

CSE - Conception des systèmes embarqués

Contraintes environnementales

Michel Starkier

Contraintes environnementales

- Généralités
- Protection physique
- Température
- Humidité
- Chocs & vibrations
- CEM
- EFT
- ESD
- Design des entrées /sorties

08/03/2014 -V3

Conception systèmes embarqués / MSR

2

Sources de contraintes environnementales

- **Milieu agressif**
 - Température, humidité, pression, ...
 - Perturbations électromagnétiques, électrostatiques,

- **Conditions d'utilisation**
 - Chocs, vibrations
 - Projection liquide
 - Usage intensif

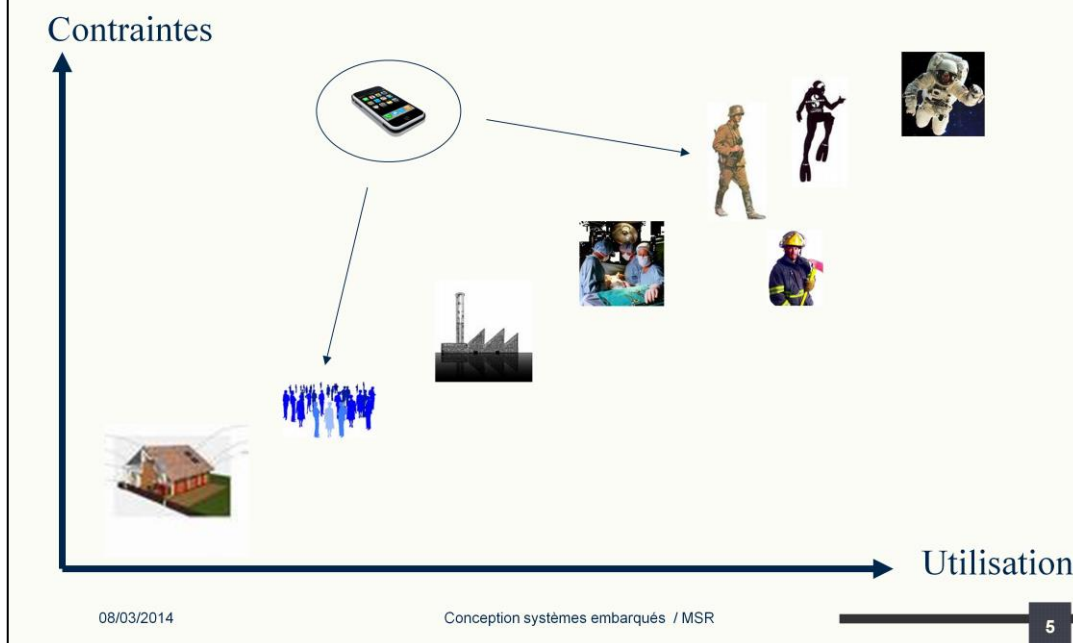
Influence milieu



Le milieu le moins agressif est l'environnement domestique : température constante d'environ 20 °, pas de choc,... Par exemple un routeur wifi installé à la maison.

Le milieu le plus agressif est l'espace

Influence des conditions d'utilisation



08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

5

Les conditions d'utilisation les plus favorables se trouvent en milieu domestique (si le système ne se retrouve pas entre les mains de petits enfants ...).

Les conditions les plus dures se rencontrent au cours d'opérations militaires ou de secours. (Ne parlons pas de la guerre dans l'espace !)

Contraintes environnementales

- Généralités
- **Protection physique**
- Température
- Humidité
- Chocs & vibrations
- CEM
- EFT
- ESD
- Design des entrées /sorties

Norme IP (indice de protection)

INTRUSIONS DE CORPS ÉTRANGERS		RÉSISTANCE À L'EAU	
Code	Description externe	Code	Description
0	Sans protection	0	Sans protection
1	Protection contre les corps étrangers > 50 mm	1	Protection contre les gouttes verticales
2	Protection contre les corps étrangers > 12,5 mm	2	Protection contre les gouttes obliques (inclinaison maximale 15°)
3	Protection contre les corps étrangers > 2,5 mm	3	Protection contre l'eau « en pluie »
4	Protection contre les corps étrangers > 1 mm	4	Protection contre les éclaboussements
5	Protection contre les dépôts de poussière	5	Protection contre les jets d'eau
6	Protection contre l'intrusion de poussière	6	Protection contre les paquets d'eau
		7	Protection contre l'immersion
		8	Protection contre l'immersion permanente



08/03/20

7

La norme IP (européenne) est publiée par l'IEC (International Electrotechnical Commission) - IEC 60529, voir le site www.iec.ch

NEMA est une norme presque équivalente utilisée aux USA, (National Electrical Manufacturers Association) , voir le site Voir le site www.nema.org

Norme IP (indice de protection)

● Exemple : IP54

- 5 => Protection contre les dépôts de poussière
- 4 => Protection contre les éclaboussements



Télémètre laser BOSCH DLE 150
Outillage / Soudage > Outillage spécial mesure (OU040000)

...30 m), ±3 mm. Indice de protection : IP 54 (protection contre la poussière et éclaboussures d'eau). Alim : 4 piles LR6 de 1,5 V (fournies). Poids : 480 g. Dim : 150 x 68 x 45 mm.

08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

8

Remarquez que l'indice IP 68 correspond à l'étanchéité complète.

Contraintes environnementales

- Généralités
- Protection physique
- **Température**
- **Humidité**
- Chocs & vibrations
- CEM
- EFT
- ESD
- Design des entrées /sorties

Norme EN 50155 : température

Tableau 1 – Température ambiante

Classe	Colonne 1	Colonne 2	Colonne 3	Colonne 4
	Température ambiante à l'extérieur du véhicule (EN 50125-1 Tableau 2, colonne 1) °C	Température à l'intérieur de l'armoire °C	Température à l'intérieur de l'armoire pendant 10 min °C	Température de l'air autour de la carte équipée °C
T1	-25 +40	-25 +55	+15	-25 +70
T2	-40 +35	-40 +55	+15	-40 +70
T3	-25 +45	-25 +70	+15	-25 +85
TX	-40 +50	-40 +70	+15	-40 +85

08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

La norme EN50155 définit les températures supportées dans les véhicules (surtout les trains). Notez que la température dans l’armoire (ou le boîtier) est supérieure de 15° à la température ambiante et que la température autour de la carte est supérieure de 30° à la température ambiante (pas dans les wagons voyageurs climatisés bien sur).

Composants : gamme de température

- **Commercial temperature range:**
 - 0°C to + 70°C

- **Industrial temperature range:**
 - - 40°C to + 85°C

- **Automotive temperature range (AEC-Q100)**
 - **Grade 1 : - 40°C to + 125°C**
 - **Grade 2 : - 40°C to + 105°C**

Il s'agit des gammes de température pour les composants soudés sur les cartes électroniques.

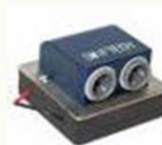
Méthodes de dissipation thermique

- Ventilation => IP ?

- Conduction cooling

- Fluid cooling

- Peletier



La **ventilation** est la méthode de dissipation la plus efficace. Mais le boîtier doit avoir des ouvertures, donc un indice de protection bas.

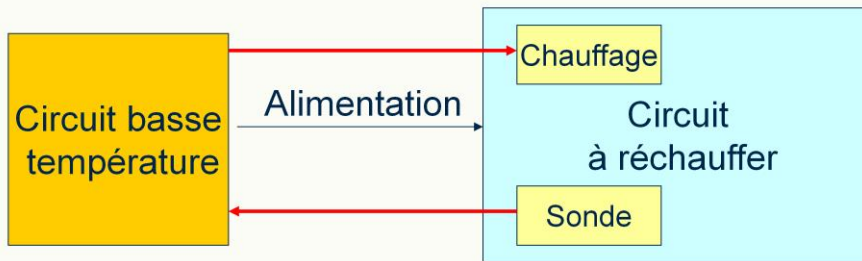
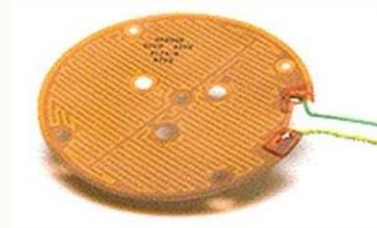
La méthode «**conduction cooling**» consiste à évacuer la chaleur par conduction dans le boîtier qui se comporte comme un radiateur. Les cartes sont recouvertes de plaques de métal en contact direct avec les composants.

Il est aussi possible d'évacuer la chaleur vers des radiateurs avec des fluides caloporteurs.

« Une **Cellule à Effet Peltier (CEP)**, appelée aussi module thermoélectrique, est un assemblage d'éléments semiconducteurs, entre deux semelles conductrices de la chaleur. Si on fait passer un courant électrique continu dans un tel montage, il apparaît une «face froide» qui absorbe des calories, et une «face chaude» qui dégage des calories. Une CEP est donc une pompe à chaleur, c'est-à-dire un dispositif capable de prendre des calories à une source froide pour les restituer à une source chaude » (documentation Seem).

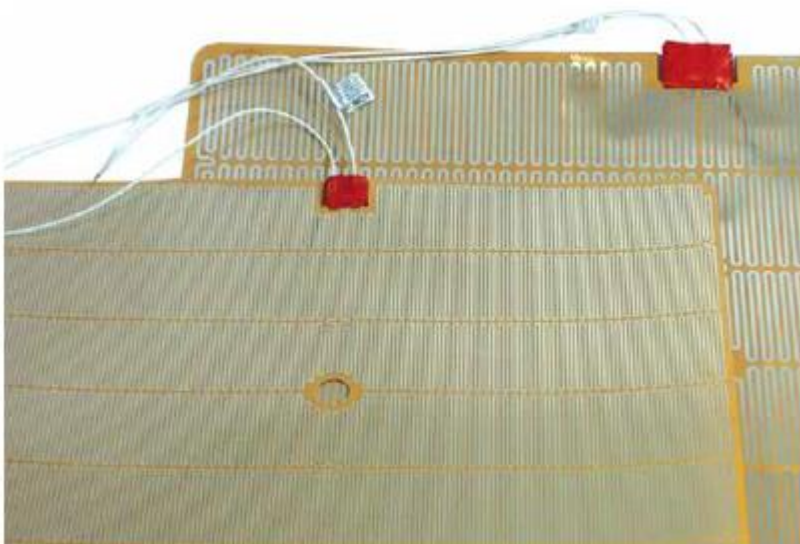
Préchauffage

- Radiateurs
- PCB (flexible)



Tous les composants électronique peuvent travailler à basse température à condition d'être préchauffés. Le circuit électronique est actif lorsque la température minimum pour un fonctionnement correct est atteinte.

Elément chauffant de Acim Jouanin



Humidité

- **Maximum 95% (sans condensation)**
- **Cas particuliers : brouillards salins, polluants,**
- **Solution : Vernis [de tropicalisation] sur les cartes (2 faces)**
 - Vernis fluorescent pour vérifier la couverture
 - Protection des connecteurs difficile
 - Rends le dépannage difficile => les cartes sont testées avant vernis ... et après

08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

14

Application de vernis :



Contraintes environnementales

- Généralités
- Protection physique
- Température
- Humidité
- **Chocs & vibrations**
- CEM
- EFT
- ESD
- Design des entrées /sorties

08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

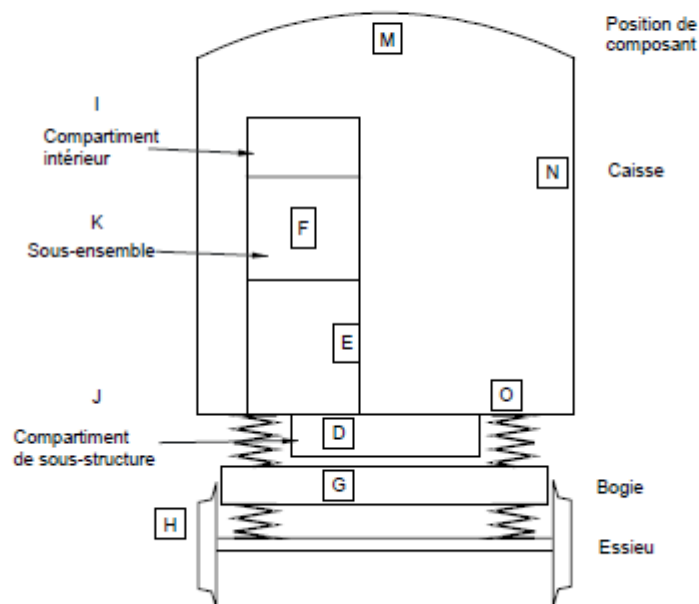
15

- Vibrations sinusoïdales
 - Vibrations aléatoires
 - Chocs
-
- Norme IEC 61373.

Exemple tiré d'une norme ferroviaire :

Figure identifiant l'emplacement général du matériel sur les véhicules ferroviaires et la catégorie d'essai qui en résulte

NOTE Ces catégories ne s'appliquent pas aux véhicules avec un seul niveau de suspension.



Protections anti-chocs

● Collage de composants sur les cartes



ENIDINE

ITT



08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

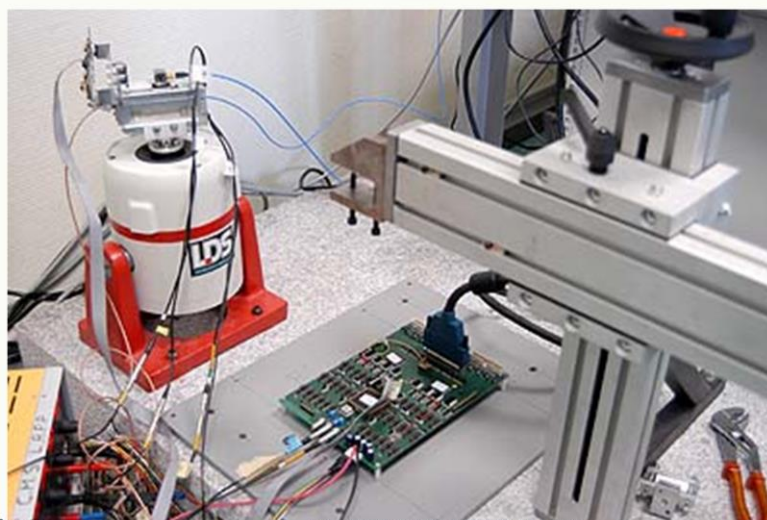
<http://www.rtd.com>

17

Les composants de masse importante doivent absolument collés ou maintenus mécaniquement sur les circuits imprimés. Si ce n'est pas le cas, le composant vibre indépendamment du circuit et les broches (pattes) du composant cassent

Chocs et vibrations - tests

- Test "random" en vibration à l'ESIA d'un tube photomultiplicateur du calorimètre électromagnétique AMS en vue de la qualification spatiale



08/03/2014

Conception systemes embarques TMSR

18

Un pot vibrant est un dispositif électromécanique permettant de déplacer le système en test sur les 3 axes. Le déplacement est parfaitement contrôlé et calibré (vibration sinusoïdale, impulsions,....).

Contraintes environnementales

- Généralités
- Protection physique
- Température
- Humidité
- Chocs & vibrations
- **CEM**
- **EFT**
- **ESD**
- Design des entrées /sorties

08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

19

Compatibilité électromagnétique

● CEM, EMC

- Absence d'émission de signaux perturbateurs
- Immunité aux perturbations de l'extérieur
- Norme générale CEI 61000
- Norme EN 50121 (ferroviaire)
- Marquage CE - EN 55011 et 55022

● Tests

- Rayonné: 50 MHz - 3 GHz
- Conduit : 0.5 MHz - 80MHz

08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

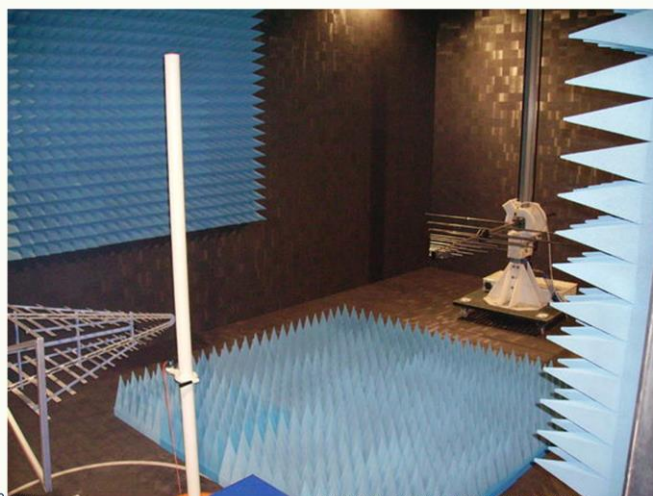
20

Les tests consistent à mesurer :

- 1 - les ondes rayonnées par un système (perturbation des autres systèmes)
- 2 - les ondes rayonnées qui peuvent perturber le système (susceptibilité)
- 3 - les signaux conduits (par câble) vers l'extérieur du système (perturbation)
- 4 - les signaux conduits qui peuvent perturber le système (susceptibilité)

Compatibilité électromagnétique

- Cage de faraday
- Chambre anéchoïque



08/03/2014

Conception systèmes embarqués - IM3K

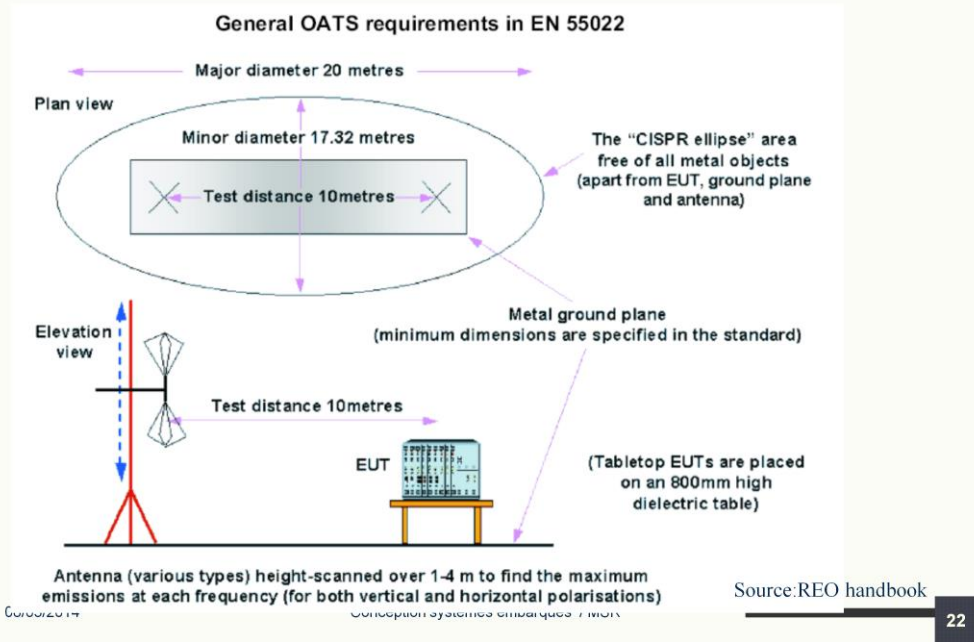
21

La salle de mesure est une cage de Faraday – entièrement blindée – pour éviter une perturbation par des signaux externes.

Les parois sont revêtues de matériaux absorbant les ondes électromagnétiques (chambre anéchoïque) pour ne mesurer que le champ direct, et non pas les ondes réfléchies par les parois.

Voir <http://www.montena.com>

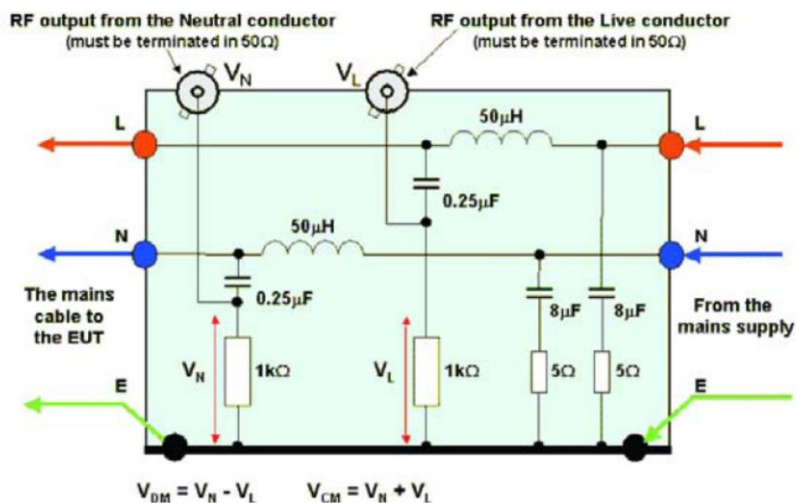
CEM – tests rayonnés



La figure ci-dessus montre la méthode d'analyse des rayonnements émis par un équipement. Le sol doit être une plaque métallique (plan de référence)

CEM – tests conduits

The schematic of a single-phase LISN that uses the "50Ω/50μH+5Ω" network



Source: REO handbook

08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

23

Les test conduits permettent de mesurer les signaux perturbants passant par les câbles (ci-dessus par le câble secteur). Les signaux perturbants HF provenant de l'équipement connecté (EUT) sont bloqués par les selfs et mesurés via les prises coaxiales.

Transitoires rapides

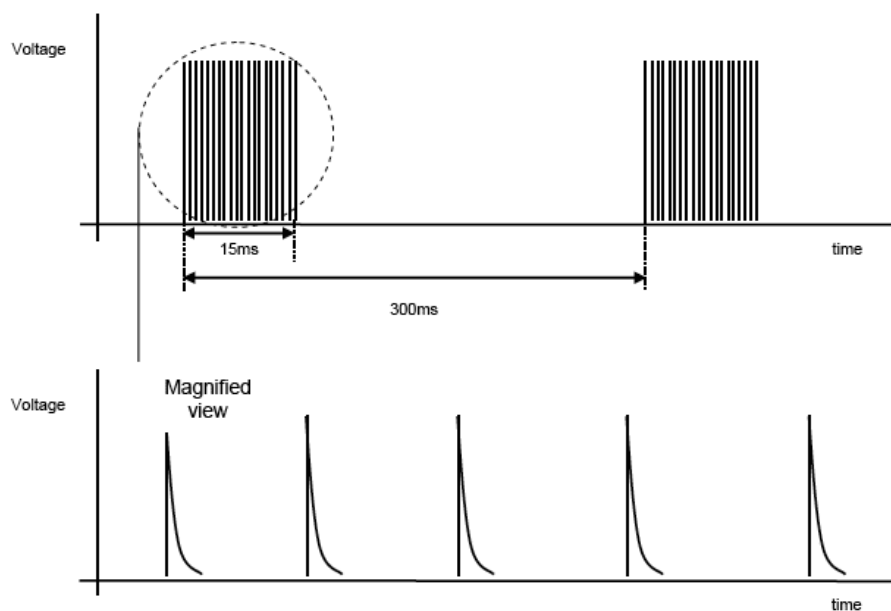
- EFT (Electrical fast transient)
- Choc électriques sur entrées / sorties
- Tests
 - 1 ou 2 KV
 - salves : 5ns – 50ms
 - ondes de choc : 1.2 μ s - 50 μ s

08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

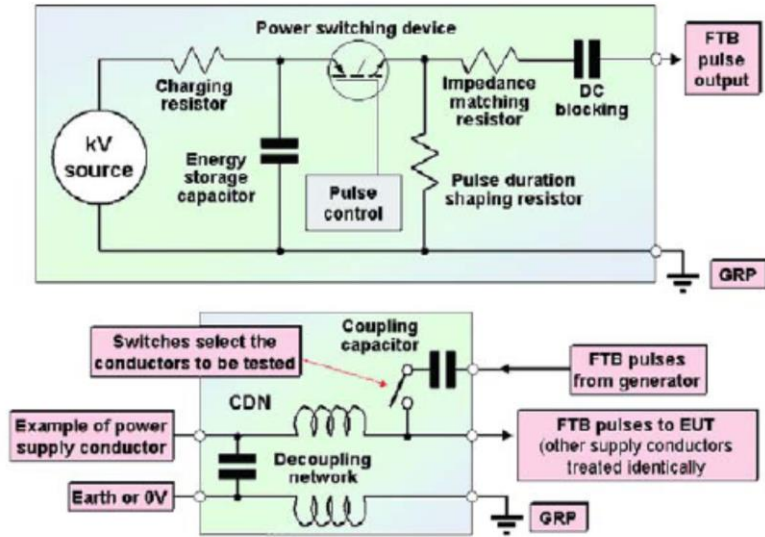
24

Exemple de salves :



EFT – Test rafales (bursts)

FTB generator and coupling/decoupling network



08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

Source:REO handbook

Les impulsions à haute énergie sont obtenues par décharge de condensateur. Elles sont appliquées sur les entrées ou sorties du système.

Décharges électrostatiques

- ESD (ElectroStatic Discharge)
- Appui touches ou connecteur par être humain (1 à 20KV)
- EN 5012-3-2 (ferroviaire)

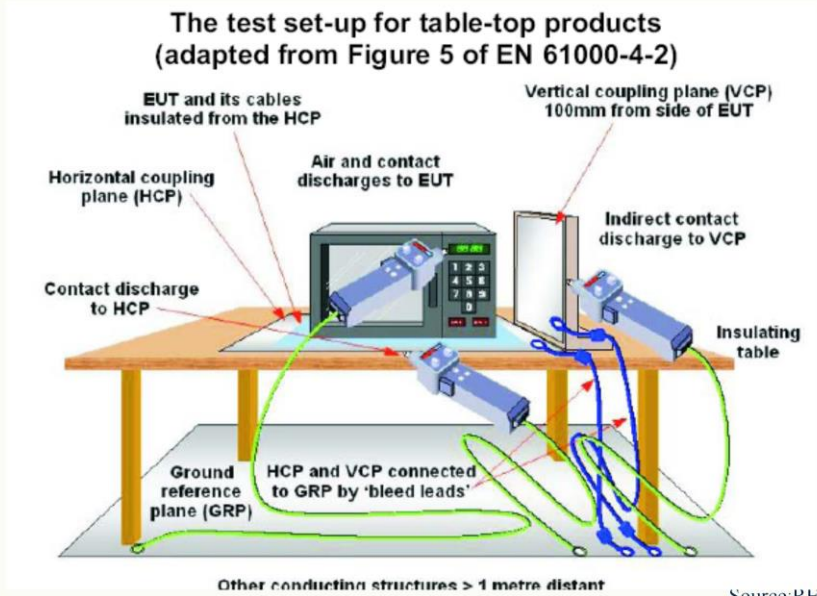
- Tests
 - 6KV contact
 - 8KV à distance

08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

26

ESD - tests



08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

Source:REO handbook

27

Le «pistolet» à décharge électrostatique est appliqué sur les parties sensibles, sans contact électrique nécessaire, par exemple une touche de clavier.

Contraintes environnementales

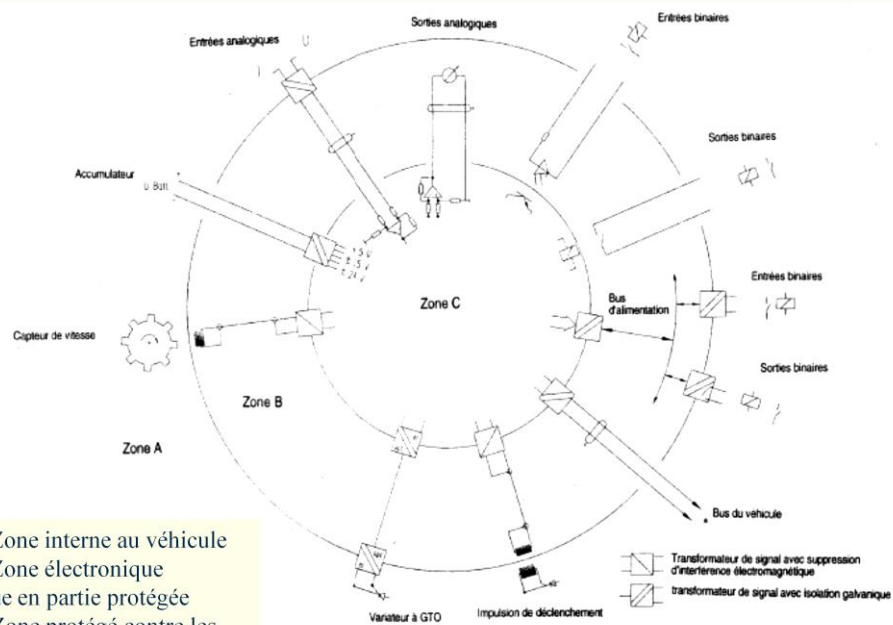
- Généralités
- Protection physique
- Température
- Humidité
- Chocs & vibrations
- CEM
- EFT
- ESD
- **Design des entrées /sorties**

08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

28

Interfaçage du système



Zone A = Zone interne au véhicule
Zone B = Zone électronique périphérique en partie protégée
Zone C = Zone protégée contre les interférences

Conception systèmes embarqués / MSR

Le diagramme ci-dessus représente un véhicule contenant un boîtier électronique avec diverses entrées et sorties. La limite entre la zone A et la zone B est le boîtier de l'équipement électronique. La carte électronique (qui peut être protégée par un blindage) est en zone C. La zone B représente l'interconnexion entre les entrées sorties du boîtier et la carte. La zone A et la zone C sont isolés électriquement par des transformateurs, des opto-coupleurs et des relais.

Contraintes environnementales

- **Design des I/Os : les enjeux**
- **Éléments déterminants :**
 - Liaison asymétrique / symétrique
 - Adaptation d'impédance
 - Blindage
 - Isolation
- **Protection des entrées / sorties**
 - Filtrage EMI
 - Protection EFT/ESD

08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

30

Le design des entrées/sorties est fondamental. Il faut prendre en compte les éléments ci-dessus pour obtenir une protection efficace (EMI, EFT, ESD) contre les interférences extérieures et éviter de perturber les équipements voisins.

Contraintes environnementales

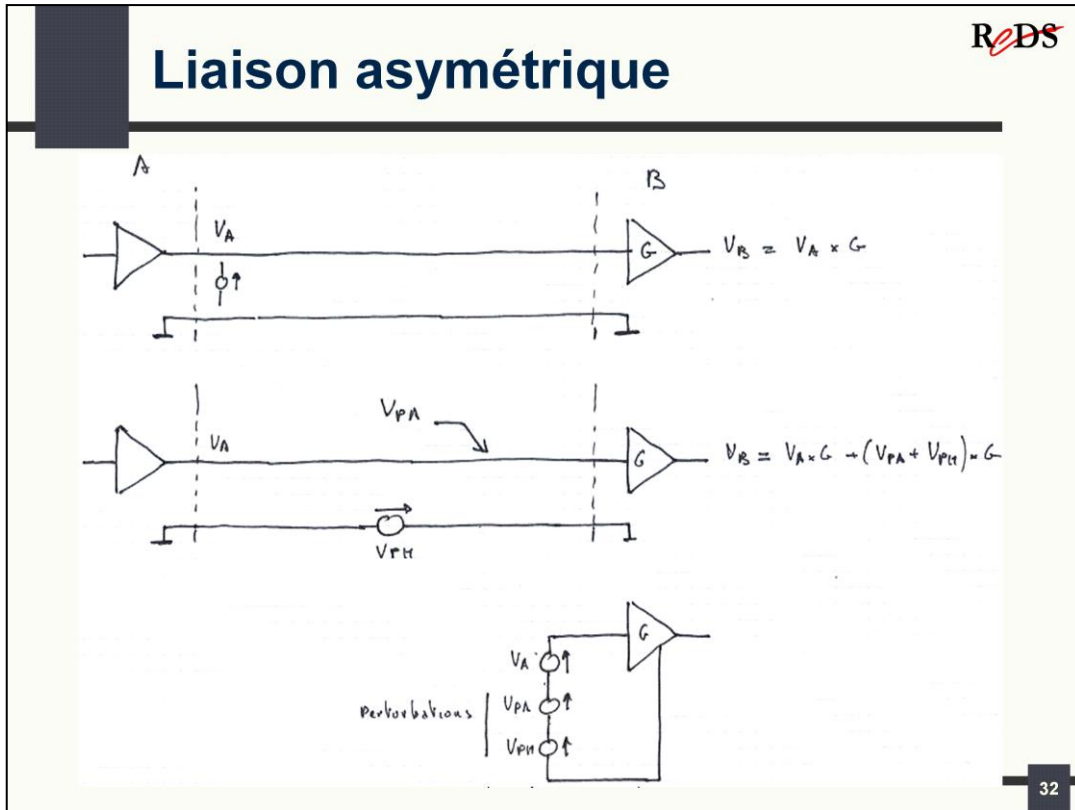
- Design des I/Os : les enjeux
- **Éléments déterminants :**
 - **Liaison asymétrique / symétrique**
 - **Adaptation d'impédance**
 - **Blindage**
 - **Isolation**
- Protection des entrées / sorties
 - Filtrage EMI
 - Protection EFT/ESD

08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

31

Liaison asymétrique



Une liaison asymétrique entre deux équipements s'effectue en appliquant une tension sur un conducteur en référence à la masse. La liaison s'effectue par un câble blindé avec deux conducteurs (dont le blindage). Un fil conducteur est placé à l'intérieur d'une tresse métallique (la masse).

Soit une tension V_A à transmettre.

Dans des conditions idéales, le récepteur reçoit $V_B = V_A \cdot G$

Supposons une perturbation aérienne par rapport à la masse V_{PA} et une différence de potentiel entre les deux masses des équipements V_{PM} .

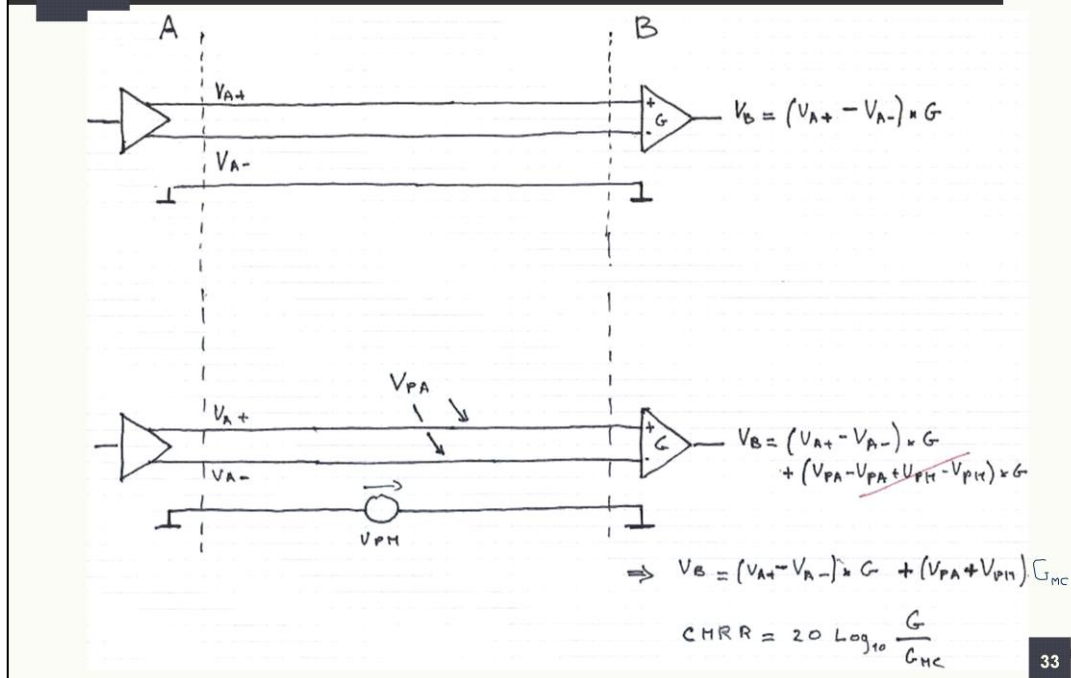
Dans ces conditions, le récepteur reçoit $V_B = [(V_A + V_{PA} + V_{PM}) \cdot G]$

Les perturbations aériennes et les DDP entre masses perturbent le signal. La liaison asymétrique n'offre pas une bonne réjection des perturbations et ne permet pas des liaisons de longue distance et/ou en milieu perturbé.



Connecteur asymétrique et câble blindé

Liaison symétrique



Une liaison symétrique (ou différentielle) entre deux équipements s'effectue en appliquant une tension entre deux conducteurs. La liaison s'effectue par un câble blindé avec deux conducteurs, plus le blindage. Deux fils conducteurs torsadés sont placés à l'intérieur d'une tresse métallique. Le récepteur effectue la différence par rapport à la masse entre les deux tensions reçues.

Soit une tension V à transmettre. En mode symétrique, par rapport à la masse

$$V = V_{(A+)} - V_{(A-)}$$

Supposons une perturbation aérienne par rapport à la masse V_{PA} et une différence de potentiel entre les deux masses des équipements V_{PM} .

Dans ces conditions, le récepteur reçoit

$$V_B = [(V_{(A+)} - V_{(A-)}) \cdot G + (V_{PA} - V_{PA} + V_{PM} - V_{PM}) \cdot G] = (V_{(A+)} - V_{(A-)}) \cdot G$$

Les perturbations aériennes et les DDP entre masses sont réjectées si le récepteur est «bien symétrique», c'est-à-dire que le taux de réjection en mode commun est élevé.

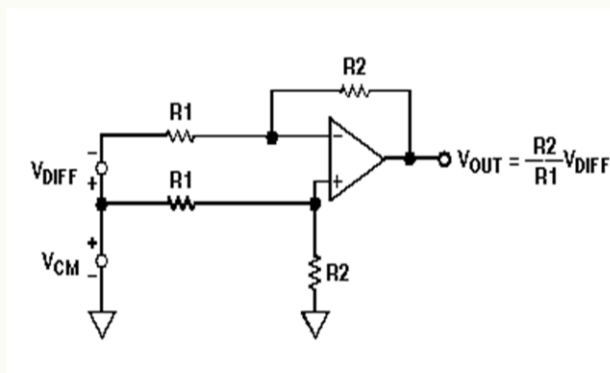
La liaison symétrique est recommandée tant pour des signaux numériques que pour des signaux analogiques.



Connecteur symétrique et câble blindé

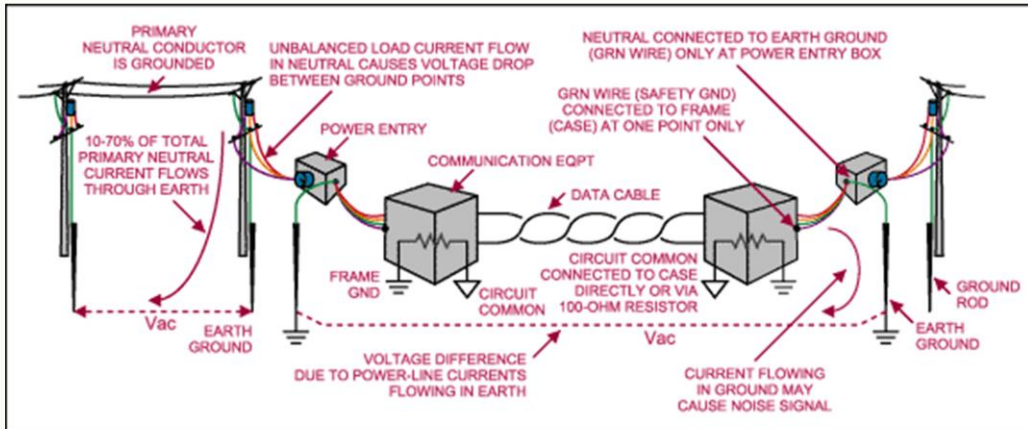
Exemple entrée symétrique

- Le CMRR dépend de la précision des résistances R1 et R2



Ce type d'étage d'entrée symétrique réalisé avec un seul amplificateur opérationnel ne donne pas d'excellent résultat en matière de réjection en mode commun. On lui préfère des circuits à 3 amplis opérationnels.

Interconnexion système



08/03/2014

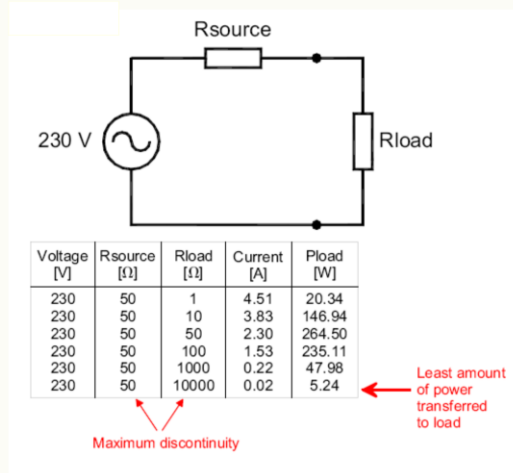
Conception systèmes embarqués / MSR

35

Le diagramme ci-dessus montre les perturbations causées au signal par le courant de terre (du à un déséquilibre de phase) circulant entre deux équipements connectés au secteur.

Adaptation d'impédance

- **Adaptation impédance entre une source et un récepteur**
 - Transfert en tension, courant ou puissance



08/03/2014

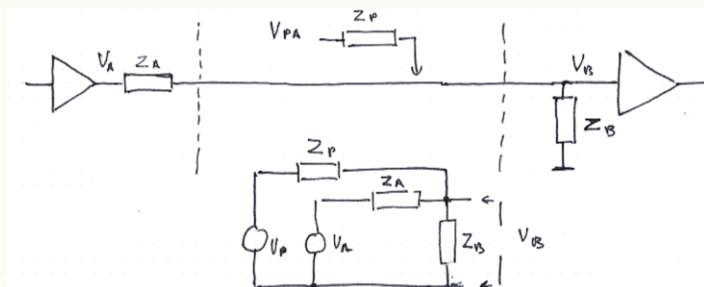
Conception systèmes embarqués / MSR

36

L'adaptation d'impédance, qui maximise la puissance transmise, diminue la sensibilité aux perturbations. Ainsi le câble BNC (impédance 50 ohms) est utilisé dans tous les laboratoires pour interconnecter les équipements. Bien qu'il s'agisse d'une liaison asymétrique, l'adaptation d'impédance du câble et des connecteurs garantit une bonne intégrité du signal sur de courtes distances.

Adaptation d'impédance

- Source de perturbation = générateur de tension avec impédance élevée
- Adaptation courant ou puissance => sensibilité moindre aux perturbations
- Dans la bande de fréquence des perturbations, Z_B doit être faible



08/03/2014

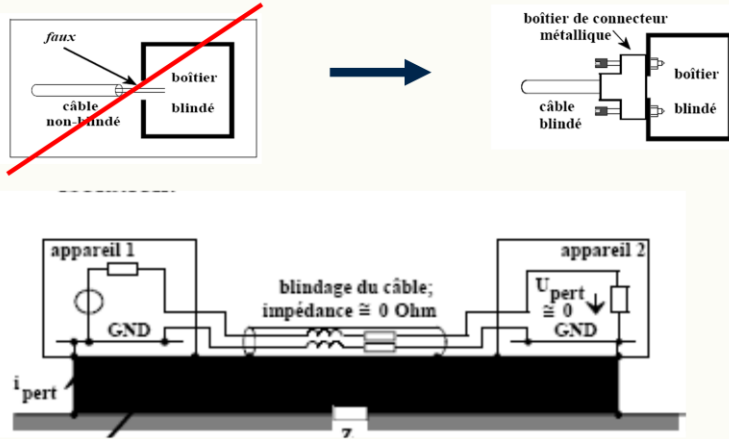
Conception systèmes embarqués / MSR

37

D'une manière générale, l'impédance d'entrée doit être la plus faible possible dans la bande de fréquence des perturbations. L'impédance de la source de perturbation étant en général élevée, on réalise ainsi un diviseur de tension (ou un filtre du point de vue fréquentiel) qui atténue la perturbation.

Blindage

● Blindage => continuité indispensable



08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

http://www.montana.com/eme_files/eme/CONCEPTION_CEM_FR.pdf

38

Le blindage permet d'atténuer les perturbations. Il faut que le blindage soit «étanche» c'est-à-dire ne présente pas de discontinuités, sous forme d'ouvertures laissant passer la perturbation.

Isolation

- **Avantages**

- Pas de courant de masse
- CMRR très élevé => Immunité aux perturbations

- **4 techniques :**

- Opto-coupleur / fibre
- Relais
- Transformateur
- Condensateur

- **Isolation des I/Os**

- Signaux numériques
- Signaux analogiques

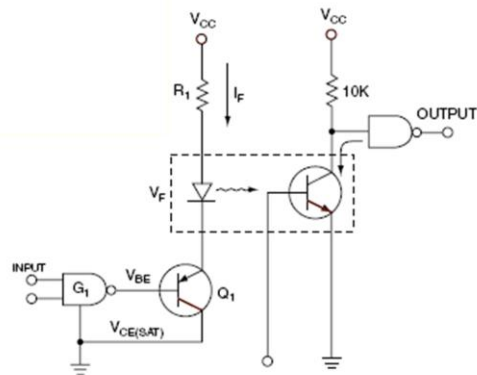
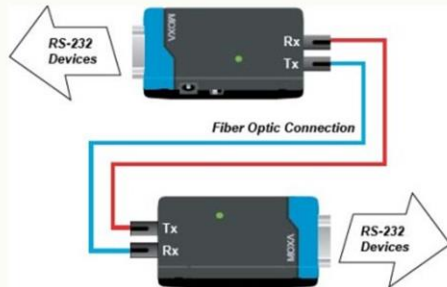
Isolation : les standards

Application	U.S.	Europe	International
Industrial	UL 508	EN 50178	IEC 604
Information Technology	UL 1950	EN 60950	IEC 950
Medical	UL 2601-1	EN 60601	IEC 601
Measurement and Control	UL 3111	EN 61010-1	IEC 1010-1
Telecom	UL 1459	EN 60950	IEC 950
Household	UL 8730-1	EN 60065	IEC 65

08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

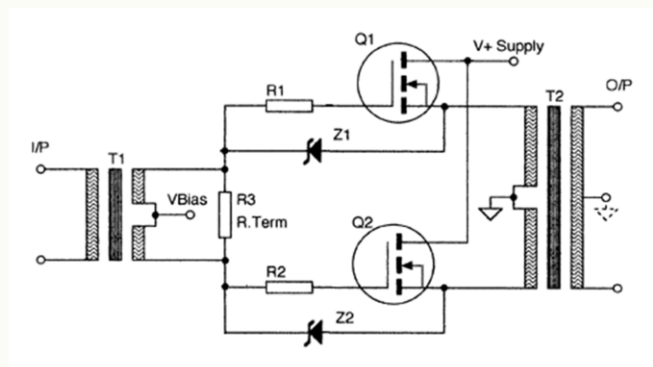
Isolation par optocoupleur ou fibre



La transmission optique est totalement immune aux perturbations électromagnétiques. En l'absence de connexion électrique (utilisation d'opto-coupleur ou de fibre optique) pour interconnecter deux équipements, les signaux électriques sont toujours référencés par rapport à la masse interne de chacun des appareils.

Isolation par transformateur

- Adaptation impédance
- Isolation galvanique



08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

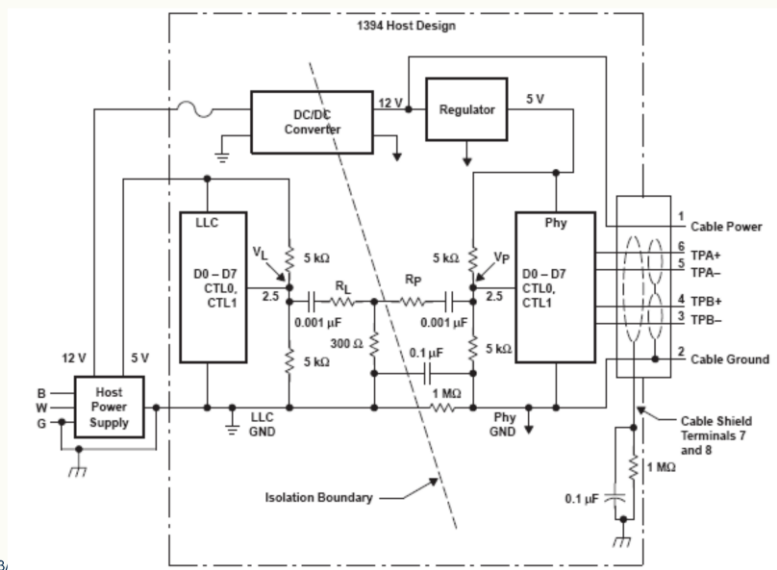
<http://www.audiophonics.com>

42

Deux circuits sont isolés électriquement lorsqu'aucun courant ne peut circuler entre les deux circuits. C'est le cas d'une isolation par transformateur dont les enroulements primaires et secondaires sont isolés l'un par rapport à l'autre. Rappelons cependant que seule une tension alternative passe du primaire au secondaire d'un transformateur, ce qui limite les applications.

Isolation par condensateur

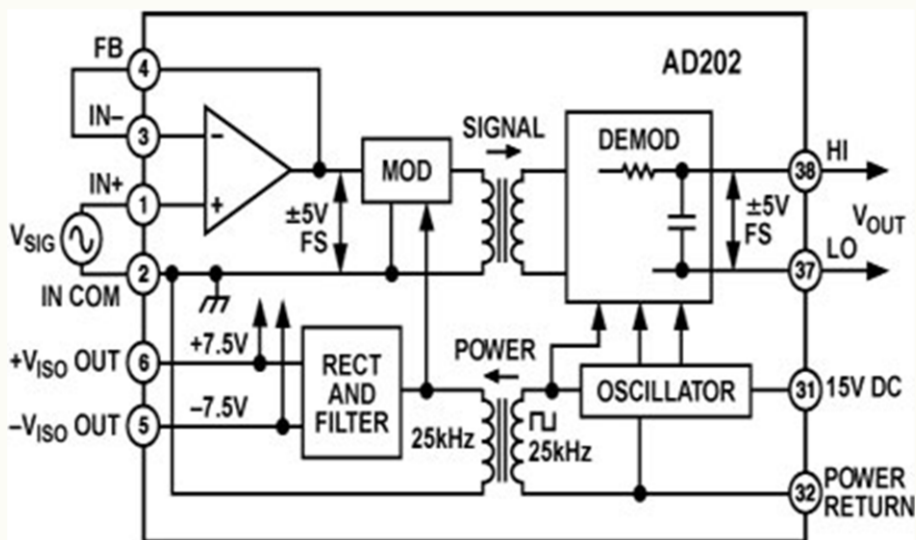
● Exemple interface IEEE 1394 (TI)



08/03

Exemple d'isolation par condensateur. Là aussi seule une tension alternative peut circuler de part et d'autre de la barrière d'isolation. Notons que les alimentations de chacune des deux parties du circuit sont également séparées à l'aide d'un convertisseur DC /DC qui contient un transformateur.

Exemple 1: Entrée analogique isolée



08/03/2014

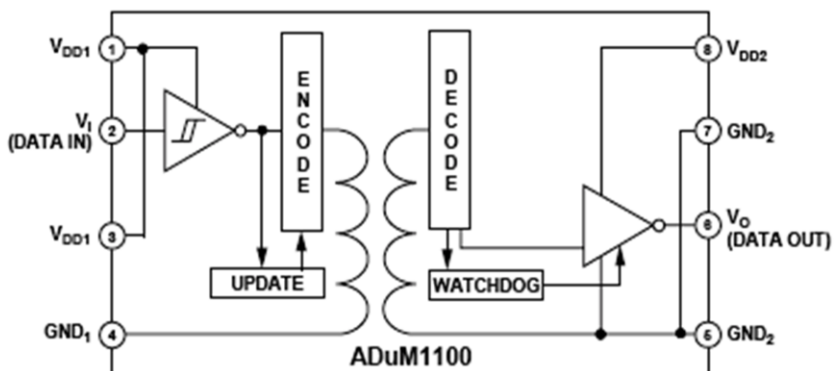
Conception systèmes embarqués / MSR

Analog Devices

44

Ici un exemple d'isolation totale par transformateur dans un composant Analog Devices. L'entrée analogiques module un signal qui sera ensuite démodulé de l'autre coté du transformateur.

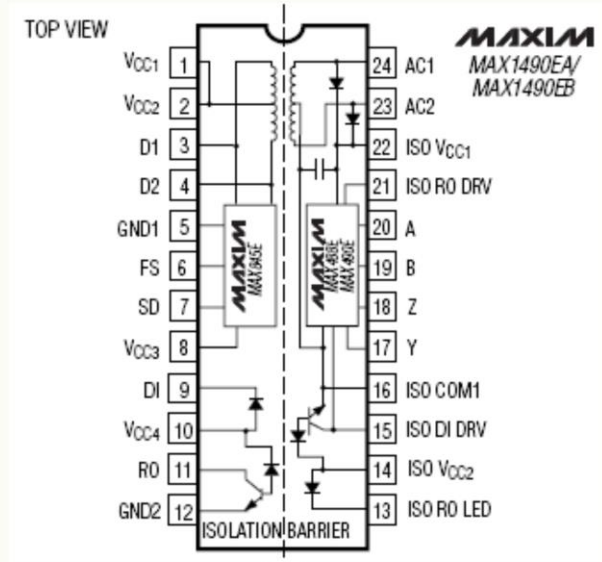
Exemple 2: Entrée numérique isolée



NOTES
 1. FOR PRINCIPLES OF OPERATION, SEE METHOD OF OPERATION, DC CORRECTNESS, AND MAGNETIC FIELD IMMUNITY SECTION.

Un autre d'isolation d'un signal numérique par transformateur. L'encodeur produit un signal alternatif qui «passe» au travers du transformateur.

Exemple 3 : Ligne série RS-485 isolé

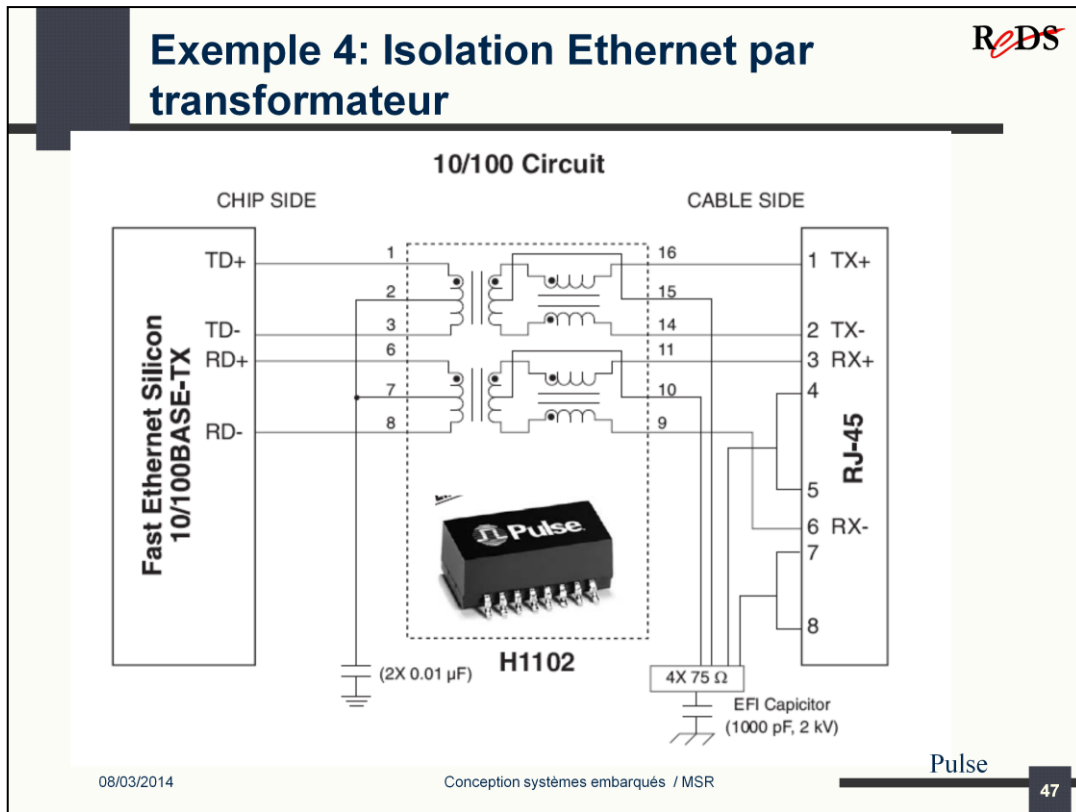


08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

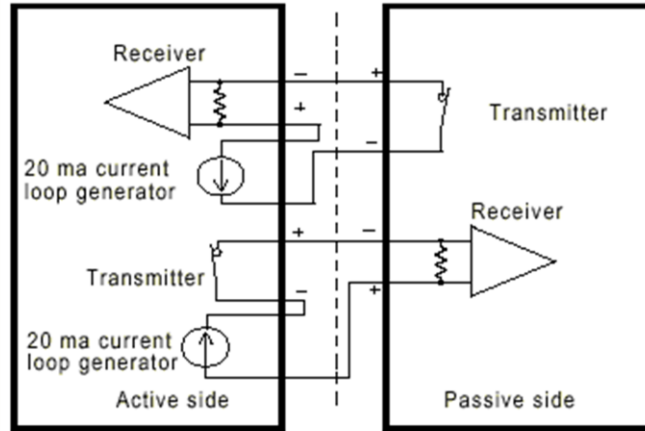
Un exemple d'isolation mixte par opto-coupleur pour le signal numérique et par transformateur pour l'alimentation.

Exemple 4: Isolation Ethernet par transformateur



Un tel transformateur est présent dans tous les équipements reliés par Ethernet qui sont ainsi électriquement isolés. Ceci permet une liaison à longue distance entre les routeurs et les équipements connectés.

Exemple 5 : Boucle de courant 4-20mA



08/03/2014

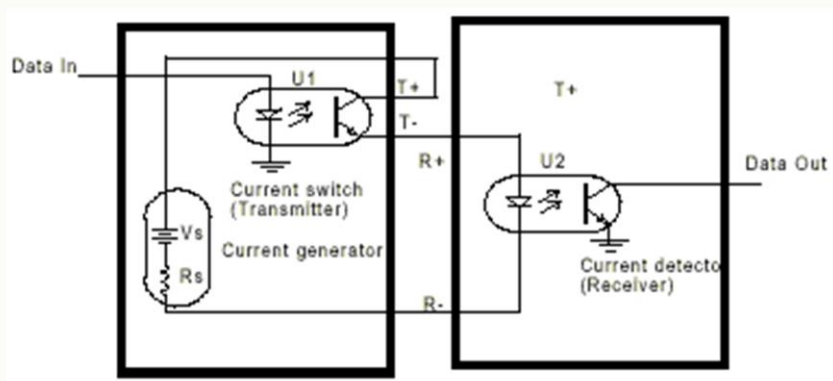
Conception systèmes embarqués / MSR

B&B Electronics

48

Exemple 5 : Boucle de courant 4-20mA

● Isolation par opto-coupleur



08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

B&B Electronics

49

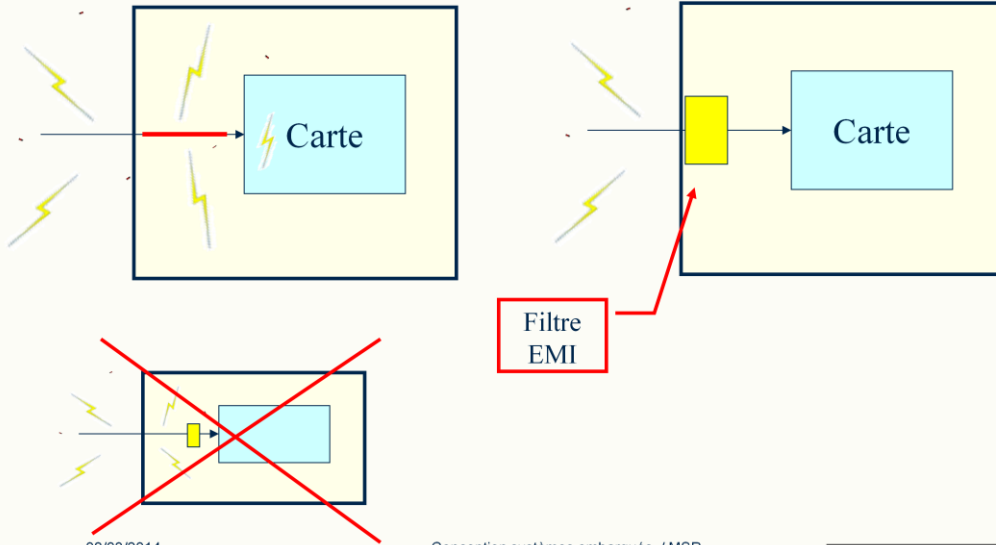
La boucle de courant avec isolation par opto-coupleur est la méthode traditionnelle pour interfacer un switch dans un milieu fortement perturbé (machine outil par exemple). Le switch en se fermant fait circuler un courant dans la boucle, ce qui active un opto-coupleur. Il est très difficile de perturber un tel circuit car l'impédance de la source est élevée et l'impédance du récepteur est très faible.

Contraintes environnementales

- Design des I/Os : les enjeux
- Éléments déterminants :
 - Liaison asymétrique / symétrique
 - Adaptation d'impédance
 - Blindage
 - Isolation
- **Protection des entrées / sorties**
 - **Filtrage EMI**
 - **Protection EFT/ESD**

Protection EMI (CEM)

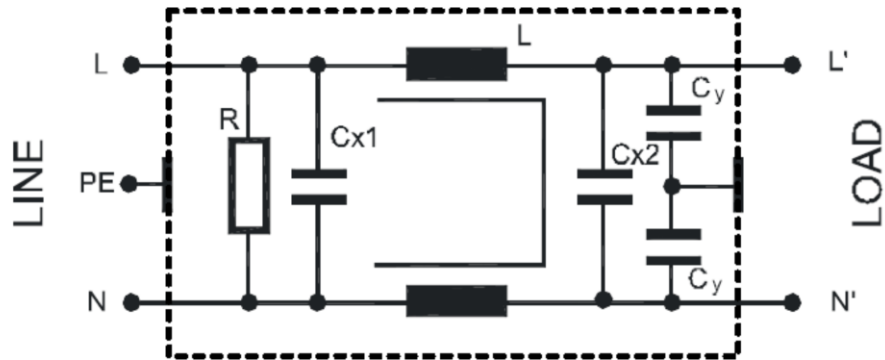
- **Filtre au plus près du châssis**



Un simple bout de fil de quelque millimètres rayonne comme une antenne à l'intérieure du boîtier. La perturbation ne doit pas rentrer dans le boîtier. Le filtre doit être au plus prêt du blindage du boîtier (parfois dans le connecteur).

Protection EMI (CEM)

Filtres RLC



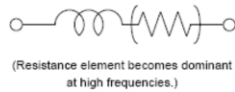
08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

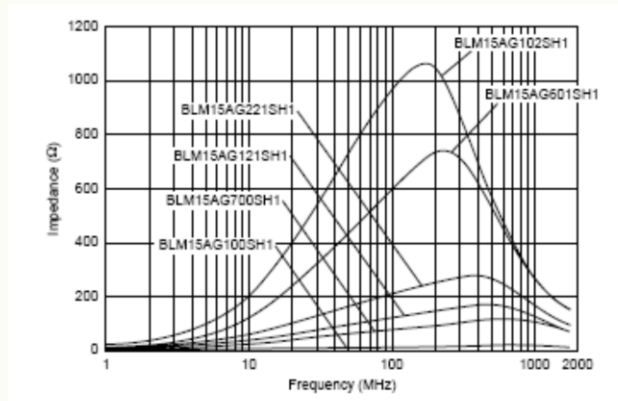
Exemple de protection EMI sur une arrivée secteur par filtre LC passe-bas (coupure des hautes fréquences).

Protection EMI (CEM)

Ferrites



(Resistance element becomes dominant at high frequencies.)



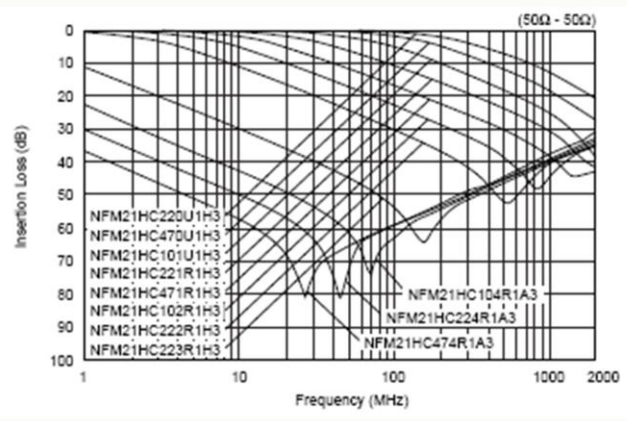
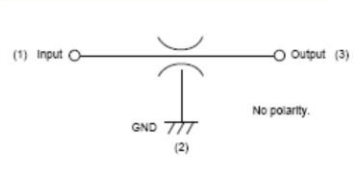
08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

La ferrite est un composant dont l'impédance dépend de la fréquence du signal. Ce composant, monté en série, formera un filtre réjecteur dont l'efficacité dépend de l'impédance d'entrée du circuit. Par exemple, si l'impédance d'entrée est 10 ohms à 100 MHz, la ferrite BLM15AG102SH1 apportera une atténuation de 100 (-40dB) à cette fréquence. En mettant un condensateur en parallèle sur l'entrée, on diminue l'impédance d'entrée du circuit aux hautes fréquences.

Protection EMI (CEM)

Filtres capacitifs



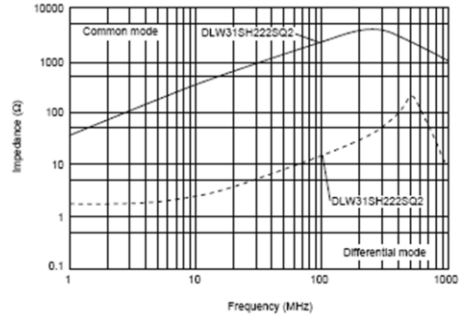
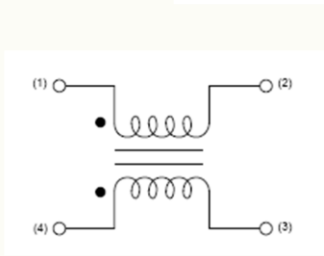
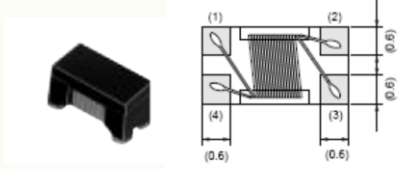
08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

Exemple de filtres capacitifs utilisés en série sur des lignes 50 ohms. L'atténuation peut atteindre -80dB avec certains composants présentés ci-dessus.

Protection EMI (CEM)

● Filtres réjection mode commun



08/03/2014

Conception systèmes embarqués / MSR

55

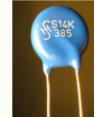
Ce filtre augmente la réjection de mode commun (même perturbation appliquée en 1 et 4)
Le courant circulant de 1 vers 2 s'oppose au courant circulant de 4 vers 3.

Protection ESD / EFT

- **Gaz arrestor**
 - Arc dans un gaz



- **Varistor**
 - Diodes avec effet d'avalanche



- **Transient Zener Diodes (Transzorb)**



08/03/2014

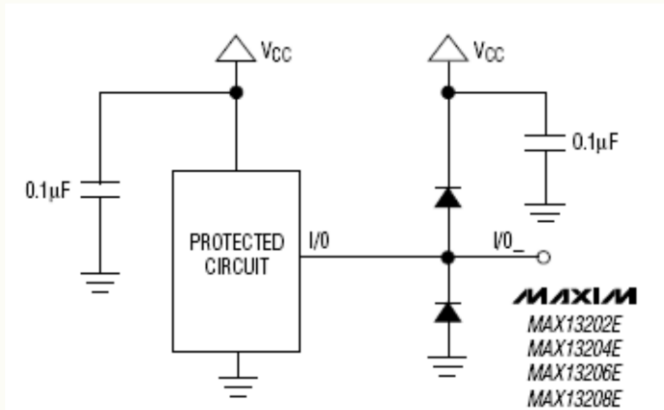
Conception systèmes embarqués / MSR

56

Ces protections suppriment les surtensions temporaires en devenant conductrices. Elles sont montées en parallèle sur l'entrée des circuits.

Protection ESD

- High-Speed Data-Line ESD Protection
- IEC 61000-4-2
 - $\pm 15\text{kV}$ —Human Body Model
 - $\pm 30\text{kV}$ —Air-Gap Discharge



08/03/2014

57

Ces circuits intégrés Maxim offrent une excellente protection contre les décharges électrostatiques. De tels circuits (ou similaires) sont présents sur la plus part des entrées sensibles des équipements embarqués.
