

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИГНАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА ADSP-2184 В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОМ ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

Айзатулин О.Ф., Бочкарев В.В., Теплов В.Ю.

Казанский Государственный Университет

Введение.

Одной из важнейших задач при проведении экспериментов ядерного магнитного резонанса (ЯМР) на основе многоимпульсных методик является формирование импульсных последовательностей. В этой ситуации устройство, именуемое генератор импульсных последовательностей (ГИП), выступает в роли многовыходного генератора временных последовательностей импульсов, основной задачей которого является формирование управляющих воздействий заданной длительности в заданный момент времени на заданном функциональном выходе. Существует возможность решения этой задачи различными способами, в том числе и создание программируемых ГПИ, используя элементы жесткой логики [1] или на основе современных однокристальных микроконтроллеров, позволяющих получить многофункциональное программно управляемое устройство с малыми габаритами и малым энергопотреблением. [2].

Наличие плат аналогового и цифрового ввода/вывода с установленным сигнальным процессором на плате позволяет относительно дешево и быстро решить задачи управления ЯМР-экспериментом используя цифровые выходы для реализации генератора импульсных последовательностей и ввода сигналов ЯМР-отклика в компьютер применяя при этом алгоритмы цифровой обработки сигналов в режиме реального времени.

Многие системы, применяемые в исследовании ядерного магнитного резонанса (ЯМР) работают в диапазоне частот 5-50 МГц и по функциональному составу во многом напоминают классические приемопередаточные (радиолокационные) системы коротковолнового диапазона и внедрение аппаратно-программных алгоритмов в области цифровой обработки в тракт приема ЯМР-сигнала вполне реально и позволит качественно повысить характеристики измерительных систем.

1. Генератор импульсных последовательностей.

В предлагаемой системе управления использовалась плата ввода/вывода Lcard-761 имеющая в своем составе ПЦОС ADSP-2184. Формирование импульсной последовательности в символьном виде и ее кодирование в виде таблицы действий и временных интервалов производится управляющей программой верхнего уровня и передается для исполнения в ОЗУ сигнального процессора платы ввода/вывода.

Программирование последовательности заключается в разбиении ее на некоторое количество элементарных шагов, каждый из которых имеет определенную, задаваемую оператором длительность и определенное действие. Таким образом, при создании импульсной последовательности предоставлена возможность произвольной вариации воздействий в зависимости от цели проводимого эксперимента.

Формат шага следующий:

1 слово – образ цифровых выводов;

2, 3, 4 слово – длительность шага;

5 слово – номер следующего исполняемого шага;

6 слово – количество переходов на следующий шаг для организации циклических алгоритмов ЯМР-эксперимента.

Исполнение сигнальным процессором алгоритма эксперимента производится загруженной в него управляющей программы.

Задачами управляющей программы, загружаемой в сигнальный процессор, являются:

- обработка таблицы шагов, получаемой от ЭВМ верхнего уровня;
- генерирование импульсов в соответствии с заданной последовательностью;
- предварительная обработка сигнала (получение квадратурных компонент) и временное хранение их в циклическом буфере внутренней памяти данных;
- извещение ЭВМ верхнего уровня о заполнении буфера.

2. Программа управления ГИП.

После загрузки управляющей программы во внутреннюю память сигнального процессора с ЭВМ верхнего уровня, происходит выполнение следующих процедур:

Init (инициализация платы ввода/вывода):

1. загрузка таблицы векторов прерывания;

2. Передача параметров через последовательный порт в управляющий микроконтроллер AVR AT90S2323, микроконтроллер после загрузки необходимых параметров перезапускается, и начинает самостоятельно управлять работой АЦП и коммутатора аналоговых сигналов;

3. Настройка последовательного порта SPORT0, на прием данных с АЦП;

4. Генерирование прерывания в ЭВМ верхнего уровня с сообщением о готовности платы к работе;
5. Загрузка с ЭВМ верхнего уровня, в память сигнального процессора таблицы шагов, коэффициентов фильтра. Вызывается прерывание IRQ2 сигнального процессора для запуска обработчика шагов последовательности;

Work (выполнение алгоритма управления ГИП)

1. Выполнение последовательности;
2. Если на шаге требуется получить данные с АЦП, то программа вызывает процедуру **DSP**, если нет продолжает выполнять последовательность.

DSP (выполнение алгоритма квадратурного преобразования)

1. Процедура получения отсчетов с АЦП, обрабатывает входной поток данных с АЦП в соответствии с алгоритмом цифровой обработки сигналов, сохраняет квадратурные компоненты во временном кольцевом буфере, при заполнении буфера, выдается сигнал прерывания в ЭВМ верхнего уровня;

Обработчик шагов, производит считывание из таблицы, распознавание действия, и выполнение этого действия. Минимальная длительность шага 1мкс. Для активизации какого-либо цифрового канала производится запись в пространство ввода/вывода числа, выходные линии установятся в требуемые состояния в соответствии с битами записываемого значения.

Пример:

```
AX0=0;
IO(0)=AX0;
```

Во втором - четвертом словах шага хранится значение длительности в единицах тактовой частоты процессора. Это значение загружается в счетчик и таймер. Длительность активизации канала обрабатывается таймером и счетчиком.

```
AX0=DM(IO,M1);
DM(TPeriod_Reg)=AX0;{регистр периода}
AX0=DM(IO,M1);
DM(TCount_Reg)=AX0;{регистр таймера}
```

TPeriod_Reg, *TCount_Reg*, *TScale_Reg* – являются predetermined константами, имеющие значения 0x3ffd, 0x3ffc, 0x3ffb соответственно. Это адреса регистров в памяти данных сигнального процессора. После прерывания таймера его значение обновляется из регистра периода.

```
AX0=DM(IO,M1);
CNTR=AX0;{загрузка счетчика}
ENA TIMER;{запуск таймера}
DO wait_again UNTIL CE;{}
IDLE;{}
wait_again:NOP;{}

```

Переход на следующий шаг происходит путем записи в регистр косвенной адресции I4 адреса следующего шага.

```
AX0=DM(IO,M1);
I4=AX0;
JUMP (I4);
```

Использование сигнального процессора позволило получить ГИП со следующими характеристиками:

Минимальная продолжительность импульса – 1мкс;

Дискретность установки временного положения импульса– 30 нс;

Стабильность ($\Delta\tau/\tau$) – 10^{-6} .

Цифровая обработка сигнала.

Данные АЦП передаются в сигнальный процессор через буферизированный последовательный порт. Над полученными данными производится квадратурная обработка в режиме реального времени.

Значения синуса и косинуса хранится в одном циклическом буфере $\cos_sin[\begin{matrix} \sqrt{2} & \sqrt{2} & -\sqrt{2} & -\sqrt{2} \\ \sqrt{2} & \sqrt{2} & -\sqrt{2} & -\sqrt{2} \end{matrix}]$.

Первоначально, указатель на значения синуса (I5) устанавливается на первый элемент буфера, указатель на значения косинуса (I6) на второй элемент. Отсчет с АЦП сначала перемножается на косинус и подвергается фильтрации цифровым фильтром ЦФ1, тот же отсчет перемножается на синус и подвергается фильтрации ЦФ2. Передаточные характеристики ЦФ1 и ЦФ2 идентичны.

```
KV:
MX0=RX0;{}
MY0=PM(I5,M4);{}
MR=MX0*MY0, MY0=PM(I6,M4);{}
DM( )=MR0;{}

```

```
MR=MX0*MY0;{}  
DM()=MR0;{}  
CALL Cos_Fir;{}  
CALL Sin_Fir; {}  
RTI;{}
```

Процедуры Cos_Fir и Sin_Fir реализуют цифровые фильтры 32-го порядка с линейной фазовой характеристикой. Новые данные складываются в буфер для обмена с ЭВМ верхнего уровня. По мере заполнения буфера обмена сигнальный процессор генерирует прерывание в ЭВМ верхнего уровня. Обработчик прерывания считывает буфер в памяти сигнального процессора по каналу IDMA. Полоса частот обрабатываемая на данной плате ограничена быстродействием АЦП (500 кГц). Сигнальный процессор позволяет обрабатывать полосу до 500 кГц при использовании фильтров 8-го порядка на платах с широкополосными АЦП (Lcard – 7xx).

Литература

1. Идиятуллин Д.Ш., Смирнов В.С. Генератор последовательностей РЧ - импульсов //Тез. Всес. Конф. “Применение магнитного резонанса в народном хозяйстве” Казань 1988г. ч.1 с.91
2. Теплов В.Ю., Романов В.И., Романов А.В., Анисимов А.В. Микропроцессорный программатор импульсных последовательностей для ЯМР-релаксометра – диффузометра. ПТЭ, 2002, №6



USING DIGITAL SIGNAL PROCESSOR ADSP-2184 IN NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE CONTROL SYSTEM

Ayzatulin O., Bochkarev V., Teplov V.

Kazan State University

The Abstract. One of the most important problems in experiments of nuclear magnetic resonance (NMR) based on multipulse methodics is pulsed sequences generation. Availability in selling the boards of analog and digital i/o with placed signal processor on board allows comparatively cheaply and quickly solve the problem of input analog NMR-signals in computer using algorithms of digital processing in realtime simultaneously, as well as use the digital outputs for realization the pulsed sequences generator

Many systems, have used in study of nucleus magnetic resonance work within the range of frequencies 5-50 MHz and on functional composition in many remind classical receiver - transceiver system of short-wave band, i.e. introduction hardware-programme algorithms in the field of digital processing in tract of receiver of NMR - signal wholly real and will allow qualitative to raise the features of measuring systems.

The Pulse Sequences Generator. In control system which was realized there Lcard-761 board has used. There is ADSP-2181 signal processor on board. The sequence of step is forming in symbolic code on PC and transfered in DSP internal memory.

Programming of pulse sequence is lie in partition it on a certain amount of elementary steps, each of which has determined duration and action. Thereby, when making the pulsed sequence is presented the possibility free variation influences depending on purposes of conducted experiment.

The format of step is:

1 word - digital outputs image;

2, 3, 4 words – step duration;

5 words - next step number;

6 words - amount of transitions to the next step.

Problems which DSP solves are:

- processing the table of steps;
- pulse sequences generation
- signal preprocessing (getting quadrature signals) and saving it in temporary buffer;
- interrupt PC when the buffer is full.

Using the signal processor allow to get the pulse generator with following features:

Minimum length of pulse – 1us;

Discrete - 30 ns;

Digital Signal Processing. Data from ADC are sent in signal processor through buffered serial port. Samples multiplies by $\sin(x)$ and $\cos(x)$, and then is subjected to the filtration by the digital filter **FIR1**.

Values of sine and cosine is kept in one cycle buffer $\cos_sin[\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}}]$. Originally, pointer of

values of sine (I5) is fixed on first element of buffer, pointer of values of cosine (I6) on the second element. Getting quadrature signal procedure is:

KV:

`MX0=RX0;{}`

`MY0=PM(I5,M4);{}` `MR=MX0*MY0, MY0=PM(I6,M4);{}` `DM(=MR0;{}`

`MR=MX0*MY0;{}`

`DM(=MR0;{}`

`CALL Cos_Fir;{}`

`CALL Sin_Fir; {}`

`RTI;{}`

The procedures `Cos_Fir` and `Sin_Fir` realize the 32nd order digital filters with linear phase feature. New data fill in buffer for reading by PC. When the buffer is full DSP generates interrupt signal for PC