

Regard critique sur les pratiques de tests BCI

Michel MARDIGUIAN - m.mardiguan@orange.fr

Rappels

Principe fondateur : (Réf. **Nigel Carter**, Royal Air Force: **Development of a Revised Susceptibility Test for Avionics**, IERE/EMC Conference, Surrey, 1982).

Suite à incidents graves prouvant l'inadéquation des essais RS classiques, une nouvelle approche a été mise au point dans les années 1980-82 :

- Campagnes de mesures de I_{toron} lors d'illumination de cellules-types d'avions.
- Etablissement de gabarits-types I (mA) / E (V/m) avec prise en compte de considérations statistiques : moyenne, écart-type etc...
- Calibration par nivelage de la puissance injectée (absorbée) dans la pince pour garantir I_{toron} sur un « jig » de test de $50 \Omega + 50 \Omega$.
- Injection sur les câbles de l'EST du niveau réglé en calibration.

D'où une méthode de substitution, remplaçant au moins en qualification d'équipement, la véritable illumination rayonnée → 300MHz environ.

Quel sont le principe et la justification des tests BCI ?

Injecter des courants de mode commun équivalents à une illumination champ à câble, mais avec une puissance nécessaire moins importante.

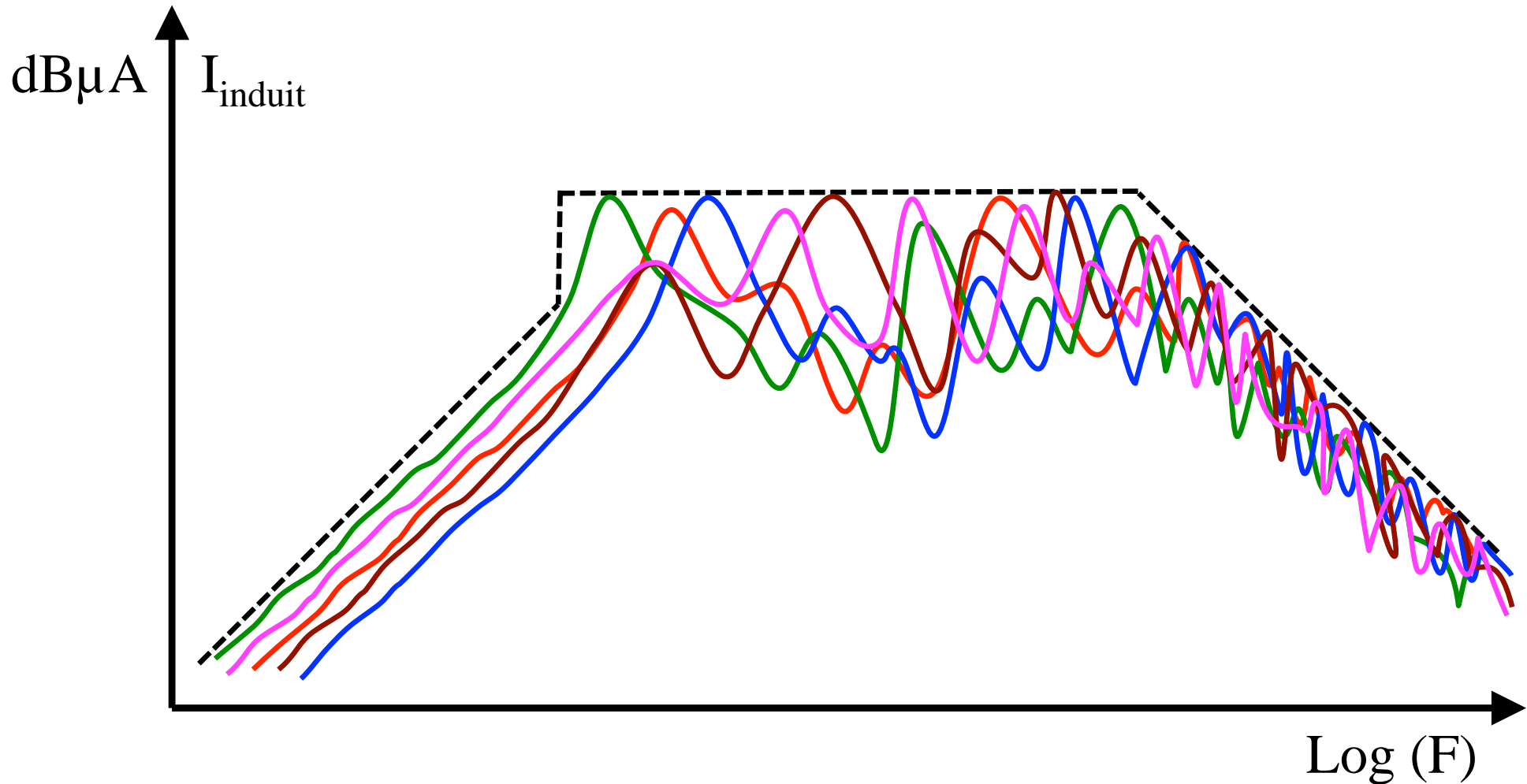


Fig 1 Relevé de courants de différents torons sous illumination réduite (Ex. 1 V/m)

Principe d'application de la méthode BCI.

Corrélation (à $2 \sigma \approx 95\%$) pour un câble à 5 cm d'un plan de masse :

$$I_{\text{toron}} = 1,5 \text{ mA} / (\text{V/m})$$

Note : Une évaluation à partir de modèles très simples, de la première résonance du toron jusque 600 MHz, donne un résultat voisin : 2 mA / (V/m).

Une fois la calibration effectuée, on dispose d'un outil (Géné + Ampli + pince) permettant d'insérer dans la boucle toron-plan de masse un générateur de tension virtuel ($R_{\text{source}} < 50 \Omega$) équivalent à la f.e.m qui apparaîtrait si on illuminait réellement le câblage par le champ prescrit.

- Limites de la méthode :
- Incohérence en cas de relation non linéaire entre E et I_{toron} si le courant injecté est asservi (en boucle fermée).
 - Attention aux branches des faisceaux très ramifiés.

Schéma équivalent d'une pince d'injection HF

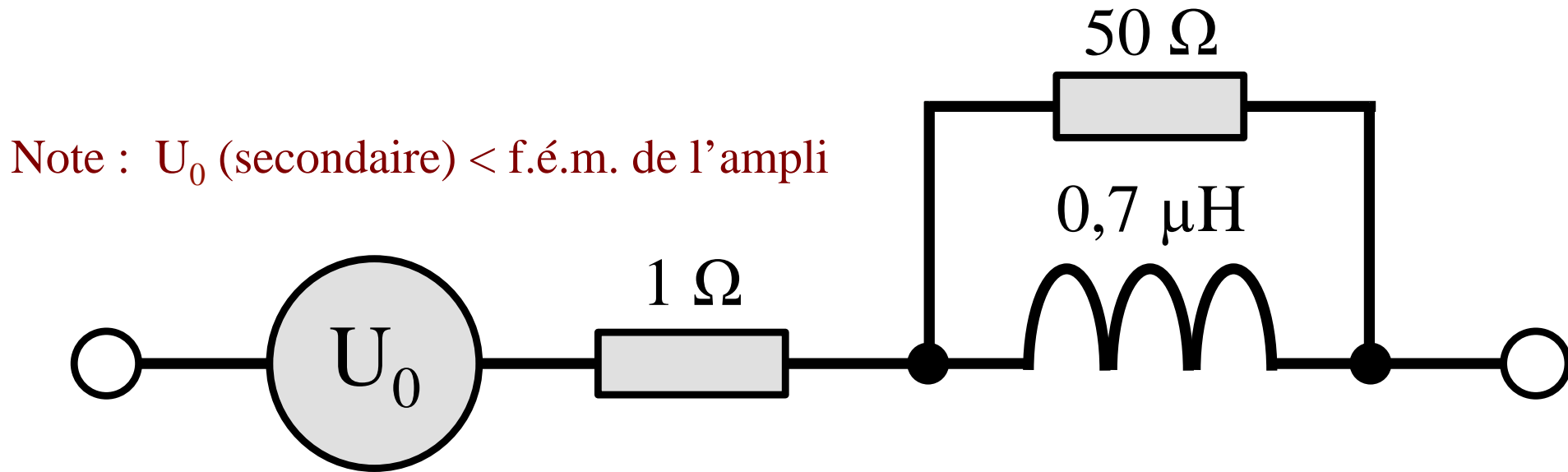


Fig. 2 : Générateur équivalent au secondaire d'une pince d'injection HF typique

$Z_{\text{secondaire}}$ pince BF $< 5 \Omega$ pour $F < 1 \text{ MHz}$

$Z_{\text{secondaire}}$ pince HF $\approx 50 \Omega$ pour $F > 10 \text{ MHz}$

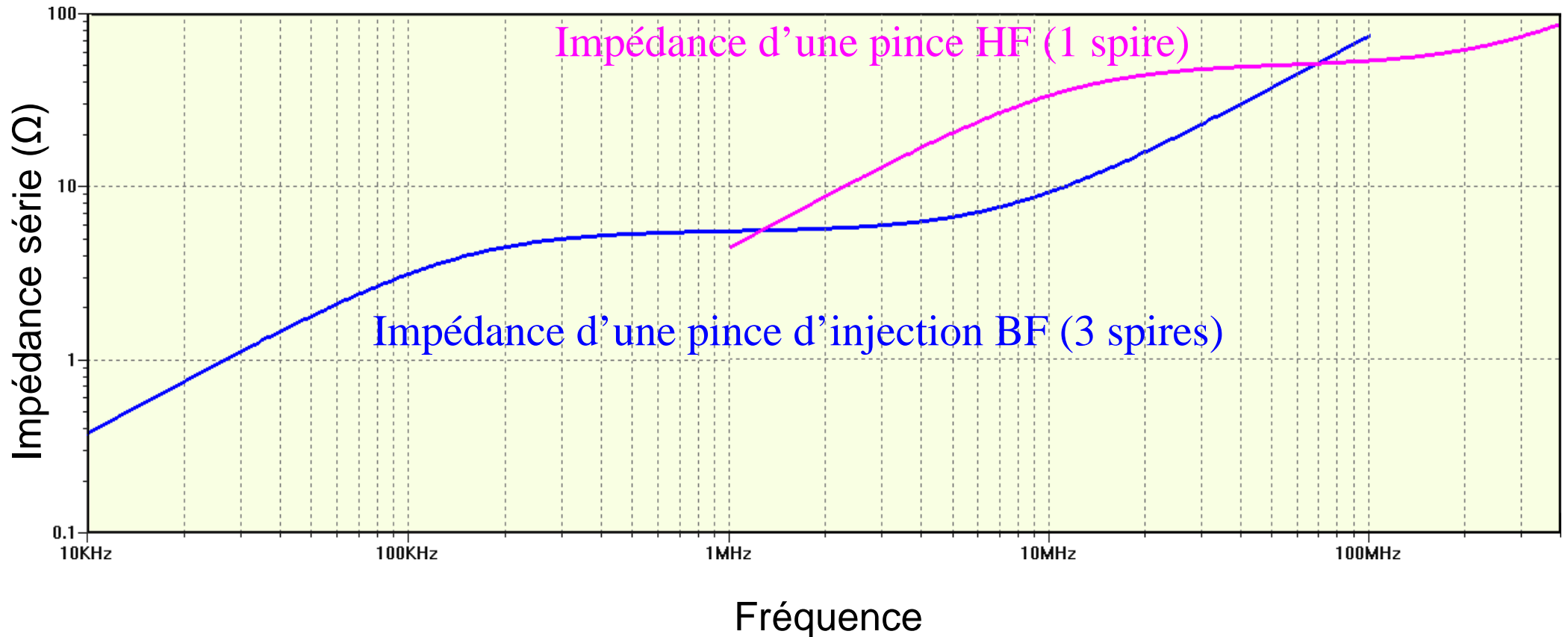
Pour $I_{\text{toron}} = 300\text{mA}$:

• si $F < 1\text{MHz}$: $U_0 \approx 0,3 \text{ A} \times 100 \Omega = 30 \text{ V}_{\text{eff}}$

• si $F \geq 10\text{MHz}$: $U_0 \approx 0,3 \text{ A} \times 150 \Omega = 45 \text{ V}_{\text{eff}}$

Conséquence aux fréquences basses

L'impédance d'une pince d'injection BF est basse au-dessous de 1 MHz :



Une pince se comporte en BF comme un générateur pouvant délivrer nettement plus de courant que dans un jig de $50 \Omega / 50 \Omega$. Ceci est normal et conforme à la réalité, du moins tant que la tension appliquée en MC n'est pas trop supérieure à la réalité.

Conséquences directes du schéma équivalent

Partant de là, le réglage de la puissance P_{calib} **devrait être conservé** :

- a) s'il correspond à la f.e.m induite par la composante H du champ perturbateur dans la polarisation la plus agressive en Mode Commun.
- b) Selon l'impédance réelle de boucle imposée par les équipements, pour une même f.e.m., le courant réel surveillé en lecture peut être $< \text{ou} >$ à I_{calib} .

Note 1 : A sa première fréquence de résonance un toron peut présenter une impédance $\ll 100 \Omega$. Le courant injecté peut alors environ tripler par rapport au courant calibré dans $50 \Omega / 50 \Omega$.

Note 2 : Un test HF en « boucle ouverte » (sans asservir le courant) est plus rapide et mieux reproductible qu'un test en « boucle fermée » (avec courant asservi) qui dépend beaucoup plus du « setup » (longueur des câbles) et des positions des pinces (d'injection et de mesure).

Pratiques fréquentes

Des habitudes se sont installées de considérer la pince comme un générateur de courant qu'il faudrait asservir :

1) Si I_{calib} n'est pas atteint, on augmente P jusqu'à retrouver I_{calib} jusqu'à $4 \times P_{\text{calib}}$ (selon les cahiers des charges automobile) afin de ne pas surtester, voire endommager l'EST en tension.

2) Si I_{calib} est dépassé, on réduit le niveau injecté (jusqu'à $0,25 \times P_{\text{calib}}$) pour atteindre I_{calib} afin d'éviter de sur-tester l'EST en courant (DO160 et automobile).

Chaîne analogique 10 MHz à 3 GHz

Dynamique 10 (DO160 et automobile)

Autonomie : > 24 heures

Revenons aux fondamentaux

Ce qui compte, c'est que la f.e.m. appliquée à la boucle toron-structure reste celle que provoquerait l'incidence d'un champ, quel que soit le courant qui en résulte.

Etant donné 3 variables U , I , P dont 2 quelconques dictent la 3^{ème} :

- a) Même avec $P =$ saturation d'ampli très puissant, on ne peut pas forcer un courant dans une boucle d'impédance $Z > 2 \text{ k}\Omega$ (valeur à une anti-résonance).

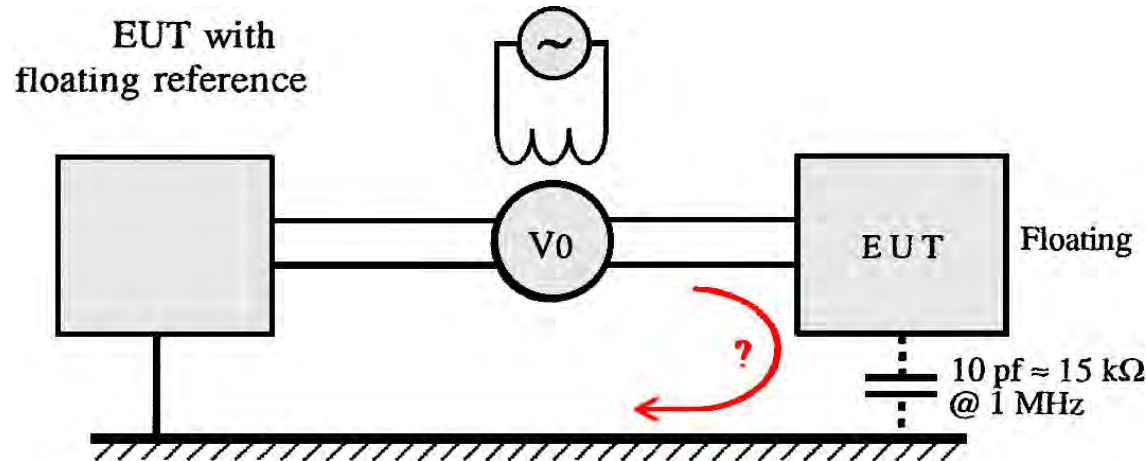


Fig.3 : Cas d'un équipement avec 0 V isolé de la masse méca. En cherchant à forcer I_{calib} on risque de sur-tester l'équipement.

- b) Même une puissance faible injecterait un courant excessif dans une boucle d'impédance faible.

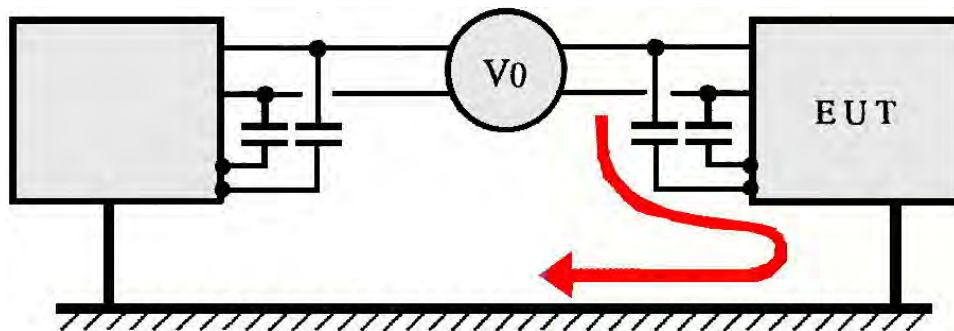


Fig.4 : Cas d'un équipement avec fortes capacités de filtrage. En réduisant P injectée pour retrouver I_{calib} on réduit U_0 , d'où un risque de sous-tester l'EST.

Que conclure de ces observations ?

Ces pratiques nous semblent un dévoiement du principe initial du test BCI.

Ou alors, en suivant le même raisonnement :

- 1) Lors d'un test de susceptibilité rayonnée pourquoi ne pas surveiller le courant sur les câbles et réduire la puissance à l'antenne si l'on dépasse un certain courant ?
- 2) Lors d'un essai foudre, pourquoi ne pas surveiller $U_{\text{crête}}$ aux bornes de l'équipement afin d'augmenter le niveau si la valeur U_{calib} n'est pas atteinte, au risque de faire fumer des TVS ?

Surtout en cas de non-linéarité entre E et I_{toron} , seul un test en boucle ouverte (sans asservissement du niveau) reste proche de la réalité.

Faut-il asservir le courant durant les tests ?

Au-dessus de la 1^{ère} cassure du gabarit BCI (> 500 kHz) : **NE JAMAIS RETOUCHER LE COURANT**, ni dans un sens, ni dans l'autre. Quel qu'il soit, c'est celui que verrait réellement le toron avion exposé au champ prescrit.

Dans la partie montante (< 500 kHz) du gabarit, si le courant n'atteint pas la valeur spécifiée, **NE PAS AUGMENTER LE NIVEAU D'INJECTION**. Si l'impédance de boucle est $\gg 100 \Omega$, c'est aussi celle qui s'établira sur l'avion.

Dans la partie montante (BF) du gabarit, avec un câble court, le courant peut dépasser la valeur spécifiée dans 100Ω . La tension secondaire de la pince est alors excessive et ne représente pas la f.e.m. qui serait induite sur avion. **IL FAUT ALORS RÉDUIRE LE NIVEAU APPLIQUÉ POUR RETROUVER CELUI DE LA CALIBRATION.**

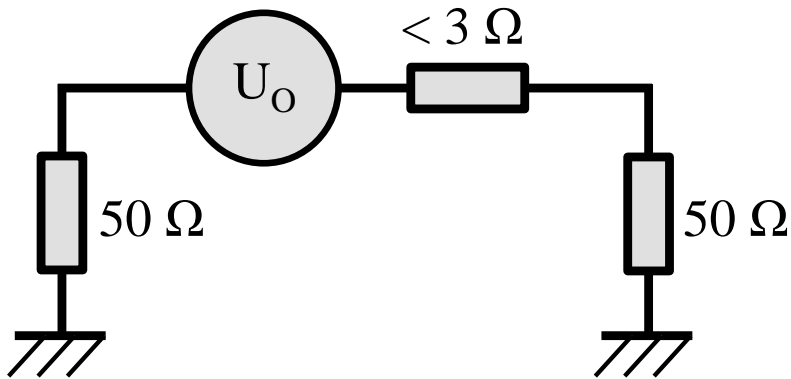
Note : En BF, I_{\max} (pour $H = 5$ cm) $\approx 0,3$ mA / V/m, soit ≈ 5 fois moins qu'en HF.

Autre effet pervers du test BCI

Pour des accès de l'EST protégés par des écrêteurs à pente raide type TVS (TransZorb, Transil, etc...), le test étant effectué avec l'équipement « ON », la tension appliquée par la pince s'additionne à la tension normale de la ligne.

Exemple : Entrée 28V continu, protégée par un TVS 40V, test BCI à 300mA

a) Calibrage sur jig 50 Ω / 50 Ω

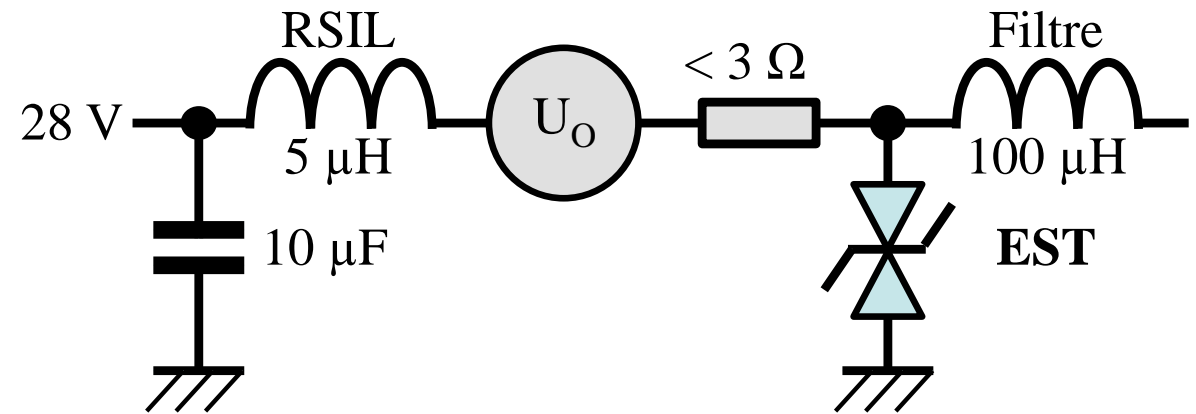


$Z_{\text{secondaire pince}} \approx 1 \mu\text{H}$ pour $F < \text{MHz}$

Réglage pour un courant de 300 mA :

$$U_0 = 30 \text{ V}_{\text{eff}}$$

b) Test BCI appliqué sur entrée 28 V



$$Z_{\text{RSIL}} \approx 5 \Omega @ 300 \text{ kHz}$$

$$Z_{\text{filtre}} = 200 \Omega$$

Toute la tension est appliquée au TVS 40 V

$$\text{Tension crête permanente} = 28 + \sqrt{2} \times 30 = 70 \text{ V}$$

Résultat : le TVS voit 70V crête quasi permanents et fonctionne en... régulateur !

Même si le courant ne dépasse pas 0,3 A, il y a près de 20 W à dissiper par le TVS. Or un TVS 3 kW / 1 ms ne peut pas dissiper plus de ≈ 2 W. Il surchauffe puis est détruit.

MORALITE

Ne pas sur-tester l'EST : le niveau le plus sévère de la DO160 (Y) spécifie un courant de calibrage de 180 mA « seulement » à 300 kHz.

Il faut choisir le V_{BR} d'un TVS en fonction de la sévérité du test BCI.

Il est également possible de protéger un TVS contre la surchauffe d'un test BCI en l'installant derrière un composant de protection (résistance ou inductance) d'entrée ou de sortie.

Mais alors il faut vérifier que les composants (R, L ou C) non protégés par un TVS placé en tête supportent tous les autres tests, en particulier les impulsions foudre.

Autre erreur fréquente

Injection sur un toron avec un câble blindé : « Dans la DO-160, le blindage doit être déconnecté durant les tests ».

La seule note qui peut faire croire qu'on débranche les blindages, et que des labos français interprètent de façon erronée est celle-ci (*Parag. 20.4 alinéa c*):
« ... *For test setups with shielded cables which include in-line connectors (e.g. aircraft installation stanchion or bulkhead disconnects), the in-line shield terminations must be lifted from ground to allow the CS current to flow on the shield for a minimum distance of 3m. »*

Il est ici question de prises de masse intermédiaires utilisées en traversées de cloisons, changement de zone (pressurisée à soute, etc...) sur des parcours longs. Dans ce cas les connecteurs métalliques de traversées doivent être isolés de la masse, pour éviter que les courants BCI ne se referment par une masse intermédiaire, au lieu de parcourir tout le câble de bout en bout.

Les cahiers des charges qui s'appuient sur ce prétexte pour déconnecter les blindages se trompent.

Autre difficulté récurrente

« La masse de l'EST est raccordée au plan de masse localement ; selon la DO160, cette masse doit être déconnectée... »

Il n'y a **nulle part** dans le DO-160 Section 20 (RF Susceptibility) de mention stipulant de déconnecter la masse de l'équipement. Au contraire, les straps de masse des bases de montage doivent être fixés au plan de masse ainsi que tous les connecteurs doivent être mis en œuvre comme le constructeur le prévoit. Bien sûr, il faut comprendre « la masse méca », accessible de l'extérieur.

Si l'on parle de la masse électrique interne (zéro des cartes, réf signaux, etc...) elle sera telle que le constructeur de l'EST l'a décidé, ou l'avionneur l'a exigé ! Flottante, reliée solidement, ou reliée en HF par capas de découplage. La norme ne s'en mêle pas, et surtout pas de jouer avec !...

QUESTIONS ?