

Débogage des réseaux Ethernet automobiles

Le fonctionnement fiable des systèmes d'aide à la conduite nécessite une entrée sans interférences des données des capteurs dans les unités de commande. La nouvelle norme de l'Ethernet automobile spécifie les détails de la communication entre ces unités et les capteurs. En cas de problèmes de transmission de signal, la seule analyse du protocole Ethernet n'est toutefois généralement plus suffisante. La nouvelle solution de déclenchement et de décodage conçue pour les oscilloscopes R&S®RTO et R&S®RTE s'avère alors utile.

Nécessité d'une communication Ethernet fiable pour les systèmes d'aide à la conduite

L'Ethernet automobile s'impose de plus en plus comme un système de bus rapide, notamment pour les systèmes d'aide à la conduite et les systèmes d'infotainment embarqués. L'industrie automobile a ainsi développé l'interface Ethernet

100BASE-T1. Basée sur la technologie BroadR-Reach, cette interface a été normalisée par le groupe de travail 802.3bw de l'IEEE. L'interface 100BASE-T1 établit une connexion Ethernet en full-duplex via une paire de fils torsadée non blindée (Ethernet Twisted Pair). Les signaux 100BASE-T1 sont modulés en PAM 3, avec des niveaux de signal différentiel compris



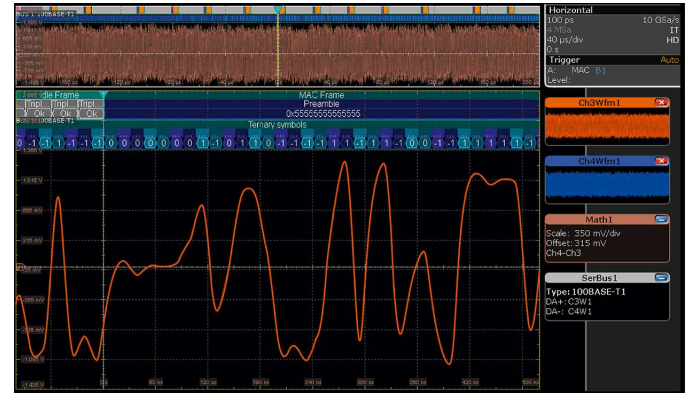
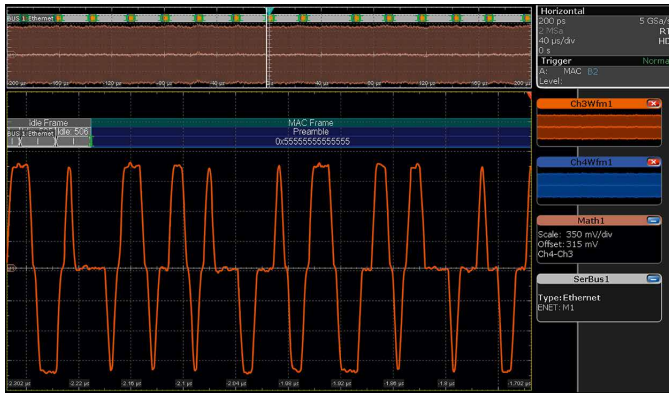


Fig. 2 : À gauche, liaisons d'un signal 100BASE-TX différentiel. Les trois niveaux et les flancs abrupts sont clairement identifiables. Un signal 100BASE-T1 automobile est représenté à droite à titre de comparaison. En raison de la pré-accélération dans l'égaliseur, les niveaux du signal PAM-3 ne sont pas toujours clairement identifiables.

entre -1 V et $+1$ V. Le débit de données de 100 Mbit/s est nettement supérieur à celui des bus automobiles classiques, tels que le bus CAN. Il est ainsi possible de développer des systèmes d'aide à la conduite dans lesquels même d'importants volumes de données (signaux de caméra ou de radar, par exemple) peuvent être transmis de manière fiable, avec une latence suffisamment courte.

Afin de garantir une transmission fiable avec un rayonnement à haute fréquence minimal sur le câble non blindé, l'émetteur met en forme la réponse en fréquence des signaux à l'aide d'un égaliseur. À cet effet, les puces PHY 100BASE-T1 mesurent la réponse en fréquence du câble pendant l'établissement de la connexion, puis déterminent la pré-accélération appropriée des signaux. Par rapport à la norme Ethernet 100BASE-TX « standard », qui fonctionne sans égaliseur, il en résulte une forte distorsion des signaux du système 100BASE-T1. La lecture directe de la qualité du signal n'est, par ailleurs, plus possible à partir de l'analyse des niveaux ; par exemple dans un diagramme de l'œil (Fig. 2).

Test des interfaces Ethernet automobiles

Par le biais de l'Alliance OPEN, l'industrie automobile a défini en détail les spécifications des tests des interfaces Ethernet. Lors des tests de conformité de la couche physique (tests PMA dans l'Open Alliance Automotive Ethernet ECU Test Specification), les caractéristiques électriques des interfaces sont mesurées en laboratoire à l'aide d'un oscilloscope et d'un analyseur de réseaux. Les essais de conformité contrôlent exclusivement les caractéristiques électriques de l'émetteur à l'aide de signaux de test. Aucun test n'est effectué sur le récepteur. La qualité de la communication entre deux unités de commande est uniquement mesurée de façon indirecte, via la lecture des paramètres de qualité de signal des puces PHY.

La communication correcte des applications d'une unité de commande est généralement contrôlée à l'aide d'outils d'analyse de protocole Ethernet, tels que Vector CANoe ou Wireshark. Ces outils logiciels analysent de manière approfondie le contenu du protocole en enregistrant l'ensemble du trafic de données Ethernet avec des modules d'interface spécifiques. Toutefois, les erreurs de transmission apparaissent alors uniquement sous forme d'erreurs de paquets de données. Si ces erreurs sont, par exemple, causées par des interférences couplées, ces outils logiciels ne permettent pas une analyse plus poussée. On recourt alors généralement à un oscilloscope doté d'une fonction de déclenchement et de décodage appropriée.

La nouvelle solution de déclenchement et de décodage sur les bus 100BASE-T1 des oscilloscopes R&S®RTO (Fig. 1) et R&S®RTE permet pour la première fois d'analyser le contenu des paquets de données corrélé avec les signaux de bus électriques. Résultat : un débogage presque aussi simple que sur les bus CAN traditionnels.

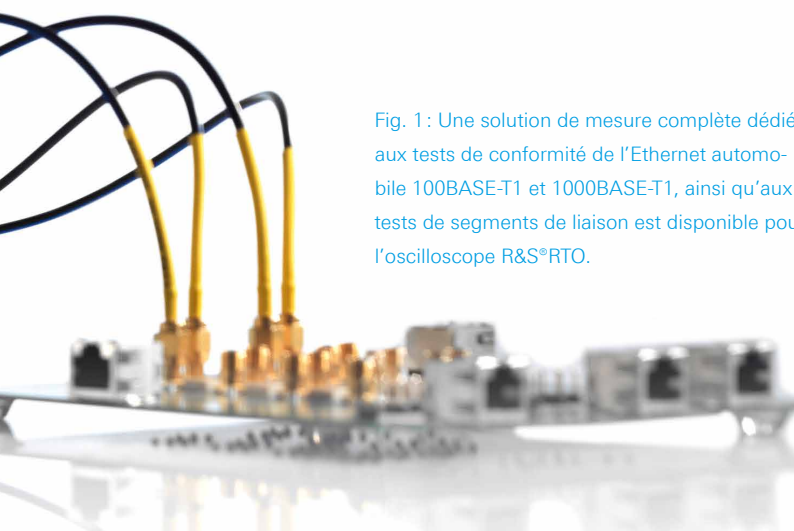


Fig. 1 : Une solution de mesure complète dédiée aux tests de conformité de l'Ethernet automobile 100BASE-T1 et 1000BASE-T1, ainsi qu'aux tests de segments de liaison est disponible pour l'oscilloscope R&S®RTO.

Détection non intrusive des signaux

Une détection des signaux à même la paire de fils torsadée avec une sonde d'oscilloscope permettrait d'enregistrer la superposition du va-et-vient des flux de données. Mais l'analyse du protocole nécessite impérativement la séparation des signaux correspondants. Le dispositif de sondage Ethernet R&S®RT-ZF5 (Fig. 3) sépare par conséquent les flux de données au moyen de coupleurs directionnels, et permet ainsi l'enregistrement non intrusif de la communication 100BASE-T1 avec un oscilloscope (Fig. 4). L'atténuation supplémentaire maximale de 1 dB des signaux transmis n'a alors plus aucune incidence sur la transmission des données.

Fortement déformés par l'égaliseur du transmetteur 100BASE-T1, les signaux enregistrés sont donc corrigés au moyen d'algorithmes complexes avant le décodage dans l'oscilloscope. Le R&S®RTO affiche les paquets de données décodés et les trames inactives dans un tableau, sous forme de signaux de bus codés par couleur (Fig. 6). La corrélation temporelle des niveaux de signaux électriques 100BASE-T1 avec les contenus du protocole transmis permet par ailleurs une analyse détaillée de la communication du bus et des erreurs au niveau des paquets de données. Les utilisateurs peuvent ainsi effectuer des déclenchements ciblés sur des paquets de données dotés d'adresses d'émission et de destination spécifiques, ou sur des erreurs de paquet de données.

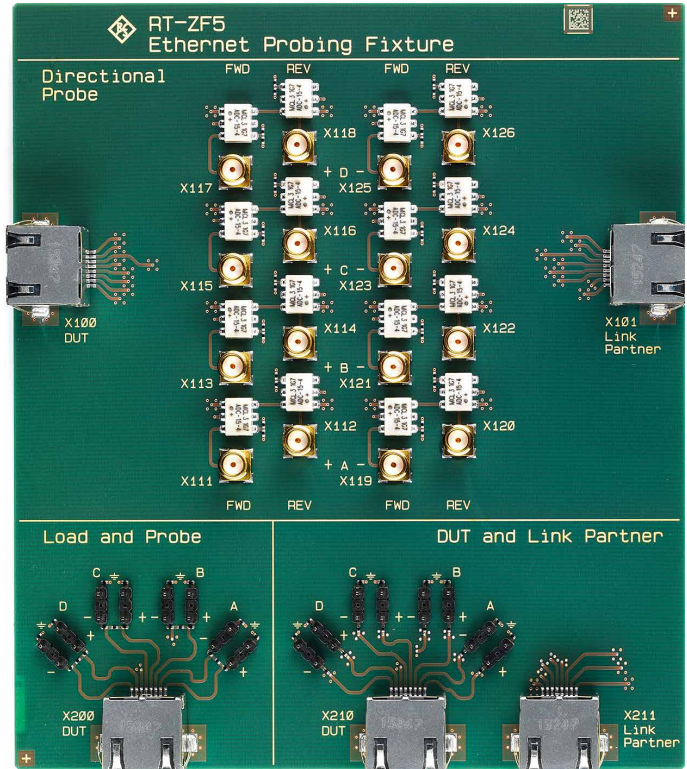
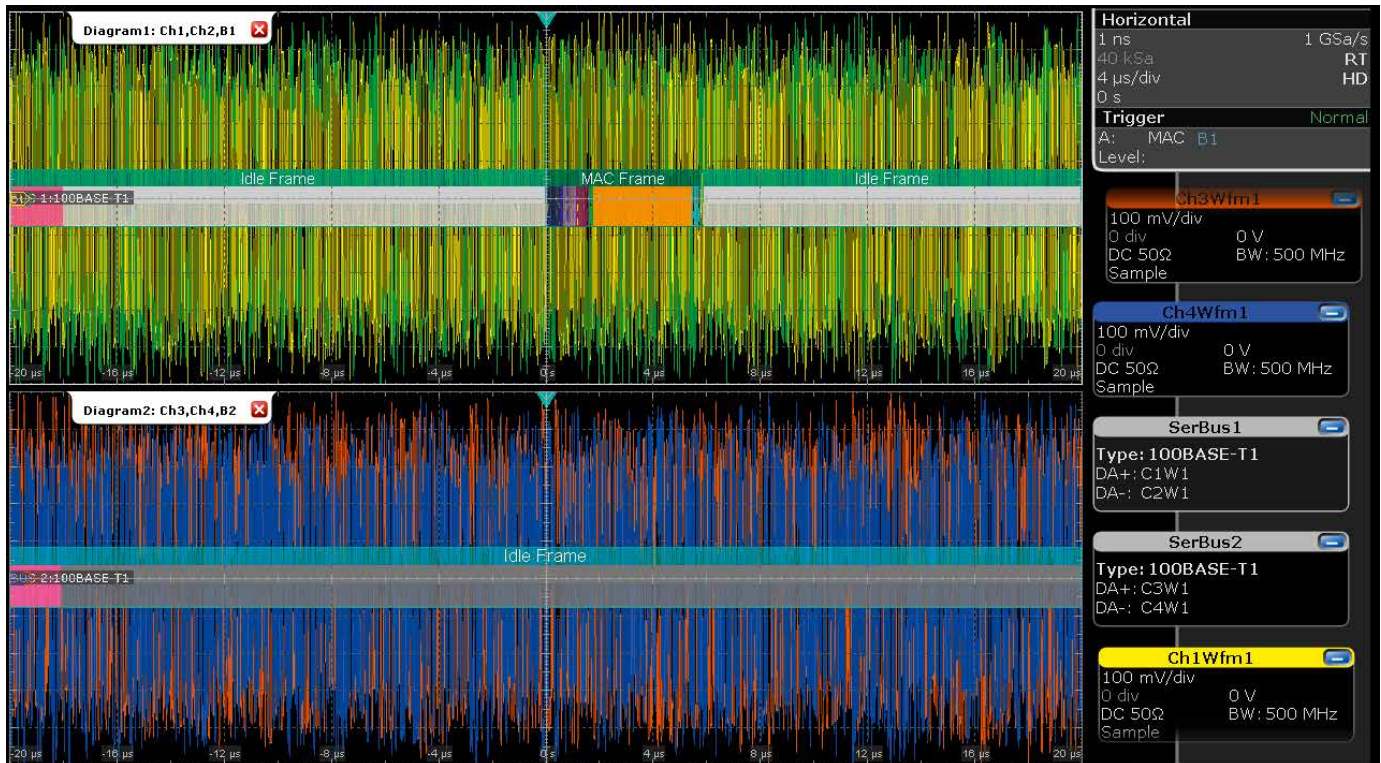


Fig. 3: Les coupleurs directionnels du dispositif de sondage Ethernet R&S®RT-ZF5 permettent l'enregistrement non intrusif des deux flux de données de la communication en full-duplex avec 100BASE-T1.

Fig. 4: Décodage 100BASE-T1 des deux flux de données de la communication en full-duplex. La trame MAC est surlignée en orange, et les trames inactives émises en continu sont grisées.



Analyse des erreurs de paquets de données

Le décodage 100BASE-T1 permet d'établir une relation temporelle entre la communication du bus et les autres signaux. L'heure de démarrage d'une unité de commande peut, par exemple, être déterminée en déclenchant l'oscilloscope sur l'alimentation en tension 12 V. L'heure de démarrage de l'appareil de commande correspond au temps écoulé entre la mise sous tension et l'émission du premier paquet de données valide.

Les erreurs de bus sporadiques liées au couplage de signaux parasites sont difficiles à détecter sans analyse simultanée de la communication du bus et des niveaux de signaux électriques 100BASE-T1. Le décodage permet d'analyser de façon temporellement corrélée la communication du bus sur les sept couches de communication OSI, et ainsi d'identifier la source parasite couplée (Fig. 5).

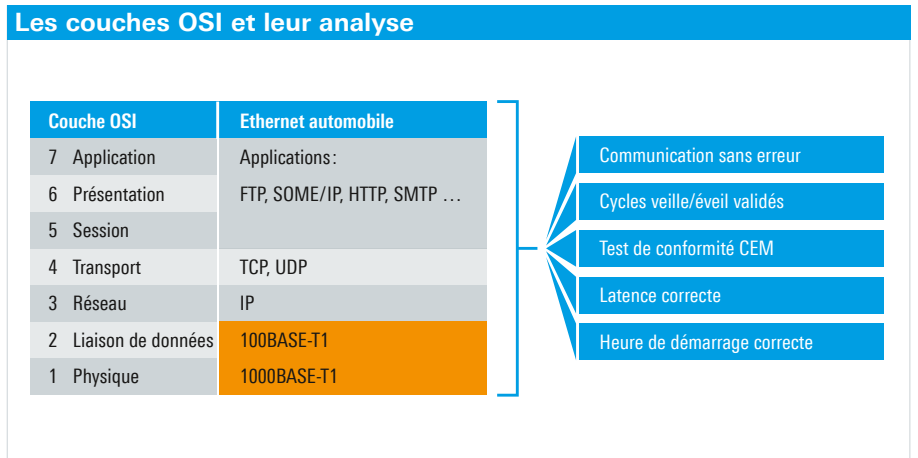
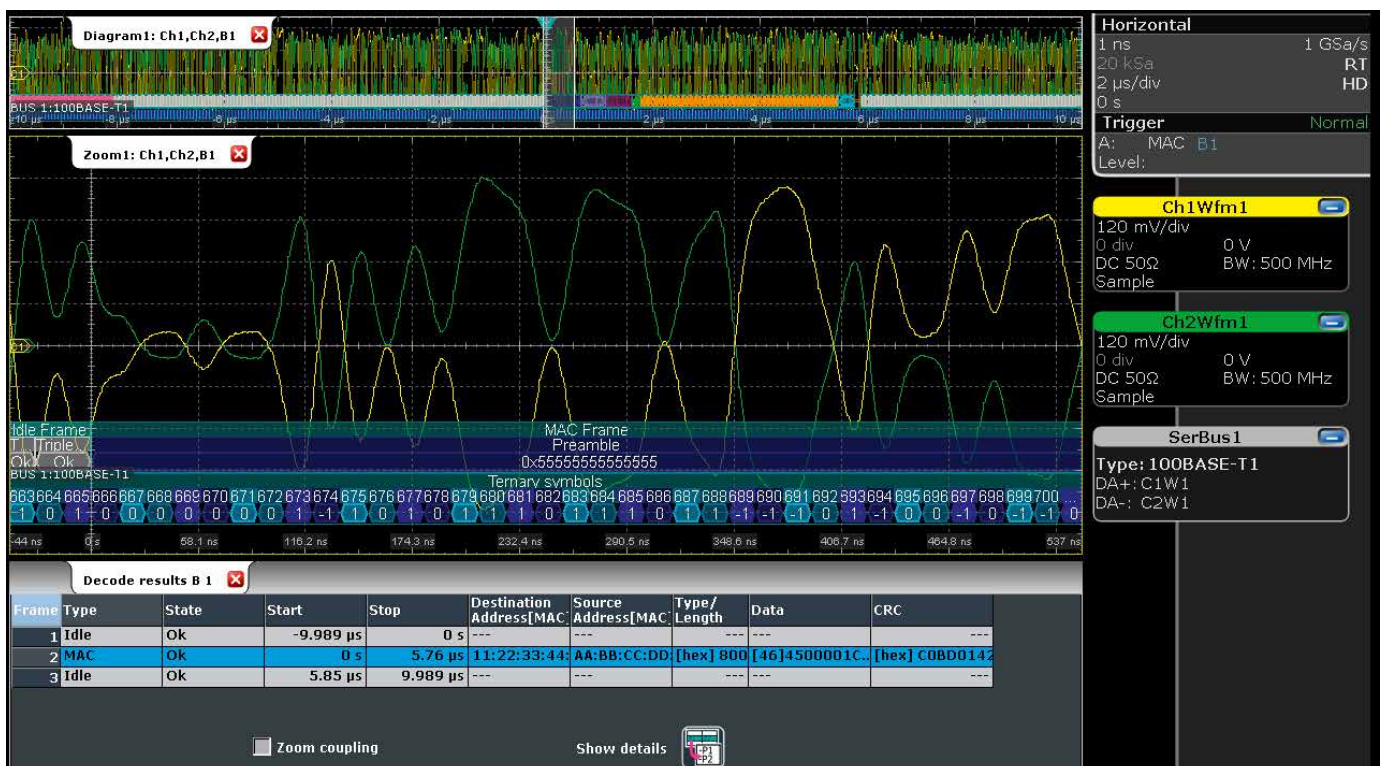


Fig. 5: Les sept couches OSI de la communication Ethernet sont analysées avec l'oscilloscope et l'option de déclenchement et de décodage.

Fig. 6: Décodage des niveaux de signaux 100BASE-T1 électriques. Les deux niveaux du signal 100BASE-T1 différentiel et le contenu du télégramme décodé sont clairement visibles.



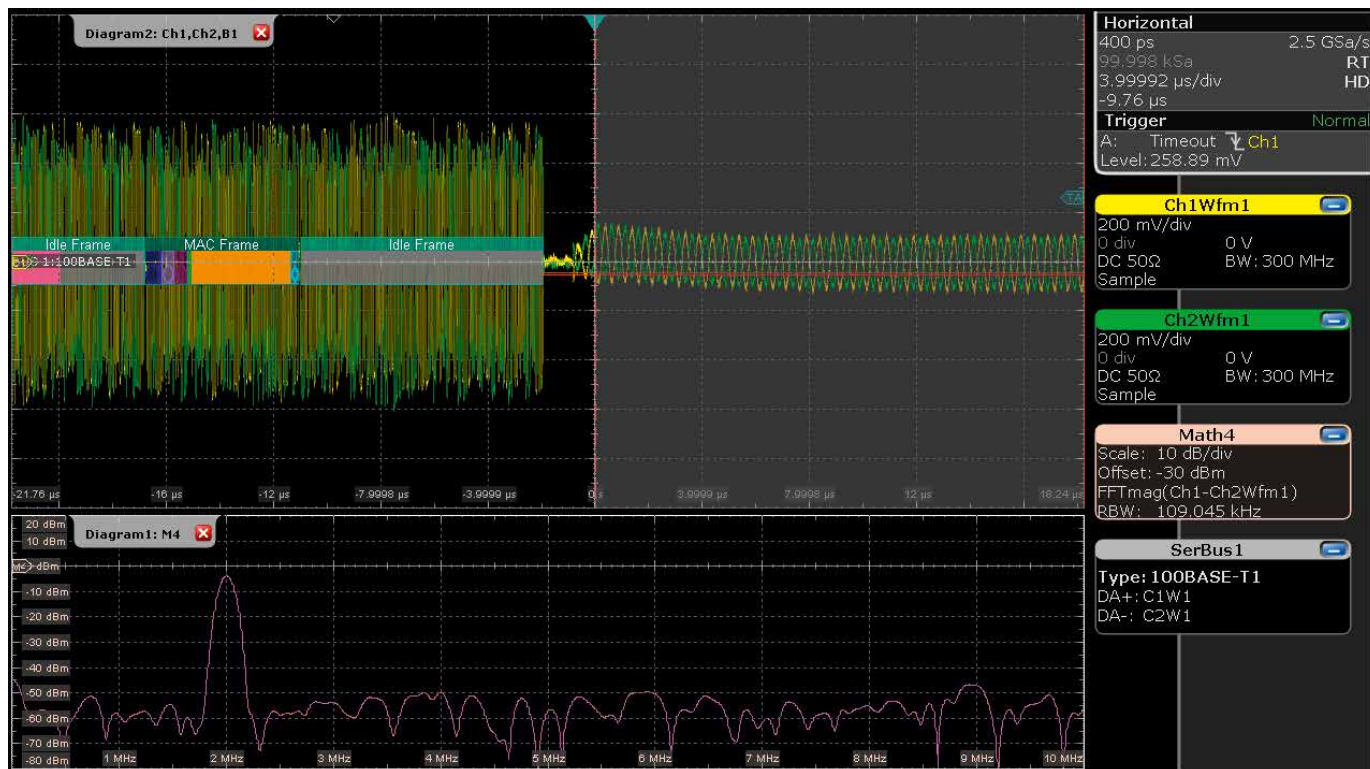


Fig. 7: Analyse d'une interruption sporadique de la communication du bus via l'analyse combinée du protocole et de la fréquence.

Dans la mesure présentée à la figure 7, les trames MAC et les trames inactives sont, par exemple, correctement transmises au début de l'acquisition. Mais le flux de données s'interrompt brutalement au milieu de l'opération. La fenêtre

inférieure montre le spectre de fréquence de l'intervalle de temps défectueux (zone grisée en haut à droite). Une crête à 2 MHz est clairement visible. Ce signal parasite est, de toute évidence, responsable de l'interruption du bus. Ce type de débogage est bien entendu facilité par la combinaison du décodage et d'autres outils d'analyse de l'oscilloscope, comme l'analyse de la fréquence. L'oscilloscope permet donc d'identifier d'un coup d'oeil des problèmes qui seraient autrement difficiles à détecter.

Configuration d'oscilloscope requise

- Oscilloscope: **R&S®RTO2004**
(4 canaux, largeur de bande ≥ 600 MHz)
ou R&S®RTE1054
(4 canaux, largeur de bande ≥ 500 MHz)
- Option **R&S®RTO-K57** ou **R&S®RTE-K57** pour la prise en charge de la norme 100Base-T1
- Dispositif de sondage Ethernet **R&S®RT-ZF5** pour la séparation des canaux

Également recommandés :

- Option **R&S®RTE-TDBNDL** pour la fonction de déclenchement et de décodage en série
- Option **R&S®RTO-K24** pour le test de conformité 100Base-T1
- Option **R&S®RTO-K87** pour le test de conformité 1000Base-T1
- Analyseur de réseaux vectoriel **R&S®ZND**

Conclusion

Rohde&Schwarz a conçu, pour le développement d'unités de commande à interface Ethernet automobile, une solution complète de déclenchement et de décodage 100BASE-T1. Dotée d'un dispositif de sondage Ethernet pour l'acquisition non intrusive des signaux, cette solution permet l'analyse de la communication du bus sur les sept couches de communication OSI. Des fonctions étendues de déclenchement et d'affichage des paquets de données transmis permettent à la fois l'analyse du contenu du protocole et l'identification des causes des erreurs de bus qui se produisent.

Une option dédiée est proposée pour les tests de conformité de l'Ethernet automobile 100BASE-T1 et 1000BASE-T1, et pour les tests de segments de liaison.

Dr. Ernst Flemming