

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП)

А.Г. Гарганеев

**ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА
АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ**

Учебное пособие
Часть 2

Рекомендовано Сибирским региональным отделением
учебно-методического объединения по образованию
в области радиотехники, электроники, медицинской техники
и автоматизации в качестве учебного пособия
для студентов специальностей 210100 (220201)
«Управление и информатика в технических системах»
и 210200 (220301) «Автоматизация технологических
процессов и производств в приборостроении»

Томск – 2006

Рецензенты:

Томский политехнический университет,
доктор технических наук, профессор **В. И. Гончаров**
ФГНУ НИИ автоматики и электромеханики,
кандидат технических наук, ст. науч. сотр. **И. В. Целебровский**

Гарганеев А.Г.

Технические средства автоматизации и управления. Часть 2: Учеб. пособие. В двух частях. – Томск: Изд. ТУСУР, 2006. – 158 с.

В пособии, состоящим из двух частей, представлено описание наиболее распространенных технических средств (элементов и устройств) автоматизации и управления. Рассматривается их принцип действия, конструкция, математическое описание, принадлежность к типовым звеньям систем автоматического регулирования. Показаны особенности функционирования ряда технических устройств и алгоритмов на конкретных примерах использования в АСУ ТП. Материал пособия предполагает знание студентами курсов «Электротехника и электроника», «Теория автоматического управления», «Вычислительные машины, системы и сети».

Пособие рассчитано для подготовки студентов по направлению 651900 – «Автоматизация и управление»

© Гарганеев А. Г., 2006

© Том. гос. ун-т систем упр. и
радиоэлектроники, 2006

Глава 1. ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА – АККУМУЛЯТОРЫ КАК ЭЛЕМЕНТ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

1.1. Общие сведения о химических источниках тока

Источниками электроэнергии в многочисленных системах автоматизации и управления служат *химические источники тока* (ХИТ) – *аккумуляторные батареи* (АБ). Различают *первичные* и *вторичные* ХИТ. Первичные ХИТ допускают лишь однократное использование заключенных в них активных материалов. Полностью разряженный первичный ХИТ к дальнейшей работе непригоден. Первичные ХИТ делятся на элементы с жидким электролитом и сухие элементы, содержащие невыливающийся («сухой») электролит. Вторичными ХИТ (аккумуляторами) называют источники тока, способные восстанавливать свои свойства накопления и отдачи электроэнергии после заряда. Термин *аккумулятор* означает накопитель, в котором электрическая энергия накоплена в виде химической энергии пространственно разделенных окислительно-восстановительных процессов. Процесс превращения химической энергии в электрическую называется *разрядом*. Во время заряда, наоборот, электрическая энергия превращается в химическую. Выбирая между аккумуляторами и первичными ХИТ, конструкторы аппаратуры обычно считают, что первые обладают большей мощностью, в то время как элементы – более высокой удельной энергией. Условное схемное обозначение ХИТ и способы соединения элементов (аккумуляторов) в батарею представлено на рис. 1.1.

ХИТ применяются для электропитания электронных схем в компьютерах, видеокамерах, фотоаппаратах, радиоаппаратуре и т.п., а также ответственных потребителей технологических процессов в составе систем бесперебойного и гарантированного электропитания (СБЭП, СГЭП) в

отсутствии промышленной сети переменного тока. При проектировании системы электропитания (СЭП) разработчик должен руководствоваться в первую очередь следующими основными требованиями к АБ [1]:

- энергетические показатели (коэффициент отдачи по емкости; значение удельной энергии - либо весовой – Втч/кг, либо объемной – Втч/дм³; особенности зарядно-разрядных характеристик);
- время восстановления;
- экологическая чистота и пожаровзрывобезопасность;
- срок службы;
- саморазряд;
- стоимость;
- простота эксплуатации.

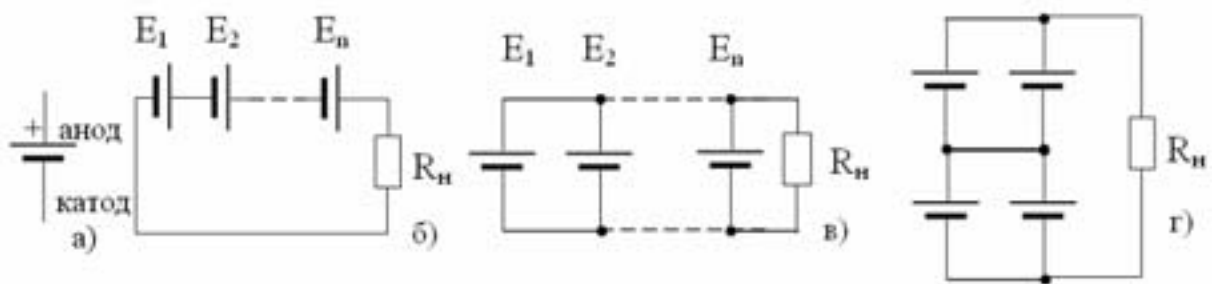


Рис.1.1. Условное схемное обозначение ХИТ; а) и способы соединения элементов в батарее; б) последовательное; в) параллельное; г) последовательно-параллельное

1.2. Первичные ХИТ

Наиболее известными и распространенными первичными ХИТ являются элементы с солевым электролитом и батареи на их основе. Их невысокие эксплуатационные характеристики (удельная энергия – до 100 Втч/дм³, срок службы – до двух лет) компенсируются низкой стоимостью и простотой изготовления. Модификация марганцево-цинковых элементов со щелочным электролитом имеет в 1,5 - 2 раза более высокие емкость и мощность. Современные технологии, применяемые рядом ведущих зарубежных фирм, позволили еще более повысить

эксплуатационные параметры марганцево-цинковых ХИТ («Energizer», «Duracell», «Sony») [2].

Альтернативой марганцево-цинковым элементам в течение последних 30 лет являются ртутно-цинковые ХИТ. По удельной энергии (300 Втч/дм^3) и сроку службы (до 5 лет) они превышают марганцево-цинковые аналоги, по другим параметрам – не уступают им. Их работоспособность при отрицательных температурах низка. Однако, при их разряде выделяется металлическая ртуть, крайне опасная в экологическом отношении. Кроме того, попадая на элементы монтажа РЭА, она приводит к выходу их из строя. В последние годы производители этих элементов заявляют о сокращении производства, вплоть до полного его прекращения по причине экологической опасности и давления со стороны общественных организаций [3].

Наличие перечисленных недостатков привело к поиску принципиально новых ХИТ, и такой поиск завершился созданием элементов с литиевым анодом, существенно превосходящих по комплексу эксплуатационных параметров все другие типы ХИТ. Разработка литиевых источников тока началась довольно давно, однако их промышленный выпуск начат лишь в 70-х годах прошлого столетия. Они сразу заняли ведущее место в электропитании целого ряда направлений техники, в том числе специальной. Причиной тому – уникальные эксплуатационные возможности этого класса ХИТ. Они, в свою очередь, обусловлены использованием в указанных источниках тока высокоэнергетических электродных материалов, новых конструкционных материалов и технологий. Из-за повышенной химической активности лития такие элементы требуют улучшенной герметизации и специальных условий сборки (герметичные боксы, атмосфера инертного газа).

В зависимости от типа применяемых электродных материалов и электролитов различают:

- литиевые элементы с неорганическим электролитом (литий-тионилхлорид, литий-диоксид серы и т.д.);
- литиевые элементы с органическим электролитом (литий-полифторуглерод, литий-диоксид марганца и т.д.);
- литиевые элементы с твердым электролитом (литий-иод).

Самыми высокими техническими параметрами обладают элементы системы литий-тионилхлорид. Они имеют разрядное напряжение 3,4 В, срок службы до 10 лет и выше, высокую работоспособность при отрицательных температурах, низкий саморазряд -3% в год и высокую мощность. Элементы системы литий-тионилхлорид имеют самую высокую из известных удельную энергию – до 1000 Втч/дм³. Их применение в миниатюрной РЭА вместо ХИТ традиционных систем приводит к повышению технических возможностей изделий и улучшению их массогабаритных характеристик. Уставы Армии США предполагают использование литий-тионилхлоридных источников тока в военной технике в качестве основного типа ХИТ.

Наряду с безусловными положительными качествами литий-тионилхлоридных ХИТ известны и их недостатки. Главным из них является взрывоопасность. При нарушении правил эксплуатации и хранения элементов (короткие замыкания, перегрев, глубокий разряд, заряд, механические повреждения и т.д.) возможны взрывы, опасные разрушением аппаратуры и поражением личного состава. Для повышения взрывобезопасности элементов в последние годы разработчики выполнили большую программу фундаментальных и прикладных исследований. В результате выработан ряд конструкторско-технологических приемов. Используются внутренние и внешние плавкие предохранители, клапаны давления для выпуска образующихся газов, плавкие сепарационные

материалы и т.д. Кроме того, обязательно соблюдение ряда правил, приводимых в инструкциях по эксплуатации конкретных элементов. Другим недостатком является наличие начального «провала» напряжения. В начальный момент времени после включения элемента на разряд напряжение снижается до значений ниже конечного разрядного, в дальнейшем повышаясь до среднеразрядного. Наиболее заметны «провалы» напряжения наблюдаются у элементов после длительного хранения, либо находившихся в условиях повышенных температур. Предварительный подзаряд элементов способствует снятию «провалов» напряжения [3].

Наряду с литий-тионилхлоридными, ряд зарубежных фирм выпускает элементы системы литий-диоксид серы. Они несколько уступают предыдущим по удельной энергии (525 Вт ч/дм^3) и разрядному напряжению (2,7 В), однако считаются более взрывобезопасными. «Провалы» напряжения наблюдаются и для элементов данной системы.

По конструкторским решениям различают цилиндрические, дисковые и призматические конструкции, рулонные и набивные. Рулонные источники имеют электроды большой площади, что обеспечивает повышенную их мощность. Набивные ХИТ имеют электроды малой площади, обладают низкой мощностью, но повышенной удельной энергоемкостью ввиду низкого содержания конструкционных материалов.

Известен также ряд вариантов литиевых ХИТ с органическим электролитом, по основным эксплуатационным параметрам (напряжению, удельной энергии и мощности) несколько уступающих образцам на основе тионилхлорида - элементы с катодами на основе полифторуглерода $(\text{CF}_x)_n$, диоксида марганца MnO_2 , триоксида молибдена MoO_3 , оксида меди CuO и т.д.

В конструктивном отношении производятся элементы как дисковой, так и цилиндрической конструкции, а также плоские гибкой конструкции. В качестве примера на рис. 1.2 представлена конструкция дискового и стаканчикового марганцево-цинковых элементов [2].

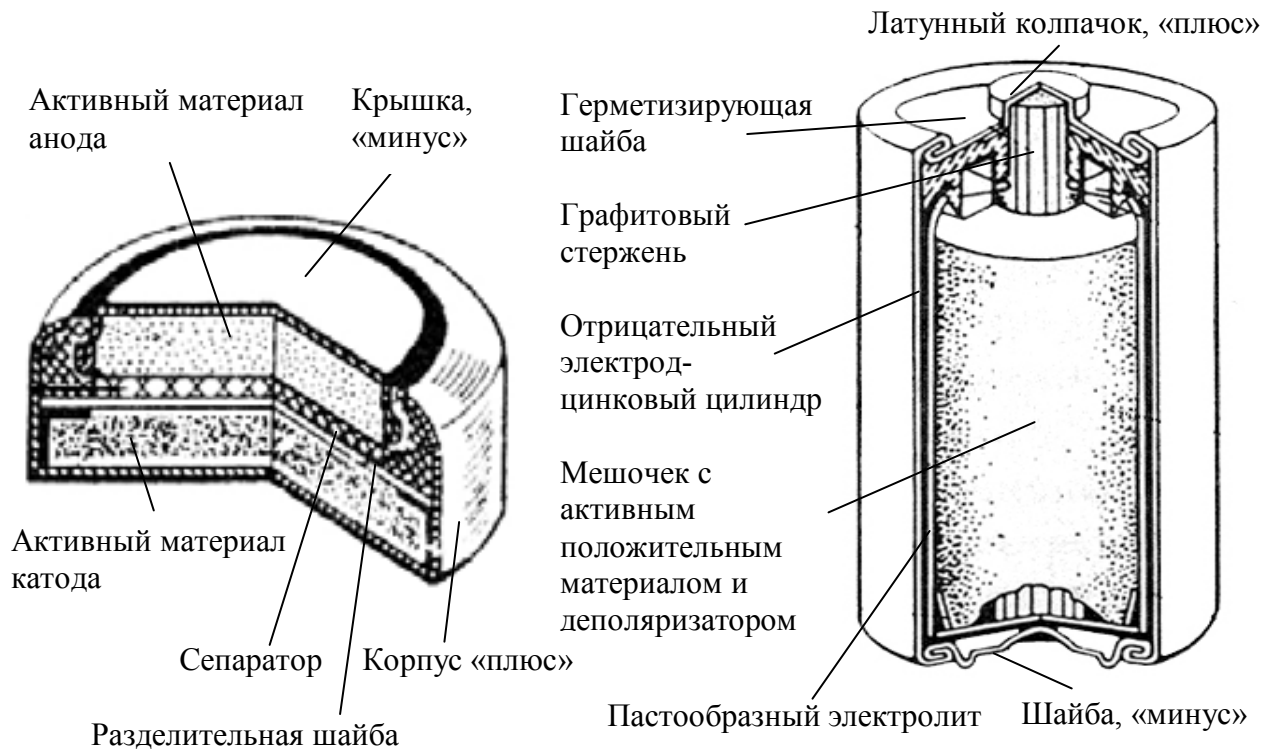


Рис.1.2. Конструкции марганцево-цинковых ХИТ: а) дисковый со щелочным электролитом; б) стаканчиковый с солевым электролитом

Так как электродные материалы для элементов с органическим электролитом являются твердыми веществами, технология изготовления источников на их основе проще и дешевле. ХИТ перечисленных систем считаются менее взрывоопасными в эксплуатации и более дешевыми, поэтому имеют ряд устойчивых областей применения, в том числе в бытовой технике. Литиевые элементы с твердым электролитом отличаются длительным сроком службы (10 – 20 лет), однако имеют весьма малую мощность. Типы электрохимических систем первичных ХИТ приведены в таблицах 1.1 – 1.3.

Таблица 1.1

Электрохимические системы первичных ХИТ

Системы	Отрицательный электрод	Электролит	Положительный электрод
Солевые (Zink Carbon)	Цинк	Раствор хлористого аммония -Zn NH ₄ Cl MnO ₂ +	Диоксид марганца
Хлоридные (Zink chlorid)	Цинк	Раствор хлористого аммония и хлористого цинка -Zn NH ₄ Cl, ZnCl ₂ MnO ₂ +	Диоксид марганца
Щелочные (Alkaline)	Цинк	Раствор гидроокиси щелочного металла -Zn KOH, K ₂ [Zn(OH) ₄] MnO ₂ +	Диоксид марганца
С воздушной деполяризацией (Zink air)	Цинк	Раствор хлористого аммония -Zn NH ₄ Cl MnO ₂ (O ₂)+	Диоксид марганца и кислород воздуха
Литий-полифторуглеродные	Литий	Раствор органических веществ (ОВ) -Li Раствор ОВ (CF) _n +	Полифтор-углерод
Литий-диоксидмарганцевые	Литий	Раствор органических веществ (ОВ) -Li Раствор ОВ MnO ₂ +	Диоксид Марганца
Литий-тионилхлоридные	Литий	Тионилхлорид -Zn SOCl ₂ C+	Графит
Ртутно-цинковые	Цинк	Раствор гидроокиси -Zn KOH HgO+	Окись ртути
Серебряно-цинковые	Цинк	Раствор гидроокиси -Zn KOH или NaOH Ag ₂ O	Окись серебра

Таблица 1.2

Первичные ХИТ зарубежного производства

Тип	Габариты, мм		Емкость, Ач	Номин. напр., В	Ном. ток разряда, мА	Интервал темп., °С	Сохраня- емость, мес.
	Ø	h					
ЛИТИЕВЫЕ ХИТ							
CR 2450 Varta	24,5	5,0	0,56	3,0			
CR 2430 GP	24,50	3,0	0,28	3,0			
LS 14500 SAFT	14,5	50,4	2,1	3,5	100 (max)	- 55 ÷ +85	120
LS 26500 SAFT	26,6	500,0	6,7	3,5	170 (max)	- 55 ÷ +85	120
LSH20HD SAFT	33,6	61,5	11,2	3,5	4000 (max)	- 55 ÷ +85	120
СЕРЕБРЯНО-ЦИНКОВЫЕ ХИТ							
V393 Varta	7,9	5,4	0,065	1,55			
391 Varta	11,6	2,1	0,040	1,55			
V389 Varta	11,6	3,05	0,085	1,55			
V350 Varta	11,6	3,6	0,1	1,55			
ЩЕЛОЧНЫЕ МАРГАНЦЕВО-ЦИНКОВЫЕ ХИТ							
V625U Varta	16,0	6,2	0,18	1,5			
15A	14,5	50,5	2,5	1,5	150	-30 ÷ +50	
РТУТНО-ЦИНКОВЫЕ ХИТ							
V674PX Varta	11,6	5,4	0,21	1,35			
ВОЗДУШНО-ЦИНКОВЫЕ ХИТ							
ZA675 GP	11,56	5,33	0,6	1,4	2,3	0 ÷ +40	
2ТЛ-0,75	48,5x26,5x15,5		0,75	6,8	10	-50 ÷ +50	36

Таблица 1.3

Первичные ХИТ отечественного производства

Тип	Габариты, мм		Емкость, Ач	Номин. напр., В	Ном. ток разряда, мА	Интервал темп., °С	Сохраняе мость, мес.
	Ø	h					
ЛИТИЕВЫЕ ХИТ							
ТЛ-10	33,3	60	10	3,40	200	-40 – +50	24
ТЛ-4	25,5	50	4,5	3,40	100	-30 – +50	24
ТЛ-5,5	26,2	50	5,5	3,5	5	-30 – +50	120
ТЛ-1,6	14,5	50,5	1,6	3,60	5	-30 – +40	72
ТЛ-1,2	14,5	49,5	1,2	3,40	20	-30 – +50	24
ТЛ-1,7	14,5	50	1,75	3,5	5	-40 – +50	120
ТЛ-0,75	12,5	42	0,75	3,4	10	-50 – +50	36
ТЛ-0,6	16,6	18	0,6	3,40	10	-40 – +40	12
ТЛ-0,4	10,5	44	0,4	3,4	5	-50 – +50	36
ТЛ-85	30,1	17,6	1,5	3,30	50	-40 – +40	24
ТЛ-53	15,6	10,2	0,17	3,30	6	-40 – +40	24
ФЛ-2	12x24x45		2	2,40	50	-20 – +40	24
ФЛ-1563	15,5	6,2	0,15	2,4	2	-20 – +50	36
ФЛ-2173	20,9	7,3	0,35	2,4	4	-20 – +50	36
ФЛ-0,05	11,6	3,6	0,05	2,40	0,1	-20 – +40	24
ФЛ-343	26,2	50	3,8	2,4	100	-20 – + 50	10
ФЛ-373	34,2	60	8,6	2,4	200	-20 – + 50	10
МЛГ-0,2	150x30x1,5		0,2	2,40	5	-10 – +40	18
МЛГ-0,3	150x30x3,0		0,3	2,40	20	-10 – +45	48
МЛГ-015	50x20x2,0		0,15	2,40	5	-30 – +50	36
РТУТНО-ЦИНКОВЫЕ ХИТ							
РЦ-93С	30,5	60,50	14	1,25	300	0 – +50	60
РЦ-59	16,6	50,60	3	1,25	60	0 – +50	12
РЦ-963	60x30x6		3	1,25	20	-5 – +40	60
РЦ-85	30,1	14	2,60	1,22	50	0 – +50	30
РЦ-83Х	30,1	9,4	1,5	1,25	50	-40 – +50	36
РЦ-75	25,5	13,50	1,50	1,22	30	0 – +50	30
РЦ-65	21	13	1	1,22	20	0 – +50	30
РЦ-63	21	7,40	0 55	1,25	20	0 – +50	18
РЦ-71Н	25,2	2,80	0,25	1,25	5	-5 – +40	9

РЦ-57	16,5	17,8	0,85	1,25		0 – +50	18
РЦ-55С	16 6	12,30	0,5	1,25	10	0 – +50	30
РЦ-53У	15,8	6,3	0,175	1,25	10	-30 – +50	52
РЦ-31Ф	11,6	3,60	0,1	1,25	5	-5 – +40	9
РЦ-32	10,9	3,60	0 05	1,25	2	0 – +50	9
РЦ-15	6,3	6	0 04	1,25	0,3	0 – +50	6
РЦ-11	4,7	5	0,02	1,25	0 15	0 – +50	6
ВОЗДУШНО-ЦИНКОВЫЕ ХИТ							
ВЦ-20	7	2,1	0,02	1,20	2,50	+10 – +40	12
СЕРЕБРЯННО-ЦИНКОВЫЕ ХИТ							
СЦ-21Ф	7,9	3,60	0,022	1,45	2,80	+10 – +50	12

1.3. Вторичные ХИТ

Среди многообразия вторичных ХИТ в настоящее время наибольшее распространение получили щелочные никель-кадмиевые и свинцово-кислотные (СКА) с рекомбинацией газа АБ [4 - 7]. При общей проблематике вопросов применения, в автономных СЭП применяются также никель-водородные и серебряно-цинковые аккумуляторы [5, 8].

В кислотных АБ для электрохимической реакции используется свинец, его оксид и серная кислота. В щелочных – никель, кадмий, серебро, цинк, железо, их оксиды (или гидроокиси) и гидроокись калия (см. таблица 1.4).

Таблица 1.4

Электрохимические системы вторичных ХИТ

Системы	Отрицательный электрод	Электролит	Положительный электрод
Свинцово-кислотная	Свинец	- Рв H ₂ SO ₄ Рв О ₂ +	Двуокись свинца
Никель-железная	Железо	- Fe КОН NiOOH +	Гидрат закиси никеля
Никель-кадмиевая	Никель	- Cd КОН Ni OOH +	Гидрат закиси никеля
Серебряно-цинковая	Цинк	Раствор гидроокиси -Zn КОН Ag ₂ O	Окись серебра

1.3.1. Кислотные аккумуляторы

Кислотные свинцовые АБ являются наиболее распространенными среди ХИТ. Обладая сравнительно высокой удельной энергией в сочетании с надежностью и относительно низкой стоимостью, они находят разнообразное практическое применение.

В настоящее время свинцовые АБ можно условно разделить на две группы: «классического» исполнения и с рекомбинацией газовыделения (безуходные).

Первая группа наиболее значительна по распространенности и находит применение в системах электроснабжения транспорта в буферном включении с генераторами постоянного тока, в некоторых системах телефонной связи в «буфере» с управляемыми выпрямителями, в простейших устройствах аварийного электроснабжения. Главными

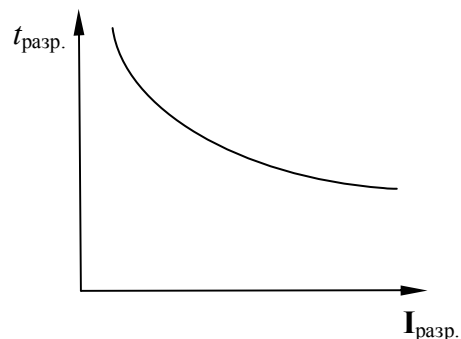


Рис.1.3. Зависимость времени разряда СКА от величины тока разряда

достоинствами «классических» свинцовых АБ являются, пожалуй, возможность отдачи большой мгновенной мощности ввиду низкого выходного сопротивления и «жесткости» разрядной характеристики, дешевизна и возможность работы при низких температурах.

Все остальные характеристики делают проблематичным их использование в СЭП, особенно при размещении в непосредственной близости к пользователю. Зависимость между емкостью, током и временем разряда свинцовой АБ, как и для других систем ХИТ, выражается формулой Пейкерта [6], представляющей гиперболическую связь входящих в нее составляющих (рис.1.3):

$$I^n t = C, \quad (1.1)$$

где: I - разрядный ток; t - время разряда; C, n - постоянные.

Постоянная n характеризует конструкцию и технологию изготовления аккумулятора и не зависит от величины его емкости. Постоянная C зависит от размера аккумулятора. В зависимости от типа свинцовых АБ $n = 1,2 \div 1,7$. Как правило, емкость Q «классических» свинцовых АБ дается изготовителем при 10-часовом разряде при токе, численно равном $0,1 Q$ ном.(20°C). Поэтому, учитывая зависимость (1.1), для обеспечения требуемого времени непрерывной работы СЭП необходимо значительно завышать выбираемую АБ по емкости, что приводит к увеличению массогабаритных показателей и удорожанию системы. Заряд подобных АБ проходит с выделением водорода и сернистого ангидрида, переходящего на воздухе в кислотный туман, являющийся весьма опасным как для обслуживающего персонала, так и для аппаратуры. Кроме того, наличие трех критериев окончания заряда - резкий рост напряжения в конце, бурное газовыделение и изменение концентрации электролита, не позволяет корректно спроектировать автоматическое зарядное устройство АБ.

Саморазряд свинцовых аккумуляторов увеличивается в процессе эксплуатации и снижается с понижением температуры. Так, саморазряд отечественных батарей в начале срока службы не превышает 30 % за 28 суток при температуре 25 °C. Как правило, свинцовая АБ выходит из строя после 100 - 200 полных зарядно-разрядных циклов. Температура окружающей среды ощутимо влияет на ход разрядной кривой. Снижение температуры приводит к снижению как ёмкости, так и разрядного напряжения. Следует добавить, что свинцовые АБ «боятся» глубоких разрядов, после которых батарею восстановить довольно сложно.

Вторая группа свинцовых АБ появилась как логическое развитие первой, используя ряд технологических новшеств [5, 9]. Это позволило, сохранив основное преимущество – дешевизну, придать батареям свойства, приблизившие их по характеристикам к щелочным АБ.

В подобных АБ активное вещество пластин и сплавы, используемые в производстве пластин, связывающее активное вещество, вступая в химическую реакцию приводят также, как в «классическом» аккумуляторе, к выделению кислорода на положительных пластинах. Внутреннее строение элемента таково, что позволяет этому кислороду в результате проникновения через сепаратор достигать отрицательных пластин. В результате химической реакции с пористым свинцом отрицательной пластины образуется оксид свинца. Серная кислота, находящаяся в составе электролита в виде гелеобразной массы, реагирует с этим оксидом свинца и образует сульфат и воду. Образованный таким способом сульфат свинца при электрохимическом воздействии распадается и снова образуется свинец и серная кислота (см. рис.1.4).

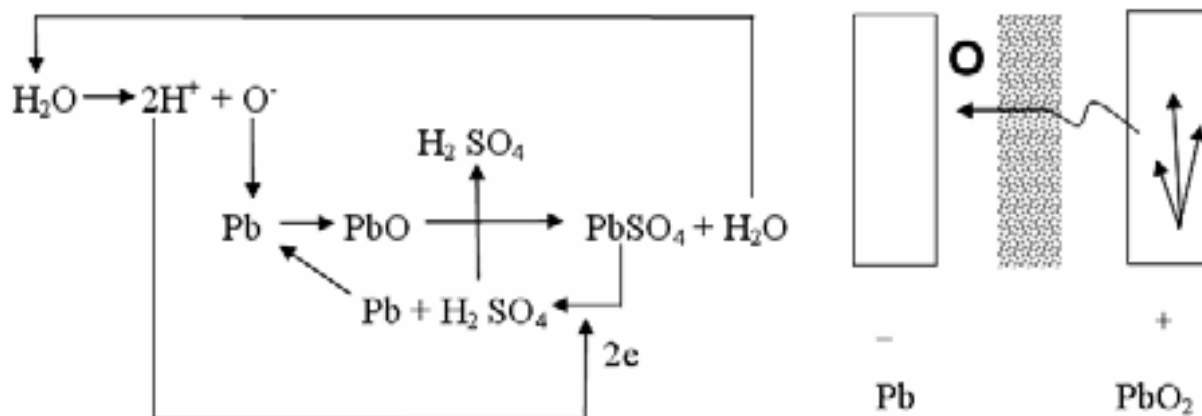


Рис.1.4. Цикл кислородной рекомбинации в СКА

Это равновесие (рекомбинация газа) будет поддерживаться до тех пор, пока батарея находится в заряженном состоянии. АБ такого класса герметичны и экологически чисты.

Для осуществления такой химической реакции используются:

- пластины, состоящие из специального сплава, который придает им высокую механическую стойкость и способность выдерживать высокое давление;
- специальное соотношение количества активного вещества положительного и отрицательного электродов;
- фибровые сепараторы из боросиликатного стекла, имеющие хорошую стойкость к температуре и воздействию серной кислоты;
- высокая пористость сепараторов, позволяющая удерживать такое количество электролита, которое необходимо для работы элемента, не оставляя электролит свободным от химического воздействия;
- предохранительный клапан для аварийного выделения газов в случае чрезмерной перегрузки.

АБ с рекомбинацией газа более критичны к пульсациям зарядного тока и напряжения, чем батареи «классического» типа. Кроме того, для достижения оптимальных результатов рекомбинации рекомендуется корректировать величину зарядного напряжения в зависимости от окружающей температуры. Их саморазряд весьма невелик и составляет в месяц не более 3% при температуре 20°C. К глубокому разряду батареи менее критичны, однако это ведет к их преждевременному износу и значительному сокращению срока эксплуатации. Основной режим работы батарей - длительный буферный с управляемыми выпрямителями СЭП. Зависимость емкости от режима разряда в АБ с рекомбинацией менее выражена, чем в обычных кислотных и приближается к щелочным батареям.

Количество разрядных циклов аккумуляторов с рекомбинацией газа сильно зависит от процента их разряда. Так, если при 5 %-ном разряде количество циклов составляет 1200, то при 30%-ном разряде количество циклов составляет 400. При 100%-ном разряде количество циклов

снижается до нескольких десятков как у обычных свинцовых АБ. По данным ведущих зарубежных фирм SONNENSCHNEIN, OLDHAM FRANCE S.A. срок службы АБ (АБ типа А500 Dryfit, Espace RG, HI, EG (OPzV)) составляет 6 – 10 лет.

Среднее время восстановления кислотных АБ после полного разряда составляет около 24 часов.

1.3.2. Щелочные аккумуляторы

Серебряно-цинковые щелочные аккумуляторы приобрели известность благодаря высокой удельной энергии, в $3 \div 4$ раза превышающей удельную энергию лучших аккумуляторов других систем. В настоящее время эти аккумуляторы находят применение в радио и телеаппаратуре, в аэрокосмической и военной технике [7, 8]. Серебряно-цинковые аккумуляторы характеризуются сочетанием высокой разрядной мощности с большой удельной энергией, достигающей при номинальном режиме 120 - 130 Вт·час/кг. Разрядные характеристики этих аккумуляторов отличаются стабильностью, если не считать начальный участок, который тем короче, чем выше разрядный ток. Возрастание тока мало влияет на ёмкость и разрядное напряжение в отличие от свинцовых.

Рабочим интервалом температур серебряно-цинковых аккумуляторов считается диапазон от $+70$ до -20°C . Повышение температуры несколько улучшает электрические характеристики, но заметно сокращает срок службы. Аккумуляторы обладают сравнительно низким саморазрядом, который не превышает $2 \div 4$ % в месяц.

Основные недостатки – малый ресурс в циклах (порядка $80 \div 100$), боязнь перезаряда и высокая стоимость.

Щелочные никель-кадмиевые (НК) и никель-железные (НЖ) аккумуляторы имеют много общего в конструкции и характеристиках, хотя по отдельным показателям они несколько отличаются. Такие аккумуляторы имеют большой ресурс (до полутора тысяч зарядно-разрядных циклов). По распространенности эти аккумуляторы занимают второе место по сравнению со свинцовыми.

Емкость щелочных АБ, в отличие от кислотных, мало зависит от величины разрядного тока. В основном это объясняется тем, что концентрация щелочи в процессе разряда остается примерно постоянной. В этом смысле упрощается и зарядное устройство, поскольку практически единственным критерием окончания заряда является резко повышающееся напряжение на зажимах АБ при постоянстве зарядного тока. К пульсациям зарядного тока или напряжения щелочные АБ менее критичны, чем кислотные АБ с рекомбинацией газа, а по удельной энергии приблизительно аналогичны кислотным.

НЖ-аккумуляторы много дешевле, чем НК, т.к. в них не используется дефицитный кадмий. Однако НЖ-аккумуляторы характеризуются повышенным саморазрядом и пониженной отдачей по току и энергии. Саморазряд НЖ-аккумуляторов при температуре 20 °С составляет до 50 ÷ 80% в месяц в зависимости от чистоты активной массы железного электрода и высок из-за сильного растворения железа. НК-аккумулятор обычно теряет в первый месяц хранения 10 ÷ 15% емкости. Первоначальный быстрый спад емкости связан с разложением высших оксидов никеля. После первого месяца хранения дальнейшая потеря емкости НК-аккумуляторов незначительна и составляет 2 ÷ 3%. У НЖ-аккумуляторов более высокое разрядное напряжение, а характеристики НК-аккумуляторов отличаются более высокой стабильностью, особенно при разряде малым током.

НК-аккумуляторы по сравнению с НЖ обладают лучшей работоспособностью в условиях повышенной токовой нагрузки и пониженной температуры.

В настоящее время выпускаются НК-АБ емкостью до 125 Ач. Фактический ресурс ламельных НК-АБ составляет $1000 \div 2500$ циклов, а срок службы не менее $8 \div 12$ лет. Следует отметить, что все эти цифры зависят от условий эксплуатации и от ухода за аккумуляторами.

В отличие от свинцовых, НК- АБ могут храниться длительное время без необратимых изменений как в заряженном, так и в полуразряженном состоянии; емкость, снизившаяся в результате хранения, может быть восстановлена проведением тренировочных зарядно-разрядных циклов; НК-АБ можно считать практически экологически чистыми, поскольку при хранении, разряде и заряде они не выделяют вредных для персонала веществ. Среднее время восстановления щелочных АБ после полного разряда меньше, чем у кислотных.

Область применения НК-АБ – транспорт, СБЭП, СЭП автоматики; НЖ-АБ – транспорт, шахтное электрооборудование [10, 11].

Глава 2. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

2.1. Структурное построение СЭП ответственных потребителей переменного тока

Статические СЭП ответственных потребителей переменного тока – СБЭП, строятся, как правило, на основе АИН, АБ и управляемых выпрямителей (УВ) (в общем случае это трансформаторно-выпрямительный блок – ТВБ). Структурное построение СБЭП предусматривает использование двух основных (базовых) вариантов: работающих в режиме «на линии» (в зарубежной терминологии «on line» или UPS – Uninterruptible Power Supply) и «у линии» («off line» или SPS – Standby Power Supply).

По первому варианту (рис. 2.1) питание потребителей (П) происходит постоянно через АИН, который независимо от состояния первичной сети обеспечивает высокое качество выходного напряжения. СБЭП, находясь на одной линии с П. При этом замкнуты ключи К1, К4 и К5, выполненные в зависимости от назначения СБЭП на контакторах либо полупроводниках (тиристорах или симисторах). Зарядное устройство ЗУ обеспечивает заряд АБ. В случае провала напряжения сети ниже допустимого заданного предела, П переходит на питание от АБ. Автоматический байпасный ключ К3 служит для синхронизированного подключения П к сети в случае аварии СП, являясь таким образом элементом резервирования [12]. Для выведения СП с целью проведения профилактических работ служит ручной байпасный ключ К2. Основные преимущества СБЭП по схеме «on line» заключаются в полной фильтрации и сглаживании любых колебаний входного напряжения и высоковольтных импульсов на входе, а также нулевым временем переключения при пропадании напряжения в сети без каких-либо переходных процессов на

выходе. Примером СБЭП, построенных по схеме «on line», могут служить модели UPStation GXT производства компании Liebert. Они оснащены стабилизатором входного напряжения с диапазоном стабилизации 120...276 В без перехода на АБ. К недостаткам схемы относятся относительная сложность и более высокая стоимость, а также наличие дополнительных энергозатрат на двойное преобразование, снижающих общий КПД системы. СБЭП, работающие по схеме «on line», можно использовать, например, для питания серверов и рабочих станций локальных вычислительных сетей, а также любого другого оборудования, предъявляющего повышенные требования к качеству электропитания. Считается, что схема «on line» является самым совершенным на сегодняшний день решением, позволяющим полностью защитить нагрузку от существующих неполадок электропитания.

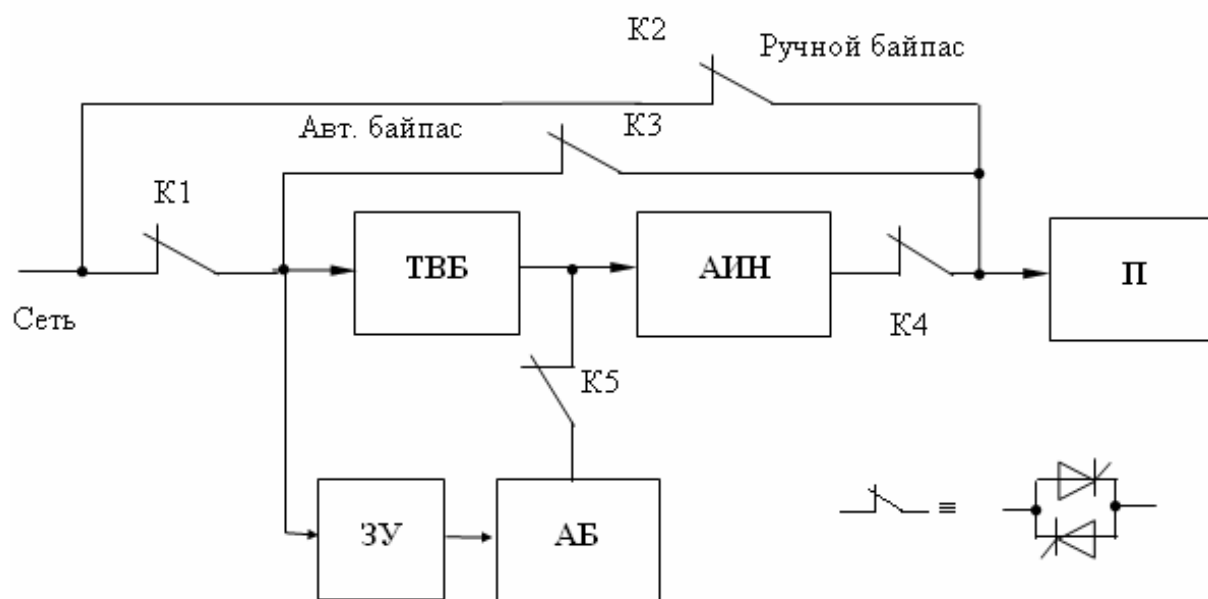


Рис. 2.1. Схема СБЭП типа «на линии» («on line»)

Второй вариант (рис. 2.2) предусматривает переключение П на АИН только в случае пропадания напряжения в сети. В нормальном режиме П питается от сети через ключи К1 и К3. Ключи К2, К4 при этом разомкнуты, а ЗУ обеспечивает заряд АБ. При пропадании сетевого напряжения включается ключ К4 и отключается ключ К3. Обычно такие

СБЭП дешевле построенных по «первому варианту». Преимущества схемы «off line» заключаются в ее простоте и экономичности, а недостатки - в отсутствии стабилизации входного напряжения при работе в «нормальном» режиме и наличии некоторого времени переключения (около 4 мс) при переходе в режим работы от АБ. СБЭП, работающие по схеме «of line», используются, например, для питания персональных компьютеров или рабочих станций локальных вычислительных сетей. Практически все недорогие маломощные СБЭП, предлагаемые на отечественном рынке, построены по схеме «off line».

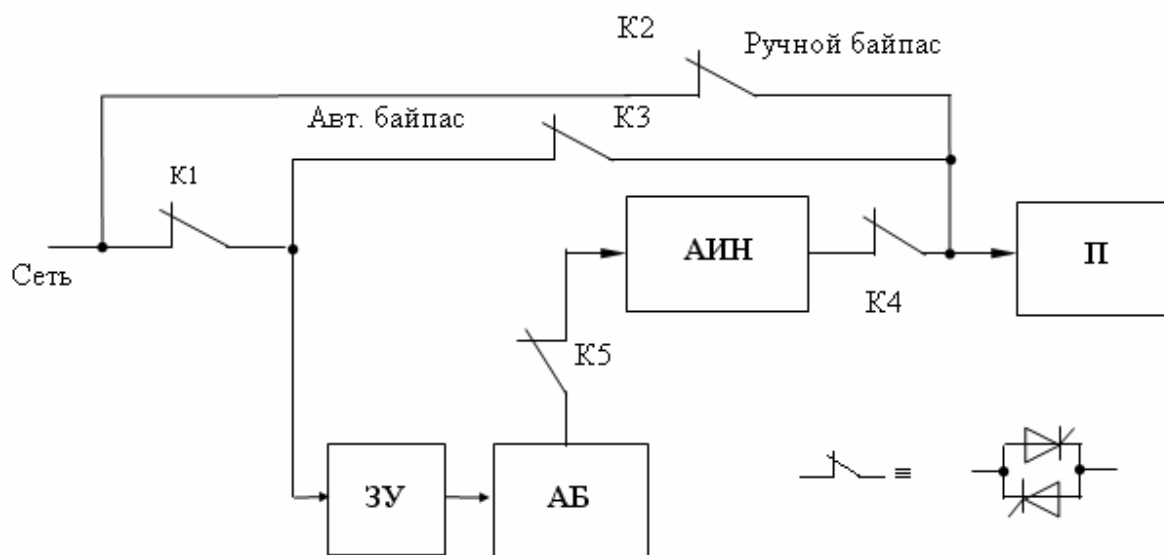


Рис. 2.2. Схема СБЭП типа «у линии» («off line»)

Логическим развитием «второго варианта» является объединение функций СБЭП и стабилизатора напряжения. Часто длительное повышение или понижение напряжения, являющееся результатом подключения или отключения на подстанции большого числа потребителей может длиться часами. Однако переход на АВ в этом случае может быть не оправдан, хотя выход напряжения за допустимые пределы способен привести как к сбою работы потребителя, так и к его выходу из строя. В этом случае целесообразно, не используя энергию АВ, корректировать напряжение с помощью стабилизатора (С), функционально

объединенного с преобразователем и ключами. Фактически же стабилизатор с ключами является трансформатором с управляемым коэффициентом трансформации. Переход на батарею происходит лишь в случае пропадания напряжения сети или при чрезмерном его понижении. Подобную разновидность СБЭП принято называть интерактивной («line-interactive») (рис. 2.3) [13].

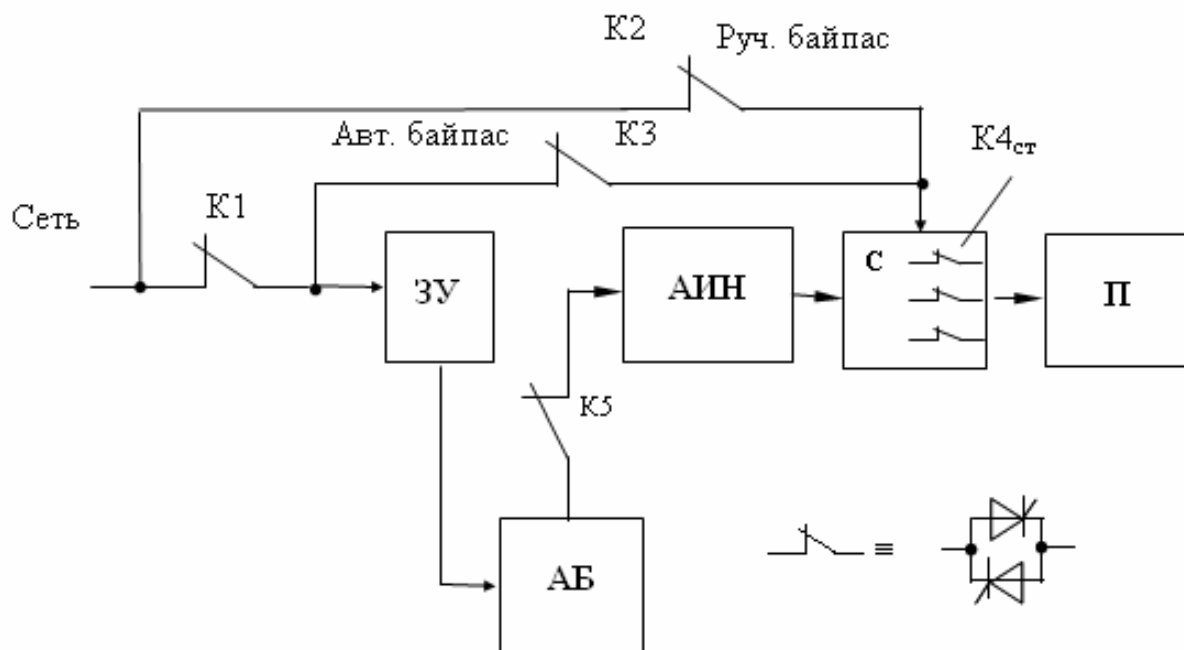


Рис. 2.3. Схема СБЭП типа «линейно-интерактивная» («line-interactive»)

Схема «line-interactive» является удачным компромиссом между дорогостоящими системами «on line» и относительно простыми «off line». Они используются для питания персональных компьютеров рабочих станций и файловых серверов локальных вычислительных сетей, офисного и другого технологического оборудования, критичного к неполадкам в электросети. Что касается ступенчатого трансформаторного стабилизатора, то большинство фирм-производителей применяют только повышающий трансформатор («бустер»), имеющий одну или несколько ступеней повышения. Однако встречаются СБЭП, оснащенные универсальным регулятором, работающим как на повышение («boost»), так и на

понижение («buck») напряжения. Например, серия СБЭП Smart Line снабжена универсальным регулятором, имеющим ступеньки как повышения, так и понижения входного напряжения. При этом допустимый диапазон изменения входного напряжения без перехода в «автономный» режим работы составляет 220 В -27% +22%. Линейно-интерактивные СБЭП строятся либо на основе управляемых трансформаторов (УТ) с коммутируемыми ключами, либо по схеме «трипорт». В СБЭП с УТ трансформатор построен по классической схеме и обычно органично связан с АИН, выходным фильтром и коммутирующими ключами. СБЭП по схеме «трипорт» использует трансформатор специального изготовления с магнитными шунтами (Ш-ТР), обладающий дополнительно фильтрующими и стабилизирующими свойствами. В этом смысле «трипорт» можно выделить в отдельную разновидность СБЭП (рис. 2.4) [14].

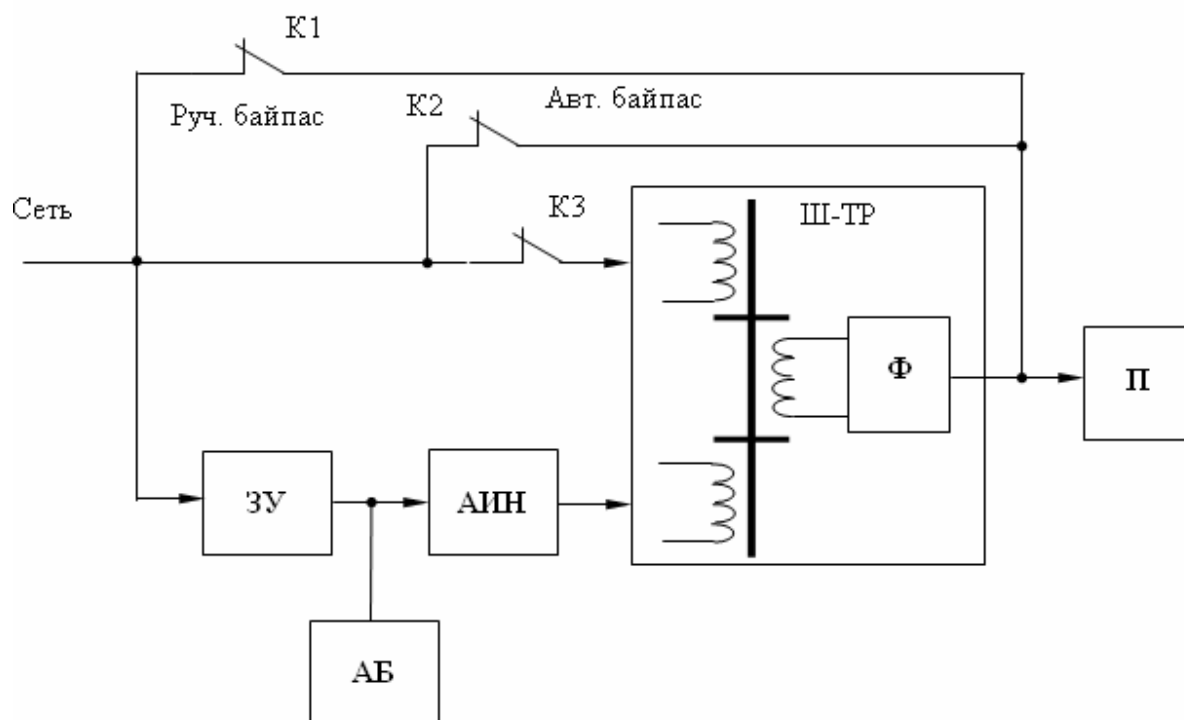


Рис. 2.4. СБЭП по схеме «трипорт» на основе шунт-трансформатора

В такой схеме потребитель может питаться либо от сети через Ш-ТР при выключенном АИН, либо от АБ через АИН при отключенной сети.

Замечательно то, что возможен и промежуточный вариант, когда энергия к потребителю поступает сразу от АИН и сети. В этом случае Ш-ТР выполняет согласующую функцию. Фильтрация на выходе Ш-ТР допускает использование АИН с самым простым законом 180° -ного управления (регулирования). Следует отметить, что СБЭП с УТ наиболее доступна в изготовлении, обладает меньшим весом и несколько дешевле, чем «трипорт» аналогичного класса.

На рис. 2.5 представлена схема СБЭП с дельта-преобразованием [15].

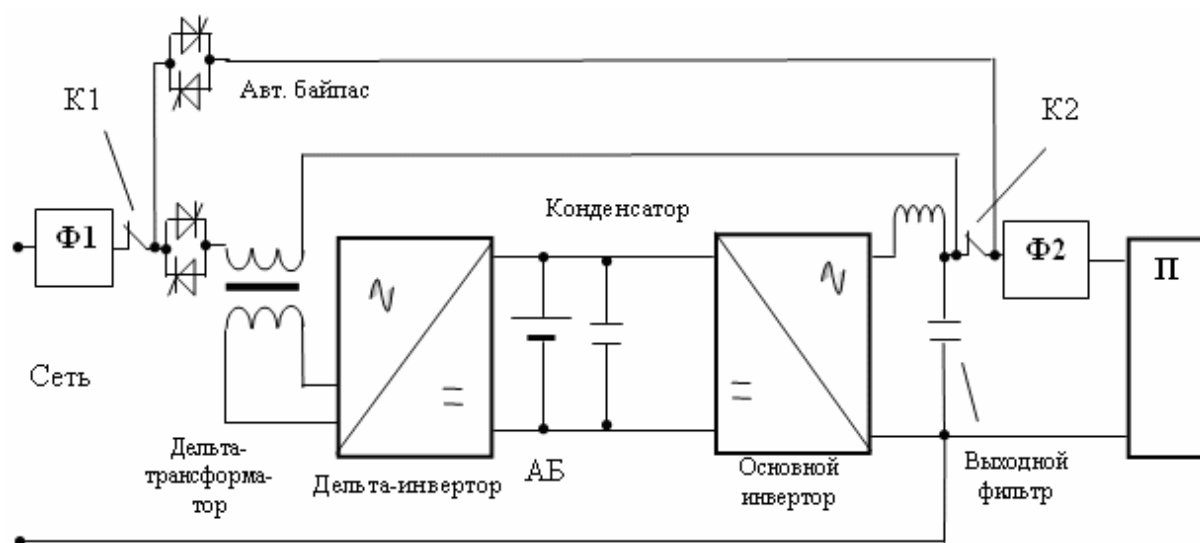


Рис.2.5. СБЭП по схеме с дельта-преобразованием

При наличии сетевого напряжения потребитель Π питается им через фильтр $\Phi 1$, контактор $K1$, электронный ключ на встречно-параллельных тиристорах и фильтр $\Phi 2$. При этом основной инвертор работает в режиме выпрямления, заряжая аккумуляторную батарею $АБ$. Дельта-инвертор, преобразуя энергию цепи постоянного тока в переменное напряжение, питает дельта-трансформатор, вторичная обмотка которого включена последовательно с потребителем Π . В случае, если напряжение в сети меньше номинального, вторичная обмотка добавляет напряжение на потребитель Π , а если напряжение больше – вычитает. Таким образом, дельта-трансформатор со своим инвертором работает в качестве

стабилизатора напряжения на нагрузке. При этом через трансформатор проходит лишь часть мощности нагрузки («дельта»). Поэтому данная разновидность СБЭП получила название «СБЭП с дельта-преобразованием». При исчезновении сетевого напряжения основной инвертор переходит из режима выпрямления в режим инвертирования, преобразуя энергию АБ, и питая потребитель П переменным напряжением. При этом контактор К1 и его электронный тиристорный ключ выключаются. При появлении сетевого напряжения основной инвертор синфазизируется с сетью, включаются контактор К1, его электронный тиристорный ключ и потребитель П переводится на сеть.

На рис.2.6 в качестве примера представлена функциональная схема линейно-интерактивной СБЭП ПОС-10000 АЛТ3.211.211 НИИ автоматики и электромеханики г.Томска со следующими техническими данными:

1. Входное напряжение промышленной сети, В $187 \div 242$, 50 Гц
2. Выходное напряжение, В $220 \pm 5\%$, 50 Гц $\pm 1\%$
3. Коэффициент нелинейных искажений
выходного напряжения, не более 5
4. Максимальная длительная выходная
мощность, Вт, не более 10000
5. Тип применяемых АБ A500 Dryfit 12RG55,
12RG85 Sonnenschein
6. Время непрерывной работы системы до
полного разряда АБ:
 - при выходной мощности 10 кВт, около для 12RG55 - 35 мин,
12RG85 - 50 мин.
 - при выходной мощности 2 кВт, около для 12RG55 – 2 час.50 мин,
12RG85 – 4 час.10 мин
7. Номинальное напряжение набора АБ, В 180
8. Время полного автоматического заряда

АБ от сети 220 В, 50 Гц, около	24 час (80 % - около 6 час)
9. Время переключения потребителя с промышленной сети на систему, включая время обнаружения исчезновения сетевого напряжения, сек., не более	0,004
10.Время переключения потребителя с системы на сеть, с.	0
11.Вес преобразователя, кг	150
12.Вес аккумуляторного блока с, кг	
с АБ 12RG55	365
с АБ 12RG85	490
13.Габаритные размеры преобразователя (тоже для аккумуляторного блока):	
высота x ширина x длина, мм	1500 x 600 x 420

По общепринятой классификации представленная СБЭП является системой «line-interactive», что определяет ее энергетическую эффективность. Силовая часть системы построена на базе транзисторного инвертора напряжения с автотрансформаторным выходом, работающего в режиме однополярной ШИМ. Применение силового трансформатора позволяет легко решить задачу согласования АБ и элементов фильтра Ф с нагрузкой, а также организовать интерактивную систему бесперебойного питания по схеме с изменяемым коэффициентом трансформации.

При наличии сетевого напряжения инвертор не работает, а энергия из сети через ключ Кл поступает, фильтруясь на нагрузку и через силовой трансформатор Тр на зарядное устройство ЗУ. Происходит заряд АБ, все режимы которого определяет схема контроля АБ – СКАБ. При этом быстродействующий датчик напряжения постоянно следит за сетевым напряжением, а схема фазовой автоподстройки частоты определяет

нулевое фазовое рассогласование напряжения сети и инвертора. В таком режиме система стабилизирует напряжение на потребителе, корректируя напряжение промышленной сети, не переходя на АБ.

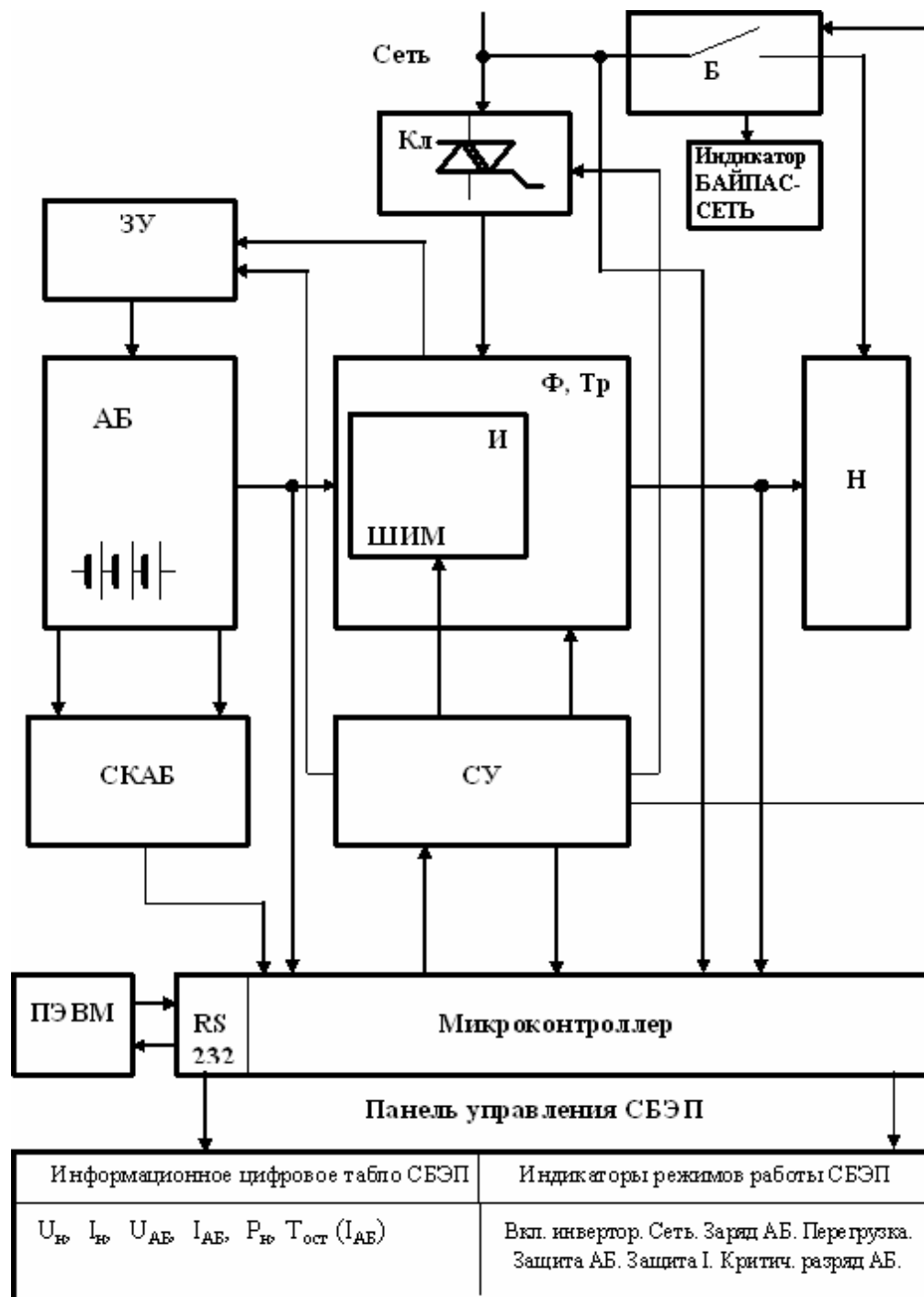


Рис. 2.6. Организация контроля режимов и параметров в СБЭП ПОС-10000 АЛТ3.211.211

При выходе сетевого напряжения за пределы нормы вся система практически мгновенно переходит в режим инвертора, отключает

промышленную сеть и питает потребитель синусоидальным напряжением (рис.2.7).

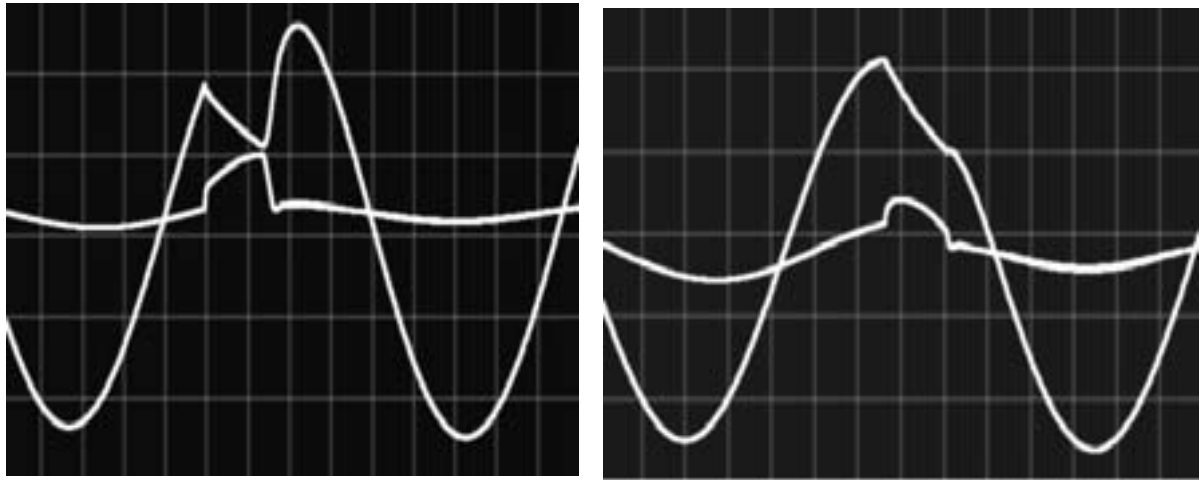


Рис. 2.7. Осциллограммы напряжения на нагрузке и сигнала обратной связи при переходе СБЭП ПОС-10000 М АЛТ 3.211.211 с промышленной сети на инвертор в различные моменты времени.

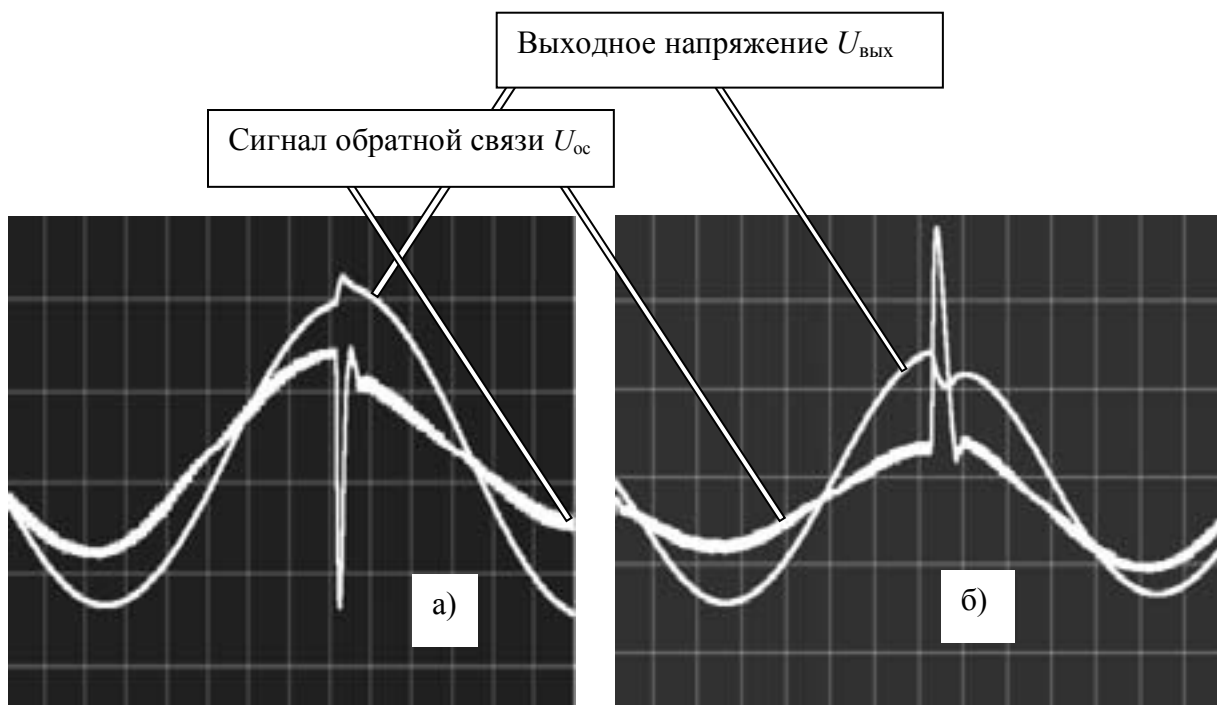


Рис. 2.8. Осциллограммы изменения выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ СБЭП ПОС 10000 М АЛТ 3.211.211 при сбросе (а) и набросе (б) нагрузки в диапазоне «холостой ход – номинальный режим» и сигналы обратной связи $U_{\text{ос}}$.

СКАБ контролируют разряд АБ, сообщая персоналу о ее режимах. На протяжении всей работы выходное напряжение поддерживается

постоянным за счет главной обратной связи астатического типа. При этом осуществляется стабилизация по мгновенному значению выходного напряжения, что фактически приводит к независимости формы выходного напряжения от нагрузки при переходе от режима холостого хода к максимальной нагрузке, что весьма актуально в СБЭП, например, медицинского назначения. Кроме того, не искажается форма выходного напряжения при питании выпрямительной нагрузки с емкостным фильтром (рис. 2.8).

При появлении сетевого напряжения происходит его контроль, система синхронизируется с сетью, после чего схема управления дает разрешение на безразрывное переключение потребителя на сеть. При переключении система некоторое время работает параллельно с сетью, после чего инвертор выключается, начинается заряд АБ и режим корректировки (стабилизации) сетевого напряжения. Представленная система имеет защиты от перегрузки по току, короткого замыкания и глубокого разряда АБ, перегрева ключей инвертора. Все режимы работы системы отображаются на передней панели и при наличии соответствующего программного обеспечения могут дублироваться на экране ПЭВМ посредством передачи данных через порт RS-232.

Для работы в автономном режиме предусмотрен так называемый «холодный запуск», когда в СБЭП сначала подготавливается заряд компенсирующего конденсатора с последующей плавной разверткой выходного напряжения.

СБЭП подключается к сети и потребителю через обводной байпасный переключатель, позволяющий выводить ее из работы без отключения потребителя от сети, что является весьма полезной функцией.

Глава 3. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ – ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ

3.1. Электропривод как средство автоматизации технологических процессов

Электропривод (ЭП) – электромеханическая система, состоящая из электродвигательного, преобразовательного, передаточного, информационного и управляющего устройства, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением. В настоящее время с помощью ЭП преобразуется свыше 60 % вырабатываемой в мире электроэнергии. В АСУ ТП применяются ЭП постоянного и переменного тока. Основой любого ЭП являются электродвигатели, разновидности которых были рассмотрены в первой части данного учебного пособия.

Функциональная схема автоматизированного ЭП представлена на рис. 3.1.

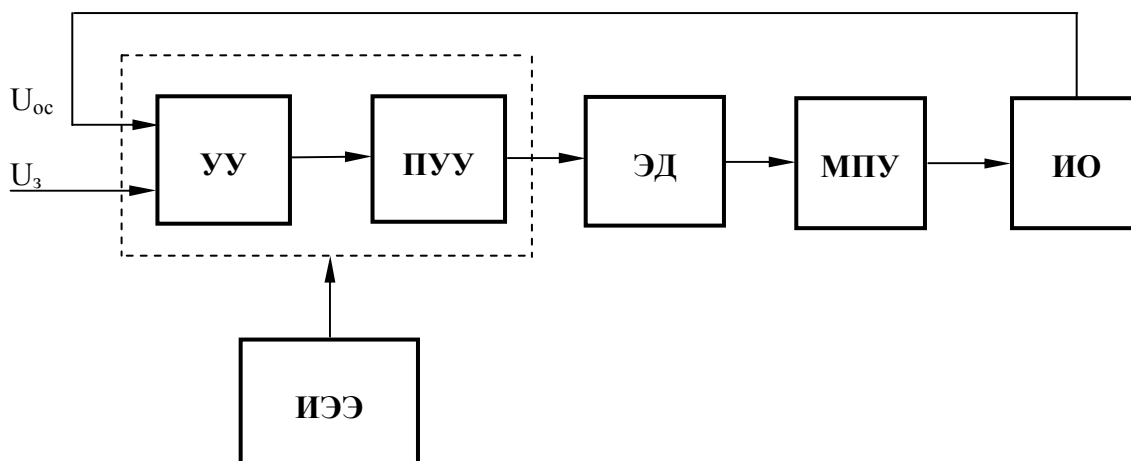


Рис.3.1. Функциональная схема автоматизированного электропривода

Исполнительный орган ИО приводится в движение электродвигателем ЭД через механическое передаточное устройство МПУ. Возможно и непосредственное соединение ЭД и ИО. ЭД управляется по сигналам управления от управляющего устройства УУ, сигналы которого усиливаются по мощности и преобразуются в преобразовательно-

усилительном устройстве ПУУ. ПУУ и УУ получают электроэнергию от источника электроэнергии ИЭЭ. В УУ происходит сравнение сигнала задания U_z и сигнала обратной связи U_{oc} , характеризующего состояние ИО.

Классификация ЭП по ГОСТ Р 50369-92 [16] представлена в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Классификация электроприводов

Виды ЭП	Характеристика видов ЭП
По функциональному назначению	
Вращательного движения	Электропривод, обеспечивающий вращательное движение исполнительного органа рабочей машины
Поступательного движения	Электропривод, обеспечивающий поступательное линейное движение исполнительного органа рабочей машины
Возвратно-поступательного (вибрационного) движения	Электропривод, обеспечивающий возвратно-поступательное (вибрационное) движение исполнительного органа рабочей машины
Непрерывного движения	Электропривод, обеспечивающий непрерывное движение исполнительного органа рабочей машины
Дискретного движения	Электропривод, обеспечивающий дискретное перемещение исполнительного органа рабочей машины
Моментный	Электропривод, обеспечивающий заданный момент или усилие на исполнительном органе рабочей машины
Позиционный	Электропривод, обеспечивающий перемещение и установку исполнительного органа рабочей машины в заданное положение
Реверсивный	Электропривод, обеспечивающий движение исполнительного органа рабочей машины в любом из двух противоположных направлениях
Нереверсивный	Электропривод, обеспечивающий движение исполнительного органа рабочей машины только в одном направлении
Регулируемый	Электропривод, обеспечивающий управляемое изменение координат движения исполнительного органа рабочей машины
Нерегулируемый	Электропривод, не обеспечивающий управляемое изменение координат движения исполнительного органа рабочей машины
Многоскоростной	Электропривод, обеспечивающий движение исполнительного органа рабочей машины с любой из двух или более фиксированных скоростей
Многокоординатный	Электропривод, обеспечивающий движение исполнительного органа рабочей машины по двум или более пространственным координатам

Виды ЭП	Характеристика видов ЭП
Согласованного движения	Электропривод, обеспечивающий согласованное движение двух или более исполнительных органов рабочей машины
Главный	Электропривод, обеспечивающий движение исполнительного органа рабочей машины, выполняющего главную технологическую операцию
Вспомогательный	Электропривод, обеспечивающий движение исполнительного органа рабочей машины, выполняющего вспомогательную технологическую операцию
Следящий	Электропривод, обеспечивающий перемещение исполнительного органа рабочей машины в соответствии с произвольно изменяющимися задающими сигналами
Программно-управляемый	Электропривод, обеспечивающий перемещение исполнительного органа рабочей машины в соответствии с заданной программой
Адаптивный	Электропривод, автоматически избирающий структуру и/или параметры своей системы управления при изменении возмущающих воздействий
С регулированием энергетических показателей	Электропривод, работающий с заданным законом изменения одного или нескольких своих энергетических показателей
Неавтоматизированный	Электропривод, все операции управления которым выполняет оператор
Автоматизированный	Электропривод, часть операций управления в котором выполняют соответствующие устройства управления без участия оператора
По физическим принципам преобразования электрической энергии в механическую	
Электромашинный	Электропривод, в котором преобразование электрической энергии в механическую осуществляется электрическими машинами на основе взаимодействия электромагнитных полей и проводников с током
Электромагнитный	Электропривод, в котором преобразование электрической энергии в механическую осуществляется устройством на основе взаимодействия электромагнитного поля и ферромагнитных тел
Электростатический	Электропривод, в котором преобразование электрической энергии в механическую осуществляется устройством на основе взаимодействия электростатического поля и электрических зарядов
Пьезоэлектрический (магнитострикционный)	Электропривод, в котором преобразование электрической энергии в механическую осуществляется устройствами на основе пьезоэлектрического магнитострикционного эффекта

Виды ЭП	Характеристика видов ЭП
По структурному построению	
С разомкнутой (замкнутой) системой управления	Электропривод, в котором отсутствует (имеется) обратная связь по регулируемой координате электропривода или по возмущению, воздействующая на управляющее устройство
Электрический вал	Взаимосвязанный электропривод, обеспечивающий синхронное движение двух или более исполнительных органов рабочей машины, не имеющих механической связи
Редукторный (безредукторный)	Электропривод, механическая передача которого содержит (не содержит) редуктор
Маховичный	Электропривод вращательного движения, механическая передача которого содержит маховик
Многодвигательный	Электропривод, у которого скорость и момент на исполнительном органе рабочей машины алгебраически суммируются с помощью механического дифференциала
Групповой	Электропривод с одним электродвигателем, обеспечивающий движение исполнительных органов нескольких рабочих машин или нескольких исполнительных органов одной рабочей машины
Индивидуальный	Электропривод, обеспечивающий движение одного исполнительного органа рабочей машины
Взаимосвязанный	Два или несколько электрически или механически связанных между собой электроприводов, при работе которых поддерживается заданное соотношение их скоростей и/или нагрузок, и/или положения исполнительных органов рабочих машин
Многодвигательный	Электропривод, содержащий несколько электродвигателей, механическая связь между которыми осуществляется через исполнительный орган рабочей машины
Электрический каскад	Регулируемый электропривод с асинхронным двигателем с фазным ротором, в котором энергия скольжения возвращается в электрическую сеть
Электромеханический каскад	Регулируемый электропривод с асинхронным двигателем с фазным ротором, в котором энергия скольжения преобразуется в механическую и передается на вал этого двигателя
С общим преобразователем	Электропривод, преобразователь электроэнергии которого, питает два или несколько двигателей
С общим суммирующим усилителем	Регулируемый электропривод, в преобразовательном информационном устройстве которого сигналы управляющего воздействия и обратных связей по регулируемым координатам электропривода суммируются на одном общем усилителе

Виды ЭП	Характеристика видов ЭП
С подчиненным регулированием координат	Регулируемый электропривод, в управляющем устройстве которого регуляторы по числу регулируемых координат электропривода соединяются последовательно, образуя систему замкнутых контуров регулирования, в которой выходной сигнал регулятора внешнего контура является входным сигналом регулятора внутреннего, подчиненного ему, контура
С аналоговым преобразователем	Электропривод, выходные координаты преобразователя электроэнергии которого принимают любые значения от нуля до максимально допустимого
С релейным преобразователем	Электропривод, выходные координаты преобразователя электроэнергии которого принимают два или три фиксированных значения
С импульсным преобразователем	Электропривод, преобразователь электроэнергии которого периодически с регулируемой скважностью включает и отключает подводимое к электродвигателю напряжение или изменяет параметры электрической цепи двигателя
С инвертором тока (напряжения)	Электропривод переменного тока, преобразователь электроэнергии которого содержит инвертор тока (напряжения)
С источником тока	Электропривод, преобразователь которого обладает свойствами источника тока
По технической реализации	
Постоянного (переменного) тока	Электропривод, содержащий электродвигатель постоянного (переменного) тока
Взрывозащищенное электрооборудование	Электрооборудование специального назначения, которое выполнено таким образом, что устранена или затруднена возможность воспламенения окружающей его взрывоопасной среды вследствие эксплуатации этого изделия
С вентильным двигателем	Электропривод с вентильным двигателем
Система «генератор-двигатель» (статический преобразователь-двигатель))	Электропривод, имеющий электромашинный преобразователь (статический преобразователь электроэнергии)
С электромехатронным преобразователем	Электропривод, содержащий устройство, объединяющее электромеханический преобразователь с обеспечивающим его функционирование электронными компонентами управления, диагностики и защиты
Тиристорный	Электропривод, содержащий тиристорный преобразователь электроэнергии
С релейно-контакторным (бесконтактным) управлением	Электропривод, управляющее устройство которого реализуется на основе релейно-контакторной (бесконтактной) аппаратуры
С силовыми резисторами	Электропривод, координаты которого регулируются путем изменения сопротивления резисторов, включаемых в силовую цепь электродвигателя

Виды ЭП	Характеристика видов ЭП
С жесткой программой	Электропривод, в состав устройства управления которого, входят средства, не допускающие изменения программы без изменения аппаратуры и структуры электропривода
С тормозным устройством (с управляемой муфтой)	Электропривод, механическая передача которого содержит тормозное устройство (управляемую муфту)

В таблице 3.2 приведены примеры наиболее распространенных функциональных элементов ЭП.

Таблица 3.2

Функциональные блоки автоматизированного ЭП

№	Наименование функционального блока	Примеры
1	Исполнительный орган	Шпиндель токарного станка. Стол строгального станка. Лента конвейера. Ковш экскаватора. Крыльчатка насоса. Кабина подъемника. Вентилятор. Валки прокатного стана. Ходовой винт подачи станка, запорной арматуры. Тележка механизма передвижения крана. Крюк подъемной лебедки.
2	Электродвигатель	Двигатель постоянного тока с различными видами возбуждения. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым или фазным ротором. Синхронный двигатель. Линейные двигатели постоянного и переменного тока. Вентильный двигатель (например, БДПТ). Шаговый двигатель. Двигатели с катящимися и волновыми роторами. Редукторные двигатели.
3	Механическое передаточное устройство	Цилиндрические и червячные редукторы. Планетарные и волновые редукторы. Передача винт-гайка. Кривошипно-шатунная передача. Реечная передача. Ременная передача.
4	Усилительно-преобразовательное устройство	Управляемые выпрямители. Электромашинные усилители. Преобразователи частоты и напряжения (инверторы напряжения и тока, широтно-импульсные преобразователи).
5	Управляющее устройство	Кнопка, ключ управления. Регулятор. Управляющая ЭВМ. Усилитель. Логические устройства. Фазовый детектор.
6	Источник электроэнергии	Однофазная или трехфазная сеть переменного тока промышленной частоты. Цеховые сети постоянного тока. Аккумуляторная батарея. Дизель-генераторная станция. Солнечная батарея. Бортовые сети постоянного и переменного тока автономных объектов.

Функциональное назначение ЭП определяется особенностями конкретного технологического процесса. В таблице 3.3 представлены требования к характеру движения ИО, обеспечиваемые ЭП.

Таблица 3.3

Требования к характеру движения исполнительных органов, обеспечиваемые автоматизированным ЭП

№	Технологический процесс (ТП)	Рабочие машины и механизмы, осуществляющие ТП	Характерные требования к движению исполнительного органа	Функции ЭП как средства АСУ ТП
1	Изготовление и обработка материалов и изделий	Метало- и деревообрабатывающие станки. Прокатные станы. Прессы. Ткацкие станки. Бумагоделательные машины. Электроинструмент.	Поступательное однонаправленное или реверсивное движение. Вращательное однонаправленное или реверсивное движение. Возвратно-поступательное движение. Точная установка исполнительного органа в заданное положение в пространстве. Изменение скорости и ускорения. Постоянство скорости движения.	Пуск, реверс, останов (торможение). Регулирование скорости и ускорения. Обеспечение заданного натяжения материала. Согласование движения нескольких исполнительных органов. Обеспечение движения по заданной программе. Обеспечение движения в функции произвольно изменяющегося сигнала (слежение). Достижение оптимального режима ТП. Адаптация к изменяющимся условиям ТП. Комплексная автоматизация сложных ТП. Обеспечение защит и блокировок при работе оборудования.
2	Перемещение материалов и изделий. Перемещение людей	Транспортеры. Лебедки. Подъемные краны. Лифты. Эскалаторы. Подвесные дороги.		
3	Перемещение жидкостей и газов	Насосы. Вентиляторы. Дымососы. Компрессоры.		
4	Обеспечение быта людей	Холодильники. Стиральные машины. Электромиксеры.		
5	Разработка полезных ископаемых	Экскаваторы. Буровые установки. Угольные комбайны.		
6	Обеспечение теле- и радиосвязи, вспомогательных операций, испытание материалов и изделий. Исследовательские работы	Радиотелескопы. Роботы. Манипуляторы. Графопостроители. Испытательные стенды.		

Таким образом, в АСУ ТП именно ЭП является основным средством осуществления необходимых операций по приведению в движение разнообразных рабочих механизмов технологического оборудования и обрабатываемых материалов. Кроме того, современный автоматизированный ЭП является средством сбережения электроэнергии. В мировой практике, регулируемый ЭП признан одной из наиболее эффективных энергосберегающих и ресурсосберегающих экологически чистых технологий.

Высокая эффективность применения автоматизированного регулируемого ЭП для регулирования параметров и оптимизации работы различных технологических систем с механизмами, особенно с насосными и вентиляционными установками, работающими в переменных режимах, подтверждена многолетним мировым опытом. Как правило, в большинстве технологических систем энергетики, промышленности, сферы коммунального хозяйства и других отраслей установлены электродвигатели в расчёте на максимальную производительность оборудования, в то время как часы пиковой нагрузки, т.е. время работы оборудования с максимальной производительностью, составляют всего 10-15 % общего времени работы оборудования. При этом в общей структуре потребления электроэнергии в народном хозяйстве России на долю таких электродвигателей приходится около 40 % электроэнергии. В результате электродвигатели, работающие с постоянной скоростью вращения, потребляют значительно, до 50 %, больше электроэнергии, чем это требуется для обеспечения оптимального ТП. При этом ежегодно теряются миллиарды киловатт-часов электроэнергии, миллионы кубических метров воды. До недавнего времени эти потери либо не замечали, либо мирились с ними. Сегодня стало необходимым и возможным свести их к минимуму. Применение регулируемого ЭП позволяет оптимизировать работу электродвигателей, исключить непроизводительное потребление электро-

энергии, а в системах теплоснабжения и водоснабжения, помимо этого, обеспечить значительную экономию тепла (до 10 %) и снижение водопотребления (до 20 %).

По оценке специалистов, в целом по России внедрение регулируемого ЭП в энергетике, промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве и других отраслях может обеспечить ежегодную экономию 35-40 млрд. кВт·час электроэнергии, что эквивалентно годовой выработке 30-ти энергоблоков мощностью по 300 МВт каждый (!).

Ресурсосберегающий эффект регулируемого ЭП определяется его регулирующей способностью и возможностью плавных пусков и остановок насосов, вентиляторов и других механизмов.

За счёт этого обеспечивается:

- работа механизмов большую часть времени на пониженных частотах вращения с уменьшением циклических динамических и вибрационных нагрузок на подшипники, уплотнения, крепления, фундаменты механизмов и электродвигателей и соответствующим увеличением их ресурса и межремонтного пробега;
- снижение механических, гидравлических и электродинамических нагрузок при пусках и в переходных режимах до уровня безвредных;
- исключение бросков тока в обмотках электродвигателей при пусках и снижение величины пусковых токов до номинальных значений;
- поддержание оптимального гидравлического режима и исключение возможности возникновения гидравлических ударов в трубопроводных системах и разрывов трубопроводов при пусках и остановках насосов и в других переходных режимах;
- исключение износа трубопроводной арматуры в связи со снятием с них регулирующих функций;

- исключение из работы, а при демонтаже и из конструкции вентиляционных установок, регулирующих заслонок и направляющих аппаратов.

Развитие систем регулируемого ЭП происходит как в части совершенствования алгоритмов регулирования координат ЭП (токи, момент, скорость), так и за счет расширения вспомогательных функций по защите, диагностике, автоматической настройке регуляторов. Обеспечивается несколько уровней человеко-машинного интерфейса, позволяющего не только контролировать основные параметры работы ЭП, но и осуществлять протоколирование аварийных ситуаций, визуализацию процессов, дистанционный контроль и управление.

В настоящее время в систему управления ЭП встраиваются развитые микропроцессорные средства, способные выполнять функции управления. Кроме того, современный ЭП оснащается средствами для обмена данными с внешними устройствами по промышленным коммуникационным сетям, что позволяет интегрировать ЭП в распределенные АСУ ТП. В этом случае ЭП становится интеллектуальным устройством в составе АСУ ТП [17].

3.2. Преобразовательные устройства для управления ЭП постоянного тока

Двигатели постоянного тока (ДПТ) обычно управляются посредством управляемых выпрямителей (УВ) и импульсных преобразователей (ИП). Работа УВ и ИП с широтно-импульсной модуляцией частично рассмотрены в первой части настоящего учебного пособия.

На рис. 3.2 представлена базовая схема управления ДПТ независимого возбуждения от УВ. Дроссель Др в цепи якоря ДПТ служит для сглаживания пульсаций тока [18].

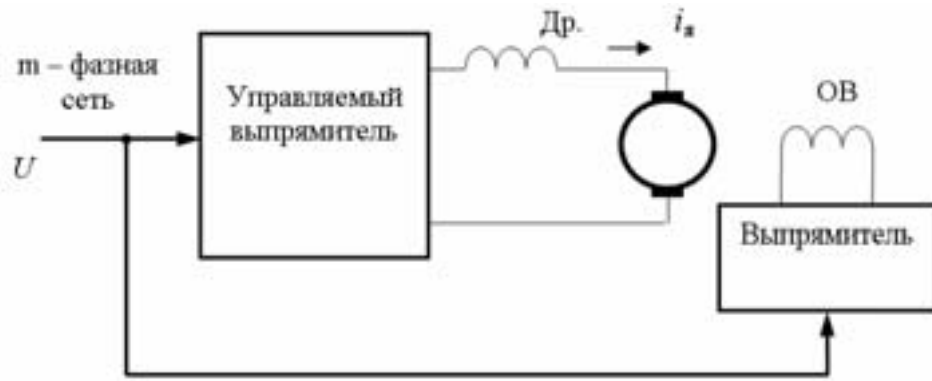


Рис. 3.2. Базовая схема управления ДПТ независимого возбуждения от УВ

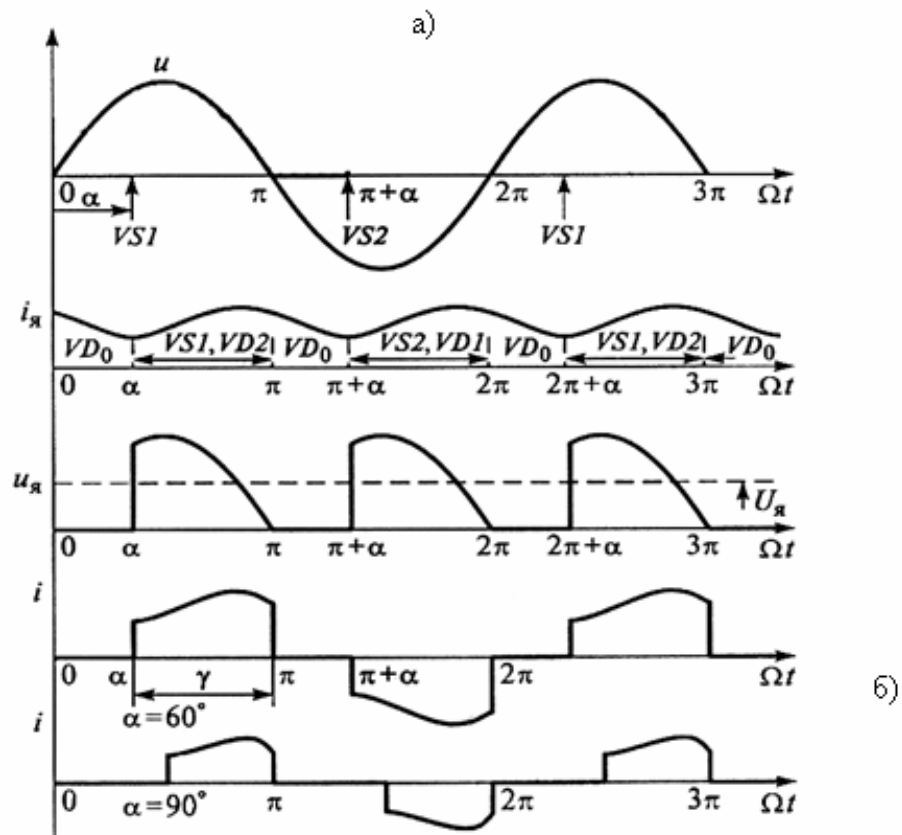
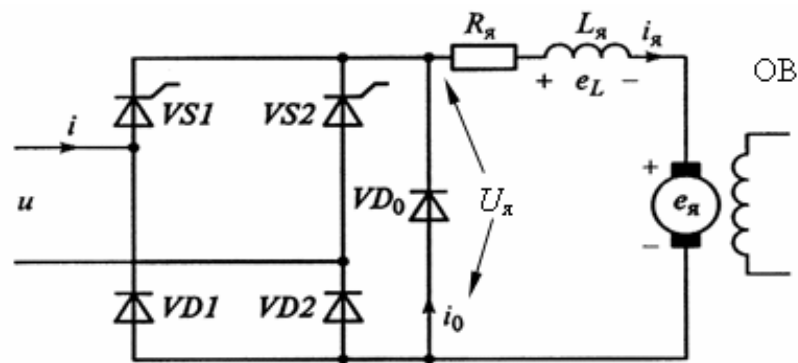


Рис.3.3. Схема управления ДПТ независимого возбуждения (а) и диаграммы токов и напряжений (б) в режиме непрерывного тока якоря от полууправляемого выпрямителя

На рис. 3.3 представлена схема управления ДПТ независимого возбуждения от полууправляемого выпрямителя.

В представленной схеме тиристор VS1 открывается в момент времени, соответствующий углу α , а VS2 – углу $\alpha + \pi$ относительно питающего напряжения U . ДПТ подключен к сети в течение фазового интервала через тиристор VS1 и диод VD2. Напряжение на двигателе $U_{\text{я}}$ равно напряжению сети U . При $\Omega t > \pi$ напряжение сети U изменяет полярность, а прямое напряжение на обратном диоде VD₀ переводит его в открытое состояние. Ток якоря $i_{\text{я}}$ протекает теперь не через тиристоры, а через диод VD₀. Поскольку в течение интервала $\pi < \Omega t < \pi + \alpha$ цепь якоря закорачивается обратным диодом, напряжение якоря $U_{\text{я}}$ равно нулю. В это время запасенная в индуктивностях энергия отдается в ДПТ и в сеть не возвращается.

На рис. 3.4 представлена схема управления ДПТ независимого возбуждения от полностью управляемого выпрямителя. В этой схеме ДПТ связан с сетью через тиристоры. Тиристоры VS1 и VS3 находятся в открытом состоянии и соединяют ДПТ с сетью в течение периода $\alpha < \Omega t < \pi + \alpha$. В момент времени $\pi + \alpha$ тиристоры VS2 и VS4 открываются и через них к тиристорам VS1 и VS3 прикладывается запирающее напряжение. Происходит *естественная* коммутация тириستоров VS1 и VS3. В течение интервала $\alpha < \Omega t < \pi$ энергия из сети передается в ДПТ. В противоположность этому, в течение $\pi < \Omega t < \pi + \alpha$ энергия из якорной цепи возвращается в сеть, т.к. U и i , $U_{\text{я}}$ и $i_{\text{я}}$ имеют разные направления.

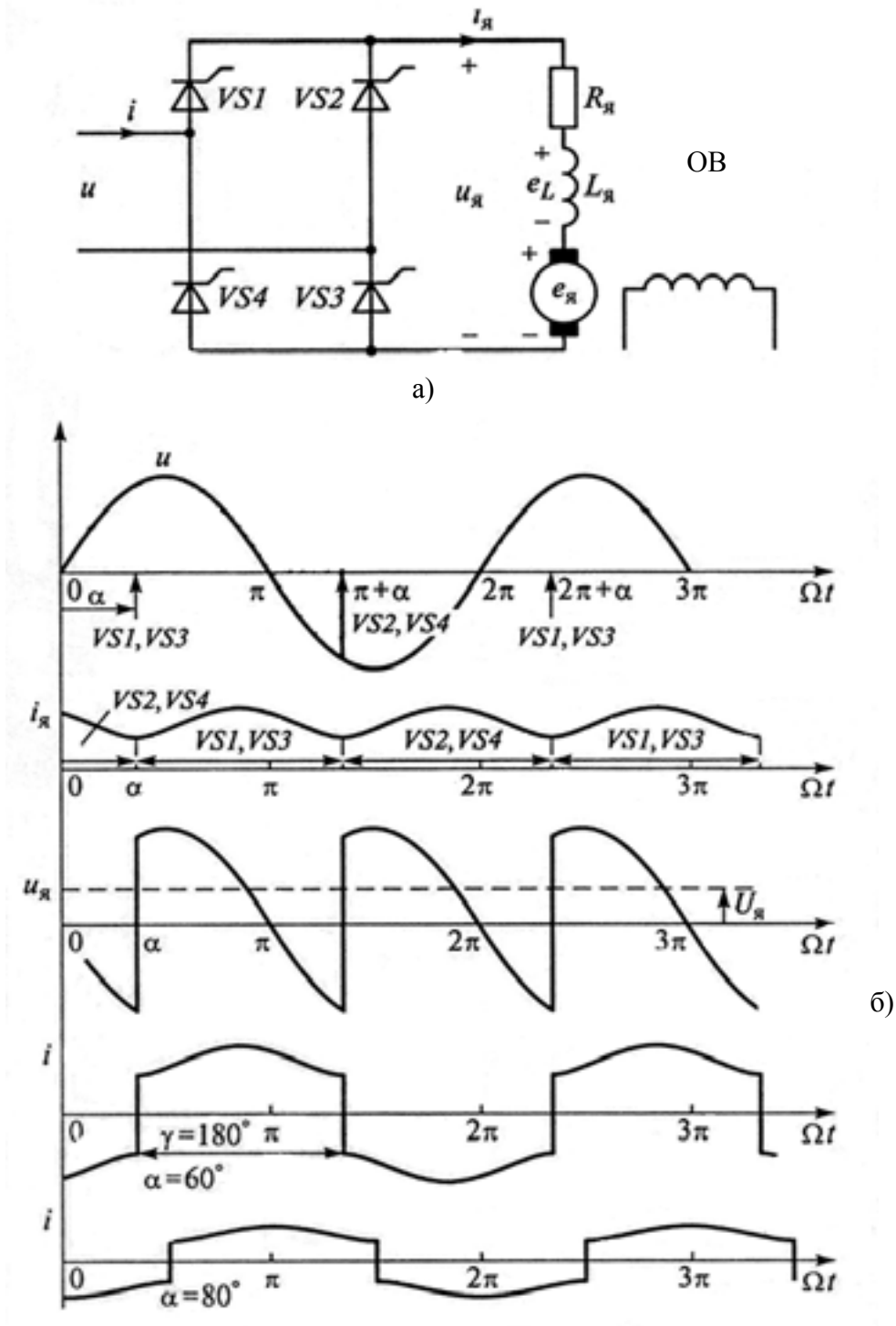


Рис 3.4. Схема управления ДПТ независимого возбуждения (а) и диаграммы токов и напряжений (б) в режиме непрерывного тока якоря от полностью управляемого выпрямителя. Режим выпрямления

На рис. 3.5 представлены диаграммы токов и напряжений при $\alpha > \pi/2$. При этом среднее значение напряжения якоря $U_{\text{я}}$ отрицательно. При отрицательной ЭДС ДПТ работает как генератор, а схема работает в инверторном режиме, т.е. постоянное напряжение ДПТ преобразуется в переменное напряжение сети.

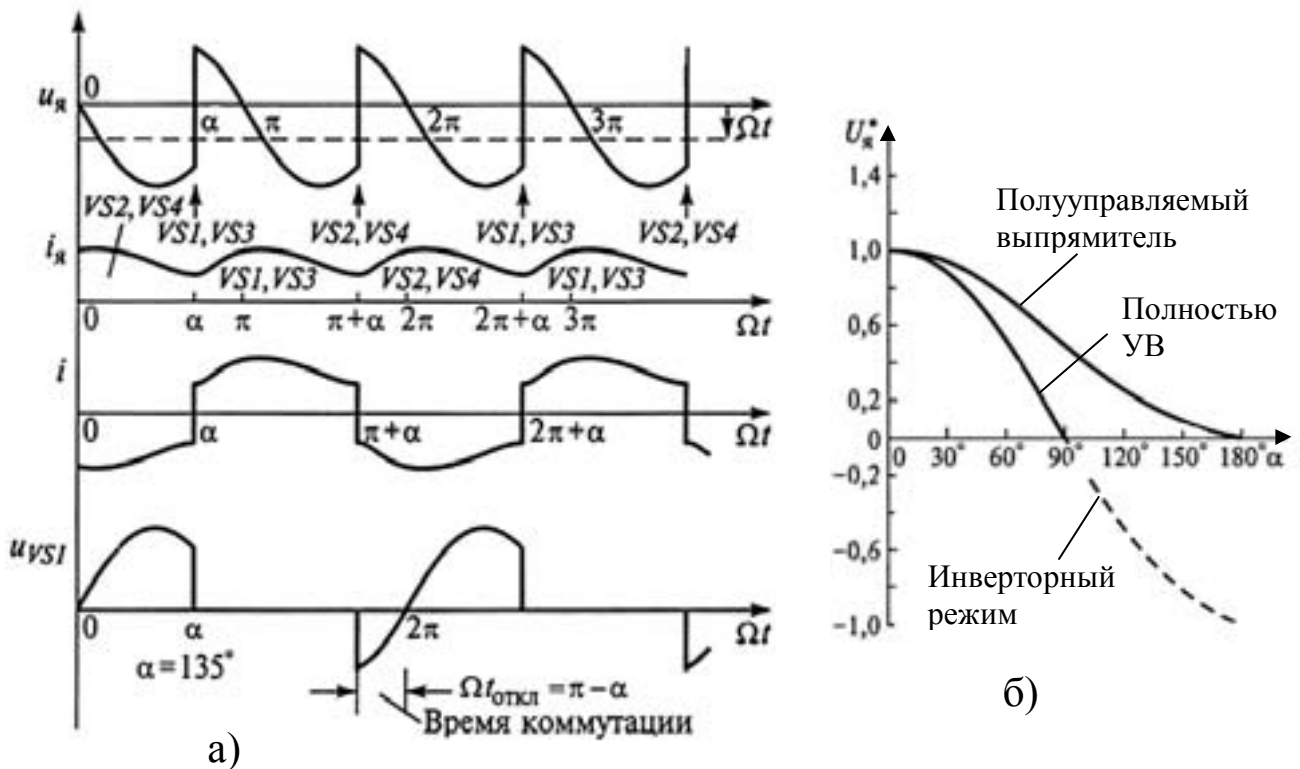


Рис.3.5. Диаграммы токов и напряжений в инверторном режиме (а) и зависимость выходного напряжения УВ от угла управления (б)

Для управления ДПТ средней и большой мощности применяют трехфазные мостовые полууправляемые и полностью управляемые выпрямители. На рис. 3.6 представлена схема полностью управляемого трехфазного выпрямителя, а также диаграммы напряжений и токов. На диаграммах для примера тиристоры включаются при угле управления $\alpha = \pi/6$. Поскольку частота пульсации выпрямленного напряжения составляет 300 Гц, создаются благоприятные условия для создания непрерывного тока якоря.

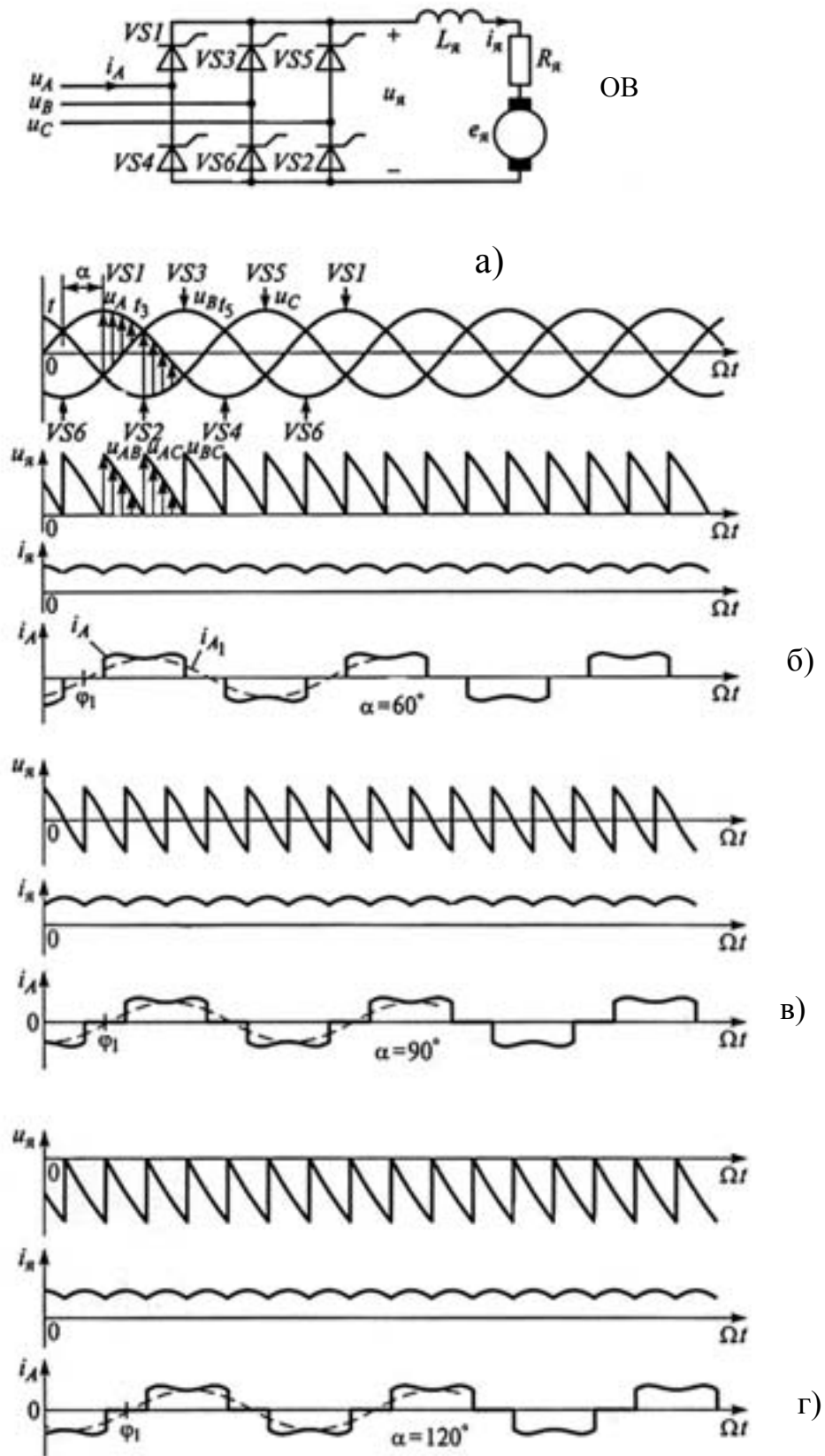


Рис.3.6. Схема управления ДПТ независимого возбуждения от полностью УВ (а) и диаграммы токов и напряжений (б) – (г) при различных углах управления

В представленной схеме тиристор VS1 включается в момент времени, соответствующий углу $\Omega t = \pi/6 + \alpha$. При этом тиристор VS6 открыт и ток якоря, протекая через эти тиристоры, образуется напряжениями фаз А и В. В момент $\Omega t = \pi/6 + \alpha + \pi/3$ включается тиристор VS2, закрывая тиристор VS6 обратным напряжением. При этом якорь ДПТ подключается через тиристоры VS1, VS2 к фазам А и С. Процесс повторяется через $\Omega t = \pi/6$. Напряжение на ДПТ в инверторном режиме УВ отрицательно (рис. 3.5 г) для угла управления $\alpha = \pi/3$.

Для полностью УВ среднее значение напряжения на якоре определяется выражением (3.1), (см. рис.3.7а):

$$U_{\text{я}}(\alpha) = \frac{3}{\pi} \int_{\pi/6 + \alpha}^{\pi/6 + \alpha + \pi/3} (U_A - U_B) dt(\Omega t) = \frac{3\sqrt{6}U}{\pi} \cos \alpha \quad (3.1)$$

Решение уравнения (3.1) совместно с уравнением скоростной характеристики (3.2)

$$\omega = \frac{U_{\text{я}} - I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{C_e \Phi} \quad (3.2)$$

дает уравнение механической характеристики ДПТ, питающегося от полностью УВ (рис. 3.7 б):

$$\omega = \frac{3\sqrt{6}U_{\text{я}}}{\pi C_e \Phi} \cos \alpha - \frac{R_{\text{я}}}{(C_e \Phi)^2} M . \quad (3.3)$$

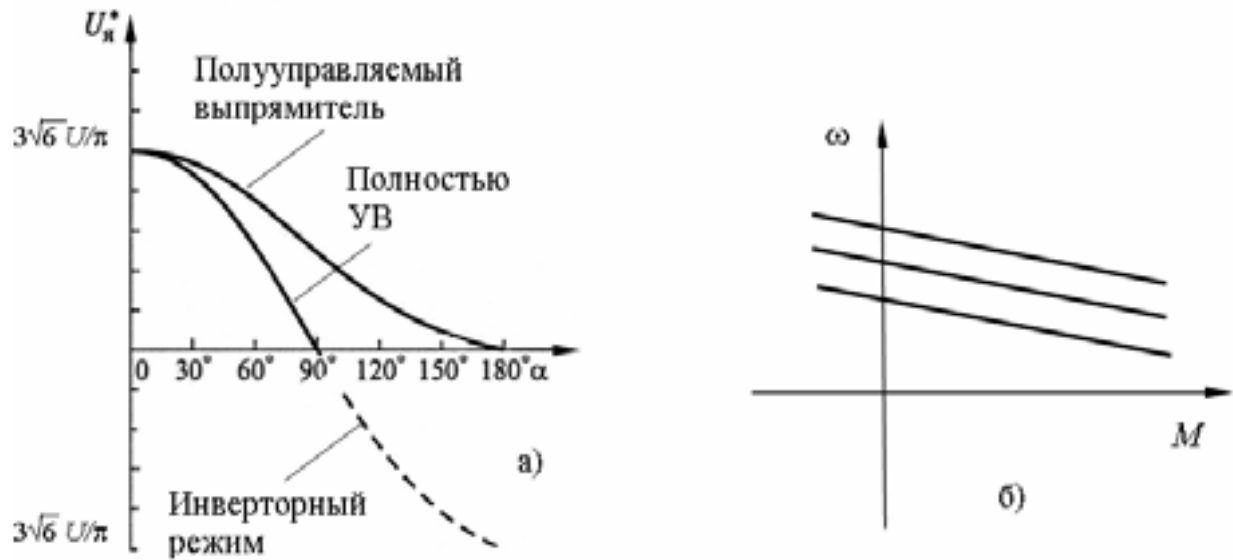


Рис.3.7. Зависимость выходного напряжения трехфазного полностью УВ от угла управления (а) и механические характеристики ДПТ (б)

На рис. 3.8 представлены варианты силовых схем на основе импульсных преобразователей напряжения для управления ДПТ.

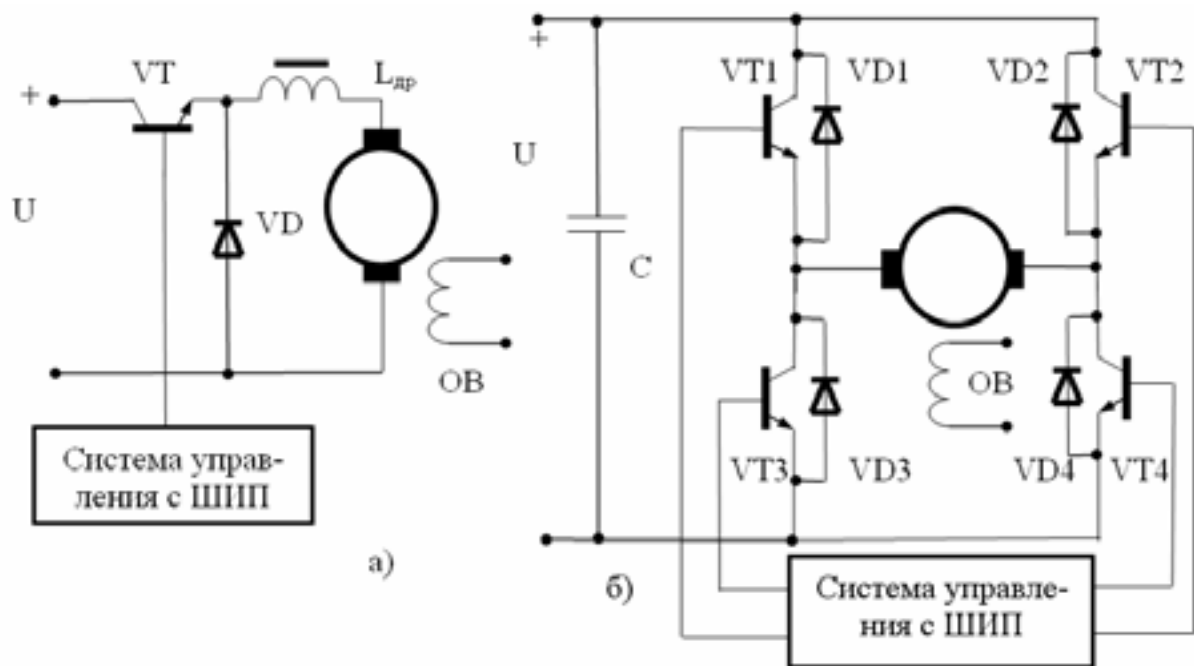


Рис.3.8. Управление ДПТ с помощью импульсных преобразователей напряжения: а) с последовательным ключом; б) на основе мостовой схемы

Обе представленные схемы могут работать в режиме широтно-импульсного преобразования энергии первичного источника напряжения. Схема (б) в отличие от схемы (а) имеет возможность работы в реверсивном режиме. В схеме (а) после выключения транзисторного ключа VT ток продолжает течь через диод VD, дроссель $L_{др}$ и якорь ДПТ. Если транзисторные ключи в представленных схемах замыкаются на время t_0 и работают с периодом T , то при скважности $\gamma = t_0 / T$ скоростную характеристику ДПТ можно представить выражением (3.4):

$$\omega = \frac{\gamma U_{я} - I_{я} R_{я}}{C_e \Phi}, \quad (3.4)$$

а механическую – (3.5):

$$\omega = \frac{U_{я}}{C_e \Phi} - \frac{R_{я}}{(C_e \Phi)^2} M. \quad (3.5)$$

3.3. Преобразовательные устройства для управления ЭП переменного тока

Современная элементная база (быстродействующие транзисторы, тиристоры, специализированные микропроцессоры), на основе которой строятся преобразовательные устройства, позволяет получать практически любые законы управления ЭП переменного тока. Большое распространение в многочисленных АСУ ТП в настоящее время получил ЭП переменного тока с асинхронными двигателями (АД). ЭП переменного тока строится на основе преобразователей частоты со звеном постоянного тока с автономными инверторами напряжения (АИН) или тока (АИТ), а также на основе непосредственных преобразователей частоты (НПЧ).

На рис. 3.9 представлена схема ЭП переменного тока на основе тиристорного АИН («тиристорный преобразователь частоты – ПЧ, со звеном постоянного тока»).

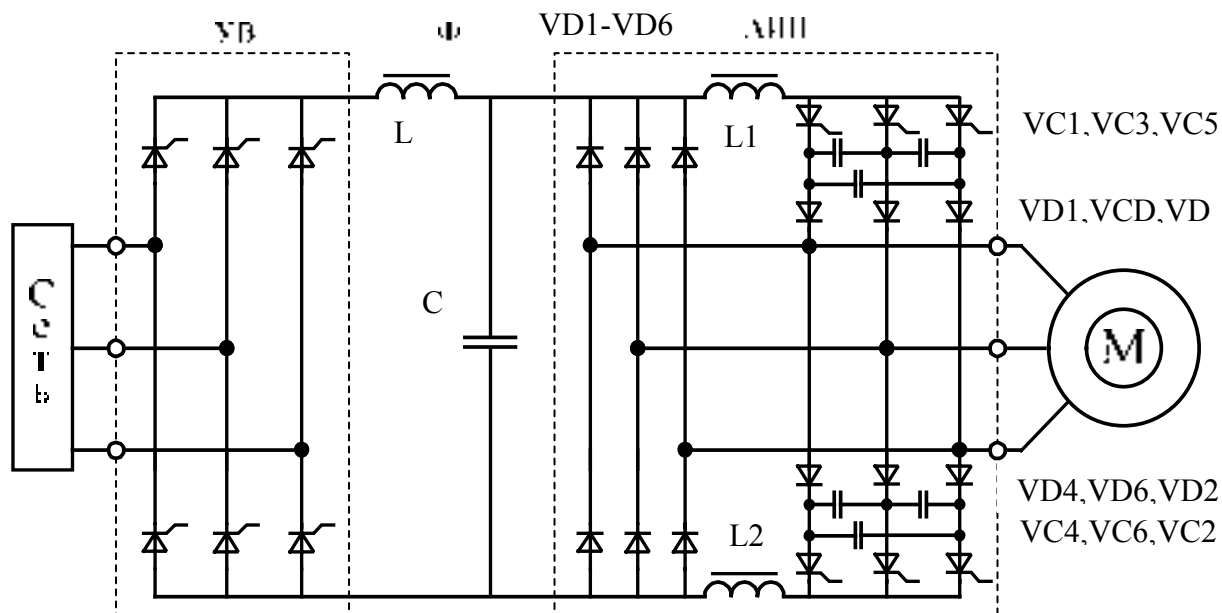


Рис.3.9. ЭП переменного тока на основе тиристорного АИН

Напряжение трехфазной сети поступает через трехфазный полностью УВ с LC-фильтром на выходе на силовой вход АИН. К выходу АИН подключен двигатель переменного тока. Работа трехфазного АИН с транзисторными ключами рассмотрена в первой части настоящего учебного пособия. В данной схеме в качестве ключей АИН применены тиристоры VC1-VC6. Конденсаторы и диоды в цепях фазных проводников АИН вместе с дросселями L1,2 в цепях его питания обеспечивают искусственную коммутацию тиристоров VC1-VC6. Конденсатор фильтра С вместе с диодами VD1-VD6 обеспечивает циркуляцию реактивной энергии. Амплитуда выходного напряжения ПЧ регулируется изменением напряжения на его входе с помощью УВ, а его частота определяется частотой коммутации тиристоров АИН.

Рис. 3.10 иллюстрирует ПЧ с АИТ. В данном инверторе воздействие на двигатель переменного тока поступает в виде регулируемого тока и частоты.

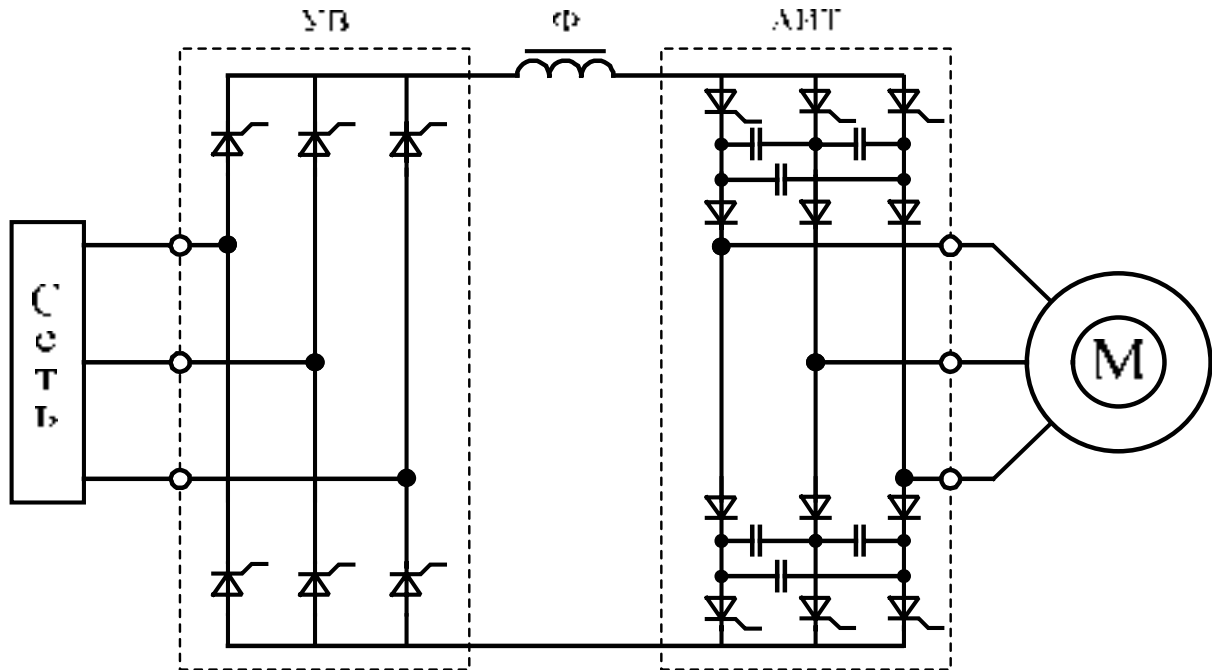


Рис.3.10. ЭП переменного тока на основе тиристорного АИТ

Назначение тиристоров, диодов и конденсаторов УВ и АИТ такое же, как и в предыдущей схеме.

Большое распространение в преобразовательной технике, а также в ЭП, в настоящее время приобрели силовые транзисторные ключи, выполненные по гибридной схеме – составной транзистор, состоящий из полевого входного, биполярного выходного транзисторов и обратного диода - IGBT (isolated gate bipolar transistor). При весьма малой мощности управляющего сигнала эти транзисторы позволяют комутировать токи в сотни ампер при напряжении до 3-6 кВ с временами включения/выключения сотни наносекунд. В отличие от рассмотренных выше тиристорных вариантов, ПЧ с IGBT-ключами позволяют применять режим широтно-импульсного управления, рассмотренный в главе 3 первой части настоящего учебного пособия. Это открывает практически безграничные

перспективы в создании широкорегулируемых ЭП переменного тока для различных нужд народного хозяйства.

Силовая схема ПЧ с АИН на основе IGBT-ключей представлена на рис.3.11. Схема выполнена с неуправляемым выпрямителем на входе АИН и LC-фильтром для сглаживания пульсаций выходного напряжения УВ.

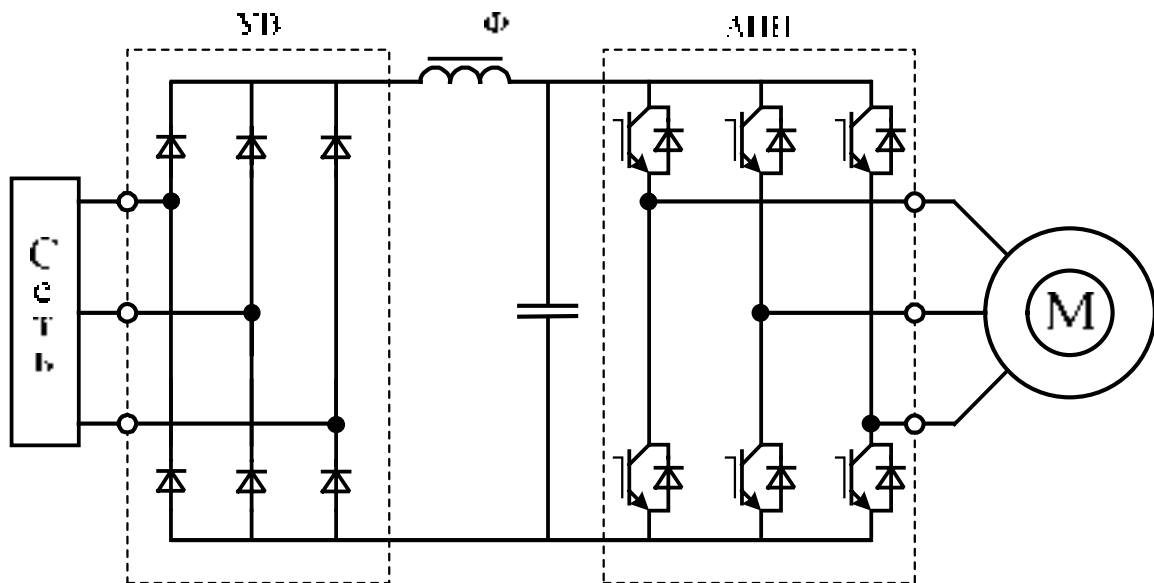


Рис.3.11. ЭП переменного тока на основе транзисторного АИН с IGBT-ключами

К достоинствам данной схемы следует отнести:

- высокие динамические характеристики ЭП;
- близкие к синусоидальным выходные токи АИН;
- равномерность вращения двигателя при малых частотах за счет реализации законов ШИМ-регулирувания.

К недостаткам схемы следует отнести:

- несинусоидальность входных токов УВ, а, следовательно, ПЧ;
- невозможность рекуперации энергии двигателя в сеть в тормозных режимах.

Следует отметить, что указанные недостатки присутствуют и в тиристорном варианте ПЧ, однако они не препятствуют широкому распространению таких схем. С другой стороны, несинусоидальность потребляемого тока противоречит современным требованиям стандартов

по электромагнитной совместимости (ЭМС) преобразовательных устройств. Под ЭМС понимается способность технического электронного устройства функционировать:

а) не излучая помех, выше допустимых норм, как в питающую сеть по проводам (*кондуктивные помехи*), так и в окружающее пространство (*индуктивные помехи*);

б) в условиях внешних помех, определенного стандартами уровня.

При работе выпрямителя на LC-фильтр фазный ток ПЧ имеет несинусоидальную форму, степень искажения которой зависит от параметров дросселя фильтра (рис.3.12). Несинусоидальный ток создает высшие гармоники в сети и кондуктивные помехи.

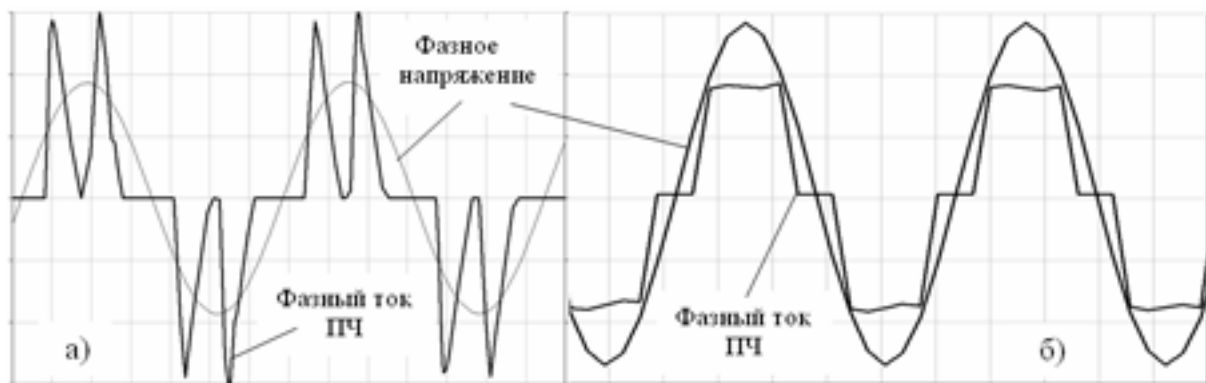


Рис. 3.12. Ток потребления преобразователя частоты а) без дросселя фильтра; б) с дросселем фильтра

Устранить недостатки схемы, представленной на рис. 3.11, позволяет применение в составе ПЧ активного выпрямителя напряжения (АВН) (рис.3.13). АВН позволяет не только получать близкий к синусоидальному ток потребления ПЧ, но и производить рекуперацию энергии от звена постоянного тока ПЧ в сеть в тормозных режимах работы двигателя. Схема представляет собой практически симметричный вариант ПЧ. Однако для работы такой схемы на входе ПЧ включаются дроссели, что, безусловно, удорожает схему относительно «классической» схемы, представленной на рис. 3.11. Кроме того, усложняется алгоритм управления ПЧ в целом.

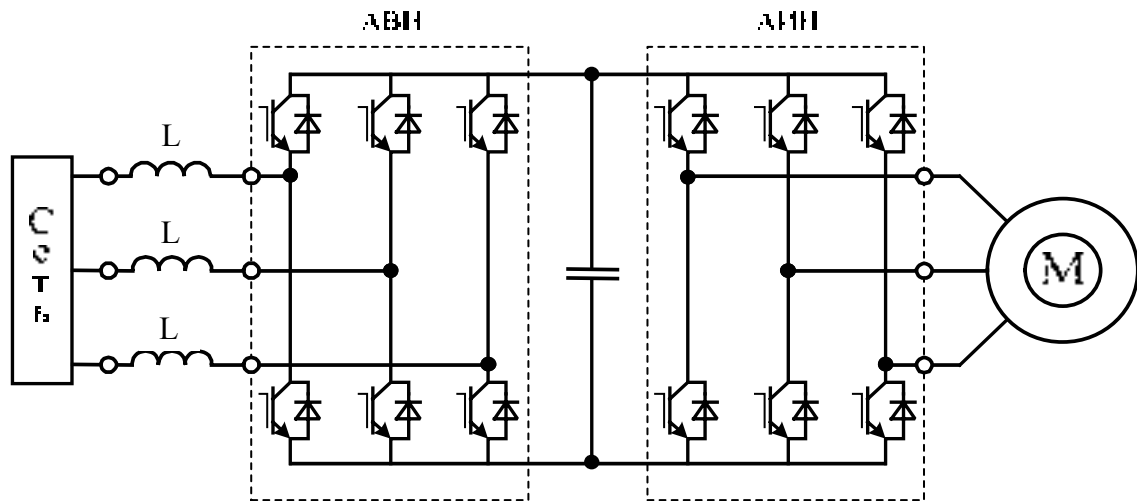


Рис. 3.13. Преобразователь частоты на основе АИН и с активным выпрямителем напряжения

Логическим развитием представленных выше схем является современная схема двухзвенного непосредственного преобразователя частоты (ДНПЧ), имеющая в своем составе активный выпрямитель и автономный инвертор без «ярко выраженного» звена постоянного тока, характеризующегося отсутствием фильтра. При этом на входе ДНПЧ имеется сетевой LC-фильтр [19].

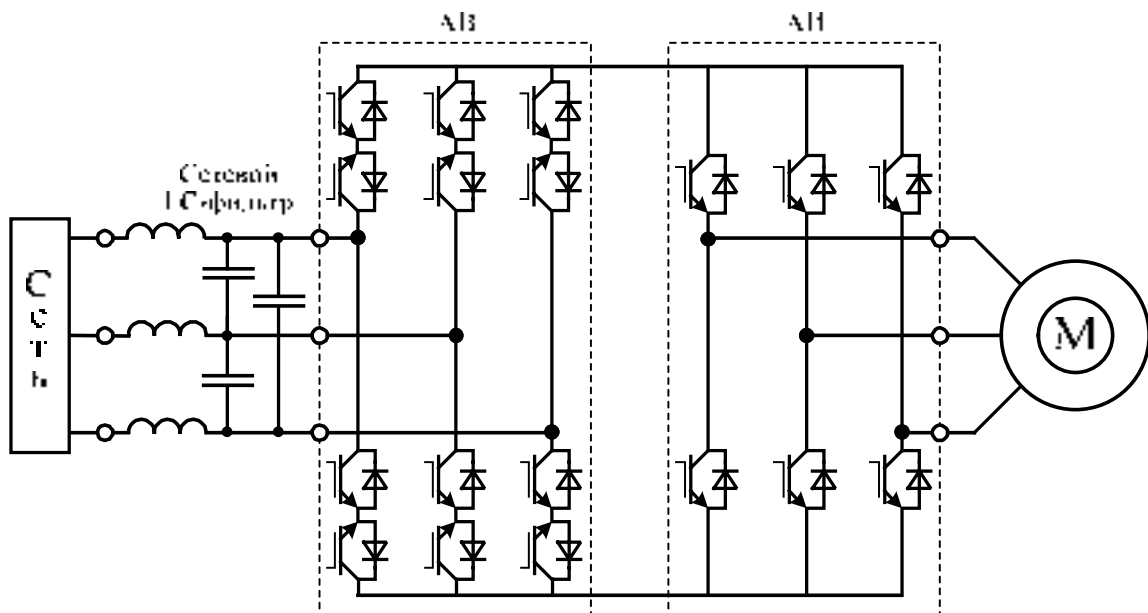


Рис. 3.14. Двухзвенный непосредственный преобразователь частоты

К недостаткам схемы следует отнести большое количество силовых ключей и сложный алгоритм управления ПЧ в целом, который, впрочем, реализуется современными средствами микропроцессорной техники.

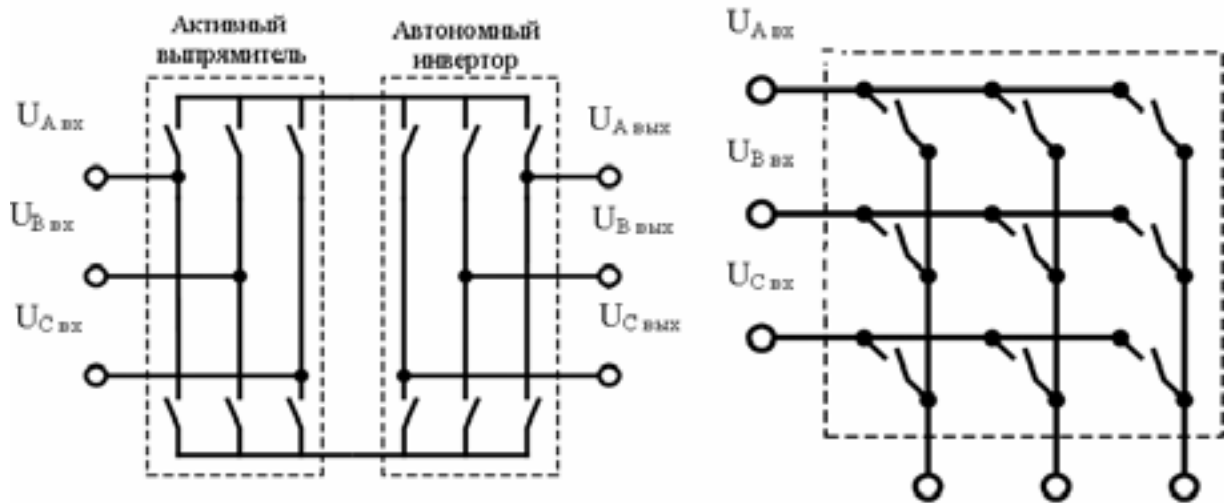


Рис. 3.15. Топология коммутаторов непосредственных преобразователей частоты

ДНПЧ, как видно из рис. 3.15 а, состоит из двух устройств (поэтому и называется «двухзвенный») – активного выпрямителя и автономного инвертора. Принципиально возможно производить регулирование напряжения и частоты, применив схему по рис.3.15б, получившую название «матричный преобразователь» [20]. Прототипом такого преобразователя без звена постоянного тока является непосредственный преобразователь частоты – НПЧ на тиристорах, получивший распространение в системах питания двигателей переменного тока. Одна из разновидностей такой схемы представлена на рис. 3.16.

НПЧ состоит из 18 тиристоров, объединенных во встречно-параллельные группы с отдельным управлением. В основе каждой группы лежит трехфазная нулевая схема выпрямления [21]. При этом группа тиристоров, имеющих общий катод, называется положительной или выпрямительной, а группа с общим анодом – отрицательной или инверторной. При управлении тиристоров в течение одного полупериода выходного напряжения НПЧ ток пропускают выпрямительные группы, а в

течение другого – инверторные. Выходное напряжение состоит из отрезков волн напряжения питающей сети (рис. 3.17). Для получения выходного напряжения, близкого к синусоидальному, необходимо изменять угол включения тиристоров таким образом, чтобы среднее за полупериод питающей сети выходное напряжение изменялось по синусоидальному закону. Зависимость действующего значения напряжения на нагрузке от угла регулирования α выражается формулой (3.6).

$$U_{рег} = \frac{\sqrt{2}m_1 U_{\phi} \sin \pi / m_1}{\pi} \cos \alpha \quad . \quad (3.6)$$

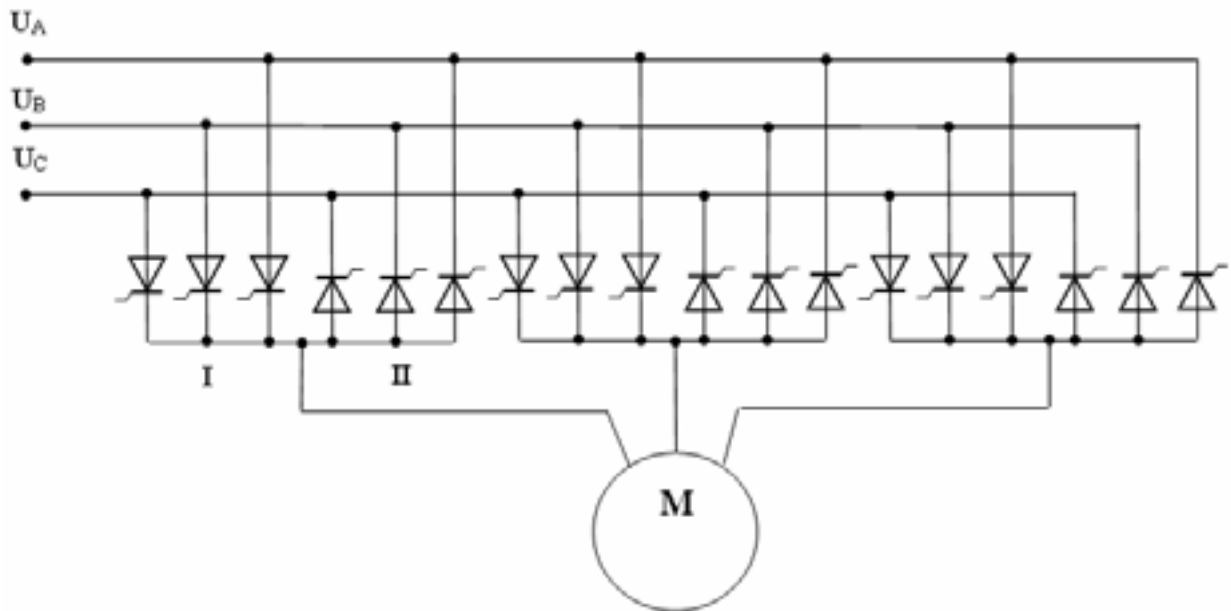


Рис. 3.16. Питание машины переменного тока от НПЧ

Частота выходного напряжения НПЧ регулируется за счет числа открываемых в группе тиристоров:

$$f_{рег} = \frac{1}{T_{рег}} = \frac{3f_1}{3 + 2h}, \quad (3.7)$$

где $h = 0, 1, 2, 3 \dots$ – число открываемых тиристоров в группе за вычетом одного.

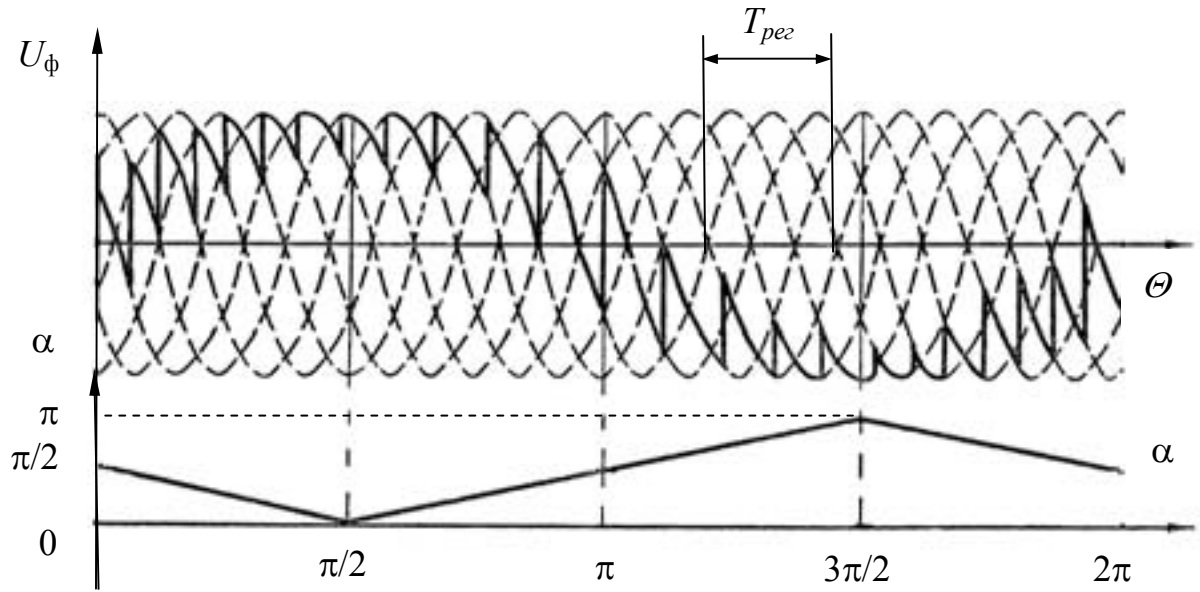


Рис. 3.17. Выходное напряжение НПЧ при регулировании угла α открытия тиристоров

При этом для трехфазного НПЧ ($m_1=3$) выходная частота при $f_1=50$ Гц может принимать значения согласно таблице 3.4.

Таблица 3.4

h	2	3	4	5	6	7
$f_{рег}$	21,4	16,7	13,6	11,5	10	8,8

Для более плавной регулировки частоты, между моментом снятия управляющих импульсов с группы тиристоров I и моментом подачи импульсов на тиристоры группы II (см. рис. 3.16) искусственно вводится пауза $\Delta t_{п.}$. При этом выходная частота напряжения НПЧ определяется выражением (3.8):

$$f_{рег} = \frac{m_1 f_1}{m_1 + 2h + \Delta t_{п.} f_1}. \quad (3.8)$$

Для регулирования скорости асинхронных двигателей в узких пределах ($1/2 - 1/3$ от номинального значения) и их для плавного пуска применяются тиристорные регуляторы напряжения (ТРН). Устройства плавного пуска («soft starter») находят широкое применение в различных

технологических механизмах с ЭП. Особенность прямого пуска АД заключается в больших кратностях пускового (ударного) тока и момента (5-7), что пагубно сказывается на долговечности работы механизмов и приводит к провалам напряжения в питающей сети.

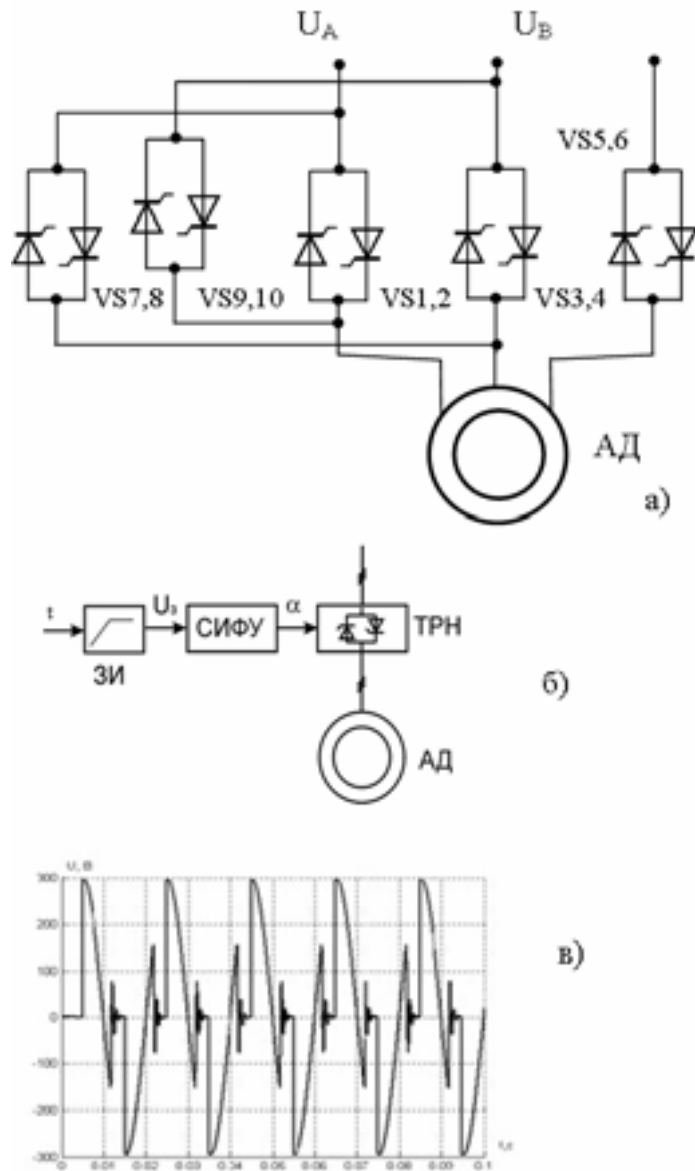


Рис. 3.18. Выходное напряжение НПЧ при регулировании угла α открытия тиристоров

На рис. 3.18 а представлена реверсивная схема регулятора для управления АД. Тиристоры работают от системы импульсно-фазового управления (СИФУ) – рис. 3.18 б. Интенсивность разгона АД формируется задатчиком интенсивности (ЗИ). При этом угол α управления тиристоров плавно изменяется от 180° до нуля, напряжение АД – соответственно от нуля до номинального значения, а ток и момент не имеют недопустимых бросков. Одна из промежуточных форм напряжения на АД представлена на рис. 3.18 в. Реверс АД осуществляется переключением тиристорных групп – VS1,2 и VS3,4 на VS7,8 и VS9,10.

Дополнительно следует отметить, что современные УПП снабжены микропроцессорной системой управления,

что позволяет в процессе пуска формировать требуемые законы изменения момента, тока, производить управляемое торможение АД (рис.3.19).

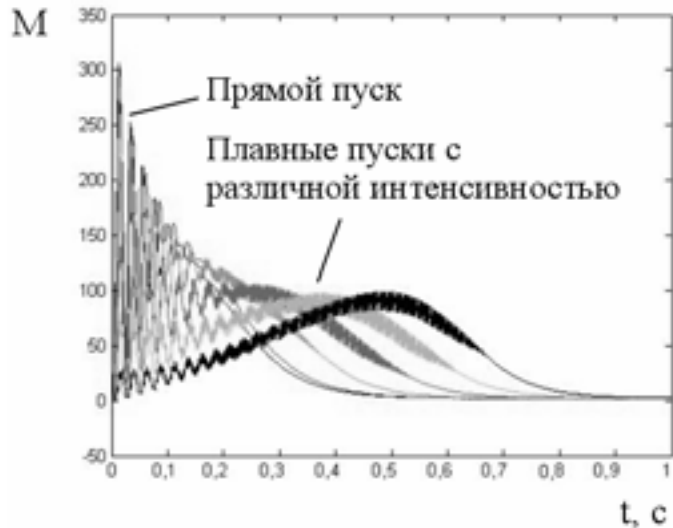


Рис. 3.19. Изменение момента АД при пусках от УПП с различной интенсивностью

3.4. Скалярное и векторное управление АД

Скалярные системы управления АД основаны на использовании для задач управления ЭП скалярных переменных двигателя — амплитуд и действующих значений токов, напряжений, а также частот статора и вращения ротора. Скалярные величины токов и напряжений используются как в замкнутых, так и в разомкнутых системах ЭП. При этом для формирования законов управления используются аналитические зависимости момента, скольжения, скорости, рассмотренные, в частности, в первой части настоящего учебного пособия. На основе известных физических представлений, схемы замещения и векторных диаграмм АД в качестве переменных в системах управления также могут появляться преобразованные из напряжений, токов и параметров (активных и индуктивных сопротивлений) потокосцепления, ЭДС, мощность двигателя. Таким образом, в зависимости от требований конкретного ТП возможно построение различных схем ЭП, однако при использовании скаляров.

Скалярное управление не обеспечивает высоких динамических показателей ЭП. Так, магнитный поток АД в переходных режимах не остается постоянным, ввиду этого возможны колебания момента и скорости, что для механизмов с высокими требованиями к динамике и точности является неприемлемым. Для поддержания (управления) в переходных процессах магнитного потока и электромагнитного момента применяют *векторное управление* [22, 23].

При векторном управлении в качестве управляющих воздействий используются пространственные векторы электромагнитных величин АД. При таком управлении появляется возможность независимо друг от друга изменять магнитный поток и электромагнитный момент АД с помощью составляющих вектора тока статора. В настоящее время векторное управление является интенсивно развивающимся способом управления двигателями переменного тока. Это связано с появлением современных силовых полупроводниковых ключей и быстродействующих микропроцессорных устройств.

Одной из «начальных» операций в ЭП с векторным управлением является преобразование координат.

В любой электрической машине электромагнитный момент образуется из взаимодействующих электромагнитных величин статора и ротора, в общем случае неподвижных относительно друг друга. В электрической трехфазной машине переменного тока неподвижные относительно друг друга векторы электромагнитных величин статора и ротора вращаются синхронно. Таким образом, встает задача перехода от обобщенных вращающихся векторов к неподвижным. Такие преобразования осуществляются для того, чтобы облегчить анализ процессов в двигателе и преобразователе. Например, чтобы получить систему уравнений с постоянными коэффициентами.

Любую m -фазную машину можно преобразовать в двухфазную (рис. 3.20). Преимущества такого перехода (преобразования) состоят в следующем:

- в трехфазной машине отдельные фазы, связанные электромагнитно, взаимодействуют друг с другом, а в двухфазной (при ортогональном расположении осей обмоток) индуктивная связь между обмотками отсутствует;
- соответственно уменьшается выражений в системе дифференциальных уравнений.

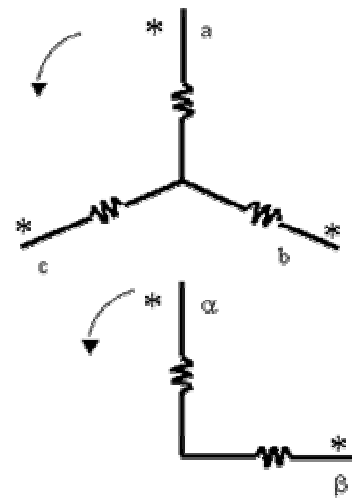


Рис.3.20. К преобразованию числа фаз

В практике моделирования и управления ЭП переменного тока используют координаты:

- 1) ABC - связанные с неподвижными фазными обмотками статора A, B, C;
- 2) α - β - связанные с неподвижными обмотками α и β преобразованной двухфазной обмоткой статора;
- 3) d-q (x-y) - связанные с вращающимся магнитным полем АД и ориентированными осью «d» по вектору, например, потокосцепления ротора.

Преобразование от 1) к 2) получило название преобразования Кларка.

Для управления автономным инвертором необходимо в системе управления сформировать сигналы постоянного (непериодического) тока. Фактически, это означает переход от системы координат 2) к системе 3).

Переход от неподвижных координат α - β m -фазной обмотки к вращающимся координатам d-q имеет физический смысл (преобразования Парка). Поскольку систему координат можно совместить с любыми векторами двигателя, целесообразно ось d направить по вектору потокосцепления ротора ψ_r . Тогда ток статора I_s двигателя можно разложить на две ортогональные составляющие, одна из которых - i_d будет

соответствовать току намагничивания двигателя, а другая - i_q – активному, т.е. моментобразующему току (рис. 3.21). Согласно теории обобщенной электрической машины электромагнитный момент определяется векторным произведением:

$$\mathbf{M} = pk_r(\mathbf{r} \times \mathbf{I}_s), \quad (3.9)$$

где p – число пар полюсов; $k_r = 3L_m/2L_r$ – коэффициент магнитной связи ротора и статора; L_m , L_r – соответственно взаимная индуктивность между фазами статора и ротора и полная индуктивность ротора.

Вектор потокосцепления ротора получается на основе предварительно вычисленного вектора потокосцепления взаимоиндукции Ψ_m на основе математической модели АД и измерения мгновенных значений основных гармоник напряжений и токов фаз статора. Структурная схема асинхронного ЭП с векторным управлением при питании от ПЧ с инвертором с ШИМ, представлена на рис. 3.22.

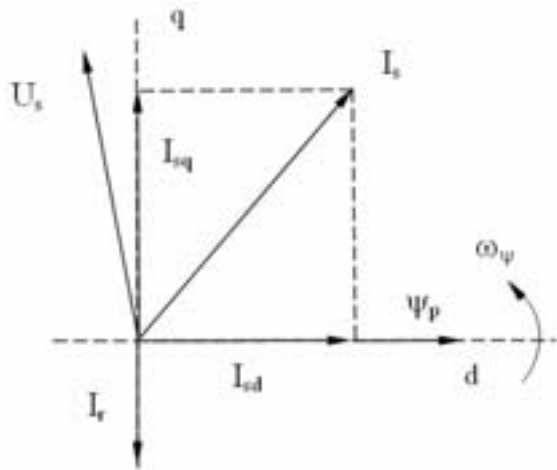


Рис.3.21. Векторная диаграмма АД

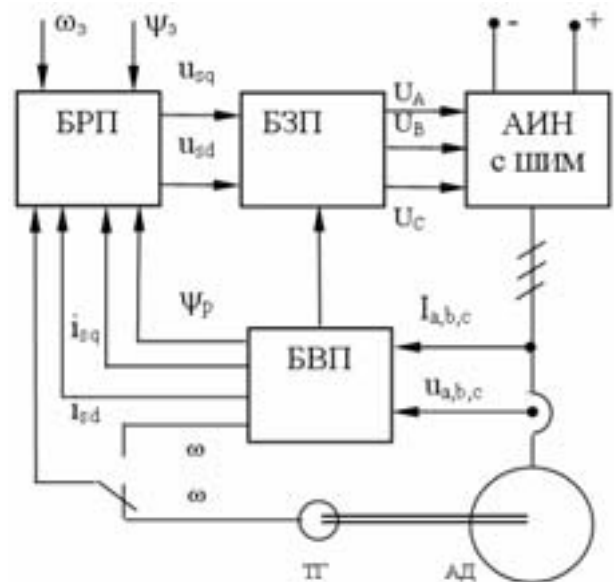


Рис.3.22. Общая структурная схема АД с векторным управлением

На вход блока регулятора переменных БРП подаются сигналы задания скорости, потокосцепления и обратной связи по скорости. Сигнал

обратной связи может быть подан либо с тахогенератора ТГ, либо после вычисления с блока вычисления переменных БВП. БВП осуществляет координатные преобразования трехфазной системы в двухфазную и, далее, в систему координат d-q. Также в этом блоке осуществляется вычисления потокосцепления ротора. БРП содержит регуляторы потока, токов, момента. На выходе БРП формируются ориентированные по полю сигналы, пропорциональные составляющим токам статора. БЗП осуществляет фазовые преобразования переменных в d-q – координатах в трехфазную систему сигналов для управления АИН с ШИМ.

На рис. 3.23 представлена структурная схема реального асинхронного ЭП с векторным управлением. К особенностям организации данного варианта структурной схемы следует отнести наличие четырёх контуров управления для регулирования скорости, потокосцепления ротора и составляющих вектора тока статора. Оптимальная настройка параметров системы выполняется на основе метода подчинённого регулирования, исходя из желаемого быстродействия ЭП. Информация об ориентации системы координат определяется с применением адаптивного устройства



Рис.3.23. Структурная схема асинхронного ЭП с векторным управлением с датчиком обратной связи по скорости (ПИ – пи-регулятор)

оценки на базе системы математических дифференциальных уравнений, описывающих состояние АД в режиме реального времени. Данный вариант обеспечивает качественное управление моментом АД в динамике, а также возможность регулирования скорости выше номинальной. Обязательным условием для данного уровня является наличие импульсного датчика на валу АД, разрешающая способность которого, в конечном итоге, определяет точность и диапазон регулирования частоты вращения.

На рис.3.24 представлен вариант самой сложной схемы управления – без обратной связи по скорости. Реализация данного способа управления базируется на принципах предыдущей схемы с учётом добавления модуля вычисления скорости АД. Для повышения качества регулирования в различных диапазонах частоты вращения в данном варианте применяется изменяемая структура системы управления с непрерывной адаптацией параметров [24].

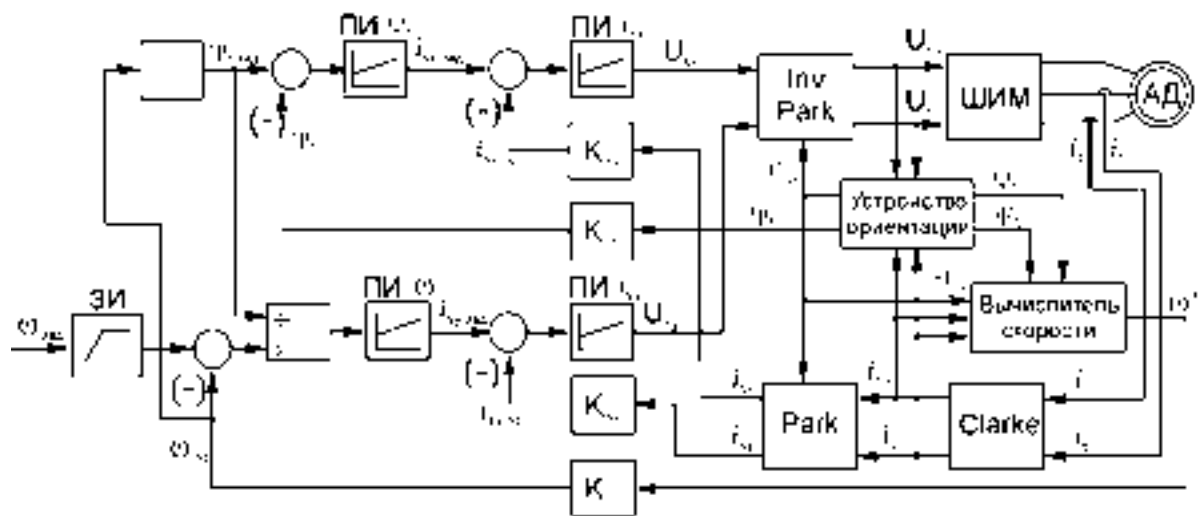


Рис.3.24. Структурная схема асинхронного ЭП с векторным управлением без датчика обратной связи по скорости

Для получения качественной работы ЭП необходима достоверная информация о текущих параметрах АД. Настройка ПЧ на конкретный АД выполняется после монтажа ЭП, перед включением. Для этого служит специальный режим автонастройки, на основе исследований тестовых

включений АД в различных режимах. В дальнейшем, при работе АД блок подстройки коэффициентов позволяет отслеживать текущие изменения параметров и выполнять необходимые корректировки в алгоритме управления.

3.5. Практическое использование ЭП переменного тока (на примере асинхронного ЭП запорной арматуры)

В составе многочисленных технологических объектов, связанных с транспортировкой жидких и газообразных продуктов по трубопроводам, применяется запорная и запорно-регулирующая трубопроводная арматура с ЭП [25].

Функции, выполняемые ЭП, зависят от типа арматуры (задвижка, вентиль, клапан) и условий ее применения. По сути, ЭП запорной и запорно-регулирующей арматуры (ЗА и ЗРА) является исполнительным механизмом, приводящим в движение запорный орган трубопроводной арматуры. Иначе, ЭП является элементом автоматизированной системы управления технологическим процессом – АСУ ТП.

Как правило, ЭП выполняет свои функции, находясь на большом удалении от пунктов управления и в сложных условиях окружающей среды (на «открытом» воздухе и взрывоопасной зоне). При этом решающее значение приобретает надежность конструктивных и схемотехнических решений ЭП, а также его «интеллектуальные» возможности в части:

- а) априорно заложенных законов управления;
- б) «самообучения» и «самонастройки» непосредственно в рабочем процессе;
- в) диагностики двигателя и преобразователя;
- г) организации обмена данными с диспетчерскими пунктами (ДП) различного уровня, исходя из требований конкретного ТП;

- д) выполнения требований стандартов по взрывозащите, искробезопасности и электромагнитной совместимости;
- е) выполнения требований стандартов по стойкости к различного вида механическим воздействиям.

Принципы построения конструктивных и схмотехнических решений ЭП ЗА (ЗРА) диктуются условиями его применения, а также особенностями ТП перекачки легковоспламеняющихся продуктов по трубопроводу.



Рис.3.25. Электропривод запорной арматуры (на примере «Elesyb» с блоком электронного управления ESD-VC ЗАО «ЭлеСи», Россия)

Конструкция ЭП предусматривает непосредственное механическое объединение приводного двигателя, редуктора и преобразователя - блока электронного управления (рис. 3.25) и должна отвечать специальным техническим требованиям на арматуру с ЭП. Например, согласно таким требованиям, ЭП должен иметь назначенный срок службы не менее 30 лет с ресурсом не менее 3000 циклов работы в диапазоне температуры окружающей среды от минус 60 °С до плюс 50 °С и при возможности

работы в районах с сейсмическим воздействием до 10 баллов по шкале Рихтера [26]. При этом вероятность безотказной работы в течение назначенного срока должна составлять не менее 0,99. Кроме этого, исполнение ЭП должно соответствовать показателям вида «Взрывонепроницаемая оболочка» при соблюдении также показателя вида «Искробезопасная электрическая цепь» (регламентируется специальными нормами). Степень защиты ЭП – IP65, IP67 (первая цифра «6» - «проникновение пыли предотвращено полностью»; вторая цифра «5» - «вода при наличии волн не должна попасть внутрь оболочки в количестве, достаточном для повреждения изделия», «7» - «изделия пригодны для длительного погружения в воду при условиях, установленных изготовителем»).

Работа ЭП ЗА (ЗРА) в распределенной АСУ ТП предполагает возможность его управления по четырем каналам:

- местный – с органов управления, расположенных непосредственно на взрывонепроницаемой оболочке;
- дистанционный:
- с пульта дистанционного управления по инфракрасному порту непосредственно во взрывоопасной зоне;
- по последовательному интерфейсу;
- по сигналам телемеханики.

Гамму требований к ЭП завершают конструктивные особенности конкретного типа ЗА и «правила» ее эксплуатации, основными из которых являются:

- а) обеспечение герметичности затвора;
- б) создание требуемых моментов уплотнения и вытяжки без необратимых деформаций поверхности клина и винта;
- в) обеспечение скоростей закрытия проходного сечения трубопровода, допускаемых ТП;
- г) точность позиционирования рабочего органа ЗА;

д) сохранение информации о положении выходного звена ЗА в условиях отсутствия внешнего электропитания.

Дополнительной особенностью эксплуатации ЭП ЗА является его работа в реальных условиях электроснабжения, способных существенно

отличаться от требуемых стандартами, в частности российского ГОСТ 13109 – 97. Этот факт приводит к пересмотру концепции защитных функций и выработке конструктивных и схемных решений, позволяющих ЭП выполнить до конца поставленную оператором задачу.

Основным показателем качества работы задвижки является внутренняя герметичность, обеспечиваемая за счет соединения уплотнительных поверхностей (герметизаторов) клина и седла задвижки (рис.3.26) [27-29].

До недавнего времени основным способом получения герметичности в затворе считалось обеспечение контактного давления герметизации с учетом параметров и фактической точности герметизаторов. Это означает, что в

создании герметичности основную роль играло то усилие, с которым сжимают между собой герметизаторы. Подобный подход приводил к необходимости установки на арматуру мощных ЭП с соответствующими массогабаритными показателями.

В настоящее время в арматуростроении и при эксплуатации арматуры стал преобладать другой подход, который основную роль в

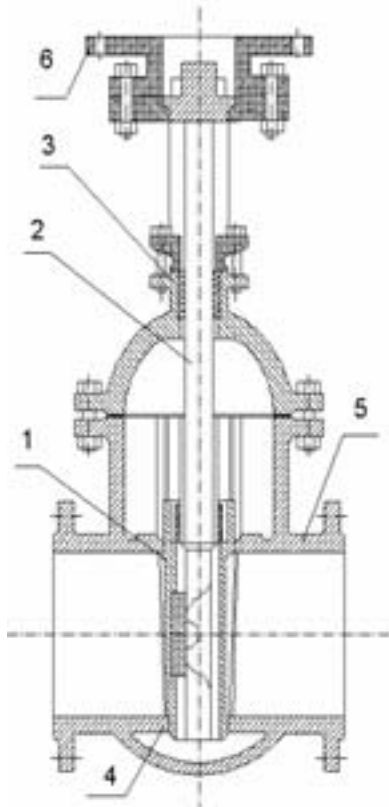


Рис.3.26. Конструкция клиновой задвижки

- 1 - клин, 2 – шток,
3 – грузовая гайка,
4 – седло, 5 – корпус,
6 – подставка под электропривод

устранении протечек отводит геометрическим и структурным параметрам герметизаторов. Усилие, которое можно прилагать к таким герметизаторам, является строго регламентированным. При превышении заданного усилия происходит деформация герметизаторов и потеря внутренней герметичности. Чрезмерно малое усилие приводит к образованию щели в затворе и, следовательно, к протечкам.

Для каждого типа задвижек существует паспортное значение усилий уплотнения и срыва клина с уплотненного состояния. Данные усилия определяются материалами, применяемыми для изготовления уплотнительных поверхностей, их размерными характеристиками и другими факторами.

Паспортные значения усилий обеспечивают требуемый уровень герметичности только в течение первых 1000 циклов перекрытия арматуры при ресурсе задвижки 3-4 тыс. циклов. Как показали исследования, при многократном нагружении затвора происходит упругопластическое деформирование контактирующих поверхностей. Данные деформации ведут к износу герметизаторов

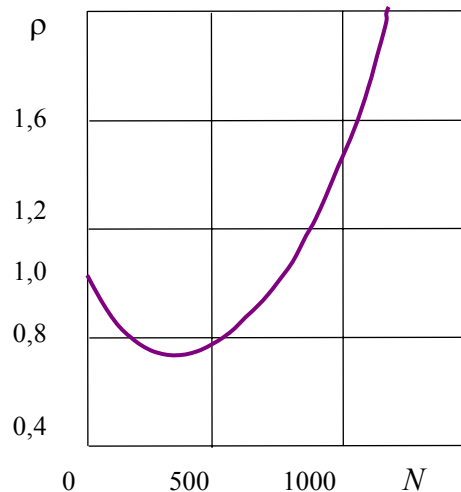


Рис.3.27. Влияние циклов работы задвижки на герметичность затвора

и изменению размерно-геометрических характеристик межуплотнительного пространства. На рис. 3.27 представлено изменение относительной утечки ρ от числа циклов нагружения затвора N . Из графика видно, что на первом этапе циклической наработки происходит интенсивное уменьшение утечки, вследствие приработки поверхностей клина и седла. На втором этапе утечка минимальна. На третьем этапе происходит интенсивное увеличение утечки из-за износа уплотнений.

Кроме того, клин задвижки работает в условиях самоторможения, вследствие чего путь торможения также влияет на износ герметизаторов и должен быть минимально необходимым для достижения надежного уплотнения. Деформация задвижки и появление отложений в затворе, равно как и истирание герметизаторов, ведет к изменению расстояния, которое необходимо преодолеть для перекрытия сечения.

Для перемещения затвора из открытого положения в закрытое изначально необходимо развить усилие трогания, которое способно сдвинуть шток из исходного положения. Основные причины необходимости приложения усилия – сухое трение в резьбовом соединении «шток-гайка», появление ржавчины, попадание в него воды с последующем замерзанием и пр. Теоретически, усилия трогания могут достигать значений, способных деформировать корпус задвижки (стойки и подставка под ЭП, шток и т.д.), поэтому необходимо ограничивать их, исходя из механической прочности корпуса арматуры. Как правило, отрыв происходит сразу, после чего начинается перемещение штока. При этом ЭП должен развивать момент, достаточный для преодоления сил сопротивления, в основном сил трения в резьбовом соединении «шток-гайка». Силы трения при перемещении могут изменяться в зависимости от двух факторов:

- 1) состояния резьбы – сколы и прочие дефекты штока;
- 2) наличия давления рабочей среды на клин, ведущего к изгибанию штока и соответствующему увеличению сил трения в резьбовом соединении. Данный фактор особенно характерен для шиберных задвижек, в которых запорный орган представляет пластину с проходным отверстием.

При подходе к крайнему положению «Закрыто» усилие на штоке и момент ЭП начинают возрастать, что обусловлено посадкой клина в седло и уплотнением с целью достижения заданного уровня герметичности. В случае задвижки с параллельным запорным органом нарастание усилия и

момента ЭП происходит очень резко, так как в конструкции нет демпфирующих элементов типа герметизаторов. Фактически, ЭП переходит в режим работы на упор.

Превышение допустимого усилия приводит к переходу упругой деформации в пластическую, что ведет к более полной герметизации, однако для следующего цикла усилие уплотнения должно быть еще большим, так как происходит изменение геометрических размеров герметизаторов. Заводы-изготовители допускают отклонение усилия герметизации не более, чем на 10% от паспортных значений уплотнения задвижки. При многолетней эксплуатации арматуры в затворе происходит накопление отложений различной пластичности и посторонних предметов. Вследствие этого расстояние, при котором усилие достигает критической точки от положения «Открыто», уменьшается. Усилие отрыва должно быть достаточным и для выдвигания клина из седла, так как седло может изменить свои геометрические размеры под воздействием температуры.

Кроме того, для различных типов конструктивного исполнения задвижек и технологического процесса при транспортировке нефтепродуктов требуются различные варианты уплотнений арматуры – в положениях «Открыто» и/или «Закрыто», или вообще без уплотнений.

Для обеспечения необходимого уровня герметизации соединения необходимо осуществлять комплексные мероприятия, которые должны привести в том числе и к созданию условий, замедляющих процесс изменения исходных функциональных метрических параметров уплотнения. Одним из основных условий повышения эксплуатационных свойств задвижки является совершенствование её ЭП, который своими перестановочными и уплотнительными усилиями может изменять геометрические размеры уплотняющих поверхностей затвора и тем самым влияет на эксплуатационные свойства трубопроводной арматуры.

Срыв возможно производить однократной кратковременной подачей импульса момента, не допускающего перемещения штока по резьбе больше того расстояния, при котором происходит переход упругой деформации в пластическую. Погрешность регулирования по моменту и дискретность задания величины момента ограничения определяются паспортными данными на арматуру с одинаковым посадочным местом под ЭП. Разброс значений (для момента уплотнения) составляет от 20 до 100% от максимального момента для ЭП с единым типоразмером посадочного места.

Скорость вращения ω , развиваемая двигателем должна быть достаточной для обеспечения быстродействия работы затвора. Быстродействие определяется соответствующими требованиями, регламентирующими время перекрытия сечения трубопровода в нормальных или аварийных режимах его эксплуатации. Так, например, согласно требованиям российской компании ОАО «АК Транснефть» время перекрытия трубопровода сечением 1200 мм должно быть не более 420 с. Следует отметить, что на общее время перекрытия накладываются «технологические» ограничения. При подходе к крайнему нижнему положению «Закрыто» скорость желательно снижать в целях предупреждения гидравлического удара в трубе, кавитационного эффекта и передавливания уплотнительных поверхностей за счет инерции двигателя, редуктора и штока. При этом максимальная скорость перекрытия ограничивается также допустимой скоростью вращения механических частей ЭП, в частности подшипников двигателя и деталей редуктора. В целях сохранения редуктора и первичной шестерни при пуске необходимо также плавно «выбирать» зазор в частях механической системы.

Максимальное быстродействие в условиях ограниченной мощности двигателя может быть достигнуто при управлении близкому по критерию «постоянная мощность» с учетом ограничений по максимальному моменту

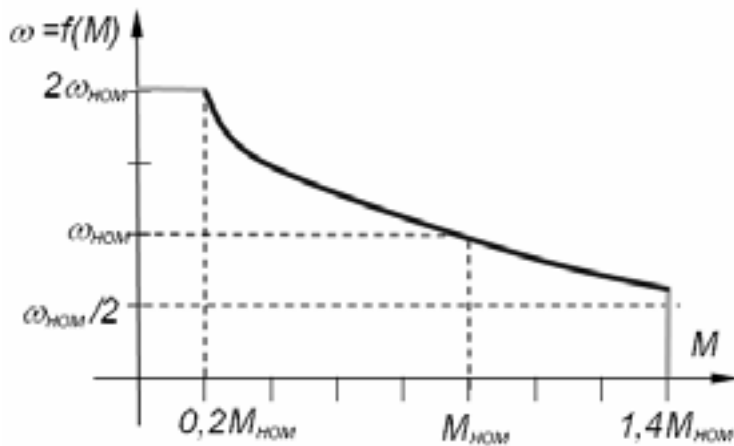


Рис. 3.28. Механическая характеристика электропривода при управлении по критерию «постоянная мощность»

и скорости. При такой организации управления, ЭП автоматически увеличивает скорость вращения двигателя при снижении момента на валу и наоборот. Механическая характеристика такого режима представлена на рис. 3.28.

Специальных требований к переходным процессам по скорости и току в ЭП задвижки нет. Единственной особенностью ЭП задвижки можно считать необходимость формирования в некоторых случаях импульса момента для преодоления сил трения покоя при пуске из уплотненного состояния. Время импульса должно стремиться к минимально необходимому – короткий импульс формирует необходимое ударное усилие трогания. При этом изменение положения штока (а, следовательно, и деформация) будет минимальным.

Типичная диаграмма задания моментограничения M и скорости ω в зависимости от положения L представлена на рис. 3.29.

Точность останова запорного органа, согласно паспортным данным на запорную арматуру, не устанавливается. В идеальном случае положение «Закрыто» должно свидетельствовать о полной герметичности закрытия затвора, а положение «Открыто» - о беспрепятственном проходе транспортируемой среды через задвижку. Тем не менее, в зависимости от особенностей конкретного ТП к ЭП ЗА могут предъявляться требования по точности останова выходного звена. Регулирование давления с помощью ЗА не допускается, и для этого применяются поворотные заслонки или клапаны.

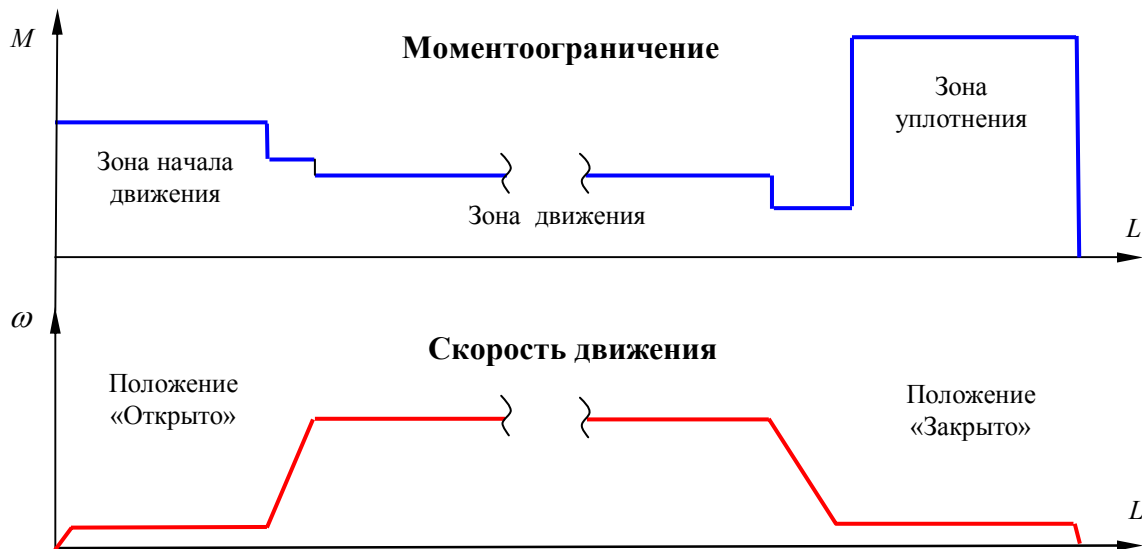


Рис.3.29. Диаграмма задания моментоограничения и скорости

В настоящее время ЭП ЗА и ЗРА строится на базе контакторных схем, ТРН или ПЧ на основе инверторов напряжения.

Контакторные схемы, как правило, интегрируются с механизмами, обеспечивающими автоматическое отключение двигателя при достижении конечных положений запорного органа и при превышении максимального момента с помощью встроенного механического устройства ограничения момента.

Основными недостатками таких схем являются:

- низкая надежность и точность работы конечных выключателей и устройства моментоограничения, в частности при эксплуатации в сложных климатических условиях (низкие температуры, высокая влажность).
- низкие эксплуатационные возможности при отклонении параметров питающей сети вследствие квадратичной зависимости момента АД от питающего напряжения.
- необходимость частичной разборки корпуса блока управления ЭП при настройке конечных выключателей и уставки устройства моментоограничения.

- наличие ударных неконтролируемых нагрузок на уплотнительные поверхности клина и седла, что снижает их срок службы. Величина пульсаций ударного момента может достигать 5-7 кратного номинального значения.
- низкая надежность коммутирующей аппаратуры (прежде всего подгорание контактов при разрыве силовой цепи).

Применение ТРН в ЭП ЗА позволяет избежать вышеуказанные недостатки, однако при этом принципиально невозможно:

- регулировать скорость вращения выше номинального значения;
- формировать повышенный момент двигателя на «искусственных» характеристиках, что приводит к низкой перегрузочной способности ЭП при просадках напряжения сети.



Рис.3.30. Блок электронного управления типа «БУР» для электропривода запорной арматуры на основе ТРН

Тем не менее, ЭП ЗА на основе ТРН, обладая высокой стойкостью к «ударным» токам двигателя и высокой надежностью, находит достаточно широкое применение. На рис. 3.30 представлен вариант блока электронного управления типа «БУР» производства ЗАО «ЭлеСи» [30].

ЭП на основе ПЧ, реализующих закон ШИМ выходного напряжения, в наибольшей степени отвечает ряду вышеперечисленных требований и ограничений, предъявляемых к ЗА.

ПЧ, как правило, выполняется по стандартной схеме «выпрямитель – инвертор» с промежуточным звеном постоянного тока (рис. 3.31). Мониторинг за состоянием ЭП осуществляется с помощью датчиков напряжения сети и в звене постоянного тока, а также с помощью датчиков тока в цепях статора АД. В качестве датчика положения и скорости ротора АД используется импульсный квадратурный датчик (энкодер).

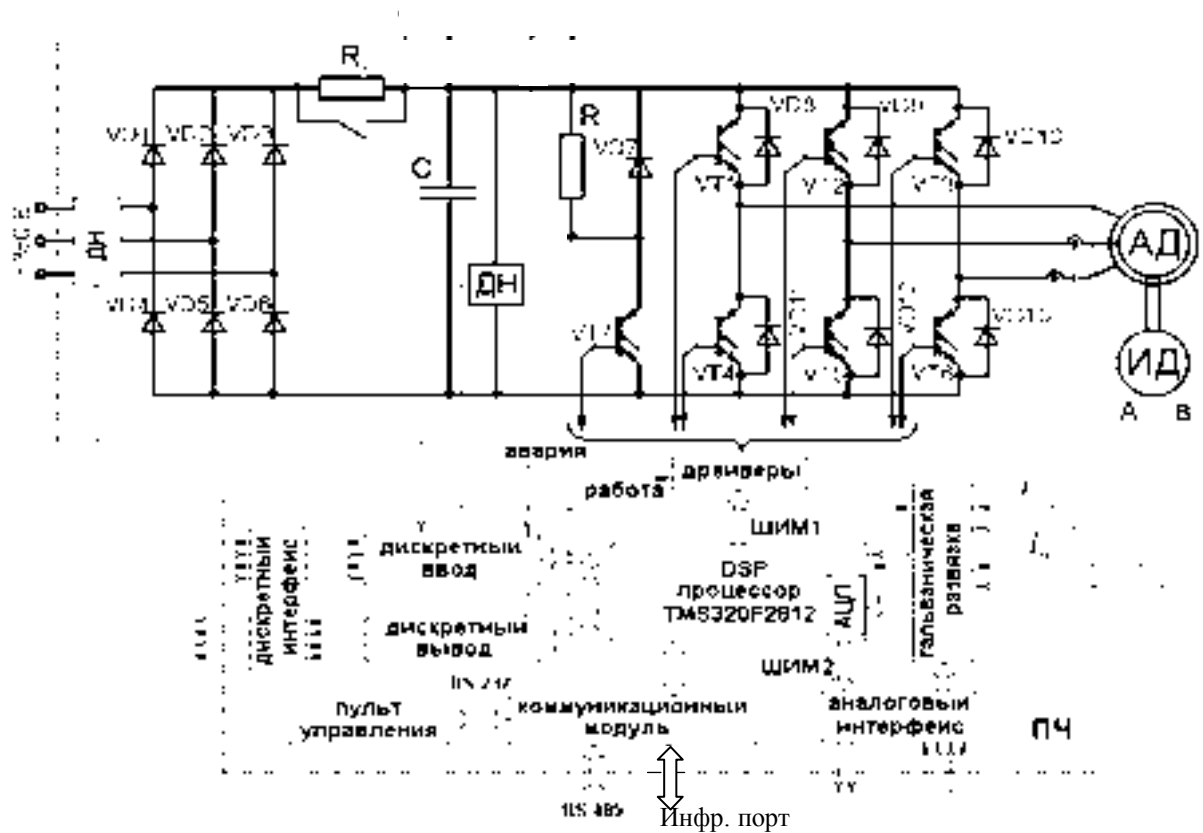


Рис.3.31. Функциональная схема преобразователя частоты

Функции управления ПЧ возложены на цифровой сигнальный процессор. Так, в ЭП ЗА «Elesyb» с блоком электронного управления типа ESD-VC производства ЗАО «ЭлеСи» используются процессоры типа TMS 320-2403, TMS320F-2812 фирмы «Texas Instruments» из специализированной серии C2000, предназначенной для управления ЭП. Программное обеспечение реализовано на базе технологий «eXpressDSP» с применением встроенной операционной системы реального времени «DSP/BIOSTM». Аппаратные возможности и оптимальная организация программного обеспечения позволяют использовать один процессор для управления ключами инвертора и организации структуры управления ЭП, а также прочими вспомогательными процедурами.

Коммуникационные возможности ПЧ включают управление с местного пульта (встроенного или выносного) и по интерфейсу RS-485 (протокол обмена ModBus-RTU). Аналоговый интерфейс включает многофункциональные входные и выходные каналы. ПЧ обладает стандартным набором защитных функций, которые позволяют сохранить работоспособность ЭП в аварийных ситуациях. Имеется ряд дополнительных функций для предупреждения и исключения аварийных ситуаций.

Дополнительно следует отметить, что среди ЭП ЗА производства ЗАО «ЭлеСи» на основе ПЧ имеется два исполнения – на основе волнового редуктора с промежуточными телами качения («Elesyb») и червячным («Elsy-drive») с посадочными местами под задвижки всех типов. Волновой редуктор позволяет существенно улучшить массогабаритные показатели ЭП. Например, при общем весе конструкции не более 90 кг с АД мощностью 4 кВт, ЭП легко монтируется на ЗА трубопровода и позволяет развивать моменты на выходном звене редуктора до 14000 Нм (!). Зарубежные фирмы (без дополнительных редукторов) таких ЭП ЗА не имеют. В качестве датчика положения и скорости в ЭП применен абсолютный энергонезависимый энкодер, позволяющий не только

организовать одну из систем управления ЭП (скалярную или векторную), но и сколь угодно долго хранить информацию о положении выходного звена ЗА и ЗРА в отсутствии внешнего электропитания. При повороте ручного дублера энкодер фиксирует и запоминает в собственном процессоре все совершенные действия. При этом в нем нет встроенных аккумуляторов. Все результаты диагностики и контроля текущих режимов ЭП автоматически заносятся в электронный журнал состояний. Дополнительно, в центральном процессоре используется множество логических конструкций, нарушение которых является признаком того или иного ненормального состояния ЭП. В случае использования ЭП в регулирующем режиме может быть применен режим идентификации объекта управления и самонастройки встроенного в процессор регулятора в момент включения системы, что позволяет автоматически синтезировать регулятор по прямым показателям качества (параметрам желаемой переходной



характеристики) замкнутой САР – перерегулированию и времени регулирования [31]. К подобной разновидности относится интеллектуальный ЭП «ГУСАР» (рис. 3.32) с электронным блоком ESD-VCX, ЗАО «ЭлеСи» на диапазон мощностей от 90 до 1500 Вт.

Рис.3.32. Электропривод запорно-регулирующей арматуры «ГУСАР» с блоком электронного управления ESD-VCX

Дополнительной особенностью ЭП является наличие алгоритма идентификации ОУ и самонастройки встроенного в процессор регулятора технологического контура. Основная область применения – нефтяная, газовая, нефтехимическая и другие отрасли промышленности, в технологических процессах которых используется многооборотный, неполнооборотный и прямоходовой ЭП для управления ЗРА и ЗА различных типов с сечением трубопровода 25-1200 мм. Рассмотренные в настоящем разделе ЭП могут быть легко встроены в распределенную систему управления или систему Fieldbus, поскольку обладают необходимыми для этого вычислительными мощностями и коммуникационным интерфейсом.

Глава 4. УСТРОЙСТВА СОПРЯЖЕНИЯ С ОБЪЕКТАМИ УПРАВЛЕНИЯ

4.1. Общие сведения и требования стандартов

Устройства сопряжения с объектами (УСО) управления являются техническими средствами, позволяющими «поставлять» и/или «принимать» сигналы управления в системе «управляющее устройство – объект управления». Конструкция, вид ОУ и цель управления им накладывают определенные требования на конструкцию и схемотехническую реализацию УСО. Ввиду этого УСО не поддаются унификации и в каждом конкретном случае возможно то или иное техническое решение [32].

Вне зависимости от конкретной технической реализации УСО должны отвечать требованиям стандартов по характеристикам входных и выходных сигналов.

Стандарт ГОСТ 26.011-80 «Средства измерений и автоматизации. Сигналы тока и напряжения электрические входные и выходные» Настоящий стандарт распространяется на средства измерений и автоматизации (СИА) и устанавливает основные параметры электрических непрерывных входных и выходных сигналов тока и напряжения, предназначенных для информационной связи между СИА [33].

Стандарт не распространяется:

- на генераторные первичные преобразователи СИА с выходными сигналами, параметры которых однозначно связаны с преобразуемой физической величиной и по своей природе не зависят от конструкции и параметров самого преобразователя, и на устройства, воспринимающие эти сигналы (в части входных сигналов);
- на СИА, сигналы которых выдаются только на устройства, поставляемые и работающие комплектно с ними (в части этих сигналов).

Стандарт оперирует следующими терминами:

Сигнал напряжения - сигнал, поступающий от источника с входным сопротивлением, значение которого намного меньше входного сопротивления приемника сигнала.

Сигнал тока - сигнал, поступающий от источника с выходным сопротивлением, значение которого намного больше входного сопротивления приемника сигнала.

Абсолютное значение сигнала напряжения - напряжение, соответствующее значению измеряемого параметра.

Относительное значение сигнала напряжения - отношение между собой двух напряжений, дающее информацию о значении измеряемого параметра.

Нагрузочное сопротивление - сумма сопротивлений всех соединенных приемников сигнала и линий связи.

Пульсация - разность между наибольшими и наименьшими мгновенными значениями сигнала.

Пределы изменения силы тока сигналов постоянного тока для СИА, в том числе и входящих в агрегатные комплексы (АК), а также входные и нагрузочные сопротивления следует выбирать из таблицы 4.1.

Таблица 4.1

Характеристики тока и нагрузочные сопротивления

Пределы изменения силы тока, мА		Максимальное сопротивление, Ом	
Сигналов СИА, не входящих в АК	Сигналов СИА, входящих в АК	Входное, не более	Нагрузочное, не менее
От 0 до 5 включ.	От 0 до 5 включ.	500	2500 (2000)
От -5 до +5 включ.	От -5 до +5 включ.	500	2500 (2000)
От 0 до 20 включ.	От 0 до 20 включ.	250	1000 (500)
От 4 до 20 включ.	От 4 до 20 включ.	250	1000 (500)
От -20 до +20 включ.*	-	250	1000 (500)
От -100 до +100 включ.*		150	250 (100)

* Допускается по согласованию с потребителем.

Примечание. Значения, указанные в скобках, относятся к СИА, выполненным на интегральных микросхемах.

Пределы изменения абсолютных значений сигналов напряжения постоянного тока, входные и нагрузочные сопротивления следует выбирать по таблице 4.2.

Таблица 4.2

**Пределы изменения напряжений.
Входные и нагрузочные сопротивления**

Пределы изменения напряжения, В		Минимальное сопротивление, Ом	
сигналов СИА, не входящих в АК	сигналов СИА, входящих в АК	входное, не менее	нагрузочное, не более
От 0 до 0,01 включ.*	-	10000	-
От 0 до 0,05 включ.*			
От 0 до 0,10 включ.*			
От 0 до 1 включ.			
От -1 до +1 включ.			
От 0 до 5 включ.	От 0 до 5 включ.	-	1000
От 1 до 5 включ.	От 1 до 5 включ.		1000
От -5 до +5 включ.	-	-	1000
От 0 до 10 включ.	От 0 до 10 включ.		2000
От -10 до +10 включ.	От -10 до +10 включ.		2000
От 2,4 до 12,6 включ.	-		-
От -2,4 до -12,6 включ.			

* Допускается по согласованию с потребителем.

Примечание. Значения нагрузочных сопротивлений, не указанные в таблице 4.2, должны быть установлены в стандартах и (или) технических условиях на СИА конкретного вида.

Пределы изменений амплитудных значений сигналов напряжения переменного тока частотой 50 и 400 Гц необходимо выбирать из следующих значений:

от 0 до 0,5 В

от -1* до 1 В

от 0 до 2 В

Пределы изменения составляющих относительных значений сигналов напряжения постоянного тока и амплитудные значения переменного тока частотой 50 и 400 Гц следует выбирать из таблицы 4.3

Таблица 4.3

Пределы изменения составляющих сигналов напряжения, В	
постоянного тока	переменного тока
От 2,4 до 12,6	От 0 до 8
От -2,4 до -12,6	

При этом значения пульсации сигналов постоянного тока и напряжения должны быть не более 0,1; 0,25; 0,6% верхнего предела изменения выходных сигналов и устанавливаться в стандартах и (или) технических условиях на СИА конкретного вида.

Примечания:

14. Указанное нормирование относится к случаям, когда информацию несет мгновенное значение сигнала. Если информацию несет среднее значение сигнала, то нормирование пульсации следует проводить в стандартах и (или) технических условиях на СИА конкретного типа.

15. Значение пульсации сигналов тока при нагрузочных сопротивлениях, не превышающих значений, указанных ниже, следует устанавливать в технических условиях на СИА конкретного вида.

От 0	до 5 мА	включ.	1000 Ом
» -5	» +5 мА	»	1000 Ом
» 0	» 20 мА	»	250 Ом
» 4	» 20 мА	»	250 Ом

» -20 » +20 мА » 250 Ом
 » -100 » +100 мА » 50 Ом

Коэффициент гармоник сигналов напряжения переменного тока должен быть не более 5%.

Угол сдвига фазы сигнала напряжения переменного тока по отношению к фазе напряжения питания или фазе тока питания, сдвинутой на 90° , выбирают из следующего ряда: $(0 \pm 0,5)$, $(1 \pm 0,5)$, $(2 \pm 0,5)$, $(3 \pm 1,0)$, $(5 \pm 1,0)$, $(7 \pm 1,5)^\circ$.

Стандарт ГОСТ 26.010-80 «Средства измерений и автоматизации. Сигналы частотные электрические непрерывные входные и выходные» распространяется СИА и устанавливает основные параметры входных и выходных частотных электрических непрерывных сигналов, предназначенных для информационной связи между СИА, у которых частота синусоидального или несинусоидального напряжения (тока) однозначно соответствует значениям непрерывной величины, которую они представляют, а также к параметрам входных и выходных цепей этих СИА [34].

Стандарт не распространяется на телефонные и телеграфные каналы связи с их оборудованием, а также на устройства, согласующие сигналы каналов связи и СИА; на устройства, предназначенные для контроля и регулирования частоты как параметра технологического процесса; на приводные устройства исполнительных механизмов и аппаратуру управления ими; на СИА, у которых параметры выходных сигналов и частота их следования однозначно связаны с преобразуемой физической величиной и по своей природе не зависят от конструкции и параметров самого устройства, а также преобразователей сигналов этих устройств, например на входную частоту датчиков скорости вращения.

Зависимость между частотой сигнала f и текущим значением преобразуемой величины P должна выражаться формулой:

$$f = f_0 + \frac{P - P_0}{\Delta P_{\max}} \Delta f_{\max}, \quad (4.1)$$

где f_0 - начальное значение частоты, соответствующее нижнему предельному значению преобразуемой величины; Δf_{\max} - диапазон изменения частоты; P_0 - нижнее предельное значение преобразуемой величины; ΔP_{\max} - диапазон изменения преобразуемой величины.

Допускается применять частотные сигналы, у которых изменение периода линейно зависит от разности между текущим и нижним предельным значениями преобразуемой величины. В этом случае начальная частота должна соответствовать предельному значению, а Δf_{\max} - диапазону изменения преобразуемой величины. Начальное значение частоты f_0 и диапазон изменения частоты Δf_{\max} для каждого значения f_0 следует выбирать из таблицы 4.4.

Таблица 4.4

Начальное значение частоты f_0, Гц	0	4	8	16	250	500	1000	2000	4000	8000
Диапазон изменения частоты Δf_{\max}, Гц	4	4	4	4	—	—	—	—	—	—
	8	8	8	8	—	—	—	—	—	—
	16	16	16	—	—	—	—	—	—	—
	250	—	—	—	250	—	250	250	—	—
	500	—	—	—	—	500	500	500	500	—
	1000	—	—	—	—	—	1000	1000	1000	—
	2000	—	—	—	—	—	—	2000	2000	—
	4000	—	—	—	—	—	—	—	4000	—
	8000	—	—	—	—	—	—	—	—	8000

Для начальной частоты, равной нулю, допускается выбирать Δf_{\max} из ряда 10, 20, 40, 80, 100 кГц.

Для измерительных преобразователей класса 0,4 и более точных сопрягаемых с ними устройств допускается:

- нелинейная зависимость между частотой (периодом) сигнала и значением P преобразуемой величины. Характер зависимости должен быть установлен в стандартах или технических условиях на СИА конкретных видов. Начальная частота и диапазон изменения частоты должны соответствовать указанным в таблице 4.1.
- не учитывать при определении основной погрешности допускаемые (установленные для каждого конкретного измерительного преобразователя) отклонения f_0 и Δf_{\max} от указанных в таблице 4.1 при условии, что значения этого отклонения не превышают 5%.

Фазовую нестабильность частотного сигнала, определяемую как отклонение действительного значения периода при неизменном значении преобразуемой величины от его расчетного значения $T = 1/f$, следует выбирать из ряда $(1, 2, 5)10^{-k}T$, где k равно 2 и 3, и устанавливать в стандартах или технических условиях на СИА конкретных видов.

Стандартом допускается вместо действительного значения периода использовать среднее арифметическое значение за n последовательных периодов. В этом случае n следует выбирать из ряда 2, 4, 8, 10, 20, 40, 80, 100 и указывать в нормативно-технической документации на СИА конкретных видов.

Амплитуда выходных сигналов синусоидальной формы должна быть от 1,0 до 1,6 В. Уровни выходных сигналов несинусоидальной формы должны соответствовать значениям, указанным в таблице 4.5.

Таблица 4.5

Высокий уровень	От 2,4 до 5,25 В	От 1,0 до 1,6 В	От 8 до 12 мА	От 16 до 24 мА	От 40 до 60 мА
Низкий уровень	От 0 до 0,4 В	От -1,6 до 0 В	От 0 до 0,5 мА	От 0 до 1 мА	От 0 до 2,5 мА

Уровни выходных сигналов для изделий с использованием микросхем на МДП-структурах устанавливают в стандартах и технических условиях на СИА конкретных групп и видов.

Значения параметров выходных сигналов (таблица 4.5) нормируют для значений активного сопротивления нагрузки, устанавливаемых в стандартах или технических условиях на СИА конкретных видов. Номинальные значения активного сопротивления выбирают из ряда 75, 150, 300, 600, 1400, 6000 Ом с допускаемыми отклонениями, установленными в стандартах или технических условиях на СИА конкретных видов.

Низкое сопротивление для выходных сигналов, формируемых периодическим изменением электрического сопротивления выходной цепи, должно быть не более 200 Ом, высокое сопротивление - не менее 50 кОм. Действительные значения низкого и высокого сопротивлений выходных цепей источников сигналов следует определять соответственно как частные от деления остаточного падения напряжения на предельно допускаемый ток и предельно допускаемого напряжения на остаточный ток. Значения предельно допускаемых и остаточных токов и напряжений устанавливают в стандартах и технических условиях на СИА конкретных видов.

Для выходных сигналов синусоидальной формы максимально допускаемое отношение высших гармонических составляющих напряжения к напряжению основной гармоники в установившемся режиме следует выбирать из ряда 10, 5, 2% и устанавливать в стандартах и технических условиях на СИА конкретных видов.

Для выходных сигналов несинусоидальной формы параметры сигналов должны быть установлены в стандартах и технических условиях на СИА конкретных видов.

Амплитуда входных сигналов синусоидальной формы должна находиться в одном из следующих диапазонов: 40 -160 мВ; 160 – 600 мВ; 0,6 -2,4 В.

СИА с входными непрерывными частотными сигналами должны быть рассчитаны на прием сигналов синусоидальной формы, амплитуды которых лежат в одном или нескольких смежных диапазонах. Входные сигналы с амплитудой менее 1/4 части нижнего предела диапазона не должны восприниматься приемными устройствами.

Уровни входных сигналов несинусоидальной формы должны соответствовать значениям, указанным в таблице 4.6.

Таблица 4.6

Высокий уровень	От 2,0 до 5,25 В	От 0,6 до 2,4 В	От 6 до 12 мА	От 12 до 24 мА	От 32 до 60 мА
Низкий уровень	От -0,4 до +0,8 В	От -2,6 до +0,15 В	От 0 до 0,5 мА	От 0 до 1 мА	От 0 до 2,5 мА

Уровни входных сигналов СИА с использованием микросхем на МДП-структурах устанавливают в стандартах и технических условиях на СИА конкретных групп и видов.

Входные сопротивления устройств с входными частотными сигналами синусоидальной формы следует определять как частное от деления эффективных значений входного напряжения на входной ток, соответствующих минимальной амплитуде входного сигнала диапазона (см. выше).

Для устройств с входными сигналами несинусоидальной формы требования к значениям входного сопротивления и способы их определения указывают в стандартах или технических условиях на СИА конкретных видов.

СИА, рассчитанные на прием частотных сигналов, должны воспринимать как сигнал низкого уровня подключенную ко входу цепь с активным сопротивлением 1 кОм и менее, и как сигнал высокого уровня с активным сопротивлением 10 кОм и более.

В стандартах или технических условиях на СИА конкретных видов должны быть указаны следующие параметры:

- при низком сопротивлении цепи, подключенной ко входу, - входной ток (с указанием его направления) и предельно допустимое остаточное напряжение на входе;
- при высоком сопротивлении цепи, подключенной ко входу, - предельно допустимый входной ток;
- при размыкании цепи, подключенной ко входу, - максимальное напряжение на входе.

4.2. Примеры построения УСО

На рис. 4.1 изображена структура УСО применительно к гипотетическому объекту управления, который характеризуется различными сигналами на выходе и входе. УСО обеспечивает связь объекта управления с шиной данных микроконтроллера (МК) с использованием интерфейсных схем (Ин.Вв). Технологические параметры объекта (температура, давление, перемещение, влажность и пр.) в первичных преобразователях (ПП) - термопарах, термометрах сопротивления, индуктивных датчиках – преобразуются в электрические сигналы (постоянное напряжение или частоту). Пройдя через блок нормирующих преобразователей (БНП), обеспечивающий стандартный уровень сигнала, контролируемые параметры поступают на мультиплексор (МС), который коммутирует один из входных сигналов на единственный выход. Коммутация обеспечивается подачей цифрового кода через интерфейс вывода (Ин.Выв.) посредством программы. Скоммутированный канал подается на схему выборки и хранения (УВХ) и далее на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), на выходе которого формируется цифровой код, пропорциональный величине контролируемого параметра. Затем цифровой код может быть считан в МП через интерфейс ввода (Ин.Вв.) и шину данных системы. Считанный

цифровой код подвергается дальнейшей цифровой обработке в МП по определенному алгоритму. Если необходима индикация результата измерений, то через Ин.Выв результирующая информация может быть подана на цифровой индикатор. Если по результатам измерения необходимо воздействовать на объект, то Ин.Выв может быть использован для передачи через схему управления (Сх.У) и исполнительное устройство (ИУ) управляющего воздействия на объект. Конструкция схемы управления существенно зависит от типа исполнительного устройства. Если исполнительное устройство представляет собой, например, бесконтактное релейное устройство, обеспечивающее полное включение или выключение управляющего воздействия, то для управления на его вход достаточно подать сигнал, принимающий только два состояния: низкого или высокого уровня. Схема управления в этом случае должна выполнять функции усилителя мощности, работающего в ключевом режиме. Если же управляющее воздействие должно изменяться непрерывно, то схема управления должна преобразовать цифровой код, подступающий на ее вход из шины данных микроконтроллера через интерфейс вывода, в непрерывный аналоговый сигнал необходимой мощности. Такие схемы управления обычно строятся на базе цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП).

В случае, когда контролируемый параметр преобразуется в частоту, процедура его ввода в микропроцессор значительно упрощается и после формирования в блоке формирования сигнала (БФС) и коммутирования в микропроцессоре сводится к подаче на вход таймера. Все остальные преобразования, связанные с расчетом величины контролируемого параметра, обеспечиваются за счет управляющей программы. В этом случае таймер может быть использован и для формирования в «Сх.У» управляющего воздействия, например, за счет управления углом открывания тиристора.

Следует заметить, что такие звенья УСО, как мультиплексор, схема выборки и хранения, АЦП и Сх.У, нуждаются в управляющих воздействиях всякий раз, когда требуется обращение к ним. Управление этими устройствами осуществляется программно-цифровым кодом, поступающим из шины данных (ШД) системы через интерфейс вывода.

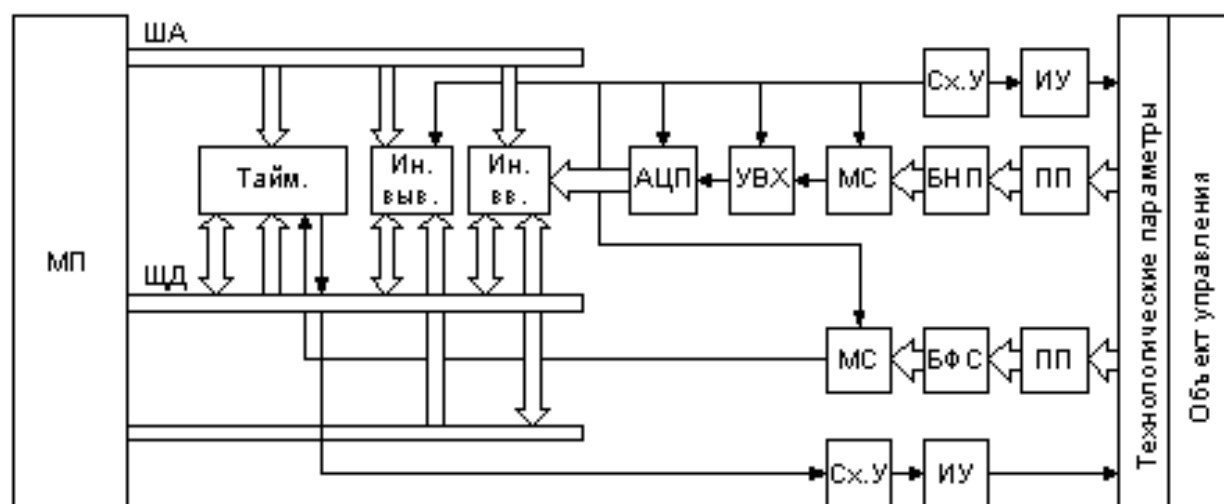


Рис. 4.1. Пример структурного построения УСО

Рассмотрим построение УСО на примере измерительных преобразователей с искробезопасным входом серии «ЕТ» российской компании ЗАО «ЭлеСи» [35].

При автоматизации объектов нефтегазовой промышленности постоянно возникает задача обработки сигналов от взрывозащищенных датчиков. В настоящее время на рынке имеется большое количество измерительных преобразователей с искробезопасным входом производства как отечественных, так и зарубежных фирм, характеристики которых перекрывают широкий диапазон по точности и по цене.

Все устройства серии «ЕТ» имеют входную искробезопасную цепь уровня «ia» по ГОСТ Р 51330.10 и маркировку взрывозащиты [Exia] ПС, устанавливаются вне взрывоопасной зоны и осуществляют преобразование и гальваническое разделение сигнала с датчиков, установленных во взрыво-



Рис. 4.2. Измерительный преобразователь с искробезопасным входом серии «ЕТ». Компания «ЭлеСи», Россия

опасной зоне. Конструктивно устройства выполнены на печатных платах и пластмассовом корпусе (рис. 4.2).

Выходные (неискробезопасные) цепи сигнализации и питания всех преобразователей допускают работу с оборудованием общего назначения с питанием от промышленной сети напряжением, не более 250 В. Устройства обеспечивают

гальваническую развязку между входными цепями и питанием (с выполнением требований к гальванической развязке согласно ГОСТ Р 51330.10) и между выходными цепями и питанием.

В состав серии «ЕТ» входят следующие устройства:

- 3) Разделительный преобразователь дискретного сигнала ЕТ-101, выполняющий функцию преобразования дискретных сигналов типа «сухой контакт», «открытый коллектор», источник постоянного тока, источник напряжения или датчик типа NAMUR с диагностикой состояния линии. Преобразователь имеет два независимых канала и выходы типа «сухой контакт».
- 4) Преобразователь измерительный разделительный ЕТ-420, предназначенный для питания, преобразования и гальванического разделения сигналов датчиков с унифицированным токовым выходом 0(4)-20 мА.
- 5) Преобразователь измерительный разделительный ЕТ-301, предназначенный для преобразования и гальванического

разделения сигналов термопреобразователей сопротивления типа ТСМ, ТСР по ГОСТ 6651-94.

- б) Преобразователь измерительный разделительный ЕТ-302, предназначенный для преобразования сигналов термопар типа К и L по ГОСТ Р 8.585-2001 в значение напряжения постоянного тока или величины постоянного тока.

Конструктивно все устройства могут крепиться на DIN-рельс. Степень защиты корпуса – IP 20. Электрический монтаж осуществляется посредством клеммных соединителей.

Преобразователь ЕТ-101 выполнен на основе двухслойной печатной платы, аналоговые преобразователи на основе четырехслойных печатных плат. Элементы схем, обеспечивающие искробезопасность, залиты компаундом. Масса любого из устройств не превышает 0,25 кг. На боковых сторонах корпуса приведены схемы подключения преобразователей и их основные технические характеристики.

Электропитание всех устройств осуществляется от сети постоянного тока напряжением 24 В (от 20 до 28 В). Мощность потребления не превышает 4 Вт.

Преобразователи удовлетворяют нормам промышленных радиопомех, установленным для оборудования класса А по ГОСТ Р 51318.22-99 (СИСПР 22-97) и имеют диапазон рабочих температур от минус 20 до плюс 60 °С.

Среднее время наработки на отказ – не менее 80 000 ч, средний срок службы не менее 10 лет. Преобразователи выпускаются в соответствии с требованиями стандарта ISO9001.

Структурная схема преобразователя ЕТ-101 приведена на рис. 4.3. Преобразователь состоит из следующих функциональных узлов:

- 1) входной барьер искробезопасности, ограничивающий ток и напряжение линии датчика до значений искробезопасной цепи;

- 2) дискриминатор состояния линии, определяющий состояние датчика (замкнуто/разомкнуто), а также аварийное состояние линии (обрыв или короткое замыкание);
- 3) разделительные реле, выполняющие функцию гальванической развязки выходов и обеспечивающие защиту искробезопасной цепи от напряжения со стороны сигнальных выходов. Реле позволяют коммутировать напряжение от 0 до 42 В постоянного тока, от 0 до 250 В переменного тока при токе коммутации от 0 до 2 А;
- 4) блок питания, имеющий защиту от подачи напряжения обратной полярности.

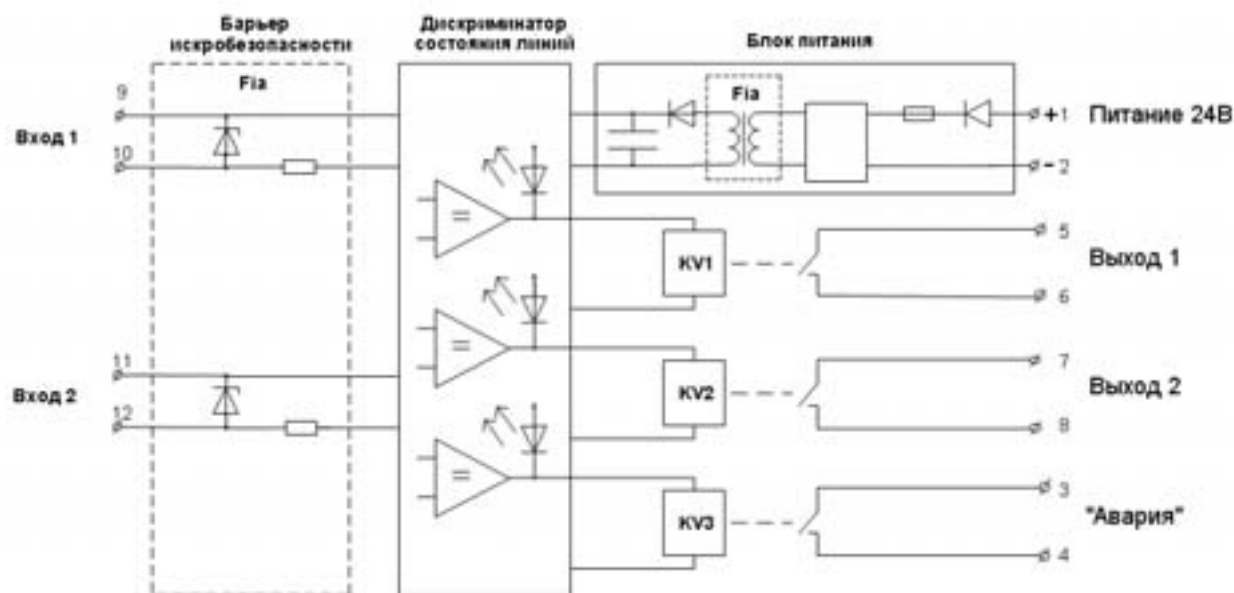


Рис. 4.3. Структурная схема преобразователя ET-101.

Состояние датчиков отображается на светодиодном индикаторе.

Напряжение питания датчиков – 8,2 В.

Дискриминатор состояния линии позволяет изменять логику работы устройства. Каждый канал может быть независимо установлен в режим прямой или инверсной передачи путем изменения положения микропереключателя, расположенного на печатной плате преобразователя, также могут изменяться режимы выдачи сигнала «Авария». Доступ к переключателям возможен только при открытом корпусе.

Для обеспечения определения аварийных состояний линии датчики должны обеспечивать ток замкнутого состояния линии 2,4 – 4 мА, разомкнутого – 0,4 - 1,2 мА (механические контакты должны быть снабжены резисторами). Структурная схема преобразователя ЕТ-420 приведена на рис. 4.4.

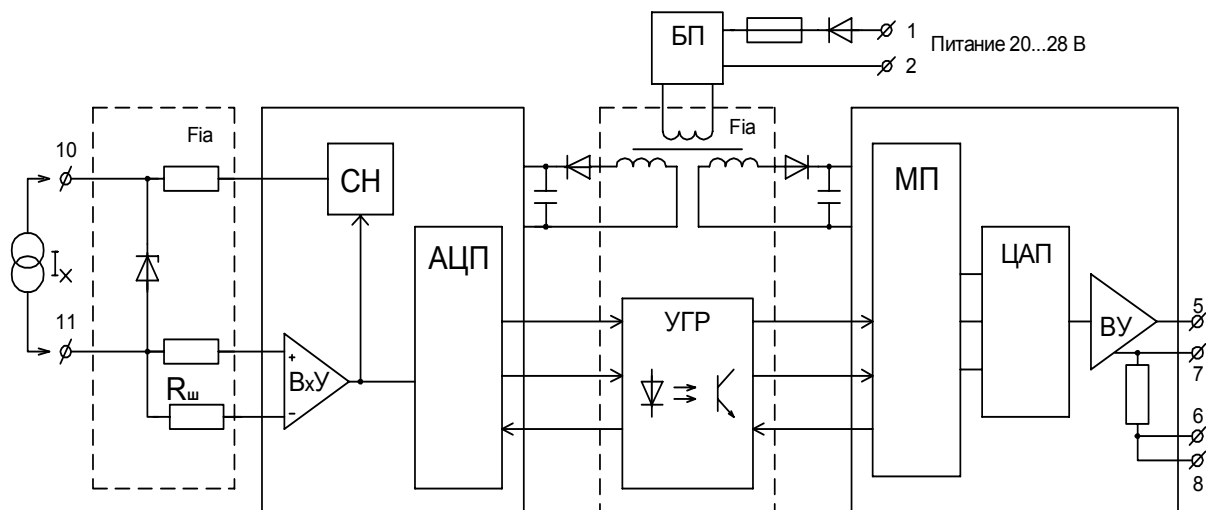


Рис. 4.4. Структурная схема преобразователя ЕТ-420.

Преобразователь состоит из следующих функциональных узлов:

- 1) стабилизатор напряжения, предназначенный для стабилизации напряжения питания и ограничения тока датчика;
- 2) усилитель входного сигнала;
- 3) аналого-цифровой преобразователь;
- 4) узел гальванической развязки, предназначенный для передачи и гальванического разделения управляющих и информационных сигналов между искробезопасной и искроопасной цепями и выполненный на оптронах.
- 5) микроконтроллер;
- 6) цифро-аналоговый преобразователь;
- 7) выходной усилитель, формирующий выходной ток (или напряжение);
- 8) блок питания.

Передача сигнала через изоляционный барьер производится в цифровом виде. Данная структура позволяет выполнить требования по точности преобразования сигнала в заданном диапазоне температур.

Преобразователь имеет токовый выход. Максимальное сопротивление нагрузки на токовом выходе – не более 500 Ом. Путем установки перемычки на выходную клемму может быть подключен внутренний нагрузочный резистор и сформирован выход по напряжению.

Преобразователь ЕТ-420 имеет следующие технические характеристики:

- 1) Напряжение питания датчика от 14 до 20 В.
- 2) Погрешность преобразования сигнала (вход-выход, выход по току) не более 0,1%.
- 3) Предел допускаемой приведённой погрешности преобразования сигнала (вход-выход, выход по току) в рабочих условиях, не более 0,3%.
- 4) Диапазон выходного тока от 0 до 22 мА (нагрузка 500 Ом).
- 5) Диапазон выходного напряжения от 0 до 11 В (нагрузка 1 МОм).
- 6) Время нарастания выходного сигнала от уровня 0,1 до уровня 0,9 – не более 10 мс.

Структурная схема преобразователя ЕТ-301 приведена на рис. 4.5.

Преобразователь состоит из следующих функциональных узлов:

- 1) источник тока термодатчика (I), предназначенный для формирования стабильного тока через термопреобразователь. Номинальное значение тока термопреобразователя – 2 мА. Напряжение холостого хода на входе преобразователя – 5 В;
- 2) аналого-цифровой преобразователь (АЦП), выполненный по принципу дельта-сигма модуляции и имеющий разрешение 16 разрядов;
- 3) узел гальванической развязки (УГР);

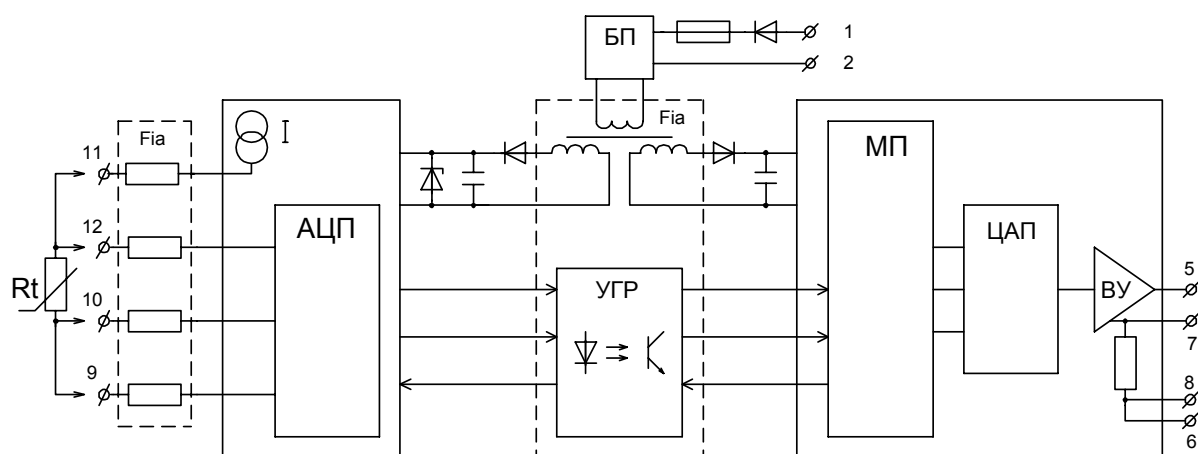


Рис. 4.5. Структурная схема преобразователя ЕТ-301.

- 4) микроконтроллер (МП);
- 5) цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП);
- 6) выходной усилитель (ВУ);
- 7) блок питания (БП).

Преобразователь обеспечивает преобразование сопротивления термопреобразователей сопротивления типа ТСМ, ТСР с номинальными статическими характеристиками 50М, 100М, 50П, 100П, Pt100 по ГОСТ 6651-94 в значение напряжения постоянного тока или величины постоянного тока, соответствующее температуре термопреобразователя.

Переключение типов датчиков и режимов работы осуществляется переключками, расположенными на печатной плате преобразователя.

Структурная схема преобразователя ЕТ-301 приведена на рис. 4.6.

Преобразователь состоит из следующих функциональных узлов:

- 1) аналого-цифровой преобразователь (АЦП), производящий преобразование измеряемой величины в двоичный цифровой код, цифровую фильтрацию данных и их передачу за пределы искробезопасной цепи через узел гальванической развязки. АЦП выполнен по принципу дельта-сигма модуляции и имеет разрешение 16 разрядов;

- 2) узел гальванической развязки (УГР), выполненный на оптронах;
- 3) микропроцессор (МП);
- 4) цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП);
- 5) выходной усилитель (ВУ);
- 6) преобразователь питания (БП).

Преобразователь имеет следующие технические характеристики:

- 1) Тип подключаемых термопар - К и L по ГОСТ Р 8.585-2001.
- 2) Диапазоны измеряемых температур - 0 до +900 °С для термопары типы К и от 0 до +800 °С для термопары типа L.
- 3) Предел допускаемой основной приведенной погрешности преобразования не более 0,1 % для режима выхода по току и не более 0,2 % для режима выхода по напряжению.
- 4) Предел допускаемой приведённой погрешности преобразования сигнала в рабочих условиях - не более 0,3 % для режима выхода по току и не более 0,4 % для режима выхода по напряжению.
- 5) Преобразование производится по линейному закону в значение постоянного выходного тока или напряжения, лежащие в диапазонах:
 - ❑ ток от 0 до 20 мА и от 4 до 20 мА;
 - ❑ напряжение от 0 до 10 В и от 2 до 10 В.
- 6) Время нарастания от уровня 0,1 до уровня 0,9 и спада от уровня 0,9 до уровня 0,1 максимального значения выходного сигнала преобразователя - не более 1 с.
- 7) Входное сопротивление преобразователя - не менее 1 МОм.
- 8) Коэффициент подавления помехи общего вида на частоте 50 Гц - не менее 100 дБ.

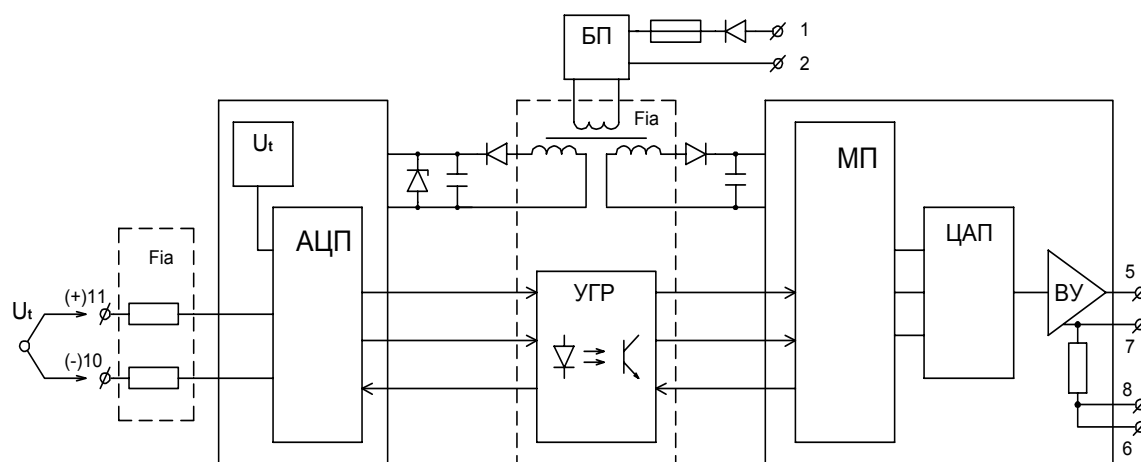


Рис. 4.6. Структурная схема преобразователя ET-302.

Преобразователь имеет встроенную компенсацию температуры свободных концов термопары, с возможностью её отключения при эксплуатации. При отключенной компенсации температура свободных концов принимается постоянной и равной $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Погрешность встроенной компенсации температуры свободных концов - не более $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Взрывозащищенное исполнение преобразователей обеспечивается выполнением требований ГОСТ Р 51330.0-99 и видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь уровня ia» по ГОСТ Р 51330.10-99 за счет следующих конструктивных и схемотехнических решений:

- гальванической развязки искробезопасных цепей, гальванически связанных с искробезопасными цепями, от внешней сети питания, обеспечиваемой высокочастотным разделительным трансформатором, выполненным на ферритовом магнитопроводе. Первичная обмотка трансформатора защищена предохранителем. Первичные и вторичные обмотки трансформатора выполнены на разных секциях каркаса. Трансформатор конструктивно выполнен в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51330.10-99;

- ограничением напряжения и тока во входной цепи преобразователя до искробезопасных значений с помощью блока искрозащиты на троированных стабилитронах и резисторах, выполненном в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51330.10-99;
- гальванического разделения искроопасных цепей, связанных с искробезопасными цепями, от цепей внешних приборов посредством оптронов, обеспечивающих напряжение гальванического разделения 1500 В (эффективное значение).

Пути утечки, электрические зазоры и электрическая прочность изоляции между выводами оптронов, гальванически связанными с искробезопасной цепью, и выводами, подключенными к искроопасным цепям внешних приборов, удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 51330.10-99 за счет:

- ограничения суммарной емкости и индуктивности нагрузки и линии связи до искробезопасных значений.
- защиты оптронов гальванической развязки от попадания напряжения промышленной сети путем установки предохранителей и троированных стабилитронов.

Таким образом, преобразователи серии «ЕТ» по своим техническим характеристикам соответствуют лучшим аналогичным устройствам ведущих зарубежных фирм.

Применение измерительных преобразователей с искробезопасным входом производства компании «ЭлеСи» в системах автоматики и телемеханики на взрывоопасных объектах позволяет значительно повысить точность измерений (по сравнению с аналогичными преобразователями производства отечественных фирм), и тем самым повысить достоверность и надежность информации о состоянии технологического объекта, что в конечном итоге позволит повысить безопасность и экономические показатели производства.

Глава 5. УСТРОЙСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Видеоинформация о конкретном технологическом процессе может быть представлена для восприятия персоналом различными устройствами - от простейших – ламп накаливания и светодиодов, до наиболее сложных – видеомониторов [36-38].

5.1. Светодиоды и светодиодные экраны

Одним из современных индикаторных устройств отображения информации являются полупроводниковые светодиоды.

Светодиод LED (Light Emitted Diod) представляет собой полупроводниковый источник света, содержащий один или несколько испускающих



Рис.5.1. Устройство светодиода

свет кристаллов, расположенных в одном корпусе с линзой, формирующей световой поток (рис.5.1). По внешнему конструктивному признаку светодиоды подразделяются на приборы в металлических корпусах со стеклянной линзой и пластмассовых корпусах из оптически прозрачного, чаще цветного компаунда. Свет, излучаемый полупро-

водниковым кристаллом, отражается от рефлектора и проходит через прозрачный или полупрозрачный корпус.

Основной светотехнической характеристикой светодиода является сила излучаемого им света (K_d – кандел). К светотехническим характеристикам также относятся длина волны излучаемого цвета и диаграмма направленности.

Современные светодиоды, применяемые в панелях отображения информации и экранах имеют следующие длины волн: синий 430 - 470 нм, зеленый 515 – 530 нм, красный 630 – 670 нм. Появление синего светодиода

позволило создавать полноцветные светодиодные экраны. А разработка зеленого (чисто зеленого или изумрудно-зеленого) светодиода с более короткой длиной волны (ранее использовались диоды с длиной волны 570 нм) - значительно улучшить цветовые характеристики изображения.

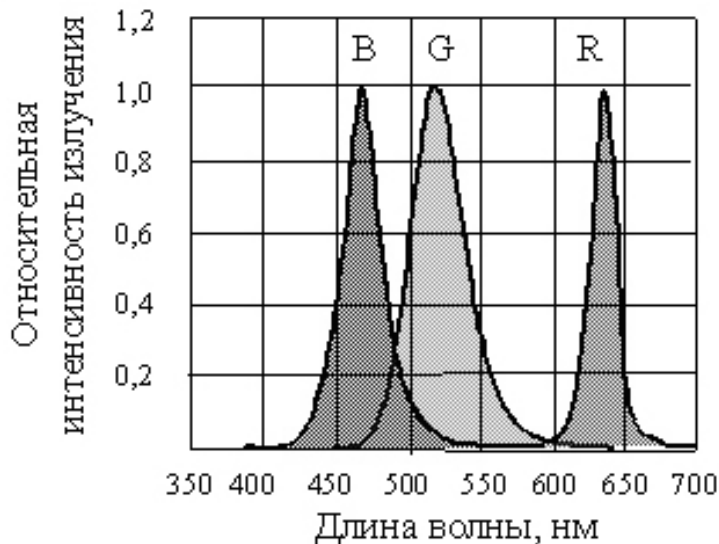


Рис.5.2. Спектральные характеристики синего (B), зеленого (G) и красного (R) светодиодов

На рис. 5.2 показаны спектральные характеристики трех различных светодиодов. Выходная диаграмма направленности светового потока (угол излучения) формируется как формой внутреннего рефлектора, так и формой корпуса светодиода (выходной линзы). Варьируя пара-

метры рефлектора и корпуса, можно создавать различные диаграммы направленности шириной от 4 до 160°. Более того, возможно создание диаграмм направленности с различной шириной по вертикали и горизонтали, например, 120° по горизонтали и 60° по вертикали (так называемые овальные светодиоды).

Цветные светодиоды могут содержать в одном корпусе красные (Red), зеленые (Green) и синие (Blue) кристаллы. При смешении излучения указанных трех цветов в определенном соотношении получаются белый цвет и вся цветовая гамма (технология RGB).

Основные преимущества светодиодов:

- В светодиоде, в отличие от лампы накаливания или люминесцентной лампы, электрический ток преобразуется непосредственно в

световое излучение, теоретически это можно сделать почти без потерь, с максимальным КПД.

- Излучение происходит в узкой части спектра, что позволяет формировать необходимые «чистые» цвета, при этом ультрафиолетовые и инфракрасные излучения отсутствуют.
- Светодиод механически прочен, влаго- и пыленепроницаем, не имеет спиралей, электродов и других изнашиваемых деталей, исключительно надежен, срок его службы может достигать 100 000 ч, что почти в 100 раз больше, чем у лампы накаливания, и практически в 10 раз больше, чем у газоразрядных ламп.
- Угол обзора светодиода может варьироваться в широких пределах (от 4 до 160°).
- Современные светодиоды имеют достаточно малые размеры, что позволяет создавать экраны с шагом пикселя (цветной точки) от 3 мм.
- Светодиод не требует для своей работы дополнительных пусковых устройств.
- Светодиоды обладают высоким быстродействием. Излучение нарастает за доли микросекунды после подачи импульса прямого тока, что делает их незаменимыми в системах отображения информации.

Одной из разновидностей светодиодов являются SMD-светодиоды, что означает «поверхностный монтаж деталей» (surface montage details). Данная технология («3-in-1», т.е. «3-в-1») позволяет изготовить в одном корпусе три светодиода (красный, синий, зеленый) и увеличить световой поток светодиода за счет приближения чипа к теплопроводящей поверхности. Использование SMD-светодиодов позволяет создавать видеоэкраны с высоким разрешением и яркостью, что обеспечивает комфортное восприятие отображаемой информации уже с расстояния 2-5 м.

Основным элементом светодиодного экрана является пиксель (pixel - элементарная точка, или структурная единица изображения). Физический

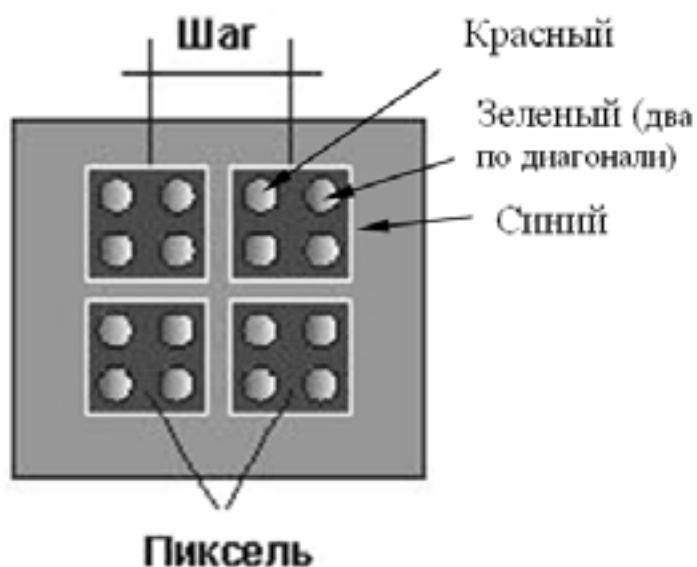


Рис.5.3. Физический пиксель 1R-2G-1B
(1 красный - 2 зеленых - 1 синий)

пиксель состоит из светодиодов основных цветов (красный, зеленый и синий). Пиксель может быть цветным или монохромным, иметь различные размеры. При этом независимо от того, сколько диодов используется в пикселе — один или несколько, пиксель несет в себе информацию об одной эле-

ментарной точке изображения. Пиксели размещены в узлах прямоугольной сетки экрана (рис. 5.3), поэтому можно говорить о размере пикселя и о шаге пикселей в поле экрана. В зависимости от решаемых задач и конструктивных особенностей экрана соотношение размера пикселя к шагу может составлять 0,5 - 0,9:1.

Виртуальный пиксель (дополнительный пиксель) формируется программно-аппаратным способом из набора светодиодов, принадлежащих соседним «физическим» пикселям (рис. 5.4). Использование «виртуального» пикселя позволяет увеличить разрешающую способность экрана в динамическом режиме (при демонстрации движущихся изображений) и, как правило, улучшить качество изображения. «Виртуальный» и «физический» пиксели демонстрируются в разных кадрах — за счет инерционности зрительной системы человека возникает ощущение удвоения разрешающей способности экрана. Следует отметить, что технология «виртуального пикселя» в классическом виде применима лишь в матричных светодиодных экранах с пикселями, составленными из 4 светодиодов, со светодио-

дами, расположенными на равных расстояниях друг от друга, и не применима в экранах, имеющих структуру пикселя из 3 светодиодов или из SMD-светодиода «3-в-1».

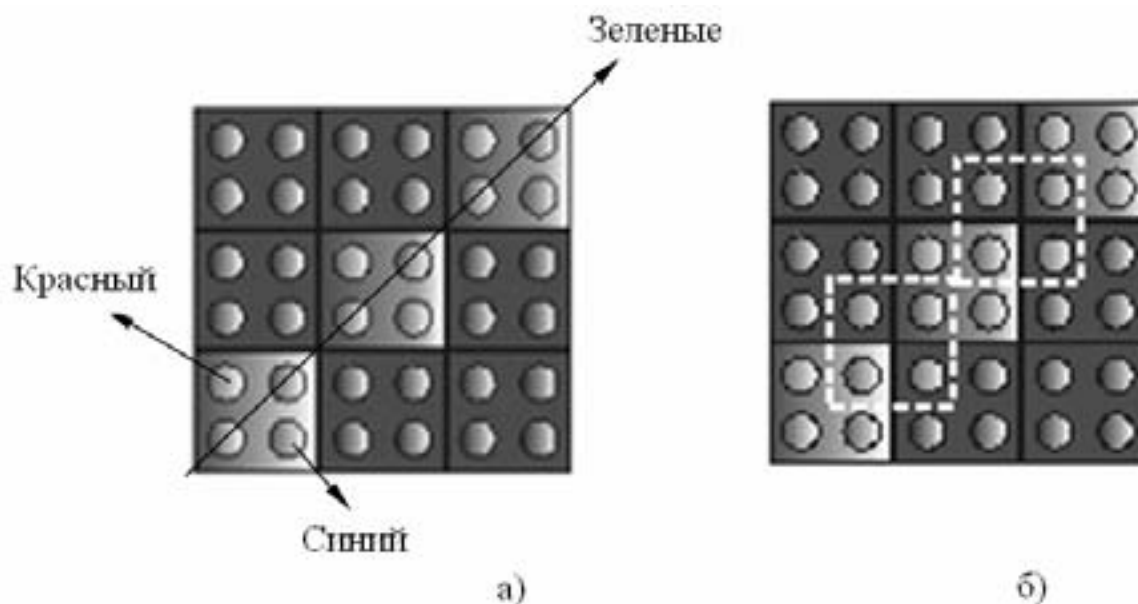


Рис.5.4. Физический пиксель 1R-2G-1B (а) и виртуальный пиксель (б) – пунктирная линия

Несмотря на некоторые преимущества, технология «виртуального пикселя» позволяет улучшить качество выводимой на экран информации лишь в некоторых случаях (сюжетные картинки с плавными переходами яркости или видеоинформация). В большинстве случаев (особенно это касается изображений с резкими цветовыми переходами) на экране могут возникать цветовые артефакты, более того, часть информации может вообще теряться.

В настоящее время разработки многих ведущих компаний, например, Дактроникс, Оптотех, BARCO, Лайтхауз и др., пропагандировавших в свое время технологию «виртуального пикселя» направлены на создание новых моделей экранов с меньшим шагом пикселя и с лучшим разрешением именно в реальных пикселях. Шаг пикселя (pitch) – расстояние между отдельными светящимися точками одного цвета в соседних пикселях. Выбор шага пикселя производится в зависимости от расстояния наблюде-

ния. Другими словами, шаг пикселя определяет, с какого минимального расстояния зритель может комфортно воспринимать изображение на экране, не замечая пиксельной структуры экрана. Человек со стопроцентным зрением не различает две точки на экране, если расстояние между ними составляет меньше одной угловой минуты ($1/60$ градуса). Так, для шага пикселя 10 мм это расстояние составляет примерно 20 м; для пикселя 30 мм – около 50 м. При больших расстояниях наблюдения шаг пикселя может быть увеличен. Кроме того, существует понятие «расстояния комфортного наблюдения». Как правило, оно выбирается в пределах 3 - 8 размеров диагоналей экрана и более. Тем не менее, даже при вдвое меньшем расстоянии наблюдения человек может смотреть на экран в течение длительного времени, не испытывая состояния дискомфорта.

В таблицах 5.1 и 5.2 приводятся данные о выборе расстояния наблюдения в зависимости от размера шага пикселя экрана и от размеров экрана.

Таблица 5.1

Минимальное расстояние наблюдения в зависимости от размера шага пикселя экрана

Шаг пикселя, мм	3	6	10	15	20	25	30	35	40
Минимальное расстояние до экрана, м	5	10	17	25	34	43	52	60	70

Примечание. Данные приведены с учетом разрешающей способности глаза человека (1 угловая минута).

Таблица 5.2

Оптимальное расстояние до экрана в зависимости от его размеров и расположения

Размеры экрана, м	Максимальная дистанция наблюдения, м	Оптимальное расстояние наилучшего восприятия, м
3 х 4(на высоте от 3 м)	30—50	10—30
4 х 6(на высоте 4-5 м)	40—60	10—40
5 х 7(на высоте 4-5 м)	40—70	15—50
6 х 8(на высоте 5-7 м)	50—80	20—60
9 х 12(на высоте 6-9 м)	50—150	30—100
12х16(на высоте 6-12 м)	60—200	40—150

Примечание. В таблице приведены приблизительные оценочные данные. На практике при выборе той или иной модели экрана принимаются во внимание самые различные факторы (размер шага пикселя экрана, характер местности, где располагается экран, размер выводимых на экран знаков или размер строк при отображении графической информации и пр.).

На рис. 5.5 приводится график, соответствующий данным таблицы 5.1.

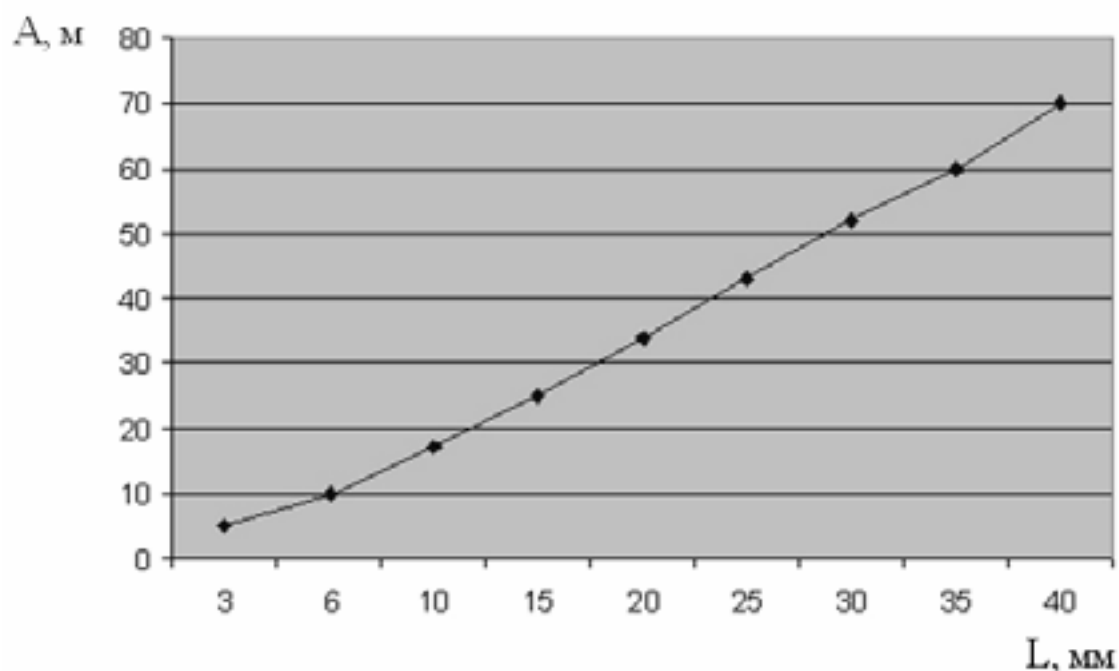


Рис.5.5. Зависимость расстояния A до экрана от шага L пикселя

Шаг пикселя непосредственно задает разрешение светодиодного экрана, а, следовательно, и качество отображаемой информации. Разрешение, или разрешающая способность (resolution) - это способность светодиодного экрана воспроизводить мелкие детали изображаемой информации (видео или графики). Данная характеристика является одной из наиболее важных для светодиодных экранов. Разрешающая способность выражается в количестве адресуемых точек или пикселей на экране по двум координатам: X и Y. Существует стандартный ряд разрешений, соответствующих формату изображения 4:3: 160 x 120, 256 x 192, 320 x 240, 640 x 480, 800 x 600 и т.д. Соответственно, чем выше разрешение экрана, тем более

детальным будет выводимое на него изображение. На практике для демонстрации видеороликов разрешение должно быть не менее 256 x 192.

Светодиодные модули - структурные единицы, из которых собирается экран (рис. 5.6). Светодиодный модуль, как правило, комплектуется собственными элементом управления и блоком питания. Модули могут иметь различные линейные размеры, размеры физических пикселей, их состав и т.д. Выпускаются как в «outdoor»- исполнении (для наружного применения), так и в «indoor»-исполнении (для установки внутри помещений).

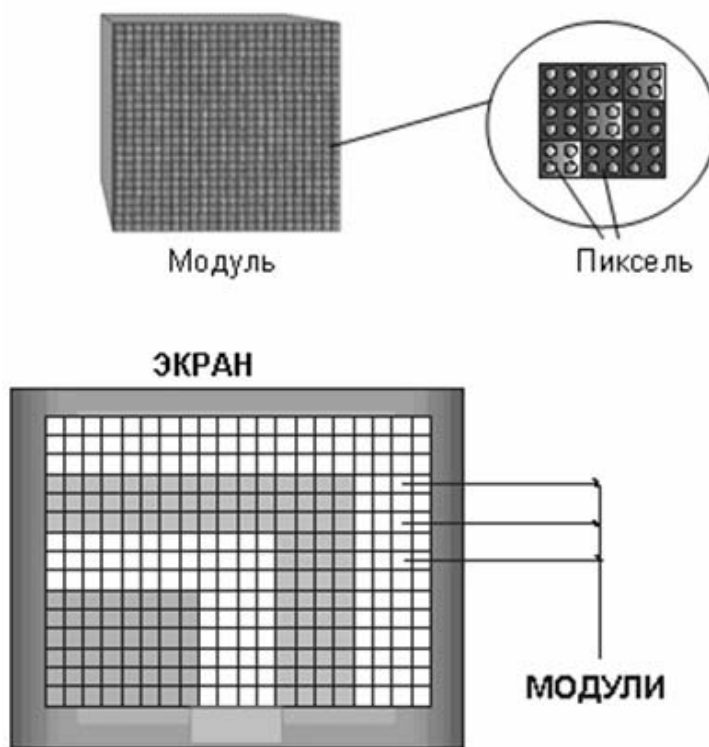


Рис. 5.6. Светодиодный экран на основе светодиодных модулей

Основными светотехническими параметрами светодиодных экранов являются:

- 1) *Линейный размер* (ширина x высота)
- 2) *Яркость* (Кд/кв. м) – величина, характеризующая световое излучение участка поверхности источника света в заданном направлении. Яркость измеряется в канделах на кв. м. Для экранов

характеристика яркости дается для белого цвета. Для помещений считается достаточной яркость экрана 1000 Кд/кв. м. Для применения на улице (в солнечный день) необходима яркость не менее 5000 Кд/кв. м.

- 3) *Контрастность* – отношение максимальной яркости свечения экрана при отображении информации к яркости того же участка экрана без отображаемой информации. Обычно, если не отмечено иное, контрастность указывается для условий работы в абсолютно темном помещении. Типовые значения контрастности для светодиодных экранов составляют от 500:1 до 1000:1. Однако в условиях внешней засветки контрастность существенно снижается и определяется коэффициентом отражения лицевой поверхности экрана. С целью повышения контрастности изображения на передней плоскости присутствует солнцезащитная решетка.
- 4) Разрешение.
- 5) Шаг пикселя, размер пикселя.
- 6) *Состав пикселя* (число светодиодов, из которых состоит пиксель).
- 7) *Количество световых оттенков* (градаций яркости), воспроизводимое экраном, - определяет качество цветовой палитры экрана. Полноцветное изображение (TRUE COLOR) достигается при наличии 256 оттенков каждого основного цвета системы RGB (красного, зеленого и синего), что соответствует 16,78 млн. оттенков для 3-цветного пикселя. В простейшем случае пиксель экрана составляется из трех светодиодов с различным цветом свечения (обычно красный, зеленый, синий). Для больших пикселей используются от 4 светодиодов (два красных, зеленый и синий) и более. Количество и тип отдельных светодиодов обычно выбирают с учетом максимального приближения к балансу белого цвета.

- 8) *Угол обзора* – обычно определяется углом обзора (диаграммой направленности) отдельного светодиода и зависит от типа светодиода. В том случае, когда на лицевой поверхности экрана используются солнцезащитные козырьки, угол обзора по вертикали уменьшается.
- 9) *Частота регенерации изображения (смены кадров)* – должна обеспечивать максимально возможное в данных условиях время работы с экраном без ощущения дискомфорта. В настоящее время это значение составляет не менее 100 Гц.

К перечисленным выше светотехническим параметрам светодиодных экранов следует добавить так называемую неравномерность яркости изображения, которая имеет место при использовании данной технологии отображения информации и связана в первую очередь с качеством изготовления светодиодных модулей. Если для проекционных систем неравномерность яркости выражается, в основном, в спаде яркости на краях системы, то для светодиодных экранов на первое место выступает пиксельная неравномерность яркости. Это связано с тем, что информационное поле экрана состоит из отдельных светодиодов, в которых всегда существуют технологические разбросы по силе света.

Изготовители светодиодов разделяют диоды на ранги, в пределах каждого из которых сила света диодов отличается не более, чем на 15 - 30%. Вторым источником неравномерности яркости может стать неодинаковая ориентация светодиодов в поле экрана, приводящая к смещению диаграммы направленности.

Основными эксплуатационными светотехническими параметрами светодиодных экранов являются:

- *Потребляемая мощность.* Потребление экрана прямо пропорционально количеству светодиодов, т.е. чем меньше пиксель, тем больше светодиодов используется в экране и тем больше его

потребление. Суммарная потребляемая мощность определяется площадью экрана и яркостью свечения.

- *Надежность* экрана определяется надежностью светодиодов и схемы управления. Ведущие производители заявляют срок службы светодиодов при эксплуатации в номинальном режиме – до 100 000 ч.

К преимуществам светодиодных экранов следует отнести:

- 1) Высокую яркость и контрастность изображения.
- 2) Высокое качество полноцветного изображения.
- 3) Возможность отображения динамической информации.
- 4) Возможность прямой видеотрансляции.
- 5) Модульную конструкцию экранов.
- 6) Относительно небольшой размер по глубине (200 - 300 мм).
- 7) Возможность «наращивания» экранов (увеличения размеров и разрешения).
- 8) Высокую надежность и долговечность (теоретически до 100000 ч).
- 9) Низкое энергопотребление (по сравнению с экранами на основе других технологий).
- 10) Возможность объединения экранов в сеть и управления ими из единого центра.

Светодиодные экраны классифицируются следующим образом:

- *Наружные (outdoor)* – для установки на открытом воздухе (размер шага пикселя – 12, 20, 25, 30 мм и более).
- *Внутренние (indoor)* – для установки в помещениях (шаг пикселя – 3, 6, 10 мм).
- *Стационарные* – устанавливаются в определенном месте.
- *Мобильные* – устанавливаются на автошасси или на быстросборной металлоконструкции.

Области применения светодиодных экранов:

- Наружная динамическая реклама и видеореклама.
- Массовые мероприятия, праздники, концерты и пр.
- Спортивные стадионы и залы.
- Концертные залы и площадки.
- Съезды, выставки и презентации.
- Вокзалы, аэропорты, метро, торговые центры и пр.
- Телестудии, залы совещаний.
- Диспетчерские и ситуационные центры.
- Современные динамические светодиодные вывески и баннеры.

Большие экраны на основе светодиодных модулей позволяют отображать компьютерную графику и анимацию, транслировать видеоматериалы и ТВ программы, а также передавать любую текстовую информацию. Благодаря возможности объединения экранов в сеть можно непосредственно с центрального компьютера передавать на управляющие компьютеры каждого экрана информацию и расписание показов. При работе со светодиодным экраном передача информации и управление светодиодными модулями осуществляются контроллерами (рис. 5.7), которые подсоединены к управляющему компьютеру. В компьютере устанавливается плата видеопроцессора (или плата видеозахвата), на вход которой могут подаваться видеосигналы от различных источников – обычный телевизионный сигнал, сигнал от видеомэгнитофона, DVD-плеера, видеокамеры, другого компьютера и т.д. Кроме того, на жесткий диск управляющего компьютера могут быть записаны предварительно подготовленные сюжеты, которые можно воспроизводить по заранее составленному расписанию.



Рис.5.7. Блок-схема системы управления светодиодным экраном

С появлением большого количества видеоэкранов в последнее время возникла необходимость объединения отдельно стоящих светодиодных экранов в сеть с единым центром управления. Управление отдельно стоящими видеоэкранами осуществляется с центрального компьютера по каналам связи с компьютерами управления каждого экрана (через модем/радиомодем, по выделенной линии и т.д.). Важной характеристикой светодиодного видеоэкрана является также соотношение его сторон 4:3 (формат изображения). Для прямой трансляции «живого» видео необходимо соблюдать это соотношение, иначе изображение будет либо «обрезано» или будет воспроизводиться на части экрана. Если светодиодный экран используется только для показа заранее подготовленных роликов, то соотношение сторон не имеет значения и может быть любым.

Функционально светодиодный экран состоит из несущей металлоконструкции, на которой закреплена рама со светодиодными модулями. Модуль представляет собой герметичный корпус, на лицевой поверхности которого смонтированы светоизлучающие матрицы. Внутри модуля расположены контроллер и блок питания. Размеры пикселя в таком исполнении могут составлять от 12 до 35 мм, разрешение от 16 x 16 до 64 x 64

(в различных вариантах) на каждый модуль, размеры различных модулей варьируются от 0,4 до 1,5 м. К недостаткам светодиодных экранов можно отнести разве что небольшое разрешение (около 100 x 100 пикселей на кв. м поверхности экрана). С появлением на рынке SMD-светодиодов появились небольшие видеоэкраны с высоким разрешением для применения в помещениях в концертных и спортивных залах, телестудиях, вокзалах, аэропортах, в диспетчерских центрах, на выставках, конференциях и пр.

Для отображения информации на основе светодиодов часто используют сегментные диодные индикаторы.

Известный 7-сегментный цифровой индикатор в действительности является 8-сегментным индикатором, так как включает в себя десятичную точку (рис. 5.8).

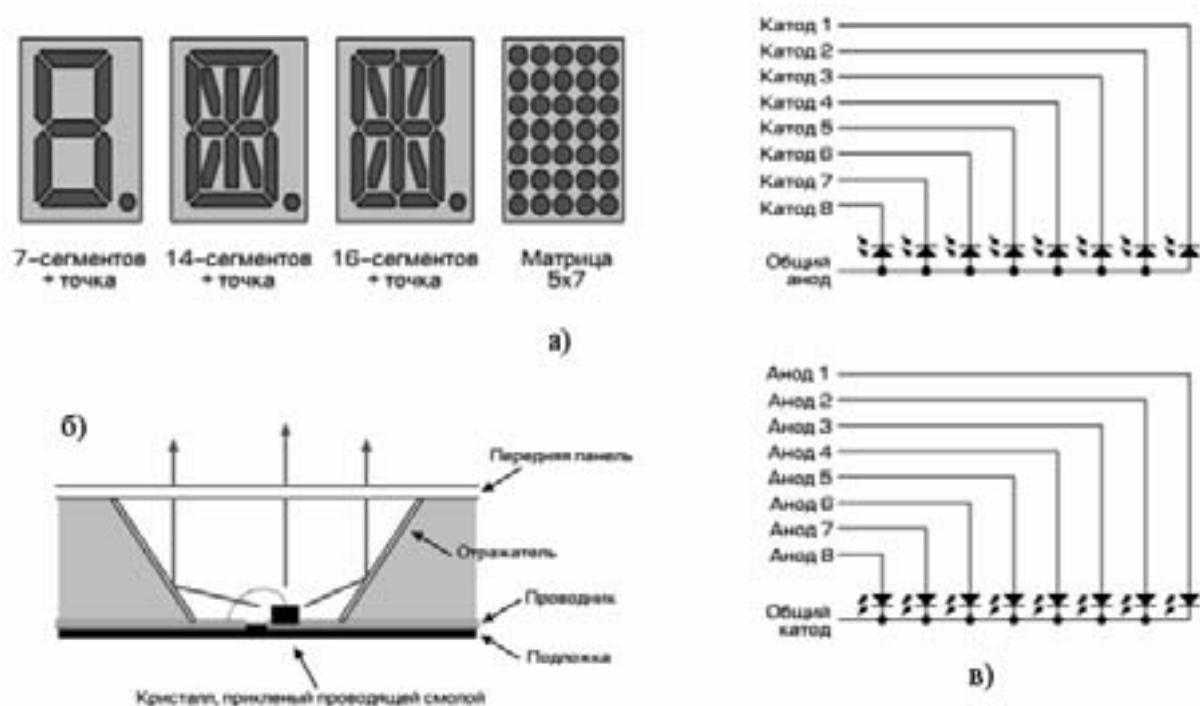


Рис.5.8. Разновидности сегментных светодиодных индикаторов (а), конструкция (б) и схема подключения (в)

Менее известные «звездочные» алфавитно-цифровые индикаторы обозначаются таким же образом, как 14-сегментные и 16-сегментные индикаторы, вновь не учитывая десятичную точку. Эти индикаторы

обеспечивают экономичное решение для отображения 26 букв латинского алфавита в верхнем регистре, а также цифр от 0 до 9. Разница между 14-сегментными и 16-сегментными индикаторами лишь в том, что у 16-сегментного индикатора верхний и нижний сегмент разбиты на два, улучшая внешний вид некоторых букв.

Светодиодная матрица 5 x 7 является еще более универсальной, позволяя отображать латинский алфавит в верхнем и нижнем регистре, а также множество символов (рис. 5.8 а).

5.2. Экраны на основе наборных газоразрядных (плазменных) модулей

Существует проблема изготовления больших экранов на жидких кристаллах – чем больше диагональ жидкокристаллической матрицы (ЖК-матрицы), тем менее надежным, более сложным и, что самое важное, дорогим получается конечное изделие. Экраны, принцип действия которых основан на явлениях газового разряда подобно экрану электронно-лучевой трубки, называются «плазменными». Главное достоинство плазменного экрана (дисплея) - низкая стоимость матрицы большого диаметра, причем, чем больше размеры матрицы, тем выгоднее производителю ее создавать.

Принцип работы любого плазменного экрана (PDP - Plasma Display Panel) состоит в управляемом холодном разряде разряженного газа (как правило, используется ксенон или неон), находящегося в ионизированном состоянии. Все это носит название «холодная плазма». Способность определенных газов светиться при пропускании через них разряда электрического тока до сих пор широко применяется в устройствах неоновой рекламы. Цвет свечения вывески зависит от того, в какой пропорции будут смешиваться определенные газы. Аналогичный принцип используется и в создании плазменных дисплеев для компьютеров и телевизоров с большой диагональю. При этом размеры сосуда, в котором

хранится газ в тысячи раз меньше, используемых в «рекламных» устройствах, а сами сосуды, которых насчитывается десятки миллионов, образуют матрицу, формирующую изображение на экране.

Минимальной единицей изображения на экране, как и везде, является точка, или пиксель. В плазменном мониторе для формирования цвета каждой отдельно взятой точки используется комбинация из трех субпикселей, каждый из которых отвечает за один из трех основных цветов RGB (Red, Green, Blue - Красный, Зеленый, Голубой). Ячейки находятся между двумя стеклами, расстояние между которыми 0,1 мм (100 микрон). Во время подачи электрического импульса на электроды часть заряженных ионов начинают излучать кванты света в ультрафиолетовом диапазоне. Диапазон излучения, в большинстве случаев, зависит от применяемого газа, в каждой конкретной модели. Ультрафиолетовые лучи действуют на специальное флюоресцирующее покрытие, которое в свою очередь излучает свет, видимый человеческим глазом. При этом, ультрафиолетовые лучи, опасные для глаз человека, поглощаются наружным стеклом (до 97%).

Яркость и насыщенность цветов можно регулировать простым изменением величины управляющего напряжения: чем оно больше, тем больше квантов света выделяет газ, тем сильнее светится флюоресцирующая пленка, тем ярче изображение на экране. Данная технология является самой молодой из всех, что применяются в серийном производстве офисной техники.

Изображение на современных плазменных экранах считается самым ярким (до 500 кд/м^2) и контрастным (400:1), т.е. лучше чем у классических ЭЛТ-мониторов (яркость и контрастность дорогого монитора - 350 кд/м^2 и 200:1 соответственно). Благодаря особенностям исполнения плазменные экраны не боятся электромагнитных полей.

Из недостатков такого типа дисплеев стоит отметить высокое энергопотребление. Чтобы зажечь один пиксель на экране плазменного телевизора электроэнергии требуется незначительное количество, но матрица состоит из миллионов точек, каждой из которых приходится гореть до нескольких десятков часов подряд. Частично из-за этого плазменным дисплеям закрыт путь в область портативной техники: ноутбук от собственных аккумуляторов с таким экраном вряд ли проработает даже час: применение плазменного экрана само собой подразумевает наличие электрической сети в радиусе нескольких метров.

Плазменные экраны во многом напоминают жидкокристаллические. Разница состоит лишь в способе формирования цвета отдельной точки. У плазменного дисплея, как и у ЖК, нет никаких проблем ни со сведением лучей, ни проблем с геометрией экрана, ни с фокусировкой. В отличие от ЖК-дисплеев, плазменные имеют малое время отклика. Этот факт позволяет без проблем использовать PDP в качестве телевизоров. Плазменные экраны полностью цифровые, аналоговый выход для подключения к настольному компьютеру - это скорее исключение, нежели правило. Если главным недостатком ЖК-мониторов является значительное ухудшение качества изображения на экране при смене угла просмотра, то у плазменных экранов этот недостаток отсутствует. Угол видимого обзора достигает 160 градусов.

Плазменные модульные экраны предназначены для отображения полноцветной динамической компьютерной и телевизионной (во всех стандартах) видео-, графической и текстовой информации и рассчитаны для использования только в помещениях («indoor»-исполнение). Такие экраны имеют толщину от 100 до 150 мм и выпускаются в различных вариантах установки (напольная, настенная).

Угол обзора экранов составляет около 140°. В настоящее время выпускаются экраны на плазменных модулях 2 типов: постоянного и

переменного тока. Экран собирается из газоразрядных (плазменных) модулей – каждый модуль имеет размер примерно 200 x 200 мм, разрешение 64 x 64 пикселя размером 3, 6 или 12 мм. Ресурс работы такого модуля составляет около 20 000 ч.

К недостаткам экранов на основе газоразрядных модулей следует также отнести:

- относительно небольшой контраст в условиях освещенных помещений (около 60:1);
- низкое разрешение;
- большая потребляемая мощность (около 1500 Вт на кв. м);
- наличие цветовой «поскутности» между модулями;
- небольшой ресурс работы – около 20 000 ч;
- температура эксплуатации от +5 до +40° С.

Достоинством экранов на газоразрядных модулях можно отнести их небольшой размер по глубине – около 20 см.

5.3. Монолитные плазменные панели

По параметрам яркости, разрешающей способности, контрасту и размеру по глубине экраны на основе монолитных плазменных панелей успешно конкурируют с проекционными системами с размером экрана от 1 до 1,5 м. При этом в составных экранах монолитные плазменные панели не используются из-за большой толщины боковых стенок, где расположены драйверы управления. Однако следует отметить, что в последнее время на рынке средств отображения информации появились плазменные панели размером 84”, составляемые из четырех панелей размером 42”, при этом зазор между ними составляет около 3 мм.

В настоящее время на рынке представлены плоские плазменные панели с соотношением сторон 16:9 и разрешением до 1365 x 768 пикселей. Ресурс работы плазменных панелей составляет около 25 000 ч.

К недостаткам устройств на основе монолитных плазменных панелей следует отнести:

- ограниченный размер экрана – диагональ около 1,5 м;
- невозможность использования их в составных экранах из-за большой величины боковых стенок (30 - 100 мм);
- непригодность к ремонту (при выработке ресурса необходимо менять всю панель целиком);
- небольшой ресурс работы – около 25 000 ч;
- температура эксплуатации от 0 до +40° С.

Монолитные плазменные панели предназначены, прежде всего, для установки в помещениях аэропортов, вокзалов, супермаркетов, выставочных павильонов, киноконцертных залов и пр.

5.4. Рир-проекционные мониторы (видеомодули)

В некоторых случаях, когда нет необходимости выводить чрезмерно насыщенную информацию с большим разрешением (UXGA-1600 x 1200 и выше), возможно использование рир-проекционного монитора (система обратной проекции - СОП, англ. «rear» – обратный, задняя проекция) с размером диагонали экрана до 5 м и разрешением формата SXGA, UXGA. В состав видеомодуля входят проектор, отражающее (поворотное) зеркало и просветный экран (с определенным коэффициентом усиления «gain»), размещенные в несущей конструкции. В отличие от систем прямой проекции (СПП), в которых проектор размещается перед экраном, в СОП проектор расположен за экраном. Как правило, в СОП проектор находится в так называемом «проекционном боксе», который представляет собой в общем случае техническое помещение, находящееся за экраном, либо, в некоторых случаях, отдельное сооружение или строение. Из подобного положения вещей проистекает первое преимущество СОП перед СПП – меньшая чувствительность к условиям внешнего освещения в силу

изоляции светового потока, исходящего из объектива проектора. Из этого же следует и вторая, не менее существенная вещь – размещение проектора не в основном рабочем помещении.

К недостаткам таких систем отображения информации относятся:

- большой размер по глубине: 0,7–1,5 м (для диагоналей 1,7–5 м);
- невысокая яркость изображения (около 300 кд/кв. м), позволяющая, тем не менее, работать в условиях освещенных помещений;
- невысокий контраст изображения (около 500:1);
- ограниченный срок службы мощных источников света, используемых в таких системах (около 2000 ч, т.е. менее полугода непрерывной работы).

В настоящее время для отображения видео- и графической информации сверхвысокого разрешения в системах коллективного пользования (в геоинформационных системах, ситуационных центрах и пр.), как правило, используются комплексы отображения информации на основе составных экранов (видеостен), позволяющих в условиях рабочей освещенности помещений формировать высококачественное изображение. Информацию можно выводить как на всей площади составного экрана, так и в многооконном режиме («окна» могут быть любого размера, информация может размещаться в любом месте экранного поля). Зазор между видеомодулями составного экрана в большинстве случаев составляет от 1 до 3 мм (для размера диагонали видеомодуля 50"). За счет суммирования разрешения составляющих экран видеомодулей разрешение составных экранов может быть очень высоким. Так, при разрешении каждого модуля XGA – 1024 x 768 и числе модулей, равном 9 (конфигурация 3 x 3), суммарное разрешение экрана составляет 3072 x 2304 пикселя. Такого высокого разрешения и достаточной яркости невозможно достигнуть при использовании одного рир-проекционного монитора.

Срок службы ламп, используемых в проекторах для составных рир-проекционных экранов, составляет около 8000 ч (приблизительно 1 год непрерывной работы).

К недостаткам комплексов управления и отображения информации на основе составных экранов относятся:

- невысокая яркость изображения (около 300 кд/кв. м);
- невысокая контрастность изображения (около 500:1);
- размер по глубине: 800 - 900 мм (для модуля с диагональю 50")
плюс пространство за экраном, необходимое для его обслуживания.

В таблице 5.3 даны сравнительные характеристики плазменных и светодиодных экранов, приведенные на кв. метр площади экрана.

Таблица 5.3

Сравнительные характеристики экранов (в расчете на кв. метр площади экрана)

	Газоразрядные модули, шаг 6 мм	Монолитные плазменные панели	Светодиодные экраны, шаг 17; 20; 25 мм	Светодиодные экраны, шаг 6 мм
Разрешение, пикселей на кв.м	160 x 160	1024 x 768 и выше	60 x 60 (120 x 120)* 50 x 50(100 x 100)* 40 x 40(80 x 80)*	160 x 160
Яркость, Кд/кв.м	200 -300	500 -700	6500 6000 5000	1500 -2000
Мощность, Вт на кв.м	1200 - 500	800 -1000	600 -700 500 -600 400 -500	1000 -1500
Угол обзора, град., гориз./верт.	140/140	160/160	120/60	120/60
Размер экрана, м	Не ограничен	1.5	Не ограничен	Не ограничен
Температура окр. среды, °С	От +5 до +40	От 0 до +40	От -40 до +50	От -20 до +50
Срок службы, ч	20 000 -25 000	20 000 -25 000	100 000	100 000
Цена, USD за кв.м	5000 -6000	10 000 -13 000**	12 000 -14 000 10 000 -12 000 8000 -9000	От 25 000

* В скобках приводится разрешение, достигаемое при использовании технологии виртуального пикселя.

** Цены на монолитные плазменные панели во многом зависят от размеров экрана, поэтому в данной таблице нет жесткой привязки к ценам.

5.5. Экраны и индикаторы на основе жидких кристаллов

В настоящее время для отображения информации широко используются индикаторы на жидких кристаллах (ЖК).

Расположение молекул в жидких кристаллах изменяется под действием таких факторов, как температура, давление, электрические и магнитные поля; изменения же расположения молекул приводят к изменению оптических свойств, таких, как цвет, прозрачность и способность к вращению плоскости поляризации проходящего света. Тонкие пленки жидких кристаллов, заключенные между стеклами или листками пластмассы, нашли широкое применение в качестве индикаторных устройств. Прикладывая низковольтные электрические поля к разным частям соответствующим образом выбранной пленки, можно получать видимые глазом фигуры, образованные, например, прозрачными и непрозрачными участками.

В основе функционирования любой ЖКИ-панели лежит принцип изменения прозрачности (точнее, изменения поляризации проходящего света) у жидких кристаллов под воздействием электрического тока. Так, в TFT-матрице, выполненной на основе тонкопленочных транзисторов (TFT – thin-film technology), слой жидких кристаллов управляется матрицей из микроскопических транзисторных аналоговых ключей, по одному ключу на каждый пиксель изображения, что позволяет добиться высокой скорости включения-выключения точек и повысить контрастность изображения. Поскольку жидкие кристаллы сами по себе не имеют цвета, в цветной панели имеется три слоя жидких кристаллов (либо специальная однослойная мозаичная структура) с соответствующими светофильтрами

для каждой цветовой составляющей (красный, зеленый, синий). Жидкие кристаллы не могут сами светиться, поэтому для того, чтобы придать экрану привычный светящийся вид за ЖКИ-панелью установлена специальная плоская лампа, подсвечивающая экран с обратной стороны. В результате пользователю кажется, что матрица «светится», как обычный экран ЭЛТ. Контрастность получаемого изображения напрямую зависит от яркости лампы, помноженной на степень прозрачности открытой ЖКИ-ячейки и поделенной на степень прозрачности закрытой ЖКИ-ячейки.

Основными преимуществами ЖКИ является очень низкое энергопотребление и большая долговечность. На сегодняшний день на рынке широко распространены следующие группы дисплеев:

- *Сегментные* - эти дисплеи предназначены для отображения информации состоящей из сегментов (7-сегментные - для отображения цифр, 14/16-сегментные - для отображения текста, шкальные - для отображения шкалы). Данные дисплеи аналогичны светодиодным сегментным индикаторам и нашли широкое распространение в различной измерительной аппаратуре, кассовых аппаратах, калькуляторах, часах, простых счетчиках электроэнергии и т.п.
- *Знакосинтезирующие* - эти дисплеи предназначены для отображения текстовой и псевдографической информации. Данные дисплеи имеют знакогенератор и встроенную ПЗУ с таблицей знакогенератора. Этот тип нашел широкое применение в широком спектре различной аппаратуры, такой как: счетчики природных ресурсов, техно-



Рис.5.9. Пример знакосинтезирующего индикатора с разрешением 20 символов на 4 строки

логических пультах, таксофонах, измерительных приборах, охранных системах. Опционально, на плате ЖК-модуля могут быть установлены схема генератора питающего напряжения (это напряжение подается на драйверы ЖК-панели) и схема температурной компенсации напряжения (рис.5.9). Основными техническими характеристиками дисплеев данного типа являются:

- ❑ объем отображаемой информации (количество символов и строк);
- ❑ тип встроенного контроллера - от него зависит интерфейс общения с «внешним миром», язык шрифта знакогенератора;
- ❑ напряжение питания модуля;
- ❑ геометрические размеры, расположение крепежных отверстий;
- ❑ угол зрения - это угол падения взгляда на панель ЖКИ, при котором контрастность изображения максимальна;
- ❑ тип и цвет подсветки;
- ❑ диапазон рабочих температур.

В качестве примера в таблице 5.5 представлены характеристики знакосинтезирующих индикаторов Data Vision.

Таблица 5.5

Знакосинтезирующие модули Data Vision

Разрешение	Модель	Размер модуля (мм)	Видимая область (мм)	Размер символа (мм)	Размер точки (мм)	Варианты исполнения		
						Технология	Поляризатор	Подсветка
8 x 2	DV-0802	58,0x32,0x10,0	35,0x15,24	2,945x5,545	0,545x0,645	STN, H	R, TF, TM	LED
16 x 1	DV-16100	80,0x36,0x10,0	64,5x13,8	3,07x6,56	0,55x0,75	TN, STN, H	R, TF, TM	LED, EL
	DV-16110	122,0x33,0x10,0	99,0x13,0	4,84x8,06	0,92x1,10	STN, H	R, TF, TM	LED, EL
	DV-16120	151,0x40,0x14,7	120,0x23,0	6,0x14,5	1,765x1,152	STN	R, TF, TM	LED
16 x 2	DV-16210	122,0x44,0x10,0	99,0x24,0	4,84x8,06	0,92x1,10	TN, STN, H	R, TF, TM	LED

Разре- шение	Модель	Размер модуля (мм)	Видимая область (мм)	Размер символа (мм)	Размер точки (мм)	Варианты исполнения		
						Техно- логия	Поля- ризатор	Под- светка
	DV-16223	80,0x36,0 x9,5	64,5x15,0	2,95x4,35		TN, STN, H	R, TF, TM	LED, EL
	DV-16230	85,0x29,5 x10,0	62,5x16,1	2,78x4,89	0,55x0,50	TN, STN, H	R, TF, TM	LED, EL
	DV-16235	85,0x35,0 x10,0	62,2x17,9	2,95x5,55	0,55x0,65	TN, STN, H	R, TF, TM	LED, EL
	DV-16236	85,5x36,0 x10,0	62,2x17,9	2,95x5,55	0,55x0,65	TN, STN, H	R, TF, TM	LED, EL
	DV-16244	84,0x44,0 x10,0	62,2x17,9	2,95x5,55	0,55x0,65	TN, STN, H	R, TF, TM	LED, EL
	DV-16252	80,0x36,0 x10,0	62,5x16,1	2,78x4,89	0,55x0,50	TN, STN, H	R, TF, TM	LED, EL
	DV-16257	85,0x32,6 x10,0	55,73x10,98	2,78x4,89	0,55x0,55	TN, STN	R, TF, TM	LED
	DV-16263	53,0x20,0 x8,0	36,0x10,0	1,85x3,15	0,33x0,35	STN, H	R, TF, TM	LED
	DV-16275	100,0x38,8 x13,0	80,0x20,4	4,07x7,76	0,75x0,90	STN, H	TF, TM	LED
	DV-16276	100,0x38,8 x13,0	80,0x20,4	4,07x7,76	0,75x0,90	STN	R, TF, TM	LED
	DV-16278	130,6x38,1 x10,0	99,0x24,0	4,84x8,06		TN, STN	R, TF, TM	LED, EL
16 x 4	DV-16400	87,0x60,0 x10,0	61,4x25,0	2,95x4,75	0,55x0,55	STN, H	R, TF, TM	LED, EL
	DV-16410	87,0x62,23 x14,0	64,0x30,4	3,2x6,35		STN	TF, TM	LED
20 x 1	DV-20100	182,0x33,5 x10,0	154x16,5	6,70x9,40	1,30x1,30	STN	R	
20 x 2	DV-20200	116,0x36,0 x10,0	83,0x18,8	3,20x5,55	0,60x0,65	TN, STN, H	R, TF, TM	LED, EL
	DV-20205	116,0x37,0 x14,5	82,2x18,2	3,20x5,55		STN	TF, TM	LED
	DV-20206	86,0x39,0 x14,0	76,0x25,2	3,20x5,55	0,60x0,65	STN	R, TF, TM	LED, LEDW
	DV-20208	96,0x66,0 x15,85	73,0x19,83	2,995x2,534		STN, H	TF, TM	LED
	DV-20210	180,0x40,0 x10,5	149,0x23,0	6,00x9,66	1,12x1,12	STN, H	R, TF, TM	LEDW , EL
	DV-20211	182,0x60,0 x14,5	147,0x35,2	5,90x12,7	0,65x0,65	STN, H	TF, TM	LED, CCFL
	DV-20220	108,0x39,0 x10,0	83,0x18,8	3,20x5,55	0,60x0,65	TN, STN	R, TF, TM	LED
20 x 4	DV-20400	98,0x60,0 x10,0	76,0x25,2	2,95x4,75	0,55x0,55	STN, H	R, TF, TM	LED, LEDW , EL

Разре- шение	Модель	Размер модуля (мм)	Видимая область (мм)	Размер символа (мм)	Размер точки (мм)	Варианты исполнения		
						Техно- логия	Поля- ризатор	Под- светка
	DV-20410	146,0x62,5 x10,5	94,5x18,0	4,84x9,22	0,60x0,65	TN, STN, H	R, TF, TM	LED
	DV-20464	77,0x47,0 x13,0	60,0x22,0	2,30x4,03		STN, H	R, TF, TM	LED
24 x 2	DV-24200	118,0x36,0 x10,0	154,0x16,5	3,20x5,55	0,60x0,65	TN, STN, H	R, TF, TM	LED, EL
40 x 2	DV-40200	182,0x33,5 x10,0	147,0x29,5	3,20x5,55	0,50x0,55	STN, H	R, TF, TM	LED, EL
40 x 4	DV-40400	190,0x54,0 x10,5	35,0x15,24	3,54x4,89	0,545x0,645	STN, H	R, TF, TM	LED, LEDW , EL

Примечания:

1. Н - расширенный температурный диапазон, R - отражающий тип поляризатора (работа только на отражение), TF - полупрозрачный поляризатор (работа на просвет/отражение), TM - прозрачный поляризатор (работа на просвет), LED - подсветка на основе светодиодов, LEDW - подсветка на основе белых светодиодов, EL - подсветка на основе электролюминесцентной лампы, CCFL - подсветка на основе флуоресцентной лампы с холодным катодом.
2. Тип модуля: V – Знакосинтезирующий.
3. Номер версии панели.
4. Тип ЖК панели: N – TN; S1 - STN, желто-серый; S2 - STN, серебристо-серый.
5. Тип поляризатора: R - Отражение (без подсветки); M – Пропускание.
6. F – Отражение/пропускание; N – Негативный.
7. Угол зрения: T - сверху 12:00.
8. Тип подсветки: E - EL, электролюминесцентная; L - LED, светодиодная; C - CCFL, флуоресцентная лампа с холодным катодом.
9. Цвет подсветки: A - янтарный (LED); B - сине-зеленый (EL); R - красный (LED); W - белый (EL, LED, CCFL); Y - желто-зеленый (LED).
10. Температурный диапазон: Отсутствие символа – стандартный; H - Расширенный.
11. DC-DC. Отсутствие символа - без DC-DC; D - с DC-DC преобразователем.
12. Температурная компенсация. Отсутствие символа - без температурной компенсации. P - с температурной компенсацией.
13. Знакогенератор: Отсутствие символа – английский. R22 - английский/русский.

- *Графические* - эти дисплеи предназначены для отображения практически любой информации. Широко применяются в огромном спектре различной аппаратуры, где есть необходимость выводить векторную графику, систему графических меню.
- *Цветные STN- панели* - эти дисплеи отличаются от графических в три раза большим количеством сегментов по горизонтали, при этом сегменты имеют чередующиеся светофильтры (красный, зеленый, синий). Изначально, эти дисплеи обеспечивают отображение 8 цветов, так как в них не предусмотрены схемы управления яркостью отдельных пикселей. Такие дисплеи часто применяются для создания пользовательских интерфейсов в автоматизированных системах управления технологическими процессами, мониторов состояния больных и многих других областях. Как правило, они комплектуются сенсорной панелью, что позволяет создавать дружелюбный интерфейс между человеком и машиной.
- *Цветные TFT- панели* - эти дисплеи являются развитием цветных STN-панелей и, как было отмечено выше, содержат встроенный тонкопленочный транзистор, который обеспечивает поддержание заданной яркости отдельного пикселя. Благодаря этому TFT-панели способны отображать тысячи цветов. Наиболее часто встречаются TFT-панели с 18-битной шиной управления (по 6 бит на каждый цвет), что обеспечивает 262144 цвета. Применять данные дисплеи целесообразно в случае необходимости отображать большое количество цветов, к примеру, для отображения видеоизображения. Устройство и общий вид TFT-панели представлен на рис. 5.10.

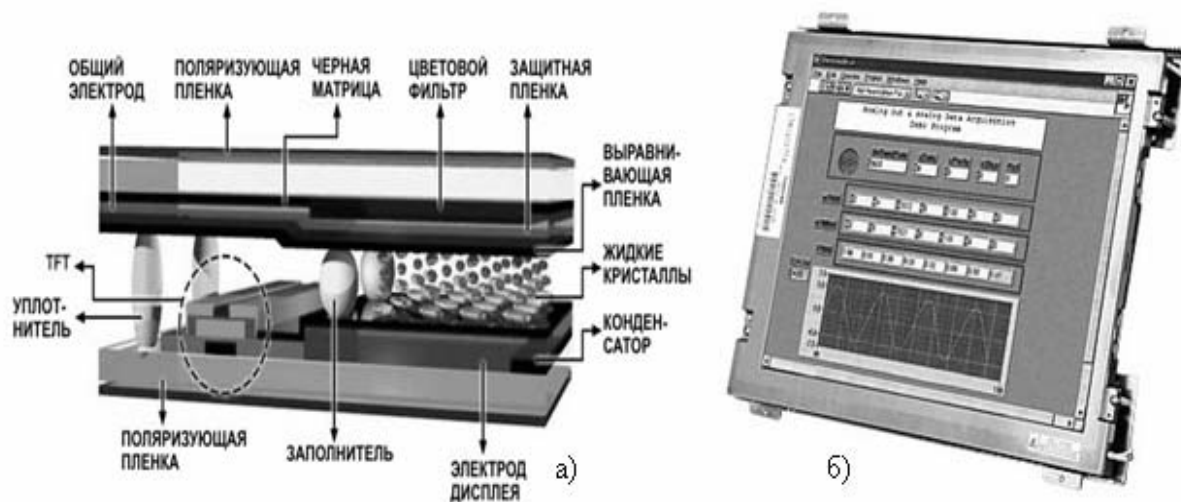


Рис.5.10. Устройство (а) и общий вид (б) TFT-панели

Основными техническими характеристиками дисплеев данного типа являются:

- объем отображаемой информации (разрешение по горизонтали и вертикали);
- напряжение питания модуля;
- геометрические размеры, расположение крепежных отверстий;
- углы обзора (по горизонтали и по вертикали) - это углы падения взгляда на панель ЖКИ, под которым контрастность изображения остается в заданных пределах;
- тип подсветки;
- диапазон рабочих температур.

В качестве примера в таблице 5.6 приведены технические характеристики TFT- панелей фирмы SHARP.

Таблица 5.6

Цветные TFT панели SHARP

Модель	Размеры дисплея (мм)	Разрешение	Рабочая темп. °C	Размеры	Конт-раст	Яркость cd/m ²	Угол обзора гор/верт	Опции	Тип подсветки
LQ035Q7DB03	53,64x71,5289 (3,52")	240 x 320	-10...+60	65x85x3,4	85:1	55	80/90	SLV	WLED
LQ038Q5DR01	78,72x53,6496 (3,80")	320 x 240	-30...+85	117,6x69,45x13,45	100:1	450	140/110		CCFLx2
LQ050Q5DR01	101,28x74,76126 (4,96")	320 x 240	-30...+60	119,4x89,1x12,7	100:1	380	130/105	3,3V	CCFLx2
LQ057Q3DC02	115,2x86,4144 (5,70")	320 x 240	-10...+70	144x104,6x13	60:1	350	130/105		CCFLx2
LQ065T9DR52U	143,3x79,326165 (6,50")	400 x 240	-30...+85	155x89,2x12,5	60:1	220	100/85		CCFLx2
LQ070T5DR01	154,1x87177 (7,00")	480 x 234	-30...+65	170,1x103,5x14,2	100:1	400	130/105		CCFLx2
LQ64D341	130,5x97160 (6,40")	640 x 480	0...+55	175x126x12	100:1	300	140/110	3,3V	CCFLx2
LQ084V1DG21	170,9x129,6210 (8,40")	640 x 480	0...+55	216x152,4x12	250:1	300	120/100	3,3V	CCFLx1
LQ10D368	211,2x158,4260 (10,40")	640 x 480	0...+50	246,5x179,4x10,5	100:1	200	140/110		CCFLx1
LQ104V1DG21	211,2x158,4260 (10,40")	640 x 480	-10...+65	265x195x11,5	300:1	350	140/110	3,3V	CCFLx2
LQ104V1DG51	211,2x158,4260 (10,40")	640 x 480	-10...+65	246,5x179,4x14,2	300:1	350	140/110		CCFLx2
LQ084S3DG01	170,44x127,8210 (8,40")	800 x 600	-10...+65	199,5x149,5x11,6	250:1	350	130/110	3,3V	CCFLx2
LQ104S1DG21	211,2x158,4260 (10,40")	800 x 600	0...+55	246,5x179,4x14,2	300:1	350	140/110		CCFLx2
LQ121S1DG41	246x184,5310 (12,10")	800 x 600	-10...+65	276x209x11	450:1	370	140/110		CCFLx2

Примечание. SLV - возможна работа без подсветки; CCFLxN - подсветка на основе флуорисцентной лампы с холодным катодом

(N – указывает количество ламп); WLED - подсветка на основе белых светодиодов; 3,3V - напряжение питания

5.6. Отображения информации в АСУ ТП на основе SCADA-систем

Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУТП) - совокупность аппаратно-программных средств, осуществляющих контроль и управление производственными и технологическими процессами (ТП); поддерживающих обратную связь и активно воздействующих на ход процесса при отклонении его от заданных параметров; обеспечивающих регулирование и оптимизацию управляемого процесса. АСУТП предназначены для оптимизации ТП производств и повышение их эффективности путем автоматизации, базирующейся на использовании современных средств вычислительной и микропроцессорной техники и эффективных методов и средств контроля и управления.

Одними из главных преимуществ АСУТП является снижение, вплоть до полного исключения, влияния так называемого человеческого фактора на управляемый процесс, сокращение персонала, минимизация расходов сырья, повышение качества исходного продукта, и в конечном итоге - существенное повышение эффективности производства. Основные функции, выполняемые подобными системами, включают в себя контроль и управление, обмен данными, обработку, накопление и хранение информации, формирование сигналов тревог, построение графиков и отчетов.

В последнее время АСУТП начинают проникать в такие сферы, как управление дорожным движением, медицина, машиностроение, ЖКХ. Отдельное направление их применения составляет военная и космическая техника, где системы автоматизации используются в качестве встроенных средств контроля и управления.

Стремительное развитие микропроцессорной техники предопределило развитие информационных технологий, где взаимодействие между оператором и ТП осуществляется с помощью программного обеспечения,

получившего общее название SCADA. SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition system) – это система сбора данных и оперативного диспетчерского управления, функционирующее в составе АСУТП конкретного объекта. Функции, которые возлагаются на любую SCADA-систему:

- сбор данных о контролируемом ТП;
- управление технологическим процессом, реализуемое ответственными лицами на основе собранных данных и правил (критериев), выполнение которых обеспечивает наибольшую эффективность и безопасность ТП.

SCADA-системы являются, прежде всего, инструментом для эффективной разработки программного обеспечения верхнего уровня АСУТП. Если попытаться коротко охарактеризовать основные функции, то можно сказать, что SCADA-система собирает информацию о ТП, обеспечивает интерфейс с оператором, сохраняет историю процесса и осуществляет автоматическое управление процессом в том объеме, в котором это необходимо [39,40].

Программные продукты SCADA широко представлены на мировом рынке. Наиболее популярными из них являются:

- Genesis (Iconics Co, США);
- WinCC (Siemens, Германия);
- WinCC Flexible (Siemens, Германия);
- ProTool Pro (Siemens, Германия);
- InTouch (Wonderware, США);
- Trace Mode (AdAstra, Россия);
- САРГОН (НБТ-Автоматика, Россия);
- Infinity SCADA («ЭлеСи», Россия);
- FIX (Intellution, США).

Рассмотрим возможности SCADA-систем на примере Infinity SCADA («ЭлеСи», Россия), входящей в программу Infinity Suite – инструментальный комплекс для разработки SCADA и MES - решений, предназначенный для решения следующих задач:

- 1) Сбор обработка, хранение производственных и технологических данных. Объединение производственных и технологических данных в единое информационное пространство.
- 2) Оперативное планирование, распределение и контроль состояния ресурсов в режиме реального времени.
- 3) Диспетчеризация производственных и технологических процессов.
- 4) Формирование отчетности, сводок, балансов.

Infinity SCADA включает в себя следующие инструментальные средства:

- 1) InfinityServer.
- 2) InfinityHistoryServer.
- 3) InfinityHMI.
- 4) InfinityTrends.
- 5) InfinityAlarms.
- 6) InfinityHistoryPlayer.

5.6.1. InfinityServer - OPC-сервер ввода-вывода

InfinityServer осуществляет непрерывный мониторинг ТП и передачу сигналов телеуправления в системы автоматики в режиме реального времени.

- **Сбор данных.** InfinityServer выполняет циклический опрос систем автоматики и телемеханики, что обеспечивает регулярное обновление данных телеизмерения и телесигнализации. Данные записываются в соответствующие сигналы сервера. Все коммуни-

кационные модули работают с единым деревом сигналов InfinityServer, что обеспечивает интеграцию потоков данных в одном сервере и возможность их совместной последующей обработки, независимо от того, каким способом и из какого источника данные получены. При этом:

- ❑ Поддержка широко распространенных стандартных протоколов обмена данными позволяет опрашивать устройства различных производителей автоматики и телемеханики.
- ❑ Управление качеством входящих значений обеспечивает контроль актуальности и достоверности предоставляемой информации, наличия связи с источниками данных, исправности систем автоматики и коммуникационных устройств.
- ❑ Возможен обмен данными со сторонними OPC серверами по протоколу OPC DA, обмен данными при помощи файлов-срезов с системами автоматики, не поддерживающими стандартные интерфейсы передачи данных.
- **Предоставление данных.** InfinityServer предоставляет клиентским приложениям доступ к оперативным данным по протоколу OPC DA 2.0. Дополнительные преимущества:
 - ❑ Предоставление информации об адресном пространстве сервера дает возможность получить структуру всего дерева сигналов и выбрать элементы, необходимые для просмотра значения, мониторинга или изменения.
 - ❑ Уведомление клиентских приложений об изменениях выбранных сигналов обеспечивает отображение информации в реальном времени.
 - ❑ Запись значений сигналов по запросу OPC клиента обеспечивает пользователю возможность подачи команд управления, ввода

данных нетелемеханизированных измерений, изменения пороговых и контрольных значений, уставок ТП.

- **Телеуправление.** Передача значений телерегулирования или команд телеуправления обеспечивает возможность дистанционного управления технологическими объектами. Кроме того, немедленная отправка значения при изменении сигнала в сервере обеспечивает высокую скорость доставки команд, а контроль качества отправляемых значений исключает передачу недостоверных команд и уставок.
- **Математическая и логическая обработка.** InfinityServer выполняет математическую и логическую обработку значений сигналов в соответствии с алгоритмами, заданными при конфигурировании:
 - ❑ Встроенный пересчет значений из физических в инженерные позволяет с минимальными затратами перевести размерность измеряемых значений в привычную для пользователей форму.
 - ❑ Процедуры вычисления сигналов при изменениях дают возможность расчета вычисляемых параметров ТП и реализации алгоритмов управления.
 - ❑ Вычисления по расписаниям и таймеру обеспечивают возможность проведения регламентных расчетов, ведения счетчиков, вычисления учетных данных.
- **Оперативный контроль.** InfinityServer контролирует изменения значений сигналов на соответствие нормативным или пороговым величинам и уведомляет пользователя о нарушениях соответствий, произошедших в ходе ТП. При этом производится генерация сообщений о событиях, авариях и уведомление клиентских приложений путем рассылки пакетов по протоколу

ОРС АЕ или путем рассылки широковещательных пакетов по UDP и адресных на указанные IP- адреса.

- **Резервирование.** Механизм горячего резервирования Infinity Server позволяет при сбоях в работе системы сократить до минимума время, в течение которого управляющий персонал не может контролировать ТП.
- **Надёжность и безопасность** функционирования определяется следующими положениями:
 - ❑ Обеспечивается безопасность доступа на уровне функций и данных. Можно определить информацию, доступ к которой разрешается конкретному пользователю, и действия, которые пользователь может совершать.
 - ❑ Контроль доставки значений телерегулирования гарантирует передачу команд управления технологическим оборудованием. Сервер уведомляет пользователя о результатах доставки через специальные сигналы ответа на телеуправление/телерегулирование.
 - ❑ Контроль прав доступа к записи значений в сервер обеспечивает авторизованную подачу команд телеуправления и исключает несанкционированное управление.
- **«Горячее» резервирование** серверов ввода/вывода обеспечивается тем, что:
 - ❑ опрос систем автоматики, осуществляемый только активным сервером, исключает коллизии в технологических сетях;
 - ❑ предоставление клиентам данных только с активного сервера обеспечивает безусловную актуальность отображаемой информации;

- ❑ запись полученных значений одновременно в активный и резервный сервер исключает потери информации при сбоях основного сервера;
- ❑ автоматическое переключение клиентов на активный сервер в случае резервного перехода позволяет минимизировать время потери контроля над ТП;
- ❑ осуществляется резервное копирование конфигурации.
- **Производительность.** Механизм уведомления клиентских приложений по UDP, разработанный производителем сервера, обеспечивает высокую скорость уведомления и снижение загрузки локальной сети при большом потоке событий:
 - ❑ Количество тегов, обслуживаемых одним сервером - 250 000.
 - ❑ Количество каналов автоматики и телемеханики, обслуживаемых одним сервером -16.
 - ❑ Выполнение элементарных логических операций – 80 000 в секунду.
 - ❑ Максимальное количество входящих значений – 80 000 в секунду.
 - ❑ Максимальное количество тегов и групп, обслуживаемых по OPC - 250 000.
 - ❑ Минимальная частота обновления значений - 100 мс.
- **Открытость.** Определяется поддержкой широко-распространенных стандартных протоколов обмена данными: Modbus, Modbus+, MIEC 870.5, CAN, RP-570, TM120; Обменом данными со сторонними OPC серверами по протоколу OPC DA 1.0 и 2.0; предоставлением доступа к оперативным значениям сигналов и их свойств по протоколу OPC DA 2.0; Предоставление доступа к событиям по протоколу OPC AE.

- **Модульность.** InfinityServer имеет модульную архитектуру. Его состав может меняться в зависимости от назначения проекта автоматизации. Расширение состава представляет собой процесс подключения необходимого модуля и настройку параметров его работы.
- **Удобство использования.** Визуальные средства конфигурирования и администрирования системы позволяют настроить модули и сигналы сервера, описать логические процедуры и функции, настроить пересчет значений, задать адреса для сигналов, настроить параметры сохранения значений сигналов в архив и пр. Гибкая настройка правил генерации сообщений обеспечивает регистрацию всех событий, о которых необходимо уведомлять пользователей.
- **Многоязыковая поддержка** осуществляется интерфейсом на русском и английском языках. Также имеется встроенный механизм поддержки дополнительных языков.
- **Системные требования:**
 - ❑ *Аппаратное обеспечение:* Процессор: Pentium III 800 МГц и выше. Объем оперативной памяти: 256 МБ и более. Объем дисковой памяти: не менее 20 ГБ свободного места. Сетевой адаптер: Ethernet 10/100/1000 Мбит/с.
 - ❑ *Операционная система:* Microsoft Windows /2003/XP. СУБД: Firebird 1.5.

На рис. 5.11 представлены функциональные возможности InfinityServer.

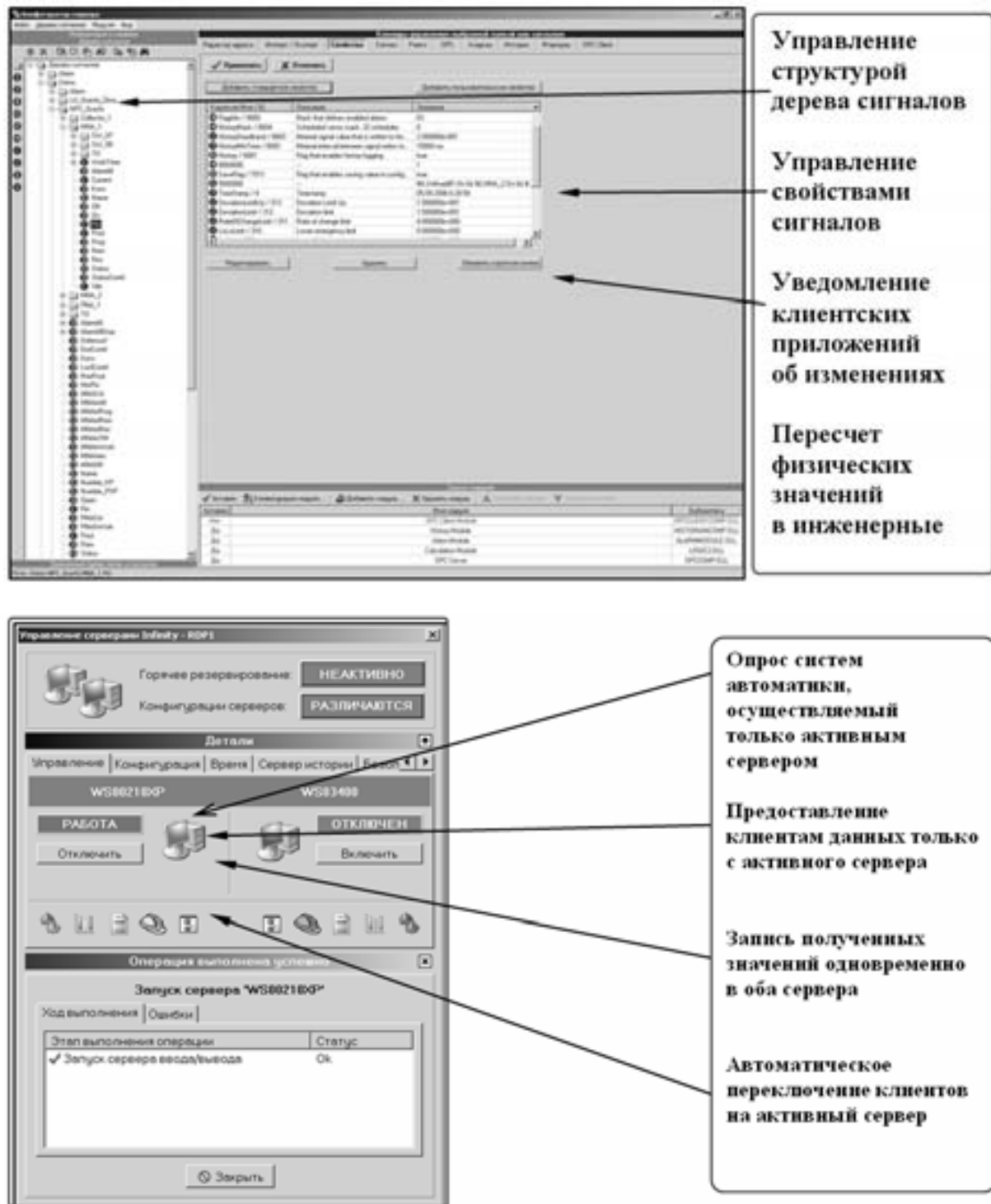


Рис. 5.11. Функциональные возможности InfinityServer

5.6.2. InfinityHistoryServer – управление историческими технологическими данными

- **Аккумуляирование исторических данных.** InfinityHistoryServer сохраняет значения технологических параметров и сообщения о событиях в ТП.

Сбор значений сигналов и сообщений о событиях по протоколам OPC DA и OPC AE обеспечивает сохранение истории как с InfinityServer, так и с других серверов, поддерживающих указанные протоколы. Реализован одновременный сбор данных от нескольких источников. Точность хронологии процесса - 100 наносекунд. Сохранение информации о качестве значения сигнала позволяет определить достоверность, источник получения значения сигнала и причины нарушения качества сигнала. Применение алгоритмов фильтрации данных по их составу, интервалу времени и порогу чувствительности, оптимизирует объем хранимых данных без потери информации о состоянии технологического процесса.

- **Предоставление исторических данных.** InfinityHistoryServer поддерживает набор стандартных интерфейсов доступа к историческим технологическим данным, реализуя все преимущества открытых технологий. Поддержка протокола OPC HDA обеспечивает быстрый и удобный доступ к истории изменения технологических параметров для любого OPC - клиента. Запрос истории с использованием SQL обеспечивает доступ к архиву истории для программ, поддерживающих протоколы OLE DB, ODBC. Это дает возможность использования исторических технологических данных в MES системах для контроля производственных процессов, при формировании отчетов, в аналитических задачах оптимизации и планирования.

- **Оптимальное управление хранилищем истории.** Удобные средства конфигурирования дают возможность оптимально настроить хранение исторических данных в соответствии с решаемыми задачами контроля технологического процесса. Гибкая настройка состава сохраняемой информации обеспечивает возможность сохранения всех необходимых исторических данных и позволяет исключить архивирование избыточной информации. Настройка времени хранения истории обеспечивает оптимизацию использования дискового пространства путем своевременной очистки устаревших значений.
- **Надёжность и безопасность.** Сглаживание пиковых нагрузок обеспечивает сохранение истории технологического процесса без потерь при переходных процессах и аварийных ситуациях. Дублирование исторических серверов обеспечивает гарантированный доступ к данным и повышает надежность хранения информации. Средства автоматического резервного копирования обеспечивают восстановление данных после аппаратного или программного сбоя.
- **Открытость** обеспечивается доступом к историческим данным по протоколу OPC HDA или с использованием SQL.
- **Производительность**
 - ❑ Одновременное хранение исторических данных в нескольких исторических архивах обеспечивает возможность быстрого доступа к оперативной истории за последние сутки и длительное хранение архивированной информации;
 - ❑ Среднее количество операций чтения/записи - 40000 в секунду;
 - ❑ Максимальная скорость чтения - до 70000 значений в секунду;
 - ❑ Средний размер записи - 85 байт;
 - ❑ Размер исторической базы данных - до 15 ГБ.

- **Многоязыковая поддержка** осуществляется интерфейсом на русском и английском языках. Также имеется встроенный механизм поддержки дополнительных языков.
- **Системные требования:**
 - ❑ *Операционная система:* Microsoft Windows /2003/XP. СУБД: Firebird 1.5.
 - ❑ *Программное обеспечение:* Источник технологических данных: InfinityServer или другой OPC сервер.
 - ❑ *Аппаратное обеспечение (рекомендуемая конфигурация):*

Количество сигналов	Процессор	ОЗУ	Винчестер	Сетевой адаптер
до 1500	Pentium III 800 МГц	256 МБ	ATA, 20 ГБ	Ethernet 10/100 Мбит/с.
до 10000	Pentium IV 2.0 ГГц	512 МБ	SATA, 40 ГБ	Ethernet 10/100 Мбит/с
свыше 10000	Pentium IV 2.0 ГГц	1 ГБ	RAID SATA Level 0	Ethernet 100/1000 Мбит/с

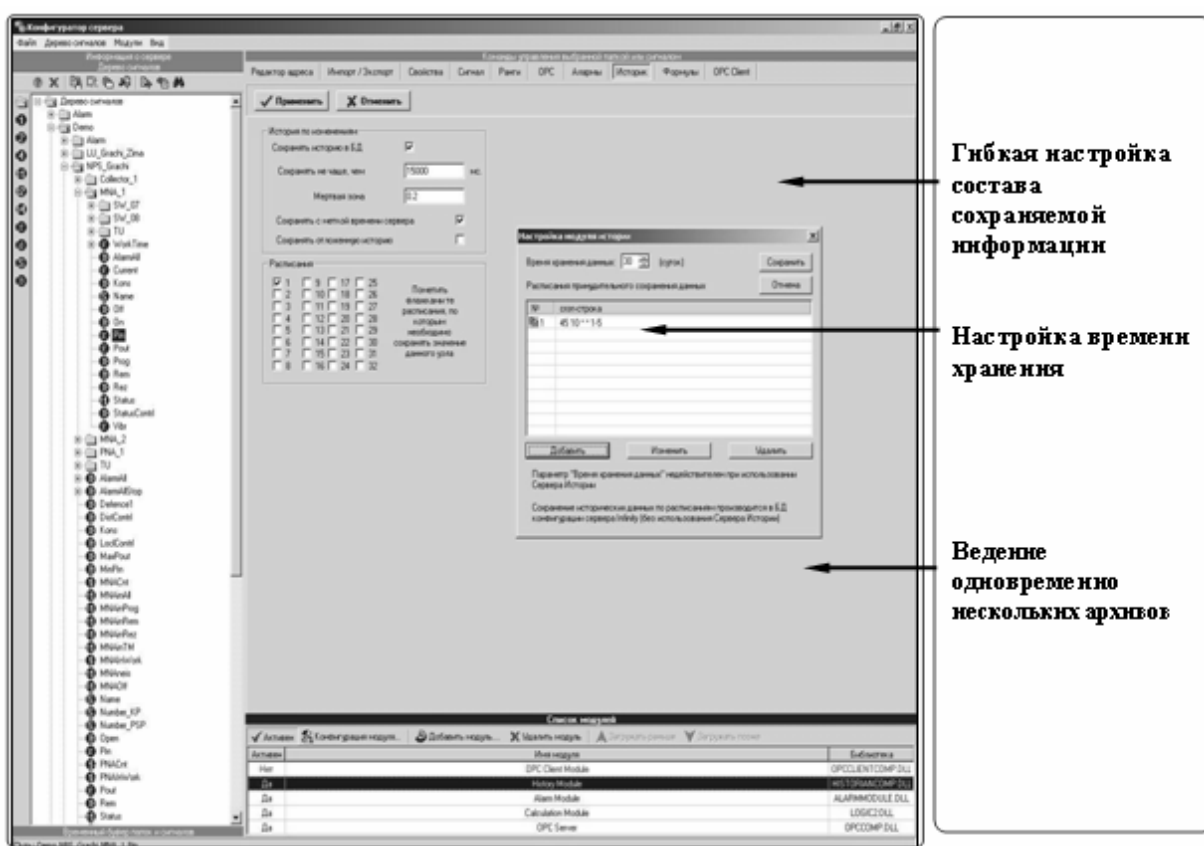


Рис. 5.12. Функциональные возможности InfinityHistoryServer

5.6.3. InfinityHMI – разработка и исполнение графических мнемосхем. Управление технологическим процессом и отображение в режиме реального времени информации о ходе выполнения технологического процесса

InfinityHMI предоставляет расширенный набор функций по созданию, редактированию и настройке динамических свойств графических элементов.

В InfinityHMI анимация графических объектов (изменение формы, размеров, расположения, цвета графических объектов, их скрытие, «мигание», градиентная заливка) обеспечивает наглядное для пользовательского восприятия отображение состояния технологического объекта или процесса.

Библиотека графических символов и динамических объектов обеспечивает сохранение часто используемых образов технологических объектов с приписанными им функциями анимации. Каждая библиотека может быть разбита на любое количество категорий.

Механизм управления слоями экранной формы регулирует степень детализации информации о технологическом объекте и упрощает управление мнемосхемой. Механизм группировки объектов обеспечивает произвольное объединение нескольких графических элементов в единый объект. Настройка свойств выполняется как для самого объекта, так и для любого элемента, входящего в сгруппированный объект. Специальный инструмент «Весь документ» предоставляет универсальный механизм навигации и масштабирования при создании сложных мнемосхем.

Функция «Drag&Drop» выполняет копирование графических и динамических объектов из одной мнемосхемы в другую, а также в другие приложения. Мнемосхемы сохраняются в двух форматах: в формате *.xml и бинарном оригинальном формате *.grf.

- **Обработка данных.** InfinityHMI обеспечивает получение данных по протоколу OPC DA от одного или нескольких OPC серверов,

записывает данные в OPC сервер, что обеспечивает возможность изменения текущих параметров ТП, контролируемых системой, и позволяет диспетчеру (оператору) управлять технологическим процессом. При этом, редактор выражений обеспечивает выполнения математических, логических, функциональных и других операций с данными. Также реализована поддержка целочисленных, вещественных, логических и строковых типов данных. Технология псевдонимов позволяет динамически менять источники данных во время исполнения.

- **Исполнение мнемосхем.** Режим запуска InfinityHMI настраивается с помощью набора параметров командной строки. Обеспечивается запуск в режиме исполнения, с автоматическим открытием проекта, запретом выхода в режим разработки. Механизм «всплывающих» подсказок обеспечивает быстрое и наглядное получение уточняющей информации о ТП.
- **Надёжность и безопасность.** Встроенная система безопасности обеспечивает открытие мнемосхемы по паролю, разрешает или запрещает запись OPC-сигналов. Функция автоматического сохранения резервной копии файла с мнемосхемой минимизирует риски потери информации в случае сбоев в работе компьютера.
- **Производительность.**
 - ❑ Период обновления значений сигналов OPC - от 100 мс.
 - ❑ Дискретизация имитации сигналов - от 50 мс.
 - ❑ Время перерисовки - от 50 мс
 - ❑ Количество объектов на мнемосхеме и количество подключаемых OPC-тэгов - не ограничено.
- **Открытость.** Доступ к данным по протоколу OPC DA обеспечивает интеграцию с системами SCADA сторонних производителей. Язык программирования Microsoft Visual Basic 6.3. встроен

в InfinityHMI и обеспечивает разработку сценарных процедур любой сложности.

Сохранение мнемосхем осуществляется в формате **.xml*. Графическая составляющая мнемосхемы сохраняется в стандартном формате **.emf*, что позволяет отобразить мнемосхему в программах просмотра графических файлов. Функция экспорта мнемосхемы в формат **.html* позволяет просматривать мнемосхемы в Web-браузере.

InfinityHMI является ActiveX – контейнером для управляющих элементов ActiveX и OLE. Посредством набора свойств и методов OLE автоматизации InfinityHMI управляется из других приложений, программируются реакции на события самой экранной формы - ее загрузку в память, анимацию, действия пользователя.

- ***Удобство использования.*** Обеспечивается:

- ☐ гибкой настройкой параметров редактирования, сохранения, печати и исполнения мнемосхем;
- ☐ встроенной системой контекстно-ориентированной помощи Windows – подобный интерфейс является привычным для пользователей, что обеспечивает достаточно быстрое освоение InfinityHMI.
- ☐ созданием мнемосхем без составления программного кода, что существенно снижает требования к квалификации пользователей.

- ***Многоязыковая поддержка*** осуществляется интерфейсом на русском и английском языках. Также имеется встроенный механизм поддержки дополнительных языков.

- ***Системные требования:***

- ☐ *Программное обеспечение:* Источник технологических данных: InfinityServer или другой OPC сервер;
- ☐ *Операционная система:* Microsoft Windows 2000/2003/XP;

- *Аппаратное обеспечение: (Минимальные требования):* Процессор: Pentium III 800 МГц и выше. Объем оперативной памяти: 256 МБ и более. Сетевой адаптер: Ethernet 10/100/1000 Мбит/с. Видеоадаптер (память не менее 16Мб) и монитор (рекомендуемое разрешение 1024*768 и 1280*1024).

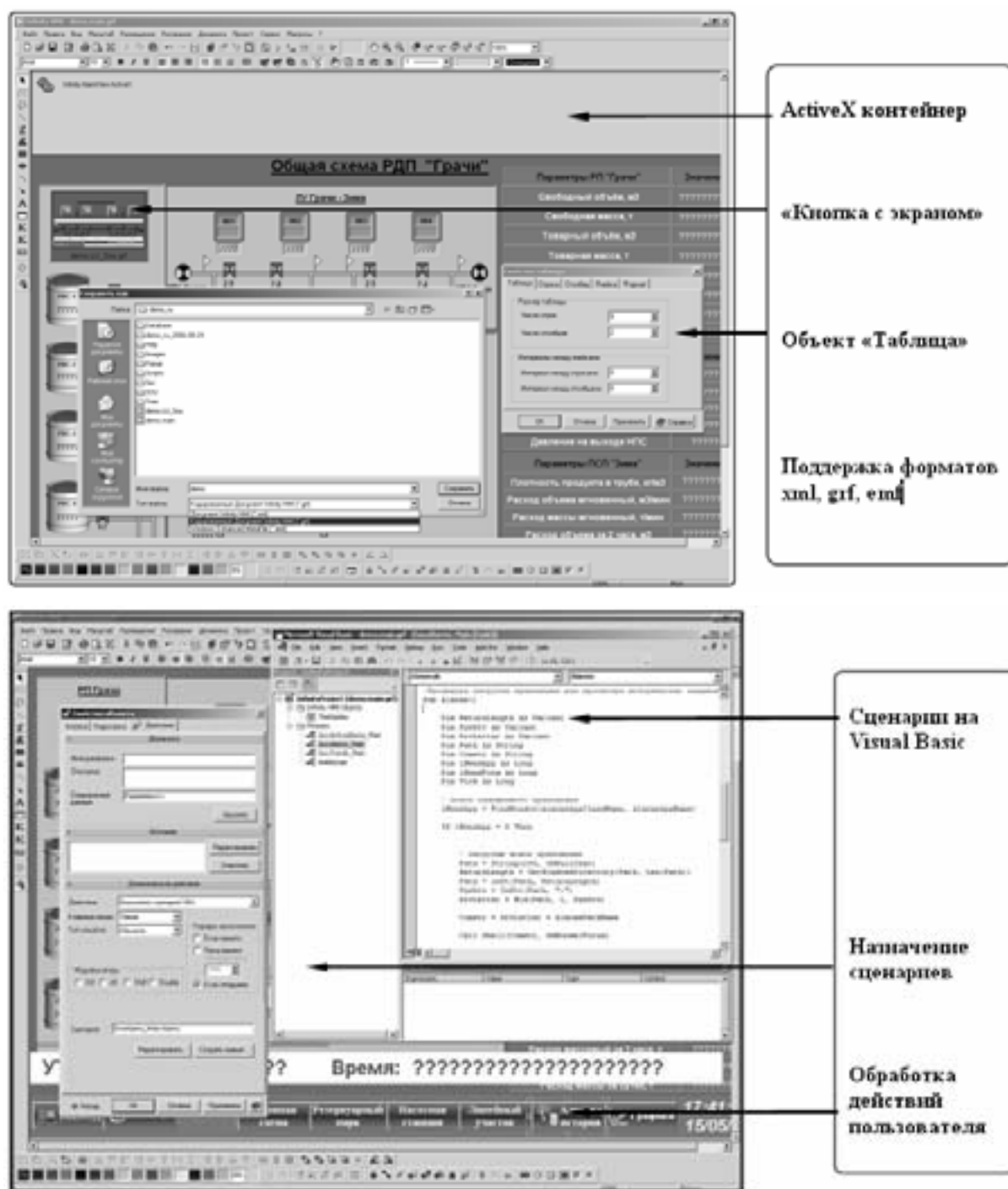


Рис. 5.13. Экранные формы InfinityNMI

5.6.4. InfinityTrends – отображение истории изменения технологических параметров

InfinityTrends позволяет пользователям просматривать и анализировать изменения значений любого битового или аналогового параметра во времени с помощью графиков зависимостей, или в табличном виде. Построение трендов происходит на основе оперативных, исторических данных.

В оперативном режиме InfinityTrends получает мгновенные значения измеренного параметра непосредственно от сервера ввода - вывода по OPC и отображает их на графике (режим самописца). В историческом режиме отображается график изменений параметра, зарегистрированных за указанный пользователем интервал времени, а также вычисление статистических характеристик контролируемых параметров, таких как количество значений сигнала за выбранный временной интервал, минимум и максимум, время обработки запроса к серверу истории. Возможно представление тренда в табличном виде, что обеспечивает возможности для детального анализа изменения технологических параметров.

- ***Управление отображением значений.*** Отображение нескольких графиков в одном трендовом поле позволят выявлять зависимости изменения параметров друг от друга, анализировать динамику технологического процесса. Многооконный режим обеспечивает отображение каждого технологического параметра в отдельном окне, масштаб каждого графика задается индивидуально. InfinityTrends позволяет производить автоматическое или ручное масштабирование графиков - всего графика, по горизонтали, вертикали или выбранного участка графика. При этом одновременное отображение нескольких реперных линий дает дополнительную информацию для детального анализа изменения параметров. Возможен вывод графиков на печать.

- **Надёжность и безопасность** обеспечивается резервированием подключений к источникам с помощью автоматического переключения между OPC серверами.
- **Производительность.** Встроенный механизм кэширования ускоряет доступ к дереву сигналов при повторном запросе. Возможно получение данных от нескольких источников одновременно, в том числе территориально удаленных. Данная функция возможна при использовании программных продуктов компании «ЭлеСи» InfinityIntercom и InfinityWebServer.
- **Открытость и интегрированность** характеризуется тем, что:
 - ❑ доступ к данным по протоколам OPC DA и OPC HDA обеспечивает интеграцию с системами SCADA сторонних производителей;
 - ❑ сохранение таблицы значений тренда в формате *.xls обеспечивает формирование сводок и отчетов с применением стандартных средств Microsoft Office;
 - ❑ экспорт трендов в графический файл *.emf обеспечивает просмотр трендов в программах просмотра графических файлов.
- **Удобство использования** заключается в возможности настройки параметров тренда, добавления, удаления и редактирования отображаемых сигналов во время исполнения. Измененные параметры становятся доступными без перезагрузки InfinityTrends:
 - ❑ вид и состав панелей инструментов;
 - ❑ цвета и стили отображения графиков;
 - ❑ количество реперных линий;
 - ❑ состав и степень точности выводимых данных;
 - ❑ интервал и период обновлений данных в оперативном режиме.

Реализация InfinityTrends в виде компоненты ActiveX позволяет легко использовать все ее возможности, например, на мнемосхемах

InfinityHMI, в Microsoft Internet Explorer или в другой программе отображения, предоставляющей функции контейнера.

- **Многоязыковая поддержка** осуществляется интерфейсом на русском и английском языках. Также имеется встроенный механизм поддержки дополнительных языков.

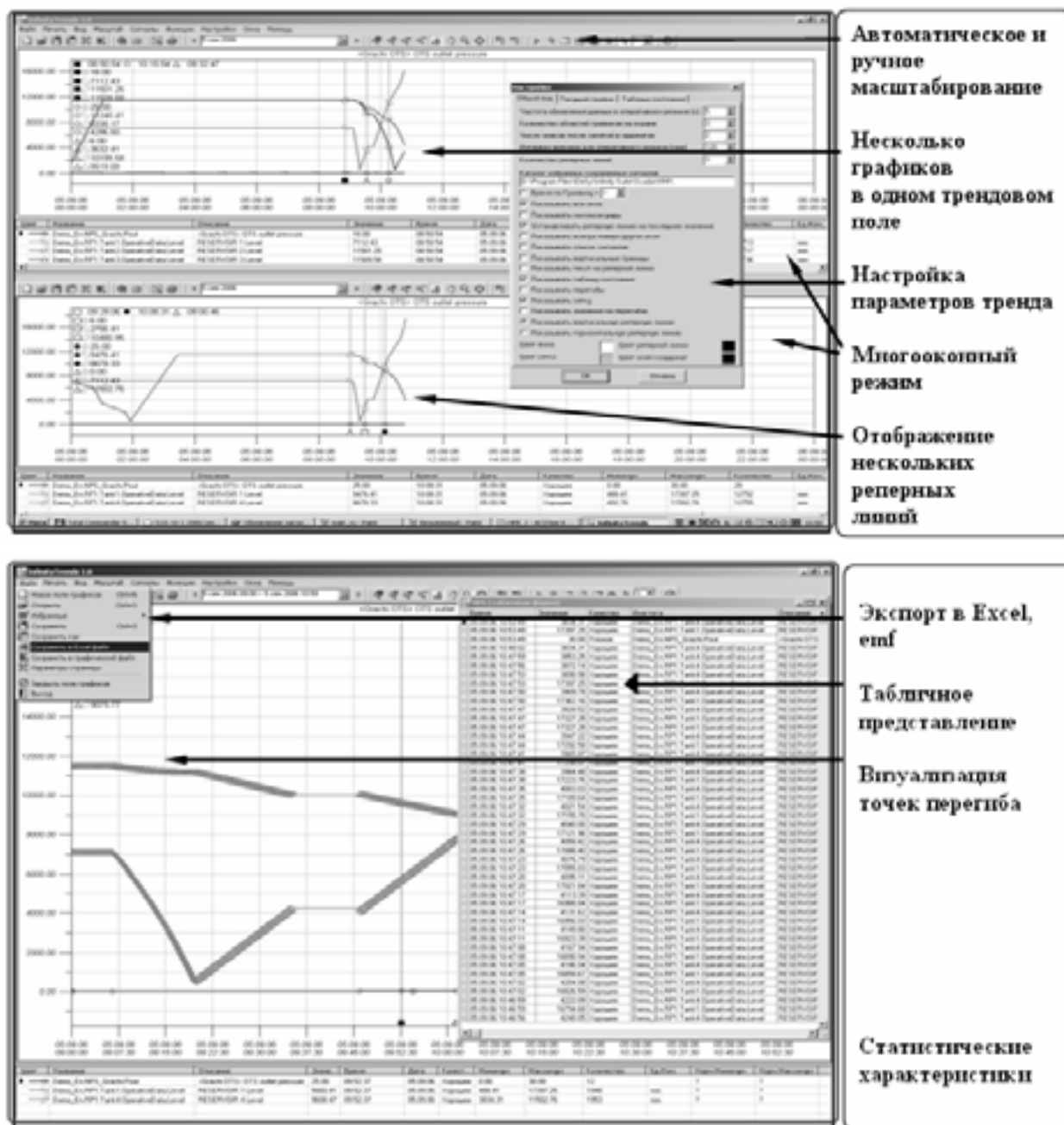


Рис. 5.14. Экранные формы Infinity Trends

- **Системные требования:**

- ❑ *Операционная система:* Microsoft Windows 2000/2003/XP.
- ❑ *Программное обеспечение* Источник технологических данных: InfinityServer, InfinityHistoryServer или другой OPC сервер.
- ❑ *Аппаратное обеспечение:*Процессор: Pentium III 800 МГц и выше. Объем оперативной памяти: 256 МБ и более. Сетевой адаптер: Ethernet 10/100/1000 Мбит/с.

5.6.5. InfinityInfinityAlarms – отображение сообщений о событиях и авариях

InfinityAlarms позволяет пользователям отслеживать, обрабатывать и квитировать сообщения о событиях и авариях, возникающих в ТП.

Отображение текстов сообщений в оперативном режиме происходит по мере поступления. В историческом режиме пользователь может задать произвольный режим сортировки – по возрастанию значения свойства сообщения: текста, источника, времени регистрации или квитирования, тексту сообщения или имени квитировавшего пользователя.

Операция квитирования фиксируется в журнале с указанием времени квитирования, а также пользователя, выполнившего квитирование. Задание цвета текста сообщений разных типов и степени важности облегчает восприятие оперативной информации. В InfinityAlarms предусмотрено дополнительное информирование речевым оповещением о получении сообщения, а также оповещение о событии текстовым сообщением на мобильные телефоны (SMS), факс, электронный почтовый адрес (e-mail).

- **Управление отображением.** С помощью фильтрации и сортировки оператор может выводить на экран только те сообщения, которые ему нужны в данный период времени. Это гибкий инструмент, позволяющий разделять сообщения по назначению, объектам,

типам и важности. Построковая печать оперативных сообщений на матричном принтере обеспечивает ведение объективного протокола событий.

- **Надёжность и безопасность** обеспечивается резервированием подключений к источникам с помощью автоматического переключения между OPC серверами.
- **Производительность.** Встроенный механизм кэширования ускоряет доступ к дереву сигналов при повторном запросе. Предусмотрено получение данных от нескольких источников одновременно, в том числе территориально удаленных. Данная функция возможна при использовании программных продуктов компании «ЭлеСи» InfinityIntercom и InfinityWebServer.
- **Открытость и интегрированность** определяется тем, что:
 - ☐ доступ к данным по протоколу OPC AE обеспечивает интеграцию с системами SCADA сторонних производителей;
 - ☐ экспорт списка сообщений в различные форматы (*xls, html, xml*) обеспечивает формирование сводок и отчетов с применением стандартных средств Microsoft Office.
- **Удобство использования** определяется возможностью настройки параметров сообщения, добавления, удаления и редактирования отображаемых сигналов во время исполнения. Измененные параметры становятся доступными без перезагрузки InfinityAlarms:
 - ☐ вид и состав панелей инструментов;
 - ☐ цвет для сообщений разных типов и степеней важности;
 - ☐ состав и вид отображаемых сообщений.

Реализация InfinityAlarms в виде компоненты ActiveX позволяет легко использовать все ее возможности, например, на мнемосхемах InfinityHMI, в Microsoft Internet Explorer или в другой программе отображения, предоставляющей функции контейнера.

- **Многоязыковая поддержка** осуществляется интерфейсом на русском и английском языках. Также имеется встроенный механизм поддержки дополнительных языков.
- **Системные требования.**
 - ❑ *Операционная система:* Microsoft Windows 2000/2003/XP.
 - ❑ *Программное обеспечение* Источник технологических данных: InfinityServer, InfinityHistoryServer или другой OPC сервер.
 - ❑ *Аппаратное обеспечение (Минимальные требования):* Процессор: Pentium III 800 МГц и выше. Объем оперативной памяти: 256 МБ и более. Сетевой адаптер: Ethernet 10/100/1000 Мбит/с.

5.6.6. InfinityHistoryPlayer – проигрывание истории технологического процесса

InfinityHistoryPlayer обеспечивает воспроизведение истории ТП в задачах анализа нештатных ситуаций, обучения персонала (тренинга), прогнозирования или моделирования технологических процессов.

InfinityHistoryPlayer получает исторические технологические данные из серверов истории, в том числе из InfinityHistoryServer, по протоколу OPC HDA и предоставляет их клиентским приложениям по протоколу OPC DA. Предоставление данных по протоколу OPC DA позволяет использовать для воспроизведения истории те же клиентские приложения, в которых отображаются данные реального времени. Не требуется изменение мнемосхем или настроек. Достаточно изменить источник данных. При этом имеется возможность одновременного воспроизведения истории и просмотра данных реального времени в одном клиентском приложении, что обеспечивает непрерывность оперативного контроля ТП во время воспроизведения истории.

- **Управление воспроизведением.** На панели расположены органы управления воспроизведением и индикаторы текущего состояния воспроизведения. При этом:
 - ❑ Изменение скорости проигрывания позволяет прокрутить либо подробно рассмотреть необходимые интервалы времени.
 - ❑ Перемещение отображаемого момента времени при помощи «ползунка» позволяет найти нужный момент для проигрывания.
 - ❑ Пошаговое перемещение по воспроизводимому интервалу позволяет задерживаться на интересующих моментах времени.
 - ❑ Есть возможность проигрывания в обратном направлении.
- **Надёжность и безопасность** определяется отсутствием возможности изменения истории и полной повторяемостью результатов после сбоя.
- **Производительность** определяется чтением с упреждением и оптимизацией запросов исторических данных, что позволяет проигрывать данные без задержек и эффективно использовать вычислительные ресурсы.
- **Многоязыковая поддержка** осуществляется интерфейсом на русском и английском языках. Также имеется встроенный механизм поддержки дополнительных языков.
- **Системные требования:**
 - ❑ *Операционная система:* Microsoft Windows 2000/2003/XP.
 - ❑ *Программное обеспечение:* Среда исполнения: .NET Framework 1.1.
 - ❑ *Аппаратное обеспечение.* Процессор: Pentium III 800 МГц и выше. Объем оперативной памяти: 256 МБ и более. Жесткий диск: не менее 80 МБ свободного места. Сетевой адаптер: Ethernet 10/100/1000 Мбит/с.



Рис. 5.15. Экранная форма InfinityHistoryPlayer

Список литературы

1. Азаров А.Г., Гарганеев А.Г., Полонский В.В. и др. Аккумуляторные батареи в системах бесперебойного электропитания. //Аппаратно-программные средства автоматизации технологических процессов. Сб. трудов НИИ АЭМ, посв. 30-летию института/Под ред. Шурыгина Ю.А., Томск: Изд-во Том. ун-та,1998, с.197-207.
2. Варламов В.Р. Современные источники питания: Справочник. 2-е изд., испр. и доп. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 224 с. ISBN 5-94074-059-6.
3. Нижниковский В.А., Сердюков П.Н. Автономное электропитание миниатюрной радиоэлектронной аппаратуры//Специальная техника. № 4. 2000.
4. Вайлов А.М., Эйгель Ф.И.. Автоматизация контроля и обслуживания аккумуляторных батарей. - М. Связь. 1975. – 152 с.
5. Вырыпаев В.Н., М.А. Дасоян, В.А. Никольский. Химические источники тока. М.: Высшая школа,1990.- 240 с.
6. Дасоян М.А.. Химические источники тока. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 350 с.
7. Романов В.В., Хашев Ю.М.. Химические источники тока. – М.: Сов. Радио, 1978. – 264 с.
8. Соустин Б.П. и др. Системы электропитания космических аппаратов.- Новосибирск: ВО «Наука», 1994.-318 с.
9. Кромптон Т. Вторичные источники тока: Пер. с англ.-М.: Мир,1985. – 384 с.
10. Пугачев Е.В. Автоматизированные системы электрооборудования с аккумуляторными источниками питания. Уч. пособие. Кемерово: Изд-во КузГТУ, 1999. 198 с.
11. Пугачев Е.В. Аккумуляторные источники питания: модели, характеристики.- Кемерово: Изд-во КГТУ, 1999. 248 с.

12. Королев С.И., Цветков Г.И., Шурыгин Ю.А. Проектирование устройств электропитания средств вычислительной техники. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1990.-206 с.
13. Азаров А.Г., Гарганеев А.Г., Житков О.М. Интерактивные системы бесперебойного электропитания // Наука производству, 1999, №7(20), с.40-41.
14. Задерей Г.П., Заика П.Н. Многофункциональные трансформаторы в средствах вторичного электропитания. – М.: Радио и связь, 1989 г.
15. А.Ю. Воробьев. Электроснабжение компьютерных и телекоммуникационных систем. – М.: Эко-Трендз, 2002. – 280 с. ISBN 5-88405-048-8/
16. ГОСТ Р 50369-92. Электроприводы. Термины и определения. Изд-во стандартов, 1993.
17. Электропривод и сетевые технологии: Доклады научно-практического семинара, 4 февр. 2003 г., Москва. – М.: Издательство МЭИ, 2003.- 144 с. ISBN 5-7046-0908-2.
18. Розанов Ю.К. Электронные устройства электромеханических систем: Учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений/ Ю.К.Розанов, Е.М. Соколова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 272 с. ISBN 5-7695-1365-9.
19. Ефимов А.А., Шрейнер Р.Т. Активные преобразователи в регулируемых электроприводах переменного тока/ Под общей ред. д-ра техн. наук, проф. Р.Т. Шрейнера. Новоуральск: Изд-во НГТИ, 2001. -250 с. ISBN 5-332-00003-0.
20. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: Учеб. пособие. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 664 с.
21. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат. 1986. – 416 с.

22. Фираго Б.И. Теория электропривода: Учеб. Пособие / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик.- Мн.: ЗАО «Техноперспектива», 2004. – 527 с. ISBN 985-6591-20-1.
23. Панкратов В.В., Зима Е.А. Энергооптимальное управление асинхронными электроприводами: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. 120 с. ISBN 5-7782-0492-2.
24. Гарганеев А.Г. и др. Опыт разработки преобразователя частоты для асинхронного электропривода общепромышленного применения // Электротехника. 2005. №9.
25. Трубопроводный транспорт нефти./ Г.Г. Васильев, Г.Е. Коробков, А.А. Коршак и др. Под ред. С.М. Вайнштока. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – 407 с.
26. Арматура запорная на номинальное давление до PN 150. Специальные технические требования. ОАО «АК «Транснефть». Москва. 2005.
27. Гошко А.И.. Арматура трубопроводная целевого назначения. Выбор. Эксплуатация. Ремонт. – М.: Машиностроение, 2003 – 432 с.
28. Гошко А.И. Трубопроводная арматура. Классификация. Исполнения. Термины и определения. Технический справочник из серии «Эксплуатация и ремонт арматуры, трубопроводов, оборудования. – М.: Инструмент, 2003. – 126 с.
29. Сейнов С.В., Сейнов Ю.С.. Задвижки клиновые. Использование. Техническое обслуживание. Ремонт. Технический справочник из серии «Эксплуатация и ремонт арматуры, трубопроводов, оборудования. – М.: Инструмент, 2003. – 144 с.
30. Гарганеев А.Г. Каракулов А.С. Интеллектуальный электропривод как элемент распределенной системы// Журнал интеллектуальных технологий ITech. 2006. № 4.
31. Гончаров В.И. Вещественный интерполяционный метод синтеза систем автоматического управления. - Томск: Изд-во ТПУ, 1995. – 108 с.

- 32.Г. Олссон, Д Пиани. Цифровые системы автоматизации и управления. – СПб.: Невский Диалект, 2001. – 557 с. ISBN 5-7940-0069-4.
- 33.ГОСТ 26.011-80. Средства измерений и автоматизации. Сигналы тока и напряжения электрические входные и выходные. Изд-во стандартов. 1988.
- 34.ГОСТ 26.010-80. Средства измерений и автоматизации. Сигналы частотные электрические непрерывные входные и выходные. Изд-во стандартов. 1980.
- 35.Климов А.В. Измерительные преобразователи с искробезопасным входом производства ЗАО «ЭлеСи»//Материалы МНТК «Современные средства и системы автоматизации – гарантия высокой эффективности производства» (г. Томск, 14-15 ноября 2002 г.). Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003 г., с. 23-27.
- 36.Обзор технологий отображения информации:
<http://www.ekranov.net/articles/45/>.
- 37.В.П. Дедов. Принципы построения современных проекционных систем:
<http://www.wplus.net/pp/infornet/prosys.htm>.
- 38.Системы обратной проекции: <http://www.dialog-it.ru/presentation/?p=268>.
- 39.SCADA-системы: <http://www.netcore.ru/app/scada/>.
- 40.А.Б. Курзанов, М.М. Костарев, В.Е. Одегов. Infinity SCADA / Опыт применения в ОАО «Приволжскнефтепровод» // Журнал интеллектуальных технологий ITech. 2006. № 5.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 1. ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА – АККУМУЛЯТОРЫ КАК ЭЛЕМЕНТ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ	3
1.1. Общие сведения о химических источниках тока	3
1.2. Первичные ХИТ	4
1.3. Вторичные ХИТ	12
1.3.1. Кислотные аккумуляторы	13
1.3.2. Щелочные аккумуляторы	17
ГЛАВА 2. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	20
2.1. Структурное построение СЭП ответственных потребителей переменного тока	20
ГЛАВА 3. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ – ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ	31
3.1. Электропривод как средство автоматизации технологических процессов	31
3.2. Преобразовательные устройства для управления ЭП постоянного тока	40
3.3. Преобразовательные устройства для управления ЭП переменного тока	48
3.4. Скалярное и векторное управление АД	58
3.5. Практическое использование ЭП переменного тока (на примере асинхронного ЭП запорной арматуры)	64
ГЛАВА 4. УСТРОЙСТВА СОПРЯЖЕНИЯ С ОБЪЕКТАМИ УПРАВЛЕНИЯ	79
4.1. Общие сведения и требования стандартов	79
4.2. Примеры построения УСО	88
ГЛАВА 5. УСТРОЙСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ	100
5.1. Светодиоды и светодиодные экраны	100
5.2. Экраны на основе наборных газоразрядных (плазменных) модулей	114
5.3. Монолитные плазменные панели	117
5.4. Рир-проекционные мониторы (видеомодули)	118
5.5. Экраны и индикаторы на основе жидких кристаллов	121
5.6. Отображения информации в АСУ ТП на основе SCADA-систем	129
5.6.1. InfinityServer - OPC-сервер ввода-вывода	131
5.6.2. InfinityHistoryServer – управление историческими технологическими данными	138
5.6.3. InfinityHMI – разработка и исполнение графических мнемосхем. Управление технологическим процессом и отображение в режиме	

реального времени информации о ходе выполнения технологического процесса.....	141
5.6.4. InfinityTrends – отображение истории изменения технологических параметров	145
5.6.5. InfinityInfinityAlarms – отображение сообщений о событиях и авариях	148
5.6.6. InfinityHistoryPlayer – проигрывание истории технологического процесса.....	150
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	153
СОДЕРЖАНИЕ	157