

Testkabel für die vektorielle Netzwerkanalyse

Bei der vektoriellen Netzwerkanalyse wird ein Koaxialkabel als Messkabel zwischen Netzwerkanalysator (VNA) und Testobjekt (DUT) verwendet. Mit der Hilfe eines Kalibrierkits wird der DUT-Anschluss des Messkabels als Referenzebene kalibriert. Dabei werden sowohl Amplituden- als auch Phasenmessungen mit verschiedenen Kalibrierstandards durchgeführt. Damit später genaue Messungen durchgeführt werden können, darf sich die Dämpfung und die elektrische Länge (Phase) des Messkabels nicht mehr ändern.

Änderung der Phase durch Biegungen und Temperaturänderungen

Biegt man ein Koaxialkabel, kommt es durch Stauchungen und Dehnungen zu einer Änderung der Geometrie. Ebenso kommt es bei Temperaturänderungen zu mechanischen Längenänderungen sowie zu einer Veränderung der Dielektrizitätskonstanten. Bei Koaxialkabeln mit PTFE Dielektrikum kommt es im Temperaturbereich von etwa 18-19 °C aufgrund von Veränderungen der Kristallstruktur sogar zu einem Sprung der Dielektrizitätskonstanten. All dies führt zu einer ungewollten Änderung der elektrischen Länge des Messkabels.

Durch Optimierung des Kabelaufbaus und der verwendeten Materialien (z.B. geschäumtes PTFE Dielektrikum oder spezielle Polymere) lässt sich die Phasenstabilität eines Koaxialkabels verbessern. Diese phasenstabilen VNA-Testkabel sind Voraussetzung für möglichst präzise und wiederholbare Messungen.

Spezifikationen der Phasen- und Amplitudenstabilität

Im Datenblatt eines VNA Messkabels findet man die Amplituden- und Phasenstabilität spezifiziert. Typische Werte bei 18 GHz sind etwa 3° und <0,05 dB. Der Hersteller gibt dabei auch an, wie er die Stabilität bezüglich Biegung gemessen hat. Üblicherweise wird das Kabel um einen Dorn mit definiertem Durchmesser U-förmig gebogen und dann wird die Phasenänderung zum Zustand vor der Messung ermittelt. Allerdings ist der genaue Messablauf bei nahezu jedem Hersteller unterschiedlich. Dies betrifft nicht nur den Durchmesser des Dorns, sondern auch um welchen Winkel das Kabel gebogen wird. Dies macht einen Vergleich der spezifizierten Werte zwischen den Herstellern leider nahezu unmöglich.

Standardkabel als preisgünstige VNA Testkabel?

Der Preis eines phasenstabilen VNA-Testkabels liegt in der Größenordnung von mehreren Hundert Euro pro Stück. Bei einem Anschaffungspreis von mehreren 10.000 EUR für einen modernen und hoch-

wertigen Vektor Netzwerkanalysator (VNA) ist der Kabelpreis schon fast zu vernachlässigen und sollte auch investiert werden, um den Einfluss des Messkabels auf die Messergebnisse zu minimieren.

Andererseits ermöglicht die Verfügbarkeit von preisgünstigen PLLs mit integriertem VCO und modernen FPGAs die Entwicklung von immer preisgünstigeren VNAs bei beachtlichen technischen Daten. Damit der Preis des Messkabels verhältnismäßig bleibt, können bei niedrigeren Anforderungen an die Messgenauigkeit auch flexible Standard-Mikrowellenkabel mit PTFE Dielektrikum verwendet werden. Die Temperatur im Messlabor ist in der Regel vergleichsweise konstant bei etwa 23 °C. Bei von uns durchgeführten Versuchen mit nicht als phasenstabil beworbenen Standard-Mikrowellenkabeln konnten wir bei Biegungen mit VNA-Testkabeln vergleichbare Werte beobachten. Bei Bedarf beraten wir Sie gerne bezüglich einer passenden Lösung.

NMD Steckverbinder für den VNA Testport

Während bei Netzwerkanalysatoren der Mittelklasse Standard-Steckverbinder wie N als Testport Verwendung finden, werden bei Highend-Analysatoren sogenannte NMD Verbinder eingesetzt. Diese erreichen eine bessere und sicherere mechanische Verbindung des Testkabels zum VNA. Dabei handelt es sich um normale Steckverbinder, wie z.B. 3,5 mm, die aber von einem deutlich größeren Außengewinde zur mechanischen Befestigung des Testkabels umgeben sind. Diese Steckverbinder werden dann mit NMD und Serie, z.B. NMD 3,5 mm, bezeichnet. VNA Testkabel haben übrigens in der Regel an beiden Enden einen NMD Verbinder, da es hierzu auch entsprechende Testport-Adapter für den Übergang zwischen Testkabel und DUT gibt.

Die Testport-Anschlüsse an einem Netzwerkanalysator (und am DUT Ende des Testkabels) sind männlich (male) und neben dem großen Außengewinde auch mit dem Standard-Außenleitergewinde der entsprechenden Steckverbindernorm ausgestattet. Dies erlaubt auch die direkte Verbindung mit einem Standardverbinder der entsprechenden Serie, z.B. eine SMA Buchse am Testobjekt. Ebenso kann an einem VNA Testport auch ein Standardkabel angeschlossen werden.

Sowohl die NMD Port-Anschlüsse des Testkabels zur Verbindung mit dem VNA, als auch die eines Testportadapters in Richtung Testkabel, sind weiblich (female) und können dagegen nicht(!) mit einem Standardverbinder der entsprechenden Serie verbunden werden, da hier das notwendige Standard-Außenleitergewinde nicht vorhanden ist.

Widerstandsfähige „ruggedized Connectors“ und armierte (armored) Kabel

Die Steckverbinder eines VNA-Testkabels werden häufig mit „rugge-



Testport NMD 3.5 mm

dized“, also widerstandsfähig bezeichnet. Das bedeutet eigentlich nur, dass der Steckverbinder für eine höhere mechanische Belastbarkeit dimensioniert wurde. So ermöglicht eine Außenleitermutter aus Edelstahl eine höhere Anzahl von Steckzyklen.

Um auch das Kabel selbst vor Beschädigungen, z.B. durch Tritte, möglichst gut zu schützen, wird dies bei VNA Testkabel häufig mit einer Armierung versehen. Hierbei kann es sich beispielsweise um eine Edelstahlschleife handeln.

Der geschlechtslose APC-7 mm Verbinder für ältere Testports

Der APC-7 mm (Amphenol Precision Connector) ist ein geschlechtsloser Präzisionsverbinder mit äußerst geringem SWR. Durch das geschlechtslose Design des Steckverbinders gibt es weder männliche noch weibliche Verbinder, sondern nur eine Ausführung, welche aber mit einem anderen APC-7 mm Verbinder zusammenschraubt werden kann. Diesen Verbinder findet man noch an Testports älterer Netzwerkanalysatoren, der Frequenzbereich ist auf 18 GHz beschränkt.

Literaturhinweise/-empfehlungen

[1] „What in an NMD connector?“ Keysight Webseite, 8510 Network Analyzers (Discontinued). Keysight Technologies

<http://www.keysight.com/main/editorial.jsp?ckey=1000003317:epsq:faq&id=1000003317:epsq:faq&nid=-536902444.0.00&lc=eng&cc=GB>

[2] „Keysight 85131 E/F/H NMD-3.5 mm –f- to 3.5mm Flexible Test Port Return Cables“, Operation and Service Manual. Keysight Technologies

[3] K. Czuba und D. Sikora, „Temperature Stability of Coaxial Cables“, Proceedings of the MIKON, Vol. 119 (2011)



APC-7 Steckverbinder