

Was kommt nach dem Optokoppler? Datenkoppler im Vergleich

Dipl.-Ing. WOLF-DIETER ROTH – DL2MCD

Wo eine galvanische Trennung erforderlich ist, kommt ein Optokoppler zum Einsatz. So haben es Entwickler über Jahrzehnte gelernt. Doch mittlerweile eröffnen neue Technologien interessante Alternativen.

Die (Infrarot-)Lichtstrecke eines Optokopplers trennt Stromkreise mit hohen Spannungen sicher. Allerdings ist sie für die heutige Datentechnik nicht mehr schnell genug. Galvanische Trennungen sind in vielen Elektronikschaltungen gefragt, um Potenzialdifferenzen mit teils fatalen Auswirkungen zu vermeiden. Messtechnik, Feldbussysteme und andere ausgedehnte Verdrahtungen in Produktionsanlagen sind nur einige Anwendungen. Auch zur Vermeidung von Brummschleifen in der Audio- und Videotechnik oder aus Sicherheitsgründen in der Medizintechnik kommen sie zum Einsatz.

Doch selbst die Digitaltechnik kann von einer galvanischen Trennung profitieren. Dies können all jene bestätigen, die schon einmal einen Satellitenreceiver über eine elektrische S-P/DIF-Verbindung (statt der Variante über Glasfaserkabel) an einen Ver-

stärker angeschlossen haben und dann feststellen mussten, dass bei jedem Betätigen eines Lichtschalters im Haus der angeblich doch so störsichere Digitalton aussetzt.

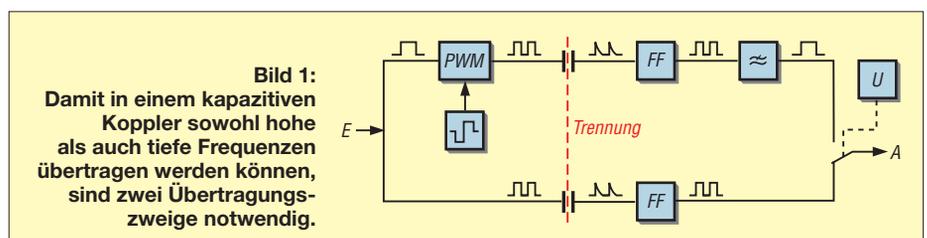
■ Klassische induktive Kopplung

Transformatoren sind seit jeher nicht nur für Spannungs- oder Stromwandlung gebräuchlich, sondern ebenso zur galvanischen Trennung. Sie kommen immer noch als Netztransformatoren zum Einsatz. Unter der Bezeichnung *Übertrager* finden sie

aber auch als reine Signal-, Daten- und Impulstransformatoren Verwendung. Baluns, andere Ringkernübertrager sowie die kernlosen Varianten der Funktechnik sind natürlich ebenfalls hierzu zu zählen.

Übertrager arbeiten in unterschiedlichen Varianten bei Frequenzen von wenigen Hertz bis in den Gigahertzbereich. Doch können sie nur Wechselspannungen übertragen. Bei langsam variierenden Signalen und Gleichspannung müssen sie passen. Nur mit einer amplitudenmodulierten Wechselspannung, die nach dem Übertrager wieder demoduliert werden muss, ist dies zu umgehen. Dadurch ist allerdings die obere Grenzfrequenz der möglichen Übertragung nach Nyquist auf die Hälfte der Frequenz der verwendeten Wechselspannung begrenzt.

Ein zweiter Schwachpunkt tritt bei der Digitaltechnik auf: die mangelnde Impulstreue der Übertrager. Die Übertrager können im Frequenzbereich zwar durchaus ei-



nige Zehnerpotenzen abdecken, doch werden gerade die rechteckigen Datensignale oft deutlich verzerrt. Die Induktivitäten des Übertragers fordern ihren Tribut und führen zu Dachschrägen, zum Überschwingen und zu Phasenverschiebungen – ungünstig für zeitkritische Flanken.

Weitere Schwachpunkte sind der Platzbedarf und das hohe Übersprechen zwischen mehreren Übertragern. Auf SMD-Digitalplatinen sind sie als konventionell gewickelte Version kaum mehr zu finden. Einziger Vorteil des Übertragers: Wie sein großer Bruder, der Netztransformator, hat er in klassischen Bauformen nur geringe energetische Verluste. Somit können die Schaltungsteile jenseits des Übertragers mitunter ohne eigene Energiequellen auskommen.

In moderner IC-Bauform, als Planar-Transformator auf einem Silizium-Chip, werden solche Bausteine mit einem bis vier Kanälen angeboten. Induktive Koppler bieten Übertragungsgeschwindigkeiten bis 100 MBit/s, verwenden Flankendetektion und

liefern 3-V- oder 5-V-Logikpegel, wie dies alle anderen Koppler, bis auf die optischen, beherrschen.

■ **Alternativ: Hochfrequenzübertragung**

Eine weitere Möglichkeit ist es, das kapazitive oder induktive Modulationsprinzip noch weiter zu führen und gleich mit Hochfrequenz zu übertragen, und zwar bei 2,1 GHz mit einem induktiven Übertrager – also keiner echten HF-Sendestrecke. Damit sind theoretisch Übertragungen digitaler Signale bis 1 GHz möglich; in der Praxis werden hier bis zu 150 MBit/s angeboten. Allerdings ist das Übersprechen zwischen den einzelnen Kanälen nicht unerheblich. Ebenso problematisch ist der immer stärkere Einfluss anderer HF-Sender in der Nähe des benutzten Frequenzbands. Dies können z. B. UMTS-Mobiltelefone oder 2,4-GHz-ISM-Sender sein, die mit Video-Übertragungsstrecken, Bluetooth, Zigbee, WLAN und unzähligen anderen Anwendungen geradezu allgegenwärtig sind.

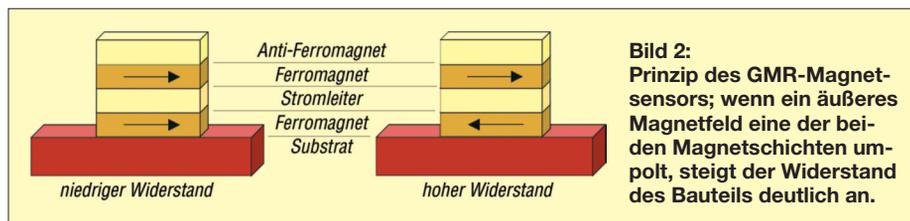


Bild 2: Prinzip des GMR-Magnetensensors; wenn ein äußeres Magnetfeld eine der beiden Magnetschichten umpoliert, steigt der Widerstand des Bauteils deutlich an.

können zunächst keine Gleichspannungen übertragen, weshalb in den ICs noch ein 500-kHz-Hilfsoszillator vorgesehen ist. Allerdings können diese Bausteine im Gegensatz zu konventionellen Übertragern keine nennenswerten Energiemengen mehr übertragen. Sie benötigen also sekundärseitig ebenfalls eine Stromversorgung.

■ **Keine Spulen: kapazitive Kopplung**

Eine Alternative sind kapazitive Koppler. In einfacher Form sind sie als potenzialtrennende Kondensatoren in praktisch jedem NF- und HF-Verstärker zu finden. Als kurvenformtreue, komplett galvanisch trennende Lösung wird die Angelegenheit dagegen komplizierter: Gleichspannung und langsam variierende niederfrequente Kurvenformen können wiederum nur durch Modulation des Signals auf eine Wechselspannung übertragen werden.

Zwei Kanäle decken in realen Schaltungen einerseits den Bereich von 100 kBit/s bis 150 MBit/s direkt ab, andererseits den Bereich von Gleichspannung bis 100 kBit/s über Pulsweitenmodulation. Nach der kapazitiven Isolationsstrecke werden die beiden Kanäle wieder zusammengefügt – eine funktionale, doch relativ komplexe Lösung, wie Bild 1 zeigt. Die Ausgänge

■ **Optokoppler und ihre Schwächen**

All diese Probleme haben dazu geführt, dass ein anderes Bauteil zur galvanisch getrennten, kurventreuen Signalübertragung bis heute verbreitet ist: der aus LED, optischer Übertragungsstrecke und Fototransistor bestehende Optokoppler. Er kann von Gleichstrom bis in den unteren Megahertzbereich übertragen und hält dabei bei entsprechen-

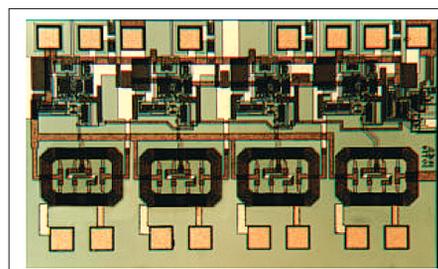


Bild 3: Blick in einen Isoloop-Vierfachisoloop; Abmessungen: 1,1 mm x 1,9 mm

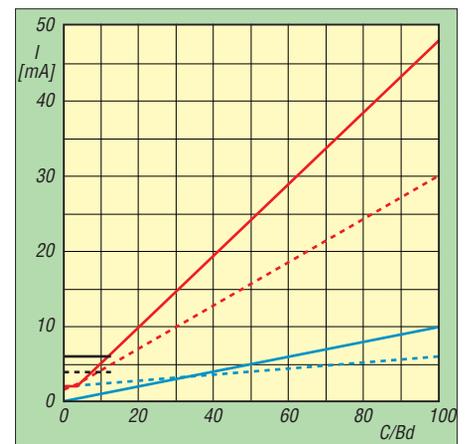


Bild 4: Versorgungsströme des Ein- (durchgezogene Linien) bzw. des Ausgangs (gestrichelte Linie) von Isoloop (blau), High-Speed-Optokoppler (schwarz) und induktivem Koppler (rot) in Abhängigkeit von der Datenrate

dem Aufbau prinzipiell alle Sicherheitsbestimmungen ein.

Allerdings hat er ebenfalls Nachteile. So neigen seine Empfänger zu elektrischen (kapazitiven) Einkopplungen und damit zum Übersprechen zwischen den einzelnen Kanälen. Außerdem ist das Isolationsmaterial nicht langzeitstabil, sowohl was die elektrische Isolation als auch die optische Transparenz betrifft. Da die Sendediode über die Jahre ebenso in Leistung und Effizienz nachlassen, ergibt sich ein degradierendes Übertragungsverhältnis, was bei analogen Übertragungen durchaus zum Problem werden kann.

Zudem sind die Fototransistoren langsam und schaffen nur einige Megahertz; schnelle optische Koppler sind nur selten zu finden und nicht preiswert. Für Übertragungsraten über 50 MBit/s sind Optokoppler nicht mehr verfügbar.

Des Weiteren ist der Energiebedarf nicht unerheblich und aktuell erhältliche Hochgeschwindigkeits-Optokoppler funktionieren nur mit 5 V Versorgungsspannung, doch nicht direkt mit den immer häufiger zu findenden Digitalschaltungen mit 3,3 V. Schließlich sind die Temperaturstabilitäten sowohl der Sende- als auch der Empfangsseite des Optokopplers nicht besonders gut.

■ **Halleffekt als Lösung?**

Hallsensoren auf der Empfängerseite sind in Zusammenarbeit mit Magnetspulen auf der Senderseite ebenfalls verwendbar. Doch sie haben mehrere Nachteile: Sie liefern nur ein sehr schwaches Signal und sind noch langzeitinstabiler als die Optokoppler. Zudem sind sie sehr anfällig gegen Gleich- und Wechselmagnetfelder, die sich in elektrischen und elektronischen Geräten ja kaum vermeiden lassen. In Kopplern konnte sich der Halleffekt nie durchsetzen.

Der magnetoresistive Quanteneffekt neueren Datums ist dagegen recht interessant. Beim GMR (engl. *Giant magnetoresistance*), zu Deutsch etwa Riesenmagnetwiderstand, steigt der Widerstand nanokristalliner Schichten, wenn diese gegenläufig magnetisiert werden und sinkt, wenn sie gleichsinnig magnetisiert werden, siehe Bild 2 und [1]. Es handelt sich um eine nanotechnische Anwendung von sogenannter Spintronik, bei der nicht die elektrische Ladung der Elektronen relevant ist, sondern ihre Orientierung (engl.: *Spin*).

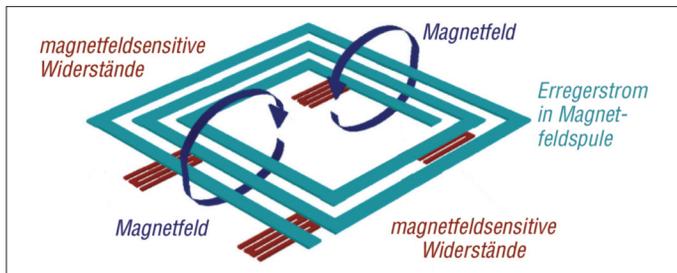


Bild 5: Schematischer Aufbau eines Isoloop-Kopplers; eine Magnetfeldspule liegt über jeweils vier GMR-Elementen.

2007: Nobelpreis für GMR

Entdeckt wurde der GMR-Effekt erst 1988 unabhängig voneinander von zwei Forschern: Peter Grünberg vom Forschungszentrum Jülich und Albert Fert von der Universität Paris-Süd. Dies brachte ihnen 2007 den Nobelpreis für Physik ein. Bekannt ist der GMR hauptsächlich durch die heute bei Festplatten verwendeten Leseköpfe, die zu enorm hohen Speicherdichten führen. Doch kann die GMR-Technologie ebenso in Magnetsensoren und Datenkopplern verwendet werden, wie sie von NVE (Non Volatile Electronics) unter dem Markennamen *Isoloop* angeboten und in Deutschland exklusiv bei Hy-Line vertrieben werden.

In diesen Bausteinen sind als Einzel- und Doppelkoppler GMR-Elemente, Steuerwindungen und Elektronik im bislang kleinsten Format (MSOP-Gehäuse) eines isolierenden Datenkopplers verbaut – in nur wenig größeren Gehäusen sind dann bis zu fünf Kopplerkanäle untergebracht.

Trigger auf Pegel oder Flanke

Die GMR-Elemente besitzen eine eher unerwartete Eigenschaft: Da es sich nicht um elektrische, sondern um magnetische Effekte handelt, bleibt der Schaltzustand der Koppler nach einem Stromausfall erhalten

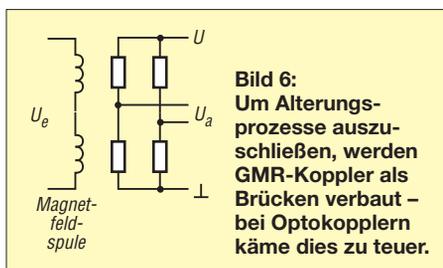


Bild 7: Prinzipschaltbild einer digitalen Audiostrecke mit den NVE-Isoloop-Bausteinen IL7xx. Foto, Grafiken: NVE/Hy-Line

digkeiten, Steuerung durch strom- statt spannungsliefernde Quellen und den direkten Ersatz von Optokopplern, deren Sendedioden ja ebenfalls stromgesteuert sind. Somit sind bei den IL6xx mit entsprechender Dimensionierung des Vorwiderstands Steuerspannungen von weniger als 1 V bis zu einigen Hundert Volt oder die Steuerung mit schwebenden Differenzspannungen möglich.

Die Baureihe IL7xx hat dagegen flanken-gesteuerte Logik-Eingangsstufen, womit sie ebenfalls hohe Geschwindigkeiten erreicht. Die Bausteine IL5xx nutzen hingegen pegelgesteuerte Logik-Eingangsstufen, mit denen sie zwar nur 2 MBit/s erreichen, jedoch sehr störfest sind und teils mit einem Arbeitstakt synchronisiert werden können (engl.: *external clocking*).

Wer auf die korrekte Übertragung statischer Logikpegel Wert legt, sollte also zu IL5xx oder IL6xx greifen; wem es auf hohe Geschwindigkeiten ankommt, zu IL6xx oder IL7xx. Es gibt alle drei als ein- bis vierkanalige Ausführung in kompakten IC-Gehäusen, die ohne weitere Elektronik saubere Digital-Datenpegel am Ausgang liefern. Mehrere fünfkanalige Varianten der IL7xx-Baureihe sind als IL2xx erhältlich. Die Ausgänge sind normalerweise CMOS-Gegentaktausgänge, doch auch als Open-Drain- oder Tri-State-Ausführungen erhältlich. Eine Übersicht ist auf [2] und [3] zu finden.

Guter Digitalklang dank geringem Jitter

Ein weiterer Vorteil der GMR-Koppler ist ein geringer Jitter: NVE gibt diesen mit gerade einmal 0,1 ns an. Dieser Wert liegt um Größenordnungen unter denen anderer Systeme und ist in der digitalen Audio- und Videotechnik von Vorteil. Hier wird galvanische Trennung benötigt, um lästige Knackser und Aussetzer durch Einstreuungen zu vermeiden. Jitter bringt neue Klangfehler in die doch vermeintlich fehlerfreie digitale Audiowelt. Dies können die GMR-Koppler vermeiden. Ebenso nützlich sind die isolierenden Koppler mit geringem Jitter in Präzisionsmesssystemen oder Taktgebern: Sie sorgen für genaue, rauscharme Messungen. Das GMR-Element selbst kann gegenwärtig bis zu 2 GHz übertragen, die Datenrate der kompletten *Isoloop*-Koppler von NVE liegt aktuell bei bis zu 150 MBit/s.

Gegenüber anderen Kopplern bietet die GMR-Technik geringe Ruheströme, die erst bei hohen Datenraten ansteigen und außerdem hohe Temperaturfestigkeit (bis 125 °C) und -stabilität bei einem größeren Spektrum unterschiedlicher Bausteine. 2500 V Isolationsspannung und 20 kV/s bis 30 kV/s Transientenfestigkeit sind bei *Isoloop* Standard. Zudem ist eine durch Alterung bedingte Änderung der Kenndaten um den Faktor 100 geringer als bei Optokopplern.

Für eine so junge Technologie sind die *Isoloop*-Koppler bereits sehr vielseitig einsetzbar. Die Normen UL1577, IEC61010-1 (Sicherheit), EN50081-1 und -2 (EMV aktiv und passiv) sowie RoHS und ISO 9001 werden eingehalten. Einzelexemplare der Bausteine sind bei [4] erhältlich, während [2] ausschließlich Industriekunden mit größeren Stückzahlen beliefert.

Anm. d. Red.: Wolf-Dieter Roth ist technischer Redakteur bei Hy-Line Power Components (www.hy-line.de/power) in Unterschaling. d12mcd@gmx.net

Literatur und Bezugsquellen

- [1] Wikipedia: GMR-Effekt. www.wikipedia.de → Suche: GMR-Effekt
- [2] Hy-Line Power Components: Schnelle Datenkoppler in GMR-Technologie. www.hy-line.de/isoloop
- [3] FA-Bauelementeinformation: Datenkoppler ILxxx: FUNKAMATEUR 59 (2010), in Vorbereitung
- [4] Sander Electronic, Berlin, Tel. (030) 29 49 17 94, www.sander-electronic.de