

Nová generácia izolačných iskrišť

1. Úvod

Izolačné iskrištia (ISP - isolating spark gaps) sú používané pre protikoróziu ochranu a pre elektrickú izoláciu uzemnení od elektrických zariadení (nepriame uzemnenie) prakticky od začiatku industrializácie. ISP musí mať schopnosť zviest' obrovskú energiu pri atmosférickom výboji. Navyše mnohé aplikácie musia byť inštalované vo výbušnom alebo vonkajšom prostredí.

Kým sa nezohľadňovali potreby ochrany osôb, používali sa iskrištia konvenčne so vzduchovou štrbinou, alebo vzduchom plnené s pomerne vysokým zápalným napätím.

Z výsledkov posledného vývoja dnes môžeme ponúknuť plynom plnené izolačné iskrište so zápalným napätím menším ako 100 V s kapacitou zvodu do 100kA pri testovacej vlne 10/350 μ s. TC 100 A je prvý model certifikovaný podľa harmonizovaného Európskeho štandardu ATEX pre aplikácie aj vo výbušnom alebo inak rizikovitom prostredí, ktorý ponúka bezpečnostné podmienky požadované **European Test Certificate No. ZELM 02ATEX 0095X dated 28 June 2002, ktoré sú nutné pre projektovanie budov a zariadení.**

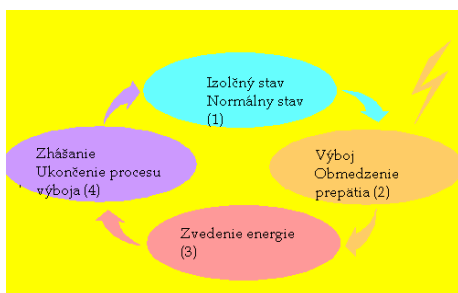
2. Popis

Dôvodom vývoja tohto zariadenia bolo zaplniť medzeru medzi aplikáciami v konvenčných zariadeniach a aplikáciami Ex s požiadavkami:

- **Nízke zápalné napätie $U_{ag} < 100V$** (pre ochranu osôb)
- **Vysoký zvodový prúd** pre aplikácie podľa EN 50 164 (**10/350 μ s**)
- Špeciálna verzia pre aplikácie v Ex – zónach s ATEX certifikáciou
- **Vysoká spoľahlivosť** (malá tolerancia, dlhá bezúdržbová prevádzka) s ohľadom na dosiahnutie optima cena/výkon pre funkcie a údržbu
- Kompatibilita s EMC prepäťová - zónová koncepcia
- Zanedbateľný zvodový prúd v nezapálenom (kľudovom) stave, **čo znamená, že pracuje bez strát**

3. Funkcia ISP

V prípade prepätia spôsobeného napr. bleskom, je ISP navrhnuté k prepojeniu zariadení (uzemnení), ktoré musia byť v normálnom stave odizolované jedno od druhého, a to tak efektívne, aby sa predišlo neprípustnému gradientu potenciálov a zabezpečilo zvedenie celého bleskového prúdového impulzu. Výsledok - ISP chráni ľudí a majetok pred prepätím spôsobeným bleskom alebo inými prepätiami. Ilustrácia obr.



1 je schématickou prezentáciou funkčnosti a princípov ISP v štyroch etapách.

obr. 1 Funkčný princíp

Izolačný stav – ISP má veľmi vysoký odpor, ktorý nijako neovplyvňuje elektrické deje a straty počas normálnej funkcie

Výboj – Ak prepäťová vlna dosiahne ISP, ihneď dochádza k výboju a obmedzeniu napätia na projektom stanovenú, neškodnú úroveň. Prepätie musí byť nižšie než zni-

čujúce prepätie chráneného zariadenia. V prípade izolačných prírub v plynárenských inštaláciách to musí byť menej ako 5 kV resp. 2 kV podľa EN 1594

Zvod – Obvod sa uzatvorí. ISP zvedie celú energiu z prepäťovej vlny bez ohrozenia okolia. Prívody musia byť dostatočne prúdovo dimenzované, čo najkratšie a bez slučiek.

Zhasenie – Ak sa energia z prepätia efektívne zvedla, ISP zhasne a obnoví originálny izolačný stav, pri súčasnom zaistení funkcie ochraňovaných zariadení, ako to bolo pred prechodovým dejom zapríčineným bleskom alebo iným prepätím

4. Fyzikálny proces výboja

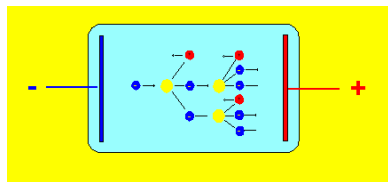
Jednotlivé kroky funkčného diagramu z obr.1 sú vysvetliteľné fyzikálnymi vlastnosťami výboja v plynoch, ktoré sú základom všetkých špeciálnym plynom plnených iskrišť. V klude (1) má izolačné iskrište veľkú impedanciu 10^{12} Ohm. Keď kritické napätie, špecifikované pre izolačné iskrište, prevýši zápalné napätie (U_{ag} , U_{as}), vzniká dočasný skrat (2) t.j. výboj. V iskrišti je vždy k dispozícii limitované množstvo nositeľov výboja, ktoré akcelerujú v kritickom poli k elektródam. (obr. 2). Keď kolidujú s molekulami plynu, ióny sa oddelia od molekúl, vytvoriac lavínu iónov a ihneď začne tiecť prúd. Výsledkom je, že energia obsiahnutá v rušivom impulze je zvedená mimo a zariadenie ostáva ochránené (3). Keď napätie zanikne, vodiče prúdu sa rekombinujú do neutrálnych molekúl plynu. Iskrište sa vráti do pôvodného izolačného stavu, ukončiac funkčný diagram. (4).

Špecifická charakteristika ISP je ovplyvniteľná konštrukciou a výrobnými parametrami.

Napr. jednosmerné zápalné napätie U_{ag} je ovplyvnené faktormi ako zloženie plynu, tlak plynu, vzdialenosť medzi elektródami, geometria priestoru výboja, aditíva do elektród a nakoniec - a nie bezvýznamne - materiál elektród.

Tieto influenčné faktory sa riadia špecifickými pravidlami. Podľa Paschenových zákonitostí pre U_{ag} platí :

$$U_{ag} = f(p \cdot d)$$



Napr. hodnota jednosmerného zápalného napätia U_{ag} závisí od tlaku (p) a vzdialenosti elektród (d). (obr.2).

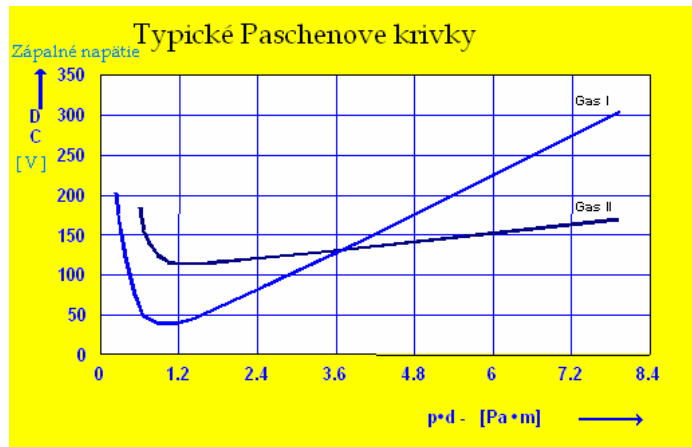
obr. 2 Lavínovitý proces výboja v plynoch

V závislosti od molekulárnej váhy zmesi plniaceho plynu funkcia ISP korešponduje s tzv. Paschenovými krivkami. V princípe - čím vyššia je molekulárna váha, tým bude väčší výboj. (obr. 3)

.
. .
. .
. .
. .

obr. 3 Paschenove krivky

Mocnosť výboja ISP je najviac ovplyvnená práve použitým materiálom elektród, aktivačnými iónmi – agentmi, tepelnou vodivosťou použitých materiálov, veľkosťou priestoru výboja a povrchom elektród.



Keďže výboj je najviac

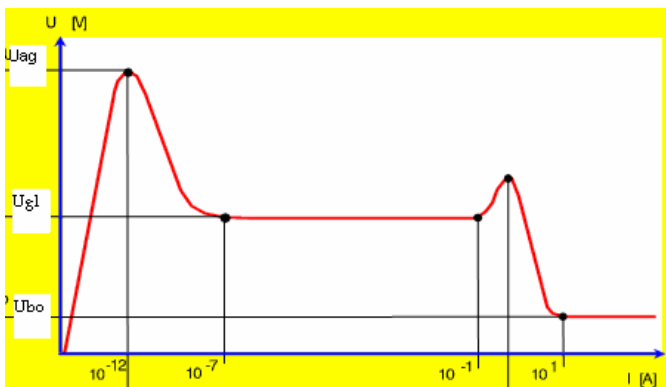
ovplyvnený vlastným plynom, tlakom v komore a vzdialenosťou elektród, impulzný zvodový prúd závisí najviac na vlastnej konštrukcii ISP.

Je jasné každému, že v prípade výboja zapríčinenom z blesku napr. 100kA bleskového impulzu, pre 10/350 μ s, vznikne obrovský tlak kombinovaný s teplotou 1500 až 2000 ° C. Požiadavky na odolnosť materiálu komponentov sú teda extrémne vysoké, najmä na spoj medzi keramikou a kovovými elektródami, ktorý je veľmi namáhaný.

Presné, jemné vyladenie medzi dilatáčnymi koeficientmi materiálov práve používaných, aplikácia procesov ako vysokotlakové zvaranie a vákuová technológia, presné vyladenie zmesi plynu, v spojitosti s prísny systémom kvality priviedlo firmu LE-UTRON k výsledkom a k vedúcemu postaveniu pri riešení tejto problematiky vo svete.

5. Charakteristika ISP – izolačného iskrišťa

Vodivosť plynu neprebíha podľa lineárneho Ohmového zákona. Je popísaná V/A charakteristikou (obr.4).



obr. 4. V/A charakteristika ISP

Špecifické vlastnosti ISP sú popísané týmto charakteristickým diagramom, ktorý slúži aj na testovanie parametrov počas výroby a pre koncový produkt.

Zapálenie výboja je v prechodnej oblasti medzi neautonómnym

a autonómnym výbojom, zvod prepätia a prúdu sa nachádza v oblasti elektrického oblúka (obr. 4).

Charakteristické parametre izolačných iskrišťa ISP sú nasledovné :

- **Uag jednosmerné zápalné napätie**

Hladina napätia pri ktorom sa ISP zapáli pri raste aplikovaného napätia so strmosťou menšou ako 100 V/ms

- **Uas impulzné zápalné napätie**

Hladina napätia pri ktorom sa ISP zapáli pri raste aplikovaného napätia so strmosťou presahujúcou 100 V/ms

- **Ugl napätie pri tlejivom výboji**

Napätie pri ktorom je ISP v stave tlejivého výboja

- **Ubo napätie pri oblúkovom výboji**

Napätie pri ktorom je ISP v stave oblúkového výboja

- **Ris izolačný odpor**

Izolačný odpor ISP meraný pri 10 V resp. pri 100V

Selektívnymi zmenami výrobných parametrov môže byť menená charakteristika ISP pre špecifické požiadavky.

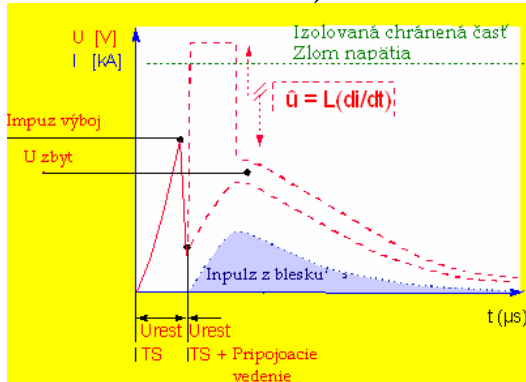
6. Ochranná úroveň

Najdôležitejší parameter ISP je ochranná úroveň, kde musíme zobrať v úvahu nasledovné aspekty :

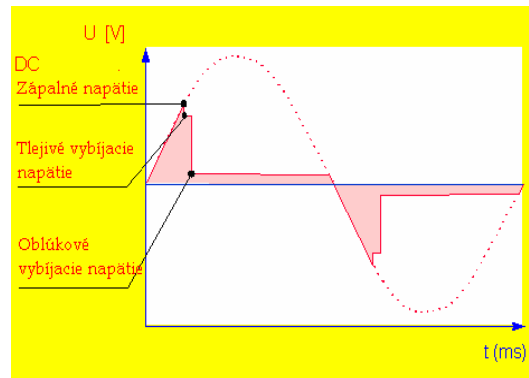
- Jednosmerné zápalné napätie (U_{ag}) pri indukovanom striedavom a pri priamom kontakte s napájacím vedením (obr. 5). Výboj pri pomaly rastúcom napätí so strmosťou do 100V/ms. V tomto prípade ochranná úroveň závisí priamo od U_{ag} DC - jednosmerného zápalného napätia iskrišťa. Tento parameter by mal tak nízky, ako je to len možné.
- Impulzné zápalné napätie (U_{as}) pri atmosférických a tranzientných prepätiach (obr. 6). Výboj pri rapídne narastajúcom napätí so strmosťou nad 100V/ms. Tu tiež ochranná úroveň závisí od izolačného iskrišťa, ktorého úloha je v tomto prípade obmedziť impulzné napätie tak, aby sa predišlo prierazu na vnútornej izolácii zariadenia. U_{as} ISP iskrišťa by nemalo byť len pod napätím, ktoré znesie izolačný materiál zariadení či káblov, ale musí byť tak nízke, ako je to len možné, aby sa predišlo zbytočnému riziku.
- Medzi iné aspekty, ktoré sú často v praxi nedefinované alebo sa im nepripisuje patričná pozornosť, patrí reziduálne napätie ostávajúce po atmosférickom výboji (obr. 5). Je formované po výboji v iskrišti a pozostáva z tlejivého napätia ISP ($<30V$) a úbytku napätia medzi napájacím vedením a prepojeným vedením príruby. Po výboji v ISP sa objaví napätie na izolačnej časti so špičkovou hodnotou $U=L(di/dt)$, kde L je indukčnosť a di/dt strmosť nárastu prúdu. Iskrište musí byť inštalované vždy čo najbližšie ku chránenému zariadeniu, aby bola dosiahnutá najvyššia možná ochranná úroveň. Je nerealistické veriť, stačí udržať ochrannú úroveň tesne pod špecifikovaným havarijným napätím izolačných častí. Nesmieme zabudnúť, že definované havarijné napätie pre výrobky a ich izolácie je platné, len keď sú úplne nové. Izolačný odpor klesá (neudržiavaním, špinou, prachom...) počas ich životnosti. Tento fakt musíme vziať do úvahy počas projektovania a inštalácie zariadení v súlade s dosiahnutím čo najvyššej možnej ochrannej úrovne a rozdielov napätí medzi ochrannou úrovňou a havarijným napätím. Čím nižšie je zbytkové napätie, tým lepšie a efektívnejšie je chránené chránené zariadenie.
- Zbytkové napätie pri AC striedavých prúdoch (obr. 6) sa formuje po výboji v ISP a môže sa objaviť buď ako tlejivé napätie alebo ako oblúkové napätie. Tieto dva stavy sú funkciou impulzu a moci prúdu a sú charakterizované pomerom U/I obvodu izolačného iskrišťa. Tento parameter závisí od vlastností izolačného iskrišťa.

LEUTRON iskrištia majú tlejivé napätie asi 100V a pri úrovni zvodového prúdu $> 10A$ a pri prechode do oblúkového výboja je napätie pod 30V.

TIETO HODNOTY SÚ SIGNIFIKANTNE VYŠŠIE PRI VZDUCHOM PLNENÝCH ISKRIŠTIACH, KTORÉ LEUTRON NEPOUŽÍVA A NEDAJÚ SA DOSIAHNUŤ ANI S POUŽITÍM VARISTOROV (TIETO MAJÚ NAVIAC VEĽKÝ KEUDOVÝ ZVODOVÝ PRÚD, Z ČOHO VYPLÝVAJÚ VEĽKÉ STRATY).

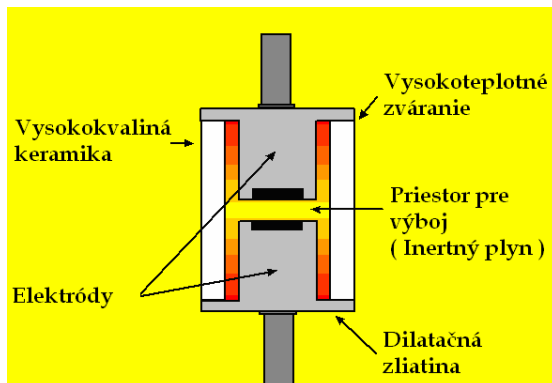


obr. 5 Reziduálne napätie nasledujúce bleskový impulzný prúd



obr. 6 Reziduálne napätia

7. Konštrukcia plynom plnených izolačných iskrišť' ISP



Základné princípy a skúsenosti získavané dávno na začiatku vývoja plynom plnených iskrišť' sú jadrom dnešného izolačného iskrišť'a ISP (obr.7) a jeho finálnej verzie.

Ob. 7 Konštrukčný princíp

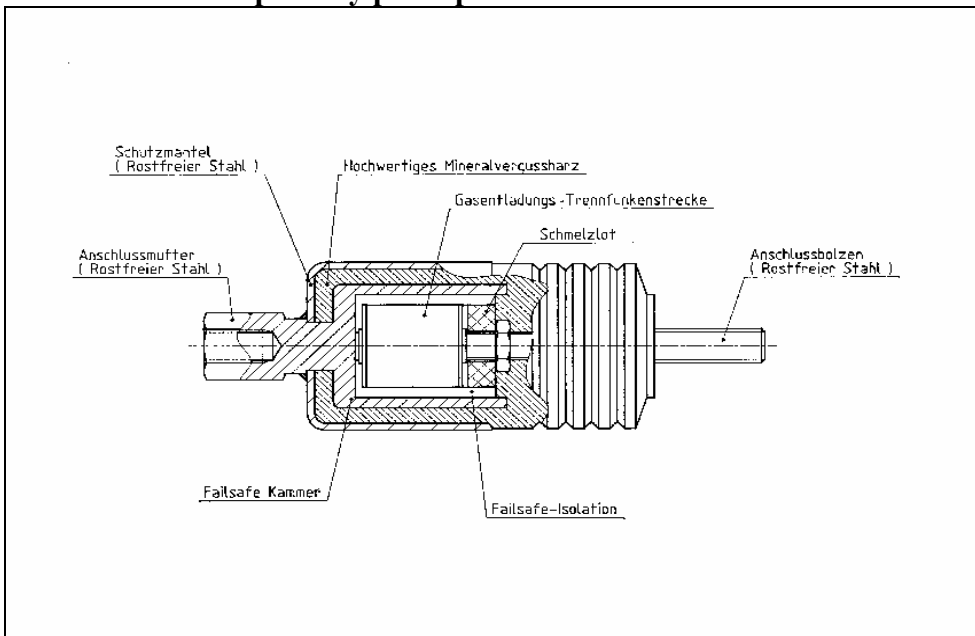
Izolačné iskrištia fy LEUTRON plnené inertnými plynmi pozostávajú z vysokokvalitných metal / keramických konštrukcií s veľmi malým rozstupom elektród pre dosiahnutie žiadaných hodnôt. Elektrody sú vyrobené z dilatačných zliatin, pokryté emisiu stimulujúcimi prvkami. Výbojová komora je vákuovaná a následne naplnená pod príslušným tlakom zmesou inertných plynov podľa konkrétnej požiadavky na zápalné napätie finálneho výrobku.

Modulárny konštrukčný koncept dovoľuje obdržať rozličné verzie, až po verzie do explózneho prostredia ako **TC 100A EEx**.

Temperature category	Ignition temperature	Examples		
		IIC	IIB	IIA
T1	> 450 °C	Hydrogen	Town gas	acetone, ethane, ethylacetate, ethyl chloride, ammonia, benzene, toluene, propane, phenol, naphthalene, methyl chloride, methanol, methane, carbon oxide, acetic acid
T2	> 300 up to ≤ 450 °C	Acetylene	Ethyl alcohol Ethylene Ethylene oxide	n-butane, n-butyl alcohol, cyclohexanone, 1.2-dichloroethane, acetic acid-anhydride, i-amylacetate
T3	> 200 up to ≤ 300 °C		Hydrogen sulphide	benzine, petrol special benzines, n-hexane heating fuel EL/L/M/S jet propulsion fuels diesel fuels

Tabuľka 1

8. Konštrukcia a operačný princíp TC 100A Ex



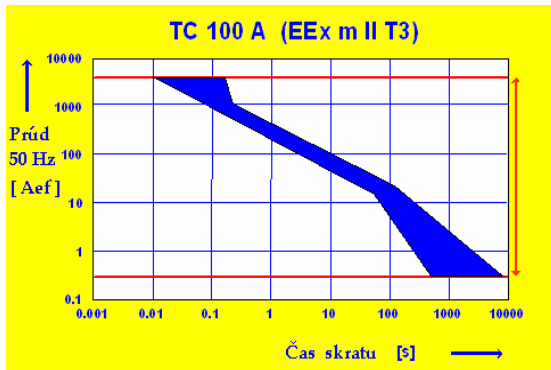
obr. 8 Konštrukcia TC 100A

Ak je ISP vystavené prúdovej záťaži nad špecifikovanú úroveň, ako AC prúdu, môže dôjsť ku zvýšeniu teploty vo vnútri iskrišťa. Najdôležitejšia požiadavka pre vysokoexplozívne priestory je, aby sa prvok neroztrhol a aby bolo zaistené dodržanie teplotného parametra na povrchu zariadenia. (Pozri tab. 1.) V prípade TC 100A bola táto požiadavka splnená doplnením základnej súčiastky (obr. 7) tzv. fail-safe zariadením (skratové zariadenie) a hermeticky zapuzdreným odliatkom s čiastočným zapuzdrením z hrubého plechu.

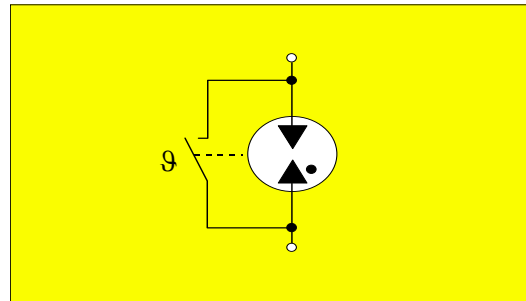
V prípade ak teplota dosiahne vo vnútri iskrišťa určitú definovanú vrcholovú hodnotu, zariadenie fail-safe zareaguje (odozva vid' obr. 9 a spínacia schéma) a spôsobí perma-

nentný skrat vo vnútri iskrišťa. Toto zredukuje rozťažnú silu, zastaví možnú explóziu a efektívne zastaví aj nárast povrchovej teploty.

Aj zapálenie, aj výboj sa vykoná v hermeticky uzavretom iskrišti. Takto neexistuje riziko zapálenia predmetov v okolí iskrišťa ani samotným výbojom ani nárastom teploty. Ak sa fail-safe aktivizuje, ISP musí byť vymenené, lebo sa týmto bezpečným zásahom nenávratne zničí. Jeho skrat sa ľahko identifikuje meraním.



obr. 9a Typická fail-safe charakteristika



obr. 9b Spínacia schéma fail-safe

Konvenčné Ex izolačné iskrištia zvyčajne vyhovujú požiadavkám pre ochranu Ex s G4 podľa VDE 1170 a 0171. Vyhovujú dokonca klasifikácii podľa starej nemeckej DIN normy pre špeciálne ochranné kategórie "s", ale nevyhovujú novým európskym harmonizovaným EEC nariadeniam pre zariadenia a ochranné systémy určené pre použitie v explozívnej atmosfére od EN 50 014 do EN 50 028 zo 6.2.79.

Už niekoľko rokov nie sú certifikácie založené na národných normách a štandardoch. Od r. 1988 zapuzdrenie "m" podľa EN 50 028 bolo nahradené tzv. Špeciálnou ochrannou kategóriou "s".

Moderné izolačné iskrište typu TC 100A disponuje zabudovanými parametrami nutnými pre bezpečnostné normy, certifikované vo všetkých európskych krajinách a je prvým izolačným iskrišťom, ktoré bolo certifikované podľa dnes platnej EURO – ATEX – STANDARD.

9. Špeciálne vlastnosti nového izolačného iskrišťa ISP

Hore popísané ISP izolačné iskrište má vlastnosti, ktoré sa nedajú nikdy dosiahnuť otvorenými, vzduchom plnenými iskrišťami.

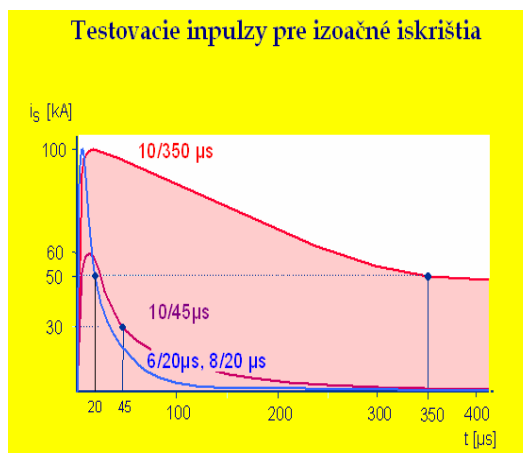
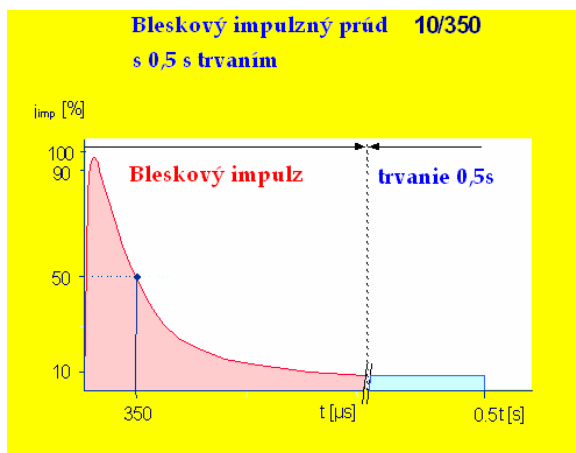
Výhody:

- Nízka DC a AC ochranná úroveň
- Nízke dotykové napätie
- Veľmi vysoká stabilita výboja, dokonca aj po impulzných a AC prúdových zaťaženiach
- Úplná nezávislosť výboja od vonkajších vplyvov, ako tlak a vlhkosť vzduchu
- Žiadny výfuk horúcich plynov mimo z hermeticky uzavretej komory
- Bezpečnú vzdialenosť osôb od inštalácií nie je viac potrebné dodržiavať
- Žiadny negatívny vplyv na charakteristiku zapríčinenú vnútornou koróziou vďaka použitiu inertných plynov a vysoko-teplotnému zváraniu
- Fail-safe charakteristika zaručujúca po preťažení ochranu zariadení pri nasledovných bleskoch a indikáciu poškodenia (vnútorným trvalým skratom)
- Veľmi vysoká impulzná a AC prúdová odolnosť

- **Dlhá životnosť a stabilná charakteristika**

Základné typy novej generácie iskrišť ISP : TSF 100 a TSF 500 boli dané nezávislému inštitútu Technishe Universitet Ilmenau v Nemecku, kde boli exponované a zaťažované bleskovými prúdmi v súlade s Draft European Standards pr. EN 50 164 /Testy s bleskovými prúdmi / napr. prvý čiastkový bleskový úder, impulzná prúdová vlna 10/350 μ s, nasledovalo dlhotrvajúce prúdové zaťaženie s trvaním 0,5 sekundy (viď obr. 10). Oba typy skúšok boli úspešne vykonané v súlade s požiadavkou 3x50kA/ 50As a dokonca prešli aj testy 3x 75kA/75As a 1x 100kA /100As.

Tieto výsledky sú dokumentované test reportmi.



obr. 10 Test impulz podľa EN 50164 resp.CLC/BTTF62-2 obr. 11 Porovnanie rôznych prúdových impulzov pre testy

Bleskový prúd je charakterizovaný testovacou vlnou 10/350 μ s . Prvá hodnota (tu:10 μ s) indikuje čas nárastu prúdu (medzi 10% a 90% amplitúdy), druhá hodnota predstavuje čas na dosiahnutie polovičnej úrovne amplitúdy v μ s (obr. 10)

Odolnosť proti priamemu úderu blesku bola testovaná impulznými vlnami 6/20 μ s, 8/20 μ s, a 10/45 μ s. **Ako vidíme na obr. 11 tieto testovacie impulzy prinášajú oveľa menšiu úroveň energie ako 10/350 μ s test impulz.**

Porovnanie : Pre 100kA 8/20 μ s je zaťaženie 2As a špecifická energia pri výboji je 0,15MJ/Ohm (DIN VDE 0845-2), pri 100kA (10/350 μ s) 50As a 2.5 MJ/Ohm (podľa normy CENELEC/BTTF 62-2).

Ak porovnáваме rozdielne ISP izolačné iskrištia, je veľmi dôležité vziať do úvahy aplikované testovacie prúdové impulzy.

10. Dostupné typy

Podľa hore popísaných výsledkov sú k dispozícii rozličné konštrukčné typy pre špecifické aplikácie navrhnuté firmou LEUTRON. Tri štandardné produkty boli vytvorené pre masovú aplikáciu :



TSF 100, TSF 500 pre vnútorné a kryté prostredie
 TA 100C, TA500C pre vonkajšie prostredie
 TC 100A pre explozívne prostredie
 SGO 70/100 QA
 SGO 70/100

TSF 100 /500/

ISP izolačné iskrište s jednosmerným zápalným napätím 100V / 500 V /
 Odolnosť voči impulznému prúdu 100kA pri testovacej vlne 10/350 μ s a certifikované
 podľa EN 50 164 Technickou univerzitou Ilmenau.

TCF 100A (EEX m II T3)

ISP izolačné iskrište pre aplikácie do výbušného prostredia podľa EEC Typ Test certifi-
 kátu č. ZELM 02 , ATEX 0095X / Nemecko / , ASEV certifikát č. 94.101136 U / Švaj-
 čiarsko / a P/01463/101/97 na Slovensku

TAF 100C / 500 /

ISP izolačné iskrište pre vonkajšie aplikácie, zapuzdrené do polyuretánu, použiteľné vo
 vlhkom prostredí.

Pozn. písmeno F v označení znamená, že zmes plynov neobsahuje nebezpečné iniciačné
 prvky / FREE /

11. Aplikčné oblasti

Jedna z najdôležitejších oblastí aplikácie ISP je protiblesková ochrana izolačných prírub
 plynovodov, zariadenia aktívnej protikoróznej ochrany. Údery blesku indukujú AC vysoko-
 kofrekvenčný prúd a priamy kontakt s napájacími vedeniami môže zapríčiniť potenciálo-
 vý rozdiel a deštrukciu izolačných prírub, napájania, usmerňovačov a elektroniku mera-
 cích a riadiacich systémov, ako aj systémov protikoróznej ochrany, kde sa už niekoľko
 rokov na Slovensku úspešne aplikujú. Keďže izolačné príruby sú často montované do Ex
 nebezpečných prostredí, Ex prevedenie ISP sa veľmi často používa.

Ďalšie aplikácie

Lanovky a lanové dráhy, nádrže na plyn a pohonné hmoty, izolačné príruby, regulačné stanice katódovej ochrany potrubí, anténne systémy, DC železničné reléové stanice, protikorózne oddelenie (makročlánky) dvoch uzemňovacích sústav z diametrálne odlišných materiálov (napr. Cu - Zn) atď.



obr. 13 Protiblesková ochrana izolačnej príruby

Článok spracoval: Jorg Jelen, Managing director LEUTRON GmbH
Voľný preklad: Ing. Ladislav Tomlein, AETRON s.r.o.