



NACHRICHTENTECHNIK

S-Parameter

Vorbereitung und Versuchsauswertung

Autoren: Sebastian PRÜTER
Richard GRÜNERT

12.6.2020

1 Vorbereitungsaufgaben

1.1 Netzwerkanalysator

Ein Netzwerkanalysator misst die Netzwerkparameter elektrischer Netzwerke, insbesondere Vierpoleigenschaften, wie

- Impedanz,
- Reflexionsfaktor,
- Transmission (Übertragungsfunktion),

deren Werte als Frequenzgänge auf einem Bildschirm dargestellt werden.

Ein skalarer Netzwerkanalysator (SNA) misst nur die Beträge der entsprechenden Größen, ein vektorieller Netzwerkanalysator (VNA) hingegen misst Beträge **und** Phasen, also *komplexe* Werte (der Begriff *vektoriell* ist daher etwas irreführend).

1.2 Kalibrierung und -standards

Bei einer Messung treten gewöhnlicherweise systematische Fehler auf. Diese sind durch die Messeinrichtung bedingt und müssen vor der Messung erfasst und korrigiert werden, um möglichst genaue Messergebnisse erzielen zu können. Diese Störeinflüsse treten z.B. durch die ungewollten Eigenschaften von Messleitungen auf, da sie eigene Übertragungsfunktionen und Reflexionsfaktoren besitzen, welche das Messergebnis verfälschen.

Bei der *Kalibrierung* wird die Abweichung der Messeinrichtung mit einem Referenzobjekt (Standard, Normal) verglichen. Beim Netzwerkanalysator ist dies typischerweise ein „Short, Open, Load“(SOL) bzw. „Short, Open, Load, Through“(SOLT), welches die Messleitung (Kabel, Verbindungen) mit den jeweiligen Impedanzen abschließt (Mech-Cal).

Diese werden nacheinander mit den verwendeten Ports des NWAs verbunden. Die Kalibrierung kann ebenfalls mit einem automatischen Kalibrierungsmodul (eCal) durchgeführt werden, welches für jeden Port die entsprechenden Kalibrierungsbedingungen automatisch bereitstellt. Diese Methode verringert die mechanische Belastung der Verbindungen und ist, gerade bei 4-Port-Kalibrierung, schneller.

Vor der Kalibrierung des NWAs muss der zu messende Frequenzbereich eingestellt werden (start & stop frequency). Bei einer Umstellung des Frequenzbereiches muss erneut kalibriert werden.

1.3 Parameter

1.3.1 Einfügedämpfung

Die Einfügedämpfung ist das Verhältnis der Leistung, die an einer Last über z.B. eine Leitung umgesetzt wird, zu der Leistung, die *direkt* an der Last umgesetzt werden würde (ohne die Leitung). Sie gibt also den Leistungsverlust bzw. die Dämpfung an, die das Signal durch das *Einfügen* der Leitung in den Signalweg erfährt.

1.3.2 Verstärkung

Die Verstärkung ist allgemein das Verhältnis von Ausgangs- zu Eingangsgröße, also z.B. Aus- zu Eingangsspannung. Ist die Verstärkung kleiner eins, handelt es sich um eine Dämpfung. Logarithmisch/im Dezibel-Maß kann sie abhängig von der betrachteten Größe dargestellt werden durch

$$V = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_2}{P_1}$$

wenn es sich um eine Leistung handelt oder

$$V = 20 \cdot \log_{10} \frac{U_2}{U_1}$$

wenn es sich um eine Spannung handelt.

1.3.3 Reflexionsdämpfung

Die Reflexionsdämpfung R ist die Dämpfung der reflektierten Welle.

$$R = \frac{P_{\text{reflektiert}}}{P_{\text{ein}}}$$

Sie entspricht dem inversen Reflexionsfaktor.

1.3.4 S-Parameter

Die S(treu)-Parameter (vom engl. *Scattering-Parameter*) sind eine Reihe an komplexwertigen Parametern (Betrag + Phase) zur Charakterisierung von n-Toren, in der Regel Vierpole.

Bei der Berechnung der S-Parameter bezieht man sich auf ein Vierpolmodell, bei welchem a_1 und a_2 die auf das jeweilige Tor zulaufenden und b_1 und b_2 die vom jeweiligen Tor ablaufenden Wellengrößen sind (Tor 1/Tor 2).

Bei einem Vierpolnetzwerk existieren die folgenden S-Parameter:

S_{11} , **der Reflexionskoeffizient, primärseitig**, beschreibt das Reflexions- zu-Transmissions-Verhältnis von Spannungs- bzw. Stromwellen.

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1}$$

S_{21} , **der Transmissionskoeffizient, primärseitig**, beschreibt das Verhältnis der am Tor 2 auslaufenden Welle zur am Tor 1 einlaufenden Welle. Über der Frequenz also die Übertragungsfunktion. („Ausgang zu Eingang“)

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1}$$

S_{22} , **der Reflexionskoeffizient, sekundärseitig** Wie S_{11} nur vom anderen Tor blickend.

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2}$$

S_{12} , **der Transmissionskoeffizient, sekundärseitig** Wie S_{21} nur vom anderen Tor blickend.

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2}$$

Der erste Index steht jeweils für den Wirkungsort, der zweite für die Ursache.

1.4 Elektrische Länge

1.5 Stecker- und Messadapternormen

Typ	Frequenzbereich
BNC	< 4 GHz
SMC	< 12 GHz
TNC	< 12 GHz
N(eill)	< 12 GHz
SMA	< 18 GHz
C	< 11 GHz
2.94 mm	< 40 GHz
2.4 mm	< 50 GHz
1.85 mm	< 67 GHz
1 mm	< 110 GHz

Tabelle 1: Einige Verbindungstypen und deren Einsatz-Frequenzbereiche

1.6 Verkürzungsfaktor

Im freien Raum breiten sich elektromagnetische Wellen mit der Lichtgeschwindigkeit

$$c_0 \approx 3 \cdot 10^8$$

aus, welche die maximale Ausbreitungsgeschwindigkeit für Energie und Information darstellt. In Leitungen ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit c von Spannungs- und Stromwellen jedoch geringer. Dadurch erscheint die

Wellenlänge λ auf der Leitung gegenüber der Wellenlänge im Vakuum λ_0 verkürzt. Das Verhältnis ist der Verkürzungsfaktor.

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = VK$$

Für die Wellenlänge auf der Leitung ergibt sich damit

$$\lambda = \frac{c}{f} = VK \cdot \frac{c_0}{f}$$

Der konkrete Wert des Verkürzungsfaktors ist von der Bauart der Leitung abhängig. Für eine koaxiale Leitung ergibt sich beispielsweise

$$VK = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Für ein Koaxialkabel mit einem Dielektrikum aus Polyethylen ($\epsilon_r = 2.25$) erhält man somit einen Verkürzungsfaktor von (näherungsweise) $VK = 0.667$.

2 Versuchsaufgaben