

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Modelování generátorů používaných  
v elektromagnetické kompatibilitě v prostředí PSpice**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2014/2015

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal KŘÍŽ**  
Osobní číslo: **E12B0273P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**  
Název tématu: **Modelování generátorů používaných v elektromagnetické kom-  
patibilitě v prostředí PSpice**  
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte rešerši EMK standardů, ve kterých se vyskytují testovací generátory. Uvažujte také standardy pro automobilový průmysl.
2. Popište standardizované průběhy napětí či proudů testovacích generátorů.
3. Vytvořte knihovnu generátorů pro prostředí PSpice.
4. Vytvořte ukázkové simulace s použitím modelů generátorů.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Kubík, Ph.D.**  
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

## **Abstrakt**

Bakalářská práce je zaměřena na tvorbu elektrických modelů generátorů, které jsou používány pro testování v elektromagnetické kompatibilitě, a jejich implementaci do knihoven programu PSpice. Zejména je tedy zaměřena na jejich výstupní průběhy, které jsou definovány standardy řady ČSN EN 61000-4 a ISO 7637-2.

## **Klíčová slova**

EMC, testovací generátory, průběhy testovacích generátorů, normy ČSN-EN-61000-4-X, PSpice.

## **Abstract**

Bachelor thesis is focused on creating models of electric generators that are used for testing the electromagnetic compatibility and their implementation into the libraries of program PSpice. In particular it is directed to the output waveform defined standards of CSN EN 61000-4 and ISO 7637-2.

## **Key words**

EMC test generators, test waveform generators, standard CSN-EN-61000-4-X, PSpice.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou/bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské/diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 5.6.2015

Michal Kříž

## Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>9</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1. NORMY ČSN EN 61000</b> .....	<b>11</b>
1.1 ČSN EN 61000-4-4: ZKUŠEBNÍ MĚŘÍCÍ TECHNIKA ELEKTRICKÉ PŘECHODOVÉ JEVY/SKUPINY IMPULZŮ – ZKOUŠKA ODOLNOSTI .....	11
1.1.1 Tvar vlny zkušebního napětí .....	11
1.1.2 Rozsah zkušebního napětí.....	12
1.1.3 Zkušební zařízení .....	12
1.2 ČSN EN 61000-4-5: ZKUŠEBNÍ MĚŘÍCÍ TECHNIKA – RÁZOVÝ IMPULZ – ZKOUŠKA ODOLNOSTI.....	13
1.2.1 Rozsah zkušebních úrovní.....	14
1.2.2 Zkušební přístrojové vybavení.....	14
1.3 ČSN EN 61000-4-11: ZKUŠEBNÍ MĚŘÍCÍ TECHNIKA – KRÁTKODOBÉ POKLESY NAPĚTÍ, KRÁTKÁ PŘERUŠENÍ A POMALÉ ZMĚNY NAPĚTÍ – ZKOUŠKY ODOLNOSTI .....	16
1.3.1 Rozsah zkušebních úrovní.....	16
1.3.2 Zkušební zařízení .....	19
1.4 ČSN EN 61000-4-18: ZKUŠEBNÍ MĚŘÍCÍ TECHNIKA – TLUMENÁ OSCILAČNÍ VLNA – ZKOUŠKY ODOLNOSTI .....	20
1.4.1 Rozsah zkušebních úrovní.....	20
1.4.2 Tlumená oscilační vlna.....	21
1.4.3 Zkušební zařízení .....	21
1.5 ČSN EN 61000-4-29: ZKUŠEBNÍ MĚŘÍCÍ TECHNIKA – KRÁTKODOBÉ POKLESY, KRÁTKÁ PŘERUŠENÍ A POMALÉ ZMĚNY NAPĚTÍ NA VSTUPECH STEJNOSMĚRNÉHO NAPĚTÍ – ZKOUŠKY ODOLNOSTI .....	23
1.5.1 Rozsah zkušebních úrovní.....	23
1.5.2 Zkušební generátor.....	24
1.6 ČSN EN 61000-4-2: ZKUŠEBNÍ MĚŘÍCÍ TECHNIKA – ELEKTROSTATICKÝ VÝBOJ - ZKOUŠKA ODOLNOSTI .....	25
1.6.1 Rozsah zkušebních úrovní.....	25
1.6.2 Tvar zkušební vlny[1] .....	25
1.6.3 Zkušební generátor.....	26
1.7 NORMA ISO 7637-2 –SILNIČNÍ VOZIDLA – ELEKTRICKÁ RUŠENÍ Z VEDENÍ A VAZBOU - ELEKTRICKÉ PŘECHODNÉ VEDENÍ A PŘÍVODY .....	27
1.7.1 Testovací pulz 1 .....	27
1.7.2 Testovací pulz 2a a 2b .....	28
1.7.3 Testovací pulz 3a a 3b .....	30
1.7.4 Testovací pulz 4 .....	32
1.7.5 Generátor impulzu 5.....	33
<b>2 GENERÁTORY</b> .....	<b>34</b>
2.1 GENERÁTOR RYCHLÝCH PŘECHODOVÝCH DĚJŮ .....	34
2.1.1 Generátor 5/50ns.....	34

2.2	GENERÁTOR KOMBINOVANÉ VLNY .....	35
2.2.1	<i>Generátor 1,2/50<math>\mu</math>s + 8/20 <math>\mu</math>s</i> .....	35
2.2.2	<i>Generátor 10/700us</i> .....	37
2.3	GENERÁTOR PŘECHODOVÝCH IMPULZŮ .....	38
2.3.1	<i>Generátor impulzu 1</i> .....	38
2.3.2	<i>Generátor impulzu 2a</i> .....	39
2.3.3	<i>Generátor impulzu 2b</i> .....	39
2.3.4	<i>Generátor impulzu 3a</i> .....	40
2.3.5	<i>Generátor impulzu 3b</i> .....	40
2.3.6	<i>Generátor impulzu 4</i> .....	41
2.3.7	<i>Generátor impulzu 5</i> .....	41
2.4	GENERÁTOR ELEKTROSTATICKÉHO VÝBOJE .....	42
<b>3</b>	<b>KNIHOVNA GENERÁTORŮ .....</b>	<b>43</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>45</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....</b>	<b>46</b>
	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>1</b>



## **Seznam symbolů a zkratk**

EMC .....	Elektromagnetická kompatibilita (Electromagnetic Compatibility)
ESD.....	Elektrostatický výboj (Electrostatic Discharge)
EUT .....	Zkoušené zařízení (Equipment Under Test)
EFT/B .....	Rychlé elektrické přechodové jevy / skupiny impulzů (Electrical Fast Transient/ Burst)

## Úvod

Bakalářská práce je zaměřena na popis elektrických průběhů napětí či proudů testovacích generátorů používaných k testování v elektromagnetické kompatibilitě. Dále na vytvoření modelů těchto generátorů a následné simulace a ověření správnosti simulace podle normy ČSN EN-61000. Práce se dále zabývá tvorbou knihoven generátorů do programu PSpice.

Práce se také zabývá testovacími generátory elektromagnetické kompatibility v automobilové technice. Vzhledem ke vzrůstajícímu množství elektrických nebo elektronických prvků vozidel je pravděpodobnost vzájemného rušení a ovlivňování vysoká. Význam dále podtrhuje fakt, že selhání některého z elektrických nebo elektronických prvků ve vozidle by mohlo vést k havárii a k ohrožení života.

## 1. Normy ČSN EN 61000

### 1.1 ČSN EN 61000-4-4: Zkušební měřicí technika elektrické přechodové jevy/skupiny impulzů – Zkouška odolnosti

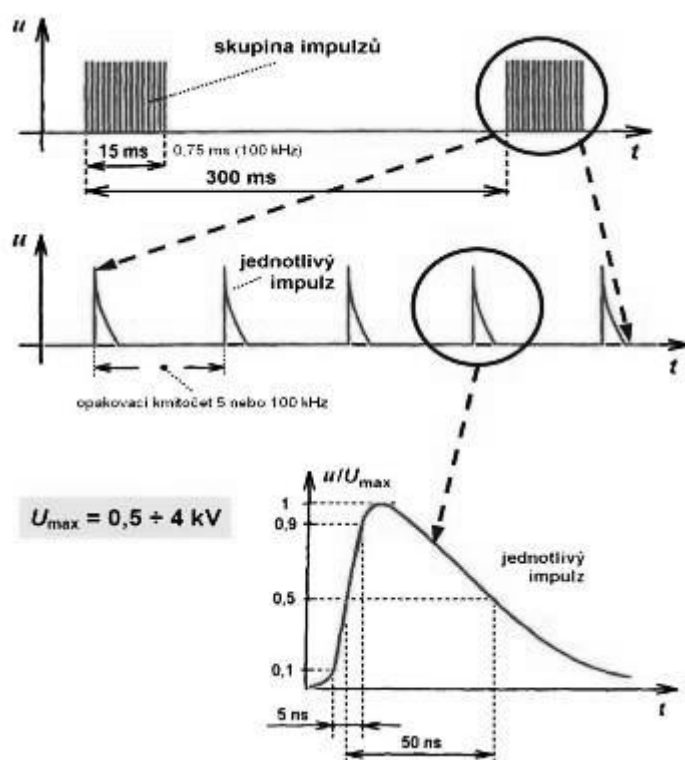
Tato norma se zabývá odolnostmi elektrických zařízení proti opakovaným rychlým elektrickým přechodovým jevům. Cílem je vytvoření obecné základny pro vyhodnocování odolnosti elektrického a elektronického zařízení, které je vystaveno rychlým a opakovaným přechodovým jevům/skupinám impulzů na napájecích, signálových, ovládacích a zemních vstupech/výstupech.

Rychlé přechodové jevy vznikají při spínání induktivních zátěží nebo vysokonapěťových vypínačů a při odskakování kontaktů relé. Nebezpečnost rušení spočívá v jeho vysokofrekvenčním obsahu (2-200 MHz), který způsobuje nesymetrické šoky systému. Dalším nebezpečným faktorem je opakování impulzů v řadě (tzv. burst signál).[8]

#### 1.1.1 Tvar vlny zkušebního napětí

Výsledný průběh generátoru je složen z rychlých elektrických přechodných jevů, které jsou seskupeny do přesně definovaných skupin impulzů. Jedná se o velice rychlý přechodový jev, jak můžeme vidět na obrázku 1.1. Doba náběhu jednoho každého impulzu je 5 ns a jeho délka je 50 ns. Generátor vytváří jednotlivé skupiny impulzů v délce 15 ms. Počet impulzů v každé skupině je stejný. Opakující kmitočet skupiny impulzů je 2,5 kHz skupiny se opakují po 300 ms.

Uvedené parametry platí pouze pro zátěž generátoru 50 Ω.[2]



Obrázek 1.1 Tvar vlny zkušebního napětí [8]

### 1.1.2 Rozsah zkušební napětí

Velikost impulzů se volí od 0,5 kV do 4 kV podle typu zkoušeného zařízení a požadované zkušební úrovně. Přednostní zkušební úrovně jsou uvedeny v tabulce 1.1.

### 1.1.3 Zkušební zařízení

Tabulka 1.1 Rozsah zkušební napětí[2]

Výstupní zkušební napětí naprázdno a opakovací kmitočet impulzů				
Úroveň	Na vstupu/ výstupu napájení, PE		Na vstupních/výstupních signálových, datových, a ovládacích vstupech/výstupech	
	Vrcholové napětí [kV]	Opakovací kmitočet [kHz]	Vrcholové napětí [kV]	Opakovací kmitočet [kHz]
1	0,5	5 nebo 100	0,25	5 nebo 100
2	1	5 nebo 100	0,5	5 nebo 100
3	2	5 nebo 100	1	5 nebo 100
4	4	5 nebo 100	2	5 nebo 100

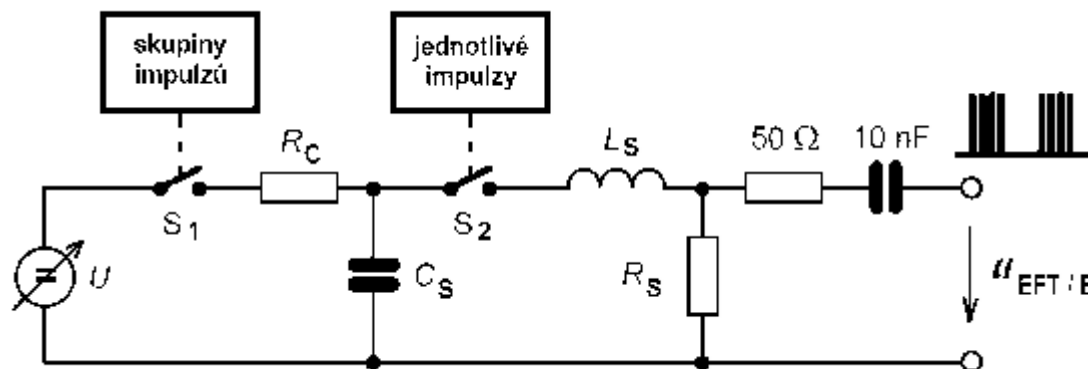
#### 1.1.3.1 Generátor skupiny impulzů

Tento generátor je charakteristický tím, že hodnoty jednotlivých prvků jsou vybrány tak, aby nastával rychlý přechodový jev jak při zapojení naprázdno, tak i při rezistivní zátěži 50 Ω.

#### 1.1.3.2 Generátor EFT/B

Kromě generátoru skupiny impulzů existují i další typy, například generátor EFT/B. Jehož principiální schéma je naznačeno na obrázku 1.2.

V tomto zapojení spínač  $S_1$  určuje dobu trvání a periodu skupin impulzů, spínačem  $S_2$  se řídí vznik a perioda jednotlivých impulzů ve skupině. Tento spínač je ve skutečném zapojení generátoru EFT/B tvořen buď vysokonapěťovým jiskřištěm, nebo řízeným tranzistorovým výkonovým spínačem. Náběžná hrana každého impulzu je dána především časovou konstantou  $L_S/R_S$ , zatímco sestupná strana impulzu je určena vybíjením kondenzátoru s časovou konstantou  $C_S R_S$ . [2]

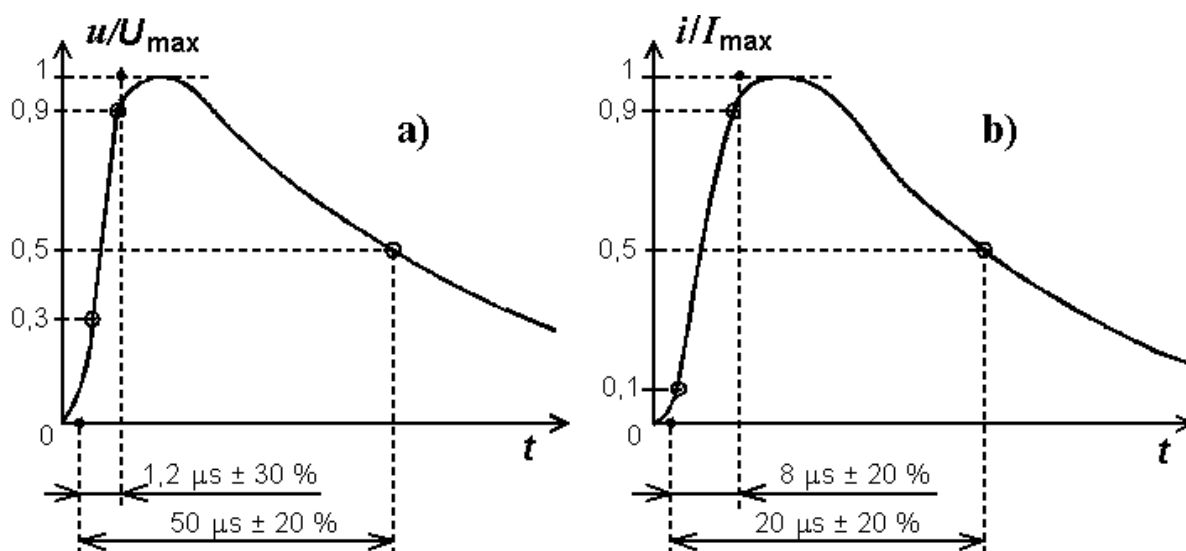


Obrázek 1.2 Generátor EFT/B[8]

## 1.2 ČSN EN 61000-4-5: Zkušební měřící technika – Rázový impulz – Zkouška odolnosti

Tato norma se zabývá odolnostmi elektrických a elektronických zařízení proti jednosměrným rázovým impulzům způsobeným přepětím od spínacích a atmosférických přechodových jevů. Cílem je vytvoření obecné základny pro vyhodnocování odolnosti zařízení vystavených rázovým impulzům.

Při výskytu atmosférických poruch (blesk), při spínacích pochodech či poruchách v energetické vysokonapěťové síti se do rozvodů nízkého napětí dostávají rázové impulzy s vysokou energií, které se mohou projevit i tepelnými účinky.[8]



Obrázek 1.3 Zkušební signál rázové vlny napětí naprázdno a) a rázové vlny proudu nakrátko b)[8]

### 1.2.1 Rozsah zkušebních úrovní

Tabulka 1.2 Rozsah zkušebních úrovní[3]

Úroveň	Zkušební napětí naprázdno ±10% [kV]
1	0,5
2	1,0
3	2,0
4	4,0

V normě výrobku můžou být uvedeny i jisté speciální úrovně, které mohou být uvedeny nad i pod ostatními úrovněmi.

### 1.2.2 Zkušební přístrojové vybavení

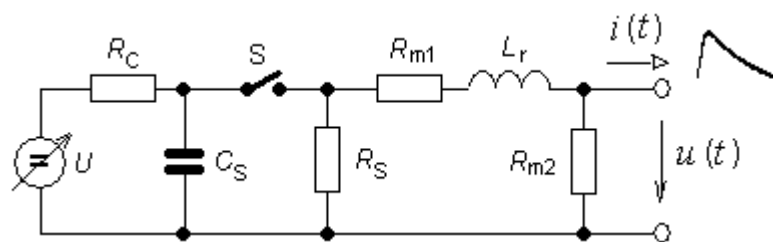
#### 1.2.2.1 Generátory kombinované vlny

Jsou specifikovány dva typy generátorů kombinované vlny. Každý typ má své vlastní konkrétní aplikace, závisí na typu zkoušeného vstupu/výstupu. Generátor kombinované vlny 10/700  $\mu$ s se používá pro zkoušení vstupů/výstupů určených pro připojení symetrických komunikačních vedení. Generátor kombinované vlny 1,2/50  $\mu$ s se používá ve všech ostatních případech, a zejména pro zkoušení vstupů/výstupů určených pro připojení napájecích vedení a krátkých signálních vedení.[3]

Záměrem je, aby výstupní vlny splňovaly specifikace v bodě, ve kterém jsou určeny k aplikování na EUT. Vlny jsou specifikovány jako napětí naprázdno a proud nakrátko, a proto se měří bez připojeného EUT.

##### 1.2.2.1.1 Generátor kombinované vlny 1,5/50 $\mu$ s

Zjednodušené schéma obvodu je uvedeno na obrázku 1.4. Hodnoty pro různé součástky  $R_s$ ,  $R_m$ ,  $L_r$ ,  $C_s$ , jsou vybrány tak, aby generátor dodával napětí rázového impulsu 1,5/50  $\mu$ s (při podmínkách naprázdno) a proud rázového impulsu 8/20  $\mu$ s do obvodu nakrátko.[3]



Obrázek 1.4 Generátor kombinované vlny 1,5/50µs [8]

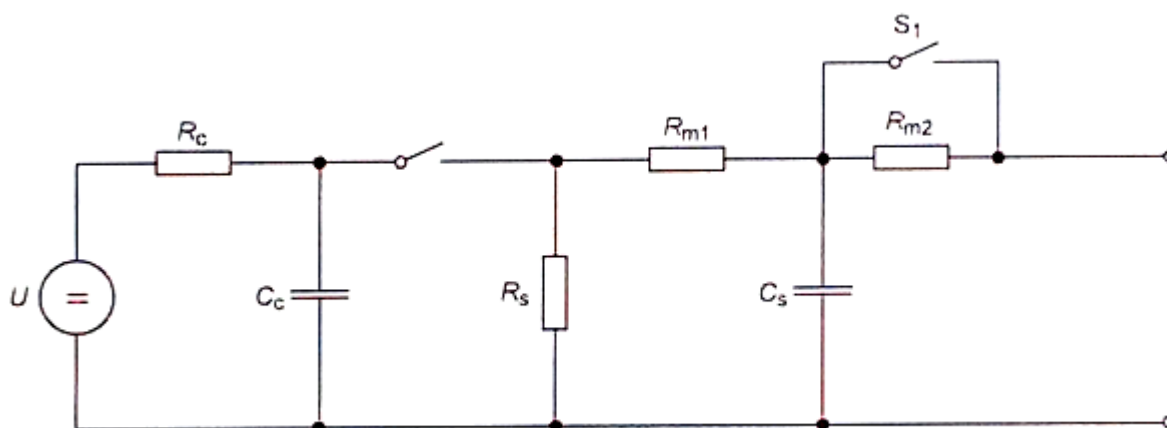
Tabulka 1.3 Definice parametrů vlny 1,2/50 µs - 8/20 µs [3]

Definice	Podle IEC 60060-1		Podle IEC 60469-1	
	Náběžná doba [µs]	Doba na poloviční hodnotu [µs]	Doba náběhu [µs]	Doba trvání [µs]
Napětí naprázdno	1,2±30%	50±20%	1±30%	50±20%
Proud nakrátko	8±20%	20±20%	6,4±20%	16±20%

### 1.2.2.1.2 Generátor kombinované vlny 10/700 µs

Tento generátor je určen pro generování rázového impulsu, který má náběžnou dobu napětí naprázdno 10 µs a dobu na poloviční napětí naprázdno 700 µs.

Zjednodušené schéma obvodu generátoru je uvedeno na obrázku 1.5. Hodnoty různých součástek se vyberou tak, aby generátor dodával rázový impuls 10/700 µs.



Obrázek 1.5 Generátor kombinované vlny 10/700µs [3]

### 1.3 ČSN EN 61000-4-11: Zkušební měřicí technika – Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí – Zkoušky odolnosti

Tato norma se zabývá metodami zkoušek odolnosti a rozsahem doporučených zkušebních úrovní krátkodobých poklesů napětí, krátkých přerušení a pomalých změn napětí, pro elektrická a elektronická zařízení připojovaná do sítě nízkého napětí. Norma platí pro zařízení připojována do střídavých sítí 50 Hz nebo 60 Hz, jejichž vstupní fázový proud není větší než 16 A. [4]

#### 1.3.1 Rozsah zkušebních úrovní

Jako základ pro stanovení zkušebních úrovní napětí se v této normě používá jmenovité napětí zařízení ( $U_T$ ). Pokud má zařízení určený rozsah jmenovitých napětí, musí se použít následující:

- Nepřekračuje-li rozsah napětí 20 % dolní hranice napětí stanoveného pro rozsah jmenovitých napětí, může se jako základ pro specifikaci zkušební úrovně ( $U_T$ ) stanovit jedno napětí z tohoto rozsahu.
- Ve všech ostatních případech se musí zkušební postup aplikovat jak na dolní, tak i na horní stanovené mezní napětí napěťového rozsahu. [4]

##### 1.3.1.1 Krátkodobé poklesy a krátká přerušení napětí

Změna mezi  $U_T$  a změněnou hodnotou napětí je náhlá. Skok může začít i končit při jakémkoliv fázovém úhlu síťového napětí. Použijí se následující úrovně zkušebních napětí ( $v \% U_T$ ): 0% 40% 70% a 80%, což odpovídá zbytkovým napětím krátkodobých poklesů a krátkých přerušení napětí 0% 40% 70% a 80%. [4]

Tabulka 1.4 Přednostní zkušební úrovně a doby trvání pro krátkodobé poklesy napětí [4]

Třída	Zkušební úrovně a doby trvání pro krátkodobé poklesy napětí (ts) (50 Hz/60 Hz)				
Třída 1	Případ od případu podle požadavků zařízení				
Třída 2	0% během ½ periody	0% během 1 periody	70% během 25/30 periody		
Třída 3	0% během ½ periody	0% během 1 periody	40% během 10/12 periody	70% během 25/30 periody	80% během 250/300 periody



Tabulka 1.5 Přednostní zkušební úrovně a doby trvání pro krátká přerušení napětí[4]

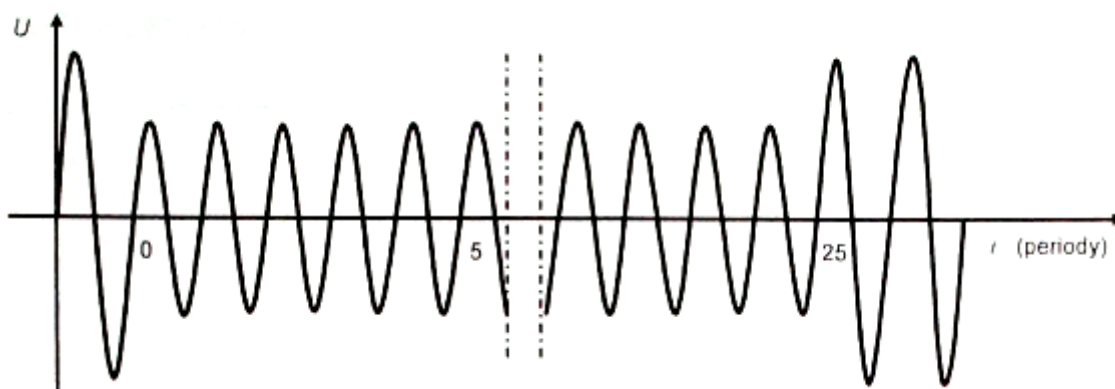
Třída	Zkušební úrovně a doby trvání pro krátká přerušení napětí (ts) (50 Hz/60 Hz)
Třída 1	Případ od případu podle požadavků zařízení
Třída 2	0% během 250/300 periody
Třída 3	0% během 250/300 periody

### 1.3.1.2 Pomalé změny napětí (nezávazné)

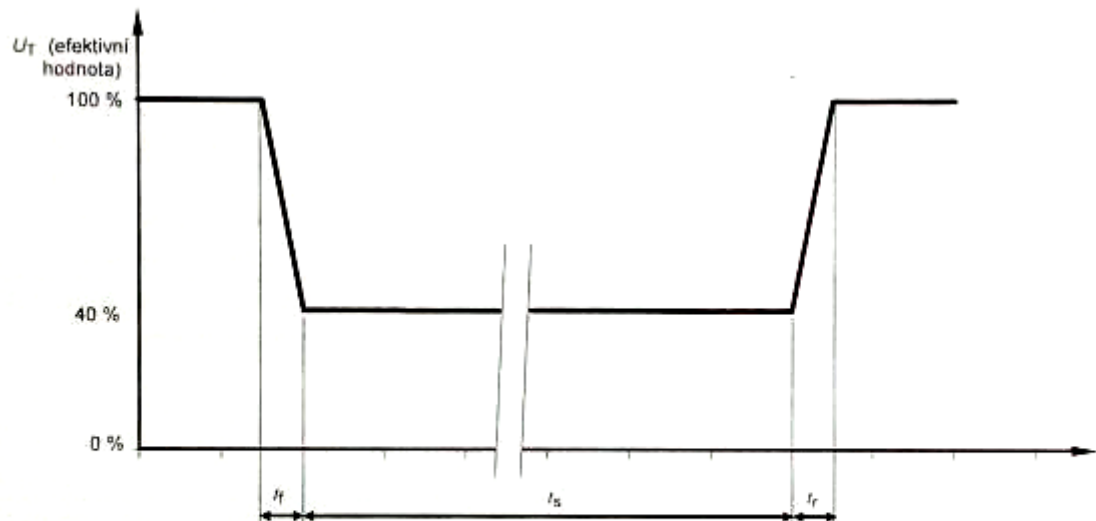
Tato zkouška bere ohled na definovaný přechod mezi jmenovitým napětím  $U_T$  a změněným napětím.

Tabulka 1.6 Časové hodnoty krátkodobých pomalých změn síťového napětí[4]

Zkušební úroveň napětí	Doba klesání napětí (td)	Doba sníženého napětí (ts)	Doba stoupání napětí (ti) (50Hz/60 Hz)
70%	Strmý přechod	1 periodu	25/30 period

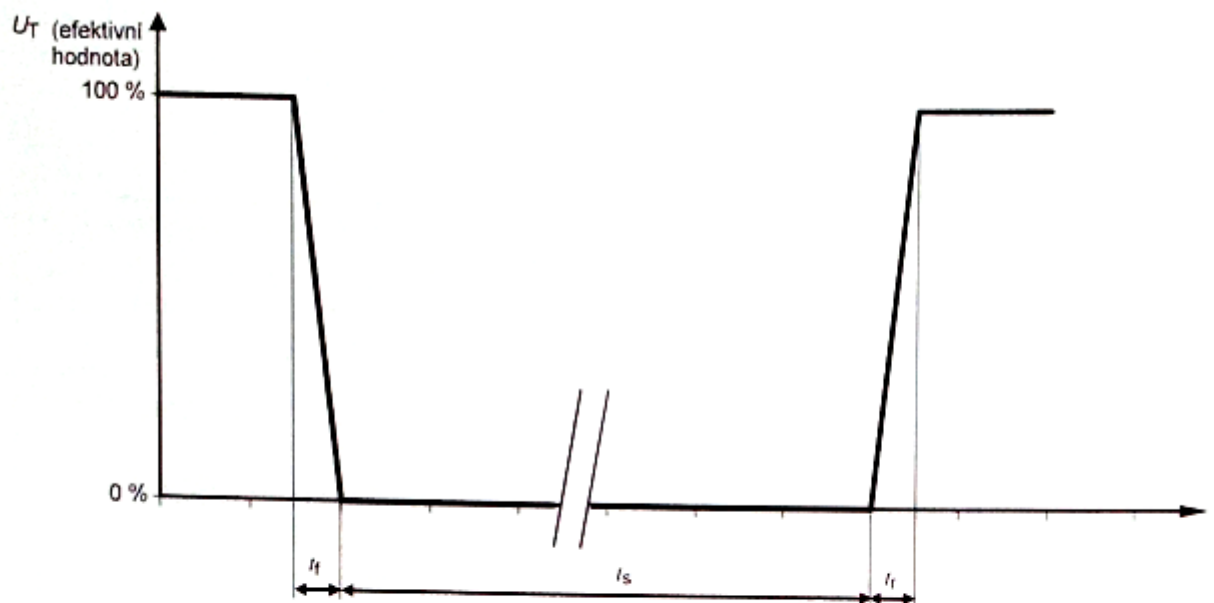


Obrázek 1.6 Krátkodobý pokles napětí - Průběh napětí krátkodobého poklesu napětí n 70% [4]

**Legenda**

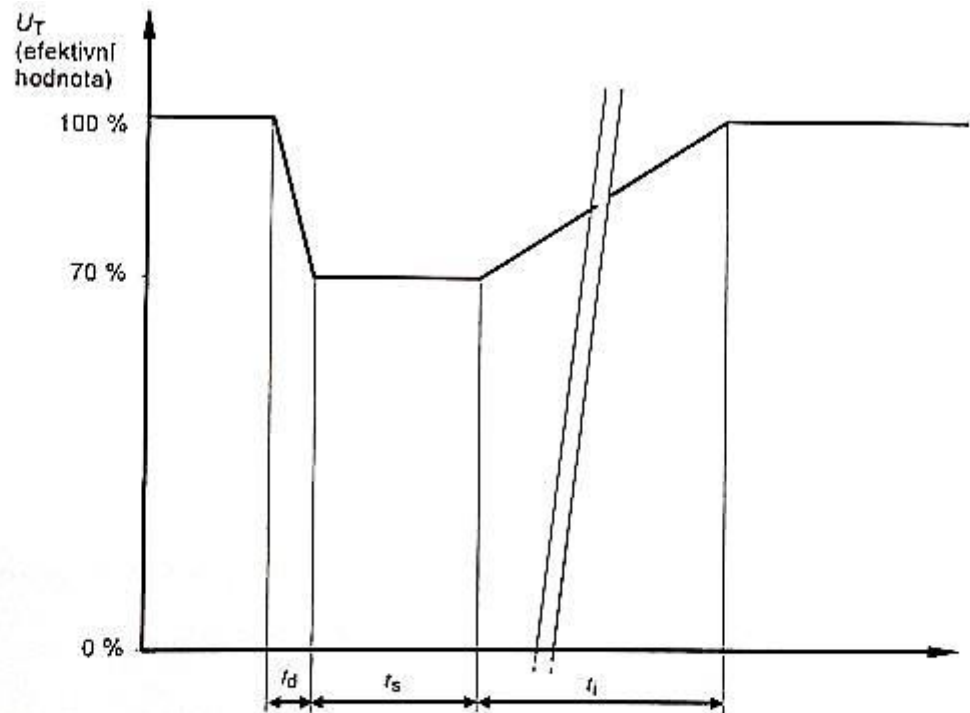
- $t_r$  Doba stoupaní napětí
- $t_f$  Doba klesání napětí
- $t_s$  Doba zmenšeného napětí

Obrázek 1.7 Krátkodobý pokles napětí - Průběh efektivní hodnoty krátkodobého poklesu napětí na 40% [4]

**Legenda**

- $t_r$  Doba stoupaní napětí
- $t_f$  Doba klesání napětí
- $t_s$  Doba zmenšeného napětí

Obrázek 1.8 Krátké přerušeni [4]

**Legenda**

- $t_d$  Doba klesání napětí
- $t_i$  Doba stoupání napětí
- $t_s$  Doba zmenšeného napětí

Obrázek 1.9 Pomalá změna napětí [4]

**1.3.2 Zkušební zařízení**

Je přípustný jakýkoli generátor vytvářející krátkodobé poklesy napětí se stejnými nebo přísnějšími charakteristikami, (než jsou charakteristiky předepsané. Generátor musí mít zabráňující emisi velkých rušení, která mohou ovlivnit výsledky měření. Generátor musí být schopný dodávat 20 A při 80% jmenovitého napětí po dobu 5 sekund. Musí být schopný dodávat 23 A při 70% jmenovitého napětí a 40 A při 40% jmenovitého napětí po dobu 3 sekund. Schopnost generování vrcholového zapínacího proudu nesmí být omezována generátorem. Maximální schopnost generování proudu však nemusí být větší než 1000 A pro síť 250 V až 600 V, 500 A pro síť 200 V až 240 V nebo 250 A pro síť 100 V až 120 V. Výstupní impedance generátoru zkušebního napětí musí být nízká i během přechodových změn a musí mít převážně rezistivní charakter. Generátory napětí se musí znovu kalibrovat přednostně v definovaných časových intervalech podle uznaného systému zajištění kvality. Kmitočet zkušebního napětí musí být v toleranci  $\pm 2\%$  jmenovitého kmitočtu. [4]

## 1.4 ČSN EN 61000-4-18: Zkušební měřicí technika – Tlumená oscilační vlna – Zkoušky odolnosti

Tato norma se týká požadavků na odolnost zařízení a zkušebních metod pro elektrická a elektronická zařízení při provozních podmínkách. S ohledem na opakující se tlumené oscilační vlny vyskytující se zejména na napájecích, ovládacích a signálních kabelech instalovaných v rozvodnách velmi vysokého a vysokého napětí, v rozvodnách izolovaných plynem a v některých případech také vzduchem izolovaných rozvodnách nebo v jakýchkoliv instalacích s ohledem na jevy jaderného výbuchu ve velkých výškách.[5]

Cílem je vytvoření požadavků na odolnost a společné reference pro hodnocení funkce elektrického a elektronického zařízení v laboratoři, přičemž toto zařízení je určeno pro domácí, obchodní a průmyslové aplikace a pro hodnocení požadavků aplikovatelných také na zařízení určená pro elektrárny a rozvodny.

### 1.4.1 Rozsah zkušebních úrovní

Zkušební úroveň je definována jako napětí prvního vrcholu na zkušebním tvaru vlny. Použitelnost zkoušky oscilační vlnou se musí řídit specifikací výrobku.

Tabulka 1.7 Zkušební úrovně pro pomalou tlumenou oscilační vlnu[5]

Úroveň	Nesymetricky [kV]	Symetricky [kV]
1	0,5	0,25
2	1	0,5
3	2	1
4	-	-

Tabulka 1.8 Zkušební úrovně pro rychlou tlumenou oscilační vlnu[5]

Úroveň	Nesymetricky [kV]
1	0,5
2	1
3	2
4	4

Zkušební úrovně jsou definovány jako napětí naprázdno obvodu buď na výstupu generátoru, nebo na výstupu použité vazební a oddělovací sítě. Stínění a uzemnění paralelního umístění kabelů se sběrnicemi určují úroveň indukovaného napětí v rozvodnách vysokého napětí.[5]

#### **1.4.2 Tlumená oscilační vlna**

Tlumené oscilační vlny se rozdělují do dvou částí. První část se zabývá pomalu tlumenou oscilační vlnou zahrnující kmitočty oscilací mezi 100 kHz a 1 MHz. Druhá část odkazuje na rychlou tlumenou oscilační vlnu s kmitočty nad 1 MHz.

##### **1.4.2.1 Pomalá tlumená oscilační vlna**

Pomalá tlumená oscilační vlna je charakteristická pro spínání odpojovačů ve venkovních rozvodnách velmi vysokého/vysokého napětí a týká se zejména spínání sběrnic velmi vysokého napětí, přičemž je rovněž rušivým pozadím v průmyslových závodech. Čelní vlna napětí má průběh, který zahrnuje odrazy způsobené nepřizpůsobením charakteristické impedance obvodů velmi vysokého napětí. V souvislosti s tím jsou přechodové jevy napětí a proudu na sběrnicích charakterizovány základním kmitočtem, který závisí na délce obvodu a na době šíření.[5]

##### **1.4.2.2 Rychlá tlumená oscilační vlna**

Zkouška odolnosti proti rychlé tlumené oscilační vlně by měla pokrýt jevy v rozvodnách napájecích sítí a všech instalací vystavených elektromagnetickému impulzu ve velkých výškách.

#### **1.4.3 Zkušební zařízení**

Zkušební generátor vytváří tlumenou oscilační vlnu a musí být schopený pracovat ve stavu nakrátko. Výstup generátoru musí být dvojitý a plovoucí, nesymetrie rozptylové kapacity výstupních svorek musí být menší než 20%. Tato podmínka je nutná pro zkoušku ovládacích a signálních vstupů/výstupů EUT v symetrickém režimu. Zkouška s tímto generátorem je prováděna v nesymetrickém režimu. Generátor musí mít opatření zabraňující emisi velkých rušení.[5]

Tabulka 1.9 Specifikace nakrátko[5]

	<b>Specifikace pro generátor rychlé oscilační vlny nakrátko</b>
<b>Doba náběhu proudu</b>	3 MHz < 330 ms 10 MHz < 100 ms 30 MHz < 33 ns
<b>Kmitočty oscilace proudu</b>	3 MHz, 10 MHz a 30 MHz±30%
<b>Útlum</b>	Pk5 musí být > 25% hodnoty Pk1 a Pk10 musí být < 25% hodnoty Pk1
<b>Proud nakrátko</b>	5 A až 80 A ± 20%

Tabulka 1.10 Specifikace naprázdno[5]

	<b>Specifikace pro generátor pomalé oscilační vlny</b>	<b>Specifikace pro generátor rychlé oscilační vlny naprázdno</b>
<b>Doba náběhu napětí</b>	75 ns ±20%	5 ns ±30%
<b>Kmitočty oscilace napětí</b>	100 kHz a 1 MHz ± 10%	3 MHz, 10 MHz a 30 MHz ±10%
<b>Četnost opakování</b>	40/s pro 100 kHz a 400/s pro 1 MHz ± 10%	5 000/s ± 10%
<b>Útlum</b>	Pk5 musí být > 50% hodnoty Pk1 a Pk10 musí být < 50% hodnoty Pk1	Pk5 musí být > 50% hodnoty Pk1 a Pk10 musí být < 50% hodnoty Pk1
<b>Doba trvání skupiny impulzů</b>	Alespoň 2s	3 MHz: 50 ms ±20% 10 MHz: 15 ms ± 20% 30 MHz: 5 ms ± 20%
<b>Výstupní impedance</b>	200 Ω	50 Ω +- 20%
<b>Napětí naprázdno</b>	250 V až 2,5 kV ± 10%	250 V až 4 kV ± 10%
<b>Proud nakrátko</b>	1,25 A až 12,5 A ± 20%	-
<b>Fázová relace s kmitočtem sítě</b>	Nepožaduje se	Nepožaduje se
<b>Polarita první půlperrody</b>	Kladná a záporná	Kladná a záporná

## 1.5 ČSN EN 61000-4-29: Zkušební měřící technika – Krátkodobé poklesy, krátká přerušení a pomalé změny napětí na vstupech stejnosměrného napětí – Zkoušky odolnosti

Tato norma se zabývá metodami zkoušek odolnosti proti krátkodobým poklesům napětí, krátkým přerušením a pomalým změnám napětí na vstupu stejnosměrného napájení elektrického nebo elektronického zařízení. Platí pouze pro nízkonapěťové stejnosměrné výkonové vstupy/výstupy zařízení napájeného externími sítěmi.

### 1.5.1 Rozsah zkušebních úrovní

Pro specifikaci zkušební úrovně napětí se musí použít jmenovité napětí zařízení ( $U_T$ ). Pokud nepřesahuje rozsah napětí 20% dolní meze zařízení, může se použít jedno z napětí z tohoto rozsahu jako základ pro specifikaci zkušební úrovně. Jinak se musí použít postup zkoušky jak pro horní mez, tak pro dolní mez rozsahu jmenovitého napětí.[6]

Tabulka 1.11 Preferované zkušební úrovně a doby trvání[6]

Zkouška	Zkušební úroveň % $U_T$	Doba trvání s
Krátkodobé poklesy napětí	40 a 70	0,01
		0,03
		0,1
		0,3
		1
Krátká přerušení	0	0,001
		0,003
		0,01
		0,03
		0,1
		0,3
		1
Pomalé změny napětí	85 a 120 nebo 80 a 120	0,1
		0,3
		1
		3
		10

## 1.5.2 Zkušební generátor

Generátor musí být vybaven tak, aby bylo zabráněno emisi rušení, která mohou ovlivnit výsledky zkoušky.

Tabulka 1.12 Specifikace generátoru[6]

<b>Rozsah výstupního napětí</b>	až 360 V
<b>Krátká přerušení, krátkodobé poklesy napětí a pomalé změny napětí</b>	podle tabulek
<b>Změny výstupního napětí se zatížením</b>	menší než 5%
<b>Zvlnění</b>	menší než 1% výstupního napětí
<b>Doba náběhu a poklesu změny napětí, generátor zatížen rezistivní zátěží 100Ω</b>	mezi 1 μs a 50 μs
<b>Překmit pokles výstupního napětí, generátor zatížen rezistivní zátěží 100Ω</b>	menší než 10 % změny napětí
<b>Výstupní proud (ustálený stav)</b>	až do 25 A

U zkoušky je doporučen generátor s  $U_0 = 360 \text{ V}_{\text{dc}}$  a  $I_0 = 25 \text{ A}$ . Schopnost generování ustáleného stavu výkonu/proudu zkušebním generátorem musí být alespoň o 20% větší než jmenovitý výkon/proud EUT. Generátor musí být schopen pracovat ve stavu nízké impedance a absorbovat proudový náraz způsobený zátěží nebo pracovat ve stavu vysoké impedance a blokovat zpětný proud způsobený zátěží.[6]

### 1.5.2.1 Specifické charakteristiky pro generátor pracující ve stavu nízké impedance

Schopnost vybuzení vrcholového zapínacího proudu 50 A při  $U_0 = 24 \text{ V}$ , 100 A při  $U_0 = 48 \text{ V}$  a 220 A při  $U_0 = 110 \text{ V}$ . Výstupní impedance zkušebního generátoru musí být rezistivní a musí být nízká i během změny hodnoty výstupního napětí. Generátory se schopností vybuzení nižšího vrcholového zapínacího proudu je dovoleno v závislosti na charakteristikách EUT.[6]

### 1.5.2.2 Specifické charakteristiky pro generátor pracující ve stavu vysoké impedance

Impedance na výstupních svorkách musí být  $\geq 100 \text{ k}\Omega$  a musí se měřit při úrovni napětí do  $3 \times U_0$  pro obě polarity. Během zkoušky se musí generátor chránit proti přechodovým přepětím (např. diodami) s vhodným závěrným napětím.[6]



## 1.6 ČSN EN 61000-4-2: Zkušební měřicí technika – Elektrostatický výboj - Zkouška odolnosti

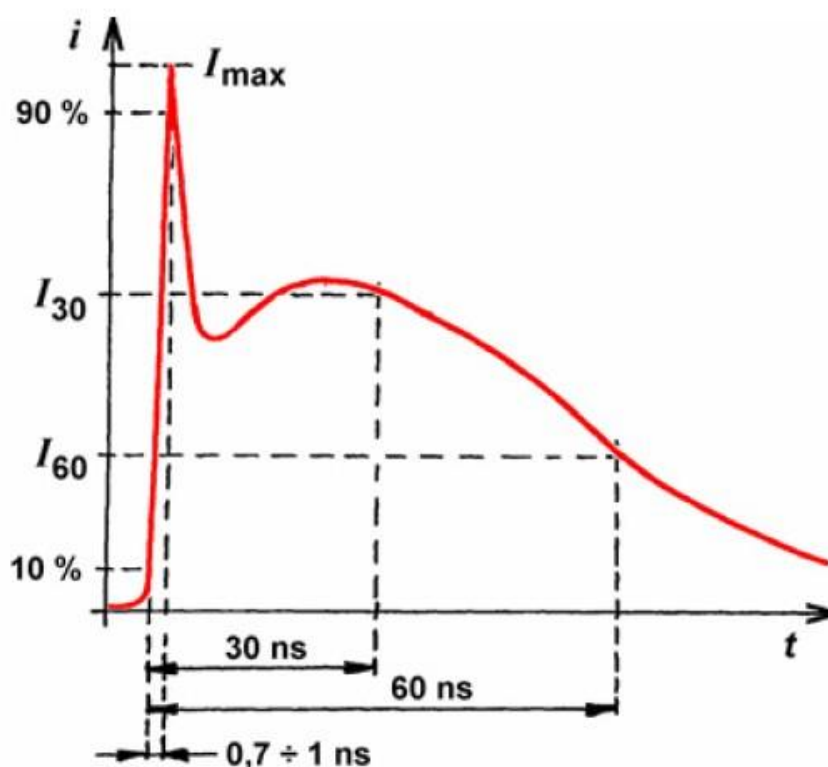
Elektrostatické výboje ESD představují nebezpečné rušivé signály zejména v obytném prostředí a obecně všude tam, kde jsou vhodné podmínky pro jejich vznik, tj. nízká vlhkost a umělé podlahové krtiny. Při zkouškách odolnosti vůči elektrostatickému rušení se dává přednost simulaci přímého vybití tzv. kontaktním výbojem.

### 1.6.1 Rozsah zkušebních úrovní

Tabulka 1.13 Rozsah zkušebních úrovní[1]

Výstupní napětí [kV]	$I_{max}$ [A]	$I_{30}$ [A]	$I_{60}$ [A]
2	7,5	4	2
4	15	8	4
6	22,5	12	6
8	30	16	8

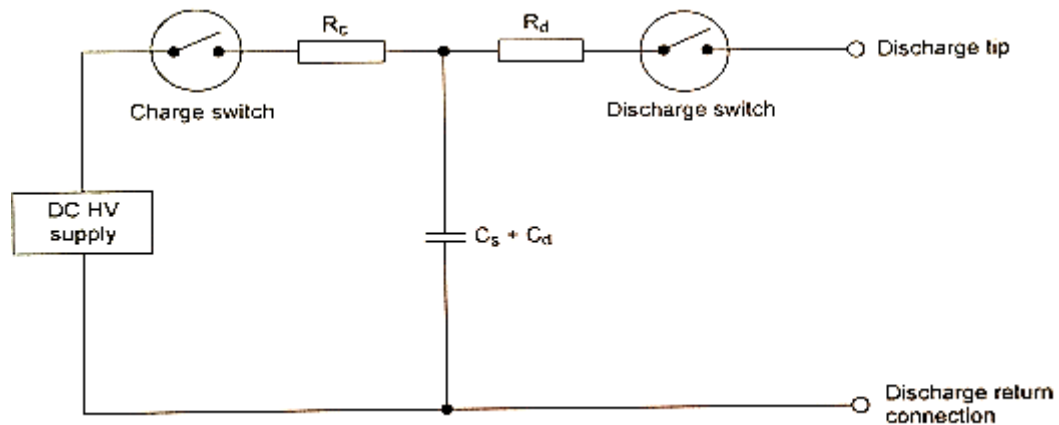
### 1.6.2 Tvar zkušební vlny[1]



Obrázek 1.10 Impulz výstupního proudu simulátoru ESD při kontaktním výboji[1]

### 1.6.3 Zkušební generátor

Zjednodušené schéma obvodu generátoru je uvedeno na obrázku 1.11. Hodnoty různých součástí se vyberou tak, aby výstupní proud měl tvar, který je znázorněn na obrázku 1.10. Dále musí výstupní proud splňovat rozsahy výstupních hodnot, jak je uvedeno v tabulce 1.13.



Obrázek 1.11 Generátor elektrostatického výboje[1]

Tabulka 1.14 Specifikace generátoru[1]

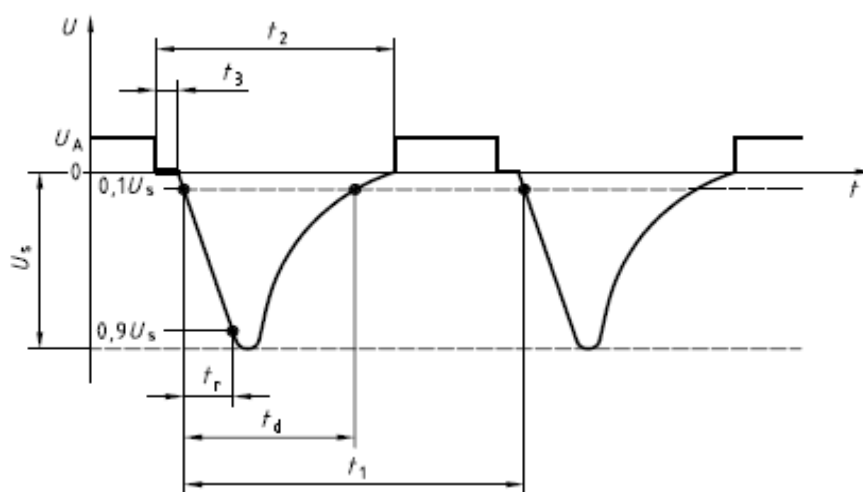
Parametry	Hodnoty
Výstupní napětí - přímí kontakt	1 kV – 8 kV
Výstupní napětí – kontakt s mezerou	2 kV – 15 kV
Tolerance výstupního napětí	± 5%
Polarita	Kladná i záporná

## 1.7 Norma ISO 7637-2 – Silniční vozidla – Elektrická rušení z vedení a vazbou - Elektrické přechodné vedení a přívody

Tato norma se zabývá testy odolnosti vůči elektrickým přechodům na automobilech a jejich komponentech. Jedná se o rozličné testy s různými testovacími pulzy.

### 1.7.1 Testovací pulz 1

Testovací pulz 1 simuluje přechodový jen při odpojování indukčních zátěží. Na obrázku 1.12 je uveden tvar impulzu. V tabulce 1.15 jsou uvedeny parametry pro jednotlivý pulz.



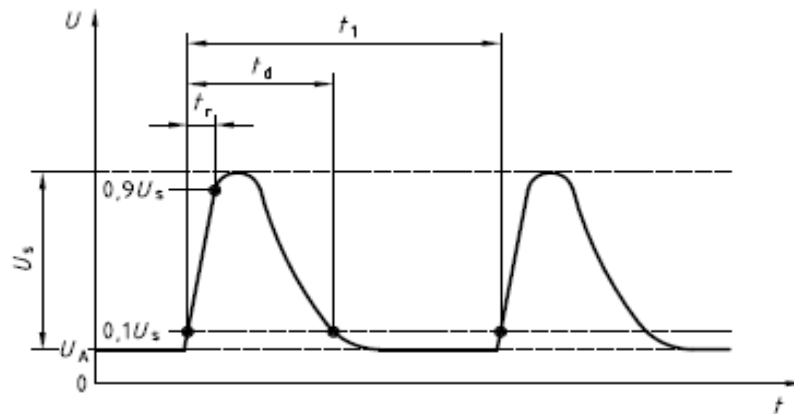
Obrázek 1.12 Průběh testovacího pulzu 1 [7]

Tabulka 1.15 Parametry pro testovací pulz 1 [7]

Parametry	12 V systém	24 V systém
$U_s$	-75 V - 100V	-450 V - 600V
$R_1$	10 $\Omega$	50
$t_d$	2 ms	1 ms
$t_r$	(1 <sup>0</sup> <sub>-0.5</sub> ) $\mu$ s	(3 <sup>0</sup> <sub>-1.5</sub> ) $\mu$ s
$t_1$	0,5 s - 5 s	
$t_2$	200 ms	
$t_3$	<100 $\mu$ s	

### 1.7.2 Testovací pulz 2a a 2b

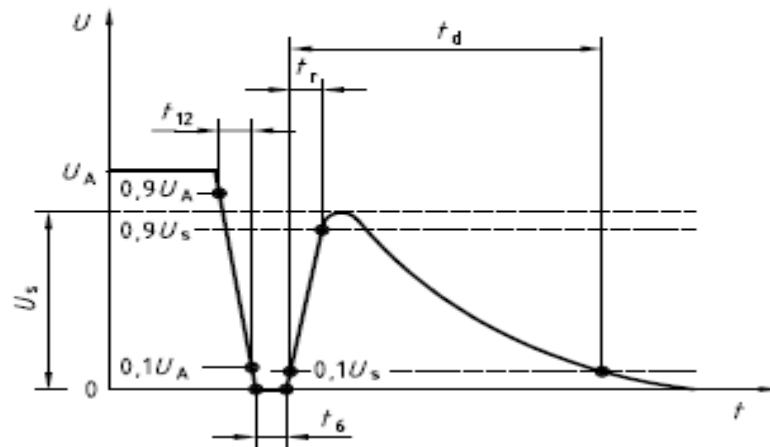
Na obrázku 1.13 je uveden tvar impulzu 2a na obrázku 1.14 je uveden impulz 2b .  
V tabulkách 1.16 a 1.17 jsou uvedeny parametry pro jednotlivé pulzy.



Obrázek 1.13 Průběh testovacího pulzu 2a[7]

Tabulka 1.16 Parametry pro testovací pulz 2a[7]

Parametry	12 V systém	24 V systém
$U_s$	+37 V + 50 V	
$R_1$	$2 \Omega$	
$t_d$	0,05 ms	
$t_r$	$(1^{0}_{-0.5}) \mu s$	
$t_1$	0,2 s – 5 s	



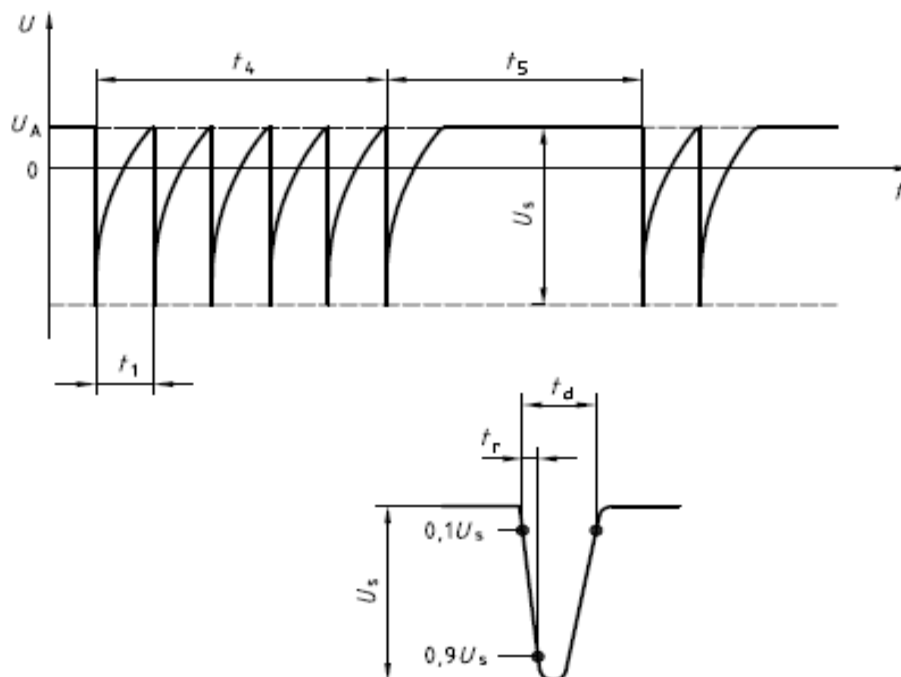
Obrázek 1.14 Průběh testovacího pulzu 2b[7]

Tabulka 1.17 Parametry pro testovací pulz 2b[7]

Parametry	12 V systém	24 V systém
$U_s$	10 V	20 V
$R_1$	0 $\Omega$ - 0,05 $\Omega$	
$t_d$	0,2s – 2s	
$t_{12}$	1 ms $\pm$ 0,5 ms	
$t_r$	1 ms $\pm$ 0,5 ms	
$t_6$	1 ms $\pm$ 0,5 ms	

### 1.7.3 Testovací pulz 3a a 3b

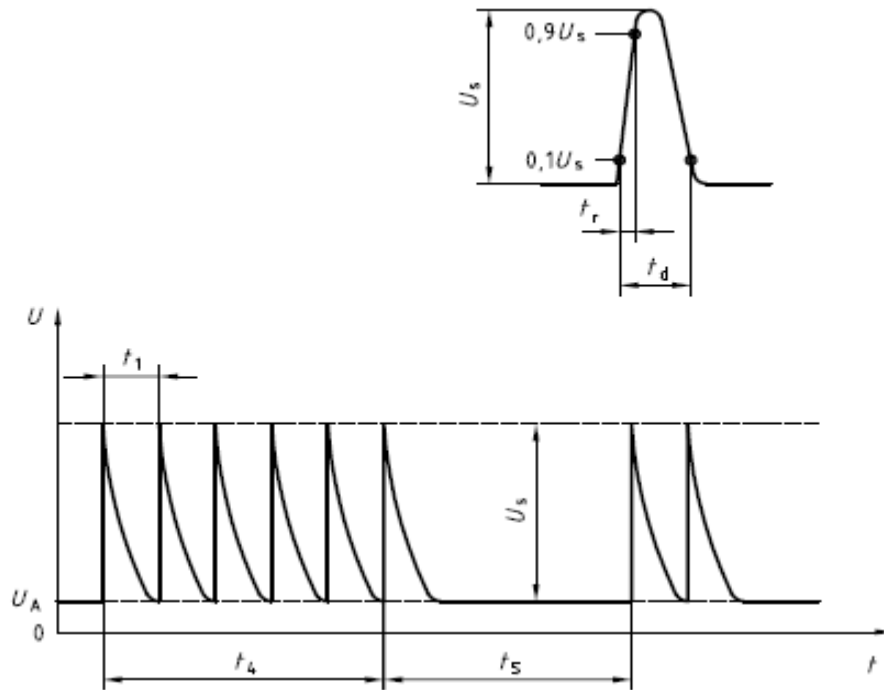
Tyto pulzy jsou simulací přechodů, které je způsobené spínáním přepínačů. Na obrázku 1.15 je uveden tvar impulzu 3a na obrázku 1.16 je uveden impulz 3b. V tabulkách 1.18 a 1.19 jsou uvedeny parametry pro jednotlivé pulzy.



Obrázek 1.15 Průběh testovacího pulzu 3a[7]

Tabulka 1.18 Parametry pro testovací pulz 3a[7]

Parametry	12 V systém	24 V systém
$U_s$	-112 V – 150 V	-150 V – 200V
$R_1$	50 $\Omega$	
$t_d$	$(0,1^{+0,1}_0)$ $\mu$ s	
$t_r$	5 ns $\pm$ 1,5 ns	
$t_1$	100 $\mu$	
$t_4$	10 ms	
$t_5$	90 ms	



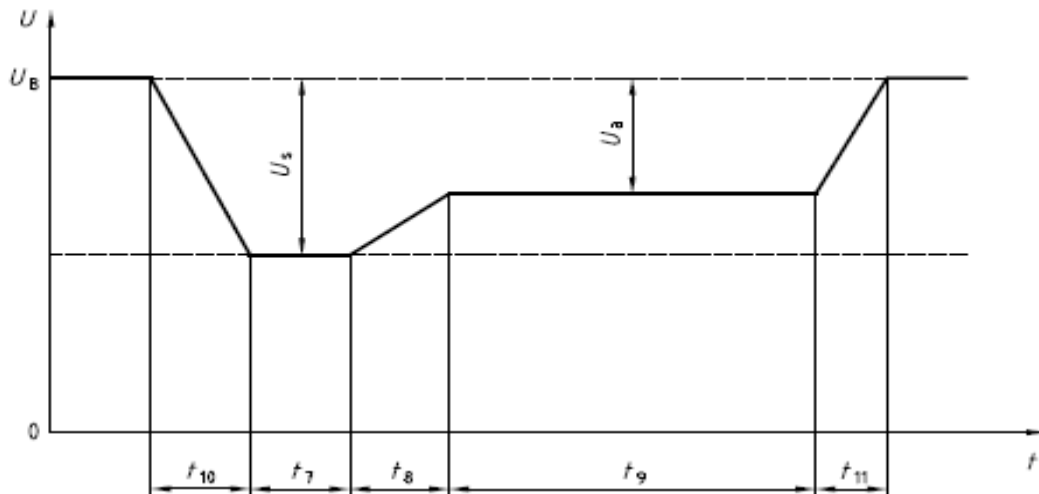
Obrázek 1.16 Průběh testovacího pulzu 3b[7]

Tabulka 1.19 Parametry pro testovací pulz[7]

Parametry	12 V systém	24 V systém
$U_s$	75 V - +100V	+150 V - +200 V
$R_1$	50Ω	
$t_d$	$(0,1^{+0,1}_0) \mu s$	
$t_r$	5 ns ± 1,5 ns	
$t_1$	100 μ	
$t_4$	10 ms	
$t_5$	90 ms	

### 1.7.4 Testovací pulz 4

Na obrázku 1.17 je uveden tvar impulzu 4. V tabulce 1.20 jsou uvedeny parametry pro jednotlivé pulzy.



Obrázek 1.17 Průběh testovacího pulzu 4[7]

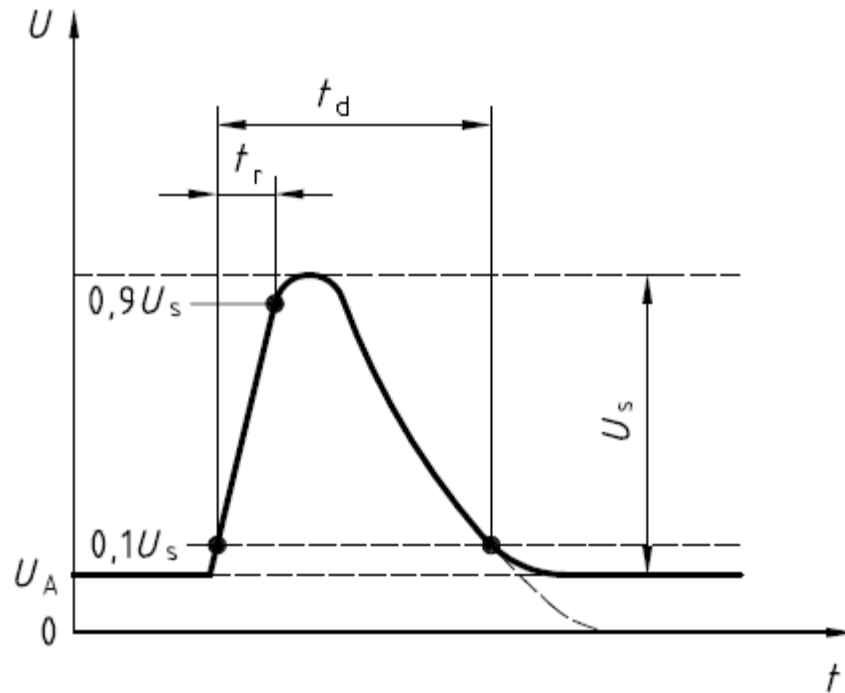
Tabulka 1.20 Parametry pro testovací pulz 4[7]

Parametry	12 V systém	24 V systém
$U_s$	-6 V - -7 V	-12 V - -16 V
$U_a$	-2,5 V - -6V   $U_a <  U_s $	-5 V - -12 V   $U_a <  U_s $
$R_1$	0 $\Omega$ - 0,02 $\Omega$	
$t_7$	15 ms – 40 ms	50 ms – 100 ms
$t_8$	< 50 ms	
$t_9$	0,5 s – 20 s	
$t_{10}$	5 ms	10 ms
$t_{11}$	5 ms – 100 ms	10 ms – 100 ms



### 1.7.5 Generátor impulzu 5

Tento generátor simuluje napěťový pulz, který produkuje alternátor při odpojené baterii. Na obrázku 1.18 je uveden tvar impulzu 5. V tabulce 1.21 jsou uvedeny parametry pro jednotlivé pulzy.



Obrázek 1.18 Průběh testovacího pulzu 5[7]

Tabulka 1.21 Parametry pro testovací pulz 2a[7]

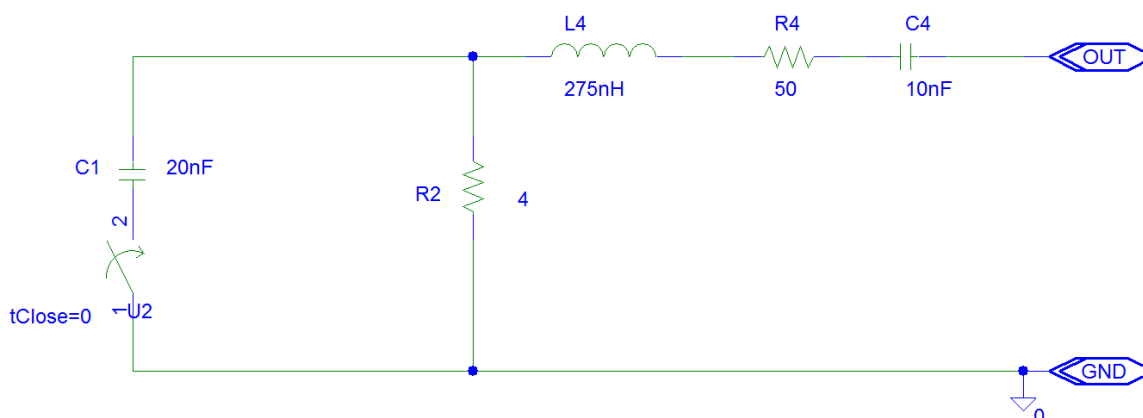
Parametry	12 V systém	24 V systém
$U_s$	65 V – 87 V	123 V – 174 V
$R_l$	0,5 $\Omega$ – 4 $\Omega$	1 $\Omega$ - 8 $\Omega$
$t_d$	40ms – 400 ms	100 ms – 350 ms
$t_r$	$(1^{0,5}) \mu\text{s}$	

## 2 Generátory

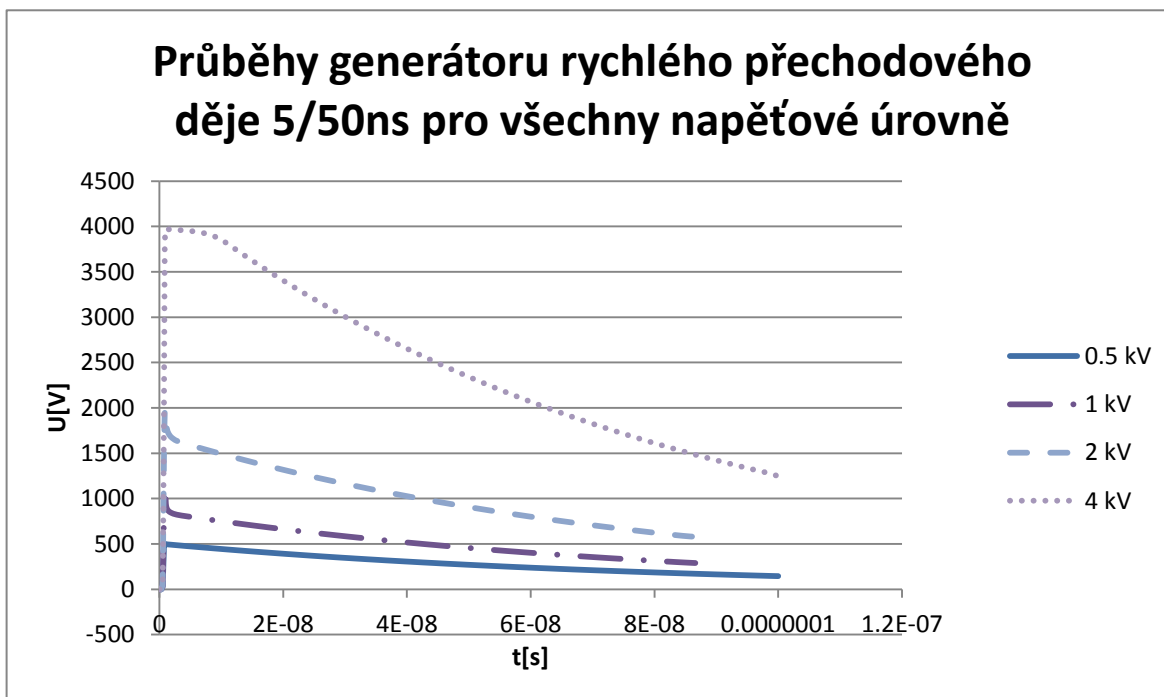
### 2.1 Generátor rychlých přechodových dějů

#### 2.1.1 Generátor 5/50ns

Na obrázku 2.1 je uvedeno vnitřní zapojení generátoru. Tento generátor vytváří na výstupu průběh napětí s náběžnou hranou 5 ns a šířkou impulzu 50 ns, jak je uvedeno na obrázku 2.2. Tento průběh je popsán v normě ČSN EN-61000-4-4.



Obrázek 2.1 Zapojení generátoru v programu PSpice

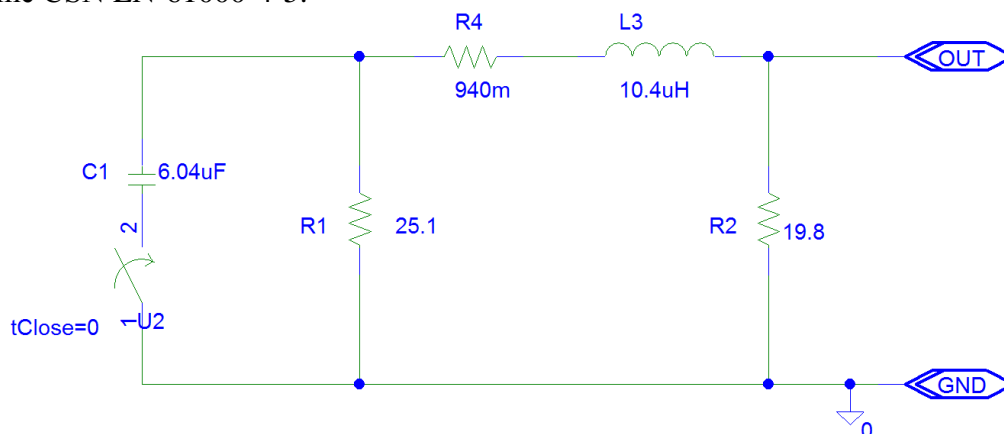


Obrázek 2.2 Průběhy generátoru rychlého přechodového děje 5/50 ns

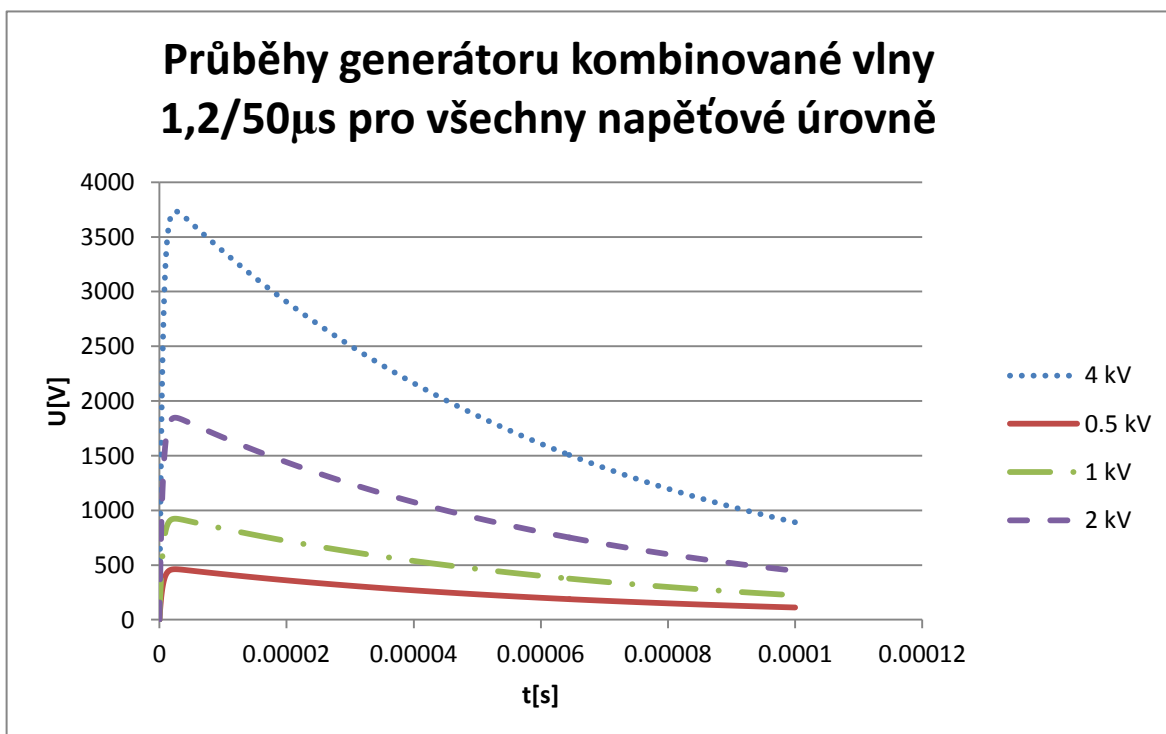
## 2.2 Generátor kombinované vlny

### 2.2.1 Generátor 1,2/50 $\mu$ s + 8/20 $\mu$ s

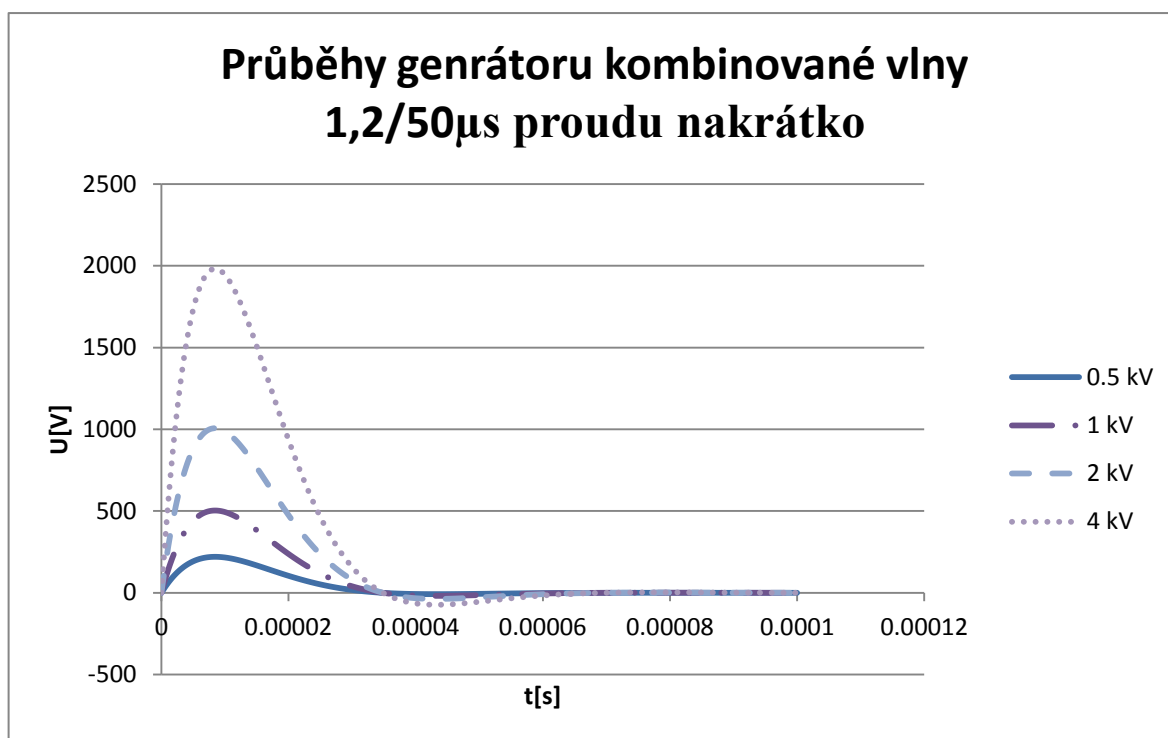
Na obrázku 2.3 je uvedeno schematické znázornění vnitřního zapojení generátoru. Tento generátor vytváří na nezatíženém výstupu napěťový průběh s náběžnou hranou 1,2  $\mu$ s a šířkou impulzu 50  $\mu$ s, jak je uvedeno v obrázku 2.4. Na obrázku 2.5 je uveden proudový průběh generátoru při zkratu (1,2/50  $\mu$ s + 8/20  $\mu$ s). Tyto průběhy jsou popsány v normě ČSN EN-61000-4-5.



Obrázek 2.3 Zapojení generátoru v programu PSpice



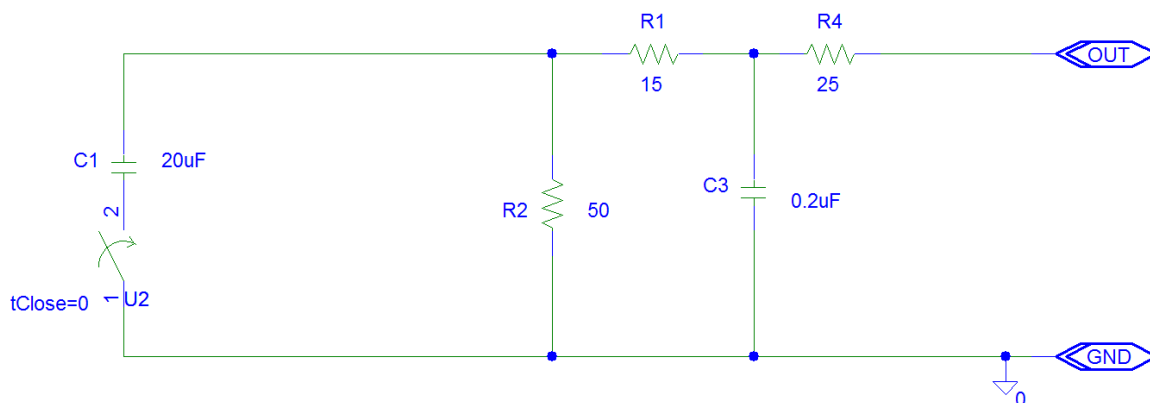
Obrázek 2.4 Průběhy generátoru kombinované vlny 1,2/50  $\mu$ s + 8/20  $\mu$ s



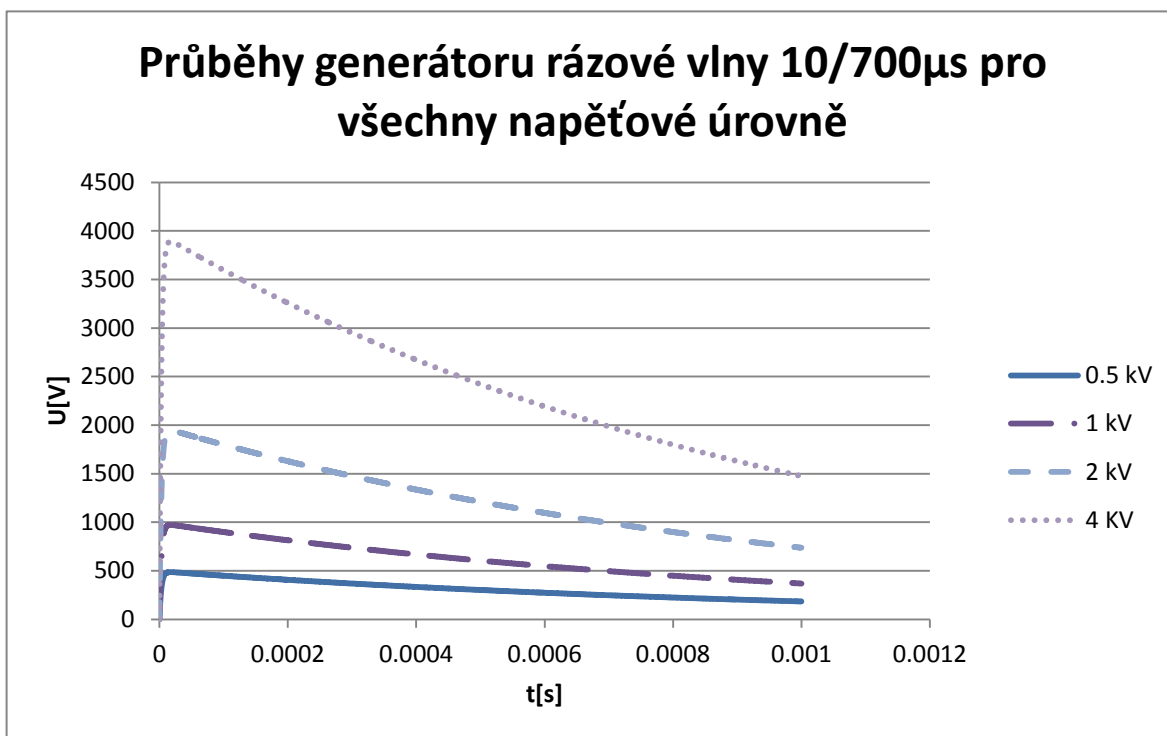
Obrázek 2.5 Průběhy generátoru kombinované vlny 1,2/50  $\mu$ s + 8/20  $\mu$ s proudu nakrátko

### 2.2.2 Generátor 10/700us

Vnitřní zapojení generátoru vytvořené v programu PSpice je na obrázku 2.6. Tento generátor vytváří na výstupu průběh s náběžnou hranou  $10\ \mu\text{s}$  a šířkou impulzu  $700\ \mu\text{s}$ , jak je uvedeno v obrázku 2.7. Tento průběh je popsán v normě ČSN EN-61000-4-5.



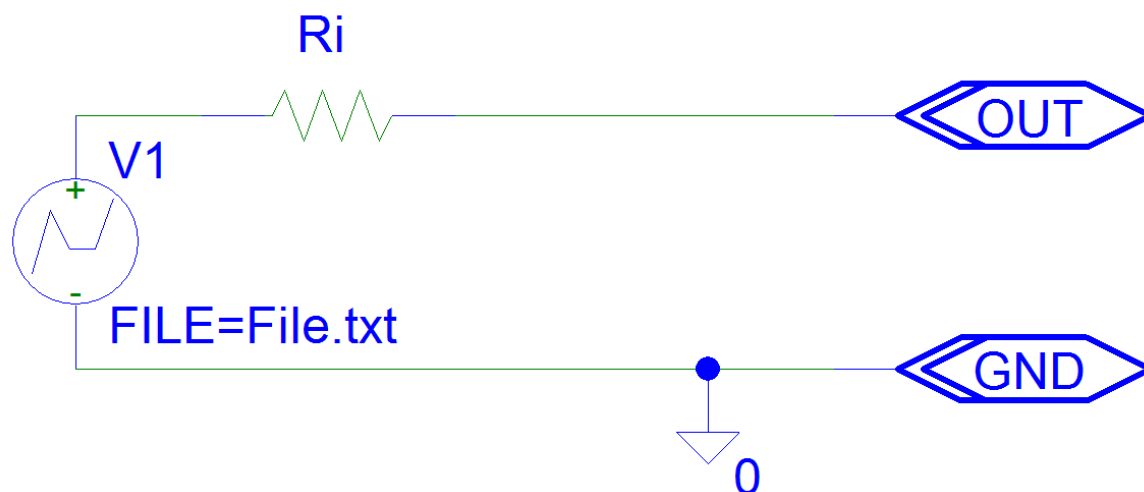
Obrázek 2.6 Zapojení generátoru v programu PSpice



Obrázek 2.7 Průběhy generátoru kombinované vlny 10/700us

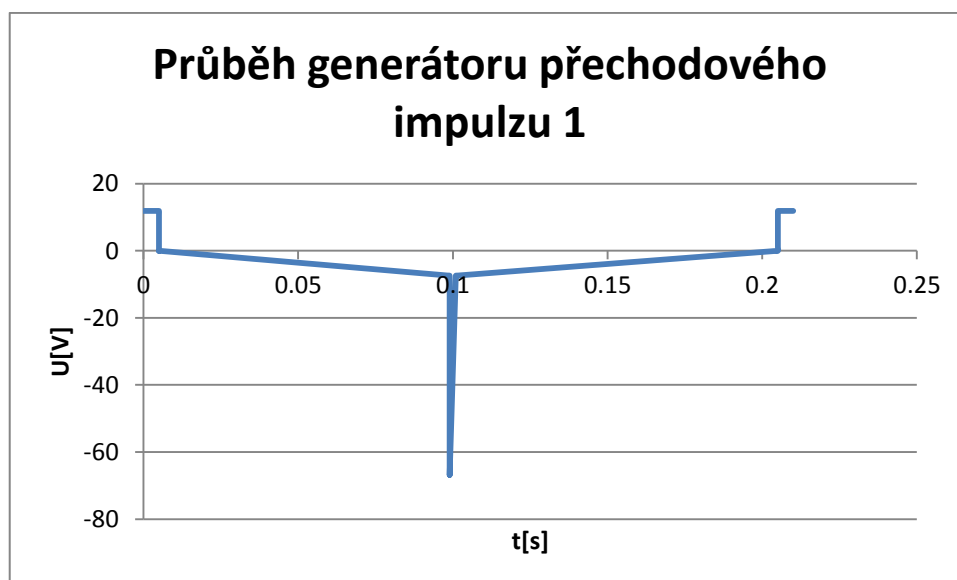
## 2.3 Generátor přechodových impulzů

Generátory přechodových impulzů jsou vytvořeny pomocí generátoru PWL. Vnitřní zapojení, které je zobrazené na obrázku 2.8, je u všech generátorů podobné, liší se akorát ve zdrojovém textovém souboru PWL generátoru a vnitřním odporem  $R_i$ . Textové soubory generátorů jsou uvedeny v přílohách.



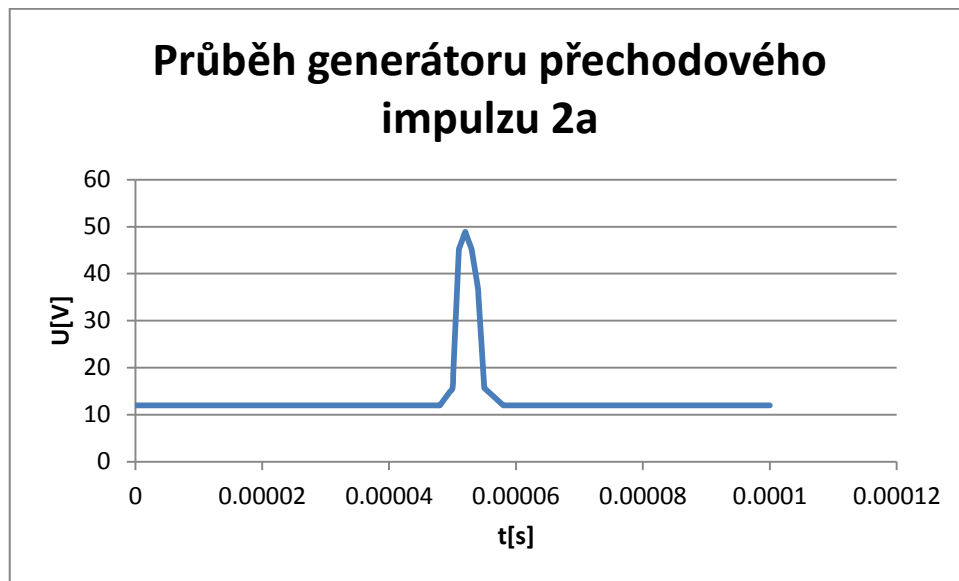
Obrázek 2.8 Vnitřní zapojení generátoru přechodových impulzů programu PSpice

### 2.3.1 Generátor impulzu 1



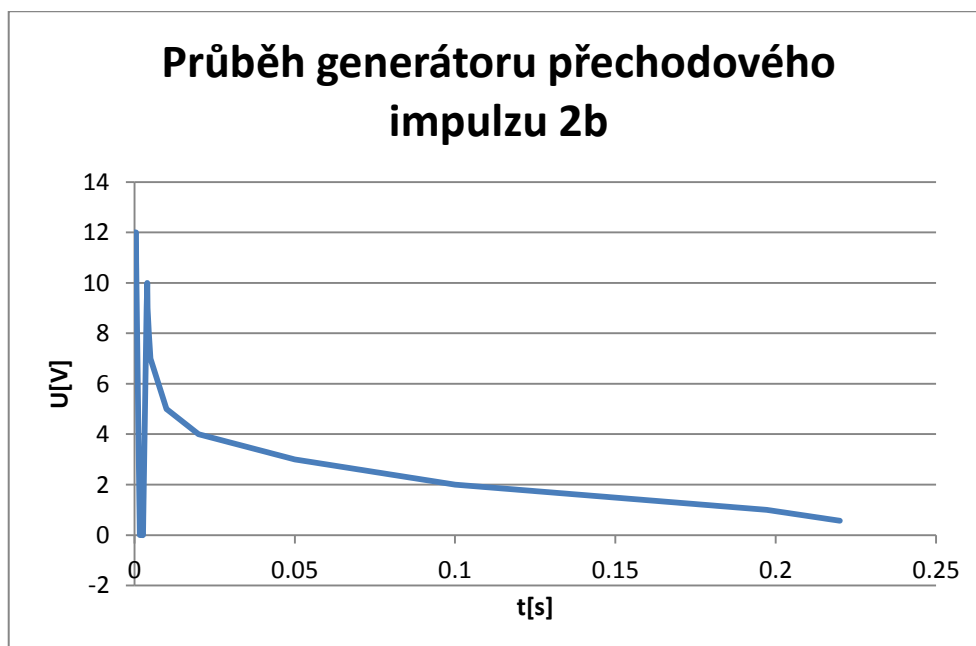
Obrázek 2.9 Průběhy generátoru impulzu 1

### 2.3.2 Generátor impulzu 2a



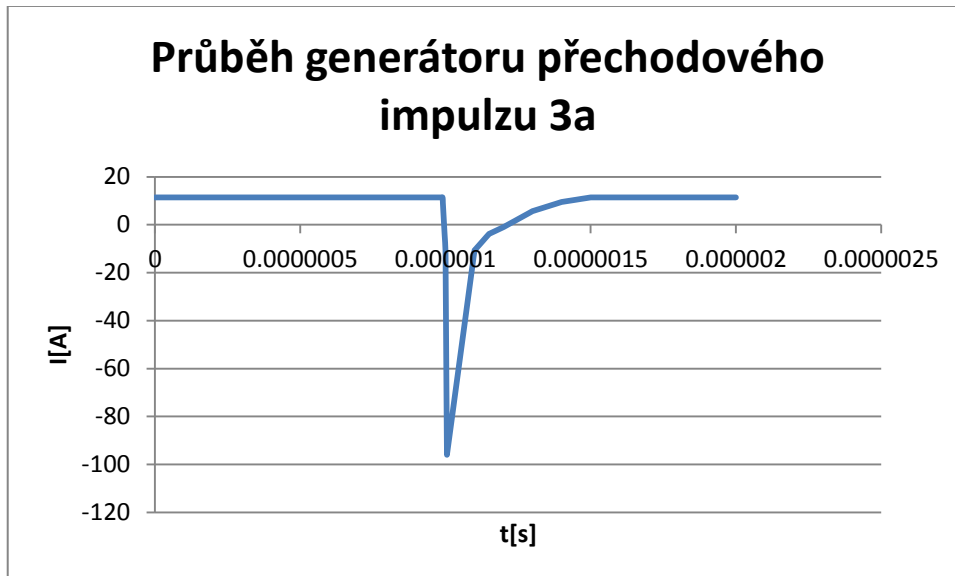
Obrázek 2.10 Průběhy generátoru impulzu 2a

### 2.3.3 Generátor impulzu 2b



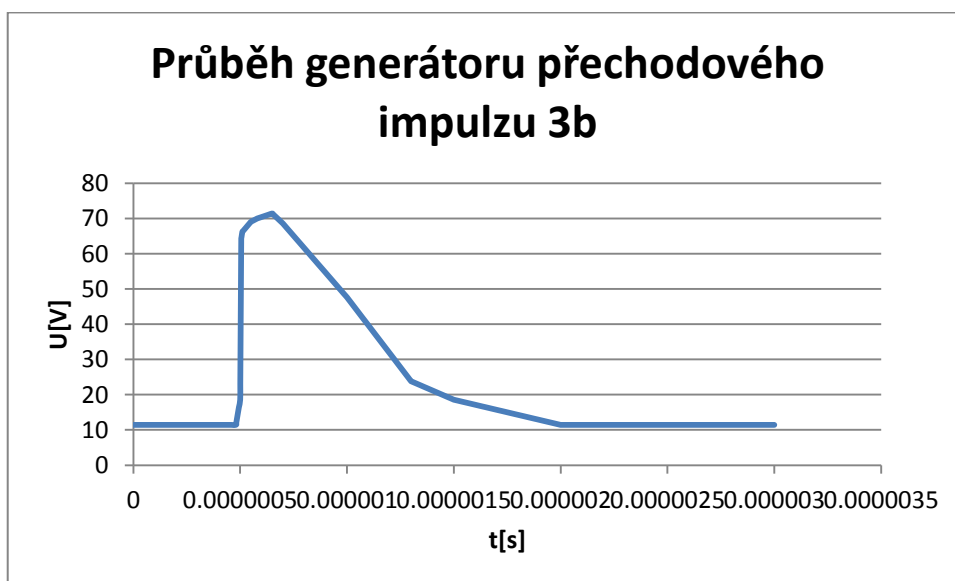
Obrázek 2.11 Průběhy generátoru impulzu 2b

### 2.3.4 Generátor impulsu 3a



Obrázek 2.12 Průběhy generátoru impulsu 3a

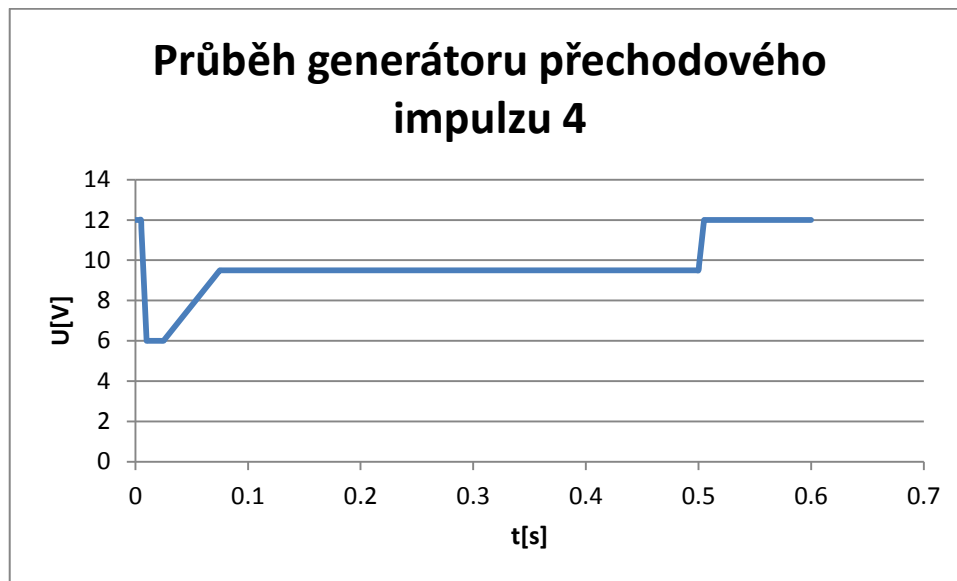
### 2.3.5 Generátor impulsu 3b



Obrázek 2.13 Průběhy generátoru impulsu 3b

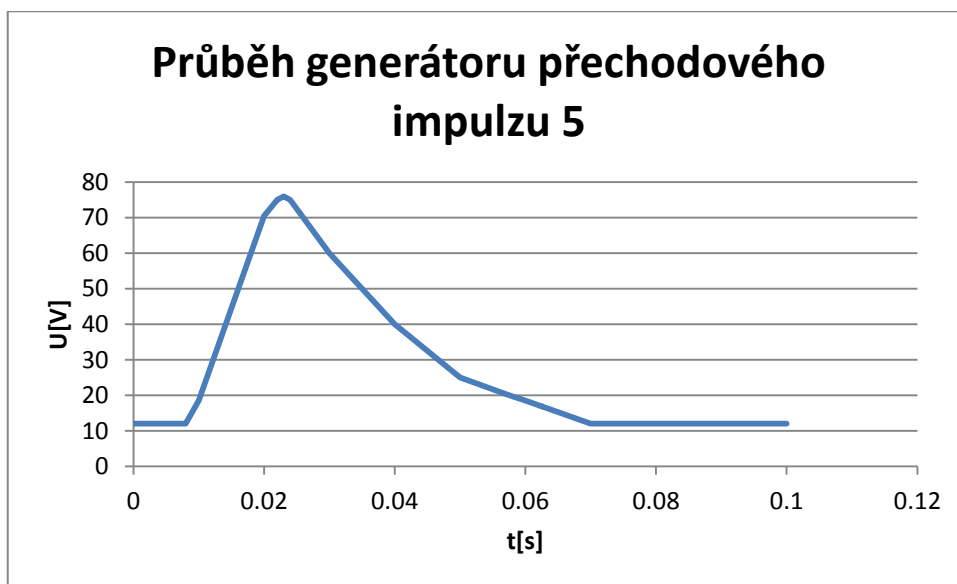


### 2.3.6 Generátor impulzu 4



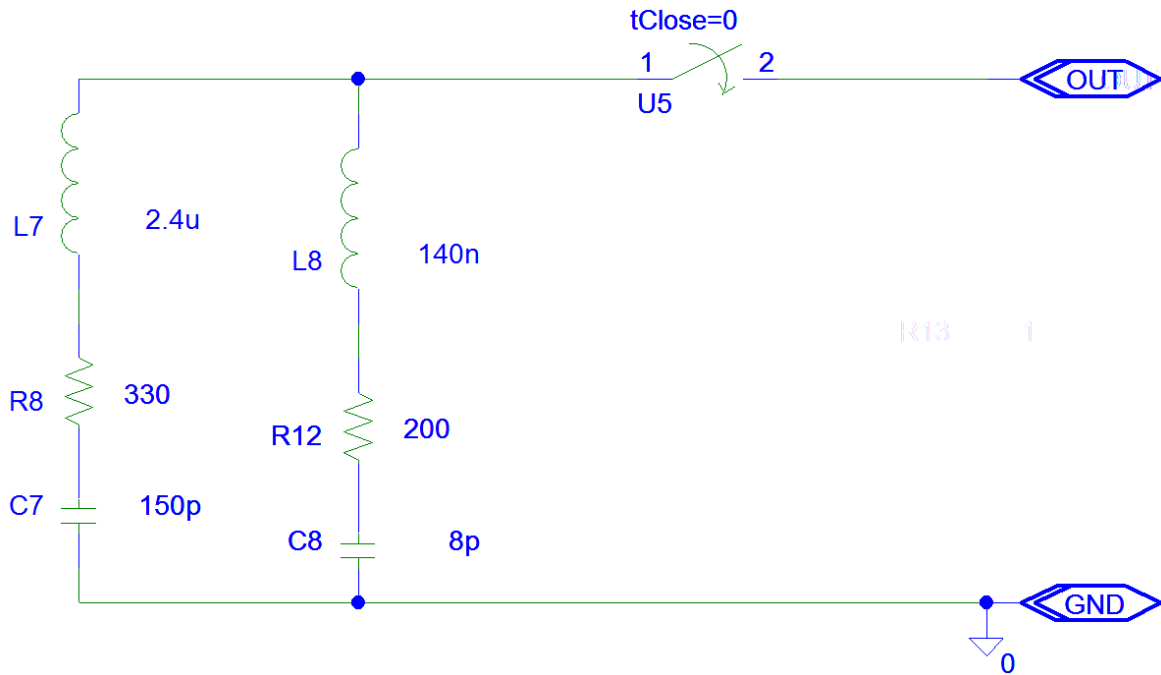
Obrázek 2.14 Průběhy generátoru impulzu 4

### 2.3.7 Generátor impulzu 5

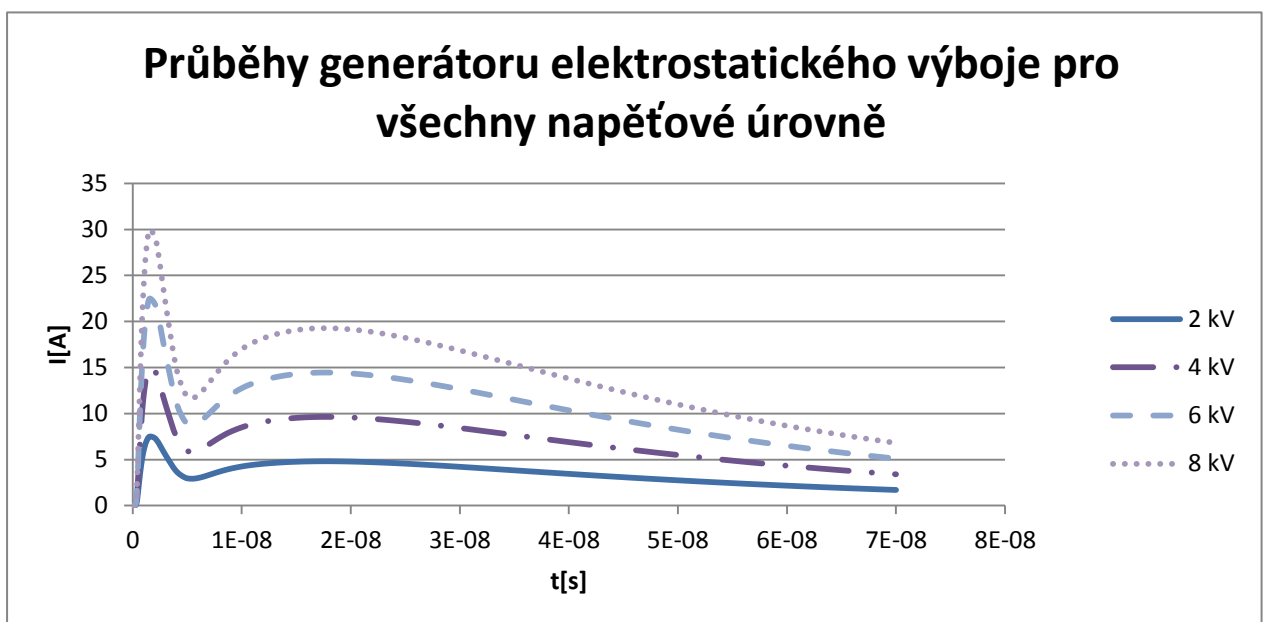


Obrázek 2.15 Průběhy generátoru impulzu 5

## 2.4 Generátor elektrostatického výboje



Obrázek 2.17 Zapojení generátoru v programu PSpice

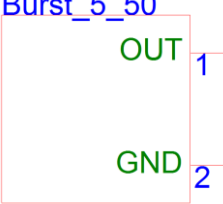
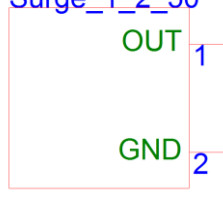
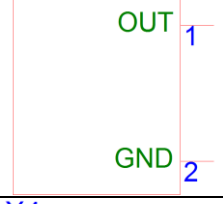
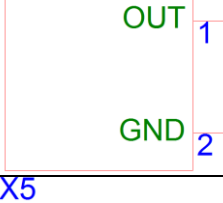
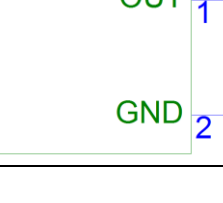


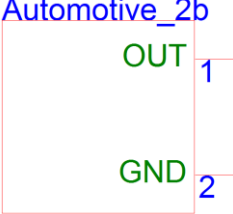
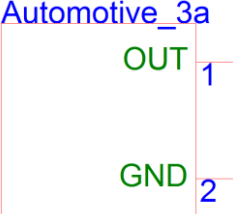
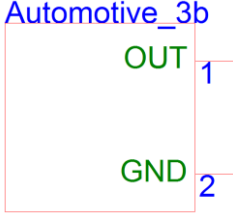
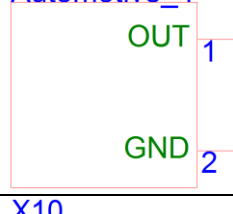
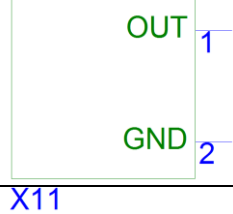
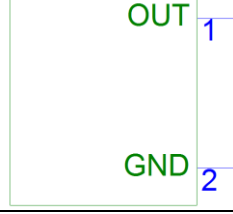
Obrázek 2.16 Průběhy generátoru ESD

### 3 Knihovna generátorů

Elektrické modely generátorů jsou uloženy v knihovně s názvem „Generatory.lib“ a v knihovně „Generatory.slb“ jsou pak jejich schématické značky, které jsou určeny pro prostředí Schematics. Funkce generátorů a jejich schématické značky jsou znázorněny v tabulce 3.1.

Tabulka 3.1 Popis generátorů

Název	Popis generátoru	Schématická značka
Generátor 5/50ns	Název generátoru v knihovně: Burst_5_50 Generátor slouží k testování odolnosti zařízení vůči nízkoenergetickým širokopásmovým impulzům. Ke změně zkušebního napětí je vytvořen parametr „napeti“, který je defaultně nastavený na 4KV.	X1 Burst_5_50 
Generátor 1,5/50 μs	Název generátoru v knihovně: Surge_1_2_50 Generátor slouží k testování odolnosti zařízení vůči vysokoenergetickému rázovému impulzu (např. blesk). Ke změně zkušebního napětí je vytvořen parametr „napeti“, který je defaultně nastavený na 4KV	X2 Surge_1_2_50 
Generátor 10/700 μs	Název generátoru v knihovně: Surge_10_700 Generátor slouží k testování odolnosti zařízení vůči vysokoenergetickému rázovému impulzu (např. blesk). Ke změně zkušebního napětí je vytvořen parametr „napeti“, který je defaultně nastavený na 4KV	X3 Surge10_700_us 
Generátor pulzu 1	Název generátoru v knihovně: Automotive_1 Generátor slouží k testování vlastností zařízení při odpojování indukčních zátěží. Tento generátor je vytvořen zdrojem PWL, jehož zdrojový soubor je v příloze A.	X4 Automotive_1 
Generátor pulzu 2a	Název generátoru v knihovně: Automotive_2a Generátor slouží k testování náhlého přerušení proudů v zařízení, které je paralelně spojeno se zkoušeným zařízením. Tento generátor je vytvořen zdrojem PWL, jehož zdrojový soubor je v příloze B.	X5 Automotive_2a 

<p>Generátor pulzu 2b</p>	<p>Název generátoru v knihovně: Automotive_2b                  Generátor slouží k testování náhlého přerušení proudů v zařízení, které je paralelně spojeno se zkoušeným zařízením.                  Tento generátor je vytvořen zdrojem PWL, jehož zdrojový soubor je v příloze C.</p>	<p>X6                  Automotive_2b  </p>
<p>Generátor pulzu 3a</p>	<p>Název generátoru v knihovně: Automotive_3a                  Generátor slouží k testování rychlého přepínání spínačů.                  Tento generátor je vytvořen zdrojem PWL, jehož zdrojový soubor je v příloze D.</p>	<p>X7                  Automotive_3a  </p>
<p>Generátor pulzu 3b</p>	<p>Název generátoru v knihovně: Automotive_3b                  Generátor slouží k testování rychlého přepínání spínačů.                  Tento generátor je vytvořen zdrojem PWL, jehož zdrojový soubor je v příloze E.</p>	<p>X8                  Automotive_3b  </p>
<p>Generátor pulzu 4</p>	<p>Název generátoru v knihovně: Automotive_4                  Generátor slouží k testování vnitřních obvodů automobilu.                  Tento generátor je vytvořen zdrojem PWL, jehož zdrojový soubor je v příloze F.</p>	<p>X9                  Automotive_4  </p>
<p>Generátor pulzu 5</p>	<p>Název generátoru v knihovně: Automotive_5                  Generátor slouží k testování alternátoru při odpojené baterii.                  Tento generátor je vytvořen zdrojem PWL, jehož zdrojový soubor je v příloze G.</p>	<p>X10                  Automotive_5  </p>
<p>Generátor ESD</p>	<p>Název generátoru v knihovně: ESD_generator                  Generátor slouží k testování odolnosti zařízení vůči elektrostatickým výbojům.                  Ke změně zkušebního napětí je vytvořen parametr „napeti“, který je defaultně nastavený na 4KV.</p>	<p>X11                  ESD_generator  </p>

## **Závěr**

Text je rozdělen do tří částí. První se zabývá rozbohem norem ČSN EN-61000-4-4 , ČSN EN-61000-4-5, ČSN EN-61000-4-11, ČSN EN-61000-4-18, ČSN EN-61000-4-29, ČSN EN-61000-4-2 a normou pro automobilový průmysl ISO – 7637-2. Tyto normy jsou použity k popisu průběhů jednotlivých generátorů. Dále jsou zde popsány napěťové rozsahy všech modelovaných generátorů.

Druhá část se zabývá vnitřním zapojením generátorů a jejich průběhy. Dále jsou zde vyobrazeny průběhy simulovaných generátorů. Generátory byly vytvořeny podle definovaných průběhů v normách pomocí programu PSpice a uloženy do knihoven tohoto programu. Tyto knihovny jsou popsány v kapitole 3 spolu se schematickými značkami jednotlivých generátorů. Podle zadání byly vytvořeny ukázkové simulace vytvořených generátorů, které jsou uvedeny v příloze H.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ČSN-EN-61000 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-2: Zkušební a měřicí technika – Elektrostatický výboj – Zkouška odolnosti (IEC 61000-4-2:2008). UNMZ, listopad 2009.
- [2] ČSN-EN-61000 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-4: Zkušební a měřicí technika – Rychlé elektrické přechodové jevy/skupiny impulzů – Zkouška odolnosti (IEC 61000-4-4:2004). UNMZ, březen 2013.
- [3] ČSN-EN-61000 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-5: Zkušební a měřicí technika – Rázový impulz – Zkouška odolnosti (IEC 61000-4-5:2005). UNMZ, červenec 2007.
- [4] ČSN-EN-61000 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-11: Zkušební a měřicí technika – Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí – Zkouška odolnosti (IEC 61000-4-11:2004). UNMZ, březen 2005.
- [5] ČSN-EN-61000 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-18: Zkušební a měřicí technika – Tlumená oscilační vlna – Zkouška odolnosti (IEC 61000-4-18:2006). UNMZ, prosinec 2007.
- [6] ČSN-EN-61000 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-29: Zkušební a měřicí technika – Krátkodobé poklesy, krátká přerušení a pomalé změny napětí na vstupech stejnosměrného napájení – Zkouška odolnosti (IEC 61000-4-29:2000). UNMZ, září 2001.
- [7] ISO 7637- Road vehicles – Electrical disturbances from conduction and coupling– Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only.
- [8] SVAČINA, Jiří. VYSOKÉ UČENÍ V BRNĚ. Elektromagnetická kompatibilita. Brno: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně, 2002. ISO, září 2004.

## Přílohy

### Příloha A – Zdrojová data generátoru PWL pro generátor přechodového impulsu 1

```
0      12
5ms    12
5.0000001ms    0
5.05ms    0
98.9495ms  -7.5
98.9505ms  -67.5
100.9505ms -7.5
205.05ms   0
205.051ms  12
```

### Příloha B – Zdrojová data generátoru PWL pro generátor přechodového impulsu 2a

```
0      12
0.048ms  12
0.05ms   15.7
0.051ms  45.3
0.052ms  49
0.053ms  45.3
0.054ms  37
0.055ms  15.7
0.058ms  12
```

### Příloha C – Zdrojová data generátoru PWL pro generátor přechodového impulsu 2b

```
0      12V
0.5ms  12V
0.55ms  10.8V
1.55ms  1.2V
1.68ms  0V
2.68ms  0V
2.8ms   1V
3.8ms   9V
4ms     10V
4.02ms  9.9V
4.1ms   9
4.5ms   8
5ms     7
10ms    5
20ms    4
50ms    3
100ms   2
197.2ms 1V
250ms   0V
```

**Příloha D – Zdrojová data generátoru PWL pro generátor přechodového impulsu 3a**

```
0      12
0.99us  12
1us     -11.2
1.005us -100.8
1.1us   -11.2
1.15us  -4
1.2us   -1
1.3us   6
1.35us  8
1.4us   10
1.5us   12
```

**Příloha E – Zdrojová data generátoru PWL pro generátor přechodového impulsu 3b**

```
0      12
0.48us  12
0.5us   19.5
0.505us 67.5
0.51us  69.5
0.55us  72.5
0.58us  73.5
0.65us  75
0.7us   72
1us     50
1.3us   25
1.5us   19.5
2us     12
```

**Příloha F – Zdrojová data generátoru PWL pro generátor přechodového impulsu 4**

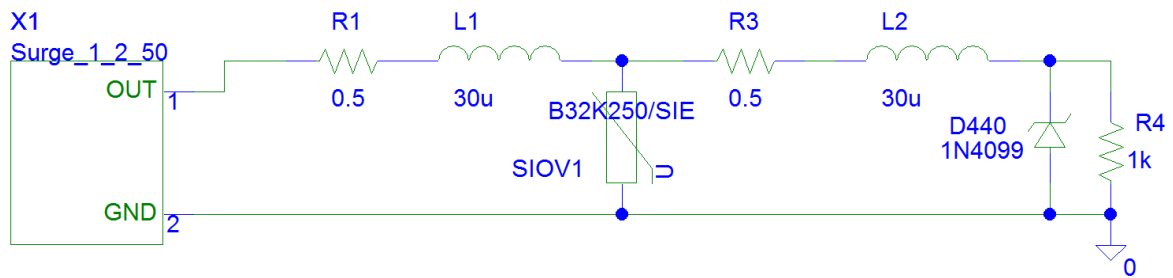
```
0      12V
5ms    12V
10ms   6V
25ms   6V
75ms   9.5V
500ms  9.5V
505ms  12V
```

**Příloha G – Zdrojová data generátoru PWL pro generátor přechodového impulsu 4**

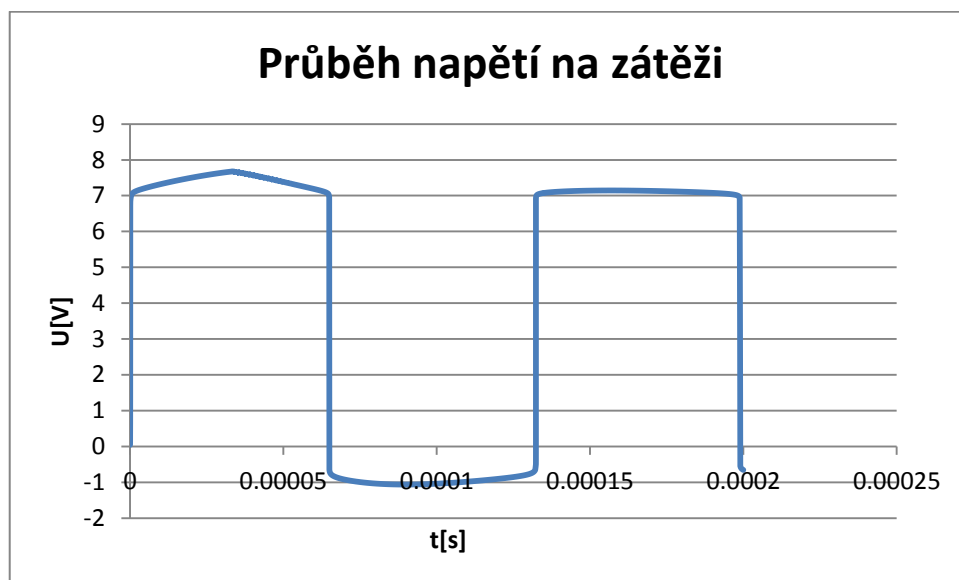
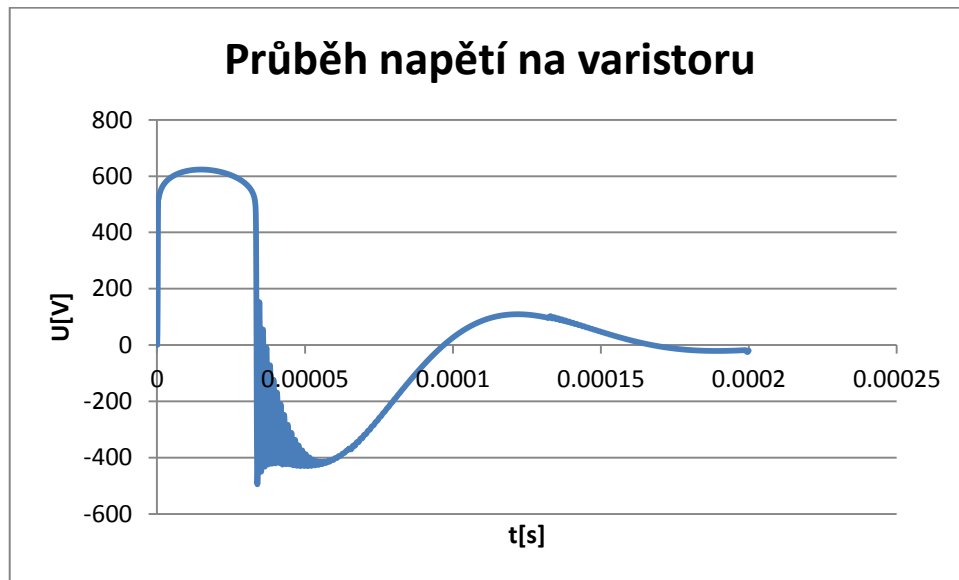
```
0      12
8ms    12
10ms   18.5
20ms   70.5
22ms   75
23ms   76
24ms   75
30ms   60
40ms   40
50ms   25
57.5ms 20
60ms   18.5
70ms   12
```

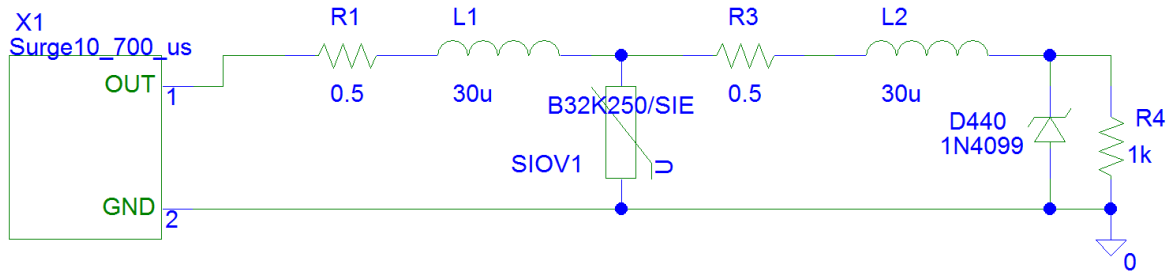


**Příloha H – Ukázkové simulace generátorů**

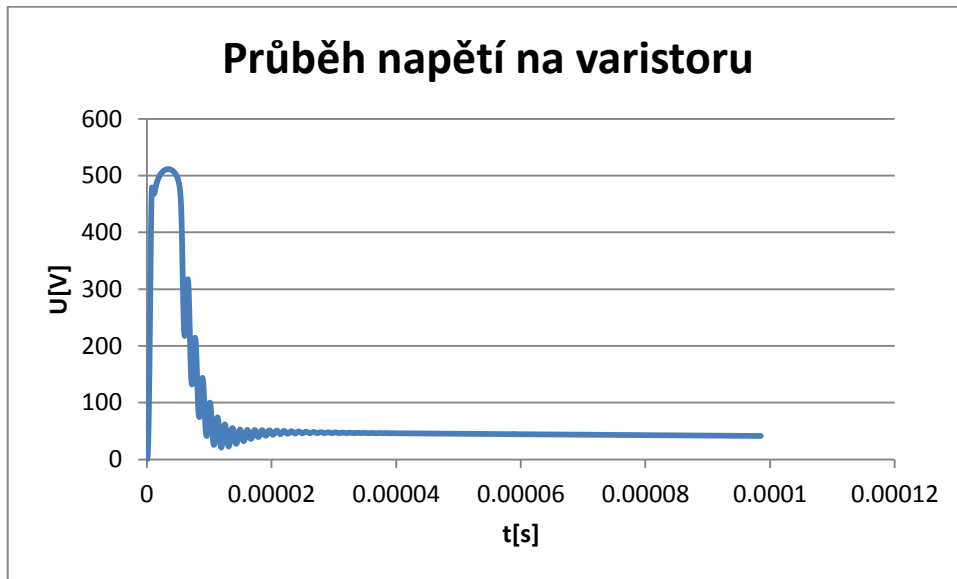


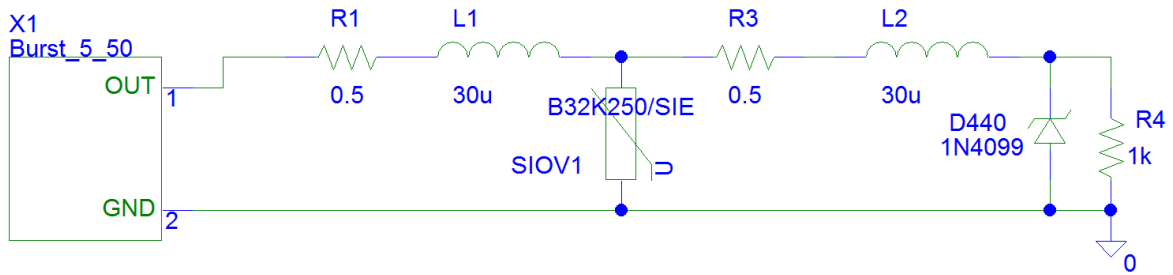
Obrázek 0.1 Ukázkové zapojení přepětové ochrany generátoru kombinované vlny 1,2/5  $\mu$ s + 8/20  $\mu$ s



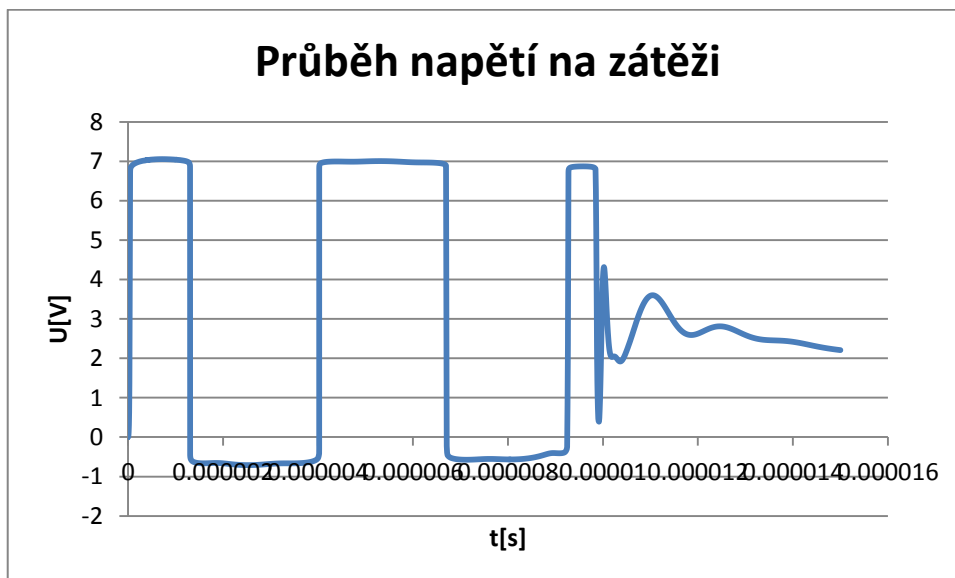
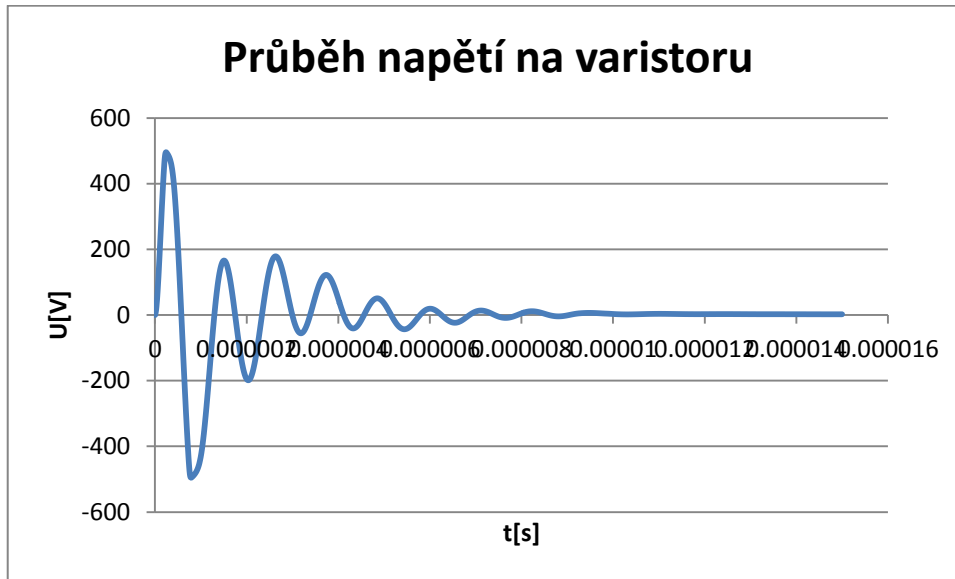


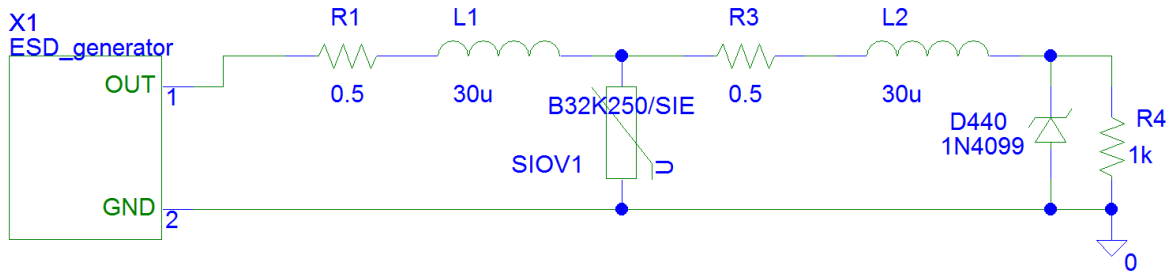
Obrázek 0.2 Ukázkové zapojení přepětové ochrany generátoru kombinované vlny 10/700  $\mu$ s





Obrázek 0.3 Ukázkové zapojení přepětové ochrany generátoru rychlých přechodových jevů 5/50 ns





Obrázek 0.4 Ukázkové zapojení přepětové ochrany generátoru elektrostatického výboje

