

Предисловие Е.Д. Барана

Система LabVIEW корпорации National Instruments заслуженно пользуется популярностью среди научных сотрудников и инженеров, которые разрабатывают системы автоматизации экспериментальных исследований, системы автоматизированного управления производственными процессами и испытаний объектов в различных отраслях промышленности и т.д. Основные достоинства LabVIEW – интуитивно понятный язык графического программирования, развитые прикладные библиотеки функций и простота интеграции с оборудованием ведущих производителей – позволяют в кратчайшие сроки решать сложные задачи, причем для этого не обязательно обладать знаниями и опытом профессионального программиста.

Один из модулей LabVIEW – модуль LabVIEW FPGA предоставляет возможность создавать реконфигурируемые системы, каналы ввода-вывода которых и встроенные специализированные процессоры обработки данных разрабатываются в едином процессе интеграции технических средств и программного обеспечения. Расширение функционала и улучшение технических характеристик систем достигаются благодаря конфигурированию структуры FPGA – программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС), встроенной в готовые функциональные блоки, из которых собирается система. Чрезвычайно важно, что и разработка структуры FPGA, и разработка прикладного программного обеспечения для процессора классической архитектуры выполняются в одной среде проектирования с помощью одних и тех же инструментальных средств.

Концепция реконфигурируемых систем, основные их элементы и техника проектирования таких систем описаны в первом издании книги, которое вышло еще в 2009 году. За прошедшее с тех пор время радикально изменилась элементная база: увеличилась степень интеграции и быстродействие FPGA, значительно расширился состав функциональных узлов. Теперь в один кристалл интегрированы многоядерные процессоры, аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи, стандартные интерфейсные порты и т.п. Программируемые матрицы простых логических элементов эволюционировали в системы на кристалле (Systems-on-Chip).

Для программирования систем на кристалле компания Xilinx разработала новый инструментарий – в системе Vivado традиционные текстовые языки программирования адаптированы к задачам проектирования электронных схем. Благодаря этому профессиональные программисты теперь могут разрабатывать не только надстройку над предоставленной им технической базой, но и саму базу. В Vivado усовершенствован и процесс проектирования, что позволяет существенно сократить время, необходимое для конфигурирования FPGA.

Корпорация National Instruments, используя современные микроэлектронные компоненты, разрабатывает все более совершенные функциональные блоки для систем измерения, тестирования и управления. На основе новых ре-



конфигурируемых модулей ввода-вывода, контроллеров и модульных измерительных приборов стало возможным создавать системы, обладающие большей производительностью и заметно расширенным функционалом. Библиотеки модуля LabVIEW FPGA пополнились новыми программными компонентами для реализации сложных алгоритмов обработки данных, представленных не только целыми числами, но и данными в формате чисел с фиксированной и плавающей запятой. Появились библиотеки функций для решения прикладных задач цифровой радиосвязи, обработки изображений, электроэнергетики, усовершенствованы средства работы с каналами ввода-вывода, инструменты отладки кода, выполняемого в FPGA, функции для упрощения интерфейса с программным обеспечением верхнего уровня и многое другое. Хотя процесс проектирования структуры FPGA в новой системе проектирования Vivado существенно изменился, тем, кто разрабатывает реконфигурируемые системы в LabVIEW FPGA, по-прежнему не обязательно знать специфические особенности этого процесса. Достаточно щелчка кнопки, чтобы инициировать компиляцию созданной структуры кристалла, а LabVIEW FPGA выберет необходимый компилятор – ISE Xilinx или Vivado, и спустя необходимое для компиляции время двоичный файл будет загружен и начнет выполняться в FPGA.

В предлагаемой читателям книге рассмотрены далеко не все упомянутые новшества LabVIEW FPGA, это потребовало бы значительно увеличить ее объем. Первое издание [В-1] было напечатано ограниченным тиражом, и не все желающие смогли ознакомиться с принципами проектирования реконфигурируемых систем. Поэтому в этом издании сохранены главы, в которых описаны предпосылки появления этого перспективного класса систем, техника программирования в LabVIEW, технические средства и особенности разработки на их основе систем традиционной архитектуры. Содержание этих глав обновлено и переработано.

Системы цифровой радиосвязи, а также вопросы программно-технического моделирования при разработке сложных объектов, кратко описанные в главе «Примеры применения технологий реконфигурируемого ввода-вывода» в первом издании книги, в настоящее издание не вошли. Принципы построения реконфигурируемых систем и инструментарий, с помощью которого их разрабатывают, одни и те же для любых областей техники, а специфические особенности, связанные преимущественно с алгоритмами обработки данных и областью применения систем, заслуживают более полного изложения в отдельных книгах.

В дополнительной к предыдущему изданию 14-й главе описывается заключительный этап проектирования систем – этап создания и развертывания исполняемых приложений.

Немного о том, как выбирался материал, и о стиле его оформления. Вначале приводятся краткие сведения об аппаратных и/или программных компонентах систем, инструментах, необходимых для их разработки. Затем на простых примерах подробно рассматривается процесс разработки и отладки типовых структур, после чего приводится описание средств и результатов испытаний созданных приложений.

В каждом примере раскрываются только те свойства используемых компонентов и те особенности их применения, которые необходимы для решения



соответствующей задаче. В последующих примерах представление о доступных свойствах тех же компонентов расширяется. При этом описание техники программирования сводится не к абстрактному перечислению компонентов, свойств и методов, пусть даже упорядоченному, а к описанию практических приемов решения конкретных задач. Такой формат не предполагает изложения всей информации по каждой из рассматриваемых тем и всех вариантов решения той или иной задачи (это превратило бы книгу в сборник статей справочной системы LabVIEW Help и во много раз увеличило бы ее объем).

Ознакомившись с базовыми понятиями и разобравшись с тем, как реализован пример, читатель, при необходимости, сможет самостоятельно узнать об иных способах и средствах решения задачи. Опыт преподавания профильных дисциплин студентам Новосибирского технического университета, слушателям курсов повышения квалификации, проводимых для сотрудников научных и образовательных организаций, а также для специалистов промышленных предприятий, подтверждает эффективность подобной методики обучения технологиям проектирования [B-2].

Предложение подготовить второе издание книги поступило в 2015 году. Но работу над ним пришлось отложить, т.к. к тридцатилетию LabVIEW (в 2016 г.) ожидался выпуск более совершенной системы нового поколения LabVIEW NXG. Это не означало свертывания проекта LabVIEW предыдущего поколения. Корпорация National Instruments продолжила его развивать, и те, кто приобретал LabVIEW, получали LabVIEW NXG бесплатно, что должно было способствовать ускорению внедрения этой системы. Но в 2016 году в состав первой версии LabVIEW NXG модуль LabVIEW FPGA еще не был включен, а его расширение в последующие годы отставало от продолжающегося развиваться модуля LabVIEW FPGA предыдущего поколения. Поэтому, чтобы не терять время, было решено большую часть второго издания книги посвятить уже привычной, завоевавшей широкую популярность редакции системы LabVIEW, дополняя соответствующие разделы информацией, касающейся особенностей LabVIEW NXG.

Системы LabVIEW и LabVIEW NXG очень близки по своим функциональным возможностям и производительности, а усовершенствования в LabVIEW NXG, судя по всему, не столь принципиальны, чтобы тратить ресурсы на поддержку и развитие двух очень сложных систем. И в 2021 году корпорация National Instruments объявила о завершении работы над проектом LabVIEW NXG и прекращении расширенной поддержки всех пяти версий в 2022 году [B-3]. Мы уверены, что и корпорация, и многочисленные пользователи ее продукции от этого только выиграют – LabVIEW и все ее модули теперь будут развиваться ускоренными темпами.

От начала работы над рукописью до издания книги прошло немало времени. Многим читателям уже доступна более актуальная версия LabVIEW, чем та, на которую ссылается автор. Но это совершенно не важно – главные принципы, объекты и инструменты LabVIEW, без сомнения, остались неизменными. И это является еще одним свидетельством прочности фундамента, на котором построена система LabVIEW.

Представляется, что информации, предлагаемой читателю этой книги, будет достаточно для ускоренного освоения перспективной технологии проек-

тирования реконфигурируемых информационно-измерительных и управляющих систем. Книга может быть рекомендована инженерам, начинающим применять LabVIEW и особенно LabVIEW FPGA в своей практической деятельности, а в качестве учебного пособия – студентам соответствующих специальностей.

*Ефим Давыдович Баран,
преподаватель кафедры систем сбора и обработки данных
Новосибирского государственного технического университета,
руководитель авторизованного регионального учебного центра
«Центр технологий National Instruments»
г. Новосибирск, Россия*



Предисловие А.Ю. Романова

Дорогие друзья!

Книга, которую вы держите в руках, продолжает серию книг «Книжная полка истового инженера», которую выпускает издательство «ДМК Пресс» совместно с Московским институтом электроники и математики им. А.Н. Тихонова НИУ ВШЭ при поддержке группы компаний YADRO (yadro.com).

Если вы интересуетесь цифровой электроникой, разработкой на ПЛИС, проектированием на языках описания аппаратуры Verilog или VHDL, то вы, скорее всего, уже знакомы с книгами по цифровому синтезу, такими как: Д. Харрис и С.Л. Харрис «Цифровая схемотехника и архитектура компьютера», «Цифровая схемотехника и архитектура компьютера: RISC-V», «Цифровая схемотехника и архитектура компьютера. Дополнение по архитектуре ARM»; «Цифровой синтез: практический курс» (под ред. А.Ю. Романова и Ю.В. Панчула), Ф. Бруно «Программирование FPGA для начинающих» и др. (воспользуйтесь QR-кодами, чтобы узнать об упомянутых книгах).



Эта книга расширяет тематику и раскрывает особенности разработки на FPGA в среде проектирования от National Instruments LabVIEW, а именно в ее расширении LabVIEW FPGA.

О ЧЕМ ЭТА КНИГА?

В **первой главе** кратко рассказывается о ПЛИС и их разновидностях. Во **второй главе** дается краткий экскурс в устройства ввода-вывода, используемые в продукции National Instruments. **Третья глава** посвящена виртуальным измерительным приборам, создаваемым в LabVIEW. В **четвертой и пятой главах** дается общее представление об организации среды проектирования LabVIEW и принципах разработки в этой среде. В **шестой главе** рассказывается, для чего нужны реконфигурируемые системы, а в **седьмой главе** – какие средства LabVIEW предназначены для разработки реконфигурируемых систем. В **восьмой главе** описан типичный маршрут разработки реконфигурируемых систем. **Девятая глава** посвящена описанию, как управлять FPGA VI и создавать Host VI. В **десятой главе** на примерах показано, как можно обрабатывать



данные в LabVIEW FPGA. В **одиннадцатой главе** – как тестировать разработанные приложения, как разрабатывать стандартные интерфейсы для связи с периферийными устройствами. **Двенадцатая глава** посвящена модулям R-серии, а также вопросам измерения неэлектрических величин. В **тринадцатой главе** приведен пример разработки встраиваемой системы на платформе cRIO. А в **четырнадцатой главе** кратко рассказывается, как создать сборку проекта и инсталлятор для развертывания приложений на пользовательских компьютерах. В завершающей **пятнадцатой главе** рассказывается, как проекты, разработанные в LabVIEW FPGA, перенести в другие САПР'ы и подготовить для компиляции под ПЛИС других производителей.

Что послужило причиной появления этой книги?

Дело в том, что на русском языке книг по LabVIEW FPGA нет. Существовала книга Е.Д. Барана «**LabVIEW FPGA. Реконфигурируемые измерительные и управляющие системы**» 2009 г., но она была выпущена небольшим тиражом и за более чем 10 лет уже порядком устарела. В то же время LabVIEW широко преподается в российских вузах, и материалов по данной тематике не хватает. У нас в МИЭМ есть отдельная лаборатория, оборудованная продукцией National Instruments, в т.ч. myRIO на основе FPGA. На них студенты изучают основы цифровой электроники, прежде чем попадают в мою лабораторию Систем автоматизированного проектирования (САПР), где уже знакомятся с проектированием на отладочных платах с ПЛИС от компаний Altera (Intel FPGA)/Xilinx и их САПР'ами. Но на самом деле я всегда считал такое несколько подчиненное положение LabVIEW несправедливым. Потому что LabVIEW – это очень мощная и разносторонняя САПР, обладающая большим функционалом и возможностями. Главный ее недостаток – это жесткая привязка к продуктам National Instruments. Но вот как раз в случае с проектами на ПЛИС в LabVIEW FPGA в последние несколько лет появилась надстройка IP Export Utility. Этот инструмент превращает LabVIEW в мощный инструмент высокоуровневого синтеза (HLS – High Level Synthesis) наподобие MATLAB, но только со своим языком графического проектирования и возможностью аппаратной отладки проектов и создания цифровых панелей управления, после чего проекты могут быть экспортированы на нужную разработчику платформу или даже скомпилированы под ASIC с помощью открытого маршрута проектирования.

Поэтому, когда ко мне обратились из издательства «ДМК Пресс» с предложением выступить редактором нового переиздания книги Е.Д. Барана по LabVIEW FPGA, я отложил работу над другими книгами и с огромным энтузиазмом взялся за этот проект. Оказалось, что не все так просто: книга претерпела глубокую переработку, получив тысячи правок и дополнений, обзавелась новой главой (как раз про LabVIEW FPGA IP Export Utility), стала современной и более дружественной для читателя. И теперь, по прошествии 9 месяцев работы, я, уже в статусе второго автора, рад представить ее на ваш суд.

Что почитать еще?

Если вы осилите эту книгу, то я советую также ознакомиться с книгой Terry Stratoudakis «Introduction to LabVIEW FPGA for RF, Radar, and Electronic Warfare Applications» [B-4]. Она сама по себе интересна, но еще в ней есть обширный спи-



сок литературы, который собран в репозитории: <https://github.com/LVFPGABOOK> [B-5]. Также обратите внимание на список литературы, который есть у этой книги. Там собраны практически все мануалы и инструкции, а еще другие книги преимущественно в открытом доступе, которые вам могут пригодиться.

Насколько сложно сделать хорошую книгу?



Об этом я рассказываю в своем выступлении на IV конференции FPGA разработчиков FPGA Systems 2023.1: https://www.youtube.com/watch?v=7K5l_rL8-o.

Надеюсь, эта книга тоже вышла хорошей и **будет интересна широкому кругу читателей** от студентов технических вузов до разработчиков научного и промышленного оборудования, которые стремятся расширить свой кругозор и познакомиться с новыми САПР. Для знакомства с ней достаточно знать основы программирования, иметь хотя бы некоторое понимание, что такое ПЛИС и для чего они нужны, а также стремление развиваться.

В добрый путь!

*Александр Юрьевич Романов,
к.т.н., доцент ДКИ МИЭМ НИУ ВШЭ,
преподаватель курсов «Проектирование систем на кристалле»,
«Системное проектирование цифровых устройств»
и «Системы искусственного интеллекта»
г. Москва, Россия*