Unterdrückung akustischer Störgeräusche in Schaltnetzteilen

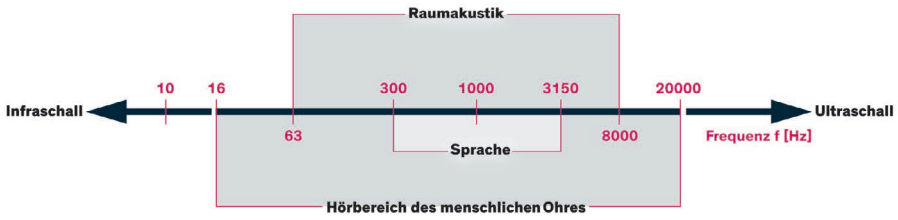

Bild 1: Hörfrequenzbereich des menschlichen Ohres

Wenn wir in einem Auto sitzen, empfinden wir das Motorgeräusch als absolut normal. Denn im Motorraum arbeitet eine Maschine mit mechanisch bewegten Teilen. Für manche von uns ist dieses Geräusch sogar eine angenehme Beigabe. Auch deswegen haben die Hersteller von Autos und anderen Produkten komplette Forschungsabteilungen eingerichtet, die sich gezielt mit der Erzeugung angenehmer Sound-Erlebnisse beschäftigen.

Bei elektronisch geschalteten Stromversorgungen (switched-mode power supplies, SMPS) liegt die Sache anders. Störeffekte wie Brumm- oder Pfeifgeräusche gelten eher als Warnsignal. Obwohl die Stromversorgungen aus einer großen Anzahl elektronischer Komponenten bestehen, sollte sich bei ihrem Betrieb eigentlich nichts bewegen. Deshalb sollten sie auch keinerlei Geräusch verursachen - oder?

Das am häufigsten als Störung empfundene Geräusch typischer AC-Stromversorgungen ist ein niederfrequentes Brummen mit 100 oder 120 Hz. Und da die Stromversorgungen sich in ihrer Komplexität und Struktur laufend weiterentwickelt haben, hat sich der Bereich der von ihnen emittierten Schallwellen ebenso verändert. Allerdings sollten die meisten akustisch wahrnehmbaren Geräusche kein Anlass zur Besorgnis sein.

Wahrnehmung und Wirkung

Menschen können Schallwellen im Frequenzbereich 16 Hz bis zu etwa 20 kHz wahrnehmen (Bild 1). Doch ob ein Schallereignis als Störung oder Irritation empfunden wird, hängt von der Wahrnehmung dieses Schalls im Kontext der akustischen Umgebung ab, in dem er auftritt.

Eine industrielle Stromversorgungseinheit, die ein hörbares Geräusch erzeugt, stellt wahrscheinlich kein spezifisches Problem für Menschen dar. Denn für die meisten in der Nähe befindlichen Menschen gehört es im Kontext anderer Hintergrundgeräusche zur normalen Wahrnehmung ihrer Arbeitsumgebung. Meist werden Umgebungsgeräusche mit ähnlicher Frequenz und Lautstärke die von einer Stromversorgung generierten Frequenzen auditiv überdecken. Dieser Effekt der Maskierung wurde in der Psychoakustik gründlich untersucht und wird unter anderem bei der Audio-Kompression in MP3-Geräten eingesetzt. Industrielle Stromversorgungen werden außerdem meist in Steuerpanels mit geschlossenen Türen eingebaut, was zur Dämpfung eventuell auftretender und wahrnehmbarer Geräusche beiträgt.

In anderen Arbeitsumgebungen, etwa in Büros, können die Reaktionen auf die Störgeräusche einer Stromversorgung wesentlich stärker ausfallen. Pfeif- oder Brummgeräusche aus einem elektrischen Gerät werden dort sehr wahrscheinlich als unangenehm empfunden und können sogar Besorgnisse hinsichtlich seiner Sicherheit auslösen.

Magnetische Felder

Wenn sich ein stromführender Leiter innerhalb eines magnetischen Feldes befindet, ist er generell einer auf ihn wirkenden Kraft ausgesetzt. Diese Krafteinwirkung ist am größten, wenn der Strom und das Magnetfeld unter einem Winkel von 90° verlaufen. In diesem Fall agiert die einwirkende Kraft vertikal zum Stromfluss und der Richtung des magnetischen Feldes. Dabei gilt die bekannte Fleming'sche Dreifinger-Regel der rechten Hand zur Bestimmung der Richtung dieser Krafteinwirkung (Bild 2).

Autor/Koautoren:
Axel Schütz / Mark Schoppel, Florian Haas
Traco Electronic AG
www.tracopower.com

Magnetostriktion

Bei Transformatoren und manchen Induktoren kann deren Eisenkern auch einem als Magnetostriktion bekannten Effekt unterliegen. Er wurde 1842 erstmals von James Joule beobachtet. Er bewirkt, dass ferromagnetische Materialien ihre Form oder Abmessung ändern, wenn sie durch einen Stromfluss im Leiterpfad einer Komponente magnetisiert werden. Neben dem Effekt einer geringfügigen, durch die Reibung bedingten Aufheizung, erzeugen diese Änderungen im Volumen des Materials auch wahrnehmbare Geräusche.

Transformatoren bestehen oft aus Fe-Si-Stahl (auch als Siliziumstahl bezeichnet) mit unterschiedlichem Siliziumgehalt, um den spezifischen Widerstand des Eisens zu erhöhen. Ein Stahl mit 6 % Siliziumgehalt bietet die optimale Zusammensetzung zu einer Reduktion der Magnetostriktion. Allerdings wird dies mit einer erhöhten Sprödigkeit erkauft.

Der Piezo-Effekt

Ein weiterer Auslöser akustischer Störungen ist der Piezo-Effekt. Die Bezeichnung ‚piezo' leitet sich aus dem griechischen Wort für Druck ab. Um 1880 entdeckten Jacques und Pierre Curie, dass bei der Druckbelastung von Kristallen, etwa von Quarz, eine elektrische Ladung entsteht. Sie nannten dieses Phänomen ‚Piezo-Effekt' (Bild 3). Später bemerkten sie, dass elektrische Felder piezoelektrische Materialien verformen können. Diese Erscheinung ist als ‚umgekehrter Piezo-Effekt' bekannt.

Umgekehrter Piezo-Effekt

Der umgekehrte piezoelektrische Effekt bewirkt eine Längenänderung in diesen Materialien, wenn an ihnen eine elektrische Spannung anliegt. Diese Aktuator-Wirkung wandelt elektrische Energie in mechanische Energie um. Spannungsänderungen verändern außerdem auch die geometrische Masse keramischer Kondensatoren, wobei sie als winzige Lautsprecher agieren, die Druckwellen an ihre Umgebung abgeben.

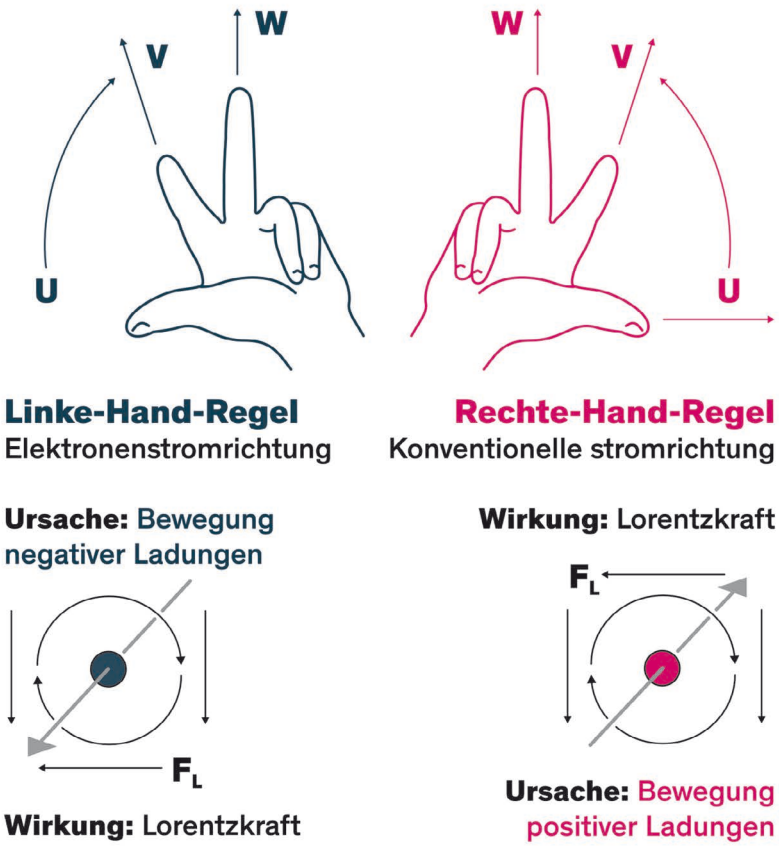

Bild 2: Dreifinger-Regel der rechten/linken Hand.

Topologie von Schaltnetzteilen und Feedback

Das Aufkommen immer effizienterer Leistungswandler bedeutet, dass geschaltete Topologien heute sogar in die einfachsten Stromversorgungsprodukte integriert werden. Die primäre Schaltfrequenz in solchen Designs wird meist oberhalb der Grenze des menschlichen Hörvermögens (>20 kHz) angesetzt. Allerdings kann in Lösungen für Schaltnetzteile, die auf der Änderung ihrer Schaltfrequenz beruhen, um sie an variable Lasten und Eingangsspannungen anzupassen, dieser Frequenzbereich auch bis in den hörbaren Bereich hinein abfallen, um optimale Wandlereffizienzen zu gewährleisten.

In Lösungen mit fester Frequenz können funktionale Eigenschaften wie das Überspringen von Zyklen oder Burst-Mode Betrieb in einem Schaltverhalten resultieren, das in den hörbaren Bereich hineinreicht, obwohl die Schaltfrequenz selbst oberhalb 20 kHz liegt. Falls die betreffende Lösung reguläre Schaltimpulse aufweist, die durch irreguläre Perioden mit zwei oder mehr übersprungenen Impulsen unterbrochen werden, kann dies auf Probleme in deren Feedbackschleife hindeuten (Bild 4). Hier ist es angebracht, die Komponenten der Feedbackschaltung, sowie den korrekten Arbeitsbereich eventuell eingesetzter Optokoppler zu untersuchen und zu verifizieren.

Erkennung und Beseitigung von Problemen durch Störgeräusche

Da die geschalteten Stromversorgungen (SMPS) beim Übergang zu immer höheren Leistungsdichten ständig kompakter werden, kann es eine Herausforderung sein, zu bestimmen, welche Komponente nun die eigentliche Quelle einer akustischen Störung ist. Unter der

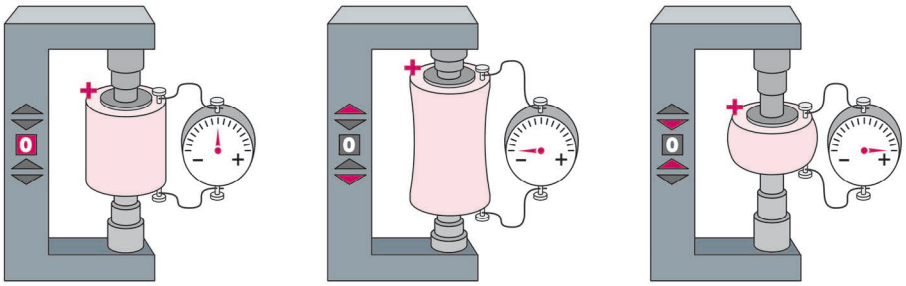

Bild 3: Piezo-Effekt am Beispiel von Materialien wie Quarz.

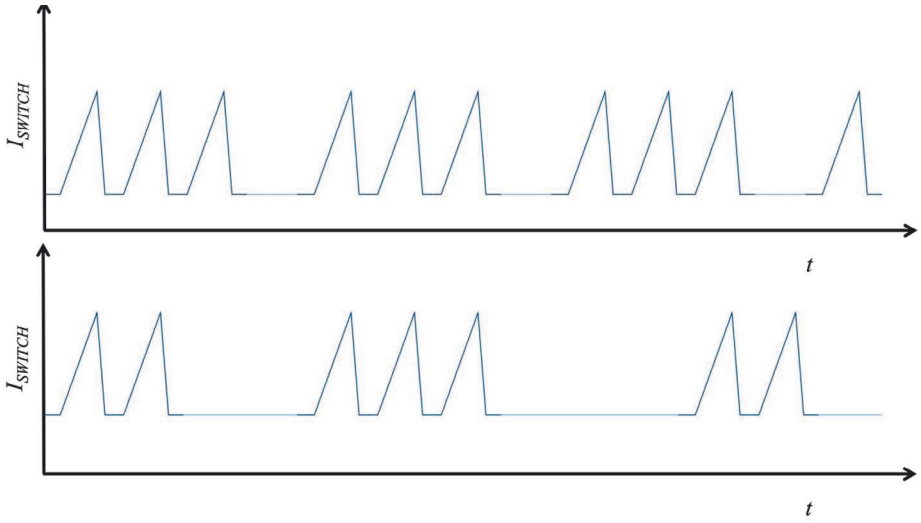

Bild 4: Probleme in der Feedbackschaltung können in Designs mit fester Schaltfrequenz irreguläre Perioden ohne Schaltimpulse bewirken (untere Kurve).

Annahme, dass das Design aus elektrischer Sicht einwandfrei arbeitet, besteht eine gut geeignete Vorgehensweise darin, mit einem nicht leitenden Gegenstand, etwa einem feinen Holzstab, leichten Druck auf die einzelnen Komponenten der Leiterplatte auszuüben, während die Schaltung in Betrieb ist. Eine Veränderung oder Verringerung des Störgeräusches, speziell beim Abtasten von Komponenten, die als primäre Kandidaten gelten, etwa von keramischen oder magnetischen Bauelementen, kann ein guter Startpunkt der Untersuchung sein.

Falls kein sicherer nichtleitender Gegenstand zur Hand ist, kann man auch ein provisorisches Hörrohr aus einen Blatt Papier formen. Zu einem Konus zusammengerollt kann man dessen Ende mit der kleinen Öffnung auf die verdächtigen Komponenten ausrichten, um die Quelle des Störgeräusches zu ermitteln.

Akustisch aktive Störquellen

Keramische Kondensatoren, die einem großen dv/dt-Hub ausgesetzt sind, erweisen sich oft als akustisch aktive Störquellen. Sie sind meist in Klemm- und Snubber-Schaltungen zu finden, und daneben auch in den Ausgangsstufen. Um zu testen, ob sie die gesuchten Störquellen sind, kann man sie versuchsweise durch Kondensatoren mit alternativem Dielektrikum, wie Metallfilm-Ausführungen, ersetzen. Oder man erhöht den Wert ihres Serienwiderstandes. Sollte sich dabei das hörbare Geräusch verringern, kann man eine permanente Änderung der Komponente in Betracht ziehen. Die Änderung von Klemmschaltungen mit Einsatz von Zenerdioden kann sich ebenfalls als hilfreich erweisen. Problematische Kondensatoren in den Ausgangsstufen können gegen solche mit unterschiedlichem Dielektrikum ausgetauscht werden oder durch parallele keramische Kondensatoren mit äquivalentem Wert ersetzt werden, falls die Platzbedingungen dies erlauben.

Ursache: magnetische Komponenten

Wenn magnetische Komponenten die Quelle des Störgeräusches sind, sollte man zunächst sicherstellen, dass die Eingangsspannung und die anliegende Last stets innerhalb des spezifizierten Bereichs liegen. Die Erhöhung der Kapazität auf der Eingangsseite kann helfen, wenn die Eingangsspannung zuweilen zu stark abfällt. Tauchgrundierung von Transformatoren, sowie tauchlackierte und vergossene Induktoren sind eine gute Methode zur Reduzierung von Störgeräuschen. Auch tendieren Transformatoren mit langen Kernen häufiger zu hörbaren Resonanzen als solche mit kurzen Kernen. Wenn möglich, sollte man den Übergang auf einen alternativen kürzeren Kern erwägen, der immer noch die geforderte Anzahl der Windungen aufnehmen kann.

Zusätze als Lösung

In Fällen, in denen es keine praktikablen Alternativen gibt, kann es notwendig werden, den Zusatz von Klebstoffen, Epoxid oder gummierten Adhesives zu den vibrierenden Komponenten in Betracht zu ziehen. Oder, falls möglich, das gesamte Design in eine Vergussmasse einzubetten. Dabei sollte man natürlich beachten, dass bei den hier beschriebenen möglichen Vorgehensweisen eine Wiederholung der Design-Verifizierung und der Produktionstests sehr wahrscheinlich sein wird.

Zusammenfassung

Sowohl die Krafteinwirkung auf stromführende Leiter in magnetischen Feldern, als auch der umgekehrte Piezo-Effekt in Kondensatoren sind die primären Auslöser für die Emission hörbarer Störgeräusche in Stromversorgungseinheiten. Und trotz aller Fortschritte bei den Simulationsverfahren tritt das hörbare Störgeräusch meist erst dann in Erscheinung, nachdem ein Design physisch erstellt wurde - manchmal sogar erst dann, wenn eine Charge von Stromversorgungen für die Vorproduktion vorbereitet wird.

Obwohl das Auftreten akustischer Störgeräusche in Stromversorgungen meist kein Anlass zur Besorgnis in Bezug auf mangelnde Sicherheit oder Funktionalität ist, kann es doch lästig sein und von Anwendern sogar als Qualitätsproblem eingestuft werden. Wenn man einige der hier unterbreiteten simplen Tipps beherzigt, lassen sich die als Störquellen agierenden Komponenten schnell bestimmen und mit den vorgeschlagenen Methoden ersetzen, fixieren oder abändern, um die auftretenden Störgeräusche zu minimieren oder ganz zu beseitigen. ◄

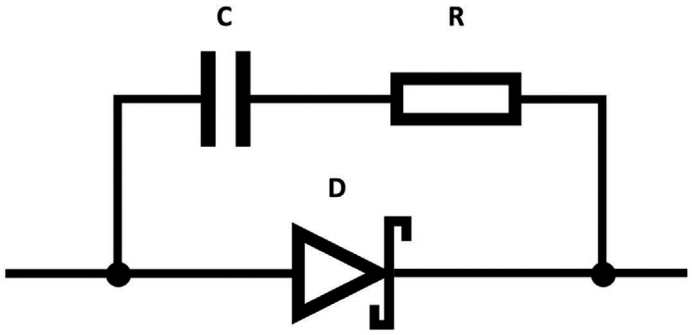

Bild 5: Der Kondensator in der Snubber-Schaltung lässt sich gegen eine Metallfilm-Ausführung austauschen. Oder man erwägt den Einsatz eines größeren Widerstandes.