

Colin Hargis

Elektromágneses összeférhetőség - útmutató erősáramú mérnökök részére

A Control Techniques Plc, mint a hajtástechnika vezető világcége fontosnak tartja, hogy a legkorszerűbb technológia felhasználásával megtervezett és előállított rendszereit alkalmazó szakemberek kellően tájékozottak legyenek az EMC-vel összefüggő alapvető kérdésekben, és ismerjék az ide vonatkozó szabványok előírásait. A témakörben megjelent publikációk többsége vagy túlságosan leegyszerűsítve tárgyalja a problémákat - ami megtévesztő lehet - vagy annyira belebocsátkozik a részletekbe, hogy ez megnehezíti az anyag befogadását az elfoglalt mérnök számára. Az alábbi rövid cikkben a szerző néhány alapvető összefüggést tárgyal közérthető módon, kiemelve a villamos rendszerek tervezői és telepítői szempontjából lényeges momentumokat

Az EMC problémák lehetőségét az alábbi három fő tényező teremti meg:

- az elektronikus áramkörök igen alacsony jelszinteket használnak az információ feldolgozásához és továbbításához
- az erősáramú elektromos alkalmazások teljesítményszintje annyira magas, hogy ha ennek akár csekély hányada csatolás útján a jeláramkörre jut, zavarok léphetnek fel.
- a változó elektromos és mágneses terek nem kívánt csatolásokat hozhatnak létre az áramkörök között. A gyorsabb, nagyobb változások általában szorosabb csatolásokat eredményeznek.

Az EMC témakörének látszólagos bonyolultsága és a néha egymásnak ellentmondó utasítások részben abból adódnak, hogy a villamos és elektronikus áramkörökhöz tartozó frekvenciák tartománya igen széles.

Az 1. táblázat összefoglalóan ábrázolja az elektromágneses spektrum fő tartományait és ezek EMC vonatkozásait.

Frekvencia	0Hz	50Hz	2500Hz	20kHz	150kHz	30MHz	1000MHz
Hullámhossz	∞	6000km	120km	15km	2km	10m	0.3m
Alkalmazások	DC - hálózat	Audio/jelek		VLF rádió, érzékelők, stb.	LF/HF rádió, érzékelők, stb.	VHF/UHF rádió	
Meghatározó csatolási mód	Vezetés	Vezetés (+ indukció)		Indukció (+ vezetés)		Indukció	
Források	AC hálózati táp	Hálózati felharmonikusok		Kisülések, teljesítményelektronika		Kisülések, digitális elektronika	

1. táblázat Az EMC spektruma

A spektrum a váltakozó áramú energiaátvitel és a rádiókommunikáció szinuszosan változó feszültségét, ill. áramát veszi alapul. A tényleges hullámformák a valóságban eltérnek a szinusztól. Ez lehet előre nem tervezett - például a mágneses kör és az egyenirányító nemlineáris karakterisztikájából következően - vagy rendeltetésszerű - gyorskapcsolású négyszöghullámok a teljesítményelektronikai rendszerekben (pl. a hajtásokban) ill. logikai jelek a számítógépekben, stb.

A Fourier-transzformáció lehetővé teszi számunkra a nem szinuszos értékek átalakítását szinuszos értékek sorozatává. Ezek a sorozatok tartalmazzák az alaprezgésszámú jelet és az alapjel felharmonikusoknak nevezett többszöröseit. A gyors szintváltozásokat tartalmazó hullámformák különösen gazdagok felharmonikusokban - így a 3 kHz-es kapcsolófrekvenciájú impulzusszélesség-modulált inverteres hajtás kimenetén számottevő felharmonikusok jelennek meg, egészen 20 MHz-ig.

A Fourier-sorok rendkívül hasznos eszközei az elektrotechnikának és az elektronikának, minthogy a felharmonikusokkal sok különböző területen találkozhatunk. Az erősáramú technikában leginkább a nagy teljesítményű rendszerek alapfrekvenciájához kötődnek, így nagyon fontos, hogy világos legyen, mire gondolunk, amikor „felharmonikusok”-ra hivatkozunk az erősáramú alkalmazásokban. A táplálás frekvenciájának felharmonikusai mindig gondot jelentenek az erősáramú mérnök számára ott, ahol nemlineáris terhelések (pl. egyenirányítók) fordulnak elő. Az Egyesült Királyságban az áramszolgáltató vállalatok használnak egy műszaki segédletet (G5/3); ez határértékeket állapít meg a felharmonikus feszültség szintjére, amely egy berendezés alkalmazása során megengedetten felléphet az erősáramú rendszer más fogyasztókkal közös csatlakozási pontján. A felharmonikusokkal összefüggő főbb hatások az alábbiak:

- az elektromos gépcsoport - például transzformátorok - fokozott melegedése
- akusztikus zaj és rezgés fellépése az elektromos gépekben
- a nullavezeték melegedése nagy, egyfázisú, nemlineáris terhelés csatlakoztatása esetén
- a teljesítménytényező-javító kondenzátortelep esetenkénti túlmelegedése, rendszerrezonancia következtében

Az erősáramú rendszer szempontjából az alacsonyabb rendű felharmonikusok a legjelentősebbek, különösen a harmadik, az ötödik és a hetedik, amelyek az európai hálózatok esetében 150, 250 és 350 Hz-es frekvenciákat jelentenek. Ezek a frekvenciák annyira alacsonyak, hogy velük kapcsolatban a szórás útján fellépő csatolások elhanyagolhatóak.

A magasabb rendű felharmonikusok amplitúdói általában lényegesen kisebbek, így ezek ritkán okoznak zavarokat az elektronikus áramkörökben. Az erősáramú rendszerek

bizonyos fajta rezonanciajelenségei esetenként növelhetik egy magasabb rendű felharmonikus szintjét, és ez előidézhet zavarokat, zajossá teheti például a telefonokat.

A nagyáramú vezetékekben folyó felharmonikus áramokból és a terheléscsoportok felharmonikusaiból kiadódik egy jelentősebb eredő hatás - kivéve akkor, ha eltérők a fázisszögek. Ritkán okoznak zavart az egyetlen terheléstől származó felharmonikusok, azonban sok nemlineáris terhelés csatlakoztatása esetén a halmozódó hatások következtében felléphetnek zavarok.

A táplálás torzításának egy másik típusa a "csipkésítés", amely eléggé jelentős ahhoz, hogy említést tegyünk róla. Ezt a vezérelt egyenirányító vezetési átfedése okozza, és rövid, meredek élű bemetszéseként jelenik meg a táplálás hullámformáján. A Fourier-analízis a csipkésítést felharmonikusok sorozataként mutathatja ki, ami azonban nem nyújt kielégítő információt e csipkék sajátos tulajdonságairól. Szélsőséges esetekben a csipkészettség előállíthat hálózati vezérlésű elektronikus órák sietését és a csillapító-ellenállások ill. az RC-védelmek túlmelegedését okozhatja.

Az EMC-spektrum

Hogy némi fogalmat alkothassunk az EMC-spektrum ipari vonatkozásairól, a frekvenciák közötti közelítő jellegű választóvonallal elkülönítettük a rádiós átvitelhez használt tartományt. Az ide sorolható jelek - köztudottan - nagy távolságra terjednek, a többiek viszont nem. A hosszú hullámú rádiós műsorszórás sávjának alsó határa 150 kHz-nél van, ami egy alkalmas kiindulási pont. Ez összhangban van az emissziós EMC alapszabvány szerkezetével, amelyet elsőként dolgoztak ki a rádiófrekvenciás zavarok problémájának szabályozására.

Nagyjából azt lehet mondani, hogy a 150 kHz-es és az annál magasabb frekvenciákon lehetséges - és megszokott - az elektromágneses energia nagy távolságú terjedése és csatolódása más áramkörökhöz, szándékosan megvalósított csatlakozás nélkül. A frekvencia növekedésével ez egyre inkább érvényes, mivel egy hatásos adóantenna tipikus hosszúsága a hullámhossz egynegyede - 150 kHz-en 500 m és 1000 MHz-en 75 mm.

A nem kívánt elektromágneses csatolás 150 kHz alatt elég ritkán fordul elő, kivéve azokat az eseteket, amikor a vezetők különösen nagy távolságon keresztül párhuzamosan futnak - például vasúti rendszerek jelzőáramköreivel. A legtöbb ipari alkalmazásban az alacsonyfrekvenciás csatolások rendszerint a csatlakozások mentén közvetlen vezetés útján jönnek létre. Ez nem zárja ki teljesen az erőtercsatolás mechanizmusát - egy transzformátor szórt mágneses fluxusa a jeláramkörökben indukálhat alacsony szintű de zavaró feszültségeket 50 Hz-en.

A 2500 Hz és 150 kHz közötti tartományra jelenleg nem terjed ki egyetlen nemzetközileg elfogadott, általános célú készülékekre vonatkozó emissziószabályozás sem.

A táphálózatban bonyolított kommunikáció és más alkalmazások kidolgozása esetén azonban szükség lesz az emissziókorlátok meghatározására ebben a tartományban is.

Az EMC-vel kapcsolatos jelenlegi gondok egyik forrását a PC-k gyors működésű logikai áramkörei jelentik, amelyek a 30 Mhz-től 1000 Mhz-ig terjedő tartományban gerjesztenek emissziókat. Ez azt eredményezi, hogy a PC-k zavarják az FM rádiók és más kommunikációs készülékek üzemelését ebben a frekvenciasávban.

A használatos PC-k méretei összemérhetőek a hullámhossz egynegyedével, így az emissziót okozhatja közvetlenül a PC NYÁK lapja, valamint az ahhoz kapcsolódó huzalozás. A megoldást többnyire az árnyékolások és az áramköri csatlakozások gondos kialakítása jelenti.

Tudnunk kell, hogy a rádióvevők igen kis - tíz mikrovolt nagyságrendű - jelekkel dolgoznak, így néhány mikrovolt "felszedése" már zavarhatja működésüket. Az ipari kivitelű készülékek a külső behatásokkal szemben jóval ellenállóbbak, és a nagyon nagy frekvenciájú közvetlen emisszió is csak ritkán okoz gyakorlati problémákat.

A 150 kHz-től 30 MHz-ig terjedő, alacsonyabb frekvenciájú rádiófrekvenciás tartományban jelentős zavarproblémák adódhatnak. A tirisztoros átalakítók, mint amilyenek a egyenáramú hajtások, előállíthatnak 1 MHz körüli frekvenciákat, a váltakozó áramú impulzusszélesség-modulációs inverteres hajtások pedig generálhatnak 20 MHz-es vagy annál magasabb frekvenciákat. A hajtások sokkal magasabb feszültségekkel dolgoznak mint a mikroprocesszorok, és kábelezésük gyakran elég terjedelmes ahhoz, hogy ebben a tartományban hatásos adóantennaként működjenek.

Azokban az ipari szabályozó készülékekben, amelyek rádiófrekvenciás érzékelőket használnak - ilyenek a kapacitív közelítésérzékelők, a kiefeszültségű átalakítók közé tartozó hőelemek és platinaellenállás-hőmérők, valamint a szélessávú digitális adatátviteli összeköttetések - működési zavarok jelentkezhetnek, ha a PWM-inverteres hajtás valamely nagyfrekvenciás kimenetéről átszivárgás történik a környezet felé. Figyelmet érdemel, hogy a nagyfrekvenciás emissziók egyetlen forrása képes több "áldozat" megzavarására; ugyanakkor a több forrás által gerjesztett emissziók eredő hatása általában nem jelentős. Ez a szituáció ellentétes azzal, amit a hálózati felharmonikusok esetében tapasztalunk.

Ellenintézkedések			
Hatás	Frekvencia (Hz)	A forrásnál	Az "áldozatnál"
Hálózat/erősáram	0-100	A földelési kör áram elkerülése	Szimmetrikus jeláramkörök A földhurkok elkerülése a jelvonalba Árnyékolás (csak az elektromos terekre)
Hálózati felharmonikusok	100-2500	Vonali és/vagy közbenső köri fojtók az egyenirányítókhoz Nagyobb impulzusszám (pl. 12 vagy 24) Alacsony impedancia és/vagy külön tápok a nemlineáris terhelésekhez Felharmonikusszűrők - telepítésenként egy	Szimmetrikus jeláramkörök A földhurkok elkerülése a jelvonalba Árnyékolás (csak az elektromos terekre) Szűrés
Közbenső tartomány Audio/VLF rádió	2500-150k	Szűrők	Szűrés Árnyékolás Szimmetrikus jeláramkörök
LF/HF rádió	150k-30M	Szűrők - készülékenként egy Kábelárnyékolás (pl. inverter - motor tápkábelek)	Szűrés Árnyékolás
VHF/UHF rádió	30M-1000M	Árnyékolás Belső szűrés	Árnyékolás

2. táblázat Az ipari telepítések legjelentősebb EMC-hatásaihoz kapcsolódó ellenintézkedések

Intézkedések a zavarok kivédésére

Az EMC problémák megelőzésére irányuló beavatkozások történhetnek a forrásnál, az "áldozatnál" vagy mindkettőnél. A 2. táblázat mutatja be a fontosabb eljárásokat.

A frekvencia növekedésével a készülékek fizikai méretei általában kisebbek lesznek és kevesebb nagy értékű alkatrészt tartalmaznak. Ez viszont azzal jár, hogy a részletekre fokozott figyelmet kell fordítani, mivel ezeknek a kis tárgyaknak a mérete a hullámhossz közelében van.

A teljes installáláshoz alkalmazott elektromos felharmonikusszűrő a hagyományos módszerekkel telepített, helyhez kötött villamos gépcsoport terjedelmes és drága darabja. A nagyfrekvenciás jelek szűrője kis méretű és olcsó, de rossz telepítés esetén, helytelen földelés mellett, gyakorlatilag hatástalan lehet.

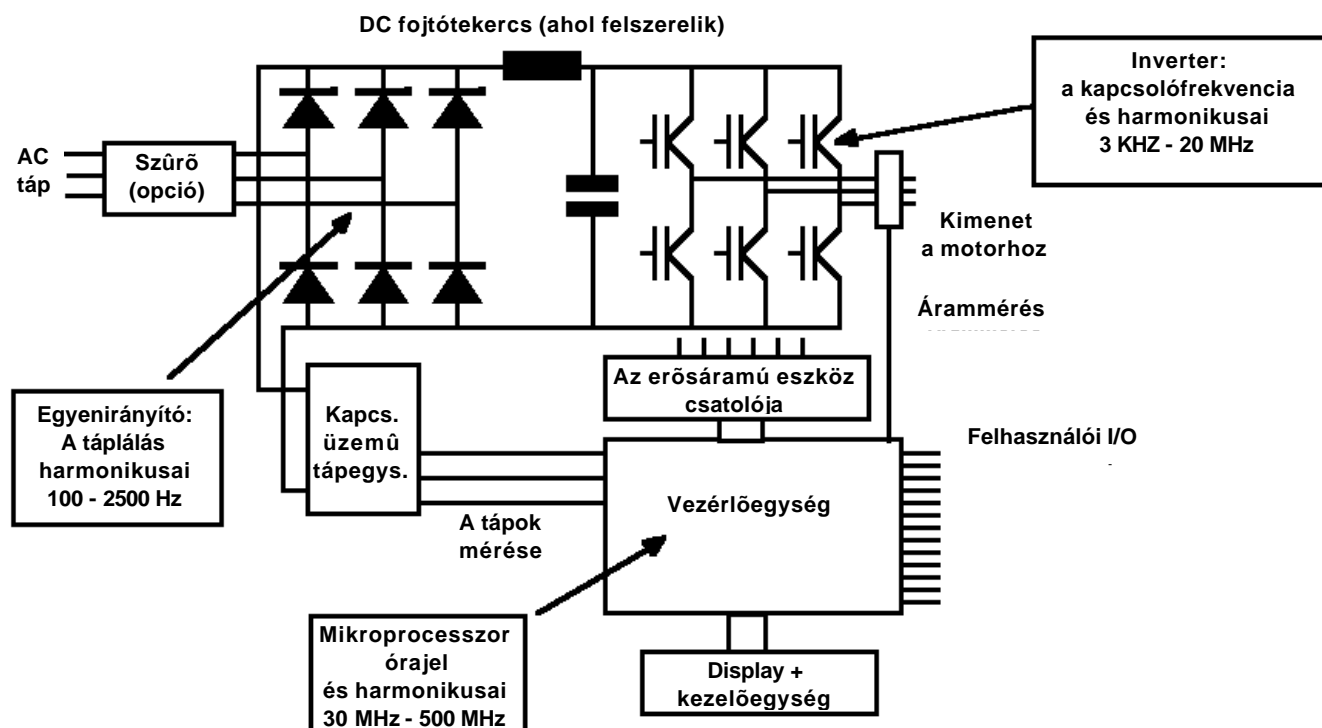
Figyeljük meg, hogy az "áldozatoknál" teendő ellenintézkedések a teljes frekvenciatartományban tartalmazzák az árnyékolást. A különböző frekvenciákon alkalmazott árnyékolások között azonban van néhány lényeges eltérés. Gyakori a bizonytalanság a jelvezeték-árnyékolás kivezetésének kérdésében. Az árnyékolás akkor hatásos az alacsonyfrekvenciás elektromos térrel szemben, ha csak az egyik végén földeljük. Valójában léteznek bizonyos gyakorlati szabályok a gépcsoportok műszerezésének lebonyolításához, amelyek előírják, hogy az árnyékolást csak az egyik végén kell földelni, a "földhurok" problémájának elkerülése céljából. A földhurokban folyó 50 Hz-es áram az árnyékoláson átfolyva az 50 Hz-es feszültséget csatol a jeláramkörökhöz.

Sajnos ez az elrendezés gyakorlatilag nem nyújt védelmet a nagyfrekvenciák "felszedésével" szemben. A nagyfrekvenciákon való zavarmentes üzemeléshez a kábel árnyékolását mindkét végén csatlakoztatni kell a földeléshez vagy más referenciaponthoz. Az árnyékolás akkor a leghatásosabb, ha a földelési csatlakoztatás vezetékvégei a lehető legrövidebbek vagy nem is használunk ilyeneket, hanem - főleg az 50 MHz feletti frekvenciákhoz - 360 fokos, tehát a teljes kerületre kiterjedő csatlakoztatást alkalmazunk.

Az egyetlen módszer, amellyel összehangolható az árnyékolási technika az 50 Hz-es földhurok által okozott problémák kiküszöbölésének igényével, ha árnyékolt sodrott érpárú vezetékot használunk, mindkét végén csatlakoztatott árnyékolással, és a felszedett közös módusú 50 Hz-es zavar elnyomására differenciális jelkezelést alkalmazunk.

Változó fordulatszámú hajtások

Vizsgáljuk meg ezek után a korszerű, váltakozó áramú, impulzusszélesség-modulációs változó fordulatszámú (AC PWM VSD) hajtást. Az 1. ábra egy AC VSD fő működési egységeit ábrázolja.



1. ábra A változó fordulatszámú AC hajtás fő működési egységei, az elektromágneses emisszió legjelentősebb forrásainak feltüntetésével

A bemeneti diódahidas egyenirányító általában egy közbensőköri kondenzátortelepet táplál. Az egyenirányító a forrása bemeneti áramban fellépő felharmonikusoknak. Az egyenáramú

körhöz tartozhat DC fojtó is, amely az egyenirányított áram simítására szolgál, és egyúttal csökkenti a táplálás felharmonikusainak szintjét is.

Ritkán fordul elő, hogy egy helyen annyi AC hajtást alkalmazzanak, ami felvethetné az összes felharmonikus megjelenésének problémáját.

Az inverterfokozat teljesítménykapcsoló eszközöket, többnyire szigetelt kapus bipoláris tranzistorokat (IGBT) használ a PWM kimenet létrehozására, ami előállítja a motor hajtásához alapfrekvenciás szinuszhullámot. Ez a szélessávú nagyfrekvenciák forrása - amelyek jellemzően a 3 kHz körüli kapcsolófrekvenciától a rádiófrekvenciás HF sávok 20 MHz-es vagy azon túli tartományáig terjednek.

A rádiófrekvenciás áram a táplálás és a motor csatlakozásaira egyaránt kijut. A motoráramkör a legtöbb esetben minden különösebb nehézség nélkül árnyékolható, ami elejét veszi a problémát okozó emisszióknak. A táplálás vonalát bemeneti szűrővel kell védeni, és a nagyfrekvenciák jelenléte miatt a hajtás közvetlen közelében kell felszerelni, gondosan ügyelve a földelésre.

A vezérlőáramkör rendszerint mikroprocesszorral működik, 20 MHz-es órajelfrekvenciával. A felharmonikusok megjelenése kézenfekvő, mivel az órajel előállítja a 20 MHz többszöröseit, egészen 300 MHz-ig vagy még azon túl is. Ezek a felharmonikusok azonban alapvetően különböznek az ipari frekvencia felharmonikusaitól, és szerencsére eléggé könnyen elfojthatók a mikroprocesszor áramkörének körültekintő kialakításával. A korszerű termékeknek a felhasználót terhelő óvintézkedések megtétele nélkül is védetteknek kell lenniük azokkal a zavarokkal szemben, amelyeket olyan források keltenek, mint a hordozható rádióadók, az ívkisülések, szikrakisülések, hálózati zavarok és az elektrosztatikus kisülések.

Szabványok

Az EMC esetében meglehetősen összetett problémakörrel van szó, és a szabványok sokasága áll rendelkezésre. Az elektromos szabványosítás európai testülete, a CENELEC bizonyos mértékű egyszerűsítést hajtott végre az általános szabványok elkészítésével. A védettségre vonatkozó EN50082-2-es ipari szabvány követelményei eléggé szigorúak, de nem eltúlzottak. Javasolhatók általános előírásként a költséghatékony ipari készülékek számára.

Az előbbivel egyenértékű, emisszióra vonatkozó szabvány az EN50081-2. A hajtásoktól elvárható, hogy teljesítsék ezt a szabványt egy kiegészítő opcionális bemeneti szűrő alkalmazásával. Mivel azonban kevés ipari berendezés osztozik a 415 V-os tápfeszültségen a lakóházakkal, nincs szükség egy ilyen szigorú szabvány alkalmazására. Ez a tapasztalat már kifejezésre jut az erősáramú hajtásrendszerekre vonatkozó, nemrég

közzétett EN61800-3 jelű szabványban, amely nem ír elő specifikus emissziós korlátokat az ipari berendezésekre.

A nagyobb teljesítményű, 150 kW feletti hajtásokhoz az EN50081-2 szabvány teljesítéséhez szükséges szűrő beszerzése ritkán indokolt.

A hajtások telepítése és az EMC

A tervezők és a telepítők számára hasznos segítséget jelent ha rendelkeznek az EMC-vel kapcsolatos alapvető ismeretekkel, az élet azonban túl rövid ahhoz, hogy mindenki EMC szakértővé váljon. A telepítőknek hozzá kell jutniuk azokhoz az egyértelmű utasításokhoz, amelyek betartása szükséges az EMC előírások teljesítéséhez a különböző szinteken, és meg kell kapniuk a hajtások EMC-tulajdonságaira vonatkozó teljes adatsort.