

Ersatzschaltbilder zur Simulation von EMV-Ferriten

Rechnergestützte Optimierung von HF-Filter- und Entkopplerschaltungen

Beim Entwurf von elektronischen Schaltungen werden zunehmend schon im ersten Design EMV-Ferrite zur breitbandigen Entstörung mit vorgesehen. Um die Auswahl des geeigneten Bauteiles zu vereinfachen, bietet sich die Rechnerimulation zur Filterdimensionierung an. Auch wenn einige Faktoren hier nicht berücksichtigt werden (wie z. B. der Einfluss der Leiterplatte mit deren parasitären Effekten), bietet die Simulation den schnellen Weg zu ersten ‚Startwerten‘. Ausgehend von diesen Bauteilwerten optimiert man im EMV-Messlabor die so erzeugte Filterschaltung.

Konstante Parameter für L, C und R sind die Vorbedingung für die Simulation von elektronischen Schaltungen. Ein falscher Ansatz bei der Festlegung eines Ersatzschaltbildes führt zu mangelhaften oder falschen Simulationsergebnissen.

Elektronische Bauelemente, Widerstände, Kondensatoren, Induktivitäten, Leitungen, näherungsweise Ferritmaterialien und Isolierstoffe können durch Wechselstromgrößen hinreichend genau charakterisiert werden. Voraussetzung ist, daß sie ihre Eigenschaften bei verschiedenen Spannungen und Strömen nicht nennenswert verändern oder im Kleinsignalbereich betrieben werden. Man spricht dann von linearen Bauelementen im Gegensatz zu nichtlinearen Bauelementen wie Varistoren, Dioden, Transistoren u. am..

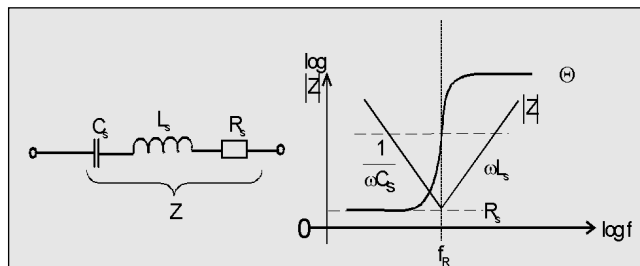


Abb. 1: Serienresonanzkreis und Impedanz über der Frequenz

Die wichtigsten Ersatzbildtypen

Kondensatoren – Serienresonanzkreis

Die ideale Kapazität C_s wird durch die Zuleitungsinduktivität L_s (im Bereich einiger nH) und den Bahnwiderstand R_s (typischerweise im Bereich von 20 mΩ bis 100 mΩ, bei kalten Elektrolytkondensatoren bis zu 1 Ω) beeinflusst. Bei tiefen Frequenzen überwiegt der kapazitive Anteil, bei der Eigenresonanzfrequenz ist

$$\left(\omega C = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}\right) \quad (1)$$

der Bahnwiderstand messbar. Oberhalb der Serienresonanz überwiegt der induktive Anteil, der durch kürzeste Anschlusslängen in gewissen Grenzen beeinflussbar ist. Die Phasenkurve geht im Resonanzbereich von $\approx -90^\circ$ auf $\approx +90^\circ$. Der Phasenpunkt 0° bestimmt dabei sehr genau den Punkt der Resonanzfrequenz, oft viel genauer als dies über die Amplitudenmessung möglich ist.

Induktivitäten – Parallelresonanzkreis

Die ideale Induktivität L_p wird dabei durch die unvermeidlichen Wicklungskapazitäten C_p und durch die in R_p zusammengefassten Verluste (Kernmaterial, Wicklungsverluste) beeinflusst. Bei Induktivitäten strebt man nach unendlich großem Parallelwiderstand R_p .

EMV-Ferrite – Reihen- oder Serienresonanzkreis?

Es ist marktüblich, die EMV-Ferrite durch ihre Serieninduktivität L_s und dem dazu in Rei-

he liegenden Widerstand R_s zu spezifizieren. Diese Werte lassen sich mit einem Impedanzanalyzer über den interessierenden Frequenzbereich sehr genau messen und als Impedanzkurve darstellen.

Es gibt Umrechnungsmodelle [1] von der Impedanzkurve zu einem Simulationsmodell speziell für PSICE. Diese sind aber recht umständlich und erfassen die parasitäre Kapazität und deren Parallelschaltung zum Widerstand oder Induktivitätsanteil nicht. Nur durch alle drei Parameter L, C und R ist ein Bauelement aber genau beschrieben. Moderne Impedanzanalyzer ermitteln rechnergestützt für unsere Anwendung das besser geeignete Parallelersatzschaltbild – denn hier liegen drei ideale und vom Wert konstante Bauelemente vor. Damit ist dieses Modell universell einsetzbar. Bei EMV-Ferriten ist im Gegensatz zu Induktivitäten ein hoher und breitbandig wirkender Widerstand R_p ein gewünschter Parameter. Die Induktivität L_p spielt dabei eine nur untergeordnete Rolle und ist der Schlüssel um den Verlustwiderstand in die Leitung einzutransformieren. Um breitbandig zu arbeiten, muss gleichzeitig die Parallelkapazität gegen Null gehen.

Für den in Abb. 3 gezeigten SMD-Ferrit 74279213 gelten folgende Werte des Parallelersatzschaltbildes: $L_p = 1,4675 \mu\text{H}$, $C_p = 1,2584 \text{ pF}$, $R_p = 685 \Omega$.

Für eine Entkopplungsschaltung simulieren wir ein T-Filter für 500 MHz und verwenden einmal den SMD-Ferrit 74279213 und den SMD-Ferrit 74279211 mit folgenden Simulationsdaten: $L_p = 0,2000 \mu\text{H}$, $C_p = 0,1834 \text{ pF}$, $R_p = 125 \Omega$.

Das Filter arbeitet an einer Quell- und Senkenimpedanz von je 100 Ω. Der verwendete SMD-Kondensator in Bauform 1206 hat laut Herstellerangaben bei 500 MHz seine Eigenresonanzfrequenz. Daraus resultieren ei-

► Autor

Dipl.-Ing. ALEXANDER GERFER ist tätig im Bereich EMC & Inductive Solutions bei Würth Elektronik GmbH & Co KG; Riedenstraße 16, D-74635 Kupferzell
Fon: 07944/9193-0, Fax: 07944/9193-50
E-Mail: alexander.gerfer@we-online.de

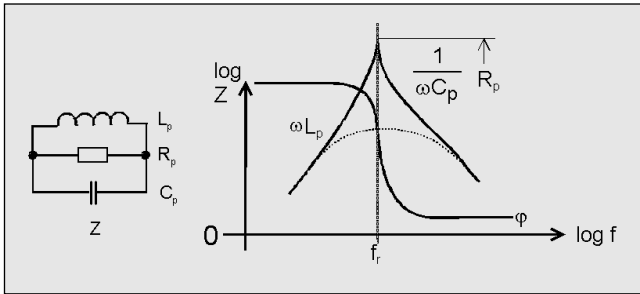


Abb. 2:
Parallelschwingkreis
und Impedanz über der
Frequenz

nerseits eine Serieninduktivität von 1,5 nH und als Datenblattangabe ein Serienwiderstand von 0,812 Ω. Eine Kurve der typischen Eigenresonanzfrequenz von SMD-Kondensatoren findet sich in [3]. Vorteil dieses diskreten gegenüber integriertem T-Filter: Deutlich kleinere Kapazitätswerte und damit geringe Belastung für schnelle Signale sowie einfache Abstimmung über drei Standardbauteile. Abb. 4 zeigt die entsprechende Schaltung, die unter PSPICE simuliert wurde.

Die Ergebnisse der Simulation erfolgte in verschiedenen Schritten:

- ▶ nur mit SMD-Kondensator C = 68 pF gegen Masse

- ▶ mit 2 SMD-Ferriten Typ 74279211 als T-Filter mit C = 68 pF
- ▶ mit SMD-Ferrit 74279213 und SMD-Kondensator C = 68 pF

Der Filterkondensator zeigt – wie erwartet – seine maximale Dämpfung bei 500 MHz. Damit wird der Störstrom durch die SMD-Ferrite genau dort am größten, wo die höchste Dämpfung benötigt wird. Achtung! Im praktischen Aufbau sind die Anschlussinduktivitäten der Leiterbahnen ggf. mit zu berücksichtigen, denn diese verschieben den Eigenresonanzfrequenzpunkt des Kondensators zu tieferen Frequenzen hin. Theoretisch werden bei 500 MHz mit dem Kondensator allein

schon 35 dB Einfügedämpfung erreicht. Allerdings recht schmalbandig. Die breitbandige Filterwirkung ohne Resonanzüberhöhungen erfüllt das gezeigte Filter mit SMD-Ferriten.

Der SMD-Ferrit 74279211 verbessert die Einfügedämpfung um weitere 15 dB bei 500

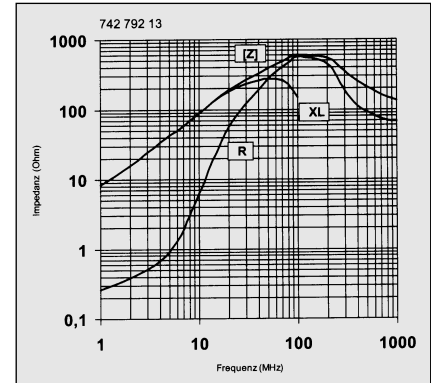


Abb. 3: Impedanzkurve SMD-Ferrit 74279213

MHz und setzt schon bei ca. 80 MHz mit deutlicher Dämpfung ein.

Noch besser fällt das Ergebnis mit dem SMD-Ferrit 74279213 aus: Hier setzt die Fil-

Anzeige

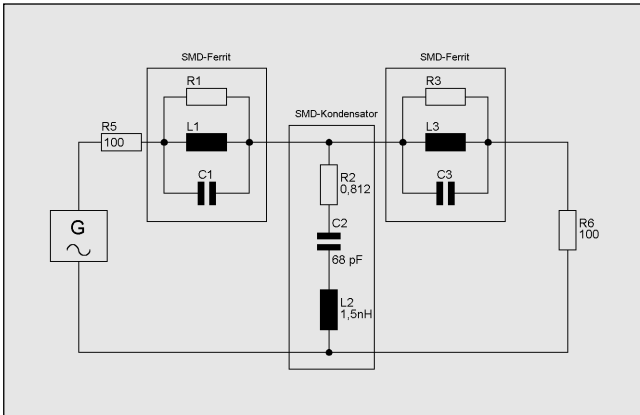


Abb. 4:
T-Filterschaltung mit
realen Bauelementen

Zusammenfassung und Ergebnis

Die Entstörung mittels EMV-SMD-Ferriten gewinnt zunehmend an Bedeutung. Um für eine Problemstellung die Filterschaltung zu bestimmen und deren Wirkung abschätzen zu können, empfiehlt sich die Rechnersimulation. Dank eines einfachen Parallelersatzschaltbildes als Simulationsmodell, kann diese Simulation mit jeder marktüblichen Software durchgeführt werden. Die gewonnenen Filterkurven geben einen ersten Eindruck über die zu erwartende Dämpfung und werden durch eine entsprechende Messung im EMV-Labor ggf. noch optimiert.

B.01

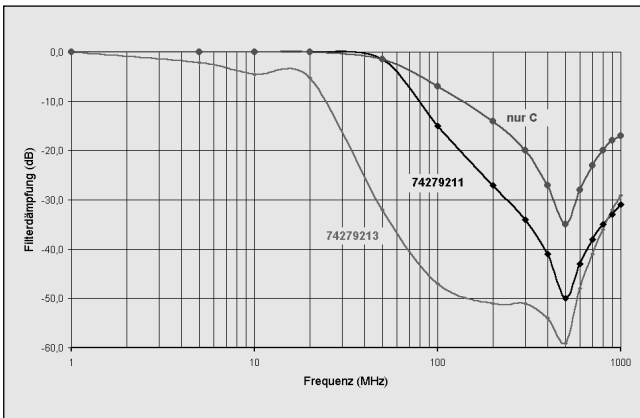


Abb. 5:
Ergebnisse der
Simulation des T-Filters

Literatur

- [1] Gerfer, A.: Simulationsmodell SMD-Ferrite; Homepage Würth Elektronik we-online.de
- [2] Würth Elektronik GmbH & Co KG: Datenbuch EMV-Bauteile & Induktivitäten 1999
- [3] Gerfer, A.; Rall, B.; Zenkner, H.: Trilogie der Induktivitäten – Designführer für Induktivitäten und Filter, 2. Aufl. 2001, Swiridoff Verlag; ISBN 3-934350-30-5

www.publish-industry.net
more @ click EK280501

terwirkung schon bei ca. 25 MHz ein und erreicht Einfügedämpfungswerte von besser als 30 dB im Bereich von 45 MHz bis 1 GHz.

Erkennbar ist deutlich ein Gewinn an Filterdämpfung und breitbandiger Entstörung,

die mit dem SMD-Ferrit 74279213 maximal wird. Ist eine eher schmalbandige Dämpfung gewünscht, so ist die Lösung mit SMD-Ferrit 74279211 zu bevorzugen (siehe Abb. 5).

Anzeige