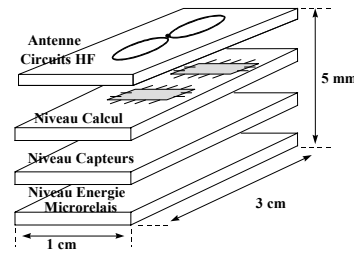
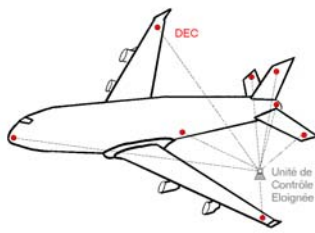


Etude d'un capteur pour la caractérisation de l'environnement électromagnétique

L. THIRION, N. BURGAN, M. PERRUS, F. PETTITI, élèves ingénieurs ENSEEIHT, 1999-2000

1. Introduction



Le but de ce projet est de réaliser un capteur permettant de caractériser l'environnement électromagnétique (la pollution électromagnétique qui se situe entre 10 et 40 GHz) autour d'un avion (au niveau des ailes, du nez...) et de fabriquer un système de transmission de données aux alentours de 433 MHz. Ce système doit être situé au dessus d'un ensemble de microsystèmes (comme le montre la figure précédente).

Le cahier des charges est le suivant :

- ⇒ Gamme de Fréquences / Fréquence centrale (*à définir*)
- ⇒ Gain (*à définir*)
- ⇒ Directivité (*à définir*)
- ⇒ Faible consommation (*à définir*)
- ⇒ Alimentation : 5V
- ⇒ Surface : $3 \times 1 \text{ cm}^2$



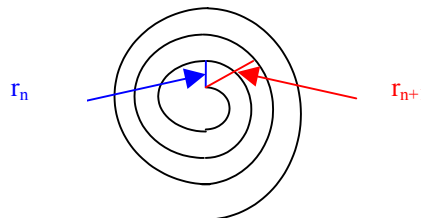
Echelle 1

2. Etude bibliographique

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés à deux types d'antennes choisis particulièrement pour leur encombrement. Nous nous intéresserons donc aux antennes spirales et aux antennes patches.

1.1 Antennes à spirale

Ces antennes ont la forme suivante :



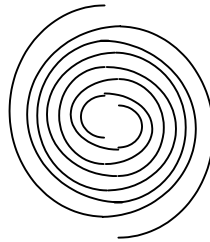
Le paramètre τ est défini tel que : $\tau = \frac{r_n}{r_{n+1}} = e^{\pm 2\pi a}$, ce paramètre donnant une information sur l'ouverture de

la spirale. La taille de l'antenne est donnée par : $\lambda_{\max} = \rho_{\max} \left(1 + \frac{1}{a} \right)^{\frac{1}{2}}$, avec $\lambda_{\max}$: longueur d'onde maximale désirée, $\rho_{\max}$: rayon maximal de la spire et a : paramètre défini précédemment. Deux autres

conditions sont imposées pour pouvoir fabriquer l'antenne : $\rho_{\min} = \frac{\lambda_{\min}}{2}$ (avec $\rho_{\min}$: rayon minimal de la spire) et $\rho_{\max} = \frac{\lambda_{\max}}{2}$.

Une fois les dimensions de l'antenne définies, on s'intéresse à la réalisation pratique. Des contraintes d'ordre technologique vont apparaître : la distance entre les spires sera-t-elle assez importante, la spire assez « épaisse » pour une gravure convenable ...

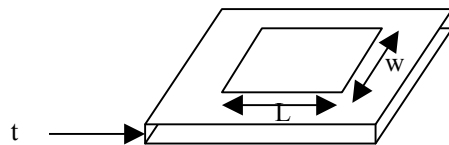
Pour augmenter la puissance émise, il sera possible d'imbriquer deux antennes à spirale de la manière suivante :



Cette solution reste à étudier vis à vis des couplages existants entre les deux antennes spirales utilisées.

1.2 Antennes patches

Les antennes patches ont l'allure suivante :



Il s'agit d'un carré métallique (cuivre en général) déposé sur un diélectrique.

L'épaisseur t du substrat est en général prise égale à 0,794 mm (épaisseur d'une plaque époxy classique). La longueur L du patch est donnée par la formule suivante :

$$L \cong 0,49\lambda \cong 0,49 \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

La largeur de bande est donnée par : $BW = 4f^2 \left(\frac{t}{1} \right) \left(\frac{1}{32} \right)$. f devra être exprimée en GHz pour

obtenir directement BW en MHz.. A priori, cette formule est fautive car on ne trouve pas de bande passante très importante lorsqu'on monte en fréquence (à vérifier).

Le gain d'une antenne patch vaut : $G_{dB} = 10 \log \left(\frac{4\pi A}{\lambda_0^2} \right) - \alpha \frac{(D_1 + D_2)}{2}$, avec $A = D_1 D_2$, D_1 : % horizontal spacing, D_2 : % vertical spacing et α : atténuation en dB.

2. Choix de l'antenne et conception préliminaire

A partir des données théoriques trouvées dans la bibliographie, nous avons pu commencer à établir différents critères géométriques afin de respecter le cahier des charges :

2.1 Antennes à spirale

- antenne de communication (433 MHz)

Première méthode :

Nous connaissons l'équation d'une spirale $\rho = Ke^{a(\varphi-\delta)}$

avec K : module du rayon ρ à l'origine

a : coefficient d'évasement de la spirale

δ : angle initial

φ : angle variable

Prenons par exemple $\delta = 0$. Comme $\varphi = 0$ on a alors $\rho_1 = K$.

De plus, fixons nous comme bande à couvrir la bande 430-436MHz.

On obtient $\lambda_1 = \frac{c}{f_1} = 0.698m = \lambda_{\max}$ et $\lambda_2 = \frac{c}{f_2} = 0.688m = \lambda_{\min}$

D'où $K = \frac{\lambda_{\min}}{2} = 0.344m = 34.4cm \Rightarrow$ problème de dimension

Deuxième méthode :

On calcule la longueur d'onde en espace libre : $\lambda = 0.69m$. Compte tenu des dimensions maximales de l'antenne, il est facile de montrer que $\rho_{\max} = 0.5cm$.

On obtient ainsi : $69 \leq 0.5 \left(1 + \frac{1}{a}\right)^{\frac{1}{2}}$. D'où $a \leq 7.25 \cdot 10^{-3}$ et donc $\tau \leq 0.95$.

A priori, cette antenne semble réalisable. Seulement, deux autres conditions ne sont pas respectées à savoir que $\rho_{\min} \approx \rho_{\max} = 34.5cm$. Ceci s'explique par le fait que l'antenne travaille à la même fréquence en émission et en réception (433 MHz) ; on obtient donc un $\lambda_{\max}$ et un $\lambda_{\min}$ égaux.

Cette solution devient impossible compte tenu de la place disponible.

- capteur électromagnétique (10 à 40 GHz)

On réalise les mêmes calculs que précédemment : pour la fréquence, nous prendrons $f=10GHz$ pour se placer dans le pire – cas.

La longueur d'onde en espace libre est égale à : $\lambda = 0.03m$. On a toujours $\rho_{\max} = 0.5cm$.

On obtient ainsi : $3 \leq 0.5 \left(1 + \frac{1}{a}\right)^{\frac{1}{2}}$. D'où $a \leq 28.6 \cdot 10^{-3}$ et donc $\tau \leq 0.84$.

Comme précédemment, cette antenne semble réalisable. Les deux mêmes conditions se posent. Dans ce cas, $\rho_{\min} \approx \rho_{\max} = 1.5cm$. Cette contrainte est bonne par rapport à la place qui nous est accordée : cette géométrie sera donc possible à cette fréquence.

2.2 Antennes patch

- capteur électromagnétique (10 à 40 GHz)

La largeur du patch est donnée par : $W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$.

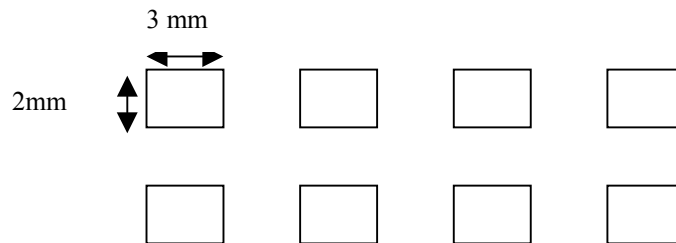
Prenons $\epsilon = 2.2$, $h = 0.1588\text{cm}$, $f = 40\text{GHz}$.

$$\text{On a } W = \frac{1}{2 * 40.10^9 \sqrt{\frac{1}{36\pi * 10^{19}} \frac{4\pi * 10^{-7}}{9}}} \sqrt{\frac{2}{3.2}} = 2.96\text{mm} .$$

$$\epsilon_{r_{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} = \frac{3.2}{2} + \frac{1.2}{2} \left[1 + 12 \frac{0.16}{0.296} \right]^{-1/2} = 1.819$$

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{r_{eff}} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{r_{eff}} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} = 0.446$$

La taille estimée d'une antenne patch est : $2 * 3 \text{ mm}$. A première vue, il semble que la sensibilité d'un tel système soit très faible. C'est pourquoi décidons nous d'utiliser des antennes patch en réseau (en prenant soin de laisser $\lambda / 4$ entre 2 patchs, c'est-à-dire environ 7 mm) :



En respectant le cahier des charges ($3 \text{ cm} * 1 \text{ cm}$), le réseau pourra être constitué de six éléments rayonnants. En faisant un petit calcul on peut remarquer qu'en passant à huit éléments, l'antenne contient dans $3.3 * 1.1 \text{ cm}$: nous décidons donc d'accroître la surface sur laquelle reposera l'antenne.

Après des simulations sur le logiciel ENSEMBLE, il s'avère que le gain d'un tel dispositif reste très faible. Il ne peut répondre aux exigences du client et ne pourra donc pas être utilisé pour cette application.

3. Conclusions et perspectives

Les simulations faites sur le logiciel ENSEMBLE ont démontrées la non faisabilité du dispositif en antenne patchs. Les antennes spirales étant écartées compte tenu de la place disponible, l'étude devra donc s'orienter vers les antennes filaires. De nouvelles recherches bibliographiques devront être menées en gardant à l'esprit que de tels dispositifs sont utilisés fréquemment dans des applications domestiques (à savoir par exemple les systèmes radiofréquences de portail ou de voiture).

Bibliographie

- « Antennas » de John D.KRAUSS
- « Antennes à large bande, Théorie et applications » de G.DUBOST et S.ZISLER
- « Broadband patch antennas » de JF.ZURCHER et FE.GARDIOL
- « Antennes tome2 Applications » de S.DRABOWITCH et C.ANCONA