

APPLICATION NOTE



Balunlose Messung von Mixed-Mode-Streuparametern

DNP14, VON AUTHOR

1. Bedeutung von S_{dd21} in der HF-Technik

Nicht nur die zunehmende Datenmenge, sondern auch deren enorm gestiegene Übertragungsgeschwindigkeit stellen hohe Anforderungen an die Signalqualität. Besonders deutlich wird dies an der aktuellen Schnittstelle USB 3.0, die wegen ihrer Übertragungsgeschwindigkeit von 5 Gbps auch den Beinamen SuperSpeed trägt. Reichte bei der Vorgängerversion USB 2.0 mit 480 Mbps noch eine Gleichtaktdrossel-spule aus, um die Signalqualität zu garantieren, sind nun spezielle HF-Bauelemente für die Rauschunterdrückung notwendig. Wodurch diese sich unterscheiden, zeigt die S_{dd21} -Messung.

Streuparameter, kurz S-Parameter, sind ein Maß dafür, wie viel Leistung oder Spannung über einen Port vom Chip zur Leiterplatte übertragen wird. Dabei beschreiben sie das Verhalten linearer elektrischer Komponenten mittels Wellengrößen. Besonders in der Hochfrequenztechnik kommt den Streuparametern eine wichtige Rolle zu, da in vielen Fällen Strom und Spannung nicht eindeutig definiert werden können. Messbar ist jedoch die in einen Port einlaufende Welle bzw. von einem Port reflektierte Welle. Die Erfassung der Parameter mit den Wellenwiderständen hat zum Vorteil, dass unerwünschte Impedanztransformationen an den Ein- und Ausgängen eines Netzwerks vermieden werden.

Die für die Beschreibung eines Netzwerks benötigte Anzahl an S-Parametern hängt von der Anzahl der Ports ab und ergibt sich aus dem Quadrat seiner Port-Zahl. Ein Filterelement mit zwei Ein- und zwei Ausgängen (Abbildung 1), ein 4-Port-Element, wird mit 16 Streuparametern (Abbildung 2) beschrieben.

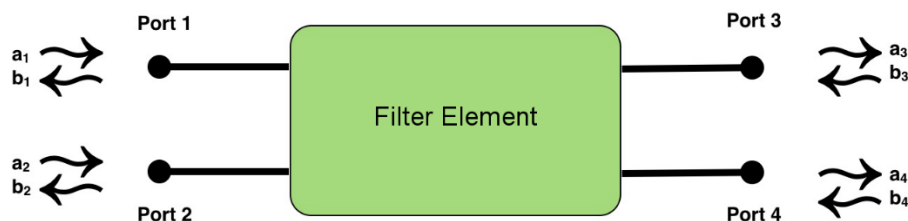


Abbildung 1: 4-Port-Filterelement mit ein- (a) und auslaufenden (b) Leitungswellen

Die Streumatrix stellt dabei den Zusammenhang zwischen den einzelnen eingehenden Wellen a_1, a_2, a_3, a_4 und den reflektierten Wellen b_1, b_2, b_3, b_4 dar.

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} & s_{14} \\ s_{21} & s_{22} & s_{23} & s_{24} \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} & s_{34} \\ s_{41} & s_{42} & s_{43} & s_{44} \end{pmatrix} \times \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix}$$

Abbildung 2: Streumatrix eines 4-Port-Filterelements

Die Streumatrix ist von der Bezugsimpedanz Z_0 , dem Leitungswellenwiderstand, abhängig, welche in der HF-Technik für gewöhnlich zu $50 \, \Omega$ gewählt wird. Netzwerkanalysatoren messen die S-Parameter als Funktion der Frequenz und geben diese als dimensionslose komplexe Zahl an, die häufig in Dezibel und Phase umgerechnet wird. Im Prinzip lassen sich alle Messobjekte mit mehr als zwei Ports mit einem zweitorigen

APPLICATION NOTE



Balunlose Messung von Mixed-Mode-Streuparametern

Netzwerkanalysator vermessen. Alle Tore, die gerade nicht vermessen werden, müssen da-bei mit der Bezugsimpedanz verbunden sein. Um alle S-Parameter zu bestimmen, sind mit dieser modalen Methode $n(n - 1)/2$ komplette 2-Tor-Messungen notwendig. Dieses Verfahren ist zum einen sehr zeit-aufwändig und lässt sich wegen der manuellen Kontaktierung des koaxialen Messanschlusses oder von On-Wafer-Messspitzen nicht automatisieren. Zudem führen parasitäre Einflüsse zu einem Messfehler.

2. Physikalische und mathematische Baluns

Mit Baluns lässt sich ein zweitoriger Netzwerkanalysator auf vier Tore erweitern. Je nach Aufbau des Baluns mit 0° - oder 180° -Phasendifferenz zwischen den beiden Ausgängen lässt sich die Gleichtakt-Mode oder die Gegentakt-Mode anregen. Auch diese Methode birgt zwei Nachteile: Aufgrund der modalen Anregung müssen für die Kalibrierung des Messsystems den Moden angepasste Kalibrierstandards entwickelt und angefertigt werden. Den zweiten liefert der Frequenzgang des Leistungsteilers. Für die Gleichtakt-Anregung kann der Leistungsteiler aus Widerständen und somit mit einer großen Bandbreite hergestellt werden. Dagegen ist die Einhaltung der 180° -Phasenverschiebung nur in einem eingeschränkten Frequenzbereich möglich. Die balunggestützte Messtechnik lässt sich nur bis 1,2 bzw. 1,5 GHz betreiben.

Soll ein Mehrtor auf sein Verhalten bei Gegentakt- oder Gleichtakt-Anregung untersucht werden, ist ein modales Messsystem nötig. Ein Problem stellt jedoch die synchrone Anregung mehrerer Ports dar. Das Messsignal zwischen den beiden Messtoren muss über den gesamten Frequenzbereich eine definierte Phasenverschiebung einhalten. Für die Anregung mit der Gleichtaktwelle beträgt diese 0° und für die Gegentaktwelle 180° . Die modale Anregung lässt sich allerdings umgehen, indem das modale Verhalten aus den portbezogenen Streuparametern berechnet wird^[1].

3. Mixed-Mode-Streuparameter

Modale Streuparameter, auch Mixed-Mode-Streuparameter genannt, erlauben gegenüber den nodalen Parametern eine differenzielle Auswertung der Reflexion sowie Transmissionsparameter beliebiger 4-Ports. Dafür werden zwei nodale Ports gedanklich zu einem differentiellen Port zusammengefasst (Abbildung 3). Die Mixed-Mode-S-Parameter-Messung hat gegenüber der traditionellen balunggestützten Messung den Vorteil, dass diese mathematischen Baluns eine ideale Symmetrieübertragung über einen weiten Frequenzbereich bieten und sich mit Messbereichen bis zu einigen GHz speziell für den HF-Bereich eignen. Darüber hinaus lassen sich sowohl Gleichtakt- als auch Gegentakt-S-Parameter sehr einfach messen und reproduzierbare Ergebnisse erzielen.

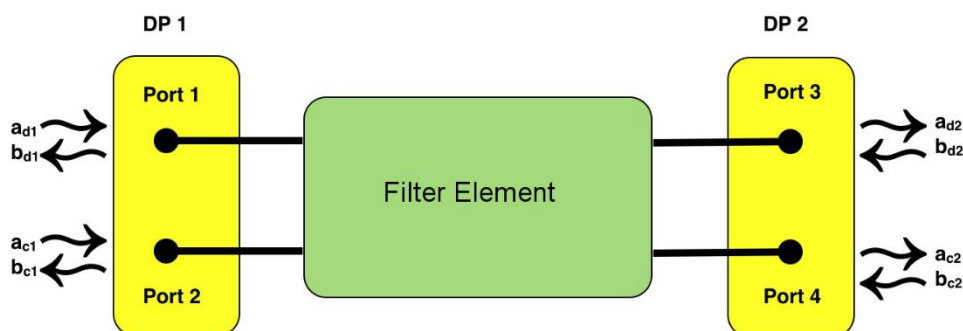


Abbildung 3: Durch das Zusammenfassen zweier nodaler Ports zu einem differentiellen Port, lässt sich ein 4-Port-Filterelement mit einem zweitorigen Netzwerkanalysator vermessen

APPLICATION NOTE



Balunlose Messung von Mixed-Mode-Streuparametern

Mixed-Mode- und Streuparametermatrix sind ähnlich organisiert: die Spalten repräsentieren die anregenden Ports, die Reihen die empfangenen. Gleichtaktwellen werden in der Gleichung analog zur Streu-matrix mit dem Index c gekennzeichnet, Gegentaktwellen mit dem Index d.

Für die Bewertung von Filterschaltungen sind vorrangig die Parameter der Gleich- und Gegentakttransmission S_{cc21} und S_{dd21} von Bedeutung (Abbildung 4). Speziell bei der Messung hochfrequenter differentieller Datensignale wird die Einfügedämpfung S_{dd21} betrachtet, da sie Aufschluss darüber gibt, ob der eingekoppelte Gegentakt phasengleich auch am Ausgang vorliegt.

$$\begin{bmatrix} b_{d1} \\ b_{d2} \\ b_{c1} \\ b_{c2} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} s_{dd11} & s_{dd12} & s_{dc11} & s_{dc12} \\ s_{dd21} & s_{dd22} & s_{dc21} & s_{dc22} \\ s_{cd11} & s_{cd12} & s_{cc11} & s_{cc12} \\ s_{cd21} & s_{cd22} & s_{cc21} & s_{cc22} \end{pmatrix} \times \begin{bmatrix} a_{d1} \\ a_{d2} \\ a_{c1} \\ a_{c2} \end{bmatrix}$$

Abbildung 4: Mixed-Mode-Streumatrix eines 4-Port-Filterelements: dd Gegentaktbetrieb, cc Gleichtaktbetrieb, dc Gleichtakt-Anregung – Gegentakt-Antwort, cd Gegentakt-Anregung – Gleichtakt-Antwort

Gegentaktstörungen breiten sich gleichsinnig mit dem Nutzsignal aus, weshalb bei differentiellen Impulsleitungen die Phasen der beiden Signale synchron auf beiden Leiterbahnen laufen müssen. Das bedeutet auch, dass diese Leitungen an jeder beliebigen Stelle zwischen Sender und Empfänger identische Eigenschaften haben und auch nahezu gleiche elektrische Längen aufweisen müssen. Ist dies nicht der Fall, treffen die an den Empfängern reflektierten Wellen durch die unterschiedlichen Phasenlaufzeiten der Signale auf den Leitungen 1 und 2 nicht mehr mit einer Phasenverschiebung von 180° am Verzweigungspunkt ein. Ein Teil der Gegentaktsignale wird in Gleichtaktenergie umgewandelt. Dadurch entstehen parasitäre Überlagerungen und zusätzliche Reflexionen. Die Phasenverschiebung ist frequenzabhängig. Bei Hochfrequenzleitungen hängt der Wellenwiderstand zusätzlich von den Abmessungen der Leiter ab. Ist das Kabel länger als die Wellenlänge, wie es im HF-Bereich vorkommt, wird es zu Leitungs-reflexionen kommen, wenn die Impedanzverhältnisse innerhalb des Systems nicht angepasst wurden. Aus diesem Grund wird die Eignung eines Leitungsfilters für ein System mit der S_{dd21} -Messung geprüft.

3.1. Messaufbau und Ergebnisse

Untersucht wurden die stromkompensierten Drosseln der Serie WE-CNSW, die Hochfrequenz-Varianten WE-CNSW HF sowie Bauelemente von Mitbewerbern (Tabelle). Die Bauelemente werden auf die Mitte einer Prüfplatine aufgebracht und an den äußeren Enden der Leitungen mit jeweils einem SMA-Konnektor verbunden. Nun wurde an beiden Signalpfaden der Drossel ein differentielles Signal eingespeist. Die bei –3 dB definierte Grenzfrequenz f_c gibt an, ab welcher Frequenz eingespeistes und reflektiertes differentielles Signal nicht mehr um 180° phasenverschoben sind, bzw. ab wann das Nutzsignal durch den Gegentakt parasitär überlagert und dessen Qualität zu stark beeinflusst wird. Ein Netzwerkanalysator berechnet die Einfügedämpfung S_{dd21} aus den nodalen Streuparametern.

APPLICATION NOTE



Balunlose Messung von Mixed-Mode-Streuparametern

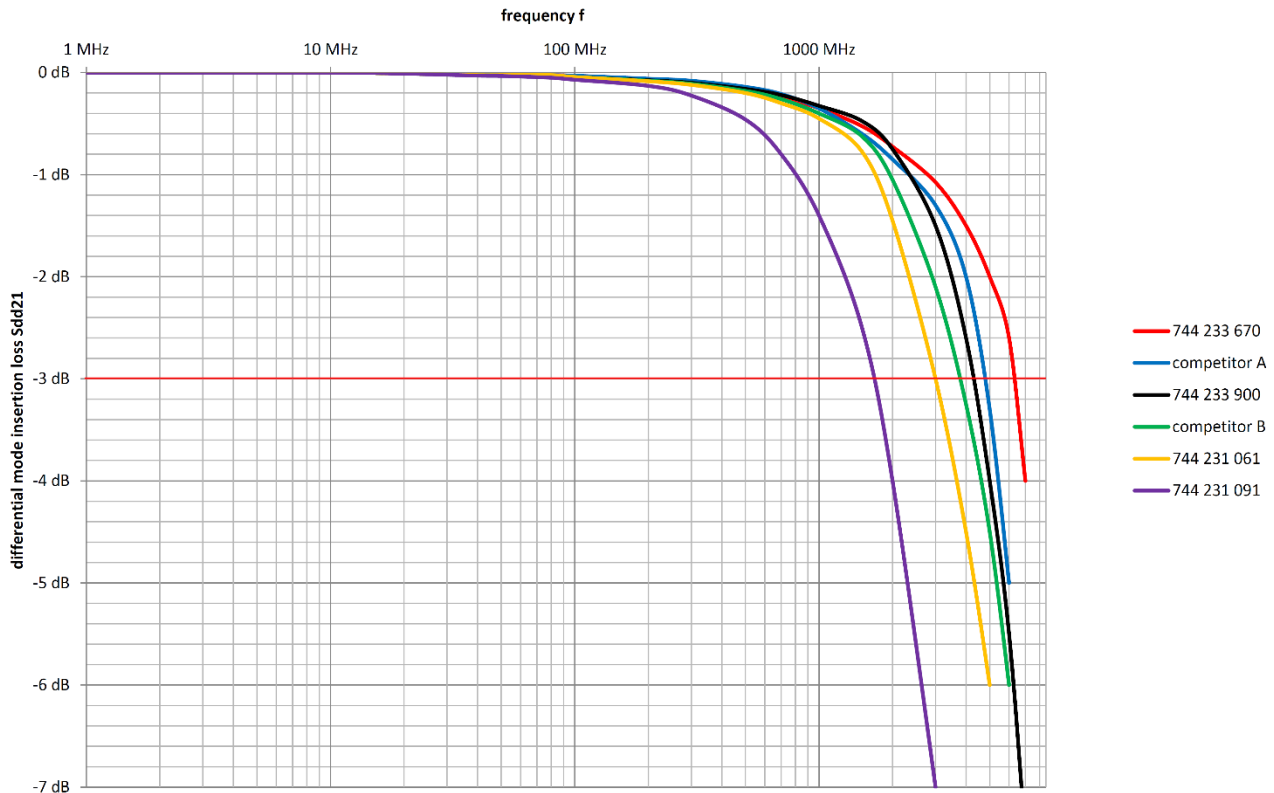


Abbildung 5: Ergebnisse der S_{dd21} -Messung. Als Referenz wurde die Grenzfrequenz f_c bei -3 dB definiert. Die Leistungsfilter der Serie WE-CNSW HF erreichen hier ein Maximum bei 6,5 GHz.

Weil Gleichaktinduktoren für Gleichaktsignale eine hohe Impedanz aufweisen und für differentielle Gegentaktsignale eine wesentlich niedrigere Impedanz darstellen, lässt sich mit diesen Filterelementen die Gleichaktunterdrückung von differentiellen Übertragungssystemen und damit die Störfestigkeit erhöhen. Die Konformität zur EMV-Richtlinie ist damit gewährleistet.

Der Unterschied der Filter speziell für Hochgeschwindigkeitsdatenleitungen wie für USB 3.0 lässt sich am besten durch den direkten Vergleich der Leistungsfilter WE-CNSW HF 744233670 mit einer Gleichaktimpedanz von 67Ω @ 100 MHz und der Filter des Mitbewerbers A mit einer Gleichaktimpedanz von 60Ω @ 100 MHz erläutern. Obwohl beide über eine hohe Gleichaktindämpfung verfügen, fällt die Grenzfrequenz der HF-Bausteine der Serie WE-CNSW mit 6,5 GHz um 1 GHz höher aus. Das bedeutet, dass der Einfluss von Asymmetrien auf differentielle Datensignale der HF-Bausteine von Würth Elektronik mit zunehmender Frequenz geringer ist als die der Wettbewerbsprodukte. Die Gründe hierfür liegen zum einen in einem speziellen Ferritmaterial und zum anderen in der Wickelgeometrie, die sich durch größere Abstände zwischen zwei Windungen auszeichnet. Weil alle der vier betrachteten Filter die gleiche Bauform haben, 0805, ist ein größerer Abstand zwischen den Windungen gleichbedeutend mit einer kleineren Windungsanzahl. Je weniger Windungen, desto niedriger die Impedanz und desto mehr verschiebt sich der Resonanzpunkt in Richtung höherer Frequenzen. Bezogen auf die S_{dd21} -Messung bedeutet dies: Je niedriger die Gleichaktimpedanz, desto besser die Filtereigenschaften in differentiellen Hochgeschwindigkeitsdatenleitungen.

APPLICATION NOTE



Balunlose Messung von Mixed-Mode-Streuparametern

4. Fazit

Mit der S_{dd21} -Messung konnte gezeigt werden, dass sich die HF-Varianten der Serie WE-CNSW stromkompensierter Datenleitungsfilter für die Gleichtaktunterdrückung bei Übertragungsfrequenzen bis 6,5 GHz eignen, ohne differentielle Datensignale zu beeinflussen. Herkömmliche stromkompensierte Filter können dieser Anforderung nicht standhalten, wie die Ergebnisse der Messung gezeigt haben.

Erst durch spezielle Hochfrequenzbauelemente ist die Signalqualität bei der Kommunikation über die USB 3.0-Schnittstelle gewährleistet.

Order Code	Size	f_c ($S_{DD21}=-3\text{dB}$)	Z @ 100 MHz	max. U_R	R_{DC}	I_R	Application
744 233 670	WE-CNSW 0805 HF	6,5 GHz	67 Ω	50 V	240 m Ω	320 mA	USB3.0
Competitor A	size 0504	5,0 GHz	60 Ω	50 V	500 m Ω	280 mA	USB3.0
744 233 900	WE-CNSW 0805 HF	4,5 GHz	90 Ω	50 V	300 m Ω	280 mA	HDMI
Competitor B	size 0504	3,7 GHz	90 Ω	50 V	500 m Ω	280 mA	HDMI
744 231 061	WE-CNSW 0805	3,0 GHz	67 Ω	50 V	250 m Ω	400 mA	
744 231 091	WE-CNSW 0805	1,7 GHz	90 Ω	50 V	300 m Ω	370 mA	USB2.0

Tabelle 1: Spezifikationen der gemessenen Bauelemente

[1] Dipl.-Ing. Christof Ziegler, 4-Tor-Netzwerkanalyse und On-Wafer-Messtechnik zur Bestimmung modaler Streuparameter bis 50 GHz

APPLICATION NOTE



Balunlose Messung von Mixed-Mode-Streuparametern

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:

<http://www.we-online.de/app-notes>

REDEXPERT Design Tool:

<http://www.we-online.de/redexpert>

Toolbox:

<http://www.we-online.de/toolbox>

Produkt Katalog:

<http://katalog.we-online.de/>

KONTAKTINFORMATIONEN

Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG

Max-Eyth-Str. 1, 74638 Waldenburg, Germany

Tel.: +49 (0) 7942 / 945 – 0

Email: appnotes@we-online.de

Web: <http://www.we-online.de>