ing. Alena Schandlová  
předmět: Elektroenergetika, České Budějovice, SPŠSE 2011/2012.
- [24] Podklady a fotodokumentace, poskytnuto firmou E.ON ,