

# Technická podstata hromosvodu

S rozvojem elektroniky je v současné době snaha důsledně si předem uvědomovat v rámci hospodářských možností<sup>1)</sup> následky selhání nejrůznějších elektrotechnických soustav a zařízení a provadět opatření, aby se nemohly opakovaně vyskytnout. Statistiky škod pojistných událostí při pojištění elektroniky ukazují, že více než čtvrtinu škod představují škody způsobené přepětím nebo přímým úderem blesku a každým rokem dochází k jejich množstevnímu nárůstu.

Přímý úder blesku do zařízení s sebou přináší často nedozírné důsledky poškození. Z hlediska připojených soustav však největší škody způsobí až následná odražená vlna, respektive přepětí indukované do vazeb, kterými jsou jednotlivé soustavy propojeny. Indukcí bleskového proudu do připojených sdělovacích, datových a jiných informačně-technických sítí se stávají ohroženými i přenášená data. Na druhé straně leží nejen obsahová stránka přenosu (data, informace, energie), ale také izolační vlastnosti přenosových cest. Dlouhodobá expozice zařízení i nízkourovňovým přepětím vede k jejich časové degradaci. Obdobně je tomu i u silových vedení, kde jsou ohrožena nejenom samotná vedení, ale i množství připojených elektronických zařízení.

## Vývoj poznatků o atmosférické elektřině

Projevy atmosférické elektřiny jsou známy již ze starověku. Člověk tehdy poznal bouřku a obával se blesku, ale na druhé straně věřil v jeho božské poslání. Nedovedl si vysvětlit přírodní jev, který zapaloval obydlí a zabíjel lidi. Pokoušel se proti němu chránit. V egyptských chrámech byl *nebeský oheň*

<sup>1)</sup> Mezinárodní a evropská norma ČSN EN 62 305 část 2 se zabývá výpočtem řízeného rizika pro daný chráněný objekt. V této normě je uveden nový klíčový termín *risk management*. Vyjadřuje skutečnost, že instituce nebo firmy by měly počítat s mírou tolerovatelného rizika. Riziko se má přesně stanovit a vyjádřit. Cílem výpočtu řízeného rizika je stanovení nezbytnosti vnější a vnitřní ochrany před bleskem a přepětím pro objekt. Podle účelu a využití objektu se vytvoří technicky a ekonomicky optimální ochranná opatření.

stahován vysokými stožáry pobitými měděnými pásy. Většina získaných poznatků však byla empirické povahy a brzy upadla v zapomnutí. Teprve v prvním století po Kristu se objevily literární práce, které pojednávaly o blesku a hromu a opíraly se o přírodní jevy, například v knize Římana Lucrecia *Podstata věcí*. Po mnoho staletí zůstával fenomén blesku pouze ve filozofických úvahách, jeho odtajnění přinesl až značný rozmach přírodních věd v 18. století. Muselo uplynout ještě více než 200 let od doby, kdy bylo zjištěno, že blesk je elektrické povahy, než si člověk začal uvědomovat jeho mocnou sílu a hledal proti němu bezpečnou ochranu. Roku 1749 uskutečnil první kroky v hromosvodní technice Benjamin Franklin. V blízkosti chráněných budov umísťoval vysoké uzemněné kovové stožáry. Do českých zemí se poznatky o *meteorologických strojích* dostaly prostřednictvím Václava Prokopa Diviše, který 15. června 1754 postavil hromosvod v Příměticích u Znojma. Nebyl sám, kdo se v té době zabýval o bezpečné svedení blesku do země. Mezi dalšími českými vědci vynikli především Josef Stepling, Ignác Musil nebo Josef Tadeáš Klínkoš [1–4].

## Exaktní výzkum povahy bleskového výboje

Hlavní výzkum se soustředil do velkých vědeckých evropských center. Ve Velké Británii do observatoře v Kew, kde se od roku 1842 soustavně měří gradient elektrického pole ovzduší a od roku 1861 elektrický náboj vodních kapek. V Německu do Berlína, kde byly v roce 1885 díky Svazu německých elektrotechniků (VDE) vydány první *Stanovy pro ochranu budov před bleskem*. Do výzkumu bouřky se mezi dvěma světovými válkami zapojily i průmyslové podniky. Firma General Electric Co. organizovala dlouhodobé pozorování zásahů blesků do výškové stavby Empire State Building (381 m) a k výzkumu poprvé použila rotační kamery. Podobná pozorování probíhala i ve Švýcarsku na hoře San Salvatore a ve Švédsku. V Československu se v oboru atmosférické elektřiny nejvíce proslavil



Ceník hromosvodní techniky z počátku 20. století

František Běhounek, který v roce 1936 vydal první československou studii *Atmosférická elektřina* [5].

## Vývoj hromosvodní ochrany

Během rozvoje elektrotechniky především ve 20. století se vývoj zaměřil i na technické prostředky ochrany budov před bleskem. Diskutovány byly možnosti zlepšení konvenčních ochran prostřednictvím sběrných elektrod, efektivnějšího uzemnění objektů a vhodnějšího rozmístění obou komponent. Současně s těmito, v té době již běžnými prostředky se začaly objevovat i specifické prostředky (aktivní, nekonvenční) ochrany objektů před účinky bleskových proudů. Podle typu a využití technologie se začaly rozdělovat na **systemy konvenční** (franklinovské tyče, častěji hromosvodní nebo bleskosvodní jímače) a **aktivní**, které emitují vstřícné výboje vůči hlavním bleskovým výbojům. Aktivní blesková ochrana se rozdělila na **systemy s radioaktivním nuklidem** a na **ochrany využívající elektrických obvodů** (pasivní RLC obvod v podobě oscilátoru).

Jak radioaktivní jímače, tak i elektronické

s označením *Early Streamer Emission* (dále ESE) – s urychleným vysláním vstřícného výboje – jsou často diskutovány v literatuře a řešeny jak po praktické, tak i po odborné stránce jejich působnosti proti bleskovým výbojům. Na základě masivní reklamy se aktivní jímáče vyrábějí a prodávají v mnoha zemích. V posledních 30 letech bylo instalováno přibližně 100 000 těchto zařízení. Některé publikace [6–8] uvádějí teoretické úvahy týkající se mechanismu jejich činnosti, ty se však v laboratoři velmi těžko prokazují ze statistického hlediska. Například v Německu byly aktivní jímáče experimentálně zkoumány H. Baatzem, F. Noackem a K. Chrzanem [9, 10, 11]. Měření v laboratoři a mnohé zkoušky za přirozených podmínek dokazují, že jímáče ESE nevykazují lepší vlastnosti než konvenční jímáče. Hypotéza, na níž jsou založeny jímáče ESE, je pravděpodobně nesprávná.

Již v 18. století bylo poprvé zaznamenáno selhání konvenčních jímacích zařízení [12]. K prvnímu známému případu náleželo poškození skladiště stříelného prachu v Purfleetu blízko Londýna, který byl zasažen bleskem v roce 1777. Blesk neudeřil do jímací tyče vztyčené uprostřed střechy, ale do rohu zdi vzdáleného 13 m. Vylepšené jímací tyče nabízely již v 19. století různé obchodní organizace. Leó Szilárd, spolupracovník Marie Curie-Sklodowské, navrhl použití radioaktivních prvků ke zlepšení ochranného účinku tyčových jímáčů. Jeho nápad byl po osmnácti letech realizován francouzskou firmou Helita. Použití radioaktivních prvků bylo začátkem roku 1980 v mnohých zemích omezeno na základě zpřísněných podmínek pro ochranu před radioaktivním vyzařováním. Již v roce 1982 vyráběla Helita novou jímací tyč nazvanou Pulsar. Toto zařízení pracovalo na principu ESE [13].

O využívání radionuklidových hlavic aktivních hromosvodů v českých zemích informoval pravidelně také *Elektrotechnický obzor* již ve 30. letech 20. století. Negativní posudky přinášely zkušební laboratoře Elektrotechnického svazu československého [14].

Pravděpodobnost vystavení zařízení nežádoucím efektům způsobených bleskem a přepětím je v dnešní době velmi značné a má za následek velké ekonomické ztráty. Je tedy nemyslitelné ochranu před bleskem a přepětím neřešit. Na druhé straně však leží ekonomické, hospodářské a technické aspekty, které ne vždy jsou dostatečně respektovány. Volba vhodného druhu ochrany dosud není povinností, ale stále se ukazuje, že cena následného odstranění škod je

mnohonásobně vyšší než investice do správně fungující ochrany.

V Československu a posléze v České republice byla nejpoužívanější a nejcitovanější publikací kniha *Hromosvody* od Ladislava V. Řihánka [15]. Dočkala se trojího vydání, a to v letech 1940, 1951 a 1962. Ochrane před bleskem se z našich předpisů začaly věnovat Předpisy ESČ z roku 1950, které byly nahrazeny v roce 1955 ČSN 34 1390, jejíž druhá edice skončila svoji platností lednem 2009 a byla nahrazena souborem evropských norem ČSN EN 62305.

### Vývoj technické podstaty hromosvodu

Od druhé poloviny 18. století byla ve světě i v českých zemích věnována značná pozornost uspořádání jímacích tyčí. V roce 1778 prohlásil filozof a experimentální fyzik Georg Christoph Lichtenberg: „*Není to Bůh, který ochraňuje kostely před zásahy blesku, ale hromosvod.*“ [16], když vydal první *Pravidla chování při blízké bouři*. V nich doporučoval jímací tyče ze železa nebo mědi s pozlacenými jímacími špičkami se svody, které mají být vedeny do země co nejbližší k úrovni hladiny spodní vody nebo do blízkosti nějakého vodního zdroje. Hermann Samuel Reimarus [17] v roce 1794 vydal první *Předpisy pro hromosvody*. Belgický fyzik Louis Melsens doporučoval svody na všech stranách objektu a tento princip byl dále rozvíjen. Během dvou století se tak uplatnily názory L. J. Gay-Lussaka, podle něhož měly být v rozích budov rozmístěny jímací tyče s několika svody, Benjaminu Franklina, v jehož návrhu je nad objektem utvořena síť z jímacích vodičů a fyzika Waltera Findeisena, který nepoužívá jímáčů, ale všechny kovové části objektu vzájemně pospojil a uzemnil – vytvořil tak síť náhodných zemničů a jímáčů.

Fyzikální podstatou hromosvodu je **hrotový efekt**. Ten se projevuje při účinku dvou atmosférických výbojů – hrotového výboje a blesku. I za běžných atmosférických podmínek protékají atmosférou, nejčastěji vlivem kosmického záření, vertikálně tekcující elektrické proudy. Dochází k přeskupování valenčních elektronů, přičemž působením záření dochází k vytrhávání některých z valenčních elektronů atomových obalů. Ty jsou poté zachyceny jinými elektroneutralními molekulami. Takto vznikají kationty a anionty. Doba od vytržení elektronu z obalu do jeho následného zachycení neutrální molekulou je sice velmi krátká, avšak přeci jenom elektronu trvá určitou dobu, než je zachycen. V dostatečně silném elektrickém poli pak získá elektron značnou pohybovou energii a ačkoliv se jedná z časového měřítka o velmi

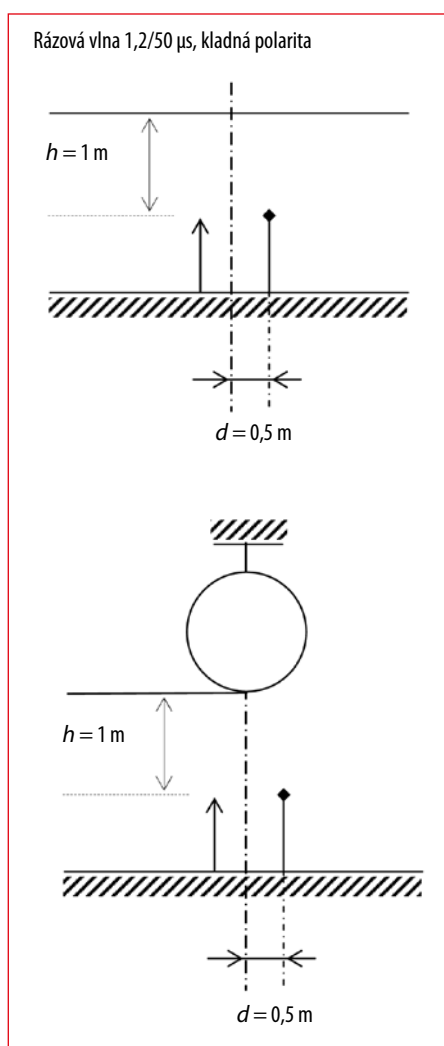
krátké působení elektrického pole na elektron, může být tato energie dostatečně velká na to, aby tento elektron při srážce s první elektroneutralní molekulou způsobil vyražení jiného elektronu, čímž tuto molekulu ionizuje. V tomto případě pak mluvíme o ionizaci nárazem. V dalším kroku elektron uvolněný při nárazu z původně neutrální molekuly způsobí opět ionizaci nárazem a počet iontů takto lavičovitě roste. Ionizace nárazem nabývá značných hodnot zvláště v případech zhuštění siločar elektrického pole. Tento jev je možno pozorovat v případech výskytu hrotových uzemněných vodičů, jakými mohou být hromosvody, stožáry, sloupy, lodní stěžně nebo také vrcholky stromů. Tyto vodiče lze potom v určitém přiblížení považovat za bodové náboje, které jsou vodivě spojeny se zemským povrchem a mají tedy s ním stejný potenciál. Okolo zmíněného bodového vodiče se vytváří oblak iontů, z něhož jsou uzemněním odváděny k zemskému povrchu ty částice, jež nesou vzhledem k zemi náboje opačného znaménka.

### Bleskový výboj a hromosvod

Průběh blesku je tvořen několika fázemi. V první hlavní fázi se pomocí vůdčího výboje zvaného *lídr* vytvoří opticky patrný kanál vysoce ionizovaného a zahřátého vzduchu, jímž pak po určitý časový interval protéká elektrický proud. Vůdčí výboj se pohybuje po jistých krocích, kdy se na několik mikrosekund zastavuje a hledá nejschůdnější cestu ke svému dalšímu postupu. Kanál postupuje rychlostí asi 1000 km/s a zastavuje se vždy asi po 50 metrech, kde se rozvětví, hledá a dále postupuje po stejných krocích. Je-li na zemi vysoký špičatý předmět, vyjde vůdčímu výboji naproti výboj vzestupný. Nakonec se obvod uzavře, vznikne vodivý kanál mezi oblakem a zemí a po něm proběhne hlavní elektrický výboj, a to většinou od země do oblaku. Po něm pak zpravidla následuje série dalších výbojů, které již mají připravenou cestu [18].

**Aktivní hromosvod** nese své označení podle výrobců deklarovaného snazšího spojení vstřícné větve a vyhledávacího kanálu bleskového výboje. V Laboratoři vysokých napětí na Fakultě elektrotechnické ČVUT v Praze bylo provedeno základní porovnávací měření vstřícné emise u aktivních a pasivních hromosvodů. Cílem bylo stanovit účinnost aktivního, respektive pasivního bleskového jímáče při aplikaci rázové vlny 1,2/50  $\mu$ s kladné polarity. Zdrojem pro rázovou vlnu byl desetistupňový rázový generátor Haefely s maximálním napětím 2 MV a energií 50 kJ. Maximální hod-

nota impulzního napětí byla měřena vrcholovým voltmetrem přes odporový dělič Haefely 2 MV. Pro dodržení homogenity pole pro oba jimače bylo měření nejprve prováděno pomocí kovového síta o rozměrech  $2,5 \times 1,5$  m. Síto bylo umístěno ve vzdálenosti jednoho metru nad hroty aktivního a pasivního bleskosvodu a bylo pro možnost přesného výškového nastavení zavěšeno na izolátorovém závěsu jeřábu. Hromosvody byly upevněny do kovových stojanů a spojeny pomocí hliníkového zemnicího lana o průřezu  $16 \text{ mm}^2$  se zemním potenciálem laboratoře. Pro měření aktivních bleskosvodů byly voleny i jiné tvary napěťových elektrod.



Konfigurace elektrodového systému při porovnání aktivního a konvenčního hromosvodu

Po celé měření byla zachována poloha: levý neaktivní jimač, pravý aktivní hromosvod. Účinnost aktivního bleskosvodu byla 45 %. V případě, že byly elektrody aktivního hromosvodu vodivě překlenuty, byla účinnost 40 %. Měření byla pouze orientační a nebylo možné udělat dostatečný počet pokusů pro přesnější statistický odhad. Tvar elekt-

rody charakter měření příliš neovlivnil. Výše uvedenými zkouškami nebyla prokázána zvýšená rozdílná účinnost jednoho či druhého typu hromosvodu.

Fyzikální podstata většiny nekonvenčních jimačů je založena na principu oscilačního obvodu, jehož kmitočet je dán Thomsonovým vztahem, kde  $f_0 = 1 / (2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C})$ . Energie vnějšího zdroje je velmi malá (je jí atmosférická elektrina a korónové výboje) a obvod oscilátoru hromosvodu je obvodem s reálnými prvky, tedy i s tlumenými oscilacemi. Pokud nastane stav, že vnučený kmitočet napájecího zdroje je právě roven kmitočtu vlastního oscilačního obvodu, dostane se obvod do elektromagnetické rezonance. Tato situace pravděpodobně nastane pouze zřídka a amplituda obvodu bude oscilovat mezi maximem a hodnotou vnějšího pole.

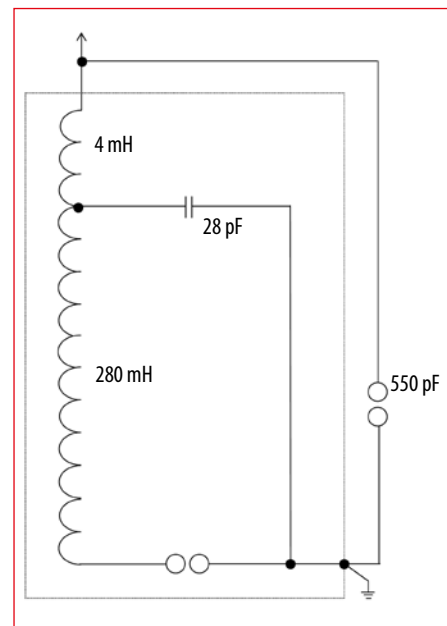


Experimentální porovnání konvenčního a aktivního hromosvodu v Laboratoři vysokých napětí na FEL ČVUT v Praze

Lze tedy konstatovat, že hlavice aktivního jimače je značně závislá na podmínkách vnějšího pole, které ji obklopuje. Obvod se může a nemusí dostat do rezonance, ale současně pro bleskový výboj tvoří reálnou impedanci, přes kterou se dostává do uzemňovací soustavy. Může tak být lepším hromosvodem, ale také nemusí. Záleží na konfiguraci elektrického pole v jeho okolí. Chybně bývá distributory tento princip interpretován tak, že stačí jedna hlavice aktivního hromosvodu na velkou plochu, kterou musí pokrýt.

### Vyhodnocení vnitřního obvodu uvnitř aktivního bleskosvodu

Z rezonančních měření byl vyhodnocen obvod jednoho aktivního hromosvodu. Jednotlivé hodnoty pasivních prvků jsou uvedeny ve schématu.



Jedno z možných vnitřních schémat aktivního hromosvodu

### Literatura:

- [1] Haubelt, J.: Život a dílo Václava Prokopa Diviše, Okresní muzeum ve Vysokém Mýtě 1982, s. 70
- [2] Tříška, J.: Svět elektřiny, Orbis, Praha 1960, s. 371
- [3] Haubelt, J.: České osvětlení, Svoboda, Praha 1986, s. 174
- [4] Popolanský, F.: K některým otázkám divišovského..., s. 16–17
- [5] Běhounek, F.: Atmosférická elektrina. Elektrotechnický svaz československý, Praha 1936
- [6] IEC 61024-1-1: Protection of structures against lightning – Part 1: General principles – Section 1: Guide A: Selection of protection levels for lightning protection systems
- [7] IEC 61024-1-2: Protection of structures against lightning – Part 1–2: General principles – Guide B – Design, installation, maintenance
- [8] Normy: francouzská NF C 17-102, slovenská STN 34 1391
- [9] Chrzan, K.: Untersuchungen an Early Streamer Emission-Fangstangen, Elektrotechnische Zeitschrift 2/2005
- [10] Golde, R. H.: Lightning, Academic Press, 1977. s. 546
- [11] Baatz, H.: Radioaktive Isotope verbessern nicht den Blitzschutz, ETZ-A, 1972
- [12] Chrzan, K.: Inefficiency of radioactive terminals and early streamer emission terminals, Delft 2003, Symposium on HV Engineering
- [13] Noack, F.: Emission devices – Verbesserung des Blitzschutzes? ETZ, 2002
- [14] Elektrotechnický obzor 1930–1940, Orgán EŠČ
- [15] Řihánek, Ladislav V.: Hromosvody, Technické vydavatelství, Praha 1951, str. 94
- [16] Die Blitzgefahre Nr. 1, Julius Springer Verlag, Berlin 1891, 5. nezměněná kopie faksimile
- [17] Reimar, J. A. H.: Vorschriften zur Blitzableitung 1794
- [18] Skřehot, P.: Stručné základy teorie bouřek, Meteorologická operativní rada, s. 36

Ing. Jan Mikeš, FEL ČVUT v Praze,  
Ing. Jiří Kutáč, soudní znalec Praha