

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Model svodiče přepětí

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **František RANGL**
Osobní číslo: **E11B0078K**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Model svodiče přepětí**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

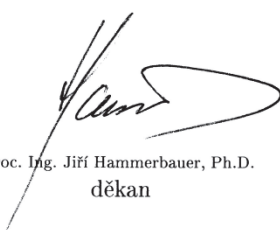
1. Po teoretické stránce zpracujte problematiku přepětí vyskytujících se v elektrizační soustavě.
2. Popište dnes používané druhy zařízení, které slouží k ochraně proti přepětí.
3. V simulačním softwaru DYNAST vytvořte model vybraného svodiče přepětí.
4. Pro vytvořený model proveďte několik simulací a výsledky porovnejte se simulacemi provedenými v jiném simulačním nástroji (např. PSpice).

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


1. Katalogy výrobců svodičů přepětí.
2. Online dostupné vědecké články (IEEE apod.).
3. Rusňák Š., Řezáček P.: Elektrické přístroje 1. ZČU Plzeň 2001.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Bc. Vladislav Sítář**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**


Doc. Ing. Jiri Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kús, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Tématem této bakalářské práce je vytvořit model svodiče přepětí. Svodič přepětí má za úkol omezit případné přepětí vzniklé v elektrorozvodné síti na přípustnou mez, a to přesně tak, jak uvádějí výrobci těchto ochran v katalogových listech.

V úvodu práce se budu snažit popsat problematiku přepětí, jeho negativní dopady na provoz sítě a k ní připojená elektrická zařízení. Přepět'ové ochrany se vyrábí v mnoha variantách, jak pro ochranu velkých energetických celků, tak i pro ochranu jednotlivých zařízení. Patří sem např. generátory, transformátory, ale také koncová zařízení, obsahující citlivé elektronické obvody. Některé typy ochran se budu snažit ve své práci více popsat a přiblížit jejich funkci a zařízení.

Ve druhé části práce bude vytvořen počítačový model svodiče přepětí. Výsledky z počítačové simulace budou porovnány s výsledky měření na vybraném reálném svodiči přepětí. Výsledky simulace a měření budou porovnány s údaji datových listů výrobce.

Klíčová slova

Omezovač přepětí, přepět'ová ochrana, úder blesku, výbojový proud, rázová vlna, ochrana před bleskem

Abstract

The theme of this thesis is to make a model of a surge arrester. The surge arrester is designed to reduce any resulting surge in the electricity network to an acceptable level, and strictly according to the information given in the data sheets of manufacturers of these protections.

In the introduction part I will try to describe problems of surges, their negative impacts on electricity network and connected electrical equipment. The surge protections are produced in many varieties, both for the protection of large power units and for protection of individual devices. These include for example generators, transformers, as well as terminal equipment containing sensitive electronic circuits. I will try to closely describe some types of protections, its function and classification in this work.

In the second part of this work a computer model of surge arresters will be created. The results of computer simulations will be compared with measurements on a selected real surge arrester. The results of the simulation and measurements will be compared with data sheets of manufacturers.

Key words

The surge arrester, overvoltage protection, lightning, discharge current, shock wave, lightning protection, modelling of surge arresters

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 5.6.2015

František Rangl

Obsah

| | |
|---|-----------|
| SEZNAM OBRÁZKŮ | 8 |
| SEZNAM TABULEK..... | 10 |
| SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK | 11 |
| 1. ÚVOD | 12 |
| 2. VZNIK A POVAHA PŘEPĚTÍ | 13 |
| 2.1 PROVOZNÍ PŘEPĚTÍ | 13 |
| 2.2 ATMOSFÉRICKÁ PŘEPĚTÍ | 13 |
| 3. SOUČASNÉ TRENDY OCHRANY PŘED PŘEPĚTÍM | 15 |
| 4. KLASIFIKACE IMPULZNÍCH VÝDRŽNÝCH KATEGORIÍ V ROZVODECH NN | 15 |
| 5. PŘEPĚŤOVÉ OCHRANNÉ PRVKY PRO ELEKTRONIKU | 19 |
| 5.1 OCHRANNÁ JISKŘIŠŤĚ PRO HRUBOU OCHRANU PROTI PŘEPĚTÍ | 19 |
| 5.2 PRVKY PRO RYCHLOU A PŘESNOU PŘEPĚŤOVOU OCHRANU V ELEKTRONICE | 20 |
| 5.2.1 Varistor (variable rezistor) | 20 |
| 5.2.2 Transil, trisil..... | 21 |
| 6. OCHRANNÉ VLASTNOSTI SVODIČŮ PŘEPĚTÍ PRO ELEKTROENERGETIKU..... | 24 |
| 6.1 HROTOVÁ JISKŘIŠŤĚ | 24 |
| 6.2 OMEZOVAČ PŘEPĚTÍ S ODPOROVÝMI BLOKY..... | 25 |
| 6.3 ODPOROVÉ OMEZOVAČE S JISKŘIŠŤĚM..... | 26 |
| 7. MĚŘENÍ PARAMETRŮ SVODIČŮ PŘEPĚTÍ..... | 29 |
| 7.1. MĚŘENÍ NA SVODIČÍCH PŘEPĚTÍ NN..... | 29 |
| 7.2 VÝSTUPY Z MĚŘENÍ VARISTOROVÝCH SVODIČŮ PŘEPĚTÍ | 30 |
| 8. SIMULACE SVODIČE PŘEPĚTÍ..... | 35 |
| 8.1 MODEL SVODIČE PŘEPĚTÍ PODLE IEEE | 35 |
| 8.2 VYTVOŘENÍ MODELU SVODIČE PŘEPĚTÍ V SIMULAČNÍM PROSTŘEDÍ DYNAST | 36 |
| 8.3 MODEL SVODIČE PŘEPĚTÍ V SIMULAČNÍM PROSTŘEDÍ PC CAD | 42 |
| 9. ZÁVĚR | 46 |
| SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 47 |
| SEZNAM PŘÍLOH | 51 |

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obr. 1: Kategorie impulzních výdržných napětí | 16 |
| Obr. 2: Svodič bleskových proudů a přepětí typ FLP-B+C MAXI V/3 (Saltek)..... | 17 |
| Obr. 3: Vlna impulzního proudu, vpravo jsou uvedeny časy proudových vln..... | 18 |
| Obr. 4: Blokované znázornění selektivního umístění ochran SPD | 18 |
| Obr. 5: Postupné snižování přepětí kombinací ochran..... | 19 |
| Obr. 6: EPCOS B88069X2880S102, schematická značkableskojistky | 20 |
| Obr. 7: VA – charakteristika varistoru a náhradní schéma..... | 21 |
| Obr. 8: LITTELFUSE AK10-430C - Dioda: transil; 430V; 10kA.. .. | 22 |
| Obr. 9: VA charakteristika trisilu | 22 |
| Obr. 10: Koaxiální ochrana PKOpt | 23 |
| Obr. 11: Zkušební oscilogram svodiče přepětí PKOpt..... | 23 |
| Obr. 12: Schematická značka jiskřiště..... | 24 |
| Obr. 13: Ochranné jiskřiště, Výrobce OBO Bettermann..... | 24 |
| Obr. 14: VA charakteristika bloků ZnO a SiC | 25 |
| Obr. 15: VA charakteristika ventilovébleskojistky | 26 |
| Obr. 16: Průběh omezení přepět'ové vlny po jejím příchodu | 27 |
| Obr. 17: Svodiče přepětí na izolovaném vedení, kombinace varistoru a jiskřiště..... | 28 |
| Obr. 18: Svodiče přepětí do sítí nn..... | 29 |
| Obr. 19: Omezovač s vybaveným odpojovačem a otevřeným signalizačním víčkem při poruše..... | 30 |
| Obr. 20: Schéma zapojení měřeného varistorového omezovače..... | 30 |
| Obr. 21: Průběhy proudu a napětí na svodičích přepětí při měření..... | 32 |
| Obr. 22: Průběh napětí a proudu rázovou vlnou 8/50 μ s, 900 V, svodič Apator | 33 |
| Obr. 23: Průběh napětí a proudu rázovou vlnou 8/50 μ s, 900 V, svodič Acer..... | 33 |
| Obr. 24: Průběh napětí a proudu rázovou vlnou 8/50 μ s, 2100 V, svodič Apator | 33 |
| Obr. 25: Průběh napětí a proudu rázovou vlnou 8/50 μ s, 2100 V, svodič Acer..... | 34 |
| Obr. 26: Model svodiče přepětí podle IEEE..... | 35 |
| Obr. 27: Model IEEE metal oxidového varistoru vytvořený v Dynastu | 36 |
| Obr. 28: Definování tabelární funkce | 37 |
| Obr. 29: Nadefinování impulsní funkce v Dynastu..... | 37 |
| Obr. 30: Schematické zapojení obvodu pro simulaci v programu Dynast | 38 |
| Obr. 31: Graf funkce výstupní rázové vlny U_{out} za filtrem a průběh původní funkce U_0 .. | 38 |

| | |
|--|----|
| Obr. 32: V-I charakteristika bloku A0 a A1 | 39 |
| Obr. 33: Časový průběh na svodiči Acer (Le Croy)..... | 40 |
| Obr. 34: Odezva modelu svodiče při simulaci zkoušky proudovým impulsem..... | 40 |
| Obr. 35: Časový průběh na varistoru při překročení mezních hodnot..... | 41 |
| Obr. 36: Časový průběh modelu při zkoušce rázovou vlnou 8/20 μ s | 41 |
| Obr. 37: Zapojení obvodu pro simulaci v softwaru PC CAD | 42 |
| Obr. 38: Průběh zkušební vlny generátoru přepětíové vlny..... | 43 |
| Obr. 39: Časový průběh napětí na varistoru při překročení mezních hodnot..... | 44 |
| Obr. 40: Časový průběh proudu na varistoru při překročení mezních hodnot | 44 |
| Obr. 41: Odezva modelu svodiče zkoušky rázovým impulsem, průběh napětí | 45 |
| Obr. 42: Odezva modelu svodiče zkoušky rázovým impulsem, průběh proudu..... | 45 |

Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tab. 1: Příčiny poškození | 14 |
| Tab. 2: Svodová schopnost SPD v třídě ochrany T1 (B) | 15 |
| Tab. 3: Katalogové údaje bleskojistky B88069X2880S102..... | 20 |
| Tab. 4: Tabulka naměřených dat | 31 |

Seznam symbolů a zkratk

| | |
|-----------|--|
| ČSN | česká státní norma |
| EN | evropská norma |
| SPD | surge protective device (přepět'ové ochranné zařízení) |
| LPZ | lightning protection zone (zóna ochrany před bleskem ZBO) |
| LPS | lightning protection system (systém ochrany před bleskem) |
| LEMP | lightning electromagnetic impulse (elektromagn. impuls vyvolaný bleskem) |
| SEMP | switching electromagnetic pulse (elektromagn. impuls vyvolaný spínáním) |
| NEMP | nuclear electromagnetic pulse (přepětí vzniklá nukleárními výbuchy) |
| ESD | electrostatic discharge (přepětí způsobená výbojem statické elektřiny) |
| HOP | hlavní ochranná přípojnice |
| VDR | voltage dependent resistor (napět'ově závislý rezistor) |
| SMT | surface mount technology (technologie pro povrchovou montáž) |
| THT | through-hole technology (technologie pro osazování drátových součástek) |
| MOV | metal oxide varistor (varistor složený z oxidu kovů ZnO) |
| U_r | jmenovité napětí svodiče (nejvyšší trvalé přepětí) |
| U_c | trvalé provozní napětí (jmenovitá hodnota napětí chráněné sítě) |
| I_n | jmenovitý výbojový proud (vrcholová hodnota proudového impulzu) |
| U_{res} | zbytkové napětí na svodiči při průchodu výbojového proudu |
| U_p | ochranná hladina omezovače (přepětí při normovaném tvaru a vrcholové hodnotě proudu) |

1. Úvod

Elektrorozvodná soustava je dynamický systém, na který působí řada faktorů, zhoršujících více či méně kvalitu dodávky elektrické energie. Mezi tyto faktory se řadí různá provozní přepětí způsobená provozem spotřebičů, přepětí vzniklá poruchami v síti nebo přepětí způsobená atmosférickými jevy. Výše zmíněné nežádoucí jevy provází elektrizační síť od samého začátku rozvoje elektrifikace. Postupem času, s novými poznatky a rozvojem nových materiálů, se utváří pevný řád, který se odkazuje na řadu norem, vyhlášek a zákonů, které se vyvíjejí přesně podle měnících se požadavků a nejnovějších trendů v elektrotechnice.

Pro eliminaci takových jevů, jako je přepětí, se do elektrovodné sítě zařazují svodiče přepětí, které jsou její nedílnou součástí. Svodiče přepětí jsou zastoupeny v mnoha elektrických a elektronických zařízeních, připojených na elektrorozvodnou síť, ať už se jedná o zařízení na výrobu a přenos elektrické energie, stroje a přístroje používané v průmyslu nebo domácnostech. Svodiče přepětí mají za úkol omezit vzniklé přepětí v elektrických sítích na únosnou mez, přesně podle jejich fyzikálních vlastností a požadovaných provozních parametrů, navržených při vývoji.

2. Vznik a povaha přepětí

Přepětí by se dalo definovat napětíovou úrovní, ohrožující izolace elektrických zařízení nebo vnitřní obvody zařízení obsahující polovodičové součástky citlivé na přepětí. Tato přepětí se dělí na přepětí atmosférická a provozní.

2.1 Provozní přepětí

Do provozních přepětí patří spínací přepětí (SEMP), které vzniká rychlým nárůstem a poklesem zatížení elektrické sítě. Rychlé změny proudu na parazitních indukčnostech vedení vyvolávají indukované napětí odvozené z rovnice 1, které je úměrné velikosti změny protékaného proudu.

$$U_i = L \frac{dI_L}{dt} \quad (1)$$

Tyto změny proudu, např. v kabelových sítích, s absencí připojení vnějších vedení způsobují zkraty, spínání velkých spotřebičů nebo i zemní spojení. Tato přepětí, více než chráněná zařízení, namáhají více samotné omezovače přepětí. Při provozu elektrického vedení naprázdno také může dojít vlivem odrazu na konci otevřeného nebo málo zatíženého vedení ke zdvojení amplitudy odražené vlny.[1],[2],[3]



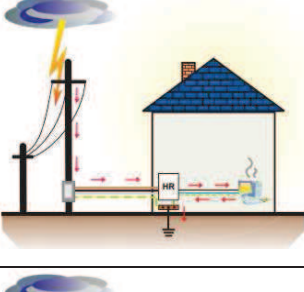
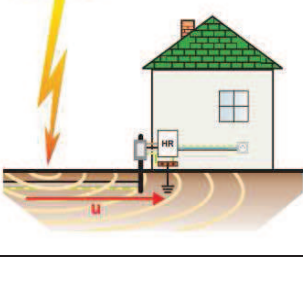
2.2 Atmosférická přepětí

Vznikají v souvislosti s bouřkovou činností a jsou označována zkratkou LEMP. Přímým úderem blesku do objektu nebo úderem blesku v blízkosti chráněných objektů se mohou indukovat na vedeních velké bleskové proudy ohrožující zařízení, zdraví a životy lidí pobývající v těchto objektech. Tato přepětí jsou mnohem více nebezpečná než přepětí spínací.

Přepětí může vyvolat i nabitý mrak pohybující se nad vedením. V případě vzdálených úderů blesku mezi mraky nebo blízkostech staveb a inženýrských sítí se objevují tzv. zrcadlové náboje, které jsou příčinou vzniku přepětíové vlny, pohybující se podél elektrorozvodných a datových sítí. V těchto případech vzniká nebezpečí vzniku škod způsobených postupnou vlnou s vysokou amplitudou. Parametry přepětíových vln vzniklých vlivem indukovaných přepětí nebo přepětí vzniklé přímým úderem blesku jsou

zcela odlišné a musí se zohlednit při volbě vhodné ochrany. Rozdělení příčin poškození objektů z důvodu úderu bleskem jsou v tabulce 1. V této tabulce jsou podle normy ČSN EN 62305 rozděleny různé způsoby ohrožení chráněných objektů. Příčina poškození S1 je považována za původce páchajícího největší škody. Jedná se o ohrožení přímým úderem blesku do objektu.[4],[5]

Tab. 1 Příčiny poškození [4]

| Místo úderu | Příčina poškození | Velikost ohrožení | Tvar rázové vlny |
|---|--|--|------------------|
|  | S1 Přímý úder | Hrozí přímé zavléčení bleskového proudu do objektu při absenci SPD se část bleskového proudu může zavléct do elektroinstalace | 8/20 μ s |
|  | S2 Úder v blízkosti stavby | Přímé zavléčení bleskového proudu nehrozí Indukované proudy způsobené LEMP | 8/20 μ s |
|  | S3 Přímý úder do vedení připojených ke stavbě | Přenesení bleskového proudu do staveb Nutná instalace SPD na vstupech objektů | 10/350 μ s |
|  | S4 Údery v blízkosti inženýrských sítí | Vznik elektromagnetického pole, které indukuje na vodivých částech napětí | 8/20 μ s |

3. Současné trendy ochrany před přepětím

Ochrana před přepětím je důležitý úkol v současné elektrotechnice. Nedávno skončila platnost staré normy ČSN 34 1390, s rokem vydání 1969. Do roku 2009 platila souběžně s novým převzatým souborem evropských norem EN 62305, ČSN EN 62305, kdy ji tato převzatá norma plně nahradila. Norma ČSN 34 1390 již byla nedostačující a prakticky se ani ochranou těchto zařízení nezabývala. Jejím úkolem bylo ochránit objekty a lidi uvnitř před ničivými účinky úderu blesku tak, aby došlo k co nejmenším škodám na majetku a újmě na zdraví lidí, ale pomíjela ochranu citlivých elektrických zařízení, např. výpočetní techniky apod. Nová evropská norma tyto nové aspekty do značné míry bere v potaz a zavádí nové pojmy a definice. Norem, které se zabývají přepětím, instalací a požadavky na zařízení SPD je celá řada. [6]

4. Klasifikace impulzních výdržných kategorií v rozvodech nn

Srovnáním kategorií výdržného napětí zleva doprava podle obr. 1 lze klasifikovat impulzní výdržná napětí do čtyř kategorií následovně:

IV. kategorii impulzního výdržného napětí IV, tj. hladina přepětí 6 kV. Zde jsou instalována zařízení s vysokou požadovanou provozní spolehlivostí. Jedná se o základní výzbroj rozvaděčů, např. elektroměry, přijímače HDO nebo prvky zajišťující samočinné odpojení od zdroje v případě poruchy.

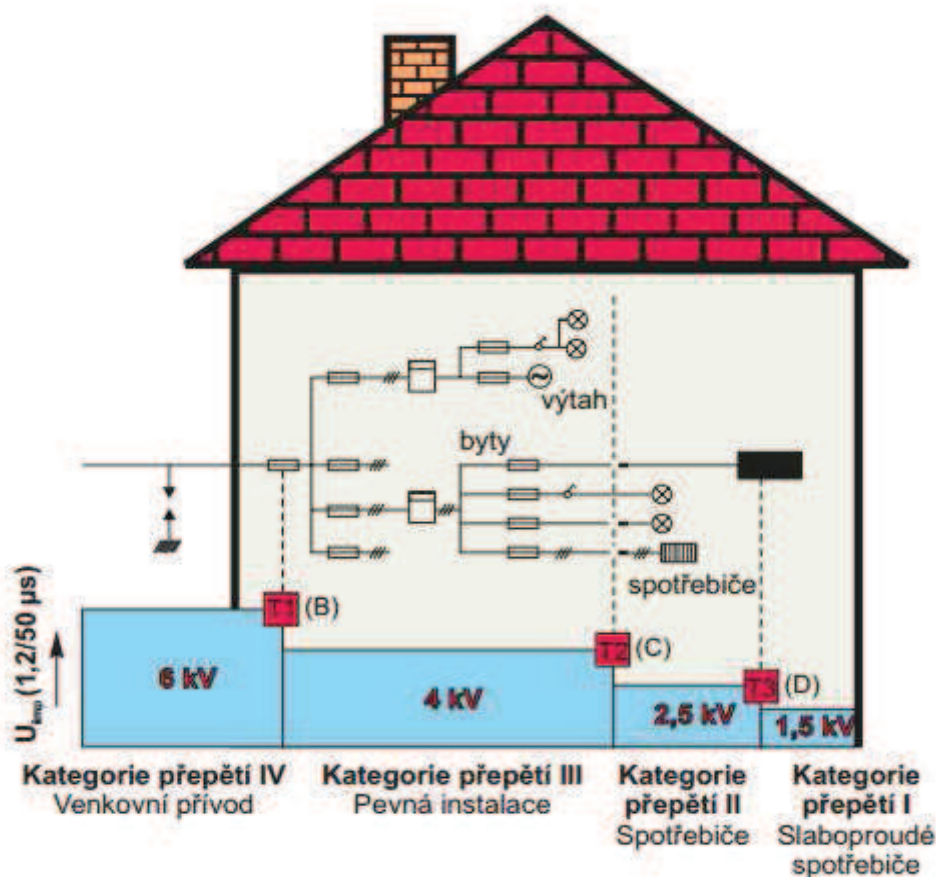
Ve III. kategorii impulzního výdržného napětí jsou instalovány podružné rozvaděče, stacionární motory, pevně uložené kabely apod.

Podle normy ČSN EN 62305-1 je v následující tabulce 2 rozdělena požadovaná svodová schopnost ochrany proti přepětí pro kategorii SPD typu T1(B). Citovaná norma dále doporučuje zkoušku rázovou vlnou 10/350 μ s. [5],[7]

Tab. 2 Svodová schopnost SPD v třídě ochrany T1 (B) [7]

| Třída ochrany před bleskem | TN síť |
|----------------------------|---------------|
| LPL I | ≥ 100 kA |
| LPL II | ≥ 75 kA |
| LPL III | ≥ 50 kA |
| LPL IV | ≥ 50 kA |

Pro určení jmenovité proudové hodnoty svodiče se vychází z použitých vodičů v síti. Pro síť TN-S 400/230 V, 3L+N+PE je to počet 5. Tímto číslem se vydělí hodnota proudu ochranné úrovně před bleskem v dané třídě, uvedená v tabulce 2, hodnota proudu by pak v tomto případě vycházela pro LPL I $I_n \geq 20$ kA.



Obr. 1 Kategorie impulzních výdržných napětí [4]

Pro tuto a následující kategorii přepětí II se vyrábějí kombinované svodiče přepětí, označované SPD typ 1 a 2, častěji pod známějším označením svodiče třídy B+C. Na obr. 2 je vyobrazen svodič bleskových proudů a přepětí typ FLP-B+C MAXI V/3 firmy Saltek. Výrobce se v datových listech odkazuje na normu ČSN EN 61643-11 ed.2. Hodnota jmenovitého impulsního výbojového impulsního proudu I_{imp} tímto svodičem je podle dat výrobce 25 kA, při tvaru vlny 10/350 μ s a pro tvar vlny 8/20 μ s je jmenovitá svodová schopnost 30 kA. Svodič splňuje požadavky normy ČSN EN 62305-1, pro síť TN-C i TN-S ve všech LPZ určených podle normy ČSN EN 62305-4. [8], [9]



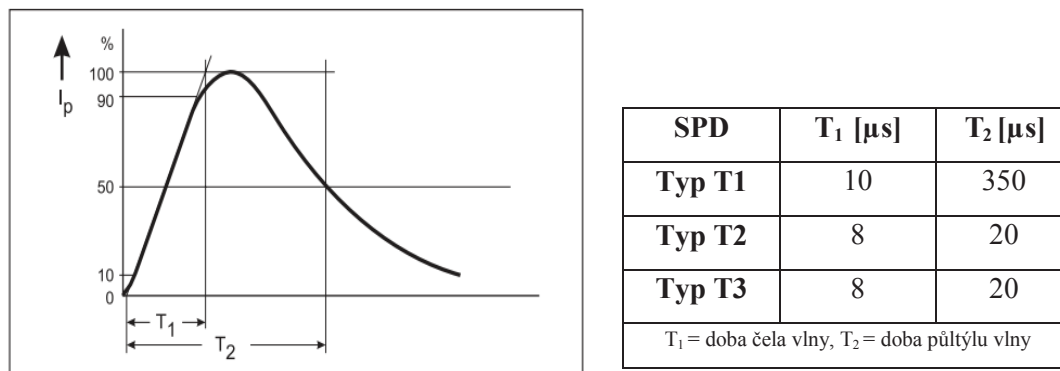
Obr. 2 Svodič bleskových proudů a přepětí typ FLP-B+C MAXI V/3 (Saltek) [10]

Do kategorie impulzního výdržného napětí II spadají běžné elektrické spotřebiče a zařízení objektů s normálním stupněm spolehlivosti.

Do kategorie I patří zařízení, která jsou citlivá na krátkodobá přepětí, obsahující citlivé elektronické součástky. Zařízení spadající do této kategorie nemají být přímo spojeny s distribuční soustavou. [6],[11]

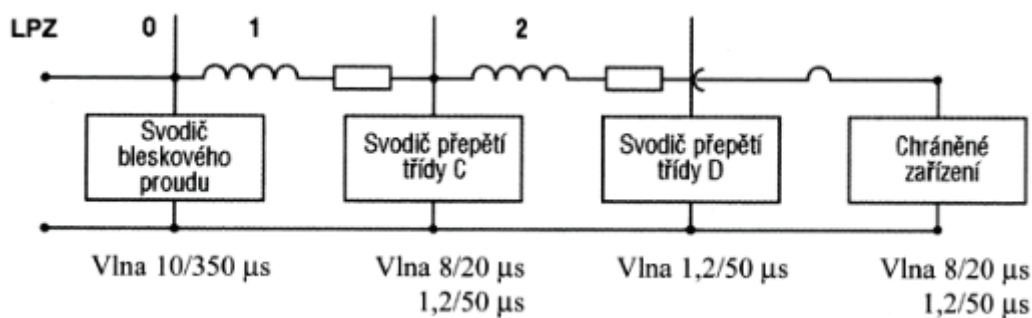
V případě přímého úderu blesku do objektu, vybaveného společným zemničem pro LPS a hlavní ochrannou přípojnicí HOP, dojde k nárůstu potenciálu zemniče a následnému zavlečení bleskového proudu na ochranné vodiče a kryty. [5] Vyplývá to z normy ČSN EN 62305-3, která zvažuje, že se 50 % bleskového proudu svede k zemi a zbytek se rozloží na vodivé části a vedení. Odpovídá to i tabulce 2, která uvádí pro třídu ochrany LPL I svodovou proudovou schopnost SPD ve IV. kategorii přepětí $I_s \geq 100$ kA, pro uvažovanou velikost bleskového proudu 200 kA, v případě přímého úderu do objektu. [7]

Pro úplnost je na obr. 3 zobrazena vlna impulzního proudu. Ke zkoušení SPD se používají normované vlny rázového proudu a napětí.



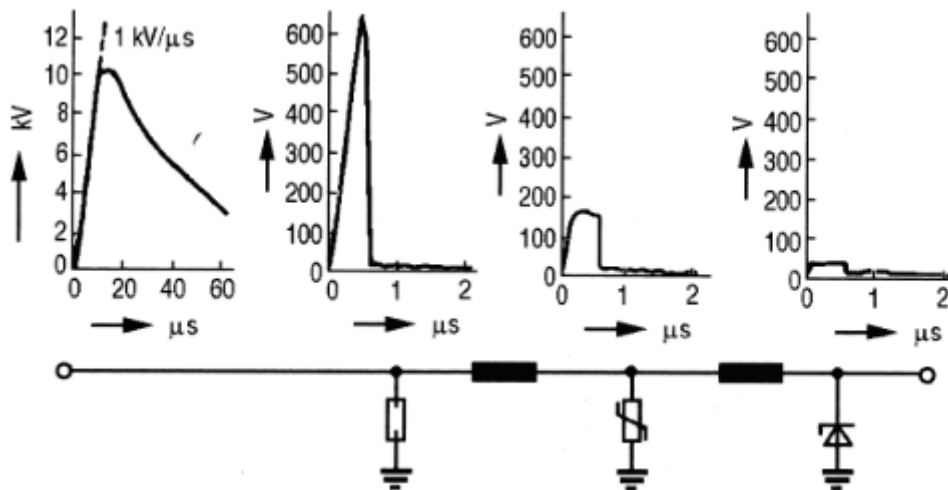
Obr. 3 Vlna impulzního proudu, vpravo jsou uvedeny časové průběhy proudových vln [5]

Rozdělení ochran v jednotlivých zónách a vyznačené výdržné zkušební rázové vlny jsou znázorněny na obr. 4. [6]



Obr. 4 Blokové znázornění selektivního umístění ochran SPD [6]

Na obr. 5 je znázorněn příklad postupného snižování přepětí ve třístupňové ochraně. [6] Pro hrubou ochranu typu T1 je znázorněno jiskřiště, pro T2 varistorové svodiče a pro nejjemnější rychlou ochranu je naznačena velice rychlá ochrana, reagující již na čelo impulzu, kterou může být např. transil.



Obr. 5 Postupné snižování přepětí kombinací ochran [6]

5. Přepět'ové ochranné prvky pro elektroniku

5.1 Ochranná jiskřiště pro hrubou ochranu proti přepětí

Jiskřiště jsou nejstarší přepět'ovou ochranou. Mají řadu nevýhod, které jsou pro tyto typy ochran limitující, patří sem pomalá odezva, neschopnost vypnutí po odeznění přepětí, krátká životnost apod., více v kapitole 6.1. Dalším podobným přepět'ovým ochranným prvkem jsou plynem plněné bleskojistky. Jedná se o soustavu elektrod, zpravidla opatřených povlaky dopravujícími emise, umístěných ve skleněných nebo keramických trubicích s odčerpaným vzduchem a naplněných netečným plynem pod slabým tlakem. U obou zmíněných typů je potřeba předřadit další prvek pro přerušení obvodu. Přes některé nedostatky u plynem plněných bleskojistik se dnes jedná o velmi rozšířený prvek přepět'ových ochran, ať již v elektronice, v telekomunikačních vedeních nebo elektrotechnice. Vyznačují se velkou proudovou zatížitelností a malou kapacitou. Na obr. 6 je vyobrazena bleskojistka firmy EPCOS typ B88069X2880S102, v drátovém provedení pro THT montáž, se jmenovitým proudovým impulsem 20 kA, při tvaru vlny 8/20 μ S. Některé údaje výrobce bleskojistiky zobrazené na obr. 6 jsou uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3 Katalogové údaje bleskojistky B88069X2880S102

| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Typ ochrany | Přepět'ová |
| Montáž | THT |
| Vývody | Axiální |
| Jmenovité napětí zážehu | 600 V |
| Max. impulsní napětí | 1.1 kV |
| Použití ochran | ochrana systémů datových přenosů, |
| Min. odpor izolace | 10 GΩ |
| Kapacita | 1.5 pF |
| Pulzní proud výboje (8/20μs) | 20 kA |
| Pulzní proud výboje AC 50Hz (1 sek.) | 20 A |
| Rozměry tělesa | Ø8 x 6 mm |



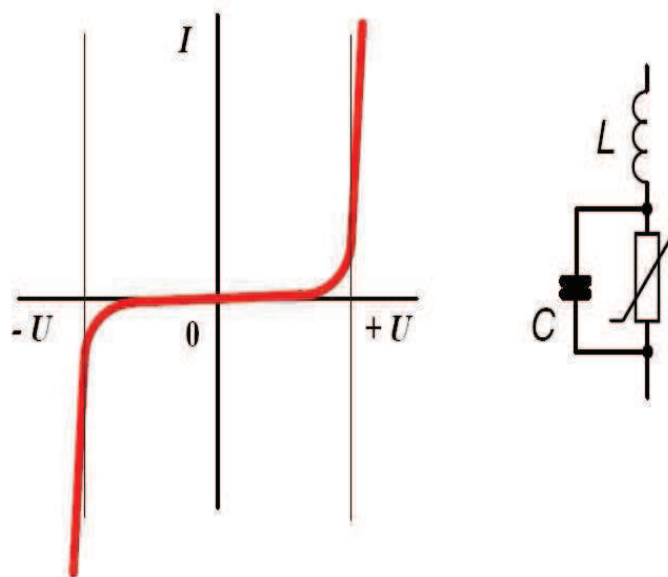
Obr. 6. EPCOS B88069X2880S102 [12]

5.2 Prvky pro rychlou a přesnou přepět'ovou ochranu v elektronice

Mezi tyto ochrany se dají zařadit prvky s nelineárním odporem, jako jsou varistory, označované též jako odpory VDR (Voltage Dependent Resistors), Zenerovy diody, transily nebo trisily (TVS-transient voltage suppressor).

5.2.1 Varistor (variable resistor)

Varistor používaný v elektronice pro ochrany vstupů se tvarem podobá keramickým kondenzátorům v THT provedení. Základ tvoří polykrystalický ZnO. VA charakteristika varistoru je symetrická a oproti bleskojistce nebo jiskřišti, které obvod zkratují, varistor přepětí pouze omezí, viz obr. 7.



Obr. 7. VA – charakteristika varistoru a náhradní schéma [13]

Náhradní schéma varistoru na obr. 7. zohledňuje skutečné chování součástky. Varistor vykazuje také kapacitu, jak je znázorněno v náhradním schématu. Varistory tedy nelze pro některé aplikace např. ochrany vstupů ve VF technice použít.

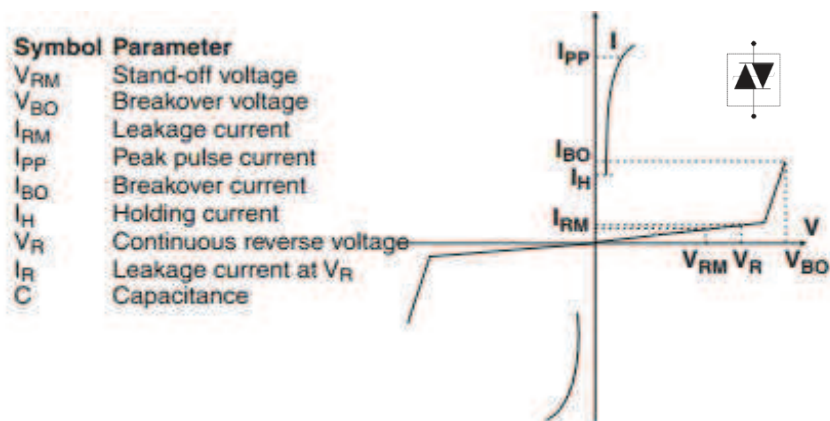
5.2.2 Transil, trisil

Transil nebo trisil jsou součástky s podstatně rychlejší dobou odezvy. Dokážou na čelo přepět'ové vlny reagovat daleko rychleji. V porovnání s varistorem se rychlost transilu liší v tom, že dokáže reagovat již na čelo impulsu přepět'ové vlny a tím výrazně zlepšuje ochranu obvodu, ve kterém je zapojen. Uvádí se, že odezva varistoru na příchod přepět'ové vlny trvá cca 25 ns, ale u transilu se uvádí až o tři řády méně, jedná se o pikosekundy. Jsou vhodné pro použití v obvodech, kde se předpokládá vznik většího přepětí, proto se často nacházejí v ochranách vstupů a výstupů dlouhých vedení, po nichž se přenášejí data. Na obr. 8. je vyobrazen transil výrobce Littelfuse, typ AK10-430C pro THT montáž. VA charakteristika je v případě obousměrného transilu podobná varistoru. [14]



Obr. 8 LITTELFUSE AK10-430C - Dioda: transil; 430V; 10kA [14]

Trisil patří mezi vícevrstvé polovodičové součástky a svou funkcí připomíná diak, VA charakteristikou připomíná triak. Z charakteristiky na obr. 9 je patrné, že pokud spínací napětí překročí hodnotu průrazného napětí V_{BO} , ihned přechází ve spínací proud I_{BO} . Při poklesu pod vratný proud I_H se impedance prvku opět zvýší a trisil poté nabývá původních hodnot, které se v obvodu za normálních provozních podmínek neprojevují. Hlavní rozdíl mezi transilem a trisilem je, že trisil chráněný obvod zkratuje, kdežto transil nebo varistor pouze omezuje na stanovenou úroveň napětí.



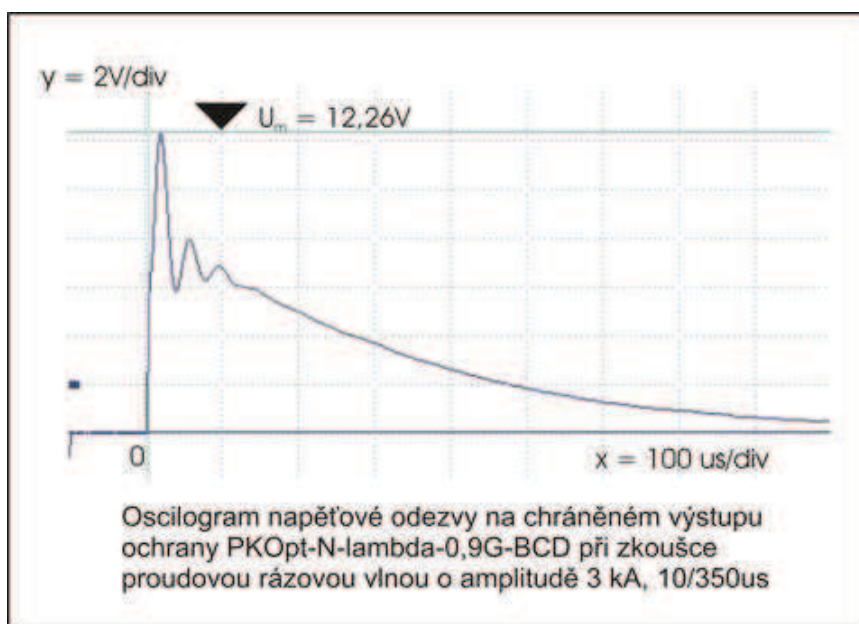
Obr. 9 VA charakteristika trisilu [13]

Pro zajímavost ještě uvedu koaxiální přepětěvou ochranu české firmy BrOK®, typ PKOpt-N-lambda-0,9G-BCD/F-M/F-M. Jedná se o přepětěvou ochranu určenou do anténních rozvodů, k montáži na koaxiální kabely, viz obr. 10.



Obr. 10 Koaxiální ochrana PKOpt [15]

Jedná se o typ v kombinaci ochrany třídy B+C+D. [5] Na obr. 11 je oscilogram průběhu napětí na této ochraně při zkoušce ve zkušebně, rázovou vlnou o amplitudě proudu 3 kA, s průběhem energetické vlny 10/350 μ s. Při správném zapojení ochrany lze dosáhnout zbytkového napětí necelých 13 V.

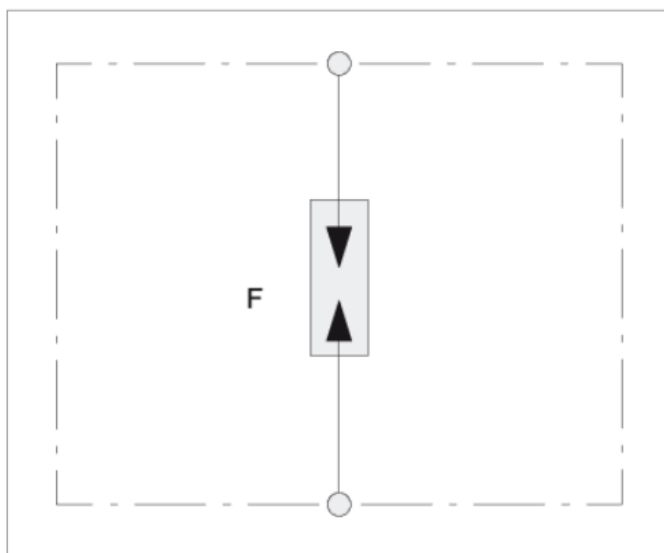


Obr. 11 Zkušební oscilogram svodiče přepětí PKOpt [15]

6. Ochranné vlastnosti svodičů přepětí pro elektroenergetiku

6.1 Hrotová jiskřiště

U hrotových jiskřišť se jedná o jednoduché ochranné zařízení. Jak znázorňuje schematická značka na obr. 12, je jiskřiště složeno ze dvou protilehlých elektrod s definovanou vzdáleností a doskokem, zhotovených z materiálu odolného proti opalu a zkratovým proudům. Tato schematická značka je dost často používaná v elektrotechnické dokumentaci. Na obr. 13 je vyobrazeno zapouzdřené ochranné jiskřiště firmy OBO. [16] Je určeno k přemostění místa přiblížení mezi střešníkem vedení nn a součástmi LPS. Ochranná úroveň a zapalovací napětí je 10 kV.



Obr. 12 Schematická značka jiskřiště [16]

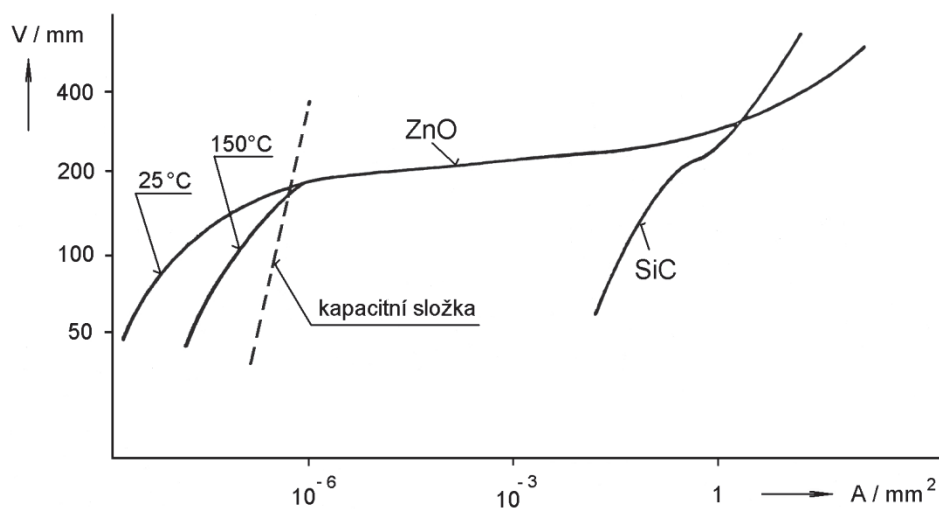


Obr. 13 Ochranné jiskřiště, Výrobce OBO Bettermann [16]

U takovýchto jiskřišť s pevně nastaveným doskokem je přeskokové napětí závislé na strmosti přepětí. Tato závislost se nazývá rázová charakteristika. Jedna z nevýhod jiskřišť spočívá v nárůstu přeskokového napětí se zvětšující se strmostí přepětí. V tomto případě může dojít při blízkých úderech blesku k průrazu izolace chráněného zařízení. Další nevýhodou je výpadek sítě při zapůsobení ochranného jiskřiště z důvodu neschopnosti zhášení následného zkratového proudu, který musí být vypnut ochranou. [3]

6.2 Omezovač přepětí s odporovými bloky

Jedná se o omezovače s moderní technologií, používající odporové (varistorové) bloky složené z nelineárních odporů, tvořených kysličníky kovů z materiálu ZnO. Tyto varistory se označují zkratkou MOV (metal oxidové varistory). Starší, méně výhodné varistory z materiálu SiC, lze nalézt v literatuře pod názvem karbidové varistory. Z porovnání obou charakteristik znázorněných na obr. 14, je také patrná závislost proudu na teplotě. VA charakteristika varistoru vykazuje při poklesu napětí o 1% pokles proudu o cca 40%. U bleskojistky je to cca 5%.



Obr. 14 VA charakteristika bloků ZnO a SiC [1]

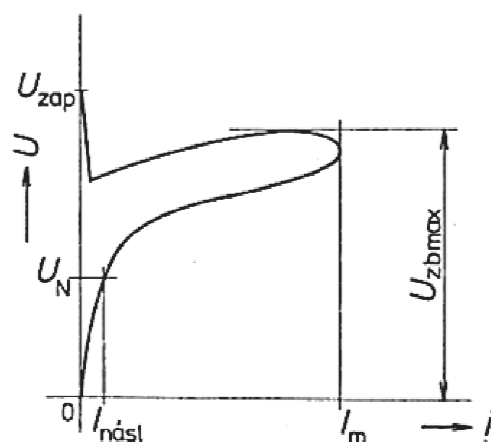
Čím je VA charakteristika plošší, tím lépe varistor plní svou funkci přepět'ové ochrany. Charakteristika varistoru je dána vztahem:

$$I \approx U^{\alpha} \quad (2)$$

V případě lineárního odporu je $\alpha = 1$, pro varistor z materiálu karbidu křemíku je $\alpha = 2-6$ a z materiálu oxidu zinečnatého je $\alpha = 20-50$. U kvalitních bloků ZnO je α větší než 50. V tomto případě je již nelinearita tak výrazná, že při jmenovitém napětí v elektrických sítích s použitím těchto omezovačů, nemusí být použito jiskřiště pro omezení svodového proudu, viz následující podkapitola. Odporovými bloky teče kapacitní proud řádu miliampér a činná složka proudu v řádu desítek μA . [3],[17]

6.3 Odporové omezovače s jiskřištěm

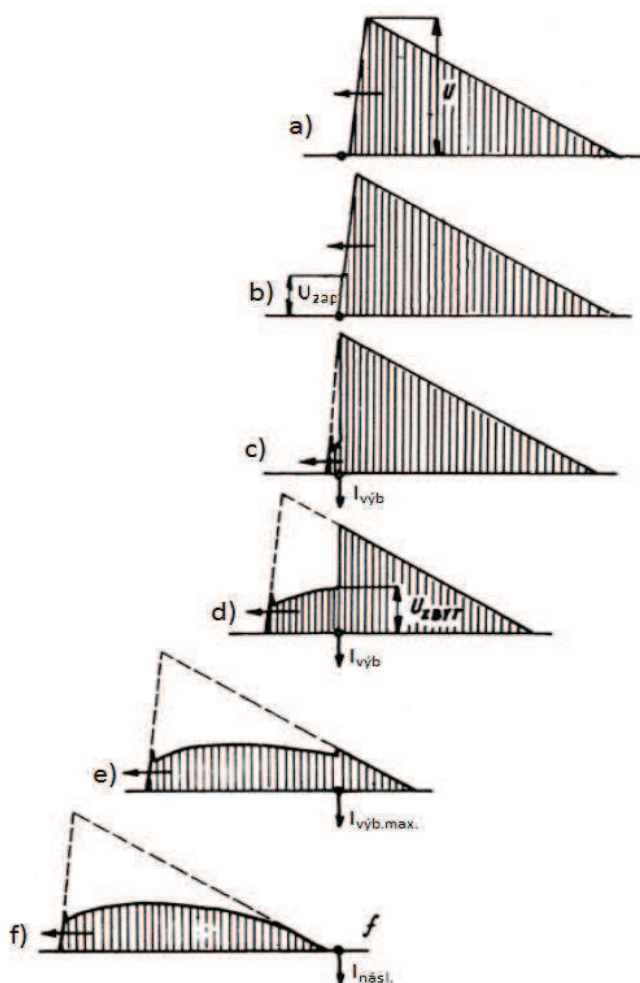
Jsou nejrozšířenější spolehlivou ochranou, většinou složenou ze sériově zapojených dílčích jiskřišť a sériově zapojených dílčích nelineárních odporových bloků ZnO nebo SiC. Tyto ochrany se nazývají ventilové bleskojistky. Jejich výhodou, oproti ryze jiskřišťovým omezovačům, je vyšší životnost. Další výhodou je, že v klidovém stavu neteče omezovačem žádný svodový proud. Na obr. 15 je znázorněna VA charakteristika ventilové bleskojistky. Po příchodu přepět'ové vlny dojde k zapálení oblouku podle nastavené hodnoty přeskočkové v jiskřišti, napětí okamžitě klesá na hodnotu úbytku napětí na odporových blocích a proud narůstá až do hodnoty I_m . Napětí se vzhledem k nelineární charakteristice rezistoru ZnO mění jen pozvolna a narůstá na hodnotu U_{zbmax} . Vzhledem k tomu, že se odporové bloky průchodem proudu zahřejí, proud klesá po jiné křivce. Po snížení napětí na hodnotu U_n je již odpor bloku natolik velký a proud dostatečně malý (protéká proud $I_{násl}$ dodávaný jen síťovými zdroji), aby mohl oblouk při průchodu proudu nulou zhasnout. Proud a napětí jsou ve fázi. Nevýhoda tohoto zapojení spočívá ve strmější rázové charakteristice. [1],[17]



Obr. 15 VA charakteristika ventilové bleskojistky[18]

Nicméně se od kombinace odporových bloků složených z materiálu SiC a ochranných jiskřišť upouští pro jejich nespolehlivost a doporučuje se při opravách a rekonstrukcích vyměnit je za spolehlivější typy ochran. Pokud totiž nedojde po zapálení oblouku k poklesu napětí na jiskřišti, oblouk při průchodu proudu nulou nezanikne, odporové bloky SiC se značně zahřejí a tím může dojít při absorpci další tepelné energie k destrukci bleskojistky. [1]

Na obr. 16 je zobrazena reakce omezovače přepětí na příchod přepět'ové vlny. Postupně s příchodem vlny obr. 16. a) dochází k zapálení oblouku obr. 16. b), napětí klesá na hodnotu úbytku napětí na odporových blocích, obr. 16. c). Na obr. 16. d) dosáhl úbytek napětí maxima a výbojový proud roste, po dosažení maxima začíná proud prudce klesat, obr. 16. e). Poté co napětí na omezovači kleslo na provozní napětí, protéká bleskojistkou již jen následný proud. Ten po průchodu proudu nulou zhasne. Přepět'ová vlna dál pokračuje omezena na přijatelnou mez. [18]



Obr. 16 Průběh omezení přepět'ové vlny po jejím příchodu [18]

Na obr. 17 je vyfocen omezovač přepětí CLX firmy Tyco Electronics. Jedná se o kombinaci ochranného jiskřiště a odporových bloků ZnO. Je určen pro instalace ve vedeních s izolovanými vodiči v blízkosti izolátorů, kde dochází při příchodu přepětěové vlny k častým přeskokům. Pokud po přeskoku dojde k zapálení oblouku, zpravidla po zapálení setrvává na jednom místě a tím by mohlo dojít k přerušení vodiče a jeho pádu na zem. Tento omezovač zabrání po zapálení oblouku vzniku následného proudu díky kombinaci jiskřiště s odporovými bloky a nezpůsobí tak trvalé jednofázové zemní spojení. [19]



Obr. 17 Svodiče přepětí na izolovaném vedení, kombinace varistoru a jiskřiště [19]

7. Měření parametrů svodičů přepětí

7.1. Měření na svodičích přepětí nn

Pro svou práci jsem si vybral svodiče přepětí, na kterých jsem provedl kontrolní měření ve školní laboratoři. K měření byl využit jeden vzorek tuzemského výrobce, omezovač přepětí firmy Acer a jeden svodič přepětí polského výrobce Apator. Oba svodiče jsou určené pro instalaci v distribučních rozvodech nn na holé AlFe lana, obr. 18. Svodiče lze použít také na izolované vodiče, zde se použije izolovaná propichovací svorka, v tomto případě lze montáž svodiče provést pod napětím.



Obr. 18 Svodiče přepětí do sítí nn [20],[21]

V obou případech se jedná o bezjiskřišťové omezovače složené z varistorových bloků s tepelným odpojovačem pro zabránění vzniku požáru při překročení energetické kapacity omezovače, s následnou signalizací poruchy signalizačním víčkem ve spodní části pouzdra, viz obr. 19. [21] Pohlčená energie varistorem vychází ze vztahu

$$W = \int_{t_1}^{t_2} ui dt. \quad (3)$$

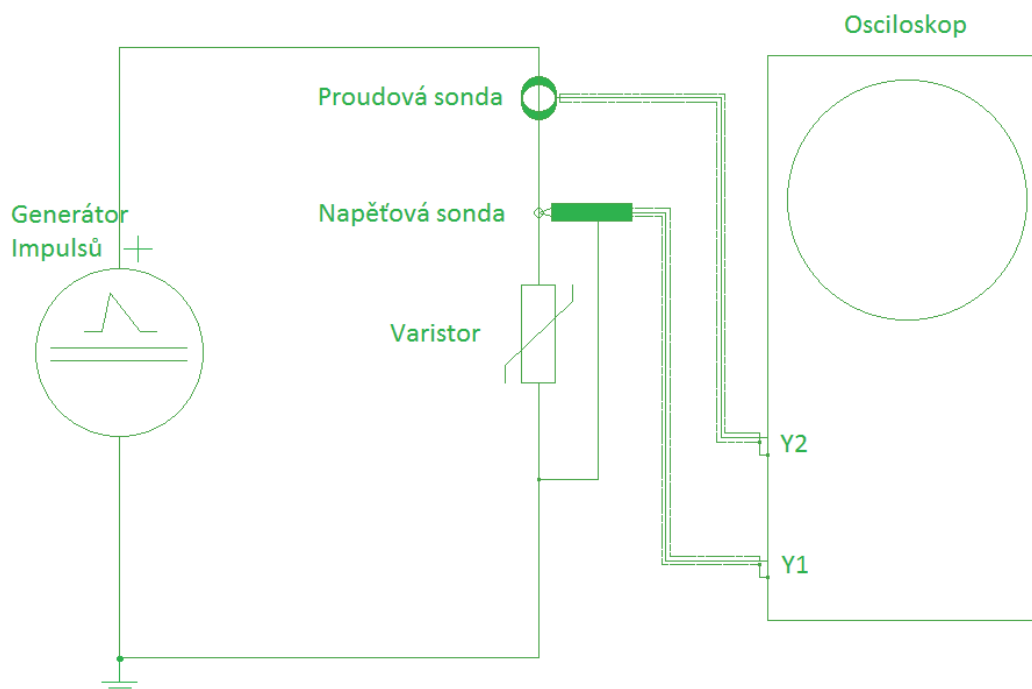
Výstupy z tohoto měření jsou uvedeny v následující kapitole. Podrobnější technické a elektrické parametry lze najít v příloze této bakalářské práce, viz datové listy výrobců.



Obr. 19 Omezovač s vybaveným odpojovačem a otevřeným signalizačním víčkem při poruše [21]

7.2 Výstupy z měření varistorových svodičů přepětí

Měření ve školní laboratoři proběhlo s pomocí multifunkčního testovacího generátoru EM TEST, typ UCS500N, osciloskopu LeCroy, typ WAVEPRO[®]7000A ve spojení s proudovou sondou LeCroy, typ CP500 a VN sondou LeCroy s převodním poměrem 1000:1. Zapojení obvodu pro měření je vyobrazeno na obr. 20.



Obr. 20 Schéma zapojení měřeného varistorového omezovače

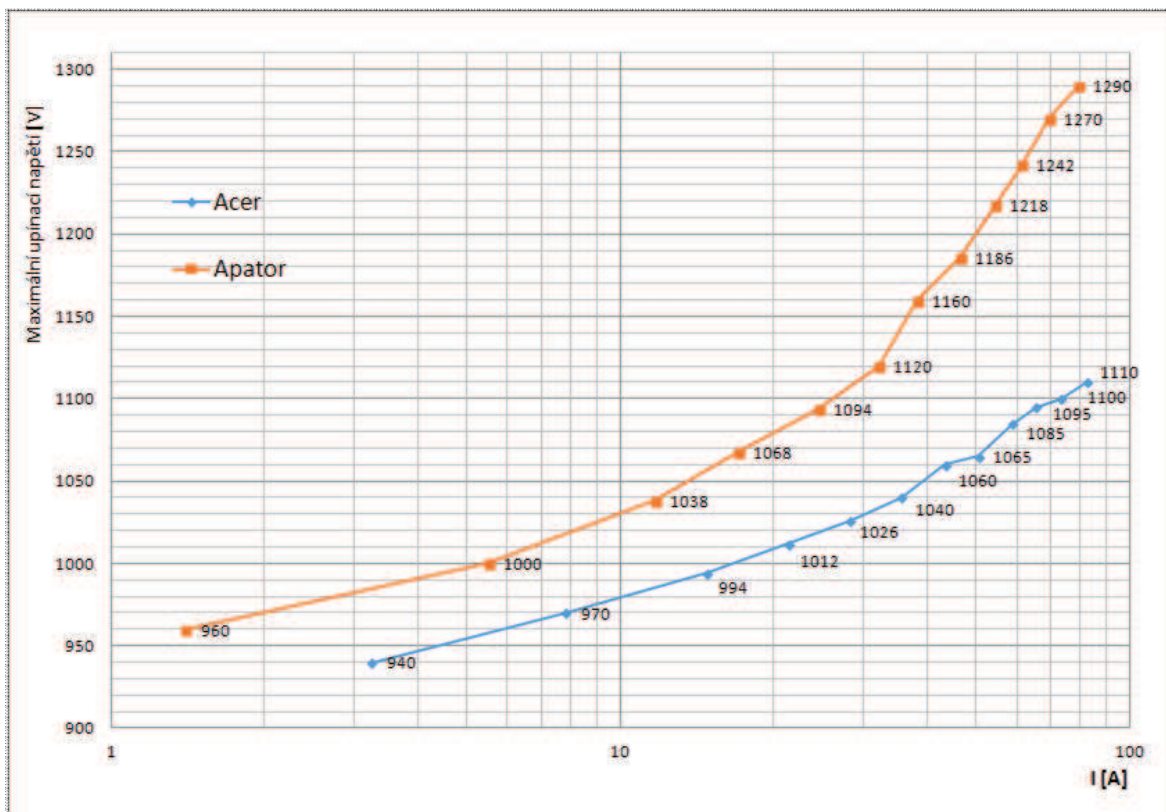
Měření proběhlo zkušební rázovou vlnou $1,2/50 \mu\text{s}$ s maximálním nastaveným zkušebním napětím 2,1 kV a maximálním rázovém proudem 80A. Výrobce uvádí pracovní rozsah generátoru $0,16 - 5 \text{ kV} \pm 10 \%$, s tolerancí $1,2 \mu\text{s} \pm 30 \%$ / $50 \mu\text{s} \pm 20 \%$. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány v tabulce 4. V prvním sloupci je nastavené napětí na zdroji, ve druhém sloupci pak skutečná špičková hodnota napětí změřená osciloskopem při zapojení naprázdno. V dalších sloupcích jsou data naměřená se zapojeným svodičem přepětí výrobce Acer a Apator.

Tab. 4 Tabulka naměřených dat

| Vlna 1,2/50 μs | | Apator | | Acer | |
|---------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Uset [V] | U0 [V] | Ureal [V] | Isvod [A] | Ureal [V] | Isvod [A] |
| 800 | 774 | 774 | 0 | 774 | 0 |
| 900 | 868 | 858 | 0,4 | 858 | 0 |
| 1000 | 972 | 960 | 1,4 | 940 | 3,25 |
| 1100 | 1054 | 1000 | 5,5 | 970 | 7,8 |
| 1200 | 1160 | 1038 | 11,7 | 994 | 14,8 |
| 1300 | 1248 | 1068 | 17 | 1012 | 21,32 |
| 1400 | 1330 | 1094 | 24,5 | 1026 | 28,1 |
| 1500 | 1430 | 1120 | 32,15 | 1040 | 35,6 |
| 1600 | 1540 | 1160 | 38,3 | 1060 | 43,4 |
| 1700 | 1625 | 1186 | 46,4 | 1065 | 50,4 |
| 1800 | 1730 | 1218 | 54,5 | 1085 | 58,8 |
| 1900 | 1835 | 1242 | 61,4 | 1095 | 65,4 |
| 2000 | 1930 | 1270 | 69,3 | 1100 | 73,2 |
| 2100 | 2025 | 1290 | 79,2 | 1110 | 82,2 |

Z naměřených hodnot je vytvořen graf na obr. 21., ve kterém je znázorněna V-A charakteristika obou svodičů, v rozsahu měřených hodnot. Tyto hodnoty jsou spolu s údaji z katalogových listů výrobců použity po úpravě pro model svodiče, viz kapitola 8.

Oba svodiče jsou vyrobeny do instalací nn na vzdušné vodiče, parametrově by se neměly výrazně lišit a naměřená data to potvrzují. O něco lepší průběh napětí a proudu vykazuje svodič přepětí českého výrobce Acer. V oblasti nižších napětí byl svodový proud Aceru neměřitelný, zbytkové napětí při zkoušce rázovou vlnou je také o něco nižší, to svědčí o větší strmosti nelineárního odporu varistoru.



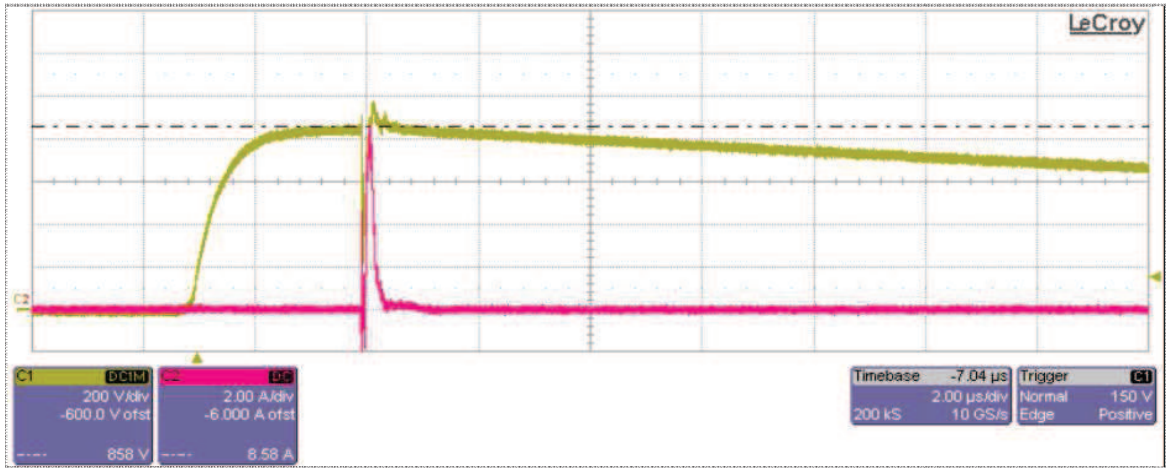
Obr. 21 Průběhy proudu a napětí na svodičích přepětí při měření

Zajímavý je výstup z obrazovky osciloskopu na obr. 22, objevuje se tu anomálie na měřeném svodiči polského výrobce Apator v podobě krátkých impulsů, bude vysvětleno níže. Na následujícím obr. 23 je zobrazen průběh napětí a proudu na omezovači Acer, za shodných podmínek. Print Screen obrazovek osciloskopu je z testu s testovací rázovou vlnou o amplitudě 900 V.

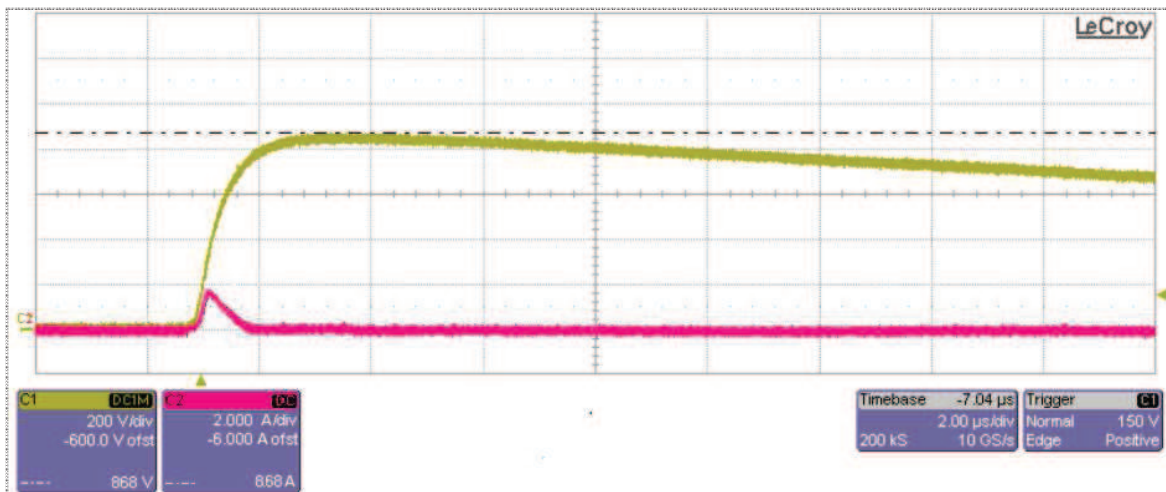
Napětí 900 V je hodnota napětí (přepětí), kdy by se neměl varistor ještě otevírat. U Aceru se objevuje počáteční nabíjecí proud zhruba 5 A. Tento proud částečně vychází ze vztahu

$$I_c = c \frac{dU_c}{dt} \quad (4)$$

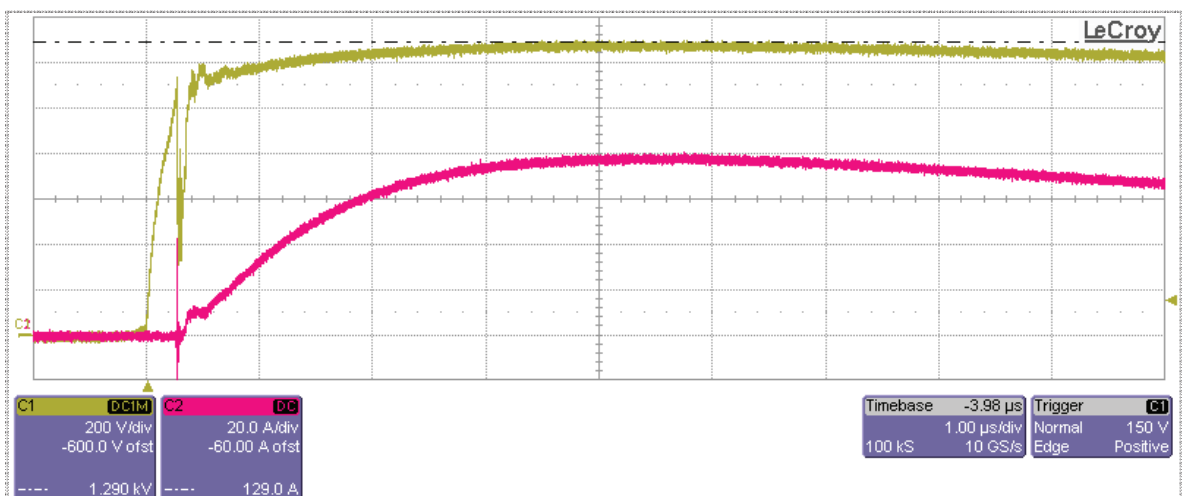
a je dán prudkou změnou napětí (1,2 μ s). Za normálního provozu v elektrické síti při frekvenci 50 Hz je tento proud zanedbatelný. Kapacita svodiče je dána skládáním varistorových bloků do série a je také zohledněna v modelu svodiče přepětí, viz obr. 27. Částečně se na tomto proudu také podílí kapacita vstupní části osciloskopu a připojené napěťové sondy, jak bylo ověřeno při měření.



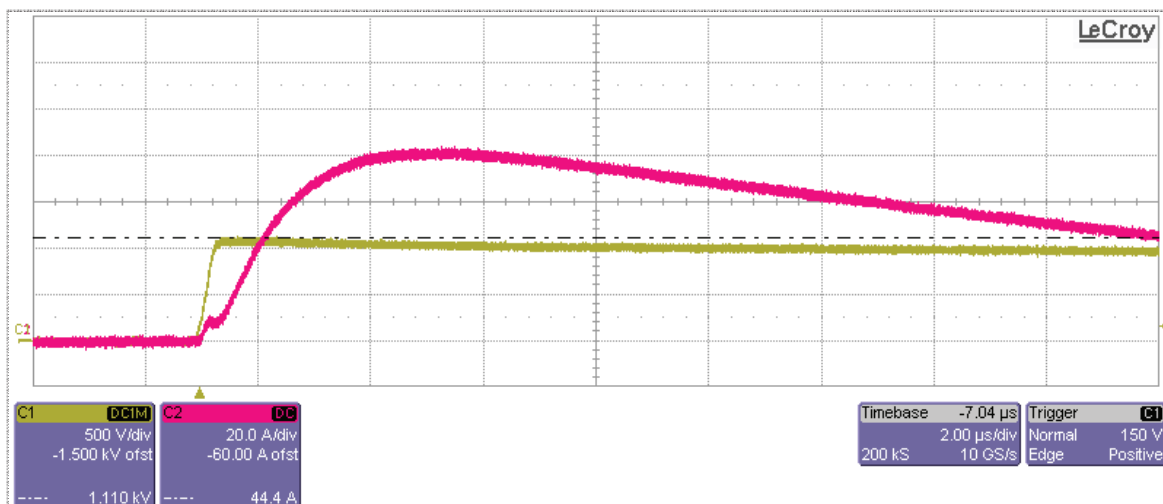
Obr. 22 Průběh napětí a proudu rázovou vlnou 8/50 μs, 900 V, svodič Apator



Obr. 23 Průběh napětí a proudu rázovou vlnou 8/50 μs, 900 V, svodič Acer



Obr. 24 Průběh napětí a proudu rázovou vlnou 8/50 μs, 2100 V, svodič Apator



Obr. 25 Průběh napětí a proudu rázovou vlnou 8/50 μ s, 2100 V, svodič Acer

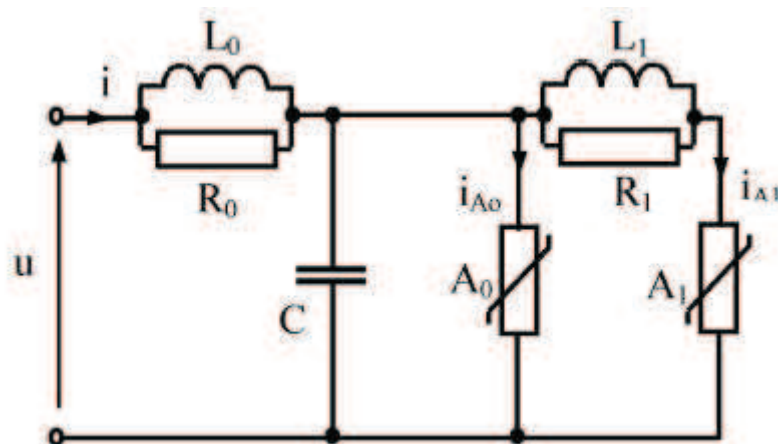
Jak již bylo uvedeno, na obrázcích 22 a 24 se objevují u svodiče Apator proudové impulsy. V tomto dynamickém režimu dochází u svodiče Apator k průrazům. S největší pravděpodobností tento měřený svodič nemá dobré spojení mezi přívodními svorkami a varistorovými bloky, jedná se tedy o vadný výrobek. Po připojení testovacího napětí nereaguje na čelo přepět'ové vlny podobně, jako tomu bylo u svodiče Acer, ale po určitém čase, jak roste přiložené testovací napětí, dojde k vytvoření vodivého kanálu mezi vadnými kontakty a tím dojde k průrazu projevujícím se proudovými zákmity, poté proud přejde do ustáleného stavu. Na obr. 24 a 25 je vidět odezva svodičů na vlnu 1.2/50 μ s, 2100 V. Oba svodiče omezují rázovou vlnu na stanovenou mez, konkrétně na hodnotu 1290 V a 1110 V, plní tak svoji funkci omezovače přepětí. Naměřená data vadného svodiče Apator se z důvodu projevené chyby mohou brát v potaz jen jako orientační údaje, ale i přesto jistou vypovídající hodnotu mají.

8. Simulace svodiče přepětí

8.1 Model svodiče přepětí podle IEEE

Matematický model MOV by měl co nejpřesněji kopírovat chování skutečného svodiče přepětí během průchodu přepět'ové vlny. Skutečný varistorový svodič přepětí je realizován odporovými bloky nejčastěji složenými ze ZnO. Odpor těchto bloků je nelineární, klesá se zvyšujícím se napětím na svorkách svodiče viz kapitola 6.2. V oblasti malého napětí je charakteristika v souladu s Ohmovým zákonem, ale při překonání bariéry valenčního pásu polovodičové vrstvy se charakteristika prudce mění a stává se silně nelineární. Při modelaci varistorového svodiče při bleskových výbojích, doprovázených velkými proudovými vlnami, se jedná veskrze o třetí část proudové charakteristiky, ve které proud prudce narůstá. [22]

Pracovní skupina IEEE Working Group 3.4.11 (technika modelování svodiče přepětí) vytvořila model svodiče přepětí pro modelování varistorů složených z oxidů kovů. V této studii byl vytvořen model svodiče vyobrazený na obr. 26. Oproti modelům s jedním nelineárním odporem je toto zapojení frekvenčně závislé a tedy vhodné pro modelování svodičů s rychlými změnami na svorkách, které vyvolávají např. přepět'ové vlny způsobené bleskovými výboji. Toto zapojení by mělo dávat dostatečně přesné výsledky výstupů z počítačové simulace. Modely s jedním nelineárním rezistorem jsou naopak vhodné pro modelování svodičů při pomalých spínacích přepětích, vyvolaných např. spínáním kapacitních zátěží, otevřených vedení apod. Tato přepětí jsou v řádu trvání sekund a namáhají více svodiče, než samotné chráněné zařízení, proudem řádu ampér. Pokud by proud svodičem tekl mimo stanovenou dobu, výsledky simulace by se pro tento model neblížily realitě. [23]



Obr. 26 Model svodiče přepětí podle IEEE [23]

Podle IEEE byl tedy vytvořen frekvenčně závislý model, vhodný pro modelování MOV. Tento model je rozdělen do dvou částí A_0 a A_1 , s předřazenými frekvenčně závislými RL filtry. Pro pomalá čela přepět'ových vln je impedance svodiče malá. Teprve s příchodem

rychlých přepět'ových vln se tyto filtry více uplatní. Následkem toho dosahuje proud tekoucí blokem A_0 větších hodnot, než v bloku A_1 . Takovýto model se vyznačuje vyšší hodnotou zbytkového napětí, jako je tomu také ve skutečnosti u reálných MOV svodičů. Z následujících rovnic 5 – 9 lze vypočítat hodnoty jednotlivých prvků RLC, obsažených v modelu svodiče. [22],[23]

$$L1 = 15 \frac{d}{n} [\mu H] \quad (5)$$

$$R1 = 65 \frac{d}{n} [\Omega] \quad (6)$$

$$L_0 = 0,2 \frac{d}{n} [\mu H] \quad (7)$$

$$R0 = 100 \frac{d}{n} [\Omega] \quad (8)$$

$$C = 0,2 \frac{n}{d} [pF] \quad (9)$$

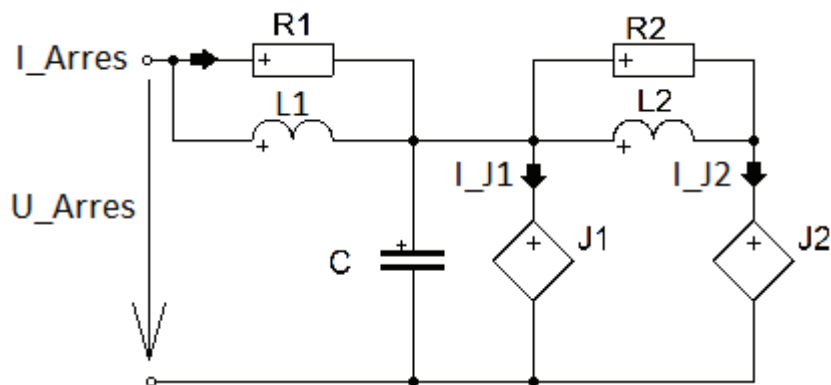
kde:

d – výška sloupců varistoru [m]

n - počet paralelních varistorových sloupců [-]

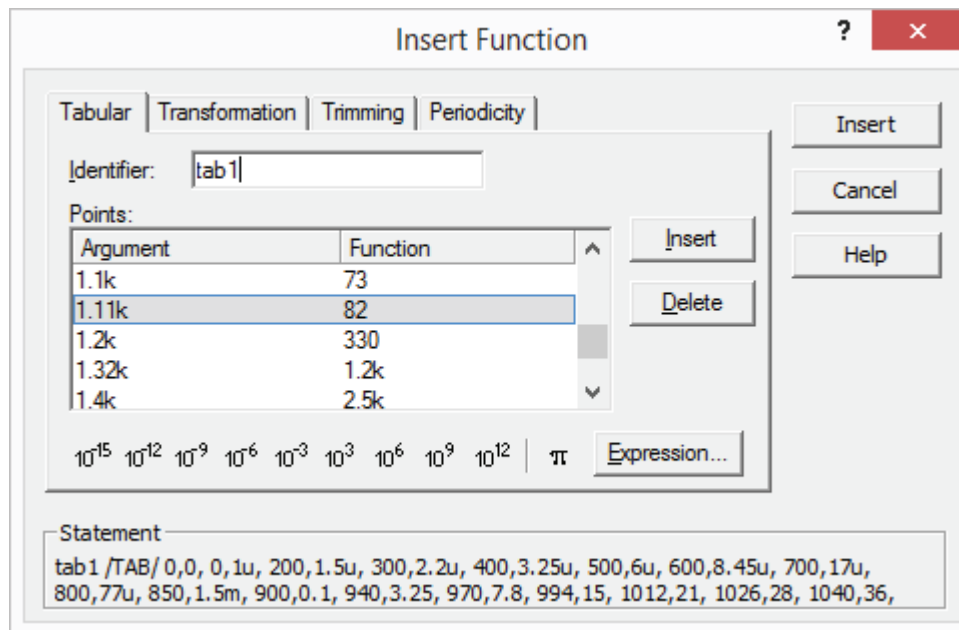
8.2 Vytvoření modelu svodiče přepětí v simulačním prostředí Dynast

V simulačním prostředí programu Dynast je vytvořen model podle IEEE, vyobrazený na obr. 27. Nelineární rezistory jsou nahrazeny proudovými zdroji, které jsou pro modelování v Dynastu přístupné a jsou také pro simulaci v tomto programu jediné vhodné. K tomuto modelu je připojeno modelové napájecí vedení realizované prvky RLC, po kterém se jako ve skutečné síti za normálního stavu se zapojenými svodiči šíří přepět'ová vlna po vedení. V knihovně Dynastu jsou pro tyto účely předdefinované některé typy vedení tvořené např. Π -článkem apod.



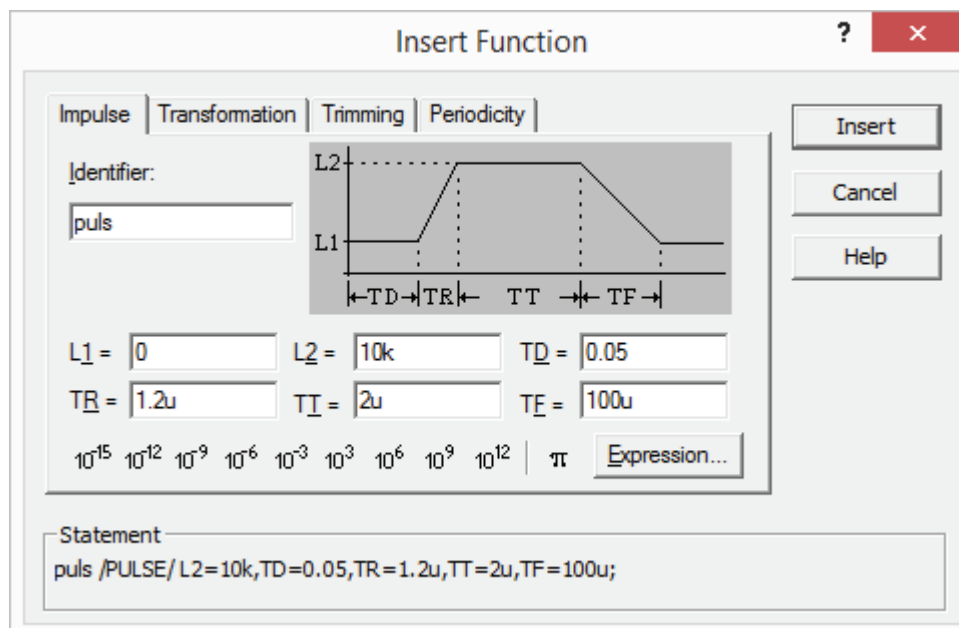
Obr. 27 Model IEEE metal oxidového varistoru vytvořený v Dynastu

Bloky A0 a A1 jsou v Dynastu, jak již bylo napsáno, zastoupeny proudovými zdroji, namísto nelineárních odporů, jak tomu je u modelu vytvořeného IEEE. Parametry proudového zdroje se dají v Dynastu definovat tabelární funkcí, zadávanou formou dvojic diskretních hodnot funkce $y = f(x)$ viz obr. 28. Parametry lze zadávat také pomocí jiných funkcí, přístupných v Dynastu. Tabelová funkce se ale jevila jako nejideálnější.



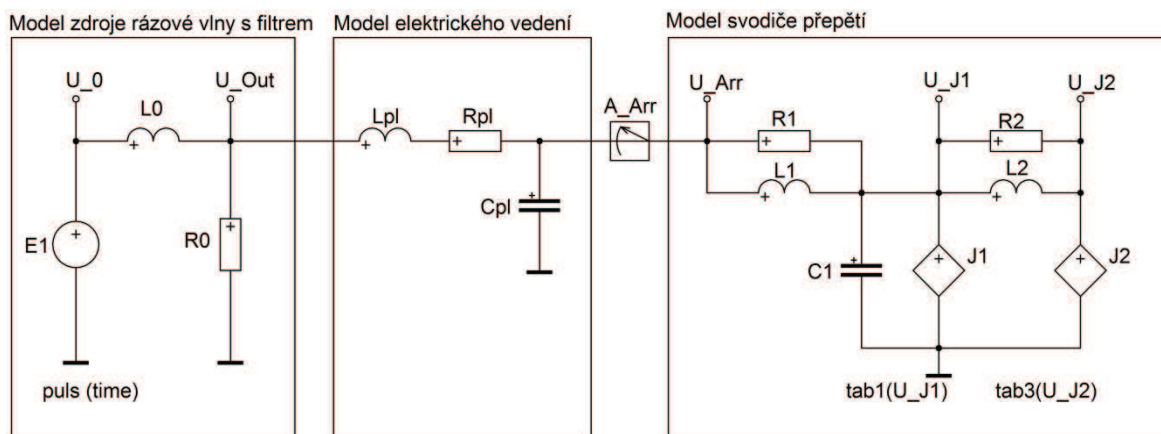
Obr. 28 Definování tabelární funkce

Přepěťová vlna se v Dynastu definuje pomocí impulzní funkce. V dialogu této funkce je vyobrazení, ze kterého lze snadno pochopit význam všech zadávaných parametrů. Parametry lze zadat pomocí číselných konstant, nebo symbolických výrazů viz obr. 29.



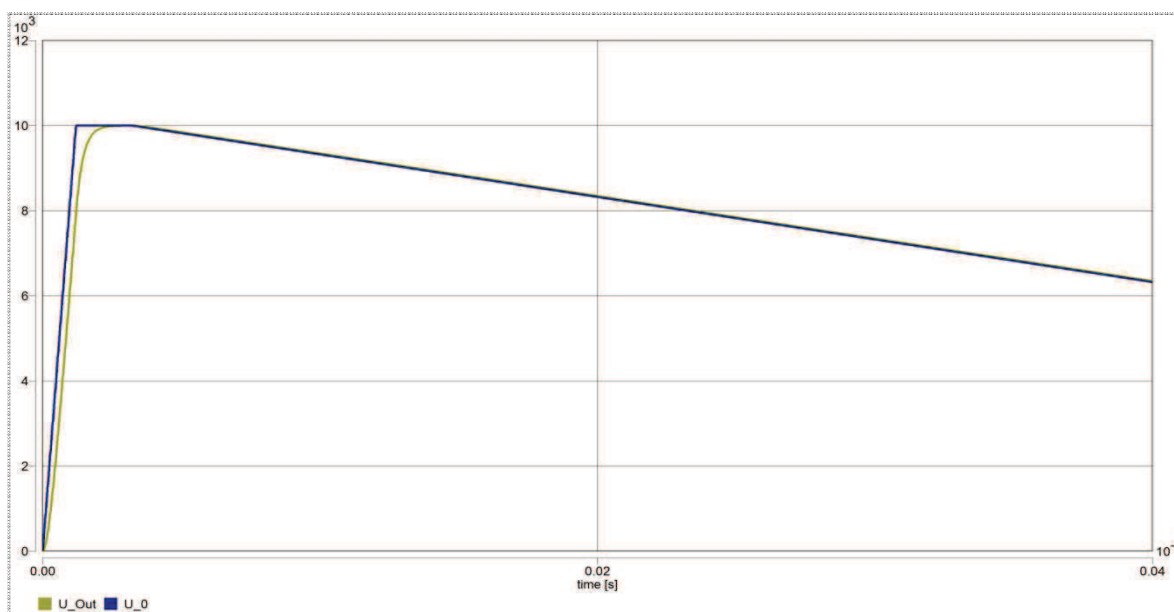
Obr. 29 Nadefinování impulzní funkce v Dynastu

Pasivní, ale i některé základní aktivní prvky jsou v Dynastu předdefinovány a zadávány z dostupných knihoven. Dynast automaticky přiřazuje čísla pozic použitých prvků ve schématu, případně se můžou ručně změnit pro lepší přehlednost. Samozřejmě se zadává velikost veličiny daného prvku, v tomto případě prvků RCL. [24] Na obr. 30 je vyobrazeno celé elektrické zapojení pro simulaci. Je rozčleněno na tři části: model zdroje, model vedení a samostatnou část tvoří také model svodiče přepětí.



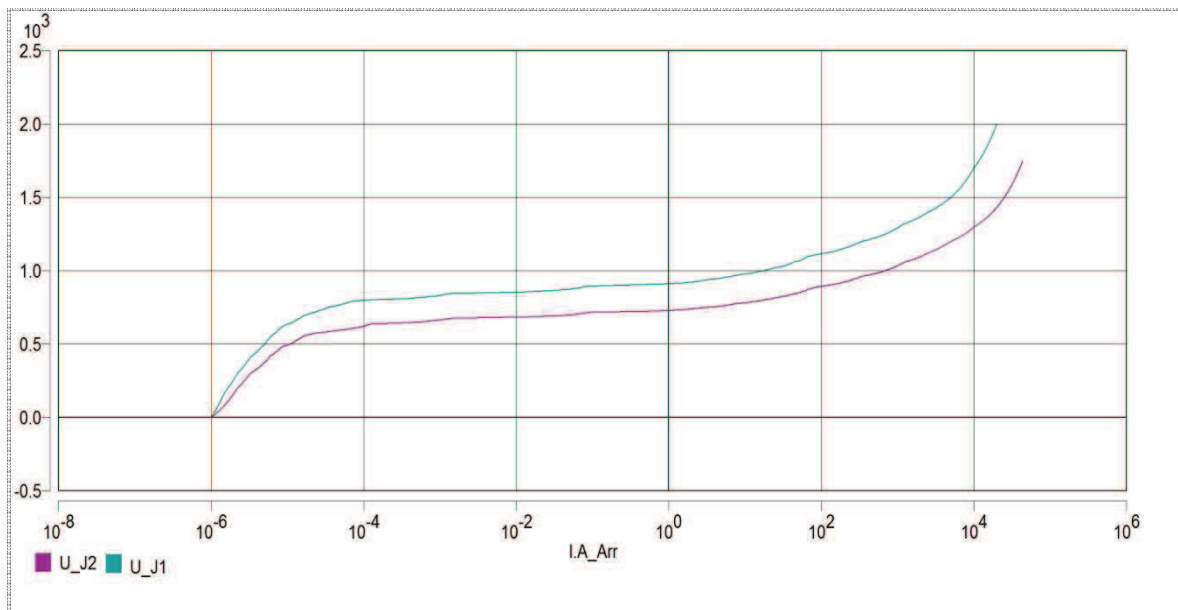
Obr. 30 Schematické zapojení obvodu pro simulaci v programu Dynast

Rázová vlna nelze v Dynastu pomocí impulsní funkce vygenerovat hladká, jen s ostrými přechody. Je to možné vypořádat z dialogového okna impulsní funkce, obr. 29. Pro co nejněvhodnější průběh modelované zkušební vlny je na výstupu zdroje zařazen filtr tvořený indukčností $L0$ a odporem $R0$. Původní průběh a průběh impulsní funkce na výstupu filtru je znázorněný na obr. 31. Na svislé ose je vyneseno výstupní napětí zdroje, upravené filtrem pro simulaci.



Obr. 31 Graf funkce výstupní rázové vlny U_out za filtrem a průběh původní funkce U_0

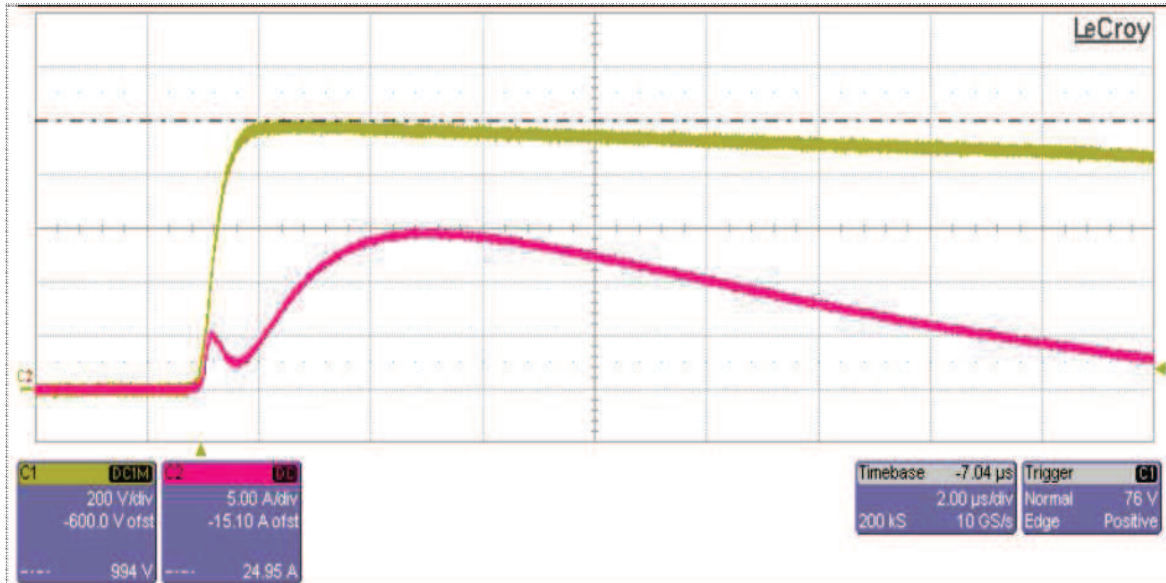
V tabelové funkci pro proudový zdroj J1 jsem použil data naměřená ve školní laboratoři, viz tabulka 4 a pro maximální limitní hodnoty je doplněna o data uvedená v datovém listu výrobce Acer, viz příloha č. 1 a 2. Podle pramenu [23] byly podobně přepočítány hodnoty pro proudový zdroj J2, druhého bloku modelu. Po provedení simulace a nastavení správných hodnot pro výpočet jsem dostal graf zobrazený na obr. 32, zobrazující přenosovou V-I charakteristiku bloků A0 a A1. Maximální upínací napětí cca 2 kV patří bloku s proudovým zdrojem J1 a upínací napětí 1.7 kV patří proudovému zdroji J2, při proudu přibližně 10 kA oběma bloky.



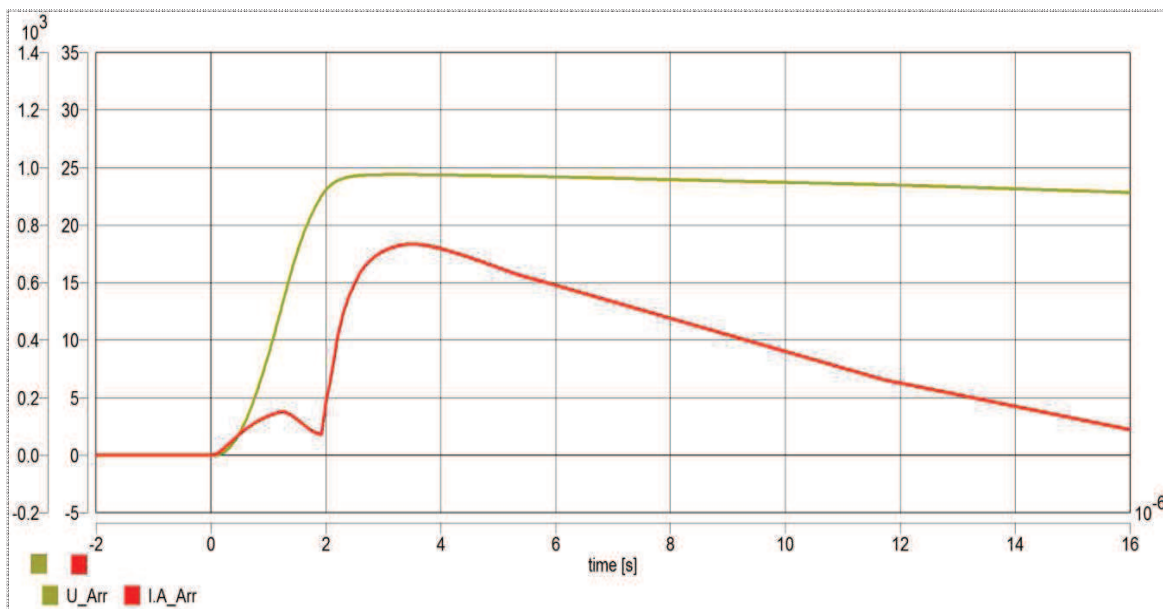
Obr. 32 V-I charakteristika bloku A0 a A1

Na obr. 33 je časové zobrazení průběhu napětí a proudu při rázové vlně 1,2/50 μ s a výbojovém proudu 15 A, měřené na svodiči Acer, typ SPB 0,440/10 ve školní laboratoři. Pro srovnání je na obr. 34 počítačová simulace z Dynastu, která se velice blíží průběhem naměřeným hodnotám ve školní laboratoři. Objevuje se zde i počáteční nabíjecí proud svodiče, obdobně jako u reálného prvku. Je velice uspokojivé, že výsledek simulace z obr. 34 odpovídá nastavení parametrů modelového vedení, jako zapojení při měření svodiče ve školní laboratoři. Pokud se s těmito hodnotami vedení vygeneruje přepět'ový impuls s podobnou velikostí jako při bleskovém výboji, tak při takto nízké impedanci vedení proudový impuls mnohonásobně překročí jmenovité i maximální hodnoty impulsního proudu svodiče, tzn. podobně jako v reálném zapojení. Pokud by blesk uhořel do vedení v bezprostřední blízkosti svodiče a uplatnila by se jen velice malá impedance sítě, následovalo by překročení energetické kapacity varistoru a došlo by ke zničení součástky, následované vybavením pojistného odpojovače, jak je např. znázorněno na obr. 19. Výsledek podobné situace ze simulace je vyobrazený na obr. 35. V případě, že by došlo k bleskovému výboji ve větších vzdálenostech, uplatní se více také impedance sítě, na které vzniknou úbytky napětí. Přepět'ová vlna tak dorazí k místu připojení svodiče ponížená o tyto úbytky a tím pádem dojde také ke snížení proudového zatížení svodiče.

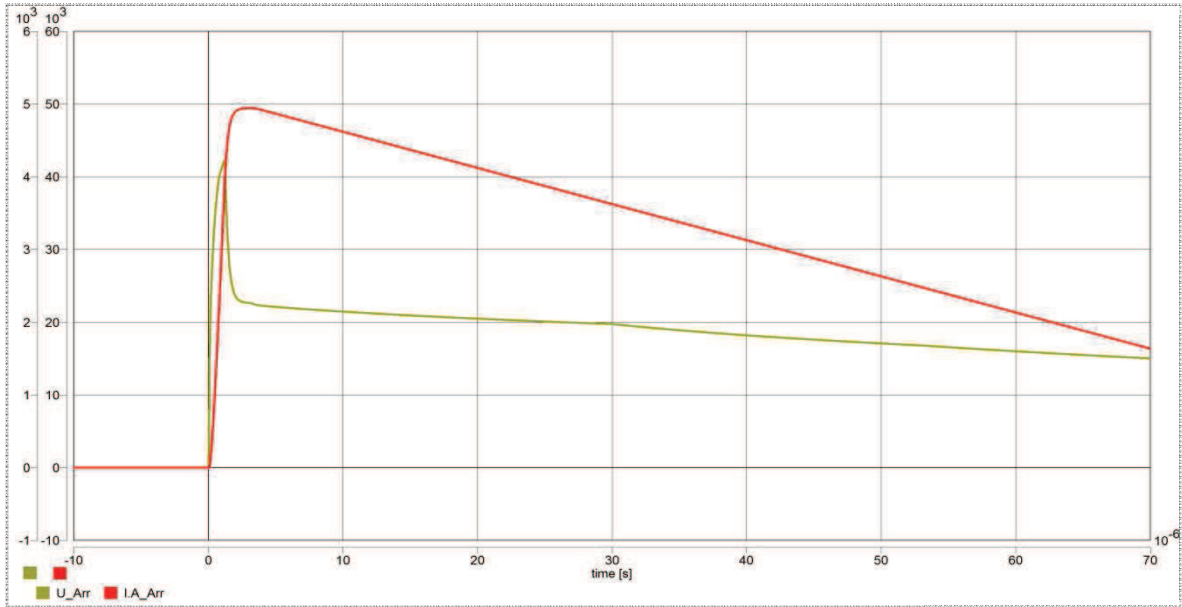
V datových listech výrobce Acer uvádí maximální špičkový proud svodičem 40 kA při tvaru vlny 8/20 μ s. Podle vytvořeného modelu by měl zvládnout omezit takovouto proudovou vlnu, na ochrannou napěťovou hladinu cca 2,2 kV, viz graf na obr. 36.



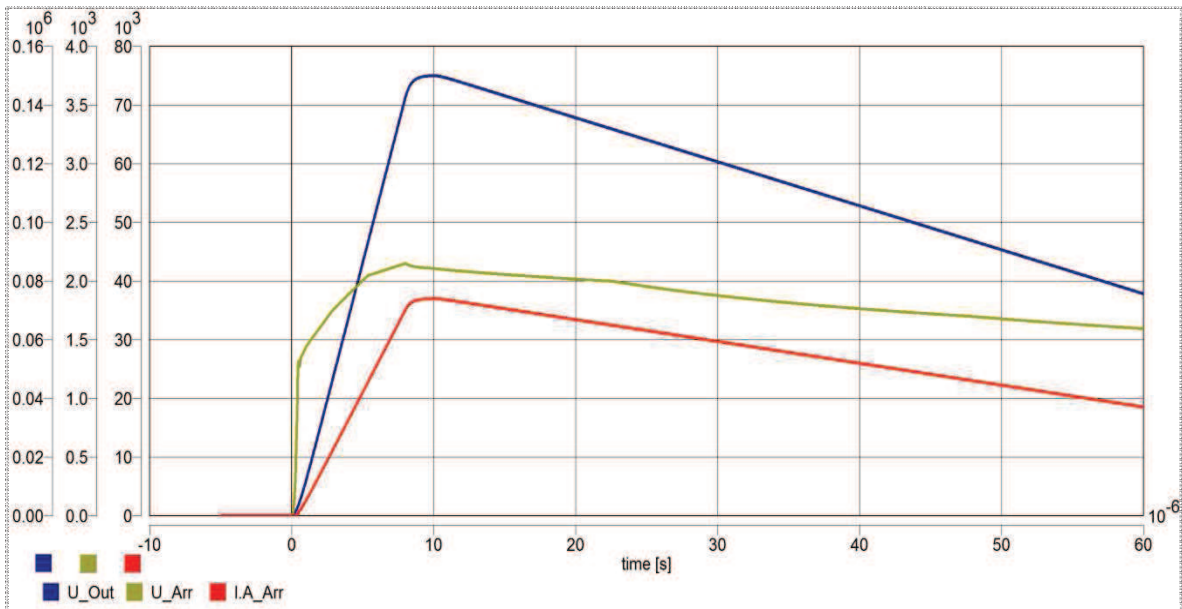
Obr. 33 Časový průběh na svodiči Acer (Le Croy)



Obr. 34 Odezva modelu svodiče při simulaci zkoušky napěťovým impulsem



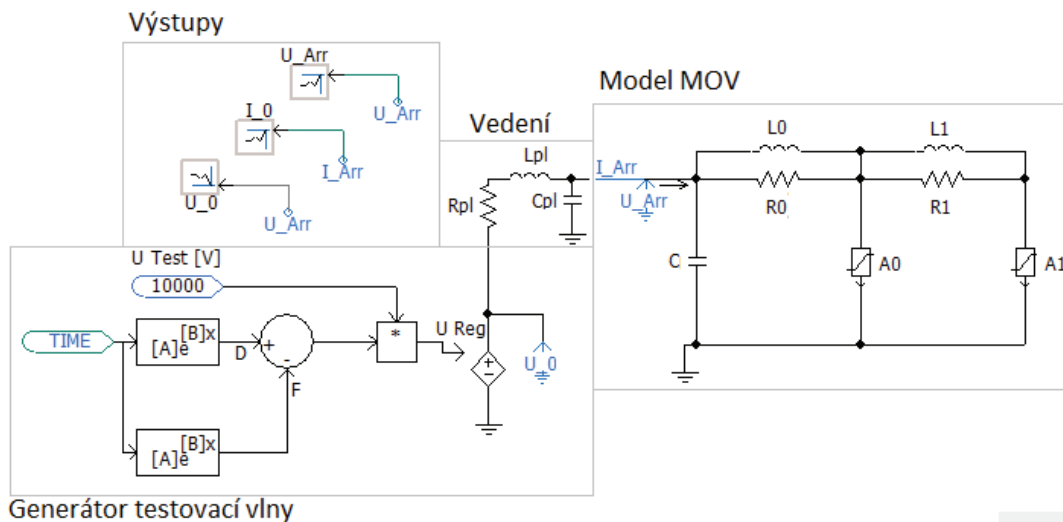
Obr. 35 Časový průběh na varistoru při překročení mezních hodnot



Obr. 36 Časový průběh modelu při zkoušce rázovou vlnou 8/20 μ s

8.3 Model svodiče přepětí v simulačním prostředí PC CAD

Druhý model je vytvořen v programu PC CAD. Schéma zapojení vytvořeného modelu, jak byl sestaven pro simulaci, je vyobrazeno na obr. 37. Podobně jako v modelu pro program Dynast se model v programu PC CAD skládá ze tří částí, čtvrtou část zde tvoří výstupy jednotlivých uzlů pro měření, na které se odkazují výstupní grafy.



Obr. 37 Zapojení obvodu pro simulaci v softwaru PC CAD

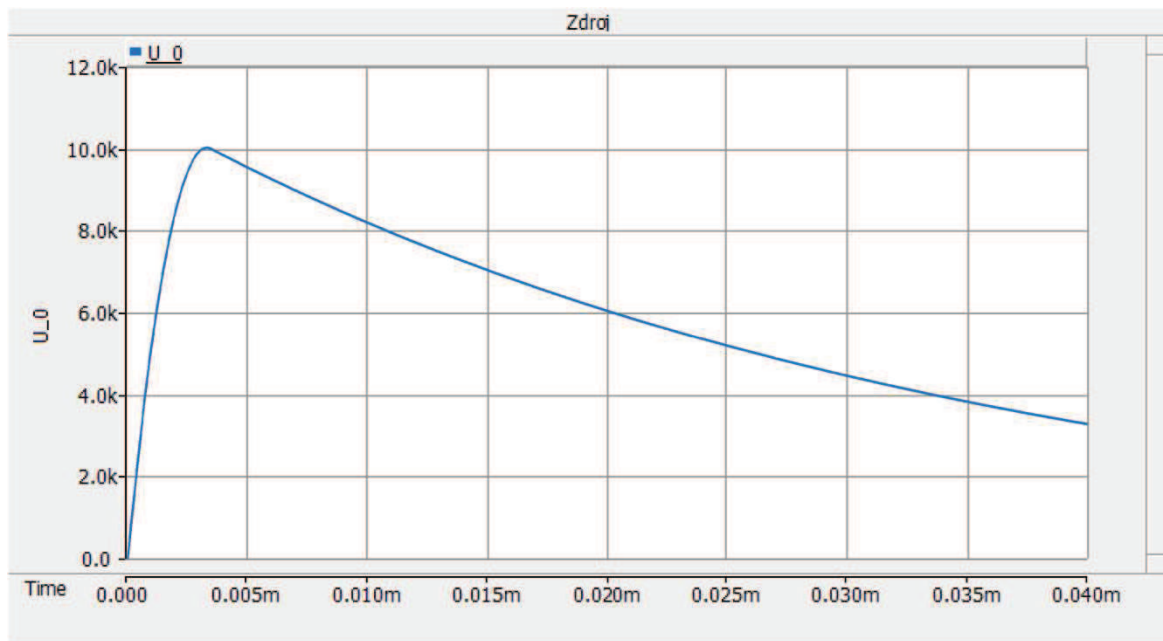
Model svodiče zde tvoří nelineární rezistory s VA charakteristikou definovanou uživatelsky tabulkou, uloženou v datovém souboru. Použitá data jsou shodná s daty použitými pro model v Dynastu, parametry obou filtrů a kondenzátoru na vstupu modelu jsou opět vypočítané podle zdroje [23].

Pro sestavení zdroje testovací rázové vlny je v knihovně PC CAD k dispozici funkce, nazvaná generátor přepětí. Parametrově je podobná impulsní funkci v předešlém modelu v programu Dynast. Lepší parametry ovšem skýtá zapojení, vyobrazené na obr. 37, v části nazvané Generátor testovací vlny. Je zde vložen diferenční (součtový) člen se dvěma vstupy, do kterých jsou připojeny bloky, jejichž výstupy jsou exponenciální funkce, které v součtu dají potřebný tvar zkušební vlny, vycházející z rovnice 10.

$$U_{test} = U (e^{-at} - e^{-bt}) \quad (10)$$

Dále je na výstupu diferenciálního členu vložen multiplier, do jehož druhého vstupu je připojen blok Label, jehož parametrem je číselná konstanta, kterou jsem měnil velikost simulované rázové vlny. Na výstupu generátoru je zapojen regulovatelný napěťový zdroj. Výstupní napětí generátoru je zobrazeno v grafu na obr. 38, s průběhem vlny 1.2/50 μ s a amplitudou 10 kV. Koncepce generování testovacího impulsu napěťovým zdrojem zůstala zachována podle modelu v Dynastu.

Řešení v podobě generování tvaru vlny pomocí dvou exponenciálních funkcí se vyznačuje lepším průběhem zkušební proudové vlny omezovačem přepětí a tvarem se velmi blíží normovaným vlnám. Velice záleží na počtu zadávaných dat pro řešení matematických výpočtů programu při simulaci. Řešení generování vlny pomocí impulsní funkce nebo generátorem přepětí vlny je omezeno na několik hodnot. Čím jsou vstupní data přesnější a průběhy hladší, vyskytuje se v nich daleko méně oscilací a napětíových špiček.

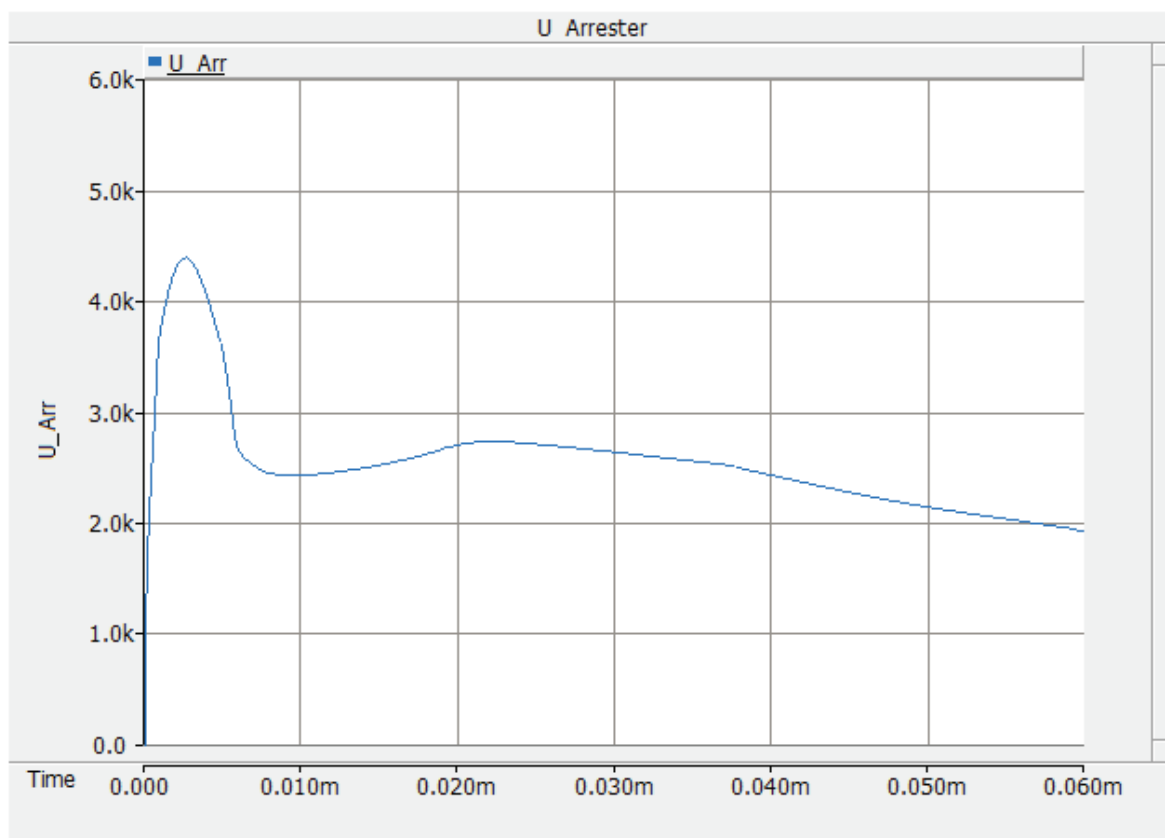


Obr. 38 Průběh zkušební vlny generátoru přepětí vlny

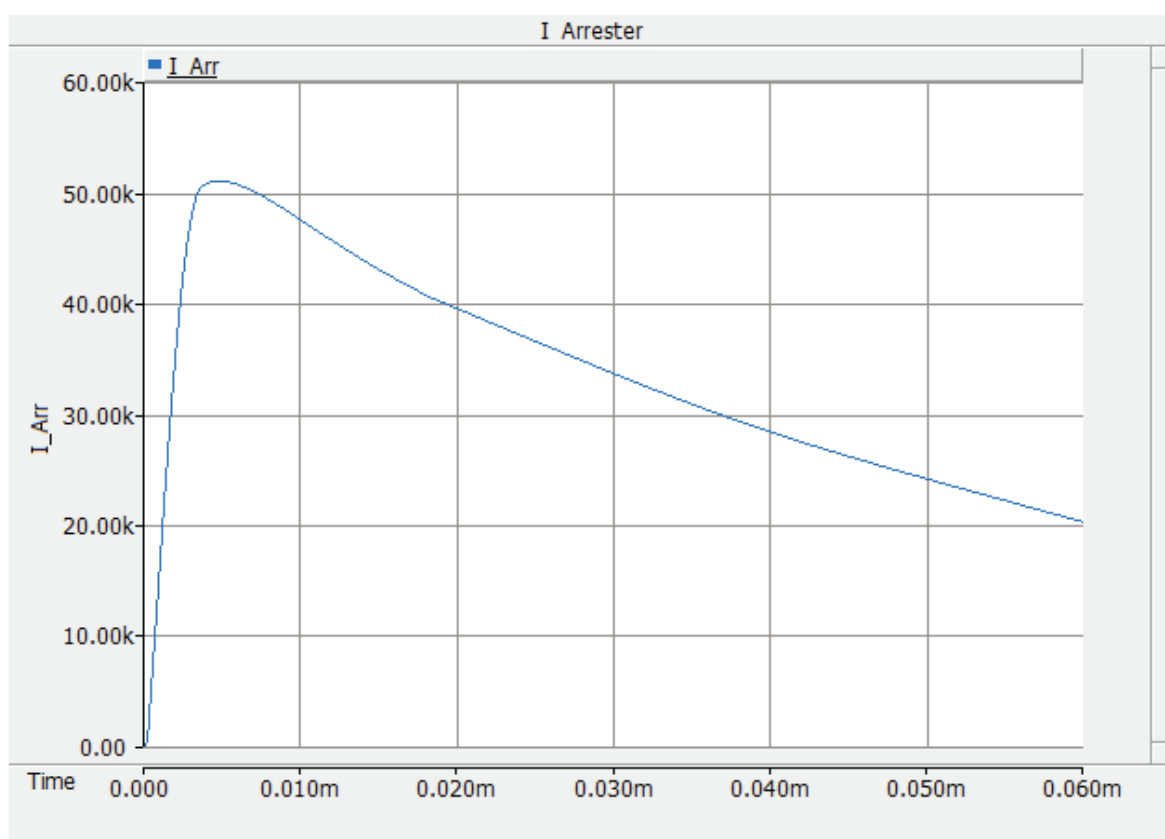
Model vedení má parametry shodné s modelem v Dynastu, pro snadné porovnání výsledků simulací. [25]

Grafické výstupy z této verze programu je možné exportovat do bitmapového nebo Meta-File souboru, s úpravou, jaká je v následujících grafech. Jedná se o Freeware verzi, takže v grafech lze zobrazit vždy jen jeden průběh. Omezení je také v počtu uzlů v zapojení a nepřístupných některých dalších funkcí.

V programu PC CAD jsem pro srovnání s programem Dynast provedl simulaci podobnou simulaci s průběhem napětí a proudu za podobných podmínek jako na obr. 35. Výstup z této simulace je zachycen na obr. 39 a 40. Lze zde pozorovat, že v simulaci v programu PC CAD je průběh o něco méně strmý a průběh napětí nevykazuje ostré přechody, jako tomu bylo v Dynastu. V odkazu na pramen [26] lze najít další srovnání se simulacemi, provedenými v programu Alternative Transient Program (ATP).

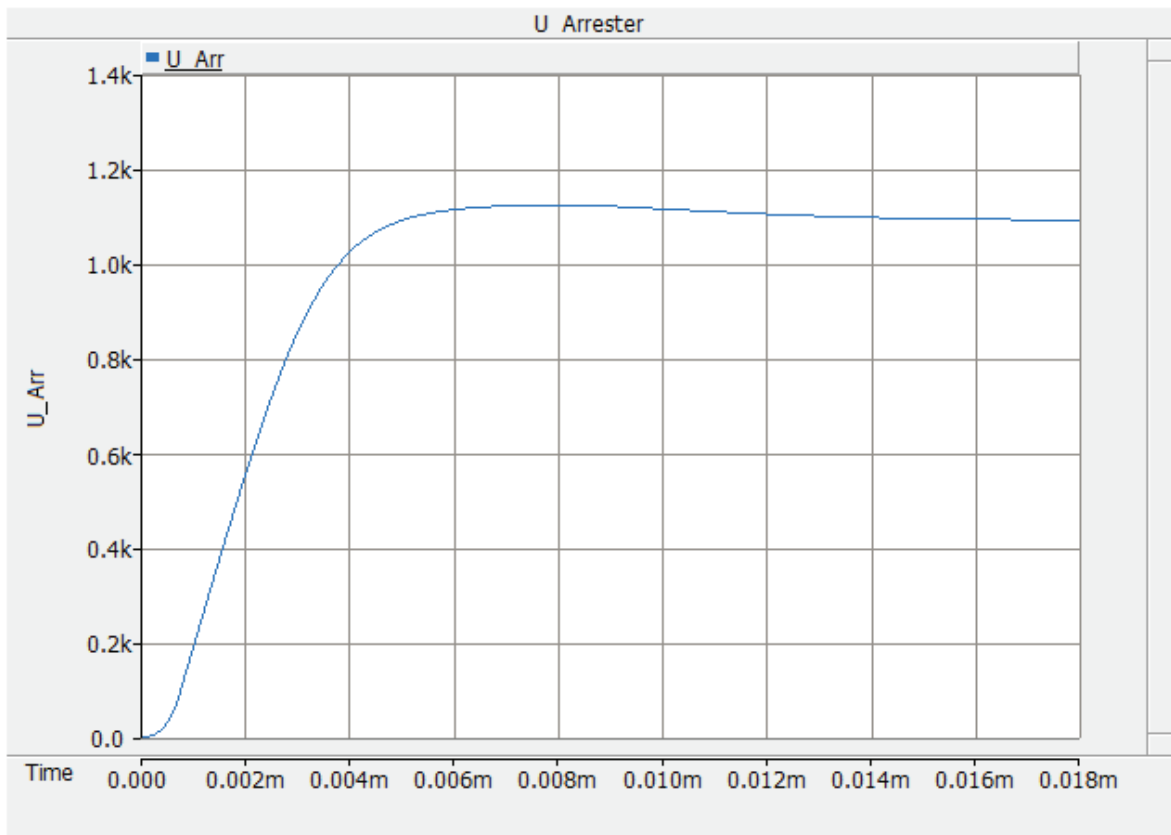


Obr. 39. Časový průběh napětí na varistoru při překročení mezních hodnot

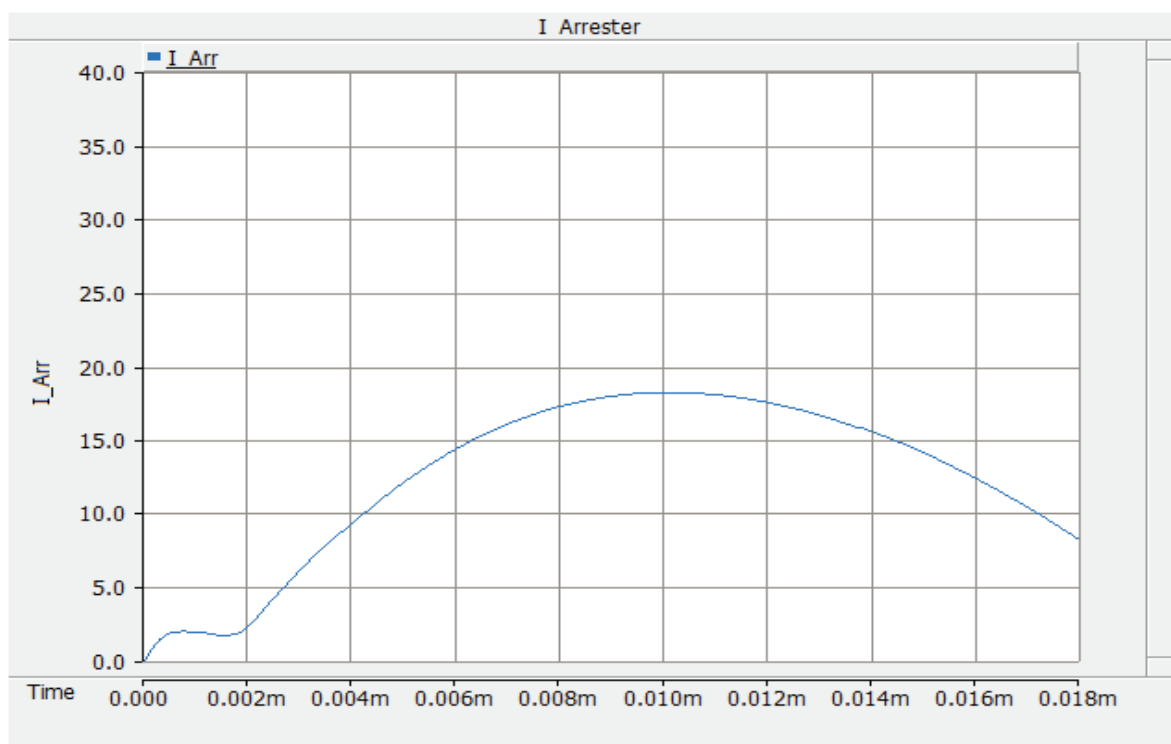


Obr. 40. Časový průběh proudu na varistoru při překročení mezních hodnot

V grafech na obr. 41 a 42 jsou znázorněny průběhy napětí a proudu ze simulace v programu PC CAD, se stejnými hodnotami přepět'ové vlny jako při simulaci v programu Dynast s průběhy zobrazenými v grafu na obr. 34.



Obr. 41 Odezva modelu svodiče zkoušky rázovým impulsem, průběh napětí



Obr. 42 Odezva modelu svodiče zkoušky rázovým impulsem, průběh proudu

9. Závěr

Model svodiče přepětí byl vytvořen podle modelu IEEE, ale není to jediný model pro simulace, který je v dostupné literatuře publikován. Další modely lze např. najít ve zdroji [26], ale jak již bylo řečeno, model IEEE dostatečně přesně odráží chování skutečného svodiče přepětí při příchodu přepětíové vlny způsobené bleskovým výbojem. Naopak není vhodný pro pomalé výboje vzniklé např. spínáním.

Při provádění simulace se Dynast ukázal jako velice dobré simulační prostředí pro jednodušší modely. Dají se vytvářet také sofistikovanější modely s více sekcemi, ale v programu Dynast se přidávání dalších sekcí již nijak výrazně neprojevovalo. Průběhy vykazovaly značné rozdíly od předpokládaných výsledků. U rozsáhlejších modelů s více vedeními nebo zátěžemi, jak je běžné u reálných vedení, vznikaly na průbězích různé oscilace, které výsledky znehodnocovaly. Program PC CAD je oproti Dynastu více vyvinuté simulační prostředí, obsahuje pokročilé funkce, ale bohužel v této freewarové verzi nemohly být využity. Podobně jako v programu Dynast simulace odpovídá reálným výsledkům a vytvořený model by se mohl použít v modelování rozsáhlejších sítí.

Z hodnot proudových a napětíových průběhů naměřených na skutečném svodiči přepětí a z grafů získaných ze simulací jsou patrné rozdíly, ale nejsou nijak zásadní. Dá se tedy usuzovat, že výsledky chování svodičů přepětí při simulacích s velkými bleskovými výboji, které lze v praxi jen velmi obtížně z měření získávat, se dají považovat za odpovídající skutečnosti.

Seznam použité literatury

[1] PNE 33 0000-7. *Navrhování a umístování svodičů přepětí v distribučních sítích do 1 kV.*

[2] PNE 33 0000-8. *Navrhování a umístování svodičů přepětí v distribučních sítích nad 1 kV do 45 kV.*

[3] PNE-33-0000-9. *Navrhování a umístování svodičů přepětí v distribučních sítích do 110 kV.*

[4] Přepět'ové ochrany, aplikační příručka OEZ [online]: [cit. 2015-05-02].

Dostupné z:

http://www.oez.cz/ke-stazeni/prirucky-letaky?utm_source=oez-cz&utm_medium=prirucky&utm_campaign=banner-HP

[5] 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.* IEC-61643-11:2011. Český normalizační institut, 2013.

[6] KRÍŽ, Michal. *Příručka pro zkoušky elektrotechniků - požadavky na základní odbornou způsobilost.* 8., aktualiz. vyd. Praha: IN-EL, 2010, 247 s. Elektro (IN-EL). ISBN 978-80-86230-50-4.

[7] ČSN EN 62305-1 ed. 2. *Ochrana před bleskem: Část 1: Obecné principy.* EN 62305-1:2011. Český normalizační institut, 2011.

[8] ČSN EN 62305-3 ed. 2. *Ochrana před bleskem: Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života.* EN 62305-3:2012. Český normalizační institut, 2012.

[9] ČSN EN 62305-4 ed. 2. *Ochrana před bleskem: Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách.* EN 62305-4:2011. Český normalizační institut, 2011.

[10] Saltek: FLP-B+C MAXI V/3. *Saltek* [online]. [cit. 2014-11-29]. Dostupné z: <http://www.saltek.eu/vyrobky/flp-bc-maxi-v3>

[11] ČSN 33 2000-4-443ed. 2. *Elektrické instalace budov: Část 4-44: Bezpečnost – Ochrana před rušivým napětím a elektromagnetickým rušením – Kapitola 443: Ochrana proti atmosférickým nebo spínacím přepětím*. HD 60364-4-443:2006. Český normalizační institut, 2007.

[12] TDK Epcos, Katalogový list *Surge Arrester A81-A600X*

[online]. [cit. 2015-03-29]. Dostupné z:

<http://en.tdk.eu/tdk-en/529940/products/product-catalog/protection-devices/voltage-protection/2-electrode-arresters--epcos-/search-results---2-electrode-arresters?so={%22orderingCode%22:%22B88069X2880S102%22}>

[13] Kolektiv autorů, *Encyklopedie elektromagnetické kompatibility*, Ústav radiotechniky FRVŠ [online]. [cit. 2014-11-29].

Dostupné z: <http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/index.php?src=node25>

[14] Littelfuse Katalogový list TVS Diodes Axial Leaded – 10kA > AK10 series , [online].

[cit. 2014-11-29]. Dostupné z:

http://www.littelfuse.com/~media/electronics/datasheets/tvs_diodes/littelfuse_tvs_diode_ak10_datasheet.pdf.pdf

[15] BrOK®, Katalogový list, *pásmová koaxiální přepěťové ochrany typ PKOpt-N-lambda-0,9G-BCD/F-M/F-M*, [online]. [cit. 2015-01-12]. Dostupné z:

<http://www.prepeti.cz/?q=katalogovy-list-pasmove-koaxialni-prepetove-ochrany-brok%C2%AE-typ-pkopt-n-lambda-09g-bcdf-mf-m>

[16] Obo Bettermann, katalogový list, *Ochranné jiskřiště*, [online]. [cit. 2015-04-12].

Dostupné z:

http://catalog9.obo-bettermann.com/catalogue/catalogue.do;jsessionid=E51ADC4680366C99E0BC2D4A5DD B1EB7.www15.02?favOid=tbs_20080&act=showIO&forward=showProductGroupView&action=showManyProducts&lang=cs&catId=TBS

[17] ROUS, Zdeněk. *Přepěťové ochrany v elektrických instalacích do 1 000 V*. 1. vyd. Praha: IN-EL, 1999, 148 s. ISBN 80-862-3006-6.

[18] Helštýn, David, Kačor, Petr, Hytka, Zdeněk. *Elektrické přístroje spínací ochranné a jisticí*. [online]. [cit. 2015-05. 10.]. Dostupné z:

http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/ep/ep_II/Elektricke%20%20pristroje%20spinac%ED%20ochranne%20a%20jistici.pdf

[19] Tyco Electronics Divize silnoprúd, ZnO omezovače přepětí nn a vn [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z:

http://www.kves.uniza.sk/kvesnew/dokumenty/Materi%C3%A1ly%20pre%20techniku%20VN/Texty%20MTVN/05%20Prep%C3%A4tia/Prev%C3%A1dzkov%C3%A9%20prep%C3%A4tia/TYCO_obmedz_prep%C3%A4tia.pdf

[20] Acer HK, *Datové listy SVODIČ PŘEPĚTÍ SPB */10 AlFe**, [online]. [cit. 2014-11- 5]

<http://www.acerhk.cz/cs/produkty/spb/detail/svodice-prepeti-spb-10-alfe--11.html>

[21] Datové listy Apator

[22] DAU, Saad. 2012. Modelling of metal oxide surge arresters as elements of overvoltage protection systems. *2012 International Conference on Lightning Protection (ICLP)* [online]. IEEE: 1-5 [cit. 2015-05-17]. DOI: 10.1109/ICLP.2012.6344236. ISBN 978-1-4673-1897-6.

Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6344236>

[23] *IEEE Working Group 3.4.11.: Modeling of Metal Oxide Surge Arrester*. [online], *IEEE Transaction on Power Delivery*. Vol. 7, No. 1, pp. 302-309, 1992.

Dostupné z:

<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=108922>

[24] MANN, Heřman, ŠEVČENKO, Michal. *Snadné počítačové modelování dynamických soustav: Příručka k internetovému kurzu a simulačnímu programu DYNAST*. ČVUT Praha, 2008

[25] BARAN, M., R. SREENATH a N. R. MAHAJAN. Extending EMTDC/PSCAD for simulating agent-based distributed applications. *IEEE Power Engineering Review* [online]. 2002, **22**(12): 52-54 [cit. 2015-05-31]. DOI: 10.1109/mper.2002.1098049.

Dostupné

z:

http://www.ien.pw.edu.pl/install/PSCAD/PSCAD%204.2.1_Professional%20+%20LiveWire%202.3_zakup%20z%20grantu-2008/Install/PSCADV4/Help/HelpManuals/Application%20Guide%202007.pdf

[26] A. BAYADI, N. HARID , K. ZEHAR, S. BELKHIAT. Simulation of metal oxide surge arrester dynamic behavior under fast transients [online]. The international Conference on Power Systems Transients - IPST 2003 [Cit. 2015-05-14]

Dostupné z:

http://ipstconf.org/papers/Proc_IPST2003/03IPST14b-01.pdf

Seznam příloh

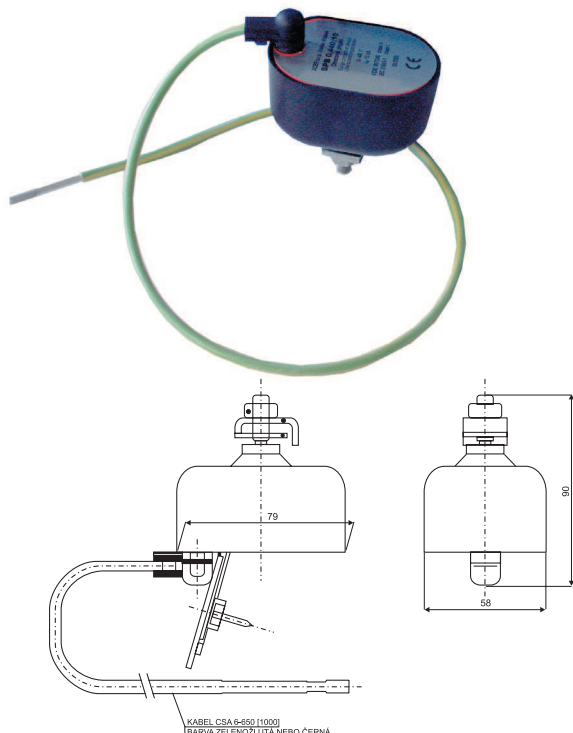
Příloha 1: Acer KL-CZ-SPB, datové listy

Příloha 2: Acer SPB 0,440 / 10 AlFe, datové listy

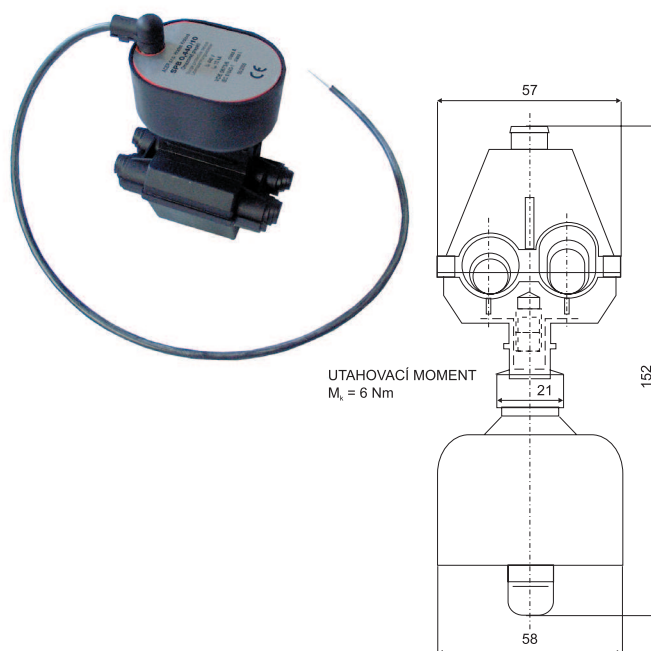
Příloha 3: Apator ASA 440-10, datové listy

SPB 0,440 / 10, SPB 0,275 / 10

SPB s příchytkou na AIFe lano



SPB s izolovanou svorkou

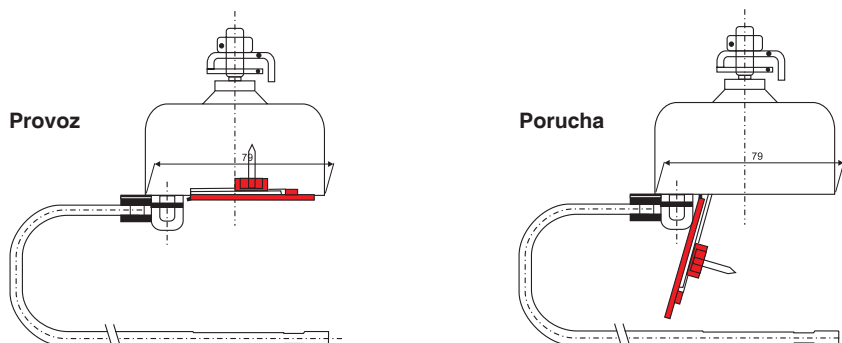

SPB 0,440 / 10, SPB 0,275 / 10

Svodiče přepětí třídy II dle ČSN EN 61643-11 určené pro ochranu elektrických zařízení připojených na venkovní síť nn proti atmosferickému a spínacímu přepětí. Používá se na místech zabezpečených proti přímému dotyku např. polohou nebo zábranou. Na holá vedení (lano) je montován pomocí nerezové příchytky, zemnicí kablíky od všech tří fází jsou staženy do společné svorky zemnicího lana. Do izolovaných vedení je dodáván s izolovanou propichovací odbočovací svorkou, typ SL 9.22. Nevyžaduje údržbu, pouze kontrolu vedení-odpojení omezovače velkým přetížením je signalizováno odklopením červeného víčka. Montáž se doporučuje v rozmezí do 45° od svislé polohy.

| Typ | | SPB 0,440 / 10 | SPB 0,275 / 10 |
|---|-------------|---|---|
| Testováno dle | | EN 61 643-11 | EN 61 643-11 |
| Třída svodiče (dle EN) | | II | II |
| Max. trvalé pracovní napětí AC/DC | U_C | 440V/585V | 275V/350V |
| Jmenovitý impulsní svodový proud $I_n(8/20)$ | I_n | 10kA | 10kA |
| Max. impulsní svodový proud $I_{max}(8/20)$ | I_{max} | 40kA | 40kA |
| Ochranná úroveň při zatížení proudovým impulsem ve tvaru 8/20 μ s | U_P | 1,5kV při 5kA 1,7kV při 10kA 2,0kV při 20kA | 1,5kV při 5kA 1,7kV při 10kA 2,0kV při 20kA |
| Doba odezvy | t_A | < 25ns | < 25ns |
| Pracovní teplota | ϑ | -40 \pm + 80°C | -40 \pm + 80°C |
| Montáž | | Svisle, s max. odchylkou \pm 45° | Svisle, s max. odchylkou \pm 45° |
| Krytí | | IP65 | IP65 |
| Jištění | | Vestavěným tepelným odpojovačem | Vestavěným tepelným odpojovačem |
| Katalogové číslo | | 33 440 | 33 275 |

Indikace stavu

Je provedena červeným signalizačním víčkem. Odpojení je signalizováno odklopením červeného víčka omezovače ve spodní části pouzdra.



OCHRANA NAPÁJECÍCH SÍTÍ nn - SVODIČE PŘEPĚTÍ TŘÍDY II



nastat překročením mezních parametrů varistoru (pohlcení větší energie, např. dlouhodobým zvýšením provozního napětí nad U_C , nebo velkým naindukovaným napětím od úderu blesku v nejbližším okolí). Max. proud varistoru je 100 kA, 4/10 μ s. Při dvou po sobě následujících impulsích 65 kA, 4/10 μ s může dosáhnout teplota varistoru hodnoty, při níž dochází k odpojení odpojovače. Odpojení je signalizováno odklopením červeného víčka omezovače ve spodní části pouzdra. Při průrazu varistoru (např. při překročení max. proudu strmým impulsem) může být zapouzdřený varistor vynesena z pouzdra zkratovým proudem, aniž by došlo k porušení nebo destrukci vnějšího pláště omezovače. Tím je zajištěno odpojení svodiče přepětí od sítě bez případného poškození okolních předmětů (mimo spodní části) nebo přeskočení mezi přípojnými v rozvaděči. Signalizace odpojení je opět provedena odklopením víčka. Při použití izolované svorky zůstávají všechny části pod napětím dostatečně izolovány a chráněny proti dotyku.

| Označení | | SPB 0,280/10 PP * | SPB 0,280/10 AlFe * | SPB 0,280/10 A35 * | SPB 0,440/10 PP * | SPB 0,440/10 AlFe * | SPB 0,440/10 A35 * |
|---|-----------|--------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| Spec. dle EN 61643-11 / ČSN EN 61643-11 | | II | | | | | |
| Nejvyšší trvalé provozní napětí | U_C | 280 V AC/ 350 V DC | | | 440 V AC/ 585 V DC | | |
| Jmenovitý impulzní svodový proud (8/20) | I_n | 10 kA | | | 10 kA | | |
| Max. impulzní svodový proud (8/20) | I_{max} | 40 kA | | | 40 kA | | |
| Napěťová ochranná hladina při I_n | U_p | < 1,25 kV | | | < 1,85 kV | | |
| Doba odezvy | t_A | < 25 ns | | | | | |
| Pracovní teplota | θ | -40 °C ÷ + 80 °C | | | | | |
| Pracovní poloha | | svíslá s max. odchylkou ± 45°C | | | | | |
| Krytí | | IP 65 | | | | | |
| Jištění | | interním tepelným odpojovačem | | | | | |
| Hmotnost | m | 230 | 248 | 337 | 235 | 255 | 345 |

* : délka a barva vodiče

| | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 100zž : 100cm, zelenožlutý | 90 176 | 90 106 | 90 156 | 90 170 | 90 100 | 90 150 |
| 100č : 100cm, černý | 90 177 | 90 107 | 90 157 | 90 171 | 90 101 | 90 151 |
| Katalogové číslo 80zž : 80cm, zelenožlutý | 90 178 | 90 108 | 90 158 | 90 172 | 90 102 | 90 152 |
| 80č : 80cm, černý | 90 179 | 90 109 | 90 159 | 90 173 | 90 103 | 90 153 |
| 65zž : 65cm, zelenožlutý | 90 180 | 90 110 | 90 160 | 90 174 | 90 104 | 90 154 |
| 65č : 65cm, černý | 90 181 | 90 111 | 90 161 | 90 175 | 90 105 | 90 155 |

| Označení | | SPB 0,500/10 PP * | SPB 0,500/10 AlFe * | SPB 0,500/10 A35 * | SPB 0,660/10 PP * | SPB 0,660/10 AlFe * | SPB 0,660/10 A35 * |
|---|-----------|--------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| Spec. dle EN 61643-11 / ČSN EN 61643-11 | | II | | | | | |
| Nejvyšší trvalé provozní napětí | U_C | 500 V AC/ 670 V DC | | | 660 V AC/ 895 V DC | | |
| Jmenovitý impulzní svodový proud (8/20) | I_n | 10 kA | | | 10 kA | | |
| Max. impulzní svodový proud (8/20) | I_{max} | 40 kA | | | 40 kA | | |
| Napěťová ochranná hladina při I_n | U_p | < 1,9 kV | | | < 2,3 kV | | |
| Doba odezvy | t_A | < 25 ns | | | | | |
| Pracovní teplota | θ | -40 °C ÷ + 80 °C | | | | | |
| Pracovní poloha | | svíslá s max. odchylkou ± 45°C | | | | | |
| Krytí | | IP 65 | | | | | |
| Jištění | | interním tepelným odpojovačem | | | | | |
| Hmotnost | m | 250 | 270 | 370 | 270 | 290 | 390 |

* : délka a barva vodiče

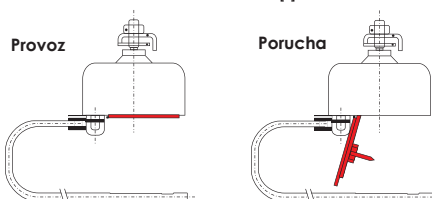
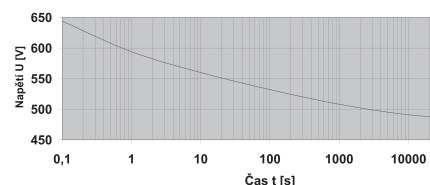
| | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 100zž : 100cm, zelenožlutý | 90 210 | 90 118 | 90 190 | 90 216 | 90 112 | 90 196 |
| 100č : 100cm, černý | 90 211 | 90 119 | 90 191 | 90 217 | 90 113 | 90 197 |
| Katalogové číslo 80zž : 80cm, zelenožlutý | 90 212 | 90 120 | 90 192 | 90 218 | 90 114 | 90 198 |
| 80č : 80cm, černý | 90 213 | 90 121 | 90 193 | 90 219 | 90 115 | 90 199 |
| 65zž : 65cm, zelenožlutý | 90 214 | 90 122 | 90 194 | 90 220 | 90 116 | 90 200 |
| 65č : 65cm, černý | 90 215 | 90 123 | 90 195 | 90 221 | 90 117 | 90 201 |

| Označení | | SPB 0,900/10 PP * | SPB 0,900/10 AlFe * | SPB 0,900/10 A35 * |
|---|-----------|--------------------------------|---------------------|--------------------|
| Spec. dle EN 61643-11 / ČSN EN 61643-11 | | II | | |
| Nejvyšší trvalé provozní napětí | U_C | 900 V AC/ 1200 V DC | | |
| Jmenovitý impulzní svodový proud (8/20) | I_n | 10 kA | | |
| Max. impulzní svodový proud (8/20) | I_{max} | 40 kA | | |
| Napěťová ochranná hladina při I_n | U_p | < 3,6 kV | | |
| Doba odezvy | t_A | < 25 ns | | |
| Pracovní teplota | θ | -40 °C ÷ + 80 °C | | |
| Pracovní poloha | | svíslá s max. odchylkou ± 45°C | | |
| Krytí | | IP 65 | | |
| Jištění | | interním tepelným odpojovačem | | |
| Hmotnost | m | 300 | 320 | 420 |

* : délka a barva vodiče

| | | | |
|---|--------|--------|--------|
| 100zž : 100cm, zelenožlutý | 90 222 | 90 124 | 90 202 |
| 100č : 100cm, černý | 90 223 | 90 125 | 90 203 |
| Katalogové číslo 80zž : 80cm, zelenožlutý | 90 224 | 90 126 | 90 204 |
| 80č : 80cm, černý | 90 225 | 90 127 | 90 205 |
| 65zž : 65cm, zelenožlutý | 90 226 | 90 128 | 90 206 |
| 65č : 65cm, černý | 90 227 | 90 129 | 90 207 |

Napětově - časová charakteristika SPB 0,440/10 (Teplota varistoru +60°C)



Indikace provozního stavu

Odpojení interního odpojovače při vzniku poruchy varistoru je signalizováno odklopením červeného víčka omezovače ve spodní části pouzdra.



SVODIČ PŘEPĚTÍ

SPB je svodič přepětí třídy II podle ČSN EN 61643-11 určený pro ochranu elektrických zařízení připojených na venkovní sítě nn proti atmosférickému a spínacímu přepětí. Doporučené použití je na místech zabezpečených proti dotyku např. polohou nebo zábranou. SPB jsou dodávány ve třech základních modifikacích podle způsobu montáže:

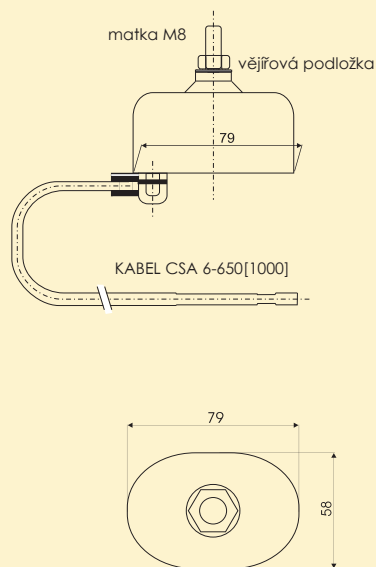
- SPB */10 PP *- na ploché přípojnice v rozvaděčích s vějířovou podložkou a matkou
- SPB */10 AlFe *- na holé AlFe lano s nerezovou přichytkou a matkou
- SPB */10 A35 *- na izolované vedení s izolovanou odbočovací propichovací svorkou

Surge Arrester



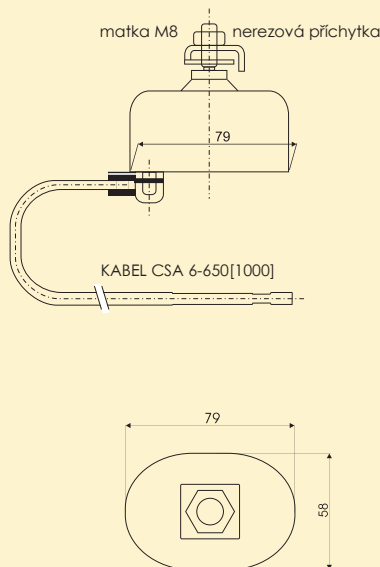
SPB */10 PP *

(pro montáž na ploché přípojnice)



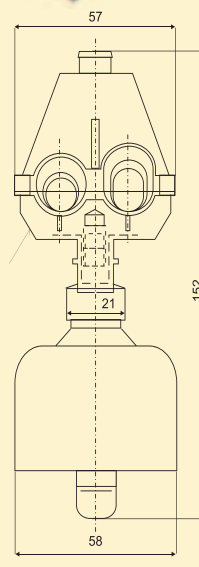
SPB */10 AlFe *

(pro montáž na holé AlFe lano)



SPB */10 A35 *

(pro montáž na izolované vedení, se svorkou A35)



Zkušební metody, provedení, vlastnosti

Zkušební metody a kritéria

Omezovač přepětí SPB 0,440/10 odpovídá požadavkům třídy A podle VDE 0675, Teil 6 a je v souladu s požadavky ČSN EN 61643-11, Duben 2003: „Ochrany před přepětím nízkého napětí – Část 11: Přepětěťová ochranná zařízení v sítích nízkého napětí. Požadavky a zkratové zkoušky“. Zkratová odolnost podle EN 60099-4/A2.

Provedení a vlastnosti

Při trvalém provozním napětí prochází omezovačem proud řádově stovek μA převážně kapacitního charakteru. Činná složka proudu je zanedbatelná. Při zvýšení napětí na svorkách omezovače přechází omezovač plynule do vodivého stavu a omezuje všechny druhy přepětí. Čas odezvy je velmi malý (řádově 100 ns), takže svodič přepětí spolehlivě omezuje i strmé impulzy atmosférického přepětí. Omezovač je tvořen plastovým pouzdem s přípojovacími přívody, vodotěsně uzavřeného a elektricky izolovaného varistoru zalitého v silikonovém kaučuku, tepelného odpojovače a signalizačního víčka ve spodní části pouzdra. Plast pouzdra je odolný vůči UV záření a klimatickým vlivům a je samozhášivý – třída V0. Přípojovací šrouby a svorky jsou z nerezové oceli. Omezovač je opatřen zemním kablíkem s koncovkou podle přání zákazníka barva zelenožlutá nebo černá, délka 0,65m, 0,8m nebo 1,0m, nebo dle dohody se zákazníkem i jiné délky. Vestavěný odpojovač slouží k odpojení omezovače od sítě v případě jeho přetížení, které může



Beziskiernikowe ograniczniki przepięć niskiego napięcia

typu **ASA**



produkt polski

WIZJA GRUPY APATOR

Chcemy by systemy pomiarowe, które produkujemy pomagały naszym klientom w ekonomicznym zarządzaniu zużyciem energii elektrycznej, ciepła, wody i gazu. Dążymy do tego by dokładność i elastyczność konfigurowania naszych systemów pomiarowych, nowoczesne technologie rozliczania i odczytu wsparte najnowszymi zdobyczami telekomunikacji pozwalały naszym partnerom w sposób prosty, tani i oszczędny rozliczać media energetyczne. Naszą ofertę wzbogacają usługi, które gwarantują naszym klientom oszczędność czasu i pieniędzy. Systemy, aplikacje i aparaty łączeniowe, które oferujemy pomagają naszym klientom w bezpiecznym i pewnym łączeniu, rozłączaniu, zabezpieczaniu i rozdziale energii elektrycznej. Bezpieczeństwo użytkowania naszej aparatury łącznikowej jest kluczem do naszego sukcesu i pełnej satysfakcji naszych klientów.

Zakres produkcji:

APARATURA POMIAROWA,
APARATURA ŁĄCZENIOWA



Przebiecia w elektroenergetycznych sieciach zasilających pojawiają się na skutek wyładowań atmosferycznych oraz operacji łączeniowych i są zjawiskiem nieuniknionym. Aby chronić urządzenia elektryczne przed skutkami przebiec, należy stosować urządzenia do ograniczania przebiec – SPD, popularnie nazywane ogranicznikami przebiec.

Największym zagrożeniem dla napowietrznych sieci niskonapięciowych są przebiecia piorunowe. Przebiecia wynikające z uderzeń piorunowych w systemach elektrycznych mogą być sklasyfikowane według ich pochodzenia następująco:

- przebiecia związane z bezpośrednim uderzeniem pioruna w linię napowietrzną,
- przebiecia indukowane w liniach napowietrznych na skutek wyładowań w pewnej odległości,

- przebiecia przenoszone poprzez indukcyjne i pojemnościowe sprzężenia pomiędzy systemami.

Ochrona przeciwprzebieciowa powinna być tak zaprojektowana, aby przebiecia były ograniczane do wartości, które nie stanowią zagrożenia dla izolacji urządzeń. Najbardziej efektywną metodą uzyskania skutecznej ochrony przeciwprzebieciowej jest instalowanie ograniczników przebiec w możliwie bliskim sąsiedztwie urządzeń chronionych.

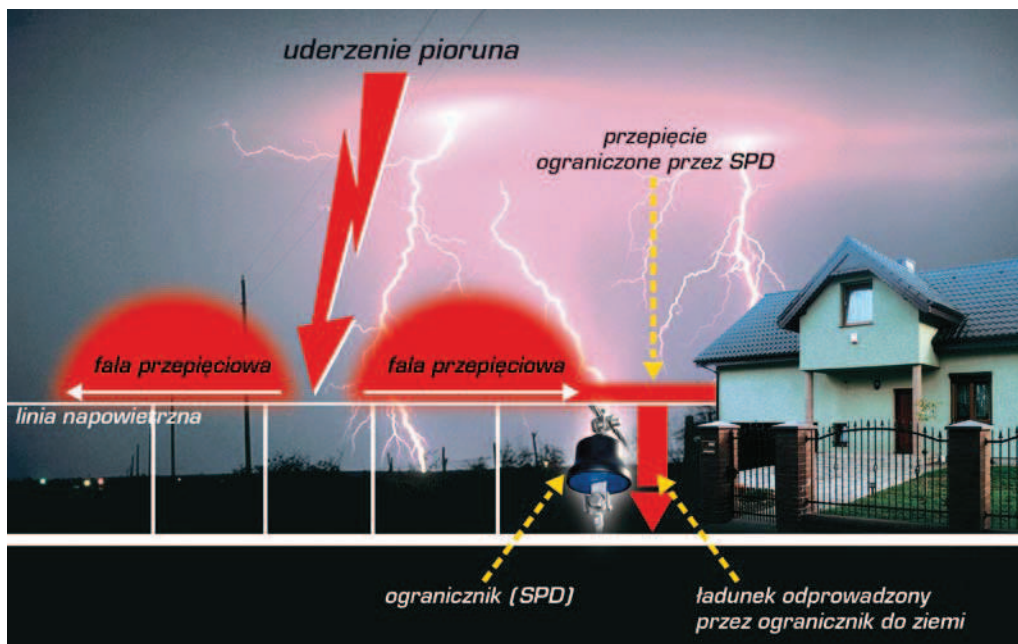
Stanowią one podstawowy środek ochrony w sieciach elektroenergetycznych napięcia przemiennego zarówno od przebiec atmosferycznych, jak i łączeniowych. Aktualnie realizacja układów ochrony przeciwprzebieciowej opiera się praktycznie wyłącznie na beziskiernikowych ogranicznikach przebiec z warystorami z tlenków cynku.



ASA – wersja z odłącznikiem w trakcie normalnej pracy



ASA – wersja z odłącznikiem po uszkodzeniu warystora



ZASADA DZIAŁANIA OGRANICZNIKÓW TYPU ASA

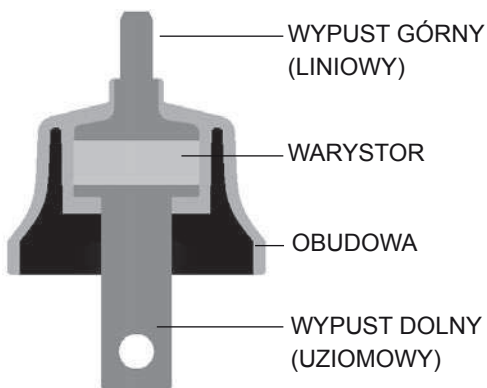
Głównym zadaniem ogranicznika jest odprowadzenie do ziemi ładunku elektrycznego, związanego z przepięciem pojawiającym się na przewodach liniowych sieci.

Ogranicznik wyposażony w warystor reaguje na każdą zmianę napięcia na swoich zaciskach. Poddany działaniu normalnego napięcia roboczego sieci, przewodzi prąd rzędu mikroamperów, natomiast przy pojawieniu się na przewodach linii ładunku elektrycznego o potencjale przekraczającym napięcie trwałej pracy U_c (np. ładunek bezpośredniego wyładowania atmosferycznego, ładunek indukowany), odprowadza go natychmiast do ziemi, nie dopuszczając do wystąpienia przepięcia, mogącego zagrozić izolacji urządzeń. Dzięki wysoko nieliniowej charakterystyce napięciowo-prądowej warystora, przy przejściu ze stanu przewodzenia przy normalnym napięciu sieci do stanu odprowadzania do ziemi ładunku przy prądzie rzędu kiloamperów (wzrost wartości przepływającego prądu o dziewięć rzędów wielkości!), napięcie na zaciskach ogranicznika wzrasta zaledwie trzykrotnie.

Ograniczniki dostępne są również w wersji z odłącznikiem o oryginalnej konstrukcji, który działa na zasadzie termicznej i nadprądowej. Zadziałanie odłącznika powoduje trwałe odłączenie SPD¹ od sieci zasilającej i jednocześnie stanowi wskaźnik uszkodzenia. Może mieć ono miejsce zarówno w przypadku przeciążenia ogranicznika, jak i jego uszkodzenia, będącego wynikiem np. bezpośredniego uderzenia pioruna o prądzie wyładowczym, przekraczającym zdolności odprowadzania prądu przez SPD. W przypadku uszkodzenia ogranicznika wyposażonego w odłącznik, nie występuje zagrożenie pożarowe obiektów usytuowanych w pobliżu SPD w odległości nie mniejszej niż 0,5 m.

BUDOWA

W konstrukcji ogranicznika typu ASA zastosowano aktywny element – warystor, produkowany według wysoko wyspecjalizowanej technologii z materiału ceramicznego na bazie tlenku cynku (ZnO) z szeregiem dodatków innych tlenków metali, które – precyzyjnie dozowane – tworzą półprzewodnikowe warstwy powierzchniowe na kryształach tlenku cynku i stabilizują charakterystykę napięciowo-prądową warystora. Ogranicznik wykonany jest metodą bezpośredniego wtrysku poliamidu na warystor.



ZASTOSOWANIE

Do ochrony przeciwprzepięciowej przed bezpośrednim i pośrednim wpływem przepięć piorunowych i łączeniowych

w niskonapięciowych systemach elektroenergetycznych, od niskonapięciowego izolatora przepustowego transformatora SN/nn aż do wejścia do budynku lub instalacji:

- Zejścia kablowe z elektroenergetycznych linii napowietrznych – rozwiązanie stosowane powszechnie przy podłączaniu nowych odbiorców energii elektrycznej. W tym przypadku ograniczniki przepięć pełnią rolę nie tylko ochrony urządzeń u odbiorcy końcowego, lecz także chronią kabel przed skutkami przepięć.
- Przyłącza napowietrzne oraz elementy w głębi sieci elektroenergetycznej – instalowanie ograniczników przepięć zapewnia ochronę urządzeń u odbiorcy końcowego, jak również uniemożliwia rozprzestrzenianie się fali przepięciowej po elementach sieci.
- Elektroenergetyczne stacje SN/nn, strona niskiego napięcia – ograniczniki instalowane po stronie niskiego napięcia zapewniają m. in. ochronę przed przepięciami przenoszonymi do układu nn z sieci SN. Stanowią ochronę samego transformatora oraz obwodów wyjściowych ze stacji nn.



Ochrona transformatora 15/0,4 kV za pomocą SPD produkcji APATOR SA

- Końce napowietrznych linii promieniowych nn.
 - Punkty odgałęzień linii napowietrznych nn.
- W liniach napowietrznych zaleca się, aby na każde 500 m długości linii przypadał przynajmniej 1 komplet ograniczników.

WARUNKI PRACY

- napowietrzne (obudowa odporna na UV), mogą być stosowane jako wewnętrzne,
- dostosowane do pracy na dużych wysokościach do 2000 m n.p.m.,
- temperatura pracy i przechowywania: rozszerzony zakres od -40°C do +70°C,
- wilgotność względna do 90%.

ZALETY

- bardzo dobry poziom ochrony – dzięki niskiej wartości napięcia obniżonego,
- wysoka zdolność pochłaniania energii,
- stabilność charakterystyk w czasie,
- wysoka odporność na wpływ warunków środowiskowych.

ZGODNOŚĆ Z NORMAMI

Ograniczniki ASA są zgodne z wymaganiami normy:

- **PN-EN 61643-11:2006** „Niskonapięciowe urządzenia ograniczające przepięcia. Część 11: Urządzenia do ograniczenia przepięć w sieciach rozdzielczych niskiego napięcia. Wymagania i próby”.

PRÓBY TYPU

Próby typu ograniczników przepięć typu ASA zostały wykonane w Laboratorium Badawczym Aparatury Rozdzielczej Instytutu Elektrotechniki w Warszawie.

¹ akronim ang. „surge protective devices”

DANE TECHNICZNE OGRANICZNIKÓW TYPU ASA

| TYP | Napięcie trwałe pracy U_c | Znamionowy prąd wyładowczy 8/20 μ s I_n | Maksymalny prąd wyładowczy 8/20 μ s I_{max} | Napięciowy poziom ochrony U_p | U_p/U_c |
|-------------|-----------------------------|---|---|---------------------------------|-----------|
| | [V _{rms}] | [kA] | [kA] | [V _{peak}] | - |
| ASA 280-5* | 280 | 5 | 30 | 1110 | 4,0 |
| ASA 440-5 | 440 | | | | |
| ASA 500-5 | 500 | | | | |
| ASA 660-5 | 660 | | | | |
| ASA 280-10* | 280 | 10 | 40 | 1110 | |
| ASA 440-10 | 440 | | | | |
| ASA 500-10 | 500 | | | | |
| ASA 660-10 | 660 | | | | |

Dla napięć systemudo 1000 V
 Częstotliwość 48 - 62 Hz

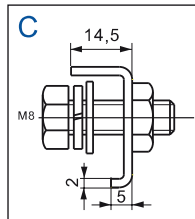
Zdolność pochłaniania energii dla ASA 5 kA 3 kJ / 1000V U_c
 Zdolność pochłaniania energii dla ASA 10 kA 5 kJ/1000V U_c

Dla wersji wykonania SPD wyposażonych w odłącznik

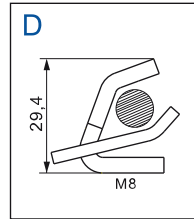
Odporność zwarciova 4,5 kA
 Odporność na przepięcia dorywcze 1440 V, 200 ms
 Odporność na przepięcia doraźne 400 V, 5 s

Ograniczniki o takich parametrach pokrywają praktycznie wszystkie, mogące wystąpić w sieci niskiego napięcia zagrożenia przepięciami dorywczymi¹ i zapewniają skuteczną ochronę od przepięć atmosferycznych.

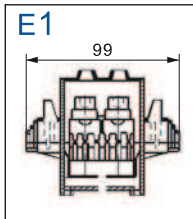
1) AKCESORIA LINOWE (GÓRNE)



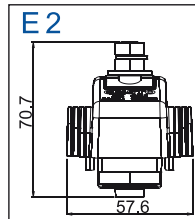
zacisk 16 mm² - 120 mm²



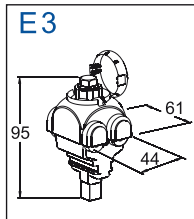
zacisk 16 mm² - 120 mm²



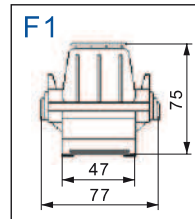
E1 zacisk firmy ENSTO, jednostronnie przebijający izolację, do łączenia linii izolowanej i gołej, wyłącznie do przewodów aluminiowych Al izolowany 16-120 mm²; Al goły 16-95 mm²



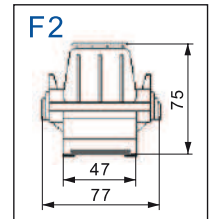
E2 zacisk firmy ENSTO, wyłącznie do montażu ogranicznika na przewodach izolowanych, wyposażony w zrywalny łeb śruby, nie wymaga stosowania klucza dynamometrycznego, Al/Cu 10-150 mm²



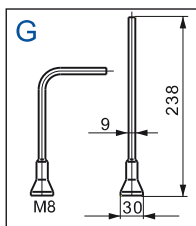
E3 zacisk firmy ENSTO, dwustronnie przebijający izolację, umożliwia montaż ogranicznika na przewodzie izolowanym i jednocześnie wykonanie odgałęzienia, wyposażony w zrywalny łeb śruby, nie wymaga stosowania klucza dynamometrycznego, Al 10-95 mm²; Cu 10-95 mm²



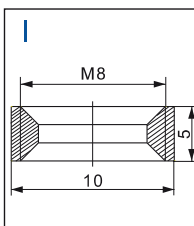
F1 zacisk jednostronnie przebijający izolację, do łączenia linii izolowanej i gołej Al/Al 16-95 mm²



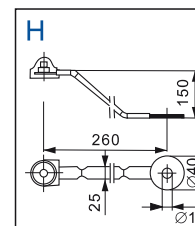
F2 zacisk dwustronnie przebijający izolację, do odgałęzień z izolowanych przewodów Al/Al 16-95 mm²



G elastyczny przewód „fajkowy”, z końcówką nakręcaną na wypust górny ogranicznika, do zacisków przebijających nie przystosowanych do bezpośredniego podłączenia ogranicznika

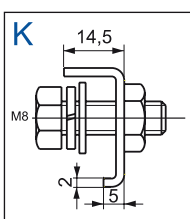


tulejka dystansowa do zacisków E1, E2, E3

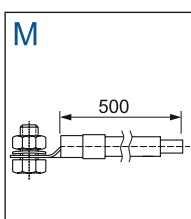


H zacisk transformatorowy do bezpośredniego podłączenia ogranicznika do transformatora

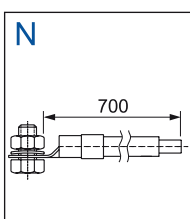
2) AKCESORIA UZIOMOWE (DOLNE)



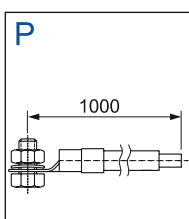
zacisk 16 mm² - 120 mm²



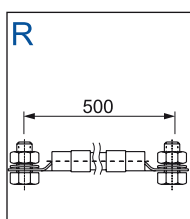
przewód giętki Cu w izolacji



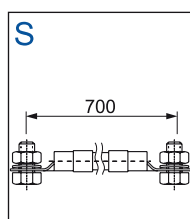
przewód giętki Cu w izolacji



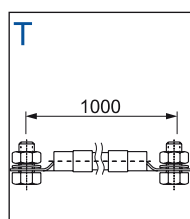
przewód giętki Cu w izolacji



przewód giętki Cu w izolacji



przewód giętki Cu w izolacji

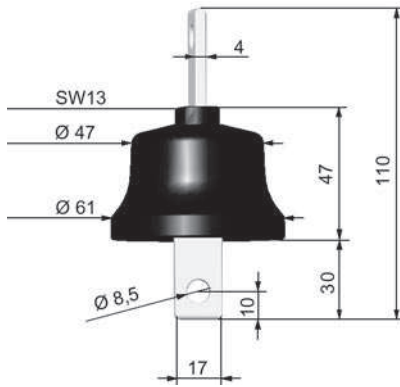


przewód giętki Cu w izolacji

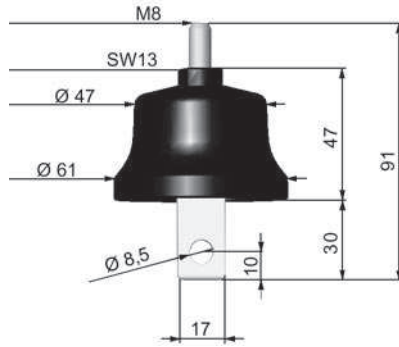
2 *) Stosować w sieci, gdzie na przewodzie fazowym nie może pojawić się napięcie wyższe niż 280V. Ze względu na dużą ilość doziemień w sieciach nn zalecane jest stosowanie ograniczników o napięciu trwałej pracy min 440V.

1) ang. „temporary overvoltages”

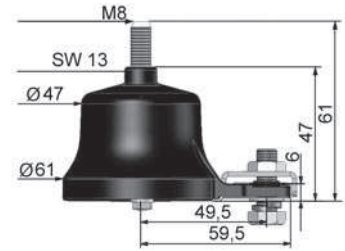
SZKICE WYMIAROWE



ogranicznik przepięć wykonanie A



ogranicznik przepięć wykonanie B



ogranicznik przepięć wersja z odłącznikiem wykonanie BO

PODSTAWOWE ZASADY DOBORU OGRANICZNIKÓW PRZEPIĘĆ W SIECIACH ROZDZIELCZYCH NISKIEGO NAPIĘCIA

Dla dokonania wyboru SPD należy rozpatrzyć jego trzy główne parametry elektryczne:

- napięcie trwałej pracy U_c
- napięciowy poziom ochrony U_p
- zdolność pochłaniania energii.

Ponadto powinno się znać konfigurację sieci niskiego napięcia i stosowany system uziemień. Istnieje szereg metod zapewnienia połączeń z ziemią w sieciach niskiego napięcia. Poniżej podano różne systemy i związane z nimi znormalizowane oznaczenia. Każdy z systemów jest oznaczony kodem literowym, gdzie:

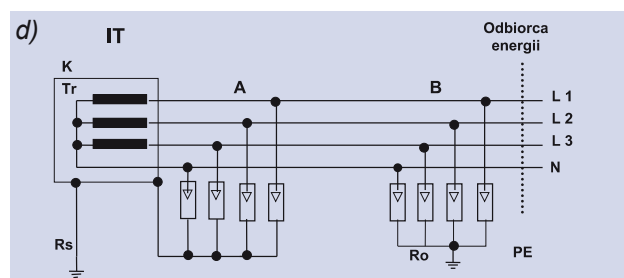
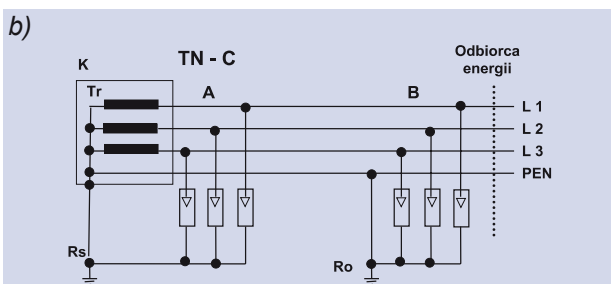
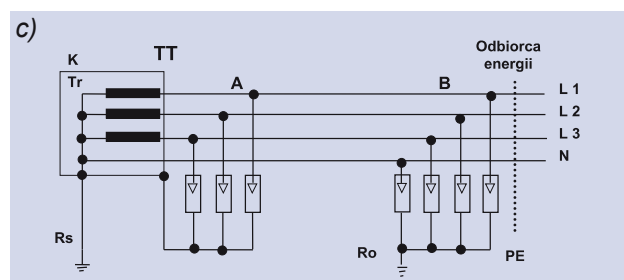
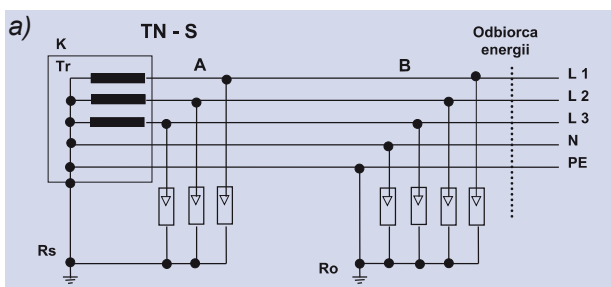
- T: bezpośrednie połączenie z ziemią,
- N: neutralny,
- C: wspólny (kombinowany),
- S: separowany (oddzielony).
- **TN-S** – sieć zasilająca ma połączenie przewodu neutral-

nego z przewodem uziemiającym jedynie przy transformatorze zasilającym (rysunek 1 a);

- **TN-C** – przewody neutralny i uziemiający są wspólne (PEN) i uziemione przy transformatorze lub blisko niego (rysunek 1 b);
- **TT** – punkt neutralny transformatora jest bezpośrednio uziemiony, a instalacja odbiorcy jest uziemiona przy pomocy odrębnego uziomu (rysunek 1 c);
- **IT** – w tym układzie nie ma bezpośredniego połączenia czynnych części sieci z ziemią, a uziemione są dostępne części przewodzące elementów instalacji (rysunek 1 d).

Na rysunku 1 pokazano typowe sposoby uziemień w sieci niskiego napięcia oraz przykłady rozmieszczenia ograniczników (SPD).

W niektórych specjalnych przypadkach ograniczniki mogą być również instalowane pomiędzy przewodami faza-faza.

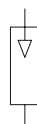


Rysunek 1. Różne sposoby uziemień i przykładowe gałęzie ochrony w sieci trójfazowej niskiego napięcia.

Oznaczenia:

- A – ochrona transformatora Tr
- B – ochrona przyłącza
- K – kadz transformatora

- Rs – uziemienie ochronne stacji
- Ro – uziemienie SPD



ogranicznik przepięć (SPD)

DOBÓR WARTOŚCI NAPIĘCIA TRWAŁEJ PRACY U_c

| UKŁAD PRACY SIECI nn | Przewód fazowy – przewód neutralny | Przewód fazowy – przewód PE | Przewód fazowy – przewód PEN | Przewód neutralny – przewód PE | Przewód fazowy – przewód fazowy |
|----------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| TT | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ |
| TN-C | | | ✓ | | ✓ |
| TN-S | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ |
| IT | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ |

Tabela 1. Przykłady realizacji ochrony przeciwprzepięciowej w zależności od układu pracy sieci nn.

Napięcie trwałej pracy U_c powinno być nie mniejsze od najwyższego napięcia sieci U_m mogącego wystąpić w miejscu zainstalowania ogranicznika. Zakładając, że wartość U_m w sieci niskiego napięcia nie przekracza napięcia znamionowego sieci U_n o więcej niż 10%, napięcie trwałej pracy ogranicznika powinno wynosić:

$$U_c \geq 1,1 U_n / \sqrt{3} \text{ dla ograniczników włączonych między przewód fazowy a przewód neutralny lub między przewód fazowy a ziemię}$$

$$U_c \geq 1,1 U_n \text{ dla ograniczników włączonych pomiędzy fazy.}$$

Zgodnie z powyższymi wyrażeniami, w sieci 220/380 V oraz 230/400 V proponuje się stosowanie dla ograniczników przepięć następujące znormalizowane wartości U_c .

- **$U_c = 280 \text{ V}$** dla ochrony przewód fazowy-przewód neutralny oraz przewód fazowy-przewód PEN (układy TT i TN)
- **$U_c = 440 \text{ V}$** dla ochrony przewód fazowy-przewód fazowy (układy TT, TN, IT)
- **$U_c = 440 \text{ V}$** dla ochrony przewód fazowy-ziemia (układ IT)

WYBÓR POZIOMU OCHRONY

Napięciowy poziom ochrony U_p ograniczników musi być niższy od wytrzymałości napięciowej chronionego wyposażenia. Zalecany jest co najmniej 20% zapas bezpieczeństwa. Jako generalną zasadę można przyjąć, że napięcie obniżone U_p ograniczników powinno być możliwie najniższe w celu zapewnienia dobrej ochrony.

Ważnym parametrem charakterystyki ograniczników przepięć jest stosunek U_p/U_c (U_p – wartość szczytowa napięcia na zaciskach SPD przy przepływie znamionowego prądu wyładowczego I_n , U_c – wartość skuteczna trwałego napięcia pracy). Dla nowoczesnych typów ograniczników bezskiernikowych zawiera się on w granicach od 4 do 5. Przy doborze typu ogranicznika należy zwrócić uwagę na wartość tego stosunku. Im mniejszy stosunek U_p/U_c , tym większy margines ochronny i większa skuteczność ochrony izolacji urządzeń chronionych.

DOBÓR WYTRZYMYWANEJ ENERGII

Zdolność pochłaniania energii przez SPD jest w zasadzie zdefiniowana dla ograniczników klasy II, jakimi są ograniczniki ASA, przez znamionowy prąd wyładowczy I_n i przez maksymalny prąd wyładowczy I_{max} . Typowymi wartościami

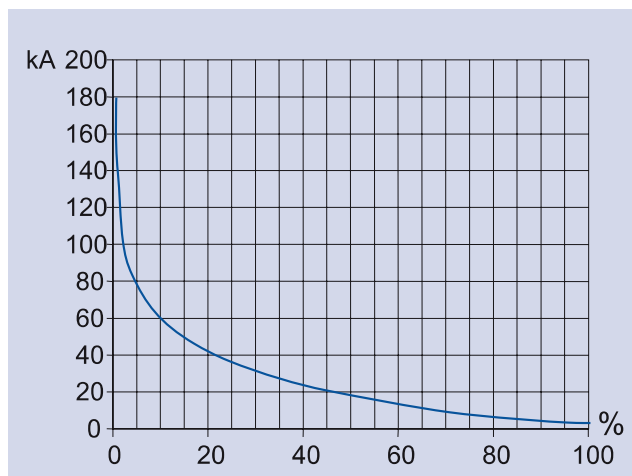
znamionowego prądu wyładowczego dla klasy II są 5 kA i 10 kA, a deklarowany przez wytwórcę prąd I_{max} wynosi dla ograniczników ASA odpowiednio 30 kA oraz 40 kA.

Jak wynika z danych statystycznych (rysunek 2), 95% prądów pioruna ma wartość nie większą niż 80 kA.

W sieci napowietrznej niskiego napięcia uderzenie pioruna w linię skutkuje zwykle porażeniem wszystkich trzech faz z uwagi na małe odległości między przewodami. Zakładając, iż prąd pioruna rozplywa się w trzech fazach w obu kierunkach, wartość prądu w przewodzie fazowym może być w przybliżeniu uzyskana przez podzielenie wartości prądu pioruna przez 6. Tak więc dla ponad 95% przypadków bezpośredniego uderzenia pioruna w linię prąd wyładowczy w ograniczniku nie przekroczy wartości 13 kA, a w ok. 75% przypadków nie przekroczy wartości 5 kA. Wynika stąd, że w sieci napowietrznej niskiego napięcia jako standardowe mogą być stosowane ograniczniki typu ASA o znamionowym prądzie wyładowczym: $I_n = 5 \text{ kA}$ oraz maksymalnym prądzie wyładowczym $I_{max} = 30 \text{ kA}$.

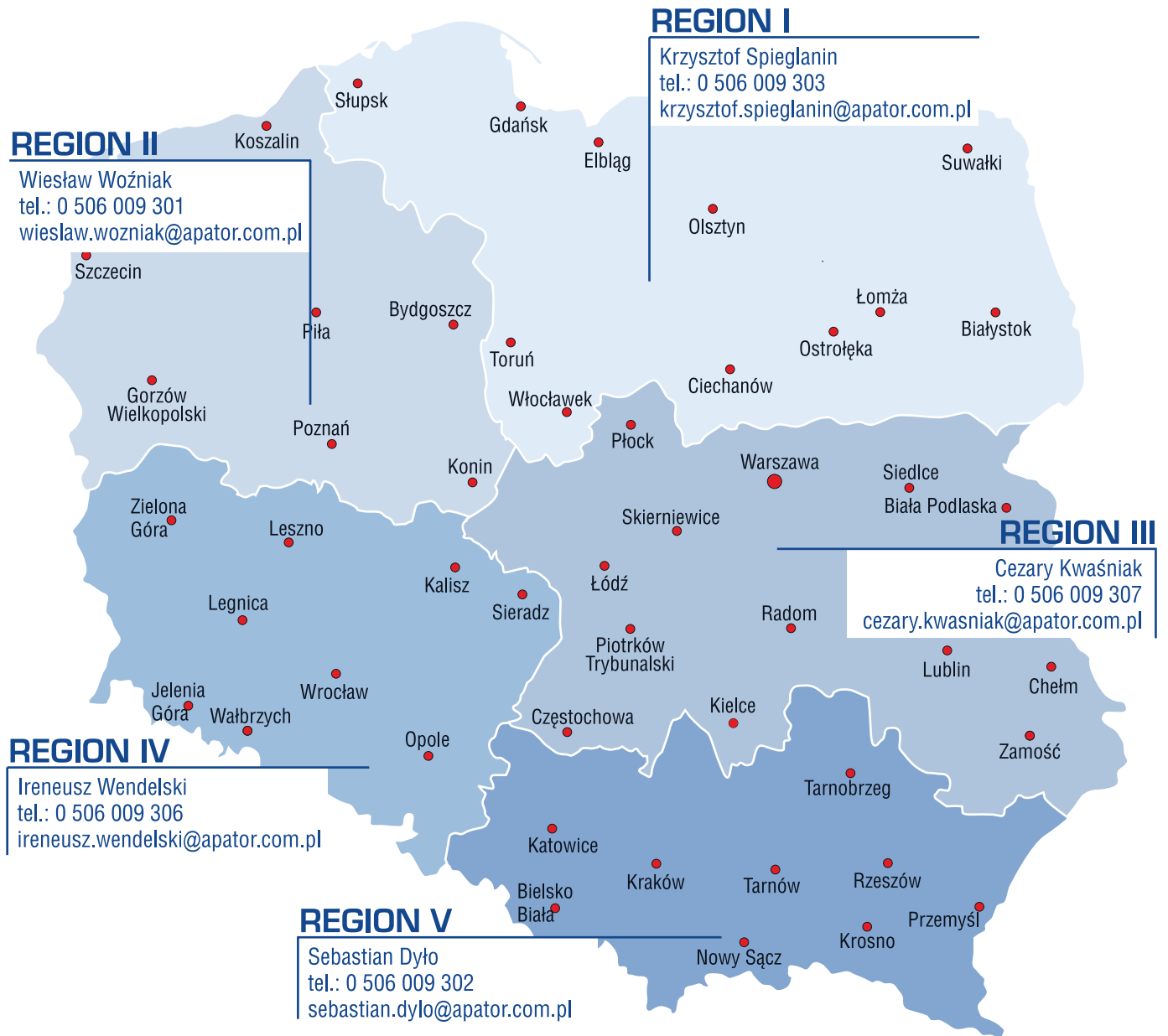
W rejonach o bardzo dużym zagrożeniu burzowym można zalecać stosowanie ograniczników typu ASA o znamionowym prądzie wyładowczym $I_n = 10 \text{ kA}$ i prądzie $I_{max} = 40 \text{ kA}$.

Szczególne przypadki, gdy ograniczniki stosowane są do ochrony urządzeń mogących gromadzić duże energie (np. baterie kondensatorów), powinny być rozpatrywane indywidualnie pod względem doboru środków ochrony przeciwprzepięciowej.



Rysunek 2. Prawdopodobieństwo występowania prądów pioruna.

PRZEDSTAWICIELE REGIONALNI



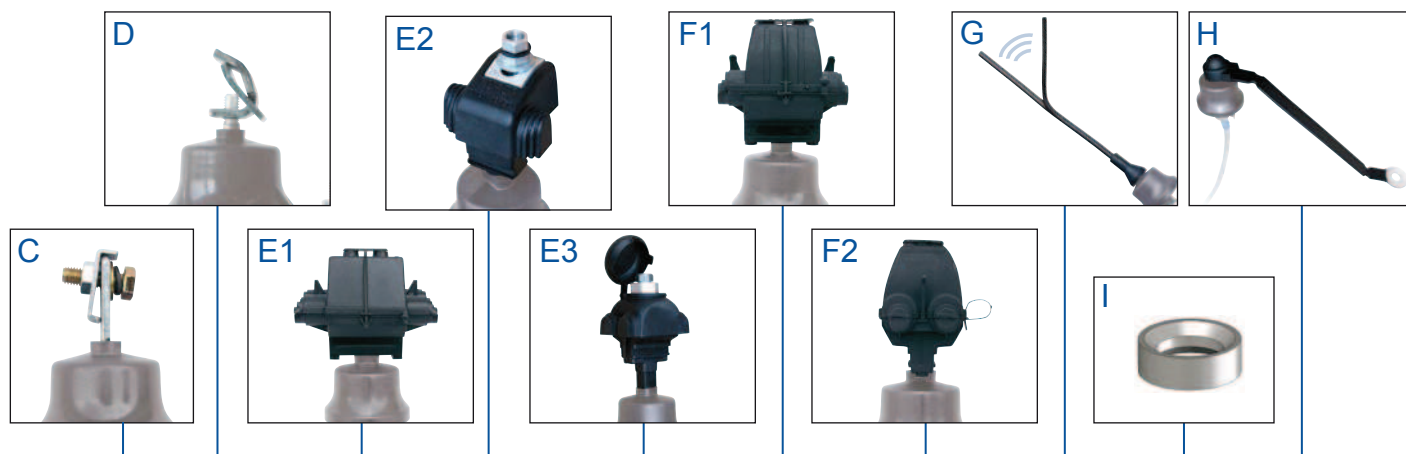
INŻYNIEROWIE PRODUKTU

Krzysztof Zdrojewski tel.: 0 506 009 304

LOGISTYKA

Aleksandra Trzcińska tel.: 0 506 009 305

SPOSÓB ZAMAWIANIA



AKCESORIA LINOWE (GÓRNE)

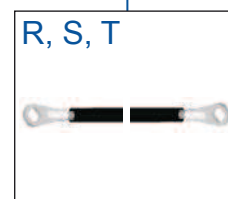
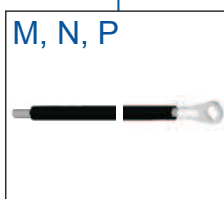
ASA

napięcie
trwałej pracy
280, 440, 500
lub **660** [V]

znamionowy
prąd
wyładowczy
5 lub **10** [kA]

wykonanie
ogranicznika
A, B lub
z odłącznikiem **BO**

AKCESORIA UZIOMOWE (DOLNE)



Przykład zamówienia ogranicznika

ASA 660 – 5B + D + K

ASA – oznaczenie
660 – napięcie trwałej pracy
5 – znamionowy prąd wyładowczy
B – typ ogranicznika
D – zacisk liniowy (górny)
K – zacisk uziomowy (dolny)

UWAGA: Ograniczniki pakowane są po 3 sztuki wraz z zamówionymi akcesoriami.
Producent zastrzega sobie prawo wprowadzania zmian bez powiadomienia.

**APATOR**

87-100 Toruń, ul. Żółkiewskiego 21/29
BIURO SPRZEDAŻY APARATURY ŁĄCZNIKOWEJ
Tel.: (056) 61 91 150, Fax: (056) 61 91 295
e-mail: apator@apator.com.pl http://www.apator.com.pl

ISO 9001
ISO 14001
ISO 18001