



## Application of Spectral Analysis in the Metrological Verification of Measuring Generators and Spectrum Analyzers

Marieta MARINOVA, Krasimir BOSILKOV

Kozloduy NPP PLC, Bulgaria  
e-mails: [mgmarinova@npp.bg](mailto:mgmarinova@npp.bg), [kkbosilkov@npp.bg](mailto:kkbosilkov@npp.bg)

### Abstract

The article examines the application of the spectral analysis in the methods of metrological verification of measuring generators and spectrum analyzers – the method, the technical means and the way of processing the results of the verification of this radio equipment owned by Kozloduy NPP.

**Keywords:** metrological verification, generator, spectrum analyzer, spectral analysis

## Приложение на спектралния анализ при метрологичната проверка на измервателни генератори и анализатори на спектър

Мариета Г. МАРИНОВА, Красимир К. БОСИЛКОВ

### 1. Увод

Измервателните генератори се използват за формиране на сигнал с необходимата амплитуда и честота. Спектралният анализ, който е част от метрологичната проверка, се реализира с анализатор на спектър Anritsu MS2717A.

Методиката се отнася за измервателни генератори, които:

- формират сигнал в честотен диапазон  $1 \mu\text{Hz} \div 350 \text{ MHz}$  с точност 1 ppm;
- имат обхват на измерваната амплитуда  $0 \div 20 \text{ Vpp}$ , допустима абсолютна грешка при измерване на амплитуда  $\geq \pm 0,15 \%$ ;
- честота на кварцовия генератор: 1, 5, 10 MHz с допустима грешка 1 ppm;
- имат изкривяване на хармониците  $\leq (-70 \text{ dBc} \div -40 \text{ dBc})$ ;

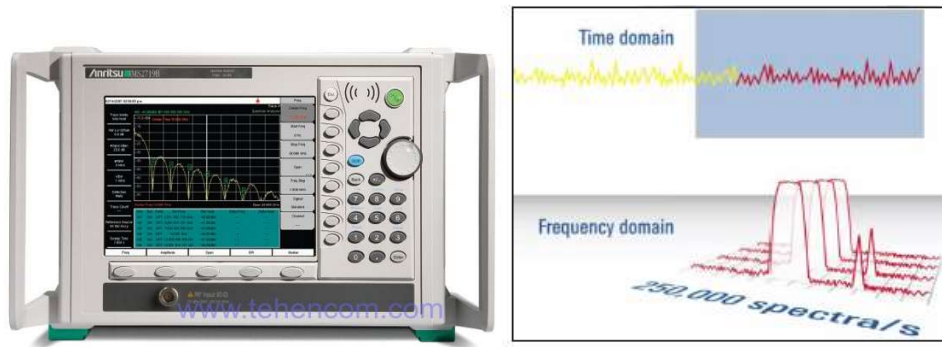
Спектралните анализатори се използват за анализ на честотния спектър на радиочестоти и аудиосигнали, за измерване на честота и честотни разлики, абсолютна и относителна мощност, различни видове модулации, нелинейни изкривявания, шум.

С цел осигуряване на проследимост на резултатите от измерванията и извършването на тяхната периодична метрологична проверка се наложи разработването на настоящата методика. Като еталон, който ще обезпечи проверката на анализаторите на спектър, е избран високочестотен опорен генератор R&S SMA 100A-B103. Характеристиките на SMA 100A-B103: честотен диапазон от 9 kHz до 3 GHz с точност Time Base Error  $\pm 1 \cdot 10^{-8}$  и амплитуда от минус 145 dBm до 30 dBm, и разделителна способност 0,01 dB, обезпечават метрологичното осигуряване на радиотехническите ни измервания. Чрез използването на този еталон, проверката ще се извършва без да са необходими допълнителни измерител на мощност, адаптер, два сигнал генератора и смесител.

Проверяваните анализатори Anritsu:

- са предназначени за измерване на честота в честотен диапазон 100 kHz ÷ 4 GHz с допустима абсолютна грешка  $\pm 1\text{ppm}/10\text{ г}$ .
- имат лента на честотния обзор (Span) 10 Hz ÷ 4 GHz;
- измерват ниво на мощност в диапазон от (-) 135 dBm ÷ 20 dBm с допустима относителна грешка по ниво  $\pm 0,9\text{ dB}$  за честота 100 kHz ÷ 3 GHz и  $\pm 1,25\text{ dB}$  за честота 3 GHz ÷ 4 GHz.

При проверката се използва метод на пряко измерване на честотата и амплитудата, зададени от SMA 100A-B103, стабилизирани със стандарт на честота.



Фиг. 1 Анализатор на спектър

## 2. Основни положения

Измервателните генератори осигуряват сигнали с различна честота, амплитуда и форма за нуждите на радиотехническите измервания. Намират приложение при работата на честотомери, измервателни уреди и други електронни устройства.

Генераторите се състоят от активен елемент, свързан с избираща система, в която се възбуждат и поддържат трептения с различна форма и честота. Амплитудата и честотата на установените трептения в генератора се определят от режима на работа на активния елемент, параметрите на избиращата система, обратната връзка и товара.

Част от метрологичната проверка на измервателните генератори включва определяне на неравномерността Flatness;

- изкривяването на хармониците при синусоидален сигнал;
- коефициента на изкривяване THD при синусоидален сигнал;
- остатъчният коефициент на нелинейни изкривявания (Spurious);

Анализаторите на спектър осигуряват бързи и точни измервания на радиотехническите величини чрез използване на инструменталните им функции: честота, лента на честотния обзор (Span), амплитуда и широчина на честотната лента.

Метрологичната проверка на анализаторите на спектър включва:

- определяне на точността на остатъчният коефициент на нелинейни изкривявания Spurious Response с включен и изключен предусилвател;
- определяне на точността на отчетеното средноаритметичното ниво на шума Displayed Average Noise Level (DANL) с включен и изключен предусилвател;
- определяне на точността на измерваната амплитуда на измерителя на входно ниво за обхват на Fc от 10 MHz до 4 GHz в режим на Attenuator Off;
- определяне на точността на измерваната амплитуда на атенюатора за обхват на Fc от 10 MHz до 4 GHz в режим на Attenuator On;

- Определяне грешката при измерване на фазовия шум SSB Phase Noise.

## 2.1. Използвани еталони

Еталоните, използвани при проверката, трябва да отговарят на следните изисквания:

- Цифров честотомер Agilent 53220A, честотен диапазон от 1 Hz до 350 MHz, неопределеност  $\pm 1 \cdot 10^{-10}$ .
- Рубидиев стандарт на честота Symmetricom 8040 с годишна стабилност по честота  $1 \cdot 10^{-11}$ ;
- Цифров мултимер Wavetek 1281, обхват по амплитуда: 0.1 ÷ 1000 V, неопределеност  $\pm 500$  ppm
- Измерител на мощност power sensor NRP честотен диапазон от 10 Hz до 3 GHz; точност  $\leq 0,05$  dB;
- Генератор R&S SMA 100A- B103 с честотен диапазон от 9 kHz до 3 GHz и точност по честота Time Base Error  $1.10^{-8}$ ; амплитуда от – 145 dBm до + 30 dBm и точност 0,5 dB.
- Анализатор на спектър Anritsu MS2717A, 100 kHz ÷ 7 GHz, с допустима абсолютна грешка  $\pm 1$  ppm/10 г., ниво на мощност в диапазон от (-) 135 dBm ÷ 20 dBm с допустима относителна грешка по ниво  $\pm 0,9$  dB за честота 100 kHz ÷ 3 GHz и  $\pm 1,25$  dB за честота 3 GHz ÷ 4 GHz.
- термовлагомер.



Фиг.2 Генератор R&S SMA 100A- B103

## 2.2. Извършване на метрологичната проверка

Преди да се започне метрологичното изследване, се извършва административно и техническо проучване на проверявания уред. При измервателните генератори спектралния анализ намира приложение в следните части от метрологичното изследване:

- *Определяне на нелинейните изкривявания THD.* Задава се синусоиден сигнал от генератора с амплитуда 1 Vpp и честота 20 kHz. Използваният еталон, анализатор на спектър, се настройва с амплитуда 8 dBm, централна честота 100 kHz, Span 200 kHz и RBW 1 kHz. Изчислява се мощността на основния сигнал в dBc и коефициента THD, след което се сравнява със стойността му по спецификация.
- *Определяне на остатъчния коефициент на нелинейни изкривявания (Spurious).* Изходният сигнал на генератора се задава като синусоиден сигнал с амплитуда 1 Vpp и честота 100 kHz, 1 MHz, 10 MHz и 30 MHz. Анализаторът на спектър се

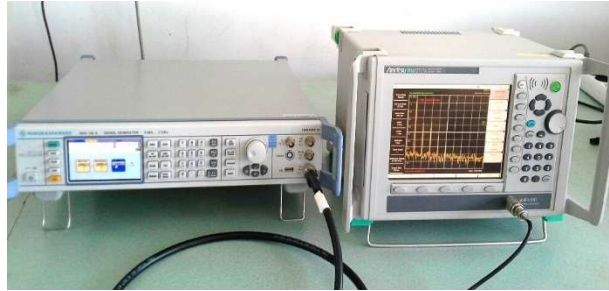
настройва според изискванията на производителя, съгласно таблица. Отчита се амплитудата на основния сигнал (I хармоник) в dBm, честотата и амплитудата на Spurious. Изчислява се в dBc амплитудата на Spurious и се сравняват тези стойности с тези, определени от производителя по спецификация.

- *Определяне на спектралната честота (Spectral purity) на хармониците.* При синусоидален сигнал на проверявания генератор се установява синусоидален сигнал с амплитуда 1Vpp и честота последователно 20 kHz, 100 kHz и 1 MHz; използваният еталон, анализатор на спектър, се установява с амплитуда 8 dBm и честотни настройки: централна честота Fc съответно 100 kHz, Span 200 kHz и RBW 1 kHz; Fc 500 kHz, Span 1 MHz и RBW 2 kHz; Fc 5 MHz, Span 10 MHz и RBW 20 kHz.

При метрологичното изследване на анализаторите на спектър се изпълнява следните проверки:

- При определяне на грешката по честота в диапазона от 100 kHz до 4 GHz от еталона се задава изходен сигнал със синусоидална форма, амплитуда -10 dBm и 6 различни честоти. От менюто на анализатора се избират стойности на централната честота Fc, честотния обзор Span и амплитуда на входния за анализатора сигнал. Оптимална стойност за Span е  $Span = 0,02\% \cdot F_c$ . За всяка стойност на зададената Fc се правят 5 измервания, като се нанася  $\overline{F_{c_{изм}}}$  (средноаритметичната стойност) в протокола от измерването.
- определяне на остатъчния коефициент на нелинейни изкривявания Spurious Response, с включен и изключен атенюатор и ниво – 40 dBm. Съответно при 5 и 7 различни централни честоти и зададена амплитуда – 40 dBm с избор от менюто последователно на Start Freq, Stop Freq, RBW и VBW, се измерва амплитудата на входния сигнал и се определя дали отговаря на условията, зададени от производителя.
- определяне на отчетеното средноаритметичното ниво на шума Displayed Average Noise Level (DANL) в режим Pre Amp On и Pre Amp Off. През товар 50 Ω се задава входен сигнал с амплитуда – 50 dBm и в зависимост от софтуера на проверявания анализатор, чрез последователен избор на команди Start Freq, Stop Freq, RBW и VBW и задаване на съответните стойности на тези величини, се извършват измервания и се изчислява средноаритметичното ниво на шума Displayed Average Noise Level (DANL). Извършва се сравнение със стойността на DANL, определена от производителя по спецификация.
- определяне на абсолютната грешка при измерване на амплитуда с изключен атенюатор. В обхват от 0 dBm до – 50 dBm се извършва проверка на точността по амплитуда за 3 различни централни честоти, съответно в обхвата на kHz, MHz и GHz. В зависимост от софтуера на проверявания анализатор избираме подходящия обхват и отчитаме стойностите на амплитудата.
- определяне на абсолютната грешка при измерване на амплитуда с включен атенюатор и Fc 100 MHz. В диапазона от – 50 dBm до 0 dBm и при зададена стойност от атенюатора през 10 dB от 0 до 50 dB, се измерва амплитудата на входния сигнал и се определя дали абсолютната грешка отговаря на стойността, определена от производителя по спецификация.
- определяне на грешката при проверка на фазовия шум SSB Phase Noise Verification. На анализатора се подава сигнал с амплитуда 13 dBm и честота 4 GHz. Чрез последователно подаване на команди се задава на RBW 1kHz и VBW 3 Hz. Избират се последователно команди Shift, Trace, Trace A Operations, #

Average, въвежда се стойността 4, след това се подава команда Enter. След появата на монитора Trace Count 4/4, следва последователно подаване на командите Marker, Peak Search, Delta On/Off, 10 kHz. В същия ред се извършва проверката за 20 kHz, 30 kHz и 100 kHz.



Фиг.3 Проверка на анализатор на спектър

### 3. Резултати и дискусия

#### 3.1.Измервателни генератори

Измерените стойности на амплитудата, dBm, получени при измерванията, от I-ия до V-ия хармоник, се използват за изчисляване на амплитудата в dBc като

$$B_j = U_{изм_j} - U_{изм_1} \quad (1)$$

където:

$B_j$  - изчислената стойност на амплитудата в [dBc] от II-ия до V-ия хармоник;

$U_{изм_j}$  – стойността на амплитудата в [dBm], измерена с анализатора на спектър;

$U_{изм_1}$  - стойността на амплитудата на I-ия хармоник в [dBm], измерена с анализатора на спектър.

$$C_j = 10^{B_j/20} \quad (2)$$

където:

$C_j$  е изчислената стойност на амплитудата в [dBc] за всеки хармоник.

Измерените резултати и изчислените стойности се използват за пресмятане на пълния коефициент на изкривяване Total Harmonic Distortion (THD):

$$THD = \frac{\sum_{j=2}^7 C_j^2}{C_1} \quad (3)$$

Сравнява се изчислената стойност на THD с тази, определена по спецификация.

При определяне на остатъчния коефициент на нелинейни изкривявания (Spurious) се използват резултатите от предишните измервания.

Измерва се с анализатора на спектър амплитудата  $C_j$  на I-ия хармоник, амплитудата и честота на шума (Spurious).

$$C_j = 10^{L_{s_i} - L_j / 20}, \text{ dBc} \quad (4)$$

където  $U_{s_i}$  е  $i$ -тата стойност на амплитудата на шума (Spurious);  
 $U_j$  е стойността на  $j$ -тата амплитуда на  $I$ -ия хармоник.

### 3.2. Анализатори на спектър

При проверката по честота за всяка стойност на централната честота се изчислява  $\overline{Fc}_{изм_j}$  – средноаритметичната стойност на честотата за  $j$ -тата зададена стойност на централната честота по формулата:

$$\overline{Fc}_{изм_j} = \frac{\sum_{i=1}^5 Fc_{изм_i}}{5} \quad (5)$$

Определя се абсолютната грешка  $\Delta_j$ , където:

$$\Delta_j = \overline{Fc}_{изм_j} - Fc_{оѐиств_j} \quad (6)$$

Сравняват се  $\Delta_j$  и  $\Delta_{доп}$  по формулата:

$$\Delta_j \leq \Delta_{доп} \quad (7)$$

където  $\Delta_{доп}$  абсолютната допустима грешка съгласно ТОИЕ.

Измерените стойности за амплитудата, dBm, получени при измерванията, чрез които се отчита остатъчният коефициент на нелинейни изкривявания Spurious Response с включен предусилвател (съответно в режим Pre Amp On и Pre Amp Off), се проверява дали отговарят на условието:

$$L_j \leq L_{доп} \quad (8)$$

където:

$L_j$  е измерената стойност на амплитудата от спектралния анализатор;

$L_{доп}$  е стойността на амплитудата съгласно ТОИЕ.

Определянето на точността на отчетеното средноаритметичното ниво на шума Displayed Average Noise Level (DANL) в режим Pre Amp On и Pre Amp Off, с ниво – 50 dBm, се извършва при 4 честоти и се изчислява  $DANL_{j10Hz}$  за 10 Hz RBW по следната формула:

$$\left[ DANL_{j100\text{ kHzRBW}} - 10 \log \left( \frac{100\text{ kHz}}{10\text{ Hz}} \right) \right] = [DANL_{j100\text{ kHzRBW}} - 40] \quad (9)$$

Ако стойността, изчислена по (6), отговаря на условието:

$$|DANL_j| \leq |DANL_{доп}| \quad (10)$$

където  $DANL_{доп}$  е определен по спецификация, анализаторът отговаря на изискванията на производителя.

При определяне на точността на измерителя по ниво в режим на Attenuator off от Fluke 9640 се задава амплитуда,  $L_{оѐиств_j}$ , от 0,0 dBm до –50,0 dBm при 3 различни централни честоти Fc (10, 20 и 50 MHz), и със спектралния анализатор се отчита амплитудата на сигнала,  $L_j$ , dBm (т.6.3.7.).

Грешката, dB, се определя в логаритмични единици dB по следната формула:

$$\delta_j = 10 \cdot \lg \frac{L_{\text{действ}_j}}{L_j} \quad (11)$$

За получените резултати за  $\delta_j$ , dB, се проверява дали отговарят на условието:

$$|\delta_j| \leq |\delta_{\text{дон}}| \quad (12)$$

където  $\delta_{\text{дон}}$  е грешката от спецификацията на производителя.

Проверяваният спектрален анализатор съответства на изискванията за точност на измерването, ако за всички точки на проверка и при различни стойности на входния атенуатор в dB е изпълнено условието (8).

Измерената стойност се преобразува в dBc/Hz чрез следната формула:

$$dBc/Hz = -|измерен dB| - \left( 10 \log \left( \frac{RBW}{1Hz} \right) \right) \quad (13)$$

Съответно за 1 kHz RBW:

$$10 \log \left( \frac{RBW}{1Hz} \right) = 30 \quad (14)$$

Така, че

$$dBc/Hz = -|изм. dB| - 30 \quad (15)$$

В случай на несъответствие с изискванията на която и да е проверявана метрологична характеристика на анализатора, в т. 5 от протокола се отбелязва „не съответства на изискванията“, а в заключението проверявания анализатор се обявява за негоден.

#### 4. Заключение

Данните от извършената проверка на измервателния генератор и анализатора на спектър, се оформят в протокол от метрологична проверка.

На уредите, които отговарят на изискванията на настоящата методика, се издава свидетелство за метрологична проверка съгласно изискванията и се маркират със знак за годност.

На генераторите и анализаторите на спектър, които не отговарят на изискванията на настоящата методика, се издава известие за негодност и се маркират със знак за забрана.

#### Литература

1. Service Manual AFG 3000 Series, Arbitrary/ Function Generators 071-1640-04
2. Service Guide Agilent 33220 A.20 MHz Function/ Arbitrary/Waveform Generator. Publication Number 33220-90010
3. FLUKE Guide to Calibrating Your Spectrum Analyzer
4. MS2717A, Economy Spectrum Analyzer Maintenance Manual
5. User Guide Spectrum Master MS 2711D