

**Санкт-Петербургский государственный  
политехнический университет**

---

**Институт информационных технологий и управления  
Кафедра «Измерительные информационные технологии»**

**Валугин И.Г., Дьяченко Ю.Н.**

**Моделирование в программе Multisim работы  
адаптивного аналогового преобразователя  
устройств измерения частоты сигналов**

**Методические указания к лабораторным работам**

**Санкт-Петербург**

**2014**

Методические указания содержат описания лабораторных работ, выполняемых с применением программы моделирования электрических и электронных схем Multisim.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 200100.62 "Приборостроение" Профиль 200100.62.01 "Информационно-измерительная техника и технологии" и изучающих дисциплину «Аналоговые измерительные устройства».

Цель работы – обучение студентов умению проводить компьютерное моделирование в программе Multisim сложных электронных измерительных устройств и на основе результатов моделирования вносить изменения в схемы с целью их улучшения.

### **1. Программа работы**

1. Рассчитать и собрать схему канала, проверить её работоспособность.
2. Снять АЧХ входной цепи.
3. Снять зависимость чувствительности по амплитуде входного сигнала от частоты.
4. Исследовать помехозащищённость канала:
  - от продольных помех;
  - от поперечных помех.
5. Снять АЧХ усовершенствованной входной цепи.

## 2. Особенности пакета моделирования Multisim

Моделирование в пакете Multisim производства компании National Instruments предусматривает использование следующих виртуальных приборов и инструментов:

а) Для задания и изменения параметров сигнала на входе схемы в данной работе используется виртуальный генератор «Function generator». У него имеются следующие настройки:

- вид сигнала (синусоидальный, треугольный или меандр);
- частота сигнала;
- напряжение (амплитуда);
- постоянное смещение нуля сигнала.

У генератора есть три выхода: положительный, отрицательный и земля. Есть так же специальные настройки при выборе сигнала вида «меандр», реализующие возможности широтно-импульсной модуляции.

При задании напряжения надо учитывать, что задаётся амплитуда сигнала на одном из выходов – положительном или отрицательном (сигналы на них одинаковые, но находящиеся в противофазе). Однако, напряжение на каждом выходе отсчитывается от земли, и если используется одновременно два выхода (и «+», и «-»), то дифференциальный сигнал окажется в два раза больше. Поэтому при дифференциальном включении (что и используется в данном случае) можно считать, что генератор показывает половину амплитудного значения напряжения.

б) Для снятия амплитудно-частотной характеристики используется встроенный инструмент для анализа схем «AC analysis» (анализ на переменном токе). При его использовании имеется возможность задать:

- начальную частоту;
- конечную частоту;
- масштаб оси амплитуд (линейная, логарифмическая, в децибелах или октавах);
- масштаб частотной оси (по декадам, по октавам или линейный);

- количество точек анализа по частотной оси на (декаду, октаву или всего, в зависимости от выбранного метода приращения частоты).

Так же можно указать, в каких узлах необходимо измерять значение напряжения (или тока).

в) Для исследования работы схемы во временной области используется встроенный инструмент «Transient analysis» (снятие временных диаграмм). У этого инструмента есть следующие настройки:

- начальные условия (можно установить сигнал в ноль, определить автоматически или вычислить значения для постоянного тока);
- начальное и конечное время моделирования;
- шаг приращения времени.

Как и в случае со снятием АЧХ, здесь можно указать узлы, для которых необходимо выводить информацию.

г) Компоненты, из которых собрана электрическая схема, являются моделями реальных компонентов различных фирм, которые содержатся во встроенной библиотеке. Параметры соответствуют стандартам системы моделирования SPICE. В результате такие модели представляют собой физические модели, структура и параметры которых определяются физикой работы прибора [1]. Эти параметры задаются множеством значений, и не всегда есть возможность проверить не только правильность заполнения всех полей, но и в принципе заполнены ли необходимые поля. Это относится к таким используемым в данной работе компонентам, как диоды, стабилитроны, операционные усилители и аналоговые ключи.

Поэтому, хотя результаты моделирования в основном отражают работу схемы и помогают устранить явные ошибки, некоторые особенности функционирования схемы могут быть не учтены.

### 3. Структура аналогового адаптивного канала частотомера

Аналоговый адаптивный канал частотомера позволяет работать с входными сигналами произвольной формы, имеющими широкий диапазон изменения амплитуды и частоты. На выходе канала формируются прямоугольные импульсы напряжения нормированной амплитуды. Параметры канала автоматически подстраиваются под амплитуду входного сигнала. Структурная схема канала изображена на рис. 1.

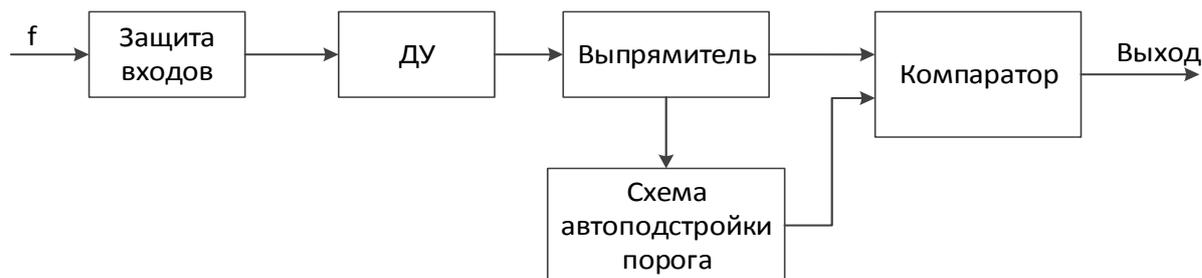


Рис.1. Структурная схема аналогового адаптивного канала

- Защита входов защищает вход канала от перенапряжения. Кроме того здесь же установлены фильтры верхних и нижних частот (ФВЧ и ФНЧ) для фильтрации сигналов за границами частотного диапазона. Так как защищаемый канал предназначен для измерения частоты, то схема защиты должна иметь широкую полосу пропускания.

- ДУ – дифференциальный усилитель (рис. 2), необходим для подавления продольных помех

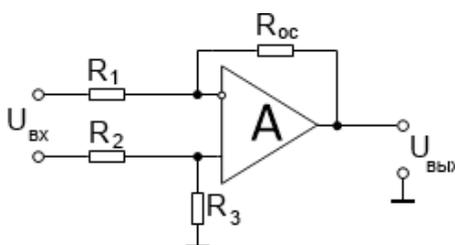


Рис.2. Дифференциальный усилитель

- Для выпрямления сигнала использован активный однополупериодный выпрямитель (рис. 3), в котором за счет применения операционного усилителя достигается компенсация падения напряжения на выпрямительном диоде VD. За счет этого обеспечивается высокая точность выпрямления сигналов, в том числе низкого уровня.

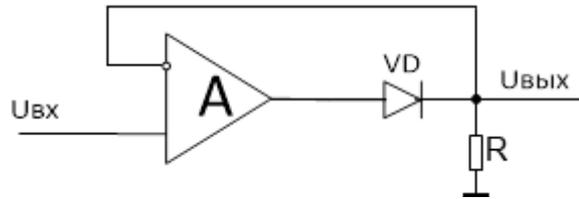


Рис. 1. Активный однополупериодный выпрямитель

- Схема автоподстройки порога формирует пороговое значение напряжения, с которым компаратор сравнивает амплитуду входного напряжения. Тот факт, что величина порога определяется амплитудой сигнала, позволяет подавать на вход схемы сигналы от десятков милливольт до десятков вольт без дополнительных настроек и переключений диапазона измерения.
- Компаратор сравнивает два поступающих на него сигнала и выдаёт прямоугольные импульсы с нормированной амплитудой, согласованной с уровнями цифровых ИС. Использование компаратора с выходом типа открытый коллектор, позволяет сформировать на выходе схемы сигнал с амплитудой определяемой напряжением питания цифровой части. Если в качестве компаратора использовать ОУ rail-to-rail, то на выходе схемы будет сигнал с амплитудой, равной напряжению питания усилителя.

*Основные характеристики исследуемого преобразователя*

- |   |                |
|---|----------------|
| • частота измеряемого сигнала , $f_n \dots f_b$ | 1Гц ... 100кГц |
| • амплитуда входного напряжения                 | 70мВ ... 30В   |
| • допустимая перегрузка по входам               | 1,5 раза       |
| • напряжение питания схемы, В                   | 5              |

## 4. Методические указания по проведению исследований

### 1) Расчёт и сборка схемы канала

Общий вид электрической схемы измерительного канала приведён на рис. 4.

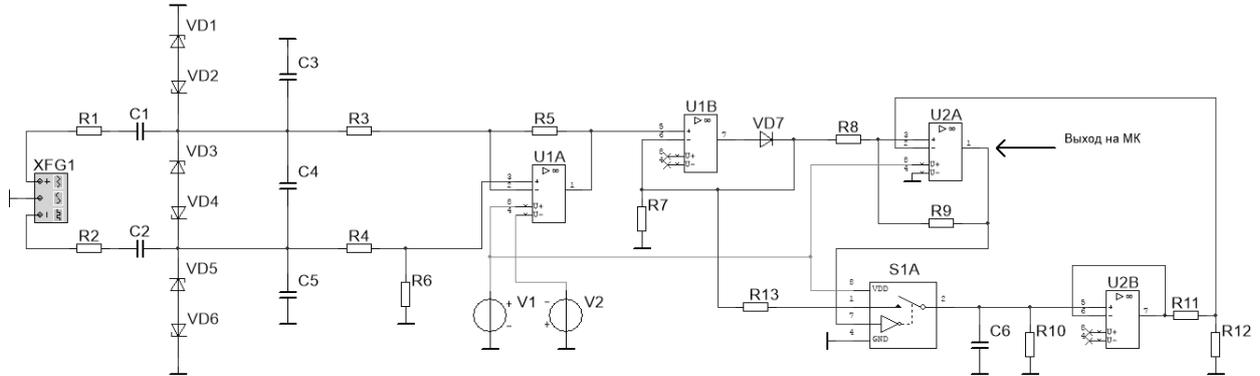


Рис. 4. Электрическая принципиальная схема измерительного канала в Multisim

#### Расчет полосового фильтра

Заданы значения сопротивлений резисторов  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10 \text{ кОм}$ , нужно рассчитать емкости конденсаторов  $C_1 = C_2$  образующих ФВЧ и конденсаторов  $C_3 = C_4 = C_5$  образующих ФНЧ.

Формула для расчёта частоты среза ФНЧ, равной нижней частоте  $f_H$  входного сигнала:

$$f_H = \frac{1}{2\pi R_1 C_3}$$

Формула для расчёта частоты среза ФВЧ, равной верхней частоте  $f_B$  входного сигнала:

$$f_B = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

#### Расчет ДУ

Выходное напряжение ДУ (рис.4) на переменном токе определяется формулой:

$$U_{\text{Вых}} = U_{\text{Вх}} \frac{R_5}{R_1 + R_3}$$

Коэффициент передачи ДУ берется равным единице, а резисторы  $R_5 = R_6$ .

### Расчет выпрямителя

Номинал резистора  $R_7$  (рис. 4) выбирается исходя из ограничений на нагрузку операционных усилителей, не менее 2кОм.

Расчет схемы компаратора и автоподстройки амплитуды (рис. 5).

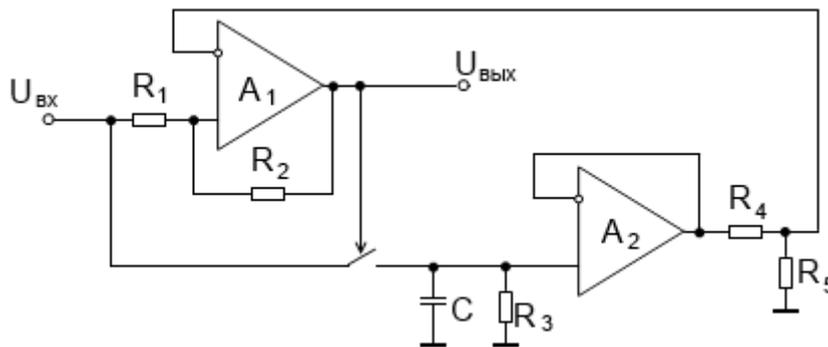


Рис. 5. Схема автоподстройки амплитуды

ОУ  $A_1$  и  $A_2$  типа AD823,  $R_1$  и  $R_2$  – резисторы положительной обратной связи создают гистерезис для надежного срабатывания компаратора, на конденсаторе  $C$  происходит запоминания уровня амплитуды входного напряжения, резистор  $R_3$  предназначен для разряда  $C$ , резисторы  $R_4$  и  $R_5$  – делитель напряжения для подстройки порога срабатывания компаратора.

Для расчёта гистерезиса компаратора  $A_1$  используют формулу:

$$U_{\text{пор}} = U_{\text{ип}} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$U_{\text{ип}}=5\text{В}$ ,  $U_{\text{пор}}=5\text{мВ}$ ,  $R_1=1\text{кОм}$ ,  $C = 10\text{мкФ}$ ,  $R_3 = 200\text{кОм}$ .

Делитель рассчитывают по формуле:

$$K = \frac{R_5}{R_4 + R_5}$$

$K = 3/4$ ,  $R_4 = 10\text{кОм}$ .

При сборке канала используют для ДУ, выпрямителя, компаратора и повторителя операционные усилители AD823, аналоговый ключ MAX4541, диоды 1N4148, стабилитроны BZX55C2V4, напряжение источника питания

$U_{\text{ин}} = 5\text{В}$ . В итоге схема, собранная в программе Multisim должна выглядеть следующим образом:

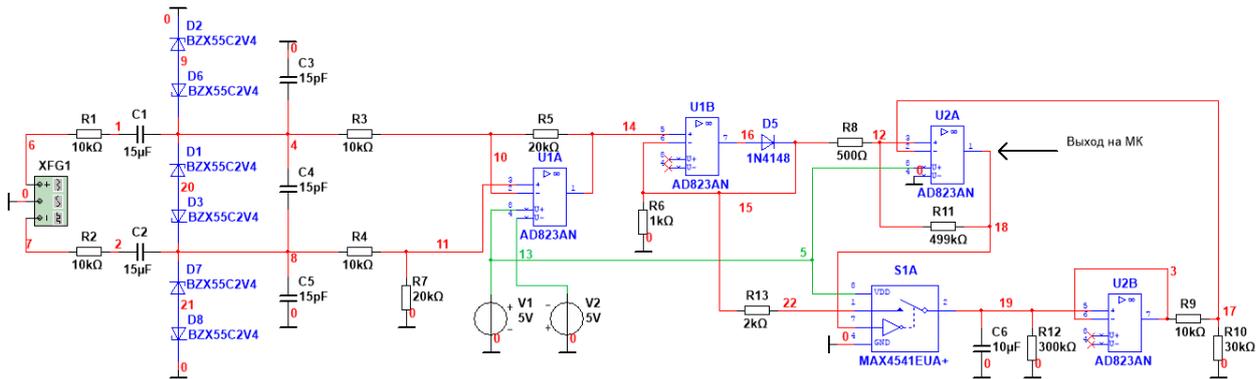


Рис. 6. Схема измерительного канала

## 2) Моделирование работы канала

### Проверить работоспособность схемы

На вход схемы подается напряжение амплитудой 1В и частотой 1кГц (при этом в генераторе указывается значение в два раза меньшее, из-за дифференциального включения). С помощью инструмента “Transient Analysis” снимают временную диаграмму в течение 0,5 секунды в выходном узле, отмеченном на рис.6 стрелкой. Импульсы выходного напряжения должны быть прямоугольными, без пропусков и сбоев.

### Снять АЧХ входной цепи

Снять АЧХ на выходе ДУ в диапазоне 1 Гц... 10 МГц с помощью инструмента «AC analysis». В отчет поместить график АЧХ.

### Снять зависимость чувствительности по амплитуде от частоты входного сигнала

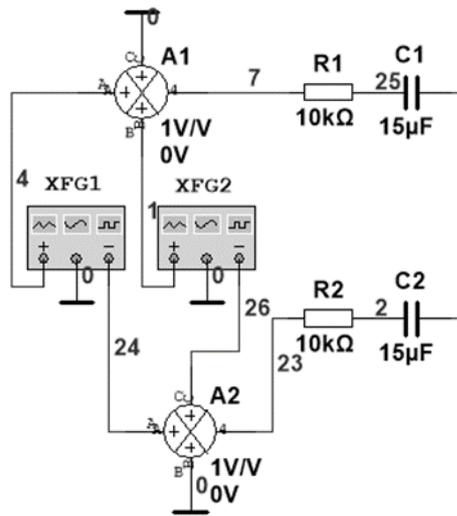
Исследовать минимальное напряжение  $U_{\text{min}}$ , при котором схема работает, на различных частотах входного напряжения. Частоты, на которых необходимо проверить  $U_{\text{min}}$ : 1, 5, 10, 50, 100, 500Гц и 1, 5, 10, 25, 50, 100кГц. Работоспособность проверяется запуском инструмента “Transient Analysis” на

каждой частоте из списка в течение времени, достаточного для завершения переходного процесса (порядка 1 секунды).

Результаты записать в таблицу и оформить в виде графика.

*Исследовать защищённость канала от влияния поперечных помех*

На вход схемы необходимо подключить два генератора, используя сумматоры напряжения:



*Рис.7. Изображение в Multisim входной цепи при моделировании воздействия поперечной помехи*

На одном генераторе задаётся полезный сигнал частотой 1 кГц, а на втором – помеха с частотой 50 Гц.

Необходимо построить таблицы работоспособности (отсутствия пропусков и ложных срабатываний) в зависимости от параметров: уровня помехи в процентах от основного сигнала, порога срабатывания (задавать и изменять с помощью делителя напряжения), сопротивления резистора R13 (рис. 6) и напряжения входного сигнала. Исследования проводятся путём снятия временных диаграмм инструментом “Transient Analysis” в течение 1 секунды.

В итоге должно быть построено две таблицы:

Таблица 1

## Помехозащищённость при различном R13

| Уровень помехи, % | Порог срабатывания при различном R13, Усигнала=2 В |     |     |     |           |     |     |     |           |     |     |     |
|-------------------|--|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|
|                   | R13=2 кОм  |     |     |     | R13=3 кОм |     |     |     | R13=4 кОм |     |     |     |
|                   | 1/3  | 1/2 | 2/3 | 3/4 | 1/3       | 1/2 | 2/3 | 3/4 | 1/3       | 1/2 | 2/3 | 3/4 |
| 10                |  |     |     |     |           |     |     |     |           |     |     |     |
| 20                |  |     |     |     |           |     |     |     |           |     |     |     |
| 30                |  |     |     |     |           |     |     |     |           |     |     |     |
| 40                |  |     |     |     |           |     |     |     |           |     |     |     |
| 50                |  |     |     |     |           |     |     |     |           |     |     |     |
| 60                |  |     |     |     |           |     |     |     |           |     |     |     |

Таблица 2

## Помехозащищённость при различном напряжении входного сигнала

| Уровень помехи, % | Порог срабатывания |     |     |     |                 |     |     |     |                 |     |     |     |
|-------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----|
|                   | Усигнала=60 мВ     |     |     |     | Усигнала=100 мВ |     |     |     | Усигнала=200 мВ |     |     |     |
|                   | 1/3                | 1/2 | 2/3 | 3/4 | 1/3             | 1/2 | 2/3 | 3/4 | 1/3             | 1/2 | 2/3 | 3/4 |
| 10                |                    |     |     |     |                 |     |     |     |                 |     |     |     |
| 20                |                    |     |     |     |                 |     |     |     |                 |     |     |     |
| 30                |                    |     |     |     |                 |     |     |     |                 |     |     |     |
| 40                |                    |     |     |     |                 |     |     |     |                 |     |     |     |
| 50                |                    |     |     |     |                 |     |     |     |                 |     |     |     |
| 60                |                    |     |     |     |                 |     |     |     |                 |     |     |     |

По результатам сделать выводы о влиянии сопротивления R13 на помехозащищенность и о предпочтительном пороге срабатывания.

*Исследовать защищённость канала от влияния продольных помех*

На вход схемы подключается генератор, при этом оба входа соединяют вместе (рис. 8).

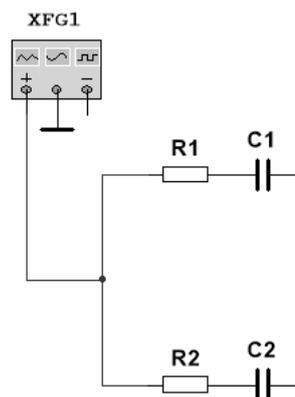


Рис. 8. Подключение генератора для моделирования воздействия продольной помехи

На генераторе устанавливаются параметры помехи – частоты 50 Гц, амплитуда от 0,5 В до 30 В. Полезный сигнал на вход схемы не подаётся. Критерий помехозащищённости – отсутствие ложных срабатываний. В процессе моделирования необходимо выяснить, при каком значении помехи на выходе схемы появятся импульсы или другие сигналы, которые могут быть восприняты контроллером как полезные. Незначительные колебания напряжения (менее 1 мВ) на выходе схемы около точки +5В не являются ложными срабатываниями. В отчёте указать максимальную амплитуду помехи, при которой отсутствуют ложные срабатывания.

*Снять АЧХ усовершенствованной входной цепи канала*

В схеме защиты рис. 6 используются стабилитроны, имеющие значительную собственную паразитную ёмкость («включённую» параллельно каждому стабилитрону и составляющую не менее 150 пФ на частоте 1 МГц), что ограничивает частотный диапазон канала. Для расширения частотного диапазона входной цепи, необходимо убрать ФНЧ, применить схему диодного ограничителя, и заменить ОУ AD823 на более быстродействующий, например AD8061 (рис. 9).

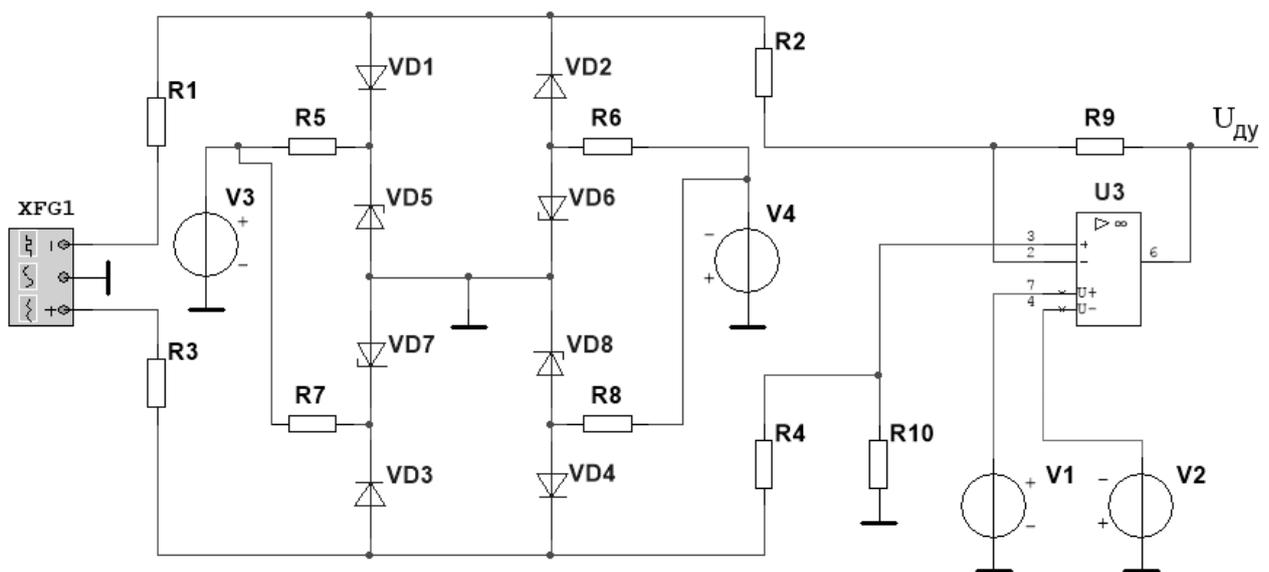


Рис.9. Усовершенствованная схема защиты входных цепей

Снимите АЧХ на выходе ДУ в узле  $U_{ДУ}$  и сравните ее с АЧХ схемы рис. 6.

### Список литературы

1. Петров М., Гудков Г. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем, – СПб.: Издательство "Лань", 2011. – 464 с.: ил.
2. Балтруков Н.Н., Кочетков Ю.Д. Электронехника и электроника. Ч.2: Учебное пособие. – СПб: Факультет технической кибернетики СПбГПУ, 2011. – 135 с
3. Волович Г.И., Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. – М: Издательский дом "Долека-XXI", 2005. – 528 с.: с ил.
4. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах.-2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отделение, 1988. – 304 с.: ил.