

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЦИФРОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ГЛАВНЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ НАСОСОВ ВТОРОГО КОНТУРА ЭНЕРГОБЛОКА БН-600

М.Т. Теличко, П.П. Говоров, И.С. Поморцев

Белоярская АЭС, г. Заречный



В статье рассмотрена дополнительная к штатной цифровая система регистрации скорости вращения главных циркуляционных насосов второго контура энергоблока БН-600.

Ключевые слова: импульс, скорость вращения, схема, тепловая мощность, точность, цифровая система.

Key words: pulse, speed, circuit, thermal power, accuracy, digital system.

Необходимость проведения работ на блоке №3 Белоярской АЭС по разработке цифровой системы регистрации скорости вращения главных циркуляционных насосов второго контура (ГЦН-2) объясняется необходимостью повышения точности измерения тепловой мощности реактора БН-600. Скорость вращения ГЦН-2 при расчете тепловой мощности реактора по параметрам 2 контура используется как аналог расхода теплоносителя (натрия).

Штатная схема измерения скорости вращения ГЦН-2 энергоблока БН-600 основана на измерении переменного трехфазного напряжения тахогенератора, ротор которого закреплен на валу двигателя ГЦН. После выпрямления, сглаживания и нормирования постоянное напряжение в аналоговой форме используется в системах регистрации на блочном щите управления (БЩУ) блока №3, информационно-вычислительной системе (ИВС), а также в системах аварийной защиты и сигнализации.

Недостатками штатной системы измерения скорости вращения ГЦН-2 являются

- наличие задержек прохождения сигналов из-за выпрямления, сглаживания, нормирования выходного сигнала;
- низкая точность из-за нестабильности величины амплитуды выходного напряжения тахогенератора, связанной с дрейфом тока возбуждения, с зависимостью его от температуры, что, естественно, дает ошибку масштабирования и вносит большой вклад в нелинейность выходного напряжения в функции скорости вращения ГЦН. Погрешность измерения скорости вращения ГЦН-2 в аналоговой форме на ИВС составляет $\pm(5-8)$ об/мин. Периодической подстройкой аналогового сигнала скорости вращения по показаниям цифровой СВСВ можно свести погреш-

© М.Т. Теличко, П.П. Говоров, И.С. Поморцев, 2009

ность регистрации к $\pm (1-3)$ об/мин.

В настоящее время кроме штатной (аналоговой) системы измерения и регистрации используется также вспомогательная цифровая система вычисления скорости вращения (СВСВ) ГЦН-2. Работа ее основана на подсчете в течение 1 секунды числа импульсов, получающихся при прохождении мимо датчика зубьев специальной шестерни, закрепленной на валу электродвигателя ГЦН-2. Число зубьев шестерни выбрано равным 60, вследствие этого число импульсов за 1 секунду равно числу оборотов в минуту. Цифровая система ВСВ, используемая на цифровых табло блочного щита управления блока №3 для визуального наблюдения за величиной скорости вращения ГЦН-2, не имеет выхода на ИВС, вследствие чего не может быть использована в программах расчета тепловой мощности реактора. Следует заметить, что точность измерения скорости вращения ГЦН-2 системой ВСВ не выше ± 1 об/мин. Цикл измерения скорости вращения равен 2 с.

Поскольку изменение скорости вращения одного ГЦН-2 на один оборот приводит к изменению величины расчетной тепловой мощности реактора на $\approx 0,7$ МВт, то при использовании измерений аналоговых сигналов погрешность расчета тепловой мощности реактора может составить $(5,6 \times 3) 16,8$ МВт. Точность цифровой системы ВСВ желательно повысить до величины хотя бы $\leq \pm 0,5$ об/мин, чтобы снизить погрешность расчета тепловой мощности в трех петлях до $\approx \pm 1$ МВт.

С целью повышения точности измерения скорости вращения ГЦН-2 разработана система измерения скорости вращения ГЦН-2 повышенной точности, основанная на использовании импульсных сигналов СВСВ. Для того, чтобы исключить погрешность ИВС (около $\pm 1,8$ об/мин) преобразования аналогового сигнала в цифровой, необходимо вводить в ИВС цифровой сигнал.

Преимущества разработанной цифровой системы регистрации скорости вращения ГЦН-2 перед штатной системой с использованием тахогенераторов заключаются в следующем:

- в качестве датчика используется шестерня, жестко закрепленная на валу, зубья которой работают без нагрузки (на индукционный датчик);
- высокая точность измерения ($\leq \pm 0,5$ об/мин);
- отсутствие температурной зависимости результата измерений;
- отсутствие вращающихся деталей (генераторов, муфт, подшипников и т.д.).

Существующая цифровая система измерения скорости вращения на БЩУ обладает сравнительно высокой (± 1 об/мин) точностью измерения, но позволяет осуществлять только визуальное наблюдение за результатом измерения. В системе предусмотрен частотный (счетный) выход, представляющий собой последовательность импульсов с периодом следования, пропорциональным скорости вращения ГЦН-2.

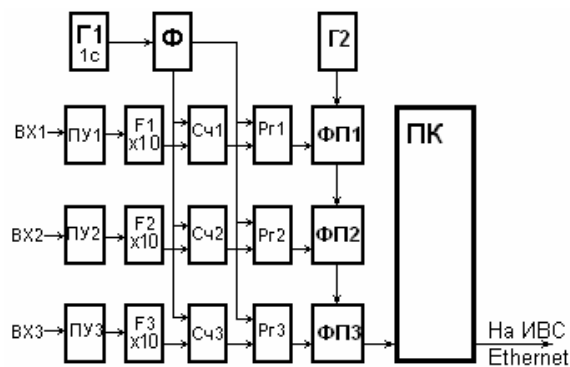


Рис. 1. Структурная схема измерения скорости вращения ГЦН-2

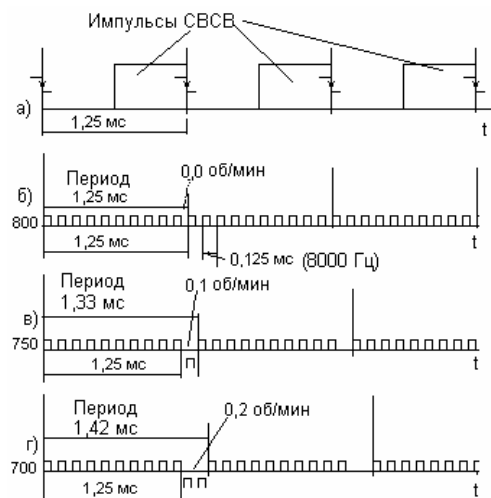


Рис. 2. Размещение 10 импульсов заполнения в периоде следования счетных импульсов

Предлагаемая структурная схема цифрового измерения скорости вращения повышенной точности с цифровым выходом на ПК (преобразователя частоты вращения – ПЧВ) представлена на рис. 1.

Работает схема следующим образом.

Секундные импульсы с кварцевого генератора Г1 поступают на формирователь Ф. По спаду каждого секундного импульса формируется последовательность из двух коротких импульсов (1–2 мкс), первым из которых информация с выходов счетчиков (число импульсов за 1 секунду) записывается в регистры хранения, а вторым производится сброс счетчиков. Цикл повторяется с приходом каждого секундного импульса.

Поскольку длительность периода счетных импульсов при скорости вращения 800 об/мин составляет 1250 мкс, а длительность импульса записи – 1–2 мкс, то пропусков счетных импульсов в данной схеме измерения не происходит. Счетные импульсы с выхода датчиков «оборотов» ГЦН-2 по входам Vx1, Vx2, Vx3 поступает на преобразователи уровня сигналов (ПУ1, ПУ2, ПУ3) и через умножители частоты в 10 раз (F1x10, F2x10, F3x10) – на счетчики импульсов (Сч1, Сч2, Сч3), выходы которых через регистры хранения (РГ1, РГ2, РГ3) поданы на входы формирователей посылок (ФП1, ФП2, ФП3), откуда подаются в персональный компьютер (ПК), подключенный по Ethernet к локальной сети с тактовой частотой, определяемой генератором Г2.

Возможность повышения точности измерения скорости вращения ГЦН-2 показана на рис. 2.

Умножением частоты счетных импульсов в 10 раз можно повысить точность регистрации скорости вращения ГЦН-2 с ± 1 об/мин до $\pm(0,1-0,3)$ об/мин в диапазоне частот 700–800 об/мин. Так как наибольшая частота вращения ГЦН-2 может достигать величины 780–790 об/мин, то скорость вращения 800 об/мин выбрана предельной, при которой возможно измерение скорости вращения с повышенной точностью, используя умножение исходной частоты СВЧВ в 10 раз с частотой импульсов заполнения 8 кГц.

С этой целью после каждого счетного импульса (рис. 2а) на вход счетчика подаются (рис. 2б) импульсы заполнения с частотой 8 кГц (период 0,125 миллисекунд).

При частоте вращения ГЦН-2 800 об/мин поступит 8000 импульсов. Все они будут сосчитаны, но на границах секундного интервала возможна потеря 1 импульса из-за несовпадения фронтов секундного импульса и импульса заполнения, т.е. точность измерения составит ± 1 импульс ($\pm 0,1$ об/мин).

При частоте вращения 750 об/мин (рис.2в) период следования счетных импульсов составит 1,33 мс, период 10 импульсов заполнения составит 1,25 мс. При попадании начала секундного интервала в промежуток между посылками заполнения возможна потеря дополнительно к сказанному выше еще одного импульса. Тогда точность счета составит ± 2 импульса ($\pm 0,2$ об/мин).

Аналогично, при 700 об/мин (рис. 2г) точность счета составит ± 3 импульса ($\pm 0,3$ об/мин). При более низких частотах вращения точность счета будет снижаться до ± 10 импульсов (± 1 об/мин). Такой точностью счета (± 1 об/мин) обладает штатная система ВСУ на БЩУ. Для улучшения сравнения результатов измерения разными каналами импульсы записи и сброса подаются от общих формировате-

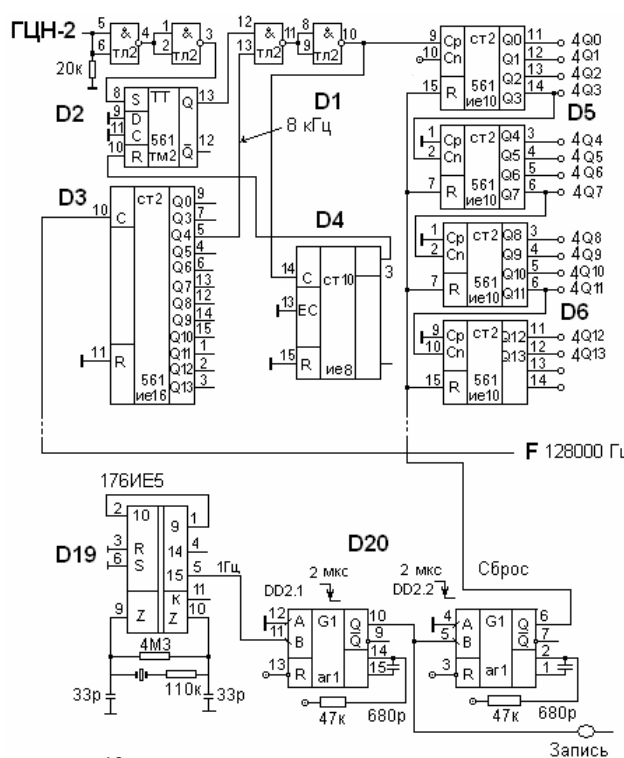


Рис. .3. Схема умножения на 10 и счета импульсов

лей. Общими в разных каналах взяты и напряжения питания. Элементная база – микросхемы с малым потреблением серии КМОП.

Электрическая схема умножения на 10 входных импульсов и их счета для канала ГЦН-2 представлена на рис. 3

Счетные импульсы системы ВСУ поступают в схему измерения через гальваническую развязку с целью исключения влияния на работу измерителей скорости вращения БЩУ. По приходу очередного входного импульса с датчика «оборотов» 4ГЦН-2 триггер D2 по входу S устанавливает выход Q в единицу, открывая ключ (D1). После этого импульсы частотой 8 кГц поступают на счетчик импульсов D5, D6, собранный на микросхемах К561ИЕ10, а также на счетчик D4 (К561ИЕ8). Счетчик D4 после набора 10 импульсов сбрасывает в ноль выход Q триггера D2, закрыв

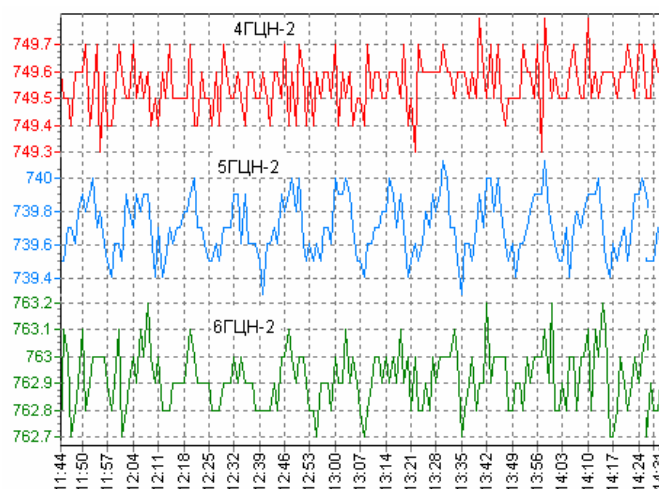


Рис. 4. Регистрация скорости вращения ГЦН-2 на ИВС

тем самым ключ (D1). После прихода следующего счетного импульса с датчика «оборотов» 4ГЦН-2 процесс повторяется.

Генератор секундных импульсов собран на микросхеме K176IE5 (D19).

По спаду секундного импульса формируется импульс записи информации со счетчиков в регистр, а по его спаду – импульс сброса счетчиков. Длительность импульсов порядка двух микросекунд. Для передачи информации в персональный компьютер разработан сдвиговый регистр на микросхемах K561IP9. Информация по окончании записи в регистр сдвига 6 байтами в одной посылке передается в ПК. Скорость передачи составляет 128 кбод. Эта скорость ввода информации обеспечивает регистрацию на ПК и частоты вращения 1000 об/мин, т.е. схема пригодна и для ГЦН первого контура (до 1000 об/мин).

Разработанное устройство – преобразователь частоты вращения (ПЧВ) – входит в состав экспериментальной системы сбора информации о параметрах 2 контура (МХ100), используемых для расчета тепловой мощности реактора БН-600.

На рис. 4 приведены графики изменения сигналов скорости вращения ГЦН-2, полученные с помощью ПЧВ на ИВС.

Видно, что сигналы «оборотов» изменяются в пределах не более $\pm 0,3$ об/мин.

Опытная эксплуатация ПЧВ в составе измерительной системы в течение одной микрокампании (180 суток) показала его надежную работу.

Поступила в редакцию 30.03.2009

УДК 621.311.25: 621.039

Visualization of the Database on the Off-Normal Operation of Beloyarsk NPP Power Unit 3/P.P. Govorov, I.M. Krysanterev, A.M. Tuchkov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 4 pages, 3 illustrations. – References, 1 title.

The article briefly presents the code called «BN-600 archive» which allows one to quickly and clearly obtain the information on the off-normal operation of Beloyarsk NPP power unit 3 throughout its operating period.

УДК 621.311.25: 621.039

Gidropress Development Centres Experience of Working in the Field of the Extension of the BN-600 NPP Steam Generator Lifetime and Tasks of the Development of the Steam Generators for New Fast Reactor Power Units/V.V. Denisov, M.D. Lyakisheva, V.I. Karsonov, N.B. Trunov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 8 pages, 4 illustrations.

The article presents the work of the Gidropress development centre both on the evaluation of the residual lifetime and lifetime extension of the BN-600 power unit PGN-200M steam generators. The strength of the metal structures is justified, the recommendations are given on the seismic resistance improvement. The imperfection of the standing regulatory base is noted, the measures to correct this situation are highlighted. The positive operating experience from the BN-600 steam generators as well as the results of research into condition of the SG critical components accumulated a lot of running hours enable to confidently change over to the new generation of the large steam generators, thus considerably improving the technical and economic characteristics for the perspective designs of the fast reactor power units.

УДК 621.311.25: 621.039

Analysis of the Dynamics of Hydrogen Ingress to Secondary Sodium after the Replacement of the Steam Generator Stages of the BN-600 Power Unit/Yu.V. Nosov, G.N. Tsygankov, A.I. Karpenko, A.A. Kuznetsov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 10 pages, 4 illustrations. – References, 3 titles.

The article presents the methodology of the calculation of the rate of the ingress of hydrogen into secondary sodium of the BN-600 power unit. The sources and the mechanism of the hydrogen ingress after the replacement of a lot of the PGN-200M steam generator stages within the scope of work on the power unit operation lifetime extension are defined.

УДК 621.311.25: 621.039

13. Development of the System of the Digital Recording of the BN-600 Reactor Secondary Sodium Pump Speed/M.T. Telichko, P.P. Govorov, I.S. Pomortsev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 5 pages, 4 illustrations.

The article considers a digital system of the recording of the BN-600 power unit secondary sodium pump speed which complements the standard one.

УДК 621.039.542

Verification of the Operability of the Reactor Sub-Assemblies after Operation in the BN-600 Cores. The Second Modification of the Equipment of the Hot Cell/M.V. Bakanov, A.V. Nenakhov, V.V. Chuev, I.S. Dudnichenko, O.N. Lelikov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 20 pages, 2 tables, 14 illustrations. – References, 5 titles.

The current state of the methodological support to the post irradiation verification of the operability of the reactor sub-assemblies and their components implemented in accordance with the requirements of the regulations related to the nuclear safety of the nuclear plant reactors. The methodology of the verification is based on the experience of those mass primary post irradiation examinations of the condition of the sub-assemblies after operation in the