

УДК 004.681.518

¹Розоринов Г. Н., ¹Чичикало Н. И., ¹Ларина Е. Ю., ²Ларин В. Ю.¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігора Сікорського»²Національний авіаційний університет

ЯКР-СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ РАСПОЗНАВАНИЯ ВИДА ВЕЩЕСТВА И ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ ОТ ЕГО НЕСАНКЦИОНОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Предложена методика создания нового виртуального прибора в процессе освоения языка графического программирования LabView для облегчения выполнения проектных процедур и анализа полученных результатов. Решается задача исследований с помощью возбуждения ядерного квадрупольного резонанса в компонентах, содержащих ядра, обладающих электрическим квадрупольным моментом. Описан процесс создания технических средств своевременного распознавания и защиты объектов от воздействий опасных веществ.

Ключові слова: виртуальний прибор, защита объектов, распознавание, язык графического проектирования LabView, ядерный квадрупольный резонанс

Введение и постановка задачи. Ядерный квадрупольный резонанс (ЯКР), открытый Демельтом и Крюгером, является одной из областей радиоспектроскопии, широкое развитие которой началось лишь в середине XX века. Он схож с ядерным магнитным резонансом (ЯМР) с точки зрения сущности явления и методики наблюдения [1]. За прошедшее время в мировой литературе появилось немного работ, решающих задачу обобщения накопленного теоретического и экспериментального материала. Краткие обзоры посвящены лишь отдельным областям проблемы. Кроме того, при описании экспериментальных методов наблюдения явления ЯКР, присутствуют некоторые противоречивые толкования [2, 3].

Учитывая заинтересованность правительств, предприятий и ведомств в решении проблемы не только обнаружения взрывчатых веществ, наркотиков, но и других видов или отдельных составляющих вредных веществ методом ЯКР, а также развитие соответствующих методик распознавания, можно считать постановку задачи в этом направлении весьма актуальной [4].

Ядерный квадрупольный момент – это некоторая величина, характеризующая отклонение формы ядра от сферической. Значительное количество ядер периодической системы элементов обладает квадрупольными моментами. В кристаллах под влиянием взаимодействия ядерного квадрупольного момента с электрическим полем электронных оболочек молекул возникает ориентация ядерных спинов в определенном направлении. Если перпендикулярно данному направлению приложить радиочастотное поле, частота которого равна частоте переходов между электронными уровнями, то можно наблюдать поглощение радиочастотной мощности.

ЯКР может быть применен для выяснения структуры кристаллов, определения квадрупольных моментов ядер, исследования типов и степени гибридизации ковалентных связей, выяснения неэквивалентности положения резонирующих ядер в кристаллической решетке, при помощи метода квадрупольного спинового эхо. Этот метод основан на импульсном возбуждении ЯКР, что связано не только с возможностью исследования неравновесных состояний спин-системы (релаксационные процессы), но и главным образом, с более широкими возможностями изучения внутренних электрических и магнитных локальных полей в кристаллах [5].

Импульсные способы ЯКР позволяют наблюдать сигналы в неупорядоченных кристаллах, что существенно расширяет возможности метода.

Рассмотрим методику построения ЯКР-спектрометра, используемого для виртуального проектирования технических средств распознавания вида вещества в среде программного пакета LabView [6]. LabView – язык графического программирования, в котором для создания приложений вместо текстового кода используются графические образы (иконки).

Все действия сводятся к построению структурной схемы приложения в интерактивной графической системе с набором всех необходимых библиотечных образов, из которых собираются объекты, называемые Виртуальными Инструментами (VI).

Процесс освоения LabView существенно облегчается благодаря наличию интерактивной обучающей системы, разветвленной контекстно-зависимой помощи и множеству примеров использования приемов программирования.

Первые попытки использовать метод ЯКР были в значительной степени неудачными. Классификационный анализ известных решений приведен в табл. 1.

Классификация и результаты исследований метода ЯКР

Табл. 1

Страна, авторы	Суть разработок	Период
СССР, академик А.Н. Теренин	Опубликована первая работа по ядерному квадрупольному резонансу. Предложена методика определения средних времен жизни квантов вращательных качаний по данным квадрупольной релаксации.	1959 г..
СССР	Предложен способ кросс-релаксации в ЯКР, что позволило перейти к широким исследованиям. На основе кросс-релаксации обоснован метод двойного резонанса.	1960 г.
СССР	Открыто двухчастотное спиновое эхо, что сыграло важную роль в развитии радиоспектроскопии органических полупроводников. Вскоре обнаружено влияние косвенных спин-спиновых взаимодействий на квадрупольное спиновое эхо. Большую роль сыграли исследования ЯКР в комплексах Меншуткина, которые вызвали появление ряда работ на Западе.	1967 г.
СССР	Опубликована первая книга, а также предприняты исследования двухчастотного спинового эхо.	1969 г.
СССР	Опубликована вторая книга, в которой обобщены исследования с 1957 г.	1957–1973 гг.
СССР, Ленинград	Разработан широкодиапазонный ЯКР - спектрометр с записью трех производных, получивший серебряную медаль ВДНХ, а затем отобранный на выставку в Будапешт. Среди первых достижений принцип синусоидальной Зеeman- модуляции, медленные биения на верхних переходах при наличии параметра асимметрии в магнитном поле, исследования комплексов уротропина. Большое число работ опубликовано по развитию двухчастотного метода, сыгравшего важную роль в системах контроля.	1970 – 1973 гг.
СССР, США	Одновременно начались работы по созданию устройств для детектирования взрывчатки методом ЯКР.	1972 г.
СССР, группа проф. В.С. Гречишкина Калининград	Исследование взрывчатых веществ методом ЯКР. Первой работой по наркотикам является работа, где методом ЯКР исследован никотин. В этой научной группе развивались исследования в области двойного ЯКР, кросс-релаксации, прямого импульсного метода с большой катушкой.	1975 г.
США, Р. Марино	Используя методики импульсных последовательностей спин-локинг-эхо (SLSE) и сильных нерезонансных импульсов (SORC) для накопления сигналов ЯКР ^{14}N , измерил частоты в различных кристаллографических формах тротила.	Конец 1970-х гг.
США, Р. Марино	Удалось стационарным методом ЯКР, с помощью генератора Робинсона, обнаружить резонансы ^{14}N от циклического азота в гексогене.	1972 г.
США, группа Ф. Брея	Выполняя заказ военного ведомства, измерила резонансные частоты в ряде других взрывчатых веществ	1977 г.
СССР, США	Начала развиваться методика обнаружения взрывчатки для контроля авиабагажа методом кросс-релаксационной спектроскопии ядер ^{14}N и ^1H . Интерес к проблеме обнаружения взрывчатки и наркотиков стимулировало возрастающее количество террористических актов с большим количеством жертв и проблема борьбы с контрабандой наркотиков.	С 1980 г.
Англия, Д. Эдмонс	Разрабатывалась программа поиска взрывчатки в небольших почтовых отправлениях, основанная на использовании двойного ЯКР-ЯМР резонанса с циклованием поля.	1981 – 1989 гг.
Афганистан	Успешно продвигавшаяся работа по обнаружению противотанковых мин и взрывчатки в почтовых отправлениях была заморожена после прекращения финансирования с окончанием войны.	1980 – 1990 гг.

СССР	Впервые в мире обнаружен ЯКР в минах и создан первый в мире квадрупольный миноискатель.	1980 – 1990 гг.
США, А. Гарровой и сотр.	Начинает работать над созданием ЯКР-сканера больших объемов для контроля багажа, что требует радиочастотной мощности облучения в несколько сотен киловатт для создания "90-градусных" импульсов.	Начало 1990-х гг.
Япония, группа Т. Маруцуми	Работы по исследованию возможностей ЯКР-сканера.	1990 г.
Польша, группа проф. Ногая .	Изучены времена релаксации в гексогене и октогене при разных температурах в Познани.	1993 – 1995 гг.
Китай, проф. Сюй-Чен-Дун, Сиан	Изучен ЯКР в гексогене. Если взрывчатое вещество, например гексоген, помещено в пластмассовый корпус, то металлоискатели, а также радиоволновой метод оказываются неэффективными.	1995 – 1997 гг.
Доклады в Японии (1989), Китае (1990 и 1996) Германии (1992, 1993, 1994, 1995), Англии (1991), Польше (1992, 1993, 1995 – 1997). В Кембридже автор удостоен 3 медалей, в том числе медали между-народного био-графического центра (2000) о включении выдающихся деятелей 20 века (медали в Познани и Пекине).	<p>Нейтронный метод обнаружения взрывчатых веществ обладает малой эффективностью из-за низкой избирательной способности. Собака чувствует, в основном, запах человека. "Электронные носы", основанные на масс-спектрометрии, малоэффективны, так как требуется слишком большое время для диффузии молекул на поверхности упаковки.</p> <p>Гексоген $C_3H_6N_6O_6$ является составной частью пластической взрывчатки ПБВ-4. Большинство современных противотанковых мин изготавливаются на основе смеси тринитротолуола и гексогена (ПБВ-4 имеет следующий состав: гексоген 80%, пластификатор 20%; противотанковая мина ТМ-62т-2: 57,5% – гексоген, 19% – тротил, 4,77% – алюминий, 6,4% – флегматизатор; итальянские противотанковые мины TS-2,5 и TS-6: гексоген – 45 %, тротил – 55%). Взрывчатые вещества, входящие в эти мины имеют разные температуры плавления: $80^{\circ}C$ – тротил и $204,1^{\circ}C$ – гексоген. При снаряжении боеприпасов гексоген не доводится до температуры плавления, так как при этом сильно повышается его чувствительность к удару и трению. Кроме этого гексоген не растворим в толуоле, нитрованием которого получают тротил. Все это приводит к тому, что линии ЯКР ядер азота в смеси тротил-гексоген не смещаются и не уширяются по сравнению с чистым $C_3H_6N_6O_6$. Все линии ЯКР ^{14}N в гексогене от циклического азота, как линии n^+, n^- так и n^0 имеют высокую интенсивность и при измерениях в обычной цилиндрической катушке могут наблюдаться без накопления. Устройство для регистрации скрытых закладок взрывчатых веществ на основе ЯКР на ядрах азота ^{14}N обеспечивает однозначную идентификацию взрывчатого вещества, что отражено в авторских свидетельствах и публикациях. Гексоген и большинство других взрывчатых веществ, в том числе широко распространенный тринитротолуол ($C_7H_5O_6N_3$), содержат в своем составе нитрогруппы NO_2. Детектировать сигналы от нитрогрупп значительно сложнее, чем от циклического азота. Ситуация осложняется еще больше в случае наличия в образце различных химически неэквивалентных ядер и кристаллической неэквивалентностью, которая приводит к мультиплетности линий (для тротила – 12 линий). Кроме всего этого, NO_2 – группы в соединениях, входящих во взрывчатку, могут, по-видимому, вращаться при комнатной температуре, уширяя линию ЯКР ^{14}N. Удачным обстоятельством для практической реализации миноискателя по гексогену, кроме большой интенсивности линий от циклического азота, является то, что частоты линий ЯКР ^{14}N в этом взрывчатом веществе очень слабо зависят от температуры. Кроме того, как уже отмечалось, большой параметр асимметрии h градиента электрического поля в гексогене (~62%) приводит к тому, что линии ЯКР азота не уширяются в слабом постоянном магнитном поле. Это также благоприятствует условию наблюдения сигналов от взрывчатого вещества в реальных практических случаях.</p>	1989 – 1997 гг., 2000 г.
Р. Эрнст (Швейцария) и др.	Присуждено 12 Нобелевских премий специалистам по радиоспектроскопии.	1992 г.

Основная часть. Структурная схема ЯКР-спектрометра показана на рис. 1. В нее входят: генератор радиоимпульсов (частота генератора больше 500 МГц), образец (в данном исследовании использован деревянный брус), корреляционный фильтр, АМ-модулятор, блок управления, устройство отображения информации.

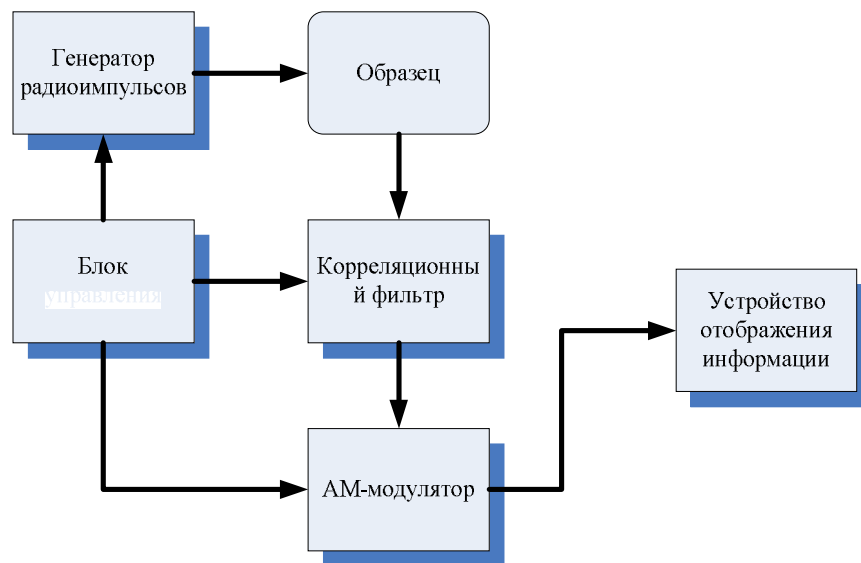


Рис. 1. Структурная схема ЯКР-спектрометра

Генератор радиоимпульсов. Для получения квадрупольного ядерного спинового эхо, необходимо на образец подать последовательность радиочастотных импульсов. Для этого используется генератор радиоимпульсов, который вырабатывает последовательность из двух видов импульсов: 90° -импульс и 180° -импульс, такая последовательность называется "спин-эхо последовательность". На рис. 2 показано действие таких импульсов на образец.

90° -импульс, применяемый к спиновой системе первым, направляет вектор намагниченности в плоскость XY. Поперечная намагниченность начинает расфазироваться. В момент времени τ после 90° -импульса, воздействует 180° -импульс, который поворачивает плоскость намагниченности на 180° вокруг оси X. 180° -импульс частично восстанавливает фазу намагниченности и заставляет систему испускать сигнал, называемый эхом.

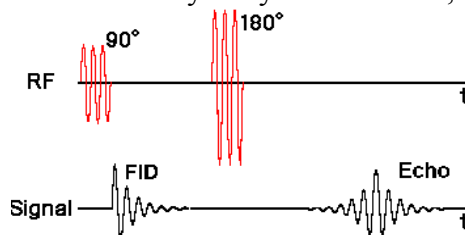


Рис. 2. Действие 90° -импульса и 180° -импульса на образец

Сигнальное уравнение для повторяющейся спин-эхо последовательности, как функции от времени повторения (TR-time repetition) и времени эхо (TE-echo time), определяемое, как время между 90° -импульсом и максимальной амплитудой эхо, выглядит следующим образом:

$$S = k\rho(1 - e^{-TR/\tau})e^{-TE/\tau},$$

где S – амплитуда сигнала после преобразования Фурье (в частотной области); k – коэффициент пропорциональности; ρ – плотность спинов в исследуемом объекте; TR – время повторения последовательности; τ – время спин-решетчатой релаксации; TE – время эхо.

Реализация генератора радиоимпульсов в пакете прикладных программ LabView.

В LabView содержатся встроенные шаблоны, называемые Виртуальными Приборами (ВП), содержащие виртуальные подприборы (ВПД), а также функции, структуры и объекты

лицевой панели, которые могут потребоваться при создании базовых приложений для выполнения различных измерений. Рассмотрим процесс создания ВП, который генерирует сигнал и отображает его на лицевой панели. Для этого необходимо:

1. Запустить LabVIEW.
2. В окне **Getting Started**, щелкнуть по ссылке **New**, или **VI From Template** (ВП из Шаблона) чтобы появилось диалоговое окно **New** (рис. 3).

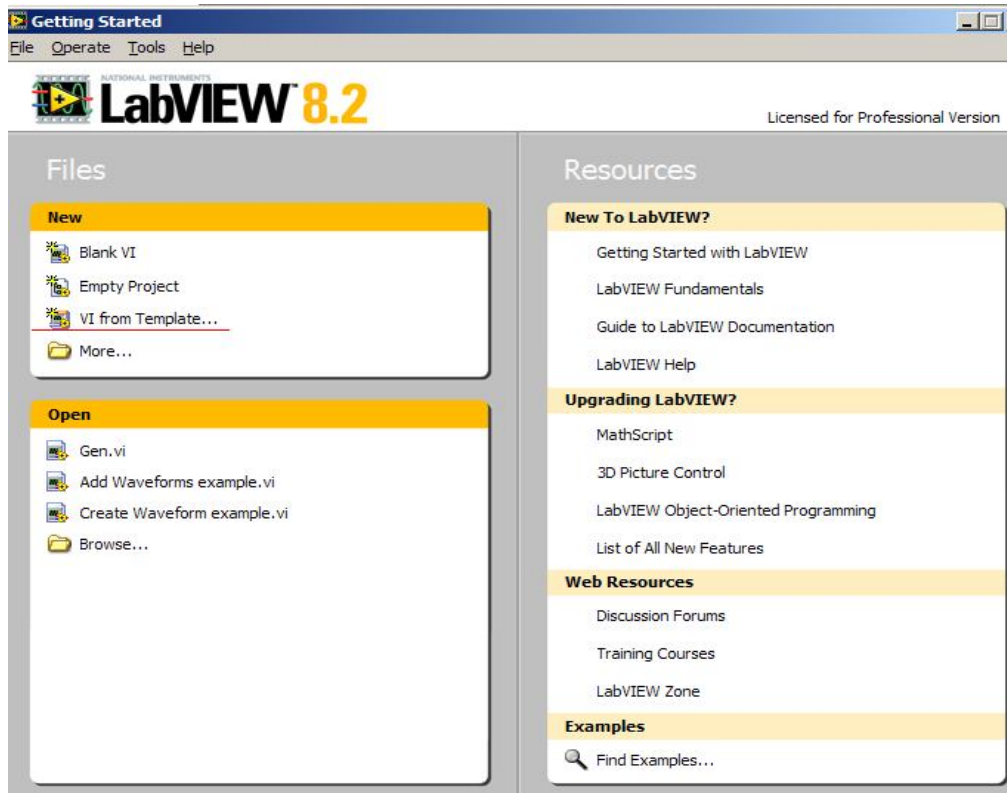


Рис. 3. Окно **Getting Started**

3. Из списка **Create New**, выбрать **VI From Template, Tutorial (Getting Started), Generate and Display** ВП из шаблона "Обучение (Введение)", "Генерация и Отображение". Этот шаблон предназначен для создания ВП, который генерирует и отображает сигнал. Предварительный просмотр и краткое описание шаблона ВП можно увидеть в разделе **Description** (Описание). На рис. 4 показано диалоговое окно **New** и эскиз шаблона ВП "Генерация и Отображение".

4. Щелкнуть **OK**, чтобы создать ВП из шаблона. Или можно дважды щелкнуть по названию шаблона ВП в списке **Create New**.

Интерфейс пользователя, или лицевая панель, имеет серый фон рабочего пространства и включает элементы управления и индикаторы. Строка заголовка лицевой панели указывает, что это окно – лицевая панель для ВП "Генерация и Отображение".

Если лицевая панель не видна, можно сделать ее видимой/активной, выбрав меню **Windows Show Front Panel** (Окно "Показать Лицевую панель"). Всегда можно переключиться между окном лицевой панели и блок-диаграммой, нажав сочетание клавиш <Ctrl-E>. Клавише <Ctrl> соответствует клавиша <Option> или <Command> (Mac OS) или клавиша <Alt> (Linux).

5. Выбрать меню **Windows Show Block Diagram** (Окно "Показать Блок-диаграмму") и изучить блок-диаграмму ВП.

Блок-диаграмма имеет белый фон рабочего пространства и содержит ВП и структуры, которые управляют объектами лицевой панели. Строка заголовка блок-диаграммы указывает, что это окно – блок-диаграмма для ВП "Генерация и Отображение".

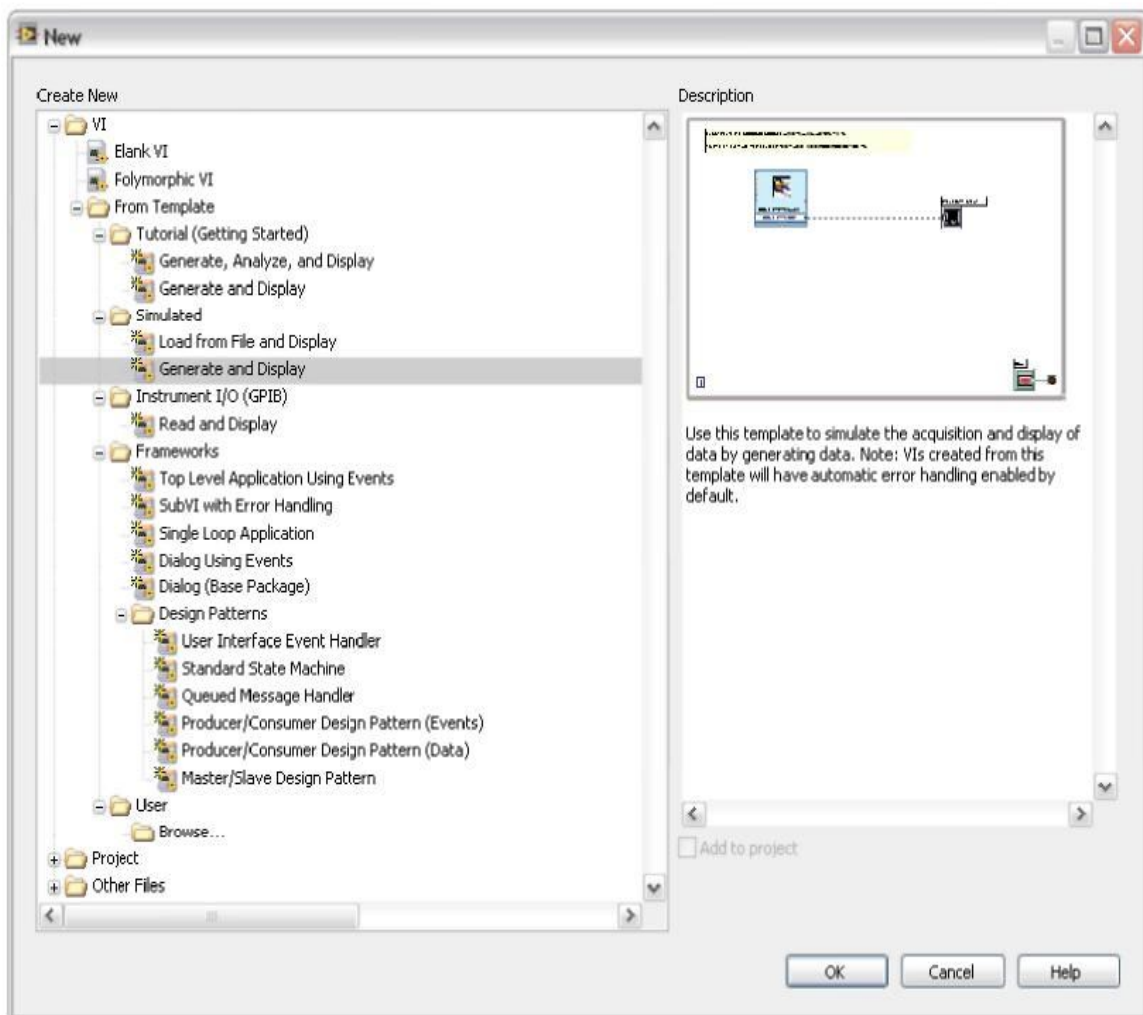


Рис. 4. Окно выбора шаблона

6. На панели инструментов интерфейса пользователя щелкнуть кнопку **Run** (Пуск). Или для того, чтобы запустить ВП, можно нажать комбинацию клавиш <Ctrl-R>. На графическом индикаторе лицевой панели отобразится синусоида.

7. Щелкнуть кнопку "Стоп" на лицевой панели, чтобы остановить ВП.

Добавление элемента управления на Front Panel. Эти элементы моделируют устройства ввода на физическом приборе и обеспечивают данными блок-диаграмму ВП. Здесь устройства ввода реализованы при помощи терминала **Numeric Controls** (Терминал Ввода Значений). Чтобы его добавить, необходимо выполнить следующие шаги:

– если палитра элементов, показанная на рис. 5, не видна на лицевой панели, выбрать меню **View Controls Palette**. Для этого щелкнуть правой кнопкой мыши на любом месте. При этом палитра элементов управления или функций появляется со значком "булавки" в левом верхнем углу. Щелкнуть по нему, чтобы закрепить палитру, и тогда она будет присутствовать постоянно;

– если впервые запускается LabView, палитра элементов управления по умолчанию появится с открытой подпалитрой **Express**. Если эта подпалитра не видна, щелкните **Express** в палитре элементов управления. Перемещайте курсор мыши по значкам на подпалитре **Express**, чтобы найти подпалитру числовых элементов управления **Numeric**.

При перемещении курсора по значкам в палитре элементов управления, в поле подсказки под значком появляется название подпалитры и элемента управления/индикатора. Щелкнуть по значку **Numeric Controls**, чтобы отобразить подпалитру числовых элементов управления/индикаторов (рис. 6).

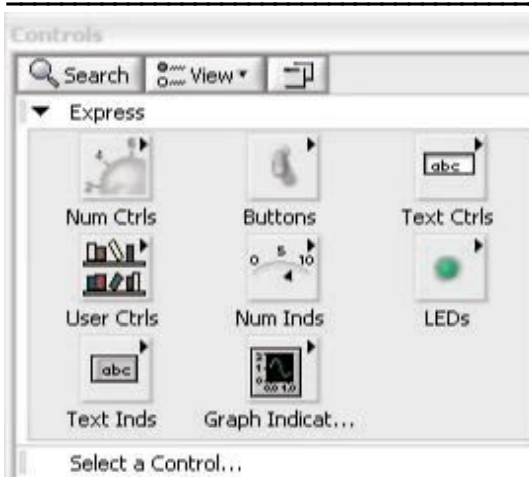


Рис. 5. Окно палитры элементов

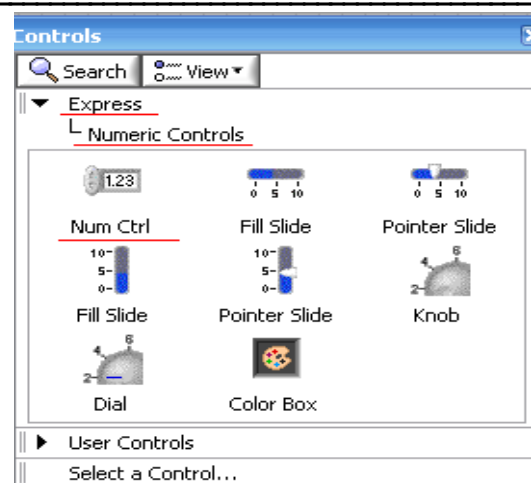


Рис. 6. Окно подпалитры

На **Block Diagram** появляется значок . Таким образом, устанавливаем четыре терминала **Numeric Controls** ("Терминал Ввода Значений"). Также можно использовать сокращенные обозначения значков. Для этого щелкаем правой клавишей мыши на терминале **Numeric Controls** и в выпадающем меню снимаем галочку с **View as Icon** (рис.7).

Далее можно изменить свойства терминала **Numeric Controls** ("Терминал Ввода Значений"). Для этого необходимо выполнить следующие шаги.

1. На лицевой панели щелкнуть правой кнопкой мыши по **Numeric Controls** и выбрать опцию **Properties** (Свойства) из контекстного меню. Появится диалоговое окно **Numeric Controls** (Свойства "Терминал Ввода Значений").
2. В разделе **Label** (Ярлык) на вкладке **Appearance** (Внешний Вид), удалить из текстового поля надпись **Numeric** и ввести надпись **Amplitude** для первого терминала **Numeric Controls** (повторить те же действия для второго терминала и назвать **T**, для третьего – **tu** и для четвертого – **Fc**).

Диалоговое окно терминала **Numeric Controls** (Свойства "Терминал Ввода Значений") должно выглядеть так, как показано на рис. 8.

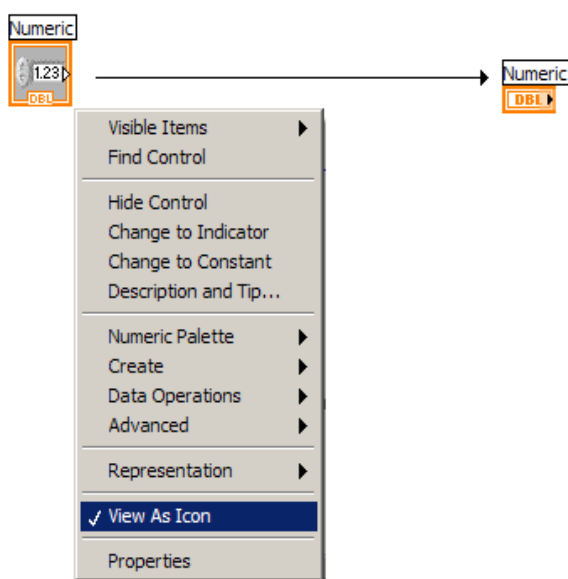


Рис. 7. Процедура представления терминала **Numeric Controls** в сокращенном виде

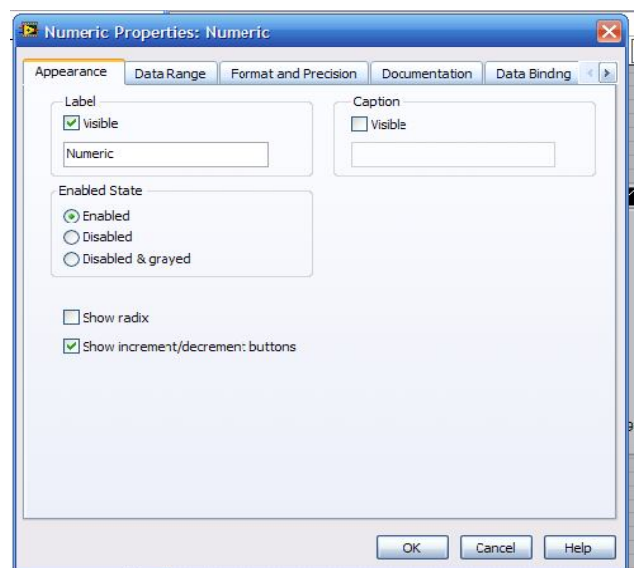


Рис. 8. Окно свойств терминала **Numeric Controls** (вкладка **Appearance**)

3. На второй вкладке **Data Range** устанавливаются (рис. 9):

- **Default Value** – значение по умолчанию (терминалов **Amplitude, T, tu, Fc**);
- **Maximum** – максимальное значение (терминалов **Amplitude, T, tu, Fc**);
- **Minimum** – минимальное значение (терминалов **Amplitude, T, tu, Fc**);
- **Increment** – шаг увеличения (терминалов **Amplitude, T, tu, Fc**);
- **Representation** – тип данных DBL – Double (терминалов **Amplitude, T, tu, Fc**).

На третьей вкладке **Format and Precision** (рис. 10) выбирается параметр **SI notation** для отображения формата числа в сокращенном формате (1 000 000 – 1M).

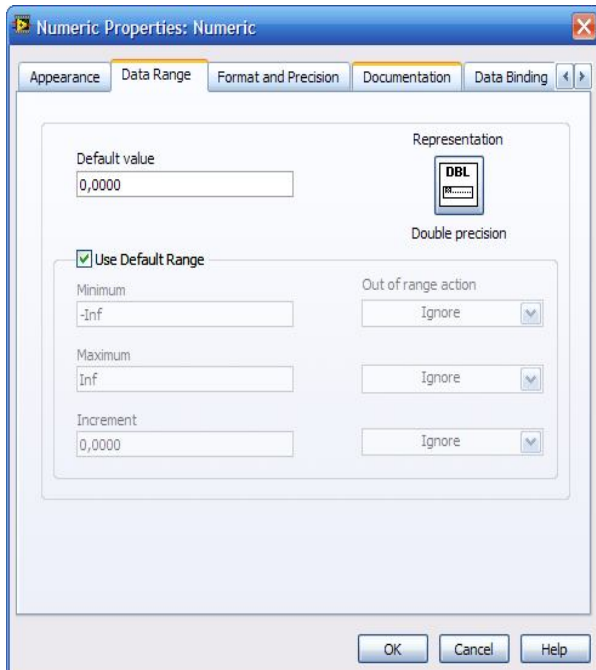


Рис. 9. Окно свойств терминала **Numeric Controls** (вкладка **Data Range**)

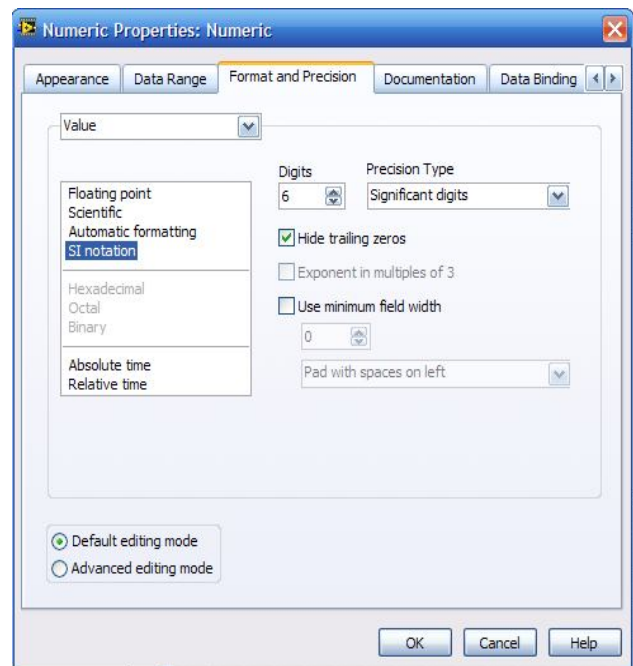


Рис. 10. Окно свойств терминала **Numeric Controls** (вкладка **Format and Precision**)

4. Щелкнуть по кнопке **ОК**, чтобы сохранить текущую конфигурацию и закрыть диалоговое окно **Numeric Controls**.

5. Сохранить ВП.

Заключение

1. Излагается сущность явления ядерного квадрупольного резонанса .
2. Выполнен классификационный анализ известных достижений в области ЯКР.
3. Предложена методика построения шаблона создания нового Виртуального Прибора для исследования ЯКР – спектрометра.

4. При создании базовых приложений для моделирования устройств ввода и обеспечения данными блок–диаграммы ВП на физическом уровне в ВП могут быть использованы встроенные виртуальные подприборы, функции, структуры и объекты лицевой панели.

4. Показано, что созданный ВП обеспечивает генерацию заданного сигнала и отображение его на лицевой панели.

Список использованной литературы

1. Попл Дж. Спектры ядерного магнитного резонанса высокого разрешения / Дж. Попл, В. Шнейдер, Г. Бернстейн.– Москва : Иностранная литература, 1962.– 292 с.

2. Глинчук М. Д. Электрические эффекты в радиоспектроскопии. Электронный парамагнитный, двойной электронно-ядерный и параэлектрический резонансы / М. Д. Глинчук, В. Г. Грачёв, М. Ф. Дейген, А. Б. Ройцин, Л. А. Суслин ; под общ. ред. М. Ф. Дейгена. – Москва : Наука. Гл. ред. физ.-мат. литературы, 1981. – 331 с.
3. Гречишкин В. С. Ядерные квадрупольные взаимодействия в твердых телах / В. С. Гречишкин. – Москва : Наука, 1973. – 267 с.
4. Garroway A. N. Remote sensing by nuclear quadrupole resonance / A. N. Garroway, M. L. Buess, J. V. Miller, V. H. Suits, A. D. Hibbs, G. A. Barrall, R. Matthews, L. J. Burnett // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. – January, 2001. – Vol. 39. – P. 1108-1118.
5. Джонминь Ли. ЯКР–спектрометр Робинсона на полевых транзисторах / Джонминь Ли, Сун Хо Чох // Приборы для научных исследований. – 1982. – Т.53 (2), – С. 109-112.
6. Хандожко А. Г. Автодинный детектор сигналов для исследования магнитного резонанса и размерных эффектов в полупроводниках / А. Г. Хандожко, Е. И. Слинко // Приборы и техника эксперимента. – 1988. – Т.5. – С.110-112.
7. Ларин В. Ю. Концепции профессионального проектирования приборов и систем / В. Ю. Ларин, Е. Ю. Ларина, Я. А. Савицкая, Г. Н. Розоринов, Е. Е. Федоров, Н. И. Чичикало. – Київ : Кафедра, 2016. – 468 с.

Автори статті

Розорінов Георгій Миколайович – доктор технічних наук, професор кафедри звукотехніки та реєстрації інформації, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігора Сікорського», м.Київ. Тел.: +380(63) 248 95 27. E-mail : grozoryn@gmail.com.

Чичикало Ніна Іванівна – доктор технічних наук, професор кафедри звукотехніки та реєстрації інформації, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігора Сікорського», м.Київ. Тел.: +380(50) 8671564. E-mail : chichikalo@rambler.ru.

Ларіна Катерина Юрійвна – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігора Сікорського», м.Київ. Тел.: +380(66) 0303743. E-mail : k.kypcova@mail.ru.

Ларін Віталій Юрійович, доктор технічних наук, професор кафедри аеронавігаційних систем, Національний авіаційний університет, м.Київ. Тел.: +380(50) 8305363. E-mail : k.kypcova@mail.ru

Authors of the article

Rozorinov Heorhiy Mykolayovych – doctor of sciences (technical), professor of audiotechnics and registration of information department, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky KPI", Kyiv. Tel. +380(63) 248 95 27. E-mail : grozoryn@gmail.com.

Chichikalo Nina Ivanivna – doctor of sciences (technical), professor of audiotechnics and registration of information department, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky KPI", Kyiv. Tel. +380(50) 8761564. E-mail : : chichikalo@rambler.ru.

Larina Kateryna Yuriyivna – candidate of sciences (technical), associate professor of the automated systems of information processing and management department, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky KPI", Kyiv. Tel. +380(66) 0303743. E-mail : k.kypcova@mail.ru.

Larin Vitaliy Yuriyovych – doctor of sciences (technical), professor of aeronavigation systems department, National Aviation University, Kyiv. Tel. +380(50) 8305363. E-mail : k.kypcova@mail.ru.

Дата надходження
в редакцію: 02.10.2016 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор В. В. Вишнівський
Державний університет телекомунікацій