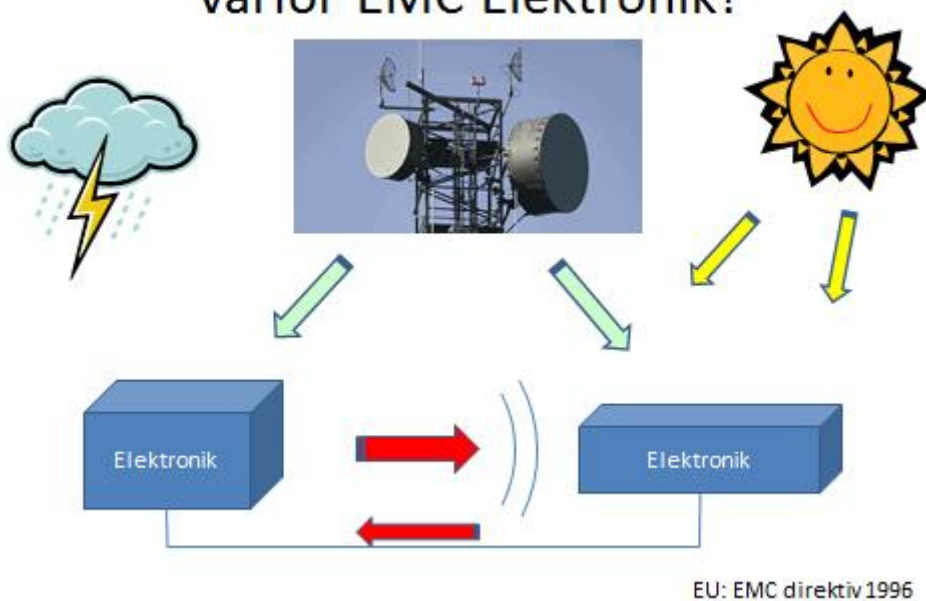


F1 – Introduktion

- Vad är EMC?
- Begrepp och terminologi
- Exempel på metodik för överslagberäkning
- Definition av störning.
- Strukturen: **Källa – Koppling - Offer.**
 - Störningskoppling genom ledningar, E- och M fält och EM strålning.

[1]. Kapitel 1 (i kompendium)

Varför EMC Elektronik?



EMC E – Electro Magnetic Compatible Electronics betyder ungefär Elektromagnetiskt förenlig elektronik.

Den tekniska utvecklingen går mot flera elektriska och elektroniska apparater som stör och störs av varandra. Gör man ingen åtgärd slutar samhället snart att fungera.

EU införde EMC-direktiv som första "land" i världen 1996. De är unika genom högt ställda generella krav omfattande både emission och tålighet.

Störningars följder

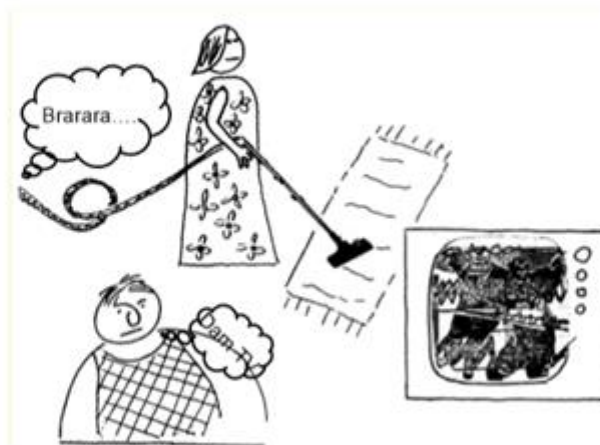
- Irritation, stress
- Felfunktion
- Degradering av data
- Minskad tillförlitlighet
- Förstörd utrustning
 - Uppvärmning, ESD-skador etc.
- Olyckor med personskador

Elektronik som fungerat bra på en labbplatta kan sluta fungera när den flyttas till ett experimentkort. Konstruktionen har inte förändrats men emission eller tålighet mot störningar blev annorlunda. Även förändringar i den omkringliggande elmiljön kan vara orsaken till att elektronik slutar fungera till synes utan orsak från dag till dag eller från minut till minut.

Men det kan bli värre än så, det finns exempel på att dålig EMC kostat människors liv och stora materiella skador. Skenade bilar och felaktigt utlösta krockkuddar har resulterat i allvarliga skador.

Spänningar av mer eller mindre tillfällig natur (transienter) som oavsiktligt induceras i en elektronisk apparat brukar klassificeras som störning.

EMC Exempel



Dammsugaren skapar elektromagnetisk interference (EMI) i TVn.
Dammsugaren och TVn är inte elektromagnetiskt kompatibla!

EMC Exempel pacemaker



Mobilen orsakar elektromagnetisk interferens i pacemakern!

Detta får inte hända!

Andra ex:

MRI, Butikslarm, induktionsspisar, våg med impedansmätning etc.

Exempel (pacemaker):

Mobiltelefon => interferens i pacemaker

Magnetkamera (MRI), Butikslarm, Induktionsspisar,

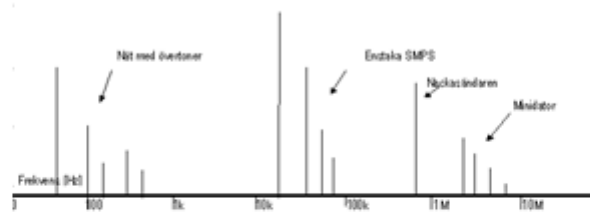
Våg med impedansmätning (body composition)

Förkortningar

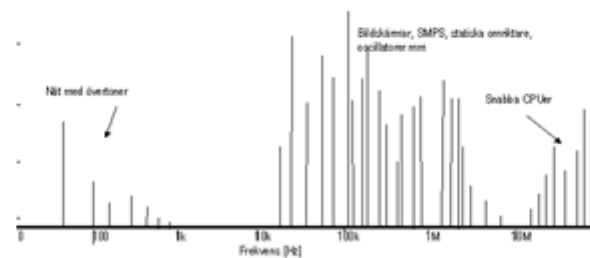
- EMC – Electromagnetic Compatibility
- EMI – Electromagnetic Interference
- RFI – Radiofrequency Interference
- EMP – Electromagnetic Pulse
- ESD – Electrostatic Discharge
-

Störningsspektrum i omgivningen

1975



1995

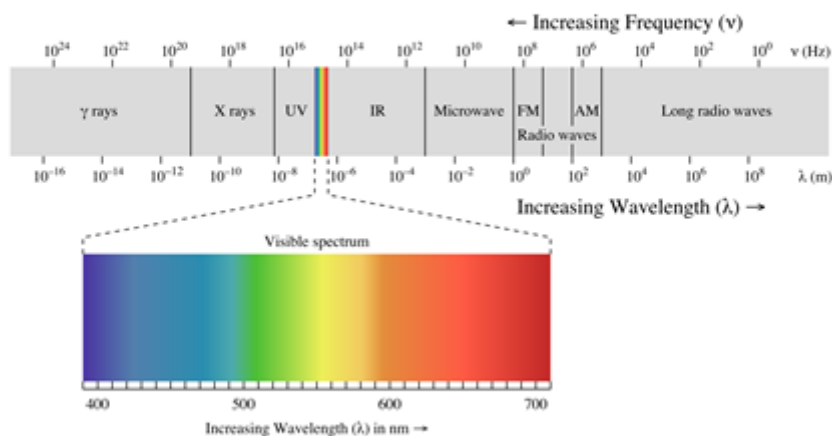


2016?

Det blir allt fler störkällor både i vår hemmiljö och i industrin. Detta beror bl. a. på digitalisering av elektronik, användning av högre frekvenser och fler apparater.

Trådlösa datakanaler, fjärrkontroller, mobiltelefoner, IoT etc. bidrar också till en störigare miljö.

Electromagnetic Spectrum



Elektromagnetiska vågor förekommer från höfrekventa röntgenstrålar till långvågiga radiovågor. Mitt emellan UV och IR finns det synliga spektra som våra ögon kan förnimma. Störningar från elektronik är ofta från några Hz till några GHz.

Vanliga strålningskällor

- Mobiltelefon 4G (0.8-2.6 GHz)
- Mobiltelefon 5G (28-39 GHz)
- Mobiltelefonmaster / basstationer
- Bluetooth (2,45 GHz)
- Wifi (2–3 GHz)
- Trådlös fast telefon
- Surfplatta / Dator
- TV / Bildskärmar
- Elnätet i hemmet (50 Hz)
- Switchade nätaggregat (50 – 100 kHz)
- Lågenergilampor / lysrör
- LED-lampor
- Kraftledningar och ställverk
- Elmotorer / generatorer



ICON SET FOR INTERNET OF THINGS (IOT) VOLUME 1



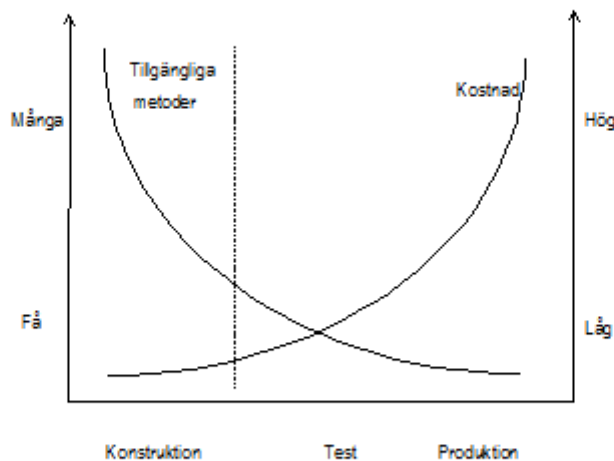
I dagens Internet of Things värld finns strålkällor nästan överallt.

Motåtgärder

- Filtrering
- Skärmning
- Separation
- Balansering
- Topologi: EMC-riktig uppdelning i zoner
- Zonuppdelning efter signaltyp
- Begränsning av bandbredd
- Begränsning av stig-/falltider
- Galvanisk avskiljning
- Gnistsläckning
- Transientbegränsning
- Power sequencing
- Tvinning av parledare

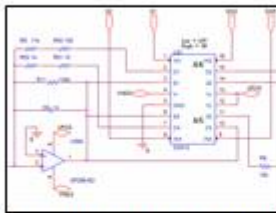
Det mesta kommer att behandlas under kursen!

EMC anpassning

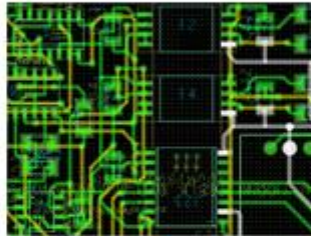


Företag som producerar elektronik med bristande EMC har fått stora ekonomiska förluster vilket motiverar utbildningen av blivande ingenjörer i EMC problematik. Fel på konstruktionsnivå är betydligt billigare att åtgärda än om de uppstår senare i en produkts livscykel. Det är alltid bäst att bygga in goda EMC egenskaper i början av ett konstruktionsarbete...

Prototyp- och produktutveckling



Schemaritning, simulering



Design av mönsterkort

**Tänk på EMC från
start av en konstruktion!**

Inkapsling,
skärmning



När man planerar att göra en elektronikkonstruktion utgår man lämpligen från en kravspec. I denna bör också EMC-kraven finnas med. Sedan omsätts detta i ett elektroniskschema, komponentval, mönsterkortsdesign och inkapsling.

EMC trender

Positiva

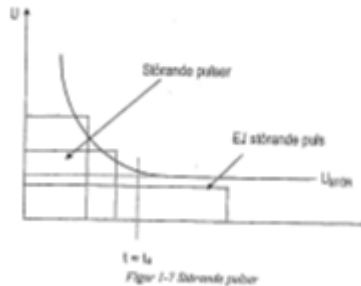
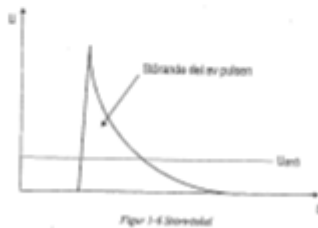
- Mindre dimensioner
- Designförbättringar
- Optisk signalledning
- Trådlös överföring
- Lägre amplituder och mindre strömmar
- Krav på strålning och känslighet höjs

Negativa

- Mindre => känsligare
- Högre instrumenttäthet
- Många/nya störkällor
- Högre bandbredd

Pulsstörningar

- Ofta slumpmässiga
- Kan störa ut digitala kretsar
- Kortare puls => högre störtröskel



Det är inte bara kontinuerliga störningar som är farliga utan transienter och pulser kan vara minst lika problematiska. Digital elektronik har ofta en störtröskel som man måste komma över för att störningen skall påverka. Längre pulsbredd ger högre störningskänslighet vid samma amplitud.

Kopplingsvägar för störningar



- Elektromagnetisk koppling
 - Kapacitivt – E-fält
 - Induktivt – H-fält
 - Strålat – E+H-fält
- Ledningsbunden koppling
 - Konduktivt
 - Ledningsbundet

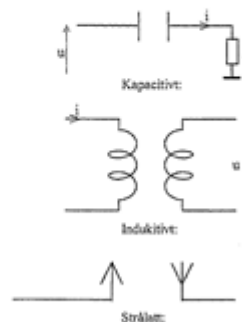


Figure 1-10 Elektromagnetiska kopplingar

Varje störning har en **källa**, **kopplingskanal** och ett **offer**. Källa och offer kan vara samma apparat, t.o.m. samma krets. Kanaler eller störningsvägar kan vara av olika karaktär. Generellt skiljer man på **ledningsbundna** och **elektromagnetiska**.

En mera detaljerad fördelning av störningars sätt att fortplanta sig kan se ut så här:

Fält:

1. Kapacitivt, genom elektriskt fält.
2. Induktivt, genom magnetiskt fält.
3. Strålning, genom elektromagnetiska vågor.

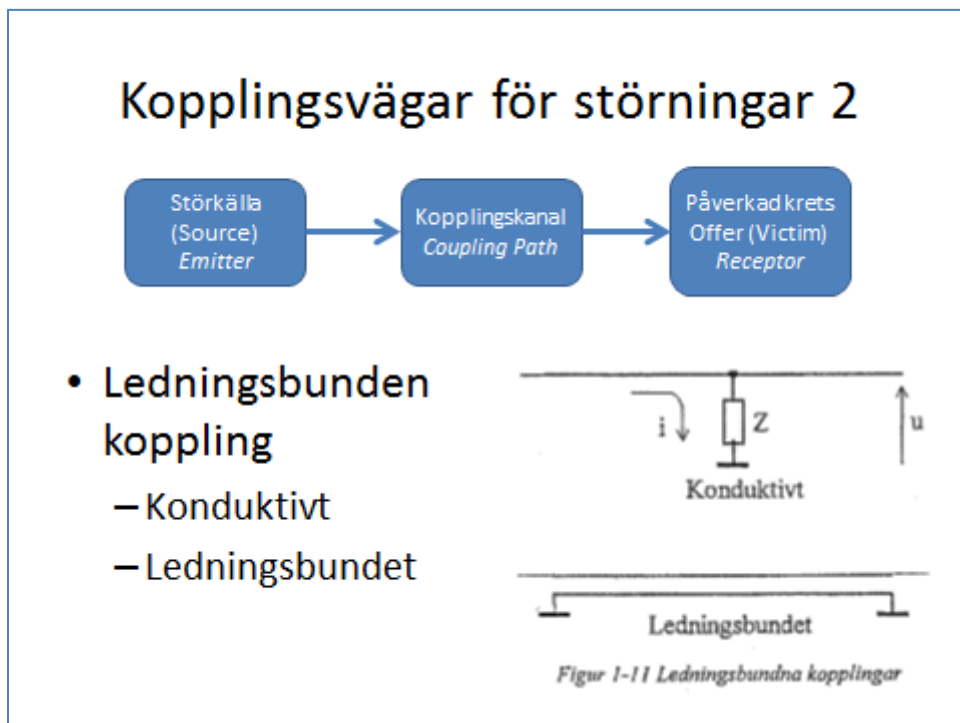
Det kan det finnas flera störvägar mellan källan och offret samtidigt och t.o.m. från flera källor till flera offer. Problemen kan i sådana fall vara mycket komplexa att lösa.

Ni har redan kommit i kontakt med kända kopplingsvägar under er utbildning. T.ex. konduktiva i ellära och elektronikursen eller strålning och överföring av signaler i telekommunikationskursen. Därför är mycket av kursens innehåll en repetition av tidigare kurser men från ett EMC-perspektiv.

Typexempel på potentiella störningskällor och störningsoffer hittar ni också i andra kurser som ni redan har studerat. Digitalteknik, mikrodatorteknik, ellära och elektronik, telekommunikationskurser handlar alla om funktionsbeskrivningar av elektronik. I den här kursen får ni ett nytt sätt att se på den elektroniken, nämligen som källor och/eller offer för störningar.

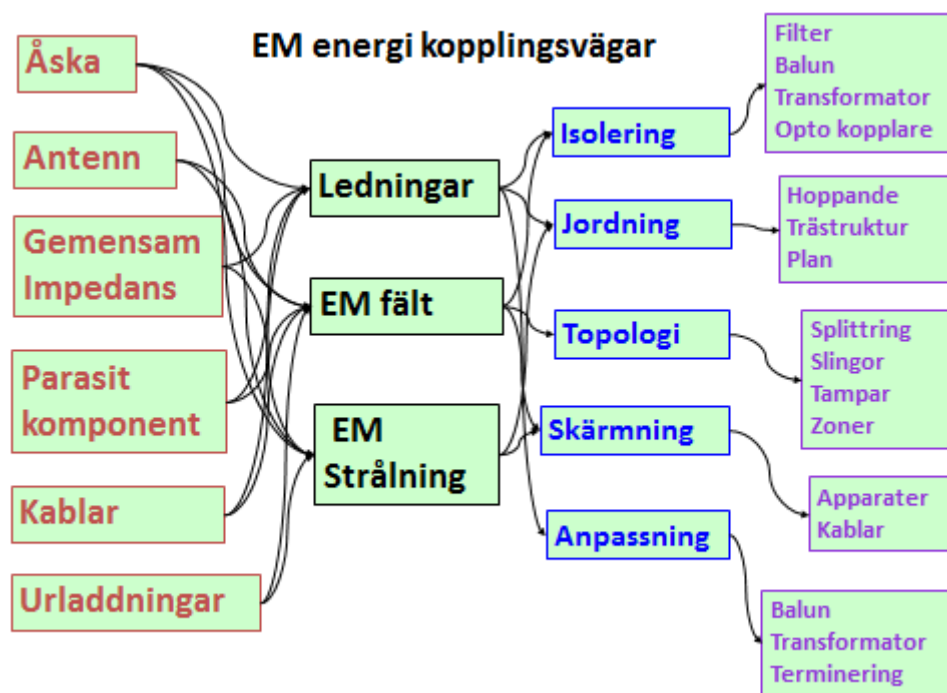
Om både källor, offer och kopplingsvägar redan är kända, varför förekommer då oförklarliga funktionsstörningar? Problemet ligger i de modeller av verkligheten som ingenjörer använder sig för att konstruera elektroniken. De bygger på fysik och dess högt utvecklade och abstrakta tankebyggnad och på erfarenhet. För ingenjörer är detta opraktiskt eller omöjligt att använda. Deras kunnande bygger på effektiva och hanterliga men begränsade modeller som inte håller i alla lägen.

Den här kursen är ett försök att göra det "omöjliga" dvs. att förklara det som finns utanför ovannämnda modeller utan att använda den abstrakta fysik som krävs för att göra det.



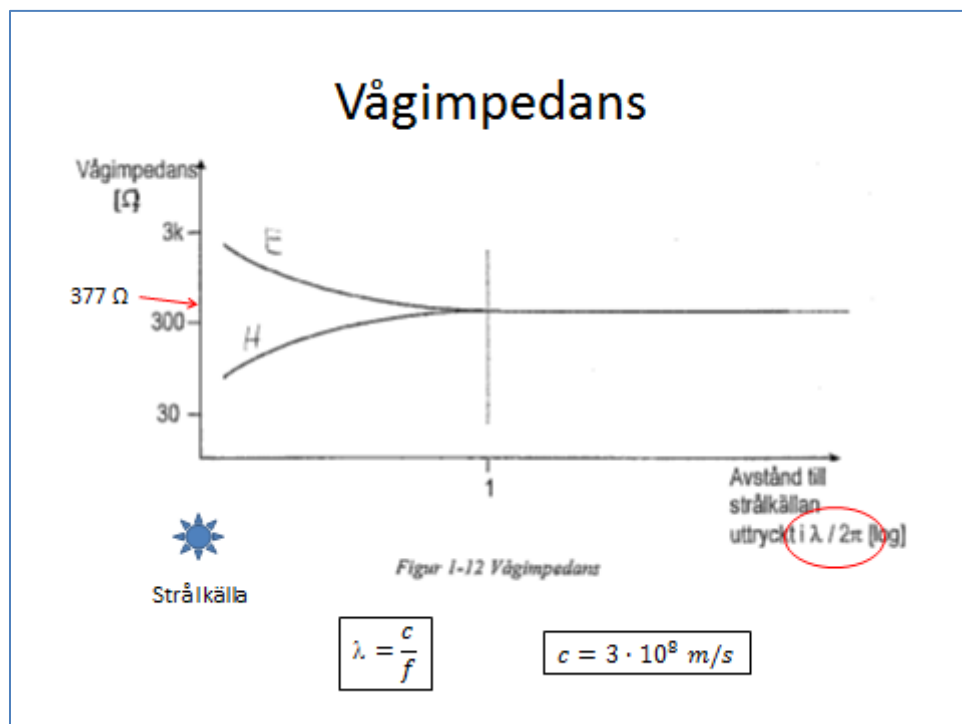
Fördelning av störningars sätt att fortplanta sig i ledningar:

1. Konduktivt, genom en gemensam impedans
2. Konduktivt, tillsammans med överföring (transmission) av signalen.



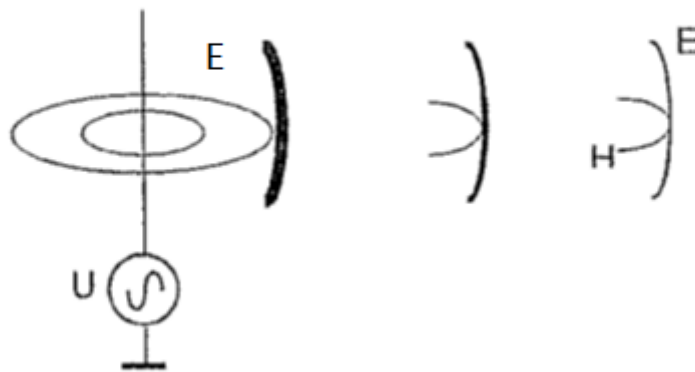
Den komplexa karaktären av problemet tillåter knappast att vi går genom alla källor, offer och kopplings vägar som visas på bilden ovan. Vi koncentrerar oss på åtgärder som nämns i kolumnerna längst till höger.

Vi kommer också att göra generell repetition av elektromagnetism (bilaga i slutet av kompendiet) och lite om källor och kopplingsvägar efter hand.



På nära håll från en störkälla är E- och H-fälten oberoende av varandra och man kan räkna på dem var för sig (bilden). På långt håll, när $d > \lambda/2\pi$, är vinkeln mellan E- och H-fältets svängningsplan 90° och vågimpedansen $Z_0 = 377 \Omega$.

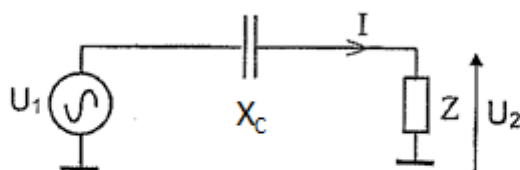
E-fält i närzonen



Figur 1-13 Elektriskt fält

När vågen avlägsnar sig från källan utjämnas energin mellan E- och H-fältet tills lika stor energi överförs av båda fälten. Z_0 är då 377Ω .

E-fält i närzonen - Sinusspänning



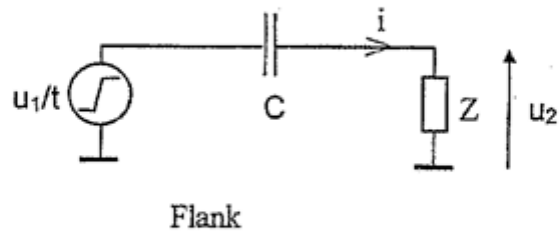
Sinus

$$U_2 \ll U_1 \Rightarrow \text{Fasvridningen} = 90^\circ$$

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{Z}{X_C} \quad X_C = \frac{1}{\omega C}$$

Beräkning av kapacitivt överförd sinusformad störning.

E-fält i närzonen - Flank

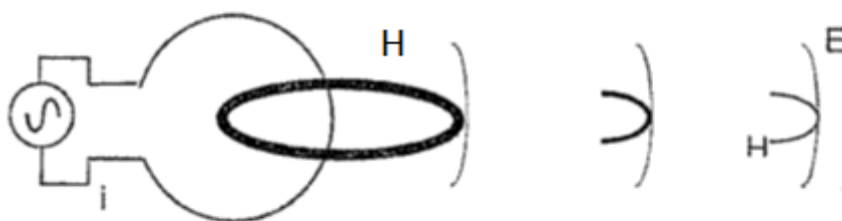


$$i = C \frac{du_1}{dt}$$

$$u_2 = Z \cdot i$$

Beräkning av kapacitivt överförd störning som består av en flank eller puls.

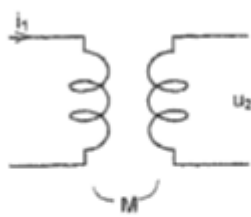
H-fält i närzonen



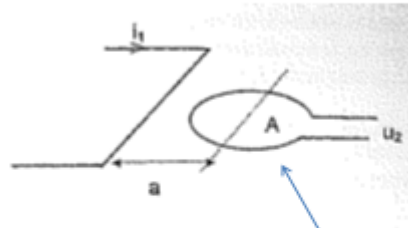
Figur 1-15 Magnetiskt fält

När vågen avlägsnar sig från källan (H-fält) utjämnas energin mellan E- och H-fältet tills lika stor energi överförs av båda fälten. Z_0 är då 377Ω .

H-fält i närzonen



Figur 1-16 Ekvivalent för induktivt koppling



(Sinus) $u_2 = j\omega M \cdot i_1$

$$M = \frac{A \cdot \mu_r \mu_0}{2\pi \cdot a}$$

(Flank) $u_2 = M \cdot \frac{di_1}{dt}$ $u_2 = \frac{A \cdot \mu_0}{2\pi \cdot a} \cdot \frac{di}{dt}$

M = Ömsesidig induktans, $\mu_r = 1$ för luft

Beräkning av induktivt överförd störning, sinus eller flank.

Att räkna på EMC

- Rita kretsschema
 - störkälla, kopplingsväg och störoffer
 - jordstruktur
- Förenkla till ekvivalent schema
 - bara nödvändiga kretselement
- Sätt upp uttryck för det som skall beräknas!
- Räkna! Var noga med potenser, använd SI-enheter.
- Kontrollera att enheter stämmer!

Rita ett kretsschema som tar upp störkälla, kopplingsväg och störoffer. Kom ihåg att jordstrukturen i regel måste tas med för att störningsbilden skall bli fullständig.

Förenkla schemat till ett ekvivalent schema som bara består av de kretselement som behövs för det fenomen som du vill räkna på.

Sätt upp ett uttryck för det som skall beräknas.

Gör sortkontroll! Det är ett bra sätt att avslöja felräkningar och särskilt nyttigt vid sådana beräkningar som man utför sällan.

Som vi tidigare har konstaterat är den totala störbilden ofta mycket komplicerad. Noggranna beräkningar av störfält och nivåer kan bara göras med hjälp av dator och bara på geometriskt och elektriskt väldefinierade problem.

Sådana noggranna beräkningar blir därför bara intressanta att göra i fasta, oföränderliga miljöer. Exempelvis i ett flygplan är det mycket noga bestämt var kablarna dras och vilka underenheter som får finnas.

I industrimiljö eller kontorsmiljö, däremot, är det vanligt att utrustning byts ut och flyttas utan särskild hänsyn till elmiljön.

Som konstruktör har man därför ofta anledning att göra överslagsberäkningar på EMC-fenomen. Kravet på noggrannhet är inte så stort och hamnar man någorlunda rätt får man vara nöjd. Det är därför vi gör många överslagsberäkningar i den här kursen.

Räkneövning

- En dubbelband-mobil använder antingen 900 MHz eller 1800 MHz bärvåg. Vilken av de två frekvenserna används om närfältet slutar 5,3 cm avstånd från antennen?

Tenta 2012-03-12, tal 13

Beräkna våglängden vid de två givna frekvenserna:

$$\lambda(900 \text{ MHz}) = \frac{c}{f} = 0,33 \text{ m} \Rightarrow d_{krit} = 5,2 \text{ cm}$$

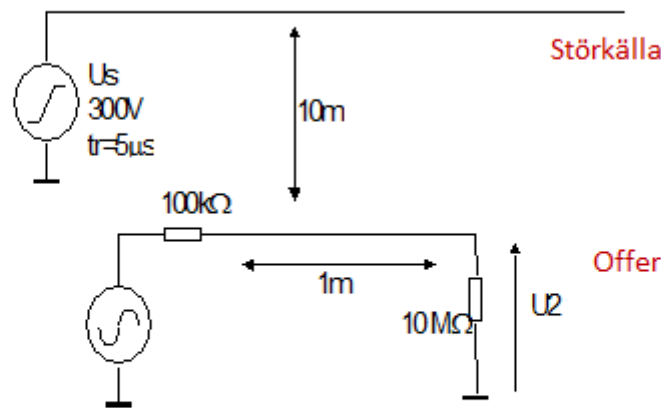
$$\lambda(1800 \text{ MHz}) = \frac{c}{f} = 0,17 \text{ m} \Rightarrow d_{krit} = 2,6 \text{ cm}$$

Svar: Mobilen använder 900 MHz bandet.

Alternativt: $\lambda/2\pi = 5,3 \text{ cm} \Rightarrow \lambda = 0,33 \text{ m}$; $f = c/\lambda \Rightarrow f = 901 \text{ MHz}$

Uppgift A1

Exempel på överslagsberäkning



Den störande ledningen är en oskärmad nätkabel som passerar på 10m avstånd från det störningsupptagande offret. Ledningen har transienter med amplituden 300 V och stigtiden 5 μ s.

Offret är en 1m lång oskärmad ledning av 2 mm tråd som drivs av en signalkälla med impedansen 100 k Ω . Ledningen avslutas med en 10 M Ω last.

Tips:

Approximera bort alla strökapacitanser utom den som överför störningen.

För att göra bedömningen av storlek i förhållande till våglängden, räkna med att den karaktäristiska frekvensen för en stegstörning är $f = 1/\pi t_r$. Där t_r är stigtiden.

Data: $U_s = 300$ V, $t_r = 5$ μ s, $d = 10$ m (avstånd), $l = 1$ m (offer längd), $a = r_w = 1$ mm (offers radie), $R_i = 100$ k Ω (källans inre resistans), $R_L = 10$ M Ω (offer last)

Hur stor blir störningsspänningen U_2 ?

Först kontrollerar man om offret befinner sig i när- eller fjärrfältsområdet. Den karaktäristiska frekvensen för en stegstörning är $f = 1/\pi(5 \mu\text{s})$ vilket här ger $f = 64$ kHz. Det motsvarar våglängden $\lambda = c/f = 3 \cdot 10^8 / 64 \cdot 10^3 \text{ m} = 4,7 \text{ km}$.

$$d_{\text{krit}} = \lambda/2\pi = 750 \text{ m} \gg 10 \text{ m}$$

Kretsen är alltså mycket mindre än den kritiska våglängden och störningen kan antas vara kapacitivt (eller induktivt) kopplad. Kapacitansen mellan ledningarna är (enligt **formelsamlingen**, parallella ledningar) av storleksordningen 3 pF. (Vid denna uträkning nedan har antagits att det bara är 1m av den störande ledningen som kopplar kapacitivt.)

$$C = \pi \epsilon_1 \epsilon_0 l / \ln(d/a) = \pi \cdot 9 \cdot 10^{-12} \cdot 1 / \ln(10/10^{-3}) = 3.02 \cdot 10^{-12} \text{ F} \quad a \ll d$$

Den mottagande kretsens resistans är $R_L = 10$ M Ω parallellt med $R_i = 100$ k Ω , alltså approximativt $R = 100$ k Ω .

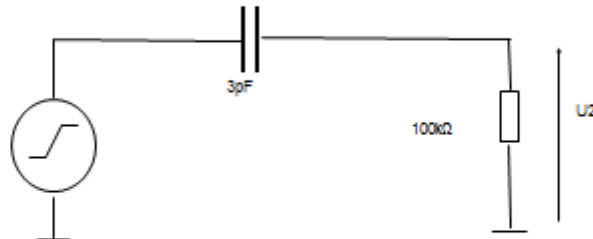
Ekvivalenta schemat blir:

Ekvivalentschema

$$f_b = \frac{1}{\pi \cdot t_r}$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$C = \frac{\pi \epsilon_r \epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{d}{a}\right)} \quad a \ll d$$



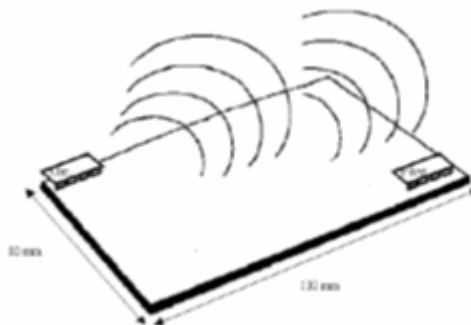
För en flank gäller att strömmen $i = C \cdot dU/dt = C \cdot U_s / t_r = C \cdot 300 \text{ V} / 5 \mu\text{s} = 0,18 \text{ mA}$,
vilket ger $U_2 = 100 \text{ k}\Omega \cdot i = 18 \text{ V}$.

f_b = gränshfrekvens för flank under vilken den mesta energin finns.

För en flank gäller att strömmen $i = C \cdot dU/dt = C \cdot U_s / t_r = C \cdot 300 \text{ V} / 5 \mu\text{s} = 0,18 \text{ mA}$, vilket ger $U_2 = 100 \text{ k}\Omega \cdot i = 18 \text{ V}$.

Räkneövning

- På ett kretskort med dimensioner 13 x 8 cm har man monterat en oscillator i ett av hörnen. I det diagonala hörnet har man monterat en förstärkare. För vilken frekvens ligger förstärkaren på gränsen av närfältet från oscillatoren?



Tenta 2012-03-12, tal 21

Enligt Pytagoras sats är avståndet mellan oscillatoren och förstärkaren

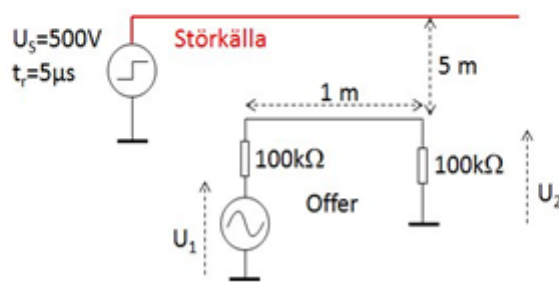
$$d_{krit} = \sqrt{13^2 + 8^2} = 15,3 \text{ cm} = 0,153 \text{ m}$$

Gränsen mellan närfält och fjärrfält ligger på $d_{krit} = \frac{\lambda}{2\pi}$, dvs. $\lambda = 2\pi \cdot d_{krit} = 959 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{0,959 \text{ m}} = 313 \text{ MHz}$$

Räkneövning

- En kraftledning ligger på 5 m avstånd från ett störningsupptagande offer. En transient på kraftledningen med diametern 1 mm har amplituden 500 V och stigtiden 5 μs .
- Offret har en 1 m lång oskärmad ledning av 1 mm tjock koppartråd som drivs av en signalkälla med impedansen 100 k Ω . Ledningen termineras med 100 k Ω last. Hur stor blir störningsspanningen U_2 ?



Räkna på egen hand!

Först kollar man om offret ligger i när- eller fjärrfältet från störkällan. För störningen gäller att gränshänsen $f_b = 1/\pi t_r = 64 \text{ kHz}$. Detta ger våglängden $\lambda = c/f_b = 4.7 \text{ km}$. Kritiska avståndet blir då $d_{\text{krit}} = \lambda/2\pi = 750 \text{ m}$ och man kan anta att offret ligger i närfältet av störkällan. Då gäller att störningen överförs kapacitivt eller induktivt. I beskrivningen saknas uppgift om strömstyrka i störkällan mm så vi får anta kapacitiv störningsväg.

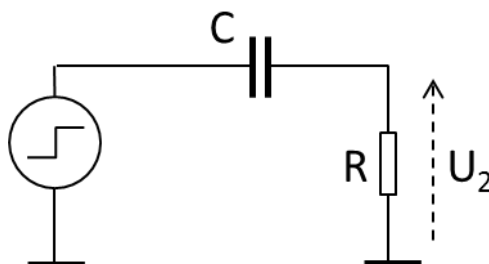
Formelsamlingen sid 303 ger att kapacitansen mellan ledarna när $a \ll d$ är

$$C \approx \frac{\pi \epsilon_r \epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{d}{a}\right)}$$

$\epsilon_r = 1$ i luft, $l = 1 \text{ m}$, $d = 5 \text{ m}$, $a = 0.5 \text{ mm} \Rightarrow C = 3 \text{ pF}$

$R = 100 \text{ k}\Omega$ parallellt med $100 \text{ k}\Omega = 50 \text{ k}\Omega$

Om man ritar ekvivalent schema (approximation) för situationen fås följande:



För en flank gäller (formelsamling sid 303) att

$$i = C \frac{du}{dt}$$

Och $U_2 = R \times i$ vilket ger att

$$U_2 = RC \frac{du}{dt} = 50 \times 10^3 \times 3 \times 10^{-12} \frac{500}{5 \times 10^{-6}} = 15V$$