

DIGITAL SIGNAL PROCESSING IN PULSE METHOD FOR MEASURING FREQUENCY RESPONSE FUNCTION OF HIGH-CURRENT SHUNT

O.A. Poltoranina, A.V. Rogovyh, E.S. Vasilevskaya
Tomsk Polytechnic University
Lenina Avenue, 30, 634050, Tomsk, Russia
E-mail: nastya_rogovyh@mail.ru

Introduction

Current shunts are employed to measure high currents under significant electromagnetic interference conditions [1, 2]. Investigation of dynamic behavior of the current shunt requires to measure small impedance of the order of dozens or hundreds of microohms [3]. Classical methods for measurement of small impedances need rather expensive metrological equipment, which is available to a limited number of specialized laboratories. There are also so called pulse methods characterize high current shunt dynamic behavior. In this approach, the shunt input is affected by a short current pulse [4]. The input and output shunt signals are measured by means of reference current to voltage transducer and a digital oscilloscope. Then a frequency response functions are calculated using a digital signal processing algorithm. The latter method provides reduced requirements to a source of the input test pulse signal of the shunt.

The object of this paper is the description of digital signal processing method for measuring frequency response function of high-current shunt.

Determination of frequency response functions

In order to measure the frequency response function of high-current shunt, a short current pulse is applied to the shunt input; input and output signals of the shunt are recorded in a digital oscilloscope memory; then spectra of these two signals are computed. In practice, the test signal must be piecewise continuous. The recorded input and output shunt signals are presented by N -element sequences readouts of input signal $x(t_k)$ and output signal $y(t_k)$, where t_k is an acquisition time for k -th sequence element ($1 \leq k \leq N$). Discrete Fourier transform, being applied to the signals, produces spectra of the signals as complex number vectors $X(f_k)$ and $Y(f_k)$ as follows:

$$X(f_k) = \sum_{j=1}^N x(t_j) f_N^{(j-1)(k-1)},$$

$$Y(f_k) = \sum_{j=1}^N y(t_j) f_N^{(j-1)(k-1)},$$

$$f_N = \frac{1}{2\pi} e^{-2\pi i/N},$$

where f_k is a vector of frequencies corresponding to complex vectors $X(f_k)$ and $Y(f_k)$ obtained using the sampling length and Nyquist frequency; i is imaginary unit.

Then, the shunt frequency response $K(f_k)$ can be determined by means of the expression

$$K(f_k) = \frac{Y(f_k)}{X(f_k)}. \quad (2)$$

Then modulus of $K(f_k)$ is the frequency response and argument of $K(f_k)$ is the phase response.

In order to determine the moving averaging time windows for the input W_X and output W_Y shunt signals, one should apply Fourier series expansion of the sequences $x(t_k)$ and $y(t_k)$. Next stage is determination of the spectral bands ΔF_X and ΔF_Y at level -10 dB. Averaging time windows are inversely proportional to the spectra bands. That is, we have the following expressions:

$$W_X = \frac{1}{\Delta F_X}, \quad W_Y = \frac{1}{\Delta F_Y}. \quad (3)$$

Then the smoothed initial signals are calculated by the following formulae:

$$\bar{x}(t_j) = \frac{1}{W_X} \sum_{k=k-\frac{W_X}{2}}^{k+\frac{W_X}{2}} x(t_k),$$

$$\bar{y}(t_j) = \frac{1}{W_Y} \sum_{k=k-\frac{W_Y}{2}}^{k+\frac{W_Y}{2}} y(t_k). \quad (4)$$

The discrete Fourier transform applied to the smoothed signals allows to have their spectral composition:

$$\hat{X}(f_k) = \sum_{j=1}^N \bar{x}(t_j) f_N^{(j-1)(k-1)},$$

$$\hat{Y}(f_k) = \sum_{j=1}^N \bar{y}(t_j) f_N^{(j-1)(k-1)}. \quad (5)$$

Consequently, the accuracy of the proposed method can be increased by means of uniform ensemble averaging over realizations of the smoothed signal spectral components $\hat{X}(f_k)$ and $\hat{Y}(f_k)$ at fixed frequencies f_k . When carrying out n measurements of the input and output shunt pulse signals, averaged spectral signals components $\bar{X}(f_k)$ and $\bar{Y}(f_k)$ can be found by using the following expressions:

$$\bar{X}(f_k) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |\hat{X}_j(f_k)| e^{i \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \arg(\hat{X}_j(f_k))},$$

$$\bar{Y}(f_k) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |\hat{Y}_j(f_k)| e^{i \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \arg(\hat{Y}_j(f_k))}. \quad (6)$$

Then, from expression (5), the shunt frequency response (1) can be rewritten as follows:

$$\bar{K}(f_k) = \frac{\bar{Y}(f_k)}{\bar{X}(f_k)}. \quad (7)$$

Uncertainty of the method for measuring shunt frequency response can be estimated by calculation of the coherence function γ_{xy} between the spectral densities output signal and the test signal as proposed in [4]:

$$\bar{\gamma}_{xy}^2(f_k) = \frac{\left| \sum_{j=1}^n \bar{X}_j^*(f_k) \bar{Y}_j(f_k) \right|^2}{\sum_{j=1}^n |\bar{X}_j(f_k)|^2 \sum_{j=1}^n |\bar{Y}_j(f_k)|^2}, \quad (8)$$

where \bar{X}_j^* is a j-th conjugate complex value of the averaged signal spectral component.

Experimental studies of high-current shunt frequency and phase responses

The proposed method was applied to experimentally determine frequency response for a coaxial high-current shunt that was designed for measurement of pulse current up to 20 kA [2]. The resistance of the shunt is about 170 $\mu\Omega$.

For this experiment, a simple pulse current source was designed. Pulse current source yields a current pulse up to 20 kA with duration 150 μs . The experimental setup is shown in Figure 1.

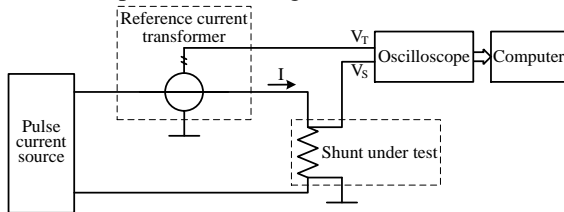


Fig. 1. The experimental setup diagram to determine the shunt frequency response

Figure 2 shows typical waveforms obtained from outputs of the reference current transformer (curve 1) and shunt under test (curve 2); for the sake of clarity the signals in Figure 2 are reduced to the same scale.

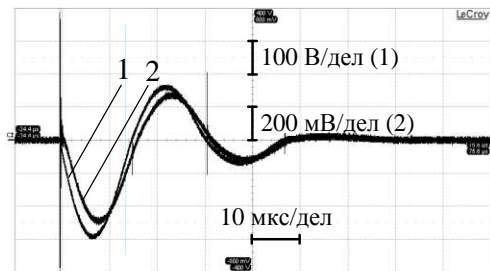


Fig. 2. Output waveforms of reference current transformer (curve 1) and shunt under test (curve 2)

Further, according to the proposed algorithm averaged spectra of signals from outputs of the reference current transformer (curve 1) and shunt under test (curve 2) were determined. These spectra are shown in Figure 3.

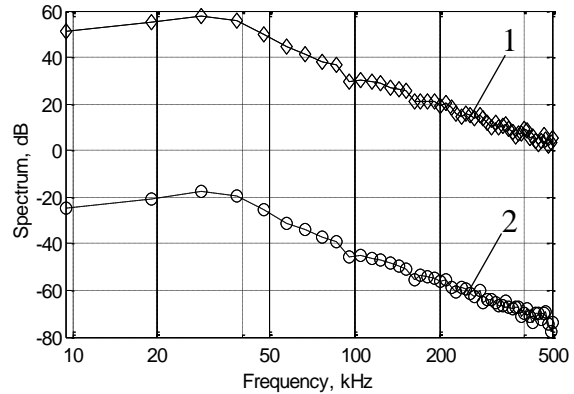
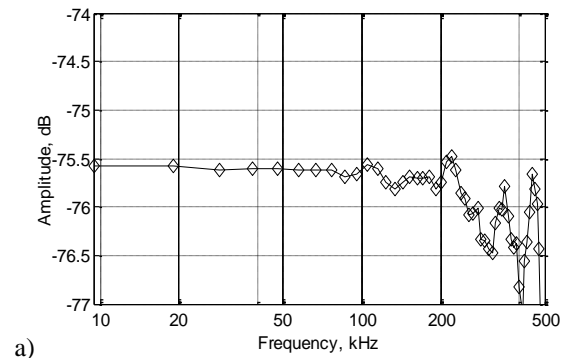
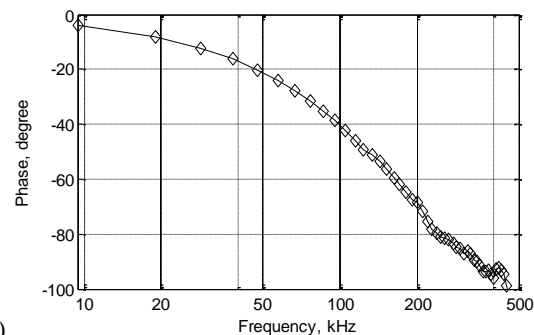


Fig. 3. Spectra of the signals of reference current transformer (curve 1) and shunt under test (curve 2)

Figure 4 shows final outcomes of application of the proposed algorithm to the experimental data; it can be seen that in the bandwidth up to approx. 200 kHz the shunt under test has a linear gain about -75.5 dB.



a)



b)

Fig. 4. Frequency (a) and phase (b) response functions of the high-current shunt

Conclusion

Pulse method for analysis of high-current shunts dynamic behavior has been proposed and experimentally investigated. The method includes ensemble averaging of spectral components of the pulse signals that results in increase of shunt frequency response measurement accuracy.

References

1. S.V. Muravyov, V.N. Borikov, N.M. Natalinova, "A computer system: measurement of welding

surge currents”, Measurement and control, vol. 42, no. 3, pp. 44–47, 2009.

2. S.V. Muravyov, V.N. Borikov, S.A. Kaysanov, “Computer system for measurement of welding process parameters”, Proceedings of the XVIII IMEKO World Congress (September 22-27, 2006, Rio de Janeiro, Brazil), 2006.

3. I.A. Metwally, “Coaxial-Cable Wound Rogowski Coils for Measuring Large-Magnitude

Short-Duration Current Pulses”, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 62, no. 1, pp. 119-128, 2013.

4. Mathews J., Fink K. Numerical Methods using MATLAB, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1999.

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОЙ КАЛИБРОВКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ LABVIEW

Худоногова Л.И.

Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30
E-mail: likhud@tpu.ru

Введение

Перспективным направлением в автоматизации метрологических исследований является дистанционная калибровка средств измерений. Дистанционная калибровка предоставляет следующие функциональные возможности [1]:

- удаленное управление измерительным оборудованием и его мониторинг;

- проведение измерений на стороне клиента, управление которыми происходит дистанционно с помощью специального калибровочного оборудования.

Главным недостатком многих систем калибровки является то, что они предназначены для применения лишь в конкретных организациях для калибровки конкретного оборудования, а адаптация программного обеспечения таких систем к другим приборам невозможна либо затруднительна.

В данной статье представлена система дистанционной калибровки средств измерений, реализованная с помощью технологии виртуальных приборов LabVIEW.

Описание системы дистанционной калибровки

В настоящее время на кафедре Компьютерных измерительных систем и метрологии (КИСМ) ТПУ реализована система, позволяющая проводить дистанционную калибровку средств измерений электрических величин.

Основными компонентами системы являются: калибруемое средство измерений – цифровой мультиметр NI PXI-4072, рабочий эталон – универсальный калибратор Fluke 5520A, персональный компьютер (ПК) со специализированным программным обеспечением (ПО) – программой, разработанной на кафедре КИСМ для проведения дистанционной калибровки. Взаимодействие между калибровочным оборудованием и ПК осуществляется через GPIB интерфейс.

Система выполнена в архитектуре «клиент-сервер», позволяющей организовать проведение

независимых измерений на удаленных измерителях с одного компьютера и обмен калибровочной информацией. Рабочее место клиента включает в себя только ПК с клиентской частью программы. На стороне сервера находятся измерительное оборудование и ПК с серверной частью программы. Внешний вид системы дистанционной калибровки мультиметра NI PXI-4072, работающего в режиме измерения переменного напряжения, представлен на рисунке 1.

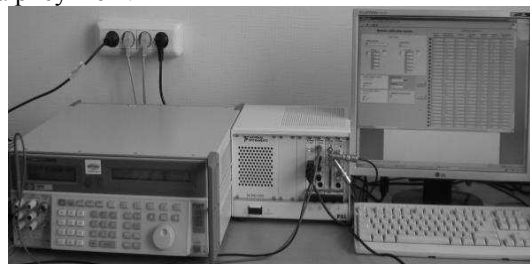


Рис. 1. Внешний вид системы дистанционной калибровки мультиметра NI PXI-4072 по переменному напряжению

Программа для системы дистанционной калибровки написана в среде разработки LabVIEW [2]. Программа включает в себя два виртуальных прибора (ВП): «Сервер-ВП», запускаемого на ПК, непосредственно соединенном с измерительным оборудованием, и «Клиент-ВП», который запускается на рабочем месте клиента.

Для корректной работы «Сервер-ВП» серверный ПК требует установки программной среды LabVIEW с набором специальных драйверов для конкретного оборудования, участвующего в процессе калибровки. Драйвера находятся в открытом доступе и могут быть найдены на сайте компании National Instruments (NI) [3].

«Клиент-ВП» может быть открыт и запущен на любом компьютере, имеющем выход в Интернет. При этом клиентский ПК не требует дополнительной установки какого-либо ПО или драйверов.

Логика взаимодействия серверной и клиентской части программы описывается следующим