



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



**Rozvoj lidských zdrojů TUL pro zvyšování relevance,
kvality a přístupu ke vzdělání v podmínkách Průmyslu 4.0**

EMC a vysokofrekvenční technika

Laboratorní úlohy

Ing. Lubomír Slavík, Ph.D.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
www.tul.cz



Elektromagnetická kompatibilita - EMC



Přednášející:

Ing. Lubomír Slavík Ph.D.

Cvičící:

Ing. Lubomír Slavík Ph.D.

Ing. Petr Bílek, Ph.D.



Obsah laboratorních úloh

- Odolnost proti vysokonapěťovým elektrostatickým pulzům (ESD)
- Odolnost proti skupinám rychlých pulzů (burst) – vedením, kapacitním přenosem
- Odolnost proti výkonovým pulzům (surge)
- Odolnost proti kolísání a přerušení napájecího napětí
- Odolnost proti rušení indukčním přenosem
- Odolnost a rušení radiopřenosem v komoře GTEM
- Měření energie elektromagnetického pole
- Měření blízkého pole na plošném spoji (spínaný zdroj)

Odolnost proti vysokonapět'ovým elektrostatickým pulzům (ESD)

- Provedení zkoušky dle ČSN EN 61000-4-2 - EMC –Zkušební a měřicí technika – Elektrostatický výboj – Zkouška odolnosti
- Kritéria hodnocení dle ČSN EN ISO 4064-2 - Vodoměry pro studenou pitnou vodu a teplou vodu – Část 2: Zkušební metody
- Měření na prototypu průtokoměru EESA MP400

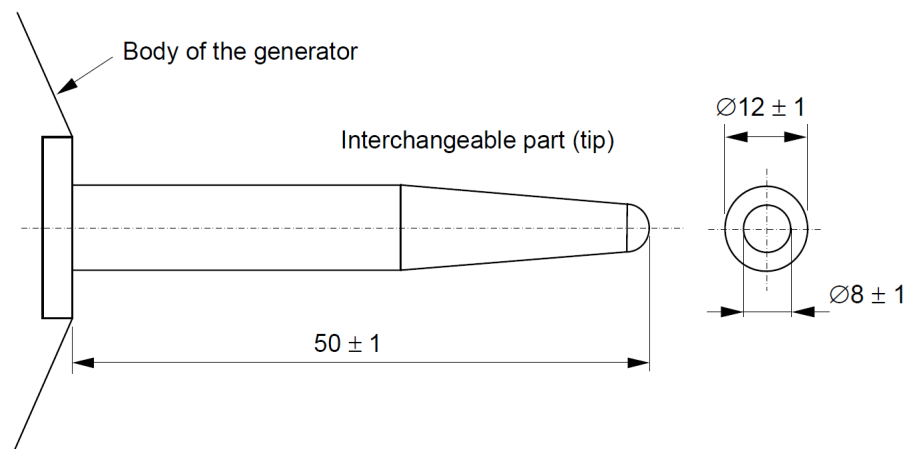


Zkouška dle ČSN EN 61000-4-2

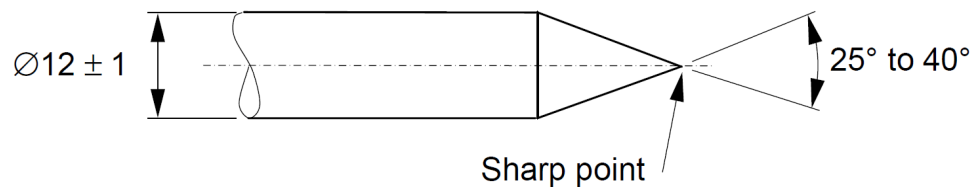
- Provedení injektovací pistole



- Hrot pro vzdušný výboj



- Hrot pro vzdušný výboj



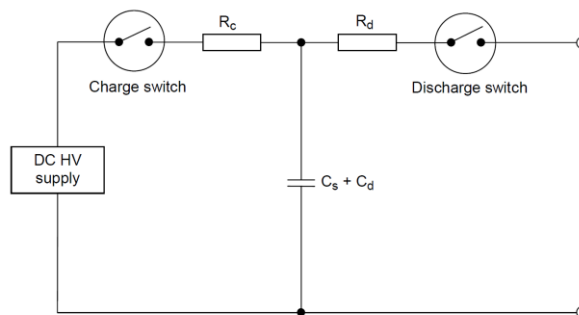
Zkouška dle ČSN EN 61000-4-2

- Testovací úrovně

	Kontaktní výboj	Vzdušný výboj
úroveň	testovací napětí (kV)	testovací napětí (kV)
1	2	2
2	4	4
3	6	8
4	8	15

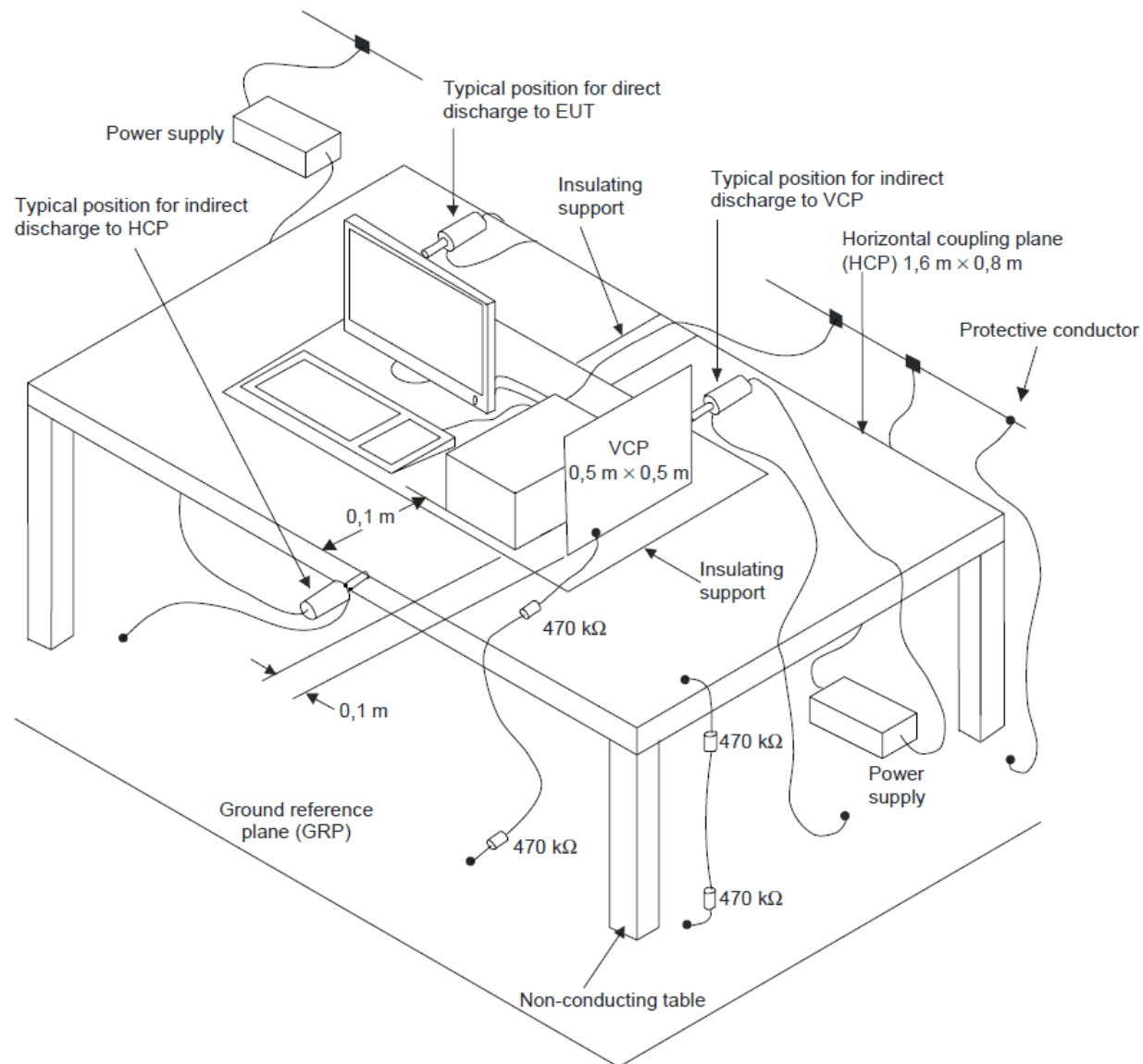
- minimálně 10 pŕlžů v intervalu 10 s

- ESD generátor



Zkouška dle ČSN EN 61000-4-2

- Provedení pracoviště pro zkoušky ESD



Zkouška dle ČSN EN 61000-4-2

- Případy pro test odolnosti ESD na konektorech

případ	pouzdro konektoru	kryt konektoru	vzdušný výboj	kontaktní výboj
1	kov	žádný	-	pouzdro
2	kov	izolant	kryt	pouzdro když je přístupné
3	kov	kov	-	pouzdro a kryt
4	izolant	žádný	přístupné po oddělení	-
5	izolant	kov	kryt	-
6	izolant	izolant	-	kryt

Vyhodnocení dle ČSN EN ISO 4064-2

- úroveň 3 - 6 kV pro kontaktní výboj, 8 kV pro vzdušný výboj
- vyhodnocení – kritérium B, zařízení může chybovat během testu (s maximální chybou 0,5 přesnosti měřidla), ale pak musí pracovat správně.

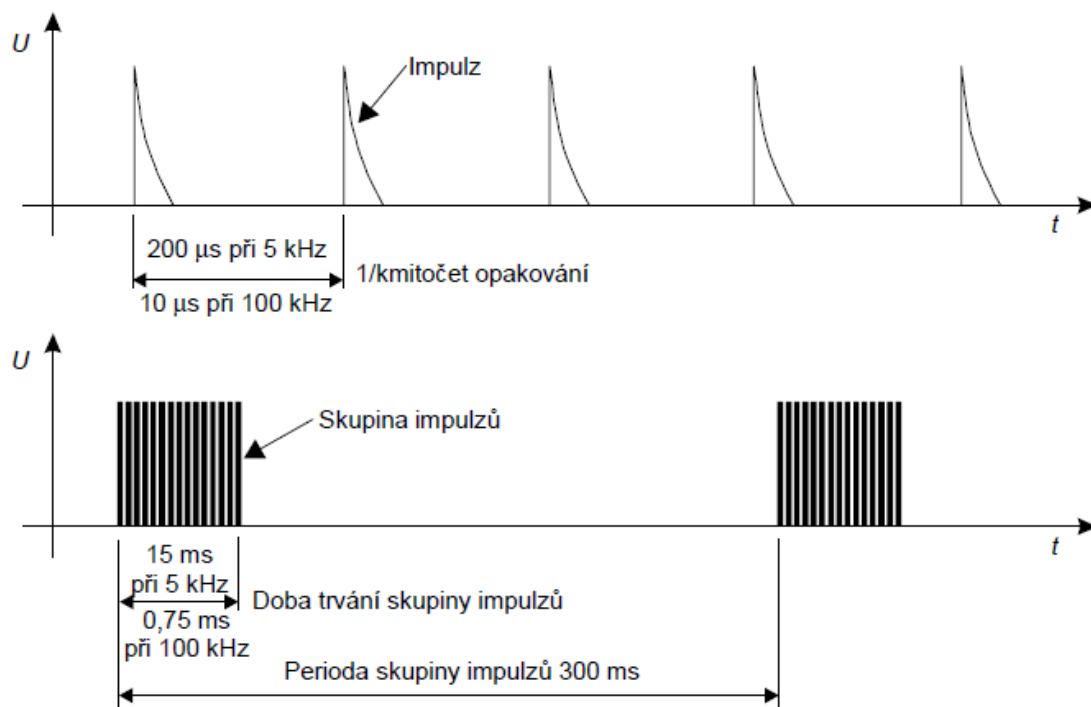
Odolnost proti skupinám rychlých pulzů (burst) – vedením, kapacitním přenosem

- Provedení zkoušky dle ČSN EN 61000-4-4 - EMC – Zkušební a měřicí technika – Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů – Zkouška odolnosti
- Kritéria hodnocení dle ČSN EN 61326-1 ed. 2- EMC – Elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení – Požadavky na EMC – Část 1: Obecné požadavky
- Měření na generátoru Tektronix CFG280 (výkonová síť) a na měřiči pH (datový přenos)

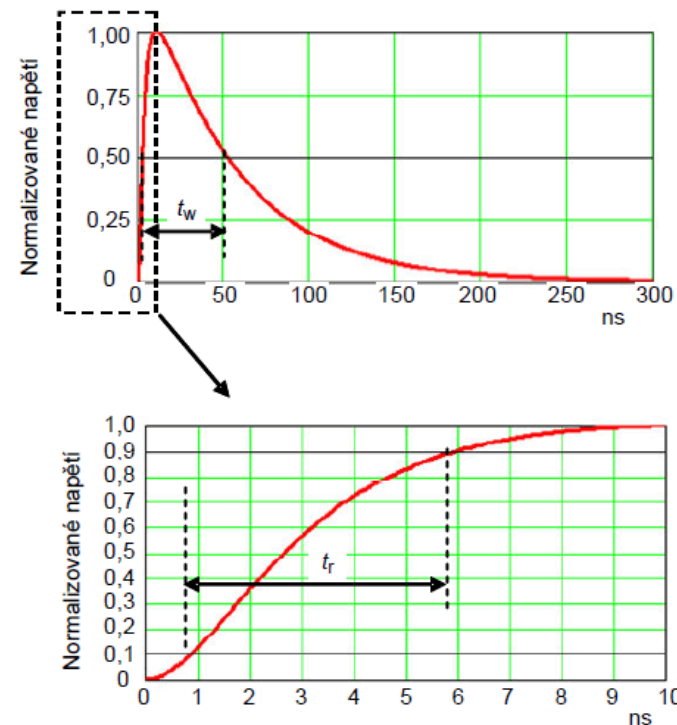


Zkušební signál

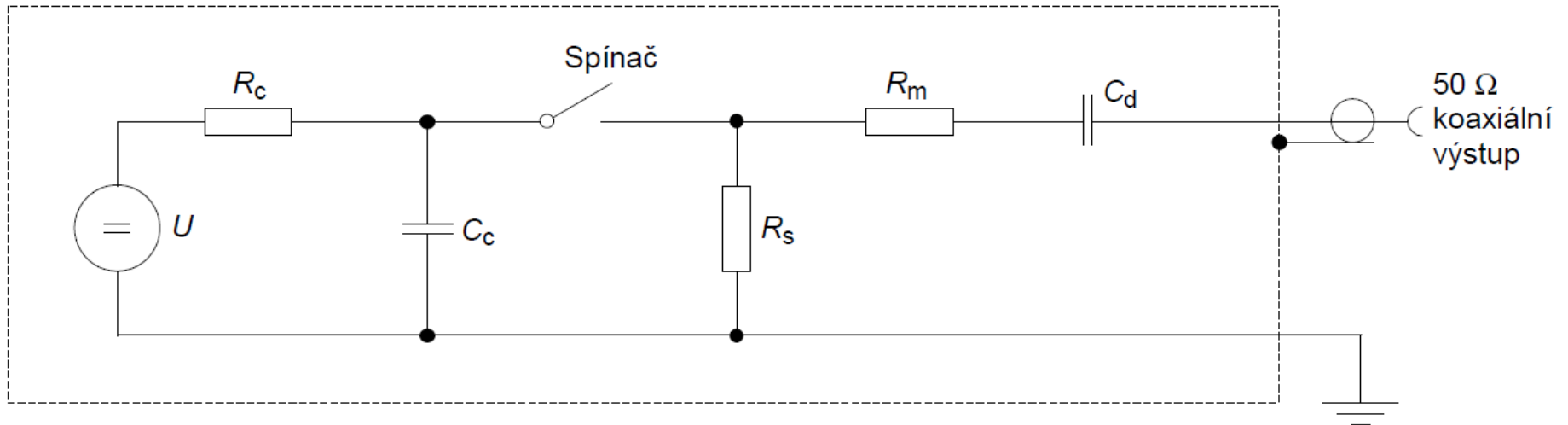
Skupina pulzů



Tvar jednotlivého pulzu



Zkušební zařízení



- U vysokonapěťový zdroj
- R_c nabíjecí rezistor
- C_c kondenzátor akumulující energii
- R_s rezistor tvarující dobu trvání impulzu
- R_m rezistor přizpůsobující impedanci
- C_d blokovací kondenzátor DC
- Spínač spínač vysokého napětí

Zkušební napětí dle ČSN EN 61000-4-4

Výstupní zkušební napětí naprázdno a opakovací kmitočet impulzů				
Úroveň	Vstupy/výstupy napájení, vstupy/výstupy uzemnění (PE)		Signálové a ovládací vstupy/výstupy	
	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
X ^a	Speciální	Speciální	Speciální	Speciální
Tradičně se používá opakovací kmitočet 5 kHz; 100 kHz je však bližší realitě. Výrobní komise by měly určit, které kmitočty jsou vhodné pro specifické výrobky nebo typy výrobků. U některých výrobků nemusí být jasné rozlišení mezi vstupy/výstupy napájení a signálovými vstupy/výstupy. V těchto případech o tomto rozlišení pro účely zkoušky rozhodnou výrobní komise.				
^a „X“ může být jakákoliv úroveň pod nebo mezi ostatními. Tuto úroveň je třeba určit ve specifikaci konkrétního zařízení				

Kritéria dle ČSN EN 61326-1

Požadavky na zkoušku odolnosti pro průmyslové prostředí

Vstup	Jev	Základní norma	Hodnoty zkoušky	Funkční kritérium
Kryt	Elektrostatický výboj (ESD)	IEC 61000-4-2	4 kV kontaktní vybití 8 kV vybití vzduchem	B B
	Elektromagnetické pole	IEC 61000-4-3	3 V/m (80 MHz až 1 GHz) 3 V/m (1,4 MHz až 2 GHz) 1 V/m (2,0 MHz až 2,7 GHz)	A A A
	Magnetické pole síťového kmitočtu	IEC 61000-4-8	3 A/m (50 Hz, 60 Hz) ^{f)}	A
AC síť (včetně ochranné země)	Krátkodobý pokles napětí	IEC 61000-4-11	0 % během poloviny cyklu 0 % během 1 cyklu 70 % během 25/30° ^{e)} cyklu	B B C
	Krátké přerušení	IEC 61000-4-11	0 % během 250/300° ^{e)} cyklů	C
	Skupina impulsů (burst)	IEC 61000-4-4	1 kV (5/50 ns, 5 kHz)	B
	Rázový impuls	IEC 61000-4-5	0,5 kV ^{a)} /1 kV ^{b)}	B
	Vedená RF	IEC 61000-4-6	3 V (150 kHz až 80 MHz)	A
DC síť ^{d),g)} (včetně ochranné země)	Skupina impulsů (burst)	IEC 61000-4-4	1 kV (5/50 ns, 5 kHz)	B
	Rázový impuls	IEC 61000-4-5	0,5 kV ^{a)} /1 kV ^{b)}	B
	Vedená RF	IEC 61000-4-6	3 V (150 kHz až 80 MHz)	A
I/O signál/řízení (včetně funkční země)	Skupina impulsů (burst)	IEC 61000-4-4	0,5 kV ^{d)} (5/50 ns, 5 kHz)	B
	Rázový impuls	IEC 61000-4-5	1 kV ^{b),c)}	B
	Vedená RF	IEC 61000-4-6	3 V ^{d)} (150 kHz až 80 MHz)	A
I/O signál/řízení zapojený přímo do napájecí sítě	Skupina impulsů (burst)	IEC 61000-4-4	1 kV (5/50 ns, 5 kHz)	B
	Rázový impuls	IEC 61000-4-5	0,5 kV/1 kV	B
	Vedená RF	IEC 61000-4-6	3 V (150 kHz až 80 MHz)	A

a) Linka na linku.

b) Linka na zem

c) Pouze v případě dlouhých linek (viz 3.10).

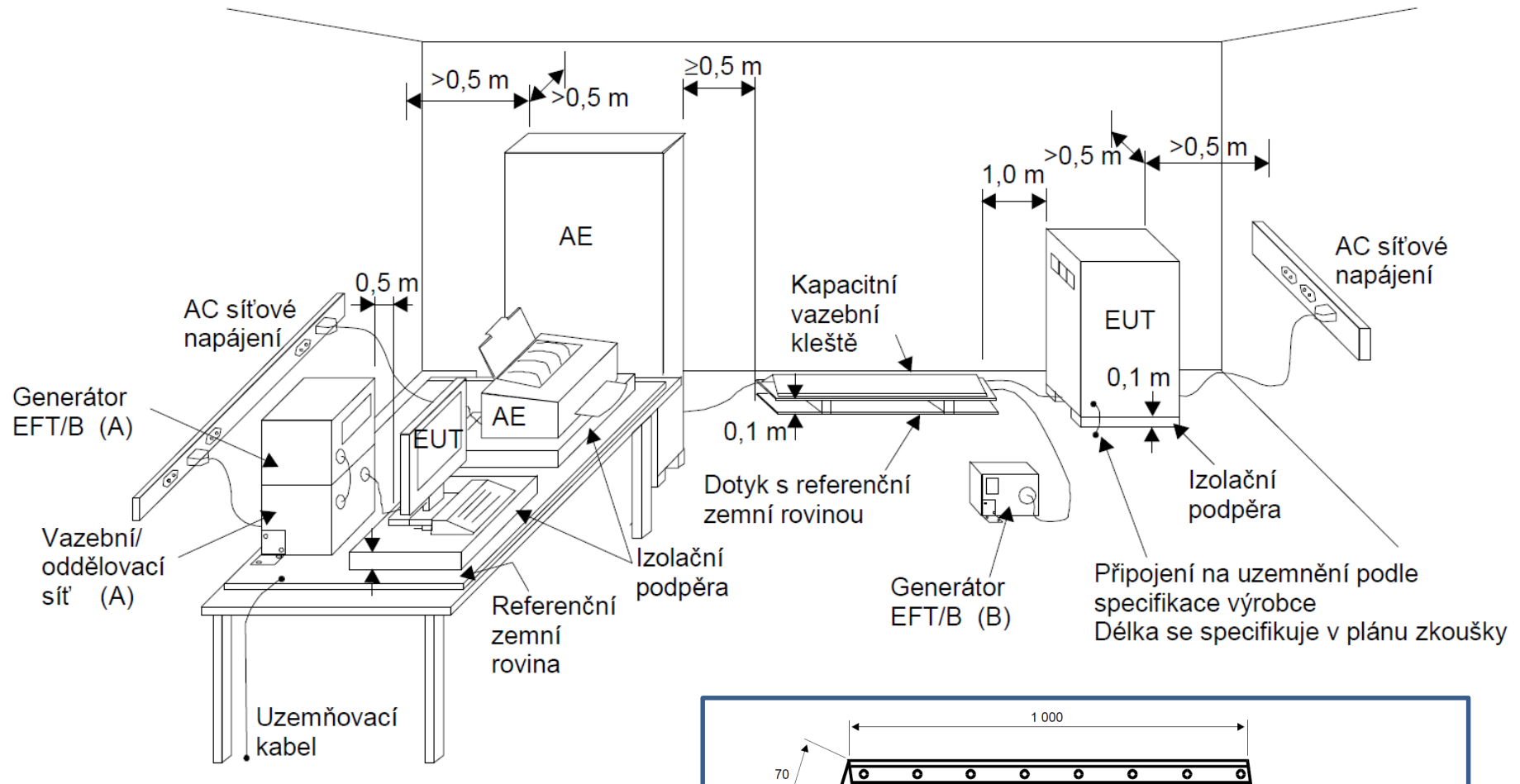
d) Pouze v případě linek > 3 m.

e) Např. 25/30 cyklů znamená „25 cyklů pro zkoušku 50 Hz“ nebo „30 cyklů pro zkoušku 60 Hz“.

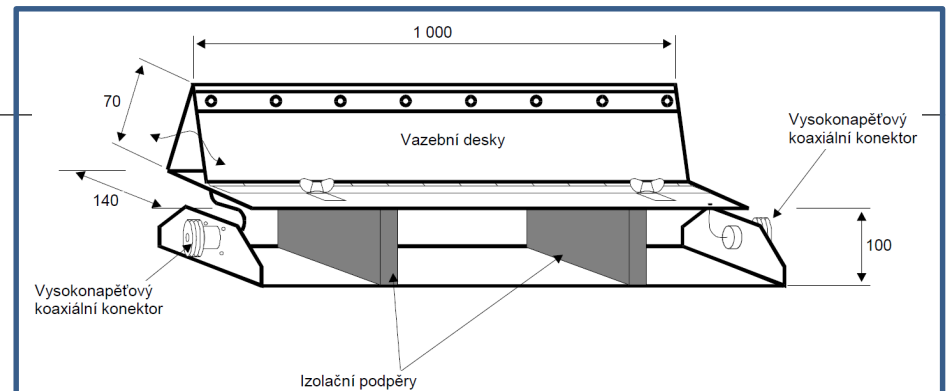
f) Pouze pro magneticky citlivé zařízení. Pro obrazovky jsou dovoleny interference nad 1 A/m.

g) DC spojení mezi vstupy zařízení systému, které nejsou připojeny k DC distribuční síti jsou považovány za I/O signálové řídicí vstupy.

Zkušební pracoviště



Vazební kleština
(kapacitní lišta)

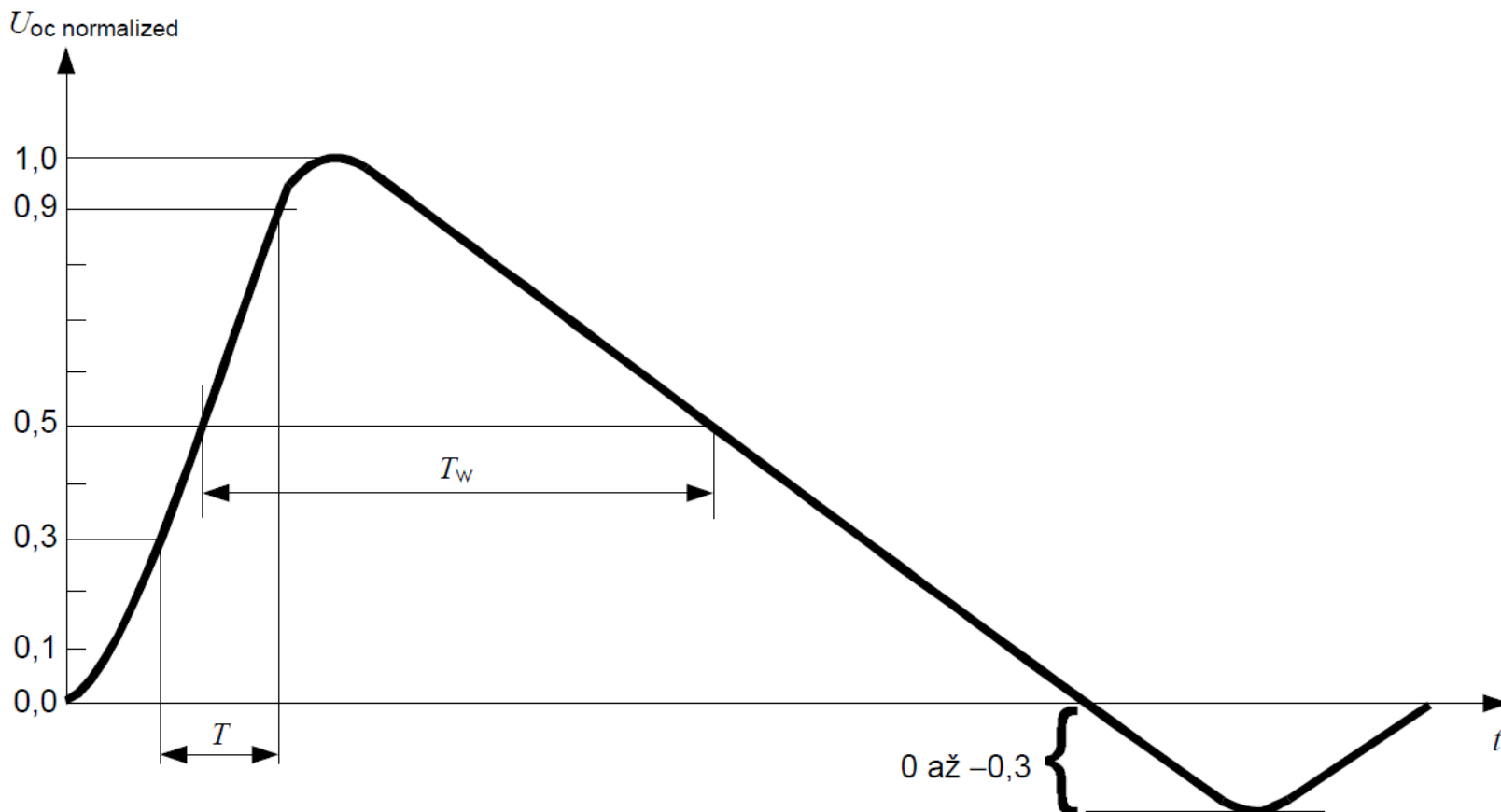


Odolnost proti výkonovému pulzu (surge)

- Provedení zkoušky dle ČSN EN 61000-4-5 - EMC – Zkušební a měřicí technika – Rázový impulz – Zkouška odolnosti
- Kritéria hodnocení dle ČSN EN 61326-1 ed. 2- EMC – Elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení – Požadavky na EMC – Část 1: Obecné požadavky
- Měření na generátoru Tektronix CFG280



Zkušební signál



Náběžná doba:
Doba trvání:

$$T_f = 1,67 \times T = 1,2 \mu s \pm 30 \%$$
$$T_d = T_w = 50 \mu s \pm 20 \%$$

Zkušební napětí dle ČSN EN 61000-4-5

Úroveň	Zkušební napětí naprázdno kV	
	Mezi vodiči	Mezi vodičem a uzemněním ^b
1	---	0,5
2	0,5	1
3	1	2
4	2	4
X ^a	Speciální	Speciální
^a „X“ může být jakákoliv úroveň nad, pod nebo mezi ostatními úrovněmi. Tato úroveň může být stanovena v konkrétní specifikaci zařízení. ^b U symetrických propojovacích vedení se zkouška může aplikovat současně vzhledem k uzemnění, tj. „mezi vodiči a uzemněním“.		

Kritéria dle ČSN EN 61326-1

Požadavky na zkoušku odolnosti pro průmyslové prostředí

Vstup	Jev	Základní norma	Hodnoty zkoušky	Funkční kritérium
Kryt	Elektrostatický výboj (ESD)	IEC 61000-4-2	4 kV kontaktní vybití 8 kV vybití vzduchem	B B
	Elektromagnetické pole	IEC 61000-4-3	3 V/m (80 MHz až 1 GHz) 3 V/m (1,4 MHz až 2 GHz) 1 V/m (2,0 MHz až 2,7 GHz)	A A A
	Magnetické pole síťového kmitočtu	IEC 61000-4-8	3 A/m (50 Hz, 60 Hz) ^{f)}	A
AC síť (včetně ochranné země)	Krátkodobý pokles napětí	IEC 61000-4-11	0 % během poloviny cyklu 0 % během 1 cyklu 70 % během 25/30° ^{e)} cyklu	B B C
	Krátké přerušení	IEC 61000-4-11	0 % během 250/300° ^{e)} cyklů	C
	Skupina impulsů (burst)	IEC 61000-4-4	1 kV (5/50 ns, 5 kHz)	B
	Rázový impuls	IEC 61000-4-5	0,5 kV ^{a)} /1 kV ^{b)}	B
	Vedená RF	IEC 61000-4-6	3 V (150 kHz až 80 MHz)	A
DC síť ^{d),g)} (včetně ochranné země)	Skupina impulsů (burst)	IEC 61000-4-4	1 kV (5/50 ns, 5 kHz)	B
	Rázový impuls	IEC 61000-4-5	0,5 kV ^{a)} /1 kV ^{b)}	B
	Vedená RF	IEC 61000-4-6	3 V (150 kHz až 80 MHz)	A
I/O signál/řízení (včetně funkční země)	Skupina impulsů (burst)	IEC 61000-4-4	0,5 kV ^{d)} (5/50 ns, 5 kHz)	B
	Rázový impuls	IEC 61000-4-5	1 kV ^{b),c)}	B
	Vedená RF	IEC 61000-4-6	3 V ^{d)} (150 kHz až 80 MHz)	A
I/O signál/řízení zapojený přímo do napájecí sítě	Skupina impulsů (burst)	IEC 61000-4-4	1 kV (5/50 ns, 5 kHz)	B
	Rázový impuls	IEC 61000-4-5	0,5 kV/1 kV	B
	Vedená RF	IEC 61000-4-6	3 V (150 kHz až 80 MHz)	A

a) Linka na linku.

b) Linka na zem

c) Pouze v případě dlouhých linek (viz 3.10).

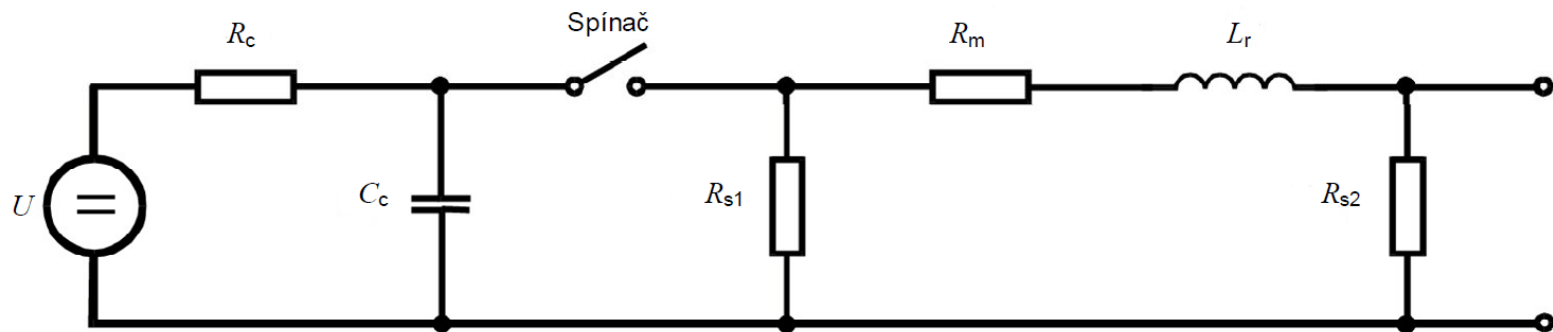
d) Pouze v případě linek > 3 m.

e) Např. 25/30 cyklů znamená „25 cyklů pro zkoušku 50 Hz“ nebo „30 cyklů pro zkoušku 60 Hz“.

f) Pouze pro magneticky citlivé zařízení. Pro obrazovky jsou dovoleny interference nad 1 A/m.

g) DC spojení mezi vstupy zařízení systému, které nejsou připojeny k DC distribuční síti jsou považovány za I/O signálové řídicí vstupy.

Zkušební zařízení



U Zdroj vysokého napětí

R_c Nabíjecí rezistor

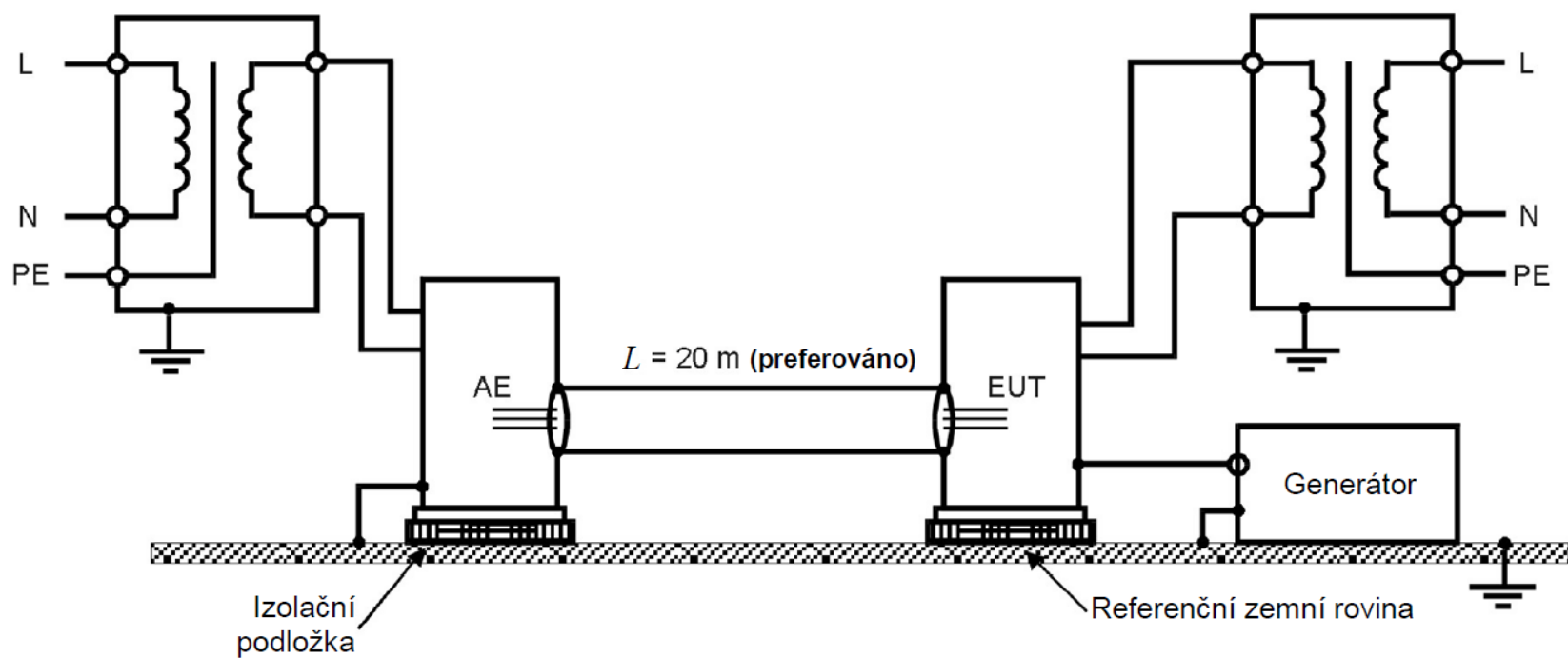
C_c Kondenzátor akumulující energii

R_s Rezistory pro tvarování doby trvání impulzu

R_m Rezistor přizpůsobující impedanci

L_r Indukčnost pro tvarování náběžné doby

Zkušební pracoviště



Odolnost proti krátkodobým poklesům napětí, krátkým přerušením a pomalým změnám napětí

- Provedení zkoušky dle ČSN EN 61000-4-11 - EMC – Zkušební a měřicí technika – Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí – Zkoušky odolnosti pro zařízení se vstupním fázovým proudem až do 16 A
- Kritéria hodnocení dle ČSN EN 61326-1 ed. 2- EMC – Elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení – Požadavky na EMC – Část 1: Obecné požadavky
- Měření na generátoru Tektronix CFG280



Zkušební úrovně a doby trvání pro krátkodobé poklesy napětí (50/60 Hz)

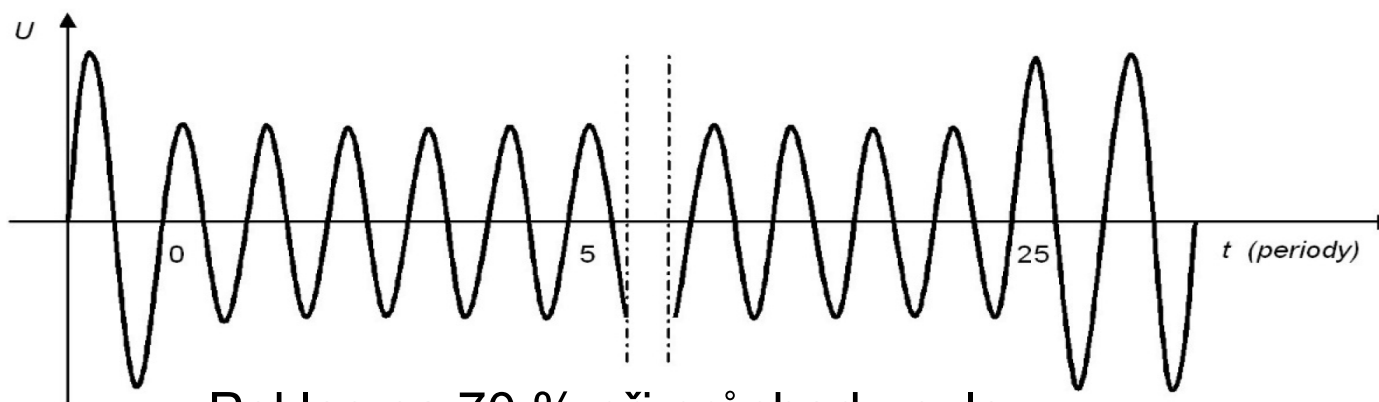
Tabulka 1 – Přednostní zkušební úrovně a doby trvání pro krátkodobé poklesy napětí

Třída ^a	Zkušební úrovně a doby trvání pro krátkodobé poklesy napětí (t_s) (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 ^c period		
Třída 3	0 % během ½ periody	0 % během 1 periody	40 % během 10/12 ^c period	70 % během 25/30 ^c period	80 % během 250/300 ^c period
Třída X ^b	X	X	X	X	X

^a Třídy jako podle IEC 61000-2-4; viz příloha B.

^b Určeno k definování výrobkovou komisí. U zařízení připojeného přímo nebo nepřímo k veřejné síti úrovně nesmí být méně přísné než pro třídu 2.

^c „25/30 period“ znamená „25 period pro zkoušku 50 Hz“ a „30 period pro zkoušku 60 Hz“.



Pokles na 70 % při průchodu nulou

Kritéria dle ČSN EN 61326-1

Požadavky na zkoušku odolnosti pro průmyslové prostředí

Vstup	Jev	Základní norma	Hodnoty zkoušky	Funkční kritérium
Kryt	Elektrostatický výboj (ESD)	IEC 61000-4-2	4 kV kontaktní vybití 8 kV vybití vzduchem	B B
	Elektromagnetické pole	IEC 61000-4-3	3 V/m (80 MHz až 1 GHz) 3 V/m (1,4 MHz až 2 GHz) 1 V/m (2,0 MHz až 2,7 GHz)	A A A
	Magnetické pole síťového kmitočtu	IEC 61000-4-8	3 A/m (50 Hz, 60 Hz) ^{f)}	A
AC síť (včetně ochranné země)	Krátkodobý pokles napětí	IEC 61000-4-11	0 % během poloviny cyklu 0 % během 1 cyklu 70 % během 25/30° ^{e)} cyklu	B B C
	Krátké přerušení	IEC 61000-4-11	0 % během 250/300° ^{e)} cyklů	C
	Skupina impulsů (burst)	IEC 61000-4-4	1 kV (5/50 ns, 5 kHz)	B
	Rázový impuls	IEC 61000-4-5	0,5 kV ^{a)} /1 kV ^{b)}	B
	Vedená RF	IEC 61000-4-6	3 V (150 kHz až 80 MHz)	A
DC síť ^{d),g)} (včetně ochranné země)	Skupina impulsů (burst)	IEC 61000-4-4	1 kV (5/50 ns, 5 kHz)	B
	Rázový impuls	IEC 61000-4-5	0,5 kV ^{a)} /1 kV ^{b)}	B
	Vedená RF	IEC 61000-4-6	3 V (150 kHz až 80 MHz)	A
I/O signál/řízení (včetně funkční země)	Skupina impulsů (burst)	IEC 61000-4-4	0,5 kV ^{d)} (5/50 ns, 5 kHz)	B
	Rázový impuls	IEC 61000-4-5	1 kV ^{b),c)}	B
	Vedená RF	IEC 61000-4-6	3 V ^{d)} (150 kHz až 80 MHz)	A
I/O signál/řízení zapojený přímo do napájecí sítě	Skupina impulsů (burst)	IEC 61000-4-4	1 kV (5/50 ns, 5 kHz)	B
	Rázový impuls	IEC 61000-4-5	0,5 kV/1 kV	B
	Vedená RF	IEC 61000-4-6	3 V (150 kHz až 80 MHz)	A

a) Linka na linku.

b) Linka na zem

c) Pouze v případě dlouhých linek (viz 3.10).

d) Pouze v případě linek > 3 m.

e) Např. 25/30 cyklů znamená „25 cyklů pro zkoušku 50 Hz“ nebo „30 cyklů pro zkoušku 60 Hz“.

f) Pouze pro magneticky citlivé zařízení. Pro obrazovky jsou dovoleny interference nad 1 A/m.

g) DC spojení mezi vstupy zařízení systému, které nejsou připojeny k DC distribuční síti jsou považovány za I/O signálové řídicí vstupy.

Zkušební úrovně a doby trvání pro krátká přerušení napětí

Třída ^a	Zkušební úrovně a doby trvání pro krátká přerušení napětí (t_s) (50 Hz/60 Hz)
Třída 1	Případ od případu podle požadavků zařízení
Třída 2	0 % během 250/300 ^c period
Třída 3	0 % během 250/300 ^c period
Třída X ^b	X
^a Třídy jako podle IEC 61000-2-4; viz příloha B. ^b Určeno k definování výrobkovou komisí. U zařízení připojeného přímo nebo nepřímo k veřejné síti úrovně nesmí být méně přísné než pro třídu 2. ^c „250/300 period“ znamená „250 period pro zkoušku 50 Hz“ a „300 period pro zkoušku 60 Hz.	

Kritéria dle ČSN EN 61326-1

Požadavky na zkoušku odolnosti pro průmyslové prostředí

Vstup	Jev	Základní norma	Hodnoty zkoušky	Funkční kritérium
Kryt	Elektrostatický výboj (ESD)	IEC 61000-4-2	4 kV kontaktní vybití 8 kV vybití vzduchem	B B
	Elektromagnetické pole	IEC 61000-4-3	3 V/m (80 MHz až 1 GHz) 3 V/m (1,4 MHz až 2 GHz) 1 V/m (2,0 MHz až 2,7 GHz)	A A A
	Magnetické pole síťového kmitočtu	IEC 61000-4-8	3 A/m (50 Hz, 60 Hz) ^{f)}	A
AC síť (včetně ochranné země)	Krátkodobý pokles napětí	IEC 61000-4-11	0 % během poloviny cyklu 0 % během 1 cyklu 70 % během 25/30° ^{e)} cyklu	B B C
	Krátké přerušení	IEC 61000-4-11	0 % během 250/300° ^{e)} cyklů	C
	Skupina impulsů (burst)	IEC 61000-4-4	1 kV (5/50 ns, 5 kHz)	B
	Rázový impuls	IEC 61000-4-5	0,5 kV ^{a)} /1 kV ^{b)}	B
	Vedená RF	IEC 61000-4-6	3 V (150 kHz až 80 MHz)	A
DC síť ^{d),g)} (včetně ochranné země)	Skupina impulsů (burst)	IEC 61000-4-4	1 kV (5/50 ns, 5 kHz)	B
	Rázový impuls	IEC 61000-4-5	0,5 kV ^{a)} /1 kV ^{b)}	B
	Vedená RF	IEC 61000-4-6	3 V (150 kHz až 80 MHz)	A
I/O signál/řízení (včetně funkční země)	Skupina impulsů (burst)	IEC 61000-4-4	0,5 kV ^{d)} (5/50 ns, 5 kHz)	B
	Rázový impuls	IEC 61000-4-5	1 kV ^{b),c)}	B
	Vedená RF	IEC 61000-4-6	3 V ^{d)} (150 kHz až 80 MHz)	A
I/O signál/řízení zapojený přímo do napájecí sítě	Skupina impulsů (burst)	IEC 61000-4-4	1 kV (5/50 ns, 5 kHz)	B
	Rázový impuls	IEC 61000-4-5	0,5 kV/1 kV	B
	Vedená RF	IEC 61000-4-6	3 V (150 kHz až 80 MHz)	A

a) Linka na linku.

b) Linka na zem

c) Pouze v případě dlouhých linek (viz 3.10).

d) Pouze v případě linek > 3 m.

e) Např. 25/30 cyklů znamená „25 cyklů pro zkoušku 50 Hz“ nebo „30 cyklů pro zkoušku 60 Hz“.

f) Pouze pro magneticky citlivé zařízení. Pro obrazovky jsou dovoleny interference nad 1 A/m.

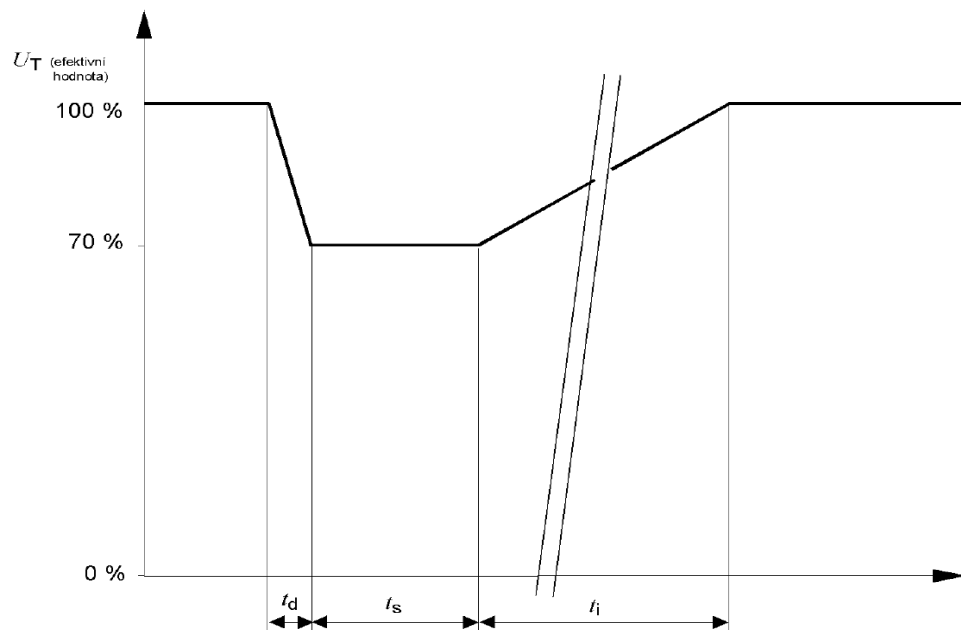
g) DC spojení mezi vstupy zařízení systému, které nejsou připojeny k DC distribuční síti jsou považovány za I/O signálové řídicí vstupy.

Zkušební úrovně a doby trvání pro pomalé změny napětí

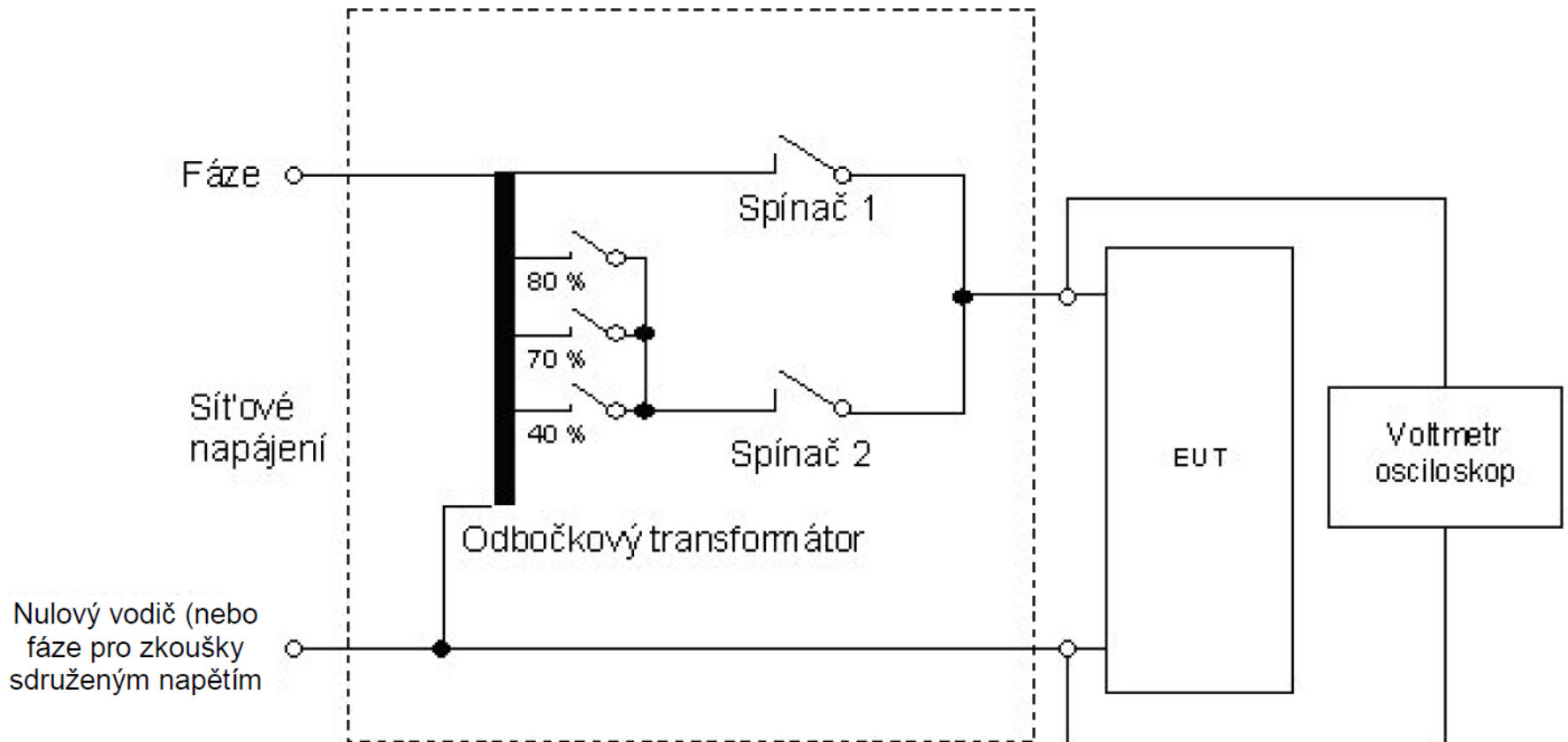
Zkušební úroveň napětí	Doba klesání napětí (t_d)	Doba sníženého napětí (t_s)	Doba stoupání napětí (t_i) (50 Hz/60 Hz)
70 %	strmý přechod	1 periodu	25/30 ^b period
X^a	X^a	X^a	X^a

^a Určeno k definování výrobkovou komisí.

^b „25/30 period“ znamená „25 period pro zkoušku 50 Hz“ a „30 period pro zkoušku 60 Hz“.



Zkušební pracoviště

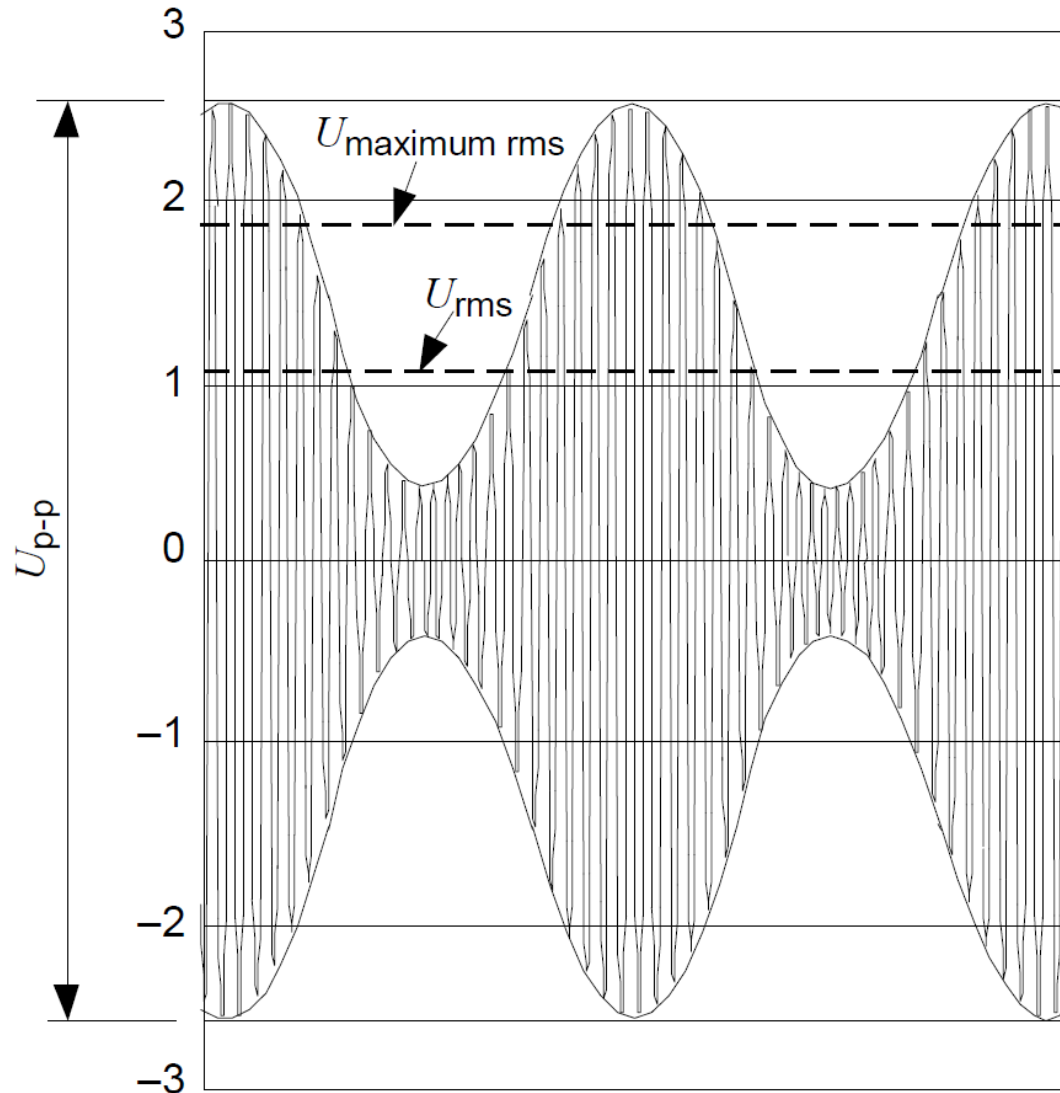


Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovanými vysokofrekvenčními poli

- Provedení zkoušky dle ČSN EN 61000-4-6 - EMC – Zkušební a měřicí technika – Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli
- Kritéria hodnocení dle ČSN EN 61326-1 ed. 2- EMC – Elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení – Požadavky na EMC – Část 1: Obecné požadavky
- Měření na napájecím kabelu externím monitoru u notebooku



Tvary vlny naprázdno na vstupu vazebního prostředku u EUT pro zkušební úroveň 1



$$U_{pp} = 5,09 \text{ V}$$

$$U_{\text{rms}} = 1,12 \text{ V}$$

$$U_{\text{max rms}} = 1,8 \text{ V}$$

$$f_{\text{mod}} = 1 \text{ kHz}$$

amplitudová modulace

Zkušební úrovně

Kmitočtový rozsah 150 kHz – 80 MHz		
Úroveň	Úroveň napětí (e.m.f.)	
	U_0 V	U_0 dB(μV)
1	1	120
2	3	129,5
3	10	140
X ^a	Zvláštní	
^a „X“ může být jakákoli hodnota nad, pod nebo mezi ostatními. Tato úroveň musí být uvedena ve zvláštní specifikaci zařízení.		

Kritéria dle ČSN EN 61326-1

Požadavky na zkoušku odolnosti pro průmyslové prostředí

Vstup	Jev	Základní norma	Hodnoty zkoušky	Funkční kritérium
Kryt	Elektrostatický výboj (ESD)	IEC 61000-4-2	4 kV kontaktní vybití 8 kV vybití vzduchem	B B
	Elektromagnetické pole	IEC 61000-4-3	3 V/m (80 MHz až 1 GHz) 3 V/m (1,4 MHz až 2 GHz) 1 V/m (2,0 MHz až 2,7 GHz)	A A A
	Magnetické pole síťového kmitočtu	IEC 61000-4-8	3 A/m (50 Hz, 60 Hz) ^{f)}	A
AC síť (včetně ochranné země)	Krátkodobý pokles napětí	IEC 61000-4-11	0 % během poloviny cyklu 0 % během 1 cyklu 70 % během 25/30° ^{e)} cyklu	B B C
	Krátké přerušení	IEC 61000-4-11	0 % během 250/300° ^{e)} cyklů	C
	Skupina impulsů (burst)	IEC 61000-4-4	1 kV (5/50 ns, 5 kHz)	B
	Rázový impuls	IEC 61000-4-5	0,5 kV ^{a)} /1 kV ^{b)}	B
	Vedená RF	IEC 61000-4-6	3 V (150 kHz až 80 MHz)	A
DC síť ^{d),g)} (včetně ochranné země)	Skupina impulsů (burst)	IEC 61000-4-4	1 kV (5/50 ns, 5 kHz)	B
	Rázový impuls	IEC 61000-4-5	0,5 kV ^{a)} /1 kV ^{b)}	B
	Vedená RF	IEC 61000-4-6	3 V (150 kHz až 80 MHz)	A
I/O signál/řízení (včetně funkční země)	Skupina impulsů (burst)	IEC 61000-4-4	0,5 kV ^{d)} (5/50 ns, 5 kHz)	B
	Rázový impuls	IEC 61000-4-5	1 kV ^{b),c)}	B
	Vedená RF	IEC 61000-4-6	3 V ^{d)} (150 kHz až 80 MHz)	A
I/O signál/řízení zapojený přímo do napájecí sítě	Skupina impulsů (burst)	IEC 61000-4-4	1 kV (5/50 ns, 5 kHz)	B
	Rázový impuls	IEC 61000-4-5	0,5 kV/1 kV	B
	Vedená RF	IEC 61000-4-6	3 V (150 kHz až 80 MHz)	A

a) Linka na linku.

b) Linka na zem

c) Pouze v případě dlouhých linek (viz 3.10).

d) Pouze v případě linek > 3 m.

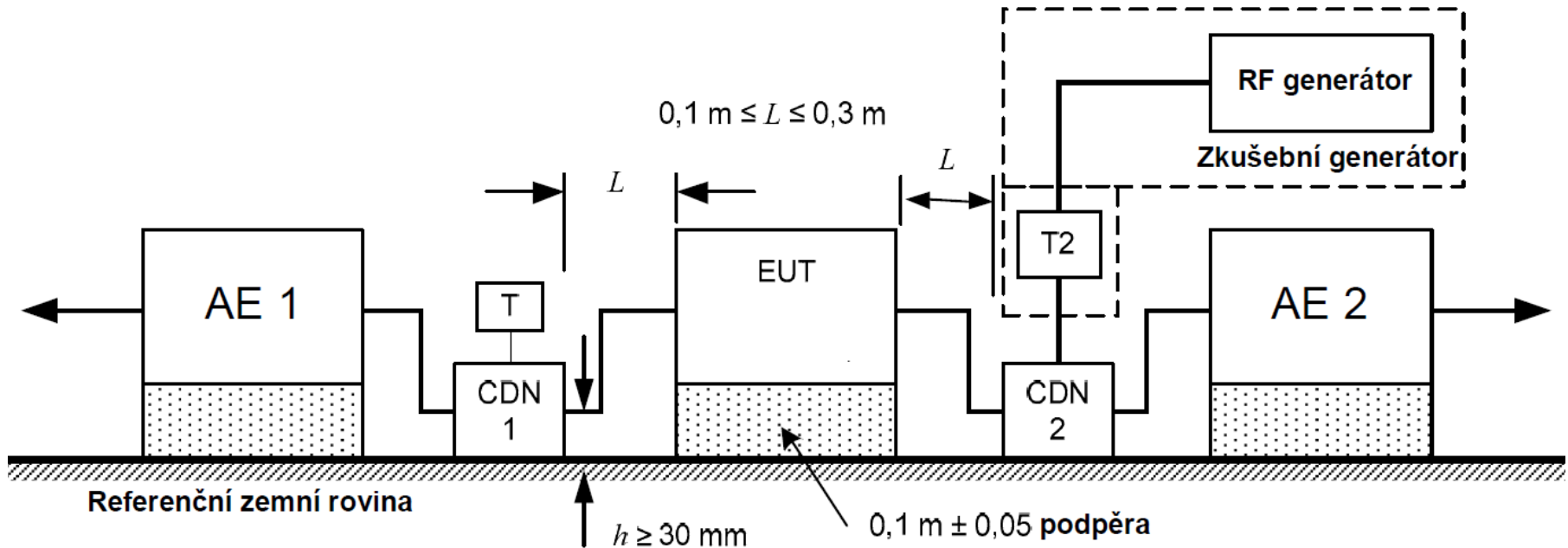
e) Např. 25/30 cyklů znamená „25 cyklů pro zkoušku 50 Hz“ nebo „30 cyklů pro zkoušku 60 Hz“.

f) Pouze pro magneticky citlivé zařízení. Pro obrazovky jsou dovoleny interference nad 1 A/m.

g) DC spojení mezi vstupy zařízení systému, které nejsou připojeny k DC distribuční síti jsou považovány za I/O signálové řídicí vstupy.

Zkušební pracoviště

- Sestava pro zkoušku odolnosti pro CDN (Coupling – Decoupling Net)



T – zakončení 50 ohm

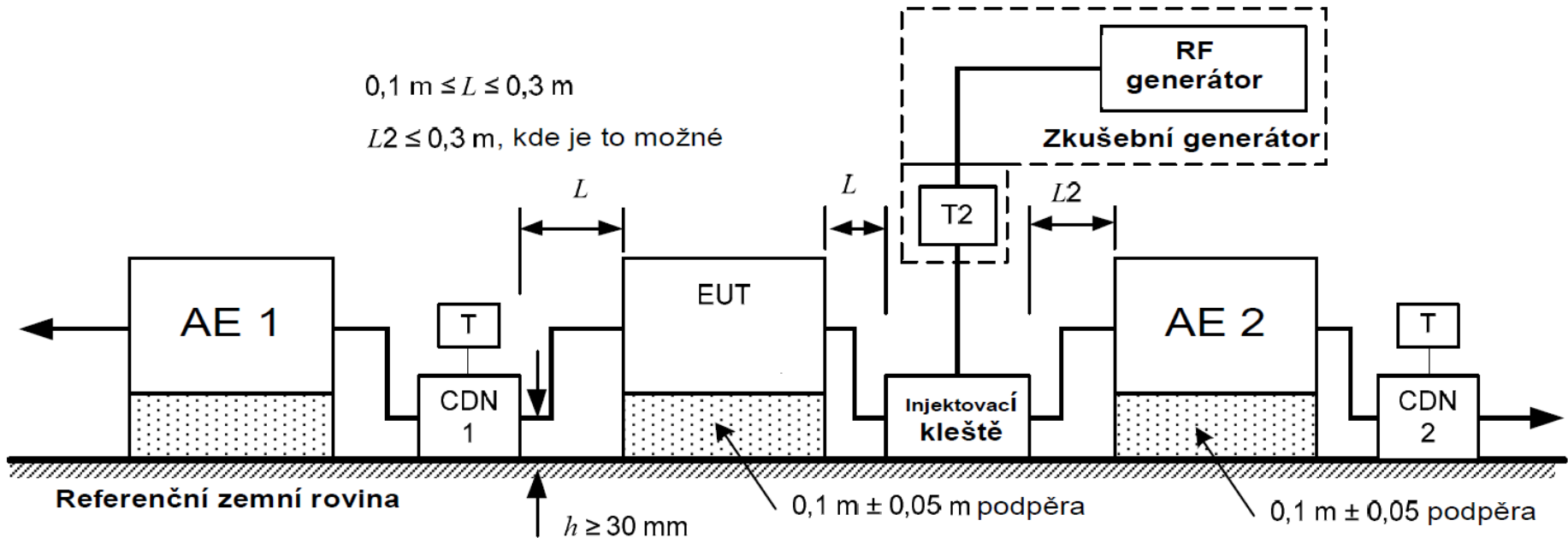
T2 – výkonový útlumový člen 6 dB

CDN – vazební oddělovací síť →



Zkušební pracoviště

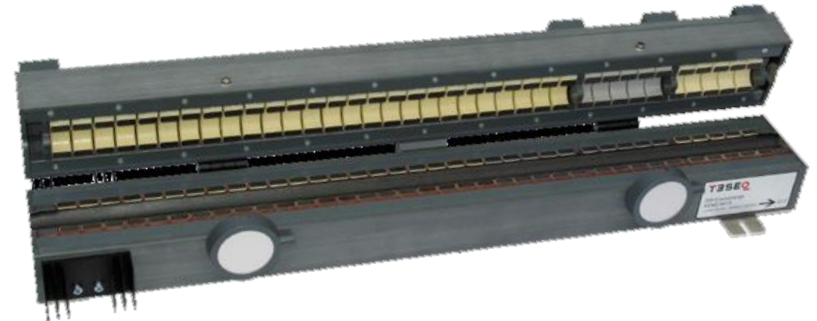
- Sestava pro zkoušku odolnosti pro injektovací kleště (KEMZ 801)



T – zakončení 50 ohm

T2 – výkonový útlumový člen 6 dB

Injektovací kleště

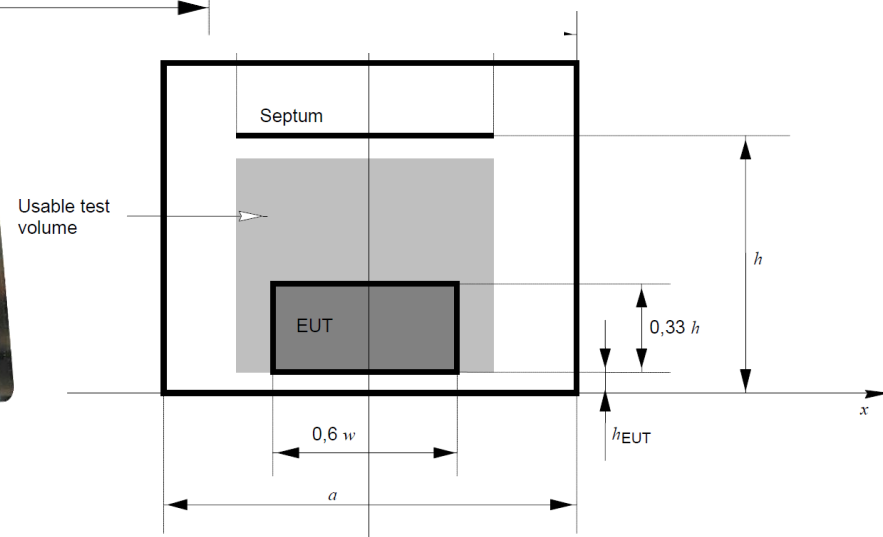
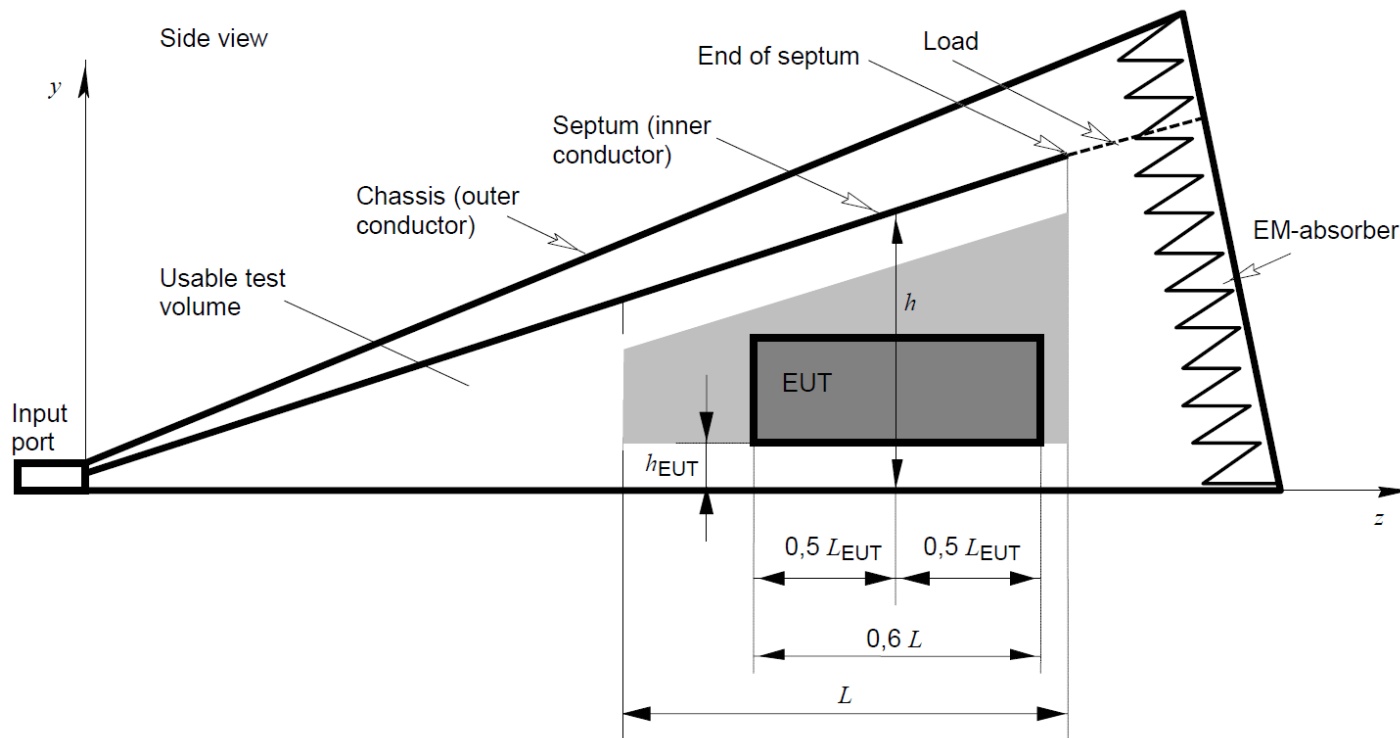


Zkoušky emise a odolnosti ve vlnovodech s příčným elektromagnetickým polem

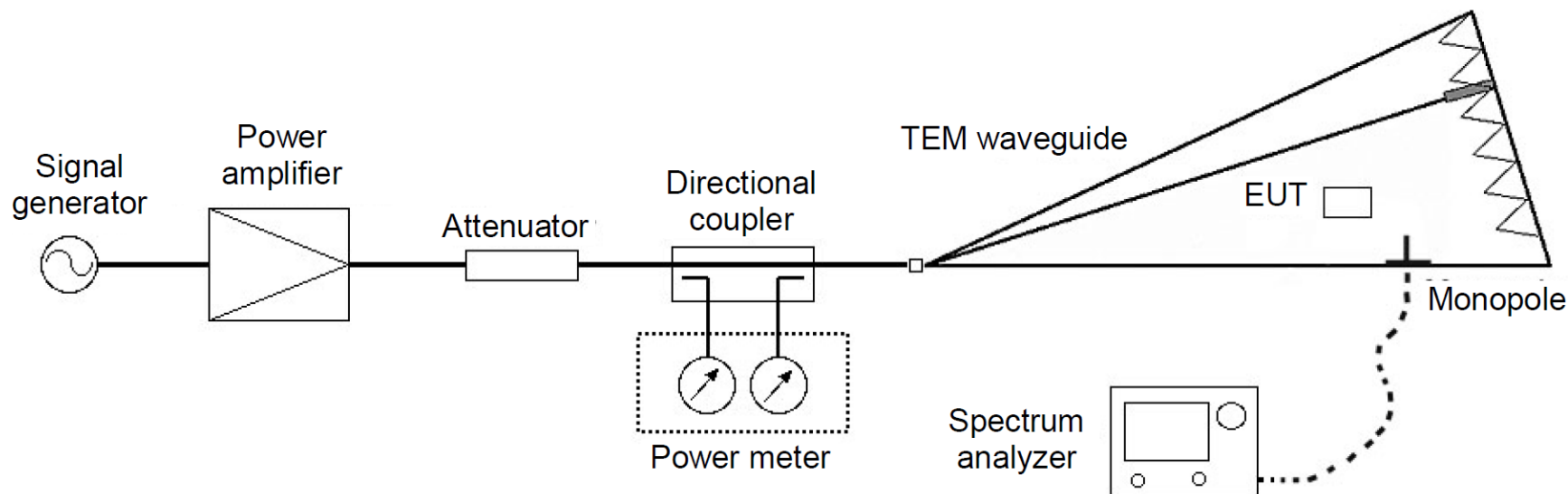
- Provedení zkoušky dle ČSN EN 61000-4-20 - EMC – Zkušební a měřicí technika – Zkoušky emise a odolnosti ve vlnovodech s příčným elektromagnetickým polem (TEM)
- Kritéria hodnocení dle ČSN EN 61326-1 ed. 2- EMC – Elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení – Požadavky na EMC – Část 1: Obecné požadavky
- Měření odolnosti i emisí na modulu Arduino – komunikace po WiFi



Zkušební zařízení – komora GTEM



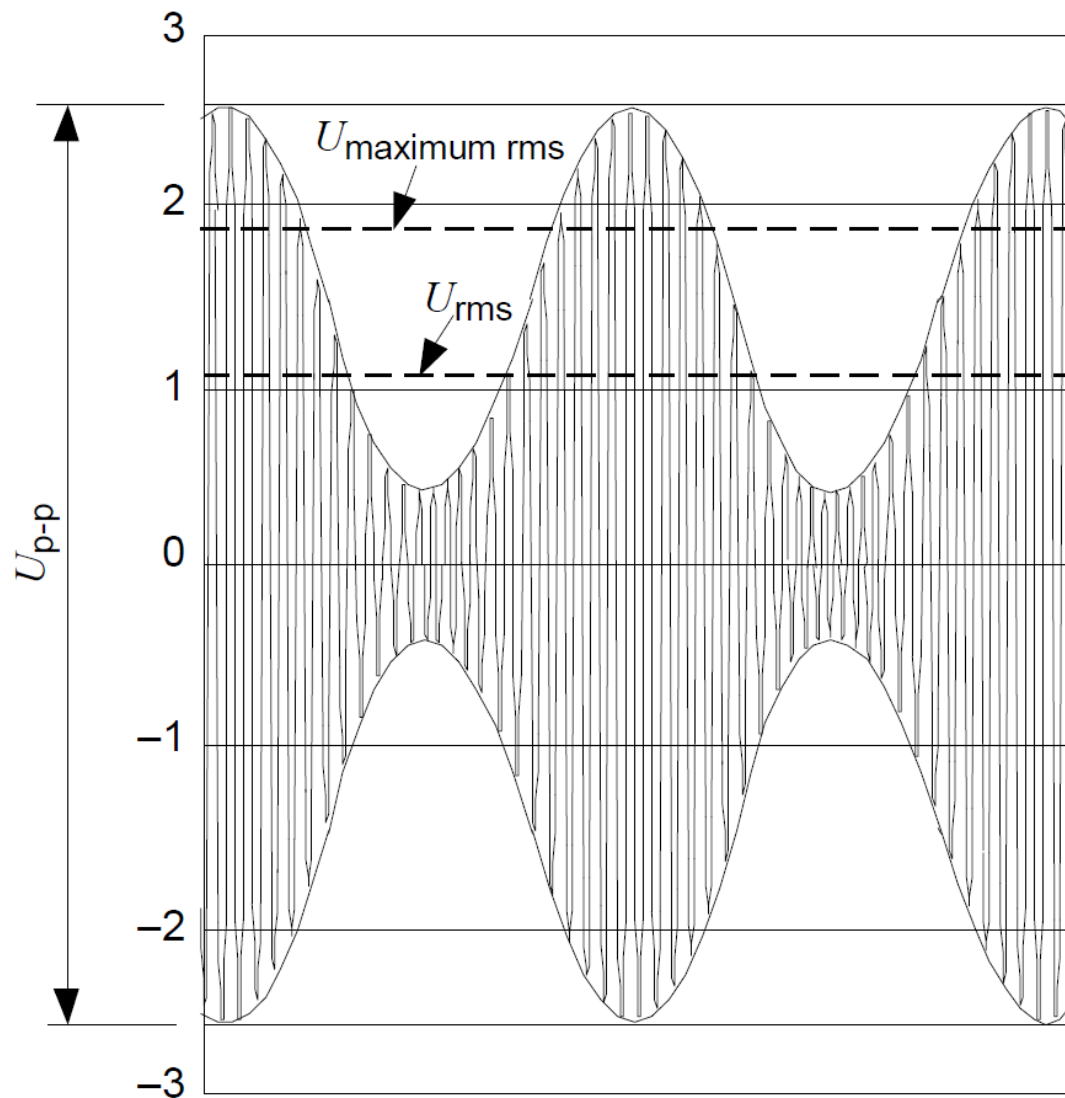
Kalibrace komory GTEM



Frequency range	Typical calibration frequencies MHz
f_0 to 1 GHz	f_0 , 50, 100, 150, 200, ..., 950, 1 000
Above 1 GHz	1 000, 1 200, 1 400, ...
NOTE f_0 is the lowest frequency of the probe under calibration.	

Calibration level	Calibration field strength V/m
1	2
2	6
3	20
4	60
X	Y
NOTE X , Y is an open calibration level. This level may be given in the product specification or by the test laboratory.	

Tvary vlny pro měření odolnosti v GTEM



$$f_{\text{mod}} = 1 \text{ kHz}$$

amplitudová modulace

Měření energie elektromagnetického pole

- Provedení zkoušky dle nařízení vlády č. 291/2015 o ochraně zdraví před neionizujícím zářením



Tabulka č. 1 Frekvenční průběh veličiny E^{limit} (efektivní hodnoty)

f [Hz]	E^{limit} [$\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$]
0 – 25	20 000
25 – 3 000	$5\cdot 10^5 / f$
3 000 – $3,6\cdot 10^6$	170
$3,6\cdot 10^6$ – 10^7	$6,1\cdot 10^8 / f$
10^7 – $4\cdot 10^8$	61
$4\cdot 10^8$ – $2\cdot 10^9$	$0,003\cdot f^{0.5}$
$2\cdot 10^9$ – $3\cdot 10^{11}$	137

Tabulka č. 2 Frekvenční průběh veličiny B^{limit} (efektivní hodnoty)

f [Hz]	B^{limit} [T]
0 – 1	0,025
1 – 25	$0,025 / f$
25 – 300	10^{-3}
300 – 3 000	$0,3 / f$
3 000 – $2\cdot 10^4$	10^{-4}
$2\cdot 10^4$ – 10^7	$2 / f$
10^7 – $4\cdot 10^8$	$2\cdot 10^{-7}$
$4\cdot 10^8$ – $2\cdot 10^9$	$10^{-11} f^{0.5}$
$2\cdot 10^9$ – $3\cdot 10^{11}$	$4,5\cdot 10^{-7}$

Tabulka č. 3 Frekvenční průběh veličiny S^{limit}

f [Hz]	S^{limit} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
10^7 – $4\cdot 10^8$	10
$4\cdot 10^8$ – $2\cdot 10^9$	$f / 4\cdot 10^7$
$2\cdot 10^9$ – $3\cdot 10^{11}$	50

Měření blízkého elektromagnetického pole

- Měření na zapojení spínaného stabilizátoru – správné provedení x špatné provedení

