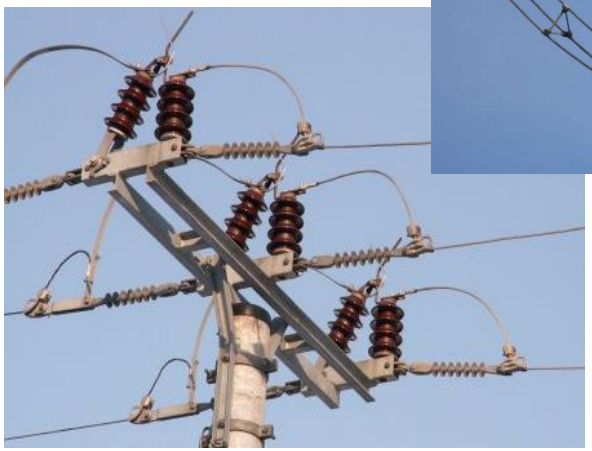
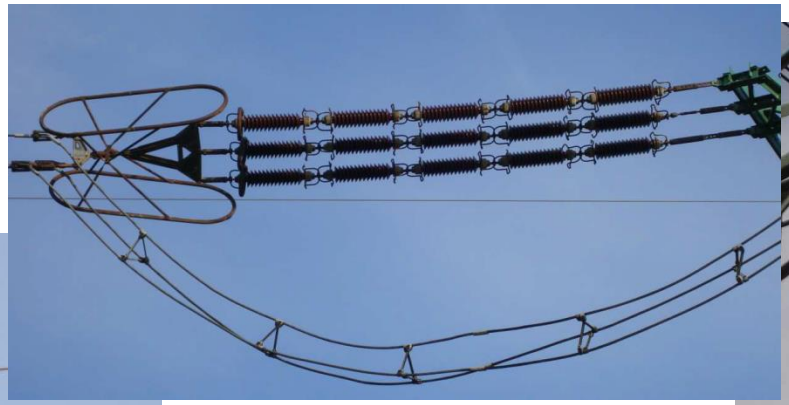
VYSOKONAPĚŤOVÉ ZKUŠEBNICTVÍ

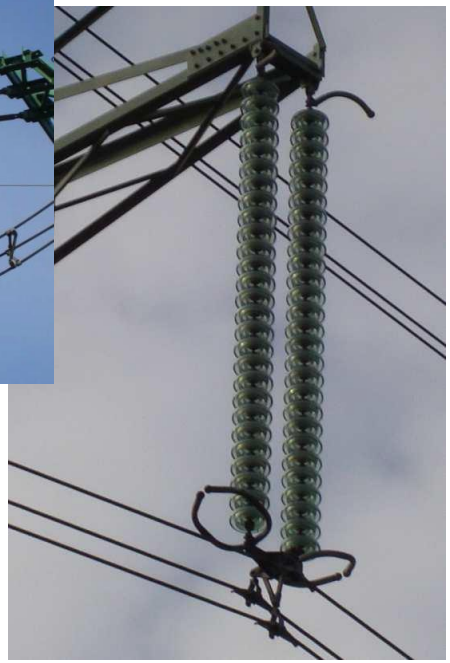
Diagnostika izolátorů, svodičů přepětí a výkonových vypínačů

Vysokonapěťové izolátory

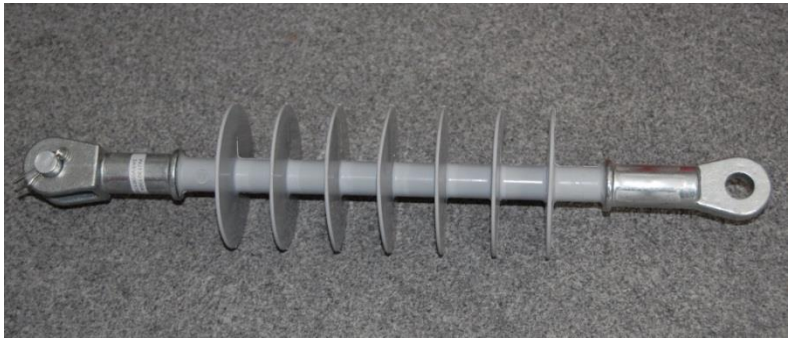
- Izolují vedení od uzemněných částí (kostry stožáru)
- Mechanicky upevňují vedení ke stožáru



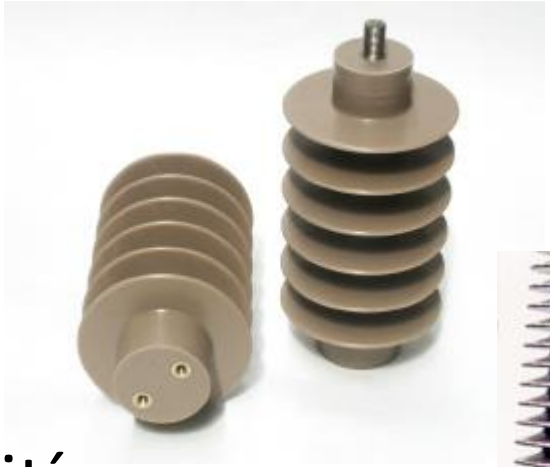




Vysokonapěťové izolátory



- Dělení dle materiálu:
  - kompozitní
  - keramické
  - skleněné
- Dělení dle typu:
  - závěsné
  - kotevní
  - podpěrné
- Dělení dle místa použití:
  - venkovní
  - vnitřní



Parametry izolátorů

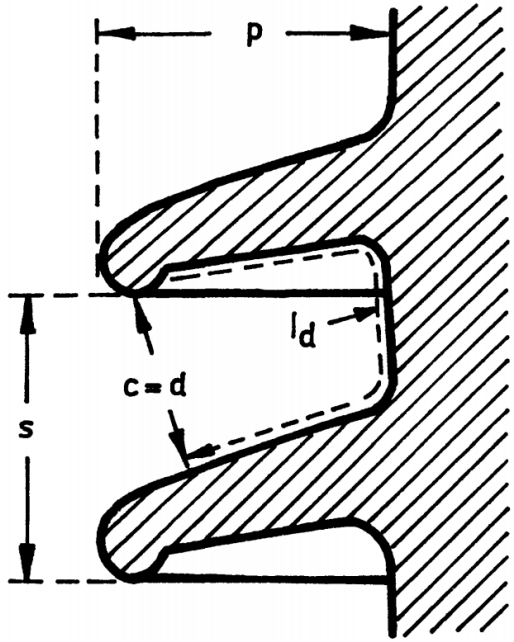
- Přeskoková vzdálenost (arcing distance)
  - Nejkratší vzdušná přeskoková vzdálenost mezi kovovými částmi, které mají mezi sebou provozní napětí
- Povrchová cesta (creepage distance)
  - Nejkratší vzdálenost po povrchu izolátoru mezi dvěma vodivými částmi, které mají mezi sebou provozní napětí
- Činitel tvaru (form factor)
  - Kvantifikuje vztah mezi vzdáleností mezi stříškami izolátoru a hloubky stříšky

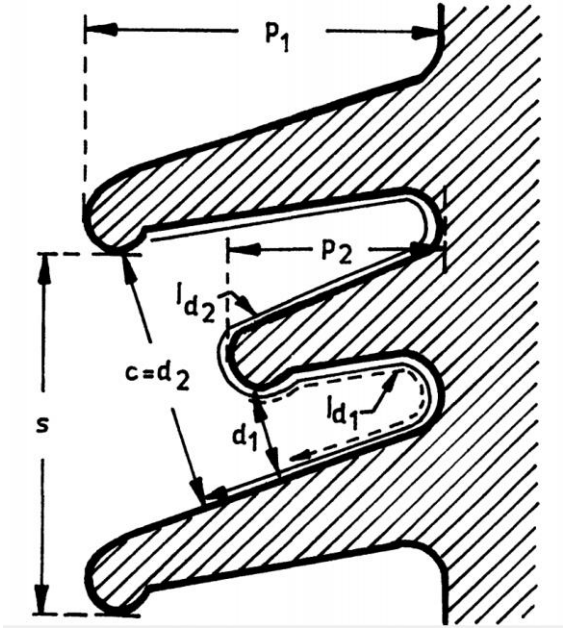
Parametry izolátorů

– Činitel tvaru lze matematicky stanovit jako:

$$f = \int_0^L \frac{dl}{2\pi R(l)}$$

kde L je povrchová vzdálenost a R je poloměr.





Diagnostické metody pro vysokonapěťové izolátory

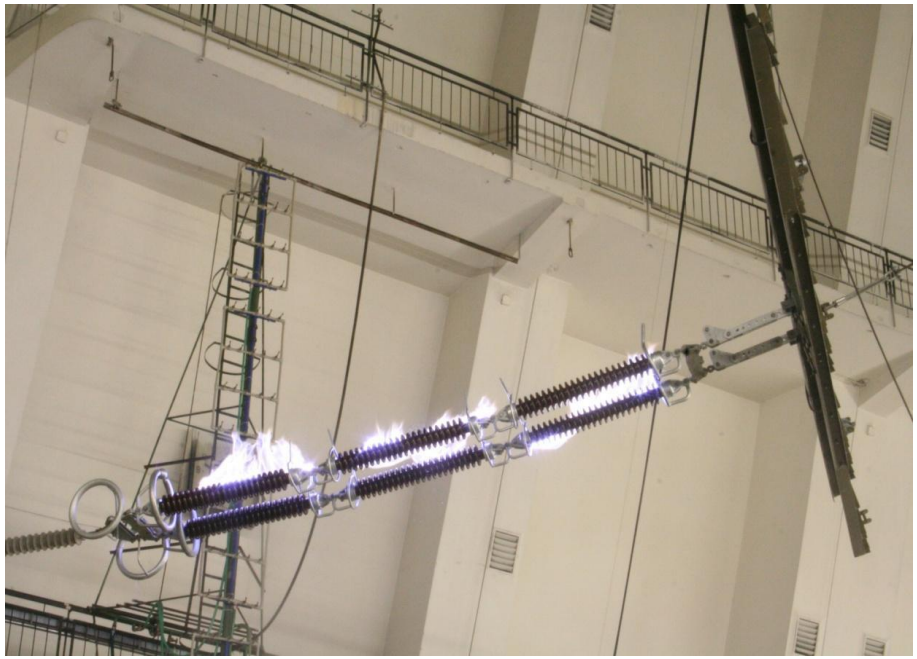
- Napěťové zkoušky
  - Výdržným AC napětím (za sucha + za deště)
  - Atmosférickým impulzem
  - Spínacím impulzem (za sucha + za deště)

- Většinou se snažíme při zkouškách nasimulovat co nejvěrohodněji skutečný stav
  - > ve zkušebnách se často realizují celé izolátorové závěsy včetně upevnění na dané části stožárů

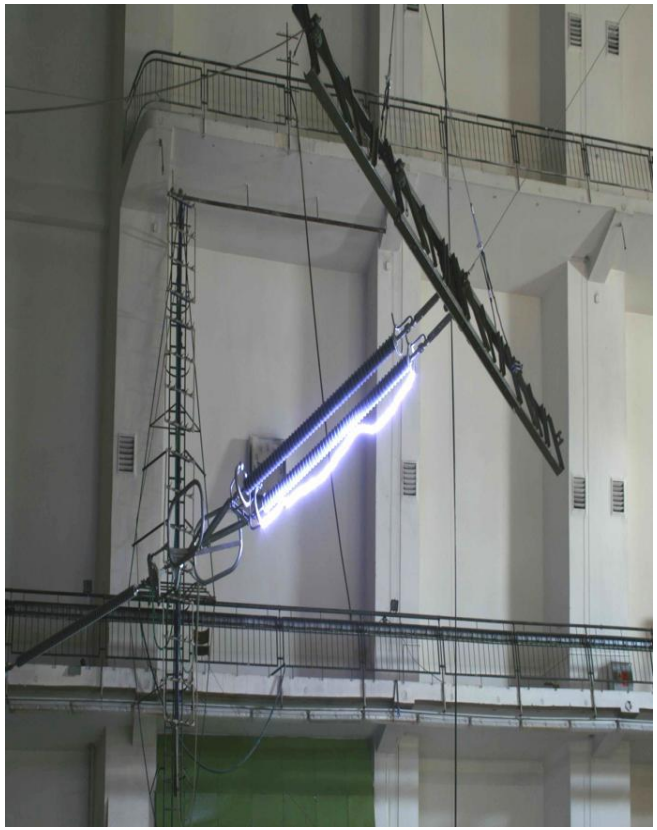
Napěťové zkoušky vysokonapěťových izolátorů

- Provádí se dle dané normy pro izolátory s odkazem na normy napěťových zkoušek (viz přednáška na napěťové zkoušky!!!)
  - Provádí se korekce na atmosférické podmínky
  - Postup i vyhodnocení parametru U_{50} metodou nahoru a dolu dle ČSN EN 60060
- Zkoušky za sucha norma nepředepisuje nicméně se provádí téměř vždy jako doplňkové zkoušky
- Zkoušky spínacím impulzem se většinou provádí jen pro izolátory vvn

Napěťové zkoušky vysokonapěťových izolátorů



Výboj způsobený AC napětím



Výboj způsobený atmosférickým přepětím

Další diagnostické metody pro vysokonapěťové izolátory

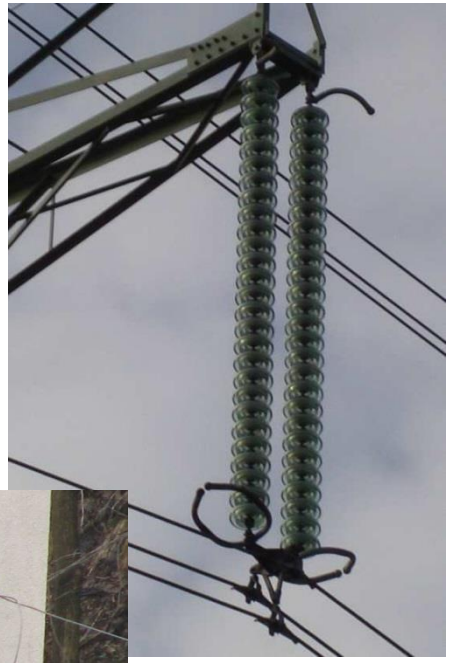
- Mechanické zkoušky
  - Důležité zkoušky - velmi složité a náročné požadavky
- Zkoušky vlivu okolního prostředí
  - Opět důležité zkoušky
  - Často se kombinují s napěťovými zkouškami (hlavně pro zařízení do ztížených podmínek!)
- Teplotní zkoušky

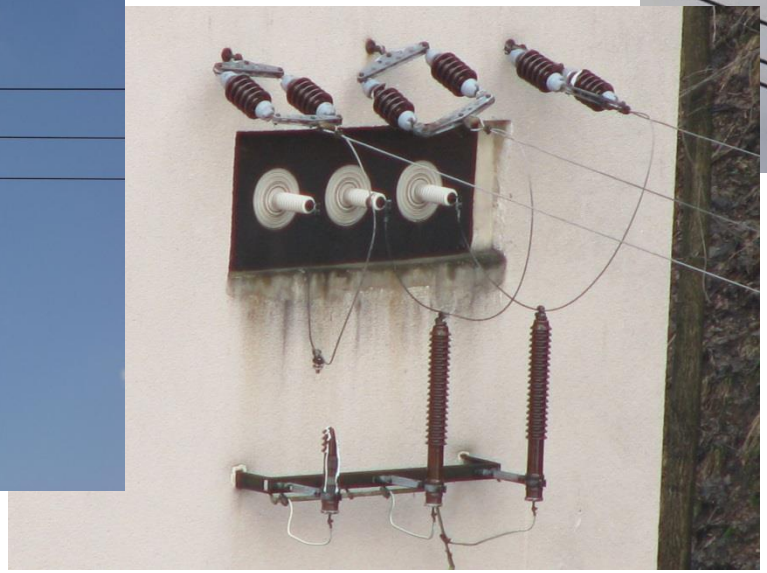
Normy pro diagnostiku vysokonapěťových izolátorů

- ČSN EN 60383
- ČSN EN 61109
- ČSN EN 61952
- ČSN EN 62217
- ČSN EN 62223
- ČSN IEC 383-1
- ČSN 34 8031

Svodiče přepětí

- Ochranná jiskřiště
- Bleskojistky
- Omezovače přepětí (materiál ZnO)





Diagnostické metody pro svodiče přepětí (bleskojistky a omezovače)

- Výdržné zkoušky izolace pláště
  - Klasické zkoušky dle ČSN EN 60060
- Měření zapalovacího napětí
- Zkoušky zbytkového napětí
- Výdržné zkoušky impulzy proudu
- Zkoušky provozní funkčnosti
- Měření částečných výbojů

Diagnostické metody pro svodiče přepětí (bleskojistky a omezovače)

- Pozn.: Následující rozbor jednotlivých metod je zaměřen na bleskojistky, pro svodiče přepětí jsou zkušební postupy velmi obdobné, většinou pouze s rozdílem různých vstupních hodnot (tabulkové veličiny, limity, hodnoty při měření použitých veličin závislé na jmenovitých veličinách měřeného zařízení, …)

Zkouška zapalovacího napětí

- Nutná zkouška pro všechny svodiče
- Několik typů:
  - za sucha / za deště
  - Střídavým napětím při průmyslovém kmitočtu
    - Přiloží se takové napětí, aby svodič nezareagoval na spínací přepětí poté se napětí zvyšuje až do hodnoty, kdy svodič zareaguje
    - Měřící zdroj musí být vypnut do 0,5 s od spuštění svodiče
  - Atmosférickým impulzem
    - Normalizovaným impulzem 1,2/50 μs s vrcholovou hodnotou z tab. v normě dle jmen. napětí

Zkouška zapalovacího napětí

- Atmosférickým impulzem
  - Normalizovaným impulzem 1,2/50 μs s vrcholovou hodnotou z tab. v normě dle jmen. Napětí
  - Přiloží se 5 impulzů kladné i záporné polarity a pokaždé musí svodič zareagovat
- Měření charakteristiky zapalovacího napětí při atmosférickém impulzu
  - Přikládají se postupně atmosférické impulzy (polarity která způsobuje vyšší zapalovací napětí) s postupně zvětšující se maximální hodnotou napětí – odečítají se časy a hodnoty napětí při zareagování svodiče

Zkouška zapalovacího napětí

- Měření charakteristiky zapalovacího napětí při spínacím impulzu
  - Jen pro svodiče pro proudy od 10 000 A a od jmenovitých napětí 100 kV
  - Různé typy impulzů
  - Obdobný, ale složitější postup než u atmosférického impulzu
  - Podrobnosti viz příslušná norma

Měření zbytkového napětí

- Provádí se na třech vzorcích měřeného svodiče přepětí
- Měří se zbytkové napětí při atmosférickém a spínacím pulzu (ten jen pro svodiče pro proudy od 10 000 A a od jmenovitých napětí 100 kV)
- Při měření atmosférickým impulzem se přikládají proudové impulzy 8/20 μs

Měření zbytkového napětí

- Na každý vzorek se přiloží minimálně čtyři impulzy s vrcholovými hodnotami proudu 0,25; 0,5; 1 a 2 násobku jmenovitého proudu svodiče
- Mezi jednotlivými výboji musí být takové časové rozestupy, aby svodič vychladl přibližně na teplotu okolí
- Výsledkem je charakteristika závislosti zbytkového napětí na výbojovém proudu (což je maximální obálka všech zkušebních bodů)

Výdržná zkouška impulzem proudu

- Provádí se na třech nových vzorkách, které jsou kompletně smontovány pro provoz
- Mezi jednotlivými impulzy musí vždy zkoušený objekt vychladnout na teplotu okolí
- Před těmito zkouškami a po nich se provede měření zapalovacího napětí za sucha
  - > kontrola stejné hodnoty
- Dva typy:
  - Impulzem vysokého proudu
  - Impulzem dlouhého proudu

Výdržná zkouška impulzem vysokého proudu

- Přiloží se vždy dva proudové impulzy 4/10 μs s vrcholovou hodnotou dle tabulky v normě
- Příklad tabulky pro bleskojistky:

Třída bleskojistky (jmenovitý výbojový proud) A	Vrcholová hodnota impulzu vysokého proudu kA
10 000 lehký a těžký provoz	100
5 000 série A a B	65
2 500	25
1 500	10

- Při každém impulzu se musí měřit napětí a proud,
- Průběh napětí u všech měření všech vzorků by se neměl výrazně měnit

Výdržná zkouška impulzem dlouhého proudu

- Před a po této zkoušce se navíc musí provést pro srovnání měření zbytkového napětí
- Zkouška se skládá z 20 výbojů rozdělených po pěti do čtyř skupin
- Časový interval mezi výboji ve skupině musí být 50 až 60 s a mezi skupinami 25 až 30 min
- Musí být zaznamenán oscilografický záznam napětí a proudu při prvním a dvacátém výboji
- Přesná definice tvaru impulzu je popsána pro různé druhy svodičů v příslušných normách

Zkouška provozní funkčnosti

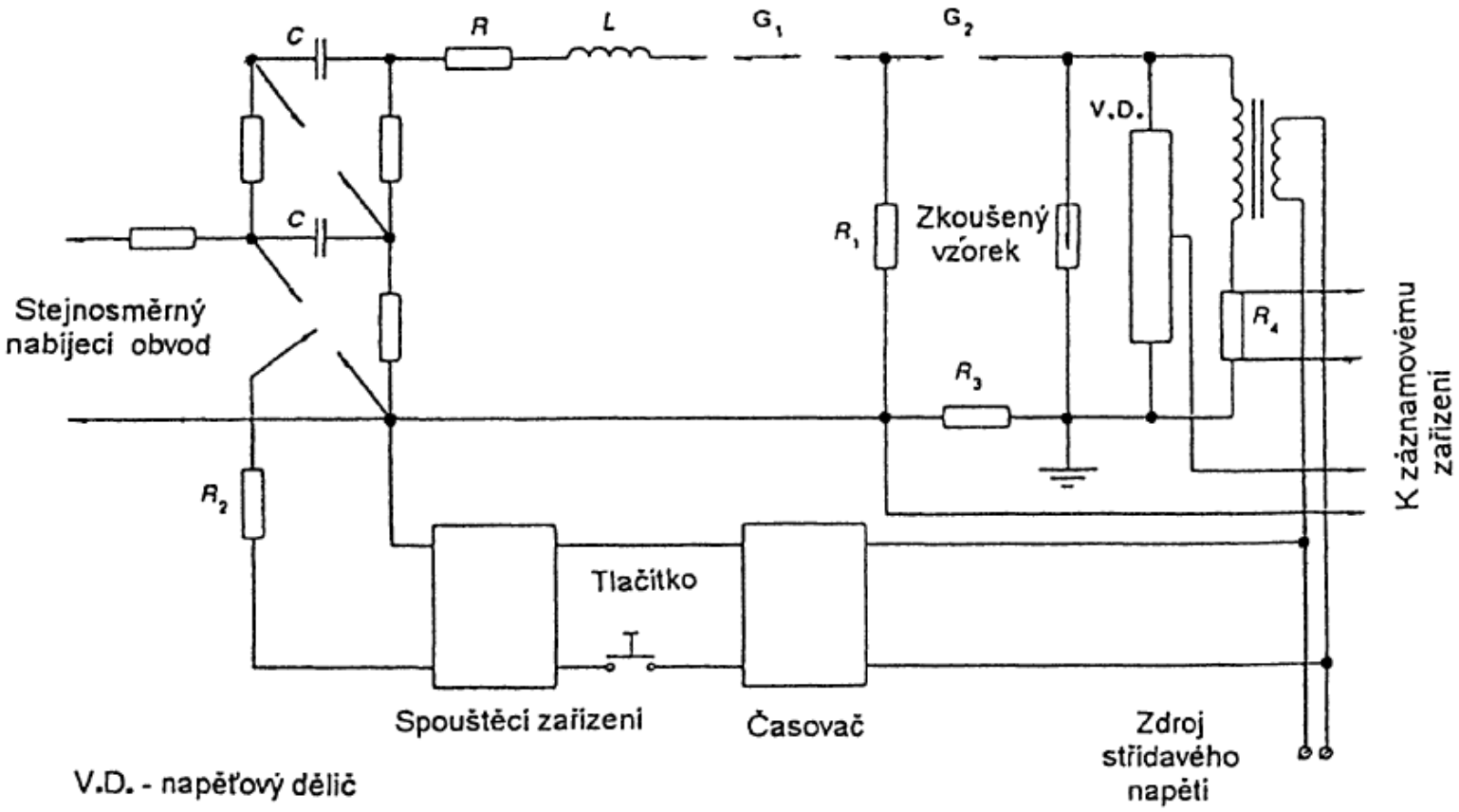
- Provádí se na vzorcích, na kterých nebyli prováděny žádné výdržné zkoušky
- Napodobí se provozní podmínky (pro každé zařízení jsou různé podmínky)
- Přiloží se stanovený počet určených proudových impulzů 8/20 μs (o vrcholové hodnotě proudu rovné jmenovité hodnotě proudu zařízení) při současném připojení na zdroj s předepsaným kmitočtem, napětím a impedancí (jmenovité napětí zařízení o frekvenci 48 – 62 Hz)

Zkouška provozní funkčnosti

- Zdroj zkušebního střídavého napětí musí mít takovou hodnotu impedance, aby vrcholová hodnota napětí přivedeného na svodič nepoklesla během měření následného proudu pod jmenovitou hodnotu svodiče
- Zároveň nesmí při přerušení následného proudu napětí na svodiči překročit jeho jmenovitou hodnotu o více než 10 %
- Postup pro návrh a sestavení zkušebního obvodu je součástí normy pro zkoušky svodičů přepětí

Zkouška provozní funkčnosti

- Příklad typického zkušebního obvodu pro zkoušku provozní funkčnosti:



Zkouška provozní funkčnosti

- Příklad typického zkušebního obvodu pro zkoušku provozní funkčnosti:
  - Impulzy se vytváří rázovým generátorem s nastavitelnými parametry *C*, *R*, *L* (nastavení parametrů pulzu)
  - Bezindukční bočník R_3 a *V.D.* slouží pro měření proudu a napětí
  - R_4 slouží ke snímání následného proudu
  - Jiskřiště G_1 a G_2 jsou ochranná (chrání impulzní generátor a zajišťují správnou funkčnost obvodu)

Zkouška provozní funkčnosti

- Časování prvního zkušebního impulzu musí takové, aby vznikl přibližně s fázovým posunem 60° před vrcholem vlny střídavého napětí (polarita vlny a impulzu musí být stejná)
  - Pokud vznikne nepřerušovaný následný proud, provádí se zkouška s tímto časováním
  - Pokud vznikne přerušovaný následný proud hledá se časování s nepřerušovaným následným proudem – zkouší se v krocích o 10° menší fázový posun před vrcholem vlny AC napětí

Zkouška provozní funkčnosti

- Během zkoušky se přiloží 20 impulzů ve čtyřech skupinách po pěti
- Časový interval mezi impulzy ve skupině musí být 50 až 60 s a mezi skupinami 25 až 30 min (vzorek vychladne na teplotu přibližnou teplotě okolí)
- Jmenovité AC napětí musí být přiloženo nejméně jednu periodu před přiložením impulzů a min 10 s po přiložení impulzu

Zkouška provozní funkčnosti

- Během zkoušky se zaznamenávají přesně definované oscilografy napětích a proudů při všech impulzech
- Pokaždé musí dojít k přerušení následného proudu nejpozději do konce půlperiody AC napětí, která následuje po půlperiodě, ve které byl přiložen proudový impulz
- Nikdy nesmí dojít k opětovnému vzniku následného proudu v následujících půlperiodách AC napětí

Částečné výboje

- Tato zkouška není povinná, často se ale realizuje
- Viz (budoucí) přednáška na diagnostiku výkonových transformátorů
- Též viz norma ČSN EN 60270

Další diagnostické metody pro svodiče přepětí

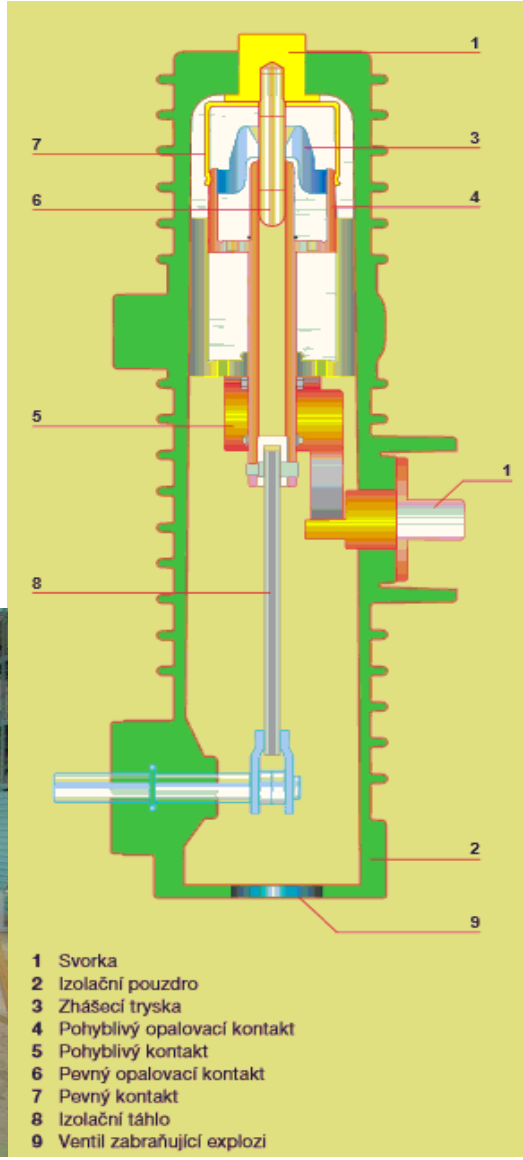
- Mechanické zkoušky
- Zkoušky vlivu okolního prostředí
- Zkoušky radiového rušení

- Normy pro diagnostiku svodičů přepětí:
  - Normy řady ČSN EN 60099
  - ČSN IEC 99-3

Výkonové vypínače

Kompresní odpínač

Výkonový vypínač s SF6



Výkonové vypínače

- Musí splňovat velmi náročné požadavky
  - Přísné požadavky parametrů a spolehlivosti
  - Odolávat velkým nečištěním a stálým zatížením
  - Několik let se mohou nepoužít a stále si musí zachovat všechny kvalitativní parametry důležité pro rychlé a opakované spínání
  - Rychle vypínat velké proudy a musí mít dobrý odvod vzniklého tepla
- Všechny zkoušky se provádí na plně smontovaném zařízení v podmínkách požadovaných pro provoz

Hlavní prvky výkonových vypínačů

- Kryt, upevňovací komponenty, svorkovnice
- Vnitřní izolant (vakuum, SF6, olej)
- Hlavní, pomocné a řídící kontakty
- Ovládací komponenty (napínák, motorek,…)
- Čidla, detektory stavu
- Spouště (zapínací, vypínací, nadproudá, podpěťová, …)
- Blokovací zařízení

Diagnostické metody pro výkonové vypínače

- Napěťové zkoušky elektrické pevnosti hlavního obvodu
- Měření částečných výbojů (neměřeno vždy – záleží na konstrukci, měří se např. u průchodek)
- Měření elektrického odporu hlavního obvodu
- Zkoušky oteplení
- Zapínací a vypínací zkoušky (kontrola rychlosti, zdvihu kontaktů, doby sepnutí, …)
- Zkoušky krátkodobým a dynamickým proudem

Napěťové zkoušky elektrické pevnosti izolace

- Kontrola izolace hlavního obvodu vůči zemi a uzemněným částem zařízení, kontrola izolace obou stran rozpojeného vypínače
  - Atmosférickým, spínacím impulzem
  - AC (DC) výdržným napětím
- provádí se dle normy pro napěťové zkoušky (ČSN EN 60060)
- Viz přednáška na napěťové zkoušky!

Měření elektrického odporu hlavního obvodu

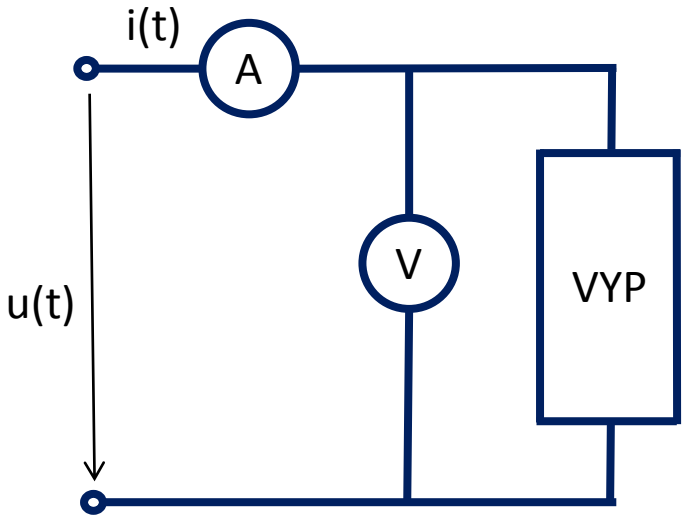
- Provádí se pro možnost porovnání po zkouškách oteplení spínacího zařízení

  => toto měření se provádí před jakýmikoli teplotními zkouškami!

- Měří se DC proudem (v rozmezí 50 A až I_n) – měří se úbytek napětí nebo přímo elektrický odpor mezi svorkami každého pólu

Měření elektrického odporu hlavního obvodu

- Měření odporu Ohmovou metodou pro malé odpory – vypočte se *R* z měřeného *U* a *I*
- Odpor bývá v řádech desítek mikroohmů
- Schéma Ohmovy metody pro malé odpory:



Měření elektrického odporu hlavního obvodu

- Zkouška je vyhovující, když po teplotních zkouškách zařízení klesne na teplotu vzduchu a poté měřený odpor není rozdílný o více než 20 %
- Obdobná zkouška se provádí pro obvody pomocných kontaktů
  - Zde se měří DC proudem 10 mA a napětím 6 V
  - Zde nesmí překročit odpor hodnotu 50 Ω

Zapínací a vypínací zkoušky

- Také označovány jako funkční zkoušky
- Kontrolují funkci zařízení deklarovanou výrobcem v technické dokumentaci
- Kontrolují se
  - Rychlost a kvalita sepnutí
  - Rychlost a kvalita odepnutí
  - Opakované spínání
  - Spínání různých typů zátěží (oporová, kapacitní , induktivní)
  - …

Zkoušky oteplení

- Provádí se v uzavřené místnosti s vyloučeným prouděním vzduchu (krom toho vyvolaného samotnou zkouškou)
- Zařízení se připojí ke jmenovitému proudu a čeká se do ustálení teploty (tj. kdy vzrůst oteplení nepřesáhne 1 K/hod.)
- Teplota okolního vzduchu by měla být +10 až +40 °C (jinak se musí provést korekce)
- Oteplení nesmí překročit teplotu udanou výrobcem

Zkoušky krátkodobým a dynamickým výdržným proudem

- Tato zkouška testuje odolnost proti vlivu jmenovitého krátkodobého výdržného proudu a jmenovitého dynamického výdržného proudu
- Testuje se sepnutý hlavní obvod a uzemňovací obvody

Zkoušky krátkodobým a dynamickým výdržným proudem

- Jmenovitý krátkodobý výdržný proud I_k = hodnota proudu, kterou zařízení snese po požadovanou krátkou dobu za udaných podmínek
- Jmenovitý dynamický výdržný proud I_p = maximální hodnota amplitudy proudu, kterou zařízení snese bez poškození
- Doba jmenovitého zkratu t_k = je doba, po kterou zařízení dokáže bez poškození přenášet jmenovitý krátkodobý výdržný proud (obvykle 1 s)

Zkoušky krátkodobým a dynamickým výdržným proudem

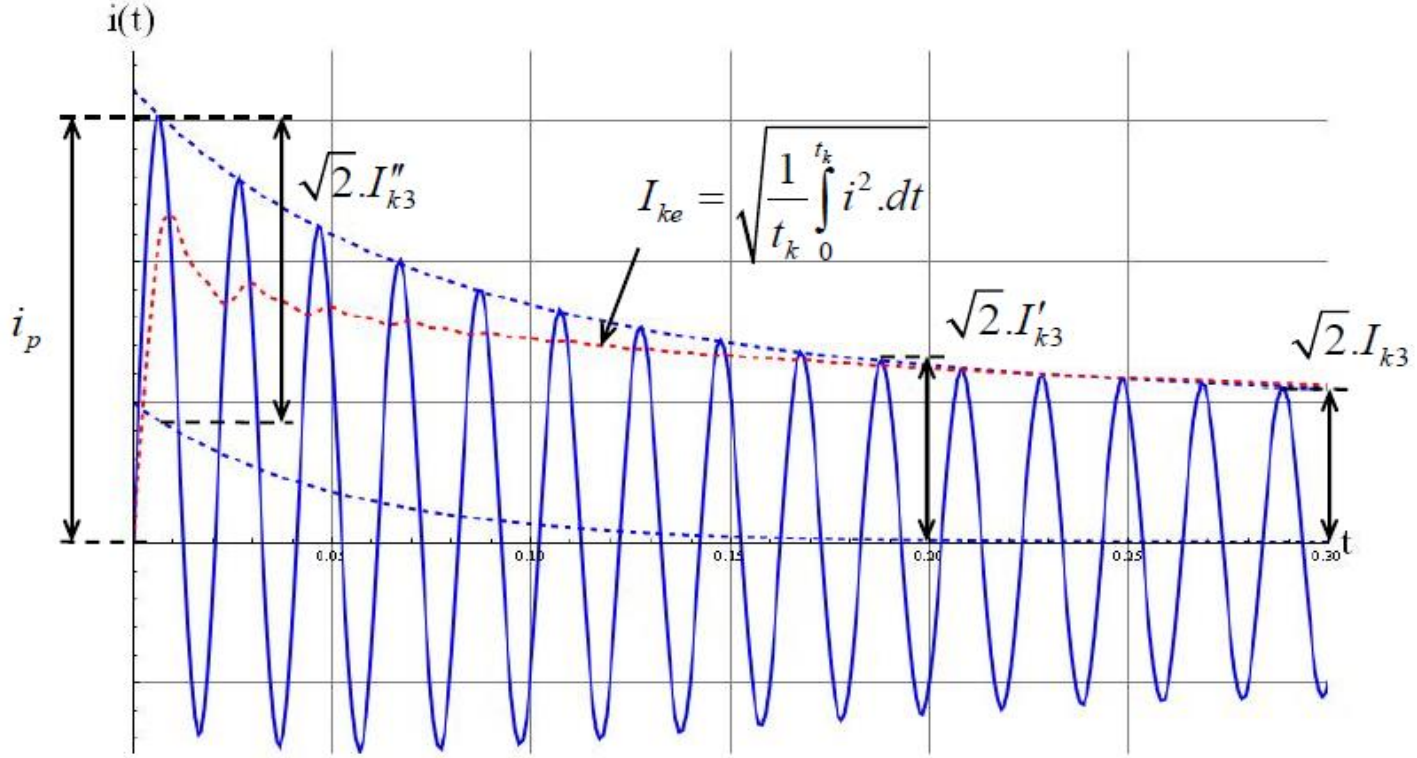
- Zkoušky se provádí při jmenovitém kmitočtu o jakémkoli vhodném napětí a teplotě
- Před každou zkouškou se provede měření bez zatížení, při kterém se změří odpor hlavního obvodu (s výjimkou uzemňovačů)
- Zkouška může být jednofázová nebo třífázová (u jednofázové zkoušky se zkouší dvě dvojice sousedních pólů v sérii)

Zkoušky krátkodobým a dynamickým výdržným proudem

- Střídavá složka zkušebního proudu se musí rovnat střídavé složce jmenovitého krátkodobého výdržného proudu I_k udaného výrobcem
- Vrcholová hodnota proudu musí být minimálně rovna jmenovitému dynamickému výdržnému proudu I_p , ale nesmí ho překročit o více než 5 %
- Zkušební proud musí procházet přístrojem dobu, která je rovna době jmenovitého zkratu t_k

Zkoušky krátkodobým a dynamickým výdržným proudem

- Průběh 3f zkratového (dynamického výdržného) proudu



i_p – nárazový proud
I_k'' – trojfázový rázový symetrický zkratový proud
I_k' – trojfázový přechodný zkratový proud
I_k – trojfázový ustálený zkratový proud
i_p – nárazový proud
I_{ke} – ekvivalentní oteplovací proud

Částečné výboje

- Tato zkouška není povinná, často se ale realizuje
- Viz (budoucí) přednáška na diagnostiku výkonových transformátorů
- Též viz norma ČSN EN 60270

Další diagnostické metody pro výkonové vypínače

- Zkoušky radiového rušení
- Tlakové zkoušky těsnosti (zařízení s olejem nebo plynem SF6)
- Mechanické zkoušky
- Zkoušky vlivu okolního prostředí

- Existuje mnoho typů spínacích zařízení – každý typ má svojí normu, kde jsou uvedeny specifikace jednotlivých zkoušek!