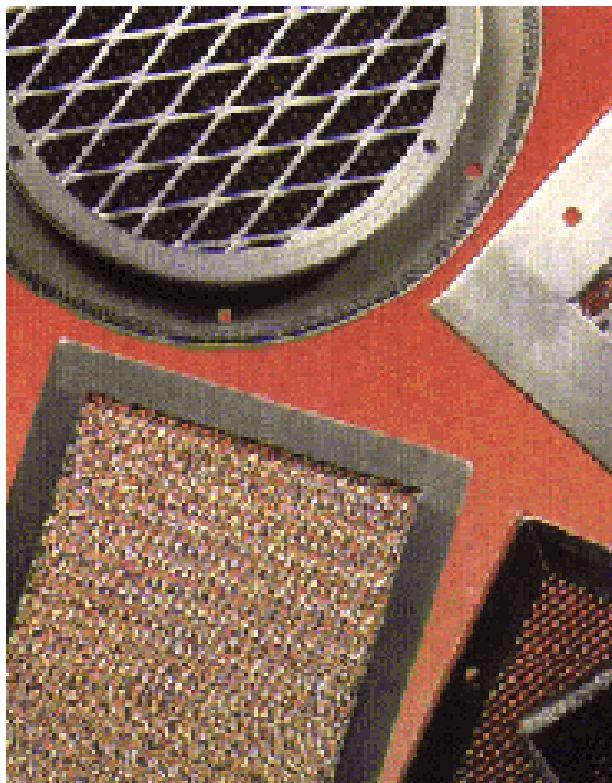


Seminari EMC

Capítol 4:

*Acoblament, Terres, Masses,
Apantallament i Blindatges*



Acoblament, Terres i Masses

Introducció

Definicions

Terra de seguretat

Massa d'un circuit

Bucles de massa

Apantallament i Blindatges

Introducció

Eficiència de l'apantallament

Apantallament amb material
magnètic

Obertures

Elements de millora

Introducció

- El disseny de la distribució de masses i terres en un circuit és crític en el comportament d'aquest
- Un bon disseny proporciona bon comportament EMC sense necessitat de components addicionals
- Normalment es presta poca atenció al seu disseny i en canvi és la part que dona lloc a més problemes en els circuits
- Un disseny mal fet és molt difícil de corregir

Definicions

Terra: Connexió a punt equipotencial* exterior (xarxa elèctrica) al circuit amb finalitats de seguretat. (Earth)

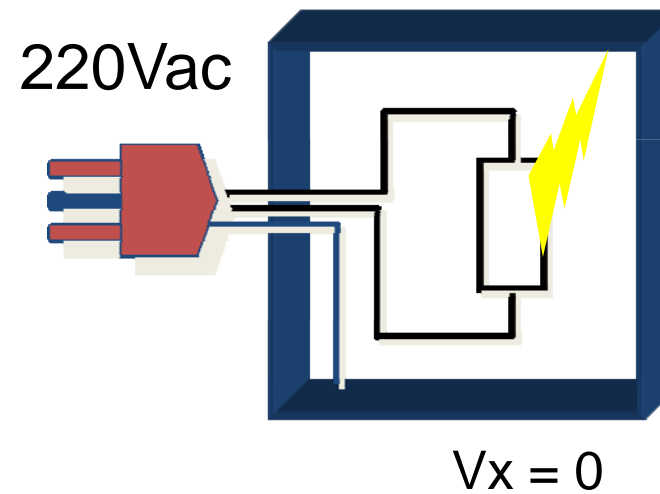
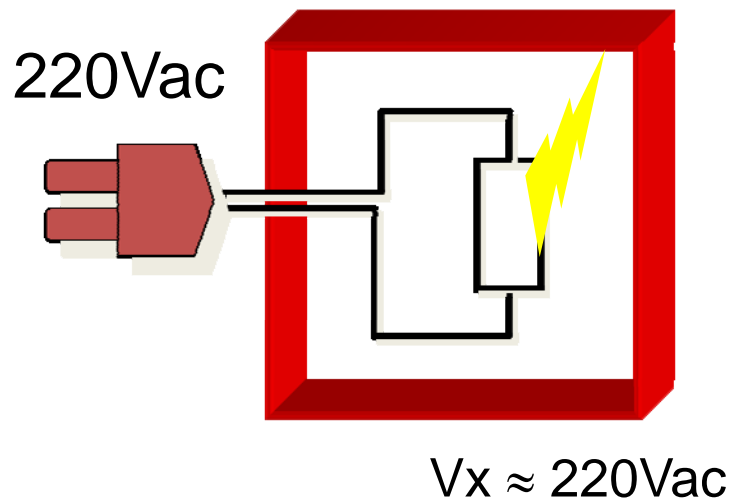
Massa: Punt o pla equipotencial que serveix de referència de potencial a la resta del circuit

- Terra de seguretat
- Massa de senyal
 - Massa en un punt (sèrie o paral·lel)
 - Massa en varis punts (multipunt)
 - Masses híbrides (punt + multipunt)

() Punt en el que el voltatge no canvia independentment del corrent que hi passa*

Terra de seguretat

Terra de seguretat o presa de terra del sistema o circuit



Una fallada de l'equip pot posar la tensió de xarxa al xassís amb perill de xoc elèctric per l'usuari

Massa d'un circuit

→ El cas real no és equipotencial doncs presenta una impedància diferent de zero

Massa: Camí de baixa impedància de retorn dels corrents a la seva font

Corrents + baixa impedància = diferencia de potencial

Diferencia de potencial = soroll en circuit

Diferencia de potencial AF = radiació del circuit

Bucles de corrent de retorn = camps magnètics

Massa d'un circuit (2)

Quin és la millor distribució de masses?

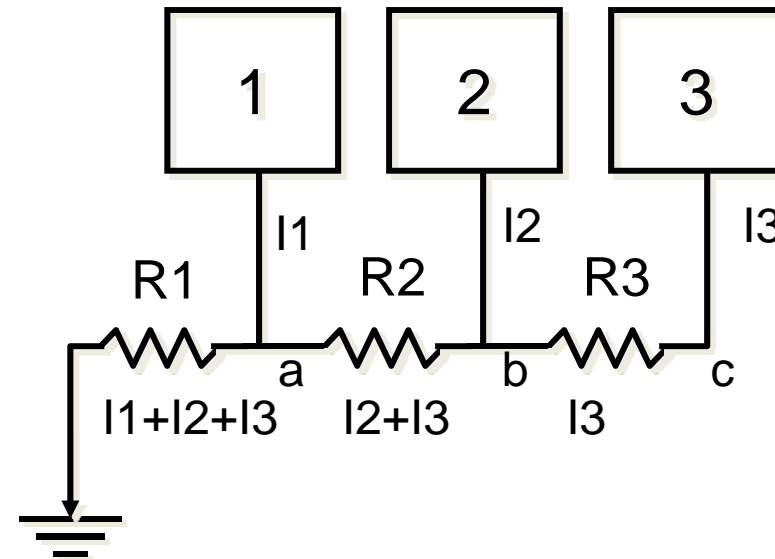
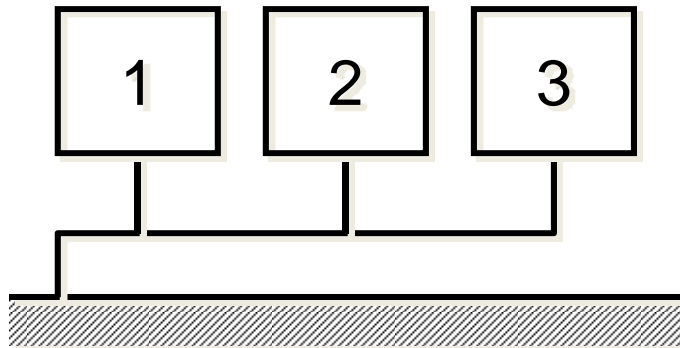
Depèn de varis factors:

- Tipus de circuiteria
- Consums
- Freqüència de treball
- Dimensió i topologia del circuit
- Aplicació
- Restriccions de seguretat
- (...)

En cada cas cal estudiar detingudament el seu disseny

Massa d'un circuit (3)

Massa en un punt:
Connexió sèrie

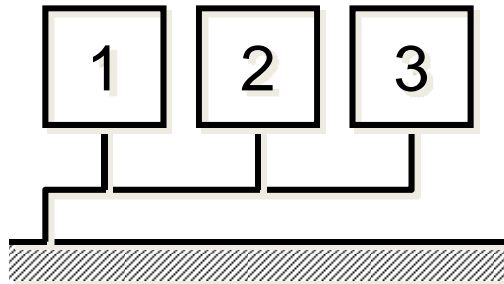


$$V_a = (I_1 + I_2 + I_3)R_1$$

$$V_b = (I_1 + I_2 + I_3)R_1 + (I_2 + I_3)R_2 = V_a + (I_2 + I_3)R_2$$

$$V_c = (I_1 + I_2 + I_3)R_1 + (I_2 + I_3)R_2 + I_3R_3 = V_b + I_3R_3$$

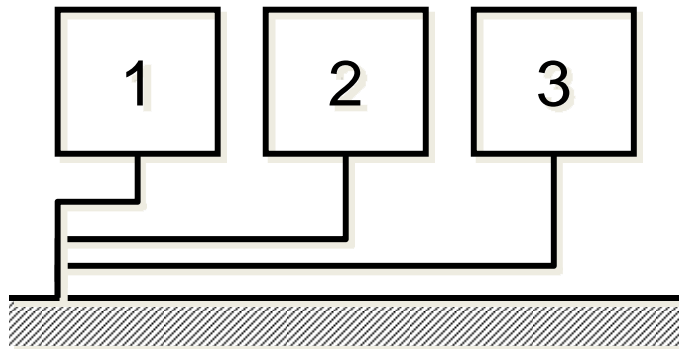
Massa d'un circuit (4)



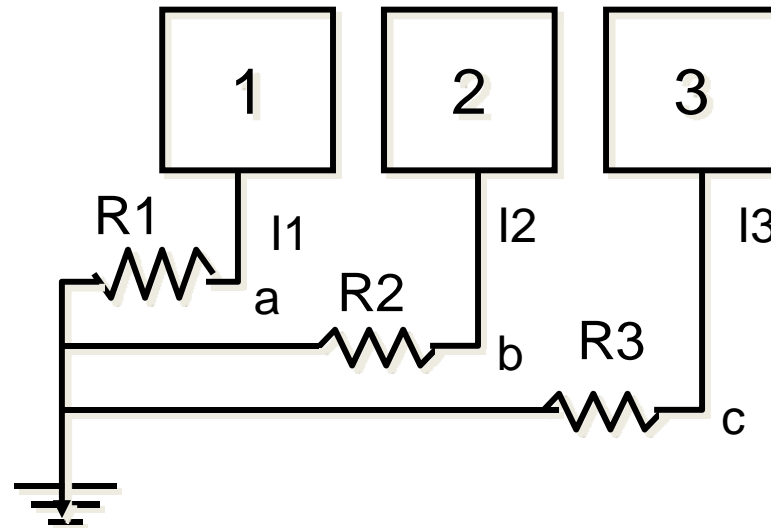
- La connexió sèrie és la pitjor a nivell de soroll
- Es la més utilitzada per simplicitat de disseny
- Cal tenir en compte consum de les parts del circuit
- Cal posar elements sensibles en 1 i poc sensibles en 3
- Ull amb consums elements allunyats en la cadena

Massa d'un circuit (5)

Massa en un punt:
Connexió paral·lela

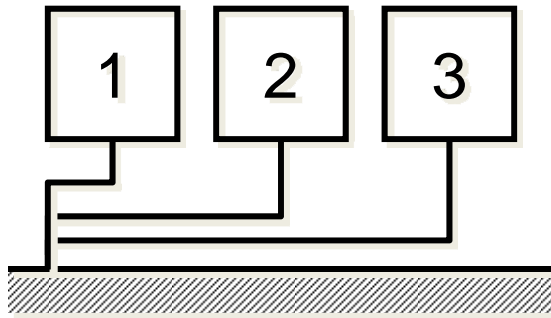


$$\begin{aligned}V_a &= I_1 R_1 \\V_b &= I_2 R_2 \\V_c &= I_3 R_3\end{aligned}$$



Hem separat corrents i evitat
acoblament entre circuits

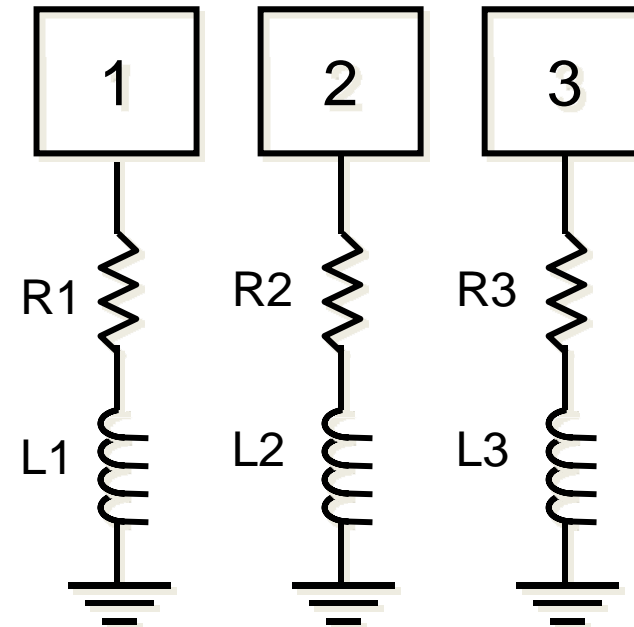
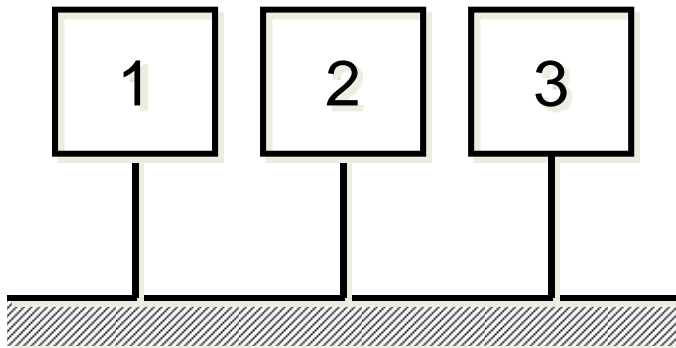
Massa d'un circuit (6)



- Separem acoblaments entre parts del circuit
- Podem tenir consums diferents entre mòduls
- Complicat de disseny
- No viable en altes freqüències per impedància cables
- Normalment utilitzem plans de massa (massa multipunt)

Massa d'un circuit (7)

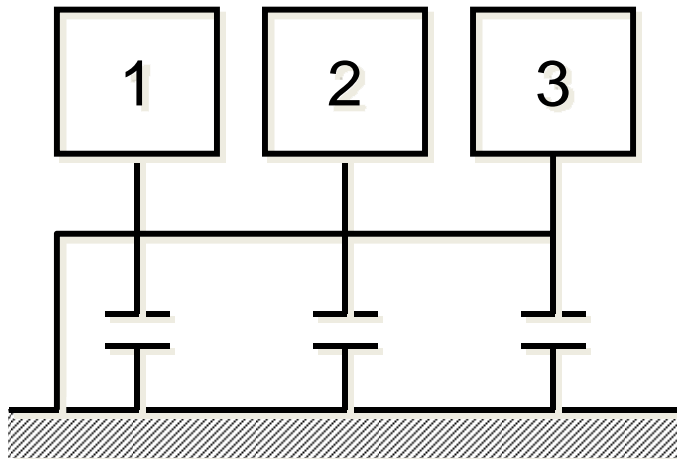
Connexió multipunt



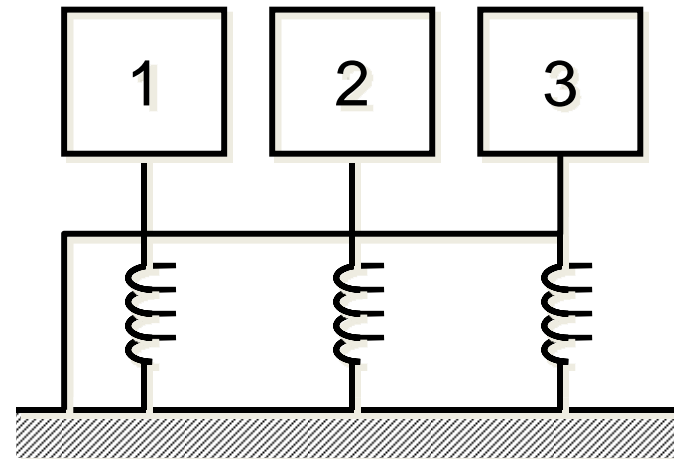
- Representa connexió mòduls a xassís o pla de massa
- Bona solució per freqüències $> 10\text{MHz}$
- Per freqüències baixes millor massa en un punt
- Cal minimitzar L i R i tenir en compte possibles bucles

Massa d'un circuit (8)

Masses híbrides



BF: Massa en un punt
AF: Massa multipunt



BF: Massa multipunt
AF: Massa en un punt

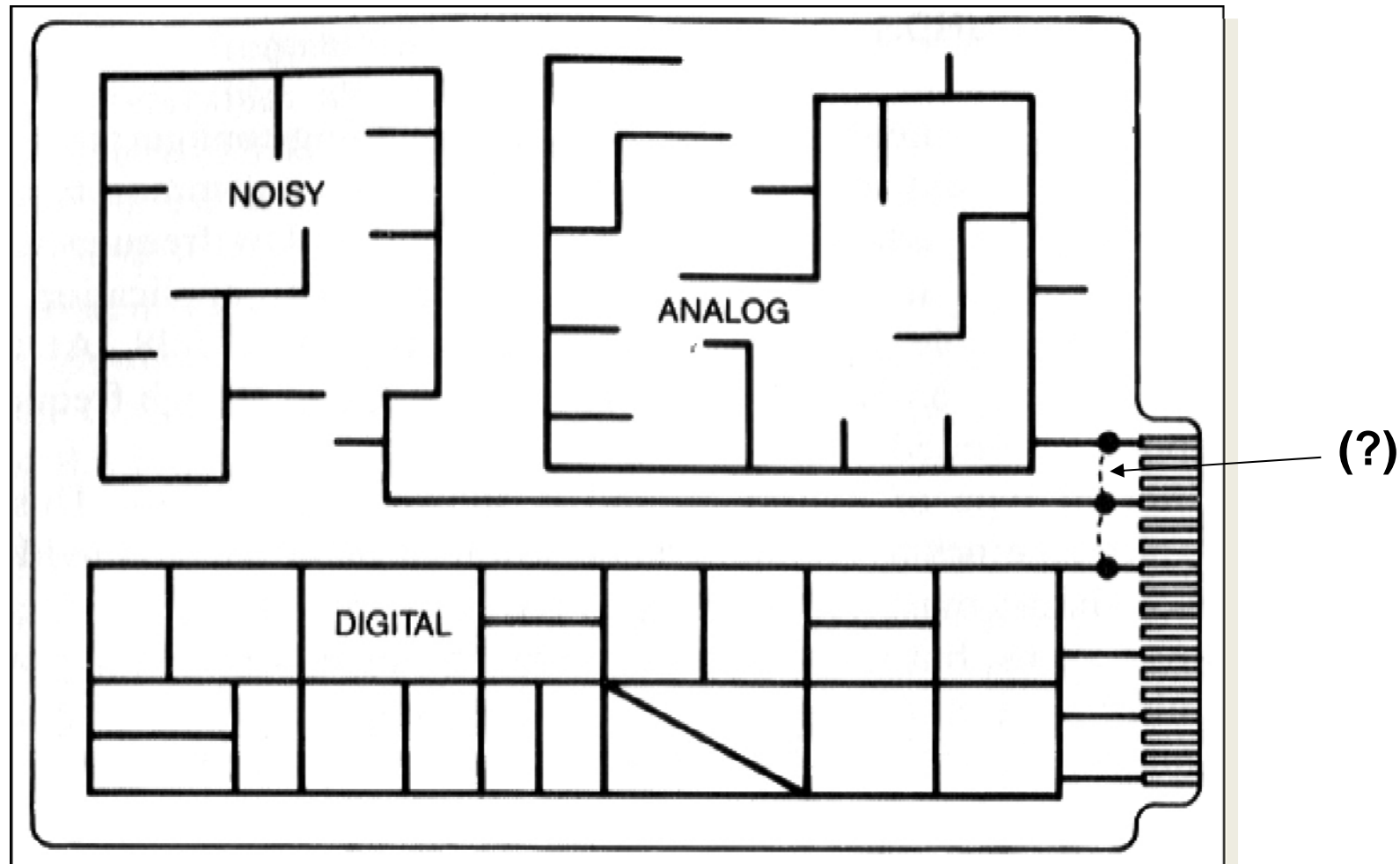
Podem pensar diferents combinacions...

Massa d'un circuit (9)

Recomanacions finals:

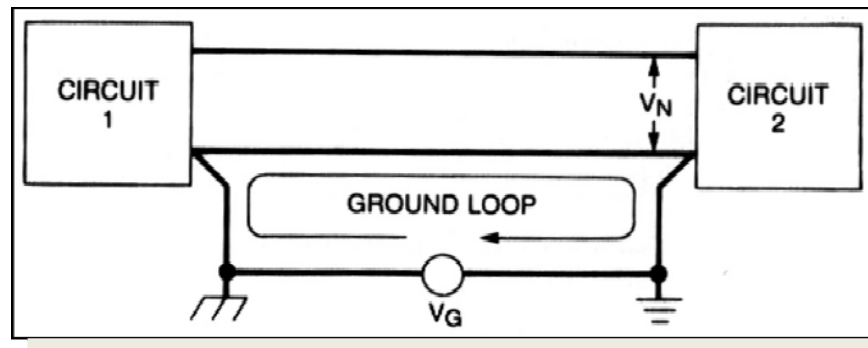
- Masses en un punt (sèrie o paral·lel per senyals de baixa freqüència com alimentacions etc.
- Masses multipunt per circuits en alta freqüència i circuits digitals (flancs abruptes)
- Separar zones en plaques en base a funcionalitat i freqüències de treball
- Portar masses de les zones a un punt comú del circuit
- Evitar diferències de potencial elevades entre alimentacions de circuits connectats en senyal

Massa d'un circuit (10)



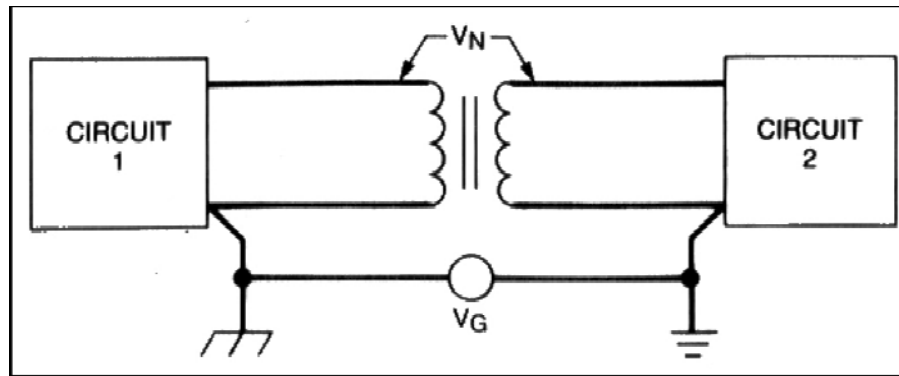
Bucles de massa

- Apareixen en masses multipunt separades per distàncies grans
- Son font de soroll en el circuit i de radiació
- Son susceptibles als camps magnètics

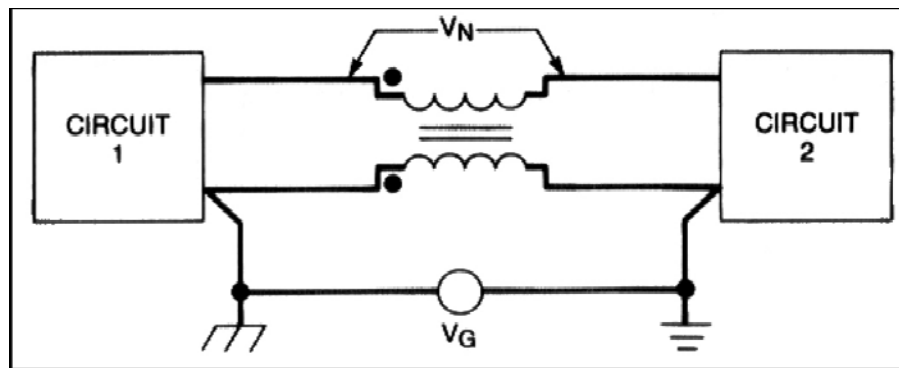


- Diferents tècniques de millora i aïllament:
 - Transformadors
 - Xocs en mode comú
 - Optoacobladors
 - Circuits balancejats
 - Masses híbrides

Bucles de massa (2)

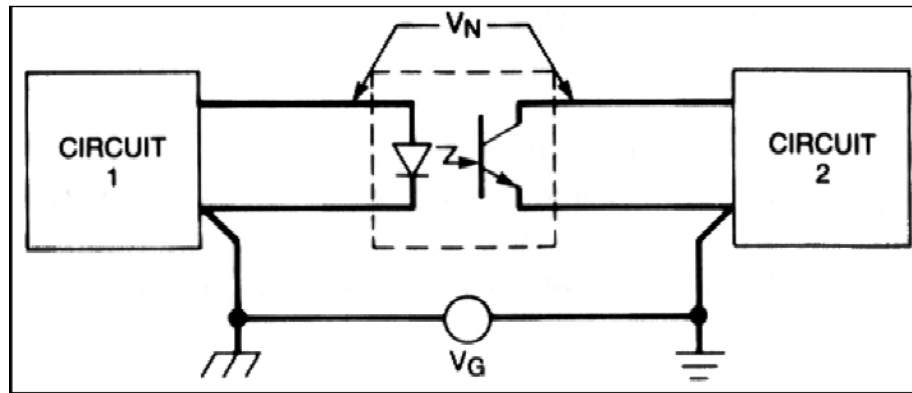


Transformador

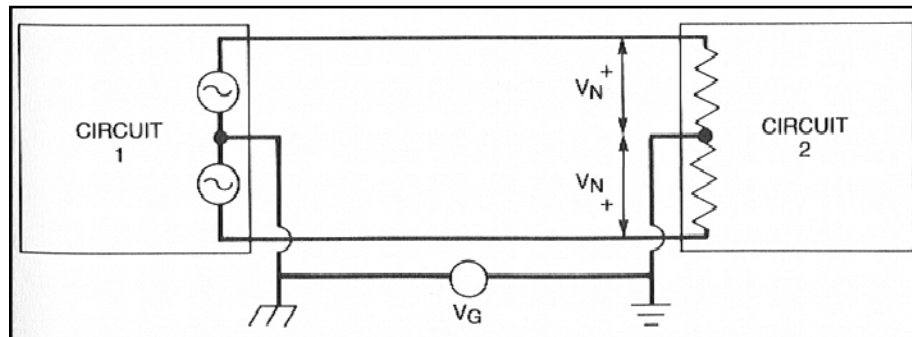


Xoc en mode comú

Bucles de massa (3)



Optoacoblador



Circuit balancejat

Introducció

Apantallament: disposició de pantalles en l'espai per tal d'evitar la propagació de camps elèctrics, magnètics o electromagnètics.

Pantalles elèctriques: materials metàl·lics conductors

Pantalles magnètiques: materials no metàl·lics amb alta permeabilitat magnètica

- Apantallament font o receptor en funció dels casos
- Mantenim radiació dins pantalla o fora de la mateixa

Introducció (2)

| Característiques diferents materials | | |
|--------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Material | Conductivitat relativa | Permeabilitat relativa |
| Plata | 1,05 | 1 |
| Coure anoditzat | 1 | 1 |
| Or | 0,7 | 1 |
| Crom | 0,664 | 1 |
| Alumini (tou) | 0,61 | 1 |
| Alumini (temperat) | 0,4 | 1 |
| Zenc | 0,32 | 1 |
| Beliri | 0,28 | 1 |
| Llautó | 0,26 | 1 |
| Cadmi | 0,23 | 1 |
| Niquel | 0,2 | 100 |
| Bronze | 0,18 | 1 |
| Platí | 0,18 | 1 |
| Estany | 0,15 | 1 |
| Acer (SAE 1045) | 0,1 | 1000 |
| Plom | 0,08 | 1 |
| Conetic (1KHz) | 0,03 | 25000 |
| Mumetal (1KHz) | 0,03 | 20000 |
| Acer inoxidable | 0,02 | 500 |

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H / m}$$

$$\varepsilon = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F / m}$$

$$\sigma = 5,82 \cdot 10^7 \text{ mhos / m}$$

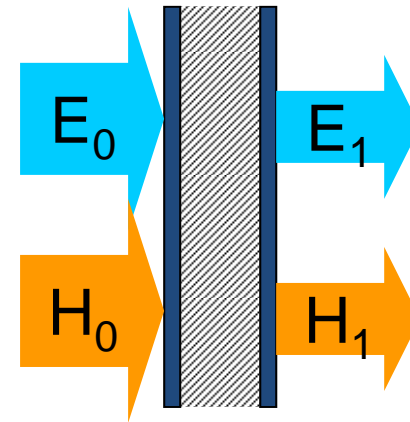


μ, ε : en espai lliure
 σ : pel coure

Eficiència de l'apantallament

$$S = 20 \log \frac{E_0}{E_1} \quad (dB)$$

$$S = 20 \log \frac{H_0}{H_1} \quad (dB)$$



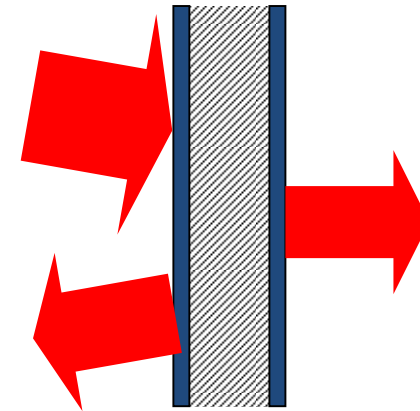
L'apantallament depèn de:

- Freqüència camp
- Geometria pantalla
- Posició de la font o del receptor
- Tipus de camp (E, H, EH)
- Direcció d'incidència
- Polarització ona
- Presència d'obertures, forats, ranures, etc

Eficiència de l'apantallament (2)

Model per calcular S

- No considerem forats ni obertures
- Prenem una ona incidint sobre un pla metàl·lic



Les principals fonts de pèrdues son:

R: Pèrdues per reflexió en el material

Dependrà de camp proper/llunyà i impedància de l'ona

A: Pèrdues per absorció en el material

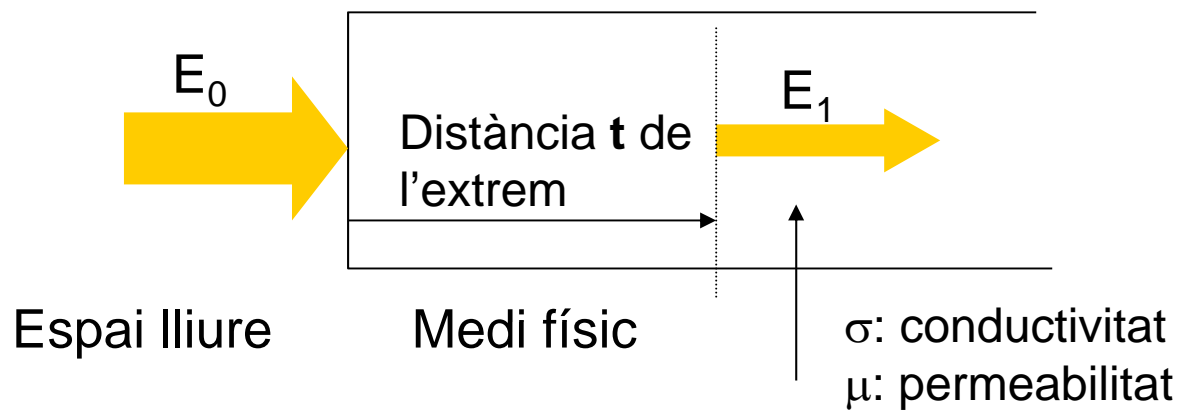
Independent camp proper/llunyà

$$S = A + R + B \text{ (dB)}$$

B: Te en compte múltiples reflexions en pantalla

Eficiència de l'apantallament (3)

A: Pèrdues per absorció



$$E_1 = E_0 e^{-t/\delta}$$

$$H_1 = H_0 e^{-t/\delta}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} \quad (m)$$

$$A = 0,131t \sqrt{f\mu_r\sigma_r} \quad (dB)$$

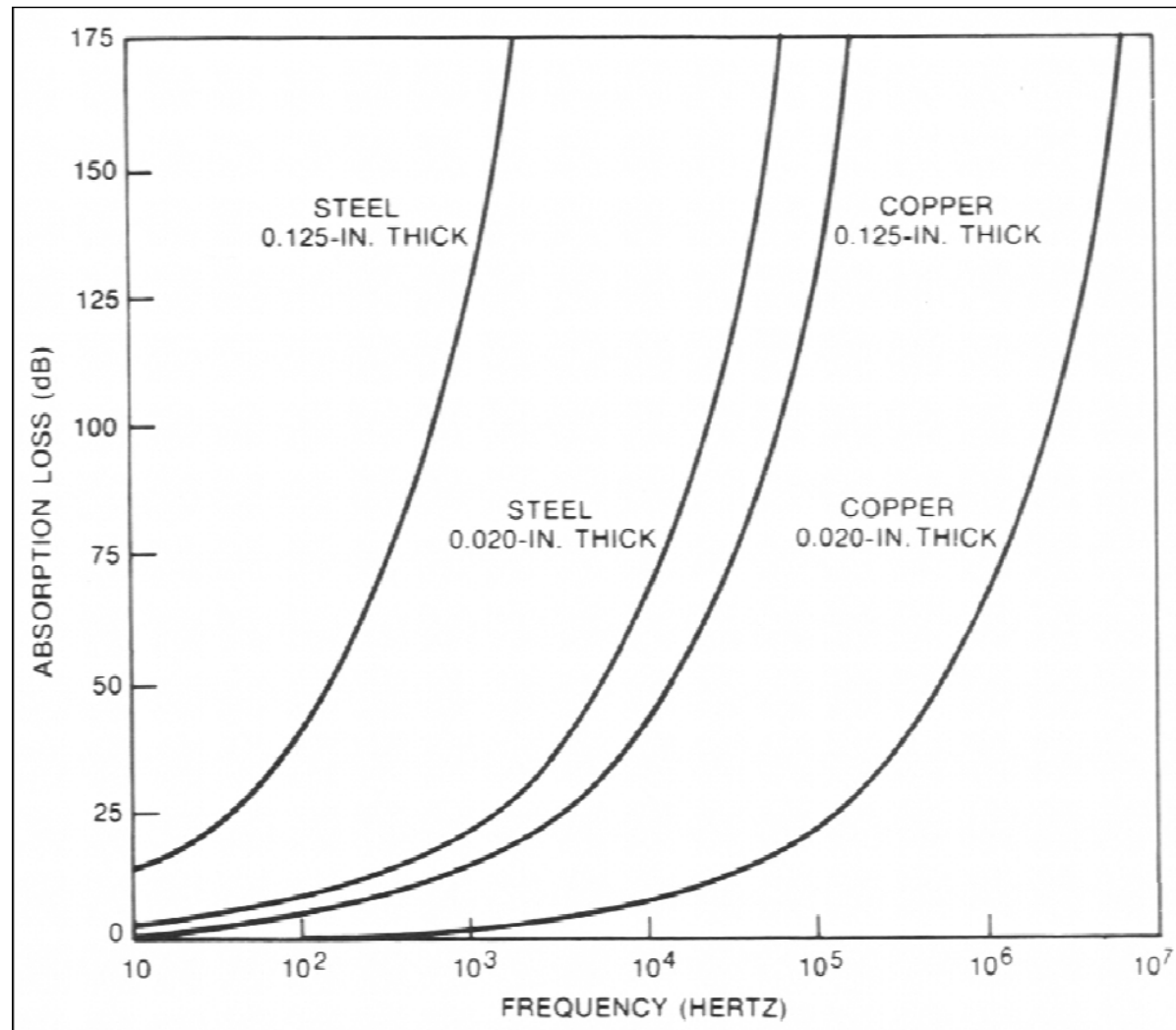
Eficiència de l'apantallament (4)

A: Pèrdues per absorció

| Profunditats de penetració (mm) | | | | |
|---------------------------------|----------|---------|----------|---------|
| Freqüència | Coure | Alumini | Acer | Mumetal |
| 60Hz | 8,509 | 10,8966 | 0,8636 | 0,3556 |
| 100Hz | 6,604 | 8,4582 | 0,6604 | 0,2794 |
| 1KHz | 2,0828 | 2,667 | 0,2032 | 0,0762 |
| 10KHz | 0,6604 | 0,8382 | 0,0762 | N/A |
| 100KHz | 0,2032 | 0,2794 | 0,02032 | N/A |
| 1MHz | 0,0762 | 0,0762 | 0,00762 | N/A |
| 10MHz | 0,02032 | 0,0254 | 0,00254 | N/A |
| 100MHz | 0,006604 | 0,00762 | 0,002032 | N/A |
| 1GHz | 0,002032 | 0,00254 | 0,001016 | N/A |

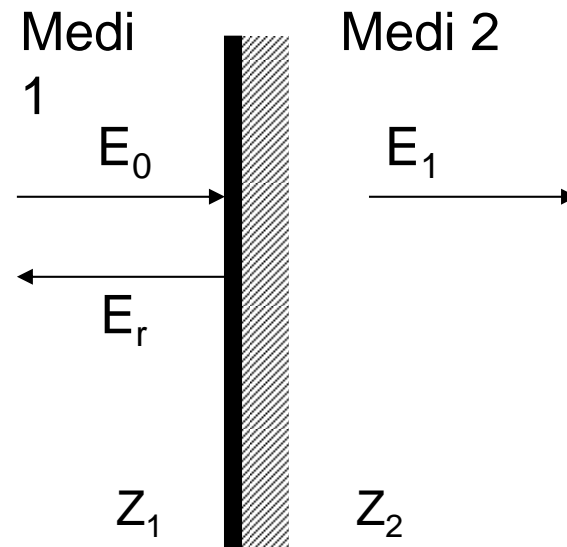
Eficiència de l'apantallament (5)

A: Pèrdues per absorció



Eficiència de l'apantallament (6)

R: Pèrdues per reflexió



$$E_r = E_0 - E_1$$

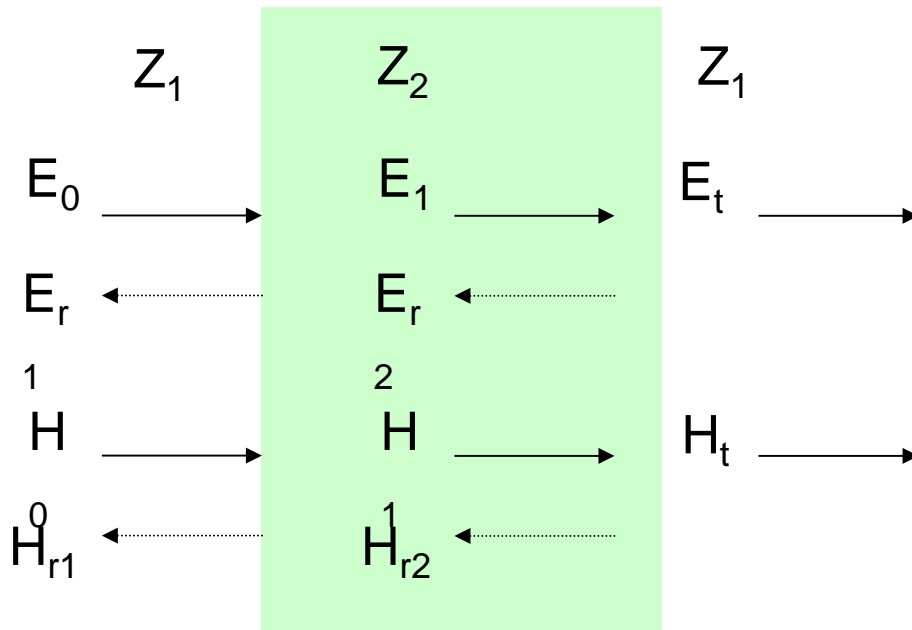
$$E_1 = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} E_0$$

$$H_1 = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} H_0$$

Normalment tenim un apantallament amb 2 transicions

Eficiència de l'apantallament (7)

R: Pèrdues per reflexió



$$E_t = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} E_0$$

$$H_t = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} H_0$$

Suposant una pantalla conductora: $Z_1 \gg Z_2$

$$E_t = \frac{4Z_2}{Z_1} E_0$$

$$H_t = \frac{4Z_2}{Z_1} H_0$$

Resultats vàlids per ona plana ortogonal

Eficiència de l'apantallament (8)

R: Pèrdues per reflexió (Aproximació per camp llunyà)

$$R = 20 \log \frac{|Z_w|}{4|Z_s|} = 20 \log \frac{94,25}{|Z_s|} \quad (dB)$$

Z_w per ona plana
 377Ω

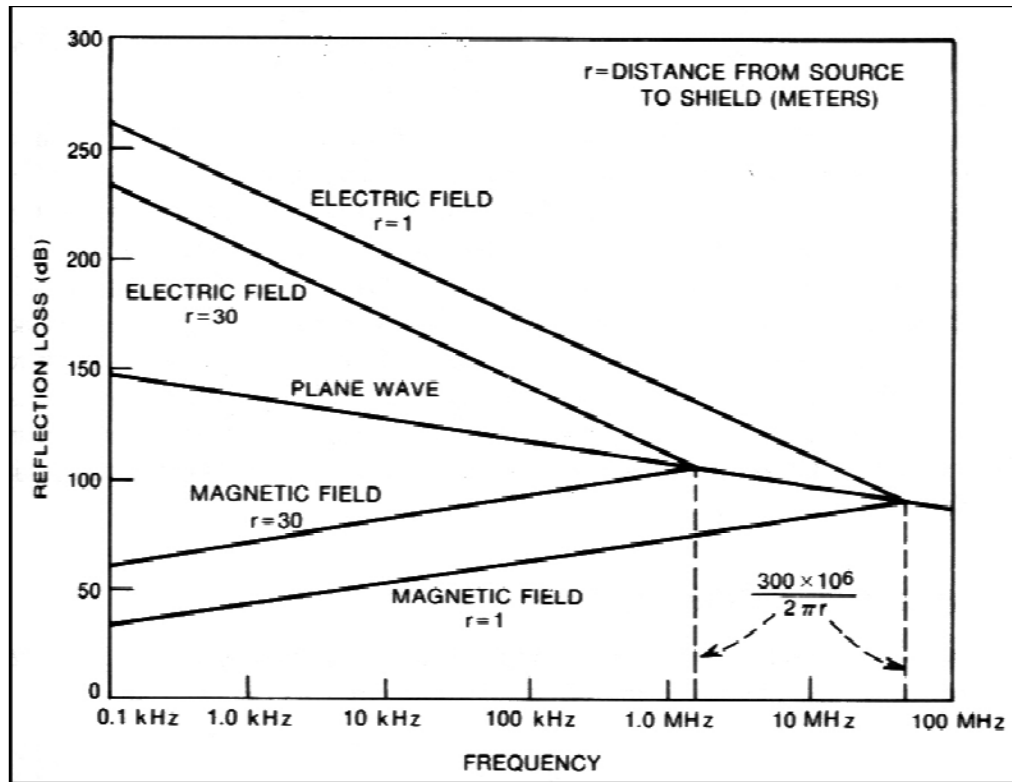
$$Z_s = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma}} = \sqrt{\frac{\omega\mu}{2\sigma}}(1+j)$$

$$|Z_s| = \sqrt{\frac{\omega\mu}{\sigma}} = 3,68 \cdot 10^{-7} \sqrt{\frac{\mu_r f}{\sigma_r}}$$

$$R = 168 + 10 \log \frac{\sigma_r}{\mu_r f} \quad (dB)$$

Eficiència de l'apantallament (9)

R: Pèrdues per reflexió (Aproximació per camp proper)



En camp proper, la impedància de l'ona depèn del tipus de font i no de les característiques del medi

Eficiència de l'apantallament (10)

R: Pèrdues per reflexió (Aproximació per camp proper)

Font elèctrica $|Z_w|_e = \frac{1}{2\pi f \epsilon r}$, $R_e = 322 + 10 \log \frac{\sigma_r}{\mu_r f^3 r^2} (dB)$

Font magnètica $|Z_w|_m = 2\pi f \mu r$, $R_m = 14,6 + 10 \log \left(\frac{f r^2 \sigma_r}{\mu_r} \right) (dB)$

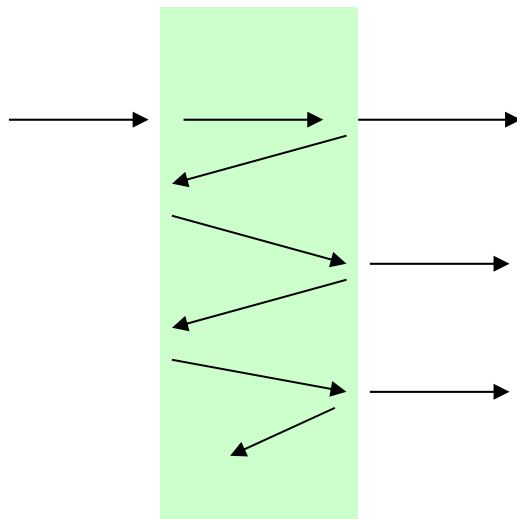
En general $R = C + 10 \log \left(\frac{\sigma_r}{\mu_r} \right) \left(\frac{1}{f^n r^m} \right) (dB)$

| Tipus de camp | C | n | m |
|---------------|------|----|----|
| Camp Elèctric | 322 | 3 | 2 |
| Ona plana | 168 | 1 | 0 |
| Camp Magnètic | 14,6 | -1 | -2 |

Eficiència de l'apantallament (11)

B: Reflexions múltiples

Es dona en pantalles primes en les que no podem negligir la seva aportació en el càlcul final



$$B = 20 \log(1 - e^{-2t/\delta})$$

Tenim una part de transmissió en cada reflexió en la pantalla

$B < 0$ (Perdem en eficiència)

Eficiència de l'apantallament (12)

Ones Planes

- Absorció i reflexió fenòmens principals
- Reflexions múltiples negligible
- Baixa freqüència. Pèrdues per reflexió
- Alta freqüència, Pèrdues per absorció

Camp Elèctric

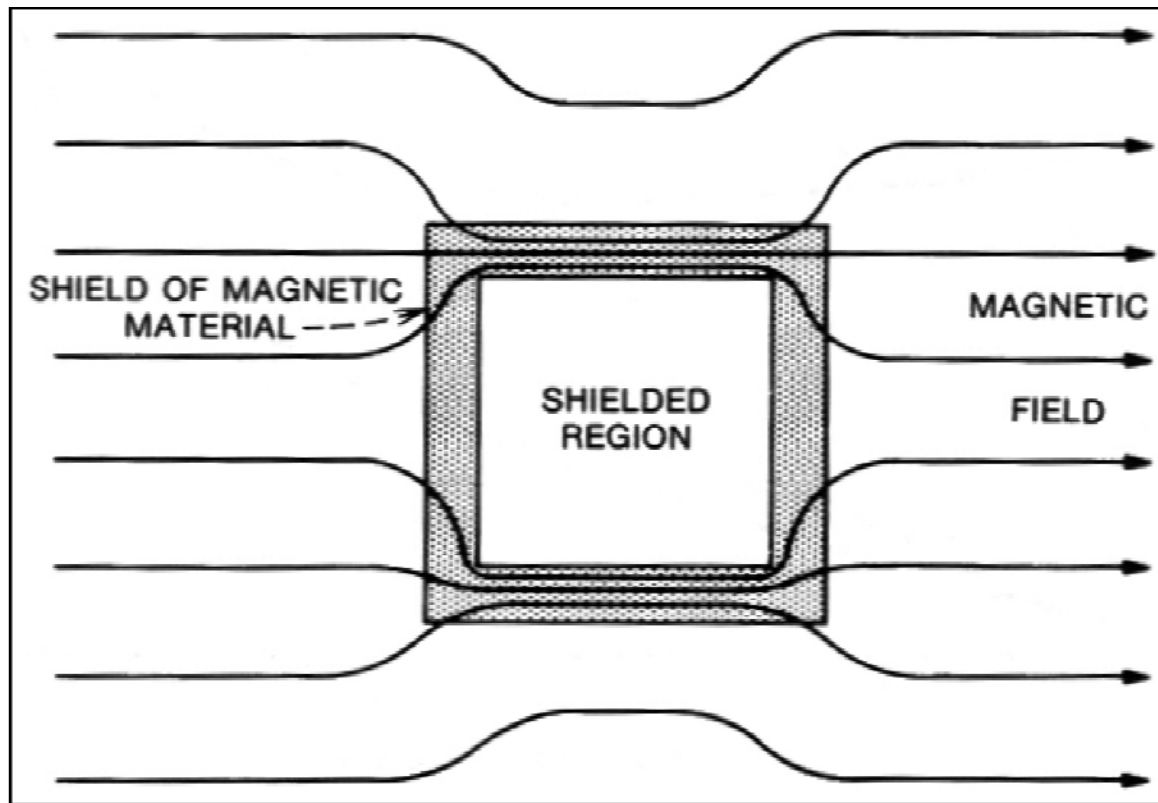
- Comportament similar a ona plana

Camp Magnètic

- Absorció i reflexió fenòmens principals
- Reflexió múltiple negligible per pèrdues absorció $> 9\text{dB}$
- Freqüències baixes: Pèrdues baixes \rightarrow Apantallament pobre

Eficiència de l'apantallament (13)

Apantallament de camp magnètic en BF



Apantallament amb material magnètic

En substituir un material elèctric per magnètic en pantalla:

- Augmenta pèrdues per absorció
- Disminueix pèrdues per reflexió
- Menys eficient per camp elèctric o ona plana en BF
- Permeabilitat disminueix amb freqüència
- Permeabilitat depèn de la intensitat de camp
- Mecanitzats sobre materials magnètics canvien permeabilitat
- Apantallament multi-nivell (elèctric i magnètic)

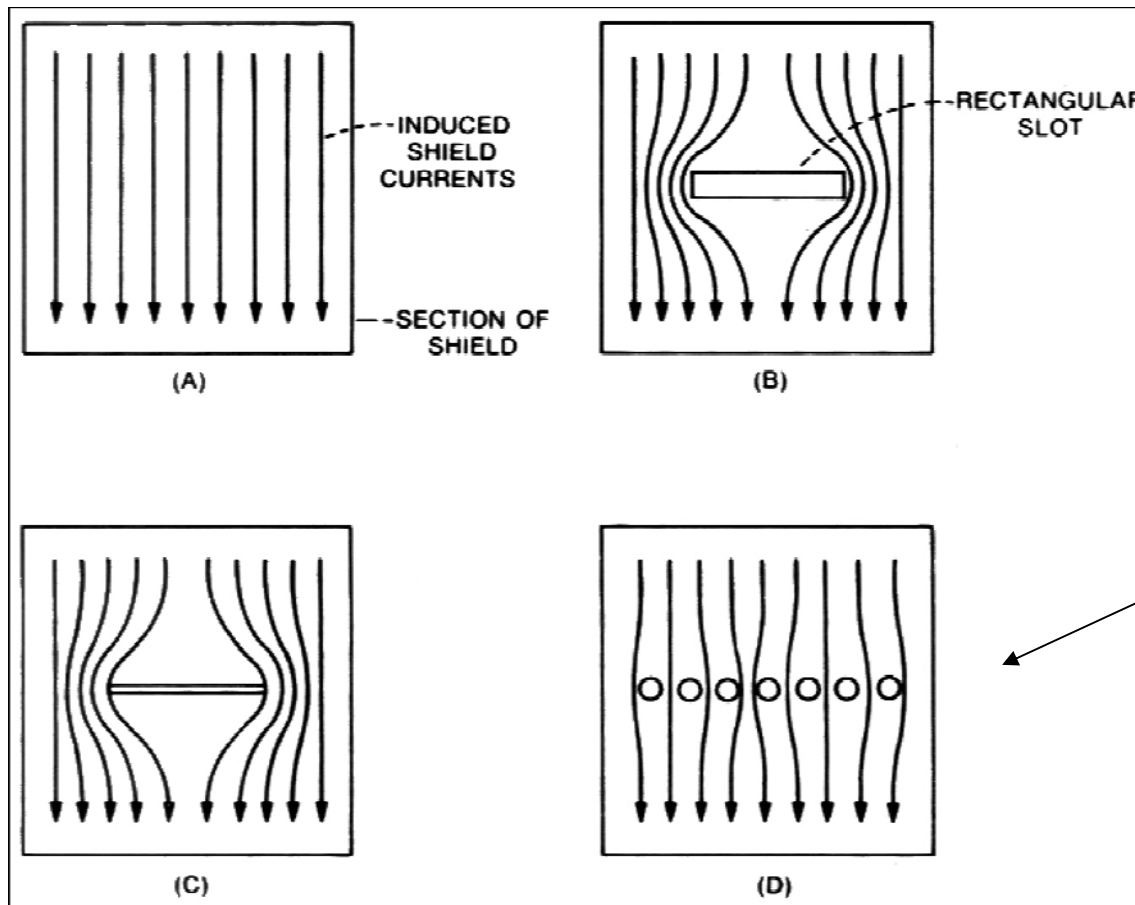
Obertures

Apantallaments normals $>90\text{dB}$ per camps elèctrics i ones planes en alta freqüència amenaçats per:

- Tapes d'accés
 - Portes
 - Forats per conductors
 - Forats per ventilació
 - Interruptors
 - Instruments de panell
 - Juntures mecàniques
 - etc
- Els apantallaments no son sòlids ni continus.

Obertures (2)

Discontinuitats de corrent → Camps magnètics



Forats millor que ranures

Obertures (3)

En general l'eficiència de l'apantallament dependrà de:

- Màxima dimensió lineal de l'obertura
- Impedància de l'ona
- Freqüència de la font
- Direcció dels corrents respecte l'obertura
- Número i disposició de les obertures

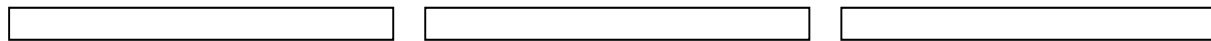
$$S = 20 \log \left(\frac{\lambda}{2l} \right)$$

Per $l < \lambda/2$

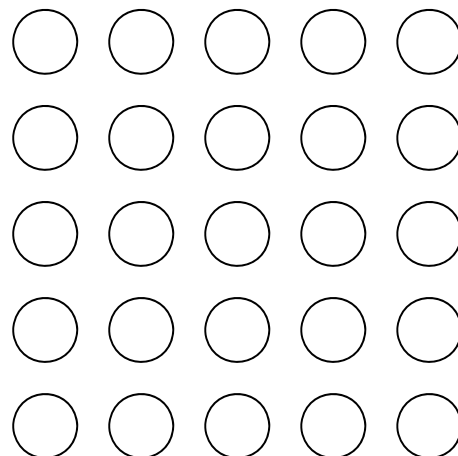
Obertures (4)

En el cas d'obertures múltiples:

$$S = -20 \log \sqrt{N}$$



N = 3

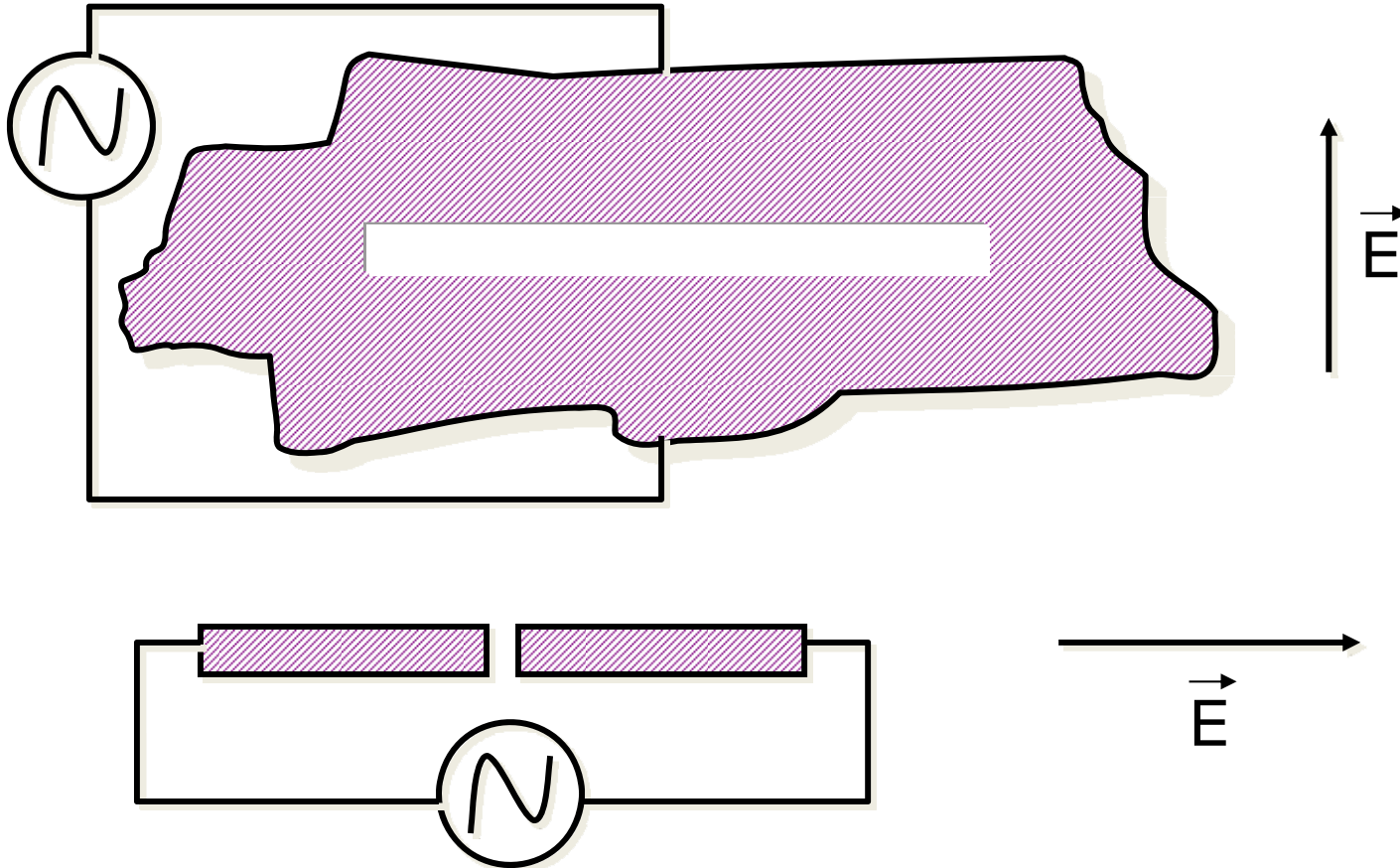


N = 5

Només compten els elements que formen l'array

Obertures (5)

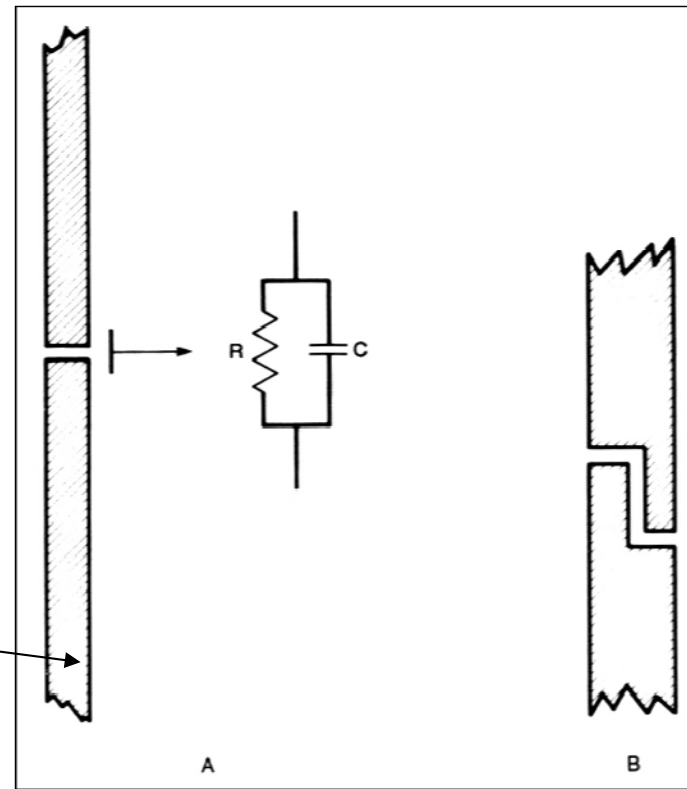
Obertures com dipols magnètics



Obertures (6)

Juntes metàl·liques en equips electrònics

A. Secció d'una junta i model equivalent
B. Solució millorada.
Augmenta capacitat



- Cal tenir un contacte elèctric ferm cada $\lambda/20$ o menor
- Ull amb la corrosió dels contactes. Acabat dels metalls
- Utilització de 'gaskets' conductors segons el cas

Obertures (7)

Exemple:

Equip amb processador a 2,5GHz

$$f = 2.500\text{MHz}$$

C = velocitat de la llum ($C_{\text{buit}} = 300.000\text{Km/s}$)

$$\lambda = 0.12\text{m} = 12\text{cm}$$

$$(\lambda/2 = 6\text{cm i } \lambda/4 = 3\text{cm})$$



$$\lambda/20 = 0.6\text{cm} !!$$

Elements de millora

Per millorar / garantir l'apantallament:

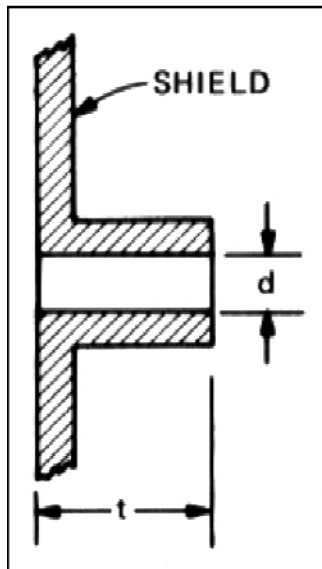
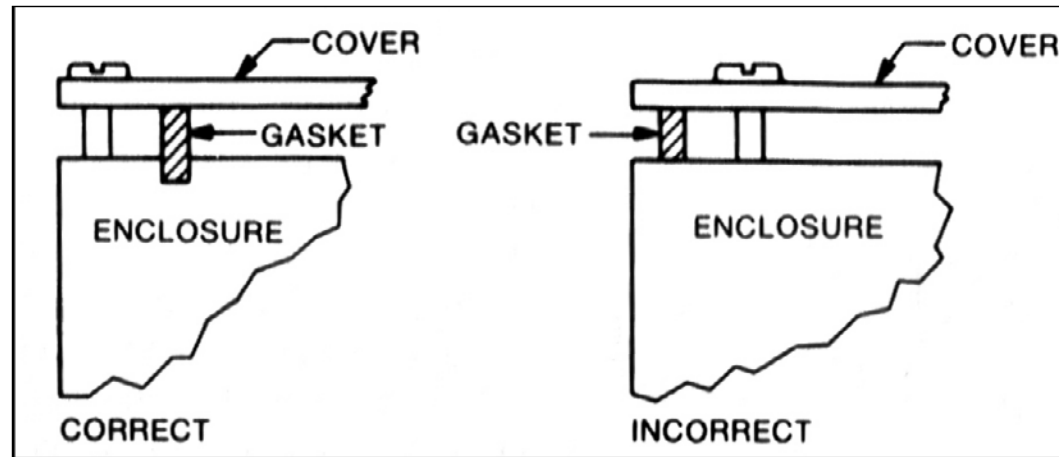
- Juntures o 'Gaskets' conductores
- Pintures conductores
- Malles per reixes de ventilació
- Finestres conductores
- Arandeles conductores
- Condensadors passa murs
- Obertures sota freqüència de tall
- etc



- Cal tenir compte amb la compatibilitat dels contactes

Elements de millora (2)

Cal garantir bon contacte gasket.
Ull compatibilitats entre metalls.
Cal mantenir pressió del contacte



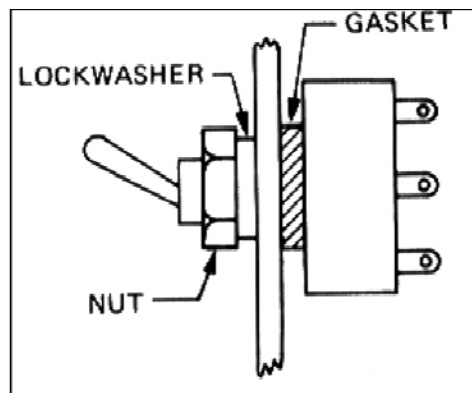
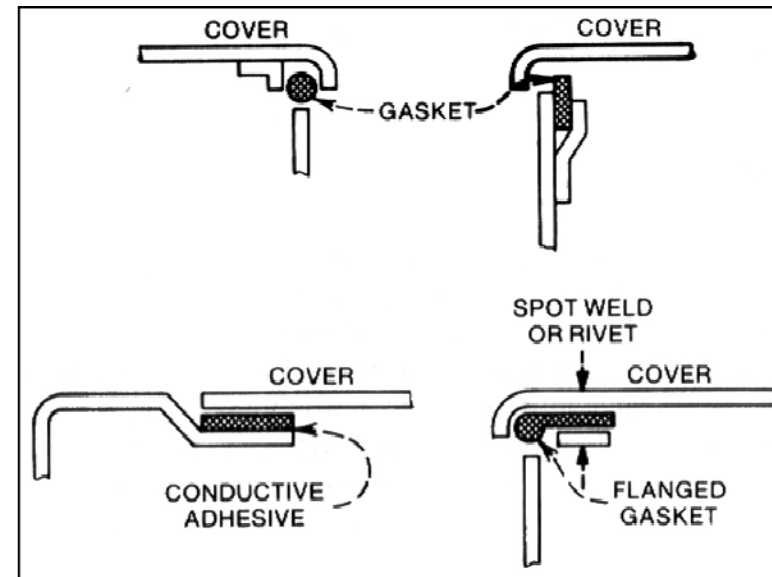
Obertura en guia-ona sota freqüència de tall
Es comporta com un atenuador
(potenciòmetres, interruptors, etc)

$$S = 32 t/d \text{ (dB)}$$

Elements de millora (3)

Els diferents perfils s'adapten a diferents situacions d'apantallament

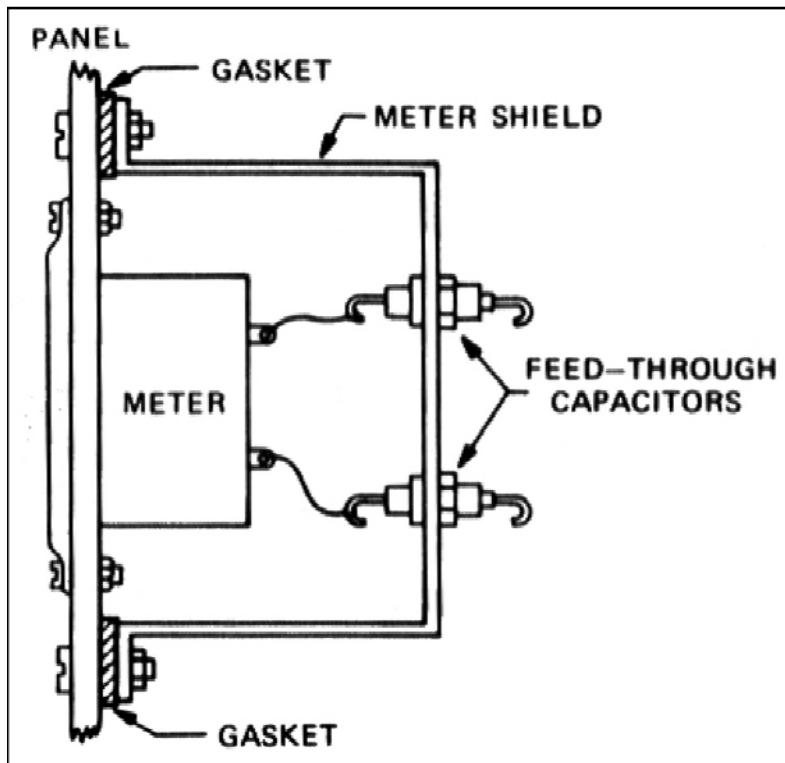
Cal mantenir una mínima pressió sobre la juntura per garantir contacte



Elements que trenquen l'apantallament

Existeixen 'gaskets' de moltes formes que s'adapten a qualsevol aplicació

Elements de millora (4)



Element de visualització

- Pantalla d'instrument
- 'Gaskets' per cargols
- Condensadors passa murs
- Finestres conductores

- ***No trenquem l'apantallament per cap punt***

Elements de millora (5)

Altres elements a tenir en compte:

- Reixes conductores. Permeten circulació d'aire.
- Reixes en niu d'abella. Com anteriors però amb guia-ona.
- Pintures i esprais conductors. Pintures de níquel o plata per permetre utilitzar caixes de plàstic.
- Metal·lització al buit. Mètode complex però de bons resultats per superfícies difícils.
- Electrodeposició. Com anterior però més econòmic.
- Fulls conductors. Fulls aplicables adhesivament.
- Plàstics conductors. Plàstics amb conductivitat elevada des de dissipatius a conductors.

Fi del capítol 4:

*Acoblament, Terres, Masses,
Apantallament i Blindatges*

Següent Capítol:

Descàrregues Electroestàtiques