

Konnex PL132 - Power-Line-Kommunikation im CENELEC-C-Band

Unter *Power-Line-Kommunikation* versteht man die Mitbenutzung des Stromversorgungsnetzes zur Datenübertragung. Im Vergleich zu anderen drahtgebundenen Kommunikationslösungen können auf diese Weise der Installationsaufwand und die damit verbundenen Einrichtungskosten deutlich reduziert werden, da Stromleitungen und -anschlüsse fast überall in ausreichender Anzahl vorhanden sind. Sehr interessante Anwendungsmöglichkeiten eröffnen sich im Bereich der Automatisierungstechnik, vor allem aber bei der *Haus- und Gebäudeleittechnik (Home- and Building-Automation)*.

Dieser Artikel gibt grundlegende technische Informationen über die Power-Line-Kommunikation und deren Standardisierung nach *Konnex PL132*. Außerdem wird der Aufbau kostenoptimierter Kommunikationsmodule beschrieben, die speziell für Anwendungen in der Home-Automation entwickelt wurden.

Was ist Power-Line-Kommunikation?

Die Mitbenutzung des Stromversorgungsnetzes zur Datenübertragung (*Power-Line-Kommunikation*) ist keine völlig neue Entwicklung. Bereits im Jahre 1922 wurden in Europa die ersten Trägerfrequenzsysteme für den Frequenzbereich von 15-500 kHz zur Übertragung von Schaltinformationen über Hochspannungsnetze entwickelt. Bis heute sind die meisten Anwendungen der Power-Line-Kommunikation bei den Energieversorgungsunternehmen und Stadtwerken zu finden, die damit z.B. Straßenbeleuchtungen ein- und ausschalten oder Zähler fernablesen. Im privaten Wohnbereich sind bislang allenfalls sogenannte „Baby-Phones“ verbreitet, bei denen Sprachsignale analog

und in vergleichsweise schlechter Qualität über das 230V-Stromversorgungsnetz übertragen werden. Die digitale Power-Line-Kommunikation hingegen bietet ein sehr elegantes Konzept für die Vernetzung unterschiedlichster Gerätschaften im Haus, vor allem für solche Geräte, die ohnehin am Stromversorgungsnetz angeschlossen sind (z.B. Waschmaschine und Kühlschrank für das Energiemanagement). Insbesondere in Altbauten erspart dies einen Großteil der sonst anfallenden Installationskosten. Power-Line kommt damit dem Kundenbedürfnis nach einfacher Anwendung und niedrigen Kosten entgegen.

Die Power-Line-Kommunikation innerhalb eines Hauses (*Indoor-Power-Line-Communication*) ist nicht zu verwechseln mit der Power-Line-Kommunikation außerhalb des Hauses (*Outdoor-Power-Line-Communication*). Vor allem bei den zur Verfügung stehenden Frequenzbändern und maximalen Signalpegeln gibt es deutliche Unterschiede in den Bestimmungen.

Im Indoor-Bereich können heute mit geeigneter Technik und vertretbarem Aufwand Datenraten von 2400 Baud und mehr erreicht werden. Für die meisten Home-Automation-Anwendungen ist das vollkommen ausreichend.

Standardisierung des Power-Line-Mediums

Das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung in Brüssel (CENELEC) hat mit der Norm EN50065-1, „*Signalübertragung auf elektrischen Niederspannungsnetzen im Frequenzbereich 3 kHz bis 148 kHz*“ [1] den Rahmen für die Power-Line-Kommunikation in Europa festgelegt. Sie wurde von der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE als DIN-EN50065-1, Klassifikation VDE0808 übernommen und sieht vier unterschiedliche Frequenzbänder vor:

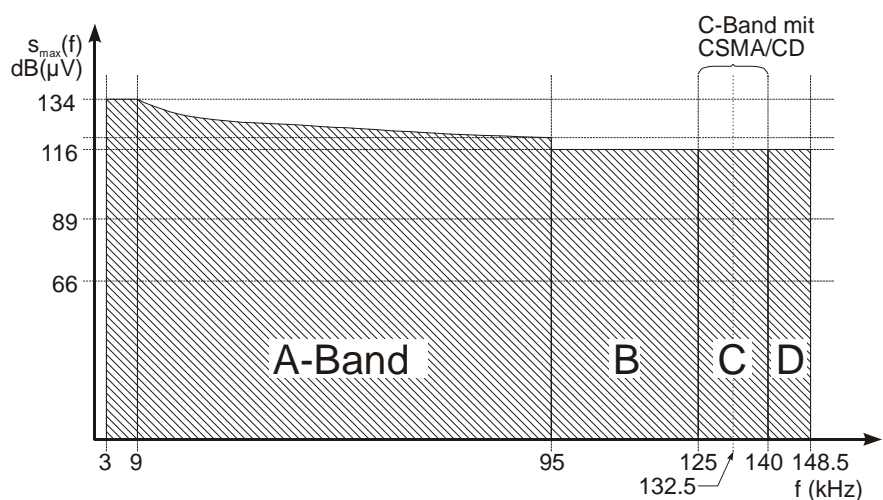


Abb. 1: Maximale Signalpegel im Frequenzbereich von 3kHz bis 148,5kHz

- das *A-Band* (3 kHz - 95 kHz), ist für Energieversorgungsunternehmen reserviert,
- das *B-Band* (95 kHz - 125 kHz), welches von allen Anwendungen innerhalb des Hauses ohne Zugriffsprotokoll genutzt werden kann,
- das *C-Band* (125 kHz - 140 kHz), das für Home-Automation-Anwendungen vorgesehen ist. Ein vorgeschriebenes Zugriffsprotokoll (CSMA/CD = Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) ermöglicht die Koexistenz verschiedener, inkompatibler Systeme in diesem Frequenzband; und schließlich
- das *D-Band* (140 kHz - 148.5 kHz), das Alarm- und Sicherheitssystemen ohne Zugriffsprotokoll vorbehalten ist.

Für alle vier Frequenzbänder werden von der EN50065-1 die maximalen Signalpegel zur Modulation auf das Stromversorgungsnetz definiert (Abb. 1). Für Home-Automation-Anwendungen ist das C-Band mit einem Signalpegel von höchstens 116 dB(µV) bestens geeignet, da hier ein besonderes *Medien-Zugriffsprotokoll* gefordert wird (s.u.). Zur Bestimmung des Ausgangspegels muß das Signal mit einem Spitzenwertdetektor bei einer vorgeschriebenen Meßschaltung (Abb. 2) über einen Zeitraum von 1 Minute gemessen werden.

Daneben legt die EN50065-1 für alle elektrischen Geräte am Stromversorgungsnetz *Störleistungsgrenzwerte* in den entsprechenden Frequenzbändern fest. So wird eine parasitäre Beeinflussung der Power-Line-Kommunikation aufgrund von Störungen anderer Verbraucher vermieden.

Medien-Zugriffsprotokoll

Im CENELEC-C-Band ist die Einhaltung eines *Medien-Zugriffsprotokolls* erforderlich (CSMA/CD). Dieses legt einen

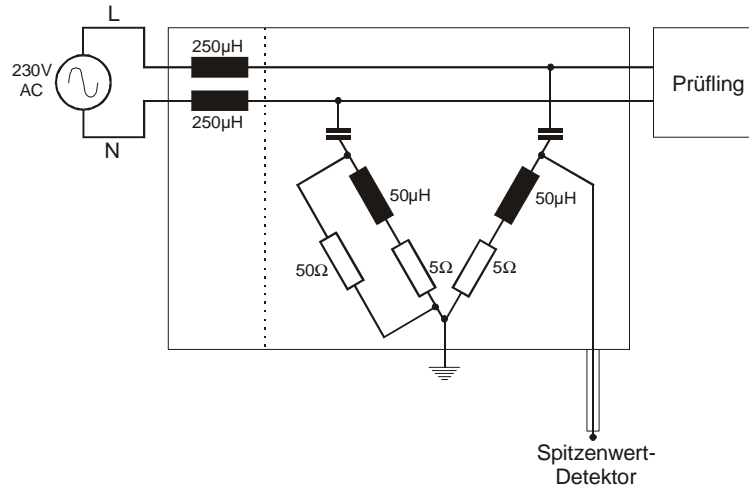


Abb. 2: Meßschaltung zur Bestimmung des maximalen Signalpegels

Frequenzbereich um die Bandmitte fest, auf dem der Signalpegel eine gewisse Zeit lang unterhalb von 80dB(µV) liegen muß bevor mit dem Senden begonnen werden kann. So lassen sich „Kollisionen“ verhindern, bei denen zwei Stationen gleichzeitig senden. Außerdem ist die maximale Dauer für jeden Sendevorgang begrenzt, was einer Gleichberechtigung der Kommunikationspartner entgegenkommt.

Das Medien-Zugriffsprotokoll wirkt dem Effekt entgegen, der zur Zeit im 433MHz-ISM-Band zu beobachten ist: Bekanntlich kommt es hier aufgrund einer völligen Freigabe immer wieder zur ungewollten gegenseitigen Beeinflussung verschiedener Systeme im Feld. In Hinblick auf eine verstärkte Nutzung der Power-Line-Frequenzbänder, vor allem auch von hochwertigen und hochdatenratigen Anwendungen wie Telefonie oder Internet-Dienste, ist das CENELEC-C-Band die einzige Garantie für sowohl kostengünstige als auch zuverlässige Produkte. In den anderen Frequenzbändern (B- und D-Band) ist auf Dauer eine ähnliche Situation wie beim besagten 433MHz-ISM-Band zu erwarten, und es wird sich nur noch mit erheblichem Aufwand eine ausreichende Zuverlässigkeit erreichen lassen.

Die Abb. 3a-c zeigen die Regeln, die von der EN50065-1 bei der Nutzung des C-Bandes eingehal-

ten werden müssen. Die gesamte Dauer des Sendevorgangs einer Station (Sender A) darf demnach nicht länger als 1 Sekunde sein (Abb. 3a). Während dieser Zeit dürfen keine „Übertragungslücken“ von mehr als 80ms entstehen, da sonst andere sendewillige Stationen das Medium als frei erkennen könnten. Nach Abschluß der Übertragung muß der Sender eine Pause von mindestens 125ms einhalten, um den anderen Stationen ebenfalls die Möglichkeit für einen Sendevorgang einzuräumen (Abb. 3b). Eine andere Station (Station B) darf bereits nach frühestens 85ms mit der Übertragung beginnen (Abb. 3c).

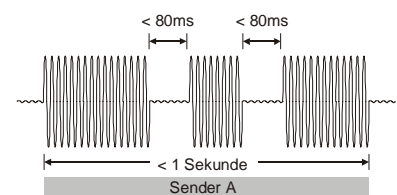


Abb. 3a: Maximale Übertragungsdauer

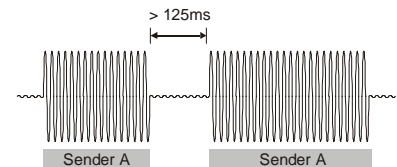


Abb. 3b: Zeit zwischen zwei Sendevorgängen von einem Sender

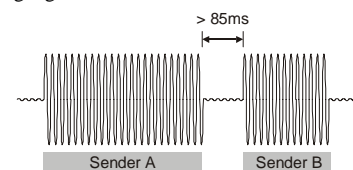


Abb. 3c: Zeit zwischen den Sendevorgängen von zwei Sendern

Übertragungsprotokolle für die Power-Line-Kommunikation

Modulations- und Codierungsverfahren haben einen beträchtlichen Einfluß auf die Zuverlässigkeit einer Datenübertragung. Insbesondere bei der Kommunikation über das Stromversorgungsnetz, welches bekanntlich nicht speziell für die Datenübertragung geschaffen ist, kann die Störungsempfindlichkeit durch geeignete *Modulationsverfahren*, *Fehlerkorrekturcodes* und *Prüfsummen* entscheidend reduziert werden. Nach dem OSI-Referenzmodell sind die Bitübertragungsschicht (*Physical Layer*) und die Datensicherungsschicht (*Medium Access Control, MAC*) eines Kommunikationsprotokolls für alle medienabhängigen Dienste vorgesehen. Von der neuen *Konnex-Spezifikation* [2], die für die Haus- und Gebäudeautomation entworfen wurde, werden diese Dienste auch für die Power-Line-Kommunikation definiert. Daneben werden weitere Kommunikationsmedien unterstützt, wie z.B. ein zum heutigen EIB abwärtskompatibles Medium für Installationsbussysteme (das sog. *TPI*: TP steht für Twisted Pair, d.h. verdrehte Zweidrahtleitung).

Die Power-Line-Spezifikation im Konnex-Standard wird unter dem Titel PL132 geführt: *PL* steht für *Power-Line* und *132* ist das Synonym für die Trägerfrequenz (132,5kHz; d.h. CENELEC-C-Band). Dank des offenen und frei verfügbaren Standards können einzelne Komponenten auch ohne eine technologische Bindung an bestimmte Hersteller entwickelt werden, was die Grundvoraussetzung für eine freie Marktentwicklung ist. Die Zukunftssicher-

heit von Entwicklungen nach genannter Spezifikation ist daher gewährleistet. Alle Geräte, die den Konnex-Standard erfüllen, können über Medienkoppler (sog. *Router*) auch in bestehende *EIB-Installationen* integriert werden.

Die CENELEC-Norm EN50065-1 nimmt keinen Einfluß auf die zu verwendenden Modulations- und Codierungsverfahren; dieses ist Aufgabe der Konnex-Spezifikation. Die Bitübertragungsschicht des Konnex-Power-Line-Protokolls sieht ein Minimal-Frequenzmodulationsverfahren vor (MFSK, d.h. Frequenzmodulationsverfahren mit geringer Frequenzabweichung). Die Mittenfrequenz beträgt 132,5kHz, die Abweichung $\pm 0,6\text{kHz}$. Eine logische '1' wird demnach durch eine Frequenz von 131,9kHz, eine logische '0' von 133,1kHz repräsentiert. Da es sich um ein Halb-Duplex-Protokoll handelt, ist nur eine Trägerfrequenz erforderlich. Die Datenübertragungsrate ist mit 2400 Baud spezifiziert und der maximale Ausgangspegel mit CENELEC-konformen 116 dB(μV).

Wie in der Buskommunikation allgemein üblich, werden die Daten zu abgeschlossenen Paketen von fester Länge „zusammengeschnürt“ (sog. *Telegramme*) und über das Kommunikationsmedium übertragen. Die Telegramme müssen in ihrem Aufbau dem Konnex-Standard folgen, um von anderen Busteilnehmern richtig interpretiert werden zu können.

Abb. 4 zeigt die Struktur eines

Power-Line-Telegramms nach der Konnex PL132-Spezifikation. Im Unterschied zu anderen asynchronen Protokollen fehlen die Start- und Stopbits, die sonst zur Synchronisation genutzt werden. Stattdessen ist zu Beginn jedes Telegramms eine 16-Bit lange *Preamble* mit 8 fallenden und 8 steigenden Bitflanken vorgesehen, die den Empfängern eine Synchronisation auf eingehende Telegramme ermöglicht. Bei einzelnen Start- und Stopbits könnten nämlich mögliche Störungen während der Übertragung zum Synchronisationsverlust führen. Der nachfolgende 16-Bit lange *Header* unterscheidet zwischen Telegrammen (*Datagrams*) und Telegramm-Bestätigungen (*Acknowledges*). Durch eine hohe Redundanz wird die Störungsempfindlichkeit stark reduziert. Alle Bytes des nachfolgenden Datenbereichs werden je um einen 6-Bit langen FEC-Code (Fehlerkorrekturanteil, *Forward Error Correction*) auf 14 Bits erweitert. Das verwendete FEC-Generatorpolynom $(x^6+x^5+x^4+x^3+1)$ erlaubt die Korrektur von bis zu 3 zusammenhängenden Fehlern in einem 14-Bit-Feld. Damit können z.B. auch die durch Lichtdimmer oder Schaltnetzteile verursachten phasensynchronen Störungen mit einer Dauer von bis zu 1ms korrigiert werden.

Mit dem ersten Feld des Datenbereichs wird die 16-Bit-Hausadresse (*Domain Address*) übertragen. Das ermöglicht die logische Sektorierung des gesamten Übertragungsmediums in separate Unternetzwerke, wodurch die gegenseitige Beeinflussung von Systemen aus unterschiedlichen Wohnungen am gleichen Stromversorgungsnetz verhindert wird. Die Hausadresse kann z.B. vom ersten Gerät eines Power-Line-Netzwerkes nach einem vorgegebenen Pseudo-Zufallszahlenalgorithmus zufällig gewählt und bei der Installation

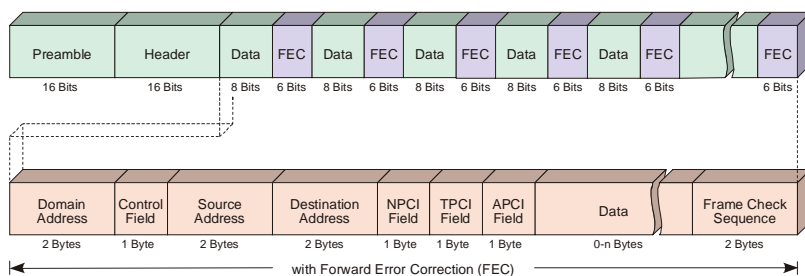


Abb. 4: Aufbau eines Power-Line-Telegramms nach der Konnex-PL132-Spezifikation

folgender Geräte auf Knopfdruck weitergegeben werden.

Das auf die Hausadresse folgende Kontroll-Feld (*Control Field*) enthält u.a. Informationen zur Unterscheidung von Gruppen- und Individualadressen. Die nächsten beiden Felder definieren die Quell- und Zieladresse (*Source Address* und *Destination Address*). Das anschließende NPCI-Feld (*NPCI = Network Layer Protocol Control Information*) enthält die Längenangabe

für den Datenbereich und einen Zähler, um die Anzahl der Weiterleitungen über Router zu begrenzen. Das TPCI-Feld (*Transport Layer Protocol Control Information*) wird für eine verbindungsorientierte Datenkommunikation verwendet. Der darauf folgende Datenbereich überträgt letztlich nach einem Steuer-Byte (*APCI = Application Layer Protocol Control Information*) die Nutzdaten.

Das letzte Feld der Konnex-Power-Line-Telegramme enthält eine 16-Bit lange Prüfsumme (*FCS, d.h. Frame Check Sequence*) und stellt die Konsistenz des gesamten Telegramms sicher. Das Generatorpolynom für die FCS wird mit $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$ berechnet. Dadurch werden Übertragungsfehler mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit vermieden. Wenn ein Telegramm korrekt empfangen wurde, wird die FCS zur Bestätigung an den Sender zurückgeschickt.

Kostenoptimierte Power-Line-Kommunikationsmodule

Die hier vorgestellten kostenoptimierten Power-Line-Kommunikationsmodule der Firma DOMOLOGIC Home Automation GmbH integrieren die Funktionseinheiten *Power-Line-Modem*, *Power-Line-Interface*, *Stromversorgung*, *Mikrocontroller* sowie eine opto-galvanisch isolierte *Ein-/Ausgabeschnittstelle* auf einer kleinen Platine, die sich auf die Ausmaße von bis zu 50 x 80 mm reduzieren läßt (kleiner als eine Euro-Scheckkarte). *Abb. 6* zeigt das Blockschaltbild eines solchen Power-Line-Kommunikationsmoduls. Die galvanisch isolierte Ein-/Ausgabeschnittstelle stellt die Verbindung zur Außenwelt her. Es stehen zwei Eingänge und zwei Ausgänge mit einer maximalen Isolationsspannung von bis zu 5300 V_{AC RMS} zur Verfügung. Die Isolation ist unbedingt notwendig, da die gesamte übrige Schaltung nicht galvanisch von der Stromversorgung getrennt ist. Die Ein- und Ausgänge sind TTL- und CMOS-kompatibel und für Signalübertragungen von bis zu 19200 Baud ausgelegt.

In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Funktionseinheiten näher erläutert.

Power-Line-Modem

Die Funktionseinheit *Power-Line-Modem* übernimmt die Modulation und Demodulation der Trägerfrequenz, überwacht das Medienzugriffsprotokoll und stellt dem Mikrocontroller Takt, Reset und

einen Watchdog zur Verfügung. Es wurde um den zur Konnex-PL132-Spezifikation kompatiblen Baustein ST7537HS1 von ST Microelectronics aufgebaut [4], der in großen Stückzahlen und in einem sehr günstigen Preissegment verfügbar ist. Mit einer maximalen Übertragungsrate von 2400 Baud liegt der Schaltkreis im Rahmen der Spezifikation. Die Schnittstelle zwischen dem Mikrocontroller und dem ST7537HS1 ist denkbar einfach konzipiert und besteht aus lediglich 4 Signalen: *Tx* für zu sendende Signale, *Rx* für empfangene Signale, *Rx/Tx* für die Umschaltung zwischen Sende- und Empfangsmodus, und schließlich */CS* als ein Indikator für die Trägerfrequenz (*Carrier Sense*). In einem speziellen Empfangsmodus beträgt die Signalverstärkung des ST 7537HS1 ca. 70 dB, das entspricht einer Verstärkung um das mehr als 3000fache. Die Taktversorgung des Bausteins von 11.05922 MHz kann mit einem einfachen Schwingquarz realisiert werden.

Untersuchungen von Malack und Engstrom (IBM Electromagnetic Compatibility Laboratory) an 86 Stromversorgungsnetzen in 6 europäischen Ländern haben gezeigt, daß die Impedanz der stromführenden Leitungen im Bereich um 100kHz durchaus klei-

ner als 1,5Ω werden kann. Dieser Wert wird hauptsächlich von den angeschlossenen Verbrauchern und dem Innenwiderstand des Verteilungstransformators bestimmt. Damit derart niedrige Impedanzen nicht zu Störungen bei der Power-Line-Datenübertragung führen, müssen die Signale mit einer Leistungsstufe entsprechend aufbereitet werden. Die Endstufe des hier vorgestellten Kommunikationsmoduls ist nicht im ST7537HS1 integriert, sondern extern aufgebaut, und kann Leitungen mit einer Impedanz von bis zu unter 1Ω treiben.

Power-Line-Interface

Die verstärkten Signale des Power-Line-Modems werden über ein *Power-Line-Interface* kapazitiv in das Stromversorgungsnetz

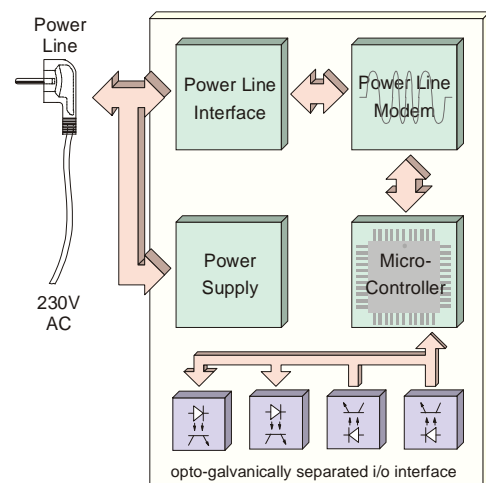


Abb. 5: Blockschaltbild eines Power-Line-Kommunikationsmoduls

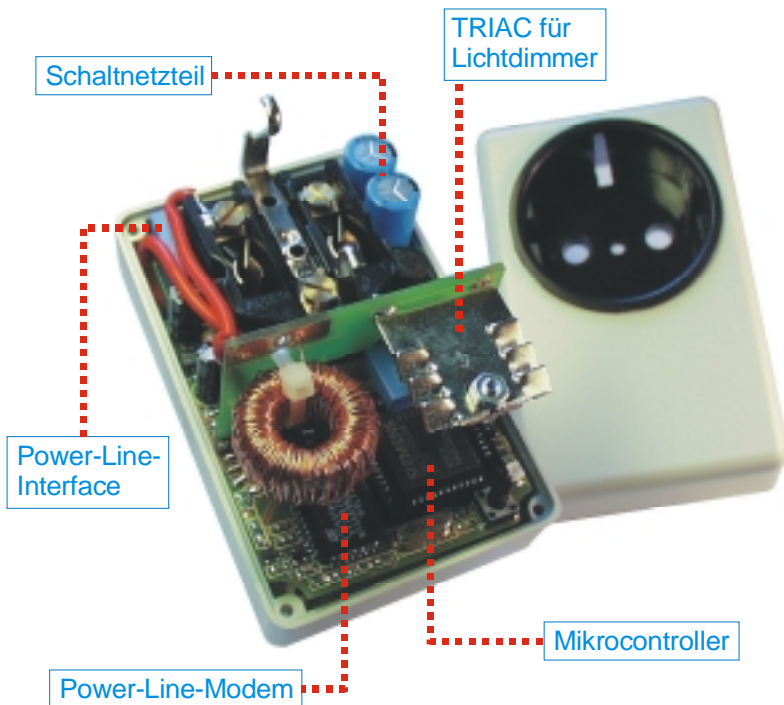


Abb. 6: Fernschaltbarer Zwischenstecker für die Power-Line-Kommunikation

eingekoppelt. In umgekehrter Richtung gelangen die aus dem Netz gefilterten Signale über das Power-Line-Interface zum Power-Line-Modem. Um Bauteilkosten einzusparen, wurde die Schaltung ohne induktive Signalübertrager aufgebaut, weshalb diese Funktionsgruppe nicht galvanisch vom Netz isoliert ist. Ein Varistor schützt die Schaltung vor Spannungsspitzen auf dem Stromversorgungsnetz, die durch induktive Lasten wie z.B. elektrischen Heizungen oder Motoren verursacht werden können.

Stromversorgung

Für die interne Stromversorgung des Kommunikationsmoduls wurde ein abgewandelter Tiefsetzsteller (*Step-Down-Converter*) entwickelt, der die Eingangsspannung von bis zu 250V AC in eine geregelte Gleichspannung von 10V DC (bis 200 mA belastbar) umwandelt. Ein nachgeschalteter Linearregler versorgt den Digitalteil mit einer Gleichspannung von 5V. Auch beim Tiefsetzsteller konnte auf induktive Übertra-

ger verzichtet werden, wodurch sich die Herstellungskosten der Schaltung weiter reduzieren ließen. Da das Power-Line-Interface auch nicht von der Stromversorgung galvanisch getrennt ist, führt das zu keinen zusätzlichen Nachteilen.

Die Stromversorgung wurde derart dimensioniert, daß dem Power-Line-Modem auch bei geringen Netzimpedanzen von bis unter 1Ω noch genügend Sendeenergie zur Verfügung steht. Außerdem wurde die Schaltfrequenz des Tiefsetzstellers derart gewählt, daß die fundamentalen Harmonischen die Mittenfrequenz des Power-Line-Modems nicht überschneiden. Das ist notwendig, damit die Power-Line-Kommunikation nicht von der getakteten Stromversorgung gestört wird.

Mikrocontroller

Der Mikrocontroller kommuniziert über die Ein-/Ausgabeschnittstelle mit der Umgebung des Kommunikationsmoduls und

sorgt für die Power-Line-gerechte Umsetzung der Informationen. Zur weiteren Kostensenkung wurde ein Intel-8052-Derivat mit 256 Byte internem RAM gewählt. Die aktuelle Version ist zusätzlich mit 8kByte internem FLASH-Speicher ausgestattet. In einem externen EEPROM mit 256 Byte können z.B. die Netzwerkvariablen (Hausadresse, individuelle Adresse, Gruppenadress-Tabelle etc.) abgelegt werden. Wie im Abschnitt über das Power-Line-Modem bereits erläutert worden ist, wird die Taktversorgung und die Generierung des Reset-Signals von eben dieser Funktionseinheit übernommen, was den Bedarf an Bauteilen vermindert. Der Systemtakt des Mikrocontrollers beträgt daher 11.05922 MHz.

Ein-/Ausgabeschnittstelle

Eine galvanisch isolierte Ein-/Ausgabeschnittstelle stellt die Verbindung des Kommunikationsmoduls zur Außenwelt her. Es stehen zwei Ein- und zwei Ausgänge mit einer Isolationsspannung von bis zu 5300 V_{AC RMS} zur Verfügung. Eine Isolation ist unbedingt notwendig, da die übrige Schaltung wie erwähnt nicht galvanisch von der Stromversorgung isoliert ist. Die Ein- und Ausgänge sind TTL- und CMOS-kompatibel und für Signalübertragungen bis zu 19200 Baud ausgelegt.

Fernschaltbare Zwischenstecker

Abb. 6 zeigt den Einbau eines Power-Line-Kommunikationsmoduls in einen fernschaltbaren Zwischenstecker. Anstelle der opto-galvanisch isolierten Ein-/Ausgabeschnittstelle sind eine Nulldurchgangserkennung und ein TRIAC in die Schaltung mit aufgenommen worden. So läßt sich über Power-Line-Kommandos die Helligkeit einer angeschlossene Lampe von 0-100% in 1%-Schritten dimmen.

Software für die Power-Line-Kommunikation

Bei Kommunikationsmodulen allgemein entfällt der weitaus größte Entwicklungsaufwand auf die *Protokoll-Software*. Bei den hier vorgestellten Power-Line-Kommunikationsmodulen ist diese für eine Konnex-konforme Aufbereitung der Telegramme in beide Richtungen zuständig (d.h. in Sende- und Empfangsrichtung).

Eine strukturierte Übersicht der Protokoll-Software zeigt Abb. 7. Den Kern bildet ein nach dem OSI-7-Schichtenmodell aufgebauter *Protokoll-Stapel*, der die Schichten 1-4 und 7 implementiert. Die Schichten 5 und 6 werden gemäß der Konnex-Spezifikation nicht benötigt. Außerdem ist ein System-Management-Modul vorhanden, das u.a. für die Verwaltung der Adressen und für die Konfiguration des Protokoll-Stapels verantwortlich ist.

Der Protokoll-Stapel und das System-Management sind in allen Power-Line-Geräten vollkommen identisch, d.h. in einem fernsteuerbaren Dimmer ist dieser Ab-

schnitt genau der gleiche wie in einer kommunikationsfähigen Waschmaschine. Den Unterschied bildet lediglich die eigentliche Anwendung (*Application*). Die Anwendung kommuniziert mit der am Kommunikationsmodul angeschlossenen Hardware. Bei einem Dimmer wären das z.B. die Nulldurchgangserkennung (Zero-X), ein lokaler Ein-/Aus-Schalter sowie ein TRIAC für die Phasenanschnittsteuerung. Bei einer Waschmaschine könnte der anwendungsbezogene Hardware-Teil eine opto-galvanisch isolierte Schnittstelle zum Steuerprozessor sein.

Zur obersten Schicht des Protokoll-Stapels (*Application Layer*) gibt es eine Software-Schnittstelle (API), an die alle zu sendenden Informationen von der Anwendung übergeben werden. Der Protokoll-Stapel ist für die korrekte Übertragung der Informationen zuständig und stellt dazu Konnex-kompatible Telegramme zusammen, indem diese schrittweise von der obersten an die unterste Schicht durchgereicht werden. Nach Abschluß des Sen-

devorgangs wird die Anwendung vom Protokollstapel über deren Erfolg oder Mißerfolg informiert. In Empfangsrichtung werden die für das jeweilige Gerät bestimmten Telegramme vom Protokoll-Stapel herausgefiltert, über die einzelnen Schichten aufbereitet und an die Anwendung übergeben. Von hier aus kann dann geeignet reagiert werden, z.B. mit der Veränderung des aktuellen Dimm-Wertes.

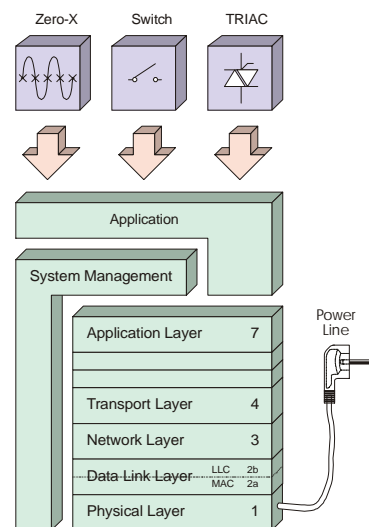


Abb. 7: Power-Line-Kommunikationssoftware

Fazit

Die Power-Line-Kommunikation ist gerade wegen des außerordentlich geringen Installationsaufwandes ein sehr geeignetes Medium für die Haus- und Gebäudeleittechnik. Viele Anwendungen würden vom Verbraucher kaum in Erwägung gezogen, wenn eigens dafür Steuerleitungen verlegt werden müßten. Beispielsweise wäre die Steuerung der Heizungsanlage vom Fernsehgerät oder einer zentralen Bedienstation aus sicherlich ein verkaufsförderndes Argument, aber bei hohem Installations- und Kostenaufwand kaum vermarktungsfähig. Aus gleichem Grunde erfordern die Kommunikationsmodule ein weitgehend „intelligentes“ Protokoll, das einfachste Installationen unterstützt, damit Komponenten auch ohne ausgebildete Fachleute in Betrieb genommen werden können. Ein solches Protokoll sieht der neue Konnex-Standard vor (*Auto Configuration*). Weiterhin ist die kostengünstige Realisierung der Kommunikationsmodule eine wichtige Voraussetzung für den Endkundenmarkt.

Literatur

1. EN50065-1; „Signalübertragung auf elektrischen Niederspannungsnetzen im Frequenzbereich 3 kHz bis 148 kHz“; herausgegeben von der CENELEC; Genf, Juli 1993
2. „Konnex Specification 1.0“; herausgegeben von der Konnex Association; Brüssel 2000
3. „Home Systems Specification 1.3“; herausgegeben von der European Home Systems Association; Brüssel, 1996
4. „Power-Line Modems & Applications“; ST Microelectronics; Mai 1994