

Rendszertervezés – EMC

1. Bevezetés

EMC fogalma

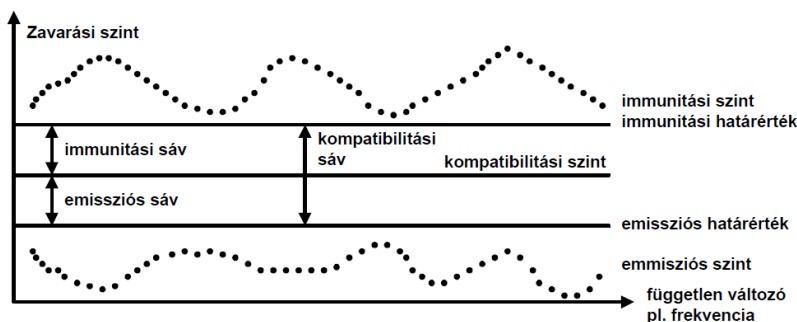
Az elektromágneses kompatibilitás az elektromossággal működő eszközök tudományának azon területe, amely az elektromágneses zavarokkal és azok elhárításával foglalkozik.

Az elektromágneses kompatibilitás angol megfelelője az electromagnetic compatibility, és az ebből képzett betűszó (rövidítés), az EMC, általánosan ez használatos az elektromágneses zavarokkal kapcsolatos területeken.

A kompatibilitás szó jelentése: összeegyeztethető, összeférhető. A „kompatibilitás” szó itt arra utal, hogy az EMC, az elektromágneses zavarok tanulmányozása/felderítése mellett olyan módszerek kidolgozását jelenti, amelyek lehetővé teszik az elektromos berendezések zavartalanul működését az elektromágneses zavarok környezetében, azaz más szóval olyan működési viszonyokat kell létrehozni, melyek eredményeképpen a hasznos jelek összeférnek a létező zavarokkal.

Emisszió és immunitás

Egy adott készüléknek az a képessége, hogy az elektromágneses környezetében megfelelően tud üzemelni (immunitása = zavar-állóképessége elegendően nagy) anélkül, hogy elviselhetetlen zavarokat okozna más eszközökben (emissziója = zavarkibocsátása kellően kicsi).



Intersystem és intrasystem EMC

Az elektromágneses befolyásolás történhet rendszerek között (intersystem), vagy valamely rendszeren belül (intrasystem). Utóbbi esetben a rendszer gyártóját érinti a probléma megoldása, hiszen a zavarforrás és a nyelő egyaránt az általa ellenőrzött rendszer része. Intrasystem problémát jelent például a televíziókészülék és személyi számítógépek képernyőjének sorszinkron-jele, a PC-k órajele vagy járművek gyújtásberendezése és elektronikája.

Tipikus zavarforrások

A környezetet befolyásoló elektromágneses energiát bocsátanak ki, vagyis zavarforrások lehetnek a következő berendezések (zárójelben a zavar jellemző frekvenciája szerepel):

- gépjárművek gyújtásberendezései,
- fénycsővek (0,1 - 3 MHz),
- kommutátorok (0,1 - 4 MHz),
- porszívó (0,1 - 0 MHz),
- motorok (0,1 - 10 MHz),
- teljesítményelektronika,
- kapcsoló üzemi tápegységek (0,1 - 10 MHz),
- kapcsolók érintkezői a kapcsolási ívek révén (30 - 300 MHz),
- megszakítók, mágneskapcsolók, relék (0,1 - 50 MHz),
- távközlési adóberendezések,
- nagyfrekvenciás sebészeti (0,4 - 5 MHz),
- számítógép-processzorok (~100 MHz),
- légköri kisülések

Konduktív, induktív és kapacitív csatolás

Konduktív csatolás akkor jön létre, ha a jel ill. zavaráramok közös impedancián folynak. Ilyen lehet pl. a közös földvezető nem elhanyagolható impedanciája.

Kapacitív csatolás az egymás mellett elhelyezett eszközök, vezetékek között alakul ki. Ez a csatolási mód akkor jellemző, ha a csatolásba került berendezések kis áramokkal, de viszonylag nagy feszültségekkel működnek és ekvipotenciális felületnek tekinthetők, vagyis nagyságuk és távolságuk nem nagyobb a zavarjel hullámhosszának tizedénél. Ilyen zavarok léphetnek fel pl. nagyfeszültségű nagyfrekvenciás berendezések közelében elhelyezkedő vezetékekben.

Induktív csatolás az előző geometriai elrendezésben, de a nagy áramok esetén alakul ki. Ekkor az egyik áramkörben folyó áram mágneses tere áramot indukál a másik berendezésben. Ez a csatolási mód gyakran fellép pl. nagyteljesítményű kapcsolóüzemű tápegységek közelében.

Vezetett és sugárzott RF csatolás

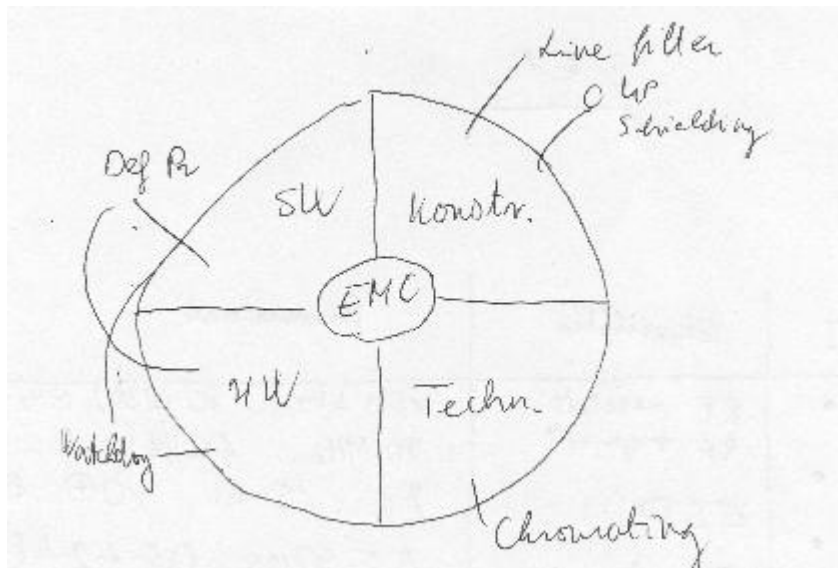
Ha a vezetékek egymás közelterében vannak, de a hosszabbak a hullámhossz tizedénél, akkor csatolt tápvonalként viselkednek. Ekkor a csatolást a kölcsönös impedanciák írják le. Napjainkban az egyre gyorsabb működésű számítógépekben akár a nyomtatott áramköri panelen is előfordulhatnak ilyen jellegű csatolások.

Ha a vezetők egymás távolterében helyezkednek el, akkor a csatolást sugárzott elektromágneses hullámok hozzák létre. Ebben a térrészben mind az elektromos, mind a mágneses térerősség a távolság reciprokával arányosan változik. A csatolás kizárólag az adó és a vevő vezetékek sugárzási tulajdonságainak ismeretében határozható meg. A vezetékek által előállított tér becslésére a huzalantennák elméletéből ismert összefüggések adhatnak segítséget.

Immunitási osztályok (szerintem ez nem az, de nem találok mást)

	E	I	Zavarforrás	Paraméterek
1	•	•	RF vezetett RF sugárzott	150 kHz ... 80 (230) MHz 80 MHz ... 1 GHz
2	•	•	ESD	2 ... 15 kV, 10⊕, 10⊖
3	•	•	Burst	15-50 ns 0,5-1-2-4 kV 50% for/I/O
4	•	•	Surge	1/250 μs (V) 8/20 μs (C) 0,5-1-2-4 kV
5	•	•	Line transz.	ingadozás/oscilláció/leimarcadás
6	•	•	B/50/60 Hz	⊕ 1-100 A/m 300-1000 A/m
7	•	•	B Λ	6,4/16 μs 5⊕, 5⊖ 100-300-1000 A/m
8	•	•	Harm. emissió	100 Hz-2 kHz (510A!), PFC

Mérnöki tervezés fázisai és ezek EMC vonatkozásai



A PCB tervezés EMC vonatkozásai

Defenzív programozás

- Watch dog timer
- Lekezelés
- Frissítés
- Párhuzamos működés
- Hibetolerancia

2. Basic standards – IEC 1000

IEC 1000-3

Title Electromagnetic compatibility – Part 3: Limits

Scope (Sections 2 and 3) Electrical and electronic equipment having an input current up to and including 16A per phase, and intended to be connected to public low-voltage distribution systems (nominal voltage 220V or higher)

Section 2: 1995 Limits for harmonic current emission

Tests Measurement of 50Hz harmonic currents up to 2 kHz using a wave analyzer and current shunt or transformer

Section 3: 1994 Limitation of voltage fluctuations and flicker in LV supply systems

Tests Measurement of voltage fluctuations using an IEC868 flicker meter or by analytical methods

IEC 1000-4

Scope Testing and measurement techniques for immunity of electrical and electronic equipment: basic EMC standards

Criteria

Test results to be classified as follows:

- normal performance within specifications limits
- temporary degradation or loss of function or performance which is self recoverable
- temporary degradation or loss of function or performance which requires operator intervention or system reset
- degradation or loss of function which is not recoverable due to hardware or software damage or loss of data

Section 1: Overview of immunity tests

Section 2: 1995 Electrostatic discharge

Tests At least ten single discharges to preselected point, accessible to personnel during normal usage, in the most sensitive polarity. Contact discharge method to be used unless this is impossible, in which case air discharge used. Also ten single discharges to be applied to a coupling plane spaced 0.1m from EUT

Levels Severity levels from 2kV to 15kV (8kV contact discharge) depending on installation and environmental conditions

Section 3: 1995 Radiated radio frequency field

Tests Radiated RF field generated by antennas in a shielded anechoic enclosure using substitution method (pre-calibrated field), swept from 80MHz to 1000MHz at slower than $1.5E-3$ decades/s, or with a step size not more than 1% of fundamental and dwell time sufficient to allow the EUT to respond

Levels Severity levels of 1, 3 or 10V/m unmodulated. The actual applied signal is modulated to 80% with a 1kHz sinewave

Section 4: 1995 Electrical fast transient burst

Tests Bursts of 5ns/50ns pulse at a repetition rate of 5kHz with a duration of 15ms and period of 300ms, applied in both polarities between power supply terminals (including the protective earth) and a reference ground plane, or via a capacitive coupling clamp onto I/O circuits and communication lines

Levels Severity levels of 0.5, 1, 2 and 4kV on power supply lines, and half these values on signal, data and control lines

Section 5: 1995 Surge

Tests At least 5 positive and 5 negative surges, at a repetition rate no faster than 1 per minute, of 1.2/50 μ s voltage or 8/20 μ s current waveshape surges from a surge generator of 2 Ω output impedance, line to line on ac/dc power lines; 12 Ω output impedance, line to earth on ac/dc power lines; 42 Ω output impedance, capacitively coupled, line to line and line to earth on I/O lines

Levels Severity levels of 0.5, 1, 2 and 4kV

Section 6: Conducted disturbances induced by radio frequency fields

Tests RF voltage swept slower than $1.5E-3$ decades/s, or with a step size not more than 1% of fundamental and dwell time sufficient to allow the EUT to respond, over a frequency range 150kHz to 80MHz (possibly 230MHz) applied via coupling/decoupling networks to cable ports of the EUT

Levels Severity levels of 1, 3 and 10V unmodulated; the actual applied signal is modulated to 80% with 1kHz sinewave

Section 8: 1993 Power frequency magnetic field

Tests Continuous and short duration power frequency magnetic field, applied via an induction coil adequately sized to surround the EUT in three orthogonal positions

Levels Continuous: 1, 3, 10, 30 or 100A/m; short duration (1 to 3s): 300 or 1000A/m, for the higher severity levels only

Section 9: 1993 Pulse magnetic field

Tests At least 5 positive and 5 negative 6.4/16 μ s pulse applied via an induction coil adequately sized to surround the EUT in three orthogonal positions, repetition period no less than 10s

Levels 100, 300 and 1000A/m

Section 10: 1994 Damped oscillatory magnetic field

Section 11: 1994 Voltage dips, short interruptions and voltage variations

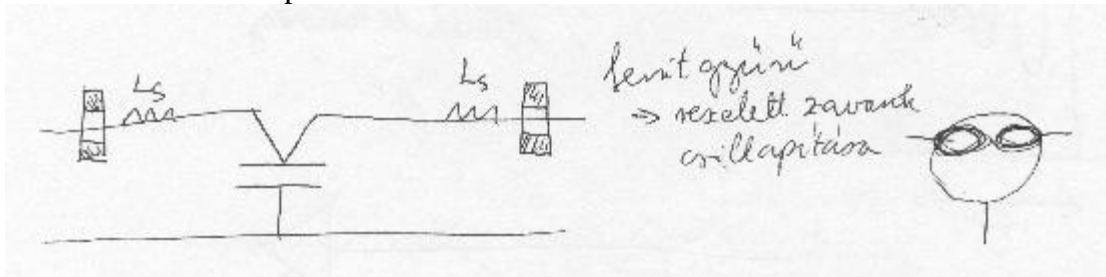
Section 12: 1995 Oscillatory waves

3. Szűrők

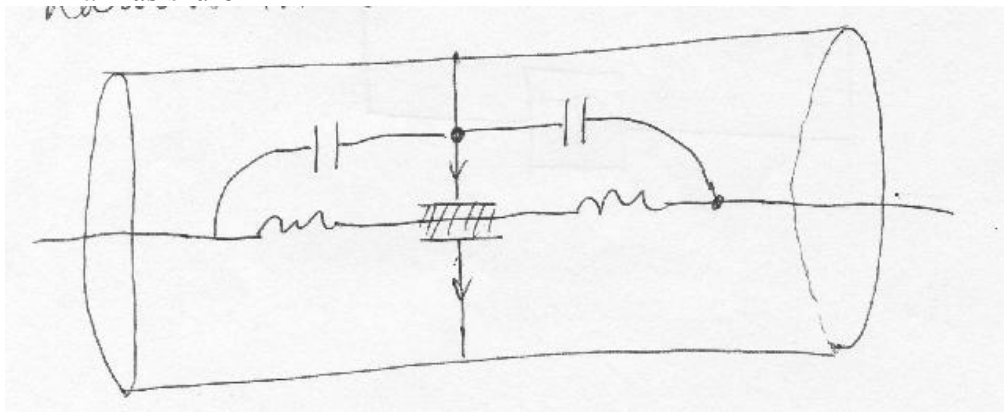
- L-tag, Pi-tag, T-szűrő. Viselkedés az átteresztő és a záró tartományban. Frekvenciafüggő modellek.

Típus	Kapcs.	Átétel	MF	HF	VHF
L-tag		$\frac{1}{1 - \omega^2 LC}$ 			
T-tag		$\frac{1}{1 - \omega^2 LC}$			
Π-tag		$\frac{1}{1 - \omega^2 LC}$			

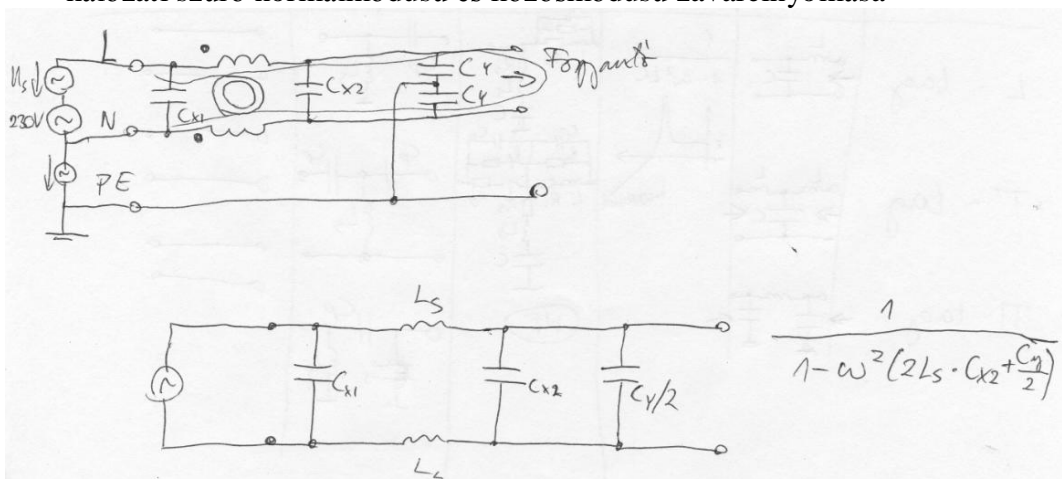
- three-terminal capacitor



- kamrás szűrő

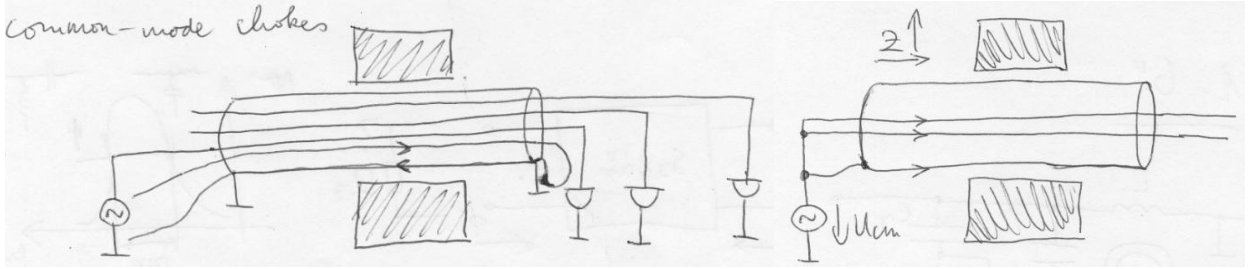


- hálózati szűrő normálmodusú és közösmódusú zavarelnyomása

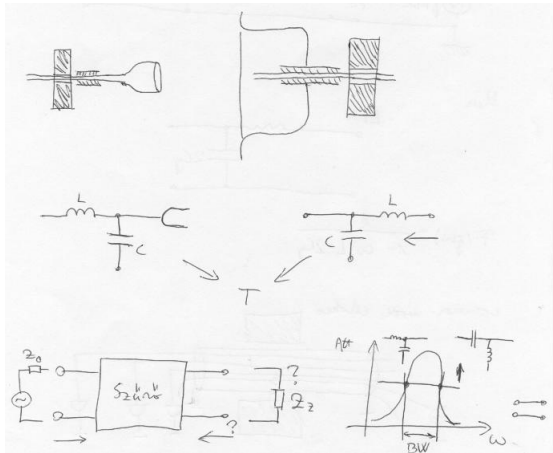


- common-mode chokes

Common-mode chokes

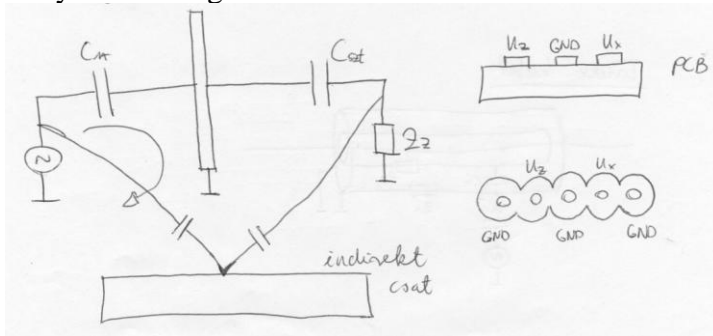


- I/O szűrők

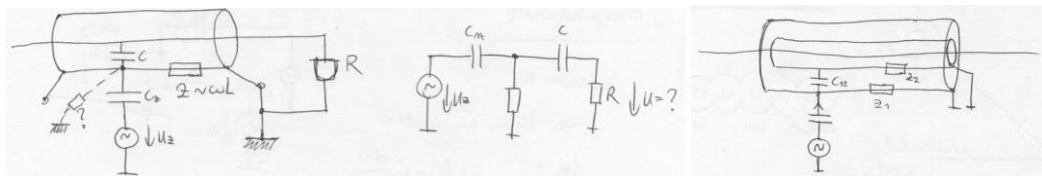


4. Árnyékolások

egyszeres és kétszeres villamos árnyékolás modellje
 Árnyékolt szalagkábel és PCB

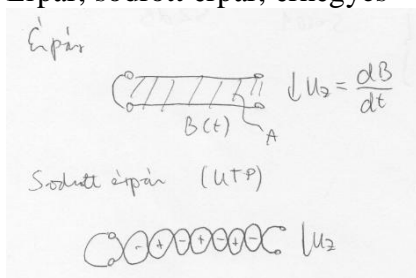


Koaxiális és triaxiális kábel

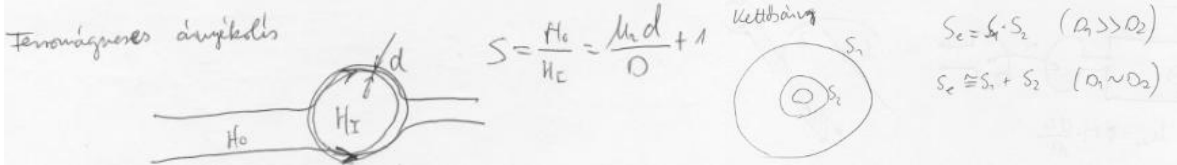


- mágneses árnyékolás

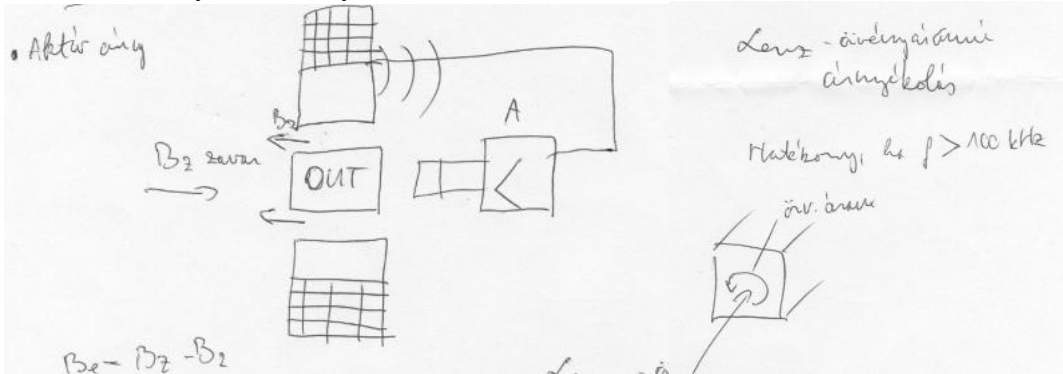
Érpár, sodrott érpár, érnégys



Egyszeres és többszörös ferromágneses árnyékolás



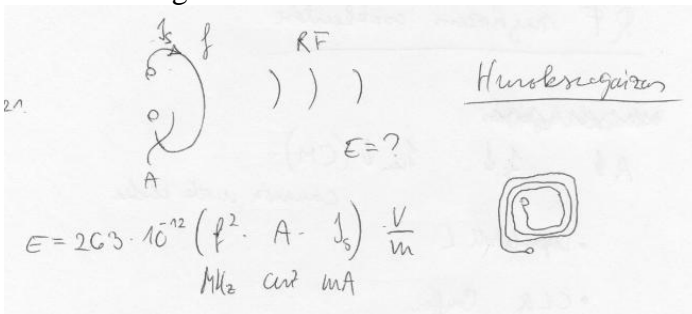
Aktív és örvényáramú árnyékolás



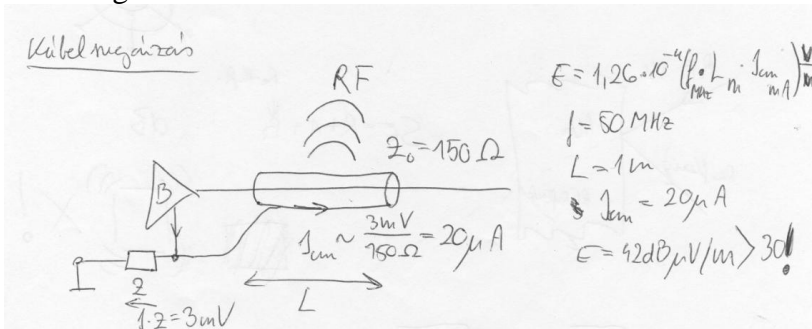
Kombinált (hibrid) árnyékolás

Árnyékolt hálózati transzformátor

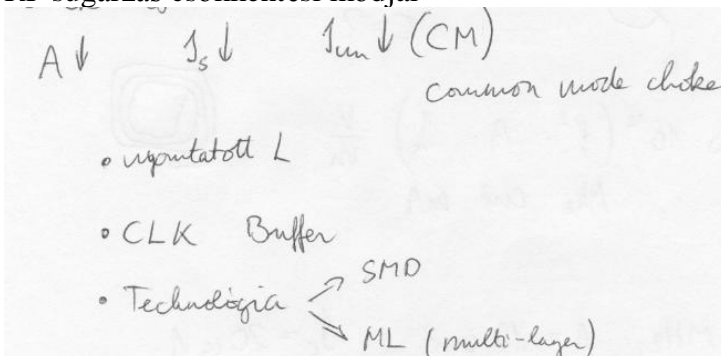
- Hurok-sugárzás



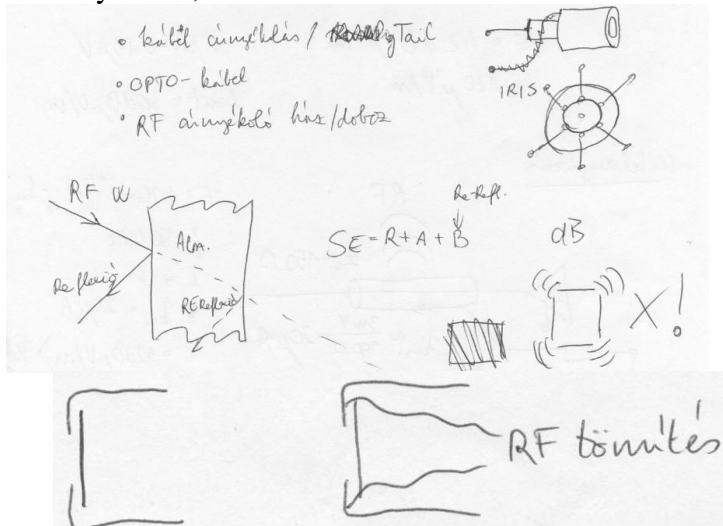
kábel-sugárzás



RF sugárzás csökkentési módjai

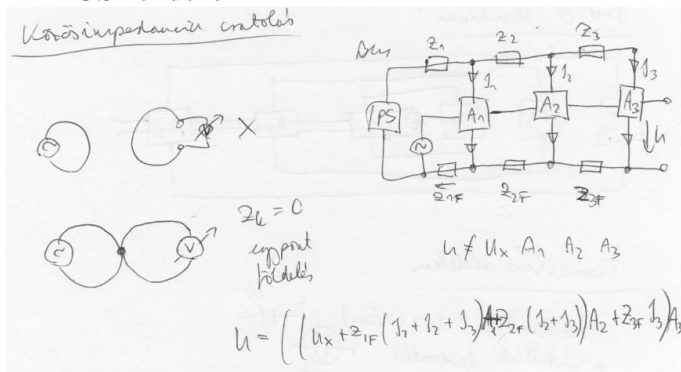


RF árnyékolás, RF- tömítés

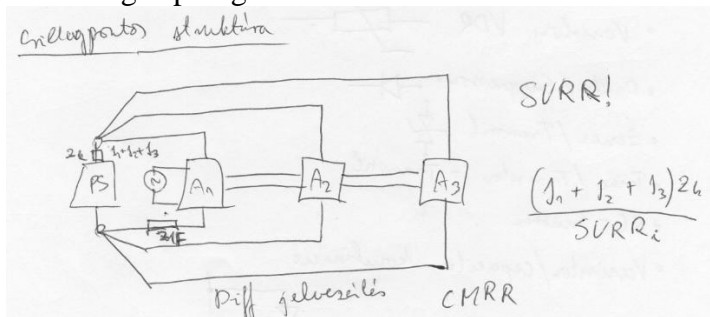


5. Közösimpedancia csatolás

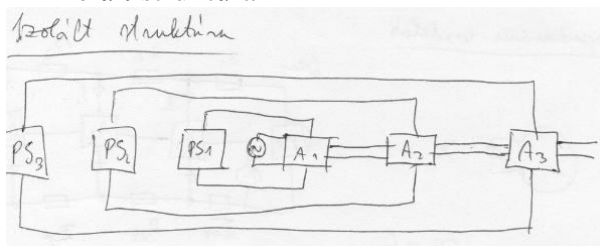
- BUS-rendszer



- csillag-topológia

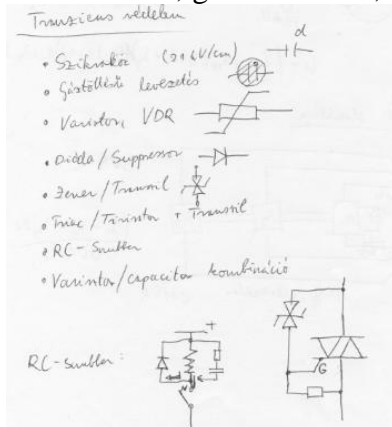


- izolált struktúra



6. Tranziens védelem

- szikraköz, gáztöltésű cső, varisztor, suppressor dióda, Zener, triac, RC-tag



- lépcsőzetes védelem
- BUS-védelem, Schottky array
- hálózati tranziens szűrő

7. Beágyazott rendszer partíciója EMC szempontból

8. Design checklist

Alapállás: szoftver-hardver-EMC együttes tervezés az első lépéstől (az EMC minőségi követelmények tisztázásától) az utolsóig

A rendszer partíciója kritikus és nem kritikus részekre

- meghatározandó, hogy mely egységek zajosak vagy érzékenyek és melyek nem
- ezen egységek egymástól elkülönítve, kellő távolságban helyezendők el
- belső és külső interfész pontok kiválasztása a minimális közös módusú áramok biztosítása érdekében

Komponensek kiválasztása EMC-szemponatok alapján

- lassú és/vagy zavartűrő digitális elemkészlet választása; slew rate limiter alkalmazása az adatátviteli interfészeknél
- hatékony RF csatolásmentesítés használata: szűrőkondenzátorok IC-közeli elhelyezése, soros R-L elemek használata a tápvezetékekben
- sávzélesség minimalizálása, jelszintek maximalizálása
- megfelelő minőségű, zajszegény tápegységek alkalmazása
- toroid formájú induktív elemek preferálása
- watchdog-áramkör alkalmazása minden processzorhoz

PCB layout

- kellő rétegszám választása a komplexitás és az EMC követelmények alapján
- szükség esetén „telefólia-rétegek” kialakítása az induktivitások minimalizálása érdekében
- vezeték hosszak minimalizálása, optimalizálása (pl. járulékos késleltetés céljából)
- optimális, megbízható, vezeték szélesség és távolság választása
- tápfeszültség-kör gondos topológiai tervezése, szórása
- interfész-vonalak távontartása érzékeny részekről; önálló interfész földelő felület (sziget) kialakítása
- szűrők elhelyezése közvetlenül az interfésznél
- kis hurokfelületek kialakítása ill. szigeteléssel való kikényszerítése
- hurokfelületek minimalizálása nagy áramok, nagy di/dt és érzékeny áramkörök esetén
- felületek minimalizálása nagy feszültség, nagy du/dt és érzékeny áramkörök esetén
- lebegő felületek megszüntetése

- védőárnyékoló formák kialakítása felületi szivárgások ellen
- a kényelmes CAD auto-router csak fenntartásokkal használható

A PCB tervezés EMC vonatkozásai.

- Áramkörök szegmentálása
- Minimális induktív, kapacitív és konduktív csatolást biztosító vezetékvezetés
- Reflexiómentesség biztosítása
- Microstrip
- Stripline
- Többrétegű PCB réteg-kiosztása
- Órajel-elosztás

Kábelek

- megfelel-e a választott érpár, sodrott érpár, koaxiális, triaxiális, twinax vagy szalagkábel a célnak?
- kerülendő a teljesítmény- és a jelvezető kábelek párhuzamos, egymásközeli elhelyezése (cross-talk)
- kiterjedt, integrált rendszereknél (*instabus EIB*) a teljesítmény- és a jelvezető kábelek párhuzamos, egymásközeli elhelyezése indokolt (villámcsapással kapcsolatosan, nagy hurokfelületből származó EMC-problémák elkerülése érdekében)
- a kábelek az árnyékolások, készülékházak nyílásaitól távol vezetendők
- a jelvezető kábeleket és csatlakozókat megfelelő árnyékolással kell használni
- fontos a kábel árnyékolásának és a csatlakozó házának megfelelő összekötése (iris-forma „pig-tail” helyett)
- sodrott érpár használata szimmetrikus jelek és nagy di/dt esetén indokolt
 - kerülendő a rezonáns hosszúságú kábel
 - nagyfrekvenciás jelek esetén fontos a kábel illesztett lezárása

Földelés

- a földelési rendszert már a termék definiálásakor meg kell tervezni, ennek elmaradása biztos sikertelenséghez vezet
- a földelési rendszer áramot vezet, ezért az nem tekinthető 0V referenciának
- az árnyékolások, csatlakozók, szűrők, készülékházak megfelelő galvanikus összekötése alapvető fontosságú
- a vezető felületeket festés előtt maszkolni kell
- az eloxált alumínium felületek igen esztétikusak, de szinte tökéletes szigetelők
- a földvezetékek legyenek rövidek és definiált geometriájúak
- a közös föld-impedanciák kerülendők
- az interfészek részére „tisztá” földelő felület kialakítása szükséges

Szűrők

- a hálózati szűrőt az alkalmazásnak megfelelően kell optimalizálni (lineáris, tranziens szűrési igények; orvosi berendezések szigorúbb követelményei)
- az I/O vonalakat kondenzátorokkal és/vagy common mode chokes alkalmazásával kell szűrni
- minden kártya DC-táp bemenetéhez PI-szűrő indokolt
- az interferencia-forrásokhoz (kapcsoló, motor) külön szűrők használandók

Árnyékolások

- meghatározandó az árnyékolás típusa és árnyékolási tényezője az alkalmazás szerinti frekvenciatartományban
- a különlegesen érzékeny vagy zajos egységek saját, extra árnyékolást igényelnek
- a nagy és rezonáns méretű nyílások az árnyékolásban kerülendők

A fenti szempontok az adott alkalmazás ill. termék és az aktuális igények

függvényében eltérő súllyal veendő figyelembe és szinte korlátlanul bővíthetők. Az EMC szempontok mellőzése újratervezési kiadásokat, fokozott garanciális és szavatossági kiadásokat generál és végső soron a jó hírnév, a márkanév lejáratásához vezethet továbbá piacvesztést eredményezhet.

IP védetség fokozatok

A villamos gyártmányok burkolatai által nyújtott védetség fokozatok. (MSZ IEC 529)

Az első számjegy a szilárd testek behatása elleni védezésre, a második a folyadékok elleni védezésre vonatkozik. Példa: az IP 54-es burkolat véd a por ellen, a veszélyes részek huzallal való érintése ellen, és a fröccsenő víz ellen.

Első számjegy	A védetség fokozat rövid leírása	A védetség fokozat meghatározása
0 ...	Nem védett	
1 ...	Ø 50 mm és nagyobb merev idegen testek ellen	Ø 50 mm gömb vizsgálatárgy ne hatoljon be teljesen*
2 ...	Ø 12,5 mm és nagyobb merev idegen testek ellen	Ø 12,5 mm gömb vizsgálatárgy ne hatoljon be teljesen*
3 ...	Ø 2,5 mm és nagyobb merev idegen testek ellen	Ø 2,5 mm vizsgálatárgy egyáltalán ne hatoljon be
4 ...	Ø 1 mm és nagyobb merev idegen testek ellen	Ø 1 mm vizsgálatárgy egyáltalán ne hatoljon be
5 ...	Por ellen védett	Por nem hatolhat be olyan mennyiségben, amely a gyártmány működését zavarná, vagy biztonságát
6 ...	Por ellen tömített	Por nem hatolhat be.

* A vizsgálatárgy teljes átmérőjével ne menjen át a burkolat nyílásán.

Első számjegy	A védetség fokozat rövid leírása	A védetség fokozat meghatározása
0 ...	Nem védett	-
1 ...	A veszélyes részek kézzel való érintésével szemben védett.	Ø 50 mm gömb tapintóeszköz és a veszélyes részek között megfelelő légköz legyen.
2 ...	A veszélyes részek újjal való érintése ellen védett	Ø 12 mm, 80 mm hosszú ívelt tapintóújj és a veszélyes részek között megfelelő légköz legyen.
3 ...	A veszélyes részek szerszámmal való érintése ellen	Ø 2,5 mm tapintóeszköz ne hatoljon be
4 ...	A veszélyes részek huzallal való érintése ellen védett	Ø 1 mm tapintóeszköz ne hatoljon be
5 ...	A veszélyes részek huzallal való érintése ellen védett	Ø 1 mm tapintóeszköz ne hatoljon be
6 ...	A veszélyes részek huzallal való érintése ellen védett	Ø 1 mm tapintóeszköz ne hatoljon be

Második számjegy	A védettségi fokozat rövid leírása	A védettségi fokozat meghatározása
... 0	Nem védett	-
... 1	Függőlegesen eső vízcseppek ellen védett	A függőlegesen eső vízcseppeknek ne legyenek káros hatásai.
... 2	Függőlegesen eső vízcseppek ellen védett, 15°-kal elbillentett burkolat esetén	Függőlegesen eső vízcseppeknek ne legyenek káros hatásai, ha a burkolat a függőlegeshez képest mindkét irányban 15°-ig terjedően bármilyen szögben el van billentve.
... 3	Permetező víz ellen védett	A függőlegeshez képest mindkét irányban 60°-ig terjedően bármely szögből permetezett víznek ne legyenek káros hatásai.
... 4	Fröccsenő víz ellen védett	A burkolatra bármely irányból fröccsentett víznek ne legyenek káros hatásai.
... 5	Vízszög ellen védett	Bármely irányból a burkolatra irányított vízszögnek ne legyenek káros hatásai.
... 6	Erős vízszög ellen védett	Bármely irányból a burkolatra irányított erős vízszögnek ne legyenek káros hatásai.
... 7	Időszakos vízbemerítés hatásai ellen védett	Káros hatásokkal járó vízmennyiség ne hatoljon be, ha a burkolat szabványos nyomás-és időviszonyok között időszakosan vízbe van merítve.
... 8	Tartós vízbemerítés hatásai ellen védett	Káros hatásokkal járó vízmennyiség ne hatoljon be, ha a burkolat a gyártó és felhasználó megállapodása szerinti, a 7. számjegyre előírtaknál szigorúbb viszonyok között tartósan vízbe van