

Probleme mit Rund- und Flachkabeln 2

Jede elektrische Installation ist ein solitäres System, das aus Einzelkomponenten besteht. Diese erfüllen zwar meist die Normen. Aber es ist nicht sicher, ob auch das System als Ganzes die Anforderungen erfüllt. Obschon der Planer und der Installateur alles richtig gemacht haben, können Probleme im Umfeld höherer Frequenzen auftreten.

Adrian E. Weitnauer

In elektrischen Gebäudeinstallationen trifft der Installateur nur in Kommunikationsnetzen bewusst auf Signale, die der Hochfrequenz zugerechnet werden. Der Hochfrequenzbereich liegt je nach Literatur zwischen etwa 30 kHz, wo bereits eine Abstrahlung in den freien Raum beobachtet wird und 300 GHz, wo die Strahlung in Infrarot, also Wärmestrahlung übergeht. Bei der Installation von Verkabelung und Komponenten sind im Hochfrequenzbereich spezielle Regeln genau zu befolgen. So müssen Kabelstränge an ihren Enden mit einem Abschlusswiderstand versehen werden oder es müssen genau spezifizierte Kabel, zum Beispiel Koaxialkabel oder paarverdrillte Kabel mit definiertem Wellenwiderstand zum Einsatz gelangen.

Zunehmend hochfrequente Störsignale

Eine weitere Regel besagt, dass Abschirmungen möglichst direkt am Eingang und grossflächig kontaktiert werden müssen. Es ist unzulässig, die Abschirmung zu einem Kabelzopf zusammenzudrehen, der an eine Erdklemme geführt wird. Auf den ersten Blick erscheint diese Regel etwas kurios, denn der Übergangswiderstand ist nachweislich bei beiden Fällen ähnlich tief. Dieser Kabelzopf wirkt jedoch als Leiterschleife im Inneren des abgeschirmten Gerätes, kann hochfrequente Signale abstrahlen und somit die Funktion des Gerätes oder Gesamtsystems beeinträchtigen. Die un-

erwünschte Kopplung nimmt mit steigender Frequenz des Störsignals zu.

Unsere Energienetze arbeiten mit der sehr tiefen Frequenz von 50 Hz. Nichtlineare Lasten können allerdings Verzerrungsblindleistung, so genannte «Oberwellen», erzeugen. Diese Oberwellen reichen bis hinein in den Bereich von einigen Tausend Hertz. Von Hochfrequenz kann dabei also noch nicht gesprochen werden.

Trotzdem bemerkt man in der Praxis, dass auf dem Stromnetz in immer stärkerem Masse hochfrequente Störsignale mitreiten. Diese Störsignale können nun auf empfindliche Systeme, wie Leitsysteme oder Kommunikationsanwendungen einkoppeln und deren Funktion beeinträchtigen. Da die Kabelleitungen zur Energieübertragung nur für den Betrieb bei sehr tiefen Frequenzen vorgesehen und auch geeignet sind, können diese als veritable Antennen für Störsignale wirken.

Herkunft hochfrequenter Störsignale

Der Einsatz von Komponenten, die mit Hochfrequenz arbeiten, nimmt laufend zu. Dies ist auch kein Wunder, denn elektronische Stromrichterschaltungen werden mit höherer Betriebsfrequenz kleiner und leichter, was von den Konsumenten als deutlicher Markt Vorteil gewertet wird. Dank den Fortschritten in der schnellen Leistungselektronik werden sie auch noch billiger, weil Netztransformatoren und passive Komponenten sehr klein und leicht ausgebildet werden können (Bild 1). Bei hohen Taktfrequenzen vermögen die Regelschal-

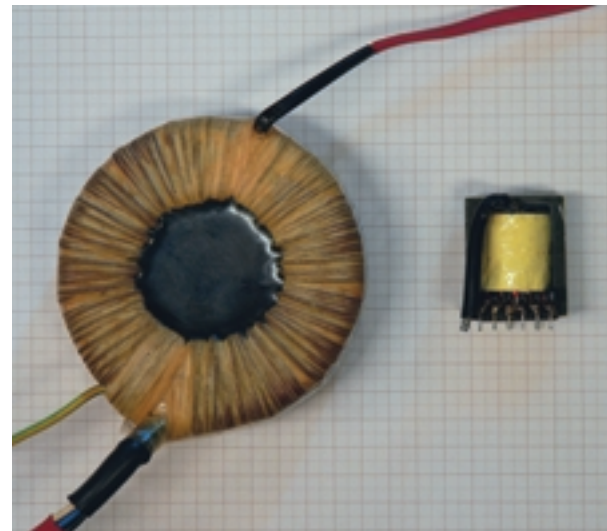


Bild 1 Der Ringtrafo besitzt eine Übertragungsleistung von 120 VA bei 50 Hz und wiegt 1320 g. Der daneben liegende Hochfrequenztrafo eines modernen Schaltnetzteils überträgt bei 40 kHz 350 VA und wiegt nur 100 g.

tungen schneller und genauer zu arbeiten, ausserdem werden Siebketten auch wesentlich kleiner, weil sie bei den schnellen Vorgängen entsprechend weniger Energie zwischenspeichern müssen.

Hochfrequente Störsignale treten auch beim Betrieb von so genannten nichtlinearen Lasten auf. Eine Last wird als «nichtlinear» bezeichnet, wenn sich ihr Widerstand in Abhängigkeit der Spannung ändert. Prominente Beispiele von nichtlinearen Lasten sind elektronische Stromrichter wie Gleichrichter, Dimmer oder Schaltnetzteile. Solche Lasten beziehen Ströme, die nicht mehr die gleiche Form wie die Spannung aufweisen.

Wie der Mathematiker Jean Baptiste Joseph Fourier bereits 1807 gezeigt hat, kann ein beliebiges periodisches Signal durch eine Folge von Sinusschwingungen mit ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz dargestellt werden.

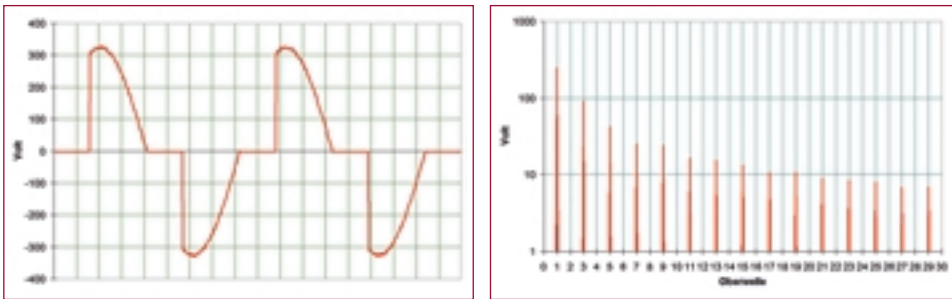


Bild 2 Die linke Abbildung zeigt die Spannung bei Phasenanschnittsteuerung. Der Triggerwinkel beträgt 70° , was den Effektivwert der Spannung auf etwa 190 V herabsetzt. Die rechte Abbildung zeigt das Spektrum dieser Spannung. Man erkennt gut, wie plötzlich neue Frequenzanteile hinzukommen.

Das bedeutet, dass nichtlineare Lasten einen Strom erzeugen, der verschiedene Frequenzen enthält. Jeder fließende Strom erzeugt wiederum Spannungsabfälle auf den Impedanzen des Versorgungsnetzes, was schliesslich zu Verformungen der Netzspannung durch Überlagerung führt (Bild 2).

Seit langer Zeit breit eingeführt sind netzsynchrone Stromrichterschaltungen wie Gleichrichter und Phasenanschnittsteuerungen. Diese sind die Ursache für die bekannten «Netzoberwellen». In letzter Zeit kommen jedoch immer mehr elektronische Stromrichter auf den Markt, die nicht mehr netzsynchron arbeiten, sondern hohe Taktfrequenzen verwenden, welche durch einen eigenen Oszillator erzeugt werden. Beispiele dazu sind HF-Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen, so genannte «elektronische» Halogentrafos, moderne Schaltnetzteile in den meisten elektronischen Geräten, Schweißgeräte und alle neueren Motorumrichter.

Diese hohen Taktfrequenzen und ihre Oberwellen sind nun mögliche Quellen hochfrequenter Störungen auf dem Stromnetz.

Im Gegensatz zu diesen ungewollten Störsignalen werden auch bewusst hochfrequente Signale auf dem Stromnetz zu Kommunikationszwecken genutzt. Ein eher harmloses Beispiel dafür ist das bekannte Babyfon, das über das Stromnetz funktioniert. Wegen höherer Sendeleistungen nicht mehr so harmlos ist das «Internet aus der Steckdose». Diese als «Power Line Communication» (PLC) bekannte Technik versucht das Stromnetz als Kommunikationsnetz zweckentfremdet zu nutzen. Dieses Verfahren wird immer dann gerne eingesetzt, wenn die Installation eines

separaten Signalkabels umgangen werden soll. Im privaten Bereich erfreuen sich entsprechende Geräte immer grosserer Beliebtheit.

Auf den ersten Blick erscheint es tatsächlich als sinnvoll, eine bestehende Leitungsverbindung für weitere Zwecke zu nutzen. Noch vor wenigen Jahren wurden Anstrengungen unternommen, sogar das kommunale Niederspannungs-Versorgungsnetz als dritten Weg der «letzten Meile» neben Telefon und Antennenkabel zu Kommunikationskunden zu verwenden. Nun gilt es aber zu bedenken, dass das Stromnetz keinerlei Eigenschaften einer hochfrequenztauglichen Übertragungsstrecke aufweist: die Geometrie (Querschnitte, Kabeltyp) der Kabellleitung ändert sich entlang der Strecke, die Leitungen besitzen keinen definierten Wellenwiderstand und sind auch nicht abgeschlossen. Dies alles begünstigt eine Abstrahlung der Energie in den freien Raum.

Wie das Bakom in zwei Studien in den Städten Fribourg (2002) und Solothurn (2004) gezeigt hat, kann der Radioempfang besonders im Kurzwellenbereich dadurch stark gestört werden. Beobachtungen von Leuten, die den zur Weitbereichsübertragung gut geeigneten Kurzwellenbereich nutzen, bestätigen dies. Im Radio sind

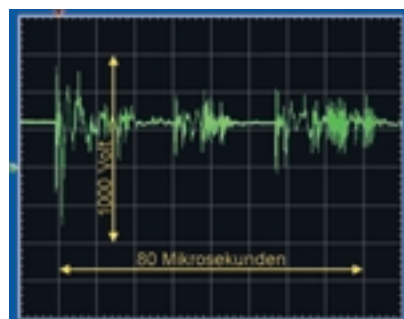


Bild 3 Netzspannung bei einem Zündvorgang einer Leuchtstofflampe.

eigentümliche Zirp-Geräusche zu hören, die sich mit der gewünschten Sendung überlagern. Sie sind Teil eines immer stärker werdenden Geräuschteppichs, der weit entfernte Sender unhörbar macht.

Schliesslich sind noch weitere Quellen seit längerer Zeit bekannt: es sind die Schalttransienten, also sehr kurzzeitige Übergangseffekte, die bei allen Schaltvorgängen auftreten. Diese verursachen in Radios ein deutlich hörbares Knacken. Sobald sich der Strom in kürzester Zeit stark ändert, er also «springt», sind hohe Frequenzen im Spiel. Die allgegenwärtigen Induktivitäten erzeugen hohe Spannungen, sobald Ströme geschaltet werden oder sich schlagartig ändern. Der deutliche Lichtbogen beim Abschalten eines Stromkreises – vor allem bei Gleichstrom – führt uns dies deutlich vor Augen. Der Zündvorgang einer Fluoreszenzlampe führt auf dem Stromnetz zu kurzen Überspannungsspitzen, die bis in den Kilovoltbereich reichen. Mit einem schnellen Oszilloskop kann dies gut verfolgt werden, wie dies Bild 3 zeigt.

Als letzte mögliche Quelle sei der Lichtbogen erwähnt. Lichtbogen oder wenigstens Sprühentladungen können bei defekten Isolatoren oder nach Kurzschlüssen auftreten und erzeugen ein breites Spektrum von Hochfrequenzenergie, das über den Kurzwellenbereich hinausgehen kann. In Gleichstromanlagen wird dieser Effekt zur Erkennung von auf den Sammelschienen stehenden Lichtbogen ausgenutzt.

Auswirkungen der hochfrequenten Störsignale

Bereits weiter oben wurde auf die möglichen Störungen des Rundfunkempfangs hingewiesen, weil Hochfrequenzanteile teilweise abgestrahlt werden. Diese werden allerdings immer weniger wahrgenommen, weil die tiefen Radiofrequenzen (Lang-, Mittel- und Kurzwelle) von immer weniger Leuten genutzt werden. Der heute wohl meist genutzte UKW-Rundfunk ist wegen der Frequenzmodulation deutlich weniger anfällig auf Störungen. Der terrestrische digitale Rundfunk wird dank Digitaltechnik und Korrekturalgorithmen noch weniger durch Störungen beeinträchtigt sein.

Das Stromnetz ist für 50 Hz optimiert

Es ist klar ersichtlich, dass in Zukunft die Störungen durch Einzelgeräte immer höhere Frequenzen nutzen und auch breitbandiger werden. Die einzelnen Störspannungen werden sich überlagern. Allfällige Resonanzkreise im Stromnetz können dadurch zum Schwingen ange regert werden, was schliesslich Rückwirkungen in Kommunikations- oder Steuersystemen zur Folge hat. Signale hoher Frequenz können abgestrahlt werden, wodurch das Stromnetz sogar zur Sendean tenne wird.

Jede Installation ist in der Praxis ein für sich einzigartiges System, das aus Einzelkomponenten besteht. Obwohl die Einzelkomponenten Normen bestehen müssen, ist noch lange nicht gesichert, dass das System als Ganzes diese Normen auch besteht. Daraus lässt sich ableiten, dass selbst dann, wenn alles richtig gemacht wurde, trotzdem Probleme auftreten können. Schliesslich ist das

Stromnetz konzipiert zur Übertragung von elektrischer Energie bei sehr tiefen Frequenzen. Es war nie vorgesehen, dass das Stromnetz höhere Frequenzen führen soll. Ausserdem dient das Schutzleitersystem zur Verhinderung von Schäden und Unfällen und sollte nicht als Senke hochfrequenter Energie missbraucht werden.

Das Resonanzverhalten von Versorgungssystemen ist kein Qualitätsmerkmal, sondern ein ganz normaler physikalischer Effekt, den es schon immer gab. Nur hat man ihn nie beachtet, weil dazu keine Veranlassung bestand. Schliesslich hat man bislang «nur» Energie tiefer Frequenz damit transportiert. Der Installateur wird sich in Zukunft trotzdem damit auseinandersetzen müssen. Das Beste aber wird sein, Anlagenkomponenten gut auszuwählen und unter den Rahmenbedingungen zu betreiben, wofür sie auch geschaffen wurden.

Doch dies soll uns nicht Sicherheit vortäuschen. Denn digitale Systeme arbeiten scheinbar perfekt oder eben gar nicht. Auch Gebäudeleitsysteme sind digitale Systeme, die üblicherweise perfekt arbeiten. Falls aber Störungen zu Ausfällen führen, muss der Grund dafür mühsam auf findig gemacht werden.

Störungen hoher Frequenz können trotz Abschirmung und korrekter Erdung asymmetrisch in ein Kommunikationsnetz eingekoppelt werden. Die Störungen überlagern sich mehr oder weniger stark mit den Nutzsignalen und können im Extremfall dazu führen, dass die Eingangsschaltungen der Buskoppler übersteuert werden. Diese sind dann nicht mehr ansprechbar, die Steuerung fällt teilweise oder ganz aus.

Es ist absehbar, dass die Elektronik von verschiedenen Geräten, nicht nur Kommunikationsanlagen, reagiert. So werden empfindliche Sensoren in ihrer Aufgabe eingeschränkt.

Ein weiteres Beispiel ist das Flackern von gedimmtem Licht. Der Dimmer synchronisiert sich auf die Netzfrequenz und schaltet immer bei einem definierten Spannungswert bis zum Ende der Halbwelle durch. Wenn nun die Sinusform durch überlagerte Störspannungen verzerrt ist, werden die Einschaltzeitpunkte nicht mehr korrekt bestimmt; die Lampe flackert. In der digitalen Elektronik ist das Problem der unzureichenden Versor-

gungsstabilität schon lange bekannt – und zwar auf Leiterplattenebene. Dort wird die Versorgungsspannung vor jedem Chip mit Kondensatoren «gestützt». Der Grund für die mangelnde Spannungsstabilität ohne Massnahmen liegt bei den hohen Stromspitzen infolge den äusserst raschen Vorgängen. Die Gewinnung der Information aus den gestörten Spannungssignalen würde fehlerhaft.

Bei einem Fall, der durch uns untersucht wurde, war das gesamte Leitsystem nachhaltig gestört, sobald das Licht brannte. Auf dem Leitsystembus konnte ein Signal im Langwellenbereich beobachtet werden, dessen Herkunft nicht bestimmbar war. Abwechselnd wurde die Schuld dafür dem Elektroplaner, dem Leitsystemlieferanten, Lieferanten von Komponenten und schliesslich der Starkstrom-Installation angelastet. Da wurde die Vermutung aufgestellt, dass im Gebäude häufig verwendete Woertz-Flachkabel «Technofil» begünstige das Problem, weil es eben nicht wie ein Rundkabel verdrillt sei.

Dabei ging leider vergessen, dass die Verdrillung von Netzkabeln keine EMV-Massnahme, sondern notwendig ist, damit ein Kabel überhaupt aufgewickelt werden kann. Selbstverständlich haben Flach- und Rundkabel andere elektrische Eigenschaften; beide erfüllen sie aber die notwendigen Normen. Für dieses Problem war denn auch ein Resonanzproblem verant-

wortlich, das in dieser Ausbildung bislang nicht angetroffen wurde.

Die Störung hatte ihren Ursprung im HF-Vorschaltgerät einer Leuchtstofflampe, obwohl die Lampe offenbar die EMV-Normen erfüllte. Nun wurde die fünfte Oberwelle (270 kHz) des Störsignales auf dem Stromnetz der gesamten Etage verbreitet und schliesslich kapazitiv in das wohlbe merkt abgeschirmte Kommunikationskabel des Leitsystems eingekoppelt. Die Starkstrominstallation zeigte bei 270 kHz zufällig ein Resonanzverhalten, was zur selektiven Verstärkung der fünften Oberwelle führte.

Massnahmen und Normen

Selbstverständlich schreiben Normen genau vor, wie viel Störenergie ins Stromnetz abgegeben werden darf. Ein Gerät, das diese Normen nicht erfüllt, darf gar nicht verkauft oder installiert werden. Eine wichtige Massnahme zur Reduktion der Störenergie sind die Netzfilter (Bild 4).

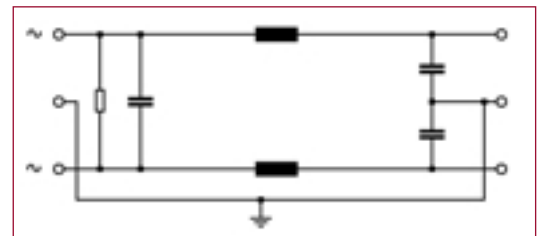


Bild 4 Prinzipialschaltbild eines gängigen Netzfilters.

Ein Netzfilter nutzt die frequenzabhängigen Eigenschaften von Induktivitäten und Kapazitäten, damit Störungen nur stark vermindert auf das Stromnetz gelangen. Die zur störenden Last parallel geschalteten Kondensatoren wirken für Hochfrequenz gleichsam als Kurzschluss und die Induktivitäten trennen durch ihre hohe Impedanz die Störquelle vom Stromnetz. Allerdings gilt es zu bedenken, dass der Schutzleiter wie in Bild 4 dargestellt oft direkt durchgeschleift wird. Dies kann vor allem dann zu erheblichen Netzrückwirkungen führen, wenn die beiden Kondensatoren durch Alterung nicht mehr denselben Kapazitätswert besitzen.

Jeder Nutzer des Stromnetzes muss sich stets vor Augen halten, dass das Stromnetz ausschliesslich zum Energietransport ausgelegt wurde. Das Schutzleitersystem dient der Sicher-

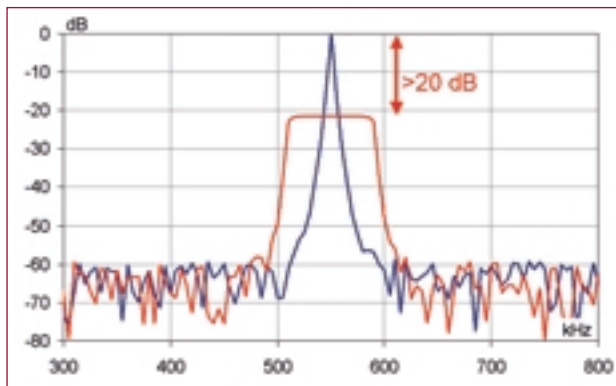


Bild 5 Die blaue Linie zeigt das Spektrum eines Störsignals bei konstanter Taktfrequenz. Die rote Linie zeigt die drastische Reduktion des Spitzenwertes, wenn die Taktfrequenz gewobelt wird. Es wird ersichtlich, dass die Störenergie einfach in die Breite gestreut wird.

heit und sollte nicht als Deponie für Störsignale missbraucht werden. Wenn nun das Stromnetz plötzlich hochfrequente Signale übertragen oder hochfrequente Störungen beseitigen soll, muss man mit unerwünschten Nebenwirkungen rechnen.

Die Spulen und Kondensatoren müssen Energie zwischenspeichern, somit sind Netzfilter aber wieder eher grosse Gebilde; sie sind teuer und stören das Design. Wohl deshalb ist in neuerer Zeit ein weiterer Trick hinzugekommen, der es den Herstellern erlaubt, die Filter wieder kleiner zu bauen oder im Extremfall ganz wegzulassen: das «EMV-Management». Das Prinzip ist einfach. Die Normen schreiben einen Grenzwertpegel an Störenergie vor, der nirgends überschritten werden darf. Ein weniger wirksamer Filter lässt auch mehr Störenergie passieren. Deshalb gehen die Hersteller dazu über, statt einer konstanten Taktfrequenz eine sich ständig ändernde Taktfrequenz zu verwenden: der Taktgenerator wird «gewobelt», also in seiner Frequenz moduliert. Dadurch wird der gemessene Pegel pro Frequenz natürlich kleiner, gleichzeitig kann die gesamte ins Stromnetz abgegebene Störenergie entsprechend gesteigert werden. Dies entspricht gleichsam einem Haufen Dreck, der anstatt aufgewischt einfach in die Breite gestreut wird! Die Wirksamkeit des Verfahrens verdeutlicht Bild 5.

Um mögliche Probleme zu verstehen, die trotz eingehaltenen Normen entstehen können, soll erst auf die Messung der geleiteten Störspannungen eingegangen werden. (Zusätzlich zu «geleiteten» existieren auch gestrahlte Störungen über die Luft. Diese sind aber nicht Gegenstand dieses Artikels.)

Damit die Störspannungen gemessen werden können, muss der Prüfling durch eine Netznachbildung vom Stromnetz getrennt werden. Eine Netznachbildung (engl. Line Stabilisation Network) ist ein Filter mit drei Zweigen: am ersten Zweig wird die Netznachbildung an das Versorgungsnetz angekoppelt, am zweiten Zweig wird der Prüfling angeschlossen und am dritten Zweig sitzt der Messempfänger, der eine genormte Impedanz von 50 Ohm besitzt. Somit «sieht» die Störquelle eine Lastimpedanz von immer genau 50 Ohm. Jeder Generator besitzt eine meist frequenzabhängige Innenimpedanz, die bei Belastung die Klemmenspannung absinken lässt. Falls diese Innenimpedanz gross gegenüber dem Lastwiderstand ist, wird die Störspannung als gering gemessen.

In der Praxis aber wird kaum eine reelle 50-Ohm-Last angetroffen. Vielmehr sind die Lasten und Kabelimpedanzen bei höheren Frequenzen ein beliebiges Gemisch aus Widerständen, Kapazitäten und Induktivitäten, die eine starke Frequenzabhängigkeit und sogar Resonanzen zeigen. Sobald Induktivität und Kapazität kombiniert werden, entsteht ein Resonanzkreis, der Spannungen sogar verstärken kann. Nebenbei bemerkt: bei einer falschen Auslegung einer Blindstromkompensation (bei $\cos(\varphi)=1$) kann sich die Netzspannung aufschaukeln und zu Schäden infolge Überspannung führen. Die Energie pendelt dabei zwischen dem Spannungsspeicher

Kondensator und dem Stromspeicher Induktivität.

Resonanzerscheinungen und deren Erkennung

Jede elektrische Verbindung weist einen Widerstand und eine Induktivität auf. Gleichzeitig bildet der eine Leiter mit dem anderen Leiter oder auch mit der Umgebung einen Kondensator. Die örtlichen Werte für Induktivität und Kapazität ändern sich entlang der Leitung je nach Geometrie, wie Leiterabstand, Querschnitt oder Biegeungsradien (Bild 6).

Somit zeigt jede Leitung auch unter Umständen mehrere Resonanzstellen. Diese können mit verhältnismässig wenig Energie zum Schwingen angeregt werden. An dieser Stelle sei an das bekannte Gleichschritt-Verbot für militärische Einheiten beim Überqueren einer Brücke erinnert. Der Gleichschritt könnte ein Aufschaukeln von gefährlichen Schwingungen verursachen und die Brücke zum Einsturz bringen.

Da die Nutzung des elektromagnetischen Spektrums immer stärker voranschreitet, muss auch in der Elektrotechnik mit Störungen, die durch unerwünschte Resonanzen noch verstärkt werden, gerechnet werden. Die Resonanzen erschweren die Störungssuche noch, da Oberwellen des Störsignals gegenüber ihrer Grundwelle viel stärker in Erscheinung treten können. Es sind Fälle bekannt, wo die Grundwelle im Störsignal gar nicht mehr erkennbar war, während eine Oberwelle stark verstärkt wurde.

Nun stellt sich die Frage, wie denn solche Resonanzen überhaupt bemerkt oder beeinflusst werden können. Dazu wird das «komplexe Impedanzspektrum» an einer Stelle der Verkabelung, beispielsweise an einer Klemme oder gar an einer Steckdose ermittelt. Die Firma Weitnauer Messtechnik hat dafür ein spezielles tragbares Messsystem entwickelt. Der Begriff «komplexe Impedanz» bedeutet, dass gleichzeitig der reelle Anteil (Wirk-Widerstand) und der Blind-An-

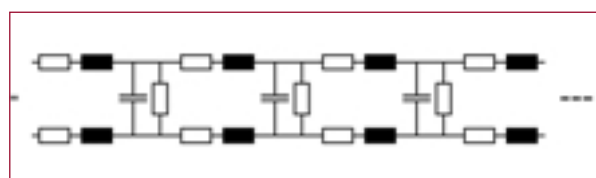


Bild 6 Ersatzschaltbild einer elektrischen Leitung. Gut erkennbar sind die Kapazitäten zwischen den einzelnen Leitern und die seriellen Induktivitäten in den Leitern.

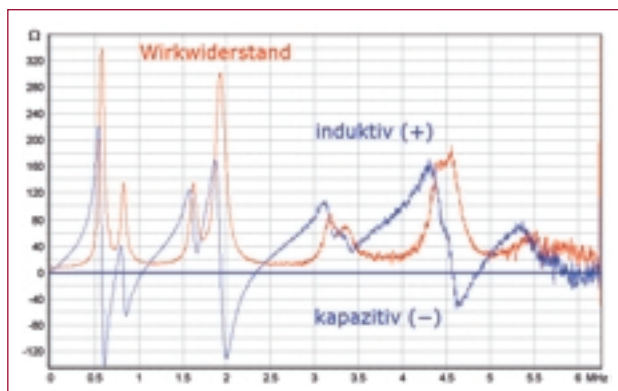


Bild 7
Impedanzspektrum
des Starkstromnetzes
in einem Gebäude.

teil (induktive oder kapazitive Reaktanz) gemessen wird. Ein Spektrum zeigt die Werte grafisch über einen bestimmten Frequenzbereich. Bild 7 zeigt ein solches Impedanzspektrum an einer Steckdose in einem neu erstellten Gebäude. Die rote Kurve ist der Wirkwiderstand und die blaue Kurve zeigt den Verlauf der Reaktanz. Negative Werte der blauen Kurve zeigen eine kapazitive, positive Werte eine induktive Reaktanz an. Man erkennt, dass Werte bis über 300 Ohm gemessen werden. Dies ist erstaunlich viel, wenn der 50-Hz-Schleifenwiderstand damit verglichen wird!

Das Spektrogramm enthüllt nun die Resonanzstellen, die sich bei jedem Nulldurchgang der blauen Kurve befinden. Falls die rote Kurve ein Maximum zeigt, liegt dort eine so genannte Parallelresonanz vor, also eine deutliche Impedanzüberhöhung. In Bild 7 zum Beispiel bei ungefähr 600 kHz. Der umgekehrte Fall ist ein Minimum der roten Kurve, was auf eine Serienresonanz hindeutet, wo die Impedanz deutlich absinkt. Die Parallelresonanzstellen sind nun die «gefährlichen», weil dort mit verhältnismässig wenig eingekoppelter Störenergie eine grosse Spannung entstehen kann.

Gegen die Resonanzen lässt sich nicht derart einfach vorgehen wie bei einer Blindstromkompensation, die an zentraler Stelle eingebaut werden kann. Wir haben es hier mit Radiofrequenzen zu tun, die abgestrahlt werden. Auch die Erdung hilft hier nicht, weil auch ein Schutzleiter ähnliches Impedanzverhalten zeigt. Die Installation wird so zur veritablen Antenne. Deshalb gilt es die Probleme vor Ort anzugehen. Einerseits ist darauf zu achten, dass keine Komponenten verwendet werden, die ungenügende Fil-

ter enthalten, andererseits kann versucht werden, eine vorhandene Resonanz gezielt zu bekämpfen, das heisst zu verstimmen. ET 04

Adrian E. Weitnauer
dipl. El.-Ing. ETH/SIA
Weitnauer Messtechnik
Eich 1, 8752 Näfels
www.weitnauer-messtechnik.ch

Literatur

- «Frequenzabhängige Impedanz im versorgenden Stromnetz», Adrian E. Weitnauer, Bulletin SEV/ASE Nr. 23/2002.
- «Elektromagnetische Verträglichkeit», Adolf J. Schwab, Springer Verlag, 1996.
- «Theoretische Elektrotechnik», Karl Küpfmüller, Springer Verlag, 1984.
- Studie Bakom Fribourg: «Electromagnetic effects due to PLC and work progress in different standardization bodies», Michel Ianoz, 2002.
- Studie Bakom Solothurn: «Assessment of the EMI radiated by PLC installations inside buildings», P. Krähenbühl, H. Breitenmoser, 2004.

Hinweis:

Mit Woertz-Know-how hat die Firma Woertz AG, als Spezialist für elektrotechnische Artikel und Installationssysteme, im vergangenen Frühling an vier verschiedenen Orten ein Seminar mit dem Thema «Mit Flachkabeln läuft's rund» durchgeführt. Fachleute der Firmen Arnold Engineering und Beratung, Weitnauer Messtechnik und Woertz AG haben in drei Fachreferaten über Facts, Anforderungen an Installationen und über Zusammenhänge informiert.

Für Leser der ET, welche nicht an den Veranstaltungen teilnehmen konnten und auf Grund der vielen positiven Reaktionen publizieren wir die Thematik in der vorhergehenden Ausgabe der ET, in diesem Heft und in der nächsten Ausgabe.