

Vliv tvaru napěťových impulzů na rychlost stárnutí elektrické izolace

Trnka P., Hamar R., Mentlík V.
FEL ZČU Plzeň

Anotace

The impact of the fast voltage impulses on the reliability of insulation systems has been in the centre of interest for years. Till now, a negative impact of the fast voltage impulses have been documented and quantified. The reliability of the insulation is usually compared to the ac sinusoidal voltage.

This paper is concerned with the voltage changes through the cable between a load and power inverter. The influence of the cable length on the material livingness was studied. Slew rate was different for different length of the cable between a source and load (e.g. a voltage inverter and asynchronous machine). The results of the research show that overvoltages correspond to parasitic capacities and inductances of the cable and load.

ÚVOD

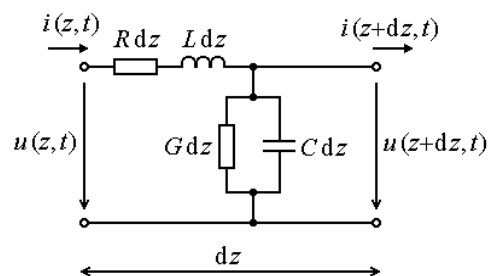
Problematika působení vysokofrekvenčního pulzního namáhání je v současnosti již často zmiňována. Výzkumem v této oblasti se zabývají články původem z našeho pracoviště [1], [2], [3], dále i ze světa např. [6]. Studium zkrácení životnosti se většinou zabývá problematikou/kvantifikací zkrácení životnosti při pulzním namáhání. Tato studie si klade za cíl porovnat životnost elektroizolačního systému pro různá pulzní namáhání v kombinaci s teplotním namáháním. Cílem je ověřit vliv strmosti jednotlivých napěťových pulzů na životnost izolačního systému. Obecný předpoklad je zkracování životnosti se vzrůstající strmostí napěťových pulzů (du/dt). Úvod do problematiky zkoušek životnosti při pulzním napětí představuje norma ČSN EN 62068-1 z roku 2004.

EXPERIMENT

Pokud se zaměříme na problematiku izolačních materiálů namáhaných pulzním napětím a vybereme z ní např. pohon s frekvenčním měničem a asynchronním motorem. Pak měnič frekvence je z hlediska elektrické izolace vinutí zdrojem vysokofrekvenčních pulzů, které ji namáhají. Vzdálenost měniče od asynchronního motoru je v praxi různá pro různé aplikace pohonu. Například u pohonu vozidla-trolejbusu je měnič umístěn na střeše vozidla a motor je umístěn co nejbližší poháněné nápravě. Motor je napájen pomocí kabelu, který má v různých aplikacích různou délku. Z hlediska šíření elektrické energie od měniče ke kabelu je nutno na kabel pohlížet jako na vedení s rozprostřenými parametry.

U vedení s rozprostřenými parametry jsou proměnnými napětí a proud, jejichž velikost je funkcí pozice na vedení. Na obrázku 1 je základní element modelu homogenního vedení s rozprostřenými parametry délky dz . Dané vedení je popsáno

podélnými parametry R a L , kde R je odpor a L je indukčnost na jednotku délky vedení. Příčnými parametry vedení jsou C a G , kde C je kapacita a G je vodivost na jednotku délky vedení.



Obr. 1: Základní element modelu homogenního vedení s rozprostřenými parametry

Pro výše uvedený základní element modelu homogenního vedení s rozprostřenými parametry lze odvodit [4] pro napětí $u(z,t)$ a proud $i(z,t)$ obecné rovnice homogenního vedení, též nazývané jako telegrafní rovnice:

$$-\frac{\partial u(z,t)}{\partial z} = Ri(z,t) + L \frac{\partial i(z,t)}{\partial t} \quad (1)$$

$$-\frac{\partial i(z,t)}{\partial z} = Gu(z,t) + C \frac{\partial u(z,t)}{\partial t} \quad (2)$$

Z rovnic (1) a (2) lze následně odvodit hyperbolickou rovnici pro napětí

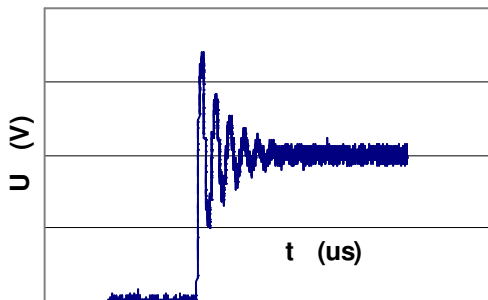
$$-\frac{\partial^2 u(z,t)}{\partial z^2} + LC \frac{\partial^2 u(z,t)}{\partial t^2} + LG \frac{\partial u(z,t)}{\partial t} + RC \frac{\partial u(z,t)}{\partial t} + RG u(z,t) = 0 \quad (3)$$

a hyperbolickou rovnici pro proud

$$-\frac{\partial^2 i(z,t)}{\partial z^2} + LC \frac{\partial^2 i(z,t)}{\partial t^2} + LG \frac{\partial i(z,t)}{\partial t} + RC \frac{\partial i(z,t)}{\partial t} + RG i(z,t) = 0 \quad \text{experimentu} \quad \text{byly} \quad \text{testovány} \quad \text{vzorky} \quad \text{materiálu} \quad \text{NEN} - \text{F} \quad 220/125 \quad \text{Viledom,} \quad \text{výrobce:} \quad \text{EKOBAL} \quad \text{Rožnov} \quad \text{spol.} \quad \text{s} \quad \text{r.o.} \quad \text{Jedná} \quad \text{se} \quad \text{o} \quad \text{modifikace} \quad \text{složeného} \quad \text{polyesteru} \quad (\text{Viledom} - \text{PET} - \text{Viledom}) \quad \text{podle} \quad \text{TP} \quad 346536 \quad \text{sloužící} \quad \text{jako} \quad \text{ohebný} \quad \text{materiál} \quad \text{pro} \quad \text{drážkové} \quad \text{izolace.} \quad \text{Označení} \quad \text{NEN} \quad \text{představuje:} \quad \text{N} - \text{polyesterová} \quad \text{rohož,} \quad \text{E} - \text{PETP} \quad \text{fólie} \quad \text{a} \quad \text{ještě} \quad \text{jedna} \quad \text{vrstva} \quad \text{N} - \text{polyesterové} \quad \text{rohože.} \quad \text{Číselný} \quad \text{zlomek} \quad \text{pak} \quad \text{udává} \quad \text{celkovou} \quad \text{tloušťku} \quad \text{izolace} \quad \text{v} \quad \mu\text{m} \quad \text{lomenou} \quad \text{tloušťkou} \quad \text{střední} \quad \text{vrstvy} \quad \text{v} \quad \mu\text{m.} \quad \text{Vzorky} \quad \text{velikosti} \quad 10 \times 10 \quad \text{cm} \quad \text{byly} \quad \text{podrobeny} \quad \text{zrychlenému} \quad \text{stárnutí} \quad \text{pulzním} \quad \text{napětím} \quad \text{a} \quad \text{současně} \quad \text{teplotou} \quad 180 \quad ^\circ\text{C.}$$

Pomocí rovnice (3) lze simulovat rozložení napěťové vlny šířící se na homogenním vedení s rozprostřenými parametry. Řešení této rovnice lze provést numericky například metodou konečných diferencí (Finite Difference Method) [5].

Jak vidíme z obrázků 1 a 2, na tvar napěťových pulzů přiváděných na izolační systém motoru má vliv délka a parametry kabelu. Parazitní kapacity a indukčnosti kabelu způsobují změnu strmosti jednotlivých pulzů na izolačním systému motoru. Vznikají zde také díky LC členům kmity, které se superponují na pulzy generované měničem.

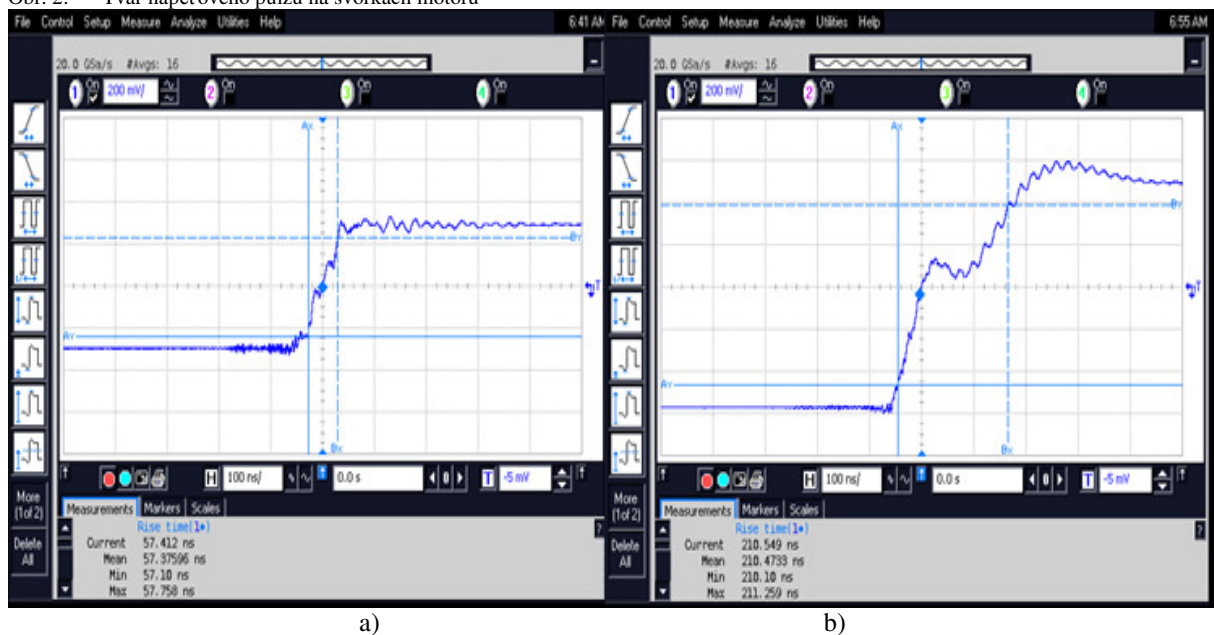


Obr. 2: Tvar napěťového pulzu na svorkách motoru

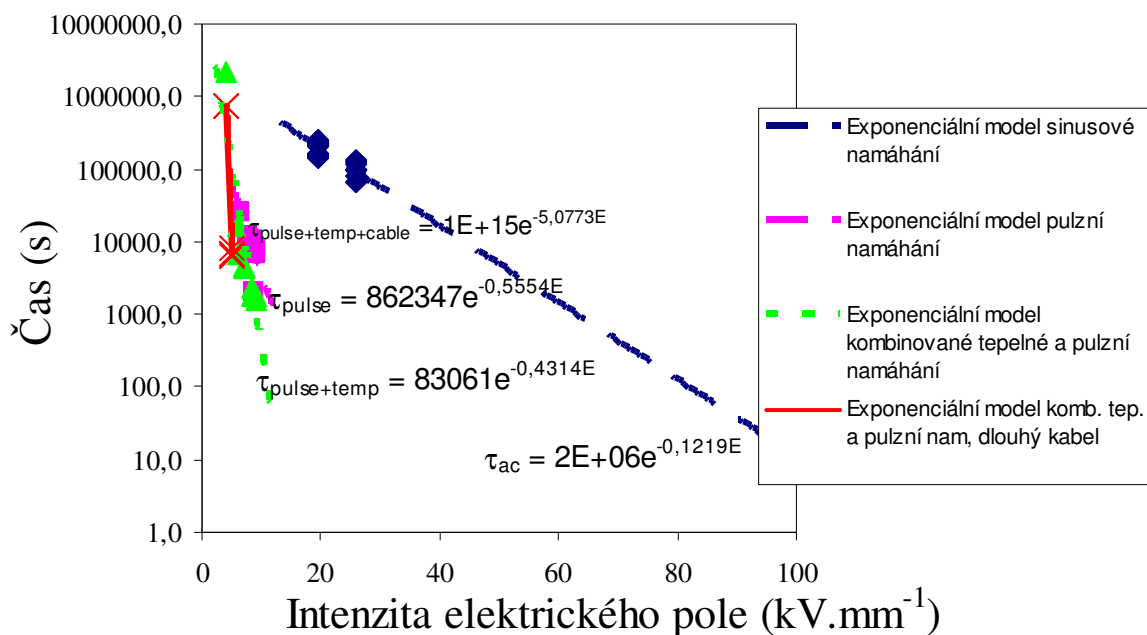
Cílem experimentu je prokázat vliv tvaru impulsu (tvar se mění např. s parametry kabelu tedy i jeho délky). Na obr. 3. jsou uvedeny oba tvary pulzního napětí 6 kHz, kterými byly stárnuty vzorky při experimentu.

Výsledky experimentu, kdy vzorky izolačního systému byly namáhány napětím dle obr. 3, jsou shrnuty v sestrojených křivkách odolnosti kombinovanému teplotnímu a pulznímu namáhání na obr. 4.

Výsledky experimentu, kdy vzorky izolačního systému byly namáhány napětím dle obr. 3, jsou shrnuty v sestrojených křivkách odolnosti kombinovanému teplotnímu a pulznímu namáhání na obr. 4.



Obr. 3: Praktická laboratorní simulace vlivu kabelu na tvar napěťových impulzů na izolačním systému točivého stroje. a) krátký kabel – doba nárůstu napětí 57 ns, b) dlouhý kabel – doba nárůstu napětí 210 ns, překmit 10 %.



Obr. 4: Křivky odolnosti kombinovanému namáhání testovaného materiálu pro „krátký“ resp. „dlouhý“ kabel měnič-zátěž s teplotním namáháním, pro srovnání i pro střídavé (ac) namáhání.

ZÁVĚR

Z křivek odolnosti kombinovanému teplotnímu a pulznímu namáhání je patrné již dříve prokázané zkrácení životnosti izolačního materiálu při pulzním napětí (v obr. 4 – pulse) oproti střídavému sinusovému napětí (ac). Pokud jsou vzorky namáhané zároveň pulzním napětím i teplotou (pulse+temp) projeví se zvýšené namáhání dalším sklonem křivky odolnosti. Křivka simulující vliv kabelu na životnost izolace se zatím jeví jako nejstrmější. Ovšem bod odpovídající namáhání na napěťové hladině ± 0.9 kV, 6 kHz (748 800 s) představuje pouze současný stav experimentu. K průrazu vzorků zde zatím nedošlo. Pro získání skutečného vlivu délky kabelu na takto namáhaný elektroizolační materiál je zapotřebí ještě další napěťově teplotní expozice. Ve výsledcích se zřejmě projevuje vliv překmitů způsobených parazitními kapacitami a indukčnostmi kabelu, jejich vliv je nutno dále prokázat.

PODĚKOVÁNÍ

Tento výzkum je podporován výzkumným záměrem Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České Republiky, MSM 4977751310 – Diagnostika interaktivních dějů v elektrotechnice, jehož jsou autoři spoluprašitelé.

LITERATURA

1. Mentlík V., Trnka P., Prosr P., Pihera J., Polanský R.: “Electrical Insulation Material Parameters and Power Electronic Waveform Environment”, In Conference record of the 2006 IEEE international symposium on electrical insulation, IEEE, 245-248. ISBN 1-4244-0334-0. ISSN 1089-084X, Toronto, 2006.
2. Mentlík V., Trnka P., Pihera J.: “Vývoj vlastností izolantu při pulzním namáhání”, In Nové směry v diagnostice a opravách elektrických strojů a zariadení, Žilina, EDIS - Žilinská univerzita, 2006, s. 35-39, ISBN 80-8070-545-3.
3. Trnka, P.; Prosr, P.; Pihera, J.; Polanský, R.: „Životnost izolačního systému VPI při pulzním namáhání“, In Diagnostika '05, Plzeň, Západočeská univerzita, 2005, s. 411-414, ISBN 80-7043-368-X.
4. Novotný, K.: Elektromagnetické pole a vlny – teorie elektromagnetického pole II, ČVUT Praha, ISBN 80-01-02429-6.
5. Mayer, D., Ulrych, B.: Základy numerického řešení elektrických a magnetických polí, SNTL 1988, Praha.
6. Espino-Cortes, F.P.; Montasser, Y.; Jayaram, S.H.; Cherney, E.A. Study of stress grading systems working under fast rise time pulses, CEIDP 2006, 380-383, IEEE, 2006.

AUTOŘI

doc. Ing. Pavel Trnka, Ph.D.; Department of Technologies and Measurement, Faculty of Electrical engineering, University of West Bohemia in Plzen; Univerzitni 8, 306 14 Plzen; e-mail: pavel@ket.zcu.cz

Ing. Roman Hamar, Ph.D.; Department of Theory of Electrical Engineering, Faculty of Electrical engineering, University of West Bohemia in Plzen; Univerzitni 8, 306 14 Plzen; e-mail: hamar@kte.zcu.cz

prof. Ing. Václav Mentlík, CSc.; Department of Technologies and Measurement, Faculty of Electrical engineering, University of West Bohemia in Plzen; Univerzitni 8, 306 14 Plzen; e-mail: mentlik@ket.zcu.cz