

УДК 621.3.089.62

doi:10.21685/2307-5538-2021-2-2

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФА НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА

Д. Ю. Кетов¹, А. И. Нефедьев²

¹ Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия

² Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

¹ya_st@bk.ru, ²nefediev@rambler.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* При эксплуатации электроэнцефалографов часто возникает проблема контроля технического состояния такого типа оборудования без его отрыва от процесса эксплуатации. Таким образом, актуальной задачей является разработка распределенной измерительной системы для контроля технического состояния электроэнцефалографов. *Материалы и методы.* В настоящее время в основе всех медицинских измерительных приборов, например, электрокардиографов, электроэнцефалографов имеется вычислительная машина (персональный компьютер, микроконтроллер). Вычислительный потенциал таких приборов обычно используется не полностью, что дает возможность реализовать специализированные алгоритмы проверки и калибровки или использовать их в испытательных стендах. Новизна подхода заключается в применении функционального генератора в составе распределенной измерительной системы. *Результаты.* Для контроля технического состояния электроэнцефалографа была разработана распределенная измерительная система на основе функционального DDS-генератора, позволяющая сформировать специализированные сигналы различной формы и длительности. *Выводы.* Функциональный DDS-генератор, работающий в составе распределенной измерительной системы, позволяет проводить испытания с требуемой периодичностью, и с гибким графиком технического обслуживания.

Ключевые слова: электроэнцефалограф, контроль технического состояния, DDS-генератор, формирование сигналов, испытательный сигнал, модель сигнала

Для цитирования: Кетов Д. Ю., Нефедьев А. И. Распределенная система для контроля технического состояния электроэнцефалографа на основе функционального генератора // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 2. С. 15–19. doi:10.21685/2307-5538-2021-2-2

DISTRIBUTED SYSTEM FOR MONITORING THE TECHNICAL STATE OF AN ELECTRIC ENCEPHALOGRAPH BASED ON A FUNCTIONAL GENERATOR

D.Yu. Ketov¹, A.I. Nefed'ev²

¹ Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia

² Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

¹ya_st@bk.ru, ²nefediev@rambler.ru

Abstract. *Background.* During the operation of electroencephalographs, the problem of monitoring the technical state of this type of equipment without interrupting it from the operation process often arises. Thus, an urgent task is the development of a distributed measuring system for monitoring the technical condition of electroencephalographs. *Materials and methods.* At present, all medical measuring devices, for example, electrocardiographs, electroencephalographs, are based on a computer (personal computer, microcontroller). The computational potential of such devices is usually not fully used, which makes it possible to implement specialized verification and calibration algorithms, or use them in test benches. The novelty of the approach lies in the use of a functional generator as part of a distributed measuring system. *Results.* To control the technical state of the electroencephalograph, a distributed measuring system based on a functional DDS generator was developed, which allows the formation of specialized signals of various shapes and durations. *Conclusion.* The functional DDS generator, working as part of a distributed measuring system, allows testing with the required frequency, and with a flexible maintenance schedule.

Keywords: electroencephalograph, technical condition monitoring, DDS-generator, signal generation, test signal, signal model

For citation: Ketov D.Yu., Nefediev A.I. Distributed system for monitoring the technical state of an electric encephalograph based on a functional generator. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurements. Monitoring. Management. Control*. 2021;2:15–19. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2021-2-2

В настоящее время в основе всех медицинских измерительных приборов, например, электрокардиографов, электроэнцефалографов имеется вычислительная машина (персональный компьютер, микроконтроллер). Вычислительный потенциал таких приборов обычно используется не полностью, что дает возможность реализовать специализированные алгоритмы проверки и калибровки или использовать их в испытательных стендах. Рассмотрим построение испытательных систем медицинского измерительного оборудования на примере электроэнцефалографа.

Контроль технического состояния электроэнцефалографов проводится в соответствии с методикой поверки и эксплуатационно-технической документацией¹. Для поверки применяются функциональные генераторы ГФ-05, Диатест-4 или другие функциональные генераторы, позволяющие формировать эталонные тестовые сигналы. Данные функциональные генераторы являются автономными устройствами, что усложняет построение испытательных схем с наличием контроля температуры, влажности и т.д. [1, 2] и, таким образом, накладывает некоторые ограничения на их применение. С помощью вышеперечисленных генераторов также невозможно сформировать специализированные сигналы, подобные сигналам головного мозга человека. По этой причине каналы некоторых типов медицинских приборов поверяются при других параметрах сигналов, чем предлагаемые в методике поверки¹.

В связи со сложностью формирования требуемой формы сигнала для проверки характеристик электроэнцефалографов часто применяется низкочастотный генератор сигналов ГФ-05, с помощью которого могут быть сформированы несколько видов испытательных сигналов, но данные сигналы имеют очень большое отличие от реальной электроэнцефалограммы здорового человека. Несколько лучше ситуация с функциональным генератором Диатест-4, в котором испытательный сигнал ЭЭГ-7 запрограммирован в ПЗУ и является неизменяемым.

Для модификации существующего метода испытаний и создания модели тестового сигнала на первом этапе проводились измерения статистических характеристик ЭЭГ отведений (полученных в результате непараметрического сегментирования), и далее формировалась модель испытательного сигнала, расширяя тем самым возможную базу испытательных сигналов. Полученная модель сигнала записывалась в память функционального генератора. В качестве функционального генератора можно использовать любое доступное устройство, позволяющее формировать тестовое воздействие с требуемыми параметрами в соответствии с рекомендациями и индивидуальными методиками. Но, учитывая общую концепцию испытательного стенда, предложенную ранее [3, 4], в качестве функционального генератора будет использоваться генератор, построенный по технологии прямого цифрового синтеза частоты (*DDS*) [5, 6].

DDS-генератор формирует сигнал с перестраиваемыми частотой и фазой из сигнала фиксированной опорной частоты $f_{оп}$ [7–10]. Опорная частота масштабируется путем деления на коэффициент, задаваемый пользователем. Фазовый аккумулятор суммирует текущее значение с приращением числа импульсов тактовой частоты N для формирования частоты, которая связана с опорной частотой $f_{оп}$ выражением

$$f_{вых} = (N/2^M) \cdot f_{оп},$$

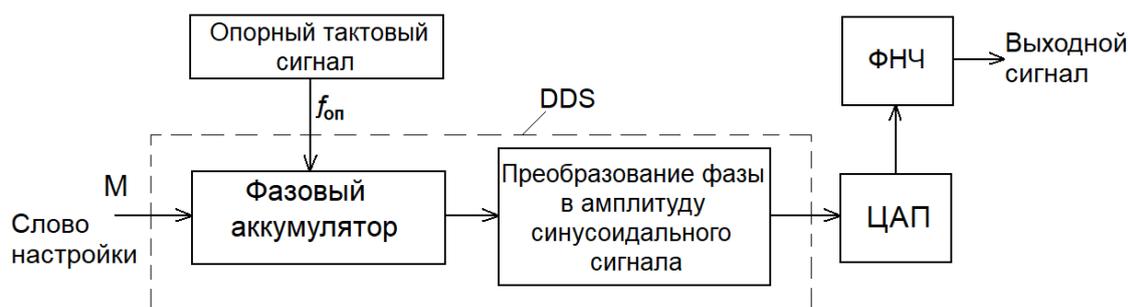
где N – приращение числа импульсов тактовой частоты; M – разрешение слова настройки.

Структурная схема генератора *DDS* приведена на рис. 1. Изменение приращения числа импульсов тактовой частоты N ведет к резкому изменению частоты и фазы выходного сигнала, при этом отсутствуют разрывы фазы и затраты времени на стабилизацию контура.

Данные считываются из памяти в виде цифрового образа сигнала и направляются на вход цифроаналогового преобразователя (ЦАП).

Тактовая частота ЦАП равна частоте дискретизации генератора и формирует последовательность значений напряжений. Форма выходного сигнала формируется на выходе фильтра низких частот (ФНЧ).

¹ Р 50.2.087-2013 ГСИ. Электроэнцефалографы, электроэнцефалоскопы и электроэнцефалоанализаторы. Методика поверки.

Рис. 1. Структурная схема генератора *DDS*

Формирование сигналов заданной частоты и формы можно обеспечить с помощью генераторов на основе фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), генераторов тактовых сигналов, а также применением программируемых пользователем вентильных матриц (*Field-Programmable Gate Arrays, FPGA*) для задания выходного уровня напряжения ЦАП [11].

Сравнение характеристик указанных алгоритмов построения функциональных генераторов приведено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение технологий синтеза частот

Показатели	ФАПЧ	ЦАП + <i>FPGA</i>	<i>DDS</i>
Цифровая перестройка частоты	Нет	Да	Да
Частота спектра	Высокая	Средняя/высокая	Средняя
Время отклика	Большое	Малое	Малое
Гибкость изменения формы сигнала	Слабая	Средняя	Высокая
Сложность реализации	Средняя	Высокая	Низкая
Стоимость	Средняя	Высокая	Низкая
Габариты	Средние	Большие	Малые
Потребляемая мощность	Высокая	Высокая	Низкая

Недостатки указанных алгоритмов заключаются в невозможности цифровой перестройки частоты, а также большом времени отклика в системах генерации сигналов на основе ФАПЧ, что ограничивает возможность получения быстрой псевдослучайной перестройки частоты, например, в системах с частотной и фазовой манипуляцией. Построение генераторов на основе ЦАП + *FPGA* приводит к увеличению потребляемой мощности, сложности реализации, большим габаритам и, как следствие, к высокой стоимости. Технология *DDS* (прямой цифровой синтез частоты) имеет преимущества благодаря возможности цифровой перестройки частоты, малому времени отклика, низкой сложности реализации и низкой стоимости, малым габаритам и потребляемой мощности.

На основе анализа достоинств и недостатков рассмотренных алгоритмов синтеза сигналов в разрабатываемом испытательном стенде был выбран метод прямого цифрового синтеза *DDS* для построения функционального генератора.

В предложенной системе функции обработки, формирования испытательного сигнала и вывода результатов на экран монитора выполняются программным обеспечением контролируемого электроэнцефалографа. Цифроаналоговое преобразование сигнала, модель которого сформирована программным обеспечением, выполняется аппаратной частью электроэнцефалографа. При этом блоки прибора, формирующие тестовый сигнал по сформированным моделям, образуют автоматизированную испытательную систему, полностью повторяющую все функции генераторов (ГФ-05, Диатест-4, и т.д.), применяемых при проведении периодического контроля электроэнцефалографов. Благодаря возможности формирования точных моделей сигналов головного мозга человека полученная система обладает существенно большей гибкостью и функциональностью по сравнению с генераторами ГФ-05 и Диатест-4.

Применение модулей АЦП/ЦАП и компьютера с установленным специализированным программным обеспечением значительно расширяет возможности измерений характеристик электроэнцефалографов в реальных условиях. Разделение аппаратных и программных ресурсов позволяет строить распределенные измерительные системы, в узлах сбора данных кото-

рых располагаются блоки АЦП/ЦАП, подключаемые к компьютеру через поверочное коммутационное устройство электроэнцефалографа (ПКУ). Сигналы от всех блоков поступают в компьютер и обрабатываются параллельно. На рис. 2 представлена распределенная измерительная система, предназначенная для измерения характеристик электроэнцефалографа.



Рис. 2. Распределенная измерительная система

Таким образом, можно выделить следующие преимущества данной распределенной измерительной системы:

- 1) возможность формирования с помощью функционального *DDS*-генератора не только стандартных форм сигналов (синусоидальной, прямоугольной), но и сигналов специальной формы, необходимых для испытаний электроэнцефалографа;
- 2) низкие эксплуатационные затраты;
- 3) низкие затраты на проведение испытаний;
- 4) малые размеры;
- 5) возможность работы как в составе системы, так и автономно;
- 6) возможность оперативной передачи измерительных данных.

В результате применения испытательного стенда на основе функционального *DDS*-генератора у инженера появится возможность проводить контроль технического состояния медицинского оборудования практически без отрыва от процесса эксплуатации, что позволит уменьшить время простоя оборудования и сократит трудоемкость проведения контрольных операций. Применение испытательного стенда позволит проводить испытания с требуемой периодичностью и с гибким графиком технического обслуживания.

Список литературы

1. Кетов Д. Ю., Муха Ю. П. Метрологическая схема испытаний энцефалографа // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер.: Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь. 2012. № 6, вып. 6. С. 61–64.
2. Кетов Д. Ю., Муха Ю. П. Формирование испытательного сигнала для проверки энцефалографа // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер.: Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь. 2014. № 26, вып. 10. С. 102–106.
3. Кетов Д. Ю., Муха Ю. П. Автоматизированный сетевой стенд для оперативных испытаний энцефалографа // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер.: Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь. 2015. № 11, вып. 12. С. 84–88.
4. Кетов Д. Ю., Муха Ю. П., Черножуков М. Л., Либенко С. С. Автоматизированный сетевой программный комплекс, предназначенный для проведения инструментального контроля технического состояния электроэнцефалографа // Телекоммуникации. 2019. № 4. С. 42–48.
5. Murphy E., Colm S. All About Direct Digital Synthesis // Analog Dialogue, 2004. Vol. 38, № 3. P. 8–12.
6. Корнеев С. Простые функциональные генераторы на основе прямого цифрового синтеза // Компоненты и технологии. 2011. № 1. С. 124–125.
7. Метальников А. М. Цифровой синтезатор сигналов произвольной формы // Приборы и техника эксперимента. 2009. № 1. С. 65–67.
8. ZhengYu Wang, M. C. Frank Chang, Jessica Chiatai Chou. A simple DDS architecture with highly efficient sine function lookup table // GLSVLSI '04: Proceedings of the 14th ACM Great Lakes symposium on VLSI, April 2004. P. 154–157.
9. Liao J. Design of phase adjustable signal generator based on DDS // Journal of Luoyang Normal University. 2014. Vol. 33, № 2. P. 29–32.
10. Zhang G. Research of DDS-based high-precision multichannel signal generation systems // Electronic Measurement Technology. 2014. Vol. 37, № 4. P. 125–129.

11. Shou Y. Z., Zhang H., Ge Y. H. Design and implementation of DDS signal generator based on FPGA // Journal of Jimei University (Natural Science). 2014. Vol. 19, № 5. P. 393–400.

References

1. Ketov D.Yu., Mukha Yu.P. Metrological scheme of encephalograph tests. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Elektronika, izmeritel'naya tekhnika, radiotekhnika i svyaz'* = Proceedings of the Volgograd State Technical University. Ser.: Electronics, measuring equipment, radio engineering and communications. 2012;6(6):61–64. (In Russ.)
2. Ketov D.Yu., Mukha Yu.P. Formation of a test signal for checking the encephalograph. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Elektronika, izmeritel'naya tekhnika, radiotekhnika i svyaz'* = Proceedings of the Volgograd State Technical University. Ser.: Electronics, measuring equipment, radio engineering and communications. 2014;26(10):102–106. (In Russ.)
3. Ketov D.Yu., Mukha Yu.P. Automated network stand for operational tests of an encephalograph. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Elektronika, izmeritel'naya tekhnika, radiotekhnika i svyaz'* = Proceedings of the Volgograd State Technical University. Ser.: Electronics, measuring equipment, radio engineering and communications. 2015;11(12):84–88. (In Russ.)
4. Ketov D.Yu., Mukha Yu.P., Chernozhukov M.L., Libenko S.S. An automated network software package designed for instrumental monitoring of the technical condition of an electroencephalograph. *Telekommunikatsii* = Telecommunications. 2019;4:42–48. (In Russ.)
5. Murphy E., Colm S. All About Direct Digital Synthesis. *Analog Dialogue*. 2004;38(3):8–12.
6. Korneev S. Simple functional generators based on direct digital synthesis. *Komponenty i tekhnologii* = Components and technologies. 2011;1:124–125. (In Russ.)
7. Metal'nikov A.M. Digital synthesizer of arbitrary shape signals. *Pribory i tekhnika eksperimenta* = Instruments and experimental techniques. 2009;1:65–67. (In Russ.)
8. ZhengYu Wang, M.C. Frank Chang, Jessica Chiatai Chou. A simple DDS architecture with highly efficient sine function lookup table. *GLSVLSI '04: Proceedings of the 14th ACM Great Lakes symposium on VLSI*, April 2004:154–157.
9. Liao J. Design of phase adjustable signal generator based on DDS. *Journal of Luoyang Normal University*. 2014;33(2):29–32.
10. Zhang G. Research of DDS-based high-precision multichannel signal generation systems. *Electronic Measurement Technology*. 2014;37(4):125–129.
11. Shou Y.Z., Zhang H., Ge Y.H. Design and implementation of DDS signal generator based on FPGA. *Journal of Jimei University (Natural Science)*. 2014;19(5):393–400.

Информация об авторах / Information about the authors

Дмитрий Юрьевич Кетов

старший преподаватель
кафедры биотехнических систем и технологий,
Волгоградский государственный медицинский
университет
(Россия, г. Волгоград, пл. Павших Борцов, 1)
E-mail: ya_st@bk.ru

Dmitry Yu. Ketov

Senior lecturer,
sub-department of biotechnical systems
and technologies,
Volgograd State Medical University
(1 Pavshikh Bortsov square, Volgograd, Russia)

Алексей Иванович Неведьев

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры электротехники,
Волгоградский государственный
технический университет
(Россия, Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28)
E-mail: nefediev@rambler.ru

Alexei I. Nefed'ev

Doctor of technical sciences, professor,
professor of sub-department
of electrical engineering,
Volgograd State Technical University
(28 V.I. Lenin avenue, Volgograd, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 29.03.2021

Поступила после рецензирования/Revised 05.04.2021

Принята к публикации/Accepted 15.04.2021