

„Inteligentní dům“ – elektromagneticky kompatibilní řešení instalace

Ing. Edmund PANTŮČEK, soudny znalec, Brno, ČR

Riziko je vyjádřením vztahu mezi velikostí ztráty a pravděpodobností vzniku události. Analýza rizika určí slabá místa systému, prevence snižuje počet takových míst. Elektrická rizika znamenají ohrožení provozuschopnosti systému a také možnost následných škod po případném výpadku. Snížení rizika znamená zvýšení provozně-technické bezpečnosti objektu, instalace a personálu. Eliminace rizik znamená cyklický proces vyhledávání možného rizika a provádění aktivit k omezení nebo zamezení takového stavu.

Nejen v průmyslových aplikacích se složitým elektromagnetickým prostředím, ale také v domech a budovách určených pro obchodní nebo kancelářské účely a pro bydlení se stále častěji objevují přístroje citlivé na okolní elektromagnetické vlivy. Požadavky EMC, stínění, odrušení a ochrany před vlivy přepětí se proto dostávají stále častěji do projektů a realizací.

Jak nazvat instalaci v domě, kde jsou vzdálenosti po vedení takové, že například svodiče přepětí chrání pouze rozvaděče, ve kterých jsou umístěny? Každý potenciálový rozdíl mezi dvěma body vytváří elektrické pole. Každý elektrický proud je doprovázen magnetickým polem. Pokud se pole nemění, je jeho vliv zanedbatelný. Pokud je změna proudu doprovázena rychle se měnícím magnetickým polem, dochází v souladu s Maxwellovými rovnicemi ke vzniku indukovaného napětí nebo proudu.

Interference pronikají do dílčích systémů galvanickou, induktivní a kapacitní vazbou. Elektromagnetická pole jsou svým účinkem důležitá především při vysokofrekvenčním rušení, kdy je možno lokalizovat vysílač a v systému stanovit přijímač. Vysokofrekvenční procesy provázejí také výboje blesku nebo spínací pochody a mohou trvat déle než vysokofrekvenční rušení. I v těchto případech dále pronikají nízkenergetická rušení jako nepřímý vliv. Proto je důležité před vlastní tvorbou projektu systému důkladně zvážit možné vlivy a nutná opatření k ochraně před jejich účinky.

Zkreslení vyššími harmonickými představuje značnou fyzickou zátěž elektrických i elektronických obvodů, jejich přetížení proudem i napětím. Třetí harmonická nevzniká jen v důsledku spínání výkonových zátěží nebo pravoúhlé konverze, ale také jako důsledek užívání elektronických spínaných zdrojů, u nezátížených standby zdrojů nebo při nevhodném řízení se projeví činitel harmonického zkreslení i v řádu stovek procent a vysoké harmonické – čím ostřejší je šířková modulace, tím více. Obecně vznikají harmonické především na zařízeních s převahou kapacitní složky, tedy prakticky na všech současných řízených zdrojích, zařízeních a regulátorech. Dalším problémem je vysoká soudobost, trvalé připojení standby zdrojů, skokové nárůsty a mezifázová rozvážení vzhledem k charakteru impulsních zdrojů a řízení.

Oproti dřívějšímu stavu uvažujeme **činnou, jalovou a reaktivní** složku elektrického výkonu

$$S = (P^2 + Q^2 + Q_o^2)^{1/2}$$

Právě reaktivní složka vnáší hlavní nelinearitu harmonickým zkreslením do přívodů, což znamená ohrožení středního vodiče jeho trvalým přetížením, rozpad trojfázové soustavy na tři jednofázové obvody se společným neutrálním vodičem.

Elektrické zařízení, byť odolné ve smyslu Směrnice EU o elektromagnetické slučitelnosti, může být kombinací několika nepříznivých vlivů ohroženo natolik, že dojde k jeho poškození nebo destrukci. Současná analýza a prevence rizik stanoví taxativně ohrožení a protipatření, nezabývá se prevencí a zajištěním maximálního výkonu elektrického zařízení. Potřeba trvalosti a nepřetržitosti výroby, provozu a jakosti služeb řadí do popředí rizikový management, proto se požadavek na EMC objektů objevuje i jako technický standard. Především oblast elektronického zpracování a přenosu dat bude analýzu EMC rizika vyžadovat.

Analýza rizika pomáhá objektivizovat a kvantifikovat možné poškození objektu jejich přímým nebo účinkem. Z pohledu managementu rizika se jedná o kombinaci nejméně tří rizik. Roli sehrává také kvalifikovaný odhad možného synergického vlivu na provozovaný systém. Analýza rizika nestanoví přesný postup pro ochranu objektu – vyhledává možná ohrožení a určuje míru ochrany. Potřebná technická opatření jsou dána technickými standardy.

EMC opatření představují část systému omezení rizik. Proto je třeba při návrhu i při realizaci znát celkový projekt objektu, - silnoprůd, slaboprůd, hromosvody a ostatní instalace – včetně vzdáleností, skutečného místa a směru vedení vodičů a kabelů, předpokládaného rozmístění strojů a přístrojů, vzdáleností od hromosvodů a silových vedení, případně dalších rozvodů, způsob uzemnění a vyrovnání potenciálů, ale třeba i bouřkovou aktivitu v místě stavby (keraunická mapa podává průměrované, tedy orientační hodnoty pro oblast!). Součástí EMC opatření je ochrana proti přepětí, vytvářená po vyrovnání potenciálů a stínění ze svodičů přepětí jednoduchých nebo kombinovaných, rozmístěných po provedené analýze rizika s cílem zajištění optimálních provozních vlastností jednotlivých prvků i celého systému. Je účinná proti vlivům impulzního (tranzientního) nebo dlouhodobého (hladinového) přepětí.

Například pro indukované přepětí do sítí nízkého napětí po výboji blesku v blízkosti vzdušného vedení platí dle IEC 61643-12 odhad

$$U = 30 * k * (h / d) * I ,$$

- kde
- I** je proud výboje blesku v kiloampérech ,
 - h** je výška vedení v metrech nad zemí,
 - d** je vzdálenost v kilometrech od výboje,
 - k** je odvozeno od rychlosti zpětného výboje bleskovým kanálem –mezi 1,0 a 1,3.

Běžný úder blesku s proudem 30 kA ve vzdálenosti 1 km od vzdušného vedení vytváří cobybový impulz 5 kV, blesk s proudem 100 kA pak vytváří napěťový impulz 15 kV. Napětí v přípojkové skříní by nemělo překročit 4 kV. Tato situace může vzniknout i při výbojích mezi oblaky, kdy je ochrana proti atmosférickému přepětí ve funkci Faradayovy klece tvořené hromosvodem, tedy preventivního opatření.

Spínací přepětí ohrožují především oscilacemi a harmonickými. Velikost a průběh takového přepětí jsou odvozeny od typu obvodu, procesu (spínání, odpojování, pulzní řízení atd.), dalšími činiteli jsou možnost rezonance okruhu, počet a druh připojených zdrojů, odpojení pod zátěží. Rušení spínacím přepětím může mít dlouhodobý průběh, například od střídačů nebo zdrojů s pulzně-šířkovou modulací. Sít' je zatížena často zpětnými vlivy a přeslechy od pulzně šířkové modulace řízené veličiny, dochází k nesymetrii mezi fázemi díky využití sdruženého napětí mezi fázemi k řízení větších jednofázových zátěží.

ZEMNĚNÍ, VYROVNÁNÍ POTENCIÁLU.

Přetrvává stanovisko, kdy ochrana před tranzientními přepětími a harmonickými rušivými frekvencemi bývá slučována s ochranou před nebezpečným dotykem. Soustava vyrovnání potenciálu je vystavena mnohonásobně vyšší impulzní zátěži než ochranný vodič. Úlohou ochranné soustavy je zajistit bezpečné automatické odpojení od zdroje, současná úloha vyrovnání potenciálu může zhoršit její účinnost. **Objekt musí být spojen s uzemněním v jediném bodě, aby nedocházelo k tvorbě parazitních bludných nebo vyrovnávacích proudů.**

Pojem zemnění slučuje pojmy uzemnění a vyrovnání potenciálů. Parametry zemnění dané normami STN EN 332000-4 jsou zaměřeny na ochranu osob, vyhovují ale obecně - pro pochopení zemnicího systému elektromagneticky kompatibilního objektu. Soustava vyrovnání potenciálu má ale jiné parametry a je budována odděleně, v souladu s STN EN 50310.

Prostor vyrovnání potenciálu – CBN - je vytvářen jako především mřížový a kruhový (nouzově hvězdicový) systém, ke kterému jsou připojeny všechny neživé části - kostry a skříně elektrických přístrojů a zařízení. Tak vzniklé prostory jsou pak připojeny na centrální soustavu. Řešení hvězdicí a okruhem vyhovuje při vzájemně oddělených provozních celcích – jinak je důrazně doporučeno vytvářet soustavu mřížovou. Čím častější je vzájemné pospojení, tím stabilnější (a účinnější) je i stínění prostoru vůči nežádoucím elektromagnetickým vlivům. Další prvek tvorby ochranného systému představuje použitá soustava sítě. Pokud chceme vytvořit soustavu s trvale účinnou funkcí EMC slučitelnosti provozu a vzájemného ovlivňování elektrických přístrojů a zařízení, musíme zaručit, že všechny rušivé proudy budou účinně odděleny od systému a odvedeny ke zdroji napájení nebo do zemnění. Pětivodičová (a pětivodičová s přidaným vodičem vyrovnání potenciálu) soustava napájení umožňuje oddělit zpětné a interferenční proudy a

vrátit vodiči PE ochrannou funkci. Tento stav platí s jistotou – pokud je v celé stavbě vytvořen pouze jediný propoj mezi neutrálním a ochranným vodičem. Pokud je ve stavbě použit čtyřvodičový hlavní rozvod, je spojena funkce ochranného a neutrálního vodiče. Společný vodič vede jak **zpětný** tak **interferenční** proud a způsobuje elektromagnetickou nestabilitu celé instalace.

Pokud je soustava vyrovnání potenciálu v rozvaděči na přepětové ochraně spojena s ochranným vodičem, jde o stabilizaci uzemnění objektu.

Preferována je soustava pospojená ve všech místech křížení uzemňovací sítě a v místech setkání sítě a zařízení, včetně využití přípustných spojů s kovovou konstrukcí objektu. Dojde tak k rozdělení rušivých energií do více cest a ke snížení účinku rušivých vlivů. Zapojení konstrukce budovy do ochranného systému navíc vytváří základ Faradayovy klece účinné proti vlivu především výboje blesku.

PARAZITNÍ PŘEPĚTÍ, VZDÁLENOSTI A ÚČINNOST.

Jedná se o jev způsobený nevhodným rozmístěním přístrojů v instalaci nebo v rozvaděči. Standardy IEC doporučí pro odhad vlastní indukčnosti vedení 1 mikroHenry/metr, běžnou změnu proudu v důsledku tranzientních jevů pak 1 kiloAmpér za mikrosekundu. Při těchto parametrech a ze známého vzorce

$$u=L \cdot di/dt$$

vychází indukované napětí 1 kV na každý metr vedení. Odtud jsou odvozeny parametry, s ohledem na napětěvou odolnost instalace a citlivost elektronických přístrojů, stejně jako riziko vzniku oscilací na vedení. Oscilace mohou vznikat na volných koncích vedení, v důsledku spínacích pochodů, přenosem ze souběžných větví, respektive z jiných důvodů – zde je na místě analýza rizika. Každá instalace obsahuje riziko, a analýza ve smyslu standardu 62305 je pouze částečná – nepokrývá požadavky elektromagnetické kompatibility objektu.

Každé elektrické kovové vedení prostupující hranicí sousedních EMC zón má být v místě prostupu (nebo co nejbližší tomuto místu) uzemněno buď přímo nebo přes vhodný ochranný prvek. K základním parametrům ochrany proti přepětí v sítích nízkého napětí patří provozní napětí U_C , ochranná hladina U_P , typ ochrany T1, T2 nebo T3, zkratový proud při poruše SPD, prostředí pro instalaci SPD (vnitřní nebo venkovní), počet připojovacích bodů, stupeň krytí - kód IP, jmenovitý proud svodičem I_n pro svodiče Typ 1 a Typ 2, chování při dočasném (hladinovém) přepětí, chování SPD při poruše. K důležitým parametrům patří také doporučený průřez připojovacích vodičů.

Pokud jsou třídy zkoušek nebo typ ochrany odděleny lomítkem (znakem /), má ochrana zároveň splňovat podmínky všech zmíněných kategorií a může být zařazena do jedné z tříd, nikoli do více tříd najednou. Pokud jsou třídy zkoušek odděleny logickým and (znaménko +), má ochrana samostatně a koordinovaně splňovat požadavky obou tříd zkoušek a ochranný přístroj plní zároveň požadavek na více ochranných tříd.

Svodič třídy zkoušek I dle STN EN 61643-11 - Typ1 má schopnost odvést impulzní proud nejméně 75 kA ve vlně 10/350 μ s. Svodič Typ1 se jmenovitou hodnotou zkoušky pro proud 12,5 kA (10/350) není použitelný pro objekty s kategorií rizika I a II podle STN EN 62305. Svodiče Typ1 se jmenovitou hodnotou zkoušky pro proud 7 kA (10/350) je možno instalovat jen s vědomím a souhlasem uživatele.

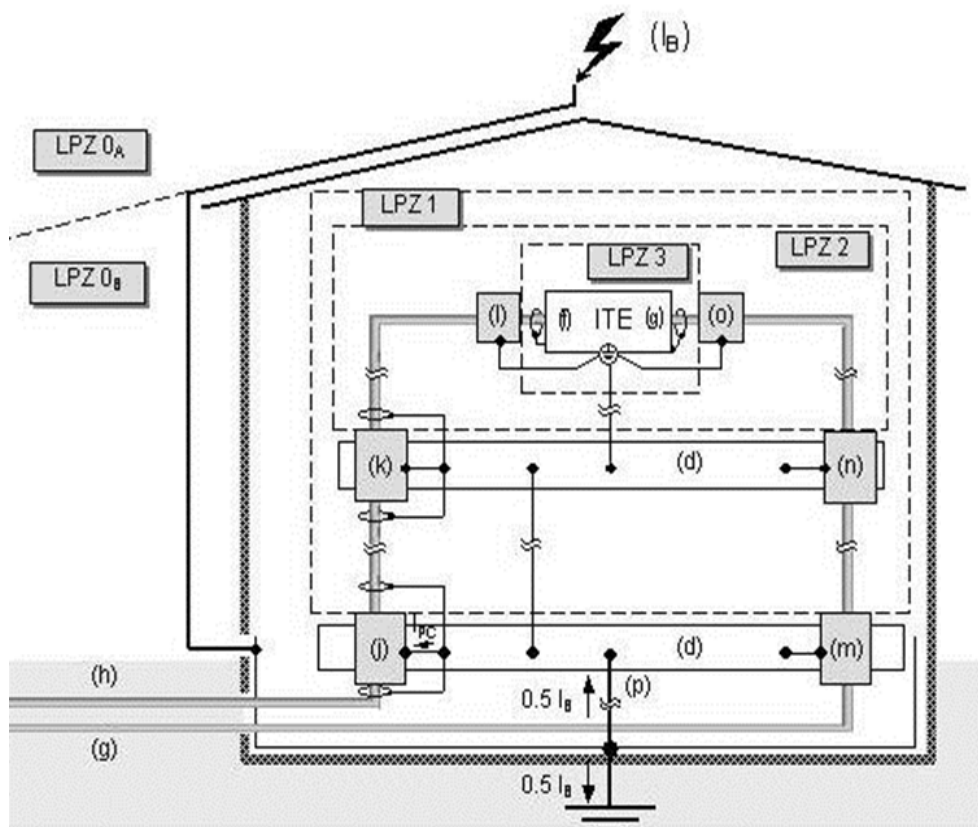
Ochrana Typ1 + Typ2 spojuje koordinovanou sestavou vlastností obou výše uvedených ochran, tedy svodiče Typ1 se schopností odvést impulzní proud ve vlně 10/350 μ s a svodiče se schopností odvést impulzní proud ve vlně 8/20 μ s s ochrannou napěťovou hladinou 1,5 kV, v paralelní synchronizované kombinaci.

Ochrana Typ1/Typ2 má splňovat požadavky na ochrany pro kategorii ohrožení III/IV ve smyslu daném STN EN 62305-4 - schopnost odvést impulzní proud 12,5kA ve vlně 10/350 μ s s ochrannou napěťovou hladinou 1,5 kV, na varistorové technologii.

Ochrana třídy zkoušek II dle EN 61643-11 - Typ2 musí splňovat požadavky na ochrany pro kategorii ohrožení I - schopnost odvést impulzní proud 40kA ve vlně 8/20 μ s s ochrannou napěťovou hladinou 1,5 kV. Ochrana třídy zkoušek III dle EN 61643-11 / Typ3 představuje přístrojovou ochranu s rychlými varistory mezi pracovními vodiči a bleskojistkou k vodiči ochrannému. Ochrana je bipolární, v případě potřeby vybavená filtrem rušivých frekvencí. Předpokládá se funkce sine-wave-tracking, tzn. takové nastavení ochrany, že sleduje velikost přepětí proti průběhu veličiny, nikoli proti srovnávacímu potenciálu.

OCHRANA TELEKOMUNIKAČNÍCH, SIGNÁLOVÝCH A ANTÉNNÍCH SYSTÉMŮ

Za ochranu instalace v objektu, od předávacích rozhraní operátora dovnitř instalace, nese zodpovědnost provozovatel systému. Při analýze rizika jsou zvažovány indukce od silových rozvodů, výboje blesků, vyrovnání zemních potenciálů a přímý kontakt se silovými vedeními. Proti nim jsou uvažovány náklady na opravu a nápravu škod, zasažená aplikace, požadavky na ochranu v systému, požadavky na nepřerušené služby, obslužitelnost těžko přístupných zařízení. Svodiče se dělí podle konstrukce do tří kategorií – spínající, omezující a odpojující chybové napětí, omezující odpojující a zkratující chybový proud. Ochranou se zabývá standard IEC 61643-22. Důležité je respektovat EMC ochranné zóny a užívat správně soustavu vyrovnání potenciálu a ochranné prvky mezi zónami.



Obr.8 Zóny, indukcie, vyrovnání potenciálu, stínění a ochranné prvky informačních systémů
legenda: prvky g, m, n, o - označují přívod napájení a svodiče T1, T2, T3.

prvky h, j, k, l – označují datovou linii a příslušné svodiče, např. D1, C2, C1.

ITE se vstupy f, g – zařízení informační techniky se vstupem dat a napájení.

Zdroj: IEC 61643-22

Ochrana třídy zkoušek B2 dle STN EN 61643-21 předpokládá zkrat na napájecí vedení a velmi pomalý průběh impulzu. Zkouška je provedena impulzem až 4 kV tvaru 10/700 μ s a 100 A (5/300 μ s).

Ochrana třídy zkoušek C1 dle STN EN 61643-21 uvažuje ostrou strmost čela impulzu. Zkouška je provedena impulzem až 2 kV ve tvaru 1,2/50 μ s a 1 kA ve tvaru 8/20 μ s.

Ochrana třídy zkoušek C2 dle STN EN 61643-21 uvažuje ostrou strmost čela impulzu. Zkouška je provedena impulzem až 10 kV ve tvaru 1,2/50 μ s a 5 kA ve tvaru 8/20 μ s.

Ochrana třídy zkoušek C3 dle STN EN 61643-21 uvažuje ostrou strmost čela impulzu. Zkouška je provedena impulzem 1 kV s gradientem růstu 1 kV/ μ s tvaru 1,2/50 μ s a 100 A ve tvaru 10/1000 μ s.

Ochrana třídy zkoušek D1 dle STN EN 61643-21 uvažuje velkou energii impulzu. Zkouška je provedena impulzem nad 1 kV a 0,5 kA až 2,5 kA ve vlně 10/350 μ s.

Ochrana třídy zkoušek B2/C1/C2 dle STN EN 61643-21 znamená, že jediný ochranný prvek zároveň splňuje předpis všech zadaných tříd zkoušky.

KABELOVÉ ROZVODY V BUDOVĚ

Předpis stanoví, že v budově by neměl být používán jiný systém rozvodu napájení, než TN-S (respektive TN-C-S). Předpis EMC stanoví, že emise systému zůstávají pod přijatelnými mezemi určenými normou, a že instalovaný systém vykazuje požadovanou odolnost. Bezpečnost instalace se vždy upřednostňuje před EMC a ochranou. Stínění kabeláže vytváří nutnou bariéru mezi vnějším EM prostředím a přenosovou linkou. Funkčnost stínění závisí na účinnosti stínících prvků a na způsobu jejich spojení navzájem a s pracovní zemí. Důležitá je činnost stínění proti elektromagnetickým vlivům, pokud je spojeno se zařízením na obou svých stranách. Pokud je stínění spojeno se zemí jen na jedné straně, je účinné pouze proti elektrickým polím a pro frekvence do 30 kHz. Dále je nutno vzdáleností nebo stíněním zajistit vzájemné oddělení mezi kabely napájení a kabely informační techniky.

Křížení kabelů je nutno provádět v pravém úhlu a na obou stranách souběhů, nejlépe třírozměrně. Oddělení napájecích a datových linií je požadováno při souběhu delším než 35 metrů. Souběžné trasy mohou být odděleny vzájemným stíněním nebo vhodným uložením. Pokud jsou kabely uloženy v nosných systémech – drátěný rošt není považován za EMC vhodný, děrovaný kabelový kanál je přípustný – z hlediska požární odolnosti systému vhodný, plný ocelový je uvažován jako přednostní úložný systém v místech, kde není požární ohrožení. Kabely mají být ukládány v rozích kanálů, v kolektorech pak zvlášť kabeláž pro citlivé datové přenosy, kabeláž IT, přídavné obvody a nakonec patře napájecí kabely. EMC nosné systémy mají být celistvé, plošně uzavřené. Dělení a propojení jednotlivými vodiči je z pohledu EMC považováno za nedostatečné, stejně jako ukončení nosných systémů před prostupy požární přepážkou. Pro vyrovnání potenciálu propojem je doporučen plochý vodič, průřez 16 mm².

Rázové pole je většinou vodorovné, indukuje tedy napětí především ve svislých smyčkách. Z pohledu EMC je tedy nutné omezit dlouhé, především svislé smyčky, i svislé plochy. Jejich vzniku lze předejít násobným propojením kovových částí také v sousedících podlažích, vytvářením mřížové soustavy vyrovnání potenciálu, napojením rozvodů a nosného systému objektu. Dostačující je propojená mříž s okem 3 metry. Dalším přínosem je využití nosného systému výkonových kabelů jako paralelního zemního vodiče – to funguje, pokud je zaručena spojitost systému vyrovnání potenciálu a jeho dostatečný průřez. Stínění výkonových kabelů se za paralelní zemní vodič nepovažuje – jeho průřez nebývá dostatečný pro odvedení velkých chybových proudů. Stejně platí i pro kabelové mosty.

Napájení energií by mělo být opatřeno vhodnými filtry nebo oddělovacími transformátory. Filtry a pouzdra transformátorů pak spojeny se stínícím systémem. V žádném případě nesmějí filtry a transformátory porušit ochrannou uzemňovací soustavu a soustavu vyrovnání potenciálu, pokud se nejedná o izolovanou část zařízení.

ELEKTRONICKÁ ZAŘÍZENÍ V BLÍZKOSTI VÝKONOVÝCH ČÁSTÍ

Príslušné standardy – v oblasti bezpečnosti zařízení a omezení rizika – předpokládají rizikovou analýzu a analýzu FMEDA (možnost vzniku poruchy, její detekce, analýzy a prevenci), včetně aktivního předcházení poruchám a chybovým stavům nikoli údržbou, ale vhodným návrhem a vhodnou konstrukcí.

Elektrické systémy jsou navrženy a provedeny tak, aby byla zaručena jejich spolehlivost po celou dobu života instalace. Uživatel musí být informován o možných poruchových stavech, o způsobu chování systému a o způsobech nápravy těchto poruchových stavů. Dokumentace musí být dostatečná v rozsahu pro bezpečné pochopení, pro bezpečnou instalaci a uvedení do provozu, provozování, kontrolu a kalibrování, údržbu a servis, demontáž a likvidaci – tedy dostatečně pro celý životnostní cyklus přístroje, zařízení, montážního celku i systému.

Elektronická zařízení v blízkosti výkonových instalací jsou podrobena enormním vlivům jak z okolního elektromagnetického prostředí, tak i možným vlivem zpětných a vyrovnávacích proudů v lokálním systému nebo obdobných projevů mezi jeho dílčími systémy. Jako příklad je možno uvést výrobní úsek s více výkonovými měniči napájenými ze společné rozvodny, kde obvody kompenzace a filtrace jsou společné celému úseku. V systému bývá provedeno funkční uzemnění a ochranné uzemnění – mohou se navzájem prolínat – nebezpečí se projeví při vícenásobném spojení se zemí u kombinovaného systému.

Uzemnění se používá nejen z důvodu ochrany zdraví a majetku, ale také pro snížení nežádoucích vzájemných ovlivnění – tedy ve funkci tlumicí, stínění a odrušení. Funkční uzemnění má za úkol především blokovat nežádoucí elektromagnetická pole a nežádoucí zpětné vlivy filtrů. Patří sem stínění kabelů, kovové nosné systému (lišty, trubky, oplechování), referenční vodiče, stínící pouzdra a blokovací prvky, vysokofrekvenční filtry. Stínění by mělo být provedeno velkoplošně a tak, aby pokrývalo možný rozsah rušivých frekvencí. Spoje je nutno provést velkoplošně, bezindukčními prvky (například měděnými spojovacími pásy o velkém průřezu).

Důležitý je monitoring chybových proudů procházejících systémem nebo ze zařízení/systému vycházejících. Ty mohou nežádoucím způsobem ovlivnit nebo v nejhorším případě vyřadit činnost přístroje nebo systému. Monitor může být nastaven na dílčí hodnotu chybového proudu, přispívá tedy důležitým způsobem ke zvýšení provozuschopnosti zařízení.

Elektrické a elektronické prvky mají být zvláště odolné vůči poklesům napájecího napětí, dále vůči harmonickým a meziharmonickým napětím – zde podle standardu STN EN 61000 by měly odpovídat nejlépe průmyslové třídě 3. Vedle rušení v napájecí síti má být

uvažována odolnost k elektrostatickým výbojům, burstu, sršení, tranzientním rázům, elektromagnetickým emisím a rušení zpětným vyzařováním do vedení.

Nejen v průmyslových aplikacích se složitým elektromagnetickým prostředím, ale také v domech a budovách určených pro obchodní nebo kancelářské účely a pro bydlení se stále častěji objevují přístroje citlivé na okolní elektromagnetické vlivy. Požadavky EMC, stínění, odrušení a ochrany před vlivy přepětí se proto dostávají stále častěji do projektů a realizací.

Použity byly standardy řady STN 332000-1, STN 332000-4 (IEC /EN 60364), STN EN 50173, STN EN 50174, STN EN 50178, STN EN 50310, STN EN 60071, STN EN 60099, STN EN 60728-11, STN EN 61000, STN EN 61643, IEC 61643.