

EMI & EMC

Predavač: vanredni prof. Miljana Milić

**Projektovanje
elektronskih sistema**

23.12.2020.

LEDA – Elektronski fakultet

2

Uvod

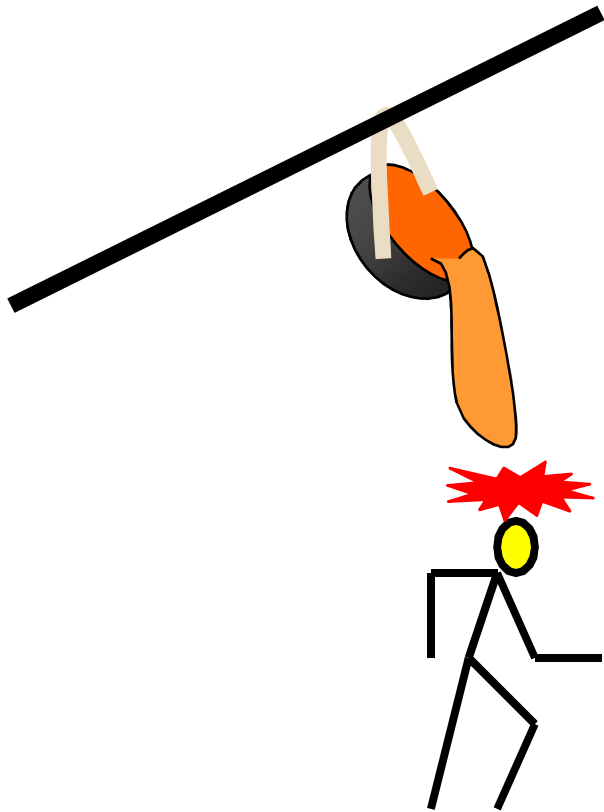
23.12.2020,

Elektromagnetno polje je svuda oko nas

3



Nesreća u livnici



- Radnik livnice je izgubio život kada je transporter kontrolisan radio-signalima, prolazio iznad njega i iznenada ispustio nekoliko tona tečnog metala na radnika.
- **Uzrok:** automatski transportni sistem je slučajni signal sa radio predajnika protumačio kao legitimnu naredbu da se oslobodi tereta.

Pad helikoptera Blackhawk

- Između 1981. i 1987. godine, pet američkih helikoptera *Blackhawk* srušilo se i ubilo ili povredilo sve članove posada kada su preletali blizu radio predajnika.
- **Uzrok:** Kontrolni elektronski sistem protiv radio zračenja visokog intenziteta (HIRF - high intensity radiated fields) nije dovoljno dobro eliminisao uticaje zračenja, što je prouzrokovalo neželjeno kretanje letelica prilikom leta u blizini radio-telvizijskih predajnika.



Nenamerno lansiranje projektila

- Tokom ispitivanja interfejsa rakete na bombarderu B-52 dogodio se signal za lansiranje rakete koji nije bio generisan.
- **Uzrok:** Jedan od uzroka lansiranja je preslušavanje u sistemu ožičenja aviona. Ovaj incident je doveo do redizajna aviona.



(Source: NASA Reference Publication 1374, July 1995)

Ostali primeri

□ *Slučaj lovca Tornado*

- Zapadnonemački lovac Tornado srušio se nakon što je preleteo blizu snažnog radio predajnika stanice Voice of America, 1984. godine u blizini Minhena, Nemačka.

(Source: NASA Reference Publication 1374 July 1995)

□ *Slučaj odbeglih invalidskih kolica*

Zabeleženi su slučajevi neželjenog kretanja invalidskih kolica sa daljinskim upravljanjem prilikom detektovanja radio signala policijske ili vatrogasne patrole u blizini.

Iako nije bilo prijavljenih povreda, vlasti su naložile proizvođačima takvih invalidskih kolica da zaštite upravljačke blokove kolica od uticaja EMI i da obaveste korisnike o mogućim EMI hazardima.



23.12.2020,

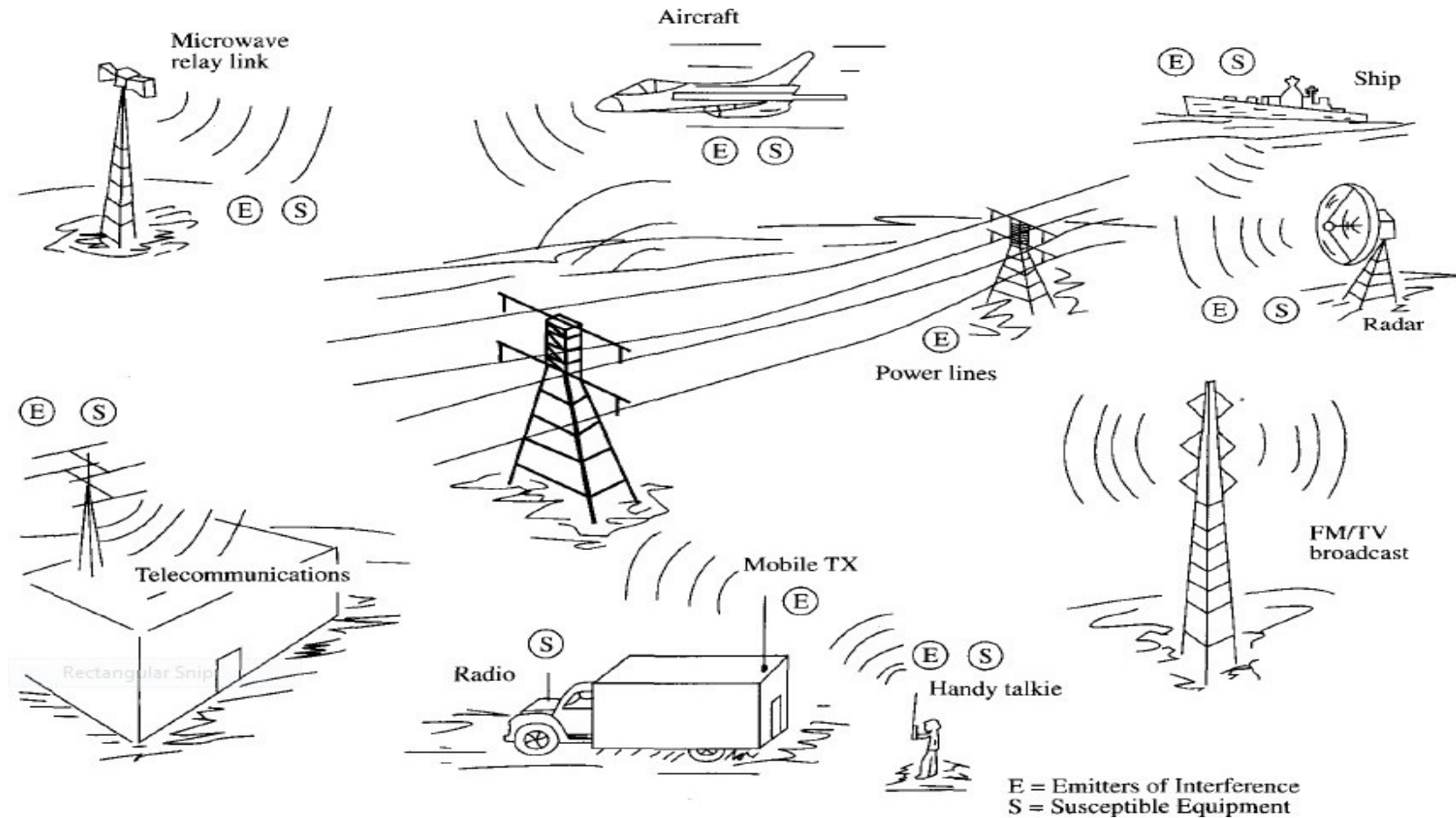
8

Definicije

23.12.2020,

Ilustracije

9



23.12.2020,

Uvodne napomene

- Životi pojedinaca ili čitavog društva sve više zavise od ispravnog funkcionisanja velikog broja kompleksnih sistema:
 - Urgentne službe
 - Transportni sistemi
 - Bezbedonosni sistemi, etc.
- Većina takvih kritičnih sistema kontroliše se softverski, odnosno hardverski-elektronski.
- EMI može da znatno utiče na funkcionisanje takvih sistema, tako da je neophodno da se korektno kontroliše

Definicije

- **Elektromagnetna interferencija (EMI - Electromagnetic interference)** predstavlja elektromagnetnu energiju koja negativno utiče na performanse električne ili elektronske opreme, uzrokujući njihove neispravne odzive ili potpune otkaze.

- **Elektromagnetna kompatibilnost (EMC - Electromagnetic compatibility)** predstavlja sposobnost električne ili elektronske opreme/sistema:
 - da funkcioniše u predviđenom radnom okruženju bez izazivanja EMI, i
 - da zadrži svoje performanse u prisustvu spoljašnjih EMI.

Razlika

- **Elektromagnetna interferencija** se može sagledati kao pogoršanje performansi uređaja zbog elektromagnetnog polja koje je okružuje
- **Elektromagnetna kompatibilnost** se postiže ako komponenta ili uređaj ili sistem ne unosi neželjene poremećaje elektromagnetnog okruženja (ne zrači)

Odnos EMI/EMC: Da bi se postigla EMC, treba kontrolisati EMI!

14

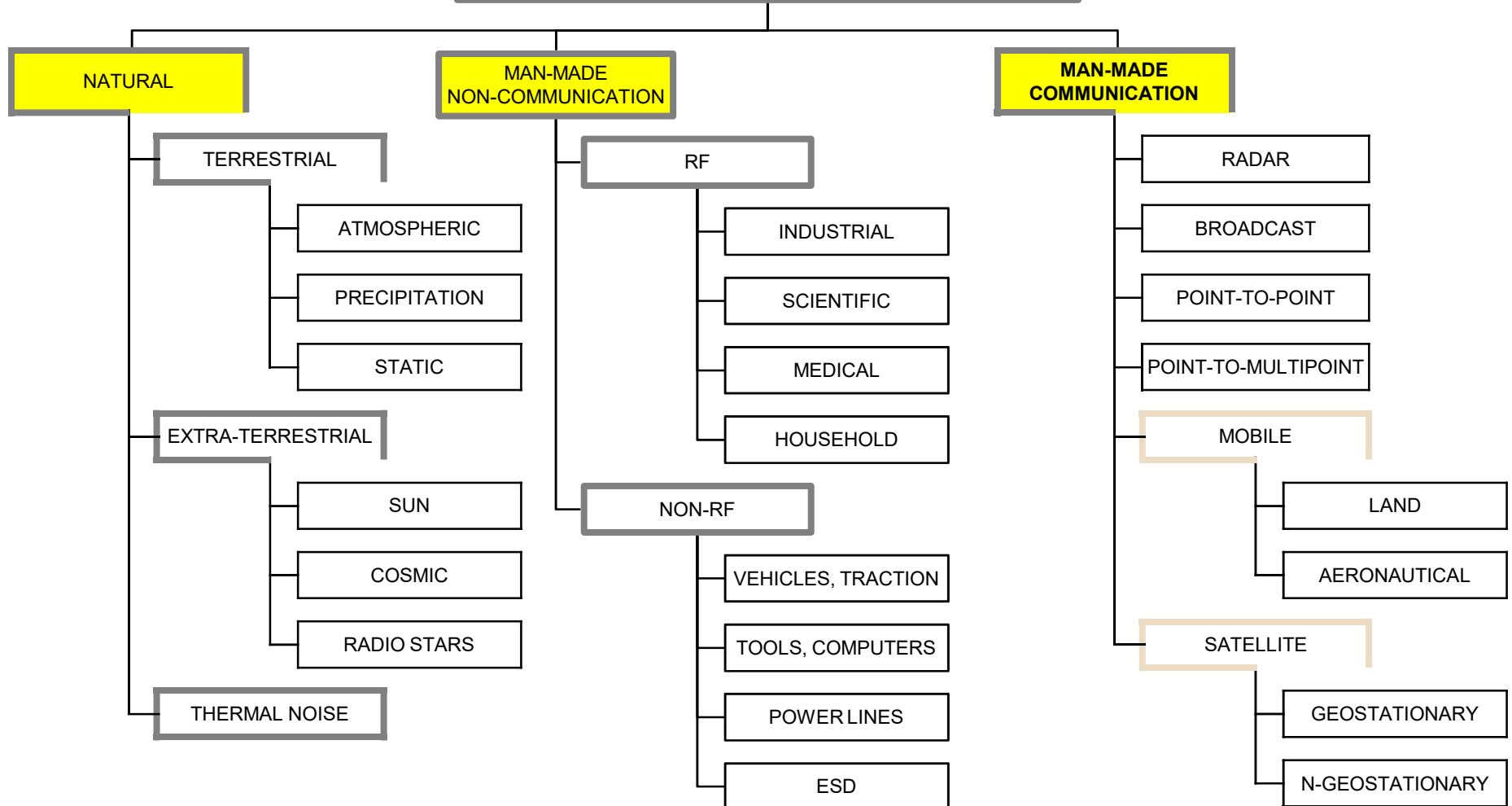
EMI – Izvori & efekti

23.12.2020,

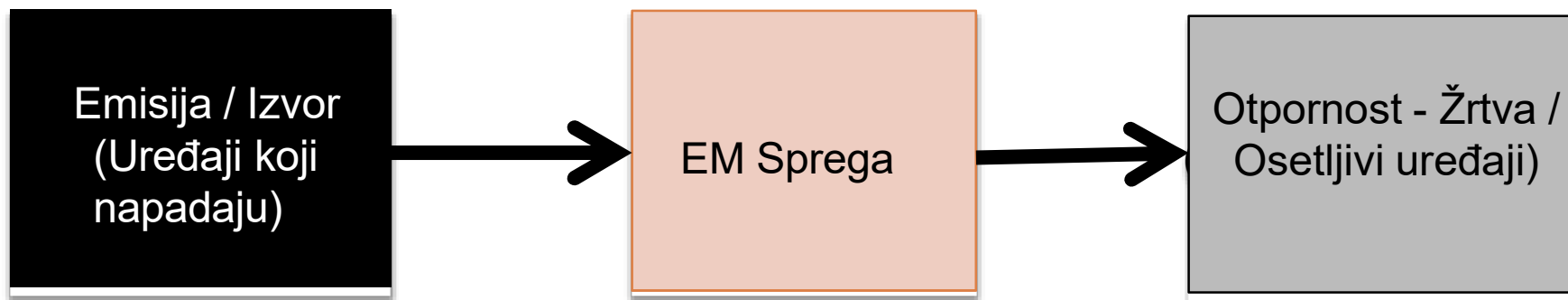
Izvori EMI

- Izvori EMI se grubo mogu podeliti u dve grupe
 - **Prirodni izvori EMI**
 - EMI mogu da nastanu usled prirodnih fenomena kao što su elektromagnetne oluje, čestice kiše, solarno i međuzvezdano zračenje
 - **Veštački izvori EMI**
 - EMI mogu da nastanu kao posledica delovanja čoveka (namernog ili nenamernog)
Nenamerna delovanja su komercijalni radio signali ili telefonske komunikacije
Namerna delovanja u vidu ometanja ili EMP (**electromagnetic pulse**) eksplozija – poseban tip oružja

EM ENVIRONMENT COMPONENTS



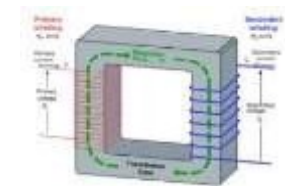
Od čega zavisi EMI?



- Efekti EMI zavise od
 - Sistema emisije
 - Imuniteta/otpornosti sistema
 - Stepena sprege

Efekti EMI

- Izvori / Emiteri
 - Radio transmiteri
 - Komutatori
 - Motori
 - Brza digitalna elektronska kola
- Žrtve / Osetljiva oprema
 - Radio prijemnici
 - Detektori
 - Senzori
 - Analogna elektronska kola niskih naponskih nivoa
- Mehanizmi sprege
 - Provodna
 - Zračenja
 - Preslušavanja



Efekti EMI

- EMI može da izazove neispravno funkcionisanje bilo koje komponente elektronskog sistema, a posebno integrisanih kola
- Neispravna komponenta može poremetiti rad nekog podsistema ili celokupnog sistema
- Pojava takavog poremećaja u bezbednosnim sistemima može da izazove nesreću ili katastrofu
- *Problemi vezani za EMI/EMC „otkriveni“ su 50-tih godina prošlog veka u vojnim aplikacijama, ali su danas sve prisutniji u civilnim aplikacijama*

19

Kontrola EMI

23.12.2020,

Tehnike kontrole EMI

- Projektantske tehnike kojima se kontrolišu ili suzbijaju efekti EMI su:
 - Uzemljivanje
 - Oklopljavanje
 - Filtriranje itd.



Uzemljivanje

- UZEMLJIVANJE je tehnika kojom se kreira put niske otpornosti između električne ili elektronske opreme i uzemljenja/mase; ili zajednička referentna površina niske impedanse kojom se zaobilazi struje kvara ili EMI signal

Oklopljavanje

- Glavni cilj oklopljavanja je ograničenje zračenja određenog područja kako bi se sprečio njegovo prodiranje u osetljive uređaje
- Kvalitet oklopljavanja izražava se u vidu **EFIKASNOSTI OKLOPLJAVANJA MATERIJALA**
- Oklopljavanje se može ostvariti čvrstim materijalima, zastorima ili upredanjem. Postoji nekoliko načina oklopljavanja: kutijama, pregradama, kablovima, konektorima...

Shielding effectiveness (Se) :

It is defined as the ratio of incident power to transmitted power.

$$Se \text{ (dB)} = 10 \log \frac{W_i}{W_t}$$

For electric fields, we have

$$Se \text{ (dB)} = 20 \log \frac{E_i}{E_t}$$

For magnetic fields, $Se \text{ (dB)} = 20 \log \frac{H_i}{H_t}$

Filtriranje

- Filtrima se potiskuju provodne EMI. Efikasnost filtriranja se izražava gubitkom umetanja (IL - Insertion loss)

$$\text{Insertion loss} = 10 \log \left(1 + \frac{\omega L}{2R} \right) \text{ dB}$$

For low pass capacitive filter,

$$\text{Insertion loss} = 10 \log \left(1 + \frac{\omega RC}{2} \right) \text{ dB}$$

where ω = angular frequency = $2\pi f$

Praktični saveti

- Najbolji način za kontrolu EMI je njeno potiskivanje na samom mestu nastajanja.
- EMI spregu treba učiniti što neefikasnijom
- Prijemnik treba učiniti što manje podložnim EMI emisiji

Neki EMC standardi

- Vojni standardi
 - Vojni EMC standardi su napravljeni kako bi se obezbedila EMC kompatibilnost između više sistema u realnom vremenu
- Civilni standardi
 - Civilni EMC standardi su primenljivi na komercijalnu i industrijsku opremu, kao i opremu koja se koristi u domaćinstvima.

Zaključak

EMI je *fenomen*, dok *EMC* predstavlja *karakteristiku sistema*, odnosno sposobnost sistema da *ne generiše EMI* izvan *određenih granica* i da *ne bude podložen uticaju EMI*

References:

- [T1 Telecom Glossary 2000, Radio Regulations 2000]
- NASA Reference Publication 1374 July 1995
- Armstrong K: EMC-related functional safety; ITEM update 2001, p. 52-59
- EUROPEAN EMC Directive (http://europa.eu.int/comm/enterprise/electr_equipment/emc/guides/english.pdf)
- EUROPEAN RTTE Directive (http://europa.eu.int/lex/pri/en/oj/dat/1999/l_091/l_09119990407en00100028.pdf)
- IEEE Electromagnetic Compatibility Society: <http://www.emcs.org/>
- IEE Guide to EMC and Functional Safety, IEE September 2000 (free) <http://www.iee.org/Policy/Areas/Emc/index.cfm>
- International Electrotechnical Commission (www.iec.ch)
- International Telecommunication Union (www.itu.int)
- Mannon J, Johnson E: Radio Waves Spell Trouble for Industry; New Scientist, 5 May 1983
- Moroñ W: Nature and Technology: improving relations; in Struzak R (Ed.) Global Communications Asia 1997, ISBN 0946393869, p 259-263

EMI i EMC u štampanim kolima

Predavač: vanredni prof. Miljana Milić

**Projektovanje
elektronskih sistema**

23.12.2020.

LEDA – Elektronski fakultet

EMI i EMC u štampanim kolima

- Elektromagnetna kompatibilnost (EMC) predstavlja sposobnost elektronskog sistema da zadovoljavajuće radi u elektromagnetnom okruženju, i bez stvaranja neželjenih EMI (elektromagnetnih smetnji) u obližnjim uređajima / sistemima. EMC-om se osigurava da sistem radi kako je predviđeno definisanim bezbednosnim merama.
- Elektromagnetna interferencija (EMI) predstavlja elektromagnetni poremećaj, gde se energija prenosi zračenjem / provođenjem sa jednog elektronskog uređaja na drugi, čime se smanjuje kvalitet signala i uzrokuje neispravnost u radu. Može se pojaviti u bilo kom frekvencijskom opsegu, (nešto više od jednosmerne struje). Obično se to dešava iznad 50MHz.

EMI i EMC u štampanim kolima

- Kad god kod uređaja dođe do odstupanja od definisanih standarda, najčešće je to zbog uticaja EMC/EMI na performanse sistema.
- Zbog toga je veoma važno kontrolisati EMI tokom početne faze projektovanja PCB-a.
- Kontrola EMI u kasnijim fazama proizvodnje može biti rizična zbog dodatnih troškova.
- Za projektovanje ploča prilagođenih EMC-u, treba voditi računa o:
 - izboru komponenti,
 - projektovanju kola i
 - Projektovanju PCB-a.

Da bi proizvod bio spreman za tržište, on mora da zadovolji propisane EMI / EMC standarde.

Projektovanje PCB u skladu sa EMC

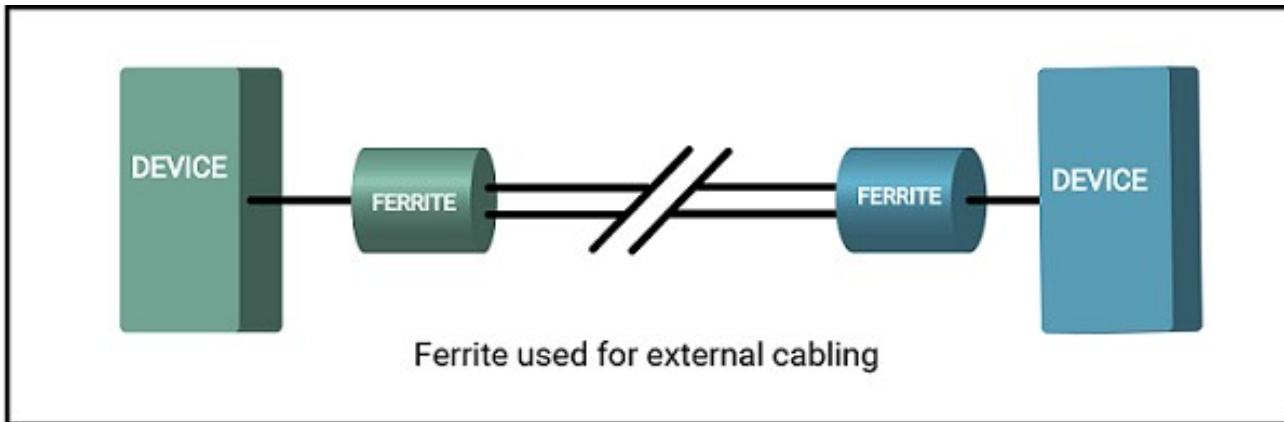
- Primena najboljih praktičnih EMC rešenja tokom projektovanja PCB-a pomaže u postizanju usaglašenosti sa EMC standardima po mnogo manjoj ceni nego u slučaju primene alternativnih EMC rešenja na višem nivou integracije.

- Kada se projekat PCB-a možete nazvati EMC kompatibilnim?
 - EMC kompatibilnost zavisi od tri faktora:
 1. Projektovani PCB sistem ne bi trebalo da ometa druge sisteme.
 2. Projektovani PCB sistem ne bi trebalo da pokazuje osetljivost na EM emisije iz drugih sistema.
 3. Projektovani PCB sistem ne bi trebalo da izaziva smetnje u sebi.

Izvori EMI

- EM emisije se dele na:
 - Provodne emisije – prodiru u sistem kroz pristupe za napajanje i kablove. Mogu se umanjiti umetanjem filtera u blizini ulaza za napajanje ili konektora, ili korišćenjem feritnih jezgara i prstenova.
 - Zračene emisije – potiču od EM talasa koje stvaraju dovodi napajanja, komunikacione linije, prekidački uređaji ili elektrostatička pražnjenja. Prostiru se kroz vazduh i prenose se između uređaja i provodnih linija. Primer su laptopovi koji interferiraju sa elektronikom unutar aviona.

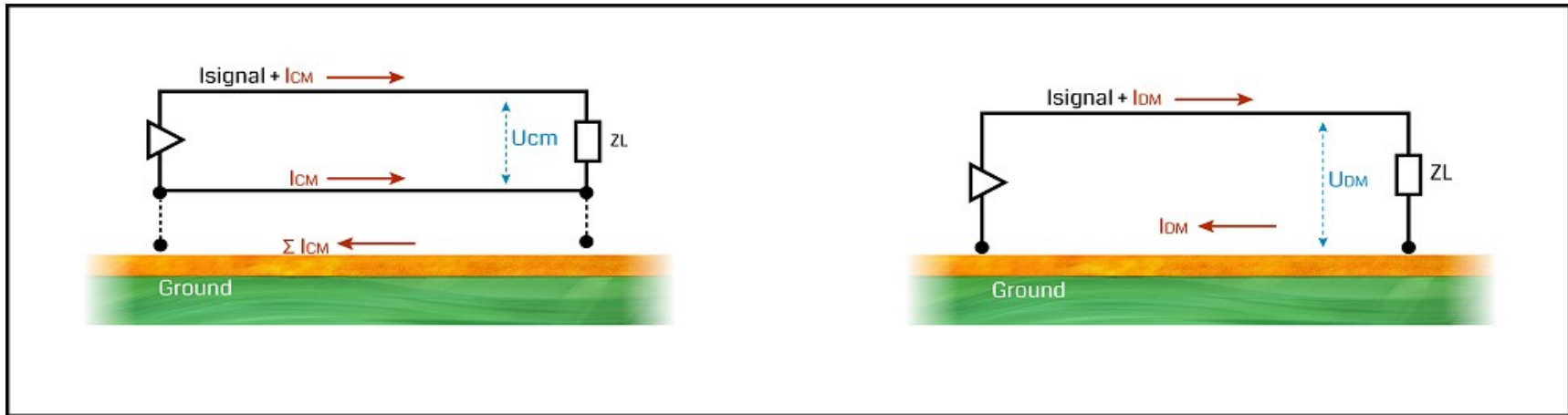
Izvori EMI



Izvori EMI

- EM emisije se dešavaju na linijama sa VF signalima. Njih takođe mogu proizvesti **power and ground planes**, kada je loše urađeno kapacitivno razdvajanje. Tada se javljaju i neke neželjene struje kao što su common-mode (CM) i differential-mode (DM) struje.

Izvori EMI



Kada se smanji veličina petlje, to će smanjiti i fluks kroz nju.

Posmatramo liniju na gornjem sloju PCB-a; možemo smanjiti petlju postavljanjem uzemljenih provodnih površina (ground plane) direktno ispod signalne linije. Dakle, kada to uradimo, struja prolazi kroz liniju prateći uređaj i vraća se kroz provodnu površinu nultog potencijala. Time se smanjuje EMI jer se time smanjuje ukupna oblast koju signal treba da pređe.

Izvori EMI

- Veće struje kroz provodne linije izazivaju veće EM emisije. Zbog toga treba **minimizovati opseg promene struja**.
- **Izbegavati neprilagođenost impedansi.** Kod dobro projektovanih sistema, impedanse su prilagođene od izvora, preko transmisionih linija, pa do potrošača. Time se ostvaruje maksimalni prenos snage i minimizuju refleksije. Refleksije na transmisionim linijama dovode do pojave harmonika, a time i do uvećanja EM emisije. Korektnim prilagođenjem impedansi smanjuje se EM zračenje koje stvara uređaj.

10

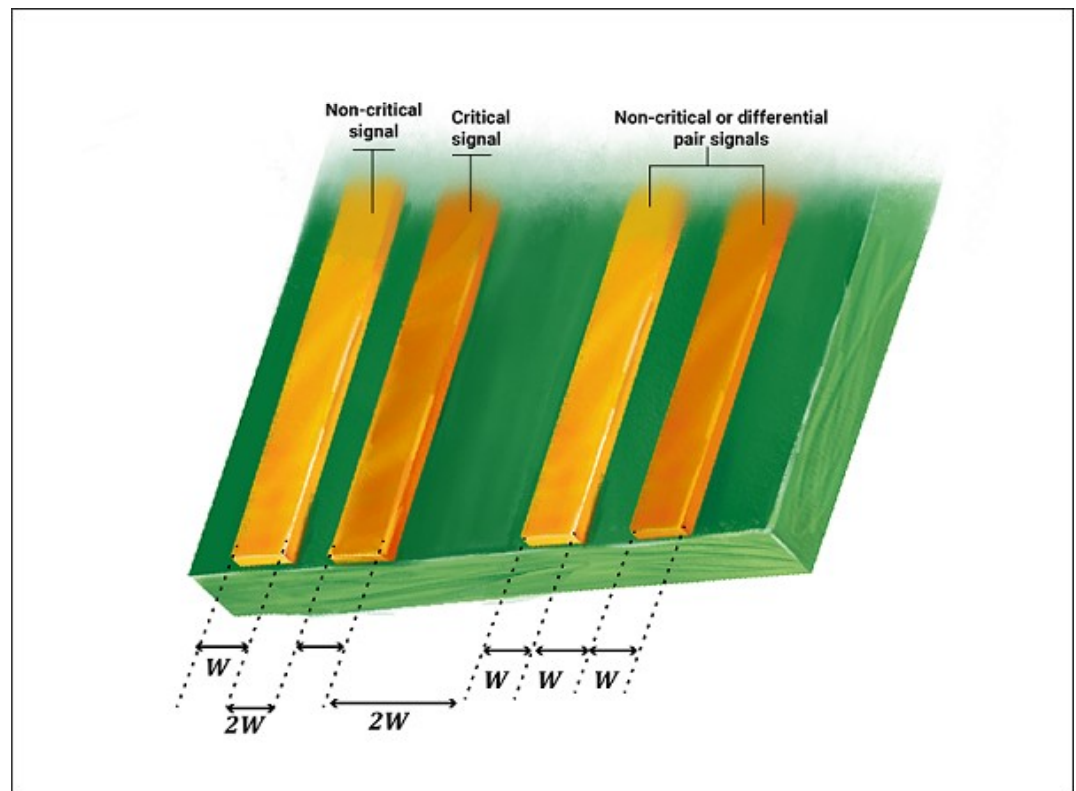
Smernice za EMC projektovanje PCB-a i smanjenje EMI

23.12.2020,

Provodne linije – razmak i raspored

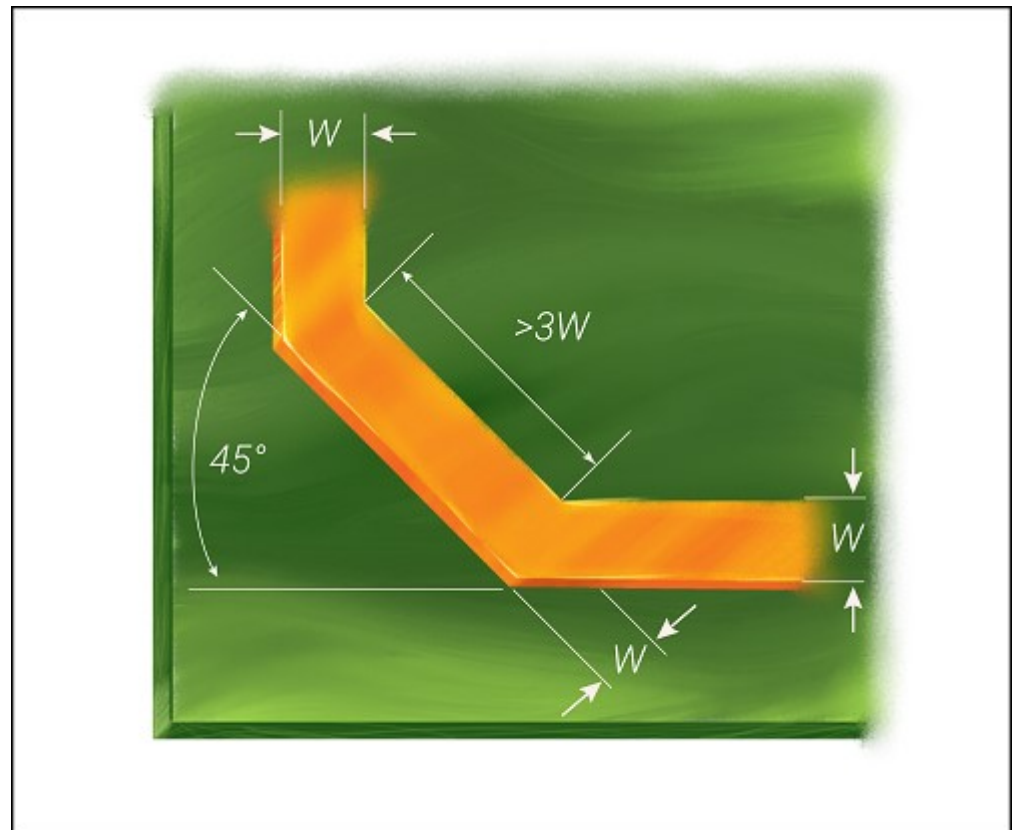
- Provodne linije formiraju strujne puteve od izvora do potrošača na štampanoj ploči. Kada dođe do njihovog zavijanja ili ukrštanja, dolazi do formiranja prave antene koja zrači. Da bi se ovo izbeglo treba poštovati sledeća pravila projektovanja:

- **Razmak između signalnih linija:** Signali tipa: clocks, video, audio, reset, itd. moraju biti razdvojeni od ostalih linija. Uopšteno pravilo je da razmak između takvih linija bude $3W$, gde 'W' označava širinu linije. Ovakvim pristupom se smanjuju preslušavanja i kreiranje sprege između susednih linija.



Provodne linije – razmak i raspored

- **Izbegavati prave uglove i zameniti ih skretanjima pod uglom od 45° :**
Kada provodna linija napravi zaokret pod uglom od 90° , to povećava kapacitivnost strukture, što rezultira promenom vrednosti karakteristične impedanse, i dovodi do refleksije.

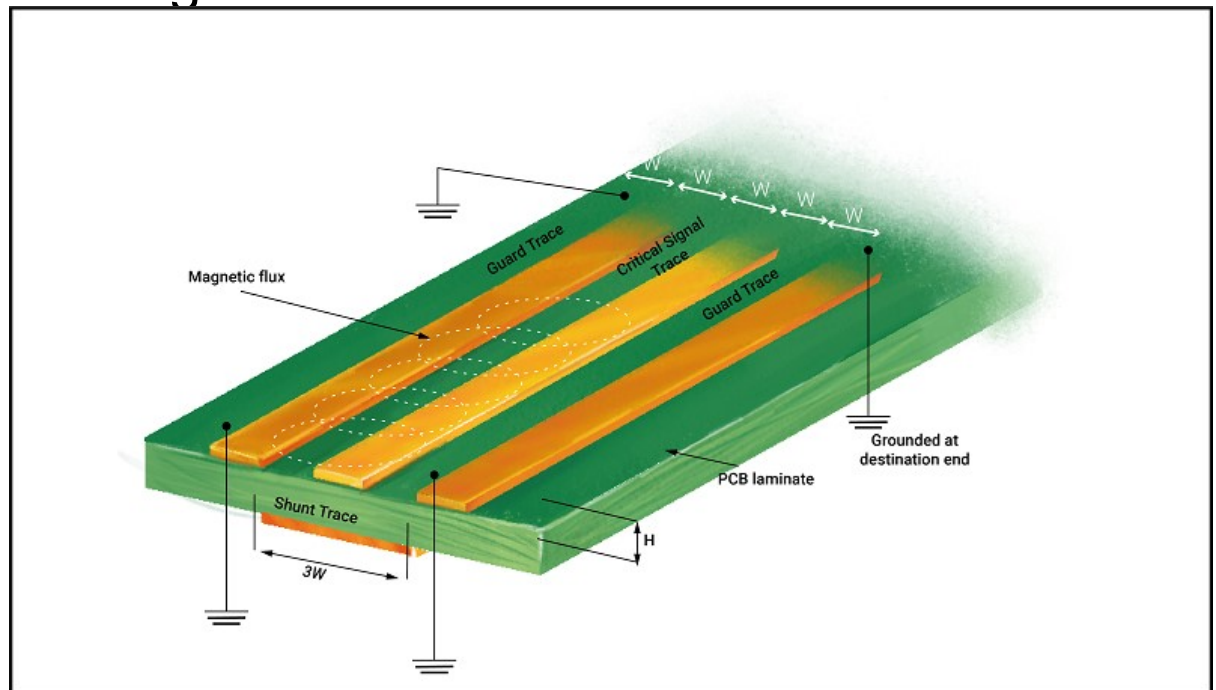


Provodne linije – razmak i raspored

- **Linije sa diferencijalnim signalima treba rutirati bez velikog razmaka:** Time se povećava njihov faktor sprege i smanjuju šumovi. Svaka spoljni šum koji dolazi do takvog para linija dodaće jednaku količinu smetnji u obe linije. Dakle, šum će se zapravo poništiti. Zbog toga se signali velike brzine trasiraju kao diferencijalni parovi.
- **Koristiti što manje via:** Vie su međuslojni prelazi u PCB-ima. Svaki takav prelaz unosi određenu količinu kapacitivnosti i induktivnosti. To dovodi do neprilagođenja impedansi i refleksije. Dakle, vie treba izbegavati, a kritične signale treba trasirati u jednom sloju. U diferencijalnim parovima, kada vie nije moguće izbeći, u oba linije treba staviti isti broj vija.
- **Izbegavati žlebove u osetljivim i visokofrekventnim linijama:** žlebovi proizvode refleksiju, a time i mogućnost pojave antene.

Provodne linije – razmak i raspored

- **Koristiti zaštitne i šant linije za zaštitu taktnih signala:** U linijama taktnog signala, decoupling kondenzatori imaju veoma važnu ulogu u potiskivanju šuma koji propagira duž napajanja. Zaštitnim i šant linijama štiti se signal takta od izvora EMI. U slučaju nepoštovanja ovog pravila dobijaju se taktni signali koji mogu da naprave problem u nekom drugom delu kola.

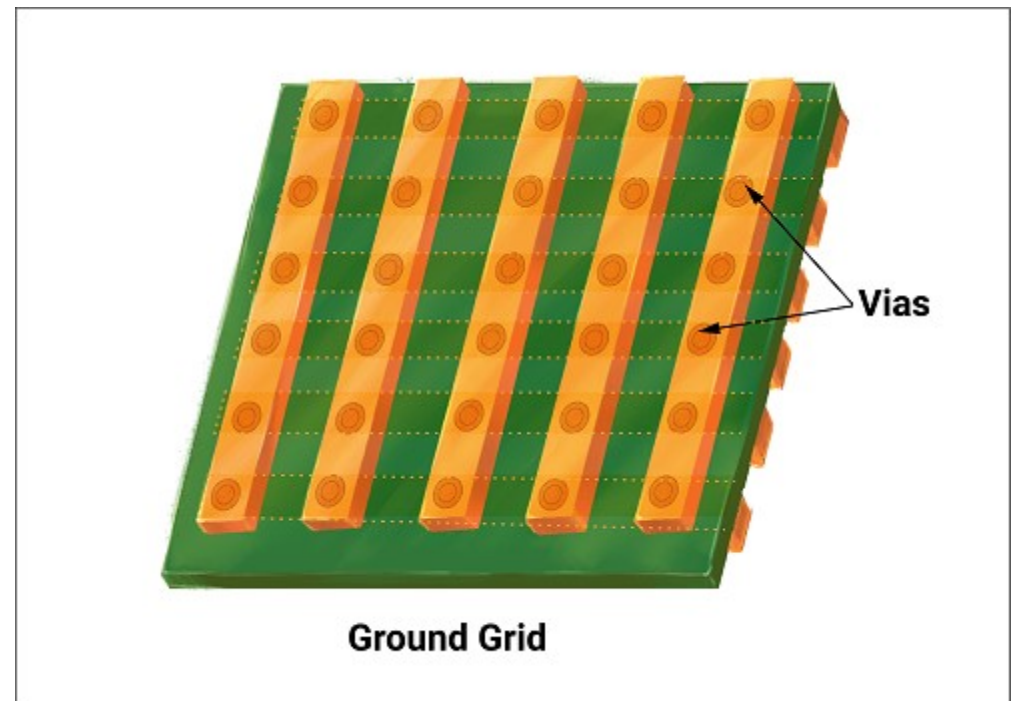


Površine uzemljenja – ground plane

Povećanje površina sa uzemljenjem na PCB-u smanjuje induktivnost sistema a time i EM emisiju i preslušavanja.

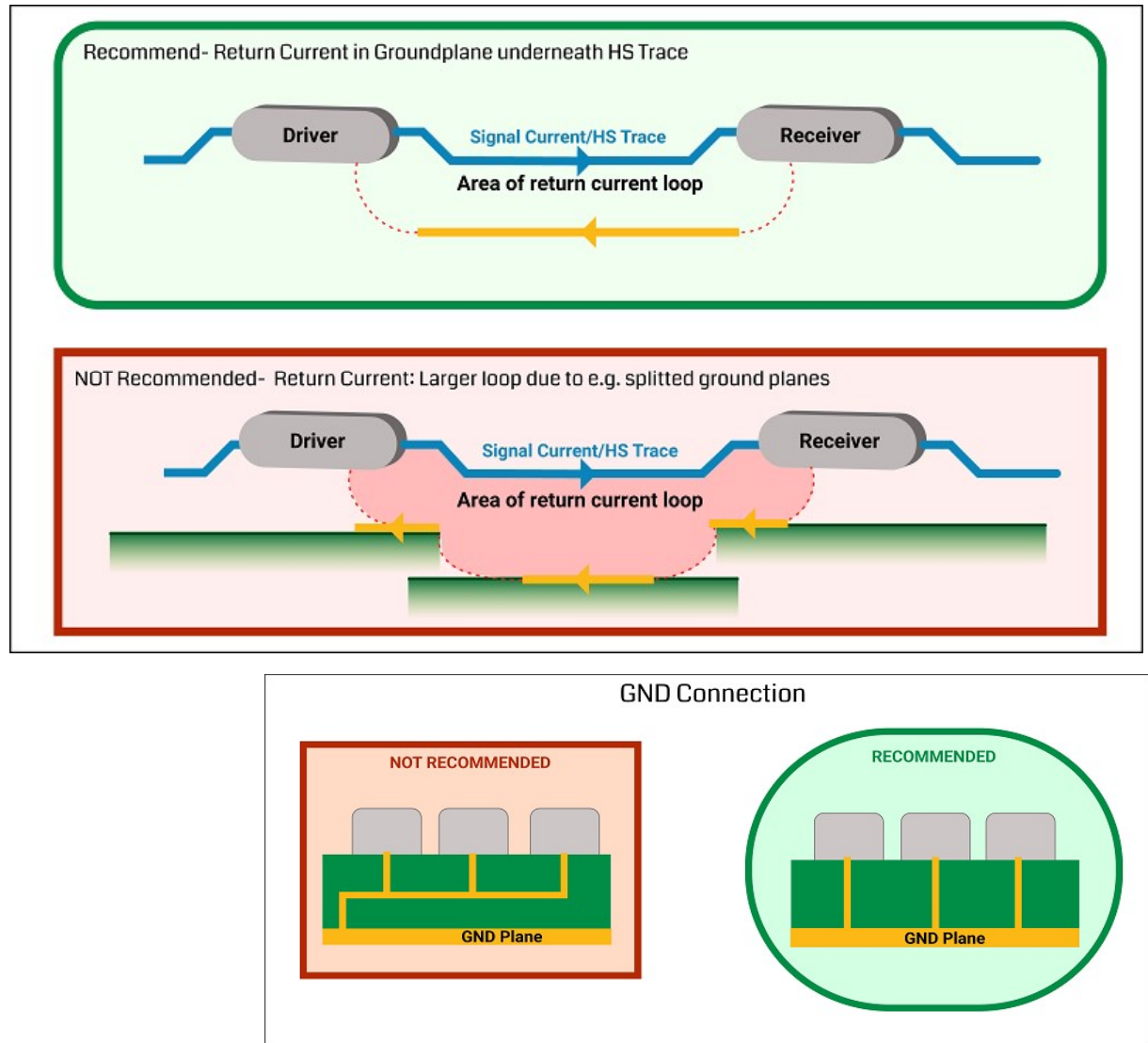
- **Koristiti pune uzemljene provodne površine i rešetke uzemljenja na PCB-u:** Takve uzemljene provodne površine imaju najmanju induktivnost kada se signal vraća od protošača ka izvoru. Najbolje je koristiti ceo jedan sloj takvog uzemljenja, ali ako to nije moguće, treba koristiti rešetke uzemljenja.

U tom slučaju induktivnost strukture zavisi od razmaka između traka u rešetki.



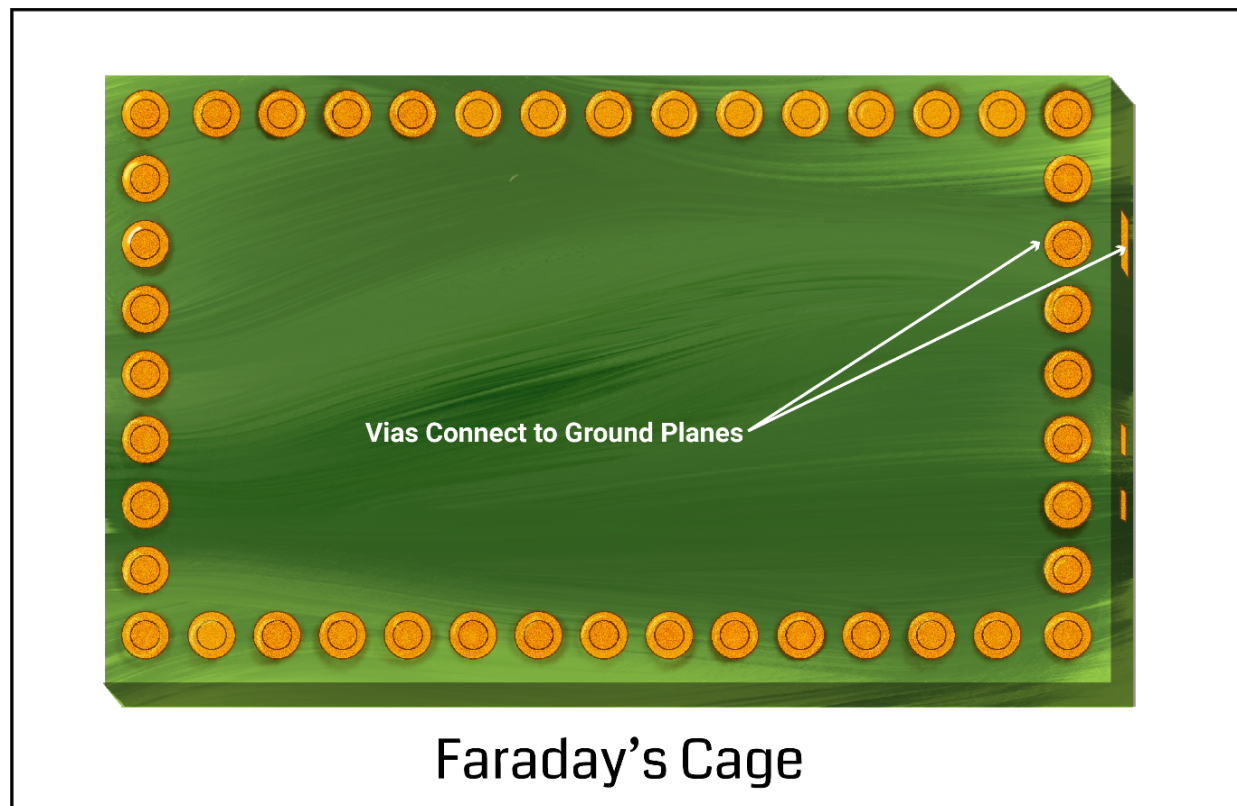
Površine uzemljenja – ground plane

- **Izbegavati duge povratne puteve:** Kada signal putuje dužim putem može doći do formiranja neželjene antene. Kraći povratni putevi imaju manju impedansu, što doprinosi boljim EMC performansama. Dugi povratni putevi dovode do neželjenih sprežanja i preslušavanja.



Površine uzemljenja – ground plane

- **Koristiti Faradejeve kaveze ili prstenove za izolovanje od šumova iz okruženja:** Faradejf kavez se formira dodavanjem uzemljenih površina na ivicama ploče Cilj je da se spreči rutiranje signala van ovakvih oblasti. Ovom tehnikom se takođe ograničava emisija tj. Interferencije na unutrašnjost oblasti.



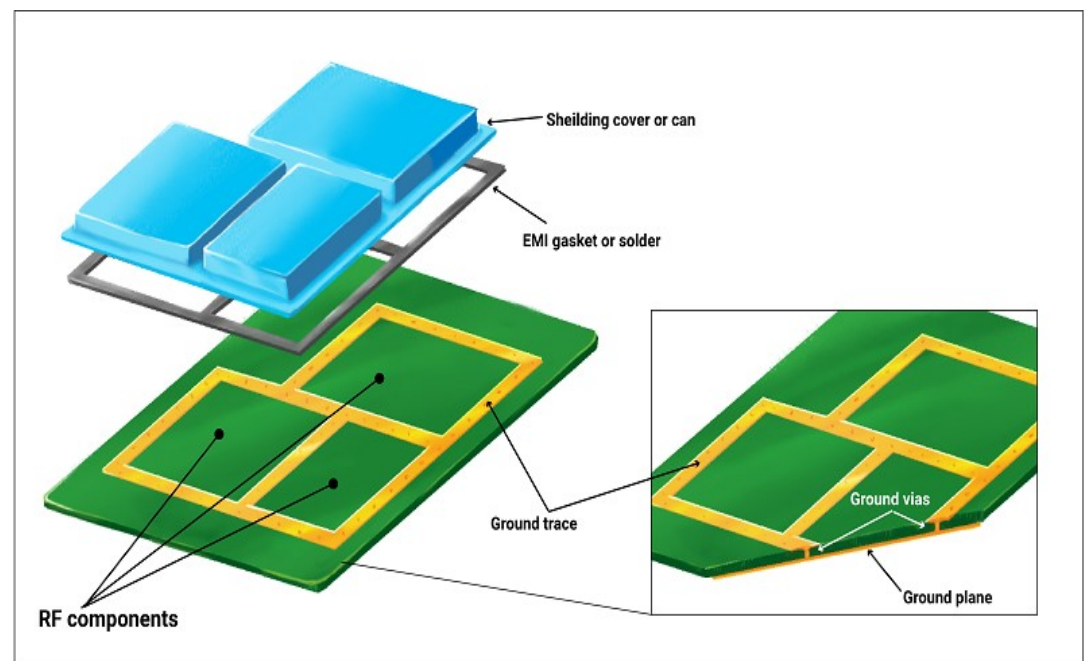
Površine uzemljenja – ground plane

- **Kola koja rade na višim frekvencijama rasporediti blizu ground plane, a kola koja rade na niskim frekvencijama u blizini površina pod napajanjem (power plane).**
- **Uvek uzemljivati Copper fill površine:** U suprotnom i to može da kreira antenu i stvori EMC probleme.
- **Uvek proveriti da li postoji potreba za višestrukim napajanjem:** Kada se u kolu zahteva višestruko napajanja, onda se takve linije trasiraju tako da budu međusobno razdvojene uzemljenim površinama. Višestruka napajanja ne mogu se realizovati jednoslojnom štampom. Rešenje ovog problema je potpuno fizičko distanciranje delova sa različitim napajanjem. Time se umanjuju i preslušavanja u napajanju.
- **Pažljivo tretirati podeljene otvore:** Otvori koji predstavljaju dugačke rupe i široke otvore u površinama napajanja i uzemljenja kreiraju neujednačeno područje. Ova neujednačenost povećava impedansu.

Oklopljavanje

Oklopljavanje je mehanička metoda koja koristi provodni i/ili magnetni materijale da bi sprečila pojavu EMI u sistemu. Mehaničko oklopljavanje predstavlja zatvorenu provodnu kutiju vezanu na masu koja smanjuje veličinu antenske petlje smanjujući ili reflektujući deo njenog zračenja. Mehanički mogu biti oklopljeni delovi ili sistemi u celini. EMC/EMI oklopljavanje štiti signal od spoljašnjih šumova i sprečava gubitak informacija.

□ **Oklopljavanje kablova:**
Kablovi kroz koje teku analogni ili digitalni signali dovode do ozbiljnih EMI problema. Oni unose dodatne kapacitivnosti i induktivnosti i treba ih oklopiti radi smanjenja EMI efekata.



Raspored slojeva PCB-a

EMC performanse PCB-a zavise od rasporeda slojeva. Ako se koristi višeslojna štampa, onda jedan sloj treba da bude rezervisan samo za uzemljenje. Kod četvoroslojnih štampanih ploča npr. sloj ispod uzemljenja treba da bude rezervisan za sloj napajanja. Najbolje rešenje bi dao sledeći raspored slojeva: signal1, ground, power, signal2.

- **Ukoliko kod dvoslojne štampe nije moguće obezbediti ceo sloj rezervisan za uzemljenje, onda treba koristiti rešetke uzemljenja.**
- **Ukoliko se ne koristi posebna površina za napajanje, onda linije uzemljenja treba rutirati paralelno linijama napajanja.**

Raspored slojeva PCB-a

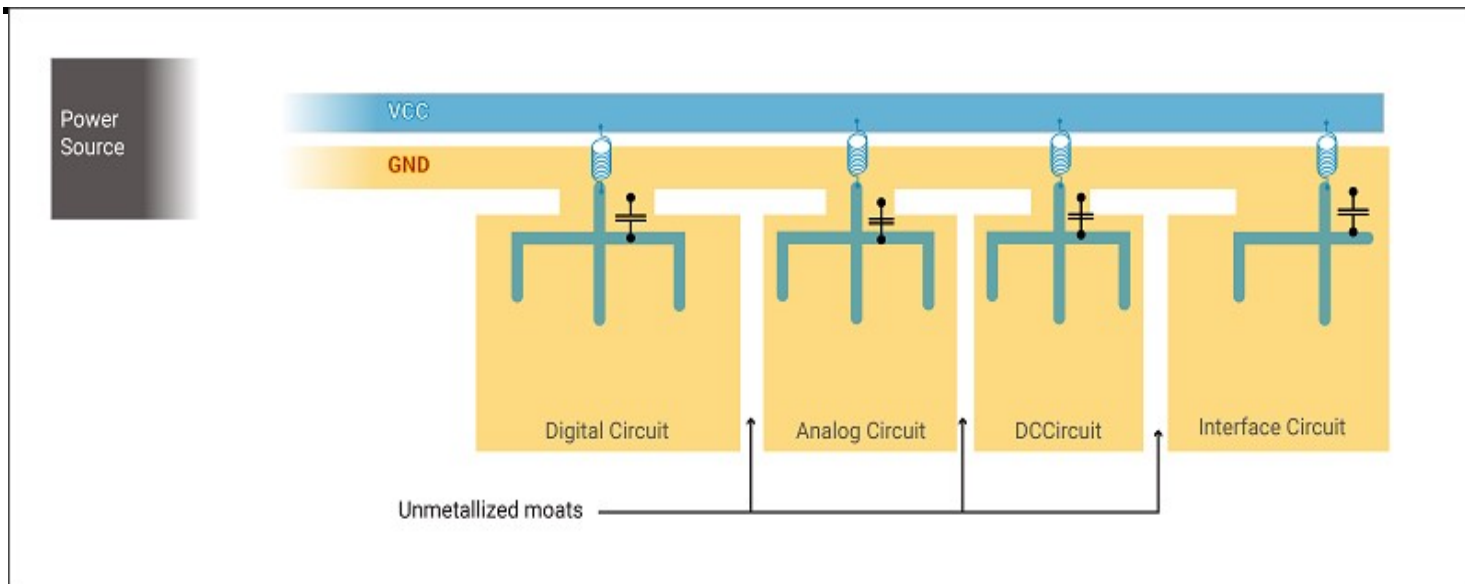
- Kada ima više od četiri sloja, preporučuje se sledeći raspored: signal layer → ground/power layer → signal layer → ground/power layer → signal layer → ground/power layer → signal layer. Ukupan broj slojeva treba da bude paran.

Layer	Type	Thickness	Copper Weight
Top (L1)	soldermask	0.5	
	signal	1.9	1.5
	prepreg	2.7	
Layer 2	GROUND	1.2	1.0
	core	4	
Layer 3	signal	1.2	1.0
	prepreg	5	
Layer 4	GROUND	1.2	1.0
	core	4	
Layer 5	signal	1.2	1.0
	prepreg	12	
Layer 6	GROUND/POWER	2.4	2.0
	core	3	
Layer 7	GROUND/POWER	2.4	2.0
	prepreg	12	
Layer 8	signal	1.2	1.0
	core	4	
Layer 9	GROUND	1.2	1.0
	prepreg	5	
Layer 10	signal	1.2	1.0
	core	4	
Layer 11	GROUND	1.2	1.0
	prepreg	2.7	
Bot (L12)	signal	1.9	1.0
	soldermask	0.5	

The stackup is built around cores. Cores are thin sheets of dielectric with copper layers on both sides. On top/below of the core are added prepregs which are dielectric material sheets. On top of the prepreg the copper foil is added.

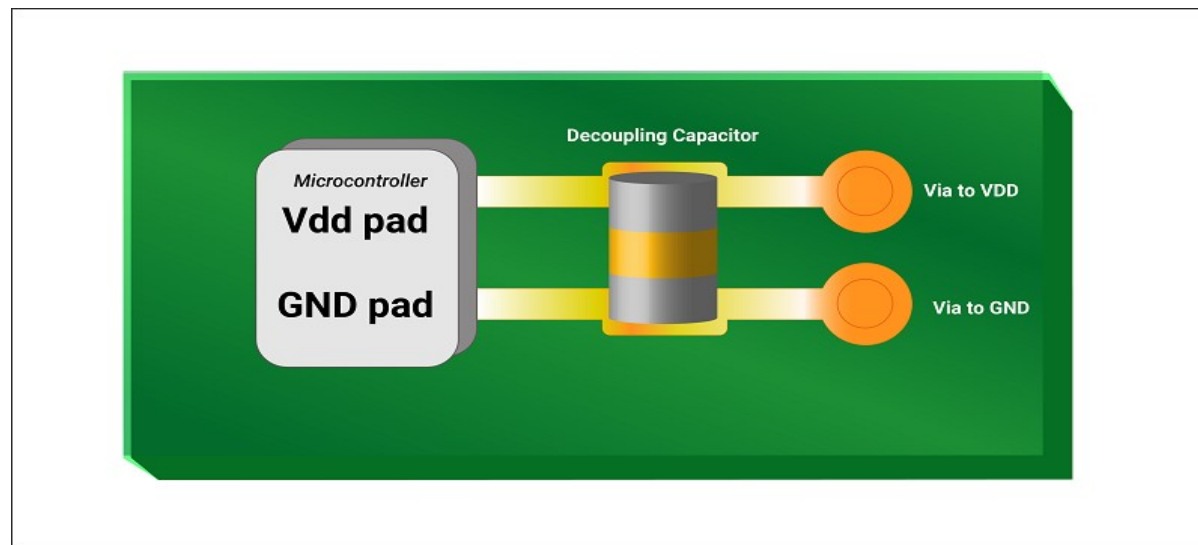
Odvojiti osetljive komponente

Projektovanje u skladu sa EMC zahteva da se PCB komponente grupišu prema signalima sa kojima interaguju. Takvi su analogni i digitalni signali, napajanje, niskofrekventni i visokofrekventni signali itd. Linije takvih signala treba da budu što više rutirane u okviru predviđene oblasti. Pametno je koristiti filtre kad god je potrebno da signal pređe iz jedne oblasti u drugu.



Decoupling kondenzatori

Tokom rada integrisanih kola dolazi do uključivanja i isključivanja tranzistora. To unosi šumove prekidanja u linijama za napajanje i masu koje su vezane za posmatrano IC. Ukoliko se ne kontrolišu, takvi šumovi mogu izazvati EM emisije. Metod smanjenja ovih smetnji je uvođenje decoupling kondenzatora u blizini pinova napajanja IC-a. Sa druge strane ove kondenzatore direktno treba vezati na ground plane. Time se smanjuju šumovi.



Kontrolisana impedansa pri projektovanju transmisionih linija

- Pri radu kola na visokim frekvencijama prilagođenje impedanse između izvora i potrošača ima kritičnu ulogu. Ukoliko nema prilagođenja i dobre kontrole impedanse, može doći do refleksije signala. Taj višak energije može da ozrači druge delove kola i izazove EMI probleme. Terminiranje signala može da smanji neželjene efekte.