

Синхронный детектор на основе секвентных фильтров

Т.Н. Сабиров

Казанский Национальный Исследовательский Технический Университет имени А. Н. Туполева

Аннотация: Необходимость в измерении слабых сигналов существует во многих областях науки и техники. Примером такой области является оптическая спектроскопия веществ с низкими концентрациями центров окраски. Применение устройств синхронного детектирования позволяет решить данную задачу. Потребность в надежном, недорогом и удобном в использовании устройстве определяет интерес к разработке новых схем, удовлетворяющих этим требованиям. В данной работе предлагается новая схема программируемого синхронного детектора с применением секвентных фильтров и цифрового фазовращателя. Преимуществами предлагаемой схемы является высокая чувствительность и низкая стоимость по сравнению с коммерческими вариантами синхронных детекторов.

Ключевые слова: синхронный детектор, секвентный фильтр, детектирование, фазовращатель.

Введение

В классическом виде, синхронный детектор – это устройство для извлечения информации из ВЧ-сигнала модулированного по амплитуде или фазе, путём нелинейного преобразования - умножения на синхронный опорный сигнал последующей НЧ-фильтрацией [1]. На Рис.1 показана функциональная электрическая схема.

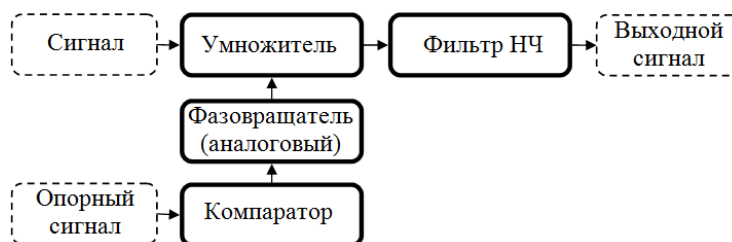


Рисунок 1. Блок-схема синхронного детектора

В результате умножения появляются гармонические составляющие на суммарной ($\omega + \omega_0$) и разностной ($\omega - \omega_0$) частотах. В синхронном детекторе используется составляющая на разностной частоте. Ее выделяет фильтр низких частот, включенный на выходе умножителя. В случае, когда частота сигнала точно равна опорной частоте (сигналы на входах умножителя

синхронны - отсюда название детектора), в результате умножения появится составляющая с нулевой разностной частотой, т.е. постоянная составляющая.

Синхронный детектор обладает свойствами, важными для обработки сигналов: чувствителен к фазе и амплитуде измеряемого сигнала; обладает высокой частотной селективностью.

Благодаря этому синхронное детектирование широко используется в технике связи [2], разнообразной измерительной аппаратуре [3,4], при проведении экспериментальных исследований [5,6].

В статье предлагается новая схема синхронного детектора с использованием секвентных фильтров [7,8]. Основным преимуществом которых, является большой динамический диапазон усиливаемого сигнала, нечувствительность к стабильности периода усиливаемого сигнала, а также высокое отношение сигнал/шум, определяемое главным образом, коммутационными шумами (обусловленными проникновением опорного сигнала через управляемые ключи на выход усилителя), уровень которых зависит от способа реализации электрической схемы устройства. Предлагаемое схематическое решение может быть использовано в исследовании спектральных характеристик редкоземельных ионов в диэлектрических кристаллах [9].

Основная часть

В состав разработанного синхронного детектора входит: 4 секвентных фильтра, компаратор, выпрямитель, коммутирующий ключ и фазовращатель на основе программируемого таймера. Подробное описание фазовращателя представлено в работе [10]. Принципиальная электрическая схема с указанием элементной базы представлена на Рис. 2. На первый секвентный фильтр поступает исследуемый сигнал, где амплитуда сигнала усиливается в 10 раз, помимо усиления фильтр осуществляет частотную селекцию. После каждого, последовательно подключенного, секвентного фильтра сигнал

попадает на коммутирующий ключ. На ключе происходит выбор числа последовательно подключенных фильтров, т.е. коэффициента усиления. Далее, усиленный сигнал поступает на выпрямитель. Устройство управляется программно, где можно выбрать коэффициент усиления, задать сдвиг фазы опорного сигнала, выбрать время интегрирования. Программа для управления прибором была реализована в среде LabView. Для программного управления прибором было использовано устройство ввода-вывода (E-502, L-Card).

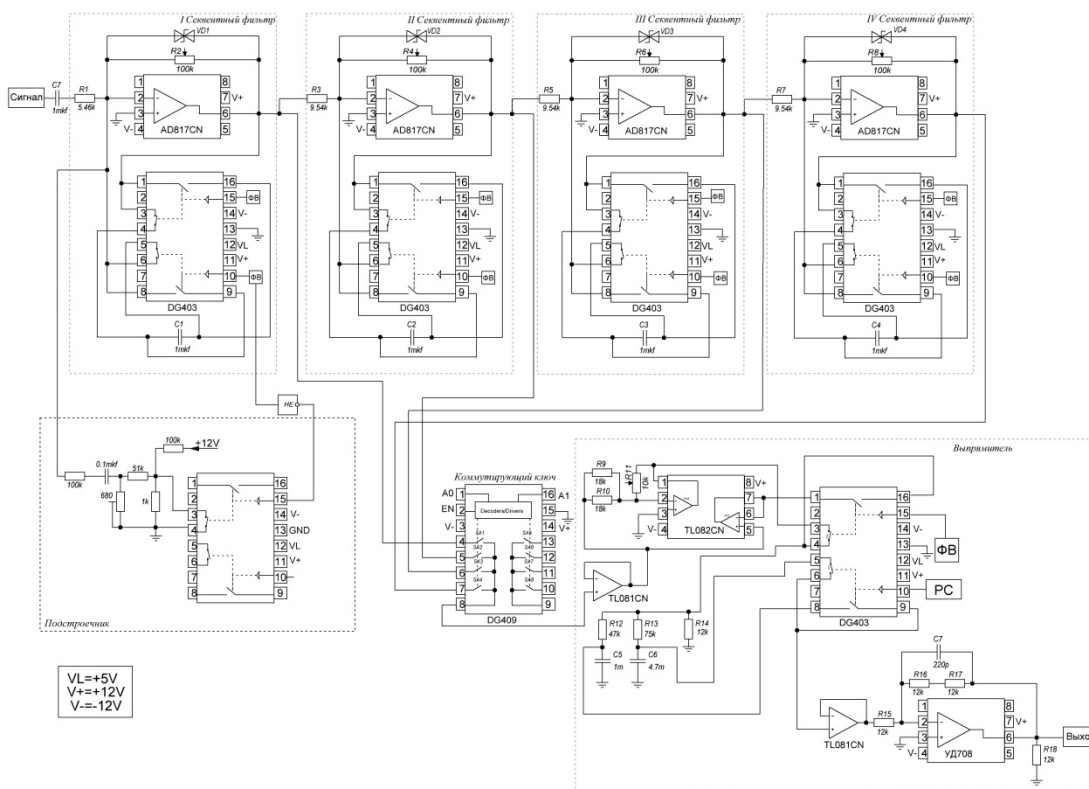


Рисунок 2. Принципиальная электрическая схема синхронного детектора.

Для оценки характеристик разработанного устройства было проведено измерение спектра излучения He-Ne лазера и монохроматора (M833, SOLAR Laser Systems). Излучение лазера модулировалось с помощью прерывателя, модулированное ослабленное излучение на выходе монохроматора детектировалось фотодиодом, сигнал с которого поступал на синхронный

детектор. Полученные графики интенсивности He-Ne лазера с использованием двух представленных детекторов представлены на Рис. 3. Экспериментальные значения были аппроксимированы с помощью функции Гаусса, коэффициент детерминации $R^2=0,99$. Для сравнения характеристик измерения спектра были проведены с помощью коммерческого фазочувствительного усилителя (DSP Lock-in SR830). В этом случае коэффициент детерминации показал такое же значение.

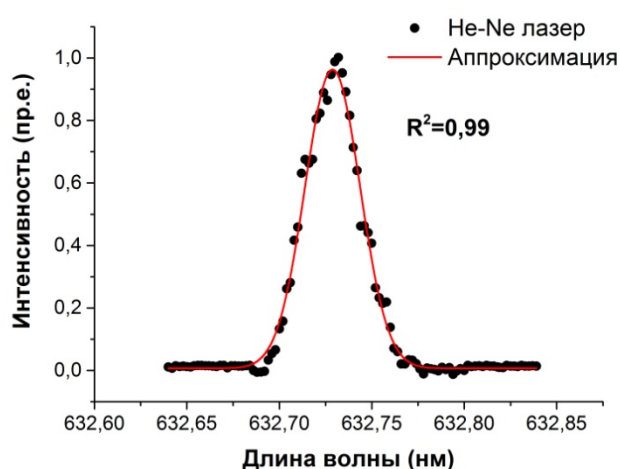


Рисунок 3. Спектр излучения He-Ne лазера, полученный с помощью разработанного синхронного детектора (чёрные кружки); аппроксимация с помощью функции Гаусса (красная линия), коэффициент детерминации $R^2=0,99$.

Заключение

Разработан прототип устройства синхронного детектирования слабых сигналов. Представленный прототип устройства может найти широкое применения в различных спектроскопических исследованиях. В работе предложена принципиальная электрическая схема устройства с указанием использованной элементной базы. Устройство большой динамический диапазон усиливаемого сигнала и низкую себестоимость, по сравнению с коммерческими аналогами.

Литература

1. Степанов А.В. Синхронный детектор // М.: МГУ им. Ломоносова. 1997. С. 4-14.
 2. Титов А. А. Полосовой усилитель мощности с повышенной линейностью амплитудной характеристики // Приборы и техника эксперимента. Т. 46. №. 4. 2003. С. 65-68.
 3. Веснин В. Л., Мурадов В. Г. Спектрофотометрический комплекс на основе монохроматора МДР-41 для исследования спектров поглощения в диапазоне 400–1800 нм // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 10. №. 3. 2008. С. 724-731
 4. Shlomi Kotler, Nitzan Akerman, Yinnon Glickman, Anna Keselman & Roee Ozeri Single-ion quantum lock-in amplifier // Nature. May 2011. Vol. 473. pp. 61–65
 5. Миннегалиев М. М. и др. Фотонное эхо на сверхузком оптическом переходе иона $^{167}\text{Er}^{3+}$ в кристалле 7LiYF_4 // Квантовая электроника. . Т. 47. №. 9. 2017. С. 778-782.
 6. Земляков В.Л., Ключников С.Н. Определение пьезомодуля материала пьезокерамического элемента // Инженерный вестник Дона. 2012. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/803
 7. Казаков Б.Н. Михеев А. Сафиуллин Г.М., Соловаров Н.К. Применение секвентных фильтров в оптической спектроскопии // Оптика и спектроскопия. 1995. Т.79. №3. С. 426-437
 8. Патент РФ № 94004190/09, 08.02.1994 Устройство усиления электрических сигналов синхронным интегратором // Патент России № 2085021. 1997 / Казаков Б.Н., Сафиуллин Г.М., Соловаров Н.К.
 9. Gerasimov K. I., Minnegaliev M. M., Malkin B. Z., Baibekov E. I., Moiseev S. A. High-resolution magneto-optical spectroscopy of $^7\text{LiYF}_4: ^{167}\text{Er}^{3+}, ^{166}\text{Er}^{3+}$ and
-

analysis of hyperfine structure of ultranarrow optical transitions // Phys. Rev. B. 94, 054429. August 2016.

10. Сабиров Т. Н., Смирнов М. А. Цифровой фазовращатель на основе программируемого таймера // Инженерный вестник Дона. 2018. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4842

References

1. Stepanov A.F. MGU im. Lomonosova. Moscow. 1997. pp. 4-14.
2. Titov A.A. Pribori i tehnika eksperimenta. Vol. 46. №. 4. 2003. pp. 65-68
3. Vesnin V.L., Muradov V.G. Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossiyskoy akademii nauk. Vol. 11. №. 3. 2008. pp. 724-731
4. Shlomi Kotler, Nitzan Akerman, Yinnon Glickman, Anna Keselman & Roee Nature. May 2011. Vol. 473. pp. 61–65
5. Minnegaliev M.M. etc. Kvantovaya elektronika. Vol. 47. №. 9. 2017. pp. 778-782.
6. Zemlyakov V.L., Klychnickov S.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/803
7. Kazakov B.N., Miheev A., Safiullin G.M., Solovarov N.K. Казаков Б.Н. Михеев А. Сафиуллин Г.М., Соловаров Н.К. Optika i spektroskopiya. Vol.79. №3. 1995. pp. 426-437
8. Patent RF № 2085021. 1997 / Kazakov B.N., Safiullin G.M., Solovarov N.K.
9. Gerasimov K. I., Minnegaliev M. M., Malkin B. Z., Baibekov E. I., Moiseev S. A. Phys. Rev. B. 94, 054429. August 2016.
10. Sabirov T.N Smirnov M.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4842