

# Charakteristiky impulzního generátoru v závislosti na typu zátěže

Karel Veisheipl

Katedra elektroenergetiky a ekologie

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

veisk@kee.zcu.cz

## Characteristics of the Impulse Generator Depending on the Load Type

**Abstract** – During practical measurements with the impulse generator, time parameters of the lightning-impulse voltage can be affected by test object's parameters like high capacitance. To quickly ensure that those time parameters are still according to the standards, it is good to support those practical measurements by simulations that can help to determine generator's limitations.

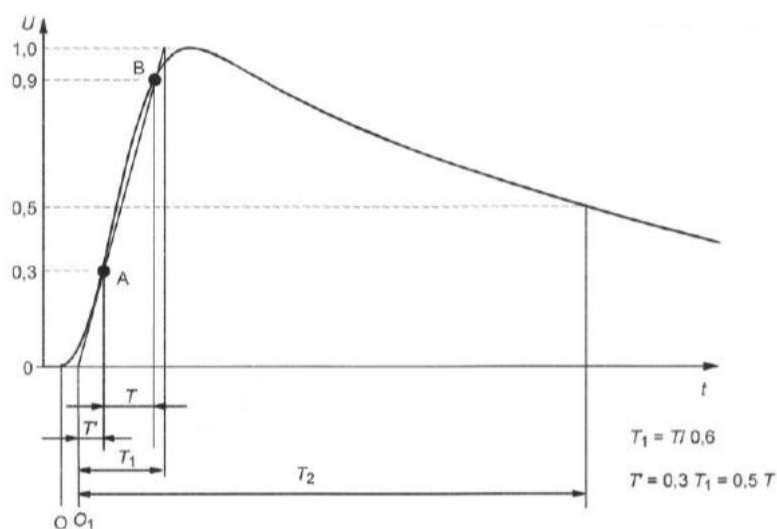
**Keywords** – Capacity load; Impulse generator; Lightning-impulse voltage; Multi-stage generator; Simulation; Time parameters limitations.

### I. ÚVOD

Impulzní generátory se obvykle vyskytují v laboratořích vysokého napětí, kde slouží ke zkouškám na elektrických zařízeních proudovými či napěťovými impulzy různých tvarů (např. spínací či atmosférický impulz). Tento článek se zabývá simulací impulzního generátoru s výstupním atmosférickým napěťovým impulzem.

Plný atmosférický impulz, který je definován normou, lze vidět na obrázku 1. Jeho tvar lze popsat pomocí dvou exponenciálních funkcí v rovnici 1.

$$U_b(t) = U_0 (e^{(t/\tau_1)} - e^{-(t/\tau_2)}) \quad (1)$$



**Obrázek 1.** Plný atmosférický impulz dle normy [6]

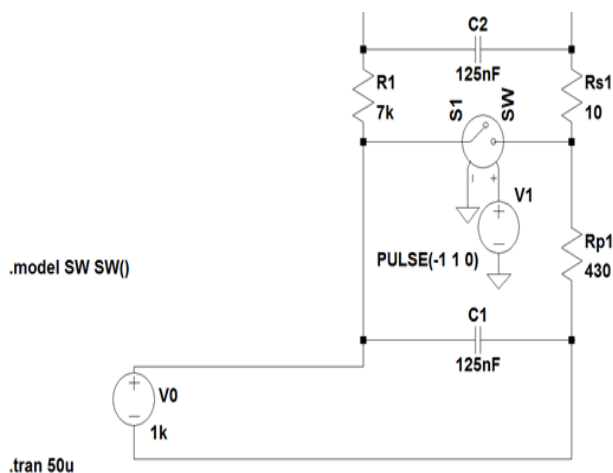
Podle normy [6] musí plný atmosférický impulz splňovat určité časové parametry. Jedná se o dobu čela  $T_1$  a dobu půltýlu  $T_2$ . Doba čela je definována jako  $1/0,6$  krát časový interval  $T$  mezi body A (impulz dosáhl 30% vrcholové hodnoty) až B (impulz dosáhl 90% vrcholové hodnoty). Doba půltýlu pak vymezuje časový interval od zdánlivého počátku  $O_1$  až do okamžiku, kdy se napětí sníží na 50% vrcholové hodnoty. Atmosférický impulz je pak s určitými tolerancemi definován jako  $1,2/50 \mu s$ , což je poměr  $T_1/T_2$ .

Takto popsaný impulz ovšem bývá v praxi vlivem různých okolností deformován, což může vést až k neregulérnosti testu vzhledem k podmínkám nastaveným normou. Deformace výstupního napěťového impulsu může být způsobena na příklad při testování vysokokapacitních kabelů a transformátorů s vysokou indukčností. Z tohoto hlediska je přínosné podpořit praktická měření simulací. Cílem této simulace pak bylo stanovit přibližné limity laboratorního impulzního generátoru HAEFELY v souvislosti maximální kapacitní zátěží. Takto vytvořený simulační obvod pak bude nadále sloužit pro simulace skládaného a kombinovaného napětí.

## II. SIMULACE VÍCESTUPŇOVÉHO IMPULZNÍHO GENERÁTORU

Veškeré simulace byly provedeny pomocí softwaru LTspice, který patří mezi programy s možností schématického zapojení neomezeného počtu uzlů a také obsahuje veškeré komponenty nezbytné pro sestavení modelu impulzního generátoru.

V reálném zapojení impulzního generátoru dochází v případě vícestupňového zapojení k postupnému nabíjení jednotlivých kapacitních stupňů zapojených do série. Po nabití těchto kapacit dojde ke spuštění jiskřišť, které zde plní funkci spínače a dojde ke spojení jednotlivých kapacitních stupňů do série a tím i ke zvětšení celkového výstupního napětí generátoru. Toto výstupní napětí je zároveň tvarováno za pomoci odporů na plný atmosférický impulz, případně na impulz o jiných parametrech.

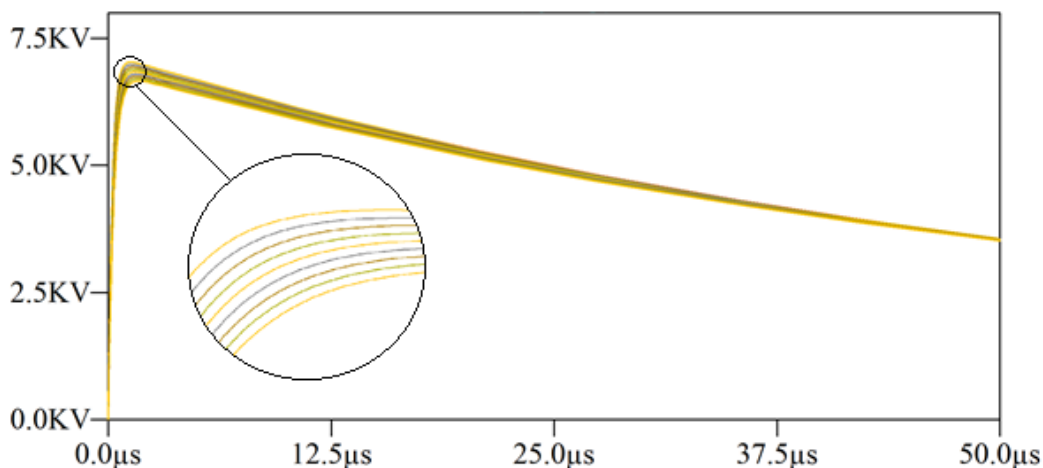


**Obrázek II.** Impulzní generátor HAEFELY a jeden stupeň jeho simulačního schématu

Na obrázku 2 lze vidět vedle sebe reálný impulzní generátor HAEFELY v laboratoři vysokého napětí a část simulačního schématu tohoto generátoru. Vzhledem k rozsáhlosti simulovaného obvodu, je zobrazen pouze jeden stupeň, kde je obsažen jeden kapacitní stupeň C1, odpory tvarující výstupní napěťový impuls a taktéž napěťově řízený spínač, který zde plní funkci jiskřičtě.

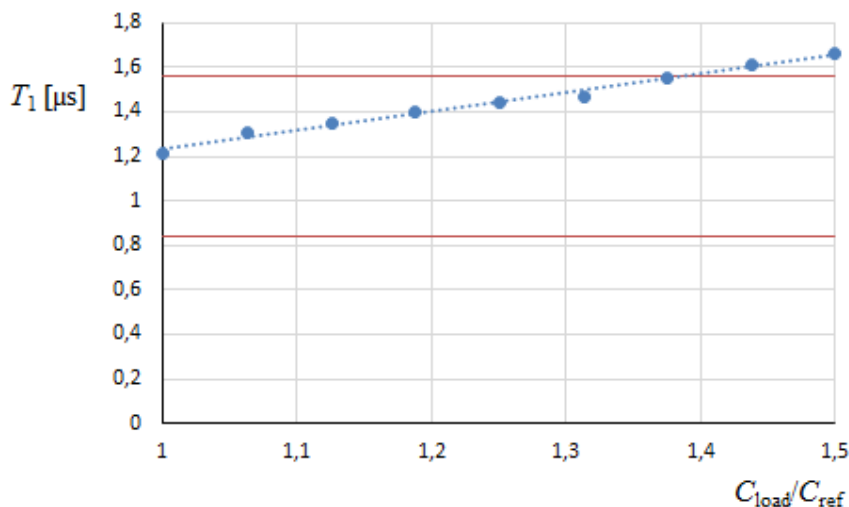
### III. LIMITY GENERÁTORU URČENÉ NA ZÁKLADĚ SIMULACÍ

Časové parametry impulzního generátoru jsou závislé také na dalších vnitřních (např. vlastní indukčnost generátoru) vnějších (např. vysoká kapacitní zátěž) parametrech testovaného objektu, které pak ovlivňují výsledný napěťový impuls.

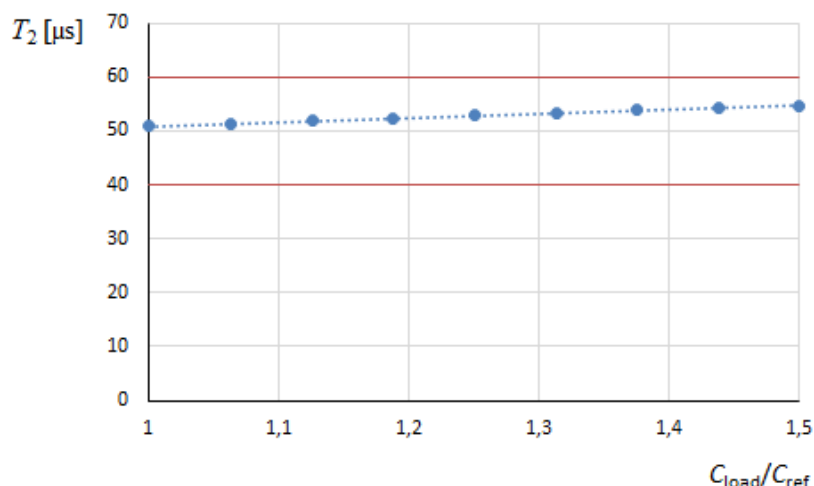


**Obrázek III.** Výsledné napěťové impulsy ovlivněné různým kapacitním zatížením

Na obrázku 3 jsou pak zobrazeny napěťové impulsy ovlivněné různě velkou kapacitní zátěží, která se pohybovala v rozmezí 1 až 1000 pF. Na základě těchto simulací pak lze na obrázku 4 vidět výsledné limity impulzního generátoru pro kapacitní zatížení, co se týče doby čela a na obrázku 5 pak limity pro dobu půltýlu. Červenou čarou jsou vyznačeny limitní hodnoty daného časového parametru, tak jak je udává norma [6].



**Obrázek IV.** Výsledné limity pro dobu čela v závislosti na kapacitním zatížení



**Obrázek V.** Výsledné limity pro dobu půltýlu v závislosti na kapacitním zatížení

#### IV. ZÁVĚR

Simulace výstupního napětí i generátoru pomohly zhruba určit jeho limity kapacitního zatížení testovaným objektem v souvislosti s deformací časových parametrů. V tomto konkrétním případě se ukázala jako nevyhovující kapacitní zátěž 850 pF a vyšší. V praxi je pak možné generátor uzpůsobit jeho přepojením na menší počet stupňů, pro což lze obdobným způsobem opět určit kapacitní limity. Toto funkční simulační schéma pak lze např. použít také při simulacích kombinovaného či skládaného namáhání.

#### PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval prof. Ing. Rainerovi Hallerovi, Dr., doc. Ing. Evě Müllerové, Ph.D. a Ing. Petrovi Martínkovi, Ph.D. za cenné rady ohledně problematiky popisované v tomto článku. Tento článek zároveň vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2016-006 a projektu SGS-2015-002: Moderní metody řešení, návrh a aplikace elektronických a komunikačních systémů.

#### LITERATURA

- [1] K. Schon, High impulse voltage and current measurement techniques fundamentals, measuring instruments, measuring methods. Cham: Springer, 2013. ISBN 9783319003788.
- [2] W. Mosch, W. Hauschild, M. Kahle, Hochspannungsisolierungen mit Schwefelhexafluorid, 1. Aufl. Berlin: Verlag Technik. VEB, 1979, 200 p.
- [3] V. Rai, K. Pandey, K. Wadhwa, "Designing of multistage impulse voltage generator using ATP software," IEEE, 2015, 276-279. DOI: 10.1109/RDCAPE.2015.7281409. ISBN 978-1-4799-7247-0.
- [4] "LTspice Getting Started Guide" <http://ltspice.linear.com/>
- [5] IEC 60076-4 "Power transformers - Part 4: Guide to the lightning impulse and switching impulse testing – Power transformers and reactors," 2002.
- [6] IEC 60060-1 "High Voltage Test Techniques Part 1: General Definitions and Test Requirements," 2010.