

Rozložení intenzity elektrického pole na izolátorovém řetězci – vliv kapacitního kruhu

Jan Tauš

Katedra elektroenergetiky a ekologie, Západočeská univerzita v Plzni

Distribution of electric field intensity on insulator chain - the impact of capacity circle

Abstract

This paper describes distribution of electric field intensity on insulator chain. The aim of thesis is to describe the benefit of capacity circle. Work is only theoretically. Output is in professional software. It is used for numerical solution of electromagnetic field – FEMM. They are compared the solutions without capacity circle and insulator chain with capacity circle.

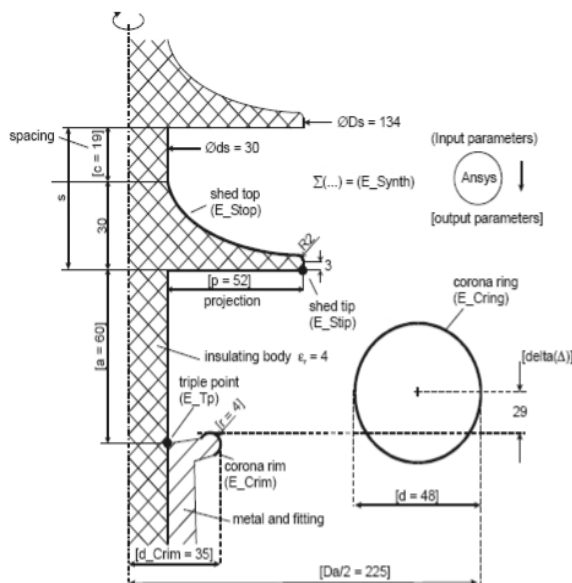
Keywords

FEMM, insulator chain, capacity circle, electric field intensity, finite elements metod.

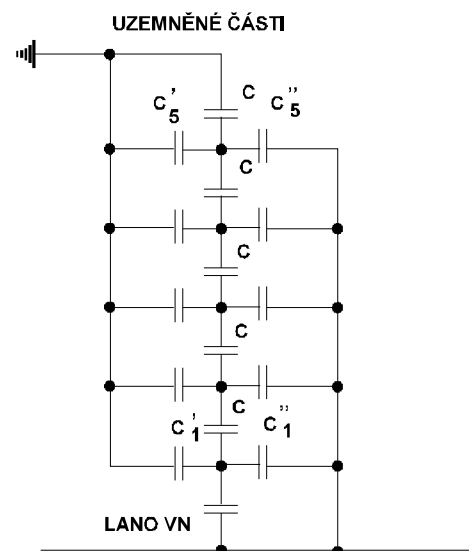
Úvod

Model je vysokonapěťový závěsný keramický izolátor (porcelán) s relativní permitivitou $\epsilon_r = 5,9$. Rozměry izolátoru a kapacitního kruhu plynou z obr. 1. Potenciál elektrody je 110 kV. Tvar izolátoru je zjednodušen, dřík nemá žebrovaní. To slouží ke zvětšení povrchové vzdálenosti, díky níž je omezen svodový proud. V praxi je elektrická pevnost jednoho izolátoru pro napěťové hladiny našich přenosových a distribučních sítí nedostačující. Proto se izolátory spojují do řetězců.

V řetězci izolátorů má však každý izolátor nejen vnitřní kapacitu, ale také kapacitu vůči zemi a vedení (viz obr. 2). Díky nim je rozložení napětí na řetězci nerovnoměrné.

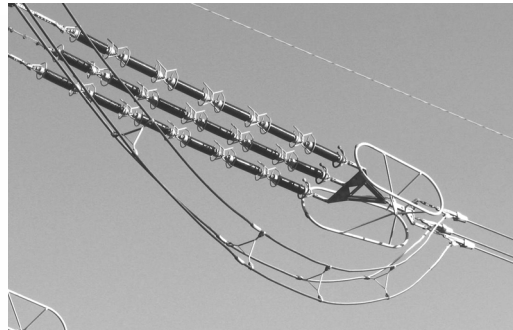
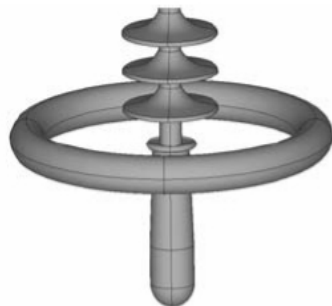
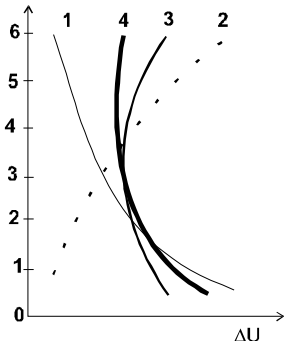


Obr. 1: Rozměry izolátoru



Obr. 2: Náhradní schéma izolátoru

Rozložení napětí na řetězci je pak určeno řetězcem vlastních kapacit izolátorů a parazitních kapacit vůči uzemněným částem linky (konzola, stožár, zem) a vůči lanu VVN. Vlastní kapacity izolátorů C jsou stejné. Parazitní kapacity C_k a C_k'' nejsou stejné (velikost každé je dána její polohou v řetězci) a navíc jsou těžko změřitelné. Převládá vliv zemních kapacit. Skutečné rozložení napětí na řetězci představuje křivka č. 4 (silnější) na obr. 3. Je vidět, že nejvíce napětíově zatížen je vždy první izolátor řetězce lana VVN.



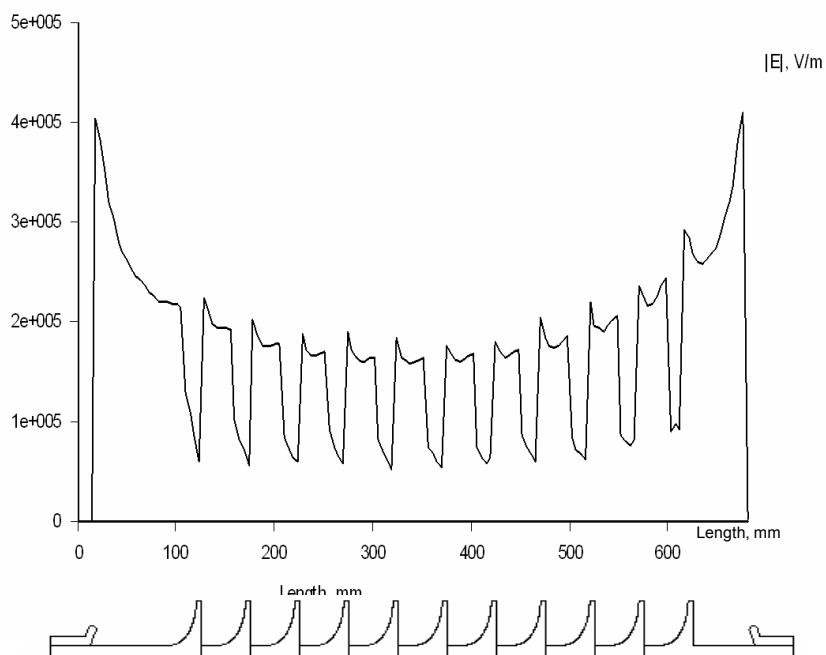
Obr. 3: Rozložení napětí podél řetězce izolátorů

Obr. 4: Kapacitní kruh

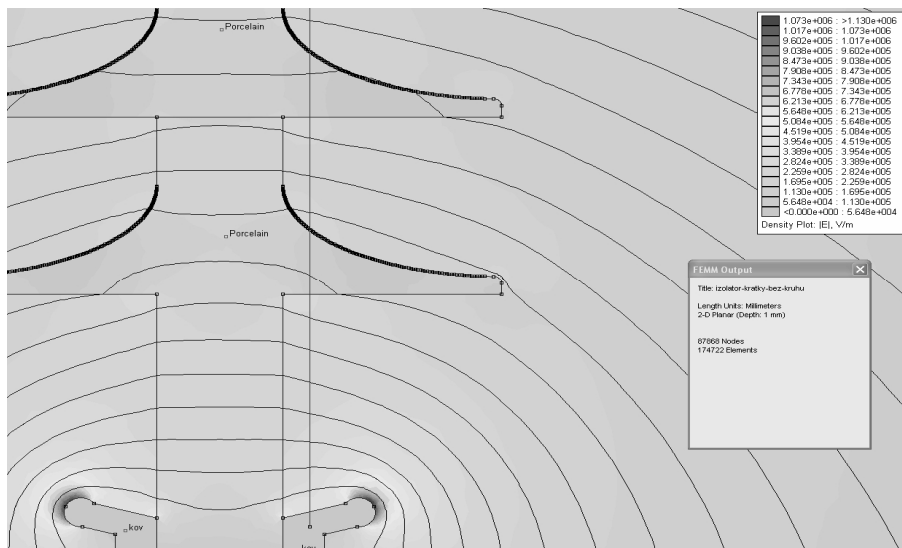
Obr. 5: „Ledvinka“

Rozložení napětí na řetězci lze poněkud zrovnoměrnit (odlehčit první izolátor) umělým zvětšením parazitních kapacit vůči lanu VVN. K tomu se používá kapacitních kruhů, „ledvinek“ (obr. 4 a obr. 5). Zrovnoměrnění se částečně dosáhne i díky zvětšení elektrody (např. svazkový vodič). Rozložení napětí závisí značně i na atmosférických poměrech a na stavu povrchu izolátorů. Při zvlhčeném a znečištěném povrchu, za deště nebo mlhy je rozložení napětí dáno hlavně povrchovým odporem jednotlivých izolátorů a nikoliv jejich kapacitami. Rozložení napětí se mění značně též při zvýšení napětí na řetězci, zejména v blízkosti přeskokového napětí (když vzniknou výboje).

Izolátorový řetězec bez kapacitního kruhu



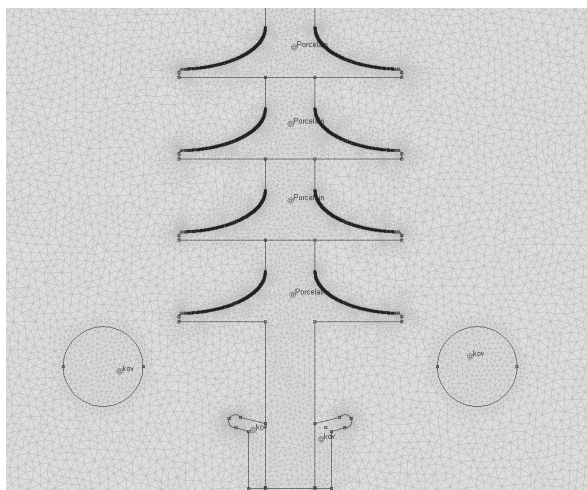
Obr. 6: Rozložení intenzity elektrického pole podél izolátorového řetězce



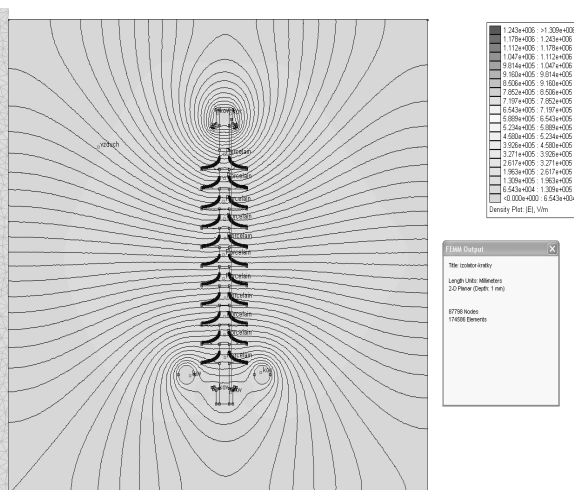
Obr. 7: Intenzita elektrického pole na izolátorovém řetězci

Izolátorový řetězec se skládal z 11 izolátorů. Napětí spodní elektrody bylo 110 kV. Největší intenzita se ve výsledku ukázala na zaoblených koncích elektrod. Na tu však nebyl brán zřetel, vhodnou úpravou elektrod jde odstranit – jde jen o větší zaoblení (zmenšení gradientu). Obrázek 6 udává rozložení intenzity elektrického pole na řetězci. Kontura vedla od zemní elektrody přes izolátory až do elektrody s potenciálem. Na počátku výsledného grafu, kdy kontura je v elektrodě, je intenzita nulová, což potvrzuje teorii. Pak skokem vzroste. Nacházíme se ve vzduchu těsně pod elektrodou. Intenzita dále exponenciálně klesá (podobnost s nehomogenním polem). Na rozhraní dielektrik vzduch-porcelán má hodnotu asi 216 kV/m. Poté strmě klesá až na hodnotu 65 kV/m. V izolátoru došlo vlivem vyšší permitivity izolantu ke snížení intenzity elektrického pole. Jakmile však opouštíme izolátor, intenzita ve vzduchu opět narůstá. Dále ve vzduchu intenzita opět exponenciálně klesá. Když se dostaneme na další izolátor, průběh se prakticky opakuje s tím rozdílem, že intenzita ve vzduchu pod druhým izolátorem je o něco menší než pod izolátorem prvním. Takový je průběh až do 5. izolátoru. V něm intenzita dosahuje minima (asi 58 kV/m). Poté intenzita opět vzrůstá až dosahuje svého maxima v izolátorovém řetězci na posledním 11. izolátoru (asi 280 kV/m). Ze získaných grafických výsledků na obrázku 6 vyplývá, že krajní izolátory jsou nejvíce zatěžovány a hrozí, že na jejich povrchu dojde ke vzniku koróny.

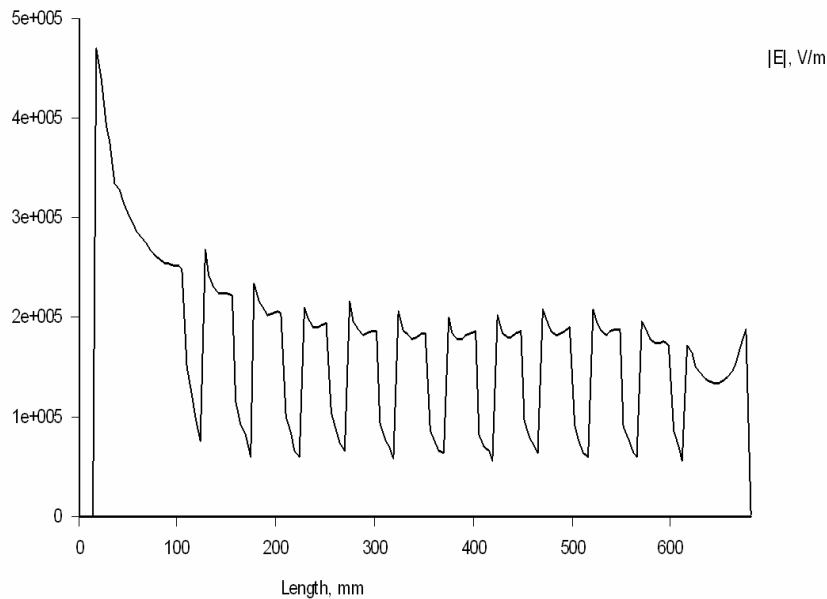
Izolátorový řetězec s kapacitním kruhem



Obr. 8: Nadefinovaný problém s nastavenou sítí konečných prvků



Obr. 9 Intenzita elektrického pole na izolátorovém řetězci s kapacitním kruhem



Obr. 10: Rozložení intenzity elektrického pole na izolátorovém řetězci s kapacitním kruhem

Izolátorový řetězec se opět skládal z 11 izolátorů, navíc však přibyl kapacitní kruh, který je na stejném potenciálu jako elektroda a to 110 kV. Největší intenzita se opět ve výsledku ukázala na zaoblených koncích elektrod, které neuvažujeme. Obrázek 10 udává rozložení intenzity elektrického pole na řetězci s kapacitním kruhem. Kontura vedla od zemní elektrody přes izolátory až do elektrody s potenciálem. Na počátku výsledného grafu, kdy kontura je v elektrodě, je intenzita nulová, což potvrzuje teorii. Dále je průběh podobný jako v obr. 6, avšak výsledná intenzita elektrického pole na jednotlivých izolátorech je vyšší. Platí to však jen do 5. izolátoru, poté je rozložení intenzity elektrického pole jiné. V obr. 10 se intenzita díky kapacitnímu kruhu dále již tolik nezvětšuje a na posledním 11. izolátoru je jen asi 190 kV/m. Je vidět, že kapacitní kruh nám odlehčil poslední izolátor v řetězci na úkor většího zatížení ostatních izolátorů. Jejich zatížení vzrostlo asi o 10 - 15 %. Tím se rozložení napětí na jednotlivých kusech řetězce zrovnoměnilo.

Závěr

Bez kapacitních kruhů se dnes linky VVN neprovozují. Zvětšením počtu izolátorů v řetězci se napětí na jednotlivých kusech sníží, ale platí, že čím větší je počet izolátorů řetězce, tím nerovnoměrnější je rozložení napětí - přetížení prvního izolátoru v řetězci roste s počtem izolátorů v řetězci.

Při nerovnoměrném rozložení napětí může vzniknout na napětově přetížených izolátorech koróna. Koróna je na řetězcích nepřijatelná, neboť vyvolává korozi kovových částí, rušení rozhlasu, televize a mobilní telefonie. Na přeskokové napětí však nemá nerovnoměrné rozložení napětí vliv – celkově izolátorový řetězec neztrácí svoji elektrickou pevnost.

Literatura

- [1] VEVERKA, A.: Technika vysokých napětí. Praha, SNTL, 1982.