

# « Je préfère quand même être en filaire »

Conseils pour développer une interface 1 Gbit/s dans un environnement industriel



Heinz Zenkner (collaborateur indépendant chez Würth Elektronik)

Les réseaux sans fil jouissent d'une grande popularité, notamment pour les applications industrielles. Toutefois, dans de nombreux cas un câblage robuste par Ethernet reste l'alternative la plus fiable et la plus sûre. Cet article montre comment une interface de 1 Gbit/s peut être facilement mise en œuvre.

Les capteurs et compteurs intelligents, qui utilisent des techniques de modulation et de codage efficaces avec de bonnes propriétés de propagation et de faibles bandes passantes permettent la mise en place de réseaux de capteurs industriels sans fil. Cependant, la plupart des cas d'utilisation considérés se limitent à des applications à faible débit de données. S'agissant d'applications, le débit réel dépasse rarement 1 Mbit/s.

Un réseau sans fil n'a pas de frontières fixes. À titre d'exemple, même de petits ajustements de la position de l'antenne du point d'accès peuvent avoir une influence considérable sur la puissance du signal dans les autres stations. Les murs, les plafonds et les sols atténuent le signal et les objets métalliques provoquent des réflexions. Il peut arriver qu'une station puisse recevoir le signal d'un point d'accès, mais que le point d'accès ne puisse pas recevoir le signal de la station. En outre, un accès extérieur au

réseau est toujours possible, ou la transmission du signal radio peut être perturbée. Par conséquent, la transmission de données sans fil est, par nature, moins fiable que via un réseau filaire. C'est pourquoi il peut arriver qu'il ne soit pas possible de se passer d'un réseau Ethernet filaire, particulièrement dans un environnement industriel.

## Réseau Ethernet filaire

Les réseaux filaires sont similaires aux réseaux sans fil en ce sens qu'ils fonctionnent par l'échange de trames Ethernet entre les points d'extrémité. Pour éviter des problèmes lors de la mise en place d'un réseau, il convient de respecter un grand nombre de règles. Les violations de règles sont la cause la plus fréquente des problèmes de réseau. Par exemple, l'Ethernet ne permet pas d'utiliser n'importe quelle longueur de câble. Lors de la mise en cascade, c'est-à-dire la connexion en série

de hubs, il ne faut pas en utiliser n'importe quelle quantité et une structure de réseau mal choisie peut également entraîner des erreurs dans le réseau ou le surcharger inutilement. Mais en fonction de la qualité des câbles et des performances du matériel, il n'est souvent pas possible d'atteindre les débits de données souhaités.

Actuellement, le 100Base-TX (l'Ethernet rapide, 100 Mbit/s), le Gigabit-Ethernet (1 Gbit/s), le 10-Gigabit-Ethernet (10 Gbit/s) et le 100-Gigabit-Ethernet (100 Gbit/s) existent. Dans la plupart des applications, le Gigabit Ethernet fonctionne bien avec un câble Ethernet ordinaire, particulièrement avec les câbles de catégories CAT5e et CAT6. Ces types de câbles suivent la norme de câblage 1000BASE-T, également appelée IEEE 802.3ab.

L'interface Ethernet 1 Go fonctionne selon la norme 802.3ab-1999 (CL40) et nécessite quatre paires de fils par canaux pour la transmission des signaux. On obtient ainsi un débit de symboles de 125 mégabaud (MBd) avec une bande passante de 62,5 MHz par canal (2 bits par symbole). La tension de signal pour le 1000BASE-T (GB-Ethernet) est en moyenne de 750 mV en différentiel, avec pour limites :  $820 \text{ mV} > U_{\text{Signal}} > 670 \text{ mV}$  pour une charge de  $100 \Omega$ .

## Ethernet 1-Gbit/s - Front - Ends

Une « extrémité frontale » dite Front End typique pour Ethernet est équipée d'une interface RJ45. Elle est conçue pour des transmissions en duplex intégral (Full Duplex), c'est-à-dire pour une transmission simultanée des données d'émission et de réception. Cela est possible parce que le connecteur comprend deux paires de fils, une paire étant toujours nécessaire par direction (principe de tension différentielle). Pour chaque connexion RJ45, la norme IEEE exige une isolation galvanique par transformateur. Ce transformateur protège les appareils des dommages causés par la haute tension sur la ligne et empêche les décalages de tension qui peuvent se produire en raison des différences de potentiel entre les appareils. La **figure 1** montre le circuit de principe d'une interface Gigabit Ethernet.

## Câblage discret de l'interface Gigabit Ethernet

Le transformateur Ethernet (Transformateur LAN) est l'interface entre l'appareil et le câble Ethernet. Le transformateur assure la séparation galvanique entre l'appareil et le câble, essentielle pour la sécurité, et en même temps l'adaptation de l'impé-

dance entre, d'une part la logique interne et d'autre part les paires de fils symétriques. En outre, le transformateur protège l'appareil contre les perturbations transitoires, supprime les signaux de mode commun entre l'IC (Phy) et le câble, aussi bien de l'appareil vers l'extérieur que du câble extérieur vers l'électronique dans l'appareil. Cependant, le composant doit également transmettre les données à un débit allant jusqu'à 1 Gbit/s sans atténuer sensiblement les signaux d'émission et de réception. Des composants supplémentaires sont nécessaires pour répondre à l'adaptation et aux exigences CEM.

Le circuit de la **figure 2** montre un câblage de l'interface Gigabit Ethernet avec des composants discrets. Le transmetteur LAN assure une isolation DC entre l'électronique et le câble réseau. Le point milieu de l'enroulement côté primaire présente la terminaison dite de « Bob Smith ». Pour chaque paire de fils, une résistance de  $75 \Omega$  est connectée pour former un « point étoile ». Le tout est ensuite isolé galvaniquement et connecté à la masse du boîtier au moyen de deux condensateurs de  $100 \text{ pF}/2\text{kV}$  montés en parallèle. Les selfs de filtrage en mode commun intégrées en plus dans le module X3 réduisent les perturba-

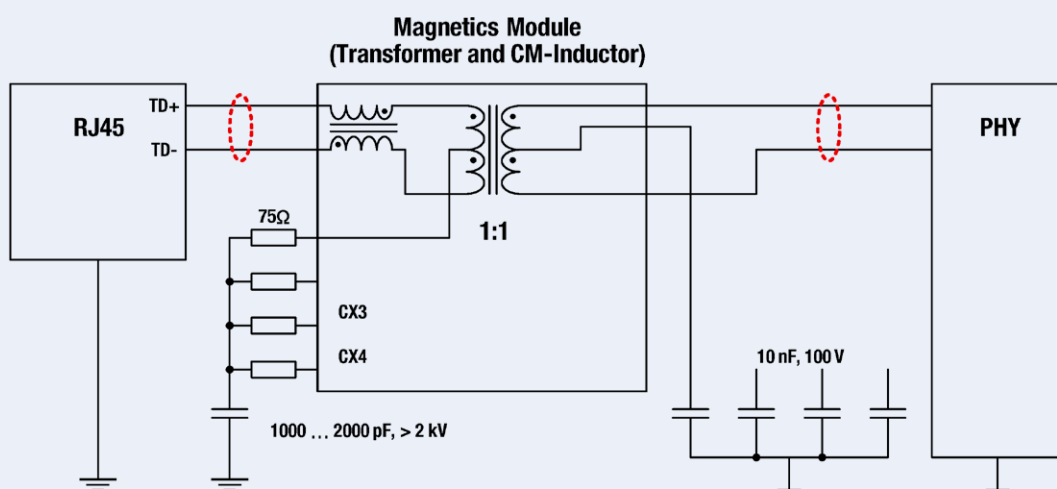


Figure 1. Circuit de base d'une interface Gigabit Ethernet. Représentation d'une transmission d'un total de quatre canaux.  
(Source : Würth Elektronik)

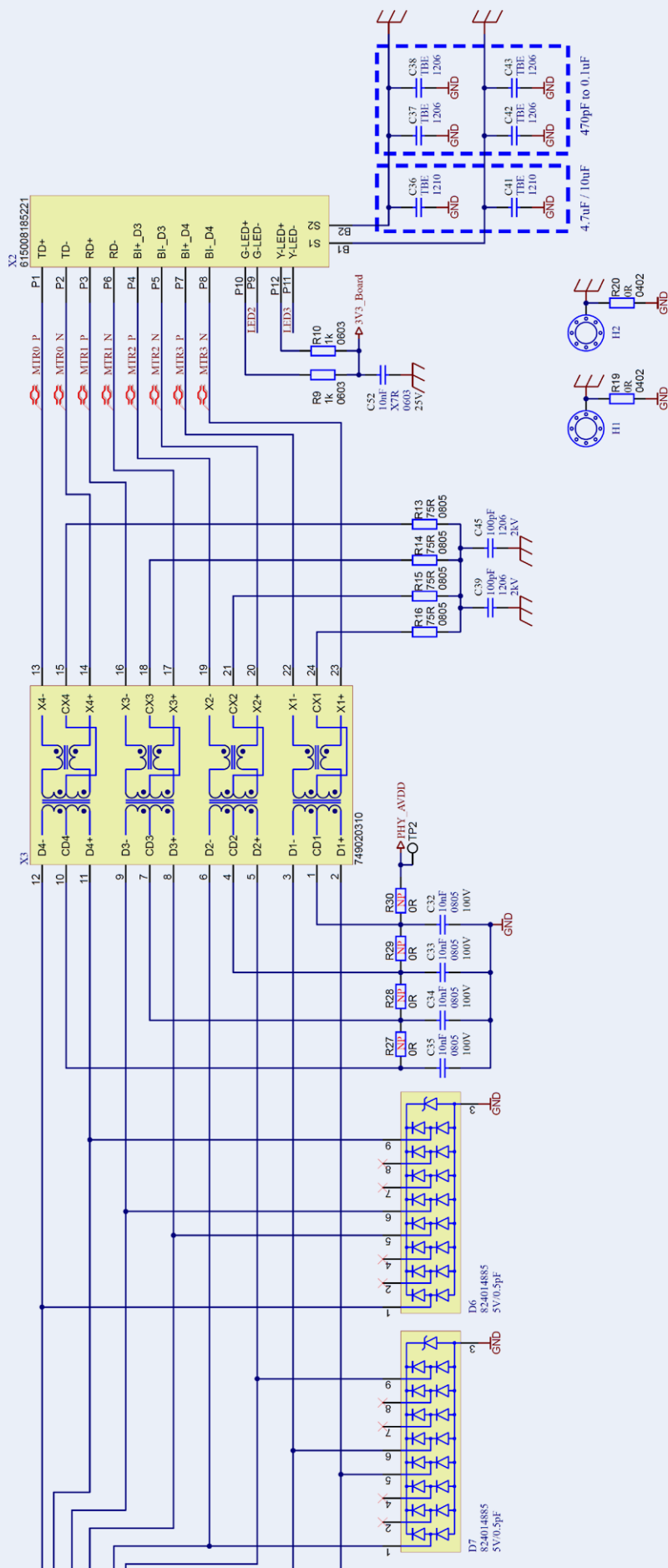


Figure 2. Circuit discret d'une interface Gigabit Ethernet. Le module X3 comprend les transformateurs LAN ainsi que des selfs de mode commun.

tions qui sont couplées de manière capacitive et inductive via les longs câbles Ethernet et qui pourraient ainsi déséquilibrer la communication différentielle de données Ethernet et la transformer en perturbations de mode commun.

R9, R10 et C52 sur la figure 2 servent à alimenter les LED typiquement intégrées dans le connecteur. Les condensateurs C36 à C38 et C41 à C43 permettent de relier le blindage de la prise Ethernet à la masse de la carte (GND). Pour les boîtiers en tôle, il est préférable de ne pas équiper ces condensateurs et de raccorder directement la masse (GND) de l'électronique au boîtier via des raccords à vis. Pour les boîtiers en plastique, il convient d'équiper les condensateurs afin de raccorder le blindage du câble Ethernet à la masse de référence. Les résistances 0  $\Omega$  R19 et R20 ont le même objectif. Toutefois, il n'existe pas ici de séparation galvanique, comme c'est le cas avec les condensateurs. Les équipements alternatifs ont été prévus ici à des fins « expérimentales » afin de comparer la qualité de blindage de différents câbles Ethernet. Sur le côté secondaire des transformateurs, les condensateurs C32 à C35 relient les points milieu de ces derniers à la masse (GND) d'un point de vu HF. Pour éviter les courants de compensation DC du PHY, une séparation galvanique par condensateurs est nécessaire. Les résistances R27 à R30 sont prévues en raison des exigences de certains fabricants de PHY (Option Driving de ligne en mode courant), mais ne sont généralement pas nécessaires si le PHY fonctionne en « mode de tension standard ». En revanche, les diodes TVS D6 et D7 sont indispensables pour limiter les perturbations transitoires (Surtensions, ESD) apparaissant côté interface vers le PHY par rapport à la masse du circuit (GND). Côté secondaire, c'est-à-dire après les transformateurs du module X3, les transitoires se produisent en mode commun, raison pour laquelle une diode TVS doit être connectée à la masse de référence à chaque connexion des transformateurs. Les niveaux de bruit sont toutefois plus faibles du côté secondaire du transformateur que du côté primaire. Pour que les diodes TVS fonctionnent proprement, il est important de les connecter avec une faible impédance, d'une part dans les lignes de signal et d'autre part à la masse.

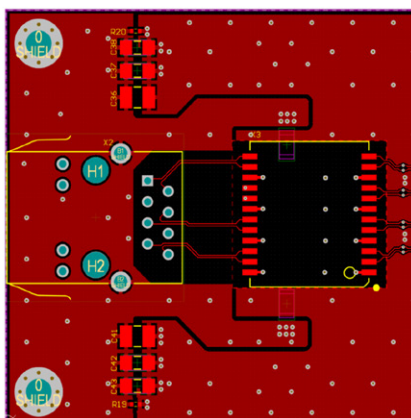
Le « Layout » des quatre couches de la carte

de la zone d'interface Ethernet est illustré à la **figure 3**. L'empreinte de masse du boîtier est séparée du GND de l'électronique dans les quatre couches. Les surfaces de la masse du boîtier ne se chevauchent donc pas avec d'autres couches afin de réduire au maximum le couplage capacitif. Les plans de masse ont été l'objet de connexions transversales tous les 4 mm environ. Les lignes de signaux provenant du connecteur Ethernet sont symétriques, routées avec une impédance différentielle de 100  $\Omega$  par rapport à la masse de référence. Les paires de conducteurs présentent une largeur de piste de 0,154 mm et sont espacées de 0,125 mm. La prise Ethernet est positionnée sur le bord du circuit imprimé afin de garantir une connexion à basse impédance avec un boîtier métallique le cas échéant.. Le Transfo LAN (X3) est placé à proximité immédiate afin de limiter les influences de couplage électrique ou les perturbations dues aux longues pistes conductrices. Comme côté primaire, une impédance différentielle de 100  $\Omega$  par rapport à la masse de référence doit être respectée sur le côté secondaire du module de transmission au niveau des pistes conductrices. Les diodes TVS doivent être connectées directement au signal et au GND afin d'éviter une chute de tension due à des inductances parasites.

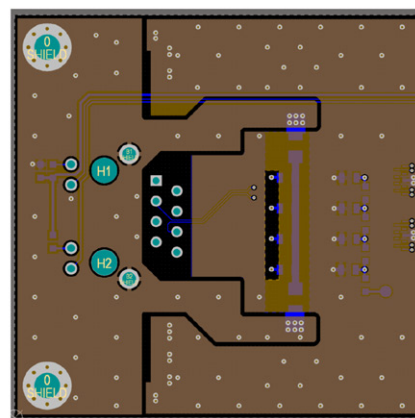
### Conformité CEM

Du point de vue de la CEM (Compatibilité Electromagnétique), la carte respecte les tests en immunité selon la norme industrielle (EN61000-6-2) et les tests en Emissions selon la EN55032 classe B pour les appareils multimédia. Pour réussir la conception d'une interface Ethernet 1 Gbit/s, il faut tenir compte de nombreux points, ceux-ci étant une conception de circuit et routage adaptée à la RF, un concept de masse dépendant du système et le bon choix des composants. Ce n'est que lorsque tous ces points sont pris en compte ensemble qu'il est possible de développer un produit qui fonctionne de manière fiable et qui répond aux exigences élevées.

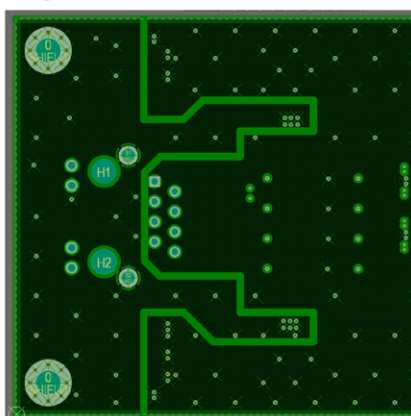
**Layout Top**



**Layout V<sub>CC</sub>**



**Layout GND**



**Layout Bottom**

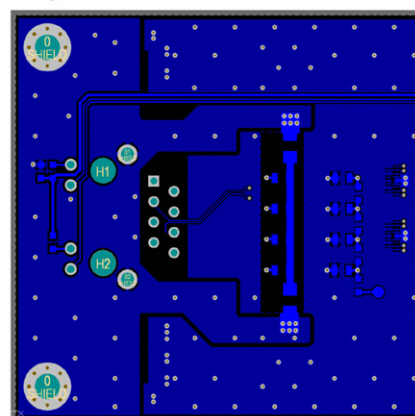


Figure 3. Routage des quatre couches de la carte dans la zone d'interface Ethernet.

De plus amples informations sur ces aspects et sur d'autres normes d'interface sont disponibles dans diverses notes d'applications de Würth Elektronik [1]. ◀

220182-04

### L'auteur



Heinz Zenkner, Docteur Ingénieur, est collaborateur indépendant chez Würth Elektronik dans les domaines du marketing technique et de l'ingénierie d'application et donne des cours dans le domaine de la CEM à l'académie technique du groupe. Parallèlement, le Dr Zenkner est expert CEM assermenté. M. Zenkner est de longue date auteur de plusieurs revues et livres spécialisés. En outre, il a travaillé en tant que chargé de cours dans différentes universités, à la Chambre de commerce et d'industrie et lors de nombreux séminaires.

### LIEN

[1] Notes sur les applications de Würth Elektronik: [www.we-online.com/applicationguide/en](http://www.we-online.com/applicationguide/en)