

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**  
**KATEDRA ELEKTROTECHNOLOGIE**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Problematika ochran před přepětím v sítích nízkého napětí při namáhání  
dlouhými impulsy

Problematics of Surge Protective Devices in Low Voltage Power Grids under  
Long Impulse Stress

Vypracoval: Bc. Pavel Durst

Vedoucí práce: Ing. Jan Hlaváček Ph.D.

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Technologické systémy

Akademický rok: 2018/2019

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Durst** Jméno: **Pavel** Osobní číslo: **434732**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra elektrotechnologie**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Studijní obor: **Technologické systémy**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Problematika ochran před přepětím v sítích nízkého napětí při namáhání dlouhými impulsy**

Název diplomové práce anglicky:

**Problematics of Surge Protective Devices in Low Voltage Power Grids under Long Impulse Stress**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Proveďte rešeršní činnost v oblasti koordinovaných systémů ochran před přepětím (SPD) v sítích nízkého napětí.
- 2) Uveďte problematiku koordinace jednotlivých typů ochran před přepětím a požadavky na ochranu chráněných zařízení před přepětím.
- 3) Zhodnoťte vliv dlouhých impulsů na chráněné zařízení při použití koordinovaného systému ochran před přepětím.
- 4) Navrhněte řešení pro ověření součinnosti koordinovaného systému ochran před přepětím s chráněným zařízením.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Hauschild, W., Lemke, E.: High - Voltage Test and Measuring Techniques, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014
- [2] Kuffel, E., Zaengl, W.S., Kuffel, J.: High Voltage Engineering Fundamentals, Newnes, Oxford 2000.
- [3] Rous, Z.: Přepětíové ochrany v elektrických zařízeních do 1000 V, IN-EL s.r.o., Praha 1999.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Jan Hlaváček, Ph.D., katedra elektroenergetiky FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

\_\_\_\_\_

Datum zadání diplomové práce: **18.02.2019** Termín odevzdání diplomové práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání diplomové práce: **19.02.2021**

\_\_\_\_\_  
Ing. Jan Hlaváček, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne .....

.....

Pavel Durst

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu Ing. Janu Hlaváčkovi Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky, vstřícnost a trpělivost při konzultacích během vypracovávání diplomové práce. Dále děkuji Ing. Davidu Komrskovi a firmě Saltek, s.r.o. za cenné informace, zapůjčení zkušebních vzorků a možnost využití jejich laboratoře. Nakonec firmě Phoenix Contact za zapůjčení zkušebních vzorků.

**Anotace:**

Tato práce se věnuje problematice koordinace ochran před přepětím a vlivu dlouhých pulsů na chráněné zařízení. Popisuje návrh řešení pro ověření součinnosti koordinovaného systému ochran před přepětím s chráněným zařízením.

**Klíčová slova:**

Ochrany před přepětím, koordinace ochran před přepětím, dlouhé pulsy, přepětí, napájecí síť nízkého napětí

**Abstract:**

This thesis deals with problematics of surge protection devices coordination and effect of long impulse stress on the protected device. It describes solution exploration for verification of synergy between the system of coordinated surge protection devices and the protected device.

**Keywords:**

Surge protection devices, coordination of surge protection devices, long impulse stress, low voltage power systems

## Obsah

1. Úvod .....	9
2. Přepětí.....	10
2.1. Velikost přepětí .....	10
2.2. Časový průběh přepětí.....	10
2.2.1. Trvalé přepětí .....	10
2.2.2. Dočasné přepětí .....	11
2.2.3. Přechodné (transientní) přepětí .....	11
2.2.4. Kombinované přepětí .....	11
2.3. Příčina vzniku přepětí.....	12
2.3.1. Vnější přepětí .....	12
2.3.2. Vnitřní přepětí .....	17
2.4. Druhy vazeb .....	18
2.4.1. Galvanická vazba .....	18
2.4.2. Indukční vazba .....	18
2.4.3. Kapacitní vazba .....	19
3. Ochrana před bleskem .....	20
3.1. Stanovení rizik.....	20
3.1.1. Postup zjištění potřeby ochrany před bleskem .....	20
3.2. Rozdělení ochrany před bleskem .....	21
3.2.1. Vnější systém ochrany před bleskem .....	21
3.2.2. Vnitřní systém ochrany před bleskem .....	22
3.2.3. Zóny ochrany před bleskem .....	23
3.2.4. Ochranné hladiny před bleskem .....	25
4. Ochrany před přepětím (SPD).....	26
4.1. Konstrukční typy SPD.....	26
4.1.1. Jiskřiště a bleskojistky.....	26
4.1.2. Varistory.....	27
4.1.3. Supresorové diody.....	28

4.2. Zkoušky SPD dle normy ČSN EN 61643-11 ed. 2 .....	28
4.3. Typy SPD dle normy ČSN EN 61643-11 ed. 2.....	29
5. Koordinace .....	30
5.1. Koordinace izolace a odolnost koncových zařízení .....	30
5.1.1. Koordinace izolace .....	30
5.1.2. Odolnost koncových zařízení .....	31
5.2. Koordinace SPD.....	32
5.2.1. Výběr SPD.....	32
5.2.2. Umístění SPD .....	34
5.2.3. Koordinace jednotlivých stupňů SPD .....	35
5.2.4. Koordinace jednotlivých stupňů SPD v praxi .....	36
5.3. Problematika namáhání dlouhými impulzy.....	38
5.3.1. Simulace chráněného zařízení jiskřištěm .....	39
5.3.2. Simulace chráněného zařízení varistorem.....	39
5.3.3. Simulace chráněného zařízení kondenzátorem .....	40
6. Testování SPD.....	41
6.1. Popis měřicího pracoviště .....	41
6.2. Použité přístroje.....	42
6.2.1. Generátor C100 10/350 .....	42
6.2.2. Měřicí transformátor proudu Pearson 1423 .....	43
6.2.3. Napěťová sonda PICO TA044 .....	43
6.2.4. Osciloskop LeCroy wave surfer 422 .....	44
6.2.5. Měřicí transformátor proudu RAO CT 11.....	44
6.2.6. Generátor C8 10/350 .....	45
6.2.7. Generátor RG 550 .....	45
6.3. Použité vzorky.....	45
6.3.1. FLP-B+C MAXI V/3 .....	46
6.3.2. FLP-12,5 V/3.....	46
6.3.3. FLT-SEC-T1+T2-1C-350/25-FM .....	47

6.3.4. DV M TT 255.....	47
6.3.5. Acti9 iPRF1.....	48
6.4. Naměřené průběhy a hodnoty .....	48
6.4.1. FLP-B+C MAXI V/3 .....	50
6.4.2. FLP-12,5 V/3.....	51
6.4.3. FLT-SEC-T1+T2-1C-350/25-FM .....	52
6.4.4. DV M TT 255.....	53
6.4.5. Acti9 iPRF1.....	54
6.4.6. Vyhodnocení výsledků.....	55
7. Návrh řešení pro ověření koordinace SPD.....	56
7.1. Úvod k varistorům.....	56
7.2. Simulace .....	57
7.3. Měření .....	60
7.3.1. Varistor.....	60
7.3.2. Kondenzátor .....	63
8. Závěr.....	65
9. Literatura .....	69
10. Seznam obrázků .....	72
11. Seznam tabulek .....	74
12. Seznam zkratk .....	75



# 1. Úvod

Sítě nízkého napětí slouží k napájení převážné většiny spotřebičů používaných běžným uživatelem. Protože běžný uživatel není zběhlý v oblasti elektroniky a elektrotechniky, je nutné zajistit bezpečný a bezporuchový chod těchto přístrojů.

V minulosti byly elektrotechnické výrobky daleko robustnější než dnes. Díky miniaturizaci se stávají náchylnější, i krátkodobý nízkenergetický puls je schopný prorazit polovodičový přechod a znemožnit tak funkčnost elektrotechnického zařízení. Na jednu stranu tedy máme výrobky daleko sofistikovanější, na stranu druhou méně odolné. Tento fakt zapříčinil vznik oboru elektromagnetická kompatibilita, označovaného zkratkou EMC z anglického termínu *Electromagnetic compatibility*. Obor definuje elektromagneticky kompatibilní zařízení, což je zařízení, které svým rušením neovlivní přístroje ve svém okolí a zároveň je schopno odolat určité míře rušení zařízení jiného.

Zdroji elektromagnetického rušení mohou být spínací zařízení, generátory, transformátory, měniče a další elektrické spotřebiče. Nezanedbatelnou část zdrojů rušení tvoří také atmosférické výboje. Rušení může mít na zařízení v jeho dosahu vliv v podobě zkreslení dat, nefunkčnosti, případně až zničení technologie. Podle typu zařízení pak může dojít například ke ztrátám ve výrobě, snížení kvality, výpadku komunikace a v mnohých případech i ovlivnění technologie, na které závisí lidské zdraví, případně život.

Ze všech výše uvedených důvodů je nutné se proti elektromagnetickému rušení chránit. Tato práce se z velké většiny bude věnovat problematice ochrany proti přepětí, jež spadá do EMC.

Hlavním tématem mé práce je pak zkoumání dlouhých impulsů a jejich vlivu na chráněné zařízení. Tato problematika byla popsána na setkání komise CLC TC/37A Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví v září roku 2018. Při tomto setkání došlo pouze k nastínění problému, nikoliv jeho vyřešení. Jedná se o specifikaci podmínek koordinace ochrany před přepětím a kritérií, na základě kterých je koncové zařízení chráněno.

V rámci diplomové práce přiblížím oblast a požadavky koordinovaných systémů ochrany před přepětím v sítích nízkého napětí. Dále posoudím vliv dlouhých impulsů na chráněné zařízení, a nakonec se pokusím navrhnout řešení pro ověření správné koordinace ochrany před přepětím.

## 2. Přepětí

Přepětí je jakékoliv napětí mezi fázemi nebo mezi fází a zemí, jehož špičková hodnota překračuje amplitudu nejvyššího napětí sítě. Můžeme ho rozdělit podle:

- Velikosti
- Časového průběhu
- Příčiny vzniku

### 2.1. Velikost přepětí

Velikost přepětí určuje činitel přepětí  $k_f$ , který můžeme definovat vztahem:

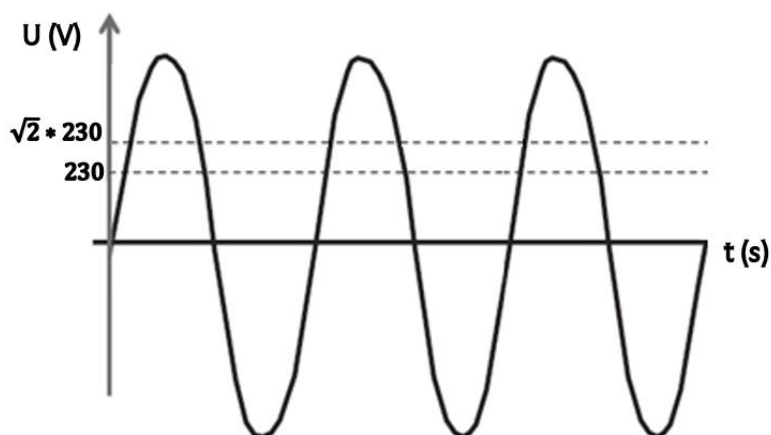
$$k_f = \frac{u_{fm}}{\frac{\sqrt{2} * U}{\sqrt{3}}} \quad (2.1)$$

kde  $U$  je sdružené napětí sítě a  $u_{fm}$  je maximální hodnota přepětí proti zemi.

### 2.2. Časový průběh přepětí

#### 2.2.1. Trvalé přepětí

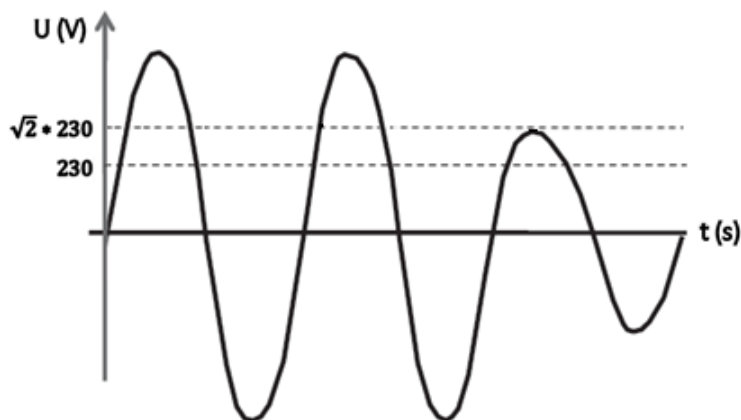
Jedná se o přepětí síťové frekvence a konstantní efektivní hodnoty.



Obrázek 1. Trvalé přepětí [3]

### 2.2.2. Dočasné přepětí

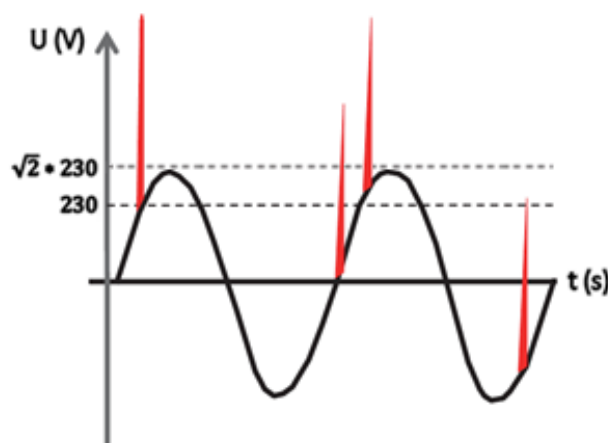
Přepětí má kmitočet shodný s kmitočtem sítě a dobu trvání od 0,03 s do 3600 s. Vzniká často při poruchách v síti, jako je zemní spojení nebo zkrat jedné z fází. Může dosahovat až velikosti sdruženého napětí.



Obrázek 2. Dočasné přepětí [3]

### 2.2.3. Přechodné (transientní) přepětí

Přechodné přepětí má většinou průběh krátkého impulzu nepřesahujícího několik tisícín sekundy. Bývá nejčastěji způsobeno spínacími pochody nebo bleskem. Toto přepětí je možné eliminovat pomocí ochrany před přepětím (Surge protective device = SPD). Proto se budu v rámci této práce věnovat převážně tomuto typu přepětí.



Obrázek 3. Přechodné (transientní) přepětí [3]

### 2.2.4. Kombinované přepětí

Kombinované přepětí existuje, pokud se v elektrické síti vyskytuje několik druhů přepětí naráz.

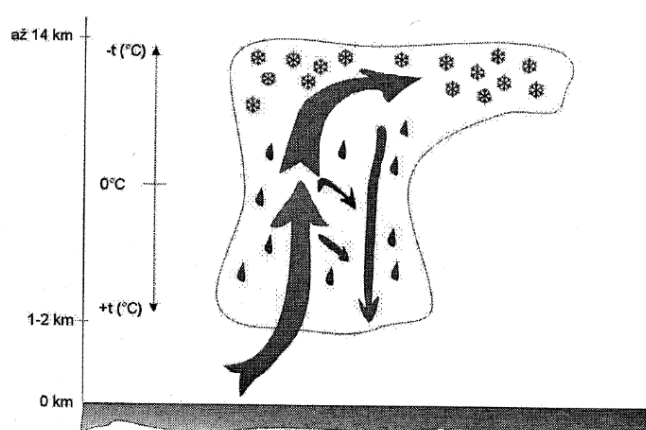
## 2.3. Příčina vzniku přepětí

### 2.3.1. Vnější přepětí

Základní charakteristikou vnějšího přepětí je fakt, že jeho velikost není násobkem velikosti napětí sítě. Jeho zdroj je tedy nezávislý na zdroji napájecí sítě. Zdrojem vnějšího přepětí je ve většině případů atmosférický výboj, vznikající při bouřce. Takovýto výboj je nosičem velkého množství potenciálně nebezpečné energie.

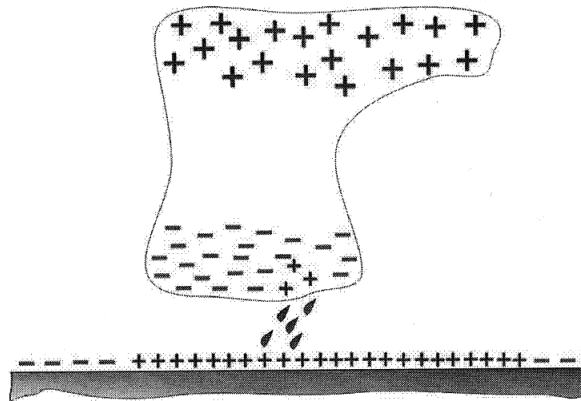
#### Vznik bouřkového mraku

Atmosférický výboj vzniká mezi bouřkovým mrakem a zemí, případně mezi dvěma bouřkovými mraky. Takový mrak vzniká postupným růstem běžného oblaku páry ve svislém směru díky stoupání vlhkého teplého vzduchu. Vzduch se v určité výšce ochladí na teplotu okolí a přestane stoupat. To má za následek vznik typického mraku ve tvaru kovádky. Současně s tímto procesem dochází ke klesání chladného vzduchu směrem dolů.



Obrázek 4. Vznik bouřkového mraku [2]

Vodní pára v závislosti na teplotě a vlhkosti kondenzuje a padá na zem v podobě srážek, případně mohou v horní části mraku vznikat ledové krystalky. K rozdělení náboje dochází nejpravděpodobněji díky kolizím malých ledových krystalků s většími ledovými krupkami v oblasti stoupání vzduchu. Při srážkách se malé ledové krystalky nabíjejí kladně a větší záporně. Vlivem stoupání horkého vzduchu a gravitace se následně rozdělí náboj dle obrázku 5. Ve spodní části mraku, ze které padají srážky se může objevit oblast kladného náboje. Vlivem působení záporné části mraku na povrch (přitahování kladných částic) vznikne na zemi pod mrakem náboj kladný. [2,4]



Obrázek 5. Rozložení náboje v bouřkovém mraku [2]

### Bleskový výboj

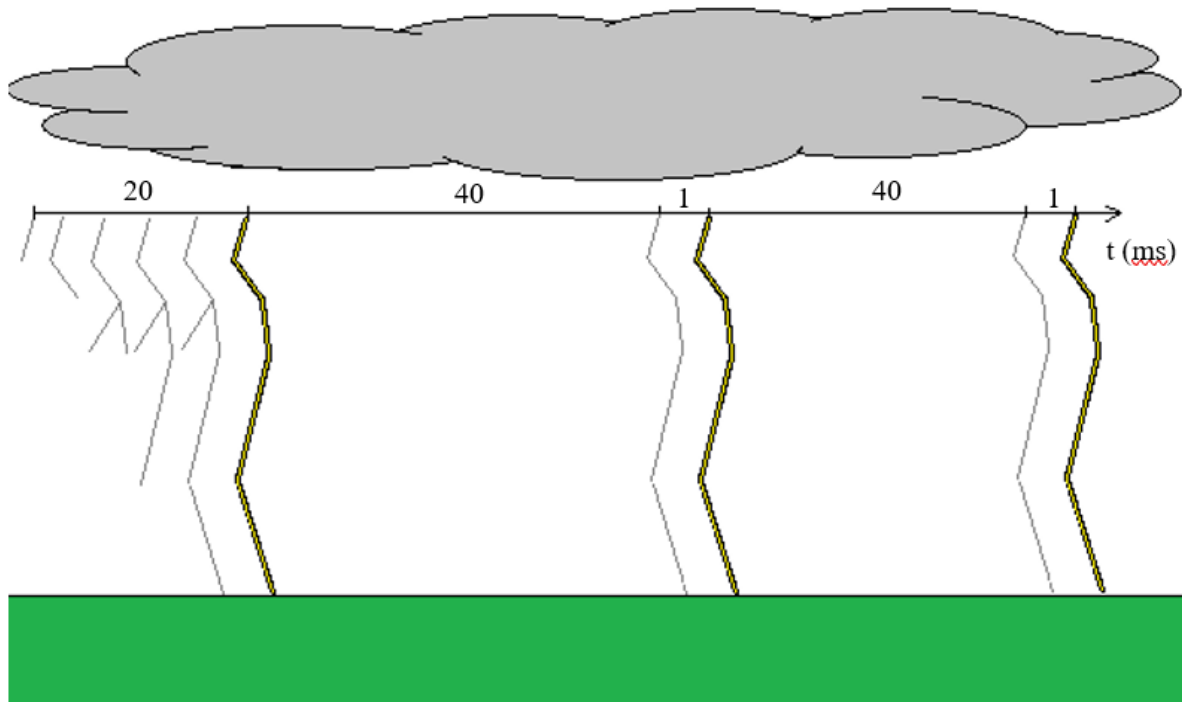
Pokud existuje dostatečně velký rozdíl potenciálů, dojde k bleskovému výboji, který je vyrovná. Podle toho, mezi jakými místy vznikne, bleskové výboje rozdělujeme na:

- výboj mrak – mrak
- výboj mrak – zem

Mechanismus vzniku bleskového výboje mrak – zem je patrný z obrázku 6. Pro pochopení obrázku je důležitý fakt, že se jedná o časovou osu blesku ve stejném místě, nikoliv o různé výboje v různých místech.

Z nabitého mraku se začne šířit výboj ve skocích, jejichž směr a velikost závisí na mnoha faktorech (gradient náboje, elektrická pevnost vzduchu). Postupný výboj se šíří rychlostí přibližně  $10^5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a jakmile se přiblíží k zemi (na cca 100 metrů), začne se k němu od země pohybovat takzvaný vstřícný výboj. Oba výboje se navzájem propojí a vytvoří vodivou cestu mezi zemí a mrakem.

Vzhledem k vysokým rychlostem a proudům bleskového výboje se oblast kanálu zahřeje a způsobí rozpínání. Toto prudké rozpínání má charakter výbuchu a je iniciátorem hřmění. Díky vysoké teplotě kanálu a působení silného elektrického pole dochází v prostoru k vysoké míře ionizace částic. Tento fakt může způsobit další výboje v totožném vodivém kanálu, jak je vidět na obrázku 6. [2,6,13]



Obrázek 6. Mechanismus vzniku blesku [6]

#### Parametry bleskového výboje

Parametry bleskového výboje jsou klíčovou informací pro navrhování ochran před přepětím. V laboratořích jsou bleskové výboje simulovány pro účely testování. Nejčastěji používaným je takzvaný exponenciální impulzní proud, který v krátkém čase narůstá z nuly do vrcholové hodnoty a následně klesá přibližně exponenciálně k nule. Tento typ impulzu je charakterizován dobou čela  $T_1$ , dobou půltýlu  $T_2$ , vrcholovou hodnotou a specifickou energií.

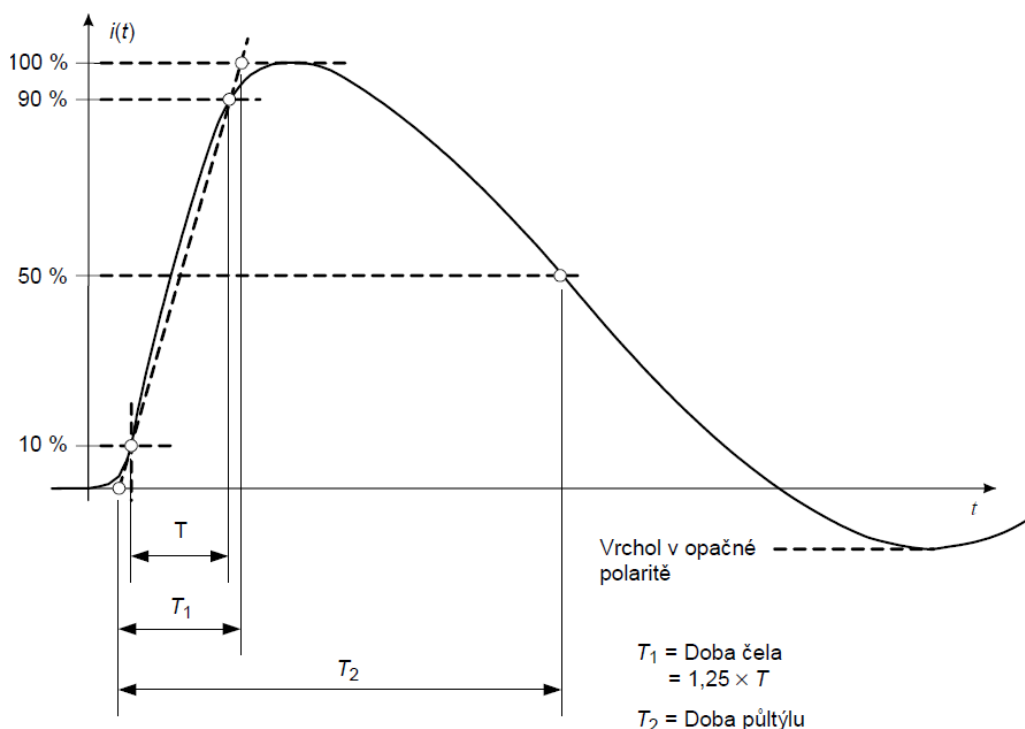
- Doba čela  $T_1$   
Jedná se o parametr, definovaný intervalem  $T$  mezi okamžiky, kdy má impuls hodnotu od 10 % do 90 % své vrcholové hodnoty. Vynásobením  $T$  koeficientem 1,25 následně dostaneme  $T_1$ .
- Doba půltýlu  $T_2$   
Je to časový interval, začínající zdánlivým počátkem (viz. obrázek 7) a končící okamžikem, ve kterém hodnota proudu klesne na 50 % vrcholové hodnoty.
- Vrcholová hodnota  
Maximální hodnota impulzního proudu.

- Specifická energie

Specifická energie  $\frac{W}{R}$  je množství energie rozptýlené proudovým impulsem na odporu o velikosti  $1 \Omega$ . Je definována integrálem:

$$\frac{W}{R} = \int I^2 dt \quad (2.2)$$

Impulz je pak definován zlomkem  $T_1/T_2$  v  $\mu s$  a maximální hodnotou proudu. [1,13,17]



Obrázek 7. Impulzní proud s parametry [17]

Zdroje vnějšího přepětí mohou být i jiné než atmosférický výboj. V následující části je stručně přiblížím.

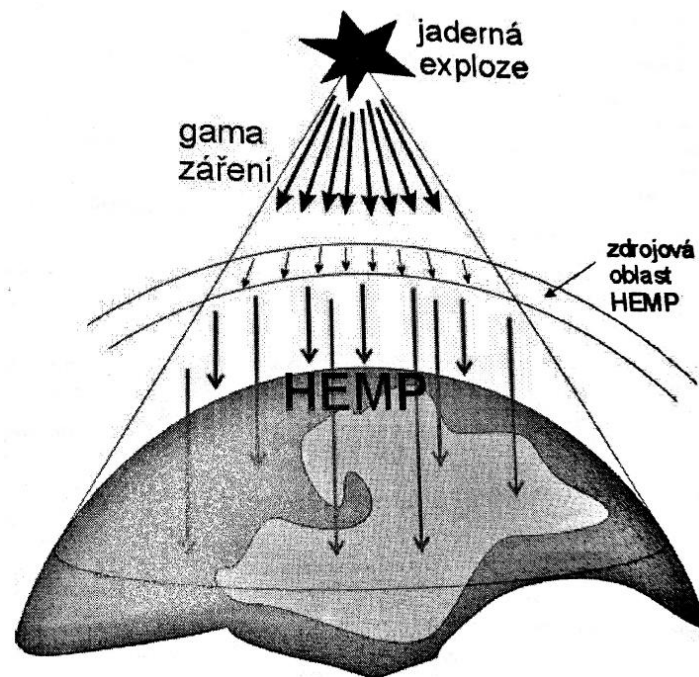
### Elektrostatické přepětí

Elektrostatický výboj je vyrovnání náboje, který vznikne při tření dvou izolantů. Takový výboj může dosahovat napětí více než 10 kV a díky tomu je nebezpečný pro citlivé součástky (např. tranzistory nebo tyristory). Ochranu před takovýmto přepětím není možné zajistit běžnými ochranami před přepětím a výrobce musí deklarovat odolnost vyrobeného zařízení, případně zajistit opatření, které elektrostatické výboje ve výrobně omezí (vhodná podlaha, uzemnění přes vysokou impedanci). [5]

### Nukleární elektromagnetický výboj

Při nukleárním výbuchu vzniká kromě tlakové vlny, tepelného a jaderného záření také elektromagnetický výboj. Protože při jaderném výbuchu v blízkém okolí není až tak důležité chránit elektrická zařízení, ale zdraví a životy lidí, má smysl posuzovat ochranu elektrických zařízení při výbuchu ve velkých výškách, případně při působení slunečních erupcí.

Vlivem jaderného výbuchu se uvolní gama záření – tj. proud fotonů o vysoké energii. Tyto fotony pak interagují s molekulami plynů v atmosféře cca 20 až 40 km nad zemí. Výsledkem této interakce je elektromagnetický impuls s vysokou energií. V porovnání s bleskovým výbojem je mnohem kratší a má strmější nárůst. Je nebezpečný tím, že jeho pole působnosti může být obrovské (až celé kontinenty) a v případě dostatečně vysoké energie pulsu hrozí globální blackout. [2,5]



Obrázek 8. Elektromagnetické záření způsobené jaderným výbuchem [2]



### 2.3.2. Vnitřní přepětí

Na rozdíl od vnějšího přepětí, velikost vnitřního přepětí je vždy nějakým způsobem závislá na velikosti napětí sítě a lze ji stanovit jako násobek jmenovitého napětí. Jedná se o nežádoucí impulzy v síti, které vznikají v důsledku nedostatečně vyřešených procesů v elektrotechnice. Nedosahuje tak vysokých hodnot proudů a napětí, jako atmosférické přepětí, nicméně není zanedbatelné a je nutné se jím zabývat.

#### Zdroje vnitřního přepětí

- Odpinání indukčních zátěží

Při vypínání indukční zátěže je v této zátěži obsažená energie cívky:

$$E = \frac{1}{2} * L * I^2 \quad (2.3)$$

Tato energie se po odepnutí zátěže snaží zachovat průtok proudu a způsobí přepětí úměrné právě indukčnosti  $L$  a procházejícímu proudu  $I$  v okamžiku vypnutí.

- Frekvenčně řízená zařízení

Při rychlém spínání obvodů může vlivem parazitních kapacit a indukčností dojít ke vzniku kmitů, které následně způsobí přepětí. Tyto kmity můžeme potlačit různými filtry (cívka nebo kondenzátor).

- Spínání kapacitní zátěže

Při spínání kapacitní zátěže může vzniknout rezonance mezi kapacitou zátěže a indukčností určitých prvků v obvodu (transformátor, tlumivka), která způsobí přepětí.

- Poruchy v napájecí síti

Jsou to stavy, při kterých dochází ke skokové změně napětí a proudu. Příkladem takovýchto stavů může být zkrat nebo zemní spojení.

Z výše uvedených informací můžeme usuzovat, že spínací přepětí nemusí být nutně problémem pouze průmyslových aplikací vysokých výkonů, ale vlivem rezonance může vzniknout i ve spotřebičích běžné potřeby. Běžným zdrojem takového přepětí mohou být transformátorové svářečky, zářivky nebo sériové motory malých domácích spotřebičů. V případě absence nebo poruchy odrušovacího prvku může dojít ke vzniku přepětí nezanedbatelně vysoké hodnoty, schopného poškodit další spotřebiče v napájecí síti. [5,13]

## 2.4. Druhy vazeb

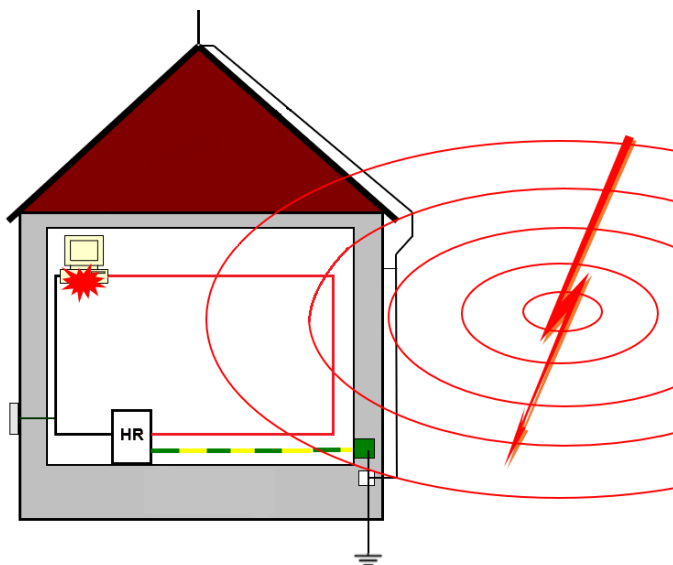
V minulé kapitole jsem uvedl, jakým způsobem může přepětí vzniknout. Samotný vznik ovšem zdraví osob nebo elektrická zařízení neohrožuje. K tomu, aby byl nebezpečný se musí určitým způsobem šířit. Právě způsoby tohoto šíření popíší v následující kapitole.

### 2.4.1. Galvanická vazba

Tato vazba vzniká přímým metalickým propojením elektrických okruhů. Při úderu blesku do vnější ochrany před bleskem (hromosvodu) dojde ke svedení bleskového proudu do země přes ochrannou přípojnicí. Tento proud způsobí úbytek napětí na odporu uzemnění, jehož hodnota může dosáhnout desítek až stovek kV. Tím vznikne rozdíl potenciálu uzemnění v různých místech. Pokud jsou tato místa nějakým způsobem metalicky spojena, dojde k vyrovnání zemních potenciálů přes jejich společnou impedanci pomocí galvanické vazby.

### 2.4.2. Indukční vazba

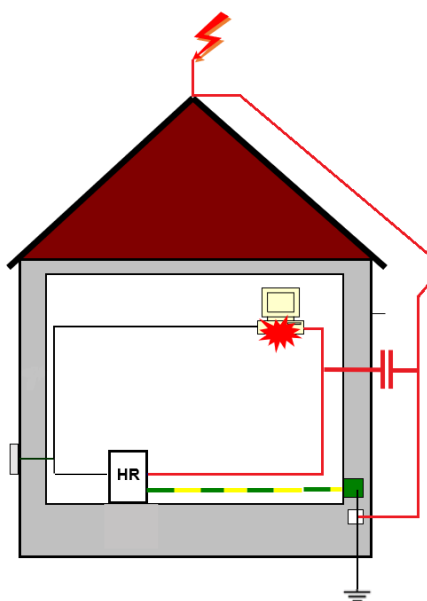
Indukční vazba se uplatňuje zejména v případě blízkého úderu blesku. Procházející proud bleskovým kanálem generuje v jeho okolí magnetické pole, úměrné jeho velikosti. Podle Faradayova zákona elektromagnetické indukce se v blízkém vodiči indukuje přepětí, které je úměrné časové změně proudu blesku a indukčnosti vnitřního vodiče. Z výše uvedených informací vyplývá, že je možné indukční vazbu omezit minimalizací smyček elektrických rozvodů ve stavbách. Velikost smyčky totiž významně ovlivňuje velikost indukčnosti. Indukční vazbu můžeme také omezit odstíněním vodičů.



Obrázek 9. Indukční vazba [3]

### 2.4.3. Kapacitní vazba

Mezi metalickými objekty v určitých případech může existovat značná parazitní kapacita. Příkladem takových dvojic může být vodivý kanál blesku nebo hromosvod a různá metalická vedení v objektu. Při úderu blesku do hromosvodu může mezi těmito dvěma objekty začít procházet proud úměrný velikosti parazitní kapacity a časové změně napětí. Tento proud může mít velikost až několik desítek ampér. Takové velikosti proudů mohou způsobit poškození nebo dokonce destrukci elektrického zařízení. Tento typ vazby je v porovnání s dvěma předchozími menšinovým zdrojem škod způsobených přepětím. [5]



Obrázek 10. Kapacitní vazba [3]

## 3. Ochrana před bleskem

Ochrana před bleskem a přepětím je souhrn opatření, které zabraňují rušivému nebo destruktivnímu působení přepětí na elektrotechnická zařízení. Tato opatření v zásadě plní hlavní dvě funkce:

- Omezení možnosti vzniku přepětí
- Omezení již vzniklých přepětí na přijatelnou mez

Ideálním stavem by bylo zabránit omezení možnosti vzniku přepětí. Toho ovšem můžeme docílit pouze u spínacího, případně elektrostatického přepětí. V případě přepětí atmosférického nám dosavadní technologie nedovoluje tomuto jevu zabránit a musíme se spokojit s omezením přepětí na přijatelnou mez. V této kapitole se budu věnovat ochraně před bleskem. [1,5]

### 3.1. Stanovení rizik

Informaci, zda je vůbec nutné před bleskem chránit, získáme individuální analýzou jednotlivých situací. Postup takové analýzy je definován v normě ČSN EN 62305-2 ed. 2 a v rámci práce jej stručně popíši v následující kapitole. Výstupem analýzy je míra rizika, které závisí na mnoha vstupních parametrech. V normě jsou definovány možná rizika  $R_x$  a maximální přípustné riziko  $R_T$ .

Tabulka 1. Typy rizik a přípustná rizika dle ČSN EN 62305-2 ed. 2

$R_x$	Typ rizika	$R_T$
$R_1$	Riziko ztrát na lidských životech nebo trvalé následky úrazů	$10^{-5}$
$R_2$	Riziko ztrát ve veřejných službách	$10^{-3}$
$R_3$	Riziko ztrát kulturního dědictví	$10^{-3}$
$R_4$	Riziko ztrát ekonomických hodnot	-

#### 3.1.1. Postup zjištění potřeby ochrany před bleskem

Pro každé riziko uvedené výše podnikneme následující:

1. Určení všech součástí  $R_x$ , tvořící riziko
2. Výpočet celkového rizika  $R$
3. Určení přípustného rizika  $R_T$
4. Porovnání  $R$  a  $R_T$

Pokud  $R \leq R_T$ , ochrana před bleskem není nutná. Pokud  $R > R_T$ , musí být přijata opatření pro snížení rizika  $R$  tak, aby nakonec bylo nižší, než přípustné. Metoda určení hodnoty  $R_x$  přesahuje rozsah této práce, a proto ji zde nebudu rozebírat. [8]

## 3.2. Rozdělení ochrany před bleskem

Obecně platí, že dobře provedená ochrana před bleskem (Lightning protection system = LPS) splňuje i požadavky na ochranu před většinou ostatních přepětí. LPS se skládá z vnější a vnitřní ochrany před bleskem.

### 3.2.1. Vnější systém ochrany před bleskem

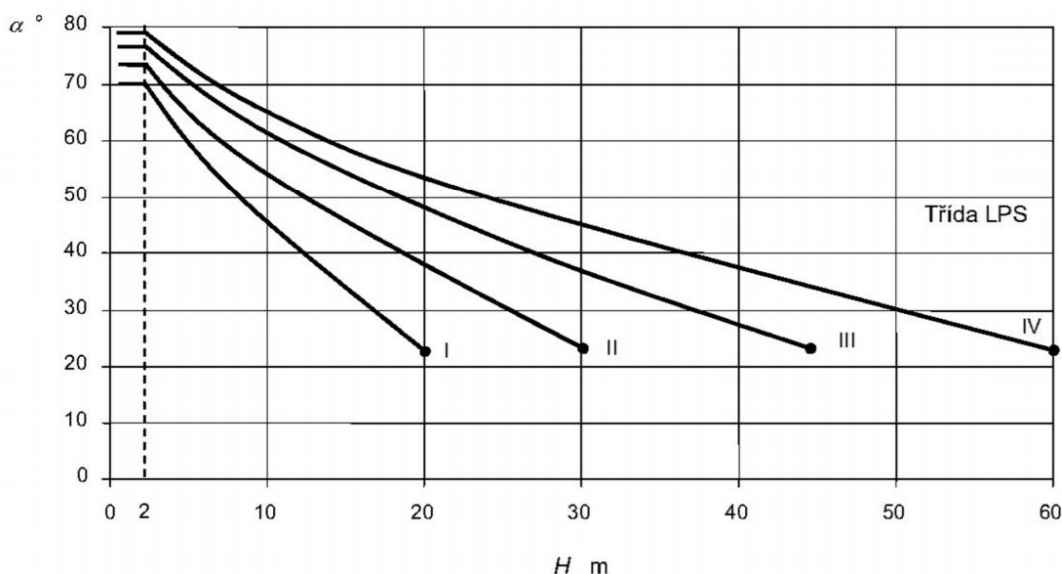
Vnější systém ochrany před bleskem má za úkol zachytit všechny údery blesku směřující do stavebních objektů a svést je směrem od místa úderu do země. Takto určená soustava se skládá ze tří hlavních částí:

1. Jímací zařízení – všechny kovové části soustavy, sloužící k zachycení blesku
2. Svod – vodivé spojení mezi jímacím zařízením a uzemněním
3. Uzemňovací soustava – soustava vzájemně propojených zemničů

Norma ČSN EN 62305-3 ed. 2 definuje ochranný prostor, vytvořený jímacím zařízením. Podle typu budovy a okolní zástavby používáme různé metody:

1. Metoda ochranného úhlu

Používá se pro jednoduché stavby malých rozměrů. Jde o definování ochranného prostoru na základě velikosti úhlu  $\alpha$ , který má vrchol ve „špičce“ jímače a výšky budovy  $H$ .



Obrázek 11. Ochranný úhel odpovídající třídě LPS [10]

## 2. Metoda valící se koule

Je vhodná pro rozsáhlejší zástavbu s různě vysokými budovami. Spočívá v podmínce dotyku pomyslné koule definovaného poloměru pouze jímačů, nikoliv země nebo střechy budovy.

## 3. Metoda mřížové soustavy

Používá se pro ochranu rovných ploch. Spočívá v podmínkách umístění jímačů v závislosti na sklonu střechy.

Podle velikosti ochranného prostoru a s ním souvisejících parametrů (ochranný úhel, poloměr valivé koule nebo rozměr mříže) definujeme 4 třídy LPS. [2]

Tabulka 2. Parametry jednotlivých metod pro různé třídy LPS [7]

LPS	Ochranný úhel	Valící se koule	Mřížová soustava
	Úhel [°]	Poloměr [m]	Velikost ok [m]
I	viz. charakteristika obr. 11	20	5x5
II		30	10x10
III		45	15x15
IV		60	20x20

### 3.2.2. Vnitřní systém ochrany před bleskem

Vnitřní systém ochrany před bleskem je souhrn všech opatření, které slouží ke zmírnění účinků elektromagnetického pole, generovaného při vzniku atmosférického výboje a jeho svodu do země.

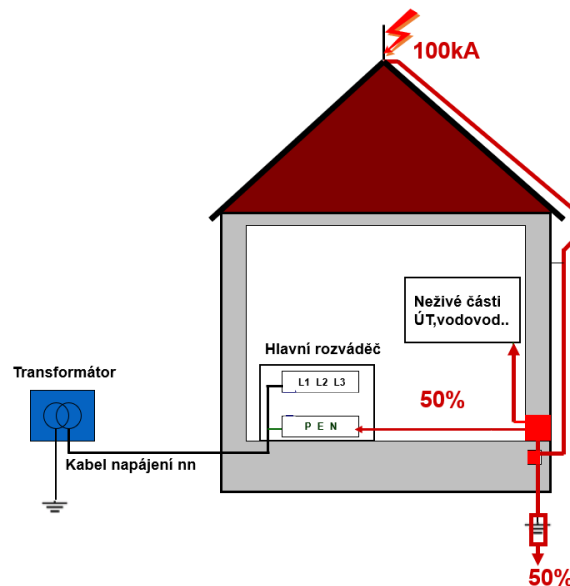
Základním opatřením je ekvipotenciální propojení všech vodivých částí (kovových konstrukcí, vodičů) vstupujících do budovy, na kterých by se mohl objevit nebezpečný potenciál. Tyto části poté připojíme na uzemnění pomocí ekvipotenciální svorkovnice. Tím zamezíme vzniku nebezpečného rozdílu potenciálů = přepětí. Vodivé neživé části připojíme přímo, živé části přes SPD. Toto připojení by mělo být realizováno co nejkratší cestou a co nejbližší vstupu těchto sítí do budovy. Pokud je to možné, vedení by do budovy mělo vstupovat v jednom místě.

Při dimenzování SPD je klíčovým parametrem velikost vrcholové hodnoty bleskového proudu. Musíme tedy vědět v jakých poměrech se rozdělí. Můžeme předpokládat, že 50 % celkového proudu blesku vstupuje do země a druhých 50 % se rozdělí do všech systémů vstupujících do objektu (vodivé potrubí, elektrické vedení).

Na obrázku 12. uvažujeme úder blesku o hodnotě 100 kA do jímače. Maximálně se tedy na vnitřní systémy dostane 50 kA, které se rozdělí následujícím způsobem:

$$i_i = \frac{i_s}{n} \quad (3.1)$$

kde  $i_i$  je dílčí proud tekoucí v každém systému,  $i_s$  je výše uvedených 50 kA,  $n$  je počet systémů. Podle hodnoty  $i_i$  se pak dimenzují jednotlivé SPD (25 kA, 12,5 kA...). [2]



Obrázek 12. Příklad rozdělení proudu blesku při jeho úderu do jímače [3]

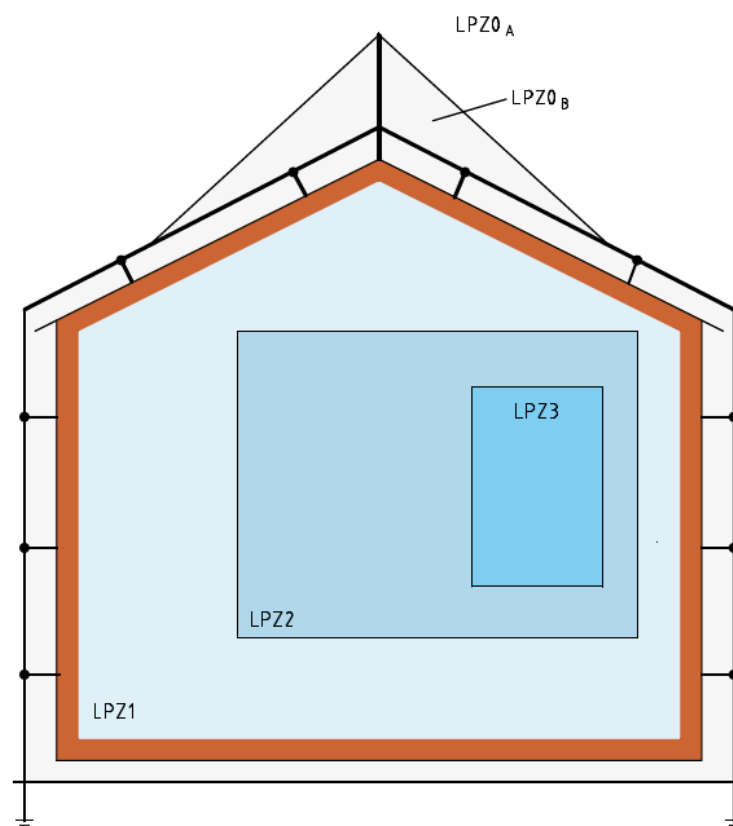
### 3.2.3. Zóny ochrany před bleskem

V případě přítomnosti vnější ochrany před bleskem musíme počítat s působením atmosférických pulsů i ve vnitřním prostoru objektu. Vzhledem k vysoké energii blesku není možné jej potlačit v jednom bodě jedním ochranným prvkem. Z tohoto důvodu došlo k rozdělení oblastí na části s určitým elektromagnetickým prostředím. Těmito oblastem se říká zóny ochrany před bleskem (LPZ = lightning protection zone) a rozdělují se na:

- LPZ 0<sub>A</sub>: V oblasti může dojít k přímému úderu blesku. Elektromagnetické pole je zde netlumené a hodnota bleskového proudu je  $i_s$  (viz. kapitola 3.2.2.).
- LPZ 0<sub>B</sub>: Oblast je chráněna před přímým úderem blesku, elektromagnetické pole je ovšem stále netlumené. Hodnota bleskového proudu, pronikajícího do vnitřních systémů je  $i_i$  (viz. kapitola 3.2.2.).

- LPZ 1: Oblast, ve které je bleskový proud pronikající do vnitřních systémů omezen izolačním rozhraním, případně pomocí SPD na rozhraní. Elektromagnetické pole je zeslabeno stíněním stěn budov, případně dalších stavebních prvků.
- LPZ 2 ,...,n: Jedná se o ještě lépe chráněné oblasti (izolací, SPD, stíněním). Příkladem může být stíněný počítačový sál.

Zvyšováním míry stínění a omezováním bleskových proudů lze dosáhnout LPZ 3 a dalších. Na obrázku vidíme rozdělení jednotlivých zón u obecné budovy. [5,11]



Obrázek 13. Zóny ochrany před bleskem [3]



### 3.2.4. Ochranné hladiny před bleskem

Norma ČSN EN 62305-1 ed. 2 stanovuje ochranné hladiny (Lightning protection level = LPL) pomocí parametrů bleskových výbojů, na které musí být SPD dimenzovány tak, aby bylo dosaženo dostatečně nízké hodnoty rizika (viz. kapitola 3.1. Stanovení rizik). Maximální hodnoty bleskových proudů s 99% pravděpodobností nepřesáhnou hodnotu nejpřísnější ochranné hladiny. V následující tabulce nalezneme parametry jednotlivých LPL. [11]

Tabulka 3. Maximální hodnoty parametrů blesku odpovídající ochranným hladinám LPL [11]

První kladný výboj			LPL			
Parametry proudu	Symbol	Jednotka	I	II	III	IV
Vrcholový proud	$I$	kA	200	150	100	
Náboj krátkodobého úderu	$Q_{short}$	C	100	75	50	
Specifická energie	$W/R$	MJ/ $\Omega$	10	5,6	2,5	
Časové parametry	$T_1/T_2$	$\mu\text{s} / \mu\text{s}$	10/350			
První záporný výboj <sup>1</sup>			LPL			
Parametry proudu	Symbol	Jednotka	I	II	III	
Vrcholový proud	$I$	kA	100	75	50	
Střední strmost	$di/dt$	kA/ $\mu\text{s}$	100	75	50	
Časové parametry	$T_1/T_2$	$\mu\text{s} / \mu\text{s}$	1/200			
Následný krátký výboj			LPL			
Parametry proudu	Symbol	Jednotka	I	II	III	IV
Vrcholový proud	$I$	kA	50	37,5	25	
Strmost proudu blesku	$di/dt$	kA/ $\mu\text{s}$	200	150	100	
Časové parametry	$T_1/T_2$	$\mu\text{s} / \mu\text{s}$	0,25/100			
Dlouhý výboj			LPL			
Parametr proudu	Symbol	Jednotka	I	II	III	IV
Náboj dlouhého výboje	$Q_{long}$	C	200	150	100	
Časové parametry	$T_{long}$	s	0,5			
Výboj			LPL			
Parametr proudu	Symbol	Jednotka	I	II	III	IV
Náboj výboje	$Q_{flash}$	C	300	225	150	

<sup>1</sup> Použití tvaru této vlny odpovídá pouze výpočtu, ne zkoušení.

## 4. Ochrany před přepětím (SPD)

Ochrany před přepětím (v praxi se také můžeme setkat s názvem svodiče přepětí) jsou elektrická zařízení, která mají při běžném provozním stavu vysoký izolační odpor a při výskytu přepětí přecházejí relativně rychle do stavu vodivého. Správně fungující SPD se po svedení impulsu vrátí do původního nevodivého stavu.

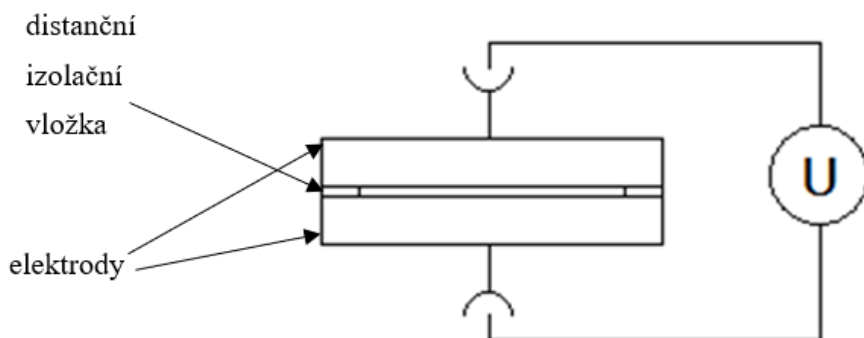
### 4.1. Konstrukční typy SPD

Podle základního aktivního prvku v SPD je můžeme rozdělit na:

- SPD spínající napětí: jiskřiště, plynová bleskojistka
- SPD omezující napětí: varistor, supresorová dioda
- SPD kombinovaného typu: obsahuje prvky spínací i omezující, spojuje jejich výhody

#### 4.1.1. Jiskřiště a bleskojistky

Základní částí těchto prvků je komora s elektrodami. Podle vzdálenosti elektrod a přítomného média mezi nimi je definována hodnota zapalovacího napětí. Při překročení této hodnoty dojde mezi elektrodami k vyrovnání potenciálů.

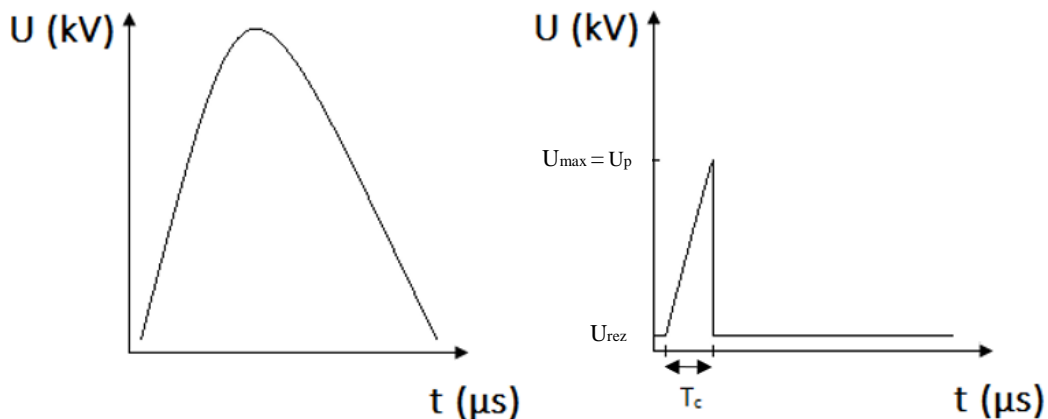


Obrázek 14. Principiální uspořádání jednoduchého jiskřiště [5]

Nespornou výhodou spínacích SPD je vysoký vnitřní odpor v nevodivém stavu. Následkem tohoto faktu je nulový unikající proud do země, který je nežádoucí. Další výhodou je schopnost svádět velké impulsní proudy při nízkém zbytkovém napětí  $U_{rez}$  (desítky voltů).

Nevýhodou je potřeba zhasnutí elektrického oblouku prostřednictvím poklesu procházejícího proudu do 0. Ve střídavých obvodech, kde proud do nuly klesá přirozenou cestou se nejedná

o tak veliký problém, jako u obvodů stejnosměrných. Další nevýhodou je relativně pomalá doba odezvy ( $T_c$ ) na impuls přepětí (přibližně 100 ns).

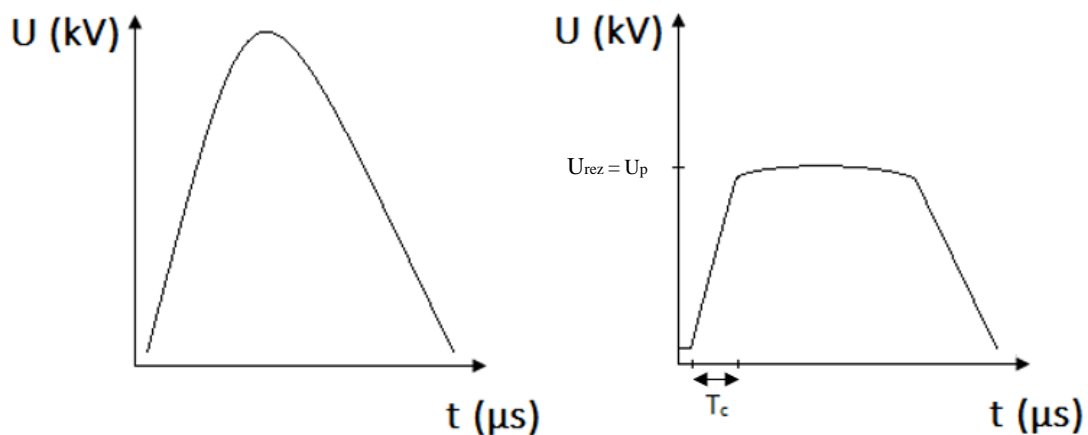


Obrázek 15. Omezující charakteristika jiskřiště [5]

#### 4.1.2. Varistory

Varistor je elektronická součástka, která má vnitřní odpor silně závislý na velikosti přiloženého napětí. Se zvyšujícím se napětím se odpor varistoru snižuje. Oproti jiskřištím, které své elektrody prakticky zkratuje, varistor napětí pouze omezí na předem definovanou hodnotu. Jeho vnitřní odpor je v nepropustném stavu v porovnání s jiskřišti nižší – to vede k nezanedbatelné hodnotě unikajícího proudu do země. Díky tomuto faktu varistor postupem času stárne a unikající proud se zvyšuje. Zvyšuje se také miliampérový bod = velikost přiloženého napětí, které způsobí unikající proud 1 mA. Tato veličina je spolehlivým ukazatelem stavu varistoru.

Výhodou varistoru je kratší doba odezvy (přibližně 25 ns) a oproti jiskřištím odpadá problém se zhášením oblouku. Při omezování přepětí totiž znovu začne narůstat vnitřní odpor varistoru, který poté omezuje i proud do země. Nevýhodou je jeho nižší proudová zatížitelnost, výše uvedené stárnutí a svodový proud.



Obrázek 16. Omezující charakteristika varistoru [5]

### 4.1.3. Supresorové diody

Supresorové diody se vyznačují velice krátkou dobou odezvy (řádově pikosekundy). Jedná se o speciální typ Zenerových diod, které jsou kvůli symetrii zapojené antiparalelně proti sobě. Jejich nevýhodou je ještě nižší proudová zatížitelnost než u varistorů (přibližně do 100 A). Proto se používají hlavně pro ochranu sdělovacích vedení (jako jemná ochrana), většinou v kombinaci s bleskojistkou (hrubá ochrana). [1,5]

## 4.2. Zkoušky SPD dle normy ČSN EN 61643-11 ed. 2

SPD jsou rozděleny do typů podle impulsních zkoušek, kterými musí projít. Pro správnou definici a pochopení jednotlivých zkoušek musíme definovat určité pojmy.

- $I_n$ : Jmenovitý výbojový proud  $I_n$  je vrcholová hodnota proudového impulsu 8/20  $\mu$ s, procházejícího přes svodič. Svodič musí tento proud svést několikrát bez výraznější změny jeho parametru.
- $I_{imp}$ : Impulzní proud  $I_{imp}$  definujeme pomocí vrcholové hodnoty impulsu a náboje  $Q$ . V praxi se používá vlna 10/350  $\mu$ s.
- $I_{max}$ : Maximální výbojový proud  $I_{max}$  je vrcholová hodnota proudového impulsu 8/20  $\mu$ s protékajícího přes svodič. Svodič musí tuto hodnotu svést bez poškození. Platí, že  $I_n < I_{max}$ .
- Kombinovaná vlna: Je zkušební průběh, který na zkratovaném obvodu vytváří proudový impuls 8/20  $\mu$ s a na obvodu rozpojeném napěťový impuls 1,2/50  $\mu$ s.

Třídy zkoušek jsou následující:

- Třída I: Zkouší se maximálním impulsním proudem  $I_{imp}$ , dále jmenovitým výbojovým proudem  $I_n$  a napěťovým pulsem 1,2/50  $\mu$ s. Výstupním parametrem zkoušky je hodnota  $I_{imp}$ .
- Třída II: Zkouší se jmenovitým výbojovým proudem  $I_n$ , maximálním výbojovým proudem  $I_{max}$  a napěťovým pulsem 1,2/50  $\mu$ s. Výstupním parametrem zkoušky je hodnota  $I_{max}$ .
- Třída III: Zkouší se kombinovanou vlnou a výstupním parametrem zkoušky je napětí naprázdno  $U_{oc}$ . [2]

### 4.3. Typy SPD dle normy ČSN EN 61643-11 ed. 2

První snahu o sjednocení názvosloví měla norma ČSN EN 61643-11. Ta uvádí rozdělení SPD na základě impulzních zkoušek, popsanych výše. Pro označení ochrany před přepětím používá již vysvětlenou zkratku SPD a arabskou číslici odpovídající třídě zkoušky. Setkáváme se tedy s názvy SPD typu 1, 2 a 3.

V praxi se dále můžeme setkat s označením SPD římskými číslicemi přesně podle typových zkoušek. Toto názvosloví vychází z původní mezinárodní normy IEC 61643-1. Dalším označením je označení dle německé normy VDE, které používá typy B, C a D.

Podle umístění SPD dále rozlišujeme stupně 1. (hlavní rozvaděč), 2. (podružný rozvaděč), a 3. (chráněné zařízení). Ve většině případů stupeň ochrany odpovídá typu, nemusí tomu tak však být vždy. Jaký typ ochrany použít vždy záleží na mnoha proměnných (LPZ, LPZ) a každá aplikace by měla být individuálně posouzena odborníkem.

Norma také definuje, jaké parametry by měl výrobce uvádět. Nejdůležitější z nich uvedu v následujícím odstavci:

- $I_{imp}$ : Tento parametr se uvádí pro SPD Typu 1. Definice viz. kapitola 4.2.
- $I_n$ : Tento parametr se uvádí pro SPD Typu 2. Definice viz. kapitola 4.2.
- $U_{oc}$ : Napětí naprázdno je napětí při rozpojeném obvodu generátoru kombinované vlny v místě připojené SPD. Uvádí se pro SPD Typu 3.
- $U_c$ : Nejvyšší trvalé impulsní napětí definuje maximální efektivní nebo stejnosměrnou hodnotu napětí, které může být k ochraně připojeno.
- $U_p$ : Napěťová ochranná hladina udává maximální hodnotu napětí, která se objeví na svorkách SPD při průchodu zkušebního proudu. [2,8]

## 5. Koordinace

Pro správné fungování ochrany před přepětím je nutné znát určité parametry (odolnost izolace elektrické instalace, odolnost zařízení). V následující kapitole popíši nejprve problematiku odolnosti koncových zařízení a následně koordinaci samotných SPD.

### 5.1. Koordinace izolace a odolnost koncových zařízení

#### 5.1.1. Koordinace izolace

Jak již bylo uvedeno v úvodu, odolnost zařízení a elektrické instalace je klíčovou informací pro dimenzování jednotlivých stupňů SPD. Tato odolnost je definována maximální vrcholovou hodnotou impulzního napětí předepsaného tvaru a polaritě, která za stanovených podmínek nezpůsobí průraz izolace. Hodnotě se říká impulzní výdržné napětí, je definována v normě ČSN EN 60664-1 ed. 2 a podle její velikosti můžeme zařízení rozdělit do čtyř kategorií. Tyto kategorie určují požadavky na impulzní elektrickou pevnost zařízení elektrické instalace.

- Zařízení kategorie I: zařízení určená pro připojení k obvodům, ve kterých jsou použita opatření pro snížení přechodových napětí na dostatečně nízkou hodnotu
- Zařízení kategorie II: spotřebiče napájené z pevné instalace (domácí spotřebiče, elektrické nářadí)
- Zařízení kategorie III: zařízení v pevných instalacích, která mají vyšší požadavky na použitelnost (rozvaděče, jističe)
- Zařízení kategorie IV: zařízení určená pro použití na začátku elektrické instalace v budovách (elektroměry, primární nadproudové ochrany)  
[2,12]

Tabulka 4. Hodnoty jmenovitých impulzních napětí [12]

Jmenovité napětí sítě (V)		Jmenovité impulzní napětí (kV)			
Trojfázové systémy	Jednofázové systémy	I	II	III	IV
-	120-240	0,8	1,5	2,5	4
230/400	-	1,5	2,5	4	6

### 5.1.2. Odolnost koncových zařízení

V této části popíši požadavky na odolnost koncového zařízení proti přepětí, které jsou definovány v normě ČSN EN 61000-4-5 ed. 3. Ta popisuje takzvané zkušební úrovně napětí na svorkách rázového generátoru kombinovaného impulzu (viz. kapitola 4.2.). Podle hodnot těchto napětí rozdělujeme prostředí do tříd.

- Třída 0: Dobře chráněné elektrické prostředí, často uvnitř zvláštní místnosti.
- Třída 1: Částečně chráněné elektrické prostředí.
- Třída 2: Prostředí, ve kterém jsou kabely dobře odděleny i při krátkých souběžích.
- Třída 3: Prostředí, ve kterém kabely probíhají paralelně.
- Třída 4: Prostředí, ve kterém propojení probíhají jako venkovní kabely podél silových kabelů a kabely jsou používány zároveň pro elektronické elektrické obvody.
- Třída 5: Prostředí pro elektronická zařízení připojená na komunikační kabely a venkovní napájecí vedení v řídicí obydlené oblasti.
- Třída x: Zvláštní podmínky stanovené ve specifikaci výrobku. [18]

Tabulka 5. Zkušební úrovně [18]

Úroveň	Zkušební napětí naprázdno (kV)	
	Mezi vodiči	Mezi vodičem a uzemněním
1	-	0,5
2	0,5	1
3	1	2
4	2	4
x	Speciální	Speciální

## 5.2. Koordinace SPD

Komplexně provedená ochrana pomocí SPD dokáže zamezit selhání elektrických a elektronických systémů vlivem přepětí. Pro správnou funkci musí být vhodně zvolena a zkoordinována. V následující části popíšeme, jak správným způsobem navrhnout a zkoordinovat SPD.

### 5.2.1. Výběr SPD

Při výběru SPD vycházíme ze dvou základních parametrů. Prvním parametrem je maximální hodnota napětí, které se může na svorkách chráněného zařízení objevit. Tento parametr se podle normy ČSN EN 62305-4 ed. 2 nazývá jmenovité impulsní výdržné napětí  $U_W$ . Druhým klíčovým parametrem je očekávaná velikost vrcholového proudu blesku  $I_{imp}$ .

#### Výběr SPD s ohledem na $U_W$

Jmenovité impulsní výdržné napětí zařízení je určeno jeho zkušební úrovní, která je popsána v kapitole 5.1.2. a jejíž hodnoty nalezneme v tabulce 5. V případě, že maximální velikost přepětí nemůže z nějakého důvodu dosáhnout napětí  $U_W$ , není nutné SPD instalovat. V opačném případě se bez ní ovšem neobejdeme. Základní podmínkou pro výběr správné ochrany z pohledu  $U_W$  jsou nerovnice:

$$U_{P/F} \leq U_W \quad (5.1)$$

$$U_{P/F} \leq 0,8 * U_W \quad (5.2)$$

$$U_{P/F} \leq \frac{(U_W - U_I)}{2} \quad (5.3)$$

Nerovnici 5.1 použijeme v případě, že délka obvodu mezi SPD a chráněným zařízením je zanedbatelná. V případě, že tato délka není zanedbatelná a nepřesáhne 10 metrů použijeme nerovnici 5.2. Pokud obvod měří několik desítek metrů, platí nerovnice 5.3.

$U_{P/F}$  je ochranné napětí a  $U_I$  je indukované přepětí pro které platí:

$$U_{P/F} = U_P + \Delta U \quad (5.4)$$

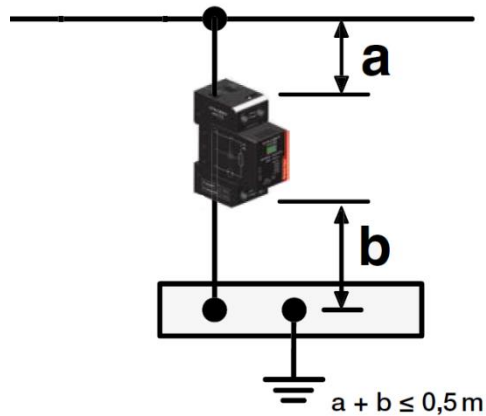
$$U_I = L * \frac{dI}{dt} \quad (5.5)$$

kde  $U_P$  je ochranná hladina SPD (maximální napětí, které se objeví na výstupních svorkách SPD) a  $\Delta U$  je úbytek napětí,  $L$  indukčnost propojovacích vodičů a  $I$  je velikost procházejícího proudu.



Odpor a indukčnost připojovacích vodičů je závislá na jejich délce. V praxi se uvažuje, že při průchodu bleskového proudu 1 metr vodiče způsobí úbytek napětí 1 kV.

Na základě výše uvedených informací by tedy připojovací vodiče SPD měly být co nejkratší a neměly by překročit hodnotu 0,5 m. Pro lepší představu přikládám obrázek 17.



Obrázek 17. Maximální délka připojovacích vodičů [3]

Z výše uvedených informací je patrné, že oba klíčové parametry ( $U_w$ ,  $I$ ) jsou spolu provázané. Je to proto, že  $\Delta U$  je roven:

$$\Delta U = R * I + U_I \quad (5.6)$$

kde R je odpor připojovacích vodičů.

#### Výběr SPD s ohledem na $I_{imp}$

Pro správné dimenzování SPD nestačí uvažovat pouze s hodnotou napětí, kterou chceme mít na výstupních svorkách, ale i s možnou velikostí bleskového proudu, který se může objevit. Tuto velikost vyhodnocujeme pomocí LPL v daném místě (kap. 3.2.4.).

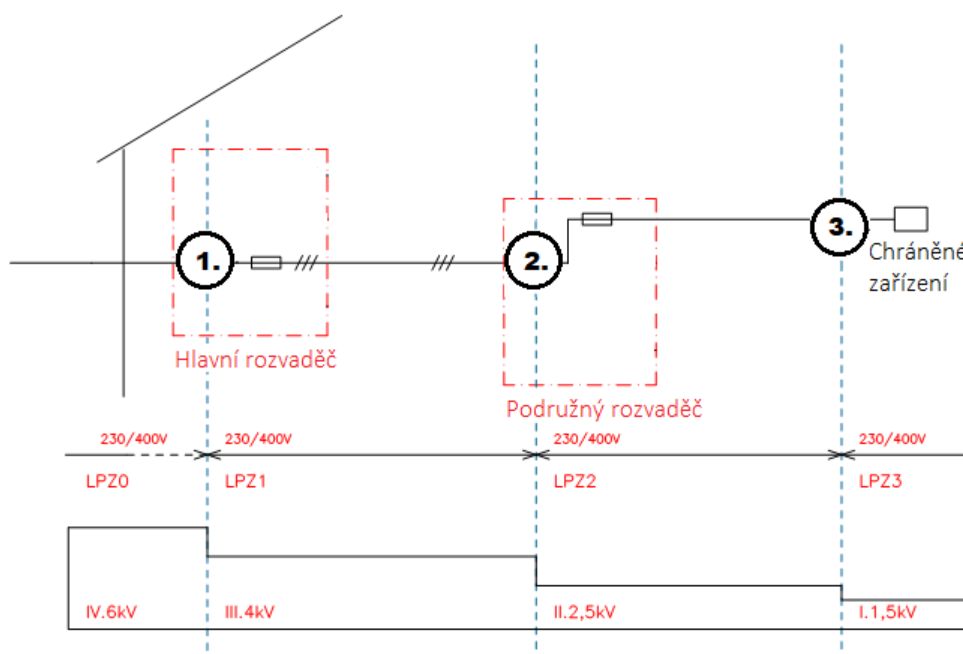
Pokud by SPD nebyla správně proudově dimenzovaná, hrozilo by její poškození vlivem průrazu. To by mělo za následek ohrožení chráněného zařízení, případně i blízkých osob. [14]

## 5.2.2. Umístění SPD

Pro komplexní ochranu celého objektu a zařízení uvnitř je potřeba nainstalovat kaskádu jednotlivých typů SPD, které postupně omezí impuls, až na akceptovatelnou hodnotu pro chráněné zařízení.

V kapitole 4.3. jsem uvedl jednotlivé typy SPD podle zkoušek, kterými musí projít. Nyní podle typu SPD volíme právě místo s očekávanými parametry bleskového proudu tak, aby SPD byla dostatečně dimenzovaná.

Na obrázku 18. můžeme vidět zobrazení napájecí sítě v objektu a jednotlivé typy SPD, znázorněné číslem v kruhu. Patrné jsou i jednotlivé zóny ochrany před bleskem LPZ a kategorie zařízení, včetně jejich jmenovitých impulzních napětí.



Obrázek 18. Umístění jednotlivých SPD [3]

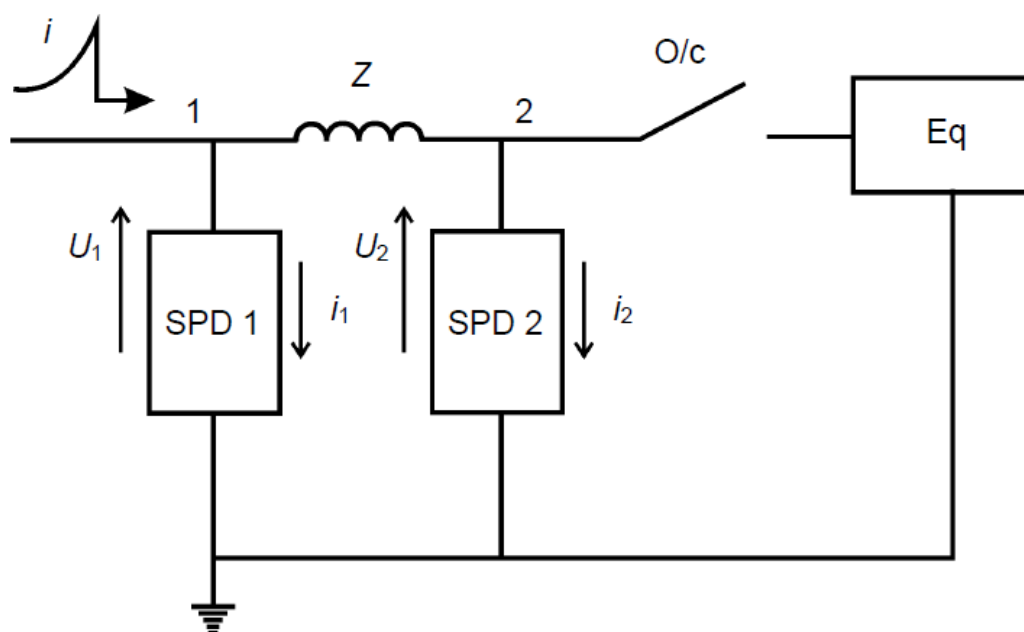
V případě, že vstupující vedení do objektu vstupuje ze zóny LPZ 0<sub>A</sub>, je nutné do hlavního rozvaděče nainstalovat SPD typu 1 zkušenu proudem  $I_{imp} 10/350 \mu s$ . SPD musí zajistit svedení očekávaného dílčího impulzního proudu.

Do podružného rozvaděče pak instalujeme SPD typu 2, zkušenu proudem  $I_n 8/20 \mu s$ . Pokud chráníme citlivé zařízení, případně vzdálenost mezi ochranou a chráněným zařízením je větší než 10 metrů, bezprostředně před chráněnou technologií umístíme SPD typu 3. [14]

### 5.2.3. Koordinace jednotlivých stupňů SPD

Pro účinnou ochranu proti přepětí je nutné jednotlivé stupně SPD správným způsobem zkoordinovat. V praxi to znamená zajistit, že následné SPD v kaskádě nebudou přetěžovány a hladina přepětí bude omezena na hodnotu nižší, než je výdržné napětí chráněného zařízení.

V první řadě musíme zajistit, aby nedošlo k proudovému přetížení následné SPD (na obrázku SPD 2). To znamená, že SPD 1 musí proud  $i$  snížit na přijatelnou úroveň  $i_2$  pro SPD 2.



Obrázek 19. Typické uspořádání dvou SPD [15]

Dále musíme splnit takzvané energetické kritérium. To nám říká, že množství energie, rozptýlující se na SPD 2, musí být nižší nebo se musí rovnat její maximální energetické výdržnosti.

Nakonec je nutné splnit kritérium napěťové ochranné úrovně. To nám zajistí, že zbytkové napětí poslední SPD v kaskádě (na obrázku SPD 2) bude nižší nebo rovno její napěťové ochranné úrovni  $U_p$ .

Nejdůležitější parametry, které by měly být zvažovány během koordinace jsou:

- Druh SPD (spínací, omezující)
- Charakteristiky SPD (přeskokové napětí spínacích ochran,  $U_c$  omezujících ochran)
- Očekávaný rázový impuls
- Druh chráněného zařízení
- Dostatečná vzdálenost SPD

Zde bych chtěl podrobněji popsat bod poslední – dostatečnou vzdálenost SPD. Ta je v obrázku 19. reprezentována impedancí  $Z$  (obecně se jedná o indukčnost). V praxi může být reprezentována pouze impedancí přírodních vodičů (uvažujeme  $1 \mu\text{H/m}$ ), případně může být fyzická = skutečná pasivní součástka, zařazená do obvodu.

V případě dostatečných vzdáleností postačí indukčnost přírodních vodičů. Pokud ovšem z nějakého důvodu vzdálenosti není možné dodržet, musíme vložit právě fyzickou indukčnost. V případě nedostatečné indukčnosti mezi kaskádou SPD by mohlo dojít k zafungování rychlejší (omezující) SPD, která má ovšem mnohem nižší maximální energetickou výdržnost než SPD spínací. Z tohoto důvodu je dostatečně vysoká indukčnost mezi stupni SPD klíčová.

#### Koordináční postup

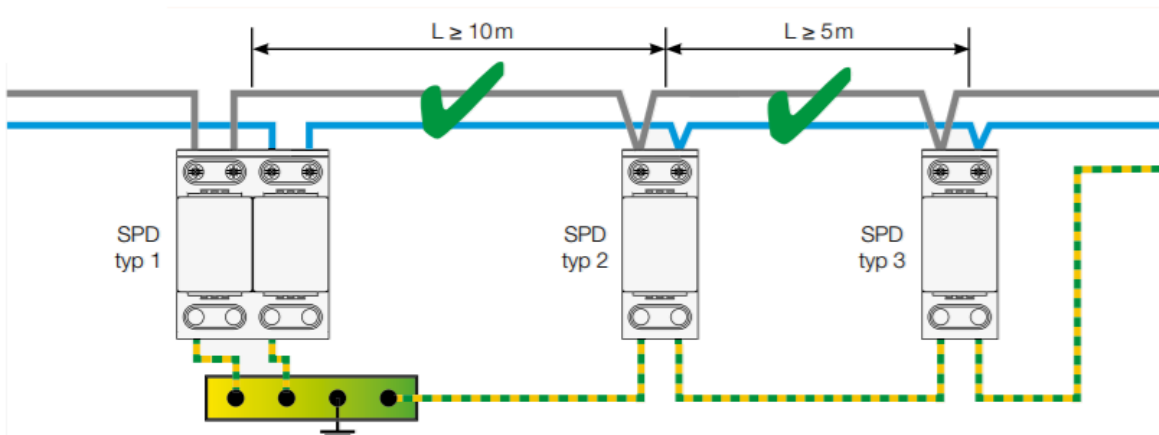
Při provádění koordinace musíme dodržovat určitý sled kroků pro výběr správných SPD a jejich správnou koordinaci.

1. Na vstup vedení do objektu nainstalujeme SPD typu 1.
2. Určí se  $U_W$  vnitřních systémů.
3. Na základě  $U_W$  vybereme ochrannou úroveň  $U_{P1}$  u SPD typu 1.
4. Zkontrolujeme, zda platí jedna z nerovnic 5.1, 5.2, 5.3, na základě podmínek z kapitoly 5.2.1..
5. Pokud potřebné napěťové hladiny dosáhneme, je zařízení dostatečně chráněno. Pokud ne, musíme nainstalovat SPD typu 2.
6. Proces opakujeme, dokud nesplníme požadavky nerovnic z bodu d).

Každý výrobce udává určitá pravidla a doporučení, jakým způsobem nainstalovat jeho výrobky tak, aby byly vhodně zkoordinované. Takových pravidel se můžeme držet, pouze pokud používáme SPD od tohoto konkrétního výrobce. V opačném případě se musíme řídit výše uvedenými obecnými pravidly. Logika věci tedy velí, že pokud si uživatel nechce zbytečně zadělávat na problémy, je vhodné v kaskádě použít SPD od stejného výrobce. [14]

#### **5.2.4. Koordinace jednotlivých stupňů SPD v praxi**

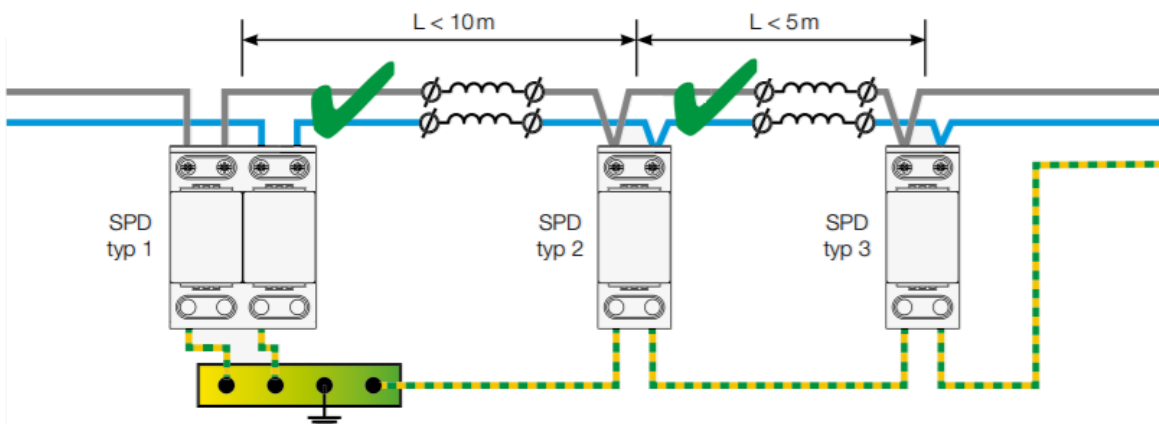
V minulém odstavci jsem uvedl problematiku koordinace jednotlivých stupňů SPD společně s informací, že výrobce vždy udává pravidla, která platí pro zajištění správné koordinace SPD. Příklad takových pravidel od firmy SALTEK uvedu zde. Pro správnou koordinaci jejich výrobků je nutné mezi jednotlivými stupni SPD dodržet určité vzdálenosti podle obrázku 20.



Obrázek 20. Koordinační vzdálenosti [3]

V případě nedodržení těchto pravidel by mohla zareagovat SPD typu 2 dříve, než SPD typu 1. To je způsobeno tím, že SPD typu 2 obsahuje prvek s rychlejší odezvou (varistor), než SPD typu 1 (jiskřiště). Tím pádem by převzala veškerou energii blesku, na kterou samozřejmě není dimenzovaná, došlo by k její destrukci a spolu s ní i k destrukci chráněného zařízení.

Pokud z nějakého důvodu není možné koordinační vzdálenosti dodržet, zařadíme do obvodu takzvané koordinační indukčnosti podle obrázku 21. Tyto indukčnosti musí být dimenzovány na jmenovitý proud procházející obvodem.



Obrázek 21. Koordinace pomocí přídavné indukčnosti [3]

V praxi výrobci u některých produktů zajišťují koordinaci mezi jednotlivými stupni i bez dodržení potřebných koordinačních vzdáleností. Tyto SPD mají v sobě obsažený spouštěcí obvod, který ve vhodnou chvíli způsobí reakci SPD. [2]

### 5.3. Problematika namáhání dlouhými impulzy

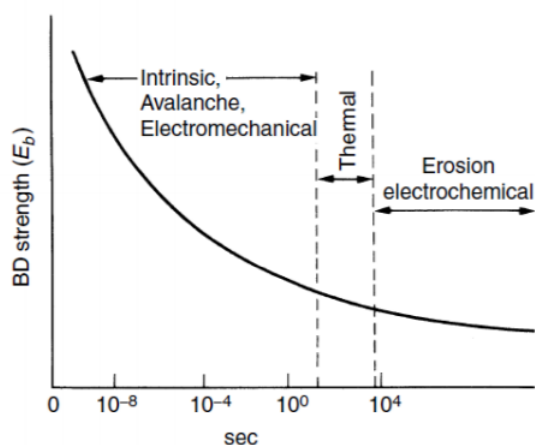
Hlavní problematika této diplomové práce byla stručně uvedena v rámci setkání technické komise CLC TC/37A v září roku 2018. CLC TC/37A je technická komise úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, jmenovitě normalizaci přepět'ových ochranných zařízení pro nízká napětí.

V rámci setkání byli přítomní seznámeni s problémem, bohužel řešení se odložilo na dobu neurčitou. Na základě tohoto faktu vznikla má diplomová práce.

Pro popis problematiky jsem uvedl v kapitole 5.1.1. definici impulsního výdržného napětí  $U_W$  a v kapitole 5.2.1. definici efektivní hodnoty ochranného napětí  $U_{P/F}$ . Nynější normalizační literatura obecně definuje zařízení jako chráněné, pokud platí, že  $U_{P/F} \leq U_W$ .

Je jednoduché na problém tímto způsobem pohlížet, bohužel se nejedná o úplnou pravdu. Ve skutečnosti nevíme, zda zařízení chráníme, ani když je splněna výše uvedená podmínka. Důvodem jsou různé tvary vln zbytkového napětí za SPD, které nutně nemusí korespondovat s otestovanou vlnou impulsního výdržného napětí zařízení  $U_W$  (1,2/50  $\mu$ s). Délka trvání impulzů může přesáhnout stovky  $\mu$ s. Tento fakt není v nynějších podmínkách norem zohledněn.

Na obrázku níže můžeme vidět charakteristiku, která toto tvrzení podporuje. Jedná se o závislost elektrické pevnosti pevných dielektrik na čase, po který je přiloženo. Nás zajímá první část, ve které dochází k elektromechanickému průrazu. Se zvyšující se hodnotou času prudce klesá velikost napětí, potřebná k průrazu dielektrika. Už tato charakteristika napovídá, že výše uvedená podmínka nemusí být vždy dostatečným kritériem.



Obrázek 22. Závislost elektrické pevnosti na čase [27]

Nabízí se několik variant řešení, jak ověřit, zda je zařízení skutečně chráněno. Pro výběr vhodné varianty budu potřebovat více informací, které zjistím v experimentální části.

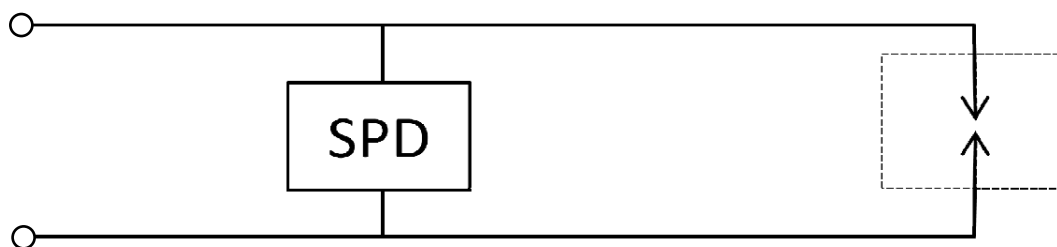
Ideálním řešením by bylo simulovat určitým způsobem chráněné zařízení. Nabízí se testovat komponenty, které jsou přímo na vstupu napájení do zařízení (varistory), případně náchylné komponenty umístěné mezi zemí a fází (odrušovací kondenzátory).

Z napěťových parametrů mne nejvíce bude zajímat hodnota napěťové hladiny  $U_p$  za jednotlivými zkoušenými SPD a s ní související hodnota zbytkového napětí. To budou určující informace pro rozhodnutí, čím vlastně chráněné zařízení simulovat.

Dalším parametrem, který budu porovnávat, bude délka napěťového impulsu za SPD. Očekávám totiž daleko vyšší hodnotu, než je běžně testovaná vlna  $U_w$  1,2/50  $\mu$ s.

### 5.3.1. Simulace chráněného zařízení jiskřištěm

V tomto případě dle mého názoru nelze žádným způsobem pozorovat vliv délky trvání impulsu. K přeskočení totiž dojde, pouze pokud hodnota napětí mezi elektrodami překročí průrazné napětí daného jiskřiště. Pokud bude hodnota jen o něco nižší, nehledě na délku impulsu, k výboji nedojde.



Obrázek 23. Simulace chráněného zařízení jiskřištěm [16]

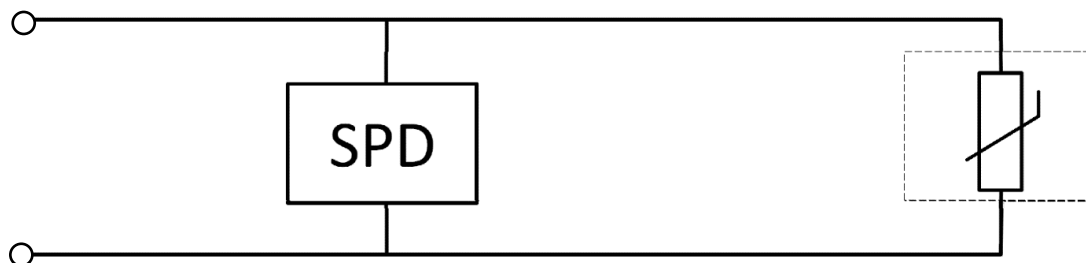
### 5.3.2. Simulace chráněného zařízení varistorem

Varistor je v rámci práce popsán v kapitole 4.1.2. Tomuto tématu se budu věnovat podrobněji v kapitole 7.1., protože firma Dehn tento způsob pro testování svých výrobků používá. Zde bych ovšem poukázal na fakt, že varistor má svou hodnotu napětí, při které dojde ke skokové změně odporu. Pokud tedy budeme mít hodnotu napětí o něco nižší, nebude záležet na délce impulsu a ke změně parametrů nedojde.

Dehn ovšem jako kritérium použil maximální energii, která na varistor může být přivedena. Dle mého názoru zvolili nejčastěji používaný varistor v elektrických zařízeních. Pokud je

rozptýlená energie za jejich kaskádou SPD nižší než maximální povolená, považují koordinaci za správně provedenou.

Tento způsob by se pro mou práci stal zajímavým v případě, že bychom nedosáhli dostatečně vysoké napěťové hladiny, kterou bych mohl s rozumnými výsledky aplikovat na kondenzátory.



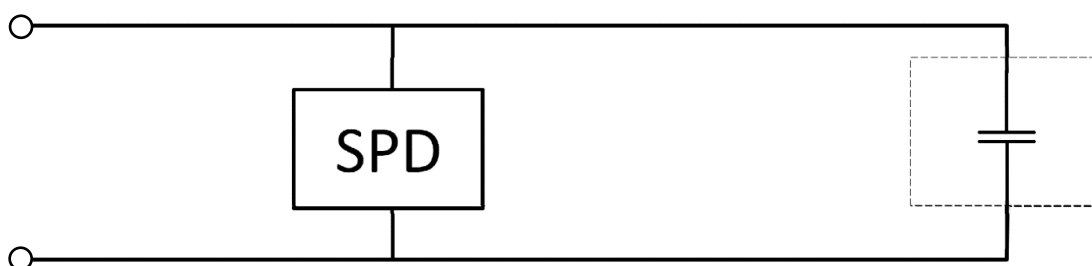
Obrázek 24. Simulace chráněného zařízení varistorem [16]

### 5.3.3. Simulace chráněného zařízení kondenzátorem

Toto řešení osobně považuji za nejvhodnější. Kondenzátory se často vyskytují v elektrotechnických zařízeních jako kapacitní filtry. Uspořádání elektrod, dielektrika a elektrolytu například svitkových kondenzátorů není nikdy dokonale homogenní. V případě častého působení dlouhých impulzů zbytkového napětí, může ve slabém místě dojít k částečnému průrazu dielektrika. Z těchto důvodů jsem se rozhodl vydat právě touto cestou testování.

Klíčovým faktem bude výstup z měření na SPD v podobě napěťové hladiny  $U_p$ . Všechny mnou použité ochrany mají napěťovou ochranu  $U_p$  rovnou hodnotě 1,5 kV. Kondenzátory třídy Y4 podle normy ČSN EN 60384-14 ed. 2 jsou testovány napětím 900 V po dobu 1 minuty. Další zajímavou bezpečnostní třídou je X2, která se testuje napětím 2,5 kV o délce impulsu 1,2/50  $\mu$ s.

Z výše uvedených informací usuzuji, že pokud bych naměřil  $U_p$  udávané výrobcem a následně impuls zbytkového napětí aplikoval na kondenzátor třídy Y4, případně X2, mohlo by dojít k průrazu. [16, 22]



Obrázek 25. Simulace chráněného zařízení kondenzátorem [16]

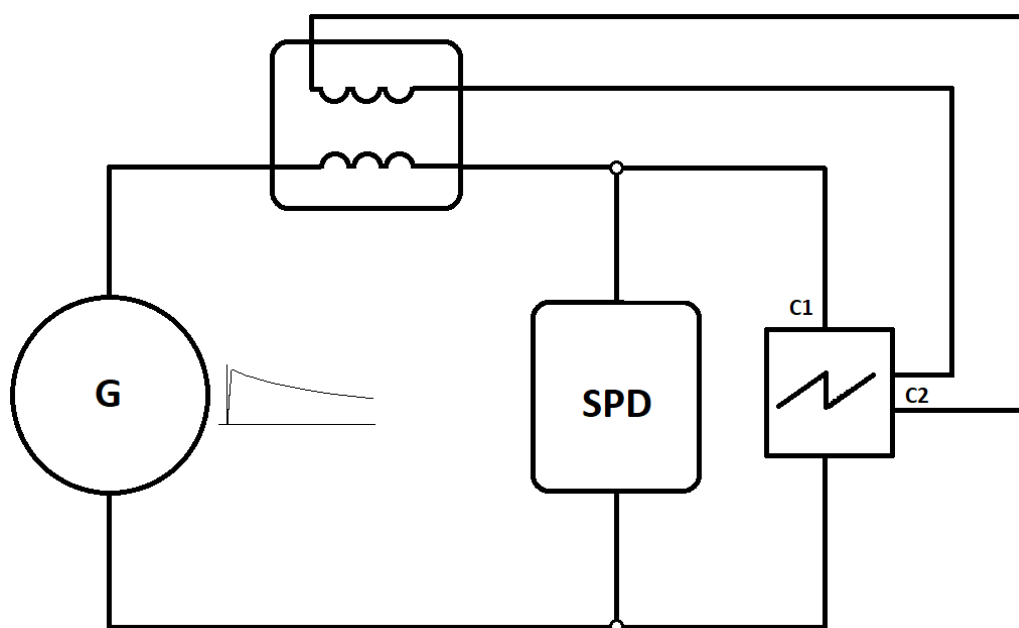


## 6. Testování SPD

Svou praktickou část diplomové práce jsem se rozhodl rozdělit do dvou částí. V první části zjistím, jaké průběhy zbytkového napětí se za SPD nacházejí. V části následující se pokusím navrhnout řešení podle změřených parametrů. Budu vycházet z parametrů, které udávají výrobci, hlavně z napěťové ochranné hladiny  $U_p$ .

### 6.1. Popis měřícího pracoviště

Pro testování SPD jsem použil dvě různá měřící pracoviště, která se lišila pouze parametry, ale principiálně byla shodná. Schéma můžeme vidět na obrázku.



Obrázek 26. Principiální schéma zapojení

Základem je impulzní generátor proudové vlny 10/350  $\mu$ s, ke kterému je paralelně připojené testované SPD. Napětí měříme pomocí napěťové sondy a proud je měřen měřícím transformátorem proudu. Obě veličiny jsou pak zobrazovány pomocí osciloskopu na kanálech C1 (napětí) a C2 (proud).

Zmiňované dvě pracoviště se liší pouze výkonem generátoru a odpovídajícím měřícím transformátorem proudu.

## 6.2. Použité přístroje

### 6.2.1. Generátor C100 10/350

Jedná se o generátor proudového impulsu 10/350  $\mu$ s. Funguje na principu nabíjení kondenzátorů o hodnotě 7 mF až na napětí 7 kV. Sepnutím spínače dojde k vybití kondenzátorů přes zkoušenou SPD a tvarovací obvod.

#### Parametry:

- Vstupní jmenovité napětí:  $U_n = 3 \times 400$  V/50 Hz
- Maximální nabíjecí napětí:  $U_{\max} = 7$  kVDC
- Maximální impulzní proud:  $I_{\text{imp}} = 100$  kA (10/350)
- Maximální náboj:  $Q_{\max} = 50$  As
- Specifická energie:  $W/R = 2500$  kJ



Obrázek 27. Generátor C100 10/350

### 6.2.2. Měřicí transformátor proudu Pearson 1423

Měřicí transformátor proudu funguje na principu přesně definovaného převodu primárního a sekundárního vinutí. Na primární vinutí transformátoru připojíme měřený proud a na sekundární vinutí měřicí přístroj (v našem případě osciloskop). Pro Pearson 1423 platí, že 1000 A na primárním vinutí odpovídá úbytek 1 V na sekundárním vinutí.

#### Parametry:

- Maximální RMS proud:  $I_{\text{RMSmax}} = 2,5 \text{ kA}$
- Maximální špičkový proud:  $I_{\text{peakmax}} = 500 \text{ kA}$
- Výstupní odpor:  $R_{\text{out}} = 50 \Omega$
- Maximální frekvence:  $f_{\text{max}} = 0,7 \text{ MHz}$



Obrázek 28. Pearson 1423 [19]

### 6.2.3. Napěťová sonda PICO TA044

Napěťová sonda nabízí možnost převodu napěťového signálu v poměru 1:100 nebo 1:1000. V našem případě jsme použili převod 1:1000, což jsme zohlednili i v nastavení osciloskopu – další úprava naměřených dat tedy nebyla nutná.

#### Parametry:

- Maximální RMS napětí:  $U_{\text{RMSmax}} = 5 \text{ kV}$
- Maximální špičkové napětí:  $U_{\text{peakmax}} = 7 \text{ kV}$
- Vstupní impedance:  $Z_{\text{in}} = 10 \text{ M}\Omega$
- Maximální frekvence:  $f_{\text{max}} = 70 \text{ MHz}$



Obrázek 29. PICO TA044 [20]

#### 6.2.4. Osciloskop LeCroy wave surfer 422

LeCroy wave surfer 422 je dvoukanálový digitální osciloskop. Pro sledování průběhů jsme používali single mód, který po vhodném nastavení umožňuje zachycení přechodového děje.

##### Parametry:

- Vzorkování:  $SR = 2 \text{ GS/s}$
- Maximální frekvence:  $f_{\max} = 200 \text{ MHz}$



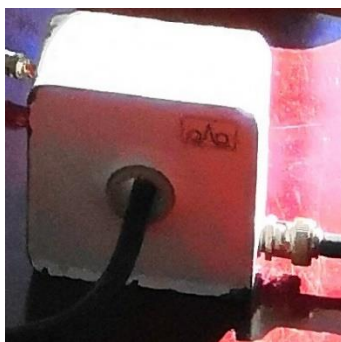
Obrázek 30. LeCroy wave surfer 422 [21]

#### 6.2.5. Měřicí transformátor proudu RAO CT 11

Tento měřicí transformátor proudu byl vytvořen na zakázku – není sériově vyráběn. Funguje na stejném principu, jako Pearson 1423, pouze se liší některými parametry. 1000 A naměřených na primárním vinutí odpovídá 1 V na sekundárním vinutí.

##### Parametry:

- Maximální proud 50 Hz:  $I_{\max 50} = 200 \text{ A}$
- Maximální proud vlny 10/350  $\mu\text{s}$ :  $I_{\max 10/350} = 10 \text{ kA}$
- Maximální proud vlny 8/20  $\mu\text{s}$ :  $I_{\max 8/20} = 50 \text{ kA}$



Obrázek 31. CT11

### 6.2.6. Generátor C8 10/350

Jedná se také o proudový generátor vlny 10/350  $\mu$ s. Funguje na stejném principu jako generátor C100. Můžeme s ním ovšem dosáhnout nižší vrcholové hodnoty proudu, jmenovitě až 8 kA.



Obrázek 32. Generátor C8

### 6.2.7. Generátor RG 550

Jedná se o generátor kombinovaného impulsu, který vytváří na rozpojeném obvodu napěťový impuls 1,2/50  $\mu$ s o hodnotě až 20 kV a na zkratovaném obvodu proudový impuls 8/20  $\mu$ s o hodnotě až 25 kA.



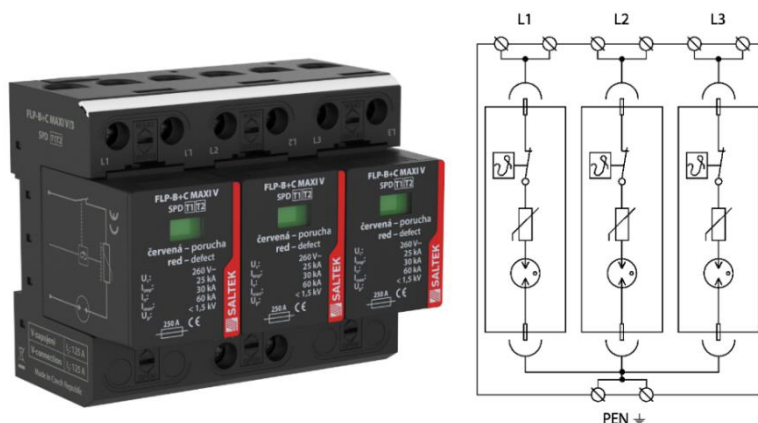
Obrázek 33. Generátor RG 550

## 6.3. Použité vzorky

V rámci své diplomové práce jsem se rozhodl otestovat SPD s různými technologiemi. To mi pomůže zhodnotit vliv použité technologie na výsledné průběhy. Jedná se o technologie popsané v kapitole 4.1., tedy SPD s jiskříštěm nebo varistorem. Dalším typem jsou SPD kombinované jiskříště + varistor. Tyto dva komponenty mohou být spojené sériově nebo paralelně.

### 6.3.1. FLP-B+C MAXI V/3

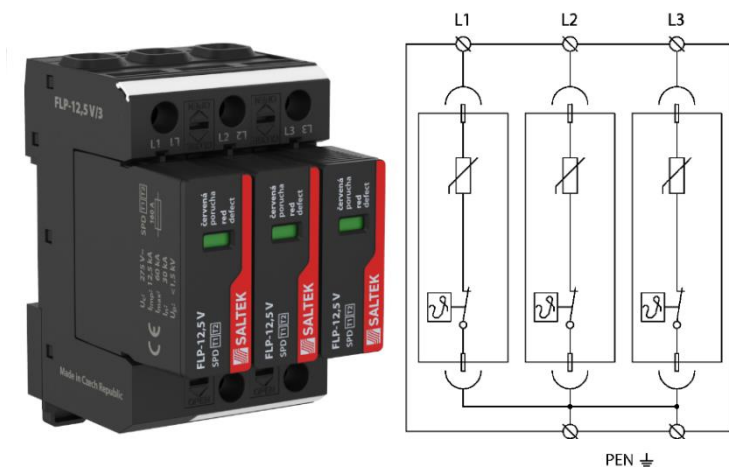
FLP-B+C MAXI V/3 od firmy Saltek je výkonný kombinovaný svodič bleskových proudů typu 1+2 s vyjímatelným modulem. Skládá se ze sériové kombinace jiskřiště a varistoru. Dále je v SPD obsažen tepelný odpojovač, který v případě přetížení (přehřátí) varistoru SPD odpojí, aby nedošlo k jeho destrukci. Jeho nejvyšší provozní jmenovité napětí  $U_c$  je 260 V a je určen do sítí o jmenovitém napětí  $U_n$  230 V. Je zkoušen podle normy ČSN EN 61643-11 ed. 2 impulsním proudem 10/350  $\mu$ s 25 kA. Další informace a parametry se nacházejí v příloze č. 1.



Obrázek 34. FLP-B+C MAXI V/3 + schéma

### 6.3.2. FLP-12,5 V/3

FLP-12,5 V/3 od firmy Saltek je varistorový svodič bleskových proudů typu 1+2 s vyjímatelným modulem. Skládá se ze sériového spojení varistoru a tepelného odpojovače. Ten zabezpečí odpojení varistoru při hrozbě jeho přetížení. Jeho nejvyšší provozní jmenovité napětí  $U_c$  je 275 V a je určen do sítí o jmenovitém napětí  $U_n$  230 V. Je zkoušen podle normy ČSN EN 61643-11 ed. 2 impulsním proudem 10/350  $\mu$ s 12,5 kA. Další informace a parametry se nacházejí v příloze číslo 2.

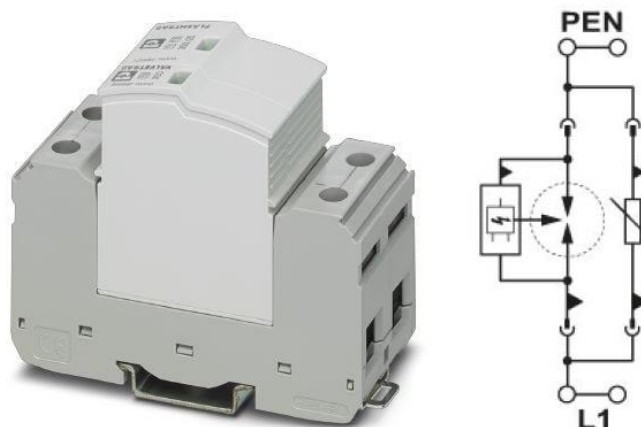


Obrázek 35. FLP 12,5 V/3 + schéma



### 6.3.3. FLT-SEC-T1+T2-1C-350/25-FM

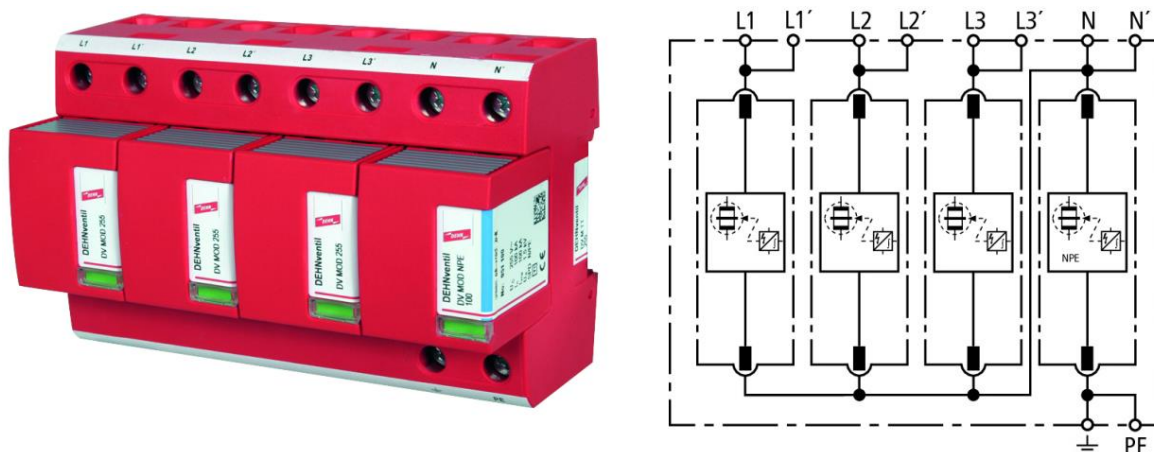
FLT-SEC-T1+T2-1C-350/25-FM od firmy Phoenix Contact je kombinovaný svodič bleskových proudů typu 1+2. Skládá se z paralelní kombinace jiskřiště se spouštěcím obvodem a z varistoru. Jeho nejvyšší provozní jmenovité napětí  $U_c$  je 350 V, je určen do sítí o jmenovitém napětí  $U_n$  240 V a svede  $I_{imp}$  25 kA. Další informace a parametry se nacházejí v příloze č. 3.



Obrázek 36. FLT-SEC-T1+T2-1C-350/25-FM + schéma

### 6.3.4. DV M TT 255

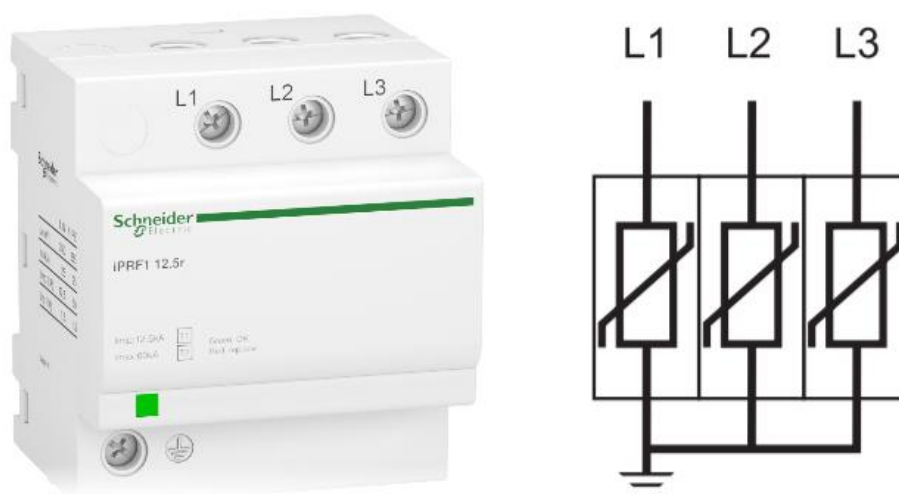
DV M TT 255 řady DEHN Ventil od firmy Dehn je svodič bleskových proudů typu 1+2 na bázi jiskřiště. Tento výrobek má v sobě integrovaný takzvaný spouštěcí obvod, který ve vhodné chvíli způsobí reakci ochrany. Jeho nejvyšší provozní jmenovité napětí  $U_c$  je 264 V, je určen do sítí o jmenovitém napětí  $U_n$  230 V a svede  $I_{imp}$  25 kA. Další informace a parametry se nacházejí v příloze č. 4.



Obrázek 37. DV M TT 255 + schéma

### 6.3.5. Acti9 iPRF1

Acti 9 iPRF1 značky Schneider Electric je varistorový svodič bleskových proudů typu 1+2. Pro testování byl vybrán z důvodu velikosti jeho maximálního provozního napětí  $U_c$ , které na rozdíl od FLP-12,5 V/3 činí 350 V. Je určen do sítí o jmenovité hodnotě napětí  $U_n = 230$  V. Je zkoušen podle normy ČSN EN 61643-11 ed. 2 impulsním proudem 10/350  $\mu$ s 12,5 kA. Další informace a parametry se nacházejí v příloze č. 5.



Obrázek 38. Acti9 iPRF1

## 6.4. Naměřené průběhy a hodnoty

Toto měření jsem prováděl za účelem zjistit, jaké impulzy zbytkového napětí se nacházejí za výše popsanými SPD. Tyto impulzy pak následně budu aplikovat na simulované chráněné zařízení s cílem zjistit, zda na něj delší impulz má nějaký negativní vliv, přestože bude dodržena velikost maximálního výdržného napětí.

Jak jsem již uvedl výše, na každou SPD jsem aplikoval 2 impulzy 10/350  $\mu$ s. Jejich vrcholové hodnoty byly 2,5 kA a 12,5 kA. Měření jsem provedl dvakrát, abych zjistil, zda má vrcholová hodnota  $I_{imp}$  vliv na délku impulzu  $t_{imp}$ .

Princip fungování generátoru neumožňuje nastavení přímo požadovaného impulzního proudu  $I_{imp}$ . Je možné pouze nastavit hodnotu napětí, která se poté přes SPD a tvarovací obvody transformuje na proudový impulz 10/350  $\mu$ s o vrcholové hodnotě, odpovídající nastavené hodnotě napětí.

Protože ovšem každá SPD má trochu odlišné parametry v obvodu, musel jsem pokaždé nejprve zkalibrovat generátor. Výše uvedené fakty mají za následek, že vrcholové hodnoty zkušebních proudů se budou mírně odlišovat od požadovaných, jsou ovšem v toleranci  $\pm 10$  %, která je definovaná normou ČSN EN 61643-11 ed.2.



Výsledkem tohoto měření tedy bude impulz, který by byl potenciálně nejnebezpečnější. Takový impulz bude nejdelší a bude mít nejvyšší vrcholovou, případně i střední hodnotu. Během měření jsem zaznamenával průběhy a měřil jejich parametry.

Při měření jsem si na kombinovaném generátoru naměřil také impulz napětí  $1,2/50 \mu\text{s}$  o vrcholové hodnotě 2,5 kV. Takovým impulzem je totiž zkoušena izolace elektronických zařízení třídy II trojfázových systémů.

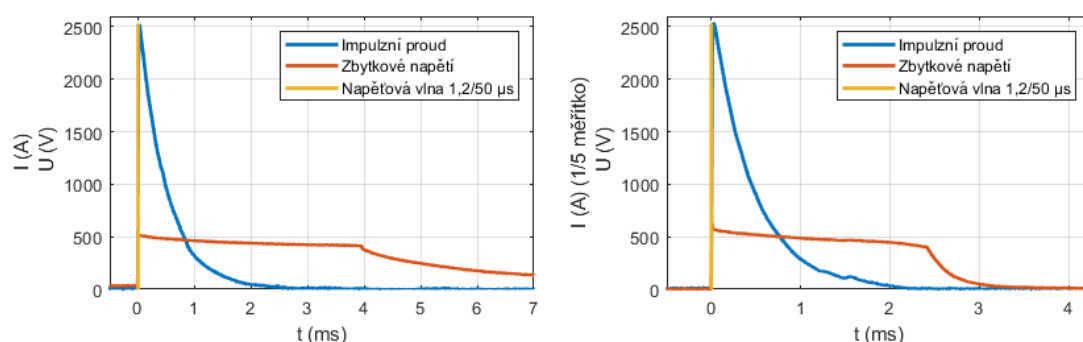
Tímto jsem chtěl ukázat obrovský rozdíl mezi délkou trvání zkušebního impulzu pro izolaci a délkou impulzu výdržného napětí. Samozřejmě, že hodnota napětí se dost liší, ale pro třídu I trojfázových systémů je izolace zkoušena už jen na 1,5 kV a pro třídu I jednofázových systémů dokonce 0,8 kV. Tady už určitě nebude zanedbatelná délka impulzu zbytkového napětí za SPD.

### 6.4.1. FLP-B+C MAXI V/3

Jak jsem již uvedl výše, jedná se o SPD se sériově zapojeným jiskřištěm a varistorem. Protože jde o kombinaci spínací a omezující SPD, očekával jsem relativně krátký impuls a v porovnání s ostatními SPD i nižší vrcholovou hodnotu.

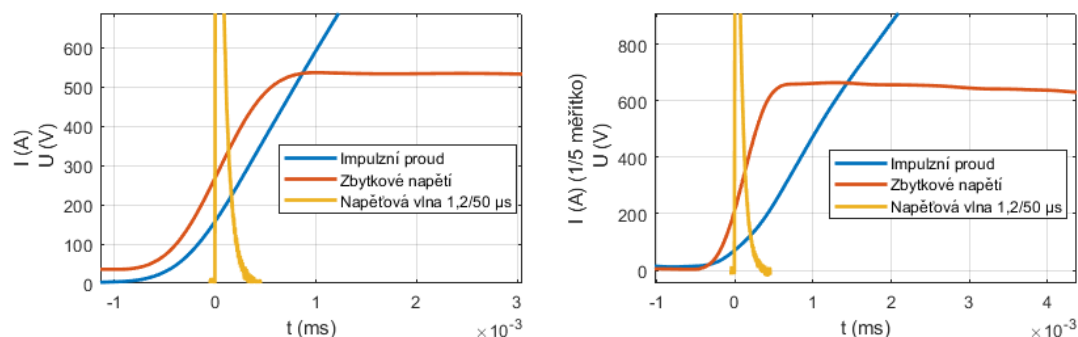
Tabulka 6. Naměřené hodnoty FLP-B+C MAXI V/3

$I_{\text{imp}} = 2,53 \text{ kA}$		$I_{\text{imp}} = 12,69 \text{ kA}$	
$U_p \text{ (V)}$	537	$U_p \text{ (V)}$	665
$U_s \text{ (V)}^2$	446	$U_s \text{ (V)}$	482
$t_{\text{imp}} \text{ (ms)}$	3,92	$t_{\text{imp}} \text{ (ms)}$	2,47



Obrázek 39. Vynesené průběhy FLP-B+C MAXI V/3

Z naměřených hodnot je patrné, že impuls za SPD měl v případě 12,5 kA podle očekávání vyšší amplitudu oproti měření při 2,5 kA. Délka impulsu byla naopak nižší. Časový interval byl měřen mezi počátkem impulsu a místem, ve kterém proud znovu klesne do 0. Tento bod je charakteristický výrazným poklesem napětí. Za ideálních podmínek by v tuto chvíli napětí kleslo na svou původní hodnotu (podle teoretických předpokladů uvedených v kapitole 4.1.). To, že neklesne okamžitě, je dáno konstrukcí generátoru.



Obrázek 40. Detail počátku přechodového děje FLP-B+C MAXI V/3

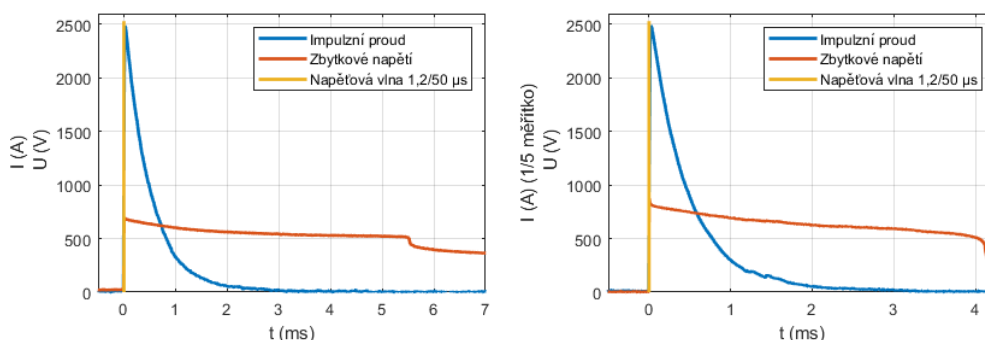
<sup>2</sup>  $U_s$  je střední hodnota napětí po dobu trvání impulsu.

## 6.4.2. FLP-12,5 V/3

Kvůli konstrukci této SPD očekávám delší napěťový impulz, který bude mít i vyšší vrcholovou hodnotu, než FLP-B+C MAXI V/3. FLP-12,5 V/3 dokáže svést maximálně 12,5 kA. Je tedy testován na svém maximu.

Tabulka 7. Naměřené hodnoty FLP-12,5 V/3

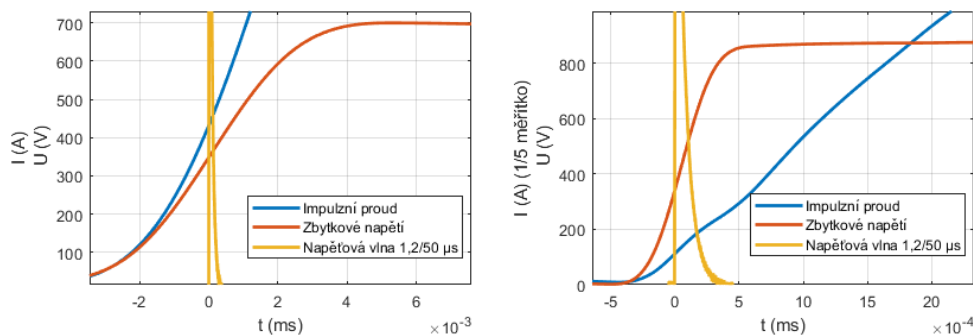
$I_{imp} = 2,49 \text{ kA}$		$I_{imp} = 12,44 \text{ kA}$	
$U_p \text{ (V)}$	700	$U_p \text{ (V)}$	877
$U_s \text{ (V)}$	562	$U_s \text{ (V)}$	643
$t_{imp} \text{ (ms)}$	5,55	$t_{imp} \text{ (ms)}$	4,13



Obrázek 41. Vynesené průběhy FLP-12,5 V/3

Podle očekávání jsem naměřil delší impulzy, než v případě sériově zapojeného jiskřiště a varistoru. Vzhledem k měření maximálního proudu SPD jsem byl nucen před opakováním měření nechat ochladit varistor, jinak by mohlo dojít k jeho průrazu.

V kapitole 2.3.1. jsem psal o možnosti opakování bleskového úderu vzhledem k ionizovaným částicím v místě prvního úderu. Pokud by k tomuto došlo a chránili bychom pouze pomocí SPD FLP-12,5 V/3, došlo by k odpojení tepelným odpojovačem a ochrana by nebyla účinná.



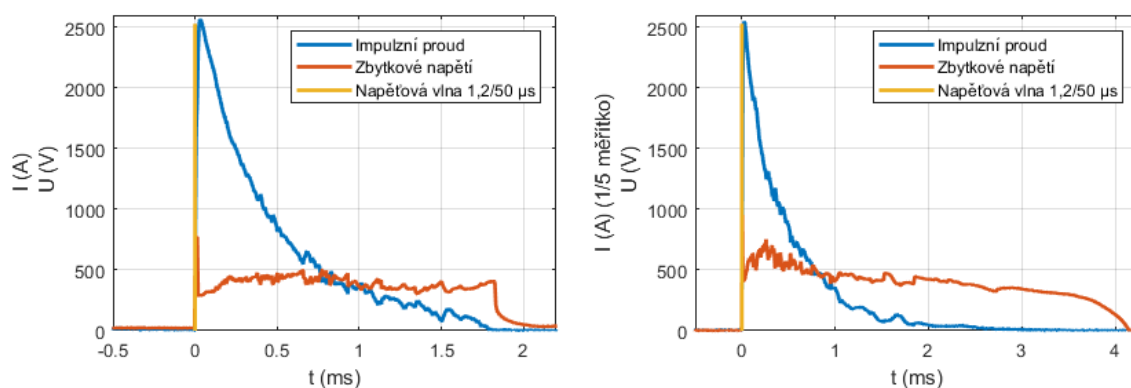
Obrázek 42. Detail počátku přechodového děje FLP-12,5 V/3

### 6.4.3. FLT-SEC-T1+T2-1C-350/25-FM

V případě ochrany, kde máme jiskřiště a varistor paralelně, se dá očekávat nejprve zapálení jiskřiště a následné svedení proudu jiskřištěm do země. Zbytkový proud za jiskřištěm následně přebírá varistor, díky zvýšení napětí na elektrodách jiskřiště po zhasnutí oblouku.

Tabulka 8. Naměřené hodnoty FLT-SEC-T1+T2-1C-350/25-FM

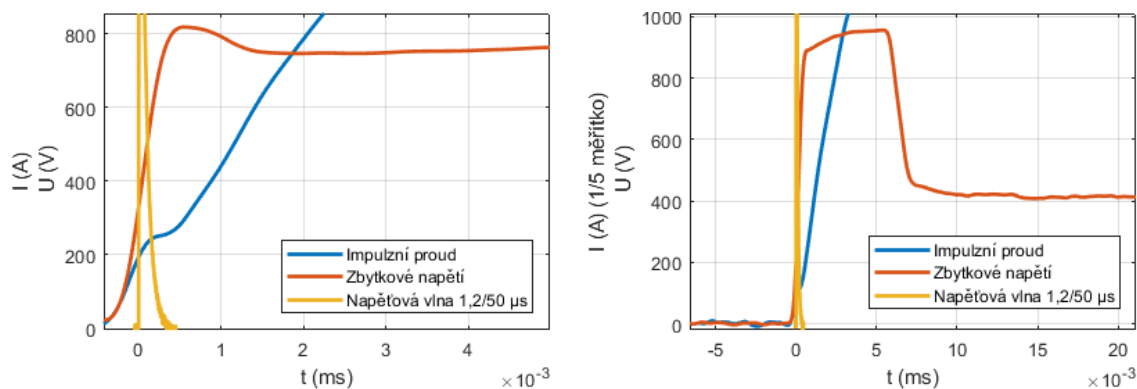
$I_{imp} = 2,66 \text{ kA}$		$I_{imp} = 12,75 \text{ kA}$	
$U_p \text{ (V)}$	818	$U_p \text{ (V)}$	955
$U_s \text{ (V)}$	406	$U_s \text{ (V)}$	395
$t_{imp} \text{ (ms)}$	1,83	$t_{imp} \text{ (ms)}$	4,25



Obrázek 43. Vynesené průběhy FLT-SEC-T1+T2-1C-350/25-FM

Podle očekávání dochází nejprve k napětíovému kolísání okolo hodnoty zápalného napětí jiskřiště. Následně se průběh vyhladí – to je patrné přibližně za časovou hodnotou 2,75 ms obrázku 43. vpravo. To je způsobeno právě převzetím proudu varistorem.

Na obrázku níže můžeme vidět detailní zobrazení přechodového děje, kdy dojde k zapálení jiskřiště. Jiskřiště má spouštěcí obvod.



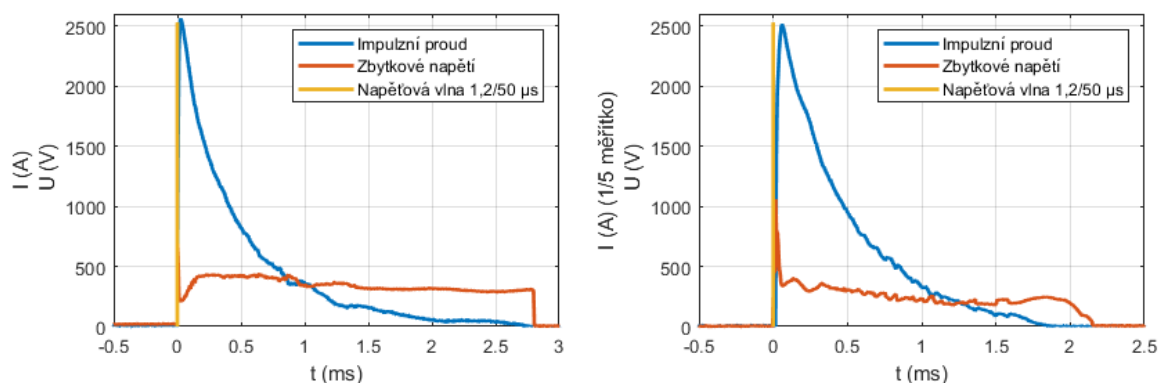
Obrázek 44. Detail počátku přechodového děje FLT-SEC-T1+T2-1C-350/25-FM

### 6.4.4. DV M TT 255

DV M TT 255 má jiskřiště se spouštěcím obvodem, tudíž bude napěťový impuls krátký v porovnání například s varistorovou SPD.

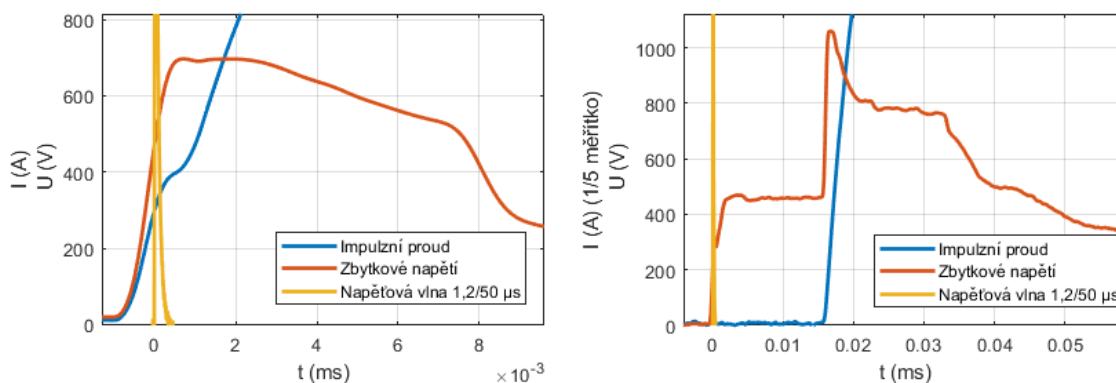
Tabulka 9. Naměřené hodnoty DV M TT 255

$I_{imp} = 2,56 \text{ kA}$		$I_{imp} = 12,58 \text{ kA}$	
$U_p \text{ (V)}$	697	$U_p \text{ (V)}$	1059
$U_s \text{ (V)}$	344	$U_s \text{ (V)}$	247
$t_{imp} \text{ (ms)}$	2,6	$t_{imp} \text{ (ms)}$	2,4



Obrázek 45. Vynesené průběhy DV M TT 255

Podle očekávání byl impuls krátký. Dále při vyšším impulzním proudu došlo k rychlejší reakci. Detail zapálení jiskřiště vidíme na obrázku níže.



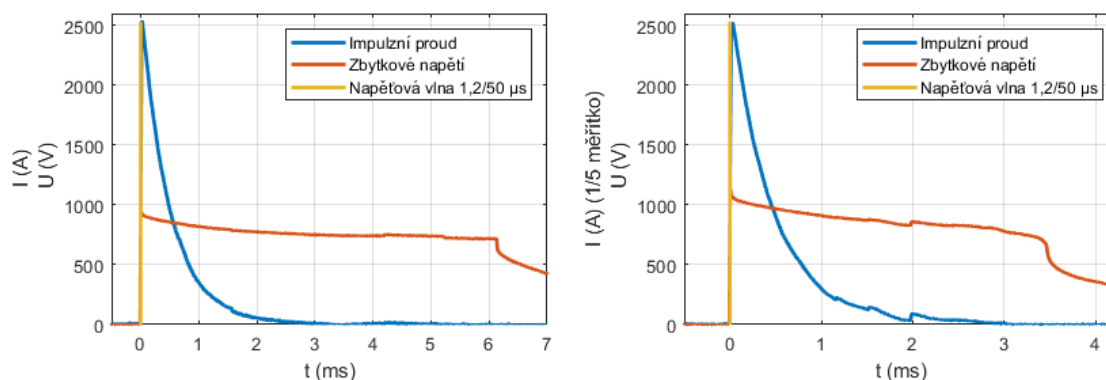
Obrázek 46. Detail počátku přechodového děje DV M TT 255

### 6.4.5. Acti9 iPRF1

Tato SPD se podobně jako FLP-12,5 skládá pouze z varistorů. Očekával jsem tedy znovu dlouhý impulz, který bude nabývat ještě vyšších hodnot napětí než FLP-12,5. Důvodem je použití varistorů o hodnotě  $U_c = 350$  V.

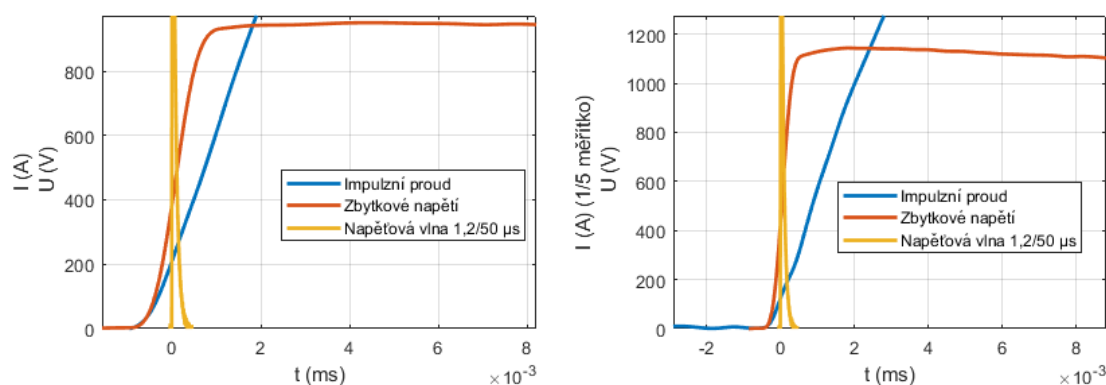
Tabulka 10. Naměřené hodnoty Acti9 iPRF1

$I_{\text{imp}} = 2,54$ kA		$I_{\text{imp}} = 12,63$ kA	
$U_p$ (V)	952	$U_p$ (V)	1144
$U_s$ (V)	776	$U_s$ (V)	869
$t_{\text{imp}}$ (ms)	6,12	$t_{\text{imp}}$ (ms)	3,7



Obrázek 47. Vynesené hodnoty Acti9 iPRF1

Podle očekávání jsme dosáhli nejvyššího zbytkového napětí v porovnání s ostatními SPD. Impulz tohoto napětí také trval nejdéle a znovu se potvrdila úvaha o rychlejší reakci SPD na vyšší impulzní proud.



Obrázek 48. Detail počátku přechodového děje Acti9 iPRF1

#### 6.4.6. Vyhodnocení výsledků

Během měření bylo mým cílem nalezení vhodného impulzu zbytkového napětí, který se bude nacházet za SPD a kterým následně budu testovat simulované chráněné zařízení.

Nejprve zhodnotím výrobky podle naměřeného maxima napětí. Zde je na první pohled patrný rozdíl mezi konstrukčně odlišnými SPD. Nejvyšší hodnotu napětí jsme naměřili u výrobku Acti9 iPRF1. Jak jsem již uvedl, tento fakt bude způsoben vyšší hodnotou maximálního napětí pro varistor uvnitř tohoto výrobku.

Pokud budeme hodnotit z pohledu délky impulzu, zde došlo k potvrzení našich teoretických předpokladů. Nejdelší impulz má Acti9 iPRF1, obsahující pouze varistor. Varistor má sice kratší dobu odezvy, na stranu druhou se nejedná o spínací, nýbrž omezující prvek, a tím pádem jeho zbytkové napětí za SPD má delší trvání.

Dále jsem prováděl měření 2 různých vrcholových hodnot proudového impulzu. Zde je jasně patrný vliv energie impulzu 12,5 kA, který způsobil vždy vyšší vrcholovou hodnotu zbytkového napětí. Dále došlo ke zkrácení napěťového impulzu za SPD. Domnívám se, že to může být způsobeno rychlejší reakcí SPD díky vyšší strmosti nárůstu proudu, než v případě 2,5 kA. Jedinou výjimkou je SPD FLT-SEC-T1+T2-1C-350/25-FM. Na jeho vynesení průběhu je vidět, že energie vlny 2,5 kA byla svedena jiskřištěm (oscilace oblouku). Vlna 12,5 kA byla ovšem z části svedena jiskřištěm a poté (zřejmě z důvodu její vysoké energie) ještě paralelním varistorem. Patrné je to díky oscilacím v první části průběhu (přibližně do 2,75 ms) a následující vyhlazené části (varistor). Díky tomu je impulz zbytkového napětí delší.

Z výsledků je patrné, že napěťová ochranná hladina  $U_p$  všech SPD je výrazně nižší, než jakou uvádí výrobci. Moje úvahy ohledně simulování chráněného zařízení pomocí kondenzátoru byly opřeny právě o fakt, že dosáhneme napětí vyššího, než je zkušební napětí kondenzátorů (900 V po dobu 1 minuty – viz. kapitola 5.3.). Úvahou lze odvodit, že pokud kondenzátor vydrží 900 V po dobu 1 minuty, žádný ze mnou naměřených impulzů na něj nebude mít vliv. Větší smysl by dávalo použít kondenzátory bezpečnostní třídy X2 (2,5 kV impulzem 1,2/50  $\mu$ s).

## 7. Návrh řešení pro ověření koordinace SPD

Vzhledem k neočekávaným výsledkům v podobě nedostatečně vysoké hodnoty napěťové hladiny  $U_p$  jsem přehodnotil původní myšlenkou simulovat zařízení pomocí kondenzátorů. Původně jsem se soustředil na kondenzátory třídy Y4, které jsou testovány po dobu 1 minuty napětím 900 V. Posléze jsem se rozhodl pro testování použit kondenzátory třídy X2, které jsou zkoušené impulzním napětím 2,5 kV 1,2/50  $\mu$ s. Nejprve se ovšem budu věnovat varistorům.

### 7.1. Úvod k varistorům

Jak jsem již popsal v kapitole 5.3., jiskřiště se mi nezdá jako vhodný prostředek pro simulaci chráněného zařízení. Naproti tomu simulování chráněného zařízení varistorem by mohlo přinést výsledky. Myšlenka spočívá v porovnání energie zbytkového napětí za SPD a maximální hodnoty energie, kterou varistor vydrží. Tento způsob je již jako kritérium koordinace používáno firmou Dehn. Ti pro testy používají varistor S20K275 od firmy Epcos. Pro pochopení, proč byl vybrán právě tento typ jsem musel porozumět značení jednotlivých typů těchto varistorů:

- S: tvar varistoru (disk)
- 20: průměr (20 mm)
- K: tolerance napětí (10 %)
- 275: maximální trvalé AC napětí

Co se týče uplatnění tohoto varistoru v praxi, vzhledem k hodnotě maximálního trvalého AC napětí je určen do sítí  $U_n = 230$  V. Tvar varistoru a jeho průměr nejsou z toho hlediska důležité informace, ale s nimi související napěťová ochranná hladina a tvar VA charakteristiky už ano. Napěťová ochranná hladina tohoto výrobku byla otestována pro 4 kV na kombinovaném generátoru s výsledkem  $U_p = 900$  V. Tato hodnota je v sítích 230 V dostatečná i pro zařízení kategorie třídy I (5.1.1.). Dehn neuvádí, proč si vybral právě tento typ, ale z výše uvedených informací se dá usuzovat, že se jedná o nejpoužívanější varistor instalovaný přímo do elektrických zařízení. [23,24,25]

Řešením by tedy mohlo být aplikovat zbytkové napětí za SPD na tento varistor. Pokud by tato energie byla nižší než jeho maximální povolená energie, dalo by se usuzovat, že testovaná SPD dostatečným způsobem omezí zbytkové napětí tak, aby nedošlo k jeho destrukci. Tím bych ukázal, že dlouhé impulsy, vznikající za měřenými SPD při zkoušení výše popsanými generátory, nejsou zásadním problémem pro elektrická zařízení, která obsahují varistor.



## 7.2. Simulace

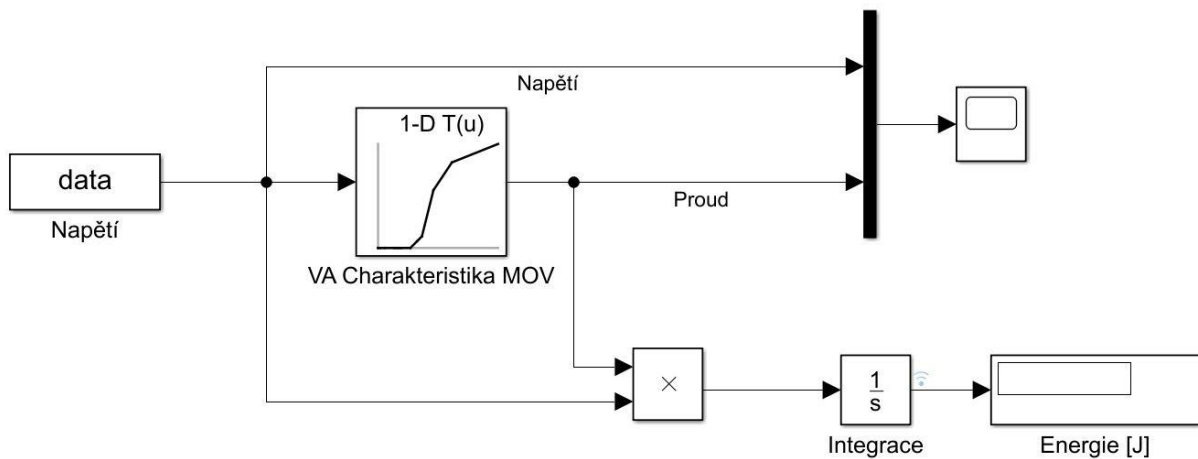
V rámci diplomové práce jsem se rozhodl namodelovat varistor, kterým je simulováno chráněné zařízení. Zvolil jsem se výše zmiňovaný varistor S20K275. U modelu je možné měnit parametry a díky tomuto faktu je možné nasimulovat prakticky jakýkoliv varistor, jehož VA charakteristiku známe. Charakteristika výrobce se nachází v příloze č. 6. Model je takto vytvořený, aby byl variabilnější.

Bohužel výrobce udává poměrně široký interval tolerancí  $\pm 10\%$ . Tato hodnota v kombinaci s logaritmickým měřítkem na ose proudů VA charakteristiky způsobí, že pro shodná napětí můžou vycházet řádově odlišné hodnoty proudů. Například při přiložených 600 V tedy může tedy díky toleranci téct od jednotek do stovek ampér. Tento fakt zkomplikoval mé snažení zkonstruovat model pouze pomocí VA charakteristiky od výrobce. Rozhodl jsem se tedy zakoupit vyšší množství vzorků, odměřit jejich hodnoty a na základě zprůměrovaných hodnot sestrojil model. Pro měření jsem použil proudový transformátor RAO CT 11 a generátor RG550. Výsledky můžete vidět níže.

Tabulka 11. Naměřené body pro VA charakteristiku varistoru

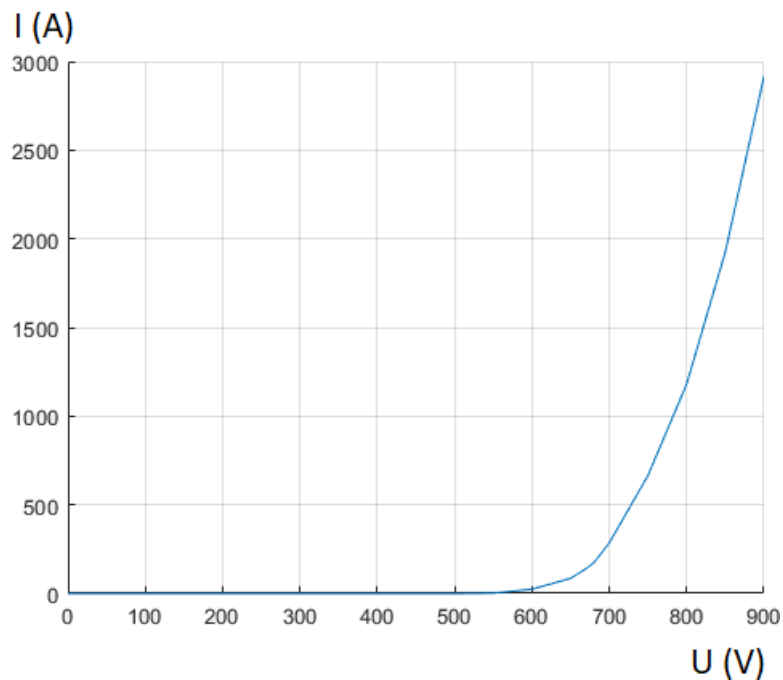
U (V)	$I_1$ (A)	$I_2$ (A)	$I_3$ (A)	$I_4$ (A)	$I_{\text{průměr}}$ (A)
550	1,3	1,6	2,4	3,5	2,2
600	18,3	20,2	26,6	30,5	23,9
650	55,5	73,6	90,4	120,0	84,9
670	111,0	127,0	145,0	180,0	140,8
680	132,0	153,0	174,0	232,0	172,8
700	258,0	262,0	302,0	320,0	285,5
750	580,0	615,0	675,0	790,0	665,0
800	1080,0	1100,0	1180,0	1360,0	1180,0
850	1760,0	1790,0	1960,0	2190,0	1925,0
900	2710,0	2770,0	2980,0	3200,0	2915,0

Takto naměřenou a vypočítanou charakteristiku jsem vložil do modelu. Pro modelování jsem použil program Matlab Simulink. Blokové schéma můžeme vidět níže.



Obrázek 49. Blokové schéma modelu varistoru

Voltampérovou charakteristiku, použitou v modelu můžeme vidět na obrázku 50.



Obrázek 50. Průměrná VA charakteristika (z tabulky 11.)

Z prostředí Matlab pomocí bloku From Workspace importuji data ve formě dvourozměrného pole. Dále data napětí vstupují do bloku funkce voltampérové charakteristiky varistoru a z tohoto bloku vystupuje proud. Z proudu a napětí varistoru poté spočítám hodnotu energie, podle vztahu 7.1.

$$E = \int_0^{t_{imp}} u(t) \cdot i(t) dt \quad (7.1)$$

kde  $t_{imp}$  je délka impulsu zbytkového napětí.

Takto hotový model jsem aplikoval na naměřená data jednotlivých SPD a počítal jejich energie. V tabulce níže můžeme vidět hodnoty energií. Maximální povolená energie je podle výrobce 151 J.

Výrobek	Impulzní proud (kA)	Energie [J]
FLP-B+C MAXI V/3	2,5	0,012
	12,5	1,252
FLP-12,5 V/3	2,5	37,64
	12,5	1077
FLT-SEC-T1+T2-1C-350/25-FM	2,5	9,089
	12,5	24,32
DV M TT 255	2,5	0,307
	12,5	22,05
Acti9 iPRF1	2,5	4648
	12,5	7873

Z výsledných hodnot je patrné, že výrobky FLP-12,5 V/3 (pro 12,5 kA) a Acti9 iPRF1 (pro 2,5 i 12,5 kA) překračují hodnotu maximální povolené energie. Podle simulace by tedy varistor na vstupu do chráněného zařízení nevydržel.

FLP-12,5 V/3 z tohoto důvodu SALTEK doporučuje instalovat do míst, kde nepřijde do styku s přímým úderem blesku (kabelové zemní vedení, podružné rozvaděče bytů...). Tam, kde nehrozí přímý úder blesku, totiž neuvažujeme impulz 10/350  $\mu$ s, ale 8/20  $\mu$ s. Pokud ovšem výrobce toto nspecifikuje, může dojít k přetížení a případné destrukci chráněného zařízení.

## 7.3. Měření

Pro ověření funkčnosti modelu a úvahy o nulovém vlivu dlouhých impulzů zbytkového napětí na kondenzátory jsem se rozhodl provést ještě jednu sérii testů. Základním prvkem bude opět impulsní generátor, paralelně připojené SPD a simulované chráněné zařízení. Toto zařízení budu nejprve simulovat varistorem a následně kondenzátorem.

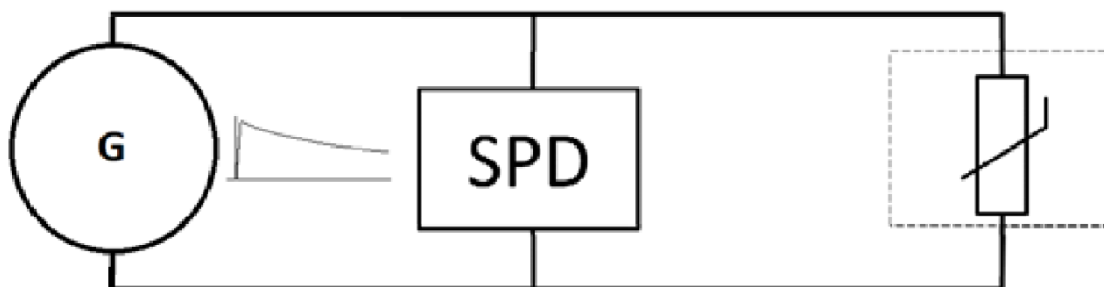
### 7.3.1. Varistor

Toto měření je ověřením správného modelu uvedeného v minulé kapitole. Jeho obrázek můžeme vidět níže.



Obrázek 51. Varistor S20K275 [26]

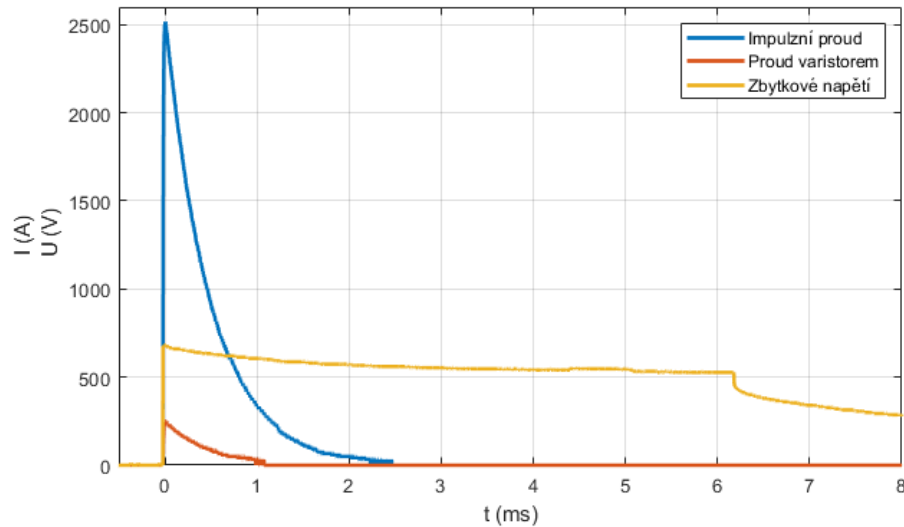
Pro testování jsem vybral FLP-12,5 V/3. Důvodem byly hodnoty vypočítaných energií na varistoru. V případě testování impulzem o vrcholové hodnotě 2,5 kA byla energie 24,07 J a při testování 12,5 kA 611,1 J. Z toho vyplývá, že poprvé by měl varistor množství energie vydržet a v případě druhém ne (maximum je 151 J). Principiální schéma bez zakreslených měřících přístrojů můžeme vidět níže.



Obrázek 52. Schéma měření varistor

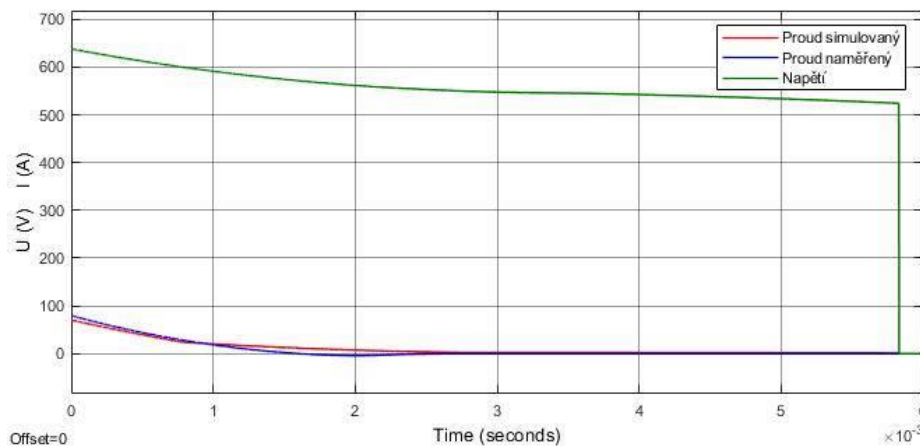
### Měření proudem 2,52 kA

V tomto případě čekám, že varistor tuto hodnotu energie vydrží. Při testování jsem nezpozoroval ani náznak průrazu varistoru. Níže můžeme vidět důkaz v podobě naměřených hodnot. Proud varistorem tekl pouze pokud bylo přiloženo dostatečné napětí.



Obrázek 53. Naměřené průběhy při impulzním proudu 2,52 kA

Je patrné, že během testování nedošlo k nepřírozenému nárůstu proudu, který by napovídal, že došlo k průrazu. V další části je porovnání výsledků modelu a reálně naměřených hodnot.

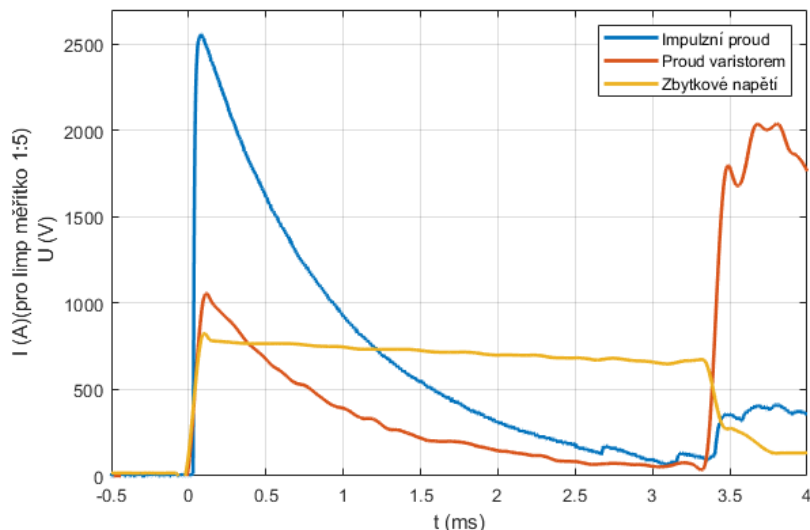


Obrázek 54. Porovnání hodnot naměřených a vypočítaných

Z této charakteristiky je patrné, že vypočítané hodnoty z modelu se blíží hodnotám naměřeným. Odchytky budou způsobeny odlišnými hodnotami jednotlivých vzorků. Jak jsem již uváděl, výrobce udává poměrně široký rozsah tolerančního pásma pro jím definovanou VA charakteristiku. Energie se také mírným způsobem liší. Vypočítaná pomocí naměřených hodnot činí přibližně 37 J, vypočítaná pomocí simulovaných hodnot přibližně 30 J.

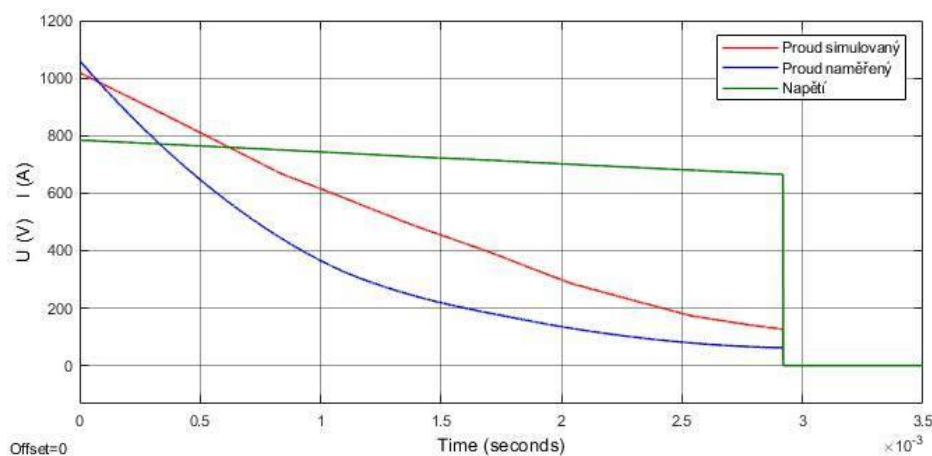
### Měření proudem 12,8 kA

V tomto případě energie vypočítaná výrazně převažuje maximální energii varistoru. Během měření došlo k průrazu varistoru, který byl patrný pouhým okem (díky nahromaděné energii došlo k jeho explozi). Průraz je patrný i z naměřených hodnot.



Obrázek 55. Naměřené hodnoty při impulzním proudu 12,8 kA

Přibližně v čase 3,4 ms dojde k prudkému nárůstu proudu varistorem = průraz. V tomto případě jsem také porovnával hodnoty naměřené a vypočítané pomocí modelu.



Obrázek 56. Porovnání hodnot naměřených a vypočítaných

Zde je patrná odchylka naměřených a vypočítaných hodnot proudů. Varistor, který jsem měřil společně s SPD měl pro shodná napětí daleko nižší proudy než varistory, jejichž naměřené parametry jsem použil pro sestavení modelu. Zde již dochází k výraznějšímu rozdílu mezi vypočítanými energiemi. Zatímco pomocí naměřených hodnot činí přibližně 736 J, pomocí simulovaných přibližně 1074 J. To je způsobeno vyššími hodnotami simulovaných proudů.

### 7.3.2. Kondenzátor

Pro ověření výše uvedené úvahy jsem se rozhodl otestovat také kondenzátory a ujistit se, že dlouhý impulz na ně nebude mít vliv. Nakonec jsem vybral fóliový odrušovací kondenzátor bezpečnostní třídy X2. Ty jsou zkoušeny impulzním napětím 1,2/50 o hodnotě 2,5 kV.

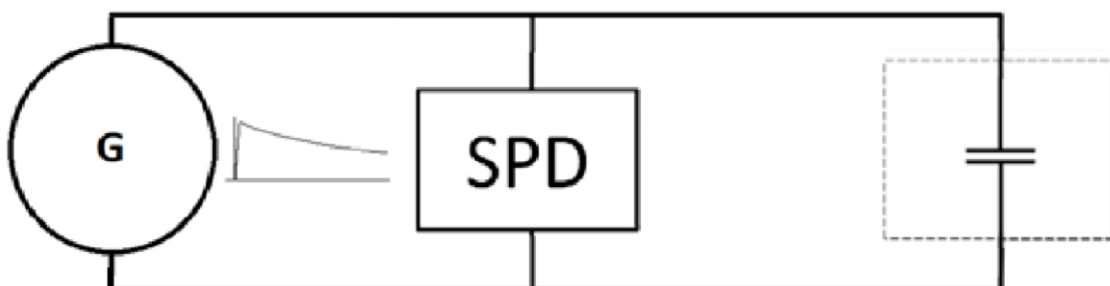
#### Parametry:

- Kapacita:  $C = 100 \text{ nF}$
- Napětí:  $U_n = 275 \text{ V}$
- Rozteč vývodů: 15 mm
- Bezpečnostní třída: X2



Obrázek 57. Kondenzátor třídy X2 [28]

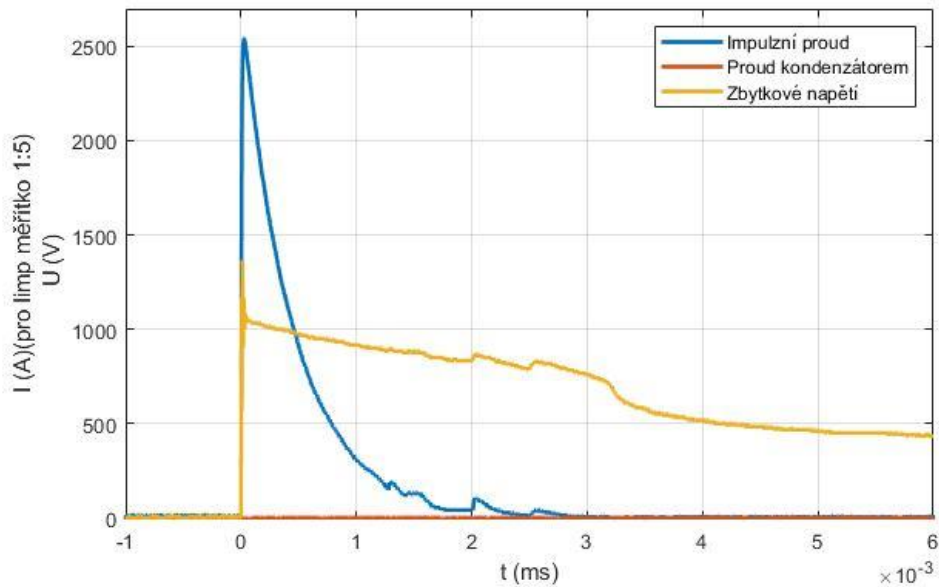
Pro testování budu používat Acti9 iPRF1 a impulzní proud 12,5 kA. V tomto případě jsem totiž naměřil nejvyšší hodnotu maximálního napětí a zároveň nejdelší impulz. Principiální zapojení bez měřících přístrojů vidíme na obrázku níže.



Obrázek 58. Schéma měření kondenzátor

### Měření proudem 12,73 kA

Z naměřených hodnot je patrné, že za celou dobu měření nedošlo ke zvýšení proudu kondenzátorem. Zbytkové napětí za SPD tedy nemělo vliv na součástku o bezpečnostní třídě X2, která je zkoušena na 2,5 kV impulzního napětí 1,2/50  $\mu$ s.



Obrázek 59. Naměřené hodnoty na kondenzátoru



## 8. Závěr

V rámci své diplomové práce jsem se snažil čtenáři přiblížit problematiku koordinovaných systémů před přepětím v sítích nízkého napětí při namáhání dlouhými impulzy. Práce vznikla na popud problému řešeného v rámci setkání technické komise CLC TC/37A v září roku 2018. Mým úkolem bylo zhodnotit vliv dlouhých impulzů na chráněné zařízení při použití koordinovaného systému ochran před přepětím. Dále jsem měl za úkol navrhnout řešení pro ověření součinnosti koordinovaného systému ochran před přepětím s chráněným zařízením.

Nejprve jsem v rámci teoretické části provedl rešeršní činnost v oblasti koordinovaných systémů ochran před přepětím v sítích nízkého napětí. Definoval jsem důležité pojmy, uvedl možné příčiny přepětí, způsoby jeho šíření a další informace, které jsou potřebné pro pochopení této problematiky.

Dále jsem v teoretické části popsal jednotlivé typy SPD, uvedl normy, které se této oblasti věnují, požadavky na odolnost chráněných zařízení, postup správné koordinace a samotnou problematiku namáhání dlouhými impulzy. Nakonec jsem nastínil možná řešení pro ověření součinnosti SPD a chráněného zařízení.

Experimentální část jsem se rozhodl realizovat ve dvou krocích. Nejprve jsem potřeboval zjistit, jaké impulzy zbytkového napětí se za SPD nacházejí. Pro testování jsem vybral konstrukčně odlišné SPD, s cílem zjistit vliv použitého konstrukčního prvku na velikost a délku impulzu. Zde je patrný rozdíl mezi spínacími a omezujícími SPD. Podle předpokladů uvedených v teoretické části by měl být impulz za spínací SPD kratší než za SPD omezující. Na základě naměřených hodnot můžeme potvrdit teoretický předpoklad, protože výrobky FLP-12,5 V/3 a Acti9 iPRF1 varistorového typu měly vždy delší impulz než SPD obsahující jiskřiště.

Dalším kritériem, které jsem zkoumal, byl vliv impulzního proudu 10/350  $\mu$ s na SPD. Měřil jsem při hodnotách 2,5 kA a 12,5 kA. Co se týče velikosti napěťové ochranné hladiny, zde bez výjimky platilo, že při 12,5 kA jsem naměřil vždy vyšší hodnotu  $U_p$ . Co se týče délky impulzu, zde je patrné zkrácení při testování proudem 12,5 kA. Dle mého názoru se jedná o rychlejší reakci díky vyšší strmosti nárůstu proudu a s ním souvisejícím přepětím na SPD, na které reaguje. Jedinou výjimkou je SPD, která má paralelní spojení varistoru a jiskřiště. Na vynesném průběhu je vidět, že energie vlny 2,5 kA byla svedena jiskřištěm (oscilace oblouku). Vlna 12,5 kA byla ovšem z části svedena jiskřištěm a poté (zřejmě z důvodu její vysoké energie) ještě paralelním varistorem. Díky převzetí proudu paralelním varistorem zřejmě došlo k prodloužení délky impulzu.

Výsledkem této části měření měl být impulz, který bude mít největší potenciál poškodit chráněné zařízení. Tento impulz se podle očekávání nacházel za Acti9 iPRF1. Ta totiž obsahuje varistory o maximálním napětí  $U_c = 350$  V. Pokud ovšem porovnáme definované napěťové hladiny SPD s naměřenými, zjistíme, že jsme naměřili mnohem nižší hodnoty. Příkladem může být výrobek Acti9 iPRF1, jehož definovaná hodnota  $U_p$  je 1,5 kV a mnou naměřená  $U_p$  při 12,63 kA je 1144 V. Tedy přibližně 76 % hodnoty definované výrobcem. Tento rozdíl je u ostatních SPD ještě vyšší.

Pro ověření součinnosti SPD s chráněným zařízením jsem plánoval simulovat chráněné zařízení kondenzátorem třídy Y4, který je zkoušen napětím 900 V po dobu 1 minuty. Vzhledem k velikostem naměřených napěťových hladin jsem ovšem musel tento plán přehodnotit. Nejprve jsem kondenzátory třídy Y4 vyměnil za kondenzátory třídy X2. Ty jsou zkoušené impulzem 1,2/50  $\mu$ s napětím 2,5 kV. Vrcholová hodnota impulzu s největším potenciálem poškodit chráněné zařízení byla 1144 V, střední hodnota 869 V a impulz trval 3,5 ms. Přestože vrcholová hodnota nedosahuje velikosti zkušebního napětí 2,5 kV, impulz je přibližně 68x delší než zkušební. Pokud dlouhé impulzy mají nějaký vliv na chráněné zařízení za těchto podmínek, pak předpokládám, že by se mohl projevit v podobě průrazu kondenzátoru, který bude patrný díky nárůstu proudu kondenzátorem.

Podmínka  $U_{P/F} \leq U_W$ , kterou definuje současná normalizační literatura žádným způsobem nezohledňuje délku impulzu zbytkového napětí, pouze porovnává maximální hodnoty. Z délky naměřeného impulzu je jasně patrné, že tyto impulzy jsou řádově delší a jejich existence by měla být zohledněna v podmínkách, za jakých je zařízení opravdu chráněno. Z naměřených hodnot je ovšem patrné, že k žádnému poškození kondenzátoru nedošlo. Přestože impulz byl dlouhý, rozdíl hodnot napětí byl příliš velký.

Výše uvedené výsledky pochází z měření na generátoru s určitou strmostí nárůstu napětí. Tato strmost může být rozdílná u jiných typů generátorů a díky tomu bychom při jejich použití mohli dojít k odlišným výsledkům, zejména u spínacích SPD.

Vzhledem k nejistým výsledkům jsem se rozhodl navrhnout ještě další řešení pro ověření součinnosti koordinovaných SPD a chráněného zařízení. Tentokrát jsem se rozhodl simulovat chráněné zařízení varistorem. Tento napěťově závislý rezistor je často používán na vstupu napájení do elektrického zařízení, pro omezení drobných napěťových špiček. Dalo by se tedy usuzovat, že pokud bude varistor zničen, přepětí nevydrží ani chráněné zařízení. Za těchto předpokladů bych pokryl oblast elektrických zařízení, které mají na svém vstupu varistor.

Rozhodl jsem se porovnávat velikost energie, kterou na předem definovaném varistoru způsobí impulz zbytkového napětí za SPD. Nejprve jsem se pro větší variabilitu mé práce rozhodl

vytvořit matematický model varistoru v programu Matlab, který zároveň vypočítá velikost energie ze vstupu zbytkového napětí. Zvolil jsem varistor S20K275, protože se domnívám, že se jedná o jeden z nejpoužívanějších varistorů pro ochranu elektrických zařízení v sítích nízkého napětí. Model je ovšem koncipovaný tak, že je možné importovat i jiné voltampérové charakteristiky. Je ho tedy možné změnit na jakýkoliv jiný varistor, jehož charakteristiku známe.

Varistor má ovšem poměrně velký interval tolerancí  $\pm 10\%$  své VA charakteristiky. Ten v kombinaci s logaritmickým měřítkem proudové osy způsobí, že pro stejná napětí může proud nabývat řádově odlišných hodnot. Nemohl jsem tedy rozumným způsobem odečíst hodnoty z datasheetu a rozhodl jsem se naměřit si body VA charakteristiky sám. Měření jsme provedl na 4 vzorcích a naměřené hodnoty zprůměroval. Takto zjištěnou VA charakteristiku jsem vložil do svého modelu.

Tímto modelem jsem došel k výsledkům, které ukazují, že by došlo k energetickému přetížení ve 3 případech. Všechny z těchto 3 případů jsou čistě varistorové SPD. Ze simulovaných hodnot je možné usuzovat, že čistě varistorová SPD není vhodná do aplikací, ve kterých může dojít ke kontaktu s bleskovým proudem. Dále je patrné, že přestože mají ochrany výrobcem definovanou shodnou napěťovou ochrannou hladinu, nepoznáme, která výše uvedeným kritériím vyhoví a která ne.

Protože mi přišlo nedostatečné vyvozovat závěry pouze z nasimulovaných hodnot, rozhodl jsem se ještě otestovat simulovaný typ varistoru v laboratoři. Tímto jsem i ověřil do jaké míry je můj model správný. Z naměřených hodnot je patrné, že vypočítané hodnoty proudů pomocí modelu se při impulzním proudu 12,8 kA lišily od naměřených. Při stejném napětí jsem naměřil nižší hodnoty. Příkladem může být napětí 750 V, pro které jsem naměřil přibližně 400 A a nasimuloval asi 650 A (odchylka přibližně 38,5 %). To je způsobeno výše uvedeným faktem o tolerancích VA charakteristiky definované výrobcem.

Při měření impulzním proudem 2,52 kA nedošlo k energetickému přetížení varistoru a je to patrné i z naměřených charakteristik. Proud varistorem totiž narostl pouze pokud bylo přiloženo dostatečně velké napětí, což mělo za následek, že klesl jeho odpor v propustném směru.

Při měření impulzním proudem 12,8 kA už k průrazu varistoru došlo. Patrné to bylo jak vizuálně, tak z naměřených hodnot. Během klesání proudu na základě poklesu napětí totiž najednou proud prudce narostl, přestože napětí stále klesalo. Průraz byl zcela jistě způsoben energetickým přetížením varistoru. Hodnota rozptýlené energie totiž byla přibližně 736 J, což je asi 4,9 krát více, než je maximální povolená hladina energie.

Z výše uvedených informací můžeme usuzovat, že pokud bude čistě varistorová SPD vystavena bleskovému proudu, impulz zbytkového napětí za SPD bude mít potenciál poškodit elektrická zařízení. Vhodnějším prostředkem k omezení bleskových proudů je tedy SPD, která obsahuje spínací prvek (jiskřiště), případně kombinovaná SPD, která sdružuje spínací i omezující prvek.

Dle mého názoru a na základě mnou naměřených dat v laboratoři je tedy kritérium pro ochranu elektrických zařízení stanoveno normou ČSN EN 62305-4:  $U_{P/F} \leq U_W$  dostatečné pro SPD obsahující spínací prvek. U těchto výrobků rozptýlená energie na zvoleném varistoru nebyla dostatečně vysoká na to, aby došlo k jeho energetickému přetížení. Naproti tomu u všech čistě varistorových SPD dochází při testovacím proudu 12,8 kA k energetickému přetížení varistoru. Jednou z nich je FLP-12,5 V/3, kterou také firma SALTEK doporučuje instalovat do míst, kde nepřijde do styku s přímým úderem blesku (kabelové zemní vedení, podružné rozvaděče bytů), aby nedošlo k energetickému přetížení chráněného zařízení. Pokud by toto ovšem výrobce nspecifikoval a zákazník chránil objekt, kde může dojít k přímému úderu blesku čistě varistorovou SPD, délka impulzu zbytkového napětí bude mít podle mého názoru potenciál ovlivnit, případně poškodit chráněnou technologii.

## 9. Literatura

- [1] ROUS, Zdeněk. Přepět'ové ochrany v elektrických instalacích do 1 000 V. Praha: IN-EL, 1999. Knižnice Elektro. ISBN 80-86230-06-6.
- [2] DAVID, Komrska. Přepět'ové ochrany v rozvodech nn. Praha, 2004. Diplomová práce. ČVUT Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Doc. Ing. Vladislav Kvasnička, CSc.
- [3] Marketingové materiály firmy Saltek
- [4] ŘEZÁČOVÁ, Daniela. Fyzika oblaků a srážek. Praha: Academia, 2007. Gerstner. ISBN 978-80-200-1505-1.
- [5] BURANT, Jiří. Blesk a přepětí: systémová řešení ochran. Praha: FCC Public, 2006. ISBN 80-86534-10-3.
- [6] PowerWiki: Main [online]. Copyright © [cit. 07.02.2019]. Dostupné z: [http://www.powerwiki.cz/attach/TVNPodklady/TVN\\_Prepeti.pdf](http://www.powerwiki.cz/attach/TVNPodklady/TVN_Prepeti.pdf)
- [7] ČSN EN 62305-3 ed. 2: Ochrana před bleskem - Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života. 2012.
- [8] ČSN EN 61643-11 ed. 2: Ochrany před přepětím nízkého napětí – Část 11: Ochrany před přepětím zapojené v sítích nízkého napětí - Požadavky a zkušební metody. 2013.
- [9] ČSN EN 62305-2 ed. 2: Ochrana před bleskem - Část 2: Řízení rizika. 2013.
- [10] PowerWiki: Main [online]. Copyright ©F [cit. 13.03.2019]. Dostupné z: [http://www.powerwiki.cz/attach/Peg10/2010-22-08\\_Pr09.pdf](http://www.powerwiki.cz/attach/Peg10/2010-22-08_Pr09.pdf)
- [11] ČSN EN 62305-1 ed. 2: Ochrana před bleskem - Část 1: Obecné principy. 2011.
- [12] ČSN EN 60664-1 ed. 2: Koordinace izolace zařízení nízkého napětí - Část 1: Zásady, požadavky a zkoušky. 2008.
- [13] PowerWiki: Main [online]. Copyright © [cit. 25.03.2019]. Dostupné z: [http://www.powerwiki.cz/attach/TVNPodklady/TVN\\_Prepeti.pdf](http://www.powerwiki.cz/attach/TVNPodklady/TVN_Prepeti.pdf)
- [14] ČSN EN 62305-4: Ochrana před bleskem - Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách. 2011.
- [15] ČSN CLC/TS 61643-12: Ochrany před přepětím nízkého napětí - Část 12: Ochrany před přepětím zapojené v sítích nízkého napětí - Zásady pro výběr a instalaci. 2013.

[16] Technical Committee: TC 37A WG1 MoM of WG1 Meeting of CLC TC 37A 13th – 14th September 2018

[17] ČSN EN 62475: Technika zkoušek vysokým proudem – Definice a požadavky na zkušební proudy a měřicí systémy. 2011.

[18] ČSN EN 61000-4-5 ed. 3: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-5: Zkušební a měřicí technika - Rázový impulz - Zkouška odolnosti. 2015.

[19] Engineering360 - Engineering Search & Industrial Supplier Catalogs [online]. [cit. 20.4.2019] Dostupné z:

<https://www.globalspec.com/SpecSearch/PartSpecs?partId={01014B2F-6088-4A60-8EA2-5631F2C39549}&vid=98460&comp=4168>

[20] TA044 7000 V active differential oscilloscope probe | Pico Technology . PC Oscilloscope, Data Logger & RF Products | Pico Technology [online]. [cit. 20.4.2019] Dostupné z:

<https://www.picotech.com/accessories/high-voltage-active-differential-probes/70-mhz-7000-v-differential-probe>

[21] WAVESURFER 422 LeCroy 200 MHz 2 Channel Digital Oscilloscope Used. Electronic Test Equipment, New and Used | ValueTronics [online]. [cit. 20.4.2019] Dostupné z: <https://www.valuetronics.com/product/wavesurfer-422-lecroy-digital-oscilloscope-used>

[22] ČSN EN 60384-14 ed. 2: Neproměnné kondenzátory pro použití v elektronických zařízeních - Část 14: Dílčí specifikace - Neproměnné kondenzátory pro elektromagnetické odrušení a pro připojení k napájecí síti. 2014.

[23] Lightning protection guide. Neumarkt: Dehn + Söhne, 2014. ISBN 978-3-9813770-1-9.

[24] TDK electronics [online]. Copyright © [cit. 30.04.2019]. Dostupné z: <https://www.tdk-electronics.tdk.com/download/531282/6614cba3a8f9c6f2cec934e302cf8f95/siov-calculation.pdf>

[25] ČSN EN 60950-1 ed. 2 - Zařízení informační technologie - Bezpečnost - Část 1: Všeobecné požadavky. 2006.

[26] Varistor S20K275 | KONDIK.cz. KONDIK.cz | Elektronické součástky, elektronika, 3D tisk [online]. Copyright © 2019 Lukáš Hliněný [cit. 05.05.2019]. Dostupné z: <https://www.kondik.cz/varistor-SIOV-S20K275>

[27] National Institute of Standards and Technology | NIST [online]. Copyright © [cit. 06.05.2019]. Dostupné z:

[https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/el/building\\_materials/Electrical-breakdown-testing-of-polymeric-materials-intended-for-use-in-PV-modules-IEC-standard-development-and-progress-Bernt-Ake-Sultan.pdf](https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/el/building_materials/Electrical-breakdown-testing-of-polymeric-materials-intended-for-use-in-PV-modules-IEC-standard-development-and-progress-Bernt-Ake-Sultan.pdf)

[28] PS electronic [online]. Copyright © [cit. 06.05.2019]. Dostupné z:

<http://www.pselectronic.cz/k1008-104-mkp-x2-10n275v-rm15-arc.html>

# 10. Seznam obrázků

Obrázek 1. Trvalé přepětí [3] .....	10
Obrázek 2. Dočasné přepětí [3].....	11
Obrázek 3. Přechodné (transientní) přepětí [3] .....	11
Obrázek 4. Vznik bouřkového mraku [2].....	12
Obrázek 5. Rozložení náboje v bouřkovém mraku [2] .....	13
Obrázek 6. Mechanismus vzniku blesku [6] .....	14
Obrázek 7. Impulzní proud s parametry [17] .....	15
Obrázek 8. Elektromagnetické záření způsobené jaderným výbuchem [2] .....	16
Obrázek 9. Indukční vazba [3] .....	18
Obrázek 10. Kapacitní vazba [3].....	19
Obrázek 11. Ochranný úhel odpovídající třídě LPS [10].....	21
Obrázek 12. Příklad rozdělení proudu blesku při jeho úderu do jímače [3] .....	23
Obrázek 13. Zóny ochrany před bleskem [3] .....	24
Obrázek 14. Principiální uspořádání jednoduchého jiskřiště [5] .....	26
Obrázek 15. Omezující charakteristika jiskřiště [5].....	27
Obrázek 16. Omezující charakteristika varistoru [5] .....	27
Obrázek 17. Maximální délka připojovacích vodičů [3].....	33
Obrázek 18. Umístění jednotlivých SPD [3].....	34
Obrázek 19. Typické uspořádání dvou SPD [15].....	35
Obrázek 20. Koordinační vzdálenosti [3] .....	37
Obrázek 21. Koordinace pomocí přídavné indukčnosti [3] .....	37
Obrázek 22. Závislost elektrické pevnosti na čase [27] .....	38
Obrázek 23. Simulace chráněného zařízení jiskřištěm [16].....	39
Obrázek 24. Simulace chráněného zařízení varistorem [16].....	40
Obrázek 25. Simulace chráněného zařízení kondenzátorem [16] .....	40
Obrázek 26. Principiální schéma zapojení .....	41
Obrázek 27. Generátor C100 10/350.....	42
Obrázek 28. Pearson 1423 [19].....	43
Obrázek 29. PICO TA044 [20] .....	43
Obrázek 30. LeCroy wave surfer 422 [21].....	44
Obrázek 31. CT11 .....	44
Obrázek 32. Generátor C8.....	45
Obrázek 33. Generátor RG 550.....	45
Obrázek 34. FLP-B+C MAXI V/3 + schéma.....	46



Obrázek 35. FLP 12,5 V/3 + schéma .....	46
Obrázek 36. FLT-SEC-T1+T2-1C-350/25-FM + schéma .....	47
Obrázek 37. DV M TT 255 + schéma .....	47
Obrázek 38. Acti9 iPRF1 .....	48
Obrázek 39. Vynesené průběhy FLP-B+C MAXI V/3 .....	50
Obrázek 40. Detail počátku přechodového děje FLP-B+C MAXI V/3 .....	50
Obrázek 41. Vynesené průběhy FLP-12,5 V/3 .....	51
Obrázek 42. Detail počátku přechodového děje FLP-12,5 V/3 .....	51
Obrázek 43. Vynesené průběhy FLT-SEC-T1+T2-1C-350/25-FM.....	52
Obrázek 44. Detail počátku přechodového děje FLT-SEC-T1+T2-1C-350/25-FM.....	52
Obrázek 45. Vynesené průběhy DV M TT 255 .....	53
Obrázek 46. Detail počátku přechodového děje DV M TT 255 .....	53
Obrázek 47. Vynesené hodnoty Acti9 iPRF1 .....	54
Obrázek 48. Detail počátku přechodového děje Acti9 iPRF1 .....	54
Obrázek 49. Blokové schéma modelu varistoru.....	58
Obrázek 50. Průměrná VA charakteristika (z tabulky 11.) .....	58
Obrázek 51. Varistor S20K275 [26] .....	60
Obrázek 52. Schéma měření varistor .....	60
Obrázek 53. Naměřené průběhy při impulzním proudu 2,52 kA.....	61
Obrázek 54. Porovnání hodnot naměřených a vypočítaných.....	61
Obrázek 55. Naměřené hodnoty při impulzním proudu 12,8 kA.....	62
Obrázek 56. Porovnání hodnot naměřených a vypočítaných.....	62
Obrázek 57. Kondenzátor třídy X2 [28].....	63
Obrázek 58. Schéma měření kondenzátor .....	63
Obrázek 59. Naměřené hodnoty na kondenzátoru .....	64

# 11. Seznam tabulek

Tabulka 1. Typy rizik a přípustná rizika dle ČSN EN 62305-2 ed. 2 .....	20
Tabulka 2. Parametry jednotlivých metod pro různé třídy LPS [7] .....	22
Tabulka 3. Maximální hodnoty parametrů blesku odpovídající ochranným hladinám LPL [11] .....	25
Tabulka 4. Hodnoty jmenovitých impulsních napětí [12].....	30
Tabulka 5. Zkušební úrovně [18] .....	31
Tabulka 6. Naměřené hodnoty FLP-B+C MAXI V/3.....	50
Tabulka 7. Naměřené hodnoty FLP-12,5 V/3 .....	51
Tabulka 8. Naměřené hodnoty FLT-SEC-T1+T2-1C-350/25-FM .....	52
Tabulka 9. Naměřené hodnoty DV M TT 255 .....	53
Tabulka 10. Naměřené hodnoty Acti9 iPRF1 .....	54
Tabulka 11. Naměřené body pro VA charakteristiku varistoru .....	57

## 12. Seznam zkratk

EMC	electromagnetic compatibility = elektromagnetická kompatibilita
SPD	ochrana před přepětím
LPS	lightning protection system = systém ochrany před bleskem
LPZ	lightning protection zone = zóna ochrany před bleskem
LPL	lightning protection level = úroveň ochrany před bleskem
ČSN	česká soustava norem
IEC	international electrotechnical commission = mezinárodní elektrotechnická komise
VDE	verband deutscher elektrotechniker = svazu německých elektrotechniků
VA	volt-ampérová (charakteristika)

## Příloha č. 1

# FLP-B+C MAXI V/3

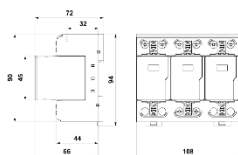
Objednací číslo A05093

## SPD typ 1 a typ 2 - svodič bleskových proudů a přepětí

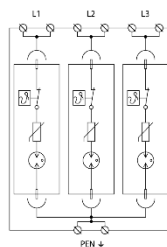
vyjímatelný modul, optická signalizace poruchy, možnost blokace modulu  
třípólový výkonný kombinovaný svodič bleskových proudů, určený k instalaci do rozvodů nn, na rozhraní zón LPZ 0 a LPZ 1, především do hlavních rozvaděčů, k ochraně proti účinkům přepětí při přímém i nepřímém úderu blesku. Vhodný pro rodinné domy, administrativní a průmyslové objekty, popř. do podružných rozvaděčů rozlehlých objektů.



### Rozměry



### Schéma zapojení



### Technické parametry

Typ SPD		T1,T2
Jmenovité napětí	$U_n$	230 V AC
Nejvyšší trvalé provozní napětí	$U_c$	260,00 V AC
Jmenovitý zatěžovací proud pro "V" zapojení	$I_n$	125 A
Impulsní výbojový proud (10/350 $\mu$ s)	$I_{imp}$	25,00 kA
Celkový výbojový proud (10/350 $\mu$ s)	$I_{Tot(10/350)}$	75,00 kA
Jmenovitý výbojový proud (8/20 $\mu$ s)	$I_n$	30,00 kA
Maximální výbojový proud (8/20 $\mu$ s)	$I_{max}$	60,00 kA
Reziduální napětí MOV při $I_n$	$U_{RFS}$	0,85 kV
Napěťová ochranná hladina	$U_p$	1,50 kV
Jmenovitý zkratový proud	$I_{SCCR}$	50,0 kA
Maximální předjističení		250 A gL/gG
Maximální předjističení pro "V" zapojení		125 A gL/gG
Doba odezvy	$t_p$	100 ns
TOV 5 s L-N		335 V
TOV charakteristika (TOV 5 s)		výdržná
TOV 120 min L-N		440 V
TOV charakteristika (120 min)		výdržná
Průřez připojovaných vodičů pevný (min)		2,50 mm <sup>2</sup>
Průřez připojovaných vodičů pevný (max)		50,00 mm <sup>2</sup>
Průřez připojovaných vodičů slaněný (min)		2,50 mm <sup>2</sup>
Průřez připojovaných vodičů slaněný (max)		35,00 mm <sup>2</sup>
Signalizace poruchy		červené zbarvení indikačního pole
Stupeň krytí		IP 20
Rozsah teplot okolí - min		-40 °C
Rozsah teplot okolí - max		80 °C
Montáž		lišta DIN 35 mm
Splňuje požadavky normy		ČSN EN 61643-11 ed.2
Náhradní modul		FLP-B+C MAXI V/0
Třída ETIM		EC001457

## Příloha č. 2

# FLP-12,5 V/3

Objednací číslo A03425

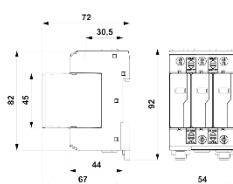
### SPD typ 1 a typ 2 - svodič bleskových proudů a přepětí

vyjímatelný modul, optická signalizace poruchy, možnost blokáce modulu

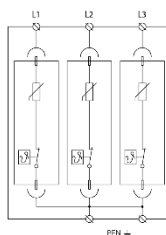
třípólový varistorový svodič bleskových proudů, k instalaci do rozvodů nn pro budovy třídy rizika III a IV podle ČSN EN 62305, na rozhraní zón LPZ 0-LPZ 1 a vyšších, k ochraně proti účinkům částečných bleskových proudů, indukovaného přepětí při úderu blesku a proti spínacímu přepětí



#### Rozměry



#### Schéma zapojení



#### Technické parametry

Typ SPD		T1.T2
Jmenovité napětí	$U_n$	230 V AC
Nejvyšší trvalé provozní napětí	$U_c$	275,00 V AC
Nejvyšší trvalé provozní napětí	$U_i$	350,00 V DC
Impulsní výbojový proud (10/350 $\mu$ s)	$I_{imp}$	12,50 kA
Celkový výbojový proud (10/350 $\mu$ s)	$I_{totak(10/350)}$	37,50 kA
Jmenovitý výbojový proud (8/20 $\mu$ s)	$I_n$	30,00 kA
Maximální výbojový proud (8/20 $\mu$ s)	$I_{n,max}$	60,00 kA
Napětová ochranná hladina při 5 kA	$U_p$	0,90 kV
Napětová ochranná hladina	$U_\mu$	1,50 kV
Jmenovitý zkratový proud	$I_{scck}$	50,0 kA
Maximální předjistiění		160 A gL/gG
Doba odezvy	$t_s$	25 ns
TOV 5 s L-N		335 V
TOV charakteristika (TOV 5 s)		výdržná
Průřez připojovaných vodičů pevný (min)		1,00 mm <sup>2</sup>
Průřez připojovaných vodičů pevný (max)		35,00 mm <sup>2</sup>
Průřez připojovaných vodičů slaněný (min)		1,00 mm <sup>2</sup>
Průřez připojovaných vodičů slaněný (max)		25,00 mm <sup>2</sup>
Signalizace poruchy		červené zbarvení indikačního pole
Stupeň krytí		IP 20
Rozsah teplot okolí - min		-40 °C
Rozsah teplot okolí - max		80 °C
Montáž		lísta DIN 35 mm
Splňuje požadavky normy		ČSN EN 61643-11 ed.2
Náhradní modul		FLP-12,5 V/0
Třída ETIM		EC001457

### Příloha č. 3

## FLT-SEC-T1+T2-1C-350/25-FM

Zásuvný kombinovaný svodič blesku a přepětí, podle typu 1+2 / třída I+II, pro 1fázové napájecí sítě, s kombinovaným N a PE v jenom vodiči (L1, PEN).



### Technické údaje

Zkušební třída IEC	I + II
	T1 + T2
	T1
	I
EN Type	T1 + T2
	T1
Jmenovité napětí $U_N$	240 V AC (TN-C)
	240 V AC (TT)
Jmenovitá frekvence $f_N$	50 Hz (60 Hz)
Nejvyšší trvalé napětí $U_C$	350 V AC
Jmenovitý zátěžový proud $I_L$	125 A (< 55 °C)
Jmenovitý proud svodiče $I_n$ (8/20) $\mu$ s	25 kA
Zkušební bleskový proud (10/350) $\mu$ s, náboj	12,5 As
Zkušební bleskový proud (10/350) $\mu$ s, specifická energie	160 kJ/ $\Omega$
Zkušební bleskový proud (10/350) $\mu$ s, maximální hodnota proudu $I_{imp}$	25 kA
Schopnost zhlášení následného proudu $I_{ii}$	25 kA (264 V AC)
	3 kA (350 V AC)
Zkratuvzdornost $I_{SCCR}$	25 kA (264 V AC)
	3 kA (350 V AC)
Ochranná úroveň $U_p$	$\leq 1,5$ kV
Zbytkové napětí $U_{res}$	$\leq 1,5$ kV (při $I_n$ )
	$\leq 1,2$ kV (při 10 kA)
	$\leq 1$ kV (při 5 kA)
	$\leq 0,9$ kV (při 3 kA)
Rázové zapalovací napětí při 6kV (1,2/50) $\mu$ s	$\leq 1,5$ kV
TOV reakce při $U_T$	415 V AC (5 s / withstand mode)
	457 V AC (120 min / safe failure mode)
Doba odezvy $t_A$	$\leq 25$ ns
Maximální předjistění při průchozí kabeláži V	125 A (gG)
Maximální předjistění při připojení odbočkou vedení	315 A (gG)
Krytí	IP20 (pouze při použití všech svorek)
Teplota prostředí (provoz)	-40 °C ... 80 °C
Teplota prostředí (skladování/přeprava)	-40 °C ... 80 °C
Výška	$\leq 2000$ m (amsl (nad nulovou hladinou))

## Příloha č. 4

### DV M TT 255 (951 310)

• Kompletně zapojený kombinovaný svodič typ 1 + typ 2 na bázi jiskřičky, složený ze základního dílu a zásuvných ochranných modulů • Vysoká provozní spolehlivost chráněných zařízení je zajištěna omezením následného proudu technologií RADAX-Flow • Umožňuje ochranu koncového zařízení



Zobrazení je nezávazné

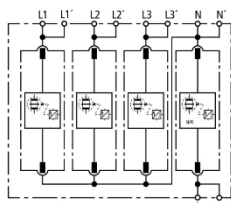
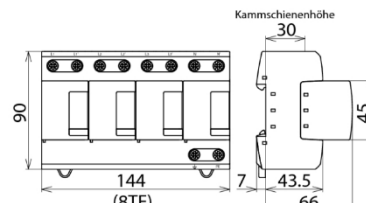


Schéma vnitřního zapojení DV M TT 255



Rozměry DV M TT 255

Modulární kombinovaný svodič pro sítě TT a TN-S (zapojení 3+1).

Typ Obj. č.	DV M TT 255 951 310
SPD podle ČSN EN 61643-11 / ... IEC 61643-11	typ 1 + typ 2/Třída I + Třída II
Energeticky koordinovaná ochranná úroveň pro konc. zař. ( $\leq 10$ m)	typ 1 + typ 2 + typ 3
Jmenovité napětí AC ( $U_n$ )	230/400 V (50/60 Hz)
Nejvyšší provozní napětí AC [L-N] ( $U_C$ )	264 V (50/60 Hz)
Nejvyšší provozní napětí AC [N-PE] ( $U_C$ [N-PE])	255 V (50/60 Hz)
Bleskový proud (10/350 $\mu$ s) [L1+L2+L3+N-PE] ( $I_{lob}$ )	100 kA
Specifická energie [L1+L2+L3+N-PE] (W/R)	2,50 MJ/ohm
Bleskový proud (10/350 $\mu$ s) [L-N]/[N-PE] ( $I_{imp}$ )	25/100 kA
Specifická energie [L-N]/[N-PE] (W/R)	156,25 kJ/ohm / 2,50 MJ/ohm
Jmenovitý impulzní proud (8/20 $\mu$ s) [L-N]/[N-PE] ( $I_n$ )	25/100 kA
Ochranná úroveň [L-N]/[N-PE] ( $U_P$ )	$\leq 1,5/\leq 1,5$ kV
Schopnost omezit následný proud [L-N]/[N-PE] ( $I_{it}$ )	50 kA <sub>eff</sub> /100 A <sub>eff</sub>
Omezení následného proudu/selektivita	nevybaví pojistky 20 A gG do 50 kA <sub>eff</sub> (prosp.)
Doba odezvy ( $t_A$ )	$\leq 100$ ns
Max. předjističení (L) do $I_K = 50$ kA <sub>eff</sub>	315 A gG
Max. předjističení (L-L')	125 A gG
Napětí TOV [L-N] ( $U_T$ ) – charakteristika	440 V/120 min - Pevnost
Napětí TOV [N-PE] ( $U_T$ ) – charakteristika	1200 V/200 ms - Pevnost
Rozsah provozních teplot [paralelní]/[přúchozí] ( $T_U$ )	-40 °C ... +80 °C/-40 °C ... +60 °C
Ukazatel provoz/porucha	zelená/červená
Počet vstupů	1
Průřez přípojovacích vodičů (L1, L1', L2, L2', L3, L3', N, N', PE, $\oplus$ ) (min.)	10 mm <sup>2</sup> jedno/vícežilový
Průřez přípojovacích vodičů (L1, L2, L3, N, PE) (max.)	50 mm <sup>2</sup> hrubě slaněný/35 mm <sup>2</sup> jemně slaněný
Průřez přípojovacích vodičů (L1', L2', L3', N', $\oplus$ ) (max.)	35 mm <sup>2</sup> hrubě slaněný/25 mm <sup>2</sup> jemně slaněný
Montáž	instalační lišta TS35 podle ČSN EN 60715
Materiál těla přístroje	termoplast, barva červená, UL 94 V-0
Místo nasazení	vnitřní prostory
Krytí	IP 20
Montážní rozměr	8 TE, DIN 43880
Certifikace	KEMA, VDE, UL
Rozšířená technická data:	-----
Ochranná úroveň [L-PE] ( $U_P$ )	2,2 kV
Použití v zapojení s prospektivními zkratovými proudy většími než 50 kA <sub>eff</sub> (zkoušeno podle VDE)	-----
- Max. prospektivní zkratový proud	100 kA <sub>eff</sub> (220 kA <sub>peak</sub> )
- Omezení/zhasnutí následného síťového proudu	do 100 kA <sub>eff</sub> (220 kA <sub>peak</sub> )
- Max. předjističení (L) do $I_K = 100$ kA <sub>eff</sub>	315 A gG
Váha	1,27 kg
Číslo celního sazebníku	85363090
GTIN (EAN)	4013364108172
PU	1 ks

Vyhraujeme si právo provést změny parametrů, konfigurací a technologie, rozměrů, hmotností či materiálů z důvodu technického pokroku. Veškerá zobrazení jsou nezávazná.

## Příloha č. 5

### Product data sheet Characteristics

### A9L16633

iPRF1 12.5r modular surge arrester - 3P - 350V -  
with remote transfert



#### Main

Range of product	Acti 9
Product name	Acti 9 iPRF1
Product or component type	Surge arrester
Device short name	iPRF1 12.5r
Device application	Distribution
Poles description	3P
Remote signalling	With
Signal contacts composition	1 SD (1 C/O)
Surge arrester type	Electrical distribution network
Earthing system	IT 230 TN-C

#### Complementary

Surge arrester class type	Type 1 + 2
Surge arrester technology	MOV
[Ue] rated operational voltage	230 V (+/- 10 %) AC 50 Hz 400 V (+/- 10 %) AC 50 Hz
[In] nominal discharge current	Common mode : 25 kA L/PE
[Imax] maximum discharge current	50 kA
[Imp] impulse current	Common mode : 12.5 kA L/PE 6.25 A.s
[Uc] maximum continuous operating voltage	Common mode : 350 V L/PE
[Up] voltage protection level	1.5 kV type 1 common mode L/PE
Disconnecter device type	Associated circuit breaker NG125N 80 A curve C - Icu 15 kA Associated circuit breaker NG125N 80 A curve C - Icu 25 kA Associated circuit breaker NG125H 80 A curve C - Icu 36 kA Associated circuit breaker NG125L 80 A curve C - Icu 50 kA Associated fuse gG 160 A according to standard Associated circuit breaker C120N 80 A curve C - Icu 10 kA

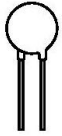
Disclaimer: This documentation is not intended as a substitute for and is not to be used for determining suitability or reliability of these products for specific user applications.

Apr 26, 2019

Let's Go Schneider

1



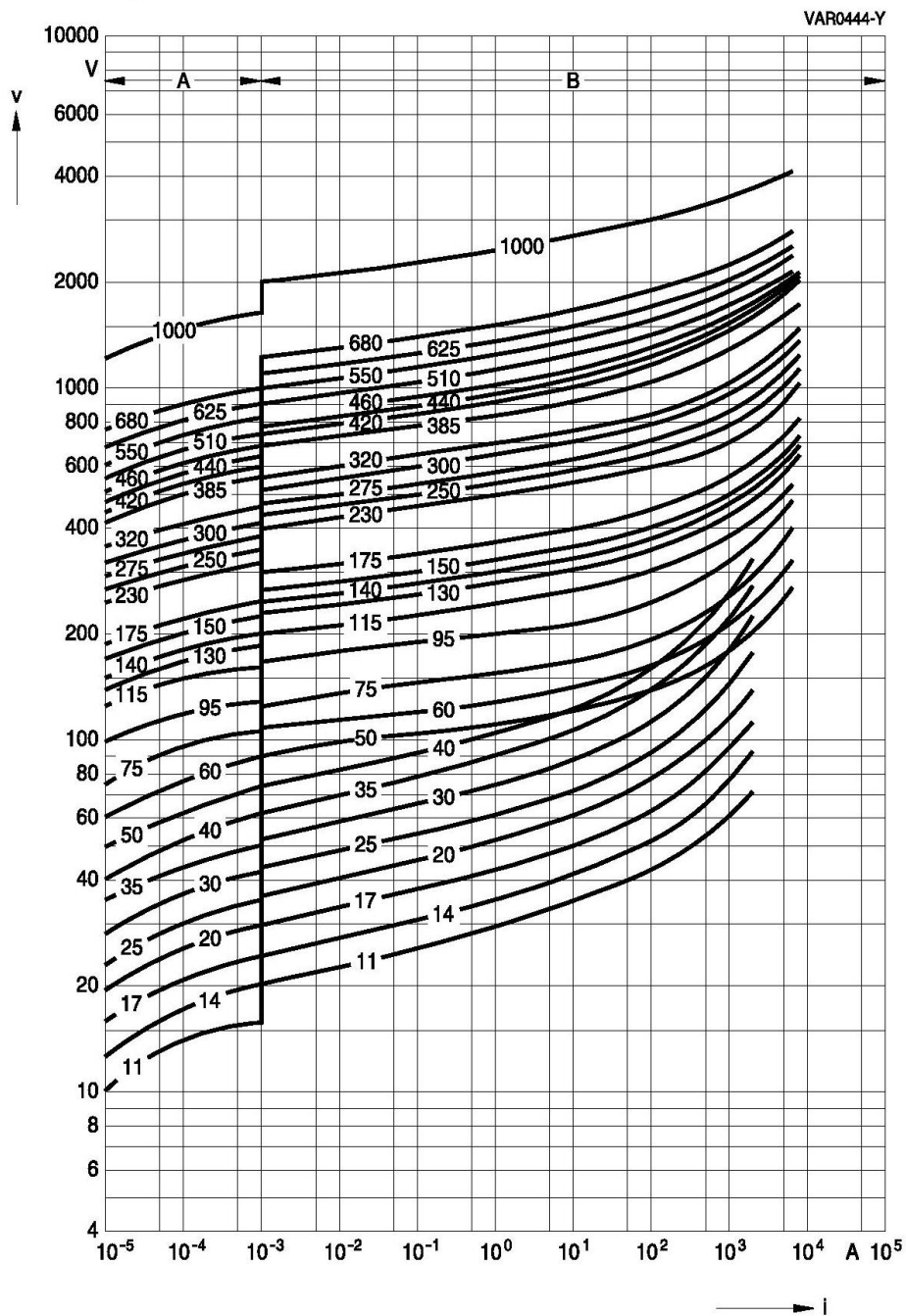


Leaded varistors  
Standard series

B722\*

**v/i characteristics**

$v = f(i)$  - for explanation of the characteristics refer to "General technical information", 1.6.3  
A = Leakage current, B = Protection level } for worst-case varistor tolerances



SIOV-S20 ...