

# **Rückwirkungsarme, digitale, optische Übertragungssysteme zur Überwachung und Stimulation von Prüflingen bei EMV-Prüfungen im Automobilbereich**

## **1. Ausgangssituation**

EMV-Prüfungen im Automobilbereich stellen in Bezug auf die Emissions- wie auch die Störfestigkeitsmessungen extreme Anforderungen. Dies gilt auch für die Messtechnik zur Überwachung der Prüflinge (DUT's) bzw. zur Stimulation während der Prüfungen. Neben Fachgrundnormen wie z.B. ISO 11452-x (Störfestigkeit) bzw. CISPR 25 (Emission) [1] ist die Situation durch eine große Vielfalt von Haus-Normen der Fahrzeughersteller (OEM: Original equipment manufacturer) geprägt. Diese sind keineswegs einheitlich. Es existieren unterschiedlichste Prüfverfahren wie z.B. BCI, Stripline, Antenne bei Störfestigkeitsprüfungen wie auch leitungsgeführte bzw. feldgebundene Prüfungen bei Emissionsprüfungen. Für die Prüflingsüberwachung, die während den EMV-Prüfungen in den Messhallen zum Einsatz kommen, sehen sich sowohl die Betreiber von EMV-Prüflaboren wie Zulieferer elektronischer Komponenten vor der Problematik, möglichst alle Hersteller-Anforderungen mit möglichst wenigen Prüfeinrichtungen überwachen bzw. stimulieren zu können. Sie sollten zumindest die Hüllkurvenanforderungen aller OEM's beinhalten oder über diese hinausgehen.

Die Anforderungen an die Überwachungs-/Stimulationsmesssysteme sind vielfältig:

1. Die Messsysteme dürfen das Verhalten der Prüflinge weder bei Emissions- noch bei Störfestigkeitsprüfungen beeinflussen, sie müssen also rückwirkungsarm sein. Die notwendigen Funktionen sollen im Nutzsignalbereich reale Lasten nachbilden, im EMV-Prüffrequenzbereich aber eine möglichst konstante, zu vernachlässigende Wirkung haben. Der Übergangsbereich vom Nutzfrequenzbereich des Messsystems in den Sperrbereich der EMV-Prüfungen sollte möglichst klein sein und dies alles in einem Prüffrequenzbereich, der typischerweise von einigen kHz bis in den GHz-Bereich reicht. Oft überlappt der Nutzsignalbereich mit dem EMV-Prüfbereich (z.B. bei Flexray). An dieser Stelle wird die Grenze des physikalisch Machbaren erreicht. Rückwirkungen des Messsystems zeigen sich oft dadurch, dass ein nicht überwacht System in bestimmten Frequenzbereichen beeinflusst wird (bei Störfestigkeitsprüfungen), die sich nach Anschluss des Messsystems verschieben oder ganz verschwinden. Dies wird durch die Tatsache verteilter Systeme verschärft. Systeme wie z.B. Sensorik und Steuergeräte sind räumlich getrennt und können aber nur gemeinsam getestet werden.
2. Die Messsysteme dürfen im gesamten EMV-Prüfbereich weder zusätzliche Störer erzeugen, noch dürfen sie durch Störgrößen beeinflussbar sein.
3. Die Messtechnik soll auch in der Fahrzeugumgebung beim OEM einsetzbar sein, wo, insbesondere im Motorenbereich, Temperaturen während den Fahrzeugprüfungen herrschen, die weit über die Anforderungen üblicher Komponenten-EMV-Tests hinausgehen. Dies stellt auch an die Messtechnik extreme Anforderungen.

4. Die Systeme sollen batteriebetrieben, mit kurzer Ladezeit und langer Betriebsdauer sein. So kann die Abhängigkeit von Versorgungssystemen mit langen Zuleitungen, die wiederum zu Rückwirkungen führen können, in der Messhalle minimiert und eine hohe Verfügbarkeit für den Betreiber garantiert werden. Diese Anforderung wird durch die verfügbare Energiedichte der verwendeten Batteriesysteme und die daraus resultierende Größe des Systems begrenzt.
5. Potentialfreiheit ist entscheidend, um unabhängig vom Bezugspotential Messungen durchführen zu können (vgl. das Beispiel im nachfolgenden Abschnitt). Das bestehende Massesystem des Prüflings darf durch das Überwachungssystem möglichst nicht verändert werden.
6. Gefordert wird eine große Variabilität der Amplitudenbereiche und Nutzfrequenzbereiche der zu übertragenden Signale (z.B. hohe Genauigkeit im Millivolt-Bereich von DC-Sensorsignalen bis hin zu Injektorsignalen mit Amplituden von über 100 V und hohen Bandbreitenanforderungen).
7. In manchen Fällen z.B. bei Bussystemen wie CAN ist ein bidirektionaler Betrieb der Überwachungssysteme notwendig.
8. Es gibt eine Vielzahl von Signalformen, die stimuliert bzw. überwacht werden müssen. Neben den üblichen digitalen CAN-Signalen sind dies LINBUS-, K-Line, Flexray-, SPI, LVDS- und PAS-Signale (Crashsensorik), um nur die gängigsten zu nennen. Daneben existieren analoge Signale mit hoher Bandbreite oder hohen Genauigkeitsanforderungen (selten beides gemeinsam) wie Sensor- oder Injektorsignale.
9. Bei einigen Anwendungen müssen mehrere Signale z.B. mehrere Highspeed-CAN-Signale und auch Lowspeed-CAN-Signale gleichzeitig überwacht werden.

Bild 1 zeigt das Übertragungssystem in einem vereinfachten Beispielaufbau.

Bild 1: Übertragungssystem mit Zuleitung und Eingangsimpedanz  $\underline{Z}(f)$  zur Signalüberwachung bzw. -stimulation bei EMV-Prüfungen im Beispielumfeld

Da ein solches ideales Messsystem nicht existiert, müssen Kompromisse eingegangen werden. Zum Einsatz kommen neuartige, modulare, digitale, optische Übertragungssysteme, die den Vorteil der Potentialfreiheit besitzen. Sie sind emissionsarm und in hohem Masse resistent gegen elektromagnetische Felder großer Amplitude sowie Störströme. Sie lassen sich im Gegensatz zu konventionellen angeschlossenen Messleitungen rückwirkungsarm gestalten.

Bisher geschah die Überwachung des Prüflings meist mit Hilfe analoger optischer Übertragungsstrecken, vor allem wenn eine hohe Bandbreite zur Übertragung des zu überwachenden Signals gefordert war.

## 2. Prinzip optischer Übertragungssysteme

### 2.1 Analoge optische Übertragungssysteme

Die klassischen analogen Übertragungsstrecken weisen wesentliche Nachteile auf. So sind sie, vor allem wegen der Temperaturabhängigkeit der Sende- und Empfangselemente, sehr empfindlich gegen Temperaturschwankungen. Hinzu kommen ein hohes Grundrauschen, eine hohe Nichtlinearität und eine hohe Empfindlichkeit des Systems gegenüber optischen Dämpfungen des Lichtleiters durch unterschiedliches mechanisches Verlegen (Biegeradien). Diese Abhängigkeit erzwingt meist auch die ausschließliche Verwendung eines Lichtleitertyps. Alle diese Faktoren erfordern deshalb oft eine ständige Nachkalibrierung des Übertragungssystems während den Messungen. Häufig wird auch nicht die ursprüngliche Amplitude des Signals übertragen, sondern eine normierte Spannung, welche die Weiterverarbeitung des Signals ohne nachträgliche Anpassung erschwert.

### 2.2 Digitale optische Übertragungssysteme

Durch die Weiterentwicklung der optischen Übertragungstechnik können heute moderne digitale Übertragungssysteme hoher Bandbreite realisiert werden, welche die oben beschriebenen Nachteile der bislang verwendeten Analogtechnik nicht aufweisen. Nach der auch bei digitalen Übertragungsstrecken verwendeten analogen Filterung am Signaleingang, die mit Filtern hoher Ordnung durchgeführt werden muss, werden Analog/Digital-Umsetzer verwendet, die das zu messende Signal abtasten und quantisieren. Durch Oversampling wird die Übertragung steiflankiger Vorgänge weiter verbessert. Die zusätzliche Codierung der Signale gewährleistet eine eindeutige Synchronisation jedes Samples. Neuartige Systeme kommen mit einem einzigen Standard-Lichtwellenleiter (z.B. Multimode 62,5/125  $\mu\text{m}$ ) zur unidirektionalen Signalübertragung aus. Das optische Signal wird über eine sehr breitbandige LED oder eine Laserdiode und einen Standard-Lichtwellenleiter an den Empfänger übertragen und dort wieder in eine elektrische Spannung konvertiert. Eine Digital-/Analog-Umsetzung mit anschließender Verstärkung stellt sicher, dass das ursprüngliche Signal sowohl in Form als auch in Amplitude identisch wiederhergestellt wird. Bild 2 zeigt eine unidirektionale Übertragung eines analogen Messsignals.

Werden mehrere Messkanäle oder eine bidirektionale Übertragung von Signalen benötigt, so sind entsprechend viele Kanäle zu realisieren. Hierfür müssen bei Vielkanalsystemen die einzelnen Übertragungskanäle gebündelt werden, um alle Kanäle über einen Lichtwellenleiter übertragen zu können. Dies führt zu einem erhöhten Bandbreitebedarf der optischen Bausteine. Zu beachten ist der mit der Kanalbündelung und den damit notwendigen Kodierungen einhergehende Bandbreiteverlust. Zum Einsatz kommen für Kanalbündelungen Transceiver mit Laserdioden. Zum Teil müssen auch im Übertragungssystem selbst logische Verknüpfungen der Kanäle vorgenommen werden (vor allem bei Bussignalen).

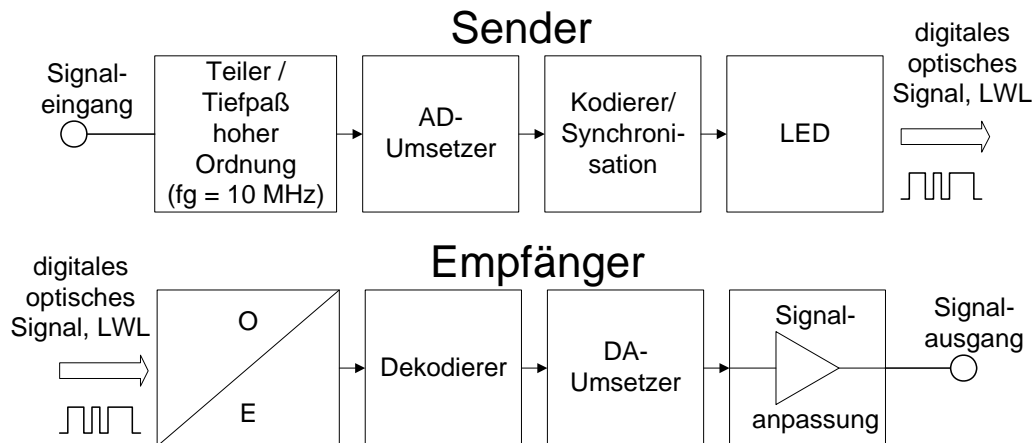


Bild 2: Beispiel eines unidirektionalen digitalen optischen Übertragungssystems für Analogsignale

### 3. Umsetzung der Anforderungen

Neben der Verwendung einer digitalen, optischen Übertragung für eine uni- bzw. bidirektionale Übertragung kommen der Größe des Messsystems in der Messhalle und der Adaption der Signale an das Übertragungssystem zentrale Bedeutung zu. Die Miniaturisierung der Systeme wird im Wesentlichen durch die eingesetzten Batterien und deren Größe limitiert. Um Rückwirkungsarmut des Übertragungssystems zu garantieren, werden als Filter RC-Kombinationen hoher Güte verwendet. Zum Einsatz kommen SMD-Widerstände bestimmter Größe, welche ein konstantes Frequenzverhalten bis zu hohen Frequenzen hin aufweisen, vgl. [3]. In Kombination mit Keramik Kondensatoren kleiner Bauform und kleinen Nominalwerten lassen sich Tiefpassfilter realisieren, die sowohl rückwirkungsarm sind als auch eine hohe Dämpfung der hochfrequenten Störsignale garantieren. Den Extremfall stellen Anforderungen an zu überwachende Analogsignale dar, bei denen die Filter über einen breiten Frequenzbereich Dämpfungswerte von zum Teil mehr als 80 dB bei Störfestigkeitsmessungen aufweisen müssen. Kriterium für die Filterdämpfung ist stets die maximal zulässige Abweichung durch eingekoppelte Störsignale, die im Falle von Analogsignalen nur wenige Digits des AD-Umsetzers betragen dürfen. Ganz ähnlich werden Ausgangsfilter für Stimuli realisiert. Bei digitalen Standard-Logiksignalen wird entsprechend vorgegangen. Bei zu übertragenden BUS-Signalen ist eine solche Vorgehensweise allerdings nicht geeignet. Dort stellt das Übertragungssystem einen zusätzlichen BUS-Knoten dar, der die von den verschiedenen Bussystemen vorgegebenen Randbedingungen, auch an die Filterbeschaltung, einzuhalten hat. Abhilfe schaffen hier nur ausgewählte Filterbauteile mit exakten parasitären Eigenschaften. Oft kommen die entsprechenden Filterelemente, vor allem bei Anwendungen mit einer geringen Aderzahl im Kabelbaum, an ihre thermischen Grenzen, da keinesfalls beliebig große Schutzelemente verwendet werden können.

Für hohe Frequenzen sind Ein- bzw. Auskopplungen weniger von den angeschlossenen Kabelsystemen als vielmehr von der Schirmdämpfung der Gehäusesysteme abhängig. Diese erhalten zu diesem Zweck eine entsprechende Oberflächenveredelung.

Um eine Vielzahl von Signalen übertragen zu können, lässt sich der stets identische Teil des Übertragungssystems in einer Zentraleinheit („Grundmodul“) unterbringen. Dieses Grundmodul enthält sowohl die Batterieversorgung, die optischen Elemente wie auch die Spannungsversorgung für verschiedene Signalaufsätze und dient als Plattform für alle anderen zu übertragenden Signale. Damit lässt sich die Vielzahl der Systeme auf ein Basissystem mit verschiedenen Aufsatzmodulen reduzieren. Dies erhöht die Verfügbarkeit, verringert den notwendigen Platz (vor allem bei Mehrfachüberwachungen) und die Zahl der vom Laborbetreiber zu verwaltenden Geräte. Bild 3 zeigt ein Prinzipschaltbild eines solchen realisierten modularen Übertragungskonzeptes. Neben den Filterbeschaltungen und der digitalen optischen Übertragung sind spezielle, zur Qualifikation der Systeme notwendige Messverfahren entwickelt worden, welche vom zu übertragenden Signal und von den Prüfverfahren (Störfestigkeit wie Emission) abhängen.

Bild 3: Modulares Konzept eines universellen digitalen optischen Übertragungssystems für verschiedenste Überwachungs- und Stimulationssignale

#### 4. Anwendungen bei Störfestigkeitsprüfungen und Limitierungen

Der Vorteil der Potentialfreiheit der digitalen, optischen Übertragung zeigt sich am Beispiel der in Bild 4 dargestellten Messaufgabe. Hierzu muss bei einer Störfestigkeitsprüfung der Injektorstrom auf der Spannungsobenseite über einen Shunt gemessen werden. Diese Messung ist nur mit einem potentialfreien Messsystem möglich. Die Realisierung dieser, von einigen OEM's geforderten Überwachung steilflankiger Injektorsignale, zeigt Bild 4.

Antenne

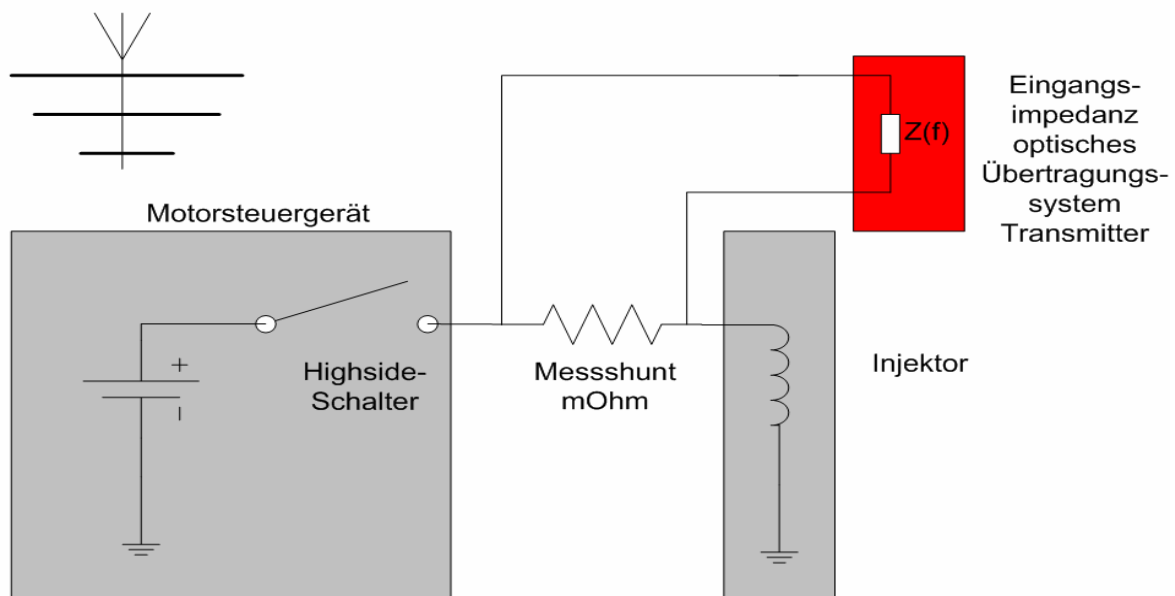


Bild 4: Potentialfreie Messung eines Injektorsignals während einer Störfestigkeitsprüfung

Limitierungen der optischen Überwachungssysteme sind oft systembedingt. So sind bei BUS-Systemen wie z.B. bei CAN-Signalen, wenn nicht nur mitgehört wird (unidirektionaler Betrieb), sondern bidirektionaler Betrieb notwendig ist, bestimmte Antwortzeiten auf Busaktivitäten einzuhalten. Durch die Umsetzung der elektrischen Signale in optische Signale und umgekehrt sowie die Laufzeiten über die Lichtwellenleiter ergeben sich Laufzeitverzögerungen. Diese limitieren den Einsatz der Übertragungssysteme, insbesondere bei hohen Baudraten der Bussysteme. Verbesserungen schaffen in solchen Fällen nur Verkürzungen der Lichtwellenleiterlängen von der Messwarte bis in die Messkammer. Damit hängt die Funktion nicht nur von den Eigenschaften des Übertragungssystems, sondern auch von lokalen Gegebenheiten der Messhallen ab (z.B. vom Abstand des Messtisches in der Messhalle zum Auswerte-Rack in der Messwarte).

## **5. Anwendungen bei Emissionsprüfungen und Limitierungen**

Sehr häufig besteht bei Emissionprüfungen die Notwendigkeit, den Prüfling während des Testprogramms zu stimulieren, z.B. über CAN oder aber mit Hilfe eines Analogsignals, um den Prüfling in einem definierten Funktionszustand betreiben zu können. Hierbei sind die Stimulusignale von der Bandbreite so einzuschränken, dass sich diese nicht mit dem EMV- Prüffrequenzbereich überlappen. Zum Einsatz kommen entweder wieder entsprechende Filter oder, wie z.B. bei LINBUS-Signalen, spezielle Transceiver mit Trapez-Impulsformung. Deren Emissionsbetragspektrum fällt im interessierenden Emissionsbereich mit  $1/f^2$ , damit mit 40 dB/Dekade und nicht nur mit  $1/f$  (20 dB/Dekade).

Diese Methode stößt bei schnellen Bussystemen wie Flexray (gegenwärtige Baudrate 10 Mbaud) allerdings an ihre Grenzen. Auch zum Teil mehrkanalige LVDS-Signale mit Übertragungsraten von mehreren hundert Mbaud, wie sie in modernen Telematiksystemen Einzug halten, sind damit nicht beherrschbar. Für solche Systeme muss eine voll geschirmte Zuleitung hoher Schirmdämpfung vom Übertragungssystem zum Prüfling vorgesehen werden. Damit wird das bestehende Massesystem des Prüflings aber unweigerlich verändert. Solche Begrenzungen müssen in Kauf genommen werden, wenn auch solche Systeme EMV-Prüfungen unterzogen werden sollen.

## **6. Zusammenfassung**

Durch die Verbindung digitaler, optischer Übertragungssysteme mit intelligenter, an die Testanforderungen angepassten Filtertechnik, einer störfesten und störungsarmen Elektronik sowie einer adäquaten Gehäusetechnik lassen sich universell einsetzbare Überwachungs- bzw. Stimulationssysteme aufbauen. Diese Systeme ermöglichen für fast alle gängigen Signale und Bussysteme im Automobilbereich sowie für nahezu alle EMV-Prüfungen (Störfestigkeit und Emission) eine rückwirkungsarme und den EMV-Prüfungen angepasste Überwachung/Stimulation. Hiervon profitieren sowohl Betreiber von EMV-Messeinrichtungen als auch Zulieferer der Automobilindustrie.

## 7. Autoren

Dipl.-Ing. Eckhard Nagel

Dr.-Ing. Thomas Krauß

NK-Elektronik

[www.nkelektronik.de](http://www.nkelektronik.de)

Vertrieb:

emv GmbH

[www.emvgmbh.de](http://www.emvgmbh.de)

info@emvgmbh.de

## 8. Literatur

- [1]: ISO 11452-x, CISPR 25: zu beziehen über den Beuth-Verlag
- [2]: T. Krauß, E. Nagel, U. Reinhardt: *Optische Übertragungstrecken für EMV-Messungen*; TEST KOMPENDIUM 2002, S.108-110, Publish Industry Verlag, 2001.
- [3]: J. Franz: *EMV, Störungssicherer Aufbau elektronischer Schaltungen*. Teubner, Stuttgart Leipzig Wiesbaden 2002, [ISBN 3-519-00397-X](https://www.isbn-international.org/number/3-519-00397-X).