

netzpraxis

EW Medien und Kongresse GmbH: www.ew-online.de

Sonderdruck-PDF (Nr. 15 300) aus Jg. 54 (2015), Heft 1-2, S. 34-43

Technologie induktiver Datenkoppler

Datenübertragung mit induktiven Kopplern als Mosaikstein der Energiewende

von Dipl.-Ing. (FH) Martin Rick

Technologie induktiver Datenkoppler

Datenübertragung mit induktiven Kopplern als Mosaikstein der Energiewende

Seit der Ersteinführung in den Markt durch die Eichhoff Kondensatoren GmbH als Erfinder und Halter des Europäischen Patentes (No. 1406369B1) im Jahr 2003 sind nanokristalline induktive Koppler für Breitband-Datenübertragung ein fester Bestandteil der Datenübertragung auf Stromversorgungskabeln im Mittel- und Hochspannungsbereich geworden.



Bild 1: Induktive Koppler diverser Hersteller

Neben ausgewogenen Produkten werden aktuell am Markt auch Produkte mit weniger ausgewogenen Eigenschaftsprofilen angeboten (Bild 1).

Trotz der hervorragenden Eigenschaften nanokristalliner Werkstoffe geht in der Regel die einseitige Optimierung einer bestimmten Eigenschaft eines induktiven Kopplers mit der Verschlechterung anderer, nicht weniger wichtiger Eigenschaften, einher.

Wodurch zeichnet sich ein induktiver Koppler mit ausgewogenem Eigenschaftsprofil aus, wo sind die physikalischen Grenzen?

Wann ist ein induktiver Koppler mit Vorteil anwendbar und in welchen Fällen sind kapazitive Koppler technisch im Vorteil?



Dipl.-Ing. (FH) **Martin Rick**, PLC-Entwicklung, Eichhoff Kondensatoren GmbH, Schlitz

Dieser Fachbeitrag soll bei der Auswahl des geeigneten Kopplers für die kundenspezifische Applikation helfen und arbeitet anhand vergleichbarer induktiver Koppler die spezifischen Unterschiede der verschiedenen Designansätze induktiver Koppler heraus.

Zunächst werden die grundsätzlichen physikalischen Unterschieden zwischen induktiver und kapazitiver Kopplung dargestellt sowie die Stärken und Schwächen der jeweiligen Technologie aufgezeigt.

Sind induktive Koppler besser als kapazitive Koppler? Warum arbeitet ein kapazitiver Koppler besser als ein bestimmter induktiver Koppler in der jeweiligen Applikation? Wie kann der Anwender einfach die geeignete Kopplungstechnologie für einen konkreten Standort bestimmen?

Zunächst einmal: induktive Kopplung ist nicht besser als kapazitive Kopplung.

Der Nutzen induktiver Kopplung liegt in der relativ einfachen Installation und der Tatsache begründet, dass diese im Gegensatz zu kapazitiver Kopplung keine galvanische Verbindung zum Stromversorgungsnetz benötigt. Der letztge-

nannte Aspekt ist von besonderer Bedeutung, da diese somit keinen Einfluss auf die Zuverlässigkeit des Stromversorgungsnetzes hat (Bild 2).

Auf der anderen Seite gibt es Anwendungen, bei denen kapazitive Kopplung eine höhere Performance bietet.

Der Schlüssel, um den fundamentalen Unterschied zwischen induktiver und kapazitiver Kopplung zu verstehen, liegt im unterschiedlichen Einfluss der Impedanz der Schaltanlage.

Die Impedanz der Schaltanlage ist

- in Kombination mit induktiver Kopplung in Serie mit der Impedanz des Kabels,
- in Kombination mit kapazitiver Kopplung parallel zur Impedanz des Kabels (Bild 3).

Diese Tatsache führt zu folgenden einfachen Konsequenzen:

- In allen Fällen, in denen die Schaltanlage eine niedrigere Impedanz als das Kabel aufweist, ist induktive Kopplung mit Vorteil einsetzbar.
- In allen Fällen, in denen die Schaltanlage eine höhere Impedanz als das Kabel aufweist, ist die kapazitive Kopplung mit Vorteil einsetzbar.

Wenn der Techniker vor einer Schaltanlage steht, kann er einfach (wenn auch nicht wissenschaftlich genau) abschätzen, welche Kopplungsmethode die besseren Ergebnisse verspricht:

- Eine Schaltanlage mit etlichen abgehenden Leitungen verspricht eine im Mittel niedrigere Impedanz als das Kabel: Induktive Kopplung ist eine gute Wahl.
- Eine Schaltanlage, an die lediglich neben dem Kabel ein Transformator angeschlossen ist, verspricht im Mittel eine höhere Impedanz als das Kabel: kapazitive Kopplung ist die bessere Wahl.
- Eine Schaltanlage mit genau einer weiteren abgehenden Leitung und eventuell angeschlossenen Transformatoren verspricht ungefähr die gleiche Impedanz wie das Kabel: beide Kopplungsmethoden sind mit vergleichbarem Erfolg anwendbar.

Ist induktive Kopplung in Verbindung mit Freileitungen anwendbar?

Es ist eine physikalische Tatsache, dass induktive Koppler realistischer Größe am besten in Verbindung mit relativ niedrigen Impedanzen, wie diese für Kabelstrecken typisch sind, arbeiten.

Angesichts der recht hohen Leitungsimpedanz einer Freileitung ist diese Bedingung nicht mehr erfüllt, so dass entweder sehr große induktive Koppler eingesetzt werden müssen oder große Kopplungsverluste sowie Fehlanpassungen in Kauf genommen werden müssen.

Im Gegensatz hierzu arbeiten kapazitive Koppler besonders gut bei hohen Impedanzen.

Das Schreckgespenst aus vergangenen Zeiten: der geöffnete Schalter.

Eine Mittelspannungsschaltanlage enthält Mittelspannungsschalter, mit denen unter anderem auch ein für die Datenübertragung genutztes Mittelspannungskabel von der Sammelschiene getrennt werden kann.

Das ist in Ring- und Maschennetzen ein ganz normaler Betriebszustand, mit dem immer zu rechnen ist.



Bild 2: Induktiver Koppler an Kabelendverschluss

In der Literatur wird nun immer wieder darauf verwiesen, dass induktive Kopplung auf einer durch einen Schalter abgetrennten Leitung nicht mehr funktionieren soll.

Woher stammt diese Aussage und ist diese heute noch zutreffend?

- »Altertümliche« und Schmalband-Power-Line-Communicati-

on(PLC)-Systeme können Frequenzen oberhalb von rd. 150 kHz bis 500 kHz nicht nutzen. Derartig niedrige Frequenzen lassen sich tatsächlich nicht bei einem geöffneten Mittelspannungsschalter induktiv auf das Kabel einspeisen.

- Induktive Kopplung funktioniert oberhalb von 10 MHz mit neueren Breitband-PLC-Systemen (BPL) und den hierfür entwickelten Kopplern sehr gut.

Der geöffnete Schalter war also tatsächlich einmal ein ernsthaftes Problem, welches durch moderne Breitband-Übertragungsverfahren und moderne induktive Kopplerentwicklungen gut gelöst worden ist.

Wie unterscheiden sich nun unterschiedlich moderne induktive Kopplerentwicklungen in Bezug auf das Übertragungsverhalten bei geöffnetem Mittelspannungsschalter?

Um diese Fragestellung zu beantworten lohnt sich ein Blick auf das Übertragungsverhalten von induktiven Kopplern verschiedener Hersteller bei geöffnetem Mittelspannungsschalter (Bild 4):

- Koppler A wurde nicht in Bezug auf diesen Betriebszustand hin entwickelt, eine bekannte Schwäche aller induktiven Koppler der 1. Generation.
- Koppler C/P stellt einen Koppler der 2. Generation dar, welche diesen Betriebszustand durch einen Kompromiss im magnetischen Design – auf Kosten der Sättigungsfestigkeit – berücksichtigen.
- Der Eichhoff-Koppler DC060.038/420-001 ist ein induktiver Koppler der 3. Generation. Das magnetische Design ist von vornherein

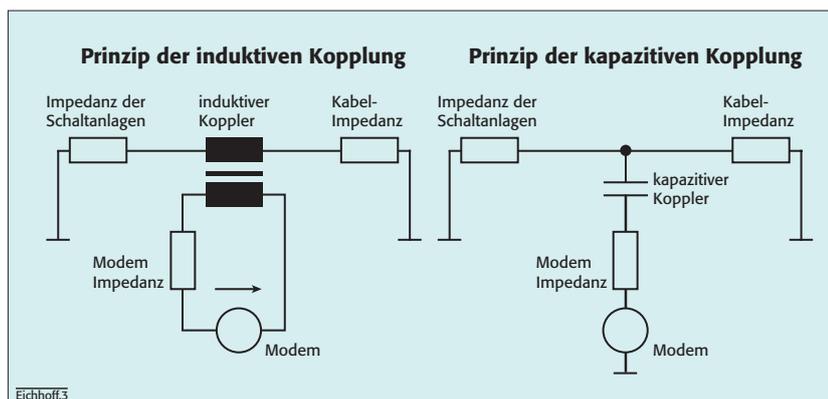


Bild 3: Prinzip der induktiven und kapazitiven Kopplung

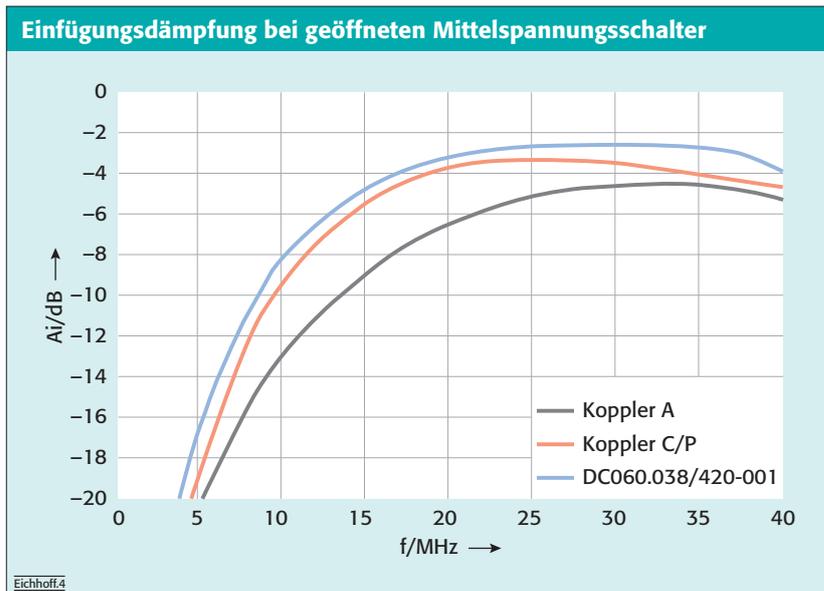


Bild 4: Einfügungsdämpfung bei geöffnetem Mittelspannungsschalter

gleichermaßen für die Übertragung bei geschlossenem und geöffnetem Mittelspannungsschalter ausgelegt: es werden aufgrund speziell entwickelter Kernmaterialien bei allen Betriebszuständen keine Kompromisse mehr eingegangen.

Moderne Entwicklungen induktiver Koppler ab der 2. Kopplergeneration stellen auch bei geöffnetem Mittelspannungsschalter eine Datenübertragung sicher – wenn auch

mit reduzierter Datenrate gegenüber einem geschlossenen Mittelspannungsschalter.

Sie stellen fest, dass mit induktiver Kopplung die Datenrate während des Tages massiv sinkt, während dieses Phänomen nicht in Verbindung mit kapazitiver Kopplung auftritt.

Dieses ist in der Tat der unangenehmste physikalische Effekt bei induktiver Kopplung, hervorgerufen durch einen magnetisch unter-

dimensionierten induktiven Koppler.

Praktisch alle schlechten Erfahrungen mit induktiver Kopplung sind ein Resultat dieses Effektes.

Der Leiterstrom magnetisiert periodisch den Kern eines jeden induktiven Kopplers auf. Der magnetische Kern und die Übertragungseigenschaften des Kopplers dürfen sich auch bei dem höchsten (Spitzen-)Strom auf dem Leiter nicht ändern, sonst kommt es genau zu diesem Effekt.

Um diesen Effekt voll zu verstehen, ist eine recht tiefe – aber immer noch einfach zu verstehende – Erklärung erforderlich.

Jeder Leiterstrom magnetisiert periodisch den Kern eines induktiven Kopplers auf. Dieses ist kein Problem solange die magnetische Flussdichte B im magnetischen Kern linear dem durch den Leiterstrom hervorgerufenen magnetischen Feldstärke H folgen kann.

Aber die magnetische Flussdichte B ist durch die magnetischen Eigenschaften des Kernmaterials begrenzt. Oberhalb dieses Limits ist die Beziehung zwischen H und B nicht mehr linear und ein übertragenes Signal wird komprimiert. Dieser Effekt wird Sättigung genannt. In Abhängigkeit von den magnetischen Eigenschaften des Kernes kann dieses schleichend bereits bei geringen Leiterströmen auftreten oder erst bei hohen Leiterströmen, dann aber recht schnell.

Der große Vorteil nanokristalliner Stähle gegenüber Ferriten ist, dass dieser Effekt erst bei rund vierfach so hohen Leiterströmen – bei vergleichbaren Kopplerabmessungen – auftritt und bis dahin praktisch nicht in Erscheinung tritt.

Je später dieser Effekt auftritt, desto abrupter ist dann jedoch der Übergang vom linearen zum nicht-linearen Betrieb. Das ist kein Nachteil, denn ein sorgfältig entwickelter und im Rahmen seiner Spezifikation eingesetzter induktiver Koppler erreicht diesen Punkt erst bei Leiterströmen oberhalb des Nennstromes der Leitung und arbeitet, im Gegensatz zu Ferriten, bis dahin hervorragend linear.

Ferrite großer Abmessungen sind recht zerbrechliche Keramiken, während ein nanokristalliner Koppler, wenn seine Magnetfolien gut

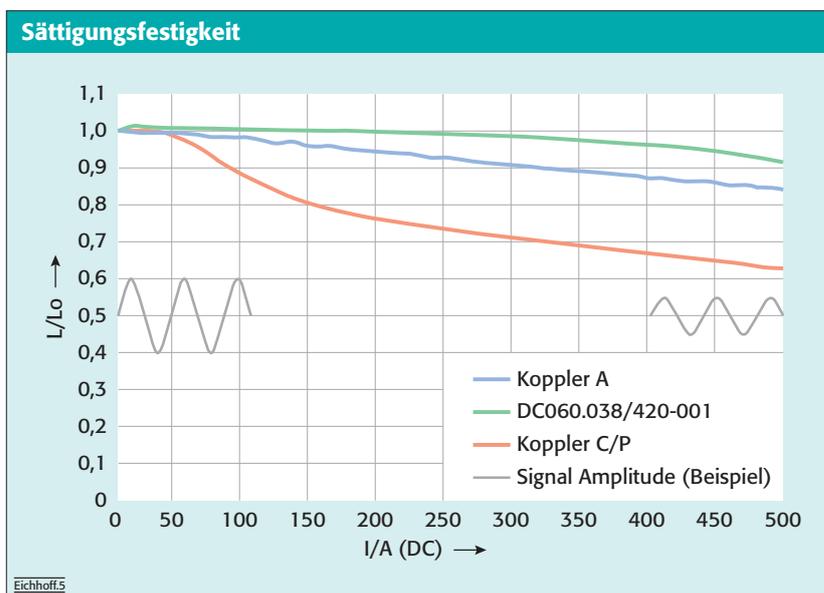


Bild 5: Sättigungsfestigkeit induktiver Koppler

zusammenlaminiert wurden, mechanisch sehr robust und flexibel ist.

Aber zurück zum Thema, nicht-lineare Verzerrungen – wie z.B. Kompression – können zu einer erheblich beeinträchtigten Lesbarkeit der Signale für das Modem führen.

Denken Sie einfach an den Empfang der Nachrichtensendungen auf Kurzwelle.

Ein UKW-Empfänger bietet eine bessere Verständlichkeit, kaum Störungen und eine konstante Lautstärke – um den Preis erheblich weniger empfangbarer Sender als im AM-Rundfunkbereich.

Genau das ist der Punkt: amplitudenmodulierte Signale sind recht empfindlich gegenüber Störungen dieser Art. Während frequenzmodulierte Signale auch bei solchen Störungen noch lange nicht das demodulierte (Audio-)Signal beeinflussen.

Ein frequenz- (FM) oder phasenmoduliertes (PM) Signal kann ohne Informationsverlust komprimiert werden, benötigt aber relativ viel Bandbreite. Ein amplitudenmoduliertes Signal (AM) überträgt die Informationen jedoch über die Amplitude des Signals und diese wird sehr wohl durch Kompression beeinflusst.

- Moderne BPL-Modems nutzen sowohl AM- als auch PM-basierte Modulationsverfahren, um so viele Bits/Träger wie möglich zu übertragen, um so zu hohen Datenübertragungsraten zu gelangen.
- Gerade beginnende Kompression wird zunächst diese mit AM-basierten Modulationsverfahren übertragenen Bits/Träger stören: die Datenübertragungsrate sinkt.
- Die mit PM-basierten Modulationsverfahren übertragene Bits/Träger werden jedoch noch solange ungestört bleiben, bis endlich ein extrem hoher Kompressionsgrad des Signals auch dieses unmöglich macht.

Nun gibt es verschiedene Philosophien, wie ein Hersteller den Nennstrom eines induktiven Kopplers bestimmen kann:

- Man definiert den Nennstrom eines Kopplers so, dass bis zu diesem Nennstrom die Datenübertragungsrate nicht signifikant absinkt. Dieses erfordert einen sehr sättigungsfesten Kopplerkern, der

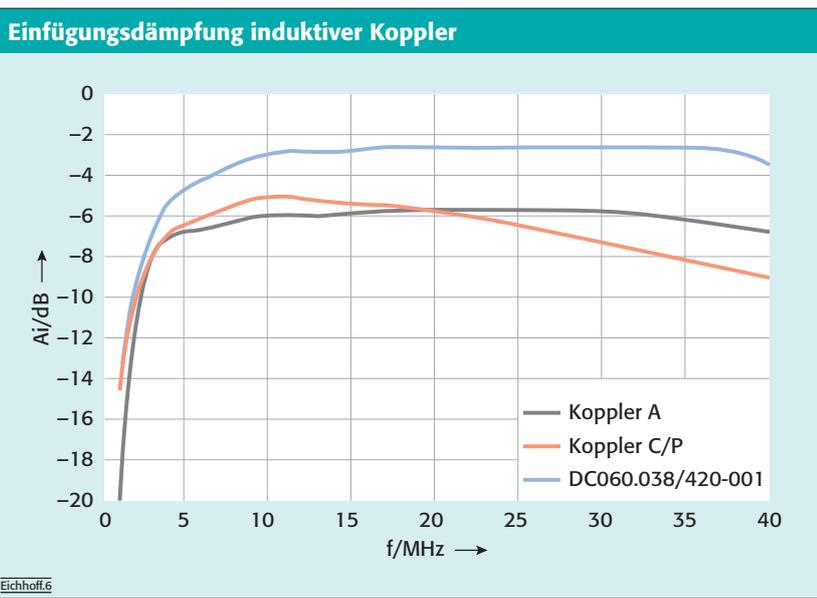


Bild 6: Einfügungsdämpfung induktiver Koppler

bis zu seinem Nennstrom praktisch keine Kompression des Signals hervorruft.

- Man definiert den Nennstrom eines Kopplers so, dass bis zu diesem Nennstrom wenigstens noch die Bits/Träger sicher lesbar sind, welche mit PM-basierten Modulationsverfahren übertragen werden.

Es ist offensichtlich, dass ein Koppler, dessen Nennstrom nach der zweiten Methode definiert wurde, bereits weit unterhalb des Nennstromes zu einer Fluktuation der Datenübertragungsrate während des Tagesverlaufs führen kann.

Man kann die Sättigungsfestigkeit recht leicht bestimmen, indem man durch den Koppler einen Gleichstrom fließen lässt und dann seine verbleibende Induktivität misst und mit der Induktivität vergleicht, die dieser Koppler ohne diese Gleichstrombelastung hat.

Die volle Datenübertragungsrate erfordert induktive Koppler, deren Induktivität bei Nennstrom um nicht mehr als 15 % gegenüber deren Induktivität ohne Strombelastung absinkt.

Wenn nur noch die auf PM-basierten Bits/Träger sicher bei Nennstrom übertragen werden sollen, so darf diese Induktivität bei Nennstrom um bis zu 40 % absinken.

Im Folgenden werden diesbezüglich verschiedene induktive Kopp-

ler untersucht. Alle Messungen fanden auf demselben, kalibrierten Hochstrom-Induktivitätsmessplatz statt.

Hier zeigte sich sehr schnell der Unterschied in den Philosophien bezüglich der Definition der Koppler-Nennströme.

In Bild 5 ist der Verlauf der relativen Induktivität von drei Kopplern mit gleichem propagiertem Nennstrom von 300 A (AC) dargestellt.



Bild 7: Integrierte BNC-Anschlussbuchse

| Sättigungsfestigkeit | |
|----------------------|--|
| Kabel-Nennstrom | Minimale Sättigungsfestigkeit des Kopplers bei < 15% Induktivitätsabfall |
| 100 A AC | 100 A AC/140 A DC |
| 200 A AC | 200 A AC/280 A DC |
| 300 A AC | 300 A AC/420 A DC |
| 400 A AC | 400 A AC/560 A DC |
| 500 A AC | 500 A AC/700 A DC |

Tafel 1: Mindest-Sättigungsfestigkeit induktiver Koppler

300 A (AC) bedeuten einen Spitzenstrom von 420 A (DC), vergleichen Sie also die Werte bei 420 A.

Es wird schnell deutlich, dass sowohl Eichhoff als auch der Hersteller von Koppler A bei der Definition des Nennstromes des Kopplers die volle Datenübertragungsrate im Blick hatten, während der Hersteller des Kopplers C/P wohl eher an eine noch funktionierende Übertragungsstrecke bei verminderter Übertragungsrate dachte.

Noch mal wegen der Bedeutung: der Induktivitätsabfall ist nur ein Maß für die Sättigung des Kopplers, die eintretende Kompression betrifft alle Frequenzen und nicht nur den unteren Frequenzbereich.

Warum arbeitet der eingesetzte induktiver Koppler lediglich über kürzere Distanzen zuverlässig?

Es gibt hier eine ganze Reihe von möglichen Ursachen. Die wahrscheinlichste Ursache sind zu hohe Kopplungsverluste, um mit der betreffenden Übertragungsstrecke, die vielleicht Muffen und gemischte Kabeltypen enthält, fertig zu werden. Aber auch mit Störsignalen verseuchte Verbindungen profitieren sehr von einer verlustarmen Kopplung, da diese das Signal/Stör-signal-Verhältnis verbessert.

Der folgende Vergleich zeigt die Kopplungsverluste (Einfügungsdämpfung) verschiedener induktiver Koppler auf. Gemessen wird mit dem weithin akzeptierten und praxisnahen Messverfahren mit 50 Ω Einspeisung (Impedanz von Modem und Speiseleitung) und 50 Ω Messimpedanz (25 Ω Kabelimpedanz in Serie mit 25 Ω Schaltanlagenimpedanz) (Bild 6).

Die Unterschiede erscheinen nicht sehr hoch. Man muss sich jedoch vor Augen halten, dass 3dB Unterschied dem halben Koppler-Wirkungsgrad entsprechen. Sie koppeln zudem zweimal pro Übertragungsstrecke, so kommen wir hier zu 6 dB Unterschied bei den Gesamt-Kopplungsverlusten. Dieses führt zwangsläufig zu einer kürzeren zuverlässigen Übertragungsdistanz.

Überraschenderweise weicht die gemessene Einfügungsdämpfung von Koppler C/P erheblich von den propagierten Werten ab. Da der Hersteller das Messverfahren nicht publiziert, ist hier von einem vom Standard abweichenden Messverfahren auszugehen.

Man sollte nach Ansicht des Verfassers nicht blind den propagierten Übertragungseigenschaften von Kopplern vertrauen, wenn das Messverfahren nicht offen gelegt wird.

| Kopplungsverluste | |
|-------------------------------|---|
| Länge der Übertragungsstrecke | Maximal akzeptierbare Kopplungsverluste |
| bis 300 m | 6 dB |
| 300 bis 400 m | 3 dB |
| 400 bis 800 m | 3 dB in Verbindung mit symmetrischer Kopplung |

Tafel 2: Maximal akzeptierbare Kopplungsverluste

Warum bietet Eichhoff, im Gegensatz zu den meisten Herstellern, keine Koppler mit integrierter BNC-Anschlussbuchse an?

Die meisten Hersteller von induktiven Kopplern integrierten direkt im Koppler eine BNC-Anschlussbuchse.

Eichhoff bietet demgegenüber eine Reihe von externen Koppelschleifen an.

Der Vorteil der fest in den Koppler integrierten BNC-Anschlussbuchse liegt in der einfachen Anwendung: Die Speiseleitung zum Modem wird einfach an den Koppler angeschlossen.

Keine Frage, dieses ist sehr praktisch, birgt aber eine große Gefahr (Bild 7).

Es gibt gute Gründe für eine externe Koppelschleife:

- Wenn man einen induktiven Koppler in eine Luft-Feststoffisolierte Schaltanlage einbaut, kann im Fehlerfall ein Lichtbogen die blanke Metalloberfläche der BNC-Anschlussbuchse direkt kontaktieren. In diesem Fall sind die Speiseleitung und das Modem über den Lichtbogen mit den Leitern der Schaltanlage direkt verbunden. Die Erdungseigenschaften einer BNC-Buchse über das Speisekabel – wenn denn überhaupt eine Schutzerdung vorgesehen ist – sind einschlägig unzureichend, um bei den hier auftretenden hohen Strömen und Spannungen noch für irgendwelche Sicherheit zu sorgen.

Die Anwendung von induktiven Kopplern mit integrierter BNC-Anschlussbuchse innerhalb einer Schaltanlage stellt somit einen gefährlichen Eingriff in die Sicherheit der Schaltanlage dar.

Aus diesem Grund muss ein induktiver Koppler mit integrierter BNC-Anschlussbuchse zwingend außerhalb der Schaltanlage montiert werden.

- Eine interne Koppelschleife ist nur für die asymmetrische Datenübertragung auf einem Leiter der Kabelverbindung geeignet.

Dieses stellt solange keinen Nachteil dar, wie die Signale über kurze Distanzen bis rd. 400 m asymmetrisch auf einem Leiter übertragen werden sollen.

Für längere Übertragungsdistanzen bis rd. 800 m ist zur Unter-

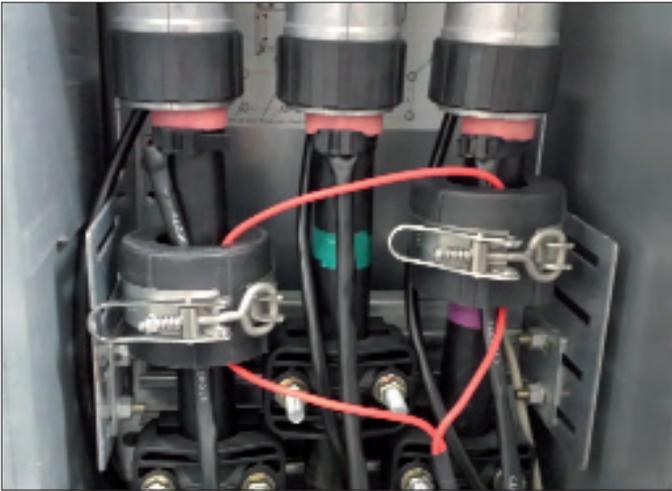


Bild 8: Kopplerinstallation in SF₆-Schaltanlage



Bild 9: Induktive Koppler von Eichhoff

drückung von Störsignalen eine symmetrische Übertragung der Signale über zwei Leiter erforderlich.

Diese äußerst wirksame Maßnahme zur Reichweitensteigerung, bekannt aus der LAN-Netzwerktechnik, erfordert jedoch eine möglichst symmetrische und vor allem erdfreie Einkopplung.

Eine erdfreie Einkopplung in eine Mittelspannungsschaltanlage muss selbstverständlich spannungsfest isoliert sein: eben die externe spannungsfest isolierte Eichhoff-Kopplerschleife, wie in Bild 8 dargestellt installiert!

Einige Aspekte zum Unterschied zwischen dem Senden und Empfangen von Daten

Wenn Sie einen Koppler (beliebiger Technologie) zum Empfang von Daten einsetzen, spielt die Einfügungsdämpfung dieses Kopplers nur eine untergeordnete Rolle.

Das Signal- zu Störverhältnis wird vornehmlich durch die Höhe des externen Störpegels am Empfangsort bestimmt. Der externe Störpegel liegt in der Größenordnung von -70 dBmW, während ein hochwertiges PLC-Modem Signale mit einem Pegel bis herab zu 80 bis 90 dBmW noch einwandfrei verarbeiten kann.

Die Differenz zwischen dem Störpegel und der Empfindlichkeit des

Modems kann jedoch nicht ausgenutzt werden, so dass eine Koppler-Einfügungsdämpfung von 10 bis 20 dB keinen Einfluss auf das Signal- zu Störverhältnis hat. Einen Koppler mit einer Einfügungsdämpfung von 10 bis 20 dB zu entwickeln ist keine Herausforderung.

Beim Senden von Daten spielt jedoch die Einfügungsdämpfung eines Kopplers eine ganz entscheidende Rolle: jedes dB Einfügungsdämpfung reduziert das Signal- zu Störverhältnis am Empfangsort um genau dieses dB.

Ein Koppler für Sendeapplikationen muss also so verlustarm wie möglich ausgeführt werden.

Einige wenige dB können bei digitalen Übertragungsverfahren den

Vorzugstypen

| Typ | Kabel-Durchmesser | Nom. DC-Strom | AC-Kabel -Strom | L in µH | Kabeltyp | | |
|-------------------|-------------------|---------------|-----------------|---------|------------------|--------------|----------------|
| | | | | | VPE (XLPE)-Kabel | Papier-Kabel | 3-Phasen-Kabel |
| DC060.025/420-001 | 25 mm | 420 A | 300 A | 0,75 | ● | | |
| DC060.038/350-001 | 38 mm | 350 A | 250A | 0,80 | ● | | |
| DC060.038/420-001 | 38 mm | 420 A | 300A | 1,25 | ● | ● | |
| DC060.038/560-001 | 38 mm | 560 A | 400A | 0,85 | ● | | |
| DC060.045/420-001 | 45mm | 420 A | 300A | 1,20 | ● | ● | |
| DC060.045/560-001 | 45mm | 560 A | 400A | 0,95 | ● | ● | |
| DC060.078/150-001 | 78mm | 150 A | 3 × 400 A | 3,50 | | | ● |

Tafel 3: Eichhoff-Vorzugstypen



Bild 10: Eichhoff-Koppelschleifen

Unterschied zwischen einer hohen und einer niedrigen Datenübertragungsrate machen.

Nun wird jedoch ein PLC-Modem nicht nur senden oder nur empfangen, sondern die Rollen werden ständig vertauscht.

Aus diesem Grund müssen alle Koppler möglichst verlustarm ausgeführt werden, auch wenn dieses für den Empfang von Daten allein genommen keine Rolle spielt.



Bild 11: Eichhoff-PLC-System

Worauf kommt es nun bei einem ausgewogenen induktiven Koppler an?

Ein ausgewogener induktiver Koppler muss die folgenden Kriterien erfüllen:

- er muss magnetisch hinreichend sättigungsfest sein, um bis zum Kabel-Nennstrom keine Einbußen in der Datenübertragungsrate zu verursachen,
- er muss über weite Teile des Übertragungsfrequenzbereichs gleichermaßen geringe Kopplerverluste haben, um eine hohe Übertragungsdistanz zu ermöglichen,
- er muss tolerant gegenüber dem Betriebszustand mit offenem Schalter sein, ohne zu große Einbußen in der Datenübertragungsrate zu verursachen.

Jedes einzelne Kriterium ist für sich genommen leicht umzusetzen. Die Summe der Anforderungen erfordert jedoch ein sehr sorgfältiges Design.

1. Die Sättigungsfestigkeit des Kopplers sollte für volle Datenübertragungsrate bei Kabel-Nennstrom die in *Tafel 1* aufgelisteten Mindestwerte nicht unterschreiten.

2. Die maximal akzeptierbaren Kopplungsverluste hängen von der Übertragungsdistanz ab. Sie sollten bei 50 Ω Speiseimpedanz und 50 Ω Messimpedanz gemessen worden sein und im mittleren Frequenzbereich die in *Tafel 2* genannten Dämpfungswerte nicht überschreiten.

3. Eine gute Toleranz von induktiven Kopplern in Bezug auf den Betriebszustand mit offenem Schalter hängt vor allem von einer impedanzrichtigen Einkopplung des

| Koppelschleifen | | | | | | |
|----------------------------------|-----------|--------------------------|------------------|--------------|----------------|--|
| Typ | Isolation | Isolierte Anschlusslänge | Kabeltyp | | | |
| | | | VPE (XLPE)-Kabel | Papier-Kabel | 3-Phasen-Kabel | |
| CL061-150/003-201 (asymmetrisch) | 20 kV | 1500 mm | ● | ● | ● | |
| CL061-150/003-202 (symmetrisch) | 20 kV | 1500 mm | ● | ● | | |
| CL061-000/003-001 (asymmetrisch) | 500 V | 0 mm | ● | ● | ● | |
| CL061-000/003-002 (symmetrisch) | 500 V | 0 mm | ● | ● | | |

Tafel 4: Eichhoff-Vorzugs-Koppelschleifen

Signals auf das Kabel im Frequenzbereich von 10 bis wenigstens 30 MHz ab. Zudem sollte der Koppler in diesem Frequenzbereich besonders niedrige Kopplungsverluste von nicht mehr als 3 dB aufweisen.

Bei Ring- und Maschennetzen ist dieser Betriebszustand mit offenem Schalter grundsätzlich normal, es macht daher keinen Sinn,

induktive Koppler mit besonders niedriger unterer Grenzfrequenz zu wählen (Bild 9).

Eichhoff liefert induktive Koppler für Kabeldurchmesser von 25 mm bis 300 mm für Betriebsströme von 100 bis 1000 A AC (Bild 10). Diverse Koppelschleifen mit optimaler Impedanzanpassung, passend zum jeweiligen PLC-System und zur

Übertragungsstrecke, werden kundenspezifisch auf Anfrage geliefert (Bild 11).

m.rick@eichhoff.de

www.eichhoff.de

Induktive Koppler für hochverfügbare Powerline-Anbindung über Mittelspannung

Die Eichhoff Kondensatoren GmbH stellt erstmals auf der E-world energy & water 2015 in Essen aus (Halle 4, Stand 4-106).

Mit ihren nanokristallinen, induktiven Kopplern für die Breitband-Powerline-Kommunikation (BPL) bietet die in Schlitz ansässige Eichhoff Kondensatoren GmbH Komponenten für eine einfache und zuverlässige Datenübertragung. Die Koppler eignen sich für Mittel- und für Hochspannungskabel und ermöglichen eine Bandbreite von rd. 100 Mbit/s über mehrere Kilometer Distanz. Dank der Übertragungsfrequenz von über 10 MHz funktioniert die BPL-Strecke sogar bei geöffneten Schaltern. Die induktiven Koppler dieses Herstellers wurden speziell für beide Schaltzustände – offen und geschlossen – entwickelt. Sie sind somit nicht nur für die Übertragung konzentrierter Smart-Meter-Daten, sondern auch für zeitkritische Anwendungen im Smart Grid einzusetzen.



Erdfreie BPL-Signaleinkopplung in einer 20-kV-MS-Schaltanlage mittels zwei induktiven Kopplern.

Pilotanwender Albstadtwerke ist höchst zufrieden

Die Zuverlässigkeit der induktiven Eichhoff-Koppler hat auch die Netztechniker der Albstadtwerke GmbH überzeugt. Sie suchten nach einer einfachen Lösung, Daten über Mittelspannungskabel zu übertragen. Wichtig war ihnen, dass die induktiven Koppler unabhängig vom Schaltzustand und – batteriegepuffert – auch bei Netzstörungen problemlos arbeiten. »In unserer Testinstallation mit sechs Kopplern haben sich unsere Erwartungen voll erfüllt«, sagt Dr. *Thomas Linnemann*, Geschäftsführer der Albstadtwerke. Für das Jahr 2015 plant das Unternehmen daher den Ausbau der BPL-Strecken. Sie sollen die Anbindung von Smart Metern an das hauseigene Datennetz sicherstellen, denn sie bilden eine kostengünstige und hochverfügbare Alternative zu DSL oder Mobilfunk. Die BPL-Technik ermöglicht zudem, intelligente Netzstationen zu schaffen – sie gelten als Schlüsselemente im Verteilnetz der Zukunft.

Übergabe des Datensignals auf das BNC-Kabel – hier mit Filtern zur Störungsminde- rung gezeigt – zur BPL-Einkopplung in die Mittelspannungsleiter.



EICHHOFF Kondensatoren GmbH
Heidgraben 4
D-36110 Schlitz

Tel. +49(0)6642801-130
Fax +49(0)6642801-165
Mail m.rick@eichhoff.de
Web smart-grid-eichhoff.de