

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ:
ИССЛЕДОВАНИЯ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ
ТРЕХФАЗНОГО ТОКА. СГЛАЖИВАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ**

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА. СГЛАЖИВАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ

1. Цели работы

Целями данной лабораторной работы являются:

а) ознакомление на практике с работой мостового выпрямителя трехфазного тока, исследование его характеристик, параметров, режимов работы;

б) исследование различных схем фильтров, их характеристик, параметров и их влияния на работу вентилей, трансформатора и нагрузки;

в) исследование влияния выпрямителей на питающую сеть.

2. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из универсального лабораторного стенда (УЛС) с набором контрольно-измерительной аппаратуры и макета лабораторной работы, выполненного в виде отдельной кассеты. Кассета лабораторной работы (рис.1.1) состоит из выпрямителей, измерительных приборов постоянного тока, переменной нагрузки и элементов сглаживающих фильтров. Питание кассеты производится от сети трёхфазного тока через понижающий трансформатор. Включение и выключение питания кассеты осуществляется выключателем, расположенным на передней панели УЛС. Для получения осциллограмм напряжений и токов в схеме предусмотрены контрольные гнезда. Для исследования формы токов в кассете установлены безындукционные датчики – резисторы, обозначенные символами RN. Перечень элементов схемы и их номинальные значения приведены в приложении А к методическим указаниям.

3. Краткие теоретические сведения

Выпрямителем называется устройство, предназначенное для преобразования напряжения переменного тока в напряжение постоянного тока.

Основным элементом выпрямителя является электрический вентиль – прибор, обладающий односторонней проводимостью тока. Кроме вентилей, в схему выпрямительного устройства входят трансформатор, сглаживающие фильтры, элементы защиты, управления, сигнализации и иногда стабилизатор.

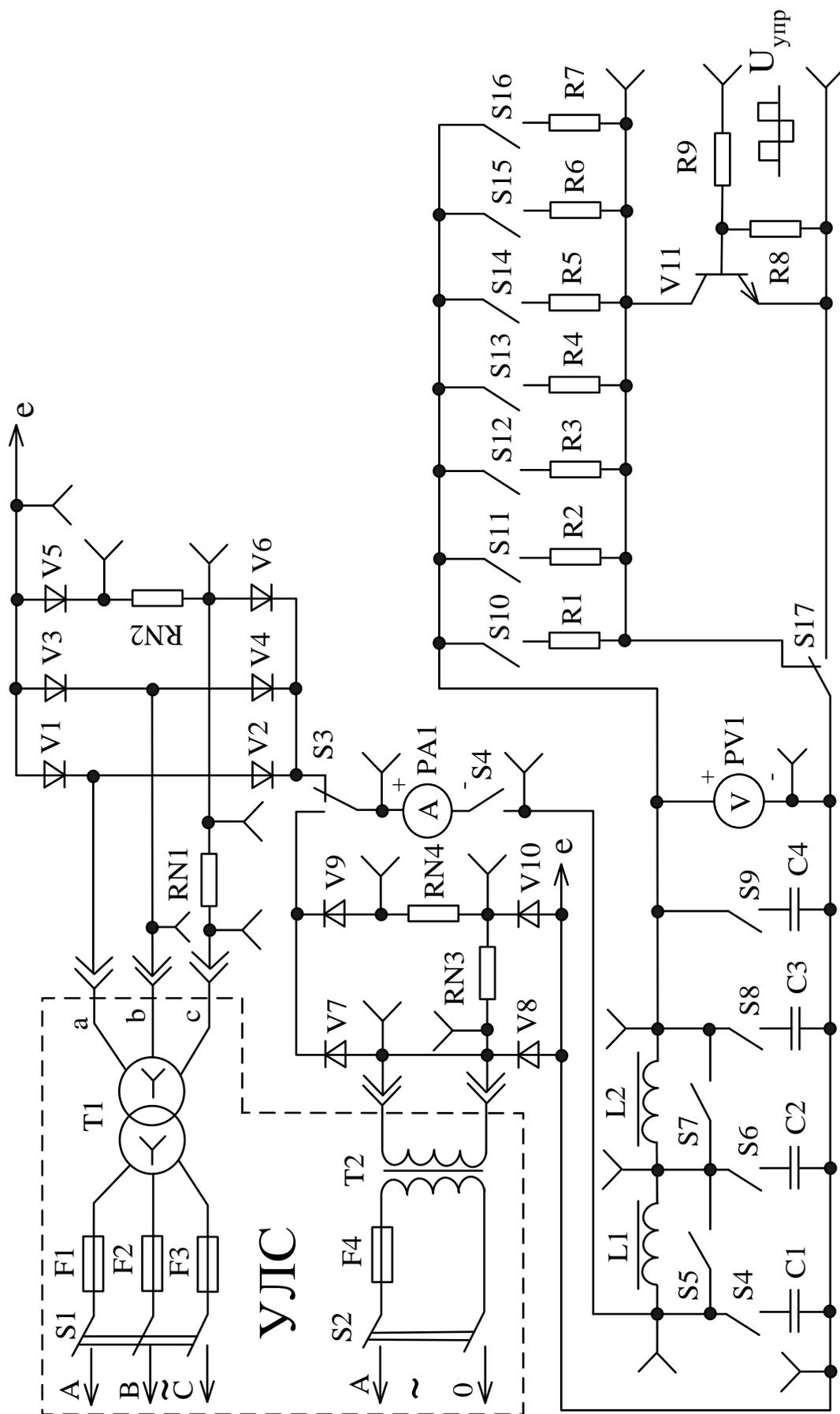


Рис. 1.1

Наибольшее распространение среди силовых схем выпрямителей получили мостовые схемы. Для получения постоянного тока до нескольких десятков ампер (до нескольких киловатт) используются однофазные схемы. Выпрямители на большие токи и мощности строятся по трехфазным схемам.

3.1. Трехфазная мостовая схема

Принципиальная схема трехфазного мостового выпрямителя (схема Ларионова) приведена на рис. 1.2. В мостовых

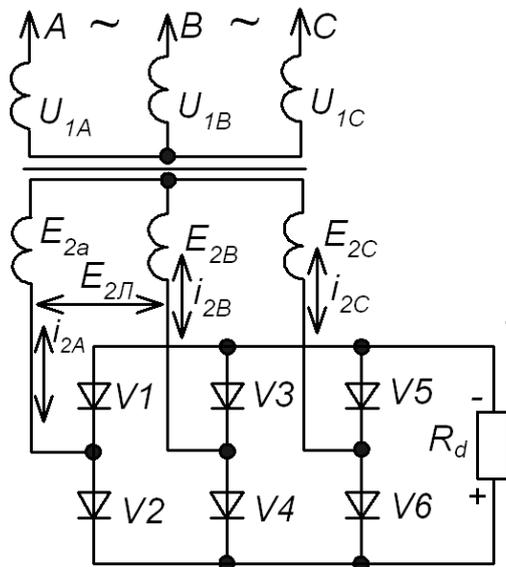


Рис. 1.2

схемах вентили (в данном случае диоды) соединены так, что образуют две вентильные группы: катодную, у которой объединены катоды (вентили V2, V4, V6), и анодную с объединенными анодами (вентили V1, V3, V5). В схеме одновременно работают (пропускают ток) только два вентиля: один из катодной группы, другой - из анодной. Четыре других вентиля в это время заперты. Таким образом, нагрузка в любой момент времени присоединена к двум фазам вторичных обмоток трансформатора и питается линейным напряжением. Очередность включения в работу вентиляей можно проследить

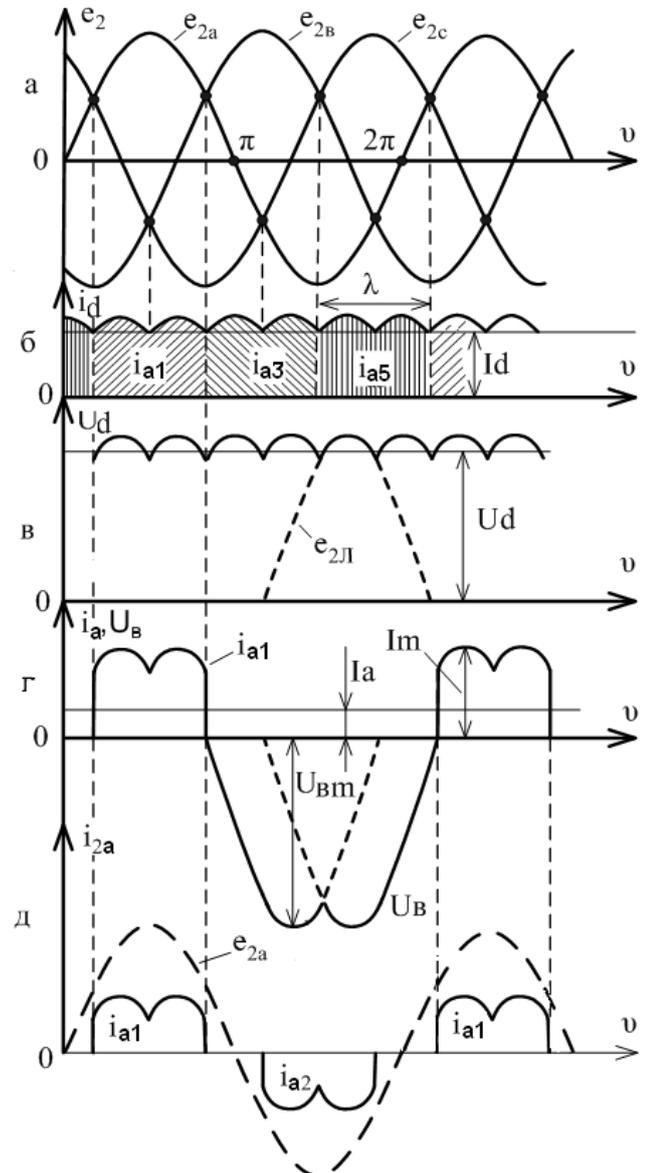


Рис. 1.3

по схеме выпрямителя и диаграммам фазовых ЭДС (рис. 1.3,а). Каждый из вентиля работает третью часть периода и токи трех пар вентилях создают в течении периода выпрямленный ток нагрузки i_d (рис. 1.3,б). Выпрямленный ток, протекая по нагрузке R_d , создает на ней падение напряжения U_d (рис. 1.3, в). Поскольку нагрузка имеет активный характер, то форма тока и напряжения на ней совпадают. Работа схемы и отдельных ее элементов поясняются временными диаграммами, представленными на рис. 1.3, где прописными буквами обозначены средние и амплитудные значения, а строчными буквами – текущие (мгновенные) значения величин. Элементы схемы приняты идеальными. В случае изменения характера нагрузки формы и амплитуды токов и напряжений в схеме могут резко измениться.

Одним из важнейших показателей работы выпрямителя является уровень и форма выпрямленного напряжения. Для исследуемой схемы выпрямленное напряжение U_d описывается участками кривой линейного (междуфазного) напряжения $e_{2л}$ и имеет шестикратную частоту пульсаций по отношению к частоте питающей сети (см. рис. 1.3,в).

Из анализа временных диаграмм можно вывести основные расчетные соотношения для схемы.

Среднее значение выпрямленного напряжения для данного преобразователя U_d определится выражением

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{6}}^{+\frac{\pi}{6}} E_{2лm} \cdot \cos v dv = \frac{\sqrt{2}\sqrt{3}E_2 \sin \frac{\pi}{6}}{\frac{\pi}{6}} = 2,34E_2, \quad (1.1)$$

где $E_{2лm}$ - амплитудное значение линейного напряжения во вторичных обмотках трансформатора;

m - пульсационность схемы.

Остальные показатели выпрямителя имеют следующие значения:

- средний выпрямленный ток нагрузки – I_d :

$$I_d = U_d / R_d, \quad (1.2)$$

- среднее значение тока вентиля – I_a :

$$I_a = I_d / 3, \quad (1.3)$$

- максимальное значение тока вентиля и нагрузки – I_{am}, I_{dm} :

$$I_{am} = I_{dm} = 1,045I_d = 3,14I_a, \quad (1.4)$$

- обратное напряжение на вентиле определяется суммой фазовых напряжений (см. рис. 1.3, г) – U_{bm} :

$$U_{bm} = E_{2,Im} = \sqrt{3}\sqrt{2}E_2 = 1,045Ud, \quad (1.5)$$

- действующее значение тока вторичных обмоток трансформатора (пренебрегая пульсациями) определяется из суммы токов двух вентилях – I_2 :

$$I_2 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} Id^2 \frac{4\pi}{3}} = \sqrt{\frac{2}{3}} Id, \quad (1.6)$$

- действующее значение тока вентиля – $I_{ад}$:

$$I_{ад} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} Id^2 \frac{2\pi}{3}} = \frac{Id}{\sqrt{3}}, \quad (1.7)$$

- мощности первичной и вторичной сторон трансформатора – S_1 и S_2 оказываются равными типовой (габаритной) мощности – S_T :

$$S_T = S_1 = S_2 = 3I_2 E_2 = 3\sqrt{\frac{2}{3}} Id \frac{Ud}{2,34} = 1,045Pd. \quad (1.8)$$

3.2. Сглаживающие фильтры

Кривая выпрямленного напряжения U_d имеет пульсирующий характер (см. рис. 1.3,в) и имеет постоянную и переменную составляющие. Постоянная составляющая напряжения на нагрузке U_d используется для создания тока и мощности в нагрузке P_d . Переменная составляющая $u_{d\sim}$ полезной работы не совершает и даже является вредной для нагрузки и поэтому ее необходимо от нагрузки отделить (отфильтровать). Эту задачу решают сглаживающие фильтры, которые устанавливают между выпрямителем и нагрузкой.

Если из рис. 1.3,в убрать постоянную составляющую, а это легко можно выполнить с помощью осциллографа, то останется только напряжение пульсаций, имеющее вид, приведенный на рис.



Рис. 1.4

1.4. Это пульсирующее напряжение представляет собой верхушки синусоид с частотой, в m раз превышающую частоту сети. Для трехфазной мостовой схемы выпрямления $m=6$, т.е. переменная составляющая имеет шестикратную

частоту пульсаций.

Поскольку кривая $u_{d\sim}$ пульсирующая, то она содержит большое число составляющих. Исходя из синусоидального характера $u_{d\sim}$, ее можно разложить в гармонический ряд (ряд Фурье). Максимальное значение амплитуды в этом разложении имеет первая гармоника

(пунктирная линия на рис. 1.4), которая и оказывает самое значительное влияние на нагрузку, к тому же она имеет самую низкую частоту и с ней трудно бороться. Поэтому при сглаживании пульсаций, прежде всего, стремятся подавить первую гармонику и на нее рассчитывают элементы сглаживающих фильтров.

В силовой электронике в качестве сглаживающих фильтров используют реактивные элементы: конденсаторы и дроссели, имеющие малые активные потери мощности и обладающие либо очень малыми, либо очень большими сопротивлениями для переменных токов. Эти свойства реактивных элементов и используют при построении фильтров, устанавливая дроссели последовательно с нагрузкой, а конденсаторы параллельно.

Количественно пульсации оцениваются коэффициентом пульсаций – K_p , который показывает соотношение между постоянной составляющей выпрямленного напряжения и первой гармоникой пульсаций:

$$K_p = \frac{U_{m(1)}}{U_d} = \frac{2}{m^2 - 1}, \quad (1.9)$$

где $U_{m(1)}$ – амплитуда первой гармоники напряжения пульсаций.

Согласно этому выражению в схеме Ларионова $K_p=0,057$ или 5,7%, т.е. составляет достаточно малую величину (самое низкое значение из всех выпрямителей). Этот показатель наряду с хорошим использованием трансформатора служит причиной того, что трехфазный мостовой выпрямитель наиболее распространен в силовой преобразовательной технике.

Однако даже такой низкий коэффициент пульсаций на выходе выпрямителя не всегда удовлетворяет требованиям нагрузки и поэтому приходится устанавливать сглаживающие фильтры. Эффективность действия фильтров оценивается коэффициентом фильтрации K_f или коэффициентом сглаживания – $K_{сг}$:

$$K_f \approx K_{сг} = \frac{U_{mвх}}{U_{mвых}} \approx \frac{U_{m(1)вх}}{U_{m(1)вых}}, \quad (1.10)$$

где $U_{mвх}$ - амплитуда напряжения пульсаций на входе фильтра (на выходе выпрямителя);

$U_{mвых}$ - амплитуда напряжения пульсаций на выходе фильтра (на нагрузке).

Коэффициент сглаживания всегда больше единицы и для сложных фильтров может составлять несколько сотен.

Кроме K_f и $K_{сг}$, сглаживающие фильтры характеризуются и другими важными показателями, например, выходным

сопротивлением $Z_{вых}$, длительностью и интенсивностью переходных процессов, коэффициентом передачи постоянной составляющей (который можно рассматривать как КПД фильтра) и т.п.

Не все фильтры сглаживают одинаково. Одни из них оказываются эффективными при малых нагрузках, а другие – при больших нагрузках. Кроме того, фильтры оказывают существенное влияние на работу вентиля и ход внешней характеристики выпрямителя. Поэтому выбор того или иного типа (схемы) фильтра является важной задачей, от решения которой зависят надежность, КПД, стоимость и массогабариты всего выпрямителя.

4. Подготовка к работе

Подготовка к работе включает в себя:

- теоретическую проработку материала по рекомендуемым литературным источникам;
- ознакомление со схемой лабораторной работы, ее изучение и вычерчивание на листах рабочего протокола;
- ознакомление с заданием на выполнение работы и подготовку требуемых по заданию таблиц и расчетов (данные по схеме приведены в приложении А);
- самопроверку готовности по контрольным вопросам;
- расчет коэффициентов сглаживания для двух произвольно взятых многосвязных фильтров для трехфазного выпрямителя при следующих данных: ток нагрузки 2 А, напряжение холостого хода 25 В.

5. Задание на работу

5.1. Зарисовать и проанализировать осциллограммы токов и напряжений, характеризующие работу всех элементов выпрямителя на активную и активно индуктивную нагрузку при минимальном и максимальном значениях тока нагрузки.

5.2. Зарисовать осциллограммы токов трансформатора и вентиля и напряжения на нагрузке при работе емкостного фильтра с двумя предельными значениями емкости конденсатора при токе нагрузки в 1 А. Проанализировать работу элементов выпрямителя на этот вид нагрузки и сделать выводы.

5.3. Зарисовать осциллограммы напряжения на нагрузке при работе с одним Г-образным LC-фильтром и со всеми возможными

типами многозвенных фильтров при токе нагрузки в 2А. Определить по осциллограммам коэффициенты сглаживания исследуемых фильтров.

5.4. Сравнить коэффициенты сглаживания для фильтров, полученные расчетным путем и в процессе эксперимента. Провести анализ полученных результатов.

5.5. Достроить внешние характеристики выпрямителя без фильтра и с одним из LC-фильтров. Тип фильтра согласовать с преподавателем.

5.6. Определить величину угла (времени) коммутации вентиля при токе нагрузки 2 А.

6. Методические указания

6.1. Для пунктов рабочего задания 5.1 и 5.2 осциллограммы токов и напряжений на элементах выпрямителя при различных токах нагрузки и для обоих видов нагрузки представлять на одном рисунке с совмещением временных меток и в одном масштабе (методом наложения). Постоянные составляющие этих осциллограмм можно произвольно уменьшить, отметив их уровни на рисунке пунктирной или сплошной тонкой линией с указанием на осях абсолютного значения.

6.2. При определении угла коммутации вентиля осциллограмму тока максимально развернуть по экрану осциллографа. Зарисовать эту осциллограмму в отчете по работе в произвольно уменьшенном масштабе и показать на ней способ определения искомой величины.

6.3. Графическое представление внешних характеристик должно быть расположено в отчете рядом с их табличными данными. Все характеристики для наглядности представить на одном рисунке.

6.4. Для пункта задания 5.3 постоянную составляющую напряжения можно опустить или произвольно уменьшить с тем, чтобы наглядней отобразить амплитуду и форму переменной составляющей. На рисунке амплитуда минимального значения переменной составляющей в нагрузке должна быть не менее 5 мм.

Остальные методические указания соответствуют п.1.6 первого раздела.

7. Контрольные вопросы для самопроверки

С какой целью строятся выпрямители?

Приведите обобщенную структурную схему выпрямителя и объясните назначение всех элементов этой структуры.

Поясните принцип действия однофазной и трехфазной мостовых схем выпрямителей. Определите назначение обеих схем.

Поясните формирование кривой напряжения на нагрузке и кривой обратного напряжения на вентиле в схеме выпрямления Ларионова.

Какими параметрами (показателями) характеризуются схемы выпрямителей?

Что называется углом коммутации вентиля и от каких показателей схемы он зависит? Каким образом можно уменьшить угол коммутации?

Дайте определение коэффициента сглаживания и коэффициента пульсаций?

Из каких соображений выбираются элементы и схемы фильтров?

Как оценивается (рассчитывается) коэффициент сглаживания L-фильтра, C-фильтра, LC-фильтра?

Нарисуйте форму напряжения на активной нагрузке для случая, когда перегорел предохранитель в одной из фаз питания трехфазного мостового выпрямителя отдельно для случая выгорания в первичной и во вторичной обмотке трансформатора. Объясните эти формы.

Список литературы

Основная: /1 §2-3; 2 §2-4, §2-7, §3-3, §3-5; 3 §2.3, §3.1, §3.; 4 §6.4, §6.6, §6.7/.

Дополнительная: /1, 2, 5-7/.

Список литературы

Основная

1. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники. – Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2003. – 685 с.
2. Полупроводниковые выпрямители/ Под ред. Ф.И. Ковалёва и Г.П. Мостковой . – М: Энергия, 1978. – 440 с.
3. Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М. Преобразовательная техника. – М.: Высш. школа, 2000. – 431 с.
4. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебн. для вузов. – М.: Высш. Школа, 1982, – 496 с.

Дополнительная

1. Справочник по преобразовательной технике / Под ред. И.М. Чиженко.-Киев: Техника, 1978, -447 с.
2. Иванов-Цыганов А.И. Электропреобразовательные устройства РЭС: Учебн. Для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1991, – 272 с.
3. Ситник Н.Х. Силовая полупроводниковая техника. – М.: Энергия, 1968, – 320 с.
4. Электропитание устройства связи: Учебн. для вузов/ А.А. Бокуняев, Б.В. Горбачёв, В.Е. Китаев и др.; Под ред. В.Е. Китаева. – М.: Радио и связь, 1988, – 280 с.
5. Кокшаров В.С. Преобразовательная техника. Сглаживающие фильтры: Учеб. Пособие. – Уфа: УГАТУ, 1995, – 86 с.
6. Усатенко С.Т., Каченюк Т.К., Терехова М.В. Выполнение электрических схем по ЕСКД: Справочник. – М.: Изд-во стандартов, 1989, – 325 с.
7. ГОСТ 2.105-95 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам. – М.: Изд-во стандартов, 1995.