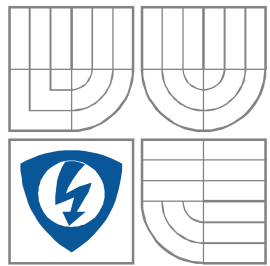




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**  
**ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## **ZKOUŠKY EMS**

EMS TESTING

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

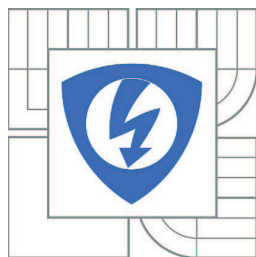
**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**MICHAL DUŠEK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. MARIE HAVLÍKOVÁ, Ph.D.**

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Automatizační a měřicí technika**

**Student:** Michal Dušek

**ID:** 98504

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2010/2011

**NÁZEV TÉMATU:**

## Zkoušky EMS

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Vypracujte přehled obecné metodiky zkoušek EMS elektronických přístrojů a popište vyhodnocovací kritéria podle platných norem ČSN EN.
2. Popište technické parametry a zkušební funkce simulátoru rušení SEAWARD MACE.
3. Popište konstrukční provedení a měřicí funkce testovaného vývojového vzorku přístroje od firmy MEGa.
4. Realizujte simulátorem rušení SEAWARD MACE zkoušky odolnosti testovaného vzorku MEG42 v rozsahu možností laboratoře ÚAMT.
5. Proveďte analýzu a zhodnocení výsledků zkoušek, doporučte optimální řešení.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Dle pokynů vedoucí práce a literární rešerše.
- [2] Svačina, J.: Základy elektromagnetické kompatibility, seriál článků.
- [3] Vaculíková, P., Vaculík, E. a kolektiv: Elektromagnetická kompatibilita technických systémů Grada Publishing, spol.s.r.o., Praha 1998

**Termín zadání:** 7.2.2011

**Termín odevzdání:** 30.5.2011

**Vedoucí práce:** Ing. Marie Havlíková, Ph.D.

**prof. Ing. Pavel Jura, CSc.**  
*Předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá problematikou elektromagnetické kompatibility. Počátek práce je věnován obecnému popisu problematiky EMC. Následná část zmiňuje jednotlivé zkoušky odolnosti. Další kapitola se zabývá přístrojem Seaward Mace a podrobnějšímu popisu zkoušek odolnosti. V poslední části je popsán zkoušený přístroj a realizace zkoušek v prostorách laboratoře elektrických měření Ústavu automatizace a měřicí techniky FEKT.

## **Klíčová slova**

elektromagnetická kompatibility, zkoušky odolnosti, zkušební postup, EMS

## **Abstract**

The bachelor thesis deals with electromagnetic compatibility. Beginning of this thesis is devoted to general problems of EMC. Next part refers of the various tests for robustness. The next chapter deals with device Seaward Mace and a more detailed description of the resistance tests. The last part describes the test apparatus and implementation tests in the laboratory measurement of the Institute of Electrical Control and Instrumentation FEEC.

## **Keywords**

electromagnetic compatibility, tests robustness, test procedure, EMS

### **Bibliografická citace:**

DUŠEK, M. *Zkoušky EMS*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 53s. Vedoucí bakalářské práce byla Ing. Marie Havlíková, Ph.D..

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Zkoušky EMS jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **27. května 2011**

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucí bakalářské práce Ing. Marii Havlíkové, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **27. května 2011**

.....  
podpis autora

## **OBSAH:**

<b>Abstrakt</b> .....	<b>3</b>
<b>Klíčová slova</b> .....	<b>3</b>
<b>Bibliografická citace</b> .....	<b>4</b>
<b>Prohlášení</b> .....	<b>5</b>
<b>Poděkování</b> .....	<b>6</b>
<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>2 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA</b> .....	<b>10</b>
2.1 Elektromagnetické rušení .....	12
2.1.1 Druhy rušení.....	13
2.1.2 Obecné dělení rušení .....	13
2.1.3 Šíření rušení a elektromagnetické vazby .....	15
2.2 Normy, předpisy a doporučení v oboru EMC .....	17
2.2.1 Směrnice Rady Evropské unie č. 89/336/EEC.....	17
2.2.2 Značka CE.....	20
<b>3 PŘEHLED ZKOUŠEK ODOLNOSTI</b> .....	<b>21</b>
<b>4 SIMULÁTOR RUŠENÍ SEAWARD MACE</b> .....	<b>27</b>
4.1 Popis přístroje.....	28
4.2 Zkušební signály přístroje .....	29
4.3 Technické parametry .....	30
<b>5 ZKUŠEBNÍ TESTY SEAWARD MACE</b> .....	<b>31</b>
5.1 Elektrostatický výboj ČSN EN 61000-4-2 .....	31
5.1.1 Zkušební úrovně.....	31
5.2 Rychlé elektrické přechodové jevy/skupiny jevů ČSN EN 61000-4-4 .....	32
5.2.1 Definice zkušebních úrovní rychlých přechodových jevů/skupin impulsů .....	32
5.2.2 Metodika zkoušky .....	33
5.3 Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí ČSN EN 61000-4-11 .....	35
5.3.1 Zkušební úrovně.....	35
5.3.2 Zkušební generátor.....	37
5.4 Obecné podmínky platné pro všechny typy zkoušek uvedené v kapitolách 4.1, 4.2, 4.3 .....	40
5.4.1 Postup zkoušky .....	40
5.4.2 Vyhodnocení výsledků zkoušky .....	40
5.4.3 Protokol o zkoušce .....	41
<b>6 PARAMETRY TESTOVANÉHO PŘÍSTROJE MEG 42</b> .....	<b>42</b>
6.1 Technické údaje MEG42.....	43
<b>7 REALIZACE ZKOUŠEK EMS</b> .....	<b>45</b>
7.1 Zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji .....	45

7.2	Zkouška odolnosti rychlými přechodovými jevy/skupinami impulsů .....	46
7.3	Zkouška odolnosti krátkodobými poklesy, krátkými přerušeními a pomalými změnami napětí.....	47
<b>8</b>	<b>ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ.....</b>	<b>49</b>
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>50</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>51</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....</b>	<b>52</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>53</b>
<b>13</b>	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>53</b>



# 1 ÚVOD

Ve své bakalářské práci se zabývám elektromagnetickou kompatibilitou a testováním přístroje MEG 42 na zkoušky odolnosti.

V první kapitole je popsána všeobecná problematika elektromagnetické kompatibility elektronických systémů. Jsou zde také vysvětleny elektromagnetické rušení a normy, předpisy a doporučení v oboru EMC.

Druhá část se zaměřuje na metodiku zkoušek elektromagnetické kompatibility se zaměřením na elektromagnetickou odolnost. Všechny zkoušky uvedené v této bakalářské práci jsou dle platných norem ČSN EN.

V dalším bodě bakalářské práce jsou uvedeny technické parametry a zkušební funkce simulátoru rušení SEAWAR MACE včetně možností zkoušek, které tento přístroj dokáže provést. Další kapitola se zaměřuje na tři typy zkoušek, a to na zkoušku odolnosti elektrostatickým výbojem, zkoušku odolnosti rychlými přechodovými jevy/skupin impulsů a zkoušku odolnosti krátkodobými poklesy napětí, krátkodobým přerušením a pomalými změnami napětí.

V předposlední kapitole jsou popsány technické parametry testovaného univerzálního monitoru MEG 42. Na tuto kapitolu navazuje poslední, ve které je popsáno provedení jednotlivých zkoušek odolnosti a jejich výsledky.

## 2 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

Rozvoj elektroniky, zejména mikroprocesorové techniky významně mění jak koncepci a způsoby použití elektronických zařízení, tak i nároky na jejich instalaci a stanoviště [1,2].

Přenos informací, automatická zpracování a záznam dat je vystaven působení rušivých vlivů, pocházejících od různých průmyslových zdrojů rušení, jako například výkonové spínače, stykače, relé, obloukové pece, vf ohřev, komutátorové motory, výkonové polovodičové měniče. Rušivé vlivy prostředí se projevují nežádoucími vazbami, interferenčním šumem, rezonančními a přechodnými jevy, mohou vyvolat nejen nesprávnou funkci elektronických zařízení nebo zkreslení či znehodnocení přenosu a záznamu dat, ale v některých extrémních případech mohou způsobit i destrukci citlivých elektronických obvodů. Jak omezení rušení na jedné straně, tak zvyšování odolnosti elektronických systémů a zajištění jejich elektromagnetické kompatibility na straně druhé se stává v současné době jedním z rozhodujících faktorů při současných trendech rozmachu elektroniky a počítačů v hospodářství [1,2].

Pojem „elektromagnetická kompatibility“ (EMC) vznikl v 60. letech v USA a označuje nový integrující vědeckotechnický obor, který zkoumá podmínky slučitelnosti provozu jednotlivých systémů a cesty vedoucí k její optimalizaci. H. M. Schlike, jeden z průkopníků snah o uznání elektromagnetické kompatibility jako samostatného oboru, který působil jako vedoucí oddělení technického rozvoje firmy Allan Bradley řekl: „Systém sám o sobě může být dokonale spolehlivý – bude však prakticky bezcenný v provozu, pokud současně nebude elektromagneticky kompatibilní. Spolehlivost a EMC jsou neoddelitelné požadavky systému, který má správně fungovat v každé době a za všech okolností.“ Dnes můžeme s jistotou říci, že mu čas, mnohá neštěstí a události daly za pravdu [1,2].

V důsledku neustále stoupajícího množství spotřebičů s nelineární charakteristikou, připojovaných k napájecí síti, neúnosně stoupá úroveň rušení v kmitočtovém pásmu od 0 Hz až do GHz. Vede to ke vzniku obtížných situací, protože citlivá elektronická zařízení pracující s velmi rychlou odezvou musí mnohdy pracovat v prostředí s velmi silným rušením [1,2].

Problematika EMC je ze strukturálního pohledu zaměřena na tři hlavní směry [1,2]:

**1) Elektromagnetické rušení (EMI)** – tento směr se zabývá zkoumáním příčin vzniku rušení a jeho působením, klasifikací zdrojů (generátorů) i přijímačů (receptorů) rušení a zpracovává metodiku omezení rušení a ochrany před ním. Kromě toho se zabývá rozdělením a využíváním kmitočtového spektra a konečně i působením elektromagnetické energie na živé organismy a na přírodní prostředí vůbec.

**2) Citlivost na rušení (EMS)** – neboli odolnost proti rušení. Jejím význačným znakem je, že se neměří, ale testuje na základě tzv. funkčních kritérií. U zkoušeného (testovaného) zařízení, podrobeného působení rušivých emisí, jejichž úroveň se měří, se sleduje, kdy (při jaké úrovni emise) který poruchový stav nastane. Na základě znalosti jeho funkce (včetně vnitřních stavů) se stanoví typy poruch, odstupňované podle závažnosti, a to na:

- normální funkce,
  - dočasné zhoršení nebo ztráta funkce, která se sama zotaví,
  - dočasné zhoršení nebo ztráta funkce, která se sama nezotaví a vyžaduje zásah obsluhy,
  - zhoršení nebo ztráta funkce, kterou nelze obnovit (například poškození součástí).
- Takto se testuje například odolnost proti elektrostatickému výboji, elektromagnetickému poli, skupině impulsů (burst), výbojům rušení po vedení apod.

**3) Analýza elektromagnetické kompatibility (EMC)** – prognóza možných zdrojů rušení, stanovení typových charakteristik slučitelnosti jednotlivých složek systému (včetně jejich matematických modelů) a prognóza slučitelnosti charakteristik celého systému. Na základě statistických údajů stanoví možnosti vzniku elektromagnetického rušení mezi jednotlivými částmi uvnitř systému nebo mezi systémy a definuje požadavky na jejich odolnost proti rušení.

Hlavní náplní této analýzy je prognóza vzniku elektromagnetického rušení a plánování mezisystémové a vnitrosystémové kompatibility. Na základě analýzy projektu se určují specifické systémové požadavky na tzv. elektromagnetické klima, tj. přípustné meze rušení v určitém kmitočtovém spektru a přípustný průběh rušivých signálů. Po teoretickém rozboru založeném na matematických metodách (je-li to možné) se provedou zkoušky speciálním měřením pro získání fyzikálních údajů. Měří se u zdrojů rušení, na přenosové cestě a u přijímačů rušení. Není-li možnost provést zkoušky na začátku projektu, provedou se dodatečně a tím se zkoriguje správnost jednotlivých technicko-organizačních opatření [1,2].

## 2.1 ELEKTROMAGNETICKÉ RUŠENÍ

Jde v podstatě o nežádoucí ovlivňování normální funkce elektrického nebo elektronického zařízení elektromagnetickou energií vyzařovanou v kmitočtovém spektru od 0 Hz až po desítky GHz. Rušení však nezamožuje jen určité části kmitočtového spektra využívaného k přenosu. Jeho působení se projevuje i různými nepřímými účinky na životní prostředí vůbec, a proto se dnes považuje za problém nejen technický, ale i ekologický [1,2].

Vysokofrekvenční nebo rádiové rušení lze definovat jako nežádoucí ovlivňování normální funkce elektrického nebo elektronického zařízení vysokofrekvenční energií, jejíž kmitočtové spektrum začíná od 10 kHz. Příčinou vzniku vysokofrekvenčního rušení je taková činnost elektrického zařízení, při které dochází k náhlé změně proudu procházejícího jeho obvodem [1,2].

Na mezinárodní úrovni se problematikou rušení zabývají různé organizace a jejich národní výbory v jednotlivých zemích. Jednou z nejvýznamnějších institucí je Speciální mezinárodní komise pro radioelektronické rušení (CISPR) při Mezinárodní elektrotechnické komisi (IEC) [1,2].

Elektromagnetické rušení se podle vzniku dělí na dvě základní skupiny:

- rušení technické, tj. vytvořené technickými prostředky,
- rušení přirozené.

Podle systémového hlediska lze rušení rozdělit na rušení:

- vnější,
- mezisystémové,
- vnitřní, vnitrosystémové.

Vnější rušením rozumíme veškeré elektromagnetické rušení působící na systém z okolního prostředí. Užším pojetím vnějšího rušení je rušení vzájemné nebo mezisystémové, tj. působené navzájem různými systémy nebo zařízeními. Vnitřní rušení vzniká v zařízení nebo v systému samém [1,2].

Každý systém nebo zařízení, nebo jejich určitá část, může být současně jak vysílačem (zdrojem), tak i přijímačem rušení. Přitom zdroj a přijímač jsou vždy mezi sebou vázány parazitní vazbou. V technické praxi obvykle můžeme člen méně citlivý na rušení a generující vyšší úroveň rušení označit jako zdroj (vysílač) rušení, a naopak citlivější člen s nižší úrovní generovaného rušení lze považovat za přijímač rušení [1,2].

### 2.1.1 Druhy rušení

Rušivé signály generované technickými zdroji rušení lze podle povahy obecně rozdělit do tří základních skupin [1,2]:

**Šum** (*noise, mezinárodní zkratka „N“*)

Patří sem změny, které se projevují účinkem na tvar křivky napětí a má převážně periodický charakter. Typickými zdroji šumu jsou motory a klasické rotační svářečky.

**Impulsy** (*spikes, mezinárodní zkratka „S“*)

Jsou změny impulsové povahy, které mají velký poměr amplitudy k době trvání a jsou superponovány na napětí sítě jako kladné nebo záporné špičky. Příčinou vzniku impulsů jsou spínací pochody a typickými zdroji impulsního rušení jsou všechny kontaktní spínací přístroje.

**Přechodové jevy** (*transients, mezinárodní zkratka „T“*)

Jsou náhodné jednorázové děje, které se projevují zpravidla v obálce křivky napětí, s dobou trvání od několika period síťového napětí do několika sekund. Zpravidla jsou vyvolány náhlou změnou zatížení rozvodné sítě při zapínání a vypínání spotřebičů velkých výkonů.

Vzhledem k postiženému kmitočtovému spektru a fyzikálnímu působení se rušení dělí na [1,2]:

**Nízkofrekvenční**, které působí na elektrizační soustavu je tzv. „energetické“ a způsobuje hlavně zkreslení průběhu napájecího napětí a odebíraného proudu energetických sítí. Zdrojem energetického nf rušení je každá nelineární zátěž odebírající z napájecí sítě deformovaný nesinusový proud,

**Rádiové**, které v pásmu radiových kmitočtů, tj. v pásmu od 9kHz do 400GHz.

Protože se působení zdrojů rušení navzájem prolíná, navíc jsou ve sdělovací a přenosové, informační a řídicí technice vždy velmi složité vztahy, není možné přesně klasifikovat zdroje (i přijímače) rušení jen podle fyzikálního charakteru rušení a jeho kmitočtového spektra [1].

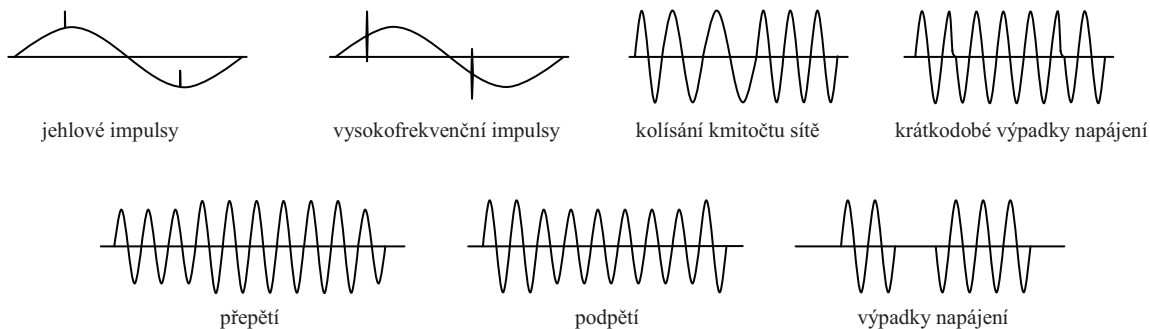
### 2.1.2 Obecné dělení rušení

**Zdroje rušení působící na elektrické rozvodné sítě**

Patří sem veškerá výkonová zařízení nn a vn (generátory, transformátory, VPM), produkující vyšší harmonické základního síťového kmitočtu. Dále zdroje rušení obsahující kontaktní spínací mechanismy, které vyvolávají přechodné jevy spojené se spínacími pochody a projevující se jako vf oscilace s kmitočtem od jednoho až do několika MHz a amplitudou až tisíce voltů. Toto rušení je typické hlavně pro sítě vn a vvn, ale přes parazitní kapacitní vazby se dostává i do sítí nn. Typické zdroje rušení

v sítích mn jsou stykače, jističe a relé, které produkují při spínacích pochodech rušivé impulsy s velkou strmostí, řádově V/ $\mu$ s až V/ns a amplitudou až do několika kV.

Ke zdrojům rušení ovlivňujícím napájecí síť také patří různé skupiny elektrických spotřebičů připojených k této síti, i vysílače HDO, které v pásmu nízkých kmitočtů vysílají pomalé impulsní signály o výkonech až stovek kVA [1,2].



**Obrázek 1.** Typické průběhy rušivého napětí

**Lokální elektrostatické výboje (ESD)**, způsobující velmi nebezpečné rušení, které má sice nízkou energii, ale vysokou hodnotu amplitudy napětí. Toto rušení má destruktivní účinky, zejména na integrované obvody typu CMOS, a negativně ovlivňuje funkci a životnost elektronických zařízení [1,2].

**Atmosférické výboje, blesky**, jsou příčinou vzniku strmého elektromagnetického impulsu (LEMP), který může mít silné až destruktivní účinky na zasažené nebo i vzdálenější elektronická zařízení. Při nepřímém účinku blesku se může rázový napěťový impuls dostat do vnitřního elektrického rozvodu přes parazitní vazby a způsobit značné škody na elektronickém zařízení [1,2].

**Nukleární elektromagnetický impuls (NEMP)** vzniká při výbuchu nukleárních bomb. Je charakterizován strmou náběžnou hranou s dobou trvání řádově  $\mu$ s a velkou amplitudou proudu řádově stovky kA. Rušivé a destruktivní účinky NEMP jsou relativně mnohem větší než účinky elektromagnetických pulsů LEMP způsobených bleskem a ovlivňují veškeré elektronické a elektrotechnické systémy, které se nacházejí v lokalitě působení bomby. Rozsah a dosah rušivých a destruktivních účinků záleží především na typu jaderné nálože, výšce a intenzitě jaderné nálože nad zemí [1,2].

Rozhlasové a televizní vysílače, radarové stanice, mobilní telefony, hodinové (taktovací) signály elektronických systémů mohou pro určitá elektronická zařízení představovat zdroje trvalého spojitého úzkopásmového nebo nespojitého impulsního rušení, které je schopno vážně narušit jejich činnost [1].

### 2.1.3 Šíření rušení a elektromagnetické vazby

Každý rušivý zdroj šíří rušivou energii dvěma způsoby:

**po vedení formou rušivých proudů** a jimi vyvolaných rušivých napětí na impedancích sítě a zátěže,

**vyzařováním** ve formě elektromagnetického pole.

U průmyslových aplikací převládá rušení po vedeních nad rušivým vyzařováním, u přírodních zdrojů je naopak primárním způsobem šíření rušení vyzařováním.

Nežádoucí, parazitní elektromagnetické vazby se výraznou a často převažující měrou podílejí na vzniku elektromagnetického rušení a u určitých druhů vazeb se na jejich vzniku podílí nevhodná konstrukce, nevhodná instalace a nevhodné umístění.

Parazitní vazby lze rozdělit podle druhu na vazby:

- galvanické nebo induktivní,
- indukční a kapacitní,
- vyzářeným elektromagnetickým polem.

#### **Galvanická vazba**

Vzniká vždy, když je mezi zdrojem rušení a přijímačem rušení společná impedance, která mezi těmito objekty tvoří přenosový člen s výraznou galvanickou složkou, tj. složkou založenou na elektrické vodivosti. Rušivá napětí a proudy, které se šíří po vedeních se dělí na symetrické a nesymetrické rušení. Symetrická složka rušení se šíří po fázových vodičích (případně po fázovém a nulovém vodiči) a uzavírá se přes náhradní impedanci vedení. Nesymetrická složka rušení se šíří mezi jednotlivými fázovými vodiči a zemí [1,2].

*Vazba společnou impedancí napájecí sítě* vzniká všude tam, kde pracovní napájecí proudy zdroje rušení a přijímače rušení protékají v určité délce společným vedením a na tomto úseku vzniká úbytek napětí způsobený pracovním proudem zdroje rušení. Tento úbytek napětí pak působí obdobně jako modulační napětí u amplitudové modulace (např. společné vedení, společný distribuční transformátor, společný oddělovací či napájecí transformátor, ve vysokém vnitřním odporu stabilizátoru nebo napájecím zdroji, vysoký přechodový odpor přepínačů nebo konektorů) [1,2].

*Vazba společnou impedancí mezi zdrojem a přijímačem rušení* vzniká v obvodech zpracování signálů pronikáním rušení z napájecí sítě do řídicích obvodů u měničů vedených sítí, snímačů neelektrických veličin, převodníků, referenčních zdrojů [1,2].

*Vazba společnou impedancí zpětného vodiče* tato vazba vzniká na zpětném vodiči a má podobné znaky jako vazba společnou impedancí napájecí sítě. Zpětný vodič bývá často použit na určité části vedení i jako vodič ochranný a po celé své délce bývá často

považován za vodič vztažený s referenčním nulovým potenciálem (např. nedůsledné oddělení zpětného vodiče zdrojů, oddělení obvodů digitálních a logických, nevhodné meziobvodové vazby plovoucích bloků, chyby v důsledném oddělení proudových smyček vyhlazovacích filtrů usměrňovačů a stabilizátorů od proudových smyček obvodů analogových a digitálních v měřicí technice a oblasti zpracování dat) [1,2].

*Vazba společnou impedancí zemniče* je nebezpečná tím, že zemnič je ve funkci při poruchovém stavu. Napětí, které na něm vzniká v průběhu poruchy je zemnicím vodičem rozvedeno do všech připojených zařízení a porucha se tak může lavinovitě rozšířit. Zemnicí vodič, kromě ochrany před nebezpečným dotykovým napětím, svádí k zemi všechna rušivá napětí, jejichž vliv je odstraňován stíněním a po celé délce instalace má vytvářet ekvipotenciální plochu s nulovým potenciálem [1,2].

### **Indukční vazba**

Vzniká na základě principu elektromagnetické indukce mezi dvěma nebo více elektrickými obvody, protéká-li alespoň jedním z nich elektrický proud. Indukční vazba, která je přímým důsledkem působení magnetického pole zdroje rušení na sousední obvody, se projevuje hlavně vazbou mezi spojovacími vedeními těchto obvodů a je **dominantní vazbou u nízkoimpedančních obvodů**. Uplatňuje se nejen mezi sousedními uzavřenými obvody nebo vodiči tvořícími s ostatními prvky obvodu uzavřený obvod, ale také mezi vedením, stínícími pláště, uzemňovacími vodiči a konstrukčními prvky, které mohou tvořit uzavřené pasivní obvody, v některých případech i se značnými proudy [1,2].

### **Kapacitní vazba**

Se zvyšujícím se kmitočtem se začíná více uplatňovat vazba obvodů elektrickým polem, tzv. kapacitní vazba. Tato vazba vzniká díky přítomnosti parazitních kapacit jak mezi jednotlivými vodiči, tak i mezi vodiči a zemí. Kapacita mezi vodiči a mezi vodičem a zemí se zmenšuje s logaritmem vzdálenosti vodičů, případně s výškou vodiče nad zemí, a zvětšuje se s průměrem vodiče. Kapacitní vazba je **dominantní vazbou u vysokoimpedančních obvodů** [1,2].

Pro zmenšení kapacitní vazby, stejně jako i indukční vazby, je nutné obvod zdroje rušení co nejvíce vzdálit od ostatních obvodů [1].

### **Vazba vyzářeným elektromagnetickým polem**

Tato vazba vzniká v těch případech, kdy vzhledem k velkým vzdálenostem je vyloučena vazba indukční a kapacitní. Rušení způsobené parazitní vazbou vyzářováním se dostává do přijímače rušení přes anténu nebo její svod. Pod pojmem anténa zde rozumíme nejen účelové zařízení, ale i část obvodu přijímače rušení, která může jako anténa sloužit. U měřicích přístrojů často jako anténa slouží nepoužitý vstup (jakýkoliv konektor) neuzavřený stínící krytkou. Vazba rušivým elektromagnetickým polem se uplatňuje v pásmu krátkých a velmi krátkých vln. Toto rušení je vyzářováno převážně



vedením a jeho geometrické uspořádání určuje směr a rozložení rušivé energie v prostoru. Výkon rušivého elektromagnetického pole přenášený do ovlivňovaného prostoru je tím menší, čím menší je intenzita rušivého pole, délka souběhu rušivého a ovlivňovaného vedení průměr ovlivňovaného vodiče a čím větší je vzdálenost mezi vedením rušivého zdroje a ovlivňovaného vedení [1,2].

## **2.2 Normy, předpisy a doporučení v oboru EMC**

Evropská unie vytvořila od 1.1.1993 společný trh s volným pohybem zboží, osob, kapitálu tomuto aktu předcházela dlouhodobá práce na sblížení právního řádu, zahrnující všechny nezbytné aspekty legislativy [1,2].

Předpokladem pro řádné fungování společného trhu jsou společné, nebo velmi blízké normy a předpisy. Proto se ve všech členských státech prováděla harmonizační opatření podle doporučení Rady EU [1,2].

Jednou z nejvýznamnějších směrnic Rady EU se stala směrnice č. 89/336/EEC z 3.5.1989 „O sblížení zákonů členských států týkajících se elektromagnetické kompatibility“. Tato směrnice byla v každém státě přeložena do národního jazyka a schválena národními vládami jako zákon do 1.1.1996. Od tohoto data každý, kdo chce prodávat svoje zboží na evropských a mezinárodních trzích, musí směrnicí respektovat. Protože se jedná o veškerá elektrická a elektronická zařízení je zřejmé, že se tato problematika bezprostředně dotýká každého výrobce, prodejce a uživatele [1,2].

Velmi vysoké požadavky a na jejich základě schválené zákony o EMC jsou logickým výsledkem poznatků obrovského rozvoje elektroniky, že respektování zásad EMC úzce souvisí s kvalitou a spolehlivostí výrobků. Podceňování těchto zásad při vývoji, konstrukci, projektování a testování výrobků a systému obsahujících elektronické obvody vede k velké poruchovosti výrobků a jejich provozní nespolehlivosti. Neznalost zásad a podmínek EMC za určitých okolností může způsobit hospodářské škody, havárie na technických zařízeních nebo ohrozit život, případně zdraví lidí [1,2].

### **2.2.1 Směrnice Rady Evropské unie č. 89/336/EEC**

Směrnicí č. 89/336/EEC tvoří 13 článků a 3 přílohy. Jejich stručný obsah je následující [1,2]:

**Článek 1** obsahuje definice základních pojmů užitých ve Směrnici, přičemž technické pojmy z oblasti EMC jsou převzaty z normy IEC 50 „Mezinárodní elektrotechnický slovník“.

**Článek 2** stanoví, že Směrnice se týká přístrojů způsobujících elektromagnetické rušení a že neplatí pro ty přístroje, na něž se vztahují jiné směrnice Evropské unie.

**Článek 3** ukládá všem členským státům EU povinnost zajistit, aby se na jejich trh dostaly jen přístroje splňující požadavky Směrnice.

**Článek 4** vyjadřuje hlavní cíl Směrnice: „Přístroje nesmí generovat rušení, která narušují správnou funkci jiných přístrojů a samy musí mít adekvátní úroveň odolnosti vůči rušení, aby mohly správně fungovat“.

**Článek 5** ukládá členským státům EU, aby z důvodů EMC nebránily vstupu na své trhy těm přístrojům a zařízením, které splňují požadavky Směrnice.

**Článek 6** umožňuje členským státům, aby v nezbytných případech realizovaly na svém území opatření vedoucí k zabránění instalace určitých zařízení, i když splňují požadavky Směrnice. Takovými případy může být např. ochrana příjmu veřejného rádiového vysílání, bezpečnost státu apod.

**Článek 7** upřesňuje Článek 4 tím, že specifikuje normy, jimž musí přístroje vyhovovat, aby splňovaly požadavky Směrnice. Jsou to buď

- příslušné národní normy, které jsou přepisem harmonizovaných evropských norem EN publikovaných v Official Journal of the European Communities,
- nebo
- příslušné národní normy v případě, že harmonizované normy EN dosud neexistují.

**Článek 8** specifikuje procedurální postup, který je nutný v případě, že existuje podezření, že ani harmonizované normy nevedou ke splnění požadavků Článku 4 Směrnice.

**Článek 9** ukládá členským státům EU, aby v případě, že přístroj či zařízení nesplňuje požadavky Článku 4 Směrnice, zajistily

- stažení přístroje z trhu,
- zákaz uvádění přístroje na trh,
- omezení volného pohybu přístroje.

O každém takovém opatření musí členský stát neprodleně informovat komisi EU a uvést důvody svého rozhodnutí. Současně byl-li přístroj, jehož parametry neodpovídají požadavkům Směrnice atestován ve smyslu Článku 10 této Směrnice, musí členský stát učinit příslušná opatření proti autoru této falešné atestace.

**Článek 10** specifikuje možné způsoby tzv. **certifikace výrobků** (tj. ověření, že vyhovují příslušným normám), aby mohly být prodávány na trzích Evropské unie (tj. tam vyrobených nebo dovážených).

**Články 11, 12 a 13** jsou závěrečné - zrušující a účinnostní - články Směrnice.

**Příloha I** specifikuje požadavky na prohlášení o shodě a popis značky CE. Podle této Přílohy musí prohlášení o shodě obsahovat:

- popis předmětného výrobku,
- základní specifikaci, na kterou je shoda deklarována, případně další podniková opatření zaručující shodu výrobku s požadavky Směrnice,
- údaje o odpovědné osobě, která má právo podpisu shody výrobku.

**Příloha II** shrnuje minimální předpoklady, které musí splňovat kompetentní orgán, který je oprávněn posuzovat shodu výrobku. Těmito předpoklady jsou především:

- technicky kompetentní, kvalifikovaný a bezúhonný personál respektující služební tajemství, jeho odpovídající technické a hospodářské prostředky a vybavení;
- nezávislost vedení a technického personálu na všech orgánech, skupinách či osobách, které jsou přímo nebo nepřímo zainteresovány na provádění a výsledcích zkoušek, vydávání certifikace, osvědčení a výkonu dozoru dle Směrnice;
- uzavření záruk o povinném ručení, pokud ručitelem není přímo národní stát.

**Příloha III** uvádí seznam přístrojů, na něž se vztahuje Článek 4 Směrnice. Jsou to:

- průmyslová, zdravotnická a vědecká zařízení;
- telekomunikační sítě a zařízení včetně mobilních radiotelefonů;
- rádiové a TV přijímače, prodávaná vysílací a přijímací zařízení pro amatéry;
- rádiové a televizní vysílače;
- rádiová zařízení pro leteckou a lodní dopravu;
- zařízení informační techniky a elektronická výuková zařízení;
- elektrické a elektronické domácí spotřebiče, přenosné nářadí a podobná zařízení;
- svítidla a luminiscenční lampy.

V této Příloze jsou rovněž uvedeny výrobky a zařízení, na něž se Směrnice nevztahuje:

- neprodejná (a tedy komerčně nedostupná) rádiová zařízení pro amatéry;
- motorová vozidla, pro něž platí jiná Směrnice č. 72/245/EEC;
- implantované lékařské přístroje, pro něž platí jiná Směrnice č. 90/385/EEC;
- lékařské přístroje, pro něž platí jiná Směrnice č. 93/42/EEC.

## 2.2.2 Značka CE

Dle zákonů EU, známých jako „New Approach Directives“, veškeré výrobky volně dostupné a samostatně prodávané a provozované v zemích EU od 1.1.1996 musí být označeny značkou CE [1,2].

Značka CE není výhradní značkou EMC.

Použitím značky CE na výrobku výrobce oznamuje, že tento výrobek vyhovuje všem závazným požadavkům kladeným na tento výrobek podle všech závazných předpisů vztahujících se k tomuto výrobku ve smyslu požadavku na bezpečnost, ochranu před nebezpečným napětím, EMC, hygienu, ochranu životního prostředí apod., to je že jeho vlastnosti jsou v souladu se všemi harmonizovanými technickými předpisy EU [1,2].

Značka CE se nepropůjčuje, nedá se koupit, nikde se nedá vyzvednout povolení značku používat. Osoba odpovědná za výrobek připevní značku CE na výrobek na výrobek na vlastní odpovědnost a vystaví prohlášení o konformitě výrobku s požadavky zákonů rovněž na vlastní odpovědnost [1,2].

### **Jsou stanoveny dva možné způsoby certifikace**

*Cesta „norem“* pro výrobek existují evropské harmonizované nebo národní kmenové normy nebo normy výrobků. Výrobek projde typovými zkouškami v laboratoři EMC – přímo u výrobce nebo mimo něj. Vyhoví-li výrobek typové zkoušce, vystaví si sám výrobce nebo osoba odpovědná za výrobek deklaráci shody a označí výrobek značkou CE.

*Cesta „prováděcího předpisu“* je to alternativní řešení v případě, že pro výrobek nejsou vhodné ani EN ani národní kmenové normy nebo normy výrobku a neexistují vhodné testovací normy a postupy. V takovém případě dobrozdání, že výrobek splní požadavky na EMC ve formě technické zprávy nebo certifikátu vydá kompetentní orgán, což je jediné zkušebna nebo konzultant určený národní vládou.

### 3 PŘEHLED ZKOUŠEK ODOLNOSTI

#### **ČSN EN 61000-4-2 „Elektrostatický výboj – zkouška odolnosti“**

Zkouška elektrostatickým výbojem se všeobecně aplikuje na zařízení, které se používá v prostředí, kde se elektrostatický výboj může vyskytnout. Musí se vzít v úvahu přímé a nepřímé výboje. Výjimky mohou zahrnovat zařízení, jehož použití je omezeno jen na prostředí s potlačenými elektrostatickými výboji, a pokud se jedná o výrobek, který není elektrický nebo elektronický [3,4].

#### **ČSN EN 61000-4-3 „Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole – zkouška odolnosti“**

Zkouška odolnosti proti vyzařovaným rušením se všeobecně aplikuje na všechny výrobky v prostředí s výskytem vysokofrekvenčních polí. Výjimky mohou zahrnovat zařízení omezené pro použití v elektromagneticky regulovaných podmínkách nebo v prostředí elektromagnetického pole nízké úrovně, a pokud se jedná o výrobek, který není elektrický nebo elektronický [3].

#### **ČSN EN 61000-4-4 „Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů – zkouška odolnosti“**

Zkouška rychlým přechodným dějem se všeobecně aplikuje na výrobky, které jsou připojeny do sítě nebo mají kabely (signální nebo ovládací) v těsné blízkosti sítě [3,5].

#### **ČSN EN 61000-4-5 „Rázový impuls – zkouška odolnosti“**

Zkouška rázovým impulzem se všeobecně aplikuje na výrobky, které jsou připojeny do sítě obvykle opouštějící budovu nebo k hlavnímu napáječi [3].

#### **ČSN EN 61000-4-6 „Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli“**

Zkouška rušením šířeným vedením se všeobecně aplikuje na výrobky v prostředí s výskytem vysokofrekvenčních polí, a která jsou připojena k hlavnímu napáječi nebo na jiné sítě (signální nebo ovládací vedení) [3].

#### **ČSN EN 61000-4-8 „Magnetické pole síťového kmitočtu – zkouška odolnosti“**

Tato zkouška by se všeobecně měla omezit na výrobky, které jsou citlivé na magnetická pole (například prvky využívající Hallův efekt, obrazovky s katodovou trubicí a zvláštní výrobky určené k instalaci v prostředích vysokého magnetického pole). Výjimky zahrnují zařízení, která jsou určena k použití v prostředích nízkého magnetického pole [3].

#### **ČSN EN 61000-4-9 „Pulsy magnetického pole - zkouška odolnosti“**

Tato zkouška se používá hlavně u výrobků určených k instalaci v elektrárnách (například centra dálkového řízení v těsné blízkosti vypínačů) [3].

#### **ČSN EN 61000-4-10 „Tlumené kmity magnetického pole - zkouška odolnosti“**

Tato zkouška se používá hlavně u výrobků určených k instalaci v rozvodnách velmi vysokého napětí [3].

#### **ČSN EN 61000-4-11 „Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí - zkouška odolnosti“**

Tato norma definuje zkušební metody pro vyhodnocení odolnosti zařízení připojeného k síti nízkého napětí proti krátkodobým poklesům, přerušením a změnám napětí. Tato zkouška se používá u zařízení se jmenovitým vstupním proudem menším než 16 A připojených k střídavé síti. Tato norma popisuje také různé úrovně zkoušek, čtyři kritéria funkce, pracovní podmínky při zkoušce zařízení a zkušební sestavu. Jedná se o základní normu, která se může použít jako nástroj pro komise výrobku, které definují své vlastní normy odolnosti EMC [3,6].

#### **ČSN EN 61000-4-12 „Oscilační vlny - zkouška odolnosti“**

Zkouška tlumenou sinusovou vlnou se používá u zařízení připojených k střídavé síti v určitých zemích (například rozvodná síť v USA). Zkouška tlumenou oscilační vlnou se používá u zařízení použitého v elektrárnách a v rozvodnách velmi vysokého napětí (například statická relé) [3].

#### **ČSN EN 61000-4-13 „Harmonické a meziharmonické včetně síťové signalizace na střídavém vstupu/výstupu napájení - nízkofrekvenční zkoušky odolnosti“**

Tato zkouška se může použít u zařízení citlivého na přesný časový průchod střídavého síťového napětí nulou nebo na specifické harmonické složky [3].

#### **ČSN EN 61000-4-14 „Kolísání napětí - zkouška odolnosti“**

Kolísání napětí má všeobecně amplitudu nepřesahující 10 %. Proto většina zařízení není kolísáním napětí rušena. Tato zkouška se však může použít u zařízení určeného k instalaci v místech, kde síť má větší kolísání [3].

#### **ČSN EN 61000-4-16 „Zkouška odolnosti proti nesymetrickým rušením šířeným vedením v kmitočtovém rozsahu 0 Hz až 150 kHz“**

Tato zkouška se musí použít jen pro velmi speciální zařízení v rozsáhlých instalacích (například průmyslové závody). Tato norma definuje zkušební metodu pro vyhodnocení odolnosti zařízení proti nesymetrickým rušením šířeným vedením v kmitočtovém rozsahu 0 Hz až 150 kHz. Tato norma popisuje také různé úrovně zkoušek, čtyři kritéria

funkce, pracovní podmínky při zkoušce zařízení a zkušební sestavu. Jedná se o základní normu, která se může použít jako nástroj pro komise výrobku, které definují své vlastní normy odolnosti EMC [3].

#### **ČSN EN 61000-4-17 „Zvlnění na stejnosměrném napájecím vstupu - zkouška odolnosti“**

Tato zkouška se použije na zařízení připojené na stejnosměrnou distribuční síť s vnějšími bateriemi nabíjenými během provozu zařízení [3].

#### **ČSN EN 61000-4-20 „Zkoušky emise a odolnosti ve vlnovodech s příčným elektromagnetickým polem (TEM)“**

Tato norma specifikuje zařízení a zkušební postupy pro zkoušení vyzařovanými elektromagnetickými poli v buňkách TEM [3].

#### **ČSN EN 61000-4-21 „Odrázové komory“**

Tato norma specifikuje zařízení a zkušební postupy pro zkoušení vyzařovanými elektromagnetickými poli v odrazových komorách [3].

#### **ČSN EN 61000-4-23 „Zkušební metody zařízení pro ochranu proti HEMP a jinému vyzařovanému rušení“**

Tato norma pokrývá zkoušení ochranných prvků navržených pro zmenšení úrovně vyzařování elektromagnetických polí z HEMP a z jiných přechodných jevů velkého výkonu [3].

#### **ČSN EN 61000-4-24 „Zkušební metody pro ochranné prostředky pro rušení HEMP šířené vedením“**

Tato norma pokrývá zkoušení napěťového průrazu a charakteristiky omezení napětí ochranných prostředků proti HEMP [3].

#### **ČSN EN 61000-4-25 „Metody zkoušky odolnosti proti HEMP pro zařízení a systémy“**

Tato norma specifikuje základní zkušební metody HEMP a příslušné úrovně zkoušení odolnosti proti rušením šířeným zářeními a vedením. Platí pro zařízení a systémy určené k odolání proti účinku HEMP [3].

#### **ČSN EN 61000-4-27 „Nesymetrie - zkouška odolnosti“**

Tato zkouška se může použít na trojfázová zařízení se jmenovitým vstupním fázovým proudem do 16 A, připojeným k trojfázové střídavé síti. Tato zkouška však neplatí pro zařízení odebírající trojfázový výkon, který je však využit jednofázovým způsobem [3].

#### **ČSN EN 61000-4-28 „Změny síťového kmitočtu - zkouška odolnosti“**

Zkouška změnami síťového kmitočtu se všeobecně nepoužívá. Může se však použít na zařízení určené k instalaci v místech, kde síťový kmitočet se značně mění (například zařízení připojené k nouzovému zdroji napájení [3]).

#### **ČSN EN 61000-4-29 „Krátkodobé poklesy, krátká přerušení a změny napětí na vstupech stejnosměrného napájení - zkouška odolnosti“**

Tato zkouška se všeobecně aplikuje na vstupy stejnosměrného napájení [3].

#### **ČSN EN 61000-4-34 „Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí - zkoušky odolnosti pro zařízení se vstupním fázovým proudem větším než 16 A“**

Tato zkouška platí pro zařízení se jmenovitým vstupním fázovým proudem větším než 16 A připojená k střídavé síti [3].

Návod o použitelnosti jednotlivých norem je v tabulce 1.

Použije-li se jakákoliv norma podle seznamu v tabulce 1, odpovídající položka v tabulce 2 uvádí návod pro výběr vstupů/výstupu EUT určených ke zkoušení [3].



Základní norma	Popis	Použitelnost <sup>a</sup>		
		Prostory obytné, obchodní a lehkého průmyslu	Průmyslová zóna	Speciální (např. elektrárna)
61000-4-2	ESD	g.a.	g.a.	g.a.
61000-4-3	Vyzařované elektromagnetické pole	g.a.	g.a.	g.a.
61000-4-4	EFT/skupina impulzů	g.a.	g.a.	g.a.
61000-4-5	Rázový impuls	g.a.	g.a.	g.a.
61000-4-6	Rušení šířená vedením způsobená RF poli	g.a.	g.a.	g.a.
61000-4-7	Všeobecná směrnice o měření a měřících přístrojích harmonických a meziharmonických	n.i.s.	n.i.s.	n.i.s.
61000-4-8	Magnetické pole 50/60Hz	může	může	g.a.
61000-4-9	Impulzní magnetické pole	g.n.a.	g.n.a.	g.a.
61000-4-10	Tlumené oscilační magnetické pole	g.n.a.	g.n.a.	g.a.
61000-4-11	Krátkodobé poklesy a přerušení napětí	g.a.	g.a.	g.a.
61000-4-12	Oscilační vlny „tlumená sinusová vlna“	může	může	může
61000-4-13	Harmonické, meziharmonické, síťová signalizace	může	může	může
61000-4-14	Kolísání napětí	může	může	může
61000-4-15	Flikrmetr	n.i.s.	n.i.s.	n.i.s.
61000-4-16	Nesymetrická rušení šířená vedením v rozsahu 0 Hz až 150 kHz	g.n.a.	Může	g.n.a.
61000-4-17	Zvlnění na stejnosměrném napájení	g.n.a.	může	g.n.a.
61000-4-18	Oscilační vlny – zkouška odolnosti	g.n.a.	může	může
61000-4-19	Neobsazené			
61000-4-20	Vlnovody TEM	b	b	b
61000-4-21	Odrazové komory	b	b	b
61000-4-22	Neobsazené			
61000-4-23	Metody zkoušky pro ochranný prostředek; vyzařované rušení HEMP	g.n.a.	g.n.a.	g.n.a.
61000-4-24	Metody zkoušky pro ochranný prostředek; rušení HEMP šířená vedením	g.n.a.	g.n.a.	g.n.a.
61000-4-25	Metody zkoušky pro zařízení a systémy; HEMP	g.n.a.	g.n.a.	g.n.a.
61000-4-27	Nesymetrie v trojfázových sítích	může	může	může
61000-4-28	Změny síťového kmitočtu	g.n.a.	g.n.a.	g.n.a.
61000-4-29	Krátkodobé poklesy, krátká přerušení a změny napětí na vstupech stejnosměrného napájení	může	může	může
61000-4-30	Měření parametrů kvality energie	n.i.s.	n.i.s.	n.i.s.
61000-4-32	Přehled simulátorů HEMP	n.i.s.	n.i.s.	n.i.s.
61000-4-33	Metody měření parametrů přechodných jevů velkého výkonu	n.i.s.	n.i.s.	n.i.s.
61000-4-34	Krátkodobé poklesy a krátká přerušení napětí	g.a.	g.a.	g.a.
<sup>a</sup> Vysvětlivky použitelnosti: n.i.s. = nejedná se o normu odolnosti g.a. = všeobecně se aplikuje s výjimkou zvláštních případů		g.n.a. = všeobecně se neaplikuje s výjimkou zvláštních případů může = může se aplikovat za určitých okolností. <sup>b</sup> Zkušební metoda, která je předmětem omezení uvedených v základní normě		

**Tabulka 1.** Použitelnost zkoušek odolnosti založená na lokalitě (prostředí)

Základní norma	Popis	Použitelnost <sup>a</sup>				
		Střídavé napájení	Stejnsměrné napájení	Kryt	Datové signály	Uzemnění
61000-4-2	ESD	-	g.n.a.	g.a.	g.n.a.	g.n.a.
61000-4-3	Vyzařované elektromagnetické pole	g.n.a.	g.n.a.	g.a.	g.n.a.	g.n.a.
61000-4-4	EFT/skupina impulzů	g.a.	g.a.	-	g.a.	g.a.
61000-4-5	Rázový impuls	g.a.	může	-	může	může
61000-4-6	Rušení šířená vedením způsobená RF poli	g.a.	g.a.	-	g.a.	g.a.
61000-4-7	Všeobecná směrnice o měření a měřících přístrojích harmonických a meziharmonických	n.i.s.	n.i.s.	n.i.s.	n.i.s.	n.i.s.
61000-4-8	Magnetické pole 50/60Hz	-	-	může	-	-
61000-4-9	Impulzní magnetické pole	-	-	může	-	-
61000-4-10	Tlumené oscilační magnetické pole	-	-	může	-	-
61000-4-11	Krátkodobé poklesy a přerušení napětí	g.a.	-	-	-	-
61000-4-12	Oscilační vlny „tlumená sinusová vlna“	může	g.n.a.	-	může	g.n.a.
61000-4-13	Harmonické, meziharmonické, síťová signalizace	může	-	-	může	-
61000-4-14	Kolísání napětí	g.n.a.	-	-	-	-
61000-4-15	Flikrmetr	n.i.s.	n.i.s.	n.i.s.	n.i.s.	n.i.s.
61000-4-16	Nesymetrická rušení šířená vedením v rozsahu 0 Hz až 150 kHz	g.n.a.	g.n.a.	-	g.n.a.	-
61000-4-17	Zvlnění na stejnosměrném napájení	-	může	-	-	-
61000-4-18	Oscilační vlny – zkouška odolnosti	může	může	-	může	může
61000-4-19	Neobsazené					
61000-4-20	Vlnovody TEM	-	-	-	-	-
61000-4-21	Odrasové komory	-	-	-	-	-
61000-4-22	Neobsazené					
61000-4-23	Metody zkoušky pro ochranný prostředek; vyzařované rušení HEMP	g.n.a.	g.n.a.	g.n.a.	g.n.a.	g.n.a.
61000-4-24	Metody zkoušky pro ochranný prostředek; rušení HEMP šířené vedením	g.n.a.	g.n.a.	g.n.a.	g.n.a.	g.n.a.
61000-4-25	Metody zkoušky pro zařízení a systémy; HEMP	g.n.a.	g.n.a.	g.n.a.	g.n.a.	g.n.a.
61000-4-27	Nesymetrie v trojfázových sítích	může	-	-	-	-
61000-4-28	Změny síťového kmitočtu	g.n.a.	-	-	-	-
61000-4-29	Krátkodobé poklesy, krátká přerušení a změny napětí na vstupech stejnosměrného napájení	-	může	-	-	-
61000-4-30	Měření parametrů kvality energie	n.i.s.	n.i.s.	n.i.s.	n.i.s.	n.i.s.
61000-4-32	Přehled simulátorů HEMP	n.i.s.	n.i.s.	n.i.s.	n.i.s.	n.i.s.
61000-4-33	Metody měření parametrů přechodných jevů velkého výkonu	n.i.s.	n.i.s.	n.i.s.	n.i.s.	n.i.s.
61000-4-34	Krátkodobé poklesy a krátká přerušení napětí	g.a.	-	-	-	-

<sup>a</sup> Vysvětlivky použitelnosti:  
n.i.s. = nejedná se o normu odolnosti  
g.a. = všeobecně se aplikuje s výjimkou zvláštních případů  
g.n.a. = všeobecně se neaplikuje s výjimkou zvláštních případů  
může = může se aplikovat za určitých okolností.

Pomlčka (-) značí, že zkouška se neaplikuje

**Tabulka 2.** Použitelnost zkoušek odolnosti založená na vstupech/výstupech EUT

## 4 SIMULÁTOR RUŠENÍ SEAWORD MACE

SEAWARD MACE je mikroprocesorem řízený simulátor rušení. Je navržen pro normy ČSN EN 61000-4-11 Krátkodobé poklesy napětí, ČSN EN 61000-4-4 Rychlé přechodné elektrické jevy/skupiny impulzů a ČSN EN 61000-4-2 Elektrostatický výboj [7].

SEAWARD MACE je cenově efektivní přístroj pro předběžné testování shody. Testy prováděné tímto přístrojem se programují pomocí alfanumerického LCD displeje s bodovou maticí a membránové klávesnice. S přístrojem je zároveň dodávána sonda pro elektrostatický výboj ESD [7].

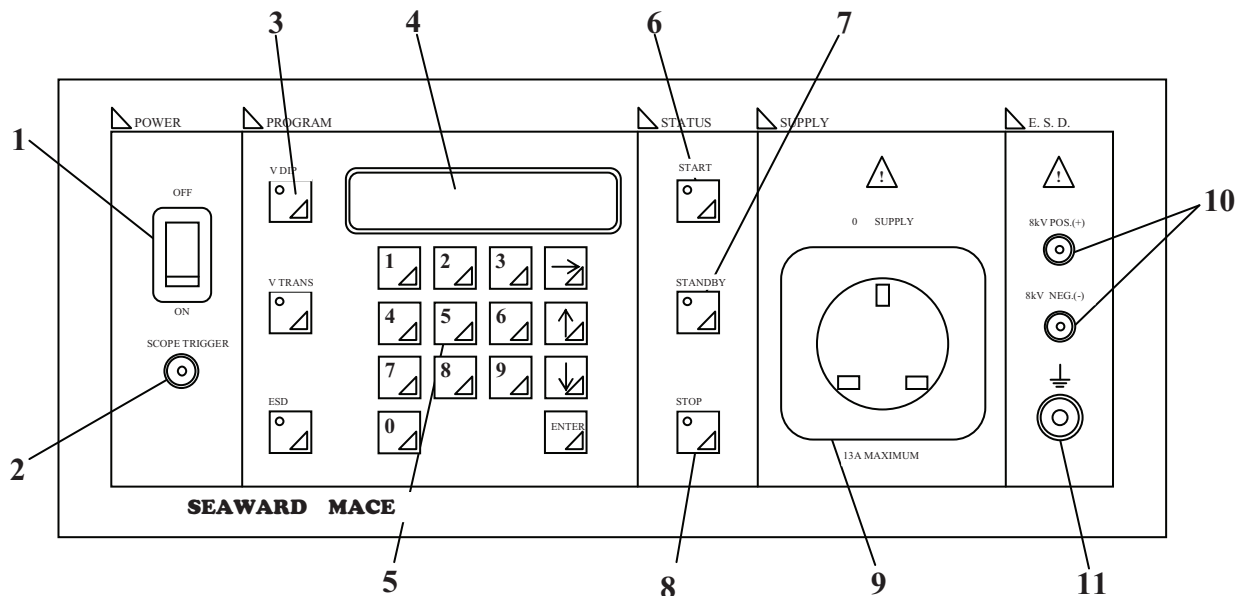
SEAWARD MACE je určen pro použití v laboratoři nebo jiném obdobném prostředí. Při provozování přístroje je nutné dbát na to, aby byl po obou stranách dostatek volného prostoru pro volné proudění vzduchu z důvodu dobrého chlazení. To platí i pro zadní stranu. Před instalací se musí uvážit vliv případných rušení, které mohou být generovány během testů. Při používání se musí vždy použít uzemněný napájecí zdroj, od kterého je napájení přivedeno pouze jedním společným kabelem. Pokud by SEAWARD MACE nebyl správně přizemněn, výsledky testů by byly neplatné a mohlo by dojít k poškození samotného přístroje [7].



Obrázek 2. Simulátor rušení Seaward Mace

## 4.1 Popis přístroje

V tomto bodě je zobrazen přední panel simulátoru SEAWARD MACE se stručnými popisy jednotlivých částí předního panelu. Přední panel je zobrazen na obrázku č. 3 [7].



Obrázek 3. Přední panel přístroje SEAWARD MACE

- 1- Hlavní vypínač
- 2- Scope Trigger – zde je spouštěcí signál pro osciloskop, kde se dají sledovat rychlé skupiny přechodových napětí
- 3- Testovací klávesy, slouží k výběru požadovaného zkušebního režimu
- 4- LCD display pro zobrazování testovacích podmínek
- 5- Klávesnice pro zadávání dat
- 6- START – tlačítko pro zahájení testování
- 7- STAND BY – tlačítko pro připojení napájení testovaného zařízení
- 8- STOP - slouží k přerušení testů a umožní uživateli vybrat jiný test. Toto neplatí pro test ESD (elektrostatický výboj), ten nemůže být přerušen poté, co byla zkouška zahájena
- 9- Síťová zásuvka – zde je připojeno testovací zařízení
- 10- ESD zásuvky – do těchto zásuvek se zapojuje sonda ESD v závislosti na požadované polaritě
- 11- Zemní svorka 4 mm – je pro měděnou desku používanou při testu ESD

## 4.2 Zkušební signály přístroje

### **Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí ČSN EN 61000-4-11 [4,7]:**

- pokles napětí 30%, 60%, a 100%  $\pm$  10%,
- trvání poklesu napětí 10 ms, 20 ms, 100 ms, 500ms, 1 sec  $\pm$ 5%,
- minimální zátěž 100 W,
- 3 poklesy napětí v intervalech 10 s.

### **Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů ČSN EN 61000-4-4 [5,7]:**

- výstupní napětí 0,5 kV, 1 kV, 2 kV, 4 kV  $\pm$  10%,
- kladná nebo záporná napětí,
- rychlost opakování 2,5 kHz nebo 5 kHz,
- délka skupiny 15 ms  $\pm$  10%,
- zpoždění skupiny 300 ms  $\pm$  10%,
- výstupní impedance generátoru 50  $\Omega$ ,
- vazba 33 nF pro přímé zavádění impulsů,
- síťový od vazbovací článek 100  $\mu$ H + 22 nF,
- připojení k libovolné kombinaci živého, nulového a zemnicího vodiče,
- doba testování od 0 do 6 minut v krocích 0,1 s.

### **Elektrostatický výboj ČSN EN 61000-4-2 [6,7]:**

- použití sondy ESD pro výboj ve vzduchu,
- výstupní napětí 0,5 kV, 1 kV, 2 kV, 4 kV, 8 kV  $\pm$  5%,
- kondenzátor 150 pF pro uložení náboje,
- vybíjecí odpor 300  $\Omega$ ,
- nabíjecí odpor 60 M $\Omega$ ,
- kladná a záporná polarita.

### 4.3 Technické parametry

**Napájecí napětí [7]:**

- 230V +10%, -6%, 50 Hz, AC,
- přístroj je kalibrován na 230V,
- 30 VA (bez zátěže),
- 3 kVA (max. zátěž).

**Pojistky [7]:**

- 16 A (T) HRC, 32 x 6,3 mm,
- chráněn je jak nulový, tak živý vodič.

**Prostředí [7]:**

- pracovní teplota - 0 až 40 °C,
- skladovací teplota - -10 až 70 °C,
- relativní vlhkost - max. 80% do 31 °C, max. 50% do 40 °C,
- přístroj je určen pro použití v laboratořích.

**Rozměry a hmotnost [7]:**

- 450 x 360 x 150 mm,
- 16 kg.

## 5 ZKUŠEBNÍ TESTY SEAWARD MACE

### 5.1 Elektrostatický výboj ČSN EN 61000-4-2

Elektrostatický výboj nebo také výboj statické elektřiny, jedním z nejčastějších přírodních zdrojů přepětí. Význam tohoto jevu roste se zvyšující se elektronizací prostředí. Moderní součástky, a tím i celé systémy, jsou stále čím dál méně odolné proti elektrostatickému výboji. Výskyt tohoto jevu může zapříčinit degradaci nebo úplné zničení elektronických součástek [1,4].

S elektrostatickým nábojem se můžeme setkat v podstatě kdekoli. Elektrostatický náboj může být přímo na osobě, která provádí obsluhu zařízení. Náboj vznikne např. při chůzi, pohybu končetin a vzájemným třením částí oděvu. V tomto případě může osoba snadno dosáhnout napětí proti zemi až 15 kV. Toto napětí může být pro elektronická zařízení či systémy nebezpečné. Z těchto a dalších důvodů se musí u zařízení provádět zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji [1,4].

#### 5.1.1 Zkušební úrovně

Při zkouškách se používají různé úrovně pro elektrostatický výboj. Jednotlivé zkušební úrovně jsou uvedeny v tabulce 3 [4].

1a - Kontaktní výboj		1b – Vzduchový výboj	
Úroveň	Zkušební napětí kV	Úroveň	Zkušební napětí kV
1	2	1	2
2	4	2	4
3	6	3	8
4	8	4	15
X <sup>1)</sup>	zvláštní	X <sup>1)</sup>	zvláštní

<sup>1)</sup> „X“ je otevřená úroveň. Tato úroveň musí být stanovena ve specifikaci jednoúčelového zařízení. Jestliže jsou stanovena vyšší napětí než ta, která jsou zde uvedena, může to vyžadovat zvláštní zkušební zařízení.

**Tabulka 3.** Zkušební úrovně

## 5.2 Rychlé elektrické přechodové jevy/skupiny jevů ČSN EN 61000-4-4

Zkouška opakovaným rychlým přechodovým jevem je zkouška se skupinami impulsů obsahující velký počet rychlých přechodných jevů, zavedených do vstupů/výstupů napájení, ovládání, signálů a země elektrického a elektronického zařízení. Významné pro tuto zkoušku jsou vysoká amplituda, krátká doba náběhu, vysoký opakovací kmitočet a nízká energie přechodných jevů [1,2,5].

Zkouška je určena k prokázání odolnosti elektrického a elektronického zařízení je-li vystaveno takovým typům přechodného rušení jejichž původem jsou spínací přechodné jevy (přerušování indukčních zátěží, odskočení kontaktů relé atd.) [1,2,5].

### 5.2.1 Definice zkušebních úrovní rychlých přechodových jevů/skupin impulsů

Jednotlivé úrovně jsou shrnuty v tabulce 4, kde jsou uvedeny i hodnoty úrovní [5].

Výstupní zkušební napětí naprázdno a opakovací kmitočet impulsů				
Úroveň	Na vstupu/výstupu napájení, PE		Na I/O (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
X <sup>a</sup>	Speciální	Speciální	Speciální	Speciální

<sup>a</sup> „X“ je otevřená úroveň. Tuto úroveň je třeba určit ve specifikaci konkrétního zařízení

**Tabulka 4.** Zkušební úrovně

**Úroveň 1:** Dobře chráněné prostředí je takové, v němž [2,5]:

- jsou potlačeny rychlé transienty vznikající ve spínaných napájecích a řídicích obvodech,
- jsou oddělena vedení napájecích a signálových, měřicích, příp. řídicích obvodů,
- rozvod napájecích napětí je proveden stíněnými kabely uzemněnými na obou koncích k referenční zemi celé instalace a napájecí zdroje jsou chráněny filtry.

Příkladem dobře chráněného prostředí jsou místnosti výpočetních středisek.



**Úroveň 2:** Chráněné prostředí je takové, v němž [2,5]:

- je zajištěno částečné potlačení rychlých transientů v napájecích a řídicích obvodech, které jsou spínány jen pomocí relé (ne stykači),
- je nedokonalé oddělení průmyslových obvodů od jiných obvodů,
- je provedeno fyzické oddělení nestíněných napájecích a řídicích kabelů od kabelů signálových a komunikačních.

Příkladem chráněných prostor jsou velíny a dozorny průmyslových podniků a elektráren.

**Úroveň 3:** Typické průmyslové prostředí se vyznačuje tím, že v něm [2,5]:

- není zajištěno žádné potlačení rychlých transientů v napájecích ani v řídicích obvodech, které jsou spínány jen pomocí relé (ne stykači),
- je nedokonalé oddělení průmyslových obvodů od jiných,
- jsou jednoúčelové kabely určené pro napájení, ovládání, signálové a komunikační vedení,
- je nedostatečné oddělení mezi napájecími, ovládacími, signálovými a komunikačními kabely,
- zemní systém mohou vystavovat vodivá potrubí, uzemňovací vodiče v kabelových žlabech připojené k ochrannému uzemnění) a zemnicí mříže.

Příkladem těchto prostředí jsou výrobní plochy průmyslových podniků, elektrárny a rozvodny vysokého napětí.

**Úroveň 4:** Nepříznivé průmyslové prostředí je charakterizováno tím, že v něm [2,5]

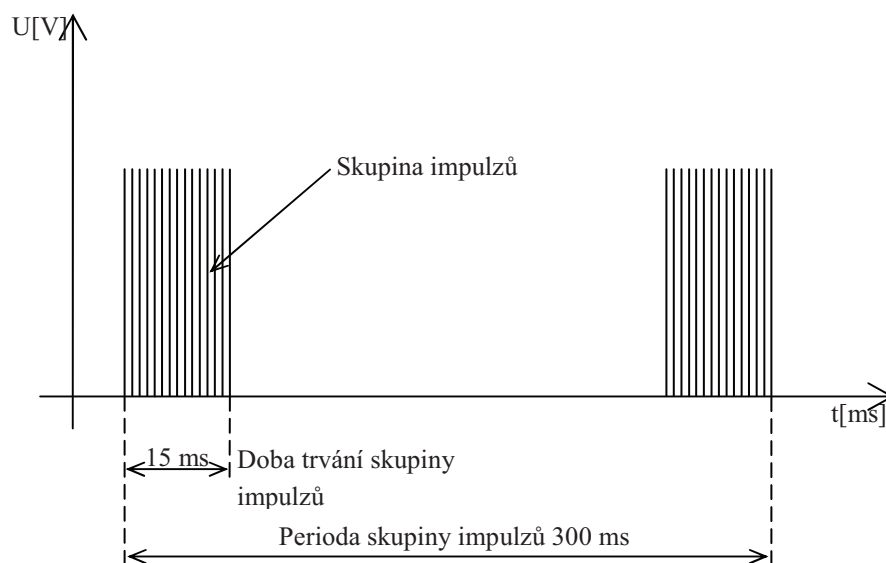
- není potlačení rychlých transientů v napájecích ani v ovládacích obvodech, které jsou spínány prostřednictvím relé a stykačů,
- není oddělení průmyslových obvodů od jiných obvodů,
- kabely pro silové napájení, řízení, signalizaci a komunikaci nejsou vzájemně odděleny, případně jsou použity sdružené kabely pro společný přenos těchto signálů.

## 5.2.2 Metodika zkoušky

Cílem tohoto testu je simulovat poruchy, které se mohou indukovat do kabelů, připojených k zařízení. Zdroj poruchy může být vzdálen od zařízení, ale rychlé přechodové poruchy jsou běžným problémem v průmyslovém prostředí, kde kabelové rozvody mohou obsahovat napájení pro nejrůznější účely [1,5].

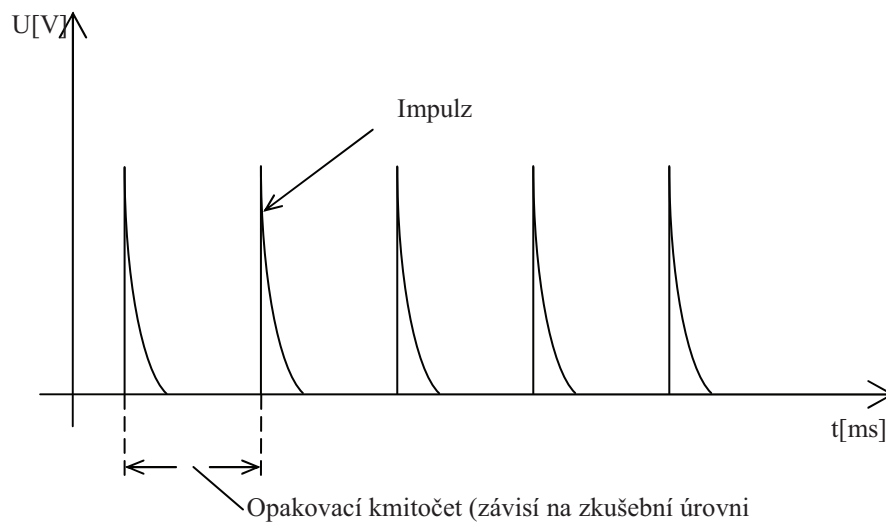
Stupeň odolnosti zařízení se stanoví tak, že se rychlé přechodové signály zavádějí do síťového kabelu zařízení a dalších přívodních kabelů [1,5].

Rychlé přechodové poruchy jsou tvořeny skupinou impulsů v trvání 15 ms s periodou opakování 300 ms, jak je vyobrazeno na obrázku č. 4 [1,5].



**Obrázek 4.** Skupiny impulsů v trvání 15 ms s periodou opakování 300 ms

Každý přechodový impuls má jmenovitou dobu náběhu 5 ns a trvá 50 ns. Tento impuls je obecně znám jako průběh 5/50 ns. Frekvence opakování impulsů je buď 2,5 nebo 5 kHz v závislosti na vrcholové hodnotě výstupního napětí [1,5].



**Obrázek 5.** Tvar jednotlivých impulsů

Úroveň testů se definuje dle prostředí, ve kterém je zařízení umístěno [5].

Skupiny rychlých přechodových signálů se zavádějí do každého připojeného vodiče. Začíná se testovat od nejnižší úrovně až do požadované úrovně. Test se opakuje

s opačnou polaritou impulsů. Trvání testů není předepsáno, ale měla by to být alespoň jedna minuta [5].

Rychlé přechodové napětí může testované zařízení i poškodit, není-li dostatečně odolné [5].

### **5.3 Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí ČSN EN 61000-4-11**

Elektrické a elektronické zařízení může být ovlivňováno krátkodobými poklesy napětí, krátkými přerušeními a pomalými změnami napětí rozvodné sítě [1,2,6].

Poklesy napětí a krátká přerušení napětí jsou způsobena poruchami v síti a v instanci nebo náhlými velkými změnami zatížení. V určitých případech se mohou vyskytnout dva nebo více po sobě následujících krátkodobých poklesů nebo přerušení. Změny napětí jsou způsobeny spojitě proměnnými zatíženími připojenými do sítě [1,2,6].

Tyto jevy jsou náhodného charakteru a mohou být pro účely laboratorního simulování minimálně charakterizovány hodnotami odchylky od jmenovitého napětí a dobou trvání [1,2,6].

Cílem této normy je testováním prověřit odolnost zařízení napájených ze sítě nn s odběrem proudu do 16A vůči krátkodobým poklesům napětí, krátkým přerušením a změnám napětí. Požadavky na jednotlivá zařízení definují jejich technické podmínky. Tyto mohou definovat účinky na zařízení, které lze považovat za nevýznamné, a naopak účinky, které musí být vzaty bezpodmínečně v úvahu [1,2,6].

#### **5.3.1 Zkušební úrovně**

Jako základ pro stanovení úrovně napětí se v této normě používá jmenovité napětí zařízení ( $U_T$ ). Pokud zařízení má určitý rozsah jmenovitých napětí, musí se použít následující [6]:

- nepřekračuje-li rozsah napětí 20% dolní hranice napětí stanovené 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 na horní stanovené mezní napětí napětíového rozsahu.

#### **Krátkodobé poklesy a krátká přerušení napětí**

Změna mezi ( $U_T$ ) a změněnou hodnotu 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 % [6].

Preferované zkušební úrovně a doby trvání pro krátkodobé poklesy napětí jsou uvedeny v tabulce 5 [6].

Třída <sup>a</sup>	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 $\frac{1}{2}$ periody	0 % během 1 periody	70 % během 25/30 <sup>c</sup> period		
Třída 3	0 % během $\frac{1}{2}$ periody	0 % během 1 periody	40 % během 10/12 <sup>c</sup> period	70 % během 25/30 <sup>c</sup> period	80 % během 250/300 <sup>c</sup> period
Třída X <sup>b</sup>	X	X	X	X	X
<sup>a</sup> Třídy jako podle IEC 61000-2-4.					
<sup>b</sup> Určeno k definování výrobkovou komisí. U zařízení připojeného přímo nebo nepřímo k veřejné síti úrovně nesmí být méně přísné než pro třídu 2.					
<sup>c</sup> „250/300 period“ znamená „250 period pro zkoušku 50 Hz“ a „300 period pro zkoušku 60Hz“.					

**Tabulka 5.** Přednostní zkušební úrovně a doby trvání pro krátkodobé poklesy napětí

Třída <sup>a</sup>	Zkušební úrovně a doby trvání pro krátká přerušování napětí ( $t_s$ ) (50 Hz/60 Hz)
Třída 1	Případ od případu podle požadavků zařízení
Třída 2	0 % během 250/300 <sup>c</sup> period
Třída 3	0 % během 250/300 <sup>c</sup> period
Třída X <sup>b</sup>	X
Vysvětlivky viz tabulka č. 5	

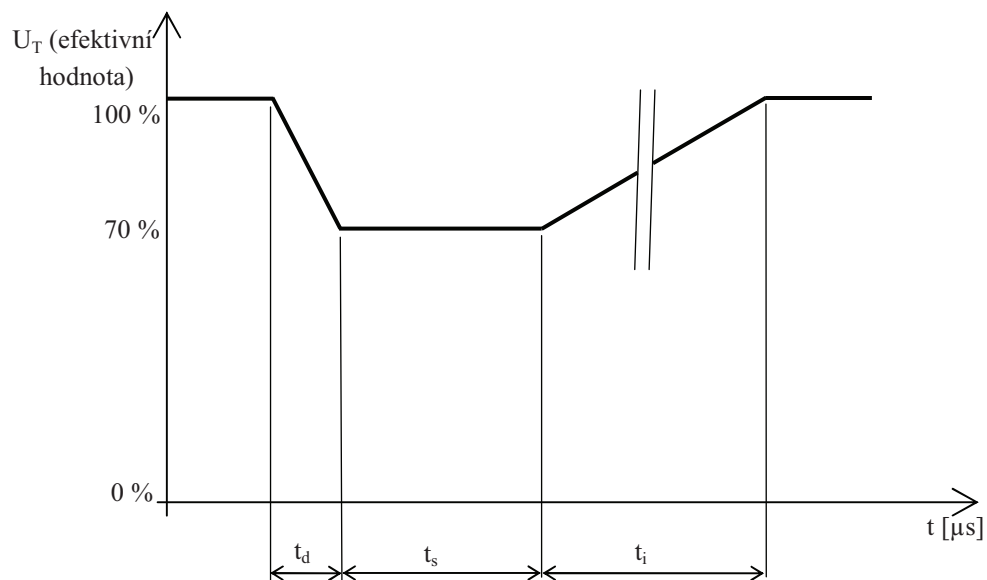
**Tabulka 6.** Přednostní zkušební úrovně a doby trvání pro krátká přerušování napětí

### Pomalé změny napětí (nezávazné)

Tato zkouška bere ohled na definovaný přechod mezi jmenovitým napětím  $U_T$  a změněným napětím. Rychlost změny napětí by měla být konstantní, napětí však může být měněno po krocích. Kroky by měly být v okamžicích průchodu sinusovky napětí nulou a neměly by být větší než 10 %  $U_T$ . Kroky menší než 1 %  $U_T$  jsou považovány za konstantní rychlost změny napětí. Přednostní doby trvání změn a doba, po kterou je zmenšené napětí udržováno neměnné, jsou uvedeny v tabulce 7 a obrázek 6 znázorňuje napětí jako funkci času [6].

Zkušební úroveň napětí	Doba klesání napětí ( $t_d$ )	Doba sníženého napětí ( $t_s$ )	Doba stoupání napětí ( $t_r$ ) (50 Hz/60 Hz)
70 %	strmý přechod	1 periodu	25/30 <sup>b</sup> period
X <sup>a</sup>	X <sup>a</sup>	X <sup>a</sup>	X <sup>a</sup>
<sup>a</sup> Určeno k definování výrobkovou komisí.			
<sup>b</sup> „25/30 period“ znamená „25 period pro zkoušku 50 Hz“ a „30 period pro zkoušku 60Hz“.			

**Tabulka 7.** Časové hodnoty krátkodobých pomalých změn síťového napětí



**Obrázek 6.** Pomalá změna napětí

Legenda:

$t_d$  – doba klesání napětí

$t_i$  – doba stoupání napětí

$t_s$  – doba zmenšeného napětí

### 5.3.2 Zkušební generátor

Generátor musí mít opatření zabraňující emisi velkých rušení, která, jsou-li injektována do rozvodné sítě, mohou ovlivnit výsledky zkoušky [6].

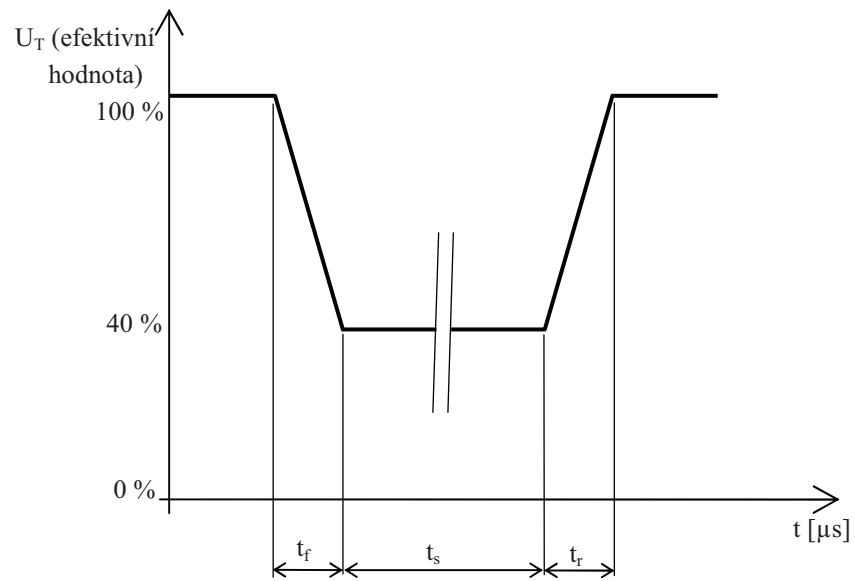
Je přípustný jakýkoliv generátor vytvářející krátkodobé poklesy napětí se stejnými nebo přísnějšími charakteristikami (amplitudy a doby trvání) než jsou charakteristiky předepsané touto normou [6].

Vlastnosti generátoru jsou specifikovány v tabulce 8 [6].

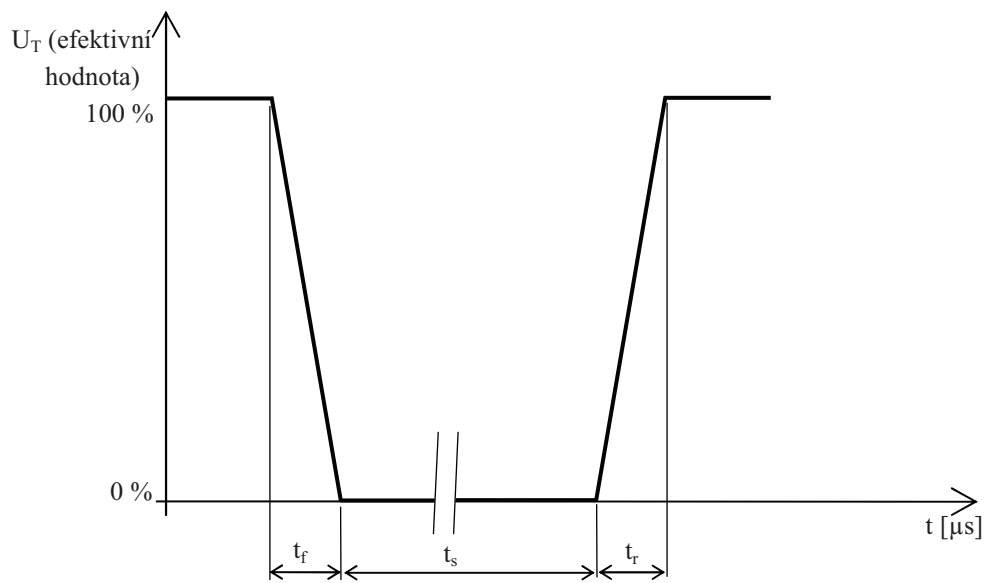
Výstupní napětí naprázdno	jak je požadováno v tabulce 5, $\pm 5$ % hodnoty zbytkového napětí
Změna napětí způsobená zatížením na výstupu generátoru 100 % při výstupu 0 A až 16 A 80 % při výstupu 0 A až 20 A 70 % při výstupu 0 A až 23 A 40 % při výstupu 0 A až 40 A	menší než 5 % napětí $U_T$ menší než 5 % napětí $U_T$ menší než 5 % napětí $U_T$ menší než 5 % napětí $U_T$
Schopnost generování proudu	16 A (efektivní hodnota) v každé fázi při jmenovitém napětí. 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. (Tento požadavek může být redukován podle ustáleného jmenovitého napájecího proudu EUT.).
Schopnost generování vrcholového zapínacího proudu (není požadováno pro zkoušky pomalých změn napětí)	Nesmí být omezován generátorem. Maximální schopnost generování proudu však nemusí být větší než 1 kA 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.
Vrcholová hodnota překmitnutí /podkmitnutí skutečného napětí, generátor zatížen rezistivní zátěží 100 $\Omega$	Menší než 5 % napětí $U_T$
Doba stoupání (a klesání) napětí $t_r$ (a $t_f$ ) během náhlé změny, viz obrázky 6,7, generátor zatížen rezistivní zátěží 100 $\Omega$	Mezi 1 $\mu s$ a 5 $\mu s$
Fázový posuv (je-li požadován)	0° až 360°
Fázový vztah krátkodobých poklesů napětí a krátkých přerušení napětí se síťovým kmitočtem	Menší než $\pm 10^\circ$
Řízení průchodu napětí generátoru nulou	$\pm 10^\circ$

**Tabulka 8.** Specifikace generátoru

**Obrázky k tabulce 8:**



**Obrázek 7.** Krátkodobý pokles napětí



**Obrázek 8.** Krátké přerušení napětí

Legenda:

$t_f$  – doba klesání napětí

$t_r$  – doba stoupání napětí

$t_s$  – doba zmenšeného napětí

## **5.4 Obecné podmínky platné pro všechny typy zkoušek uvedené v kapitolách 4.1, 4.2, 4.3**

Pro všechny typy zkoušek, které zde byly uvedeny, platí stejný postup zkoušky [4,5,6].

### **5.4.1 Postup zkoušky**

Před začátkem zkoušky zkoušeného zařízení se musí připravit plán zkoušky, který by měl být reprezentativní pro způsob, jakým je systém skutečně používán. U systémů se můžou vyžadovat přesné předběžné analýzy pro definování konfigurací systému, které se pro účely reprodukování oblastí situací musí zkoušet. V protokolu o zkoušce se musí všechny případy zkoušky vysvětlit a vyznačit. Plán zkoušky by měl obsahovat následující položky [4,5,6]:

- označení typu zkoušeného zařízení,
- informaci o možných připojeních, odpovídajících kabelech a o periferních zařízeních,
- vstup napájení zkoušeného zařízení,
- reprezentativní provozní režimy zkoušeného zařízení pro zkoušku,
- použítá a v technických specifikacích definovaná funkční kritéria,
- provozní režim zařízení,
- popis zkušební sestavy.

Při každé zkoušce se musí zaznamenat jakékoliv zhoršení funkce. Zařízení, které monitoruje provozní režimy zkoušeného zařízení, musí být schopné zobrazovat během zkoušky a po zkoušce stav daného zkoušeného zařízení. Po provedení skupiny zkoušek se musí provést úplná funkční kontrola [4,5,6].

### **5.4.2 Vyhodnocení výsledků zkoušky**

Výsledky zkoušky musí být klasifikovány na základě ztráty funkce nebo zhoršení provozu zkoušeného zařízení, a to ve vztahu k úrovni funkce definované výrobcem nebo žadatelem o zkoušku [4,5,6].

**Doporučení třídění je následující [4,5,6]:**

- a) normální funkce v mezích stanovených výrobcem, žadatelem nebo zákazníkem,
- b) dočasná ztráta funkce nebo zhoršení provozu, které přestane po zastavení rušení a sama se obnovuje normální funkce zkoušeného zařízení bez zásahu operátora,
- c) dočasná ztráta funkce nebo zhoršení provozu, které vyžaduje zásah operátora nebo opětné nastavení,



- d) ztráta funkce nebo zhoršení provozu, které není obnovitelné, což je způsobeno poškozením technického vybavení nebo programového vybavení nebo ztrátou dat.

Výrobce může definovat účinky na EUT, které mohou být považovány za bezvýznamné a proto přípustné [4,5,6].

Toto třídění, které je zde uvedeno může být použito při formulování funkčních kritérií komisemi zodpovědnými za kmenové normy, normy výrobku nebo normy skupiny výrobků [4,5,6].

### **5.4.3 Protokol o zkoušce**

Protokol o zkoušce musí obsahovat všechny informace potřebné pro opakování zkoušky. Zejména musí být zaznamenáno následující [4,5,6]:

- body specifikované v plánu zkoušky požadovaném v kapitole „Postupy zkoušky“;
- identifikace EUT a jakéhokoliv přidruženého zařízení, např. obchodní značka, typ výrobku, číslo série,
- jakékoliv zvláštní podmínky prostředí, při kterých byla zkouška provedena, např. stínící kryt,
- jakékoliv specifické podmínky nutné k umožnění provedení zkoušky,
- funkční úroveň definovaná výrobcem, žadatelem o zkoušku nebo zákazníkem kupujícím výrobek,
- funkční kritérium specifikované v kmenové normě, normě výrobku nebo v normě skupiny výrobků,
- jakékoliv účinky na EUT pozorované během nebo po aplikování zkušebního rušení a doba trvání, po kterou tyto účinky setrvávají,
- zdůvodnění rozhodnutí zda zařízení při zkoušce obstálo/neobstálo (založené na funkčním kritériu dohodnutém mezi výrobcem a zákazníkem kupujícím výrobek),
- jakékoliv použité specifické podmínky, například délka nebo typ kabelu, stínění nebo uzemnění nebo provozní podmínky EUT, které jsou požadovány k dosažení shody.

## 6 PARAMETRY TESTOVANÉHO PŘÍSTOJE MEG 42

Testované zařízení přenosný univerzální monitor MEG 42 je trojfázový měřicí přístroj pro měření napětí, proudů a výkonů. Měřené veličiny monitor MEG 42 zobrazuje na podsvíceném LCD displeji. Pomocí klávesnice lze vybrat jakou měřenou hodnotu chceme zobrazit. Pomocí přístroje lze zaznamenat průběhy napětí, proudů a výkonů. Rozměry přístroje a provedení svorkovnic umožňují snadnou montáž při náhradě klasických ručkových přístrojů. Sériová komunikace typu USB II zajišťuje rychlý přenos změřených dat do připojeného PC[8].



Obrázek 9. Univerzální monitor MEG 42

## 6.1 Technické údaje MEG42

<b>Napětí:</b>	3 x fázová nebo 3x sdružená hodnota $U_{RMS}$
U fázové jm	160 V/460V
U sdružené jm	280V/800V
Přesnost měření	0,2% $U_{jm}$

<b>Proud:</b>	4 x fázová hodnota $I_{RMS}$
Přesnost měření	0,2% $I_{jm}$ + přesnost snímače

### Měření proudů snímači:

- malý AMOS (30cm, Ø8/10mm)
- velký AMOS ( 40cm, Ø16/22mm)
- klešťový transformátor (okénko 10x20mm)
- čtyřnásobný průvlekový snímač (průměr otvoru 9mm)
- měření proudů (vstupní zdičky) na živých částech s napětím až 230V

### Záznam průběhů:

$U_{prům}$ ,  $U_{max}$ ,  $U_{min}$   
 $I_{prům}$ ,  $I_{max}$ ,  $I_{min}$   
 $P_{prům}$ ,  $P_{max}$ ,  $P_{min}$

<b>Napájení:</b>	a) externí 15 V (externí transformátor 207V až 253V)
	b) z měřících vstupů 50 V až 460 V
	c) z interního akumulátoru
	Priorita napájení a) před b) před c)

### Obecně:

Počet vzorků za periodu:	32, fázový závěs na $U_1$
Základní měřicí interval:	10 period
Interval záznamu:	1 s až 120 min
Komunikace:	USB II, 115200 Bd, rozsah 19200 Bd až 768 kBd
Datová paměť:	Flash 4 MB

### Konstrukce

Rozměry kufru	265 x 180 x 85 mm
s připojenými konektory	365 x 180 x 85 mm
Hmotnost	1,2kg

**Pracovní podmínky prostředí:**

Pracovní teplota:	-20°C až +60°C ( i z vypnutého stavu )
Provoz:	ve vnitřních prostorách – otevřený kufr ve vnějších prostorách – zavřený kufr
Relativní vlhkost:	20% až 90%
Nadmořská výška:	do 2000m
Pracovní poloha:	libovolná
Stupeň krytí:	IP20 – otevřený kufr, snímače MT-PQ IP65 – zavřený kufr, snímače AMOS, průvlekový snímač proudu
Kategorie měření:	CAT IV do 300V, CAT III do 460V
Stupeň znečištění:	2

## 7 REALIZACE ZKOUŠEK EMS

Zkoušky odolnosti byly provedeny ve školní laboratoři Ústavu automatizace a měřicí techniky pomocí přístroje Seaward Mace. Zkoušeným zařízením byl univerzální monitor MEG42. Jednalo se o zkoušky odolnosti elektrostatickým výbojem ČSN EN 61000-4-2, zkoušku odolnosti rychlými přechodovými jevy/skupinou impulsů ČSN EN 61000-4-4 a zkoušku odolnosti krátkodobými poklesy, krátkými přerušeními a pomalými změnami napětí ČSN EN 61000-4-11, které jsou popsány podrobně v kapitole 5.

### **Výsledky zkoušek byly hodnoceny podle následujících požadavků:**

- A) normální funkce v mezích stanovených výrobcem, žadatelem nebo zákazníkem,
- B) dočasná ztráta funkce nebo zhoršení provozu, které přestane po zastavení rušení a sama se obnovuje normální funkce zkoušeného zařízení bez zásahu operátora,
- C) dočasná ztráta funkce nebo zhoršení provozu, které vyžaduje zásah operátora nebo opětné nastavení,
- D) ztráta funkce nebo zhoršení provozu, které není obnovitelné, což je způsobeno poškozením technického vybavení nebo programového vybavení nebo ztrátou dat.

### 7.1 Zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji

#### **Provedení zkoušky:**

- odpovídající norma: ČSN EN 61000-4-2
- výrobek: univerzální monitor MEG42
- umístění výrobku: na stole
- testovaná místa: tlačítka, displej, kryt přístroje
- metoda zkoušky: kontaktní výboj, vzduchový výboj
- zkušební napětí: 1 kV až 8 kV
- polarita napětí: pozitivní a negativní
- počet zkušebních výbojů: 5 do každého vybraného místa
- teplota: 24,3 °C
- relativní vlhkost: 47%

Kontaktní výboj			Vzduchový výboj		
Úroveň	Zkušební napětí [kV]	Výsledek	Úroveň	Zkušební napětí [kV]	Výsledek
1	1	D	1	1	D
2	2	D	2	2	D
3	4	D	3	4	D
4	8	D	4	8	D

**Tabulka 9.** Zkouška elektrostatickým výbojem - positive

Kontaktní výboj			Vzduchový výboj		
Úroveň	Zkušební napětí [kV]	Výsledek	Úroveň	Zkušební napětí [kV]	Výsledek
1	1	D	1	1	D
2	2	D	2	2	D
3	4	D	3	4	D
4	8	D	4	8	D

**Tabulka 10.** Zkouška elektrostatickým výbojem - negative

#### **Vyhodnocení výsledků zkoušky:**

Z výsledků v tabulkách můžeme konstatovat, že testovaný přístroj MEg 42 nevyhověl zkoušce odolnosti proti elektrostatickému výboji. V průběhu zkoušky při vyslání elektrostatického výboje došlo vždy k pohasnutí poloviny displeje. Muselo dojít vždy k ručnímu restartování přístroje, aby bylo možné ve zkoušce pokračovat. Po delším zkoumání příčiny této závady se přišlo na to, že na panelu je pod vrchní vrstvou laku vrstva vodivého laku, do které přeskakují výboje a vytváří elektrostatické pole v okolí displeje.

## **7.2 Zkouška odolnosti rychlými přechodovými jevy/skupinami impulsů**

#### **Provedení zkoušky:**

- odpovídající norma: ČSN EN 61000-4-4
- výrobek: univerzální monitor MEg42
- zkušební napětí: 0,5 kV až 4 kV
- polarita napětí: pozitivní a negativní
- teplota: 24,3 °C
- relativní vlhkost: 47%

Positivní polarita			Negativní polarita		
Úroveň	Zkušební napětí [kV]	Výsledek zkoušky	Úroveň	Zkušební napětí [kV]	Výsledek zkoušky
1	0,5	D	1	0,5	D
2	1	D	2	1	D
3	2	D	3	2	D
4	4	D	4	4	D

**Tabulka 11.** Zkouška odolnosti proti rychlým přechodovým dějům

#### Vyhodnocení výsledků zkoušky:

Při realizaci této zkoušky došlo u zkoušeného zařízení k opětovnému pohasnutí půlky LCD displeje. Přístroj musel být vždy ručně restartován. Proto zařízení dané zkoušce nevyhovělo. Příčina závady se hlouběji nezkoumala a to z důvodu, že přívod od snímače proudu byl 1,5 m. Norma přitom uvádí, že tato zkouška se provádí tehdy pokud, je-li délka přívodu delší jak 3 m.

### 7.3 Zkouška odolnosti krátkodobými poklesy, krátkými přerušeními a pomalými změnami napětí

#### Provedení zkoušky:

- odpovídající norma: ČSN EN 61000-4-11
- výrobek: univerzální monitor MEG42
- úroveň zkušebního napětí: 0%, 40%, 70% napětí  $U_t$
- teplota: 24,3 °C
- relativní vlhkost: 47%

Zkušební úroveň [%] $U_t$	0	0	0
Doba trvání [ms]	100	500	1000
Výsledek zkoušky	A	A	A

**Tabulka 12.** Zkouška odolnosti - krátkodobé poklesy, krátká přerušení a pomalé změny napětí při 0%  $U_t$

Zkušební úroveň [%] $U_t$	40	40	40
Doba trvání [ms]	100	500	1000
Výsledek zkoušky	A	A	A

**Tabulka 13.** Zkouška odolnosti - krátkodobé poklesy, krátká přerušení a pomalé změny napětí při 40%  $U_t$

Zkušební úroveň [%] $U_t$	70	70	70
Doba trvání [ms]	100	500	1000
Výsledek zkoušky	A	A	A

**Tabulka 14.** Zkouška odolnosti - krátkodobé poklesy, krátká přerušení a pomalé změny napětí při 70%  $U_t$

#### **Vyhodnocení výsledků zkoušky:**

Při této zkoušce bylo zkoušené zařízení testováno poklesy napětí na 0%  $U_t$ , 40%  $U_t$  a 70%  $U_t$  s dobou trvání 100 ms, 500 ms a 1000 ms. Při delším poklesu napětí se přístroj přepnul na napájení z baterie, kdy byl indikován krátký pokles svítivosti displeje. V průběhu zkoušek přístroj vykazoval normální činnost, z toho vyplývá, že testovaný přístroj MEg 42 této zkoušce odolnosti vyhověl.



## 8 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Cílem bakalářské práce bylo ověřit zkoušky elektromagnetické odolnosti na testovaném univerzálním monitoru MEg 42. Zkoušky odolnosti byly vykonány v laboratoři Ústavu automatizace a měřicí techniky na přístroji Seaward Mace. Zkoušené zařízení bylo testováno na zkoušky odolnosti proti elektrostatickému výboji ČSN EN 61000-4-2, zkoušku odolnosti proti rychlým přechodovým jevům/skupinou impulzů ČSN EN 61000-4-4 a zkoušku odolnosti proti krátkodobým poklesům napětí, krátkým přerušením a pomalým změnám napětí ČSN EN 61000-4-11.

V první a druhé zkoušce testované zařízení nevyhovělo. Příčinou záporného výsledku u zkoušky elektrostatickým výbojem byl špatně zvolený panel, u kterého bylo zjištěno použití vodivé vrstvy laku, který vytvářel elektrostatické pole kolem displeje. U zkoušky ČSN EN 61000-4-4 se příčina nijak nezkoumala.

U zkoušky odolnosti ČSN EN 61000-4-11 přístroj vyhověl. V průběhu zkoušky a ani po ukončení testování nedošlo ke zhoršení funkce přístroje.

## 9 ZÁVĚR

Předmětem této bakalářské práce bylo seznámit se s elektromagnetickou kompatibilitou, zejména se zkouškami odolnosti a jejich metodami testování, které byly prováděny na simulátoru rušení Seaward Mace. A testováním Univerzálního monitoru MEG 42.

V první části bakalářské práce jsem se zaměřil na všeobecnou problematiku elektromagnetické kompatibility, která je popsána ve druhé kapitole. Poté jsem přistoupil k řešení prvního bodu zadání, kde byla vypracovaná obecná metodika zkoušek elektromagnetické kompatibility a obecný přehled zkoušek odolnosti, tímto se zabývá kapitola 3.

Podle druhého bodu zadání byly popsány technické parametry a zkušební funkce simulátoru rušení Seaward Mace. Toto je uvedeno v kapitole 4, kde jsou zároveň uvedeny jak již zmiňované technické parametry a zkušební funkce, tak popis přístroje. Kapitola 5 navazuje na předcházející kapitolu a zaměřuje se na jednotlivé zkoušky, které provádí simulátor rušení. Jedná se o zkoušku odolnosti proti elektrostatickému výboji ČSN EN 61000-4-2, zkoušku odolnosti proti rychlým přechodovým jevům/skupinou impulzů ČSN EN 61000-4-4 a zkoušku odolnosti proti krátkodobým poklesům napětí, krátkým přerušením a pomalým změnám napětí ČSN EN 61000-4-11. Nejprve je u každé zkoušky rozebrána obecná tematika a poté dle příslušné normy zkušební úroveň a metodika zkoušky.

Třetímu bodu zadání je věnována kapitola 6, ve které jsou popsány technické parametry testovaného zařízení přenosného univerzálního monitoru MEG 42.

V kapitole 7 je popsáno provedení jednotlivých zkoušek odolnosti v laboratoři Ústavu automatizace a měřicí techniky. V této kapitole jsou zároveň uvedeny výsledky zkoušek zkoušeného zařízení testovaného dle norem uvedených v kapitole 5.

Poslední bod zadání je uveden v kapitole 8, kde je provedeno zhodnocení provedených zkoušek.

## 10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VACULÍKOVÁ, P., VACULÍK, E. a kolektiv: *Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů*. Grada Publishing, Praha 1998
- [2] SVAČINA, J.: *Elektromagnetická kompatibilita*. Skripta VUT, Brno, 2002
- [3] ČSN EN 61000-4-1 ed. 2: 2007 *Zkušební a měřicí technika -Přehled o souboru IEC 61000- 4*
- [4] ČSN EN 61000-4-2:1997 *Zkušební a měřicí technika - Elektrostatický výboj - zkouška odolnosti*
- [5] ČSN EN 61000-4-4 ed. 2:2005 *Zkušební a měřicí technika - Zkušební a měřicí technika - Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů - zkouška odolnosti*
- [6] ČSN EN 61000-4-11:2005 *Zkušební a měřicí technika - Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí - zkoušky odolnosti*
- [7] MACE – *Mains supply interference simulator operating instructions 204A910*
- [8] [www.e-mega.cz](http://www.e-mega.cz)

## 11 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AC	(Alternating Current) Střídavý proud
CE	Značka shody Evropské unie
CISPR	(Comité international spécial des perturbations radioélectriques) Speciální mezinárodní komise pro radioelektronické rušení
CMOS	Výrobní technologie elektronických součástek
ČSN	Česká státní norma
EMC	(electromagnetic compatibility) Elektromagnetická kompatibilita (slučitelnost)
EMI	(electromagnetic interference) Elektromagnetická interference (rušení)
EMS	(electromagnetic susceptibility) Elektromagnetická citlivost (odolnost proti rušení)
EN	(European Norm) Evropská norma
ESD	(electrostatic discharge) Elektrostatický výboj
EU	(European Union) Evropská unie
EUT	(equipment under test) Zkoušené zařízení
HDO	Hromadné dálkové ovládání
HEMP	Nukleární elektromagnetický impuls ve velké vzdálenosti
HRC	Označení typu pojistky
IEC	(International Electrotechnical Communitée) Mezinárodní elektrotechnická komise
LCD	(Liquid Crystal Display) Displej z tekutých krystalů
LEMP	(Lightening Electromagnetic Puls) Impulsní elektromagnetické pole od blesku
NEMP	(Nuclear Electromagnetic Puls) Impulsní elektromagnetické pole vzniklé při nukleárním výbuchu
nf	Nízkofrekvenční
nn	Nízké napětí
RF	(Radio Frequency) Radiofrekvenční signál
TEM	Příčný elektromagnetický vlnovod
vf	Vysokofrekvenční
vn	Vysoké napětí
VPM	Výkonový polovodičový měnič
vvn	Velmi vysoké napětí

## 12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Typické průběhy rušivého napětí.....	14
Obrázek 2. Simulátor rušení Seaward Mace .....	27
Obrázek 3. Přední panel přístroje SEAWARD MACE.....	28
Obrázek 4. Skupiny impulsů v trvání 15 ms s periodou opakování 300 ms .....	34
Obrázek 5. Tvar jednotlivých impulzů .....	34
Obrázek 6. Pomalá změna napětí .....	37
Obrázek 7. Krátkodobý pokles napětí .....	39
Obrázek 8. Krátké přerušení napětí .....	39
Obrázek 9. Univerzální monitor MEg 42 .....	42

## 13 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Použitelnost zkoušek odolnosti založená na lokalitě (prostředí) .....	25
Tabulka 2. Použitelnost zkoušek odolnosti založená na vstupech/výstupech EUT.....	26
Tabulka 3. Zkušební úrovně.....	31
Tabulka 4. Zkušební úrovně.....	32
Tabulka 5. Přednostní zkušební úrovně a doby trvání pro krátkodobé poklesy napětí .	36
Tabulka 6. Přednostní zkušební úrovně a doby trvání pro krátká přerušení napětí .....	36
Tabulka 7. Časové hodnoty krátkodobých pomalých změn síťového napětí .....	36
Tabulka 8. Specifikace generátoru.....	38
Tabulka 9. Zkouška elektrostatickým výbojem - positive .....	46
Tabulka 10. Zkouška elektrostatickým výbojem - negative .....	46
Tabulka 11. Zkouška odolnosti proti rychlým přechodovým dějům.....	47
Tabulka 12. Zkouška odolnosti - krátkodobé poklesy, krátká přerušení a pomalé změny napětí při 0% $U_t$ .....	47
Tabulka 13. Zkouška odolnosti - krátkodobé poklesy, krátká přerušení a pomalé změny napětí při 40% $U_t$ .....	48
Tabulka 14. Zkouška odolnosti - krátkodobé poklesy, krátká přerušení a pomalé změny napětí při 70% $U_t$ .....	48