

Realizacija elektronskih sklopov

Elektromagnetna združljivost (EMC)

M. Jankovec

Problemi EMC – Banana Skins

- Norfolk, Anglija. Avtomobili ponorijo, ko se peljejo mimo vojaškega radarja.
- S piezo cigaretnim vžigalnikom si lahko dvignil rampo parkirišča
- Toyota vpoklicala 1 milijon avtomobilov v popravilo zaradi nepričakovanih sprožitev zračnih blazin
 - Kontrolni modul pel v kratek stik, če je bil izpostavljen induktivnim motnjam
 - Vstavili dodatni filter

Problemi EMC – Banana Skins

- Prenosni računalnik je med delovanjem ponovljivo povzročal izklop masažnega tuša v kopalnici.
- EKG monitor od defibrilatorja se je izklopil vsakič, ko so reševalci po radio vezi klicali za navodila.
 - Razlog: Kovinsko streho bolnice so zamenjali z kompozitni in vanjo namestili dolgovalovno anteno
- Računalniki v sobi blizu vrat, ki je bila opremljena z magnetno loputo za mačke povzročijo ropotanje lopute vsakič, ko se je nalagal OS ali si zagnal aplikacijo.

Problemi EMC – Banana Skins

- Povečano število višjih harmonikov zaradi množične uporabe računalnikov (stikalni napajalniki) so povzročili pregrevanje omrežnih AC kablov v Londonu.
- Civilna tožba za \$60,000 dobljena v primeru, ko se je v sušilniku za lase samodejno vklopil grelce kljub temu, da je bilo stikalo izklopljeno in povzročil požar.
- LPVO: USB miška postala neodzivna zaradi bližine prototipnega MPPT močnostnega pretvornika
- http://www.compliance-club.com/archive/old_archive/Bananaskins.htm

Največja EMC nesreča vseh časov

- Letalonosilka USS Forrestal, Vietnam 1967
 - Letalski radar sprožil rakete
 - 134 mrtvih, 27 uničenih letal



Pravilnik o elektromagnetni združljivosti

- Povzema direktivo EU 2004/108/EC
- Ne vključuje
 - Radijske in terminalske opreme
 - Letalskih proizvodov
 - Radioamaterske radijske opreme, ki ni v prosti prodaji
 - Oprema, katere lastnosti so take, da ne more generirati motenj ali ne more biti motena v normalnih okoljih
 - Kabli
 - Uporovna bremena, grelci
 - Baterije, akumulatorji
 - zvočniki

Pravilnik o elektromagnetni združljivosti

- Pravilnik o EMC **ni varnostna direktiva**, zato se ne ukvarja s področjem varnega delovanja naprav, ki sodijo pod njeno pristojnost temveč le z elektromagnetno združljivostjo naprav.
- Druge direktive, ki se ukvarjajo z regulacijo varnosti do ljudi, živali ali premoženja, lahko postavijo **višje zahteve za EMC**, da zadostijo varnostnim zahtevam.

Oprema, ki jo podrobneje urejajo druge direktive

- Motorna vozila (72/245/EEC in 2004/104/EC)
- Dvokolesna in trikolesna motorna vozila (97/24/EC)
- Kmetijski in gozdarski traktorji (75/322/EEC)
- Ladijska oprema (96/98/EC)
- Medicinske naprave (90/385/EEC, 93/42/EEC in 98/79/EC)
- Merilni inštrumenti (2004/22/EC)
 - izvzeti samo na področju imunosti
- Neavtomatske tehtnice (90/384/EEC)
 - izvzeti samo na področju imunosti

Pojmi elektromagnetne združljivosti

- **Elektromagnetna združljivost** (EMC - electromagnetic compatibility)
 - je zmožnost, da naprava zadovoljivo deluje in da ne proizvaja nedopustnih motenj
- **Elektromagnetne motnje** (EMI - electromagnetic interference)
 - so proces, s katerim se po vodnikih ali prek polja prenašajo neželeni vplivi.

Pojmi elektromagnetne združljivosti

- **Radijske frekvence** (RF - radio frequency)
 - obsegajo frekvenčno področje za radijske povezave. (9 kHz - 400 GHz).
- **Radiofrekvenčne motnje** (RFI - radio frequency interference)
 - so motnje v področju radijskih frekvenc.
- **Dovzetnost** (susceptibility)
 - je mera, ki podaja vplive elektromagnetnih motenj na naprave.
- **Odpornost** (immunity)
 - je mera, ki podaja zmožnost sistema, da nemoteno deluje ob prisotnosti elektromagnetnih motenj.

Pojmi elektromagnetne združljivosti

- **Električna preobremenitev** (EOS - electrical overstress) j
 - je uničenje oziroma sprememba lastnosti naprave, ki jo povzroče impulzi visoke napetosti.
- **Elektrostatična razelektritev** (ESD - electrostatic discharge)
 - je impulz visoke napetosti, ki ni naravnega izvora (ljudje ali naprave).
- **Dovzetnost za sevanje** (radiated susceptibility)
 - je nesposobnost naprave, da prenese elektromagnetne motnje iz okolice.
- **Dovzetnost za prevodne motnje** (conducted susceptibility)
 - je nezmožnost naprave, da prenese elektromagnetne motnje, ki prihajajo po vodnikih.
- **Oklopljenje** (containment)
 - je obdajanje naprave s prevodnimi ploščami, ki preprečijo širjenje radiofrekvenčnih motenj.
- **Zniževanje nivoja** (suppression)
 - je neposredno zmanjševanje oziroma izločanje radiofrekvenčnih motenj vira, če se to doseže brez dodatnih oklopov.

Pojmi elektromagnetne združljivosti

- **Oprema**
 - kateri koli **aparat** ali **nepremični sestav**
- **Aparat**
 - **Vse končne samostojne naprave v prosti prodaji namenjene končnemu uporabniku**
 - **Tudi kombinacije več končnih naprav, združene v novo funkcionalno napravo**
 - **Ima ohišje in svojo funkcijo**
- **Komponente**
 - **so brez ohišja in namenjene za vgradnjo – ne spadajo pod EMC direktivo**
 - **Če so na trgu na voljo za samostojno vgradnjo spadajo pod EMC direktivo**

Pojmi elektromagnetne združljivosti

- **Nepremični sestav**
 - kombinacija več aparatov in drugih naprav, ki je namenjena stalni namestitvi in obratovanju na vnaprej določenem mestu
 - Inštalacije od stanovanjskih do industrijskih
 - Telekomunikacijska omrežja
 - Razsvetljava
 - Proizvodnje linije
- Aparati, ki se vgrajujejo v nepremične sestave, morajo izpolnjevati zahteve EMC direktive, razen če niso prosto dostopni na trgu

Harmonizirani standardi

- Minister objavi seznam **harmoniziranih standardov** katerih uporaba ustvari **domnevo o skladnosti** opreme z zahtevami tega pravilnika, na način določen z zakonom, ki ureja tehnične zahteve za proizvode in ugotavljanje skladnosti.
- Kadar je oprema zasnovana in izdelana v skladu s harmoniziranimi standardi velja **domneva**, da ta **oprema ustreza** bistvenim zahtevam direktive.

Bistvene zahteve za opremo (Priloga I)

- Zasnovane na splošno, da ne omejujejo tehničnih rešitev
- Oprema mora biti zasnovana in izdelana ob upoštevanju stanja tehnike, tako da se zagotovi, da:
 - elektromagnetne motnje, ki jih povzroča, **ne presegajo ravni**, nad katero radijska in telekomunikacijska oprema ter druga oprema ne morejo delovati, kakor je predvideno;
 - ima raven odpornosti pred elektromagnetnimi motnjami, kot se pričakujejo pri **predvideni uporabi**, kar omogoča delovanje opreme za njen namen brez **nesprejemljivega poslabšanja delovanja**.

Bistvene zahteve za nepremične sestave

- Pri namestitvi nepremičnih sestavov se uporabi **dobra inženirska praksa s področja EMC** in upoštevajo podatki o predvideni uporabi njenih sestavnih delov, da se izpolnijo zaščitne zahteve iz 1. točke te priloge.
- Dobro inženirsko prakso je treba **dokumentirati**, dokumentacija pa se hrani pri odgovorni osebi in je na voljo pristojnemu inšpektoratu za namene pregleda, dokler nepremični sestav deluje.

Notranja kontrola proizvodnje (Priloga II)

- Proizvajalec izvede ugotavljanje združljivosti na osnovi ustreznih elektromagnetnih pojavov pri čemer upošteva pogoje delovanja aparatov.
 - Uporabi lahko usklajene EMC standarde,
 - lastno metodologijo ali
 - kombinacijo obeh metod.
- Izbira pravega usklajenega standarda je odgovornost proizvajalca.
- potrebno zagotoviti skladnost vseh konfiguracij v predvidenih pogojih delovanja.

Kontrola priglaščenega organa (Priloga III)

- na podlagi priložene tehnične dokumentacije proizvajalca oceni ali so zahteve direktije izpolnjene.
 - ocene izda izjavo, ki potrjuje skladnost opreme. Ta izjava, ki se predloži tehnični dokumentaciji izdelka, se nanaša le na tiste bistvene zahteve, ki jih je priglašeni organ ugotavljal na željo proizvajalca.
- Proizvajalec še vedno nosi odgovornost za združljivost aparata.

Evropski standardi s področja EMC

- Osnovni standardi
 - EN 61000-1-1: Definicije izrazov
 - EN 61000-2-x: Definicije okolij
 - EN 61000-3-x: Omejitve emisij
 - EN 61000-4-x: Imunost na sevanja in razelektritve
 - EN 61000-5-x: Priporočila za povezovanje in ozemljevanje
- Generični standardi za posamezna okolja uporabe
 - Imunost
 - EN 61000-6-1 (domača, komercialna, lažja industrijska)
 - EN 61000-6-2 (industrijska)
 - Emisije
 - EN 61000-6-1 (domača, komercialna, lažja industrijska)
 - EN 61000-6-2 (industrijska)

Evropski standardi s področja EMC

- Izdelčni EMC standardi
 - zadevajo širše ali ožje sorodne skupine izdelkov
 - Želja EU je, da bi čim več izdelkov zajeli v standardih za izdelčne družine.

Motnja/
emisija

- Prevodna (Conducted)
- Sevalna (Radiated)

Odpornost/
imunost

- Prevodna (Conducted)
- Sevalna (Radiated)
- Elektrostatska razelektritev (ESD)

Evropski standardi s področja EMC

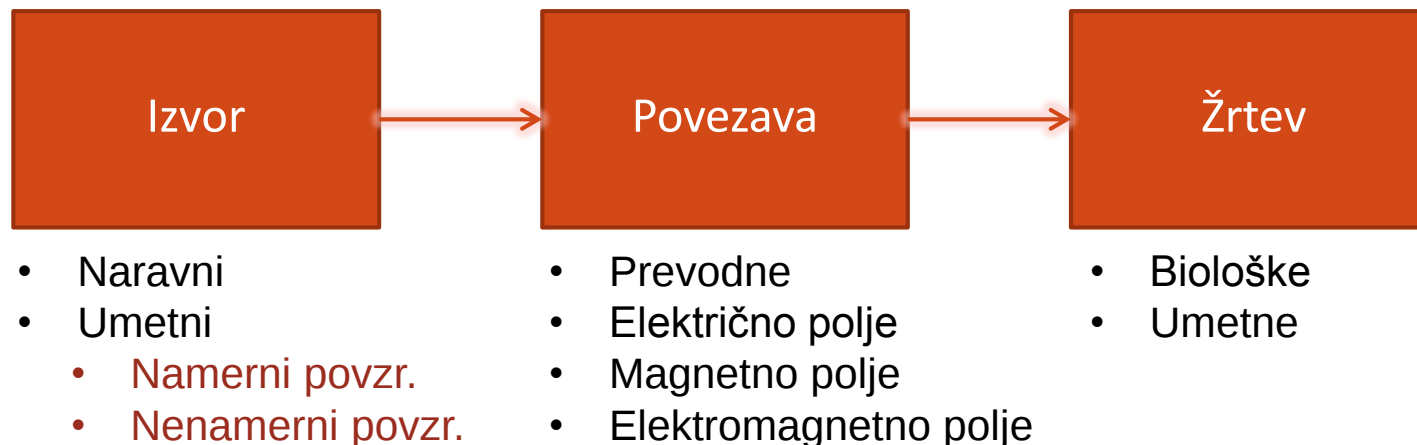
- Delitev po frekvenci
 - Nizke frekvence do vključno 9 kHz,
 - visoke frekvence nad 9 kHz
- Prevodni NF pojavi
 - počasne spremembe napajalne napetosti,
 - harmoniki,
 - signali na napajanju,
 - napetostna nihanja,
 - napetostni padci in prekinitve,
 - napetostno neravnovesje,
 - spremembe napajalne frekvence,
 - inducirana nizkofrekvenčna napetost
 - enosmerna komponenta v izmeničnem omrežju.
- Prevodni VF pojavi
 - inducirana trajna valovanja
 - enosmerni ali nihajoči prehodni pojavi
- Sevalni NF pojavi
 - električna in magnetna polja
 - Trajnega
 - prehodnega pojava.
- Sevalni VF pojavi
 - električna, magnetna in elektromagnetna polja,
 - prehodnega
 - trajnega značaja.

Razredi naprav

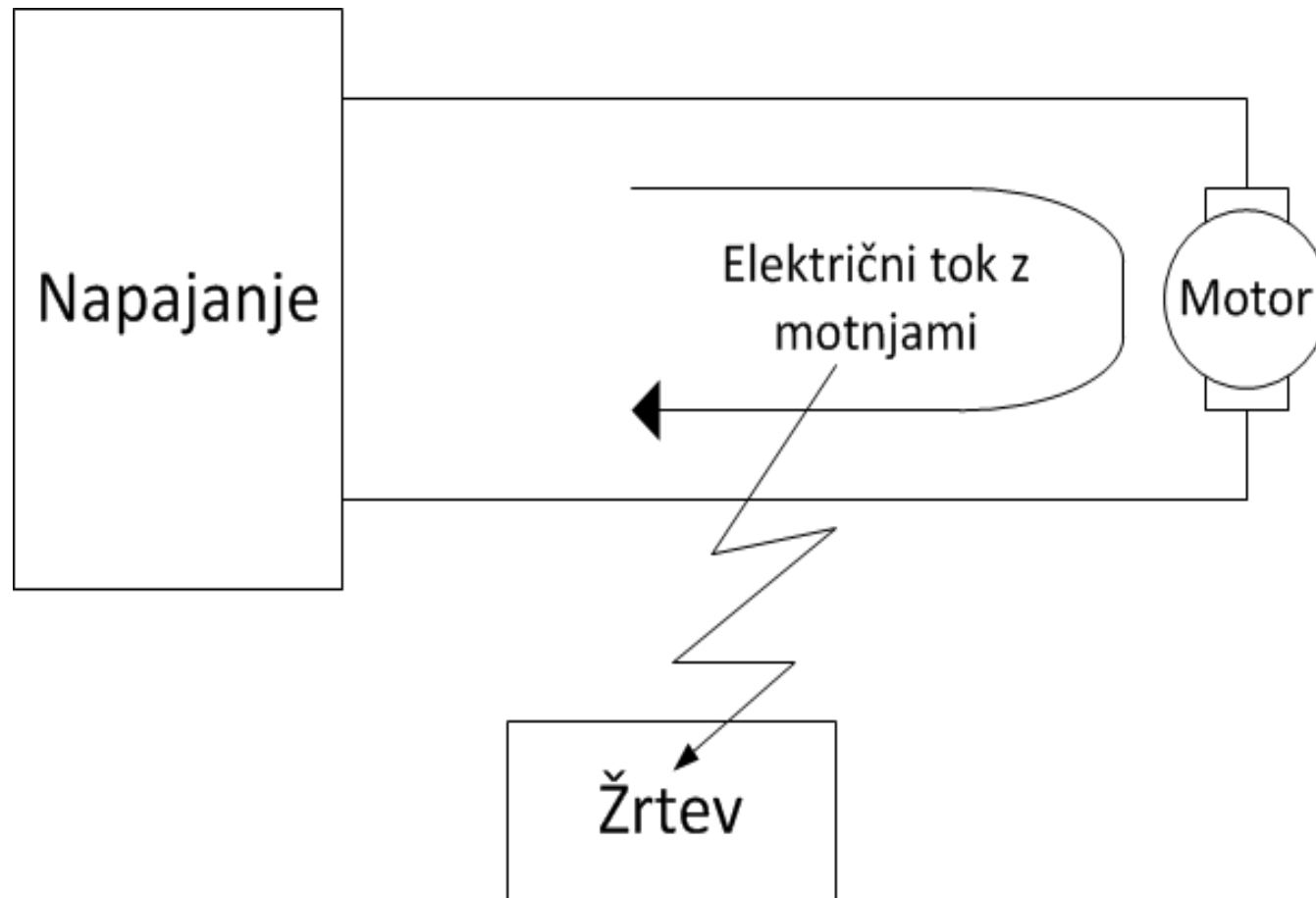
- Razred A:
 - naprave, katerih dopustno sevanje je večje, vendar je njihova uporaba omejena na trgovinsko ali industrijsko okolje. Zanje se šteje, da delujejo v področju, kjer je dostop nadziran.
- Razred B:
 - Predpisi ne omejujejo njihove uporabe, torej v razred B spadajo vse naprave, ki so namenjene za široko potrošnjo. Zahteve glede generiranja motenj so ostrejšje.

Model EMC

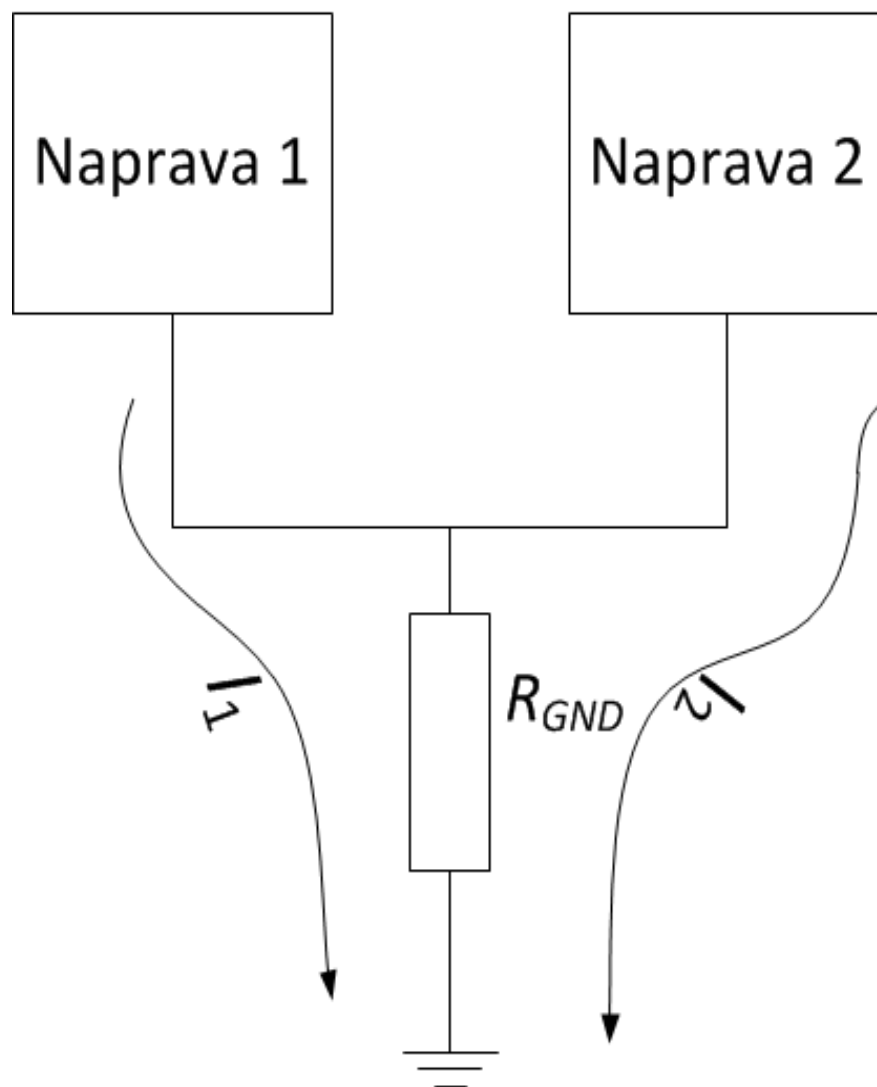
- Model, s katerim se prikaže elektromagnetne motnje, ima tri osnovne gradnike:
 - **izvor** sevanja (motenj),
 - **sprejemnik**,
 - **povezava** med izvorom in sprejemnikom.



Prevodno-sevalni prenos motenj

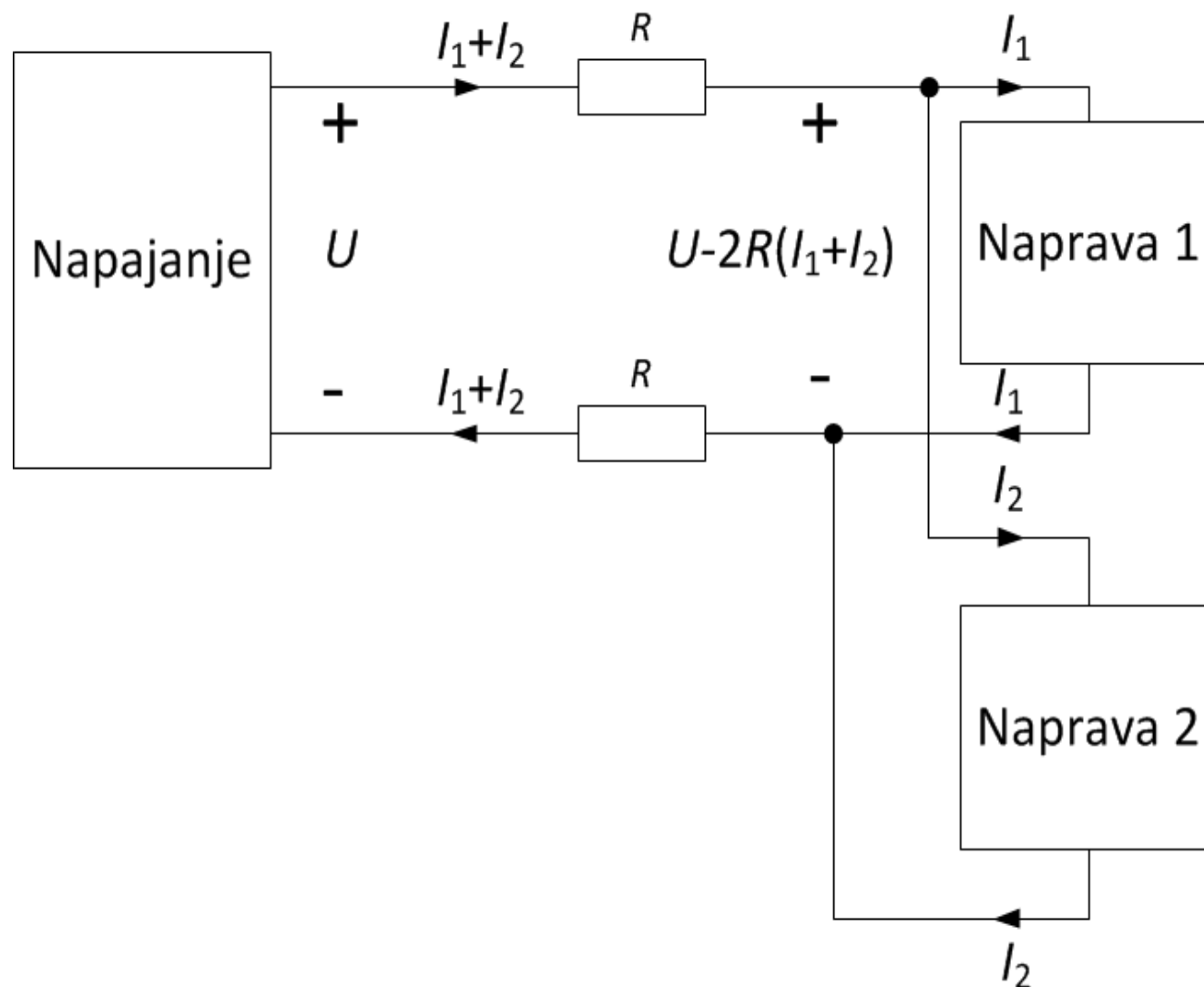


Prevodni prenos motenj preko skupne mase

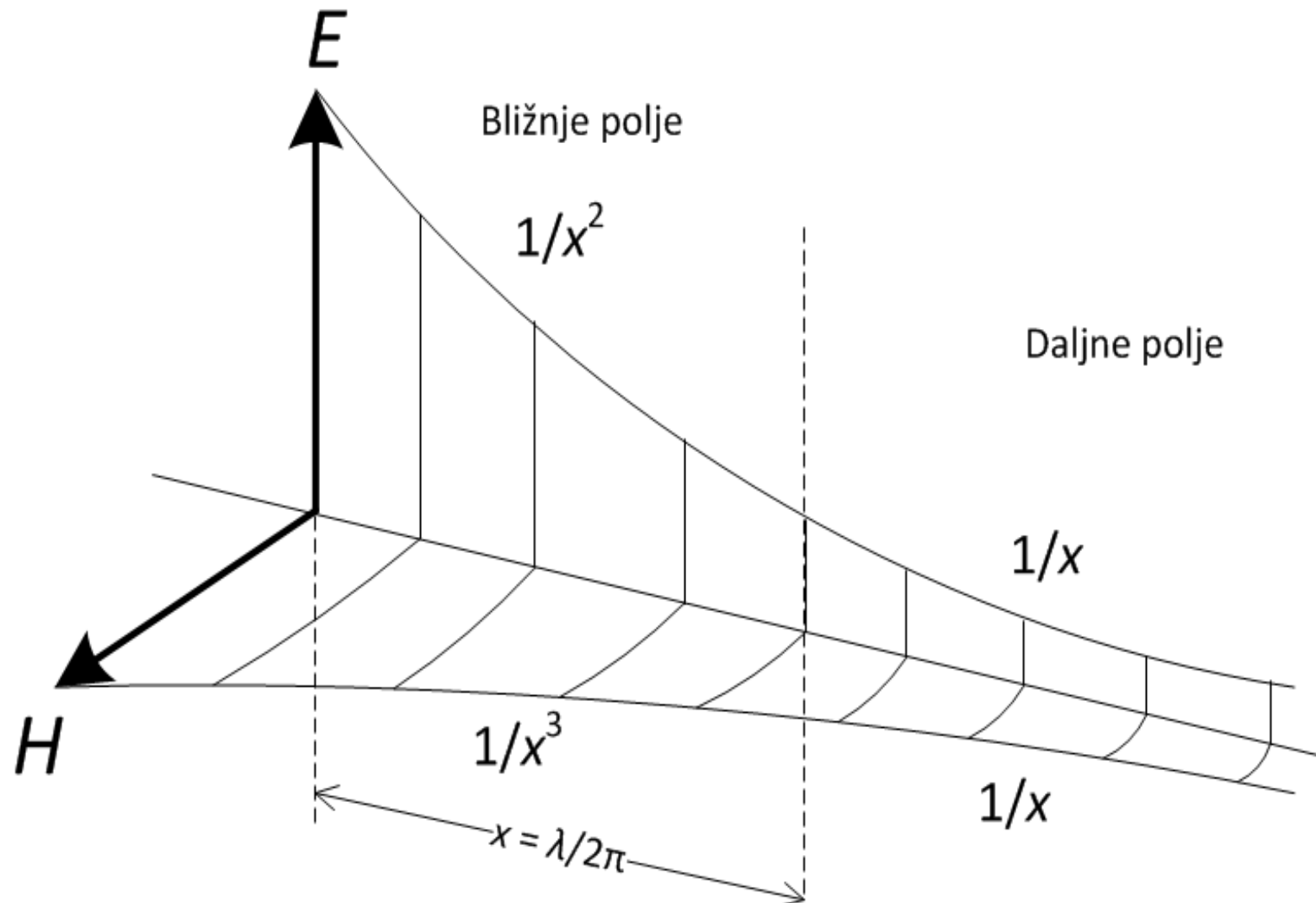


$$U_{GND} = R_{GND} * (I_1 + I_2)$$

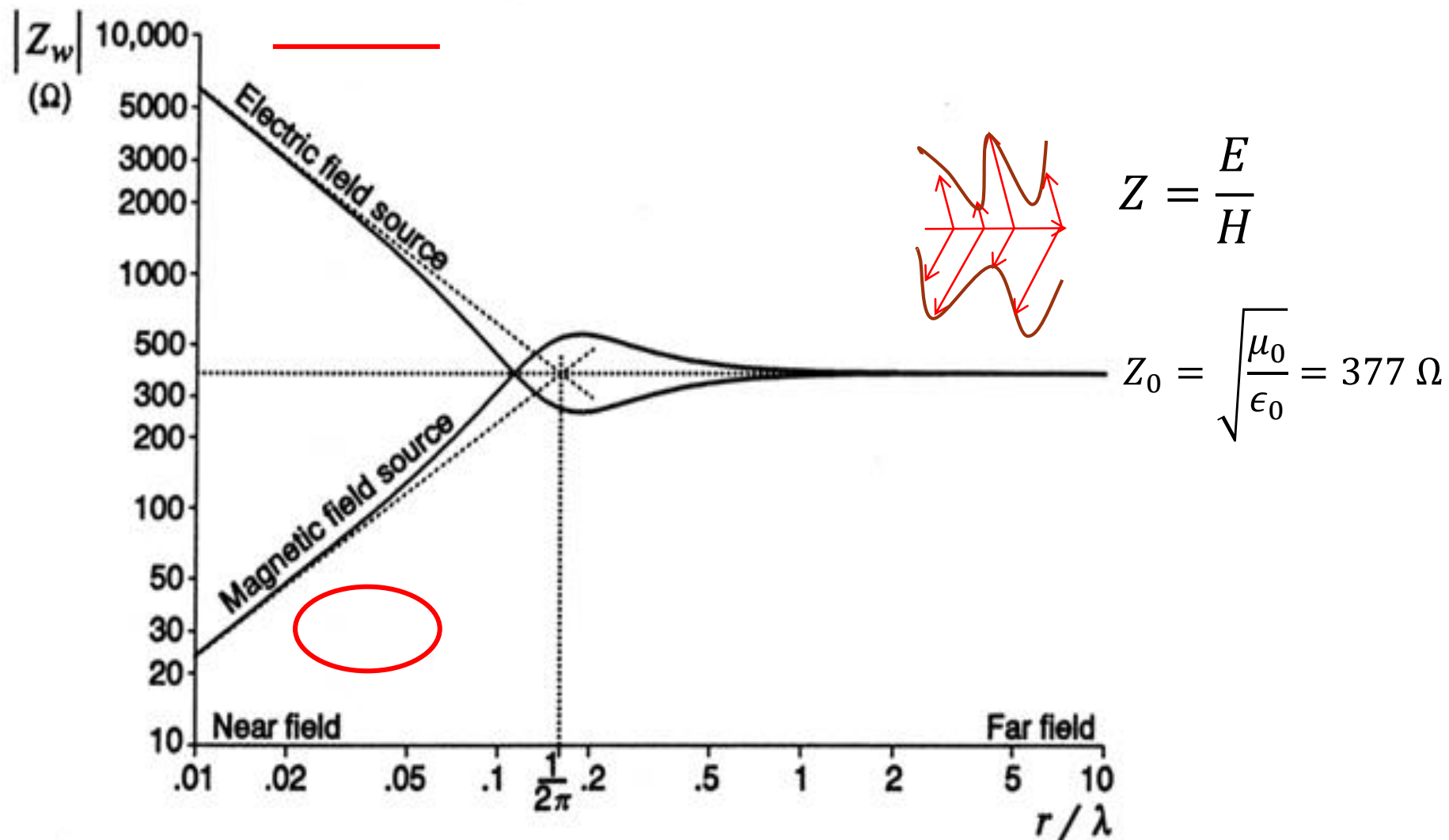
Prevodni prenos motenj iz napajalnih linij



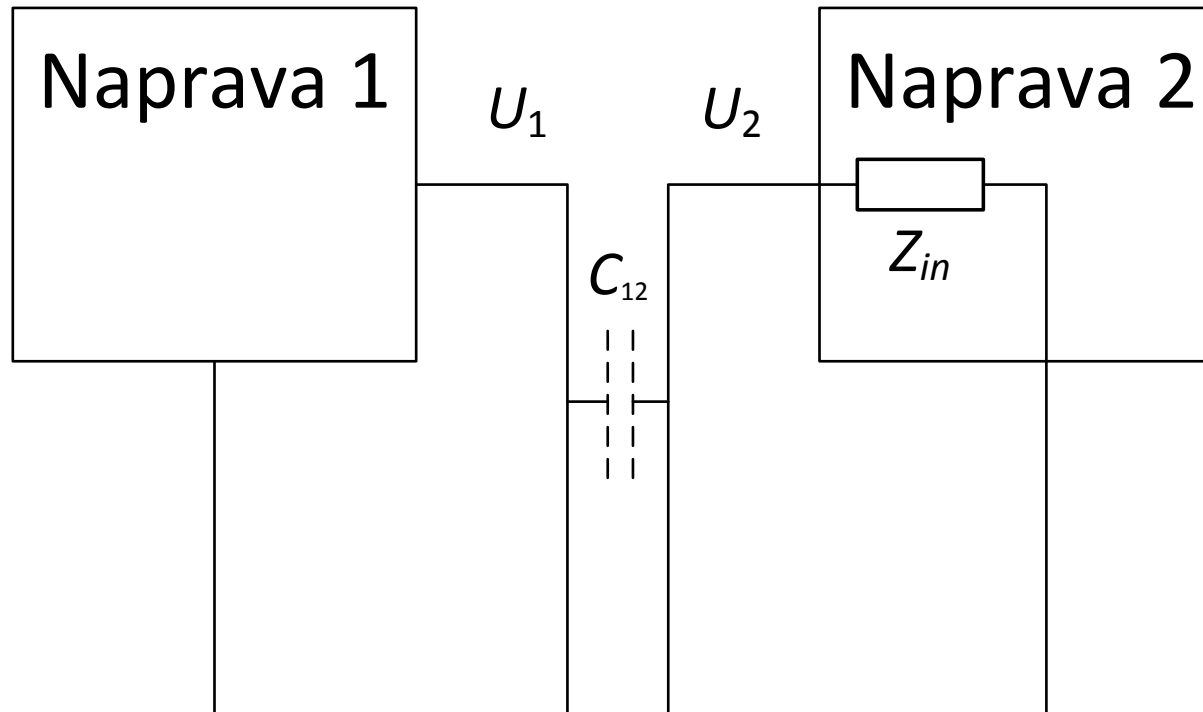
Potek EM valovanja od vira po prostoru



Impedanca EM valovanja

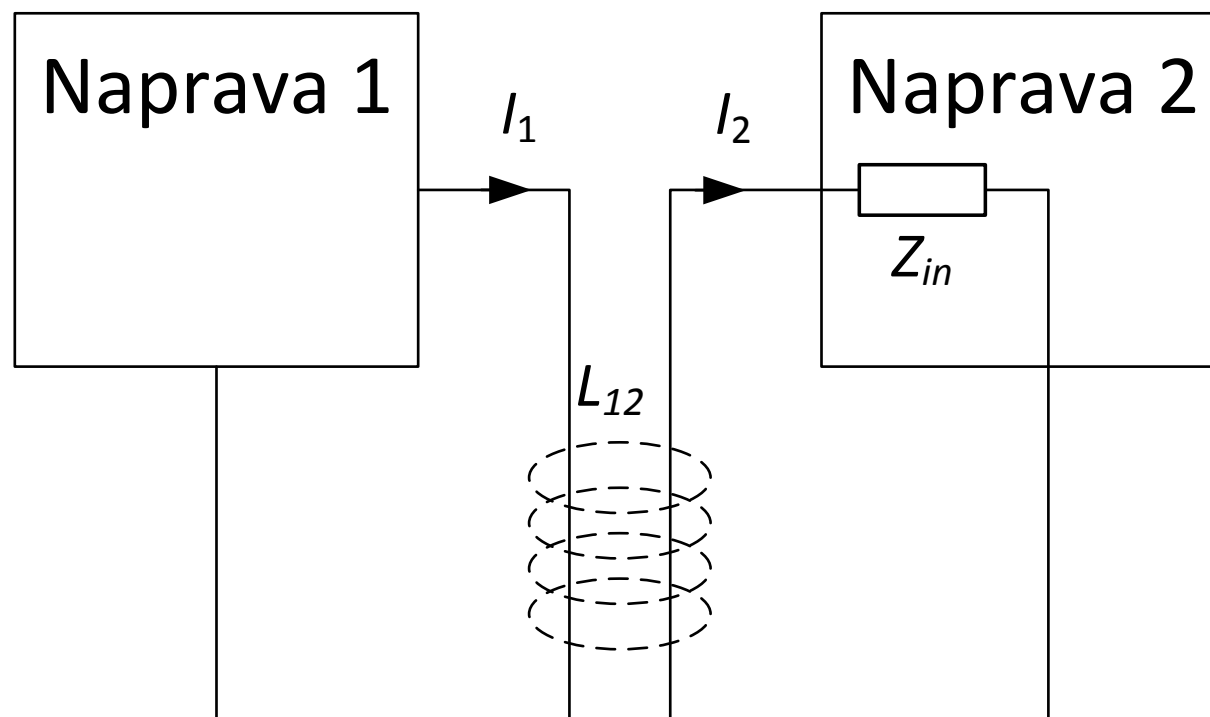


Kapacitivni prenos motenj (prek E polja)



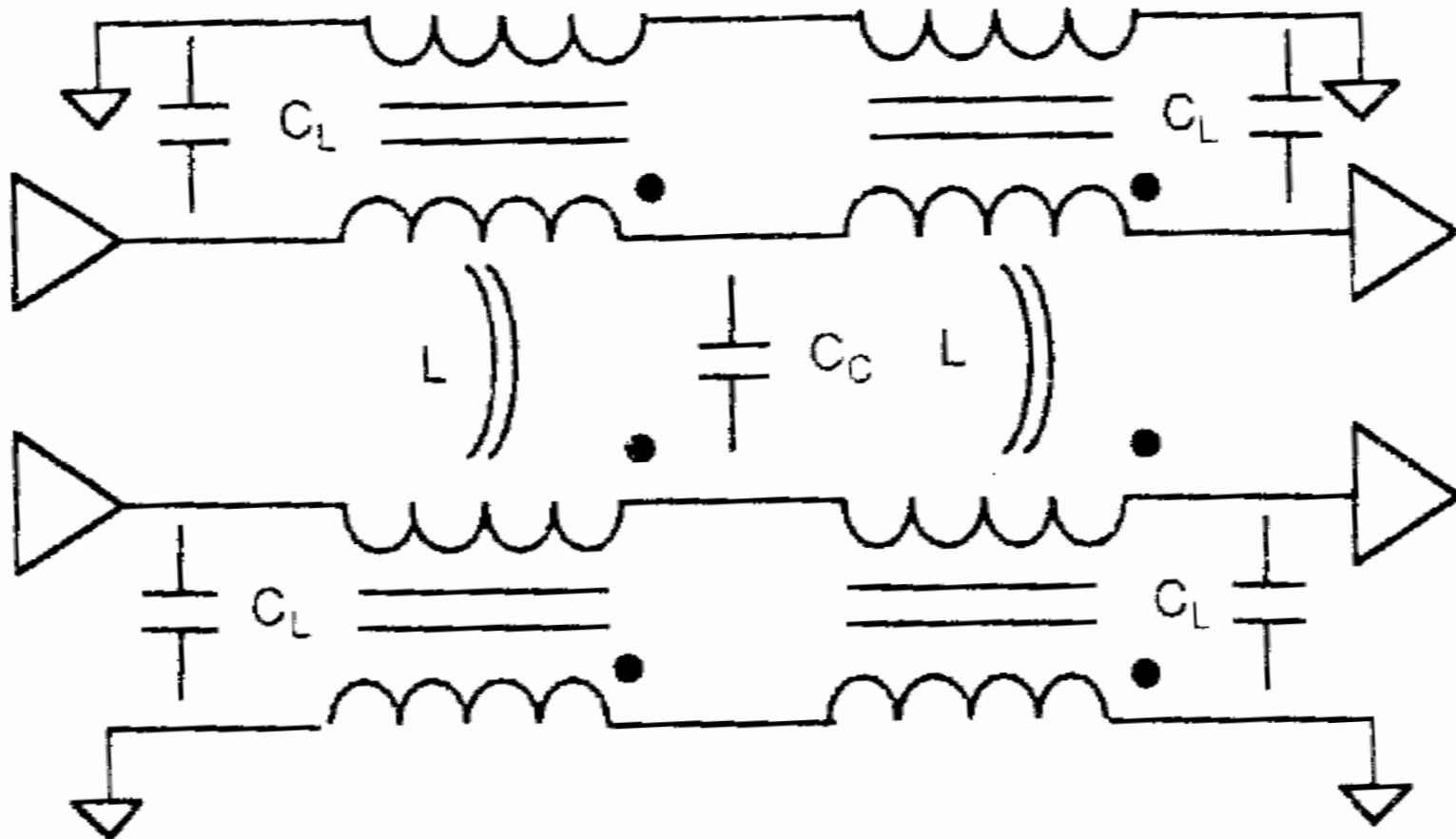
$$U_2 = C_{12} \frac{dU_1}{dt} Z_{in}$$

Induktivni prenos motenj (prek H polja)

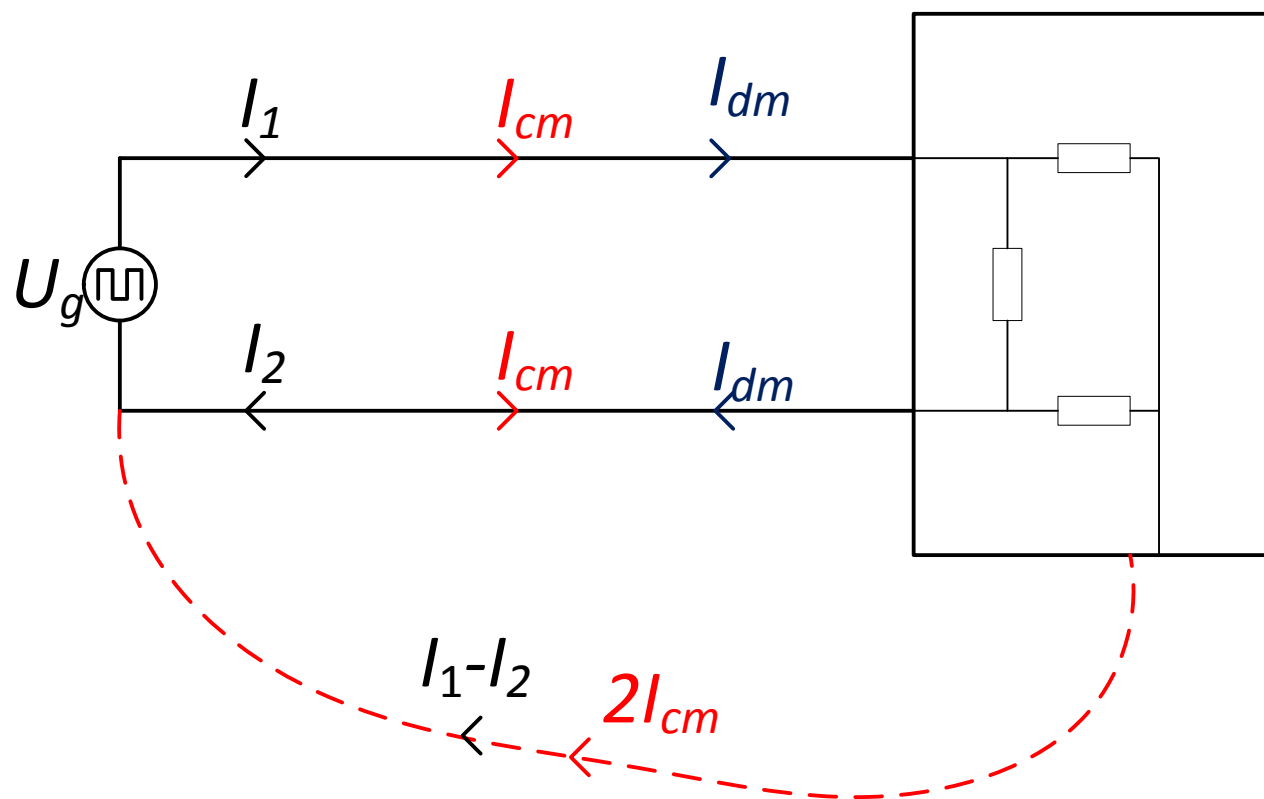


$$I_2 = -L_{12} \frac{dI_1}{dt} \frac{1}{Z_{in}}$$

Primer sklopov v vezjih



Diferencialni in sofazni signali



$$I_1 = I_{dm} + I_{cm}$$

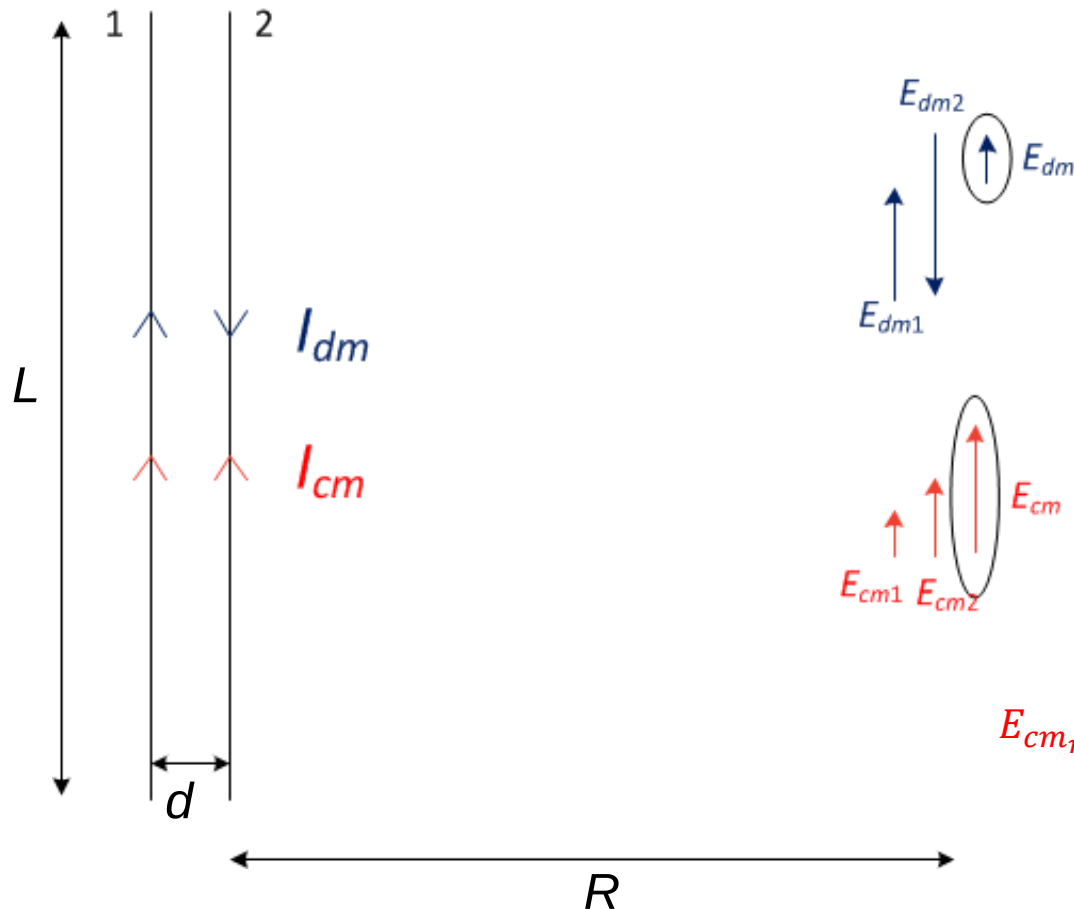
$$I_2 = I_{dm} - I_{cm}$$

$$I_{dm} = \frac{I_1 + I_2}{2}$$

$$I_{cm} = \frac{I_1 - I_2}{2}$$

Diferencialne in sofazne motnje

$$E_{dm_{maks}}(f) = 2,632 \cdot 10^{-14} \frac{I_{dm}(f) f^2 L d}{R} \text{ V/m}$$



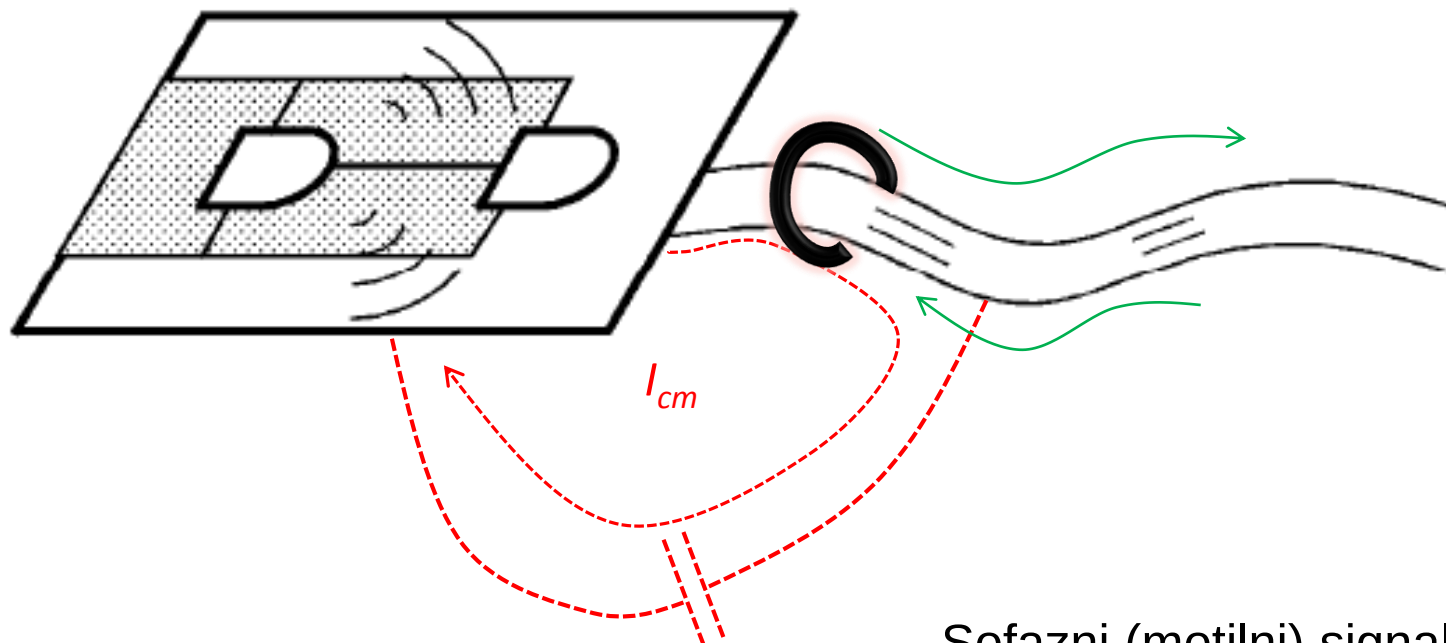
$$E_{cm_{maks}}(f) = 2,541 \cdot 10^{-6} \frac{I_{cm}(f) f L}{R} \text{ V/m}$$

Primer

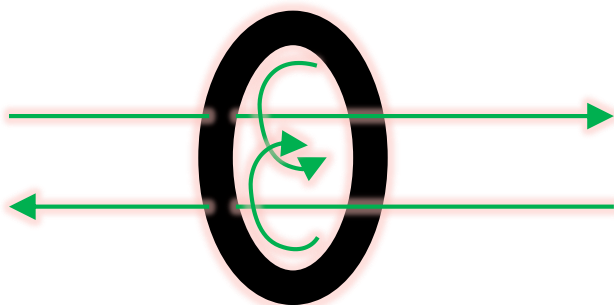


- Signali na PCB
 - Majhne tokovne zanke (A)
 - Protifazni zančni tokovi (I)
 - $E_{dm} = 2,65 \cdot 10^{-14} \frac{I_{dm} A f^2}{R}$
- $I = 1 \text{ mA}, f = 100 \text{ MHz}, A = 1 \text{ cm}^2$
- $E = 26 \frac{\mu\text{V}}{\text{m}} @ 1 \text{ m}$
- Signali na povezovalnem kablu
 - Velike dipolne antene (dolžine L)
 - Sofazni tokovi (I)
 - $E_{cm} = 2,5 \cdot 10^{-7} \frac{I_{cm} f L}{R}$
- $I = 320 \text{ pA}, f = 100 \text{ MHz}, L = 1 \text{ m}$
- $E = 26 \frac{\mu\text{V}}{\text{m}} @ 1 \text{ m}$

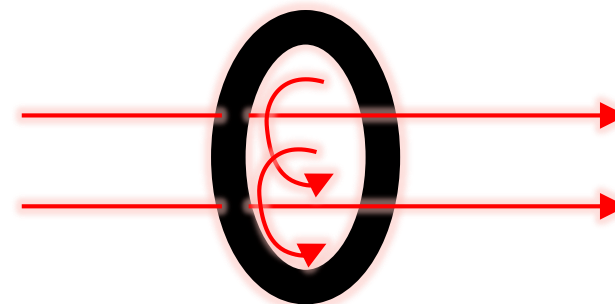
Feritni obroček



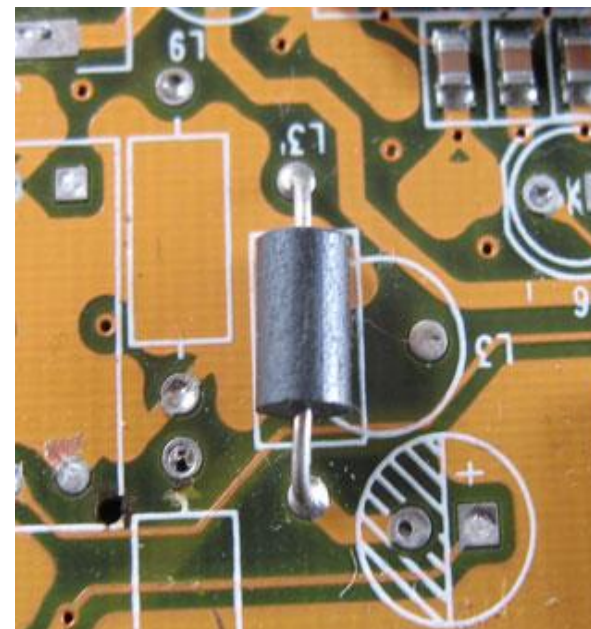
Diferencialni (koristni) signali



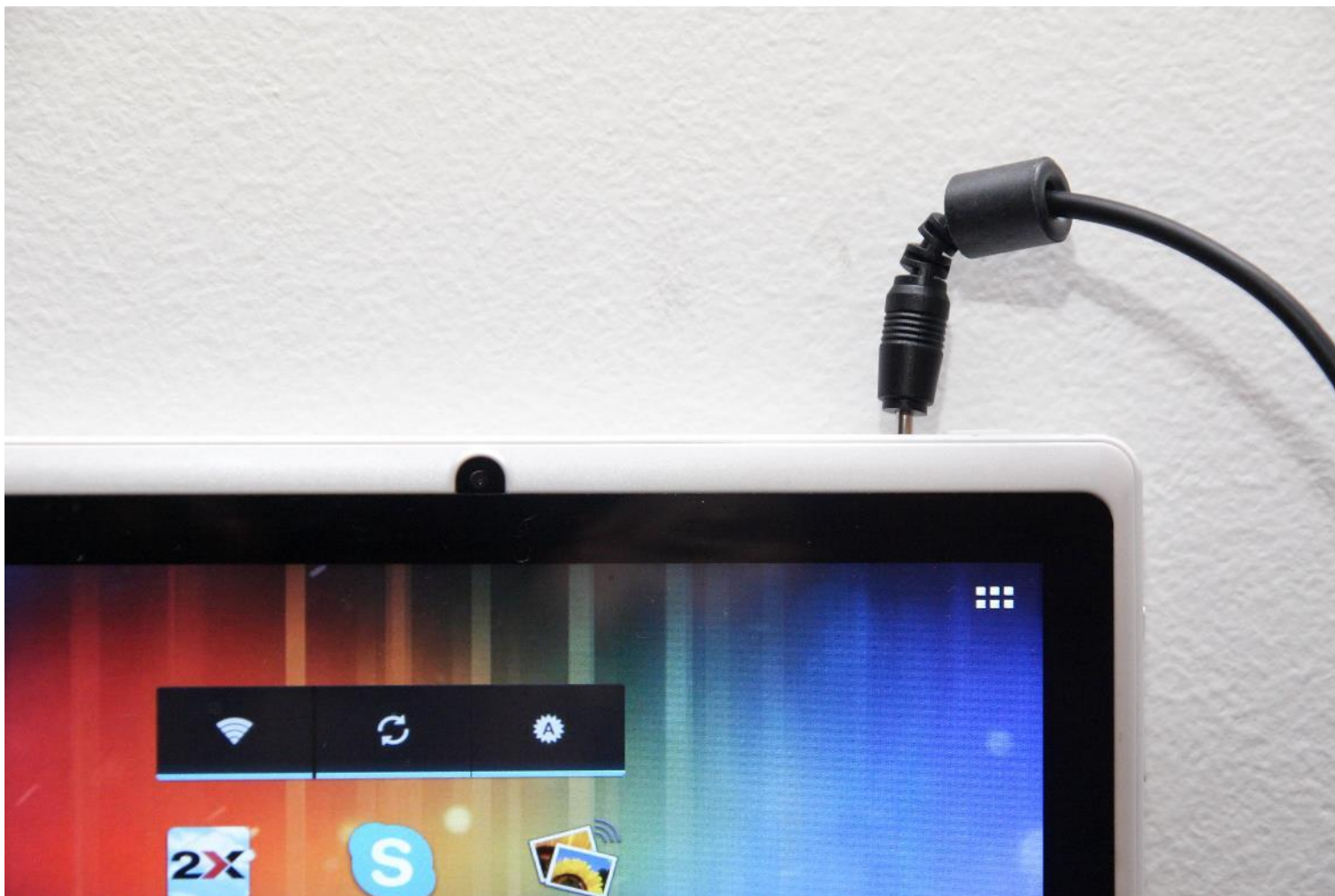
Sofazni (motilni) signali



Različni feritni obročki

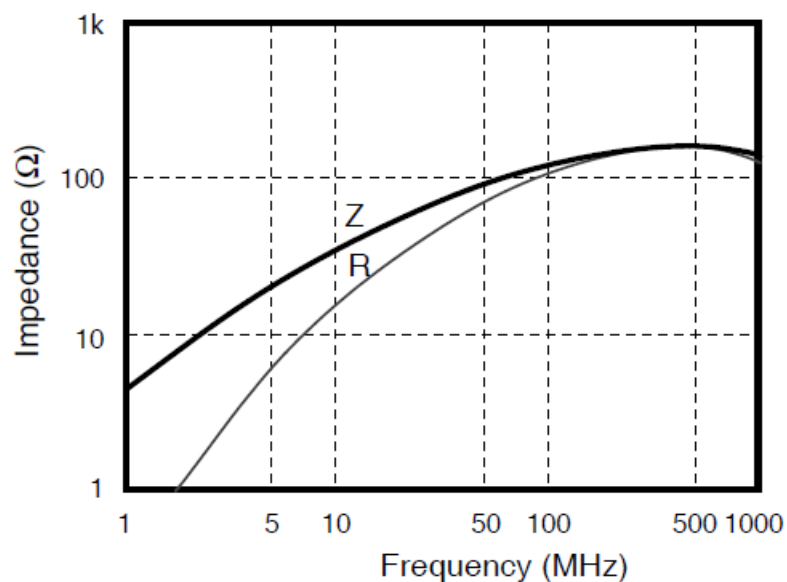


Kitajska tablica

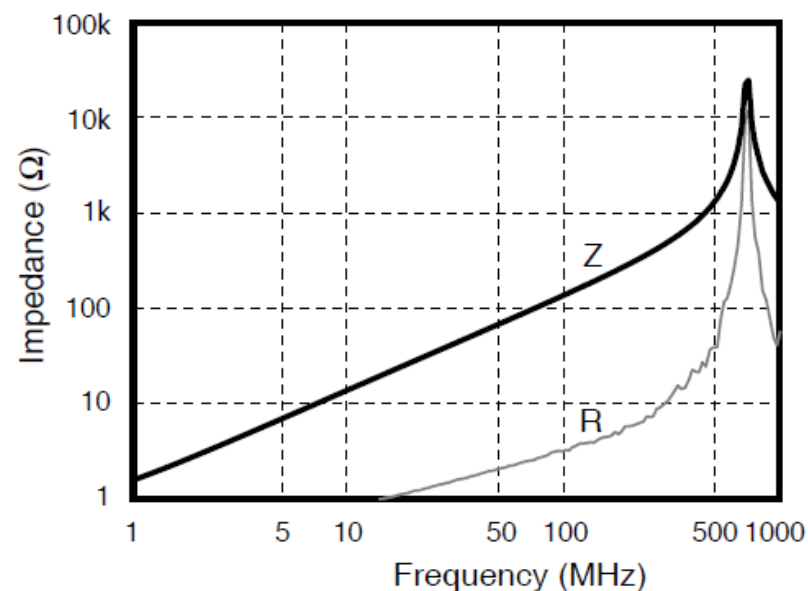


Material feritnega obročka

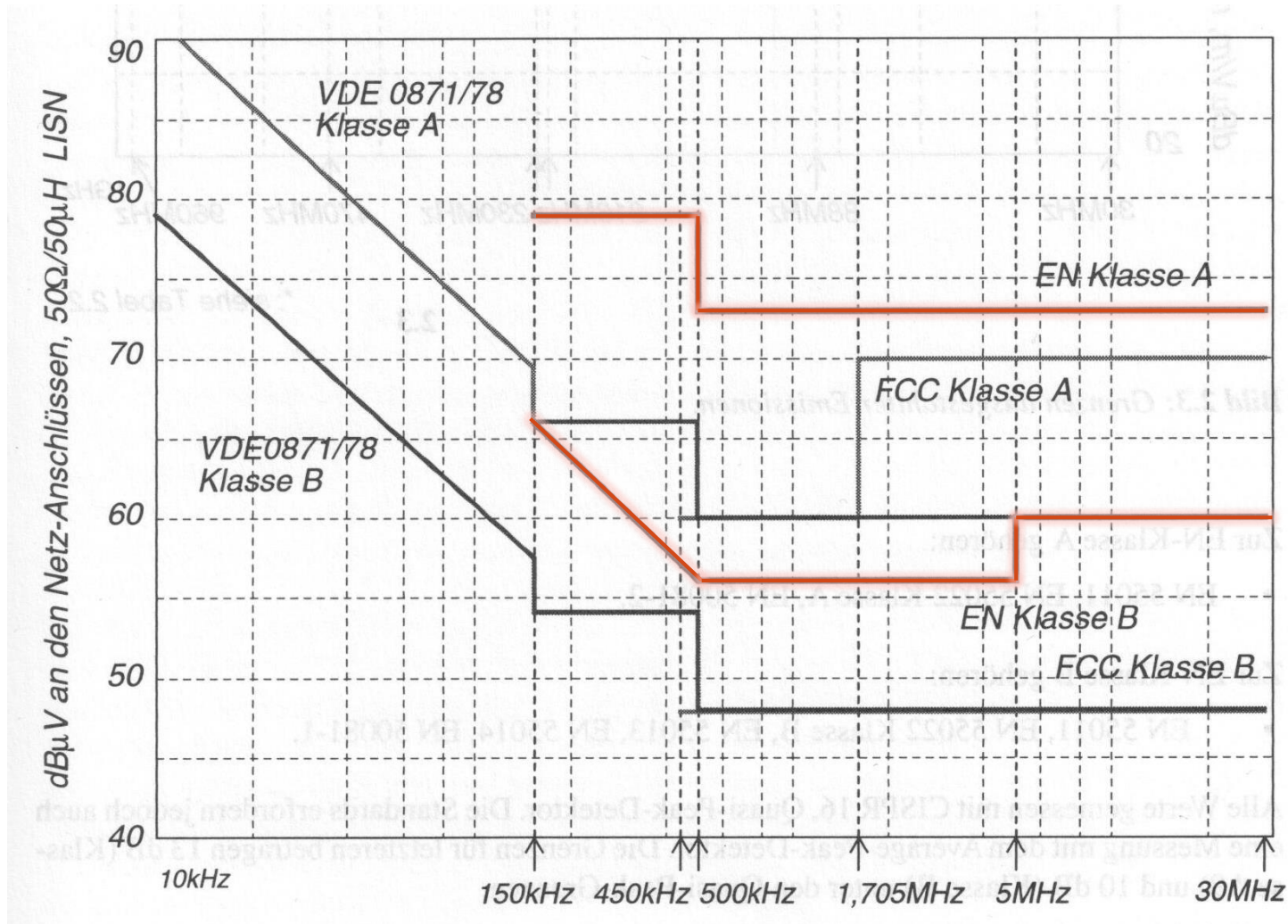
Izgubni material za feritne obročke



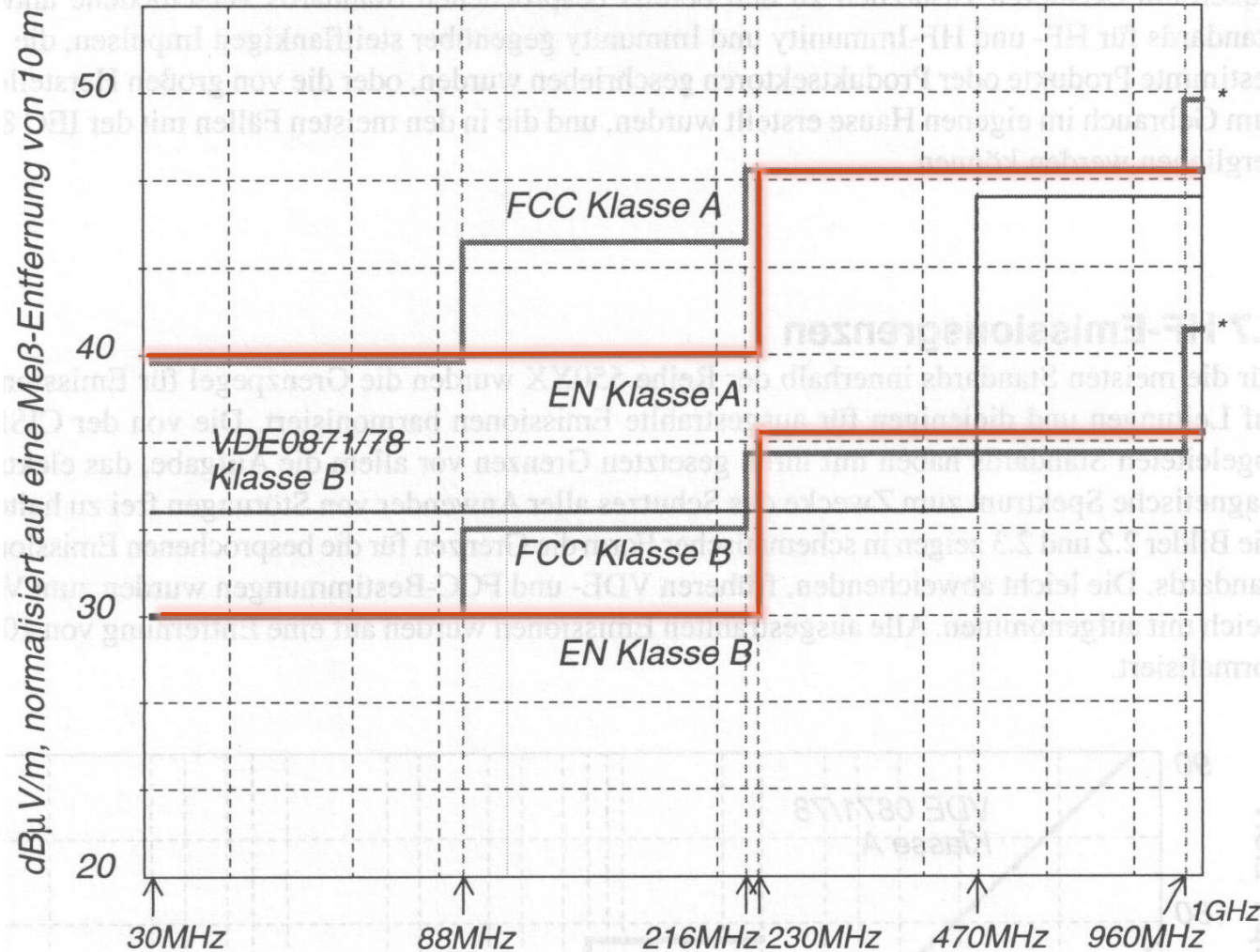
Kvalitetni material za transformatorje



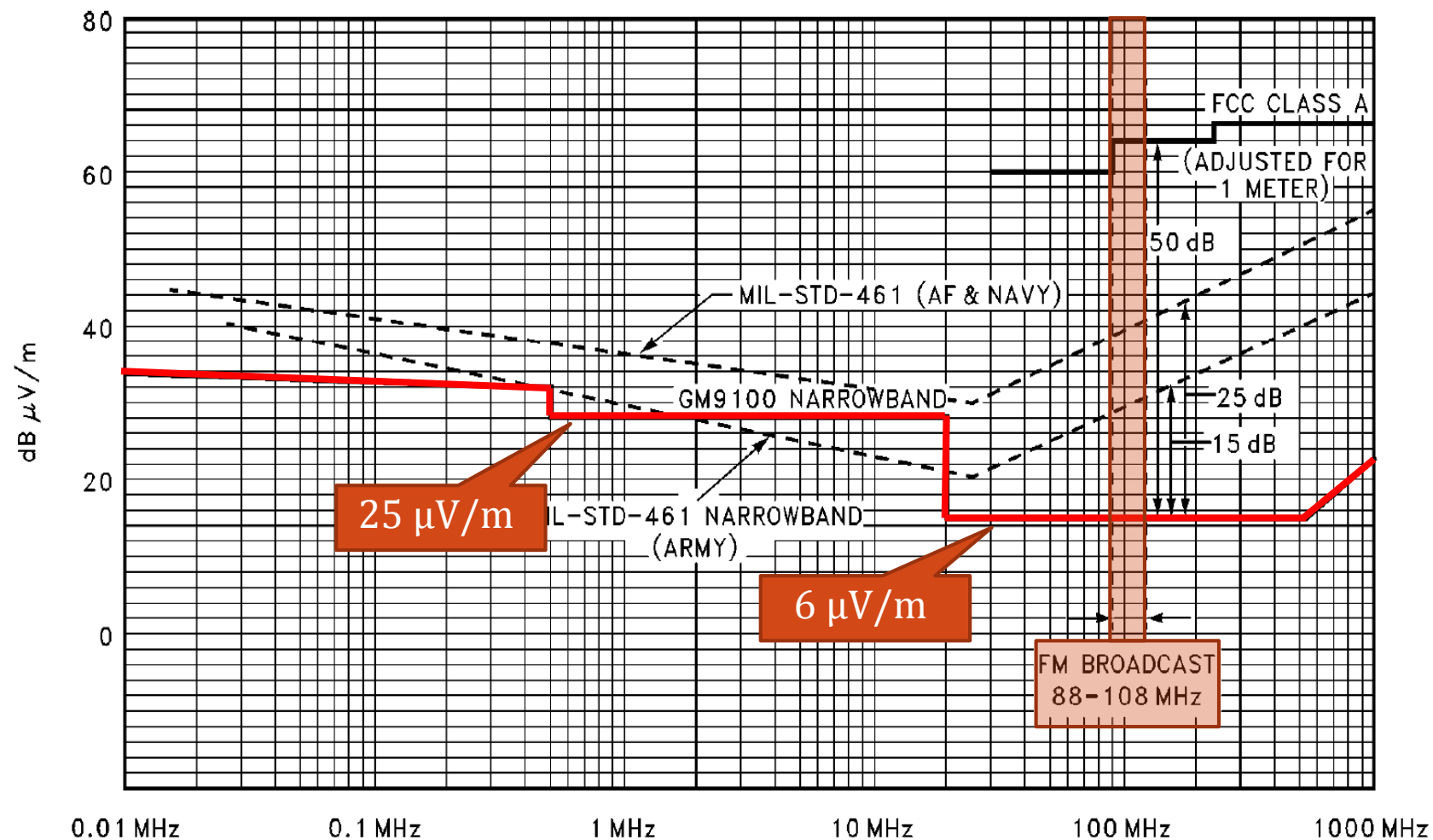
Dopustne prevodne motnje (EN550xx)



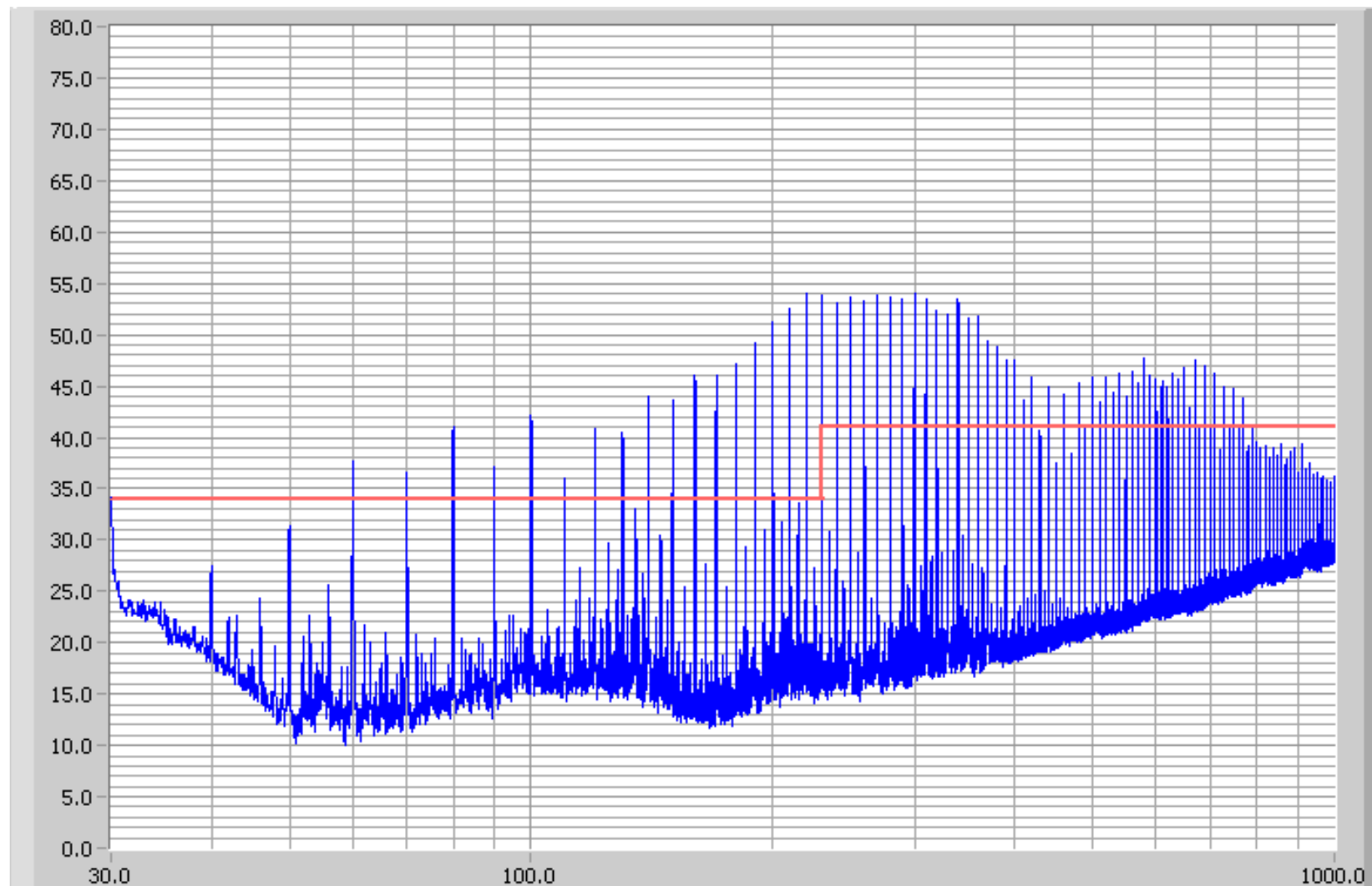
Dopustne sevalne motnje (EN550xx)



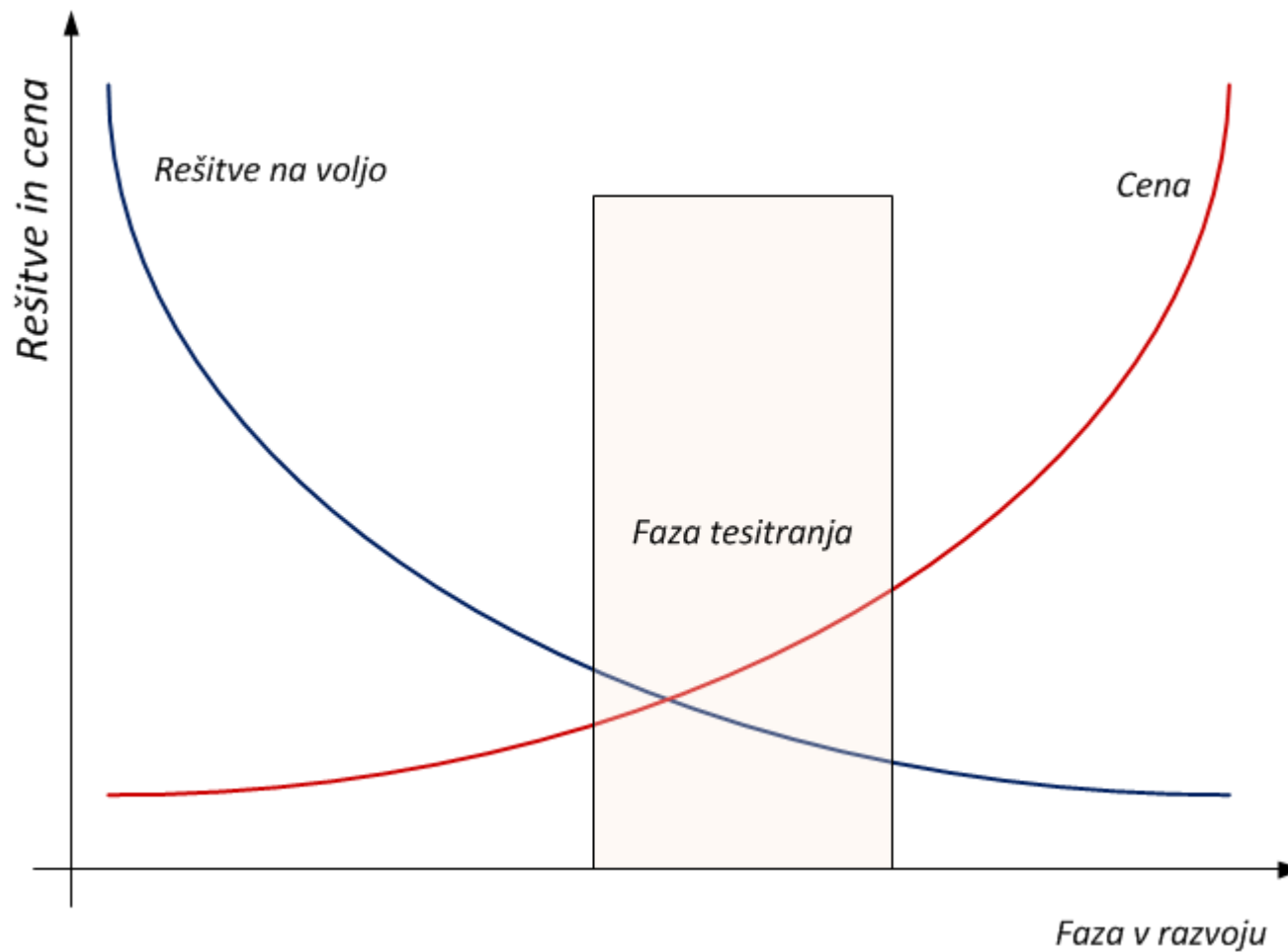
Omejitve v avtomobilski industriji



Primer rezultatov



Doseganje EMC



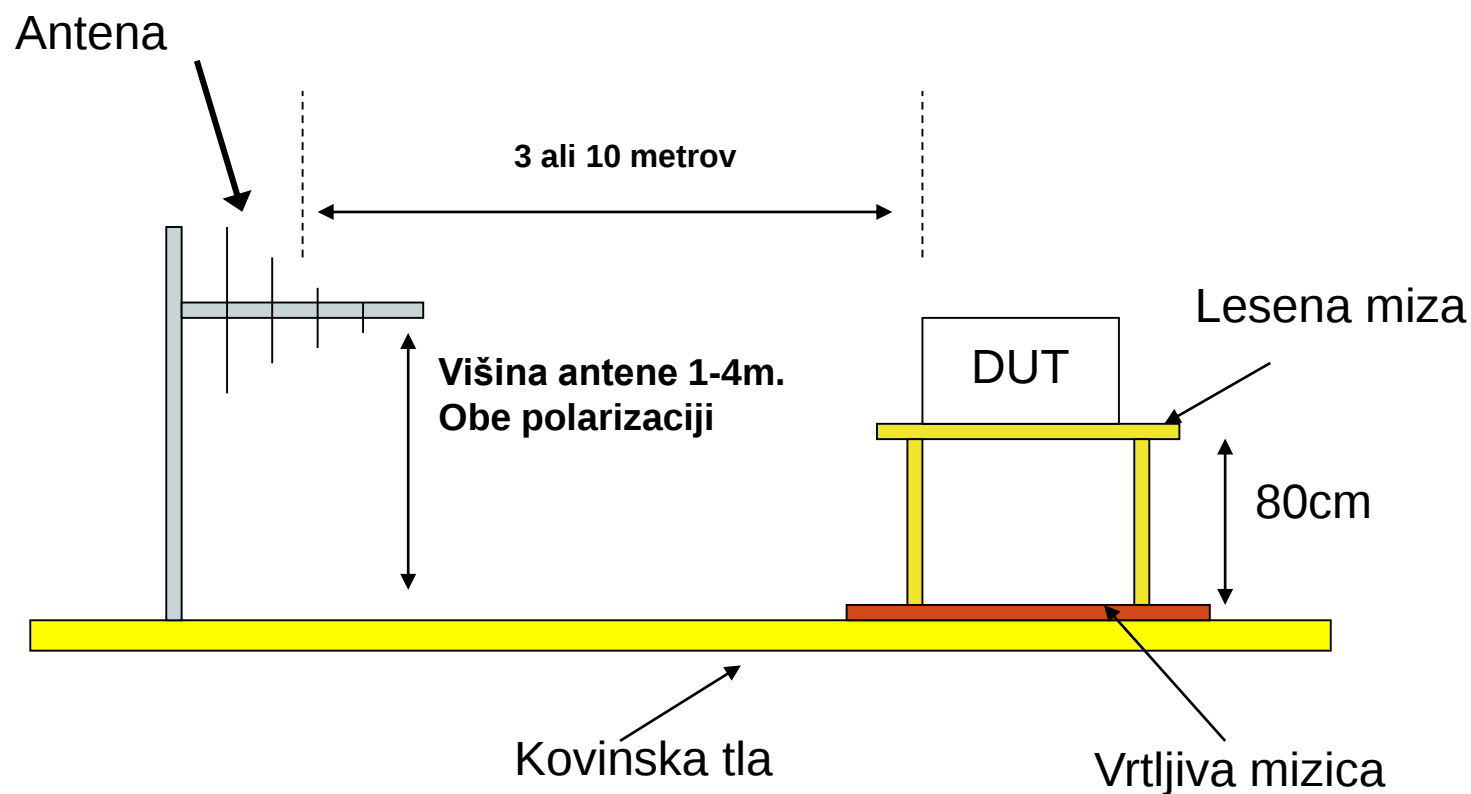
Merilni postopki in oprema

- Meritve v fazi razvoja – precompliance
 - večja verjetnost, da bo končen izdelek elektromagnetno združljiv,
 - Manj ponovitev testiranj v akreditiranih laboratorijih
 - Z načrtovanjem izločimo lahko večino težav z EMC
 - manj cenovno dražjih dodatnih ukrepov za zmanjševanje EMI
- Končno ugotavljanje skladnosti
 - Preverjanje, če je aparat skladen

Meritve EMC

- Izvor
 - RF generator + širokopasovni ojačevalnik
 - Generatorji tranzientnih signalov
 - Generatorji visoke napetosti za razelektritve
- Sprejemnik
 - EMC sprejemnik
 - Spektralni analizator
 - Antene
 - Vezja za sklapljanje motenj
- Okolje
 - Na prostem
 - Odbojne sobe
 - Gluhe sobe

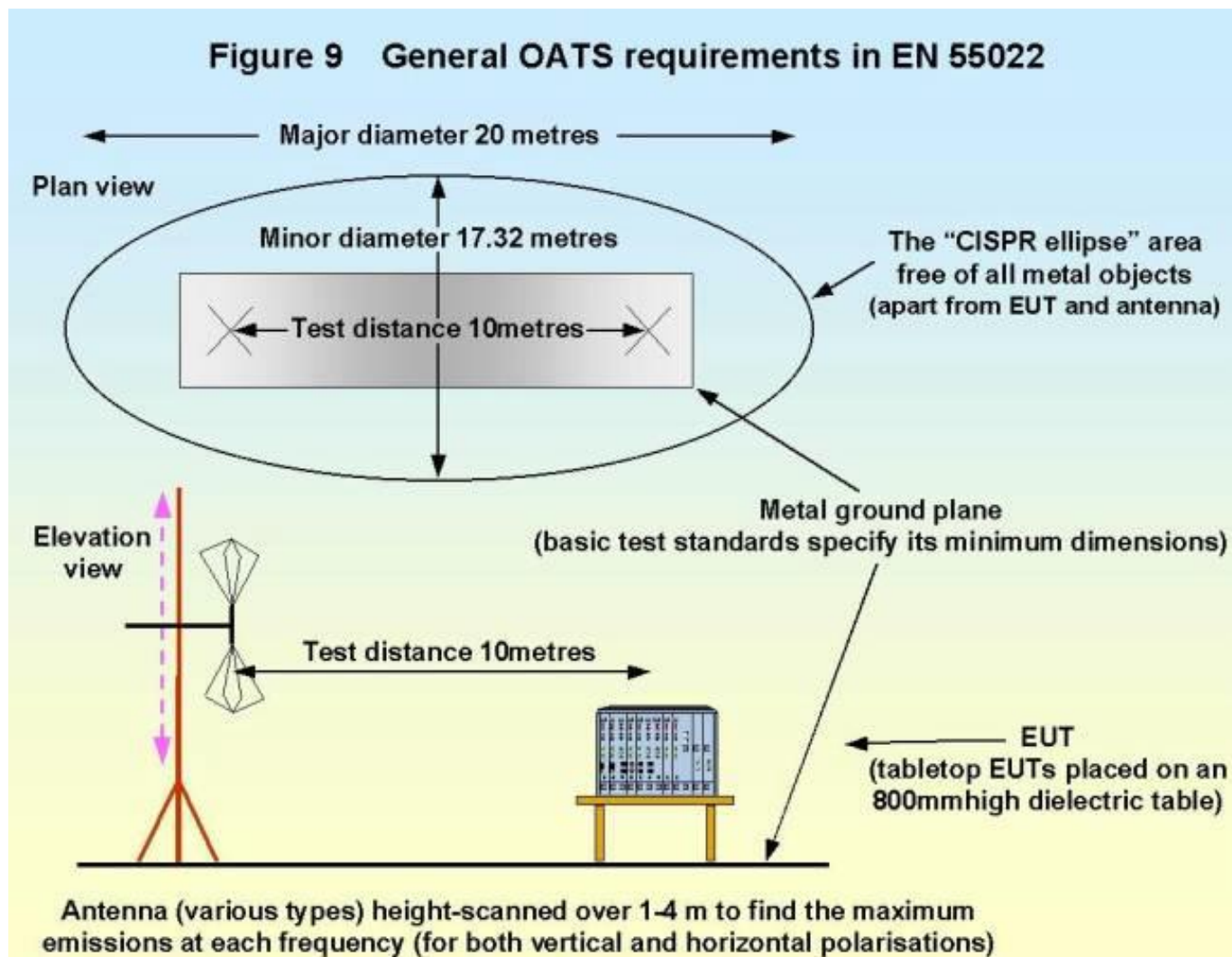
Meritve sevalnih emisij



Meritve na prostem - OATS



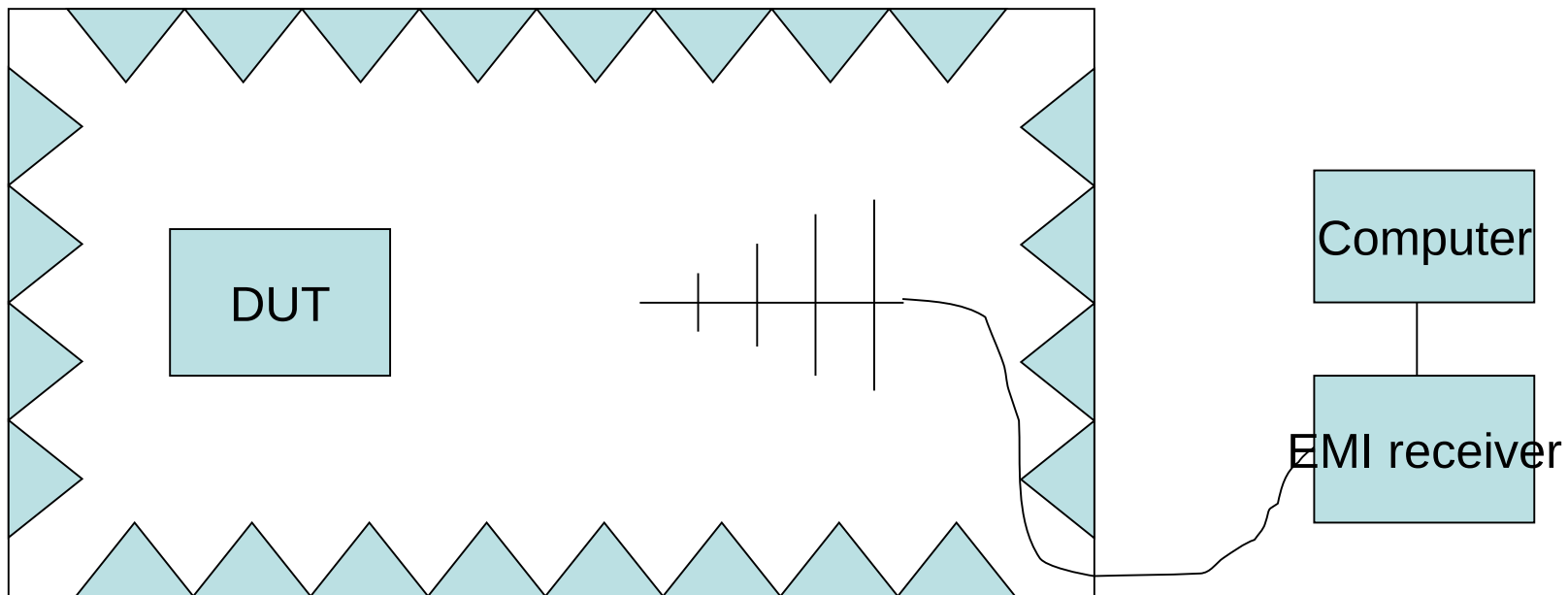
Meritve na prostem - OATS



Gluha soba – Anechoic chamber



Okolje – gluha soba

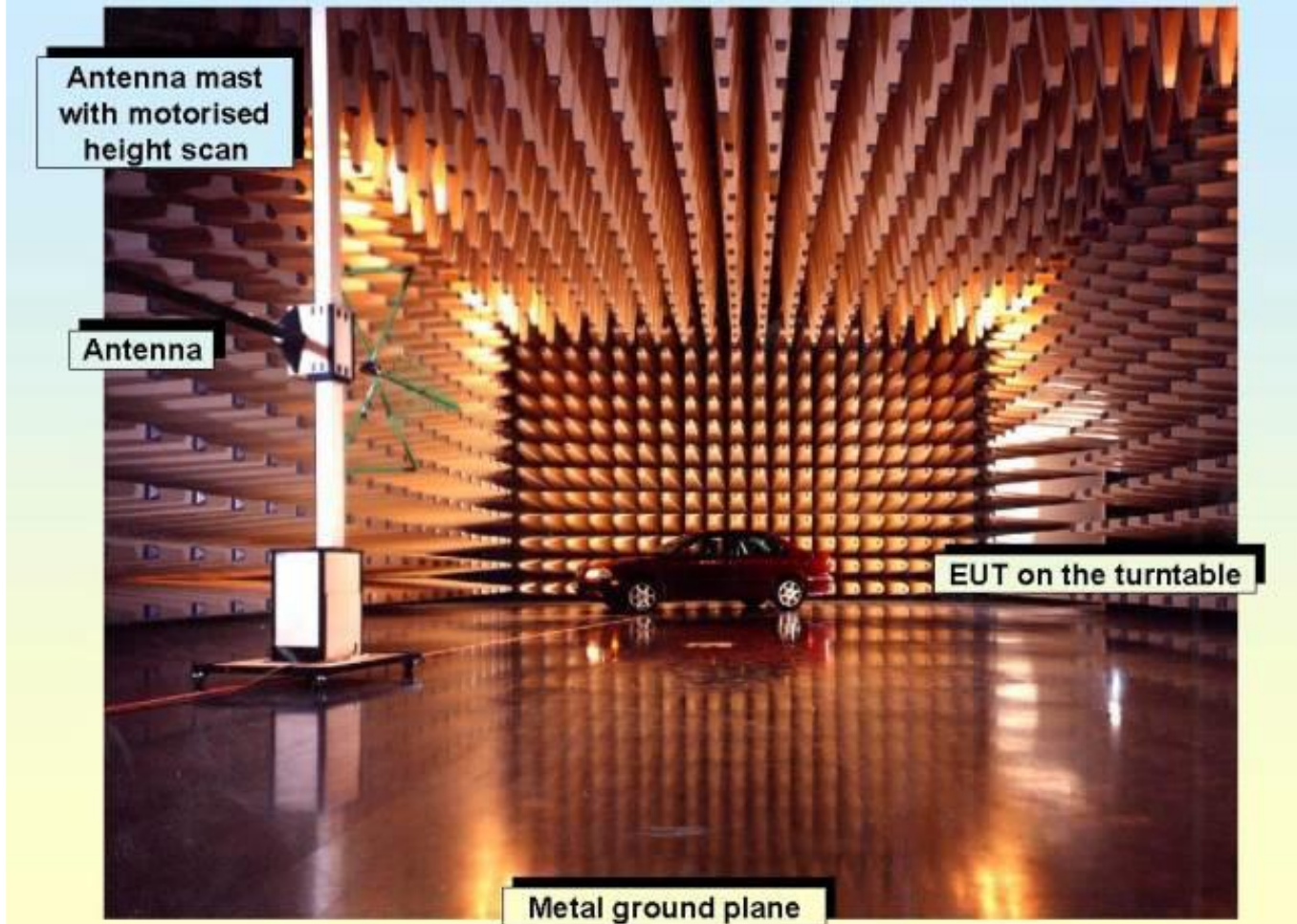


Odbojna soba (echoic chamber)

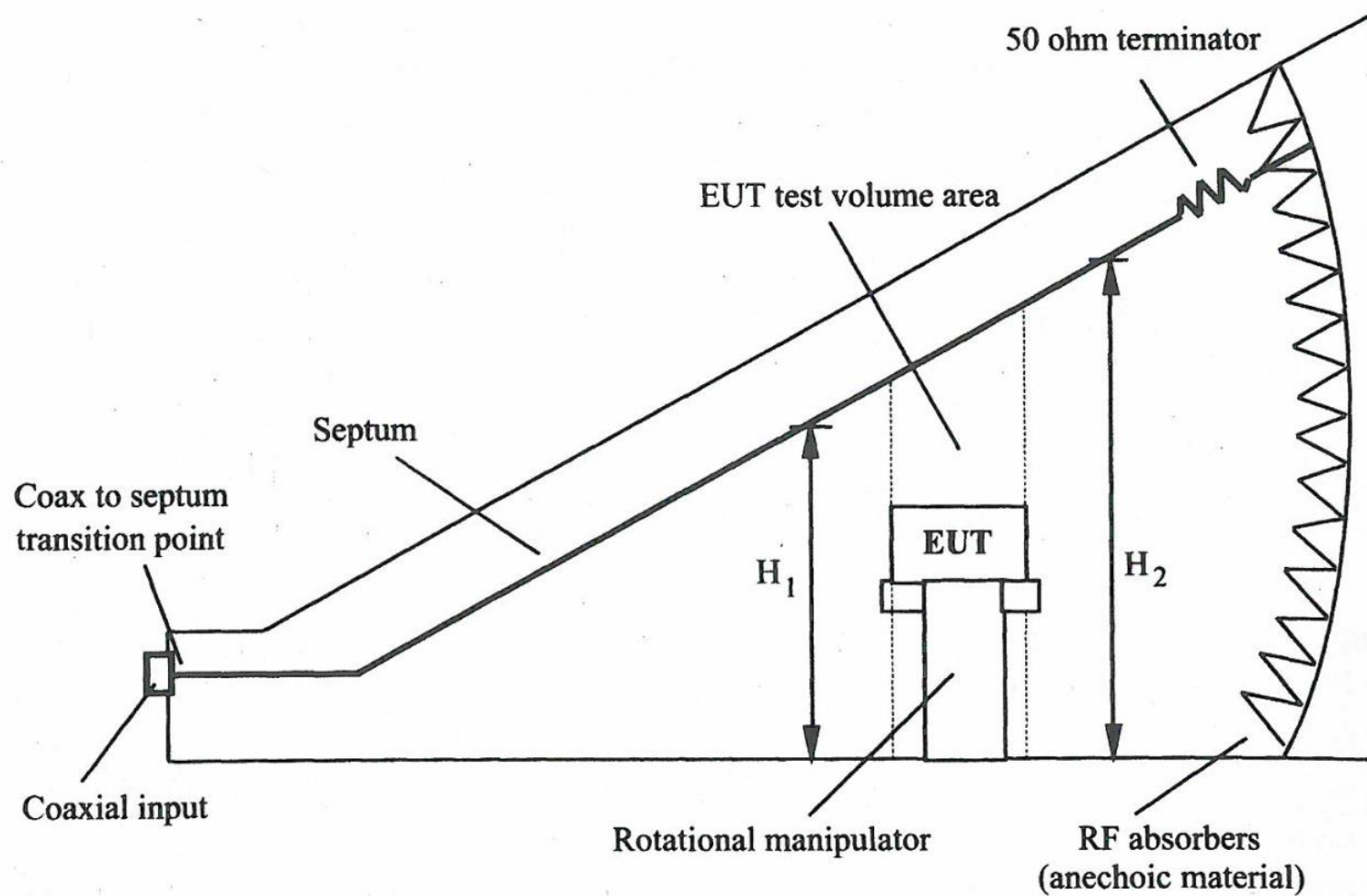


Pol-gluha soba (Semi-anechoic chamber)

Figure 12 Example of a large semi-anechoic room



GTEM celica

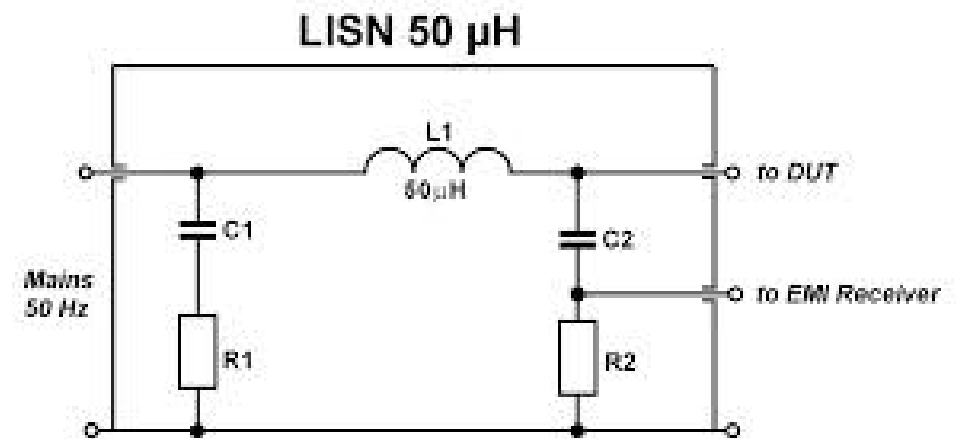


GTEM celica



Meritev prevodnih emisij

- Vezje LISN – line impedance matching network

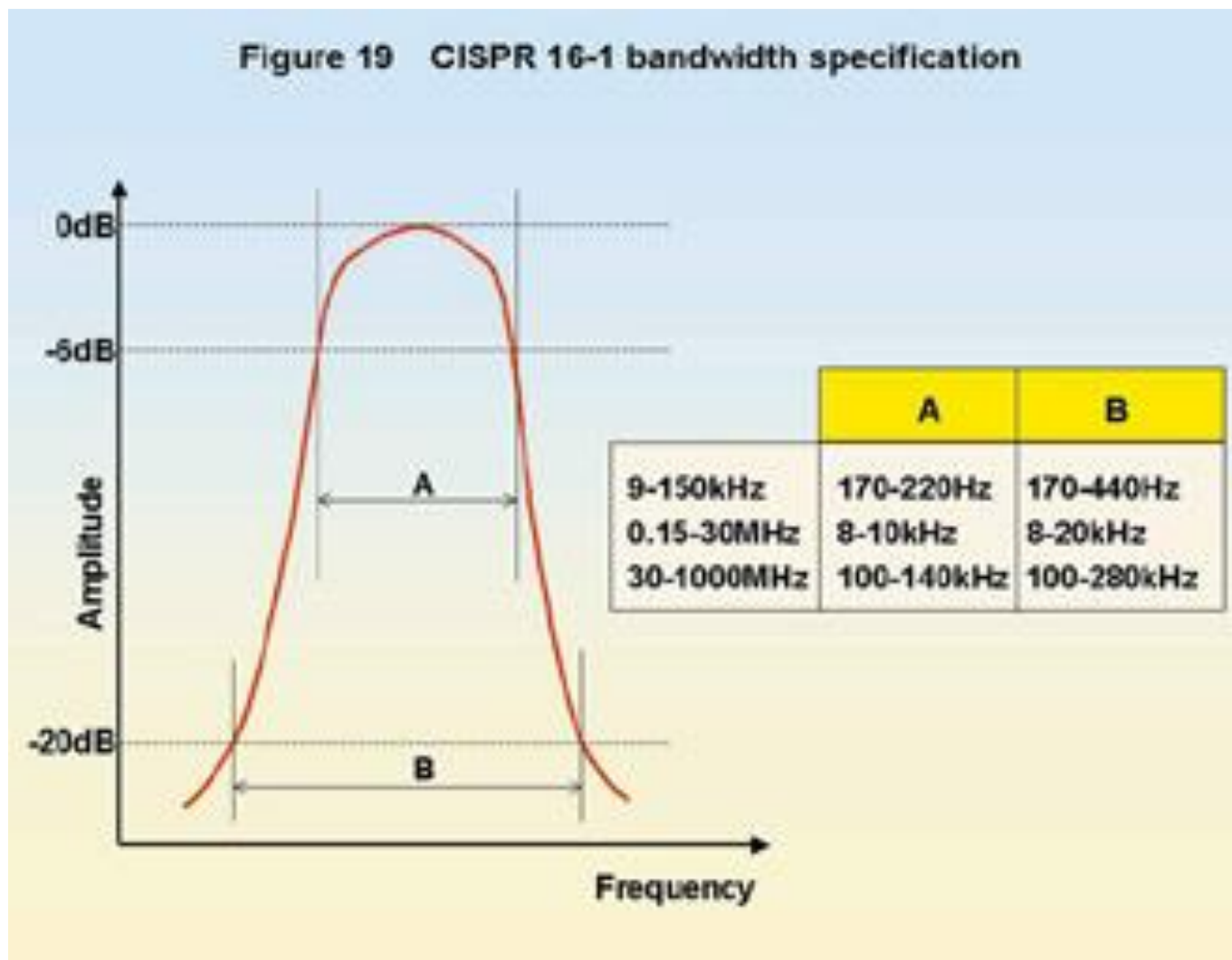


EMC sprejemnik / Spektralni analizator

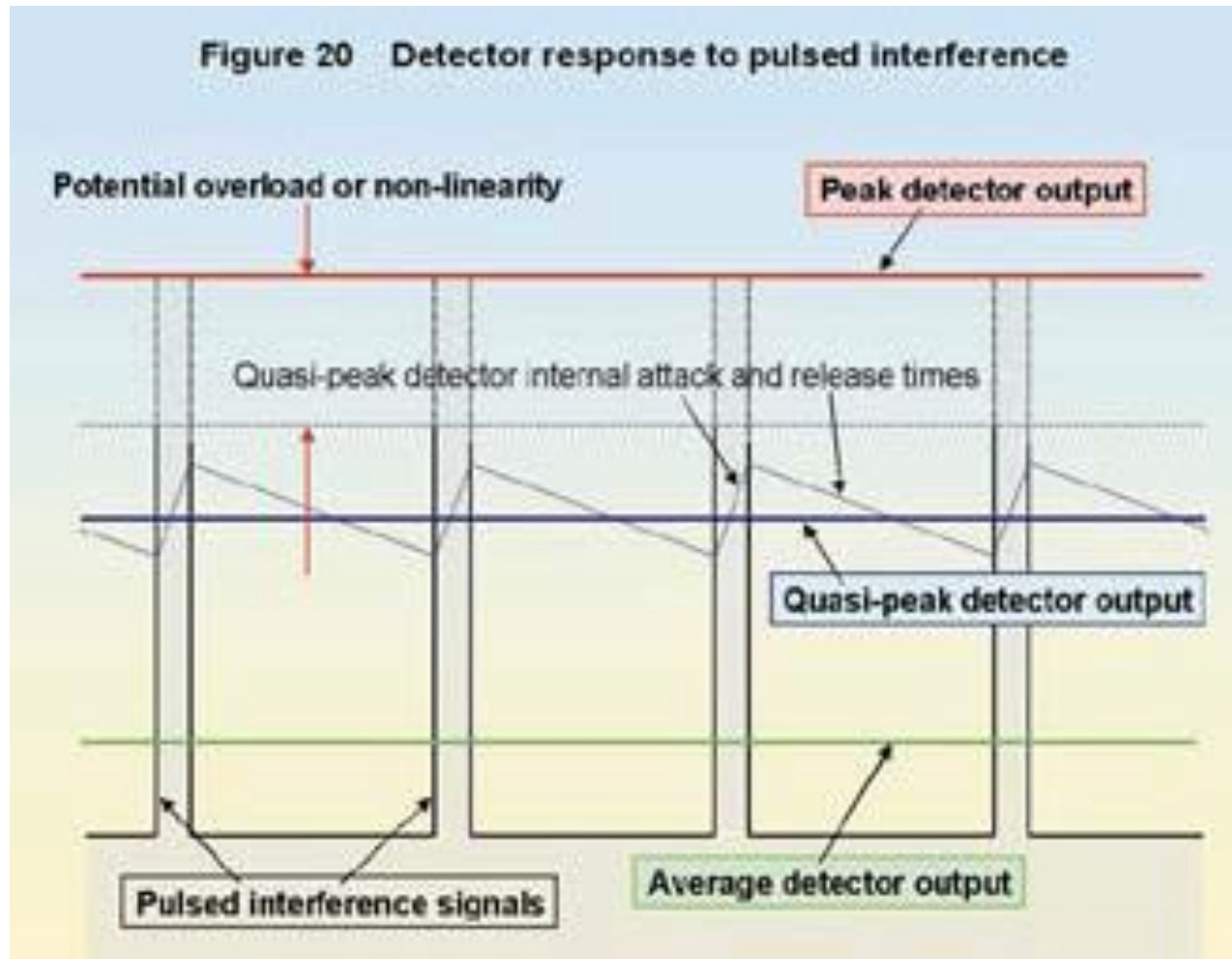
- EMC sprejemnik
 - Namensko za EMC meritve
- Spektralni analizator
 - Splošen inštrument
- Pomembne razlike
 - Pasovne širine filtrov
 - Tip detektorjev
 - Dinamično območje
 - Nevarnost prekrmljenja vhoda
 - Merilna veličina
 - amplituda električnega polja
 - moč EM polja



Pasovne širine - CISPR 16-1

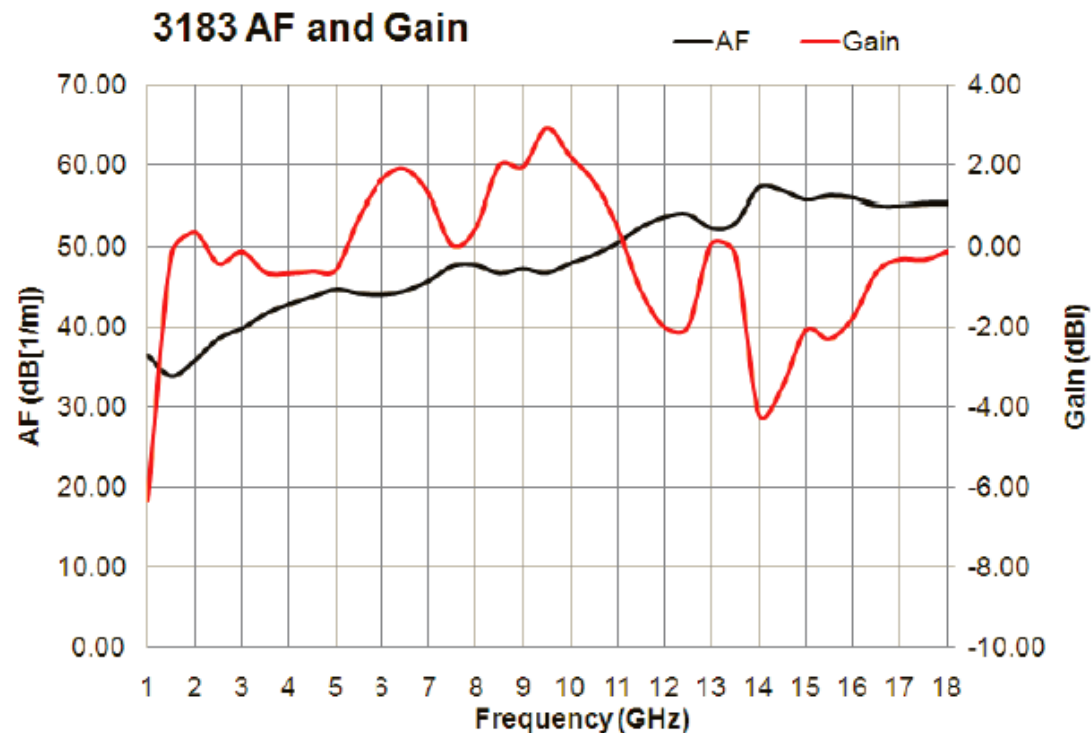


Detektorji - CISPR 16-1



Antene

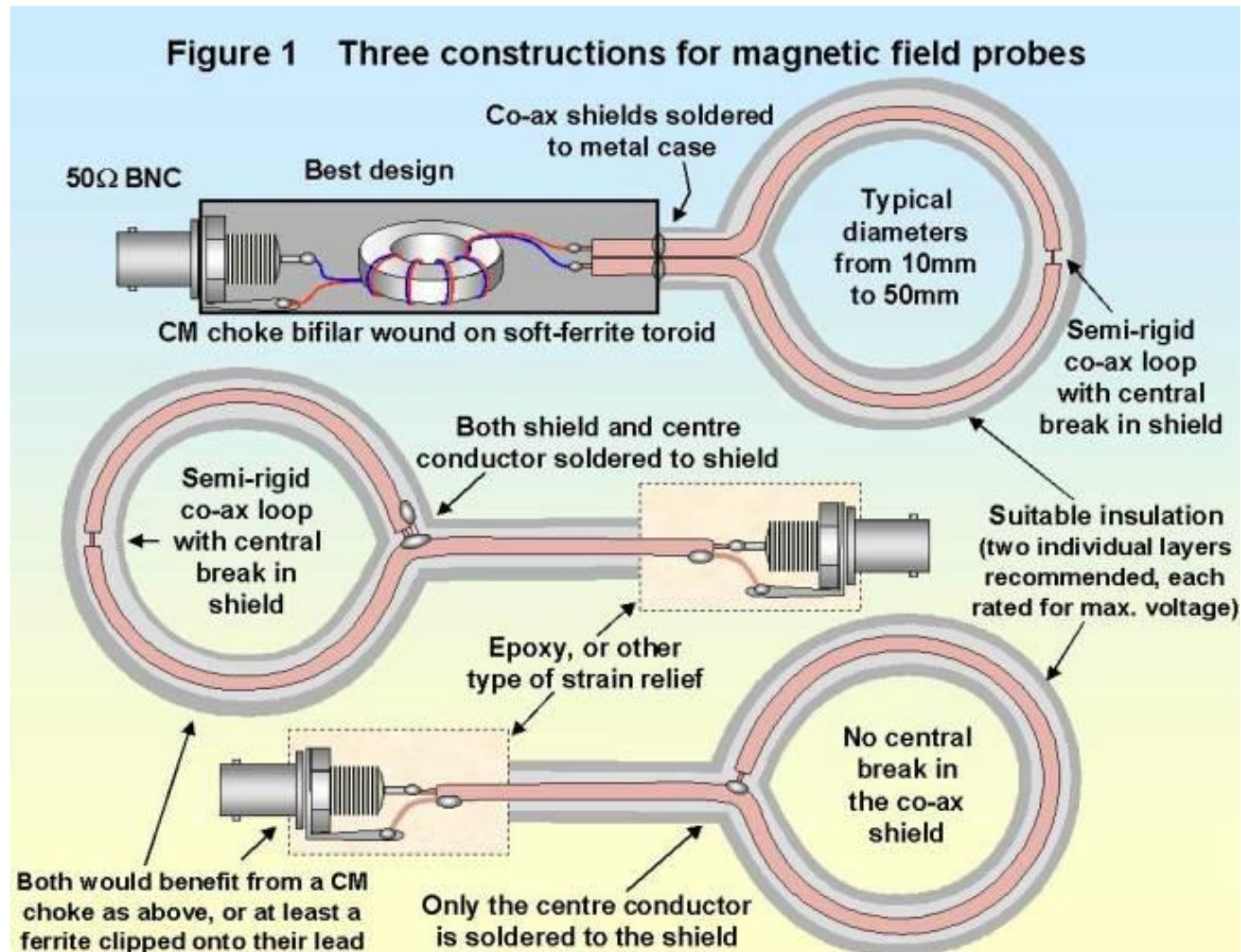
- Faktor antene
 - AF [dB/m] je razmerje med jakostjo električnega polja in posledično napetostjo na sprejemniku



Antene

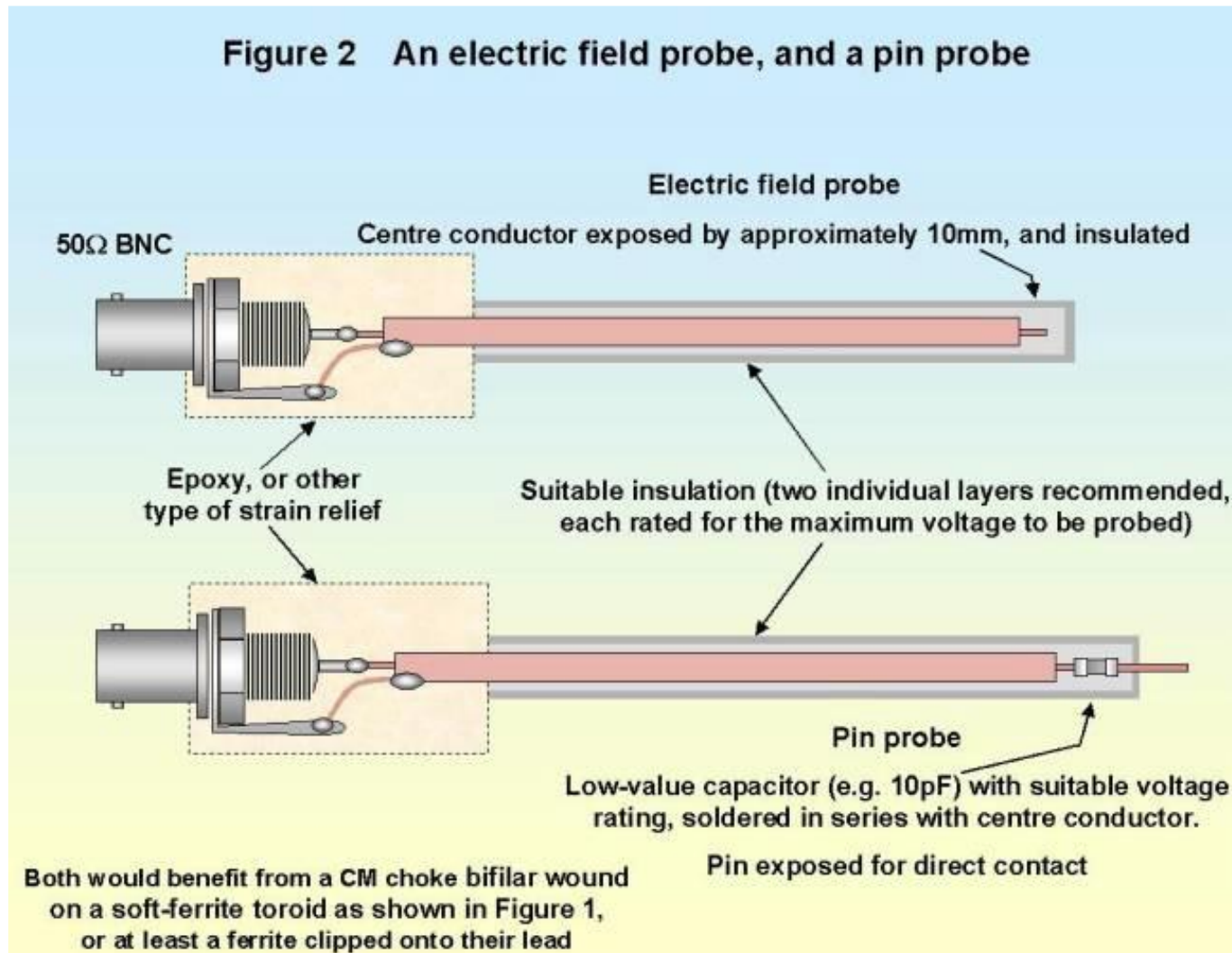


Antene za bližnje H polje (precompliance)

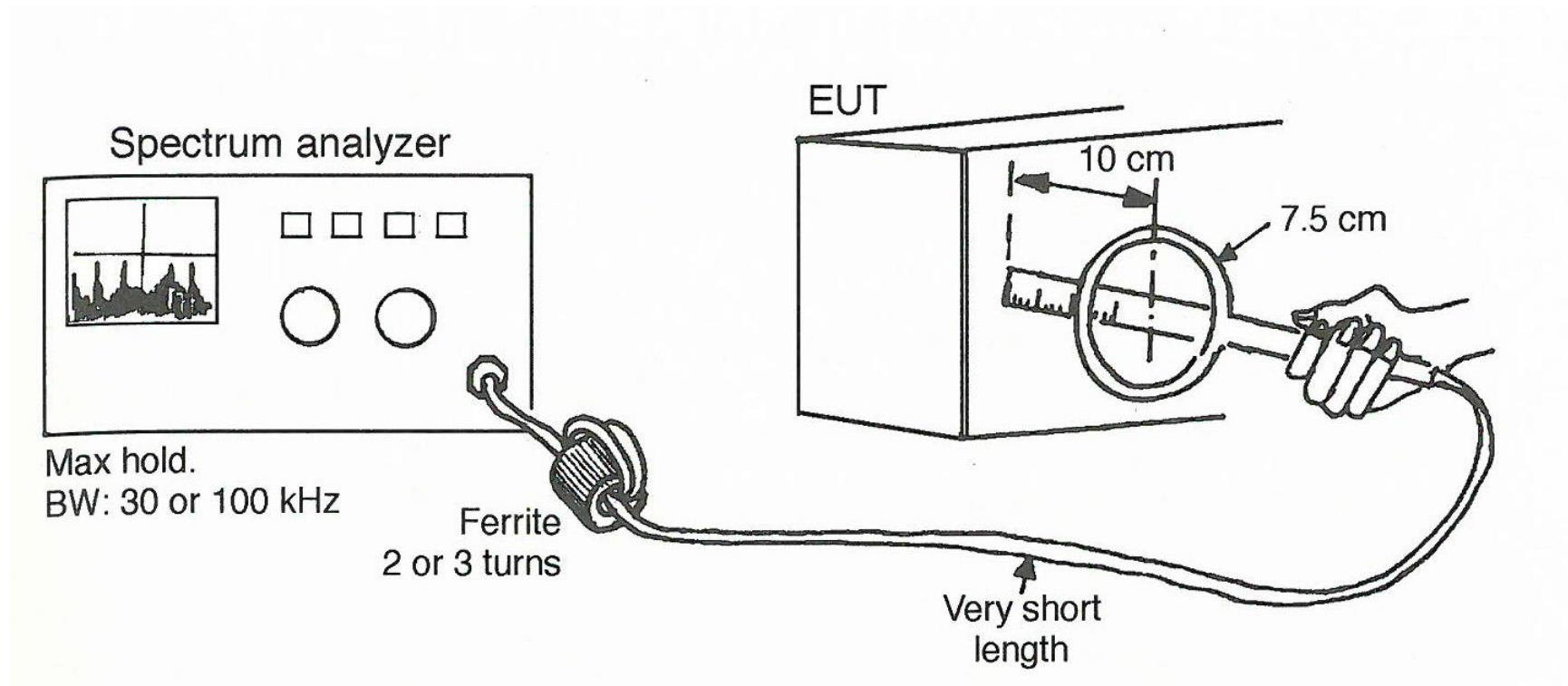


Antene za bližnje E polje (precompliance)

Figure 2 An electric field probe, and a pin probe



Ponovljivost meritve - precompliance



Vir: Michel Mardiguian, EMI Troubleshooting Techniques

Različne antene za bližnje boljje

- <http://www.ets-lindgren.com/7405>



Meritev sofaznih motenj

Figure 5 Example of a home-made current probe

