

Bystrík Dolník

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach

Príspevok k výpočtu teoretického impulzného preskového napätia

Abstrakt. V príspevku sa pojednáva o možnostiach výpočtu impulzného preskového napätia pomocou numerického integrovania.

Abstract. The article discusses the possibility of calculating of the pulse breakdown voltage using numerical integration. (**Contribution to the calculation of the theoretical pulse breakdown voltage**).

Kľúčové slová: preskové napätie, lichobežníková metóda, napäťovo-časové kritérium.

Keywords: breakdown voltage, trapezoid rule, voltage-time area.

Úvod

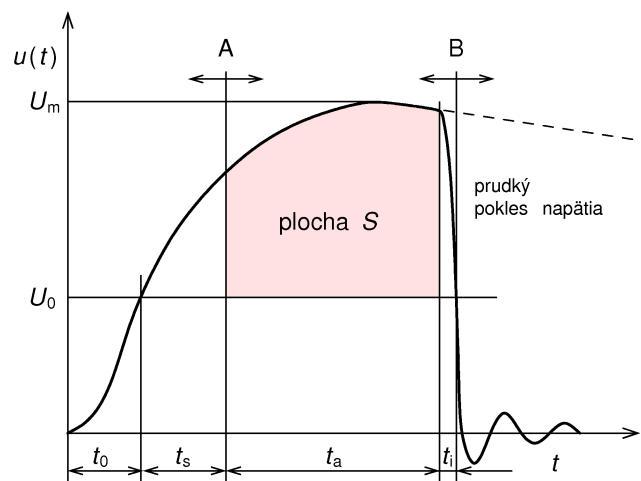
Vzduch sa používa ako izolačný materiál v technike vysokých napätí ako aj v iných priemyselných odvetviach. Skúmanie výbojových procesov vo vzduchu má preto veľký význam. V praxi sa vzduch ako izolácia používa buď samostatne, alebo aj v kombinácii s pevnými, príp. kvapalnými izolantmi. Charakter výbojových procesov vo vzduchu je závislý, okrem iných činiteľov, od rýchlosti časovej zmeny priloženého napätia.

Vlastnosti elektrického zariadenia počas namáhania impulzmi napätia vyjadruje impulzná charakteristika. Impulzná charakteristika udáva závislosť amplitúdy useknutého impulzu napätia od jeho trvania. Zisťuje sa impulzmi napätia s rovnakým tvarom, ale s premenlivou amplitúdou. Jej priama konštrukcia je možná len pre zariadenia so samočinne obnovujúcou sa izoláciou, t.j. izolácia, ktorá po priereze úplne obnoví svoje izolačné schopnosti. Elektrický výboj v plyne a procesy súvisiace s týmto výbojom v skutočnosti trvajú určitý čas. Pre krátku doskovú vzdialenosť (cm až m) trvá proces elektrického výboja v plyne maximálne niekoľko mikrosekúnd. Oneskorenie výboja t_d skladá sa zo štatisticky neurčitého času t_s a času výstavby výboja t_a , obr. 1. Dôkladným výskumom zistilo sa, že nehľadiac na prekročenie statického preskového napätia U_0 , prierez začne v čase $t = t_0$, keď po štatisticky neurčitom čase t_s vznikne štartovací elektrón (Townsendové kritérium – pre jednosmerné napätie alebo pomaly meniace sa napätie je kritérium ľahko dosiahnuteľné. Impulzné napätie s veľmi krátkym čelom, okolo 10^{-6} s a menej, toto kritérium nespĺňa okamžite.) a vodivý kanál za čas výstavby výboja t_a . Čas od vzniku výboja, t.j. do poklesu napätia, nazýva sa čas vzniku iskrového výboja t_i . Vo vzduchu štatisticky neurčitý čas t_s má pre dosk nad 1 mm trvanie niekoľko desiatok nanosekúnd, čo je veľmi krátky okamih.

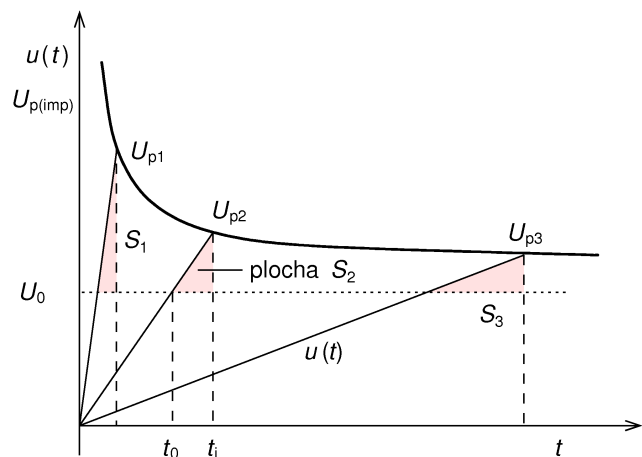
Časové oneskorenie výboja má dôležité uplatnenie v praxi. Totiž aby nastal preskok v plyne, priložené napätie musí byť väčšie ako jednosmerné (statické) preskové napätie. Rozdiel napätí $\Delta U = U_{p(\text{imp})} - U_0$ nazýva sa prepätie a pomer $U_{p(\text{imp})}/U_0$ sa nazýva impulzný pomer. V homogénnom a kvázihomogénnom elektrickom poli je impulzná charakteristika presne definovaná a narastá strmo s rastúcou strmosťou priloženého napätia [1], [2]. Za uvedených podmienok možno výpočtom určiť teoretické hodnoty preskových napätí. Vychádza sa z rovnice, ktorá definuje čas výstavby strímra a z odvodennej zákonitosti označovanej ako napäťovo-časové kritérium (NČK). Toto kritérium sa osvedčilo najviac, uvádza ho napr. Kind [3]. Platí teda odvodená súvislosť

$$v(t) \sim u(t) - U_0 = S, \quad (1)$$

kde: $v(t)$ – rýchlosť rastu strímrového kanála, $u(t)$ – časovo meniace sa napätie, U_0 – jednosmerné preskové napätie, S – plocha ohraničená napätím U_0 , $u(t)$ a časom t_0 a t_i podľa obr. 2, uvažovaný je lineárny priebeh nárastu čela impulzu so zanedbaným t_s . Takéto zjednodušenie možno v väčšine prípadov považovať za akceptovateľné.



Obr. 1 Oneskorenie a zapálenie výboja v plynnom izolante.



Obr. 2 Grafické znázornenie napäťovo-časového kritéria.

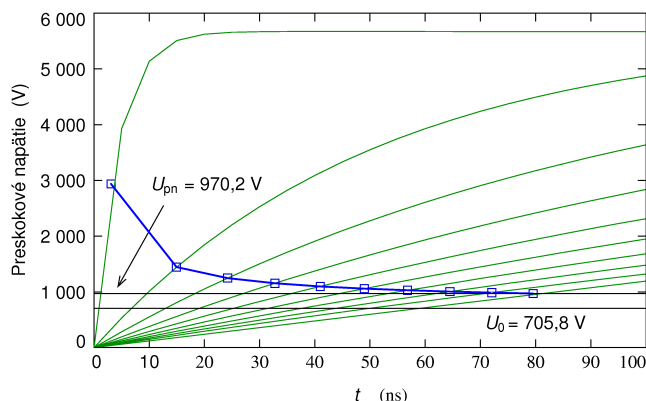
Fáza experimentov

Určenie impulzného preskakového napätia prebiehalo v dvoch etapách. Ponajprv boli urobené merania preskakového napätia pri jednosmernom napätí a potom pri impulznom napätí. V nasledujúcej etape bola napísaná výpočtová procedúra, ktorá slúži na výpočet parametrov skúšobného impulzného napätia ako: amplitúda impulzu, trvanie čela impulzu, trvanie poltyla impulzu a na výpočet teoretických preskakových napätí. Teoretické preskakové napätia počítali sa podľa už uvedenej zákonitosti NČK. Požiadavky kladené na numerický výpočet plochy (integrálu) boli tieto: čo najväčšia rýchlosť výpočtu a čo najmenšia chyba. Po vzájomnom porovnaní rozličných metód numerického výpočtu integrálu (obdĺžniková metóda, lichobežníková metóda, Simpssová metóda,...) použila sa lichobežníková metóda vzhľadom na charakter priebehu impulzu napätia. V experimente sa predpokladal prierez vždy iba v čele impulzu čím je zabezpečený vždy rastúci úsek časového priebehu napätia. Jednotlivé plochy S_1, S_2, S_3, \dots vypočítali sa podľa (3)

$$S = \int_{t_0}^{t_i} f(x) dx, \quad (2)$$

$$S \approx \frac{h}{2} \cdot [f(t_0) + 2 \sum_{j=2}^{n-1} f(t_j) + f(t_i)], \quad (3)$$

kde: t_0, t_i – hranice integrovania, h – krok integrovania, $f(t)$ – funkčné hodnoty v ekvidistančných bodoch, $h = (t_i - t_0) / n$, n – počet intervalov.



Obr. 3 Trend vypočítaných teoretických preskakových napätí.

Na obr. 3 je zobrazená impulzná charakteristika, ktorá je skonštruovaná z vypočítaných teoretických hodnôt preskakových napätí s využitím zákonitosti konštantnej plochy na napäťovo-časovom priebehu (obr. 2). Krok integrovania bol zvolený tak, aby pre najkratšie trvanie čela impulzu napätia bola chyba výpočtu čo najmenšia. Relatívna chyba nepresiahla v absolútnej hodnote 0,1 %.

Presnosť výpočtu preskakového napätia je závislá od veľkosti zvoleného kroku h ; čím je krok menší, tým je výpočet presnejší, čas výpočtu zasa narastá ako aj požiadavka dostatočnej rezervy operačnej pamäte počítača. V tabuľke I sú uvedené vypočítané hodnoty preskakových napätí so zodpovedajúcimi parametrami impulzu napätia. Východzia hodnota trvania čela impulzu napätia, ktorá bola použitá pre výpočet teoretických hodnôt, bola 1,2 μ s. Trvanie čela impulzu bolo definované parametrom, ktorý v náhradnom obvode generátora impulzov napätia reprezentuje čelný odpor R_1 .

TABUĽKA I

Vypočítané hodnoty teoretických preskakových napätí

Trvanie čela impulzu (μ s)	Vypočítané preskakové napätie (V)	Hodnota nastaveného odporu R_1 (Ω)
1,26	970	428,2
1,13	986	381,1
1,00	1 005	334,0
0,86	1 028	286,9
0,73	1 057	239,8
0,59	1 097	192,7
0,45	1 153	145,6
0,31	1 246	98,49
0,16	1 444	51,38
0,01	2 936	4,282

Záver

V experimente sa realizoval výpočet teoretickej hodnoty preskakového napätia pre rôzne strmosti nárastu skúšobného napätia. Pre výpočet sa využilo napäťovo-časové kritérium a lichobežníková metóda numerického výpočtu určitého integrálu s cieľom vypočítať plochu ohraničenú jednosmerným a impulzným preskakovým napätím a časovými úsekmi zodpovedajúce začiatku výstavby výboja a okamihu preskoku. Použitú metódu výpočtu preskakových napätí možno aplikovať na výpočet zapaľovacieho napätia bleskoistiiek pre rôzne strmosti skúšobného impulzu napätia.

Literatúra

- [1] M. S. Naidu, V. Kamaraju, High Voltage Engineering. 4th edition, Tata McGraw-Hill, 2009.
- [2] E. Kuffel, W. S. Zaengl, J. Kuffel, High Voltage Engineering: Fundamentals. 2nd edition, Oxford, UK: Newnes, 2000.
- [3] M. Beyer, W. Boeck, K. Möller, W. Zaengl, Hochspannungstechnik. Theoretische und praktische Grundlagen für die Anwendung. Berlin: Springer-Verlag, 1986.



Európska únia



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku / Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ. Tento článok bol vypracovaný v rámci projektu „Centrum excelentnosti integrovaného výskumu a využitia progresívnych materiálov a technológií v oblasti automobilovej elektroniky“, ITMS 26220120055.

Autor vyjadruje poďakovanie Vedeckej grantovej agentúre Ministerstva školstva Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied v rámci projektu VEGA-1/0368/09.

Autori: Bystrík Dolník, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: Bystrik.Dolnik@tuke.sk