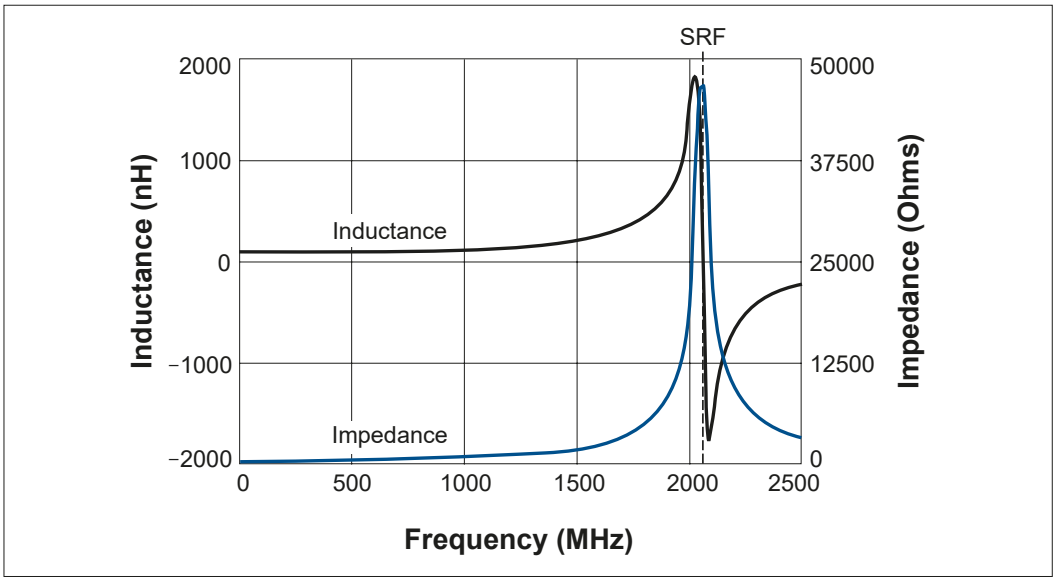
Die Kennwerte von Induktivitäten

Bei der Auswahl von Spulen kommt es auf einige Abhängigkeiten an, die leicht übersehen werden könnten.



Bei der Wahl einer Induktivität geht es um mehr als den Nennwert der Induktivität. Um sicherzustellen, dass die Induktivität in einer bestimmten Anwendung die erforderliche Leistung erbringt, müssen Induktivitätstoleranz, Nennstrom, R_{DC}, maximale Betriebstemperatur und Effizienz bei bestimmten Betriebsbedingungen gebührend berücksichtigt werden. Auch der Induktivitätswert muss sorgfältig geprüft werden, da die Induktivität selbst von Frequenz, Temperatur und Strom abhängt.

Induktivität und Frequenz

Die physikalische Ausführungsform jeder Spule enthält parasitäre R-, C- und L-Elemente in unterschiedlichem Maße, was zu einem nichtidealen induktiven Element führt. Ein wichtiges parasitäres Element ist die Eigenkapazität, die zusammen mit der Nenninduktivität einen Schwingkreis bildet.

Die Aufmachergrafik zeigt die Verläufe von scheinbarer Induktivität und Impedanz über der Frequenz für eine typische heutige Spule mit Kern, eine drahtgewickelte 100-nH-Induktivität. Die scheinbare Induktivität steigt auf einen Spitzenwert an und wird bei der Eigenresonanzfrequenz der Spule null. Während die reale Induktivität nicht wirklich ansteigt, zeigt das Diagramm die scheinbare Induktivität, wie sie mit einem typischen LCR-Messgerät gemessen wird.

Im Allgemeinen werden Induktoren, sofern sie nicht als Drosseln verwendet werden, so ausgewählt, dass ein Betrieb nahe der Eigenresonanzfrequenz vermieden wird.

Bei der Auswahl einer Spule für eine Anwendung ist es wichtig, zu verstehen, welche Testfrequenz verwendet wurde, um die Datenblattspezifikation zu erhalten.

Die Induktivitätstoleranz

Eine Leistungsinduktivität, die zum Glätten des Welligkeitsstroms im Ausgang eines DC/DC-Netzteils ausgewählt wurde, kann mit einer Induktivitätstoleranz von ±20% spezifiziert werden. Das ist im Allgemeinen die Toleranz bei Raumtemperatur, und da die Induktivität typischerweise mit abnehmender Temperatur abnimmt, könnte die tatsächliche Induktivität außerhalb dieser Toleranz liegen, abhängig von der Temperatur.

Die vom Hersteller angegebenen Toleranzen können je nach Induktivitätstyp und vorgesehener Anwendung stark variieren. Die Spezifikationen von Chip-Induktoren können beispielsweise bei Raumtemperatur bis zu ±1% genau sein. Das ist für hochfrequente, schmalbandige Schwingkreise sehr geeignet, allerdings muss beachtet werden, dass die Induktivitätstoleranz von 1% nur bei Raumtemperatur und der jeweiligen Prüffrequenz angegeben wird.

Typische drahtgewickelte Luftkern- und Keramikkern-Chipinduktoren (nichtmagnetisch) haben Temperaturkoeffizienten der Induktivität (TCLs) im Bereich von +25 bis +125 ppm/K.

Induktivitäten mit Ferritkernen weisen mit Temperaturkoeffizienten der Induktivität (TCLs) von bis zu 700 ppm/K eine starke Temperaturabhängigkeit auf.

Es sollte auch sorgfältig versucht werden, die Induktivitätsänderung über den erwarteten Betriebstemperaturbereich zu verstehen.

Die Bedeutung des Stroms

Der I_{rms}-Nennstrom ist ein indirektes Maß für den Temperaturanstieg des Bauelements, der bei einer gegebenen Verlustleistung zu erwarten ist. Diese Bewertung zieht zwei Fragen nach sich: Wieviel Verlustleistung wird durch den Spulenstrom verursacht und wieviel Temperaturanstieg resultiert aus dieser Verlustleistung?

I_{rms}-Nennströme werden im Allgemeinen aus der Messung des Temperaturanstiegs der Spule aufgrund des Stromflusses ohne Berücksichtigung von Frequenzeffekten abgeleitet. Die Irms-Einstufung soll nicht alle möglichen Formen von Leistungsverlust aufgrund von Anwendungsbedingungen erfassen. Die Verlustleistung ist einfach = I^2 x R, wobei R der Gleichstromwiderstand der

Quelle: Getting Started: An Introduction to Inductor Specifications, Coilcraft, Document 1287-1 Revised 07/15/20 übersetzt von FS

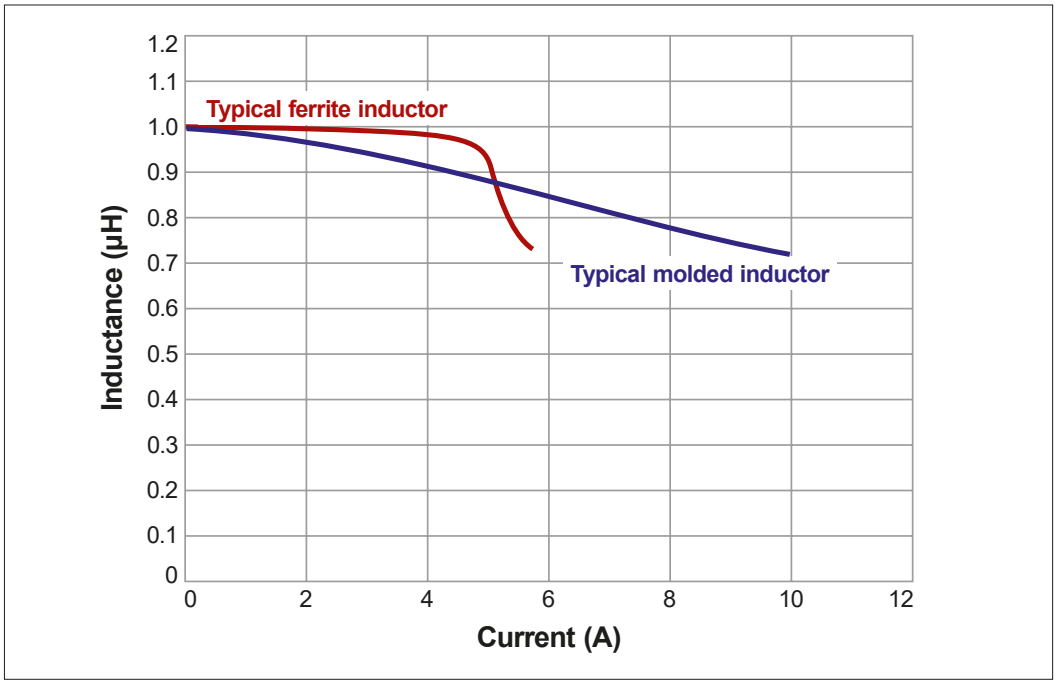


Bild 1: Vergleich der Sättigungskurven von Spulen mit Ferrit- und Eisenpulverkernen

Drahtwicklung und I der durchschnittliche oder Gleichstromwert des Spulenstroms ist.

Da I_{rms} ein Maß für die Eigenerwärmung ist, liegt die Begrenzung im Allgemeinen in der Nenntemperatur der Isoliermaterialien im Bauteil. Daher ist der I_{rms}-Wert ein Maß dafür, wieviel Strom in der Induktivität zugelassen werden darf. Seine Einhaltung sorgt für einen sicheren und zuverlässigen Betrieb ohne Hitzeschäden am Bauelement.

Die Berechnung von Verlusten mit Frequenzeffekten ist nicht immer einfach und hängt von vielen Faktoren sowohl bezüglich Wicklung als auch Kern. Um den Einfluss der Betriebsfrequenz zu quantifizieren, stellen Produzenten eine Vielzahl von Grafiken, Diagrammen und Berechnungs-Tools zur Verfügung, um den Einfluss von Skin-Effekt, Proximity-Effekt und Magnetkernverlusten zu bestimmen.

Zum Beispiel der RF Inductor/Choke Finder and Analyzer von Coilcraft erzeugt ESR-Frequenzkurven für Chip- und Luftkern-Spulen. Das Tool liefert ein Maß für Kern- und Wicklungsverluste für Leistungs-Induktoren.

Der I_{sat}-Nennstrom ist eine andere Überlegung. Während sich die I_{rms}-Bewertung auf den Wärmeanstieg und die Zuverlässigkeit aufgrund des durchschnittlichen Spulenstroms bezieht, ist die I_{sat}-Bewertung ein Leistungsindikator, der sich auf den momentanen Spulenstrom bezieht.

Induktivitäten mit Ferritkern haben zum Beispiel tendenziell sehr flache Induktivitäts-Strom-Kurven bis zum „Knie“, wo die Induktivität schnell abfällt, wie in Bild 1 gezeigt. Induktivitäten mit Eisenpulver- oder Verbundkern haben langsamer ansteigende, „weiche“ Sättigungskurven.

Bei einem Strom über dem Nennsättigungsstrom (I_{sat}) nimmt die Induktivität mit zusätzlichem Strom ab. Typische Datenblattangaben nennen den Strom, bei dem die Induktivität bei niedrigem Strom um 10%, 20% und 30% ihres Anfangswerts abfällt.

Für einige Spulentypen mit „offenen“ Magnetpfaden, wie ungeschirmte Stabkerne, Trommelkerne oder ungeschirmte Chip-Induktivitäten, werden möglicherweise keine I_{sat}-Werte veröffentlicht, da es keine bedeutenden Sättigungseffekte bei Strömen in Höhe des zweifachen oder dreifachen Werts des I_{rms} gibt. Der nutzbare Strom wird effektiv durch den I_{rms}-Wert begrenzt, und es wird angenommen, dass bei Strömen auf diesem höheren Niveau keine Sättigung auftritt.

Maximale Betriebstemperatur

Die maximale Betriebstemperatur ist definiert als die maximale Temperatur des Bauelements bei jeder beliebigen Kombination aus Umgebungstemperatur und Temperaturanstieg durch Eigenerwärmung aufgrund des Stroms. Ein ungefährer thermischer Widerstand kann aus dem Datenblatt-I_{rms}-Wert berechnet werden:

R_{th} = Temperaturanstieg/P_{DC}

Der erwartete Temperaturanstieg kann somit für jede Verlustleistung berechnet und die resultierende Bauteiltemperatur kann mit der maximalen Nenntemperatur des Induktors verglichen werden.

Für die Verlustleistung gilt:

$P_{DC} = I_{rms}^2 \times R_{DC}$

Daher:

R_{th} = Temperaturanstieg/($I_{rms}^2 \times R_{DC}$)

Verluste bei Betriebsbedingungen

Die Verlustleistung der Induktivität hängt von Temperatur, Frequenz und sowohl Gleich- als auch Wechselstrom ab. Die Berechnung des zulässigen Verlusts für eine bestimmte Anwendungsbedingung kann kompliziert sein. Datenblätter können ESR-Frequenz-Informationen oder Gleichungen für Kernverlustberechnungen enthalten.

Das Vergleichs- und Analyse-Tool für Leistungsinduktoren von Coilcraft bietet diese Informationen für eine Vielzahl von benutzerspezifischen Betriebsbedingungen. Es gibt auch den Leistungsinduktor-Finder und -Analysator. Das Vergleichs- und Analysetool für Leistungsinduktoren ermöglicht es Benutzern, bis zu sechs Induktoren auf Kern- und Wicklungsverluste bei einer beliebigen Kombination aus Betriebsfrequenz und Strom zu vergleichen. Der Rechner schätzt den resultierenden Temperaturanstieg (gemäß den obigen Berechnungen) und vergleicht die resultierende Teiletemperatur mit der maximalen Nenntemperatur des Teils. In der grafischen Ergebnisanzeige können Schieberegler manipuliert werden, um anzuzeigen, wie sich Frequenz, Strom oder Umgebungstemperatur auf das Ergebnis auswirken. Bei der Suche nach einem bestimmten Leistungsinduktor enthält das Tool Coilcraft Power Inductor Finder all diese Berechnungen und listet jeden Induktor auf, der die vom Benutzer angegebenen Bedingungen erfüllt.

Verweise:

How Current and Power Relates to Losses and Temperature Rise, Document 1055, Coilcraft, Inc.,09/04/2012

RF Inductor Comparison Tool, Online Tool: RF Inductor/Choke Finder and Analyzer Coilcraft, Inc.

Power Inductor Comparison + Analysis Tool, Online Tool: Power Inductor Finder and Analyzer ◄