

Selbstkalibrierung teilweise verkoppelter Fehlernetzwerke zur Netzwerkanalyse differenzieller Messobjekte

Sebastian Wagner, Hochschule Augsburg - University of Applied Sciences

In verschiedenen modernen Kommunikationssystemen kommen symmetrische Leitungen, wie Twisted-Pair oder Sternvierer, für eine hochbitratige Datenübertragung zum Einsatz. Um den immer weiter steigenden Bedarf an hohen Datenraten zu erreichen, ist eine genaue Kenntnis über das Verhalten dieser Leitungstypen bis zu Frequenzen von mehreren GHz essenziell.

Ziel dieser Arbeit ist es eine Messtechnik zu entwickeln, um die komplexen Streuparameter von ungeschirmten Twisted-Pair-, geschirmten Sternvierer- sowie geschirmten Twisted- und Parallel-Pair-Leitungen mit Hilfe von Vektor-Netzwerkanalysatoren (VNA) möglichst exakt und vollständig zu charakterisieren.

Die genannten Leitungstypen können wegen ihrer Anschlüsse nicht direkt mit einem VNA verbunden werden. So ist der Einsatz von Messadaptern notwendig, die jedoch die Messergebnisse verfälschen. Der Vorteil einer vektorielle Netzwerkanalyse liegt darin, dass diese eine vollständige Kalibrierung und Systemfehlerkorrektur des linearen Verhaltens einer solchen Messadaptierung erlaubt, und so präzise Messungen an symmetrischen Leitungen direkt auf einer Inline-Kalibrierebene ermöglicht.

Für verschiedene symmetrische Leitungstypen werden in der vorliegenden Arbeit Modelle zur Beschreibung der Messfehler aufgestellt und neue Ansätze für deren Kalibrierung erarbeitet. Dabei werden neben den gängigen single-ended Beschreibungen auch mixed-mode Beschreibungen der Messfehler behandelt, die bei modaler Symmetrie zu einer Reduktion der unbekanntenen Fehlerterme führen und so einfachere Kalibrierstandards und -verfahren zulassen. Darüber hinaus stehen an den auftretenden Non-Metrology-Kalibrierebenen keine kommerziellen Kalibrierstandards bereit. Daher wird bei der Entwicklung der Messverfahren in einem besonderen Maß auf die Realisierbarkeit von geeigneten Standards geachtet, und darüber hinaus werden für alle Verfahren geeignete Standards entworfen.

Besonders detailliert wird die Selbstkalibrierung von verkoppelten Fehlernetzwerken, die in den meisten Fehlermodellen der Leitungsmessung auftreten, behandelt. Für diese Aufgabe werden zwei neuartige Selbstkalibrierverfahren, NMRG2 und MONS5, präsentiert. Beide Verfahren liefern Lösungen für das Problem von ideal angepassten Leitungs-Kalibrierstandards, die sich auf Kalibrierebenen in symmetrischen Leitungen bedingt durch die Geometrie meist nur mit sehr großem Aufwand realisieren lassen. Anstelle solcher Standards erlauben die neu entwickelten Verfahren den Einsatz eines beliebigen reziproken Netzwerkstandards für die Kalibrierung.

Für alle vorgeschlagenen Ansätze zur Kalibrierung der Messadaptierungen wird eine ausführliche messtechnische Verifikation durchgeführt. Dabei werden kritische Einflussfaktoren, die zu Einschränkungen der Messdynamik für Messgrößen mit geringem Pegel führen, im speziellen die Modenkongression, der Near-End-Crosstalk (NEXT) und der Far-End-Crosstalk (FEXT), identifiziert und ausführlich untersucht. Als kritische Faktoren sind im besonderen Produktionstoleranzen, nicht zulässiges Übersprechen in Doppel-Reflektionsstandards der 15-Term-Selbstkalibrierung, eine Vernachlässigung von Modenkongression im Messaufbau und die Realisierbarkeit von sehr genau bekannten Match-Standards zu nennen.