

# Měření vlastností bleskojistek

Karel Veisheipl

Katedra technologií a měření, Západočeská univerzita v Plzni

## Measurements of aerial-discharge parameters

### Abstract

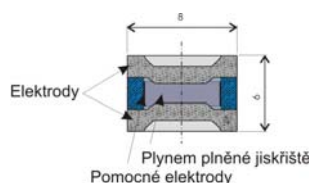
*The article in paper describes used types of arresters in telecommunication network, evaluates their electrical parameters and functional features based on the measurement of a selected sample.*

### Keywords

overvoltage, overcurrent protection in telecommunications network, electrical parameters, gas-filled surge arresters, fail-safe protection, static ignition voltage, impulse ignition voltage, glow discharge voltage, insulation resistance, electrical arcing voltage, traffic carrying capacity, arresters overload, impulse overload, static overload, measurement, uncertainty measurement

### Úvod

Neustálá modernizace telekomunikačních sítí s sebou přináší masové rozšíření nových technologií pro výstavbu přístupových sítí, masivní nárůst elektronických zařízení a jejich penetrace, a to jak na straně spojovacích technologií, tak na straně koncových zařízení. Stále vyšší koncentrace polovodičových součástek v elektronických obvodech přináší obecně snížení jejich odolnosti vůči vnějším elektromagnetickým a elektrostatickým vlivům, jejichž nejnebezpečnějším projevem je přepětí. Četnost a velikost přepětí a nadproudů je statistickou záležitostí. Nelze tedy předem určit přesné parametry přepětěvých impulsů a nadproudů. Proto také nelze zhotovit stoprocentně účinnou ochranu, která by vždy ochránila přístroje, telekomunikační vedení či zařízení. Vždy se jedná o kompromisní řešení respektující složitost konstrukce přepětěvové ochrany, cenu a účinnost. Přepětěvová ochrana musí mít takové vlastnosti, aby splňovala požadavky na ochrannou úroveň a sama byla schopna vydržet typické přepětěvové a nadproudové vlivy. Pro ochranu proti blesku a přepětí v telekomunikacích se dnes typicky používají plynem plněné výbojkové bleskojistky, varistory, omezovací diody, supresorové diody nebo kombinace uvedených prvků. Přepětěvové ochrany v telekomunikacích jsou děleny do dvou skupin na přepětěvové ochrany hrubé a přepětěvové ochrany jemné. Hrubá přepětěvová ochrana má za úkol svést hlavní energii přepětí na centrální zemnicí systém, jemná ochrana pak likviduje zbytkovou energii, kterou nejsou z fyzikálních důvodů schopny odvést prvky hrubé přepětěvové ochrany. Připojuje se paralelně k chráněnému vedení a je v praxi realizována plynem plněnými výbojkovými bleskojistkami. Ty jsou tvořeny jiskřištěm, hermeticky uzavřeným v keramickém nosiči, přičemž prostor mezi elektrodami je vyplněn směsí vzácných plynů, typicky Neon, Argon a Krypton. Pomocné elektrody pomáhají při zapálení oblouku (definují jeho počáteční dráhu).



Obrázek 1 Řez plynem plněnou bleskojistkou

Mezi typické parametry bleskojistek patří zejména statické zápalné napětí, impulsní (dynamické) zápalné napětí, impulsní výbojový proud, střídavý výbojový proud, izolační odpor a vlastní kapacita

Prvky jemné ochrany bývají obvykle realizovány přímo ve vstupních obvodech elektronických telekomunikačních zařízení, ve speciálních případech je lze samozřejmě osadit i jako samostatné prvky přímo v rozváděčích. Jistící členy se mohou vhodně kombinovat společně s nadproudovou ochranou. K nadproudové ochraně se používá PTC termistorů (Positive Temperature Coefficient). Existuje proto několik variant jistění. Další varianty tvoří vybavenost hrubých ochran vypínacími prvky, které zamezují zahoření (Fail-Safe kontakty), tedy efektivně eliminují statické přetížení jistícího prvku. Statické přetížení se týká zejména událostí při průrazu vedení nebo galvanickém dotyku s nn. Přestože zde intenzity proudu zdaleka nedosahují hodnot jako při impulsním přetížení, nebezpečí plyne z dlouhodobého hoření oblouku v bleskojistce. To samozřejmě vede k jejímu intenzivnímu ohřevu, kdy při proudu řádu jednotek A dojde k oteplení o 200 – 300 °C během několika desetin sekundy, při malých proudech maximálně během jednotek sekund. Toto přehřátí může mít za následek zborcení držáků bleskojistek, technologie ukončení kabelů, případně dalších prvků rozvodu a v krajním případě i vznik požáru. Ochranu v tomto případě poskytují prvky tepelné ochrany bleskojistek, tzv. Fail-Safe kontakty. Tyto kontakty jsou zapojeny paralelně s bleskojistkou a opírají se o ni podložkou z izolační, ale lehce tavitelné hmoty. Pokud nedojde k výše popsané havárii, udržuje tato vrstvička kontakt rozpojený. V okamžiku přehřátí dojde k jejímu odtavení a kontakt bleskojistku zkratuje. Tím zhasne oblouk a bleskojistka se dále nezahřívá. Tato ochrana je zejména účinná při proudech řádu stovek mA, které obvykle nestačí dostatečně rychle přerušit tavné pojistky, vedou však již k intenzivnímu ohřívání bleskojistky. Je proto vhodné bleskojistky v držácích těmito kontakty vybavovat. Aktivace kontaktu tepelné ochrany znamená jeho nevratné zničení a je třeba jej vyměnit za nový.



**Obrázek 2 Havárie způsobené statickým přetížením bleskojistek**

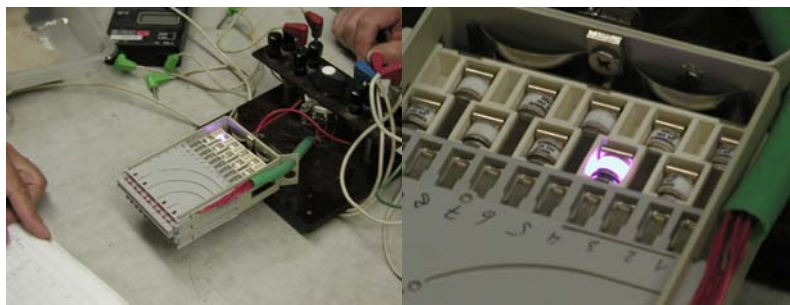
### **Měření v praxi**

Cílem praktických měření je zmapování a charakterizování stavu dílčího segmentu jistění českého telekomunikačního operátora, které se používá jako prostředek ochrany před přepětím na telekomunikačním vedení v kategorii hrubá ochrana. Oborem měření jsou hodnoty statického a dynamického zápalného napětí, vnitřního odporu a času vytavení Fail-Safe ochrany. Analýzou zjištěných výsledků u cíleně vybraných vzorků s jasnou identifikací výrobce bleskojistek, stáří jednotlivých kusů, trvalých provozních podmínek a definovaných vnějších vlivů lze návazně vhodným způsobem zefektivnit management procesu nasazování přepětěvých ochrany. V souladu se zkoumáním pak zvolit vhodná kritéria pro periodicitu kontrol a nutnost obměny z důvodu časové degradace vlastností a fyzické životnosti provozovaných bleskojistek.

## Rozbor měřicích metod

Při měření izolačního odporu a zápalných napětí bleskojistkových vložek jsou použity jednoúčelové měřicí přístroje.

Měření času vytavení je prováděno v sériově zapojeném obvodu, kde do série s bleskojistkou a tavným kroužkem je zapojen laboratorní zatěžovací rezistor s minimálním teplotním koeficientem (Konstantan), aby tak byla zajištěna minimální změna jeho ohmické hodnoty v závislosti na teplotě v průběhu jednotlivých měřicích cyklů. Pro vlastní měření je použit laboratorní měřicí přípravek umožňující vytavovat tavné kroužky v definovaných podmínkách jejich reálné funkce v hlavním rozváděči. Přípravek je konstruován s použitím pásku typu FK 133 02. Pro vytavení tavného kroužku FA 451 02 a propojení příchozího vodiče na strojený zemnič jsou, bez ohledu na konkrétní typ použité bleskojistky, předepsány platnou technickou dokumentací následující časové hodnoty průchodu střídavého proudu 5 A/50 Hz maximálně 5 s. Měřicí obvod je napájen z laboratorního zdroje Siemens 230 V/50 Hz s regulací napětí a proudu určenému k tomuto účelu. Hodnoty proudu i napětí jsou průběžně kontrolovány. Čas vytavení je měřen laboratorními digitálními stopkami při současné vizuální kontrole funkce soustavy bleskojistka - tavný kroužek.



**Obrázek 3 Laboratorní testovací přípravek simulující uložení kazety na MDF**

Při řešení měřicí metody pro vytavování Fail-Safe ochran bylo nejprve prováděno přesné měření času prostřednictvím termokamery FLIR SYSTEMS ThermoCAM™ P65 zacílené na vytavovací přípravek. Při vytavení Fail-Safe ochrany dojde ke zhasnutí výboje a okamžitému snížení teploty na bleskojistce. Pomocí propojení měřicí sestavy prostřednictvím GPIB rozhraní jsme byli schopni určovat časy vytavení velmi přesně. Již první výsledky však ukázaly, že v případě správného vytavení dochází k odpojení bleskojistky v časech 1,5 - 3,5 s. V případě nesprávného času vytavení jsou hodnoty výrazně vyšší než stanovených 5 s. Vzhledem k finanční nákladnosti této měřicí sestavy, problematice provozování sestavy a obecnému zjištění při měření vytavovacích časů byla zvolena výrazně hospodárnější měřicí sestava s dosažením stejné výsledné přesnosti metody vzhledem k velkému odstupů zjišťovaných hodnot od 5 s jako hodnoty limitní. Pro námi zvolený účel tedy plně vyhověly laboratorní digitální stopky s manuálním ovládáním.

### Nejistoty měření

Standardní nejistota se vyjadřuje směrodatnou odchylkou veličiny, pro niž je nejistota udávána. Je označována u (uncertainty).

Nejistota měření obsahuje řadu složek:

a) složky, které mohou být vyhodnoceny ze statistického rozložení výsledků měření a mohou být charakterizovány experimentální standardní odchylkou.

Standardní nejistoty typu A ( $u_A$ ):

- jsou stanoveny z výsledků opakovaných měření statistickou analýzou série naměřených hodnot
- jejich příčiny se považují za neznámé a jejich hodnota klesá s počtem měření

b) složky, které se vyhodnocují z jejich předpokládaného pravděpodobnostního rozložení, např. nejistoty údajů měřicích přístrojů, nejistoty hodnot pasivních prvků, atd.

Standardní nejistoty typu B ( $u_B$ ):

- jsou získávány jinak než statistickým zpracováním výsledků opakovaných měření
- jsou vyhodnoceny pro jednotlivé zdroje nejistoty identifikované pro konkrétní měření a jejich hodnoty nezávisí na počtu opakovaných měření
- pocházejí od různých zdrojů a jejich společné působení vyjadřuje výsledná standardní nejistota typu B

Při měření bleskojistek se provádí v souladu s metodikou zkoušek pouze jedno měření elektrických parametrů. Tedy ze statistického hlediska nepočitatelná a neprůkazná hodnota. Tato skutečnost souvisí s možnou rekombinací molekul uvnitř bleskojistky vlivem hoření oblouku při zapálení bleskojistky a tím i ovlivnění jejích parametrů při dalších zápalech. Protože je požadována maximální ochranná funkce bleskojistky, tedy musí zabránit průniku přepětí k chráněným částem ihned během prvního zapálení, je testována pouze jedním měřením každého parametru. Pokud se z nějakého důvodu provádí opakovaný test, je v důsledku tohoto uvažována jako naměřená hodnota pouze hodnota prvního zápalu. Proto se v případě základních měření bleskojistek neuplatňuje standardní nejistota typu A. V praxi se provádějí v souladu s příslušnými normami určité druhy zkoušek, u kterých lze statisticky hodnotit výsledky podle nejistot typu A. Jedná se např. o zkoušky životnosti bleskojistek a experimentální laboratorní testování. Tyto zkoušky nejsou v článku zohledněny.

Z těchto důvodů je pracováno pouze se standardními nejistotami typu B. Standardní nejistoty typu B jsou vypočítány pro každou měřenou hodnotu a zároveň jsou uváděny jako výsledná hodnota včetně rozšířené nejistoty s koeficientem rozšíření  $k_r = 2$ .

## Příklady výpočtu standardních nejistot měření

### Měření statického zapalovacího napětí:

Chyba měření:  $\pm 0,5 \%$  RDG;  $\pm 0,1 \%$  z rozsahu (katalogové údaje měřicího přístroje)

Bleskojistka: kazeta 17, pozice 2a,  $U_M = 2000 \text{ V}$ ,  $U_X = 226 \text{ V}$

$$u_b = s = \frac{\Delta z_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{\frac{\delta_1}{100} X + \frac{\delta_2}{100} M}{\sqrt{3}}$$
$$u_b = s = \frac{\frac{0,5}{100} 226 + \frac{0,1}{100} 2000}{\sqrt{3}} = 1,807 \text{ V}$$

Standardní nejistota typu B:  $u_b = s = 1,807 \text{ V}$

Výsledná hodnota včetně rozšířené nejistoty s koeficientem rozšíření  $k_r = 2$

$U_x = 226,00 \text{ V} \pm 3,61 \text{ V}; k_r = 2$  nebo  $U_x = 226,00 \text{ V} \pm 1,59 \%; k_r = 2$

## Měření impulsního zápalovacího napětí:

Chyba měření:  $\pm 0,6 \%$  RDG;  $\pm 0,2 \%$  z rozsahu (katalogové údaje měřicího přístroje)

Bleskojistka: kazeta 1, pozice 1a,  $U_M = 2200 \text{ V}$ ,  $U_X = 527 \text{ V}$

$$u_b = s = \frac{\Delta z_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{\frac{\delta_1}{100} X + \frac{\delta_2}{100} M}{\sqrt{3}}$$
$$u_b = s = \frac{\frac{0,6}{100} 527 + \frac{0,2}{100} 2200}{\sqrt{3}} = 4,36 \text{ V}$$

Standardní nejistota typu B:  $u_b = s = 4,36 \text{ V}$

Výsledná hodnota včetně rozšířené nejistoty s koeficientem rozšíření  $k_r = 2$

$U_x = 527,00 \text{ V} \pm 8,72 \text{ V}; k_r = 2$  nebo  $U_x = 527,00 \text{ V} \pm 1,65 \%; k_r = 2$

## Vyhodnocení měření

Správné hodnoty statického zápalného napětí přímo souvisí s problematikou Fail-Safe ochrany a ochranou technologie před možným zahořením. Pokud nedojde k zapálení bleskojistky vyšším než maximálním povoleným zápalným napětím, může dojít také k tavení ochranného elementu a veškerý proud protéká do místa s nejnižším potenciálem přímo v chráněné technologii. Jestliže dojde k zapálení bleskojistky, která není vybavena Fail-Safe ochranou nebo tato ochrana není funkční, dochází k uvolňování tepla na tělese bleskojistky, které může být ve svém důsledku příčinou požáru technologie. Proto je tento parametr klíčový pro obecnou bezpečnost technologie.

Méně nebezpečné stavy, neohrožující technologii přímým poškozením, jsou způsobeny podlimitními hodnotami statického zápalného napětí. Tyto stavy způsobují provozní problémy hlavně v oblasti nežádoucích spojování provozních vodičů se strojnými zemniči technologií nebo při zápalech bleskojistik v oblasti pracovních napětí konkrétních provozovaných zařízení, případně pronikání rušení do provozních párů při zápalech na neprovozních párech. V praxi se tyto závady odstraňují poměrně snadno výměnou vadných kazet nebo jednotlivých bleskojistik. Podlimitní hodnoty statického zápalného napětí nejsou hrozbou pro obecnou bezpečnost technologie, proto je lze z tohoto pohledu považovat za méně nebezpečné.

Hodnoty impulsního zápalného napětí mají hlavní vliv na ochranu chráněného zařízení před poškozením nebo zničením. Bleskojistka s nadlimitním impulsním zápalným napětím není schopna efektivně zachytit dynamickou přepět'ovou vlnu a ta pak proniká k dalšímu stupni ochrany, který není na tuto hodnotu konstruován, nebo přímo do chráněného zařízení, kde zpravidla způsobí poškození nebo jeho zničení.

Pro správnou činnost bleskojistik a maximální ochranu zařízení je důležitá řada dalších parametrů, např. vlastní kapacita, symetrie výboje, izolační odpor  $R_i$ , atd. Jejich vliv na chráněná vedení je za normálních okolností a za předpokladu správné funkce bleskojistky (správné nadlimitní hodnoty) zanedbatelný.

Provedené zkoušky prokázaly, že podstatným parametrem pro správnou zápalnou funkci bleskojistik je právě izolační odpor. Tento parametr v naprosté většině případů přímo souvisel s hodnotami zápalných napětí a proto má také zásadní vliv na správnou funkci

bleskojistek. Pokud byly zjištěny podlimitní parametry izolačního odporu bleskojistek nebo se blížily limitnímu parametru  $> 10 \text{ M}\Omega$ , byly také zároveň zjištěny podlimitní hodnoty statického zápalného napětí. Naopak u vysokých hodnot izolačního odporu nebyl pokles statického zápalného napětí zjištěn.

## Závěr

V průběhu měření vzorků bylo naměřeno 300 x 6 hodnot (Ustat, Uimp, Ri, atd.) u 30 bleskojistkových vložek osazených po 10 bleskojistkách. Jedná se o 300 bleskojistek a 1800 základních výsledků měření. Další výsledky jsou získány statistickým vyhodnocením nebo odbornou optickou kontrolou. V testovaném souboru 300 bleskojistek bylo zjištěno:

Priorita 1: počet závad ovlivňujících bezpečnost technologie Ust [V]:	6	2,00 %
počet závad ovlivňujících bezpečnost technologie t [s]:	2	0,66 %
Priorita 2: počet závad ovlivňujících přepětovou ochranu technologie	4	1,33 %
Priorita 3: počet závad ovlivňujících provozní parametry	16	5,33 %

Z celkového počtu 30 kontrolovaných kazet byla zjištěna závada v elektrických parametrech alespoň na jedné z 10 osazených bleskojistek u 5 kazet. Jedná se o obecnou zjištěnou závadovost 16,66 %. Během zkoušek nedošlo ani v jednom z případů měření k zahorení plastu tělesa vložky.

Získané výsledky jsou statisticky sledovány i z dalších pohledů, také z hlediska typů, stáří komponentů, dílčí zásadovosti, atd. Proto lze za pomoci správně nastaveného systému kontroly přijímat odpovídající opatření zohledňující údržbu, výměny komponentů, plánování nutných nákladů, objednávky a nákup, repase poškozených kusů, atd. Bez těchto nástrojů bychom byli schopni dosáhnout bezesporu dílčích výsledků v oblasti jištění a přepětových ochrann, ale nemohli bychom deklarovat komplexní, kontinuální a dlouhodobou péči o určitý rizikový segment provozované technologie za odpovídajících nákladů s přijatelnou mírou rizika.

**Příspěvek je zahrnut do Výzkumného záměru MSM 4977751310 – Diagnostika interaktivních dějů v elektrotechnice.**

## Literatura

- [1] BURANT, J. *Blesk a přepětí*. Praha: FCC Public s.r.o. 2007. 252 s.
- [2] HAASZ, V., SEDLÁČEK, M. *Elektrická měření: přístroje a metody*. 2. Vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT. 2003. 337 s. ISBN 80-01-02731-7
- [3] interní zdroje ČESKÝ TELECOM, a.s. *Olšanská 5, 130 00 Praha 3*
- [4] interní zdroje a prezentace DEHN + SÖHNE GMBH + CO. KG., *zastoupení pro ČR, Sarajevská 16, 120 00 Praha 2*
- [5] interní zdroje a prezentace HAKEL spol. s r.o. *Bří Štefanů 980, 530 03 Hradec Králové*
- [6] interní zdroje a prezentace Corning Cable Sysems GmbH & Co. KG., *zastoupení pro ČR, K Rybníku 378, 252 42 Jesenice u Prahy*