

Применение нелинейной фильтрации в магнитометрах динамических полей

А.И.Вагин, Б.А.Макаров, В.Г.Рыжов

Московский радиотехнический институт РАН, Россия

При решении ряда задач информационно-измерительной техники эффективно применяют цифровую обработку входных сигналов [1]. Известны устройства защиты от широкополосных помех, работа которых основана на пороговых свойствах логических элементов и существенном различии постоянных времени цепей заряда и разряда конденсатора [2]. Однако эти устройства имеют существенные недостатки. Например, их фильтрующие свойства зависят от амплитуды и частотного спектра помехи, они не обладают достаточной стабильностью параметров, склонны к самовозбуждению, ими сложно управлять с помощью средств вычислительной техники.

С целью обеспечения эффективной обработки сигналов в магнитных измерениях разработан достаточно простой и в то же время свободный от вышеперечисленных недостатков нелинейный фильтр (НФ) [3]. Нелинейная фильтрация сигналов ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) впервые применена нами для прецизионных измерений быстроизменяющихся магнитных полей [4].

Ниже рассмотрены бинарные устройства защиты от широкополосных помех на основе микросхем различного функционального назначения и различной степени интеграции. Предлагаемые фильтры являются устройствами последовательностного типа (рис.1), их работа основана на временной селекции входных сигналов.

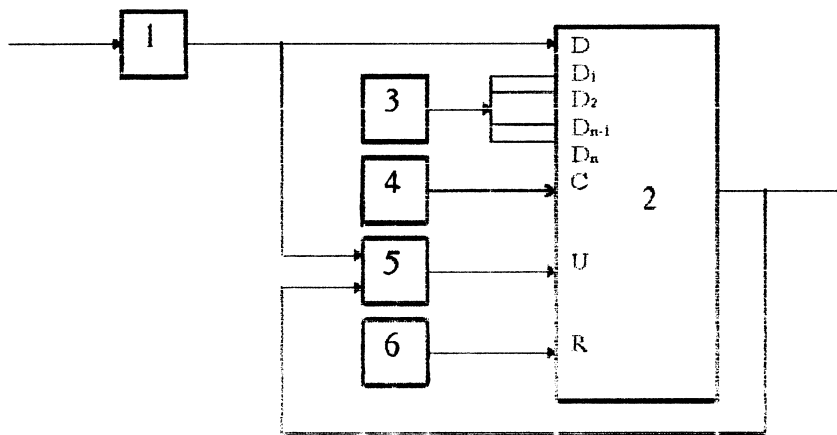


Рис. 1: Функциональная схема нелинейного фильтра: 1 — компаратор; 2 — сдвиговый регистр или реверсивный счетчик; 3 — блок установки в единицу; 4 — генератор тактовых импульсов; 5 — схема управления; 6 — блок первоначального обнуления.

Принципиальная схема фильтра на базе сдвигового регистра (СР) приведена на рис.2. Фильтр содержит компаратор (D1), два логических элемента “И” (D2.1, D2.2), сдвиговый регистра (D3), логический элемент “ИЛИ” (D4). Временные диаграммы его работы представлены на рис.3. Выходное напряжение устройства, снимаемое со старшего разряда сдвигового регистра D3 в режиме ожидания, соответствует уровню логического нуля. Первоначально этот уровень устанавливается через время $t_1 \cong 3\tau_1 = 3R1C1$ после подачи напряжения питания с помощью цепочки R1C1 по входу R регистра D3 независимо от уровней действующих на его входах напряжений.

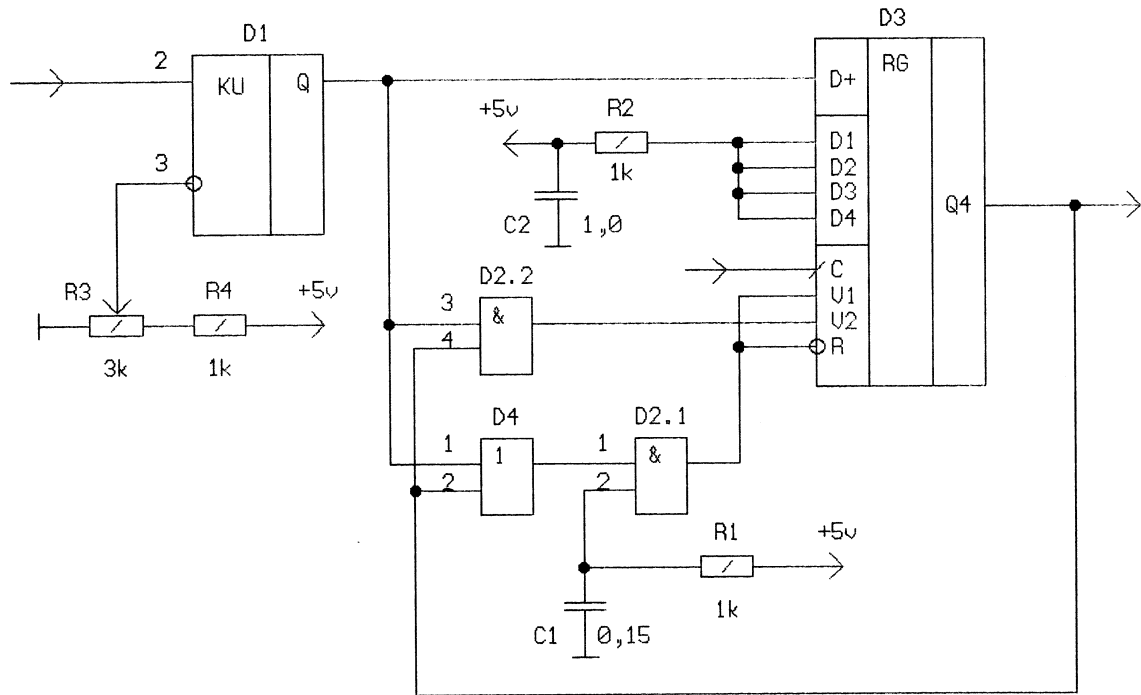


Рис. 2: Принципиальная схема нелинейного фильтра на сдвиговом регистре: D1 — КР597СА2; D2 — КР1531ЛИ1; D3 — К531ИР11; D4 — КР1531ЛЛ1.

Пусть на вход фильтра поступает ложный сигнал, который превышает порог срабатывания компаратора D1 (рис.3а), в этом случае СР переходит в режим последовательного занесения информации (единичного уровня) со сдвигом вправо. Если длительность помехи (например, помеха 1 на рис.3а) менее интервала времени $t_n < (n - 1)T_c$, где n — число разрядов регистра, T_c — период повторения тактовых импульсов, сигнал логической единицы не успевает продвинуться до старшего разряда регистра — выхода фильтра ($n = 4$ для универсального регистра сдвига К531ИР11). По окончании действия помехи СР переходит в режим ожидания.

Информационный сигнал, которым в нашем случае является сигнал ЯМР, или его аддитивная сумма с помехами (сигнал 2 на рис.3а) через интервал времени $t = (n - 1)T_c$ после срабатывания компаратора D1 обуславливает появление сигнала логической единицы на выходе фильтра (рис.3i). После этого регистр D3 переходит в режим параллельного занесения уровня логической единицы во все выходные разряды со входов D1-D4, который осуществляется до прекращения действия информационного сигнала на входе фильтра. При нулевом уровне входного сигнала и единичном уровне выходного СР функционирует в режиме последовательного занесения информации (логического нуля) со сдвигом вправо.

Если во время действия полезного сигнала появится помеха типа “пропадание информационного сигнала” длительностью $t_n < (n - 1)T_c$ (например, помеха 3 на рис.3а), в результате действия которой суммарный входной сигнал понизится ниже уровня порога срабатывания компаратора, “дробления” выходного сигнала не произойдет, поскольку после окончания действия этой помехи регистр D3 переходит в режим параллельного занесения логической единицы в выходные разряды. Вследствие этого уровень логического нуля в младших разрядах регистра переписывается на единичный уровень, и информация о помехе “потеряется”.

После уменьшения амплитуды сигнала ЯМР ниже порога срабатывания компаратора D1 через три периода тактовых импульсов $t = 3T_c$ на выходе фильтра вырабатывается

сигнал логического нуля (рис.3i), при этом на вход R регистра D3 поступает сигнал нулевого уровня, и схема переходит в режим ожидания. Таким образом, устройство устраняет помехи типа “ложный сигнал” и “пропадание информационного сигнала”, а также пакеты помех обоих типов.

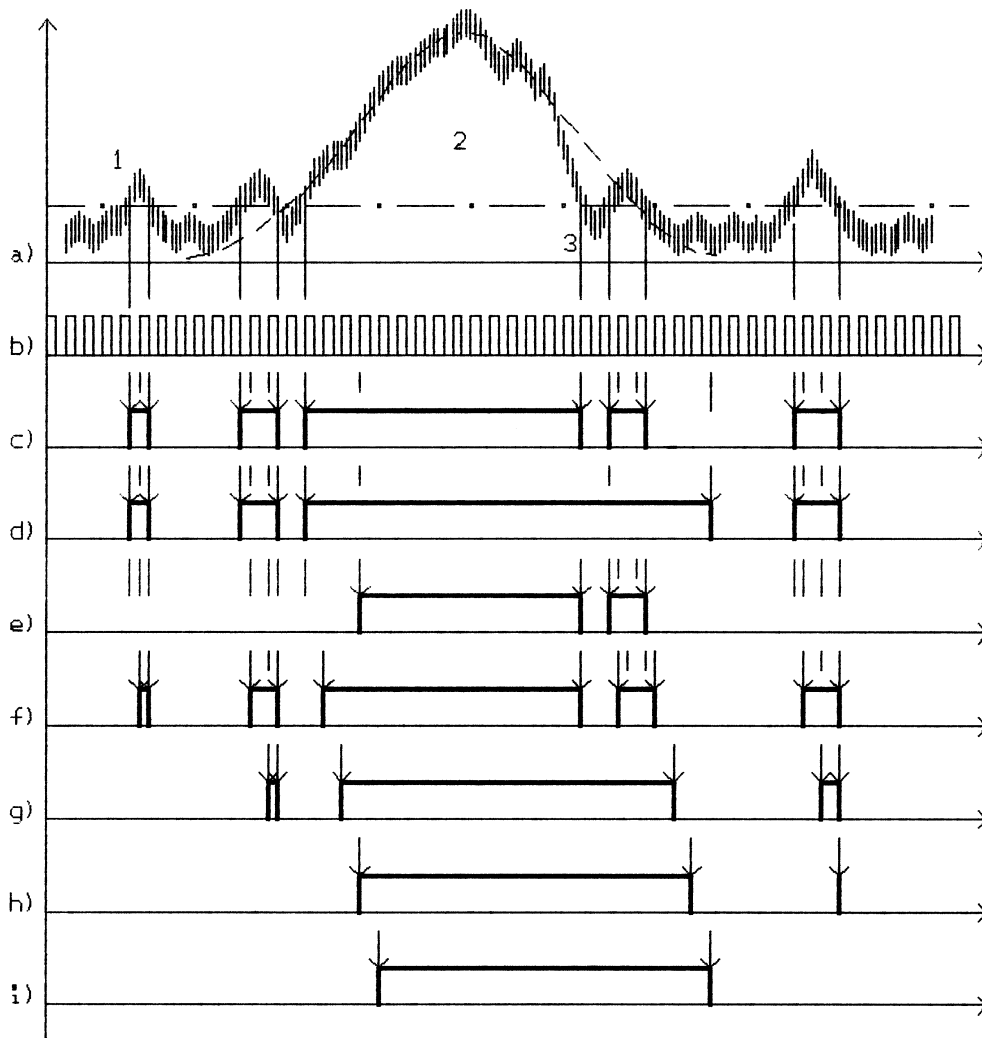


Рис. 3: Временные диаграммы работы нелинейного фильтра: а) сигнал ЯМР совместно с помехами на входе компаратора, пунктирной линией показан “чистый”, без помех сигнал ЯМР, штрихпунктирной линией — уровень порога срабатывания компаратора; б) тактовые импульсы частоты f_c , действующие на счетном входе С сдвигового регистра; в) эпюры напряжений на информационном входе для занесения информации в последовательном коде при сдвиге вправо (D^+); д) эпюры напряжений на входах установки в ноль (R) и управления (V1) регистра; е) эпюры напряжений на втором управляющем входе (V2) регистра; ф) – и) эпюры напряжений на выходах 1-го (младшего), 2-, 3- и 4-го (старшего) разрядов регистра соответственно.

На рис.4 приведена принципиальная схема НФ на основе микросхемы иного функционального назначения — двоичном реверсивном счетчике (РС). Блок-схема этого устройства соответствует рис.1. Работа этого фильтра аналогична, за небольшим исключением, работе рассмотренного НФ, если считать, что режим записи уровня логической единицы при сдвиге вправо и параллельной записи сдвигового регистра соответствует режимам суммирования и параллельной (предварительной) установки РС этого же уровня соответственно.

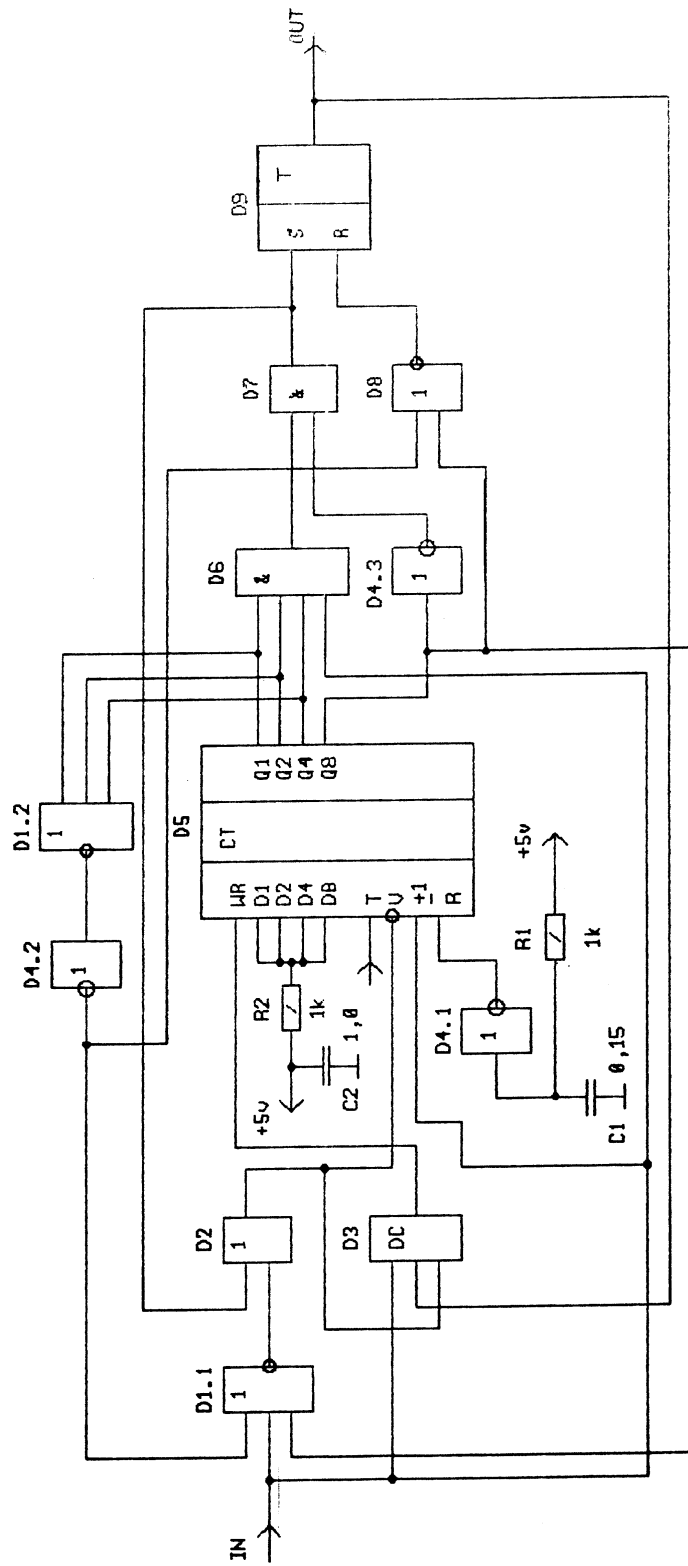


Рис. 4: Принципиальная схема нелинейного фильтра на реверсивном счетчике: D1 — К555ЛЛ1; D2 — К555ЛЛ4; D3 — К555ЛЛ1; D4 — К555ЛЛ1; D5 — К561ИЕ11; D6 — К555ЛЛ6; D7 — К555ЛЛ1; D8 — К155ЛЛ5; D9 — К555ТТ2.

Различия заключаются в следующем. Во-первых, если на входе устройства и на всех n выходных разрядах счетчика присутствует уровень логического нуля, то он переходит в режим хранения с нулевыми уровнями на выходах всех n разрядов и нулевым уровнем на выходе фильтра. Этот режим устанавливается после включения прибора при отсутствии входного сигнала и после действия кратковременной помехи типа “ложный сигнал” длительностью $t < (2^k - 1)T_c$ (где k — число разрядов счетчика). Во-первых, после прихода на вход фильтра информационного сигнала, установки на всех выходах счетчика и выходе фильтра через интервал времени $t > (2^k - 1)T_c$ логической единицы и перехода РС в режим параллельной записи уровня логической единицы появление помехи типа “пропадание информационного сигнала” переводит реверсивный счетчик в режим счета с вычитанием. Этот режим после прекращения действия кратковременной помехи сменится режимом параллельной установки уровня логической единицы. Следовательно, при работе данной схемы задействованы все режимы функционирования счетчика.

Таким образом, рассмотренные устройства являются селекторами длительности. Фильтры устраняют как одиночные помехи типа “ложный сигнал” и “пропадание информационного сигнала”, если длительность отдельной помехи не превышает значения $t = (n - 1)T_c$ в первом случае и $t = (2^k - 1)T_c$ во втором, так и пакеты помех обоих типов, если суммарная длительность помех в них подчиняется тем же соотношениям. Коэффициент передачи устройств принимает два значения: в полосе пропускания — логическая единица, вне полосы — логический нуль. Крутизна спада амплитудно-частотной характеристики определяется быстродействием применяемых логических элементов. Фильтр первого типа быстрый, второго — медленный.

Устройства не чувствительны к помехам большой амплитуды, но малой длительности. Фильтры отличает простота программной перестройки полосы пропускания с использованием стандартных средств цифровой техники. Это обстоятельство позволяет обеспечить выполнение условий оптимальной фильтрации принимаемых сигналов с различным спектральным составом, например, при различных скоростях изменения магнитного поля. При работе в составе магистрально-модульных систем рассмотренные устройства могут быть реализованы в виде отдельного модуля или включены во входные каскады других модулей.

Примером применения БИС для нелинейной обработки входных сигналов является создание нелинейного фильтра на базе восьмиразрядного однокристалльного микроконтроллера с программным управлением КМ1816ВЕ35. Разработан алгоритм его работы, исследовано функционирование, показана возможность эффективной фильтрации входных сигналов. Нелинейная обработка информационных сигналов по разработанному алгоритму может быть реализована программным способом на компьютере.

Список литературы

- [1] Глинченко А.С., Кузнецкий С.С., Фиштейн А.М., Чмых М.К. Цифровые методы измерения сдвига фаз. — Новосибирск: Наука, 1979, 210 с.
- [2] Похилюк А.П., Троцишин И.В. Устройства защиты от широкополосных помех. Приборы и техника эксперимента, 1987, № 1, с. 121-123.
- [3] Макаров Б.А., Морозова Л.И., Рыжов В.Г. и др. А.С. № 1647480 — Оpubл. в БИ, 1991, № 17, с. 60.
- [4] Вагин А.И., Макаров Б.А., Рыжов В.Г., Поминов О.Н. Тесламетр динамических полей. XV Сoвещание по ускорителям заряженных частиц (Протвино, 22-24 октября 1996 г.). Протвино, 1996, т. 1, с. 382-385.