APPLICATION NOTE

ANP118 | Akustisches Rauschen und Spulenfiepen

Levi Mark, Theo Ritzmann

1. EINLEITUNG

Die Hörfähigkeit gehört zu den wichtigsten Aspekten unseres Lebens. In der Industrie werden Geräusche oft gezielt eingesetzt, um eine Reaktion hervorzurufen. In manchen Fällen sind Geräusche jedoch nicht wünschenswert und können ggf. sogar störend sein. In der Elektronik sind von elektronischen Bauteilen ausgehende Geräusche grundsätzlich unerwünscht, sofern sie nicht speziell zu diesem Zweck verbaut wurden. In der vorliegenden Application Note wird erläutert, wie ein Geräusch als störend empfunden werden kann, wodurch die Erzeugung von Geräuschen durch elektronische Bauteile verursacht werden kann und welche Möglichkeiten es gibt, solche Geräusche zu unterbinden oder zu dämpfen.

2. DAS MENSCHLICHE GEHÖR

Der Eindruck, dass das sogenannte Spulenfiepen[1] störend ist, ist teilweise auf die Psychoakustik zurückzuführen. Das menschliche Gehör kann Schwingungen im Frequenzspektrum zwischen 20 Hz und 20 kHz wahrnehmen. Dieser Bereich unterscheidet sich von Mensch zu Mensch und ändert sich altersbedingt oder durch Hörschäden. Dies erklärt, warum Spulenfiepen nicht immer von allen Menschen wahrgenommen wird. Abbildung 1 zeigt den Frequenzgang des menschlichen Gehörs. Auf der horizontalen Achse ist die Frequenz, auf der vertikalen Achse die Wiedergabestärke des menschlichen Gehörs dargestellt. Das Gehör nimmt Töne über den gesamten Audiofrequenzbereich nicht linear auf, sondern ist mehr empfindlich in manchen Frequenzbereichen. Die Empfindlichkeit bei einer Frequenz von 1 kHz wird als 0-dB-Referenz definiert. Im Allgemeinen wird ein Frequenzpunkt oberhalb von 1 kHz bei gleichem physischem Schalldruck lauter wahrgenommen als ein 1-kHz-Ton. Am empfindlichsten ist das Gehör im Bereich zwischen 2 und 8 kHz, was auch dem Frequenzbereich eines schreienden Säuglings entspricht.

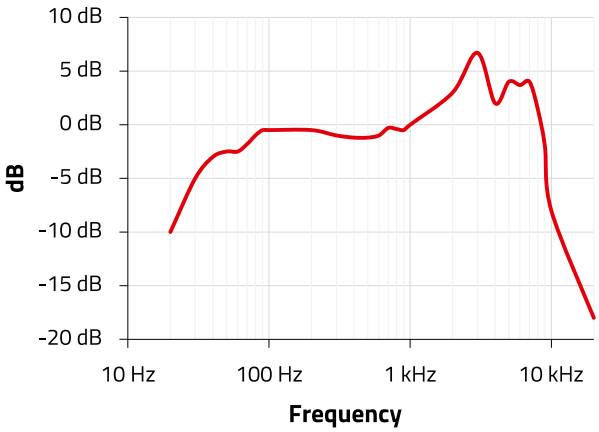

Abbildung 1: Frequenzgang des menschlichen Ohrs.

Ein Spulenfiepen in diesem Frequenzbereich wird sehr leicht wahrgenommen und als störend empfunden. Ein Geräusch bei 18 kHz wird eher unbemerkt bleiben, da diese Frequenz von den meisten Menschen schon im mittleren Alter nicht mehr wahrgenommen wird und das Gehör in diesem Frequenzbereich weniger empfindlich ist. Insofern sind die Spulengeräusche in Frequenzbereichen erhöhter Empfindlichkeit problematisch, da sie sonst gar nicht auffallen und als störend empfunden werden.

3. URSACHEN VON SPULENGERÄUSCHEN

Dieser Abschnitt befasst sich mit den Ursachen, die dazu führen, dass eine Spule ein hörbares Geräusch erzeugt. Im Prinzip werden elektrische Größen zunächst in mechanische und dann in akustische Größen umgewandelt.

3.1 Magnetostriktion

Magnetische Bauelemente bestehen aus Wicklungen und Kernen. Magnetkerne haben die physikalische Eigenschaft, ihre Abmessungen zu ändern, wenn sie einem Magnetfeld ausgesetzt werden. Diesen umfassend untersuchten Effekt nennt man Magnetostriktion. Die Magnetostriktion wurde erstmals 1848 von J. P. Joule beobachtet. Wenn sich das

[1] In dieser AppNote bezieht sich der Begriff „Spule" entweder auf eine Induktivität oder einen Transformator. Das Störgeräusch kann durch die Spulenwicklung, den Kern oder – im Regelfall – die Wechselwirkung zwischen diesen beiden Komponenten bedingt sein.

Magnetfeld periodisch ändert, ändert sich auch die Ausdehnung des Materials periodisch: Eine Schwingung entsteht. Dadurch kommt es zu einer Kompression, gefolgt von einer Ausdehnung, sodass das Kernvolumen gleich bleibt.

Wenn die Frequenz des sich ändernden Magnetfelds im hörbaren Bereich liegt, wird die Kernschwingung auf die Luft übertragen, sodass Schall wahrgenommen werden kann. Dieser Effekt ist bei – insbesondere großen – Transformatoren mit einer Netzfrequenz von 50/60 Hz häufig als „Brummen" zu hören.

In einem solchen Fall findet eine Umwandlung von elektrischen Größen in mechanische und schließlich in akustische Größen statt; Abbildung 2 veranschaulicht dies schematisch.

Abbildung 2: Umwandlung elektrischer in akustische Größen.

Einer der häufigsten Fälle, in denen akustische Geräusche auftreten, lässt sich am Beispiel eines Abwärtswandlers (auch Buck-Converter genannt) erläutern (Abbildung 3).

3.2 Abwärtswandler (Buck-Converter)

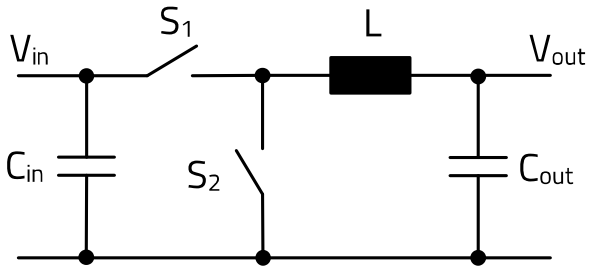

Abbildung 3: Funktionsprinzip eines Abwärtswandlers (Buck-Converter).

Ein Abwärtswandler wird verwendet, um eine definierte Eingangsgleichspannung in eine niedrigere Ausgangsgleichspannung umzuwandeln. Zu diesem Zweck sind verschiedene elektronische Bauteile erforderlich. Abbildung 3 zeigt das Funktionsprinzip eines solchen Wandlers. Der Schalter S_1, der normalerweise durch einen Transistor realisiert wird, wird in typischen Applikationen bis zu mehrere Millionen Mal pro Sekunde geöffnet und geschlossen, wobei die Steuerung von einem integrierten Schaltkreis (IC) übernommen wird. Die Rechtecksignale werden gefiltert, wodurch die Eingangsspannung an den Ausgang übertragen wird. Die Spule L und der Kondensator C versorgen die Last,, solange der Schalter S_1 geöffnet und der Low-Side-Schalter S_2 geschlossen ist. Durch das wiederholte Öffnen und Schließen des Schalters ändern sich Spannung und Strom im Schaltkreis ständig, wodurch ein veränderliches Magnetfeld in der Spule entsteht. Diese Magnetfeldänderungen rufen mechanische Spannungen im Kernmaterial der Spule hervor, was aufgrund der Magnetostriktion zu einer zyklischen Längenänderung des Werkstoffs führt.

In den meisten Fällen ist die Schaltfrequenz mit 75 kHz bis 2,5 MHz so hoch, dass sie außerhalb des menschlichen Hörbereichs liegt. Dennoch können hörbare Geräusche auftreten, wenn der Arbeitszyklus oder die Impulsanzahl der Schaltvorgänge mit einer Frequenz im hörbaren Bereich variiert.

Der Burst-Modus ist ein spezieller Betriebszustand von ICs, der den Wechsel zwischen aktiven und inaktiven Phasen ermöglicht, um den Energieverbrauch zu senken. Dieser Modus wird häufig in Schaltreglern und Netzteil-ICs genutzt, um die Effizienz bei geringer Last zu erhöhen, z. B. dem Stand-By Modus.

Durch die hohe Schaltfrequenz des ICs können kleinere passive Bauteile eingesetzt werden, was zugleich die Einschwingzeit verkürzt. Sinkt die Last jedoch unter einen bestimmten Schwellenwert, wechselt der IC in den Burst-Modus, beendet das kontinuierliche Schalten und erzeugt stattdessen kurze Impulsfolgen, die von längeren Ruhephasen unterbrochen werden (Abbildung 4).

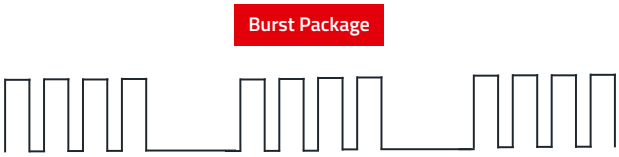

Abbildung 4: Schematische Darstellung der Impulswiedergabe im Burst-Modus.

Während der aktiven Phasen im Burst-Modus liefert der IC die erforderliche Leistung für die Last an den LC-Kreis, wobei der Mittelwert der Ausgangsspannung nach dem LC-Kreis konstant bleibt.

Ein Burst-Paket besteht aus mehreren Schaltvorgängen, deren Frequenz normalerweise nicht im Hörbereich liegt. Zwischen den Bursts treten jedoch Pausen auf, sodass die Wiederholfrequenz der Burst-Pakete in den hörbaren Bereich fallen kann.
Nicht alle ICs verfügen über diesen Modus, weshalb es bei auftretenden Spulengeräuschen sinnvoll ist, den

verwendeten Schaltregler-IC zu überprüfen und festzustellen, ob er im Burst-Modus arbeitet.

Eine weitere Betriebsart eines Abwärtswandlers, die dem Burst-Modus ähnelt, ist das Pulse-Skipping („Impulsüberspringen"). Dabei werden, wie in Abbildung 5 dargestellt, einzelne oder mehrere Schaltimpulse gezielt ausgelassen, um die Ausgangsspannung im gewünschten Bereich zu halten.

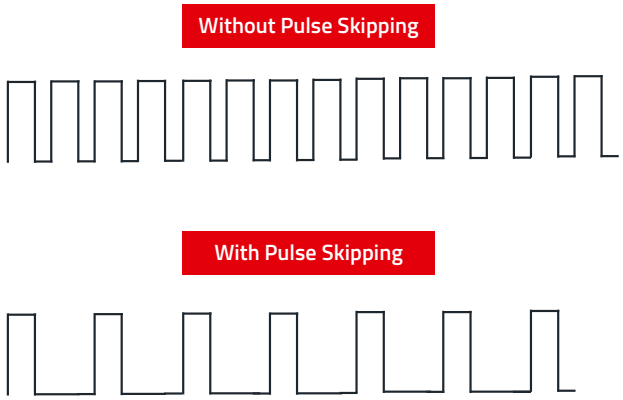

Abbildung 5: Schematische Darstellung der Impulswiedergabe mit Pulse-Skipping

Die Regelschleife des Wandlers überwacht kontinuierlich die Ausgangsspannung und greift nur dann ein, wenn eine Korrektur erforderlich ist. Dadurch bleibt der Mittelwert der Ausgangsspannung stabil, während die Schaltfrequenz nicht konstant ist. Die effektive Frequenz kann in bestimmten Lastzuständen in den hörbaren Bereich fallen, wenn die Intervalle zwischen den aktiven Schaltzyklen entsprechend lang werden.

Impulsfrequenzmodulation

Problematisch sind auch Lastwechsel, auf die der Regelkreis reagiert, insbesondere wenn sie mit einer Frequenz im hörbaren Bereich erfolgen und den durchschnittlichen Spulenstrom beeinflussen. Dies kann durch externe Laständerungen wie eine PWM-gesteuerte Foto-Blitzsteuerung mit einer Frequenz unter 20 kHz verursacht werden. Ein weiterer Störfaktor ist eine unzureichende Regelung der Rückkopplung, da Rückkopplungskreise, die zur Stabilisierung der Ausgangsspannung dienen, oft im hörbaren Frequenzbereich arbeiten. In der Regel liegt die Leerlaufbandbreite (Übergangsfrequenz) des Regelkreises deutlich unterhalb der Schaltfrequenz. Dadurch können Schwankungen des Tastverhältnisses auftreten, deren Frequenz in den hörbaren Bereich fällt und somit akustische Störungen verursachen kann.

3.3 Magnetischer Streufluss

Neben der Magnetostriktion kann auch magnetischer Streufluss bei der Geräuschentwicklung eine Rolle spielen. Bei einer ungeschirmten Induktivität tritt ein Teil des Magnetflusses als Streufluss außerhalb des Kerns auf. Die stromdurchflossenen Wicklungen erfahren aufgrund des Magnetfeldes eine Kraft, die durch die Ampèresche Kraft (Laplace-Kraft) beschrieben wird. Bei Anwendungen, bei denen sich Spannung und Stromstärke periodisch ändern, erfahren die Wicklungen eine periodische Krafteinwirkung und schwingen dementsprechend mit einer bestimmten Frequenz.
Die Lorentz-Kraft beschreibt die Gesamtkraft auf ein einzelnes, sich bewegendes geladenes Teilchen aufgrund sowohl des elektrischen als auch des magnetischen Feldes.

Die Laplace-Kraft beschreibt die Kraft auf einen stromdurchflossenen Draht im Magnetfeld und resultiert aus der Wechselwirkung des Magnetfelds mit den bewegten Elektronen (Strom) im Draht.

In einer Luftspule sind die Wicklungen mechanisch freier beweglich, während sich bei einer Spule mit Kernmaterial die entstehenden Kräfte zusätzlich auf den Kern übertragen können, was weitere mechanische Schwingungen verursacht.

3.4 Natürliche Resonanz von Bauteilen und Materialien

Je nach Material, Abmessungen und Konstruktion eines Systems können mechanisch-akustische Schwingungen gedämpft oder verstärkt werden. Dieser Effekt wird bei Musikinstrumenten gezielt eingesetzt, um beispielsweise die Schwingungen von Violinsaiten durch den Resonanzkörper zu verstärken. Einfach ausgedrückt breiten sich die Wellen aus, wenn die Saiten angeregt werden, und werden dann im Resonanzkörper reflektiert. Diese Reflexionen überlagern sich mit den neuen Wellen, sodass eine Verstärkung stattfindet.

Für Schaltungen werden verschiedene Bauelemente und Werkstoffe verwendet, die aufgrund ihrer mechanischen und physikalischen Eigenschaften jeweils eine eigene Resonanzfrequenz aufweisen. Wird beispielsweise eine Spule mit einer Frequenz von 8 kHz in Schwingung versetzt und schwingt gleichzeitig auch die Leiterplatte bei dieser Frequenz mit, so kann die Schwingungsamplitude durch die Resonanzübertragung verstärkt werden. Dies führt zu einer Erhöhung des Schallpegels, da der Resonanzkörper (z. B. die Leiterplatte) die Schwingungen der Spule verstärkt. Ohne die

natürliche Resonanz von Materialien und Komponenten wäre der Schallpegel niedriger und würde möglicherweise gar nicht wahrgenommen werden.

Diese mechanisch-akustische Resonanzfrequenz darf nicht mit der im Datenblatt angegebenen Resonanzfrequenz verwechselt werden, bei der es sich um eine elektrische Eigenschaft handelt (Abbildung 7).

Electrical Properties:

Properties		Test conditions	Value	Unit	Tol.
Inductance	L	1 MHz/ 5 mA	0.25	µH	±15%
Rated Current	I_R	ΔT = 40 K	9.35	A	max.
IR PCB Copper Width			40	mm	
IR PCB Copper Thickness			105	µm	
Saturation Current 1	$I_{SAT\,1}$	|ΔL/L| < 10 %	8.5	A	typ.
Saturation Current 2	$I_{SAT\,2}$	|ΔL/L| < 30 %	15.65	A	typ.
DC Resistance	R_{DC}	@ 20 °C	26	mΩ	typ.
DC Resistance	R_{DC}	@ 20 °C	31	mΩ	max.
Self Resonant Frequency	f_{res}		150	MHz	min.
Rated Current Test Standard	IEC 62024-2, Class C				
Version	Standard				

Abbildung 6: Eigenresonanzfrequenz, fres Eigenresonanzfrequenz.

4. DIAGNOSE

Bevor nach einer Lösung gesucht wird, sollte herausgefunden werden, woher das Spulengeräusch kommt.

Dazu kann ein Blatt Papier zu einer Röhre geformt und diese an das Ohr gehalten werden. So können verschiedene Bereiche der Schaltung oder ihrer Umgebung abgehört werden, die möglicherweise als Ursache für das Geräusch infrage kommen.

Ein Blick auf das Datenblatt des IC liefert die notwendige Information, ob der IC einen Burst-Modus hat und mit welcher Frequenz dieser arbeitet. Hat der IC keinen Burst-Modus, kann diese Ursache ausgeschlossen werden.

Es ist auch aufschlussreich zu prüfen, ob es einen Zusammenhang zwischen Spulengeräuschen und einer Laständerung gibt. Wie in Kapitel 3 erläutert, schaltet ein IC beim Absinken der Last in den Burst- oder den Pulse-Skipping-Modus.

Bei einem SELV (<60 V_{DC})-Stromkreis, der bei niedrigen Temperaturen betrieben wird, kann die Fingerkuppe an die Spule gehalten werden. Dadurch sollte sich das Geräusch ändern oder abklingen, wenn dies tatsächlich die Ursache ist.

Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung eines Oszilloskops mit aktivierter FFT (Fast-Fourier-Transformation) zum Prüfen des Schaltknotens.

Genauere Informationen können durch eine Signalanalyse gewonnen werden, bei der die Wellenform an vermuteten Schallquellen analysiert wird, um festzustellen, ob sie im hörbaren Frequenzbereich liegt.

5. LÖSUNGEN

In diesem Abschnitt werden einige Lösungen vorgestellt, die dazu beitragen können, Spulengeräusche zu reduzieren oder ganz zu vermeiden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass jede Lösung nur für einen bestimmten Fall gilt und es keine allgemeine gibt, da der Kontext des jeweiligen Stromkreises berücksichtigt werden muss.

5.1 Spule mit geringer Magnetostriktion

Da die Hauptursache für Spulengeräusche die Magnetostriktion magnetischer Stoffe ist, empfiehlt es sich, eine Spule mit geringer Magnetostriktion zu wählen. Das Ausmaß der Verformung hängt davon ab, welches Material für die Spule verwendet wird. Spulen mit Ferritkern weisen im Vergleich zu Metallpulverkernen eine höhere magnetostriktive Verformung auf (Beispiele: WE-LHMI, WE-MAPI). Tabelle 1 zeigt die Magnetostriktionskoeffizienten bei Sättigung verschiedener Materialien. Der Sättigungsmagnetostriktionskoeffizient quantifiziert, wie stark sich das Material verformt, wenn das Magnetfeld seine maximale Stärke erreicht hat Ein negatives Vorzeichen weist darauf hin, dass eine negative Längenänderung auftritt, d. h. das Material wird unter Magnetfeldeinfluss komprimiert. Ein positives Vorzeichen dagegen signalisiert eine Ausdehnung der physischen Abmessungen.

MnZn- oder NiZn-Ferrite

Material	Sättigungsmagnetostriktionskoeffizient $\lambda_S \cdot 10^6$
Nickel	-33
Eisen	-7
Ni Ferrit	-26
NiZn Ferrit	-21
MnZn Ferrit	-2
$MnFe_2O_4$	-5
Fe_3O_4	+40

Tabelle 1: Sättigungsmagnetostriktionskoeffizienten verschiedener Materialien.

Da es für bestimmte Anwendungen verschiedene Bauteileoptionen geben kann, könnte in einem solchen Fall ein Bauteil in Betracht gezogen werden, das den Spezifikationen des Schaltkreises entspricht und weniger oder keine Magnetostriktion aufweist.

5.2 Größer dimensionieren

Je näher der Strom der Induktivität dem Sättigungsstrom kommt, desto ausgeprägter ist die magnetostriktive Längenänderung.

Bei Verwendung größerer Bauteile ist der Sättigungsstrom in der Regel höher, da größere Bauteile oft einen größeren Kernquerschnitt oder mehr Materialmasse haben. Dadurch wird der Sättigungsbereich später erreicht, und die Induktivität bleibt weiter vom Sättigungspunkt entfernt.

Da die Eigenresonanzfrequenz von der größten Länge des Schwingungssystems abhängt, kann die Resonanz in ihrer Amplitude und der Frequenz durch die Auswahl einer größeren Länge verändert werden.

Außerdem erfordert ein größeres Bauteil ein stärkeres Magnetfeld, um in Schwingung versetzt zu werden, da die Masseträgheit größer ist als bei kleineren Abmessungen.

5.3 Wechsel von ungeschirmter zu geschirmter Induktivität

Durch die Verwendung einer abgeschirmten Spule kann das Magnetfeld durch Schließen des magnetischen Pfades um die Spule herum konzentriert werden. Dies gilt insbesondere für Kerntypen mit einem großen Rückweg, wie z. B. Trommel- oder Spulenkerntypen.

Zudem beeinflusst das zusätzliche Schirmungsmaterial die Eigenresonanzfrequenz des Bauteils, wodurch das Geräusch entweder gedämpft oder verstärkt werden kann.

5.4 Anderen IC verwenden

Liegen die Ursachen für das Spulengeräusch im Burst- oder Pulse-Skipping-Modus des integrierten Schaltkreises, dann kann ein anderer IC verwendet werden. Hierbei muss im Vorfeld natürlich darauf geachtet werden, dass der neue IC den Anforderungen der Schaltung entspricht.

5.5 Laststeuerung anpassen

Wenn der IC nicht ersetzt werden kann, ist es auch hilfreich, die Laststeuerung so anzupassen, dass der IC gar nicht erst in den Burst- oder Pulse-Skipping-Modus wechselt. Wie in Abschnitt 3.2 beschrieben, löst eine Laständerung und insbesondere eine Lastreduzierung den Burst-Modus im IC aus.

Daher muss die Laststeuerung so angepasst werden, dass Burst-Modus oder Pulse-Skipping gar nicht erst aktiviert werden.

5.6 Spule drehen

Durch Drehen der Spule um 90° oder 180° ändert sich die Richtung des Magnetflusses und seine Beziehung zu den umgebenden Bauteilen sowie mögliche Wechselwirkungen mit ihnen.

5.7 Weitere Lösungsansätze

Um die Schwingungen, welche die Geräusche verursachen, zu unterbinden, kann die betreffende Spule zusammen mit dem betroffenen Bauteil auf der Platine fixiert werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die gesamte Elektronik zu vergießen, insbesondere wenn der betroffene Bereich nicht präzise eingegrenzt werden kann, mehrere Komponenten betroffen sind oder alle anderen Lösungsansätze nicht zum gewünschten Erfolg führen. Allerdings ist bei dieser Methode Vorsicht geboten, da Klebstoffe und Vergussmaterialien die elektrischen Eigenschaften der Bauteile, insbesondere der Spulen, beeinflussen können. Alternativ können auch andere mechanische Befestigungsmöglichkeiten der Platine zur Schallminderung beitragen.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Geräusche von elektronischen Bauteilen sind normalerweise kein Grund zur Sorge, da die Funktion des Schaltkreises dadurch nicht beeinträchtigt und das betroffene Bauteil auch nicht beschädigt wird. Neben physikalischen Ursachen wie Magnetostriktion und magnetischem Streufluss, der eine grundlegende Eigenschaft magnetischer Materialien ist, spielen auch psychoakustische Aspekte eine Rolle bei der Wahrnehmung. Die menschliche Wahrnehmung vermittelt den Eindruck, dass ein bestehender Mangel behoben werden muss. Insgesamt handelt es sich bei dem Phänomen um ein komplexes Zusammenspiel vieler Faktoren, die nicht von Anfang an offensichtlich sind und von Fall zu Fall variieren.

Für Anwendungen, bei denen Störgeräusche unerwünscht sind, bietet Würth Elektronik Induktivitäten an, die ein geringers Risiko für Spulengeräuschen haben, z. B. WE-MXGI, WE-MAPI oder WE-LHMI. Spulen oder Serien wie WE-TIS und WE-LQ sind im Vergleich dazu anfälliger und sollten bei Anwendungen mit hohen Anforderungen an eine geräuscharme Umgebung nicht verwendet werden. Die Ursachen des Geräuschphänomens können nicht endgültig beseitigt werden, aber es gibt Lösungsmöglichkeiten, die das Geräusch je nach Einflussmöglichkeit minimieren.

Um das Risiko von Spulengeräuschen zu minimieren, sollte bereits beim Schaltungsdesign darauf geachtet werden, geeignete Bauteile auszuwählen, die eine geringe Neigung zu solchen Geräuschen aufweisen. Induktivitäten und integrierte Schaltkreise sollten in Bezug auf ihre physikalischen und elektrischen Eigenschaften sorgfältig gewählt werden, da diese einen erheblichen Einfluss auf die Geräuschentwicklung haben können. Besonders bei der Auswahl von ICs ist es wichtig, die Bauteile gemäß den Herstellerspezifikationen zu betreiben und die Schaltfrequenz optimal anzupassen. Ein ausgewogenes Design, das sowohl die Leistung als auch die Minimierung von Geräuschen berücksichtigt, ist entscheidend.

A. Anhang

A.1 Literatur

[1] J. Smit, H.P.J WIJN: „Ferrites“. Philips‘ Technical Library.

WICHTIGER HINWEIS

Der Anwendungshinweis basiert auf unserem aktuellen Wissens- und Erfahrungsstand, dient als allgemeine Information und ist keine Zusicherung der Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG zur Eignung des Produktes für Kundenanwendungen. Der Anwendungshinweis kann ohne Bekanntgabe verändert werden. Dieses Dokument und Teile hiervon dürfen nicht ohne schriftliche Genehmigung vervielfältigt oder kopiert werden. Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG und seine Partner- und Tochtergesellschaften (nachfolgend gemeinsam als „WE" genannt) sind für eine anwendungsbezogene Unterstützung jeglicher Art nicht haftbar. Kunden sind berechtigt, die Unterstützung und Produktempfehlungen von WE für eigene Anwendungen und Entwürfe zu nutzen. Die Verantwortung für die Anwendbarkeit und die Verwendung von WE-Produkten in einem bestimmten Entwurf trägt in jedem Fall ausschließlich der Kunde. Aufgrund dieser Tatsache ist es Aufgabe des Kunden, erforderlichenfalls Untersuchungen anzustellen und zu entscheiden, ob das Gerät mit den in der Produktspezifikation beschriebenen spezifischen Produktmerkmalen für die jeweilige Kundenanwendung zulässig und geeignet ist oder nicht.

Die technischen Daten sind im aktuellen Datenblatt zum Produkt angegeben. Aus diesem Grund muss der Kunde die Datenblätter verwenden und wird ausdrücklich auf die Tatsache hingewiesen, dass er dafür Sorge zu tragen hat, die Datenblätter auf Aktualität zu prüfen. Die aktuellen Datenblätter können von www.we-online.com heruntergeladen werden. Der Kunde muss produktspezifische Anmerkungen und Warnhinweise strikt beachten. WE behält sich das Recht vor, an seinen Produkten und Dienstleistungen Korrekturen, Modifikationen, Erweiterungen, Verbesserungen und sonstige Änderungen vorzunehmen. Lizenzen oder sonstige Rechte, gleich welcher Art, insbesondere an Patenten, Gebrauchsmustern, Marken, Urheber- oder sonstigen gewerblichen Schutzrechten werden hierdurch weder eingeräumt noch ergibt sich hieraus eine entsprechende Pflicht, derartige Rechte einzuräumen. Durch Veröffentlichung von Informationen zu Produkten oder Dienstleistungen Dritter gewährt WE weder eine Lizenz zur Verwendung solcher Produkte oder Dienstleistungen noch eine Garantie oder Billigung derselben.

Die Verwendung von WE-Produkten in sicherheitskritischen oder solchen Anwendungen, bei denen aufgrund eines Produktausfalls sich schwere Personenschäden oder Todesfällen ergeben können, sind unzulässig. Des Weiteren sind WE-Produkte für den Einsatz in Bereichen wie Militärtechnik, Luft- und Raumfahrt, Nuklearsteuerung, Marine, Verkehrswesen (Steuerung von Kfz, Zügen oder Schiffen), Verkehrssignalanlagen, Katastrophenschutz, Medizintechnik, öffentlichen Informationsnetzwerken usw. weder ausgelegt noch vorgesehen. Der Kunde muss WE über die Absicht eines solchen Einsatzes vor Beginn der Planungsphase (Design-In-Phase) informieren. Bei Kundenanwendungen, die ein Höchstmaß an Sicherheit erfordern und die bei Fehlfunktionen oder Ausfall eines elektronischen Bauteils Leib und Leben gefährden können, muss der Kunde sicherstellen, dass er über das erforderliche Fachwissen zu sicherheitstechnischen und rechtlichen Auswirkungen seiner Anwendungen verfügt. Der Kunde bestätigt und erklärt sich damit einverstanden, dass er ungeachtet aller anwendungsbezogenen Informationen und Unterstützung, die ihm durch WE gewährt wird, die Gesamtverantwortung für alle rechtlichen, gesetzlichen und sicherheitsbezogenen Anforderungen im Zusammenhang mit seinen Produkten und der Verwendung von WE-Produkten in solchen sicherheitskritischen Anwendungen trägt.

Der Kunde hält WE schad- und klaglos bei allen Schadensansprüchen, die durch derartige sicherheitskritische Kundenanwendungen entstanden sind.

NÜTZLICHE LINKS

Application Notes
www.we-online.com/appnotes

REDEXPERT Design Platform
www.we-online.com/redexpert

Toolbox
www.we-online.com/toolbox

Produkt Katalog
www.we-online.com/products

KONTAKT INFORMATION

appnotes@we-online.com
Tel. +49 7942 945 - 0

Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG
Max-Eyth-Str. 1 74638 Waldenburg Germany
www.we-online.com

REVISIONSHISTORIE

Dokument Version	Veröffentlichungsdatum	Änderungen
ANP118a	2025/05/09	Ursprüngliche Version der Application Note

Hinweis: *Die aktuelle Version des Dokuments und das Veröffentlichungsdatum sind in der Fußzeile jeder Seite dieses Dokuments angegeben.*