



Wykorzystanie programowalnego generatora arbitralnego 33120A do kalibracji mierników zniekształceń nieliniowych

KRZYSZTOF GŁÓWCZEWSKI

2. Wojskowy Ośrodek Metrologii, Zakład Kalibracji Elektrycznych Przyrządów Pomiarowych,
85-915 Bydgoszcz, ul. Powstańców Warszawy 2, k.glowczewski@metrologia.wp.mil.pl

Streszczenie. W referacie przedstawiono nowe spojrzenie na bezpośrednią kalibrację mierników zniekształceń nieliniowych za pomocą programowalnego generatora arbitralnego 33120A. Generator ten w układzie wraz ze sterownikiem z wbudowaną kartą pomiarową oraz zaimplementowanym w sterowniku programie hGenerator napisanym w środowisku C — staje się generatorem sygnałów — kalibratorem o wzorcowej ustawialnej wartości współczynnika zniekształceń nieliniowych.

Słowa kluczowe: generator arbitralny 33120A, zniekształcenia nieliniowe, programowanie, podwójna aproksymacja

1. Wstęp

Idealny sygnał sinusoidalny można opisać wzorem:

$$u_1(t) = U_1 \sin(\varphi_1 + \omega t). \quad (1)$$

Każda zmiana kształtu krzywej (np. obcięcie szczytów spowodowane przesterowaniem wzmacniacza) od idealnej sinusoidy spowoduje pojawienie się w widmie częstotliwości dodatkowych prążków o częstotliwościach n -krotnych w stosunku do częstotliwości sygnału podstawowego.

$$f_2 = 2f_1, \quad (2)$$

$$f_3 = 3f_1, \quad (3)$$

$$\vdots$$

$$f_n = nf_1. \quad (4)$$

W naszych rozważaniach przyjmujemy, że liczba harmoniczných będzie wynosić $n = 6$, zakładamy, że amplitudy wyższych harmoniczných są pomijalne. Amplitudy pięciu kolejnych harmoniczných można opisać więc wzorem:

$$u_2(t) = U_2 \sin(\varphi_2 + 2\omega t), \quad (5)$$

$$\vdots$$

$$u_6(t) = U_6 \sin(\varphi_6 + 6\omega t). \quad (6)$$

Relacje pomiędzy poszczególnymi amplitudami są zależne od charakteru zniekształceń.

Parametrem dającym informację, jak bardzo sygnał rzeczywisty jest wierny kształtem sygnałowi sinusoidalnemu, jest współczynnik zniekształceń nieliniowych h wyrażony w [%]. Postać uogólniona wzoru na zniekształcenia nieliniowe:

$$h = \left(\frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1} \right) 100 [\%]. \quad (7)$$

Oczywiście postać ogólną można przekształcić do opisu omawianego przypadku.

$$h = \left(\frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + U_5^2 + U_6^2}}{U_1} \right) 100 [\%]. \quad (8)$$

2. Generacja sygnału sinusoidalnego przy pomocy generatorów arbitralnych

Generowanie sygnału sinusoidalnego może być realizowane w oparciu o generatory arbitralne. Generator składa się z trzech zasadniczych bloków: pamięci macierzy przebiegu, przetwornika cyfrowo-analogowego, układu sterującego.

Generacja sygnału oparta jest na wysyłaniu z określonym odstępem czasowym wartości chwilowych generowanego przebiegu, które wcześniej zostały zapisane w pamięci generatora. Stosując taką metodę generacji, uzyskuje się dowolność co do kształtu generowanego sygnału.

3. Generowanie macierzy przebiegu podstawowego

Ważnym elementem podczas projektowania arbitralnego systemu jest określenie współczynnika zniekształceń nieliniowych h podczas generowania sygnału sinusoidalnego. Własny współczynnik zniekształceń nieliniowych stanowi dolną granicę dla możliwych do wygenerowania przebiegów zniekształconych. Projekt został oparty o generator 33120A. Zniekształcenia nieliniowe zależą od:

- rozdzielczości przetwornika cyfrowo-analogowego ($-2048 \dots +2048$);
- ilości próbek przypadających na opisanie okresu przebiegu (max. 16000).

Po zapisaniu do pamięci generatora 16000 próbek przebiegu sinusoidalnego o poziomach od -2047 do $+2047$, uzyskuje się współczynnik zniekształceń nieliniowych równy $0,03\%$.

4. Zapis macierzy przebiegu do pamięci generatora arbitralnego poprzez szynę IEEE-488

W programie generowana jest macierz próbek, którą należy przepisać do pamięci generatora tzw. pamięci ulotnej. Do tego celu należy użyć komendy

```
DATA;DAC VOLATILE,<VAL0>,...,<VALn>
```

zaimplementowanej w generatorze. Przed zapisem do pamięci ulotnej należy przełączyć generator na generację przebiegu z pamięci stałej (np. na sinus). Producent generatora nie dopuszcza możliwości zapisu do pamięci volatile w czasie, gdy jest generowany przebieg. Po zakończeniu zapisu do pamięci generator należy ustawić w tryb pracy arbitralnej.

Przed przełączeniem generatora w generację przebiegów arbitralnych należy wykonać następujące polecenia:

- reset generatora, powrót do ustawień domyślnych komendą:

```
*RST
```

- wyczyszczenie wszystkich bloków pamięci przebiegów komendą:

```
DATA:DEL:ALL
```

- ustawienie napięcia wyjściowego i offsetu komendą:

VOLT<VAL>

VOLT:OFFS<VAL>

- ustawienie częstotliwości powtarzania zadanego przebiegu komendą:

FREQ<VAL>

- ustawienie bloku pamięci volatile, jako źródła danych opisu kształtu przebiegu komendą:

FUNC:USER VOLATILE

- przełączenie generatora w arbitralny tryb pracy komendą:

FUNC:SHAP USER

5. Zasada generacji sygnału zniekształconego nieliniowo metodą pojedynczej aproksymacji

Proces wytwarzania sygnału zniekształconego polega na generowaniu macierzy próbek odzwierciedlających przebieg jednego okresu. Na kształt generowanego przebiegu ma wpływ zadana amplituda podana w rozdzielczości przetwornika cyfrowo-analogowego U oraz wymagany do osiągnięcia współczynnik zniekształceń nieliniowych. Ze względu na sposób realizacji obliczeń zmiennoprzecinkowych przez komputery, nie ma możliwości wyznaczenia jednoznacznych parametrów generacji macierzy. W związku z tym macierze generowane są w oparciu o kolejne aproksymacje średniokwadratowej amplitudy harmonicznych regulowanej współczynnikiem korekcji amplitudy d do otrzymania zadanego współczynnika zniekształceń nieliniowych. W tym celu wzory (1), (5), (6) należy zmodyfikować o parametr d , ich postać jest następująca:

- wartość chwilowa składowej podstawowej sygnału zniekształconego:

$$u_1(t) = U_1 \sin(\varphi_1 + \omega t), \quad (9)$$

$$\varphi_1 = 0, \quad (10)$$

- wartość chwilowa n -tej harmonicznej sygnału zniekształconego, postać ogólna:

$$u_n(t) = dk_n U_1 \sin(\varphi_n + n\omega t). \quad (11)$$

Na podstawie wzoru (11) można wyprowadzić szczegółowe wzory dla pięciu kolejnych harmonicznych:

- wartość chwilowa drugiej harmonicznej sygnału zniekształconego:

$$u_2(t) = dk_2 U_1 \sin(\varphi_2 + 2\omega t), \quad (12)$$

— wartość chwilowa trzeciej harmonicznej sygnału zniekształconego:

$$u_3(t) = dk_3 U_1 \sin(\varphi_3 + 3\omega t), \quad (13)$$

— wartość chwilowa czwartej harmonicznej sygnału zniekształconego:

$$u_4(t) = dk_4 U_1 \sin(\varphi_4 + 4\omega t), \quad (14)$$

— wartość chwilowa piątej harmonicznej sygnału zniekształconego:

$$u_5(t) = dk_5 U_1 \sin(\varphi_5 + 5\omega t), \quad (15)$$

— wartość chwilowa szóstej harmonicznej sygnału zniekształconego:

$$u_6(t) = dk_6 U_1 \sin(\varphi_6 + 6\omega t). \quad (16)$$

W wyniku sumowania amplitud wartości chwilowych n -harmonicznych otrzymujemy postać ogólną wzoru na wartość chwilową sygnału zniekształconego:

$$u_{wy}(t) = \sum_{n=1}^{\infty} u_n(t). \quad (17)$$

Dla $n = 6$ otrzymujemy postać szczegółową:

$$u_{wy}(t) = \sum_{n=1}^6 u_n(t). \quad (18)$$

Po podstawieniu otrzymujemy wyjściowy wzór na wartość chwilową sygnału zniekształconego, postać ogólna:

$$u_{wy}(t) = U_1 \sin(\varphi_1 + \omega t) + \sum_{n=2}^{\infty} dk_n U_1 \sin(\varphi_n + n\omega t). \quad (19)$$

Dla $n = 6$ otrzymujemy postać szczegółową:

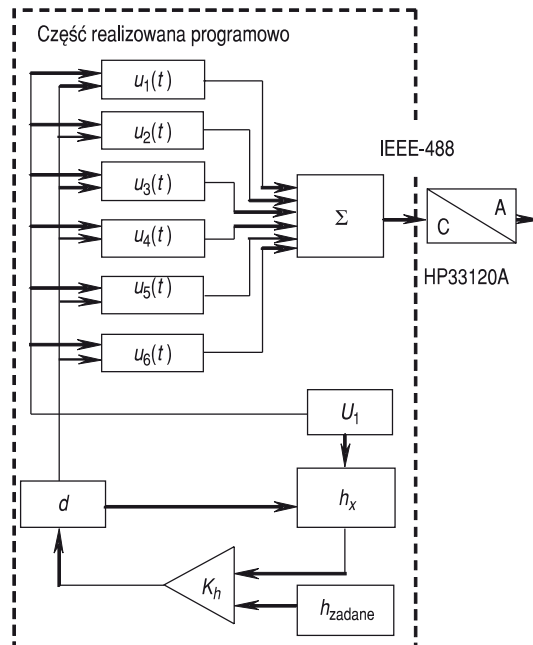
$$u_{wy}(t) = U_1 \sin(\varphi_1 + \omega t) + \sum_{n=2}^6 dk_n U_1 \sin(\varphi_n + n\omega t), \quad (20)$$

gdzie: d — współczynnik regulacji wypadkowej amplitudy harmonicznego sygnału zniekształconego;
 k_n — współczynnik odpowiedzialny za wartość amplitudy poszczególnych harmoniczných;
 φ_n — fazy początkowe dla kolejnych przebiegów składowych definiujące charakter zniekształceń;
 ω — pulsacja;
 U_1 — amplituda składowej podstawowej;
 n — liczba harmoniczných.

Ostatecznie otrzymujemy sygnał zespolony, który charakteryzuje się współczynnikiem zniekształceń zgodnie ze wzorem, postać szczegółowa:

$$h_x = \left(\frac{\sqrt{\sum_{n=2}^6 (dk_n U_1)^2}}{U_1} \right) 100 [\%]. \quad (21)$$

Proces zaczyna się od przyjęcia początkowej wartości amplitudy U_1 .



Rys. 1. Generacja sygnału zniekształconego nieliniowo metodą pojedynczej aproksymacji

Następnie w kolejnych iteracjach ze stałym krokiem (0,001) zwiększany jest parametr d od wartości 0 i obliczany ze wzoru (21) współczynnik h_x . Otrzymany h_x porównywany jest przez komparator K_h z h_{zadane} (patrz schemat blokowy). Jeśli spełniony został warunek:

$$h_x \in < h - \Delta_h; h + \Delta_h >, \quad (22)$$

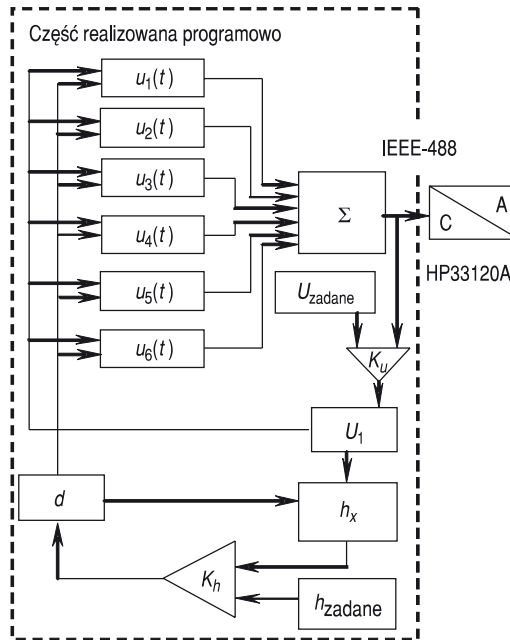
gdzie: Δ_h — założony próg aproksymacji;
 h_x — współczynnik zniekształceń uzyskany podczas pojedynczej iteracji;
 h — zadany współczynnik zniekształceń,

iterowanie jest przerwane. Wartość zmiennej d jest uznawana za wartość pozwalającą przy przyjętych współczynnikach odpowiedzialnych za wartość amplitud poszczególnych harmonicznych k_2, k_3, k_4, k_5, k_6 na uzyskanie oczekiwanego stosunku sumy kwadratowej amplitud harmonicznych do amplitudy prądu podstawowego U_1 z założonym błędem aproksymacji Δ_h .

6. Zasada generacji sygnału zniekształconego nieliniowo metodą podwójnej aproksymacji

Ponieważ w macierzy otrzymanej metodą pojedynczej aproksymacji może wystąpić przypadek, że amplituda sygnału przekracza zakres przetwarzania przetwornika cyfrowo-analogowego, konieczne jest przeprowadzenie kolejnej aproksymacji do zadanej wartości amplitudy U_{zadane} z zadaniem błędem aproksymacji amplitudy Δ_U (komparator K_u na schemacie blokowym).

Wyeliminowanie problemu amplitudy uzyskuje się dzięki zastosowaniu drugiej pętli regulacji na źródle napięcia odniesienia U_1 . Poprzednio przyjęta wartość U_1 jest zwiększana z zadaniem krokiem i rozpoczyna się ponownie proces poszukiwania parametru d dla nowego U_1 . Proces tworzenia macierzy kończy się, gdy został spełniony warunek (22) oraz gdy amplituda sygnału nie przekracza zakresu przetwarzania przetwornika cyfrowo-analogowego. Następnie macierz jest zapisywana do pliku tekstowego oraz kopiowana jako blok danych do pamięci przebiegu generatora arbitralnego. Po skopiowaniu bloku danych generator arbitralny rozpoczyna generację zadanego przebiegu.



Rys. 2. Generacja sygnału zniekształconego nieliniowo metodą podwójnej aproksymacji

7. Generator, ustawienia i konfiguracja

Implementacja metody generującej macierz dla całkowitego sygnału zniekształconego została napisana w języku C.

Konfiguracja programu *hgen* — plik *hgenerator.ini*:

```
[HP_33120A]
```

```
IEEE-488_address=9
```

```
InstrumentDriver=ieee488_hgenerator_33120a.dll
```

```
#InstrumentDriver=dummy_hgenerator.dll
```

Plik konfiguracyjny pozwala na ustawienie parametrów pracy, które czytane są podczas inicjacji aplikacji. Umieszczenia znaku # w pierwszej kolumnie spowoduje, że linia będzie traktowana przez komputer jako komentarz.

Sekcja *[HP_33120A]* dotyczy generatora 33120A.

Parametr *IEEE-488_address* określa adres szyny IEEE-488, pod którym pracuje generator.

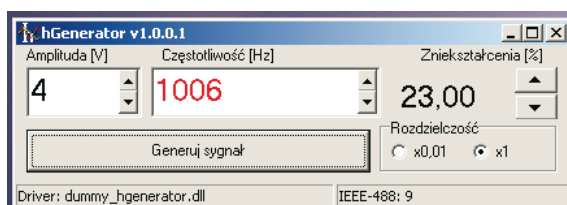
Parametr *InstrumentDriver* określa plik sterownika do komunikacji z przyrządem. Dla pracy demonstracyjnej należy użyć sterownika *dummy_hgenerator.dll*, który programowo pełni funkcję generatora arbitralnego. Wówczas do uruchomienia aplikacji nie jest wymagana karta z interfejsem IEEE-488 oraz generator. Omawiany sterownik jest ustawiany jako domyślny w przypadku nieodnalezienia

zdefiniowanego sterownika. Sterownik *ieee488_hgenerator_33120a.dll* przeznaczony jest do pracy z generatorem 33120A oraz z kartą NI-488 (National Instruments).

Istnieje możliwość dobudowania sterowników, które umożliwią obsługę innych typów generatorów arbitralnych. Możliwe jest również wykorzystanie innych oprócz IEEE-488 interfejsów do komunikacji z generatorem arbitralnym.

8. Uruchomienie aplikacji hGenerator

Po zainstalowaniu aplikacja jest gotowa do uruchomienia. Instalator tworzy na pulpicie ikonę skrót.



Rys. 3. Formularz aplikacji

Formularz aplikacji zawiera:

- nazwę aktualnie załadowanego sterownika przyrządu (pole „Driver” na pasku statusu aplikacji);
- adres przyrządu na szynie IEEE-488 (pole „IEEE-488” na pasku statusu aplikacji);
- przycisk „Generuj sygnał” przeznaczony do uruchamiania procesu generowania przebiegu. Przycisk jest nieaktywny w czasie, kiedy aplikacja wykonuje zadane ustawienia. Przycisk uaktywnia się w momencie, kiedy system jest gotowy do wygenerowania nowych wartości;
- przycisk „Amplituda [V]” przeznaczony do ustawienia wartości amplitudy;
- przycisk „Częstotliwość [Hz]” przeznaczony do ustawienia wartości częstotliwości;
- przycisk „Zniekształcenia [%]” przeznaczony do ustawienia wartości współczynnika zniekształceń nieliniowych, rozdzielczość zmienia się przyciskiem w polu „Rozdzielczość”.

9. Kalibracja mierników zniekształceń nieliniowych

Opisany program hGenerator został stworzony w 2. Wojskowym Ośrodku Metrologii w Bydgoszczy przy użyciu środowiska języka C. Przedstawiona aplikacja

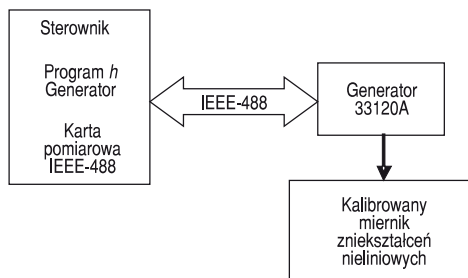
wykorzystywana jest do kontroli metrologicznej mierników zniekształceń nieliniowych z rejonu odpowiedzialności ośrodka. Stanowisko do kalibracji przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Stanowisko do kalibracji mierników zniekształceń nieliniowych

Układ pomiarowy do kalibracji mierników zniekształceń przedstawiony na rysunku 5 składa się z:

- generatora sygnałów arbitralnych HP 33120A;
- sterownika z oprogramowaniem hGenerator i interfejsem IEEE-488 (karta pomiarowa NI-488 producent National Instruments) do generowania macierzy wzorców przebiegów odkształconych;
- kabla logicznego zgodnego ze standardem IEEE-488 (połączenie komputera z generatorem arbitralnym).



Rys. 5. Układ pomiarowy do kalibracji mierników zniekształceń nieliniowych

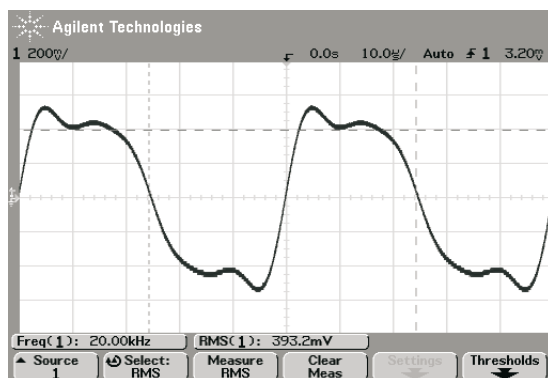
Po połączeniu generatora z komputerem trzeba sprawdzić ustawienie adresu IEEE-488 w generatorze i w konfiguracji (plik hgenerator.ini) programu hGenerator. Następnie należy sprawdzić poprawność działania systemu, badając generowany przez system przebieg zniekształcony przy pomocy oscyloskopu lub analizatora widma.

Proces kalibracji polega na tym, że w formularzu programu hGenerator należy ustawić częstotliwość, amplitudę, współczynnik zniekształceń generowanego arbitralnie przebiegu w zależności od typu kalibrowanego miernika zniekształceń i punktów, w jakich jest kalibrowany.

Przykładowy sygnał sinusoidalny zniekształcony nieliniowo generowany przez HP 33120A sterowany przy użyciu powyższej aplikacji o danych wejściowych podanych w formularzu:

- częstotliwość 20000 Hz,
- amplituda 400 mV,
- zniekształcenia 30%

przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Sygnał sinusoidalny zniekształcony nieliniowo

10. Podsumowanie

Programowalny generator arbitralny HP33120, karta pomiarowa oraz program hGenerator tworzą półautomatyczne stanowisko do kalibracji mierników zniekształceń nieliniowych. Generator HP33120 staje się kalibratorem o wzorcowej ustawialnej wartości współczynnika zniekształceń nieliniowych. Zastosowanie opisanego stanowiska pozwala na skrócenie czasu kalibracji kalibrowanych mierników w stosunku do metod, które były wcześniej stosowane w 2. Wojskowym Ośrodku Metrologii.

Artykuł wpłynął do redakcji 13.06.2011 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w czerwcu 2011 r.

LITERATURA

- [1] Hewlett-Packard Co. *Generator funkcji/Generator dowolnych przebiegów HP 33120A*, 1994.

K. GŁÓWCZEWSKI

**Use of a programmable arbitrary generator 33120A to calibration
nonlinear distortion meter**

Abstract. The paper presents a new perspective on direct calibration of non-linear distortion meter using a programmable arbitrary waveform generator 33120A. This generator, along with the controller with built-in measurement card, and implemented software hGenerator written in C development environment becomes a signal generator — a calibrator of the adjustable coefficient of nonlinear distortion.

Keywords: arbitrary waveform generator 33120A, non-linear distortion, programming, double approximation