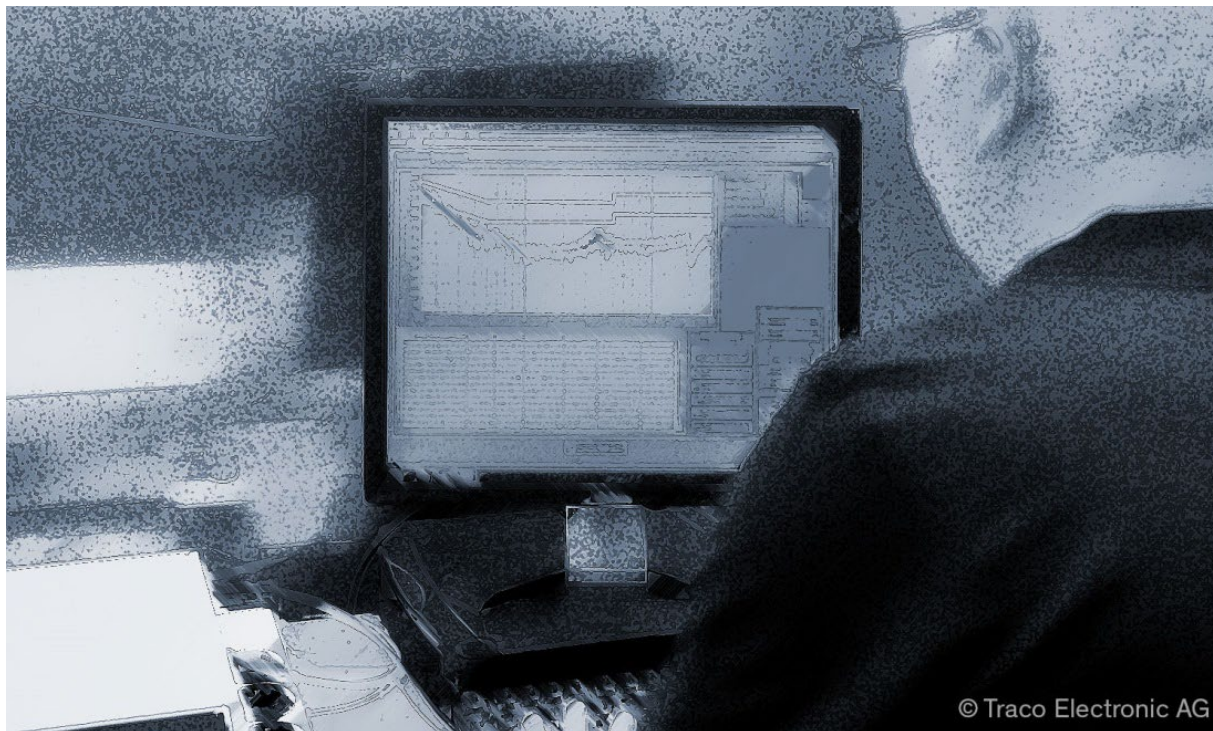


## Jevy EMC

Simeon Tremp/Traco Power  
přeložil Ing. Radomír Štulpa



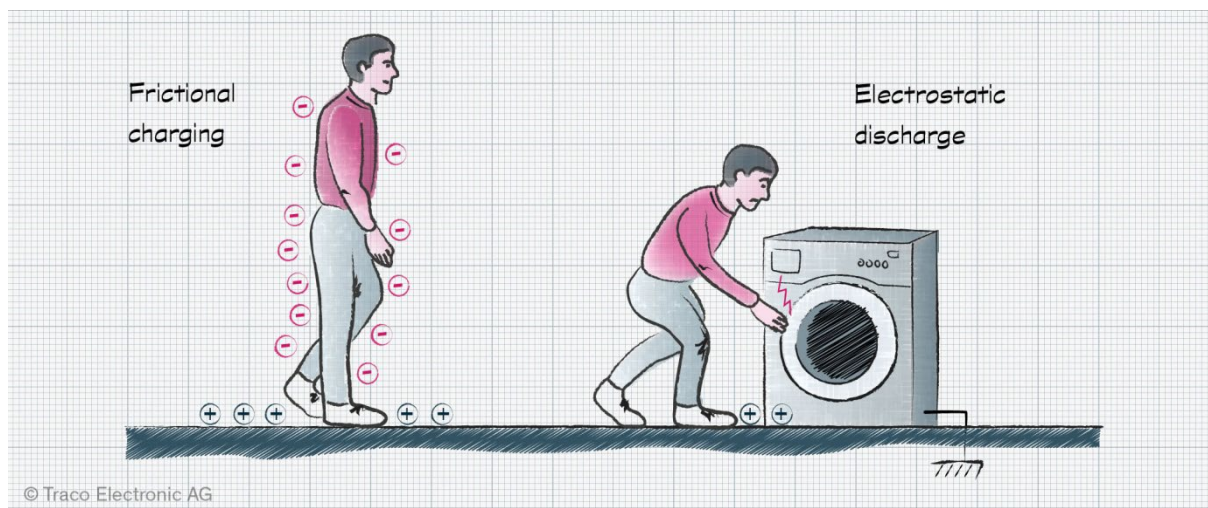
### Zkoušky na a ochrana proti elektromagnetickým jevům – první část

Při vývoji nového produktu je hlavní důraz kladen na jeho funkčnost. Někdy ale to, co může celý projekt zablokovat zrovna před zahájením výroby jsou zkoušky na elektromagnetickou kompatibilitu (EMC). Jak již bylo pojednáno v dříve publikovaném článku „Jak na elektromagnetickou kompatibilitu“, EMC pokrývá čtyři klíčové aspekty: vyzařování, imunitu, integritu signálu a elektrostatický výboj (ESD). V této první části příspěvku na dané téma se blíže podíváme na některé jevy zahrnuté v pojmu elektromagnetická citlivost (EMS – Electromagnetic Susceptibility) a elektromagnetické rušení (EMI). Dáme je do souvislosti s jejich příslušnými normami, poskytneme tipy na to, jak zkoušky provádět a nabídneme metody řešení neúspěchů při zkouškách.

#### Elektromagnetická citlivost (EMS)

##### Elektrostatický výboj

Všichni jsme někdy zažili cvaknutí ESD výboje při vystupování z auta nebo při podání ruky příteli nebo kolegovi. Napětí může dosahovat od cca 8 kV až do hodnot výrazně nad 15 kV. Ačkoli se nám často zdá, že výboj vzniká následkem dotyku něčeho, napětí mohou být ve skutečnosti tak vysoká, že k výboji dojde skrze vzduch. Tudíž, i když vaše aplikace nemá kovové části odkryté do takové míry, že se jich lze dotknout, takové jako jsou datové konektory, pouhé přiblížení ruky může postačovat k tomu, aby nastal výboj.



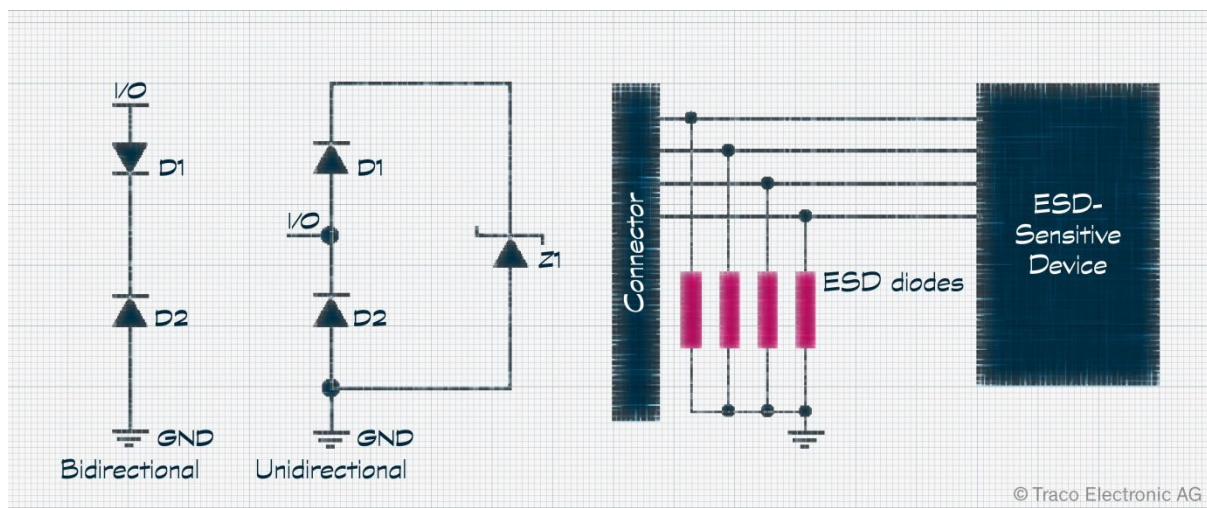
*Obr. 1 Tření může způsobit nahromadění elektrického náboje při chůzi po koberci, který se vybije ve chvíli, kdy se dotkneme něčeho uzemněného*

Datové spoje od takového konektoru nebo svorek zdroje vedou zpět k integrovanému obvodu, takže se ESD impuls může vybit do země přes tuto polovodičovou součástku. Toto může vést k roztavení křemíkových nebo metalizovaných struktur, nebo k proražení díry v oxidové vrstvě. Porucha může nastat okamžitě, v horším případě však vzniklé zeslabení přivodí poruchu postupně. Než se tak stane, může se poškození výbojem ESD projevovat jako nahodilé poruchy funkčnosti.

Zkoušky se provádějí pomocí děla ESD, které se umístí ideálně tak, že se dotýká odkrytého vodivého povrchu. Pokud žádný takový povrch není k dispozici, lze použít vzdušný výboj. Výsledky však do značné míry závisí na faktorech, jakým je vlhkost vzduchu, ale také úhel děla ESD a tvar jeho špičky. Je nutné poznamenat, že je tento druh zkoušek považován za destruktivní, protože zkoušky jsou opakovány při zvyšujícím se napětí až do nalezení hranice systému.

Citlivé signály lze ochránit a často se k tomu účelu používají diody pro potlačení krátkodobých přepětí (TVS). Dioda TVS má za normálních podmínek minimálně rozpoznatelný vliv na signál. Napětí je při aplikaci impulsu ESD vybíjeno skrze diodu na zem. Katalogový list součástky typicky uvádí tvarové průběhy ESD a můžete očekávat, že špičkové napětí je omezeno na desítky voltů po dobu několika nanosekund.

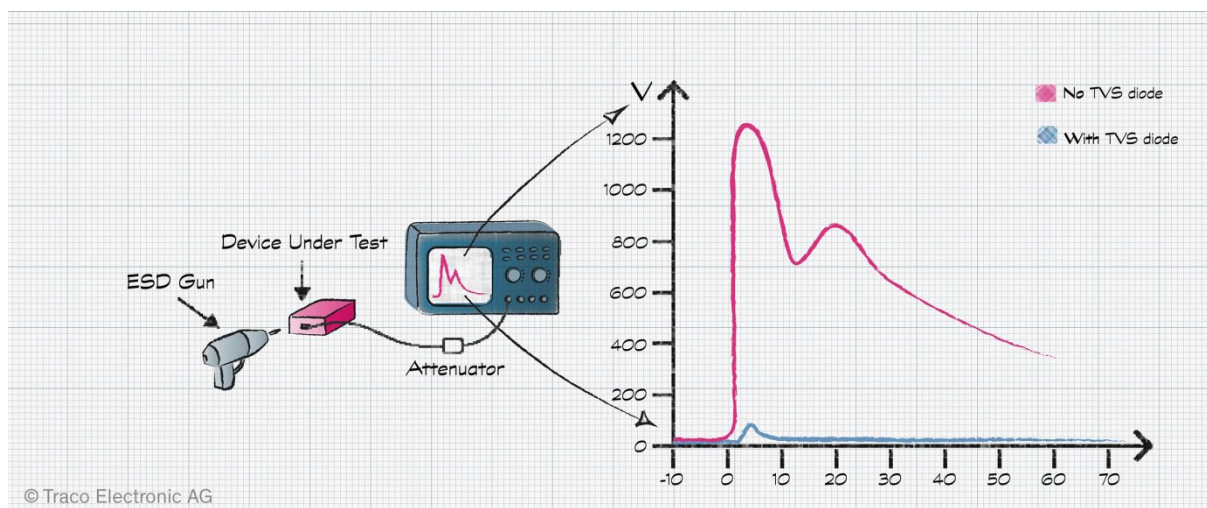




Obr. 2 Pro ochranu proti ESD se diody TVS umísťujú typicky medzi konektory a polovodičová zariadení

Volba TVS závisí na niekoľkých faktorech. Provozní napětí prvku musí být vyšší, než je maximální provozní napětí vaší aplikace. Pokud by tomu tak nebylo, docházelo by k omezování signálu při běžném provozu. Rovněž je třeba zvážit, zda bude nutná jednosměrná (signál je trvale nad/pod vztažnou napěťovou úrovní, typicky potenciálem země) nebo obousměrná ochrana. Velmi rychlé signály, takové jako USB, vyžadují obousměrné prvky TVS s nízkou kapacitou pro minimalizaci vlivu na celistvost signálu.

Změřit je možné také vliv výboje ESD. Norma EN 61000-2-4 poskytuje dokumentaci popisující vhodnou sestavu a požadované zkušební vybavení. Potřebný je osciloskop s kmitočtovým rozsahem do 2 GHz, ačkoli některé normy vyžadují 16 GHz nebo více. Rychlost vzorkování 20 giga-vzorků za sekundu se zobrazením při 20 ns/div je dostačující pro získání a prověření tvaru impulzu ESD. Do signálové cesty je nutno vložit útlumové členy, aby se předešlo poškození vstupu. Některé pokročilé osciloskopy jsou dokonce vybaveny předvolitelným nastavením, které je vhodné pro zkoušky ESD.

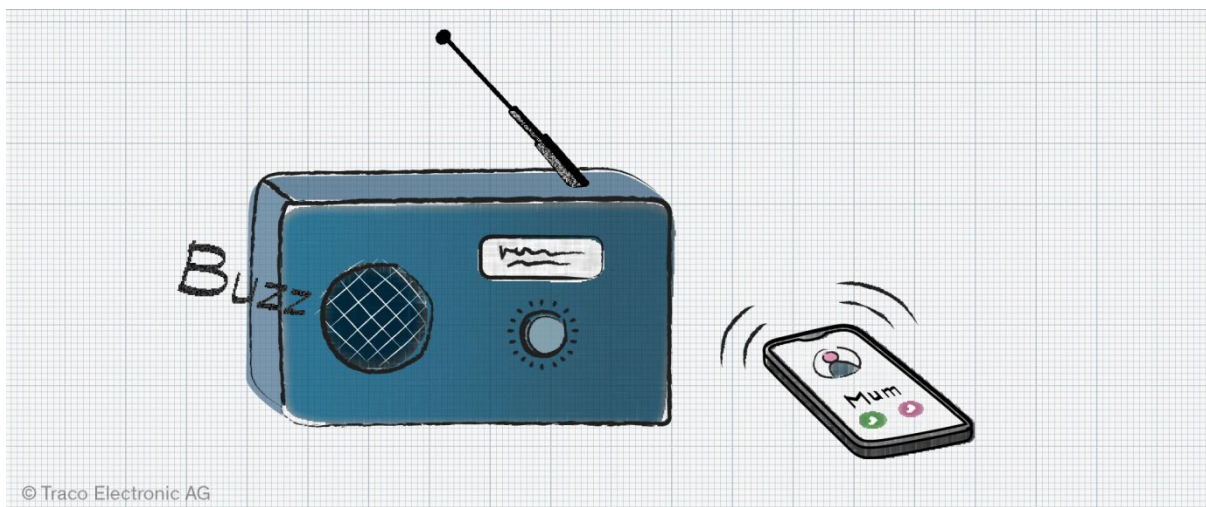


Obr. 3 K záznamu ESD lze využít osciloskop, při použití diody TVS je vidět podstatný rozdíl v průběhu signálu

Konečně, nezapomeňte zajistit ve vaší laboratoři patřičné vybavení ESD, které je potřebné při manipulaci s elektronickými součástkami a systémy. K tomuto vybavení patří pracovní podložky, obuv, náramky na zápěstí, obaly a systém pro kontrolu funkčnosti ochrany ESD.

### **Elektromagnetické vyzařované pole**

Když autem projíždíte v blízkosti některých budov, můžete zaregistrovat nepříjemný brum z vašeho rozhlasového přijímače nebo můžete uslyšet zabzučení krátce před zazvoněním vašeho chytrého telefonu. Pokud ano, stali jste se svědky účinku vyzařovaného elektromagnetického pole na elektronické zařízení. Typicky to však neznamená nic zvláštního, pouze snad, že je to nepříjemné. V jiných situacích to však může ohrozit život. Kardiostimulátory, lékařské vybavení nebo průmyslové systémy důležité z hlediska bezpečnosti mohou přestat pracovat a mohou v takových případech způsobit zranění nebo ztrátu života.



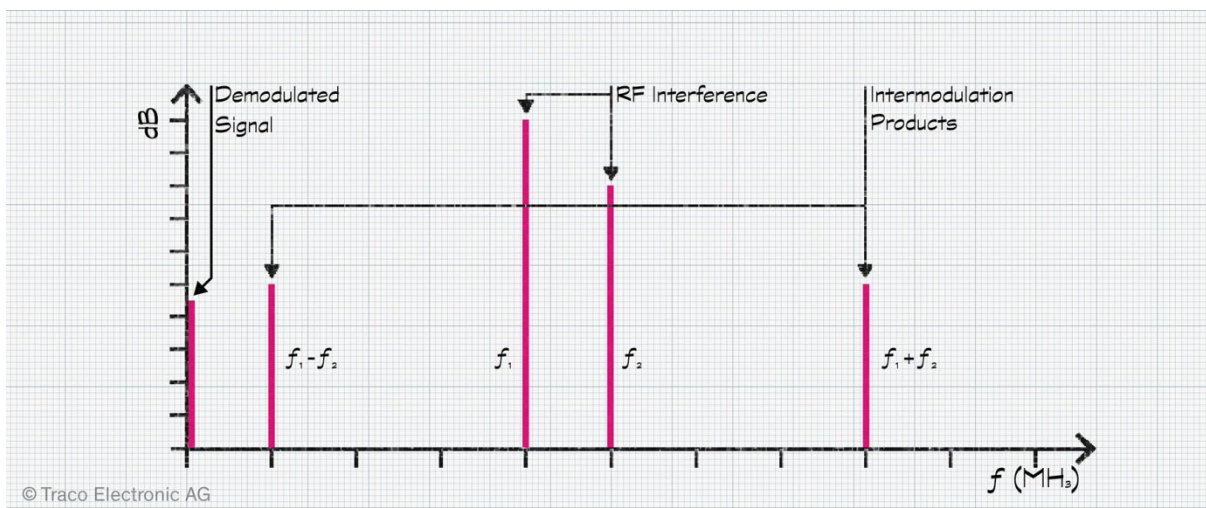
*Obr. 4 Elektromagnetické rušení lze zaregistrovat, když rozhlasový přijímač zabzučí před zazvoněním chytrého telefonu*

EN 61000-4-3 definuje požadavky na imunitu a postup pro zkoušku signálem o vysokém spojitém kmitočtu. Při zkoušce se využívá signálového generátoru, který je připojen přes zesilovač k anténě namířené na zkoušené zařízení. Zařízení je poté sledováno z hlediska funkčních anomálií, zatímco je sinusově modulovaný signál rozmítán v kmitočtových pásmech 80 MHz až 1 GHz, 800 MHz až 960 MHz a 1,4 GHz až 6 GHz. Použitá síla pole závisí na prostředí, kterému bude zařízení vystaveno při běžném provozu. K tomu navíc musí být výrobek zkoušen se všemi připojenými kabely a doplňky, které jsou při provozu potřebné.

S ohledem na riziko rušení jiným zařízením jsou tyto zkoušky prováděny uvnitř bezodrazové komory, a tudíž je nepravděpodobné, že je budete moci provádět ve vaší vlastní laboratoři.

I když norma stanoví jednotný zkušební postup, nemusí nutně u vašeho zařízení některé problémy odhalit. Jednou slabinou je použití jediného modulovaného kmitočtu. V reálném světě jsou zařízení vystavena současně mnoha signálům o různých kmitočtech. Tyto signály mohou vytvářet intermodulační složky, které mohou ovlivnit měření vašeho zařízení. Kromě toho, křemíkové obvody demodulují vysokofrekvenční signály, což často vede k rušení na vzorkovacích kmitočtech využívaných při sběru dat a tím k ovlivnění přesnosti měření.

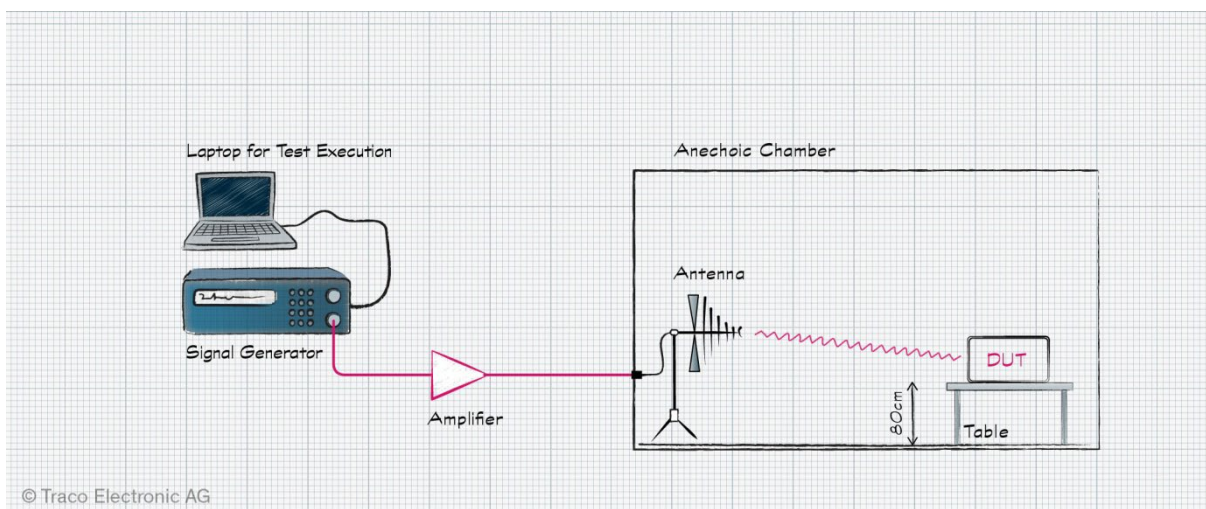




Obr. 5 Provoz v reálném světě vystavuje vaši aplikaci mnoha signálům o různých kmitočtech současně - něčemu, což není pokryto normou EN 61000-4-3

Kmitočtový rozsah použitý při zkouškách je stanoven docela vysoko, ale vaše zařízení může být citlivé na signály pod 80 MHz. V takovém případě mohou vyjít potenciální problémy najevo při zkouškách dle EN 61000-4-16 (imunita vůči šumu po kabeláži), která je zaměřena na kmitočtové pásmo 0 Hz až 150 kHz.

Další určitou překážku v průběhu zkoušek a sledování jejich výsledků představuje uvádění zkoušeného zařízení do všech patřičných provozních režimů. Zkoušky jsou typicky prováděny bez přítomnosti obsluhy, což vyžaduje nějaký způsob jeho dálkového sledování a ovládání. V průběhu zkoušek může být nutné spouštět zákaznický software s možným požadavkem zajištění časových prodlev v průběhu kmitočtového rozmítání pro poskytnutí času na zjištění jakékoli negativní odezvy na použitý signál.



Obr. 6 Zkoušky dle EN 61000-4-3 vyžadují použití bezodrazové komory; je třeba zvážit možnost sledování zkoušeného zařízení bez přítomnosti obsluhy

V případě neúspěchu při zkoušce se tím dozví, na které kmitočty je zařízení citlivé. Je možné zkusit znovu problém vyvolat za pomoci místního generátoru signálu na dotyčných kmitočtech, nebo provést zkoušky v přenosném stíněném stanu, dříve než se pokusíte o recertifikaci. Lze to provést pomocí sond blízkého pole, injekcí vf signálu nebo i radiovým vysílačem v pásmu ISM.

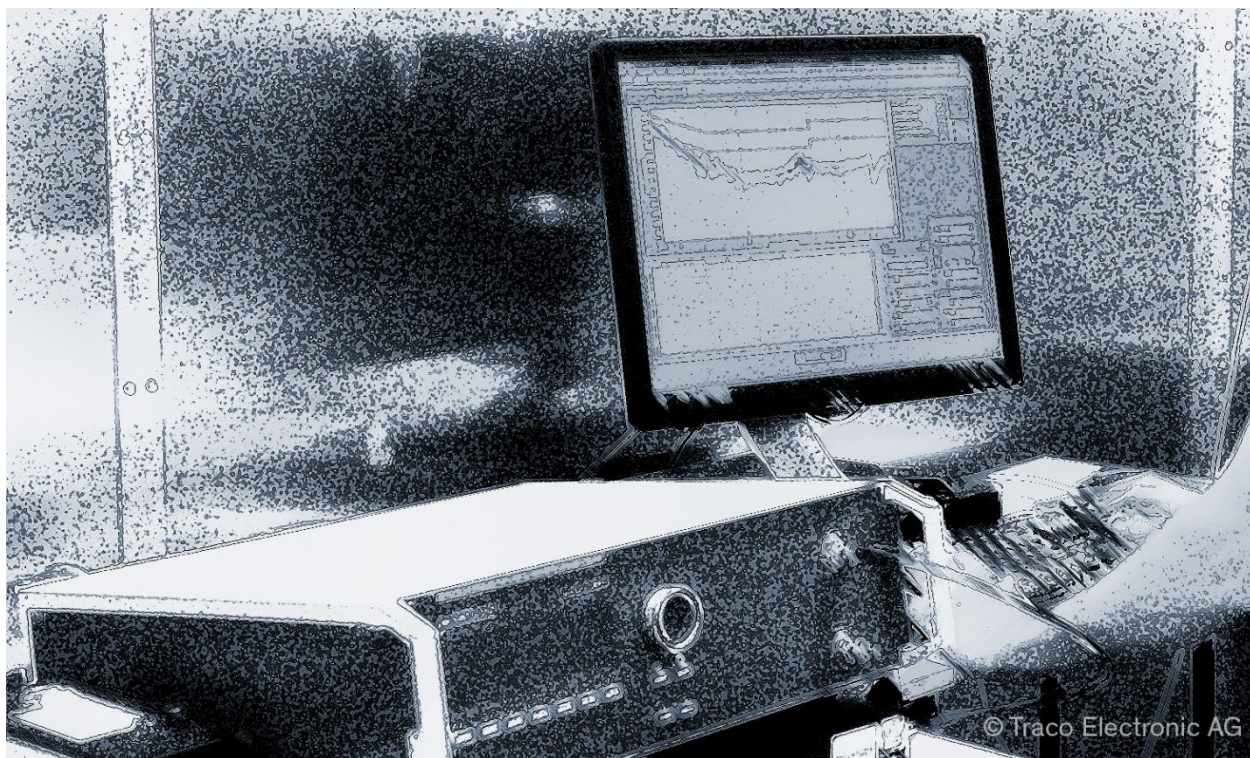
Existují tři způsoby, jak řešit problémy s rušením: filtrací, zemněním a stíněním. Musíte určit problematickou část obvodu, jak se problém projevuje a jaké nápravné opatření nejlépe funguje. Pokud má Vaše aplikace softwarově nastavitelné části, mohou se součástí řešení stát i změny nastavení filtru nebo hodinového kmitočtu. Nicméně, jakmile vyřešíte úlohu na dotyčném kmitočtu, musíte se ujistit, že nedošlo k nahodilému přesunutí problému na kmitočet jiný.

I když formální zkoušky prokážou splnění požadavků EN 61000-4-3, většina systémových konstruktérů rozumí specifickým nárokům vyzařovaného pole, v němž se bude zařízení typicky používat. Například konstruktéři dotykových obrazovek vědí, že rušení z domácích spotřebičů může mít vliv na jejich funkci. Pokud víte, že se zařízení bude používat v blízkosti spotřebiče, který dříve způsoboval problémy, vyplatí se vyzkoušet je v dané situaci v rámci zkušebního procesu.

### **Při řešení problémů zachovejte metodičnost**

Bez ohledu na to, jestli se jedná o otázky ESD nebo EMI, je nutné pracovat při jejich řešení metodicky. Pokaždé provádějte najednou pouze jedinou změnu, pokud je to možné, a zaznamenávejte výsledky. Fotografie rozložení vaší měřicí aparatury také pomůže při opětovném zopakování původního zkušebního uspořádání později. Pokud pracujete s anténou a zkoušeným zařízením, nezapomeňte označit polohu všech prvků nějakou lepicí páskou. Nakonec, nezapomeňte pro vyloučení jiných zdrojů rušení zvednout a pohnout kabely, vypnout ostatní místní zařízení a zjistit polohu jakýchkoliv vysílačů ve vašem prostoru.

### **Zkoušky na a ochrana proti elektromagnetickým jevům**



Elektromagnetické jevy jsou pro mnoho techniků tak trochu černou magií, zejména pro ty začínající. Jinak dokonale funkční systém se z ničeho nic začne u jednoho konkrétního zákazníka chovat podivně, nebo určitá várka vykazuje závady poté, co již tisíce kusů byly



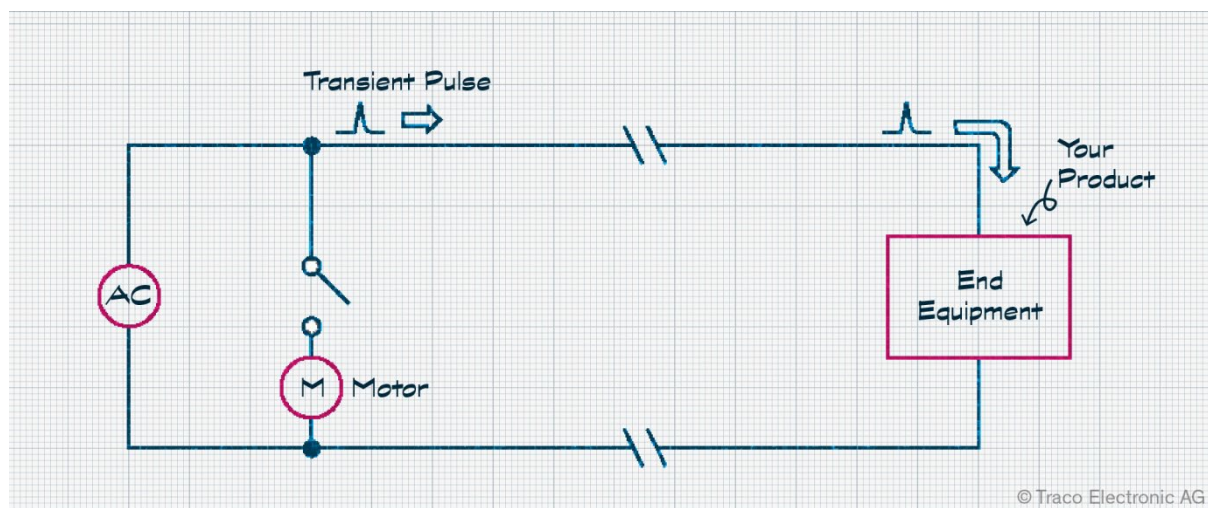
nainstalovány. V okamžiku, kdy vyloučíme všechny tradiční příčiny poruch, je čas ponořit se do temného světa elektromagnetické citlivosti / imunity (EMS) a elektromagnetického rušení (EMI). Zvláštní je, že jakmile je příčina EMS nebo EMI zjištěna, zdá se být samozřejmé, proč k danému problému došlo.

V první části tohoto článku jsme pojednali o dvou aspektech EMS: elektrostatickém výboji ESD a elektromagnetickým vyzařovaným polím. V této části se ponoříme hlouběji do norem EMS a zkoušek, přičemž pojednáme o tom, jak se tyto jevy projevují a jakým způsobem je lze minimalizovat.

## Elektromagnetická citlivost / imunita (EMS)

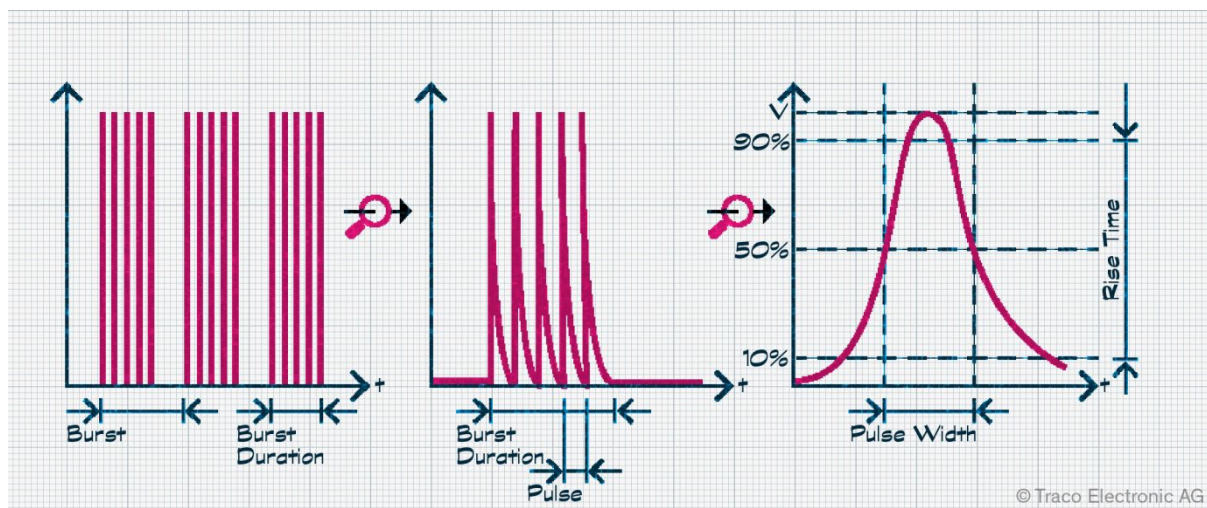
### Rychlé přechodné jevy - rázový impuls (Burst)

V elektronice máme zřídka možnost zapínat a vypínat výkonově významnější zátěže. To je důvodem jistého vzrušení, které pocítíme při otevření rozváděče s velkými a objemnými spínači. V okamžiku, kdy slyšíme ujišťující cvaknutí takového spínače, vnímáme náraz energie směřující do zátěže. Pokud se jedná o induktivní zátěž, jakou je motor, stykač, nebo relé, může dojít k injekci impulzního rušení o napětí několika kV s časem náběhu 5 až 15 nanosekund do síťového napájecího přívodu. Tento jev je známý pod názvem rychlý přechodný děj (EFT – Electrical Fast Transient), rázový impuls, nebo jednoduše jako „Burst“. Velice krátký čas náběhu způsobí širokopásmové rušení až do vysokých kmitočtů.



Obr. 1 Odpojení induktivní zátěže, jako je motor, může způsobit injekci silného impulzního rušení s rychlými přechodnými jevy do dalších zařízení.

Pokud je aplikace natolik nešťastně řešená, že sdílí tutéž kabeláž, může docházet k celé řadě vedlejších přechodných jevů. V důsledku vazebních účinků může vzniklý šum proniknout prostřednictvím střídavých i stejnosměrných napájecích stupňů do vašeho systému elektroniky. Zde může šum způsobit neočekávaný systémový reset, eventuálně způsobený krátkodobým poklesem napájecího napětí, přerušit datovou komunikaci nebo analogové signály, případně narušit obsah paměti. Aplikace může skončit zablokováním vyžadujícím manuální reset nebo restart zařízení. V nejhorším případě může dojít k fyzickému poškození vyžadujícím opravu.

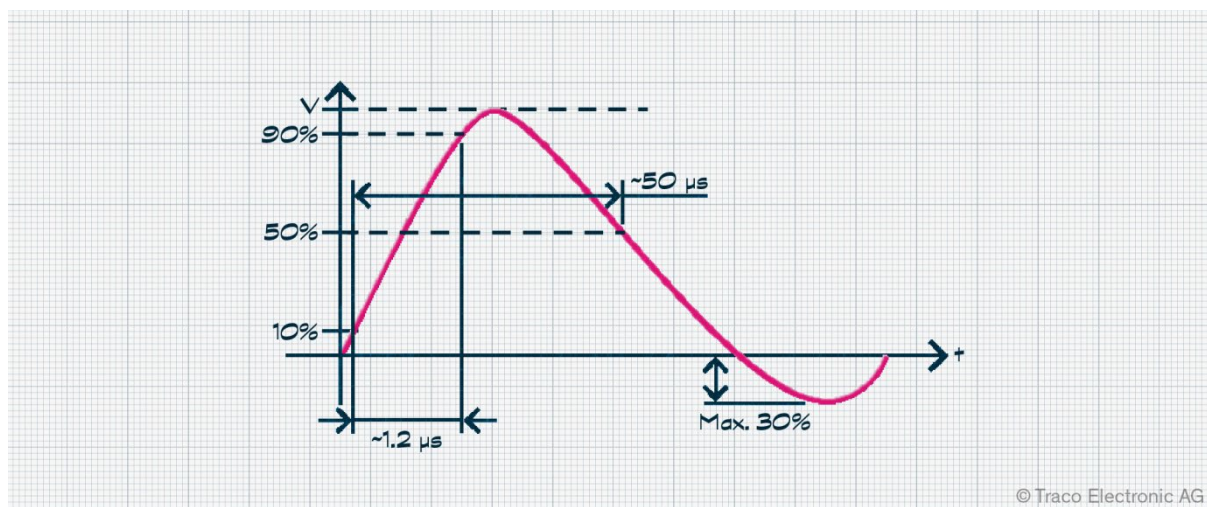


Obr. 2 Zkoušky se provádějí injekcí impulzního rušení o vysokém napětí použitím generátoru rychlých přechodných dějů (EFT Generátoru)

Rychlé přechodné děje popisuje norma IEC 61000-4-4, která uvádí zkušební metody a příslušné úrovně. Jakmile jsou identifikovány jako příčina poruchy, nabízí se celá řada možností k jejich minimalizaci nebo vyřešení následků. Mezi četné tradičně nejlepší praktiky patří prověření trasy vedení kabeláže, zachování krátkých vodičových spojů a zkroucení napájecích přívodů nebo kabelů vedoucích signál + zem. Dodržení návrhových zásad DPS a umístění blokovacích kondenzátorů představují další možnosti, stejně jako použití filtrů v přívodu síťového napájení, u konektorů, nebo na DPS. Podobně jako u ostatních úloh EMS, provedení takových fyzických změn znamená nákladné předělávky, a tudíž se vyplatí zkoušky provádět v rané fázi nebo počítat při návrhu s dodatečnými kondenzátory a ferity.

### Rázové napětí (Surge)

Elektrická rázová napětí mají svůj původ ve dvou hlavních příčinách. První je elektrická napájecí síť jako následek spínání nebo poruch zařízení k ní připojených. Druhou jsou údery blesků. „Standardizované rázové napětí“ je charakterizováno dle popisu v EN 61000-4-5 jako jednotlivý impulz s vrcholovým napětím v rozmezí 250 V až 4 kV, špičkovým proudem až 2000 A, v délce trvání až 50  $\mu$ s. Zkušební obvod pro generátor napětí a přístup k ochraně proti rázovému napětí se velmi podobá zkušebnímu zařízení pro ESD.



Obr. 3 Zkoušky dle EN 61000-4-5 se provádějí napěťovým impulzem v rozmezí 250 V až 4 kV

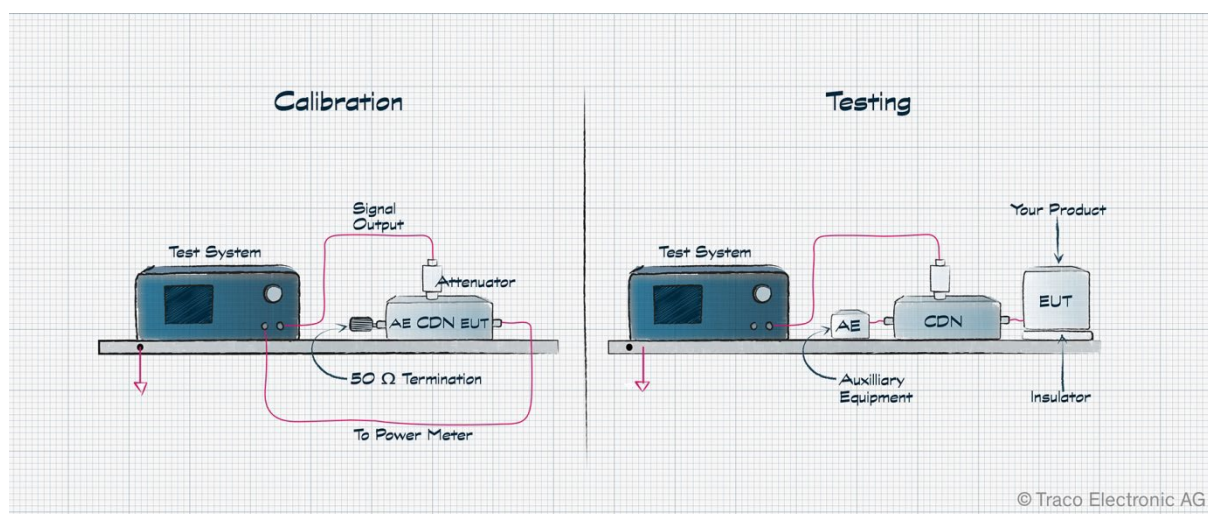


Jedním možným přístupem k ochraně je dioda TVS (Transient Voltage Suppression Diode), ale existují i další. Varistory (MOV – Metal Oxide Varistor) jsou pohlcovače rázového napětí vyznačující se vysokou impedancí až do chvíle, kdy je přiloženo vysoké napětí. V tom okamžiku se impedance sníží a prvek svede rázový proud. Tyto součástky se však používáním časem zhoršují a mohou selhat. Také LC obvod může poskytovat požadovanou ochranu; v některých případech může být řešením kombinace těchto metod.

### Indukované vysokofrekvenční pole šířené vedením

Jak již bylo zmíněno v první části článku „Zkoušky na a ochrana proti elektromagnetickým jevům“, vyzařované vlny mohou narušit funkci vaší aplikace. Vlny šířené vedením mohou být stejně problematické a má za následek podobné potíže, takové jako ovlivnění kvality analogových měření a zvýšení šumu. Pokud používáte jakékoliv kabely, od napájecích po komunikační, je to norma EN 61000-4-6, která je vodítkem při zkouškách.

Jedna metoda využívá speciální vazební síť (CDN – Coupling Decoupling Network) k přímé injekci vlny do kabelu. Jedná se o upřednostňovanou zkušební metodu pro svoji opakovatelnost. CDN existují s konektory vhodnými pro zkoušky jak stíněných tak nestíněných kabelů, od síťových napájecích po kabely USB a HDMI. Měřicí uspořádání využívá generátoru vlny s integrovaným wattmetrem, kalibrovaným se 150ohmovou impedancí dříve, než se připojí ke zkoušenému zařízení.



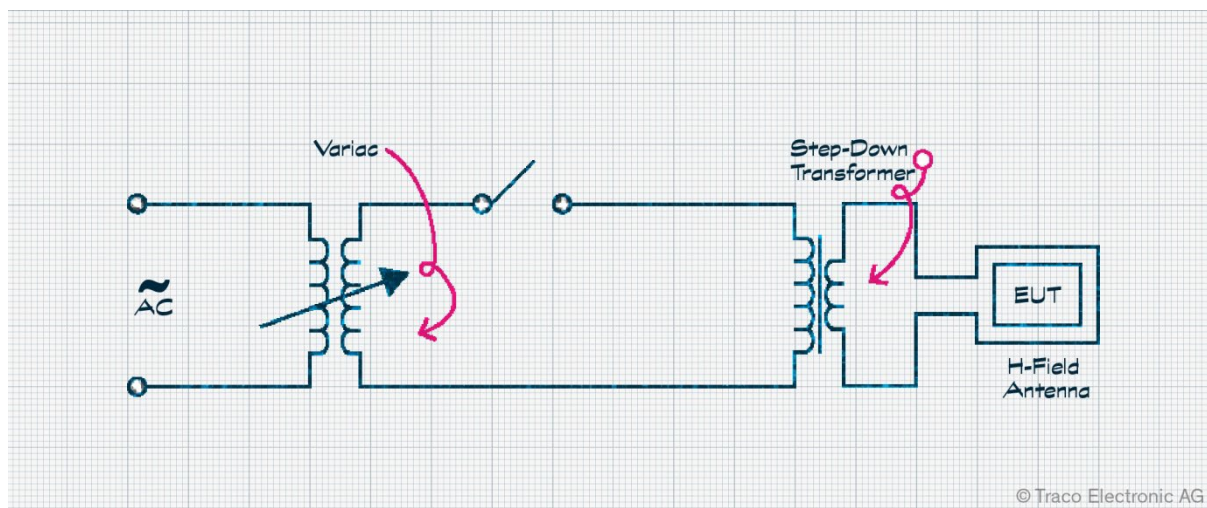
Obr. 4 Vliv vlny šířené vedením se obvykle zkouší s vazební sítí CDN. Vaše zařízení musí po dobu zkoušky pracovat správně.

Používají se kmitočty od 150 kHz do 80 MHz, přičemž pro některé aplikace může být toto pásmo rozšířeno až do 230 MHz. Signál je amplitudově modulovaný (AM) signálem o kmitočtu 1 kHz s hloubkou modulace 80 % v rozsahu 1 až 10 V<sub>stř</sub>. Případně lze použít metod nesoucích anglická označení „EM“ (Electromagnetic Clamp) nebo „BCI“ (Bulk Current Injection), ale tyto metody vyžadují výrazně vyšší vlnový výkon pro získání stejných efektivních hodnot napětí v kabelu. Při zkoušce se za provozu aplikace injikuje rušící signál. Pokud vaše zařízení pracuje správně, zkouška je považována za úspěšnou.

## Magnetické pole o síťovém kmitočtu

Není to pouze rušení vř signály, které musíme vzít v úvahu, ale je třeba posoudit také vliv magnetických polí. Obecně řečeno, zkoušky na EN 61000-4-8 jsou omezeny na magneticky citlivá zařízení. To zahrnuje, ale není omezeno pouze na zařízení využívající Hallových snímačů nebo citlivých lékařských zařízení. Například, pole 50 Hz 3,2 A/m (4  $\mu$ T) by generovalo elektrický signál přibližně 1  $\mu$ V uvnitř smyčky o ploše 80 cm<sup>2</sup>. Pro informaci, toto je síla pole na dolním konci rozsahu produkovaného mikrovlnnou troubou, měřená ve vzdálenosti 30 cm.

Zkouška typicky probíhá za použití antény, která je dost velká na to, aby zkoušené zařízení (EUT) mohlo být umístěno uvnitř, přičemž je napájena ze sítě 50/60 Hz. V některých případech může být signál rozmítán a modulován. Řešení problémů s magnetickým polem bývá bohužel náročnou a nákladnou úlohou. Mnohé problémy vyžadují provést změny na DPS, ačkoli určitou možností je výměna součástek za jiné, s nižší citlivostí na magnetická pole. Stínění je také možné, ale jeho vliv je omezený. Například ocel tloušťky 3 mm sníží sílu pole o kmitočtu 50 Hz o 20 dB, ale tloušťka hliníkového stínění s tímž účinkem by musela být výrazně větší.

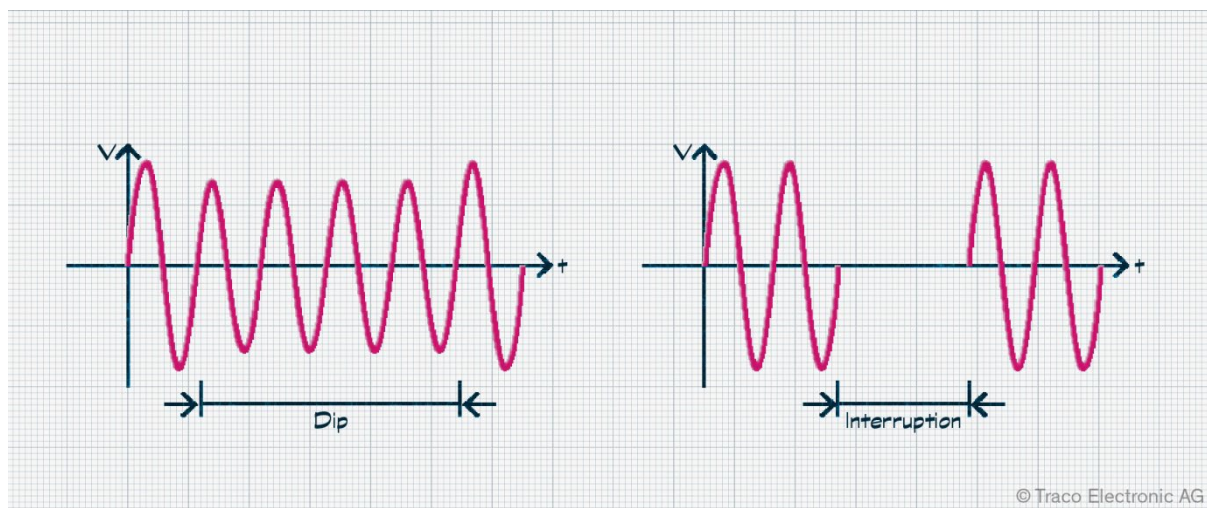


Obr. 5 Pokud není po ruce profesionální vybavení, potřebné uspořádání pro vytvoření vhodného magnetického pole je relativně jednoduché

## Poklesy a přerušení napájení

Nejsou to jen krátkodobé špičky, které mohou způsobit problémy vaší aplikaci. Pokud napájíte vaše zařízení z veřejné napájecí sítě nebo třífázového zdroje 50/60 Hz, budete se muset také vypořádat s poklesy napětí, přerušeními i možnými změnami napětí. Poklesy jsou definovány jako procentuální snížení jmenovitého napětí ze zdroje po dobu stanoveného počtu cyklů, situace typicky způsobená zapnutím dalšího zařízení. Přerušení představují časové úseky, kdy napájecí napětí zcela vypadne na polovinu cyklu nebo na déle. Zkušební postup popisuje norma EN 61000-4-11a stávající nabídka zkušebních systémů na trhu zajišťuje plně automatizovaný postup.





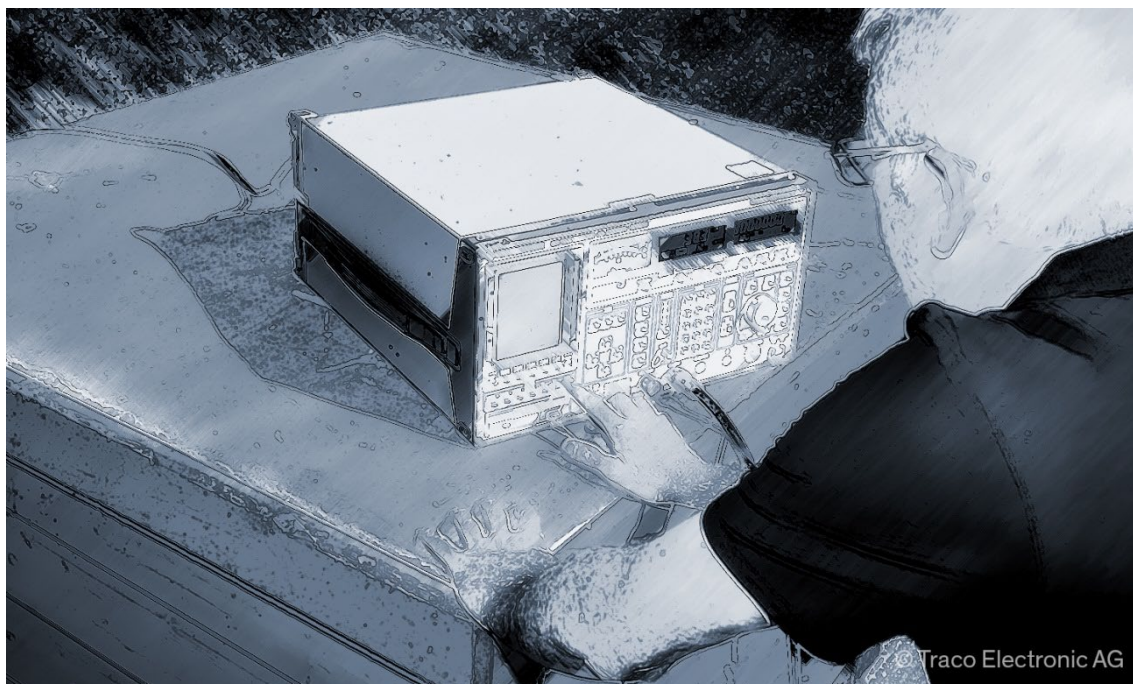
Obr. 6 Poklesy (vlevo) jsou snížením napájecího napětí po dobu určitého počtu cyklů, zatímco přerušení (vpravo) představují časové úseky zcela bez napájení

Konstrukteři AC/DC měničů musí s těmito jevy pro zajištění stabilního výstupu počítat. Pokud Vaše zařízení využívá shodného AC/DC zdroje, neměly by nastat žádné problémy. Pokud však nastanou potíže se zablokováním způsobujícím ztrátu nastavení paměti nebo i neočekávané systémové resety, je na vás problém řešit. Pokud dojde k selhání při této zkoušce, znamená to, že zařízení nevyhovělo.

### Nejlepší je včas naplánovat řešení otázek EMS

Zatímco váš tým tráví čas určováním správné velikosti ikon na displeji a optimálního zvuku pro akustickou odezvu, celá řada provozních podmínek představuje riziko, že v okamžiku uvedení zařízení do provozu vyjde všechno předchozí úsilí naprázdno. Čas vynaložený na porozumění těmto normám, vlivům jednotlivých jevů a toho, jak se tyto zkoušky provádějí je proto časem dobře investovaným. Řešení reklamací výrobků začne totiž rychle ujídat ze zisku a také z pracovního času týmu při snaze o zopakování poruchy a určení pravděpodobné příčiny. Rozhodně se vyplatí obrátit se na odborníky v oblasti EMC co nejdříve, jestliže jsou vaše vlastní zkušenosti v těchto otázkách omezené.

## Zkoušky na a ochrana proti elektromagnetickým jevům



V našem dosavadním přehledu elektromagnetických jevů jsme se zaměřili na elektromagnetickou citlivost / imunitu (EMS). Jedná se o děje vně našich elektrických zařízení, které mohou způsobit jejich špatnou funkci a v nejhorším případě i poruchu. V první části jsme se věnovali elektrostatickému výboji (ESD) a vyzařovaným elektromagnetickým polím. Ve druhé části jsme se ponořili do problematiky rychlých přechodových jevů, vř polí šířených vedením, poklesů a přerušení napájení, zkoumali jsme normy definující přijatelné hranice těchto jevů, poskytli příklady realizace zkoušek a nabídli přístupy k ochraně citlivých obvodů.

V závěrečné části na dané téma zhodnotíme některé z hlavních jevů elektromagnetického rušení, nežádoucí vř signály šířené vedením a rušení, které může produkovat vaše vyvíjené zařízení. Tak jako dříve, opět upozorníme na patřičné normy, zkušební meze, a uvedeme, jak můžete zvládnout provádění některých zkoušek ve vaší laboratoři.

### Vyzařování šířené vedením

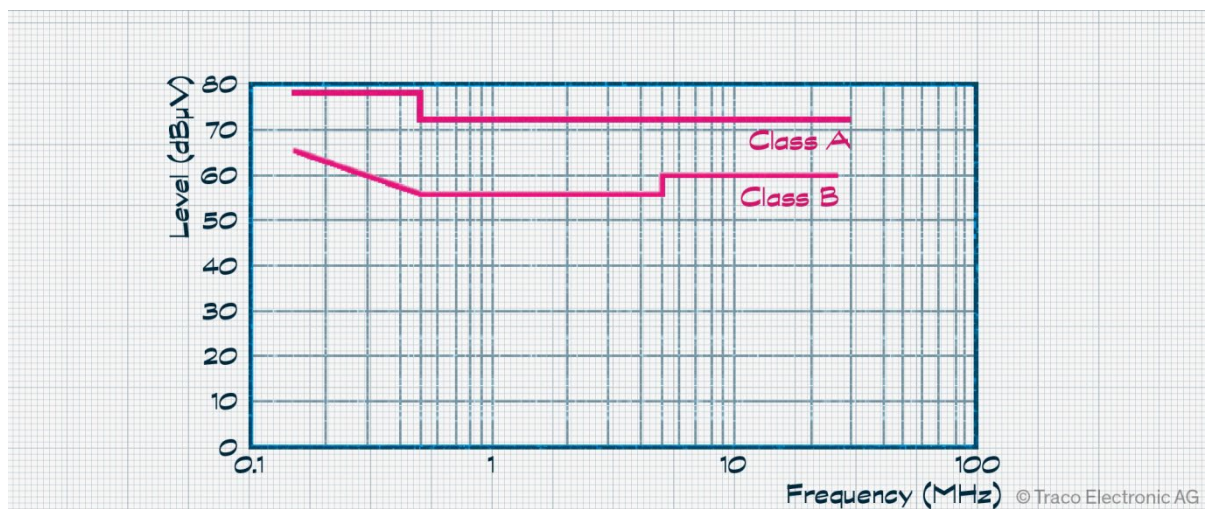
Většina z nás má pojem o rádiovém rušení. Rušení se ale může šířit z vašeho do dalších zařízení po síťových napájecích kabelech. Takové rušení spadá do kategorie rušení šířeném vedením.

Tento druh rušení může být v souhlasném nebo diferenciálním módu. Vyzařování v souhlasném módu se šíří po vedení (to znamená po živém a nulovém vodiči současně, nebo po signálovém vedení). Rušení v módu diferenciálním se šíří tam i zpět po dvojici vodičů (tj. fázovém a nulovém, páru vodičů sériového rozhraní). Tato informace má zásadní důležitost pro řešení nedostatků v oblasti zkoušek na rušení šířeného vedením.

Zkušební zařízení a postupy k zajištění systematického přístupu pro dosažení reprodukovatelných výsledků měření definuje norma CISPR 16-2-1. Zkoušky typicky probíhají v pásmu 150 kHz až 30 MHz s šířkou pásma rozlišení 9 nebo 10 kHz. Rozhodovací meze „vyhověl/nevyhověl“ jsou ale definovány jinde. Například norma EN 55032 pokrývá

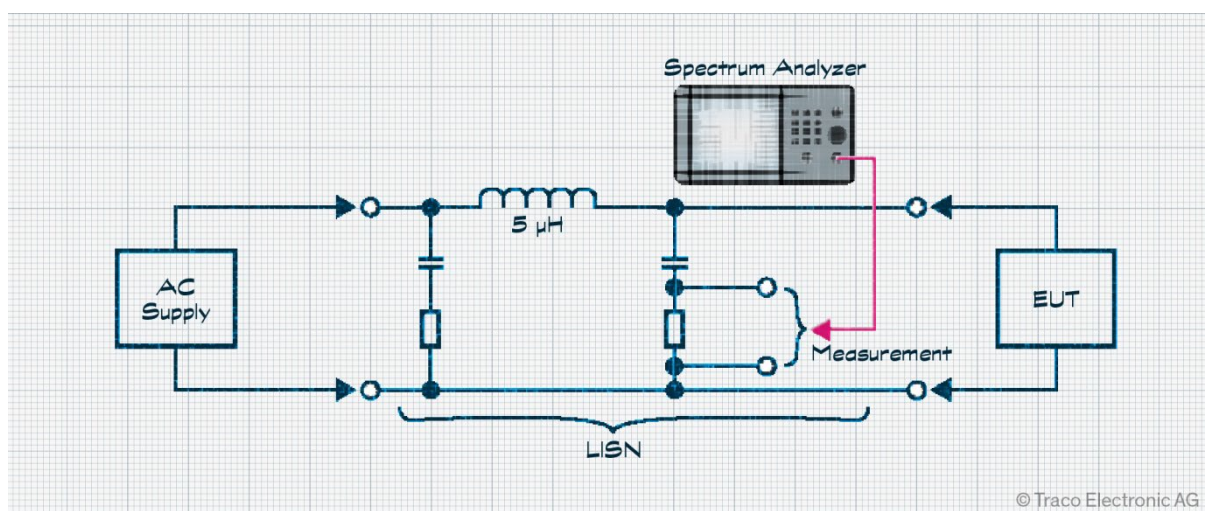


multimediální zařízení s přísnějšími mezemi „Class B“ pro výrobky určené do obytných prostor a „Class A“ pro všechny ostatní.



Obr. 1 Příklad zkušebních mezí rušení šířeném vedením ukazuje náročnější kritéria pro výrobky určené do obytných prostor (Class B)

Zkoušky vyžadují, aby spektrální analyzátor sledoval zkoušené zařízení napájené z určeného zdroje přes speciální síť pro impedanční stabilizaci vedení (LISN – Line Impedance Stabilization Network). LISN zajišťuje pevnou hodnotu impedance 50 Ω v průběhu měření a odstraňuje její odchylky způsobené použitým napájecím zdrojem. Různé sítě LISN se liší nabídkou funkcí. Ne všechny mají např. zabudovanou ochranu proti rázovému napětí (surge), takže může být nezbytné před zapnutím a vypnutím zkoušeného zařízení spektrální analyzátor odpojit.

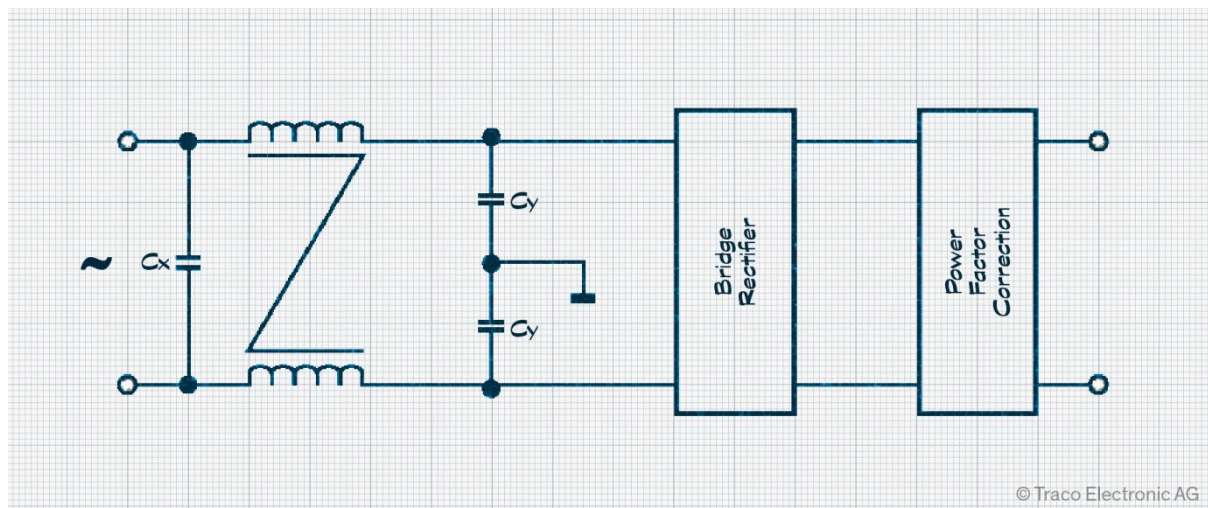


Obr. 2 Typické uspořádání při měření vyzařování šířeném vedením s použitím sítě LISN

Zkoušky na vyzařování šířené vedením mohou skončit neúspěchem, přestože napájecí zdroj z obchodu osvědčení má. Zdroje jsou obvykle zkoušeny s pevnou stejnosměrnou zátěží. Zatěžování vaším zkoušeným zařízením však pravděpodobně nebude ploché a stabilní, což

může způsobit potíže. A tak mít k dispozici v den zkoušek jeden nebo dva náhradní zdroje může být užitečné.

Některé problémy lze vyřešit úpravou filtru zdroje. Kondenzátory „X“ zapojené mezi vodiči odvedou proudy v diferenciálním módu, kondenzátory „Y“ od vodičů k zemi zvládnou proudy v módu souhlasném. Součástky jsou doplněny souhlasnou tlumivkou blokující signály o vyšších kmitočtech.



*Obr. 3 Filtr zdroje potlačuje vyzařování šířené vedením v souhlasném a diferenciálním módu, ale nemusí vyřešit všechny projevy tohoto druhu rušení.*

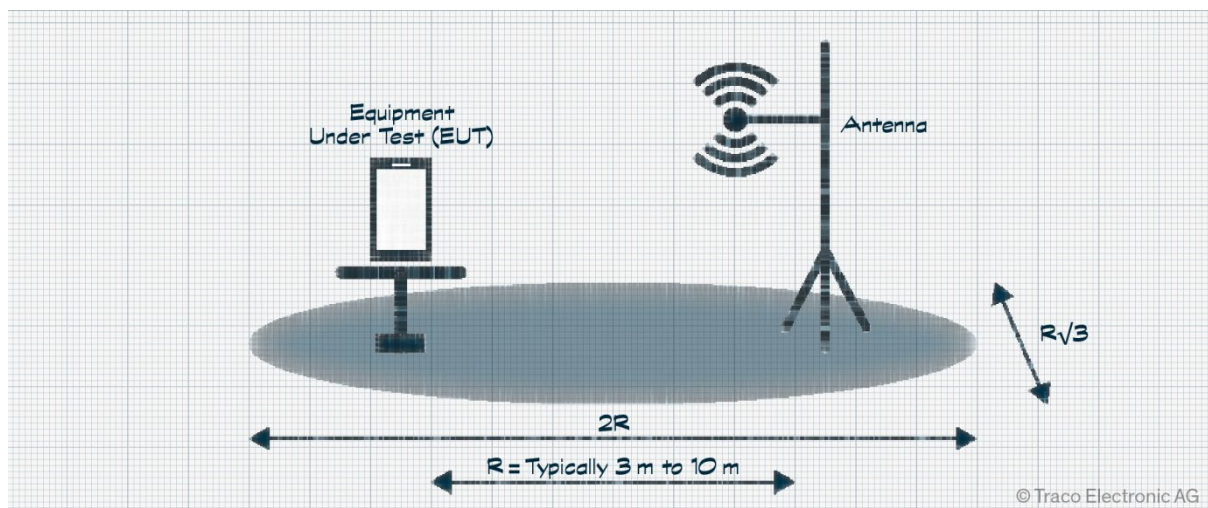
Další otázky jsou však řešitelné jedině prostřednictvím fyzických úprav. Např. krystalové oscilátory použité s mikrokontroléry nebo hradlovými poli mohou způsobovat rušení na svých kmitočtech v důsledku špatného zemnění. Takový problém bývá řešitelný jedině úpravou DPS. Potíže způsobené jednodušším stíněním nebo méně kvalitními konektory si může vyžádat jejich nahrazení kvalitnějšími variantami.

## Vyzařovaná rušení

Některé druhy rušení jsou samozřejmě vyzařovány ve formě vln energie a zde do hry vstupuje CISPR 16-2-3. Norma definuje zkušební metody a skladbu potřebných přístrojů, přičemž pokrývá kmitočtové pásmo 9 kHz až 18 GHz. Bohužel stožáry mobilních a Wi-Fi sítí, stejně jako rozhlasové, televizní a telekomunikační signály činí zkoušky na vyzařované rušení ve vaší vlastní laboratoři opravdu velmi náročnými. V důsledku toho se pravděpodobně zaměříte na kvalitativní zkoušky EMC za použití sondy pole-H.

Zkušební laboratoře nabízejí otevřené zkušební pracoviště (OATS – Open Area Test Site) a polo-bezodrazovou komoru (SAC – Semi-Anechoic Chamber). OATS je otevřené pracoviště vybrané na základě minimálního místního rušení. Je připraveno s uzemněným povrchem v prostoru mezi zkoušeným zařízením (EUT – Equipment Under Test) vlnovou anténou a zkušebními přístroji. Vzdálenost mezi EUT a anténou bývá typicky 3 m, 10 m nebo 30 m. Čas pro zkoušky je samozřejmě omezen na dny příznivého počasí, ačkoli některá pracoviště OATS jsou vybavena povětrnostní ochranou s přístřeším z materiálu propouštějícího vlny. EUT se umístí na izolovaném otočném stole umožňujícím určit vyzařované rušení z každého úhlu.



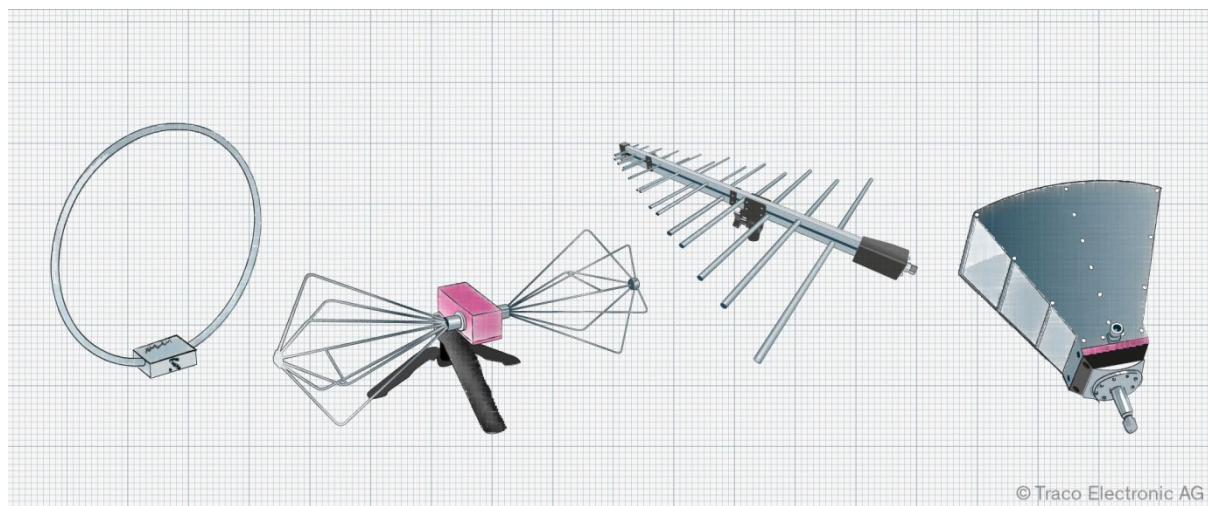


Obr. 4 Typické uspořádání otevřeného zkušebního pracoviště OATS se zobrazením prostorových nároků.

Polo-bezodrazová komora SAC je odstíněná kovová místnost oddělující zkoušky od okolního vř rušení. Vř pohlcovače kuželového tvaru udržují úroveň odražené energie na minimální úrovni. Na rozdíl od OATS, zkušební laboratoř vybavenou SAC lze použít kdykoli. Z hlediska provozovatele jsou ale pořizovací náklady na konstrukci komory SAC mnohem vyšší.

Zkoušky jsou rozsáhlé a očekává se, že budete přepínat zkoušené zařízení do všech režimů činnosti. U aplikací s procesorem to může vyžadovat speciálně vytvořený software / firmware za účelem zautomatizování tohoto postupu. Zařízení se také musí zkoušet včetně jakéhokoli pomocného vybavení, jako FLASH disk nebo sériové rozhraní, které může být používáno při běžném provozu. Vyplatí se mít při zkouškách několik takových pomocných periferních zařízení a kabelů k dispozici pro případ, že se některé z nich stane příčinou neúspěchu při zkoušce.

V závislosti na kmitočtovém rozsahu zkoušek je možné použít různé antény. Rovněž může být nezbytné použití vř zesilovače před připojením signálu k vhodnému spektrálnímu analyzátoru. Spektrální analyzátor by měl podporovat zařazení pásmové propusti se strmostí potlačení 6 dB na oktávu a provádět kvazi-špičková měření. Zkušební meze jsou závislé na kategorii zkoušeného zařízení. Například zkoušky na třídu „Class B“ dle CISPR 11 skupiny 1 zahrnují taková zařízení jako laboratorní přístroje, spínané napájecí zdroje a obráběcí stroje.

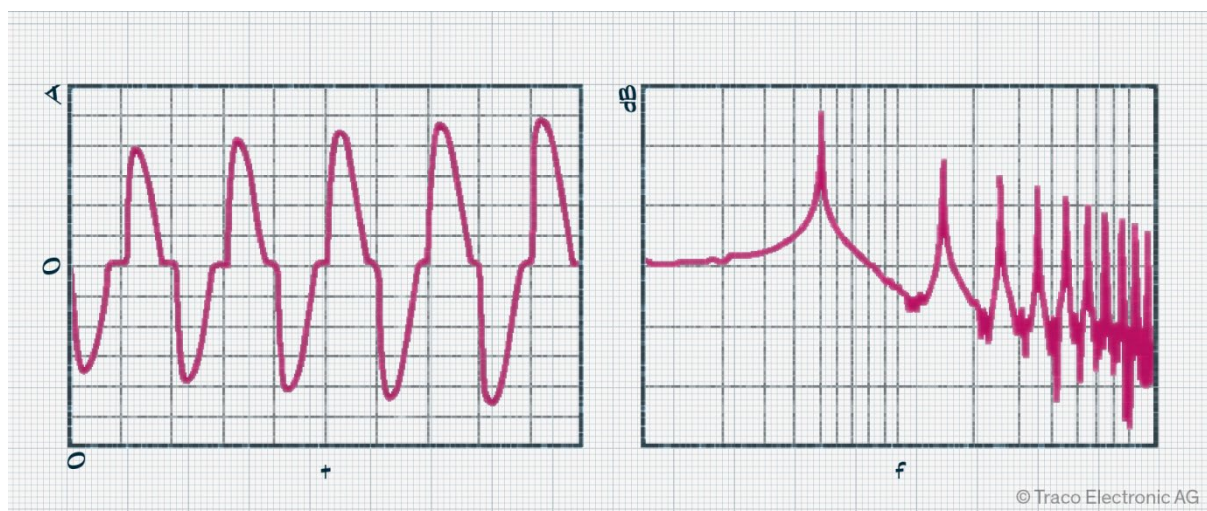


Obr. 5 Různé antény používané pro zkoušky na vyzařované rušení. Zleva doprava, smyčková (10 kHz – 30 MHz), bikónická (30 MHz – 300 MHz), logaritmicko-periodická (300 MHz – 1 GHz) a trychtýřová anténa (> 1GHz)

Mnohé problémy zpětně souvisejí s problematikou návrhu DPS, vedení kabeláže a zemnění. V některých případech lze problémy řešit v průběhu zkoušek za pomoci feritů, tlumivek nebo i stínění. Neúspěchy při zkouškách zapříčiněné spínacími obvody mohou být vyřešeny hodinovými signály s modulací s rozloženým spektrem, pokud jsou k dispozici.

### Harmonické proudy v napájecí síti

Ideálně by proud, který vaše zařízení odebírá měl být ve fázi s napětím napájecí sítě. Nelineární zátěže však odebírají proud ze sítě přerušovaně, takové, jako klasické usměrňovače s kondenzátorem používané v napájecích zdrojích. Průběh proudu již nevypadá jako sinusoida a na spektrálním analyzátoru uvidíme, že je bohatý na obsah harmonických. Musíme předpokládat, že naše zařízení produkuje harmonické proudy v síti, a proto musíme ověřit, zda splňujeme normu EN 61000-3-2.



Obr. 6 nesinusový průběh proudu ze sítě tekoucího do obvodů síťového usměrňovače (vlevo) a jeho spektrum

Působnost této normy je omezena na zařízení odebírající méně než 16 A, a i když existují výjimky, pokrývá většinu aplikací. Provoz jediného zařízení bývá typicky bez problémů. Spíše je to současný chod více počítačů, monitorů a osvětlovacích těles (tak jako v kanceláři nebo v nemocnici), který způsobuje provozní problémy, nebo se projevuje nespolehlivostí následkem vzniklých kombinací harmonických proudů. V těchto situacích taktéž dochází k rušení u audio-zařízení.

Zkoušky poskytnou výsledky pro všechny nebo některé harmonické až do čtyřicátého řádu, a v závislosti na tom, do které třídy vaše zařízení spadá, také výsledek „prošlo/ neprošlo“. Počítače, monitory a televizory spadají do třídy D, zatímco přenosné přístroje do třídy B. Požadované zkušební zařízení sestává ze zdroje střídavého napájení s nízkým zkreslením, analyzátoru harmonických a převodníku proudu - uspořádání, které obvykle také podporuje zkoušky na blikání (flicker)

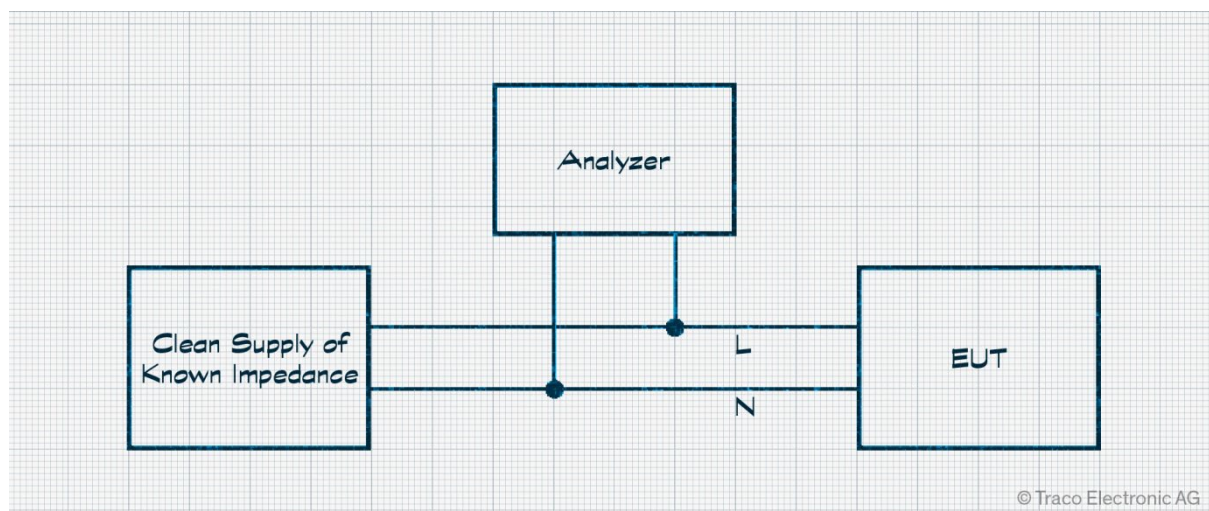
### Blikání (Flicker)



Nevyhnutelně jste museli zažít chvíli, kdy světla u vás doma nebo v kanceláři na chvíli blikla nebo se ztlumila. Toto bývá často způsobeno poklesy napájení, které mají původ v napájecí síti. Nicméně, mohlo by to být ale způsobeno také místním zapnutím spotřebiče velkého výkonu, jako je vysavač, trouba, nebo rychlovarná konvice. V nejhorším případě by spotřebič mohl způsobit trvalé změny v intenzitě osvětlení vedoucí k bolestem hlavy nebo dokonce i k epileptickému záchvatu. Zkoušky definované normou EN 61000-3-3 se týkají starších elektrických instalací, u nichž degradující elektrické žárovky způsobovaly blikání osvětlení zapojeného v téže elektrické síti.

Norma definuje meze výkyvů napětí, které dané elektrické zařízení smí generovat a je zaměřena především na domácí spotřebiče, které pracují s napájením v okolí 220 V<sub>stř</sub> s odběrem nižším než 16 A. Účelem normy není úplné odstranění změn jasu osvětlovacích těles. Ve skutečnosti definuje přijatelné úrovně změn v intenzitě světla.

Ke zkouškám se používá zkoušečka blikání nebo analyzátor. V kombinaci se zdrojem čistého napájení jsou sledovány výkyvy napájecího napětí na svorkách zkoušeného zařízení (EUT). Poté jsou prováděny složité výpočty pro vyhodnocení výkyvů způsobených během provozu. Jelikož je měřicí uspořádání při zkouškách na blikání podobné uspořádání při zkouškách na harmonické proudy v síti, oba druhy zkoušek jsou obvykle prováděny za pomoci stejného přístrojového vybavení.



Obr. 7 Měřicí uspořádání pro zkoušky na blikání lze s drobnými úpravami použít také při zkouškách na harmonické v síti

## Závěr / shrnutí

Existuje množství norem, které je třeba splnit, přičemž všechny jsou určeny k tomu, aby veškerá elektrická zařízení a spotřebiče, které používáme v domácnosti, v kanceláři nebo kdekoli v práci pracovaly podle očekávání. Jak jsme viděli, zkoušky zajišťují, aby naše zařízení nerušilo ostatní okolo nás. Mají ale také za úkol zajistit, aby vaše zařízení nebylo rušeno signály, kterým je vystaveno. Všechny úlohy spojené s EMC je nejlépe řešit co nejdříve a je žádoucí, aby bylo možné získat podporu od odborníků nebo dodavatelů součástek a systémů, pokud je třeba. Ano, ferity, tlumivky a stínění jsou možné doplnit později, ale jejich možnosti při řešení problémů jsou omezené a tato opatření zbytečně zvyšují náklady. V nejhorším případě budete muset přepracovat DPS a způsobit tak týdny zdržení. Nakonec, buďte ve spojení se zkušební laboratoří, abyste mohli vyjasnit příslušné normy vztahující se k vašemu případu a také zajistit vše potřebné pro den zkoušek.