

APPLICATION NOTE

ANP045 | Die Magie hinter Hochfrequenz SMT-Chipbead-Ferriten



Joanne Wu, Mohamed Koobar

1. EINFÜHRUNG

Die technologische Entwicklung ist heutzutage rasant, was dazu führt, dass immer mehr drahtlose Anwendungen im HF-Bereich eingesetzt werden. Hierbei steigen die angewandten Frequenzen bis in den Gigahertz-Bereich und neues Wissen wird über Komponenten für diese Applikationen benötigt. Ebenso nimmt die Bedeutung der EMV stetig zu und somit auch der Bedarf die Eigenschaften von EMV-Komponenten genauer zu kennen, um den Einsatz über ihren typischen Anwendungsbereich hinaus zu gewährleisten. Ziel dieses Artikels ist es, die unterschiedlichen Eigenschaften zwischen Multilayer-Chipbead Ferriten (im Folgenden als Chipbeads bezeichnet) im Hochfrequenzbereich ([WE-CBF HF](#)) und Standard-Multilayer-Chipbeads ([WE-CBF](#)) hervorzuheben, sowie eine bei Würth Elektronik entwickelte neue Methodik zur Messung der Gleichstromvorspannung bei hohen Frequenzen näher zu betrachten. Es werden außerdem einige unübliche Einsatzbereiche beschrieben, bei denen die Hochfrequenz-Serie WE-CBF HF eine geeignete Alternative zu traditionellen Designtopologien darstellt.

Chipbeads sind eine der am häufigsten verwendeten Bauteile, um hochfrequente Störungen in bestimmten Frequenzbereichen zu dämpfen. Es handelt sich um passive Bauelemente mit hohen Impedanzen über einen breiten Frequenzbereich, die bei richtiger Verwendung das Nutzsignal nicht beeinträchtigen. Üblicherweise werden Chipbeads in Reihe mit der Stromversorgung oder einer Signalquelle geschaltet. Eine unsachgemäße Verwendung von Chipbeads in der Schaltung kann jedoch das EMV-Verhalten des Produktes durchaus verschlechtern.

2. ERSATZSCHALTBILODELLIERUNG

Chipbeads können in verschiedenen Frequenzbereichen unterschiedliche elektrische Eigenschaften aufweisen. Diese Eigenschaften werden in drei Bereiche unterteilt: induktiv, resistiv bzw. „ohmisch“ und kapazitiv (Abbildung 1).

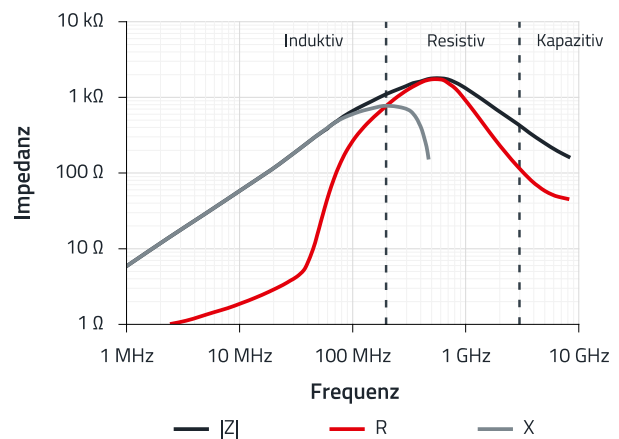


Abbildung 1: Impedanzkurve WE-CBF HF (742841160).

Am Punkt der Selbstresonanzfrequenz (SRF) verhält sich der Chipbead wie ein Widerstand, der Hochfrequenzsignale in diesem Frequenzbereich dämpft und die in ihm umgesetzte Leistung als Wärme ableitet. Chipbeads werden im resistiven Frequenzbereich eingesetzt, um mithilfe der dort hohen Impedanz eine ideale Dämpfung der Störsignale zu erreichen.

Parasitäre Elemente innerhalb des Chipbeads beeinträchtigen erheblich die Impedanz in Abhängigkeit von der Frequenz. Für die weitere Veranschaulichung dieser parasitären Elemente wird ein Ersatzschaltbild definiert, das den Chipbead aus seiner Induktivität (L), der Parallelkapazität (C_{PAR}), dem Parallelwiderstand (R_{AC}) und dem Reihenwiderstand (R_{DC}) nachbildet (Abbildung 2).

APPLICATION NOTE

ANP045 | Die Magie hinter Hochfrequenz SMT-Chipbead-Ferriten

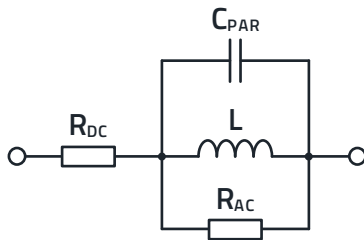


Abbildung 2: Ersatzschaltbild.

Die Zuleitung mit der „ohmschen“ Komponente der Induktivität ist im Ersatzschaltbild als R_{DC} dargestellt. Dieses Ersatzschaltbild wird häufig in Simulationen zur Modellierung eines Chipbeads verwendet, um die Beeinflussung von parasitären Parametern auf die Impedanzkurve darzustellen.

3. VERGLEICH WE-CBF HF UND WE-CBF SERIE

Die Multilayer-Chipbead Familie von Würth Elektronik ist je nach Einsatzzweck, Verlauf der Impedanzkurve, Kernmaterial und Aufbau der inneren Wicklungen, in verschiedene Serien eingeteilt. Um dem Trend, elektronische Schaltungen bei höheren Frequenzen zu betreiben, gerecht zu werden, hat Würth Elektronik die **WE-CBF HF** (High Frequency) Serie entwickelt. Im Folgenden wird ein Vergleich zwischen der Standard-Serie **WE-CBF** und der Hochfrequenz-Serie **WE-CBF HF** durchgeführt. Die HF-Serie wurde speziell zur Anwendung im HF-Bereich entwickelt, was eine höhere Impedanz und geringere parasitäre Kapazität mit sich bringt.

Ein Schlüsselfaktor für das elektrische Verhalten von mehrschichtigen Chipbeads bei verschiedenen Frequenzen ist die Ausrichtung der Wicklung und damit der innere Aufbau. Durch die Anordnung der Windungen und Anschlüsse werden parasitäre elektrische Effekte erzeugt, die sich in dem Impedanzverlauf über der Frequenz bemerkbar machen. Horizontale Windungen (Abbildung 3) und vertikale Windungen (Abbildung 4) haben, selbst innerhalb derselben Baugröße, fundamental unterschiedliche Einflüsse auf das Verhalten von Chipbeads.

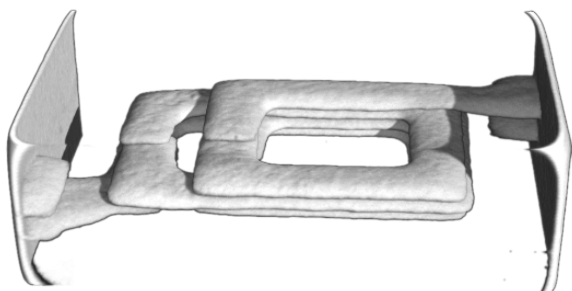


Abbildung 3: CT der inneren Struktur eines Chipbeads (**WE-CBF**).

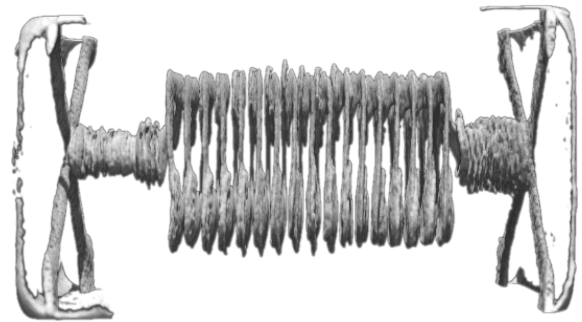


Abbildung 4: CT der Struktur eines vertikal ausgerichteten Chipbeads (**WE-CBF HF**).

Um dies zu verdeutlichen, wird im Folgenden die Entstehung von parasitären Impedanzen innerhalb des Aufbaus analysiert.

Um den Zusammenhang zwischen dem Aufbau und der parasitären Impedanzen, welche die Chipbead-Impedanz beeinflussen, zu verstehen, werden die einzelnen Parameter der Gesamtimpedanz analysiert.

Der Zusammenhang mit der Gesamtimpedanz wird durch Anwendung der Impedanzgleichung (Gleichung 1) beschrieben.

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (1)$$

Der Haupteinfluss der parasitären Elemente kommt aus dem reaktiven Teil der Gleichung. Je niedriger die kapazitive Reaktanz (X_C) und je mehr induktive Reaktanz (X_L) in der Gesamtimpedanz enthalten sind, desto höher ist der Wert der Gesamtimpedanz.

Das grundlegende Design der **WE-CBF** Serie weist horizontale, leicht versetzte Windungen auf, die wiederum in vertikaler Richtung geschichtet sind (Abbildung 3). Dies erleichtert ihre Herstellung und senkt die Produktionskosten. Diese Art der Struktur führt jedoch zu einer niedrigeren Impedanz mit einer resonanzartigen Impedanzspitze und wird daher bei niedrigeren Frequenzen als die **WE-CBF HF**-Serie eingesetzt. Des Weiteren ist durch diesen Aufbau die Anzahl der maximalen Windungen limitiert, da ein SMT Ferrit eine standardmäßige Bauhöhe hat. (Abbildung 4).

APPLICATION NOTE

ANP045 | Die Magie hinter Hochfrequenz SMT-Chipbead-Ferriten



Abbildung 5: Die parasitären Kapazitäten von **WE-CBF** (links) und **WE-CBF HF** (rechts).

Bei einer horizontalen Wicklung ist jede Windung des Wicklungspaketes zwischen den Anschlussklemmen positioniert, wodurch jeweils pro Windung eine kleine parasitäre Kapazität (C_p) zwischen der Windung und den Klemmen entsteht (Abbildung 5 links). Jede Wicklung erzeugt eine Struktur von: Klemme - parasitäre Kapazität - Windung - parasitäre Kapazität - Klemme. Diese Strukturen tragen zur parasitären Kapazität bei. Die einzelnen Windungen sind hinsichtlich ihrer Strukturen, d.h. parasitären Kapazitäten, parallel geschaltet, wodurch eine Summe von Kapazitäten entsteht (Gleichung 2), welche die Gesamtimpedanz der Chipbeads durch den Beitrag der parallel geschalteten Reaktanz verringert.

$$C_{\text{PARALLEL}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n \quad (2)$$

Bei dem Chipbead WE-CBF HF ist die Wicklung wie eine spiralförmige Luftspule ausgebildet, die von einem Anschluss zum anderen führt (Abbildung 5 rechts). Diese Konstruktion führt zu parasitären Kapazitäten zwischen den Schleifen (Kapazität zwischen den Windungen) und zwischen den

jeweiligen Endanschlüssen. Da die parasitären Kapazitäten mit ihren Nachbarn in Reihe geschaltet sind, ist die Gesamtkapazität der Kehrwert der Summe aller Kapazitäten (Gleichung 3).

$$\frac{1}{C_{\text{SERIES}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (3)$$

Folglich ist die parasitäre Gesamtkapazität nur ein Bruchteil der parasitären Kapazität von Chipbeads WE-CBF. Dies hat eine Erhöhung der Eigenresonanzfrequenz SRF zur Folge, wodurch sich der mögliche Nutzfrequenzbereich in den höheren Frequenzbereich verschiebt.

Abbildung 6 vergleicht die beiden Chipbeads WE-CBF (**742792693**) und WE-CBF HF (**742861210**), wobei beide die Größe 0603 des Typs „Wideband“ mit Z_{MAX} von 2,2 k Ω aufweisen (Abbildung 6 links). Im Frequenzbereich über der SRF verhält sich der Chipbead kapazitiv, was auch im parasitären Reaktanzverhalten beobachtet werden kann, da die Gesamtimpedanz nicht mehr steigt, sondern fällt (Abbildung 6 rechts).

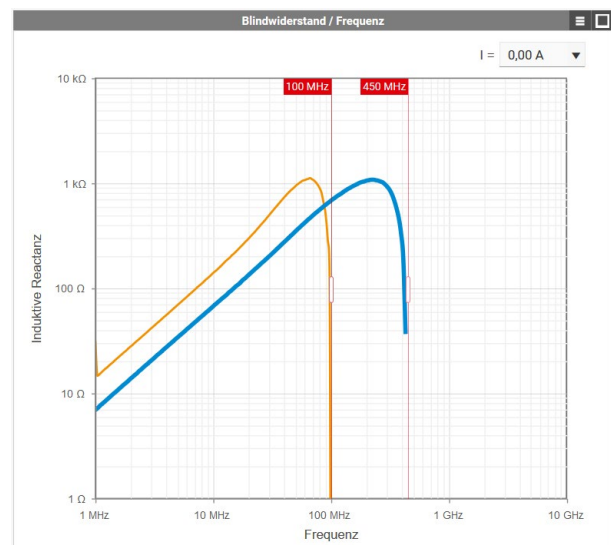
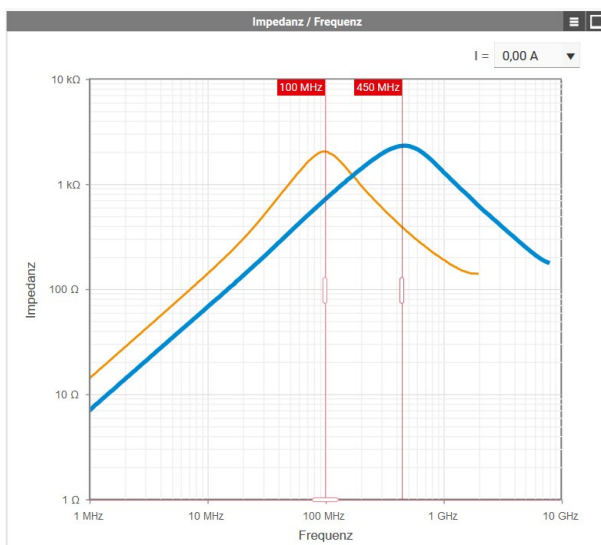


Abbildung 6: Interaktives Diagramm in **REDEXPERT** zum Vergleich der Impedanz (links) und Reaktanz (rechts) von WE-CBF 742792693 (orange) und WE-CBF HF 742861210 (blau) mit 0 A DC Bias Strom.

APPLICATION NOTE

ANP045 | Die Magie hinter Hochfrequenz SMT-Chipbead-Ferriten

Bei der WE-CBF wird die parasitäre Kapazität bei 100 MHz dominant, während die WE-CBF HF bei 450 MHz ihren Peak erreicht und damit eine fast fünfmal so hohe Eigenresonanzfrequenz hat als die WE-CBF. Der Bereich der Eigenresonanzfrequenz liegt bei dem WE-CBF HF nicht nur im höheren Frequenzbereich, sondern weist auch einen breitbandigeren Frequenzbereich als die Standard WE-CBF Serie auf.

In Abbildung 7 sind zum Beispiel zwei SMT Multilayer Ferrite bei einer Impedanz von 500 Ω verglichen.

Die **WE-CBF** deckt bei gleicher Impedanz den Bereich von 30 MHz bis 300 MHz ab, während die **WE-CBF HF** einen Bereich von 70 MHz bis 2500 MHz abdeckt, was eine viel größere Filterbandbreite ermöglicht. Bei gleicher Größe, gleichem Typ und ähnlichen elektrischen Eigenschaften bedeutet eine größere nutzbare Bandbreite oftmals weniger EMV-Probleme.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Aufbau der Wicklungen in den Multilayer SMT Ferriten einen wesentlichen Faktor zur Verringerung der parasitären Kapazität beiträgt. In der Summe sind beim WE-CBF HF die parasitären Kapazitäten in Reihe geschaltet; was dazu führt,

dass die SRF in einen höheren Frequenzbereich verschoben wird. Eine höhere SRF resultiert beim WE-CBF HF auch zu einer größeren Bandbreite und folglich zu einem größeren Einsatzbereich, in dem die Dämpfung von EMV-Störungen über einen weiten Frequenzbereich erforderlich ist.

4. DER EINFLUSS VON TEMPERATUR UND DC BIAS SPANNUNG

Die optimale Auswahl eines Chipbeads in Bezug auf die Anforderungen einer bestimmten Anwendung erfordert unter anderem die klare Definition der Betriebstemperatur und des durch den Chipbead fließenden Gleichstroms. Äußere Einflüsse beeinträchtigen das Verhalten des Bauelementes. Zum Beispiel kann eine Temperaturänderung den Magnetisierungszustand eines Chipbeads verändern. Darüber hinaus beschreibt der „DC-Bias-Effekt“ die Stromabhängigkeit von Ferritmaterialien. Der Gleichstrom kann auch mit der Betriebstemperatur des Bauteils in Anhängigkeit gebracht werden, denn der Strom und den über den R_{DC} abfallenden Spannungsabfall erzeugt eine Verlustenergie. Diese Energie wird in Wärme umgewandelt und beeinflusst somit die elektrischen Eigenschaften von Chipbeads.

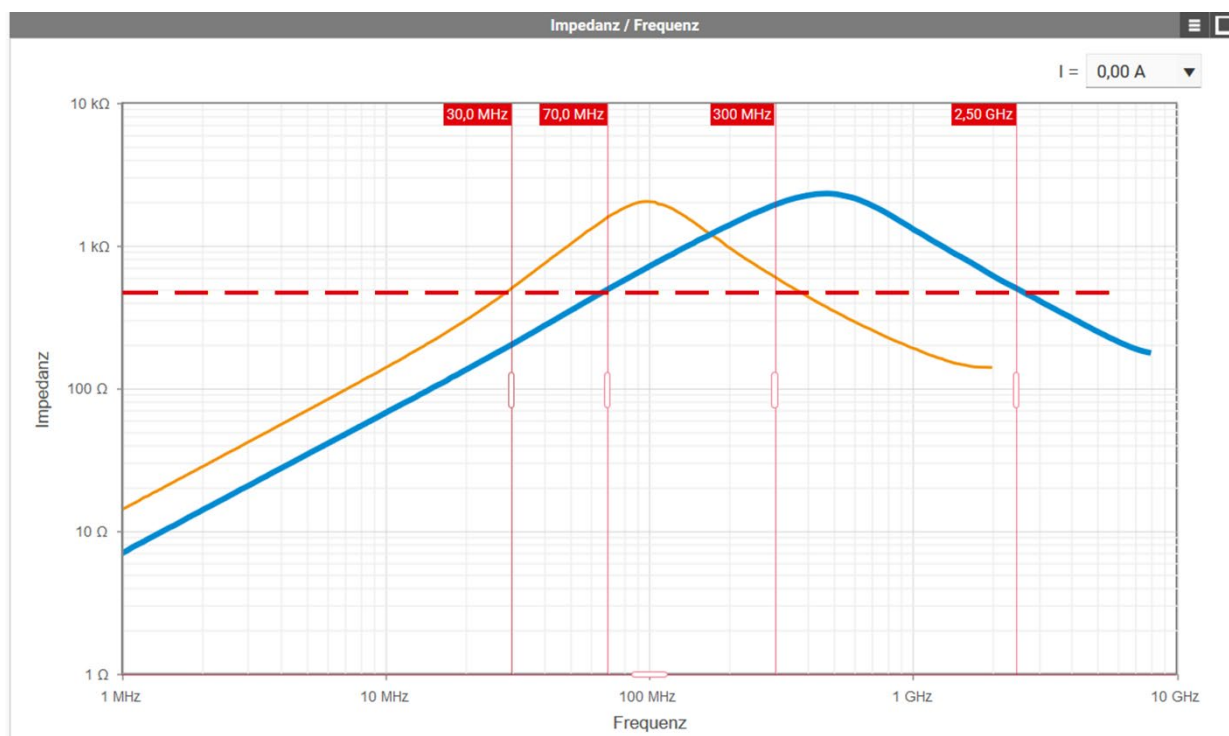


Abbildung 7: Interaktives Diagramm in **REDEXPERT** zum Vergleich der Impedanz von WE-CBF 742792693 (orange) und WE-CBF HF 742861210 (blau) mit 0 A DC Bias-Strom.

APPLICATION NOTE

ANP045 | Die Magie hinter Hochfrequenz SMT-Chipbead-Ferriten

Magnetische Materialien haben eine maximale nutzbare Betriebstemperatur. Ab einem bestimmten Punkt nimmt die magnetische Permeabilität eines Materials mit steigender Temperatur stark ab (Abbildung 8).

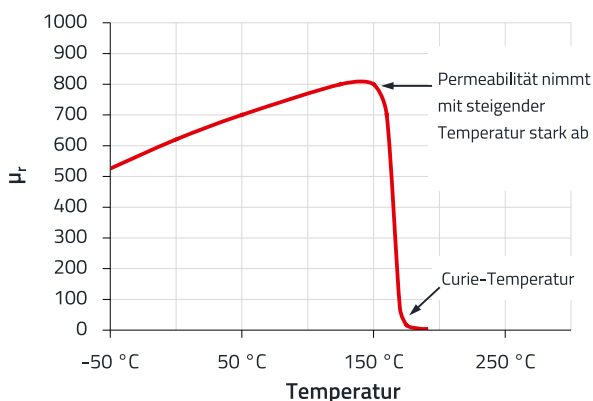


Abbildung 8: Abhängigkeit der Permeabilität von der Temperatur.

Bei Temperaturen, bei denen die thermische Energie größer ist als die durch das äußere Magnetfeld gelieferte Energie, werden die magnetischen Dipole (Elementarmagnete) schwer ausrichtbar, wodurch die Bildung eines Magnetfeldes verhindert wird. Diese kritische Temperatur wird als Curie-Temperatur bezeichnet. Bei Temperaturen oberhalb der Curie-Temperatur verliert der Ferrit seine Permeabilität, der Wert der Permeabilität μ sinkt auf 1 und das Ferritmaterial wird paramagnetisch. Die Ausrichtung der Elementarmagnete kann durch Erwärmung über die Curie-Temperatur hinaus, oder durch andere Methoden der thermischen Beanspruchung, durch Schock und sogar durch starke Magnete beeinträchtigt werden. Dieser Zustand ist umkehrbar, wenn die Temperatur unter die Curie-Temperatur absinkt; da der Ferrit seine Permeabilität wiedergewinnt und wieder ferromagnetisch wird. Die Verwendung dieser Abfolge von Ereignissen ermöglicht es, Chipbeads auf konsistente Weise zu messen, indem die magnetischen Dipole in einem Bauelement vor der Messung in einen remanentfreien Ausgangszustand gebracht werden.

Chipbeads sind bis zu einem gewissen Grad zur Wärmeableitung konzipiert. Je mehr Wärme sie jedoch ableiten, desto höher wird ihre Betriebstemperatur. Abbildung 9 zeigt ein typisches Temperaturprofil eines Chipbeads, dessen Curietemperatur über 220°C liegt, im Temperaturbereich von -55°C bis 160°C.

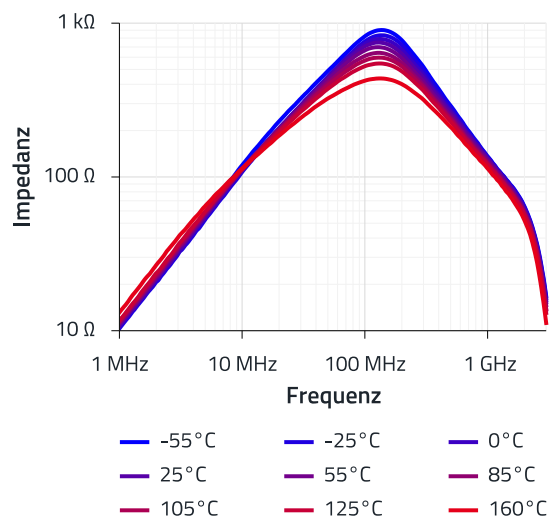


Abbildung 9: Impedanz Schaubild WE-CBF [742792040](#) in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur.

Wie aus dem Diagramm ersichtlich ist, verschiebt sich die Impedanz umso mehr nach unten, je höher die Temperatur des Bauteils ist. Die optimale Betriebstemperatur liegt möglichst nahe an der Raumtemperatur von 20° bis 25°C. Anwender dieser Bauelemente sollten dies ebenso, wie die anderen Umwelteinflüsse beim Design von elektronischen Schaltungen berücksichtigen, die laut Datenblatt spezifizierte maximale Betriebstemperatur liegt bei 125°C.

Zusätzlich zum Temperatureinfluss werden Chipbeads in der Praxis häufig unter DC-Strombelastung betrieben, was wie erwähnt die Eigenschaft des Bauteiles verändert. Messungen mit Gleichstrombelastung liefern wesentliche Informationen über das Bauteilverhalten im Betrieb. Die Darstellung der Kurvenschar der Impedanz über der Frequenz in Abhängigkeit des DC-Bias zeigt, wie sich das Bauelement in der Praxis unter Strombelastung verhält (Abbildung 10).

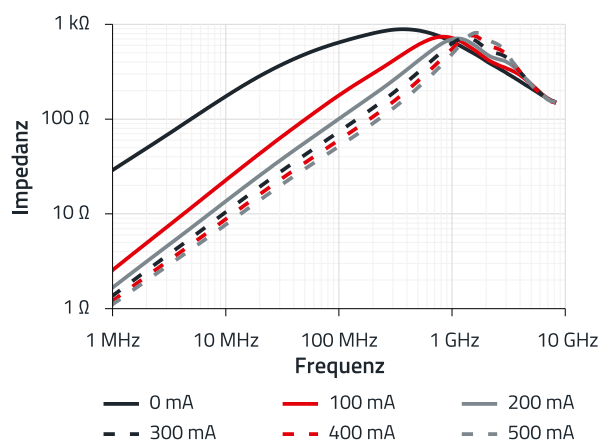


Abbildung 10: Vergleich von WE-CBF HF ([742861160](#)) mit verschiedenen DC Bias Strömen.

APPLICATION NOTE

ANP045 | Die Magie hinter Hochfrequenz SMT-Chipbead-Ferriten

Wenn der Strom durch den Chipbead zunimmt, bewegt sich das interne Kernmaterial immer weiter in Richtung magnetischer Sättigung, was zu einem Abfall der Induktivität führt. Diese Sättigung ist auf die maximale Ausrichtung aller magnetischer Dipole des Bauelementes zurückzuführen und verändert die Permeabilität (bzw. die Impedanz) des Ferritmaterials. Im niedrigeren Frequenzbereich, unterhalb der SRF hat der Bias-Strom im Vergleich zum Frequenzbereich über der SRF eine deutlich größere Auswirkung.

Mit zunehmendem Gleichstrom nimmt die Induktivität weiter ab, die parasitäre Kapazität bleibt jedoch gleich. Dies führt dazu, dass sich die SRF-Spitze nach rechts zu höheren Frequenzen hin verschiebt. Somit wird auch die Gesamtimpedanz geringer und verschiebt sich zu höheren Frequenzen, wodurch sich der Gütefaktor erhöht. In diesem Szenario erzeugen SMT-Ferrite schärfere und höhere SRF-Spitzenwerte. Schließlich ist zu erkennen, dass die Impedanz am Ende dieses Frequenzbereichs zu einem Punkt hin konvergiert (WE-CBF HF [742841160](#) bei 8 GHz). Dies wird durch den ferromagnetischen Effekt verursacht, der bis zur SRF dominiert. Oberhalb der SRF ist der ferromagnetische Effekt noch vorhanden, wird aber durch die Resonanz- und die kapazitiven Effekte verdeckt. Die ferromagnetischen Eigenschaften verlieren mit abnehmender Permeabilität ihren Einfluss und werden paramagnetisch. In diesem Zustand wirkt der Chipbead aufgrund der parasitären Effekte kapazitiv und verhält sich physikalisch wie eine Drahtspule über ihrer Resonanzfrequenz (Abbildung 11).

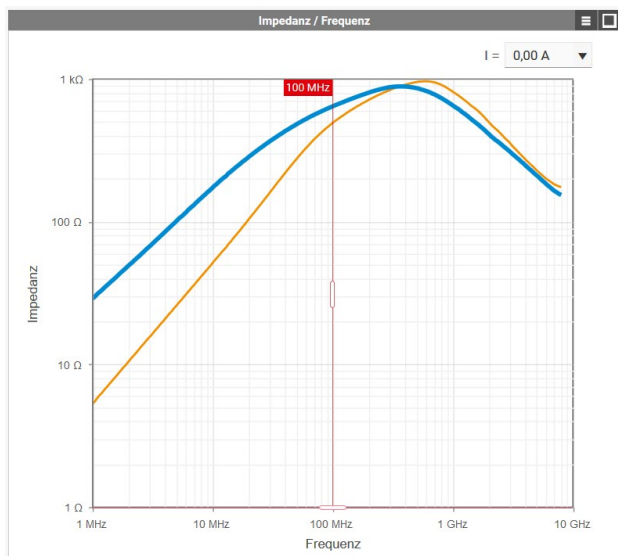


Abbildung 11: Vergleich in **REDEXPERT** von WE-CBF HF 742861160 (blau) und 742863160 (orange) mit 0 mA DC Biasstrom.

Die maximale magnetische Feldstärke, bei der die Sättigung eintritt, ist abhängig vom Kernmaterial. Zum Beispiel weist Nickel-Zink (NiZn) andere ferromagnetischen Eigenschaften auf als Mangan-Zink (MgZn). Im Folgenden werden zwei **WE-CBF HF**-Chipbeads mit ähnlichen elektrischen Eigenschaften, aber unterschiedlichem Kernmaterial verglichen. Beide Bauteile sind im Datenblatt bei 100 MHz mit einer typischen Impedanz von 600 Ω bei 0 A DC-Biasstrom angegeben. Die Komponenten weisen aufgrund der verschiedenen Ferritmaterialien jeweils unterschiedliche Sättigungsniveaus auf. Wird die Impedanz der beiden Bauteile bei einem Biasstrom von 100 mA, gemessen, zeigen sich unterschiedliche Impedanzverläufe, wie in Abbildung 12 deutlich zu sehen ist.

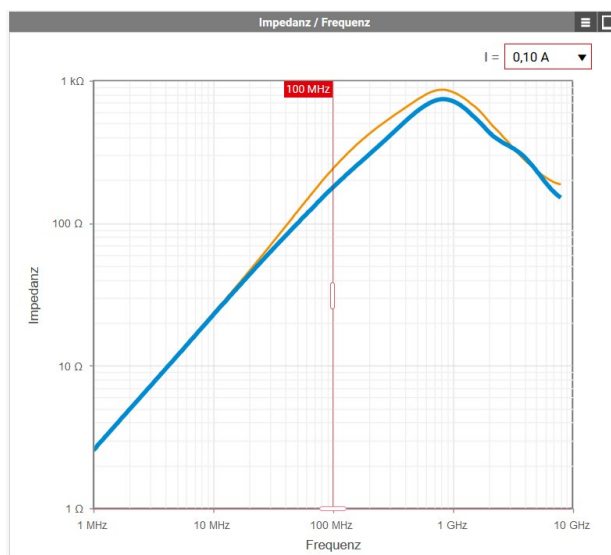


Abbildung 12: Vergleich in **REDEXPERT** von WE-CBF HF 742861160 (blau) und 742863160 (orange) mit 100 mA DC Biasstrom.

Der Chipbead [742863160](#) (blaue Kurve) kann, anders als der Chipbead [742861160](#) (orangene Kurve), bei gleichem Strom seine Impedanz relativ hoch beibehalten. Bei 100 MHz (Marker) zeigt die blaue Kurve im Vergleich von Abbildung 11 zu Abbildung 12 einen deutlichen Abfall der Impedanz. Daher kann man daraus schließen, dass je nach Ferritmaterial unterschiedliche Reaktionen auf den Sättigungsstrom erfolgen. Alle diese Reaktionen auf den DC-Biasstrom lassen sich in **REDEXPERT** bei verschiedenen Umgebungstemperaturen simulieren und vergleichen.

Zusammenfassend zeigt dieser Abschnitt, dass der Einfluss von Temperatur und DC-Bias Schlüsselparameter für die Auswahl des richtigen Bauteils sind. Die Impedanzkurven von Chipbeads sind im entsprechenden Datenblatt zu finden, wobei die Kurvenschar eine Abhängigkeit der Impedanz, des DC-Bias-Strom und des Materials zueinander zeigt.

APPLICATION NOTE

ANP045 | Die Magie hinter Hochfrequenz SMT-Chipbead-Ferriten

Mit der messwertbasierten Online Design Plattform REDEXPERT von Würth Elektronik können darüber hinaus die Impedanz und andere elektrische Eigenschaften jedes Chipbeads bei jeder Betriebsfrequenz und jedem DC-Bias-Strom auf einfache Weise bestimmt werden. Alternativ ist die Einbindung eines Chipbeads via Simulation zur Evaluierung mit den verfügbaren S-Parametern und SPICE-Simulationsmodellen möglich.

5. STAND DER MESSTECHNIK

Die üblichen industriellen Impedanzanalysatoren mit DC-Bias-Option für SMT-Bauteile gelangen bei der Impedanzmessung schnell an ihre Grenzen. Insbesondere, wenn höhere Ströme erforderlich sind. Zudem sind Messungen der Impedanz über 1 GHz von Natur aus kritisch oder aufgrund der Messmethode nicht möglich. Darüber hinaus ist häufig ein externes störungsarmes Netzteil mit einem konstanten Strom von bis zu 5 A erforderlich. Aufgrund dieser Schwierigkeiten sind die Informationen in Datenblättern für Entwickler oftmals eingeschränkt. Wie bereits zuvor erwähnt sind Informationen der Parameter über das Verhalten der Chipbeads jedoch erforderlich, um diese Bauelemente effektiv einzusetzen.

Aufgrund dessen hat Würth Elektronik eiSos ein neues und verbessertes Messverfahren für SMT-Komponenten entwickelt. Mit dieser patentierten Technik ist es nun möglich, Impedanzen für Frequenzen über 3 GHz mit DC-Bias-Strömen von bis zu 20 A zu messen. Um im Frequenzbereich über 3 GHz zu messen, ist ein Impedanzanalysator nicht mehr ausreichend und der Einsatz eines vektoriellen Netzwerkanalysators (VNA) wird notwendig. Der uneingeschränkte Messaufbau ermöglicht die Darstellung detailreicheren Informationen in den Datenblättern.

Die DC-Bias-Prüfvorrichtung des standardmäßigen herkömmlichen Impedanzanalysators hat einen Druck- und Haltevorgang für Chipbeads mit Goldelektroden-Kontaktpads. Dieser Aufbau bietet jedoch eine geringe Wiederholbarkeit hinsichtlich der Messgenauigkeit, da die Verbindungen mit der

Terminierung nicht fixiert sind. Mithilfe des neuen Messverfahrens wird diese Ungenauigkeit umgangen, indem das zu testende Bauelement (engl.: DUT; device under test) auf eine Leiterplatte gelötet wird. Die Komponenten werden vor der Messung durch einen Reflow-Ofen im Temperaturbereich der Curie-Temperatur des Materials geführt. Der Reflow Vorgang entspricht dem Standard Multilayer Profil bei 260 °C nach JEDEC J-STD020E. Diese Vorgehensweise und Messmethodik bietet eine praxisnahe und reproduzierbare Testumgebung für Chipbeads. In Korrelation mit dem Temperatureinfluss im Bereich über der Curie-Temperatur (Abschnitt 4) zwingt dies die Elementarmagnete, sich vor Beginn der Messung in einen remanenten freien Ausgangszustand auszurichten. Um nachzuweisen, dass die Messdaten bis zu 3 GHz mit dem neuen Messaufbau reproduzierbar sind, wurden Chipbeads der WE-CBF HF-Serie mehrfach mit einem Impedanzanalysator und mit dem neuen Messplatz gemessen und die Messergebnisse wurden miteinander verglichen. Die Ergebnisse von WE-CBF HF (742841160), die mit einem Impedanzanalysator bis zu 3 GHz und VNA bis zu 8 GHz erzielt wurden, sind nahezu identisch, wie in Abbildung 13 dargestellt wird. Dies bestätigt die Gültigkeit der Ergebnisse der neuen patentierten Technik.

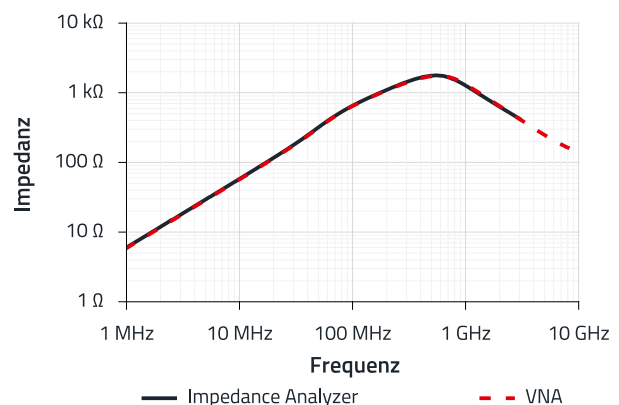


Abbildung 13: Die Grafik zeigt eine Messung der WE-CBF HF (742841160) mit einem Impedanz-Analysator und dem neuen Messaufbau mit einem VNA.

APPLICATION NOTE

ANP045 | Die Magie hinter Hochfrequenz SMT-Chipbead-Ferriten

Die Abbildung 14 und Abbildung 15 zeigen das Blockdiagramm, den Messaufbau und eine Träger-Leiterplatte der neuen Prüfvorrichtung.

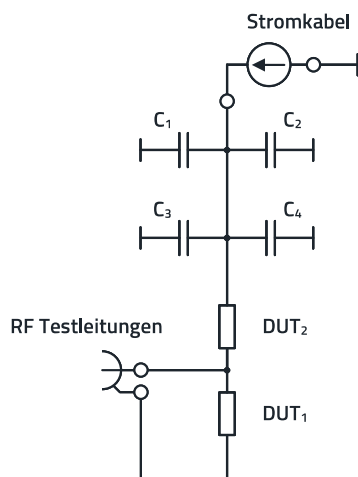
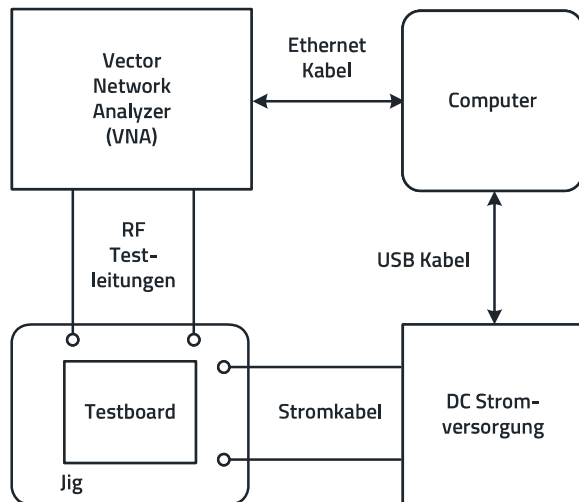


Abbildung 14: Testsetup und Schaltungsaufbau des Impedanzmessplatzes mit Bias-Option.

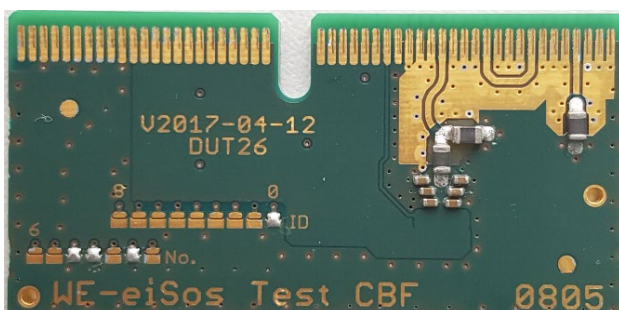


Abbildung 15: Test Board eines SMT Chipbeads in Größe 0805.

Auf der Träger-Leiterplatte werden zwei von den Chipbeads eingelötet. Der VNA und die Stromversorgung werden mit einer SW gesteuert, um die Messdaten zu erfassen und den Gleichstrom einzustellen. Der Messplatz ermöglicht den Anschluss einer externen Stromversorgung von bis zu 20 A, wobei die oberen Grenzwerte der Strombelastbarkeit nur durch den maximalen Strom des Netzteils und die Erwärmungsgrenze der Leiterplatte begrenzt sind.

Diese neue Messmethode ermöglicht es, erweiterte wertvolle Daten über Chipbeads im Hochfrequenzbereich, besonders unter Anwendungen mit hoher Gleichstrombelastung, bzw. Vormagnetisierung, zu erfassen. Ein wesentlicher Unterschied dieses Aufbaus zu herkömmlichen Messmethoden besteht darin, dass das Bauteil unter realitätsnahen Bedingungen geprüft werden kann.

6. APPLIKATIONEN

Viele EMV-Probleme in elektronischen Geräten können mit einer Chipbead-Ferrit-Lösung im betroffenen Signalweg gelöst werden. Zahlreiche IoT-Anwendungen haben heutzutage drahtlose Kommunikationsschnittstellen integriert, wofür die Würth Elektronik Multilayer-SMT-Ferrite zur Verhinderung von EMI-Problemen anbietet. Es gibt zahlreiche Einsatzbereiche, bei denen Chipbeads angewandt werden, beispielsweise:

- Unterdrückung von HF-Störungen auf Signalleitungen
- HF-Kommunikationsmodule (In den V_{CC} -Leitungen, um sicherzustellen, dass keine EMV-Probleme entstehen)
- Filterung von Oberschwingungen für mobile Kommunikation
- Datenleitungsfilterung in Hochgeschwindigkeits-Bussystemen (CAN, USB, Video, RS232, Wireless LAN)
- Filterschaltungen zur Signalaufbereitung
- Schaltungen zur Impedanzanpassung
- DC-Versorgungsspannung, Abblockung der HF

Für die meisten der oben aufgezählten Applikationen ist bereits genügend Literatur verfügbar. Im Folgenden stellen wir einige weniger verbreitete Anwendungen vor, bei denen Chipbeads WE-CBF HF eine geeignete Alternative in Schaltungsdesigns darstellen.

APPLICATION NOTE

ANP045 | Die Magie hinter Hochfrequenz SMT-Chipbead-Ferriten

6.1 Breitbandverstärker, 5 MHz – 7 GHz

Breitbandverstärker im Kleinsignalbereich werden oft bei der Verwendung von Antennen für den Empfang benötigt, um über einen weiten Frequenzbereich sehr kleine Signale bei geringem Rauschen zu verstärken. Das Netzwerk zur Entkopplung der Stromversorgung zum Verstärkermodul ist einer der kritischen Aspekte beim Entwurf von HF-Schaltungen. Es bestimmt sowohl die Verstärkerleistung über die Temperatur als auch die DC-Vorspannungsbedingungen. Die für die Verstärkerstufe notwendige Versorgungsspannung kann nicht direkt angelegt werden, sondern muss hochimpedant und vor allem breitbandig, über den gesamten Arbeitsfrequenzbereich des Verstärkers entkoppelt werden.

Die Stromversorgung wird als ein Pfad mit hoher Impedanz gegenüber dem HF-Signal angesehen, sodass das HF-Signal nahezu nicht beeinträchtigt wird und der größte Teil des verstärkten Signals unbehindert zum Ausgang des Verstärkers gelangt. Eine Standardinduktivität weist keine konstant hohe Impedanz über einen so breiten Frequenzbereich auf, da ihr resistiver Bereich der Impedanz, bzw. magnetischen Permeabilität nur in einem Bereich von typ. 200 MHz bis 2 GHz liegt. Bei einem drahtgewickelten Standardferrit beginnen die parasitären Elemente im Bereich von typ. 500 MHz zu dominieren, was in diesem Frequenzbereich zu einer starken Abnahme der Impedanz führt. Eine Alternative zum Aufbau von komplexen mehrstufigen Filtern für eine große Bandbreite besteht darin, die normalerweise verwendeten Luftspulen durch einen **WE-CBF HF** Chipbead zu ersetzen (Abbildung 16 und Abbildung 17).

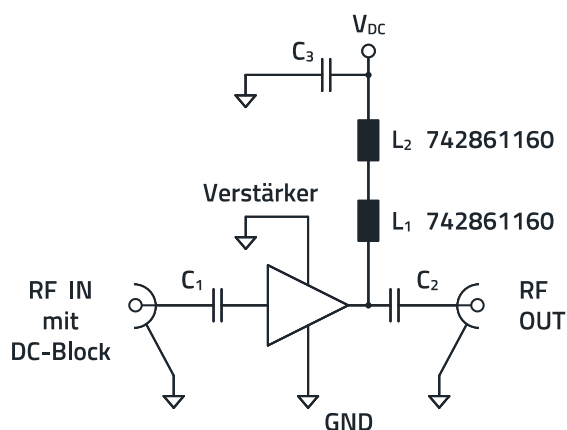


Abbildung 16: Verstärker Schaltplan.

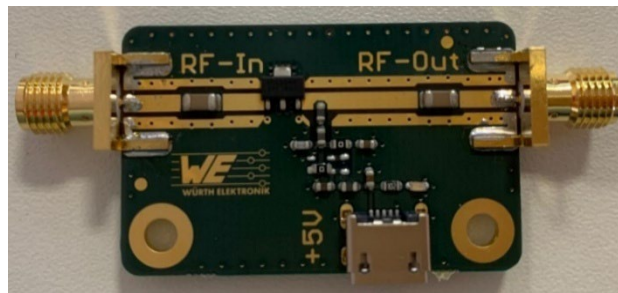


Abbildung 17: Gainblock Verstärker, Test Board mit WE-CBF HF (742861160).

Die hohe Impedanz im Stromversorgungspfad von über 200Ω kann den Verstärkerblock signaltechnisch entkoppeln. Zusätzlich wird durch den geringen Gleichstromwiderstand des Chipbeads das Modul mit dem nötigen Gleichstrom versorgt. Für Signale im Frequenzbereich unter 5 MHz ist die Impedanz von Chipbeads gering, sodass hier eine gewünschte Signaldämpfung erfolgt.

Die Vorteile der Verwendung eines WE-CBF HF in dieser Applikation:

- Sehr breitbandiger Frequenzbereich
- hohe Impedanz über den gesamten Frequenzbereich
- RF-Signal kann am Ausgang „sauber“ entkoppelt werden, dadurch ergibt sich eine höhere Linearität des Verstärkers

Eine genauere Betrachtung dieser Anwendung wird in der [ANP101](#) vorgenommen.

6.2 Anti-Aliasing für Analog-Digital-Wandler (ADC)

In der Regel ist es notwendig, einen Anti-Aliasing-Filter vor einem Analog-Digital-Wandler (ADC) zu schalten, um unerwünschte höherfrequente Signale, die vom ADC nicht verarbeitet werden können, zu dämpfen. Die übliche LC-Konstellation eines Tiefpassfilters (LPF) kann Überschwingungen zur Folge haben, die eine Resonanzspitze in einem Frequenzband im Bereich um die Schaltfrequenz des Wandlers erzeugt und somit zu einer Verstärkung unerwünschter Signalanteile führt. Diese Signalanteile führen zu falscher AD-Wandlung. Die Verwendung eines Chipbeads in Reihe mit der Induktivität dämpft, bzw. glättet die Antwort des LC-Filters, vermeidet so Überschwingungen und wirkt zusätzlich als Impedanzwandler.

APPLICATION NOTE

ANP045 | Die Magie hinter Hochfrequenz SMT-Chipbead-Ferriten

Die Standardschaltung eines Filters für einen ADC umfasst RC-Topologien und LC-Topologien mit oder ohne Verwendung von Operationsverstärkern. Als Filter erster Ordnung erzeugt ein RC-Filter bei seiner Grenzfrequenz einen Abfall von -3 dB und eine Steilheit von 20 dB/Dekade, was in der Regel für ein Anti-Aliasing Filter nicht ausreicht. Ein LC-Filter hat in der Regel einen niedrigen spezifischen Widerstand R_{DC} und eine hohe Induktivität; folglich erzeugt ein Signalsprung unerwünschte Ein- und Ausschwingvorgänge des Filters. Da ein ADC keine Standard-Eingangsimpedanz hat, können bei Auftreten von Spitzenlasten, bzw. hohen Signalsprüngen, im Bereich der Eckfrequenz Resonanzspitzen, bzw. Ein- und Ausschwingvorgänge auftreten.

Anstatt die Signalanteile zu dämpfen, trägt die Resonanzspitze dazu bei, dieses zu verstärken. Resistive Impedanzen, d.h. Widerstände und Chipbeads können zur Dämpfung eines Systems verwendet werden, um die Resonanzspitze zu reduzieren. Ein Chipbead wirkt im unteren Frequenzbereich wie eine Induktivität mit einem hohen Q-Faktor (Abschnitt 2). Der resistive Teil eines Chipbeads wird erst in einem höheren Frequenzbereich dominant, in dem die Signalanteile begrenzt oder bedämpft werden sollen. Daher hat der **WE-CBF HF** im Allgemeinen auch im unteren Frequenzbereich eine höhere Induktivität im Vergleich zum **WE-CBF**. Bauartbedingt ist eine niedrige Grenzfrequenz erreichbar (Abbildung 18).

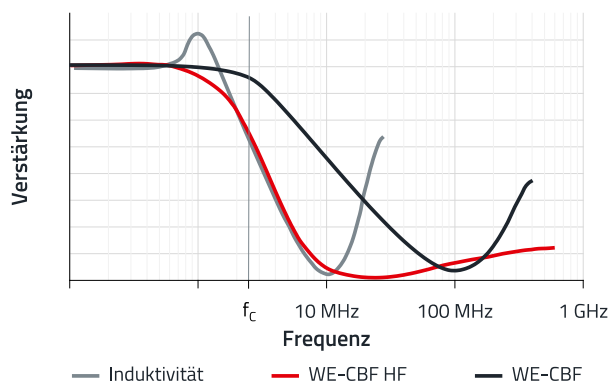


Abbildung 18: Verstärkungsverlauf eines Tiefpassfilters für eine Induktivität und für SMT Ferrite.

Das folgende Schaltungsdesign mit einem WE-CBF HF hat bei der Grenzfrequenz, verglichen mit dem herkömmlichen Filter, eine etwas höhere Dämpfung als 3 dB und zeigt ab der

Grenzfrequenz eine doppelt so hohe Flankensteilheit von 40 dB/Dekade. Durch die WE-CBF HF wird die Resonanzspitze bei der Eckfrequenz unterdrückt, so dass ein weicherer Übergang stattfinden kann. Abbildung 19 zeigt das Schaltbild als LT-Spice Modell.

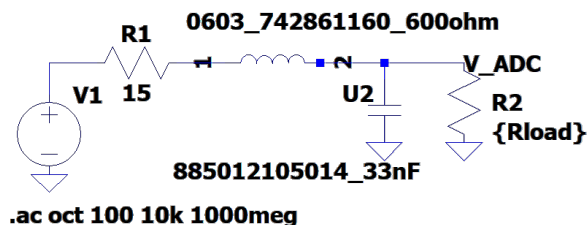


Abbildung 19: LT-Spice Modell eines Anti-Aliasing-Filters mit WE-CBF HF (742861160).

Vorteile bei Verwendung eines zusätzlichen Chipbead-Ferrits im Filter:

- Frequenzgang mit einer Dämpfung von 40 dB/Dekade
- Unterdrückung der Resonanzspitze
- Benötigt weniger Platz und weniger Komponenten als eine Schaltung mit Operationsverstärker und benötigt auch keine Stromversorgung
- Gesamtes Filterdesign ist günstiger realisierbar

6.3 Abschluss-Stichleitung für logarithmisch periodische Dipolantenne (LPDA)

Logarithmisch-periodische Dipolantennen (LPDA), die über ein weites Frequenzband arbeiten, werden heutzutage in zahlreichen Anwendungen eingesetzt. Eine LPDA besteht aus einer Reihe von Dipolelementen, deren Länge sich schrittweise vergrößert. Die Elemente sind in Abständen angeordnet, die einer logarithmischen Funktion der Frequenz folgen. Eine gedruckte LPDA-Struktur ist eine alternative Möglichkeit, dieses Antennenarray mithilfe der gedruckten Mikrostreifentechnologie umzusetzen.

Beim Entwurf einer Antenne auf einer Leiterplatte sind verschiedene Überlegungen zu berücksichtigen. Zum Beispiel sind nicht nur genaue Berechnungen der Länge und Abstände der Elemente allein wichtig, sondern auch die Anpassung der Mikrostreifenleitungen an die Eigenschaften der Leiterplatte ist von großer Bedeutung. In der Entwurfsphase kann es zudem zu Einschränkungen hinsichtlich der Leiterplattengröße oder des verfügbaren Materials kommen.

APPLICATION NOTE

ANP045 | Die Magie hinter Hochfrequenz SMT-Chipbead-Ferriten

Bei Bedarf einer höheren Rückflussdämpfung bei niedrigen Frequenzen sollte die Antennenzuleitung einen hochohmigen Abschluss haben (Abbildung 20).

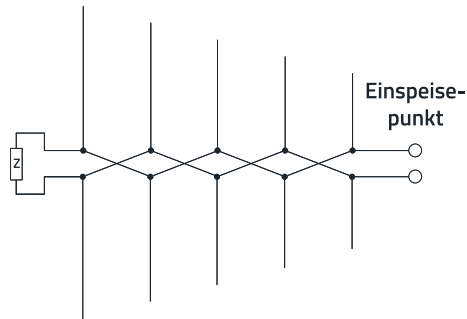


Abbildung 20: Schema eines LPDA-Abschlusses mit hoher Impedanz.

Dieser, als kurzgeschlossene Stichelung ausgeführte „Abschluss“, dient im gewünschten Frequenzbereich als Reflektor, um eine Anpassung an die Antennenzuleitung zu gewährleisten. Die Länge Z der Stichelung entspricht einem Viertel der Länge des längsten Dipolelements. Daher wird je nach Betriebsfrequenz und Größe eine geeignete Länge berechnet.

In der Regel ist die Länge der Stubs ein Parameter, um das System dem gewünschten Frequenzbereich anzupassen, wie z.B. ein Viertelwellen-Impedanztransformator, da Viertelwellen-Dipole bei einer bestimmten schmalbandigen Frequenz arbeiten. Eine Alternative ist die Verwendung einer realen Komponente als Abschluss, die ebenfalls eine hohe Impedanz im Frequenzbereich aufweist. Eine Antenne mit Stichelung als Abschluss beginnt mit ihrem brauchbaren Gewinn (Gain) traditionell im Frequenzbereich der Stichelung und die Grenzfrequenz der Antenne ist deutlich über der der Stichelung (Abbildung 21).

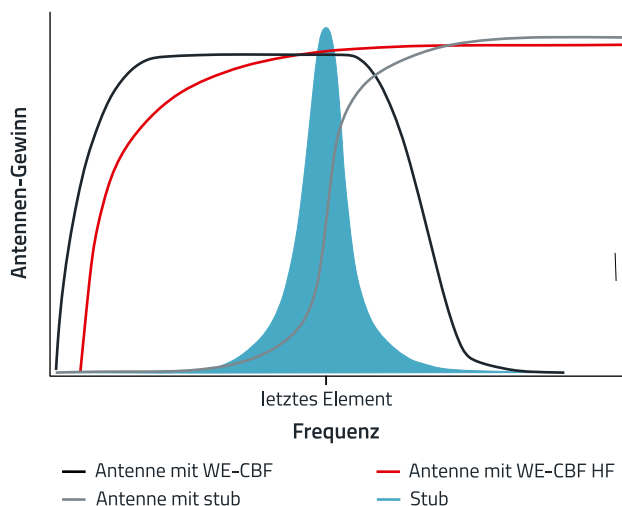


Abbildung 21: Antennen-Gewinn vs. Frequenz der Antenne mit Abschluss-Stichelung.

In ähnlicher Weise arbeitet eine Antenne mit einer hochohmigen Impedanz und einem HF-Chipbead im Frequenzbereich vor der Stichelung und hat ebenfalls eine Grenzfrequenz weit von der Stichelung entfernt. Im Gegensatz dazu wird ein Chipbead mit nicht ausreichender Impedanz im hochfrequenten Bereich die Bandbreite im Frequenzbereich um die Stichelung begrenzen, wodurch die nutzbare Bandbreite verkürzt wird.

Die WE-CBF HF ([742862160](#)) oder ([742863147](#)) beispielsweise erfüllen die Impedanzanforderungen mit ihrer über der Frequenz konstant hohen Impedanz im Bereich von 100 MHz bis 1 GHz. Durch die Verwendung eines Chipbeads wird nicht nur die gleiche Leiterplattengröße beibehalten, indem der Platz, der normalerweise durch die Leitungstransformation belegt wird, wegfällt, sondern auch der operative Frequenzbereich deutlich erweitert (Abbildung 22).

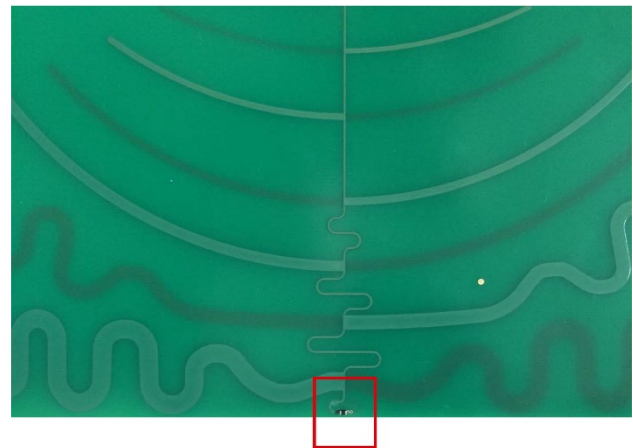


Abbildung 22: PCB von LPDA mit WE-CBF HF ([742862160](#)).

Die Vorteile der Verwendung von **WE-CBF HF** im Design für die Antennen-Anpassung im Überblick:

- Breitere Betriebsfrequenz verglichen mit einem konventionellen SMT-Ferrit
- Kleinere PCB-Größe und daher Platzersparnis als ein Design mit Stichelung
- Günstige Alternative

7. ZUSAMMENFASSUNG

WE-CBF HF ist ein Bauelement, das zur Unterdrückung von Störströmen bei höheren Frequenzen hervorragend geeignet ist, wie sie in neuen und bestehenden Gerätetechnologien häufig auftreten. Die WE-CBF ist nach wie vor erste Wahl, wenn es darum geht, Störungen in niedrigeren Frequenzbereichen zu filtern. Würth Elektronik hat, speziell für SMT-Bauteile, eine neue Messtechnik entwickelt, die es erlaubt, im Frequenzbereich bis zu 8 GHz bei Bias-Strömen von bis zu 20 A zu messen. Die WE-CBF HF kann aufgrund der einzigartigen Eigenschaften auch in einer Reihe von Anwendungen eingesetzt werden, die typischerweise nicht mit Chipbead-Ferriten in Verbindung gebracht werden.

Die Implementierung der WE-CBF und WE-CBF HF in Schaltungen war noch nie so einfach wie jetzt, denn über die WE-Webseite können, die den Bauelementen entsprechenden S-Parametern und Spice Modelle heruntergeladen werden. Des Weiteren gibt es die einzigartige Möglichkeit, über **REDEXPERT** Designparameter der Komponenten und deren Abhängigkeiten graphisch dargestellt zu bekommen, um die Applikation optimal auszulegen. Muster der Komponenten können hierüber ebenfalls bestellt werden, oder sind im WE-CBF HF SMT Ferrit Design Kit (**742841**) zu finden. Darüber hinaus sind alle Bauteile ohne MOQ ab Lager lieferbar. Zusätzlich zum **WE-CBF**-Sortiment haben Elektronikentwickler jetzt noch mehr Flexibilität bei der Auswahl der Ferritbeads, so dass für jede Anwendung das passende Bauteil gefunden werden kann.

APPLICATION NOTE

ANP045 | Die Magie hinter Hochfrequenz SMT-Chipbead-Ferriten

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 Todesfälle 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

APPLICATION NOTE

ANP045 | Die Magie hinter Hochfrequenz SMT-Chipbead-Ferriten

REVISIONSHISTORIE

Dokument Version	Veröffentlichungsdatum	Änderungen
ANP045a	2020/10/21	Ursprüngliche Version der Application Note
ANP045b	2026/03/19	Überführung in ein neues Grafikdesign und kleine Formulieringsänderungen

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