

NETZFILTER

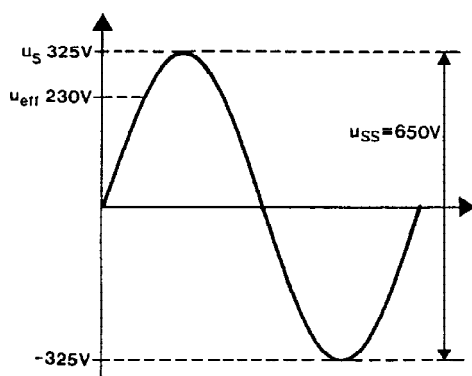
PROBLEMDARSTELLUNG

Netzwechselfspannung

In Deutschland (u. vergleichbaren Ländern) soll vom Stromnetzbetreiber eine Wechselfspannung mit einem Effektivwert von 230 V und einer Frequenz von 50 Hz an den Netzzugängen (Steckdosen) zur Verfügung gestellt werden. Diese Spannung darf in europäischen Versorgungsnetzen um +6% = 244 V (nach DIN IEC 38) nach oben abweichen.

In der Praxis sind diese theoretisch gewollten Spannungsbedingungen nicht zu erzielen. Auf dem Lichtnetz befinden sich zunehmend höher und höchstfrequente Störimpulse, -impulspakete und -spannungen. Verursacht werden diese Modulationen u.a. durch industrielle Verbraucher, welche Spannungseinbrüche im Volt Bereich verursachen, und z.B. durch Thyristor/Triac-Steuerungen erzeugte Spannungsspitzen im 100 V Bereich, die der Netzwechselfspannung überlagert sind. Spannungsspitzen bis 1000 V können ca. 10 mal täglich auf dem Lichtnetz nachgewiesen werden. Bekannt aus Haushaltsanwendungen sind Computer (mit ihren Schaltnetzteilen), Dimmer, Kühlschränke oder einfach Kaffeemaschinen, welche Störfrequenzen von einigen kHz bis >100 kHz abgeben.

Bild 1 Netzwechselfspannung



$$U_{\text{eff}} = \text{Effektivwert}; U_{\text{eff}} = U_{\text{s}} \times \sqrt{2} \text{ (Spitzen- spannung);}$$

$$U_{\text{SS}} = U_{\text{eff}} \times \sqrt{2} \times 2 \text{ (Spitze-Spitze-Spannung)}$$

Die Stromerzeuger selbst nutzen ihre Stromleitungen zweckentfremdet zur Übertragung von Steuerinformationen für die Hausstromzähler, die mit 16 kHz-Paketimpulsen zwischen Hoch- und Niedrigtarif umgeschaltet werden und zunehmend - bedingt durch die Aufgabe des Telekom-Monopols - ihre Überlandleitungen für die Übertragung von Kommunikationsdaten.

Störquellen und Störspektren

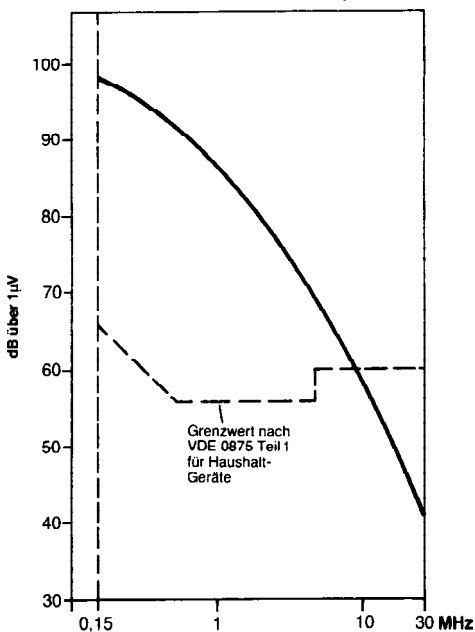
An das Wechselspannungsnetz angeschlossene elektrische Verbraucher beeinflussen den sinusförmigen Spannungsverlauf, welches der Erzeugung eines Störspektrum entspricht. In Abhängigkeit vom Gerätetyp sind Frequenzbereich und Amplitude unterschiedlich ausgeprägt. Unterschieden werden

- a) kontinuierliche Störspektren (breitbandige Störung) und
- b) Linienspektren (schmalbandige Spektren).

Hierzu zwei Beispiele:

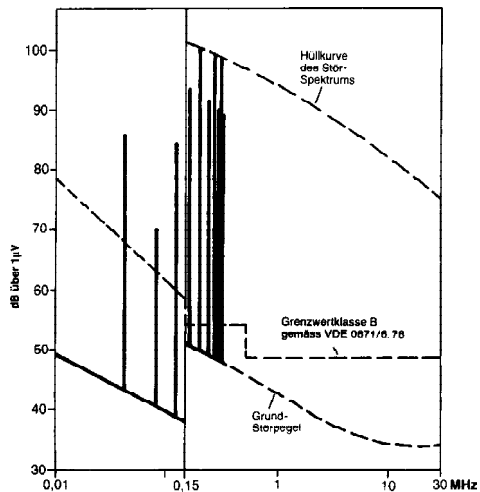
a)
 Phasenanschnittsteuerungen mit Thyristoren oder Triacs erzeugen ein kontinuierliches Spektrum, das bis etwa 100 MHz störend wirksam ist. Oberhalb dieser Frequenz unterschreitet der Pegel in den meisten Fällen den erlaubten Grenzwert nach VDE 0875.

Bild 2, kontinuierliches Störspektrum



b)
 Geschaltete Netzgeräte besitzen Schaltfrequenzen zwischen 20 kHz und 200 kHz. Das erzeugte Störspektrum, das bis über 100 MHz stören kann, ist ein Linienspektrum, welches sich aus schmalbandigen Spannungsspitzen zusammensetzt.

Bild 3, Linienspektrum

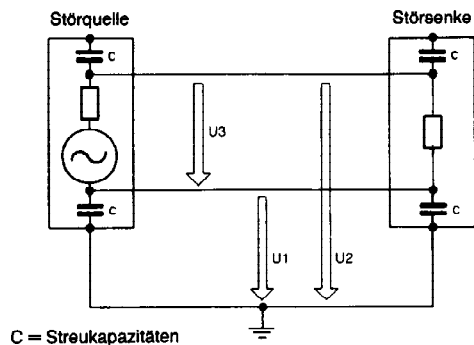


Störausbreitung

Unterschieden wird zwischen leitergebundener Störung und Störstrahlung. Im ersten Falle fließen in den Leitern des Netzkabels und der Signalleitungen hochfrequente Störströme. Diese haben bezüglich dem Erdpotential, an welches die Schutzerde des Netzkabels angeschlossen wird, einen messbaren Spannungswert.

Leitungsgebundene Störungen lassen sich weiter unterscheiden in symmetrische und asymmetrische Störspannungen. Symmetrische Störspannungen werden zwischen Phase und Nulleiter (U_3) gemessen, asymmetrische Störspannungen zwischen Null- oder Phasenleiter (U_1 bzw. U_2) und dem Schutzleiter.¹₂

Bild 4, Störausbreitung, leitungsgebunden



Hat das Netzkabel eines Gerätes eine Länge von $\lambda/4$ der Störfrequenz oder ist es länger, so bilden sich auf dem Kabel stehende Wellen aus. Hier wirkt die Anordnung Kabel mit Gerät wie eine Antenne, und die Störenergie wird an die Umgebung abgestrahlt. Bei parallel geführten Netzkabeln und Signalleitungen kann ebenso eine kapazitive-, induktive oder elektro-magnetische Einkopplung von einem ins andere System auftreten.

Auswirkungen von Netzstörungen

Den vielen Vorzügen der Halbleitertechnik (z.B. kompakte Baumaße, hohe Leistungsausbeute) steht als einer der wenigen Nachteile die hohe Empfindlichkeit des Halbleitermaterials für Überspannungen entgegen. Es genügen bereits energiearme Spannungsimpulse, um folgenreiche Störungen und Schäden zu verursachen. Besonders die Schäden durch Gewitterüberspannung haben in den vergangenen Jahren gezeigt, daß elektronische Anlagen bis zu einer Entfernung von 1,5 km vom Blitzeinschlagort durch elektromagnetische Felder und leitungsgeführte Überspannungen gefährdet sind. An dieser Stelle soll jedoch angemerkt werden, daß ein Überspannungsschutz kein Schutz gegen durch direkten Blitzeinschlag verursachte Überspannungen darstellt. Hierzu wären Blitzstromableiter notwendig, welche in HiFi-Komponenten nicht platzierbar sind. Das Ansprechverhalten des Überspannungsschutzes ist ein wichtiges Kriterium um auch sehr kurzfristiger Spannungsspitzen abfangen zu können. Dem gegenübergestellt ist die Leistungsaufnahme des Überspannungsschutzes. Bei einer hohen Energieabsorbtionsfähigkeit des Überspannungsschutzes erhöht sich auch die Ansprechzeit. Aus diesem Grund gibt es in **agile** Netzfiltern einen mehrstufigen Überspannungsschutz, der den Ansprüchen schnelles Ansprechverhalten und hohe Energieabsorbtion gerecht wird.

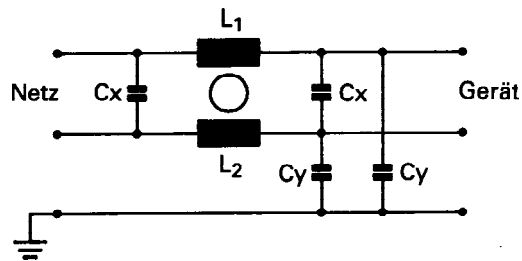
Neben der reinen Schutzfunktion durch den in **agile** Produkten integrierten Überspannungsschutz interessiert natürlich auch die klanglichen Auswirkungen von Netzstörungen. In Audioschaltungen werden die durch die

Konstruktion - bzw. das Musiksinal - definierten Spannungen und Frequenzen durch externe Störspannungen, welche leitungsgebunden oder als Strahlung einwirken, an den Halbleitern moduliert. Diese Überlagerung kann - je nach Störpektrum - als Rauschen dargestellt werden. Die negativen klanglichen Konsequenzen stehen im direkten Zusammenhang mit dem hinzugekommenen Rauschsignal:

- Verringerung der Musikinformation
- flachere räumliche Darstellung
- „scharfe“ und lästige Klangfarben

uns, speziell für den Audio-Einsatz geeignete Netzfilter zu entwickeln. Neben der meßtechnischen Filterdimensionierung beschäftigten wir uns in vielen Hörsitzungen auch mit den klanglichen Einflüssen der Filterbausteine auf das musikalische Ergebnis.

Bild 5, Netzfilter, einfache Filterschaltung



PROBLEMLÖSUNG

Die Netzteile der meisten HiFi Geräte sind aus Konstruktionsgründen nur im beschränkten Maße fähig, leitungsgebundene Störspannungen zu bedämpfen. Eine Verbesserung des Störspannungsabstandes durch extern vorgeschaltete Netzfilter führt jedoch zu deutlich hörbaren Klangverbesserungen. Versuche, die „Netzverschmutzungen“ mit für die Datenverarbeitung entwickelten Netzfiltern zu beseitigen, brachten für die Audio-Anwendung keine zufriedenstellenden Ergebnisse. In der Audio Anwendung müssen Netzfilter konzipiert werden, welche Spannungs- und Stromstabil bei Impulslasten reagieren. Die Dimensionierung und Konstruktion der Industrie-Netzfilter ist in der Regel für konstante Stromlasten ausgerichtet.

Ein Filter für Netzspannungen ist im Prinzip genauso aufgebaut, wie passive Filter für den NF-Bereich (z.B. Lautsprecherfrequenzweichen). Mit Kondensatoren und/oder Spulen wird der Übertragungsbereich eingegrenzt. Zur Entstörung genügt ein Tiefpaß mit einer oberen Grenzfrequenz von >50 Hz. Das LC-Netzwerk bewirkt eine Fehlanpassung der Filterimpedanz an die Impedanz des Störpfades. Auf diese Weise wird die Störung jeweils in Richtung der Störquelle reflektiert. D.h., mit Netzfiltern verbundene HiFi Geräte, werden durch Netzstörungen weniger beeinflusst; sie selbst beeinflussen aber auch keine anderen Geräte in negativer Weise.

Die theoretisch optimale Alternative des Batteriebetriebes ist aus Platz- und Kostengründen für die meisten HiFi-Geräte nicht praktikabel. So entschlossen wir

In Abhängigkeit zur gewünschten Entstörwirkung lassen sich drei verschiedene Spulenkonstruktionen einsetzen:

Störwirkung: symmetrische Störung (zwischen Phase und Nulleiter)

Sättigungsdrossel

Sie hat im Einschaltmoment (es fließt kein Strom) eine hohe Induktivität, die während des Betriebes durch die Sättigung ihres Eisen- (Ferrit)-Kerns wesentlich geringer wird. Dies ist ein starker Nachteil für audio Anwendungen, da die Filterwirkung nicht konstant ist.

Störwirkung: symmetrische Störung (zwischen Phase und Nulleiter)

Stabkerndrossel

Soll die Induktivität konstant bleiben und werden Verbraucher mit hoher Stromaufnahme (> 100A) angeschlossen empfiehlt sich der Einsatz dieser Drosselart.

Störwirkung: asymmetrische Störung (zwischen Phase/Nulleiter und Schukoerde)

Stromkompensierte Ringkerndrossel mit Mehrfachwicklung

Diese Drosseln tragen zwei gleiche Wicklungen, die so angeordnet sind, daß der normale Betriebsstrom (Gegentakt-signal) innerhalb des magnetischen Materials sich gegenseitig kompensierende magnetische Flüsse erzeugt. Mit dieser Maßnahme wird einer Sättigung des Materials vorgebeugt. Bei asymmetrischen Störungen (Gleichtakt-signal) unterstützen sich die beiden Felder gegenseitig und es wirkt die volle Induktivität. Die symmetrischen Stör-komponenten werden durch die X-Kondensatoren zwischen Phasen- und Nulleiter sowie durch die Streuinduktivitäten von L und L wirksam gedämpft (s. hierzu Bild 5). Für den Nutzstrom ist die Induktivität der Drosseln gering, es entsteht daher auch kein

(unerwünschter) Spannungsabfall. Asymmetrische Störströme können weiter mit zusätzliche Schutzleiterdrosseln unterdrückt werden.

Besonderem Augenmerk gilt nach Auswahl der geeigneten Drosseln deren Konstruktion, worunter Materialauswahl, Dimensionierung und Lage im Gehäuse zu verstehen ist. Nach vielen Experimenten gelang es, eine exklusiv für **agile** produzierte Drossel zu realisieren, welche genügend Filterwirkung zeigt, aber auch bei hohen Impulslasten eine stabile Induktivität besitzt. Es gilt aber: die Filterwirkung und das dynamische Verhalten eines Netzfilters werden hauptsächlich über die Höhe der Induktivität der Drosseln reguliert. Je höher die Induktivität (durch die Anzahl der auf den Kern gewickelten Windungen) wird, desto größer wird auch der Innenwiderstand und somit der Verlust im dynamischen Verhalten. Die Entscheidung für eine bestimmte Filterwirkung kann deshalb in der Audio Anwendung nicht am Messgerät, sondern nur durch penibles Probehören in verschiedenen Ketten getroffen werden. Als zusätzliches wichtiges Konstruktionsdetail ist die Verwendung von Metallgehäusen bei elektronischen **agile** Produkten zu nennen, um elektromagnetische Störfelder, welche in andere Anlagenkomponenten wie Tonabnehmer und Lautsprecher einstreuen, zu reduzieren. **agile** Netzkabel werden ausschließlich mit Schirmgeflecht produziert, um die Aufnahme und Abgabe von Störstrahlung auch in diesem Anwendungsbereich auszuschließen.

Zusammenfassend läßt sich sagen: nur mit der richtigen Dimensionierung und sorgfältigen Auswahl der Materialien lassen sich klanglich optimale Netzfilter realisieren.

Bild 6, Störspannungsmessung, ohne Netzfilter

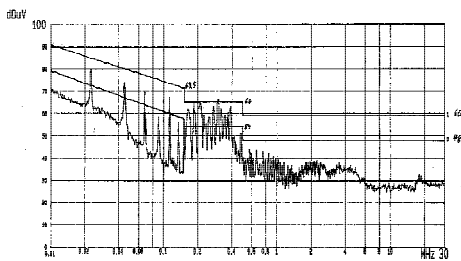
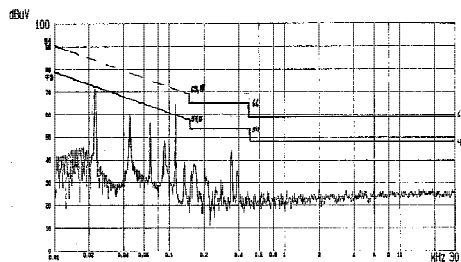


Bild 7, Störspannungsmessung, mit agile Clear cd - Netzfilter



DAS RESULTAT

Vom Einsatz der **agile** Netzfilter profitieren nicht nur Entwickler - die konstante Netzbedingungen erhalten - sondern auch HiFi-Freunde, die mit geringem Aufwand ihre Musikanlage entscheidend verbessern wollen. Die klanglichen Auswirkungen sind erstaunlich und lassen sich deutlich in der Zunahme der Musikinformati- on, der Präzisierung der Darstellung von räumlicher Abbildung und der Erhöhung der musikalischen „Wärme“ erleben.

Wie aus dem vorher Gesagtem ersicht- lich ist, können jedoch die vielen posi- tiven Erfahrungen nicht auf jede HiFi-An- lagen-Konstellati on pauschal übertragen werden. In Abhängigkeit der örtlichen Ver- hältnisse gilt es die Resultate bezüglich des Klanggewinnes zu überprüfen. Die Anzahl der begeisterten Anwender gibt aber unserer Meinung recht, es in jedem Fall zu probieren. Eventuelle vorherige negative Erfahrungen mit anderen Netz- filterprodukten lassen sich grundsätz- lich nicht übertragen, da die Konstruktions- prinzipien sehr stark variieren. Folgende **agile** Produkte stehen zur Verminderung der Störspannungen zur Verfügung:

- | | |
|----------------------|---------------------|
| Netzfilter | : Clear 3f silver |
| Netzfilter | : Clear 3f |
| Netzfilter | : Clear cd |
| Netzsteckdosenleiste | : Line III |
| Netzsteckdosenleiste | : Line II |
| Netzsteckdosenleiste | : Line |
| Netzkabel | : power wire silver |
| Netzkabel | : power wire |