

Phasenrauschmessungen mit Spektrumanalysatoren und MATLAB

Messdaten mit Simulationsdaten kombinieren und vergleichen

In Zeiten dichter und teilweise überlasteter Funknetze und auf der Suche nach neuen effizient nutzbaren Frequenzbändern erhält die Frequenzgenauigkeit und -stabilität eines Senders größere Bedeutung. Mit modernen Spektrumanalysatoren und leistungsfähiger Auswertesoftware kann das Phasenrauschen eines Senders schnell und exakt bestimmt werden. Bei Einbindung der Messgeräte in das Firmennetz ist die anschließende Dokumentation der Messungen ebenfalls einfach. Der Beitrag erläutert das Prinzip der Phasenrauschmessung und beschreibt die Messdatenaufnahme und -auswertung unter Verwendung der Instrument-Toolbox MATLAB.

Was ist Phasenrauschen?

Zu den wichtigen Eigenschaften von Signalquellen zählen nicht nur die Frequenz und die Leistung, sondern auch Lang- und Kurzzeitstabilität. Das Phasenrauschen von Umsetzoszillatoren bei Empfängern bestimmt beispielsweise dessen Empfindlichkeit bei Anwesenheit eines starken Signals im Nachbar kanal. Bei Sendern ist das Phasenrauschen des Sendeoszillators neben den Eigenschaften des Modulators mit verantwortlich für die abgestrahlte Leistung in den Nachbar kanälen. Dem Phasenrauschen der Oszillatoren oder Synthesizer und dessen Messung kommt daher bei Funkübertragungssystemen eine große Bedeutung zu.

Das Ausgangssignal eines idealen Oszillators wird wie folgt berechnet:

$$u(t) = U_0 \sin(2\pi f_0 t)$$

► Autor

Dipl.-Ing. JOHANNES GANZERT ist Applikationsingenieur Firmware/Software im Geschäftsbereich Messtechnik, Signalanalyse und EMV-Messtechnik bei Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG; Mühlendorfstraße 15, D-81671 München
Fon: 089/4129-0, Fax: 089/4129-12164
johannes.ganzert@rsd.rohde-schwarz.com

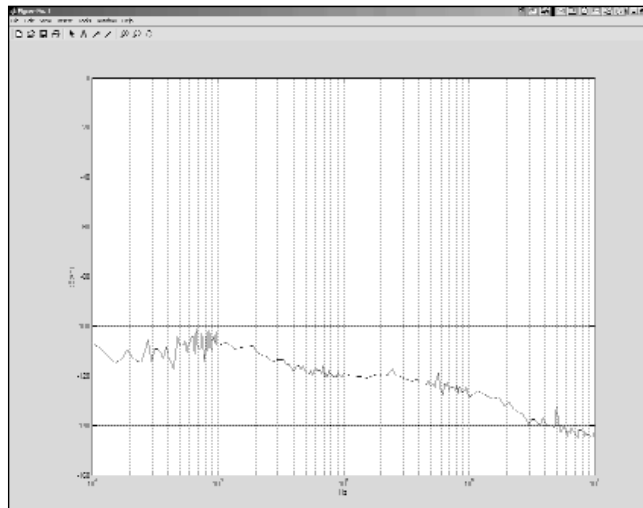


Abb. 1:
Phasenrauschen eines
Signalgenerators.
MATLAB – Diagramm

U_0 = Amplitude des Signals
 f_0 = Frequenz des Signals und
 $2\pi f_0 t$ = Phase des Signals

Beim realen Signal variiert sowohl die Amplitude als auch die Phase des Signals:
 $u(t) = (U_0 + e(t)) \sin(2\pi f_0 t + \Delta j(t))$
wobei

$e(t)$ = Amplitudenschwankung des Signals und
 $\Delta j(t)$ = Phasenschwankung oder Phasenrauschen des Signals.

Phasenschwankungen lassen sich in zwei Arten kategorisieren:

- Deterministische Phasenschwankung
- zufällige Phasenschwankungen (= Phasenrauschen)

Im folgenden wird das Phasenrauschen betrachtet. Ein Maß dafür ist die Einseitenband-Rauschleistungsdichte bezogen auf ein Hertz Bandbreite. In der Praxis benutzt man meistens den Einseitenbandrauschabstand L zur Charakterisierung der Phasenrauscheigenschaften eines Oszillators. Er ist definiert als das Verhältnis der Rauschleistung in einem Seitenband gemessen in 1 Hz Bandbreite zur gesamten Signalleistung bei einem Frequenzabstand f_m vom Träger.

$$L(f_m) = \frac{P_{SSB} [1Hz]}{P_{Signal}}$$

Wenn die Modulationsseitenbänder durch Rauschen sehr klein sind, d.h., der Phasenhub sehr viel kleiner als 1 rad ist, kann die Rauschleistungsdichte in den Einseitenbandrauschabstand umgerechnet werden. Einseitenbandrauschabstand wird meist im logarithmischen Maßstab angegeben. Die Einheit ist daher dBc/Hz.

Messmethoden

Die einfachste und schnellste Methode, das Phasenrauschen eines Oszillators zu bestimmen, ist die direkte Messung mit einem Spektrumanalysator. Dabei sind jedoch folgende Voraussetzungen an den Spektrumanalysator zu stellen:

- Die Drift des Lokaloszillators muss gegenüber der Ablaufzeit der Spektrumanalysators klein sein, da sonst der Oszillator während der Ablaufzeit seine Frequenz verändert und damit falsche Messergebnisse erzielt werden. Diese Voraussetzung ist bei den in der Kommunikationstechnik üblichen Synthesizerquellen immer erfüllt, da diese an eine stabile Referenz angebunden sind
- Das Phasenrauschen der internen Oszillatoren des Spektrumanalysators muss genügend niedrig sein, damit die Eigenschaften des Messobjekts bestimmt werden können und nicht die Eigenschaften des Spektrumanalysators gemessen werden

- ▶ Das thermische Rauschen des Spektrumanalysators muss niedriger, als die zu messende Rauschleistung sein

Moderne Spektrumanalysatoren haben spezielle Markerfunktionen für die Messung des Phasenrauschens. Diese haben allerdings den Nachteil, dass sie das Ergebnis nur für einen Frequenzwert liefern. Für die Bestimmung der Phasenrauschcharakteristik über ein ganzes Frequenzband ist die Einzelmessung ungeeignet. Im Folgenden wird ein Verfahren vorgestellt, welches sehr flexibel auf die zu bestimmenden Phasenrauschwerte angepasst werden kann.

Spektrumanalysatoren der FSP / FSU Familie unterstützen eine Betriebsart, in der Messungen an einer frei definierbaren Liste von Frequenzpunkten durchgeführt werden können. Dabei können für jeden Punkt in der Liste folgende Parameter unterschiedlich definiert werden:

- ▶ Auflöseseitenbreite
- ▶ Videobandbreite
- ▶ Referenzpegel
- ▶ Eingangsdämpfung
- ▶ Messzeit

Im Gegensatz zu dem Verfahren, bei dem mehrere Sweeps mit unterschiedlicher Filter- und Pegelinstellung gemacht werden, wird bei der Liste nur an den interessierenden Frequenzpunkten gemessen. Filter- und Pegelinstellung können pro Frequenzwert optimal auf die Ablage von der Trägerfrequenz angepasst werden. Es ergibt sich somit die minimale Messzeit für den gesamten Ablauf.

Zuerst wird das Trägersignal ermittelt. Dies erfolgt mit normalen Markersuchfunktionen. Dann wird der List-Modus eingestellt. Da die Frequenzliste maximal 100 Punkte aufnehmen kann, wurden im vorliegenden Beispiel eine Liste pro Dekade vermessen. Nach Aufnahme der Messwerte werden diese in MATLAB entsprechend dem verwendeten Auflösefilter und dem Pegel des Trägersignals in den Phasenrauschwert umgerechnet. Weiterhin muss ein Korrekturfaktor für die Filtercharakteristik berücksichtigt werden. Abschließend kann das Diagramm mit MATLAB Funktionen sehr einfach erstellt werden. Abb. 1 zeigt das Phasenrauschen eines Signalgenerators mit einem Trägersignal von 0 dBm bei 1GHz.

Anbindung des Spektrumanalysators an MATLAB

Die Instrument-Toolbox von MATLAB bietet eine ganze Reihe von Funktionen zur Kommunikation mit Messgeräten. Neben IEC-Bus

und serieller Schnittstelle wird auch die VISA-Bibliothek unterstützt. Diese zeichnet sich durch Unabhängigkeit vom aktuell verwendeten Ein-/Ausgabekanal aus. Lediglich beim Öffnen der Schnittstelle muss über den Resource-Deskriptor angegeben werden, welche Schnittstelle verwendet werden soll. Bei den Spektrumanalysatoren FSP/FSU mit LAN-Anbindung sieht dies wie folgt aus:

```
% Create VISA object for FSP with IP address
89.10.66.41
vi=visa('ni', 'RSIB::89.10.66.41::INSTR');
```

Anschließend werden die Eigenschaften der Schnittstelle konfiguriert und der Kanal geöffnet:

```
% increase I/O buffer size, set timeout to 3s
vi.InputBufferSize = 100000;
vi.OutputBufferSize = 100000;
set(vi, 'Timeout', 3);
```

```
% Open device connection
fopen(vi);
```

Ab diesem Punkt wird mit den Standardfunktionen fprintf(), fscanf(), fread() und fwrite() gearbeitet. Beim Wechsel auf einen anderen Kommunikationskanal muss hier nichts verändert werden:

```
% Init device and identify instrument
fprintf(vi, '*RST;*CLS;*IDN?');
IdStr = fscanf(vi, '%s');
```

Nach Beendigung der Kommunikation mit dem Gerät wird der Kommunikationskanal wieder geschlossen:

```
% Close device connection
fclose(vi);
```

Zusammenfassung

Phasenrauschen über eine Frequenzliste zu messen, ist eine effiziente Methode, die Charakteristik eines Oszillators benutzerspezifisch zu bestimmen. Darüber hinaus bietet die Anbindung der Spektrumanalysatoren in MATLAB über LAN eine einfache Möglichkeit, Messdaten mit Simulationsdaten zu kombinieren und gegeneinander zu vergleichen. Selbstverständlich sind auch komplexe benutzerspezifische Auswertungen und graphische Darstellung der Messdaten möglich.

TEST

www.publish-industry.net
more @ click TK3B0202