

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИКИ СТЕРЖНЕЙ КОРТОКОЗАМКНУТЫХ РОТОРОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Сивокобыленко В.Ф., Гребченко Н.В., Нури Абделбассет

Одним из распространенных видов повреждений асинхронных двигателей (АД) является обрыв стержней обмотки короткозамкнутого (КЗ) ротора [1]. Например, средняя повреждаемость АД за последние три года на одной из ТЭС составила 19,8% при общем числе двигателей 140, а обрывы стержней ротора среди них – 23,7%, то есть каждое четвертое повреждение. В качестве основных причин их появления можно выделить частые и тяжелые условия пуска АД, несинусоидальность питающего напряжения, технологические дефекты обмоток и др. Несмотря на то, что обрыв одного стержня не приводит к значительному ухудшению характеристик и режима работы электродвигателя в целом, однако, при этом значительно повышается вероятность обрывов других стержней а, следовательно, – ухудшение режима работы АД и выход его из строя.

В статье рассматривается перспективное направление в решении проблемы диагностики обрывов стержней обмоток АД, заключающееся в разработке новых принципов автоматической диагностики этого вида повреждения и их реализации на персональной ЭВМ (ПЭВМ). Особенно это важно при питании большого количества АД от общих шин, как, например, в системе собственных нужд (с.н.) электростанций промышленных установок и др.

Известно, что обрывы стержней обмотки ротора могут быть выявлены по появлению пульсаций тока статора или активной мощности АД, увеличению скольжения двигателя и т.д. Обрыв стержня ротора АД приводит к появлению несимметрии. общепринятым путем исследования несимметричных режимов работы АД является метод симметричных составляющих. Однако, по ряду причин оказалось более удобно применить для этого обобщенный вектор тока статора, характеризующий результирующее действие симметричной трехфазной системы напряжений. При отсутствии несимметрии в АД обобщенный вектор тока вращается с постоянной частотой, а его амплитуда не изменяется, то есть его годографом является окружность.

При наличии несимметрии в АД, в том числе и вызванной обрывами стержней обмотки ротора, конец обобщенного вектора тока статора будет описывать эллипс, а скорость его не будет постоянной.

Выполненные исследования показали, что наиболее удобным диагностическим параметром для построения системы диагностики является обобщенный вектор тока статора. Возникновение обрывов стержней короткозамк-

нутой обмотки ротора АД сопровождается появлением периодического изменения амплитуды вектора обобщенного тока статора.

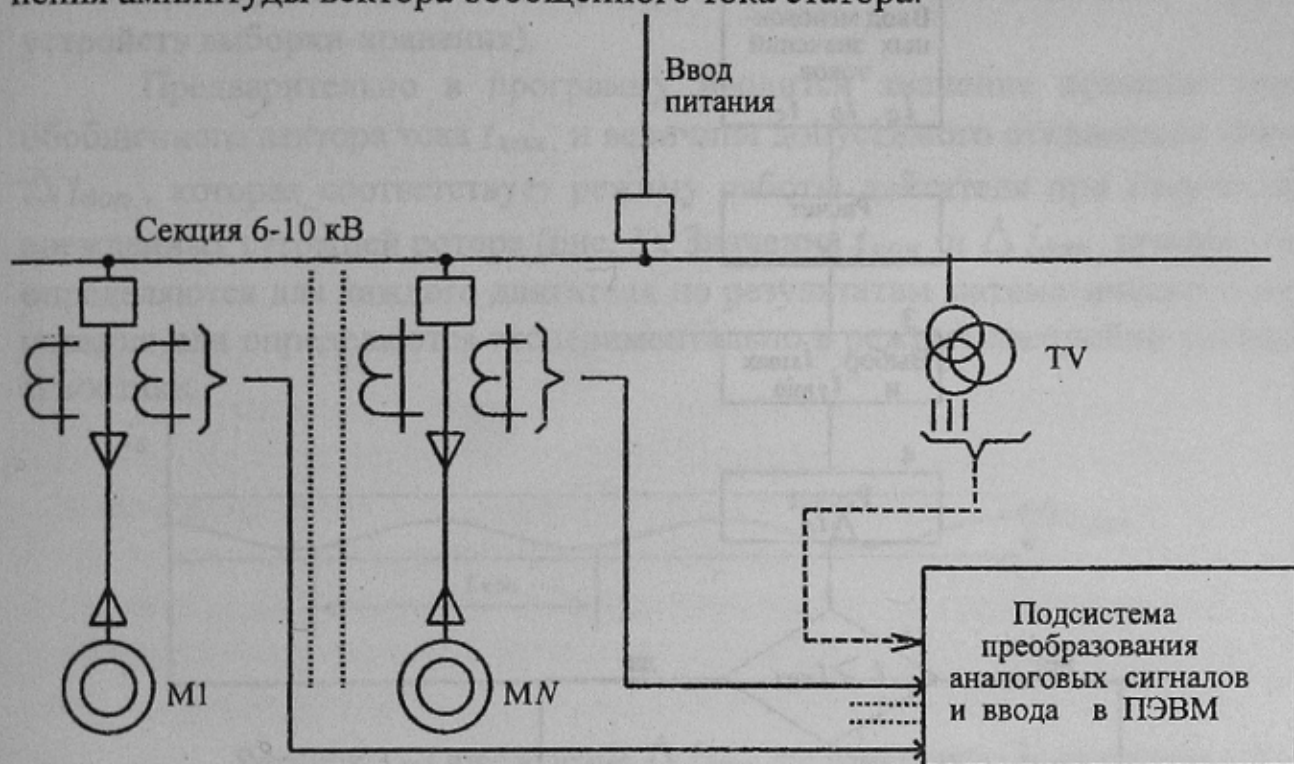


Рисунок 1 – Схема сбора информации о режиме работы АД

На основании анализа результатов математического моделирования и экспериментальных исследований разработана система автоматической диагностики обрывов стержней КЗ ротора, основанная на контроле одного из наиболее информативных диагностических параметров-периодических пульсаций модуля обобщенного вектора тока трех фаз статора электродвигателей.

На рис. 2 представлен алгоритм выявления обрывов стержней обмотки ротора АД, основанный на контроле периодического изменения амплитуды обобщенного вектора тока статора. В режиме работы под нагрузкой расчет мгновенного значения обобщенного вектора тока статора i_s производится по результатам замера фазных токов по следующему выражению

$$i_s = 2\sqrt{\frac{1}{3}(i_a^2 + i_c^2 + i_a i_c)}.$$

Для обеспечения более раннего выявления обрывов стержней ротора принят режим периодического включения системы (один раз в сутки) рассматриваемой системы.

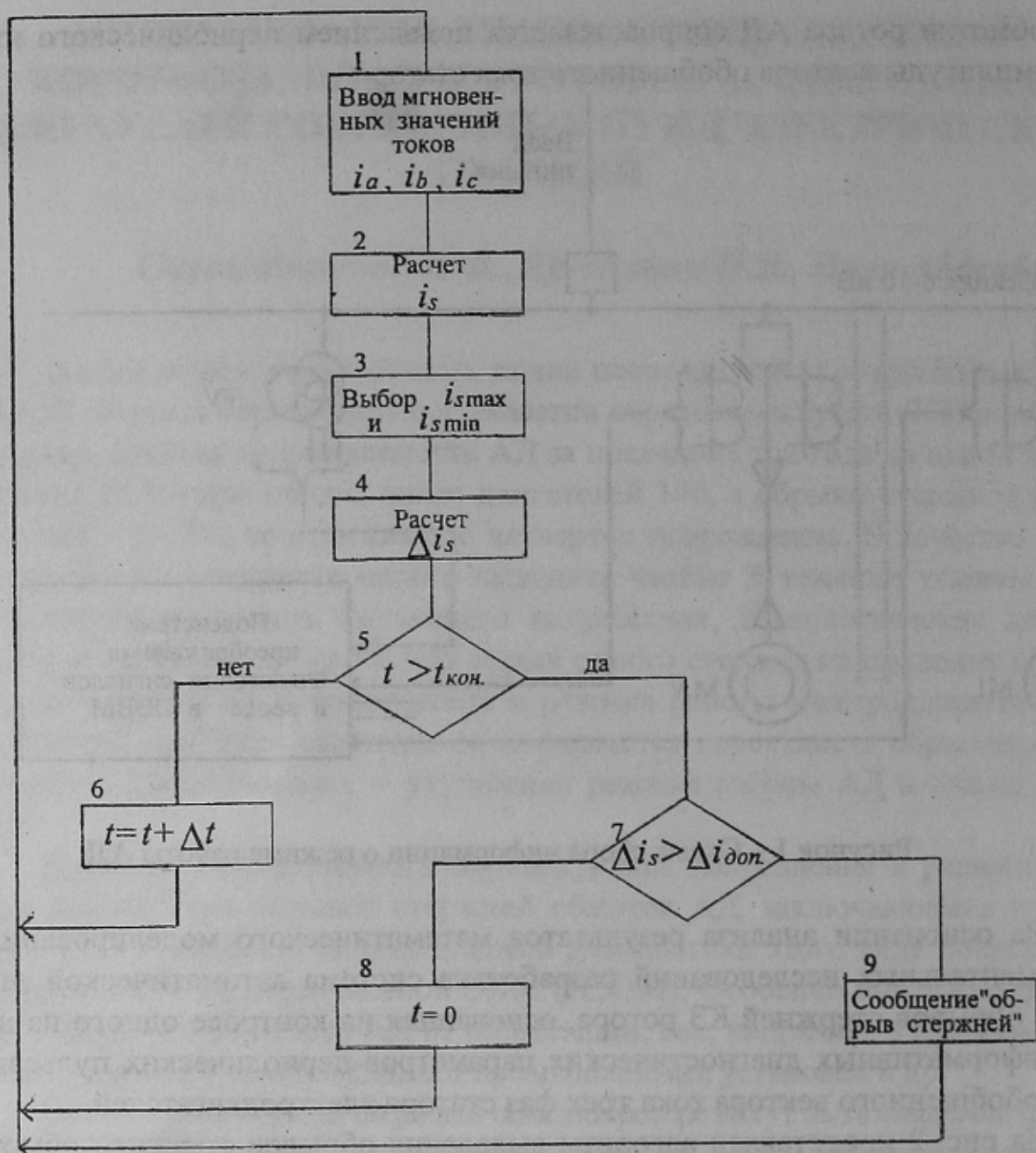


Рисунок 2 – Алгоритм работы подсистемы диагностики обрывов стержней обмотки ротора АД

Для обеспечения необходимого быстродействия потребовалось не только использование аналого – цифрового преобразователя (АЦП) с малым временем преобразования, но и соответствующая организация структуры подсистемы преобразования аналоговой информации и ввода (ПАИВ) ее в ПЭВМ.

Принятая схема организации ПАИВ по сравнению с общеизвестными имеет следующие преимущества:

- меньше общее время преобразования (за счет того, что для считывания преобразованной информации требуется меньше времени, чем для преобразования аналогового сигнала в цифровой);

□ меньшую нелинейность преобразования по каналам (за счет исключения устройств выборки-хранения).

Предварительно в программу вводится значение времени контроля обобщенного вектора тока $t_{кон.}$ и величина допустимого отклонения этого тока $\Delta i_{доп.}$, которая соответствует режиму работы двигателя при отсутствии поврежденных стержней ротора (рис. 3). Значения $t_{кон.}$ и $\Delta i_{доп.}$ предварительно определяются для каждого двигателя по результатам математического моделирования или определяются экспериментально в режиме настройки системы диагностики.

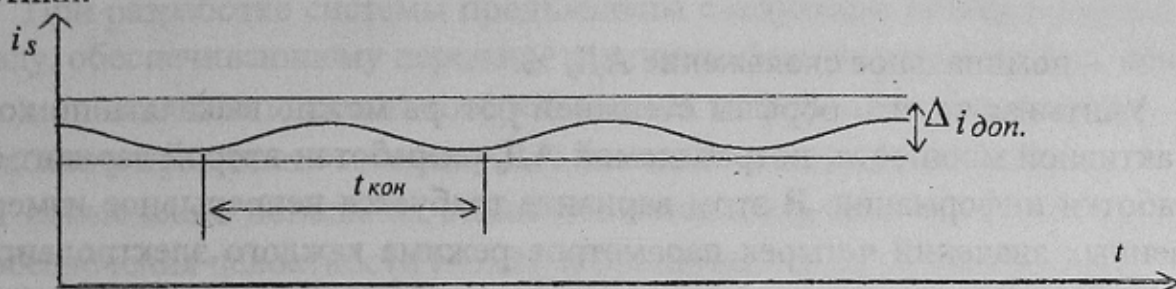


Рисунок 3 – Определение $\Delta i_{доп.}$ по изменению i_s двигателя с исправным ротором

В том случае, когда максимальное значение Δi_s , вызванное несимметрией напряжения питающей сети, не превышает принятого значения $\Delta i_{доп.}$, специальной отстройки от этого режима не требуется. В противном случае в алгоритм функционирования системы дополнительно вводится контроль частоты пульсаций i_s . Частота периодических изменений i_s , обусловленная несимметрией напряжения сети, примерно равна 100 Гц, а при обрывах стержней ротора она пропорциональна скольжению двигателя.

Расчет значений i_s выполняется в течение заданного времени $t_{кон.}$ и одновременно производится выбор максимального i_{smax} и минимального значений i_{smin} за это же время. Чтобы исключить влияние кратковременных импульсных помех, а также близких коротких замыканий в системе электроснабжения на работу алгоритма диагностики, каждое полученное значение i_{smax} и i_{smin} автоматически проверяется на соответствие режиму обрыва стержней ротора (на рис. 2. не показано).

По истечении заданного времени контроля $t_{кон.}$ найденное максимальное значение Δi_s за этот промежуток времени автоматически сравнивается с допустимым значением $\Delta i_{доп.}$. Если $\Delta i_s > \Delta i_{доп.}$, то формируется сообщение и выдается обслуживающему персоналу о том, что у двигателя № N произошел

обрыв стержней ротора. Величина разности $\Delta i_s - \Delta i_{доп.}$ дает возможность определить количество оборванных стержней.

Необходимое время контроля $t_{кон.}$ (в секундах) определяется из условия превышения им периода колебаний тока i_s в рабочем режиме (максимально необходимое время), или превышения периода колебаний при одном оборванном стержне

$$t_{кон} < \frac{2}{S_{ном}}$$

где $S_{ном}$ – номинальное скольжение АД, %.

Учитывая то, что обрывы стержней ротора можно выявлять по колебаниям активной мощности, потребляемой АД, разработан второй вариант сбора и обработки информации. В этом варианте требуется непрерывное измерение мгновенных значений четырех параметров режима каждого электродвигателя (токи фаз А и С и линейные напряжения U_{ab} и U_{cb}). Расчеты активной мощности выполняются в соответствии с выражением

$$P = i_a U_{ab} + i_c U_{cb}.$$

Кроме диагностики обрывов стержней вычисление активной мощности также необходимо при автоматическом осциллографировании пуска электродвигателя и определении потребляемой мощности в нормальном рабочем режиме АД.

При разработке системы диагностики определено место установки ПЭВМ. Для этого выполнена сравнительная оценка двух вариантов: система устанавливается в помещении закрытого распределительного устройства (ЗРУ) 6-10 кВ или на щите управления. Основные факторы, которые были учтены при сопоставлении этих вариантов:

- условия эксплуатации (температура, загрязненность, доступность для получения текущей информации) и удобство использования результатов работы системы;
- объем монтажных работ и дополнительный расход контрольных кабелей;
- возможность дальнейшего совершенствования системы диагностики за счет введения в ее функции диагностики других видов повреждений.

По результатам сравнения рассмотренных вариантов для размещения ПЭВМ выбран щит управления. В соответствии с этим разработаны общие требования к каналу измерения тока:

□ обеспечение требуемой точности без существенного усложнения канала (по возможности исключить установку дополнительных трансформаторов тока (ТА));

□ высокая помехозащищенность канала;

□ возможность реализации на действующих объектах (промышленных предприятиях, системе собственных нужд ГРЭС и т.д.).

В результате выбора основных технических характеристик АЦП определено минимальное число разрядов АЦП и максимально допустимое время преобразования $t_{пр}$ входного аналогового сигнала [2, 3].

При разработке системы предъявлены следующие основные требования к каналу, обеспечивающему передачу величины фазных токов на вход АЦП:

□ минимальное искажение передаваемой информации (погрешность канала не должна превышать минимальное значение полезного сигнала);

□ исключение попадания высокого потенциала из сети 6-10 кВ в ПЭВМ (для обеспечения целостности ПЭВМ и безопасности ее обслуживания);

□ подключение канала к трансформаторам тока не должно привести к выходу ТА из класса точности (что позволит не устанавливать дополнительно ТА для системы диагностики).

Максимально допустимая величина времени преобразования АЦП определена из условия одновременного измерения и преобразования четырех сигналов от одного двигателя (при общем количестве двигателей $N = 42$), а также с учетом того, что в соответствии с результатами предварительных расчетов требуется получать не менее 100 замеров сигнала в течение периода длительностью $T_{пер} = 20$ мс ($f = 50$ Гц).

Требуемое время преобразования 3,4 мкс имеет 12 – разрядный АЦП типа MAX 122 фирмы "Maxim", который и выбран для использования в подсистеме преобразования аналоговых сигналов.

Система ПАИВ состоит из четырех однотипных каналов, в которых последовательно соединены фильтр, масштабирующий усилитель, коммутатор, АЦП и регистр временного хранения информации. Запуск преобразования входных сигналов по каждому каналу производится одновременно. Синхронизация работы всех блоков ПАИВ осуществляется от сигнала генератора OSC, поступающего с системной шины ПЭВМ. Этот сигнал поступает на вход программно управляемого генератора частоты (ПЧ), выполненного на микросхеме типа K580 ВИ53. С помощью ПЧ, в случае необходимости, программно можно изменять тактовую частоту f_T . В режиме работы ПАИВ аналоговые коммутаторы на входах АЦП подключают все четыре канала ПАИВ для преобразования входных сигналов от одного двигателя. После завершения преобразования входных сигналов формируется сигнал запроса на прерывание IRQ, а затем – последовательное считывание информации с выходов регистров вре-

менного хранения через шинный формирователь и шину данных в оперативную память ПЭВМ. Затем, в соответствии с алгоритмом, производится обработка полученной информации, а потом коммутаторы подключают входы АЦП к аналоговым сигналам следующего двигателя. Далее работа ПАИВ повторяется.

Рассмотренные выше принципы использованы в системе диагностики, которая реализована на ПЭВМ типа IBM PC с использованием ПАИВ на 12-разрядных АЦП типа MAX 122. На вход ПАИВ подавались три фазных тока статора асинхронного электродвигателя $P_{ном} = 7 \text{ кВт}$, $U_{ном} = 380 \text{ В}$. Ротор АД модернизирован таким образом, что имеется возможность выполнять обрывы его стержней путем вывинчивания соединительных болтов из стержней обмотки.

При выполнении лабораторных исследований проверялось отсутствие появления ложных сообщений об обрывах стержней при различной нагрузке АД. При моделировании обрывов стержней путем удаления соответствующего количества соединительных болтов проверялась надежность выявления обрывов при различном количестве оборванных стержней (от одного до восьми) и различной степени загрузки АД (от холостого хода до номинальной нагрузки). На рис.4 в качестве примера приведены осциллограммы работы системы диагностики.

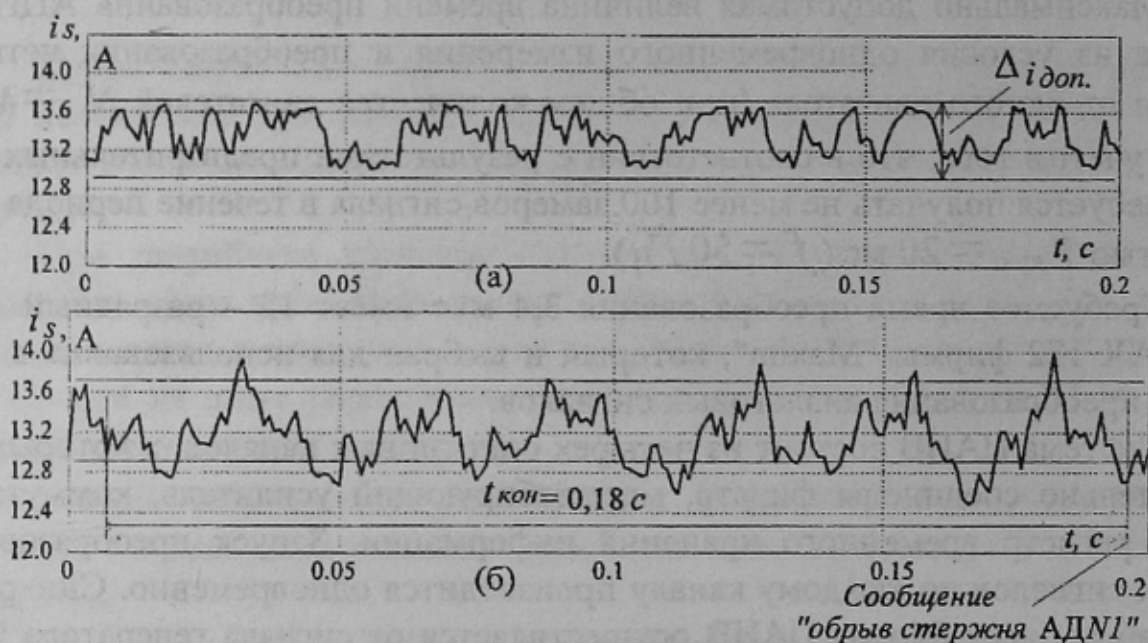


Рисунок 4 – Временная диаграмма работы системы диагностики обрывов стержней ротора АД (а - без обрыва, б - с тремя оборванными стержнями)

Результаты лабораторных исследований подтвердили работоспособность системы, правильность выбора принципов ее построения и правильность методики определения критических значений ($\Delta i_{дон}, t_{кон.}$) диагностического параметра i_s .

Выводы

1. Разработана система диагностики АД, позволяющая в автоматическом режиме без отключения электродвигателей выявлять обрывы стержней короткозамкнутого ротора в группе двигателей.

Принцип действия системы основан на контроле величины пульсаций модуля вектора обобщенного тока статора в течение заданного времени контроля.

2. Разработаны основные требования, предъявляемые к каналу передачи информации тока, заключающиеся в том, что его погрешность не должна превышать минимального значения диагностируемого параметра (отклонение амплитуды вектора обобщенного тока статора), которое он имеет при обрыве одного стержня. При этом подключение канала к трансформаторам тока не должно приводить к выходу трансформаторов тока из класса точности 0,5.

3. Выполнен расчет основных характеристик, которые должен иметь АЦП для системы преобразования аналоговых сигналов подсистемы преобразования и ввода аналоговой информации:

- время преобразования не должно превышать 3,4 мкс;
- выходной код АЦП должен иметь не менее 12 разрядов.

4. Изготовлен опытный образец системы диагностики и выполнены его лабораторные испытания, которые подтвердили правильность выбранных принципов ее построения и надежность выявления обрывов стержней обмотки короткозамкнутого ротора.

Список литературы

1. Сивокобыленко В.Ф., Гармаш В.С., Насир А.Ф. Диагностика стержней ротора короткозамкнутого асинхронного двигателя. // Энергетика и электрификация. – 1994, № 2. – с. 18-20.

2. Федорков Б.Г., Телец В.А. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение. – М.: «Энергоатомиздат», 1990, – 320 с., ил.

3. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер.с нем. – М.: Мир, 1983. – 512 с., ил.