



## 1.2. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Источники электропитания совместно с устройствами защиты и коммутации образуют систему электропитания (СЭП) ЭА. Различают централизованную, децентрализованную и комбинированную СЭП.

В *централизованной СЭП* электропитание нескольких автономных устройств ЭА осуществляется от общих для них ИЭП через устройства распределения. Число одноканальных ИП в централизованной СЭП, как правило, равно числу номиналов напряжений, требуемых для устройств ЭА.

В *децентрализованной СЭП* каждое автономное устройство ЭА обеспечивается электропитанием от собственных ИП. Количество собственных одноканальных ИП в децентрализованной СЭП обычно больше числа номиналов напряжений, требуемых для конкретного вида ЭА. Несмотря на то, что концепция распределенного электропитания известна достаточно давно, эти системы долгое время почти не применялись. Основная причина заключалась в том, что преобразователи из постоянного напряжения в постоянное (так называемые DC/DC преобразователи) того времени с выходной мощностью 5...50 Вт были достаточно громоздкими и тяжелыми, т.е. имели низкие массогабаритные характеристики [Вт/дм<sup>3</sup>] и [Вт/кг]. Только сравнительно недавно, с появлением компактных DC/DC преобразователей, которые можно устанавливать на печатную плату как компоненты, концепция распределенных систем электропитания реально начала воплощаться в жизнь. Данный тип преобразователя выполняется на бескорпусных ЭРИ в виде гибридных микросборок.

В *комбинированной СЭП* электропитание автономного устройства ЭА производится как от общего (централизованного), так и от автономного ИП, принадлежащего данному устройству ЭА.

С точки зрения качества используемого электропитания ЭА можно разделить на две группы. К первой группе относится аппаратура, в которой наряду с обработкой сигналов осуществляется их формирование (аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, приемники, передатчики и т. п.). Требования к качеству напряжения электропитания в такой аппаратуре составляют  $\pm(1...2)\%$  по допустимой нестабильности и 0,1...0,02% по переменной составляющей. Для выполнения этих сравнительно высоких



требований, в такой аппаратуре целесообразно использовать децентрализованные или комбинированные СЭП. Ко второй группе относится аппаратура, в которой не осуществляется формирование сигналов, а также цифровая аппаратура, не требующая высокого качества электропитания. Для такой аппаратуры целесообразно применять централизованный принцип построения СЭП с применением ИП импульсного действия.

Централизованные СЭП рекомендуется использовать в вычислительных комплексах и подсистемах ЭА, потребляющих большие мощности и имеющих ограниченный ряд напряжений. При этом целесообразно резервирование в качестве основного средства повышения надежности СЭП.

Требования к показателям надежности СЭП определяются с одной стороны показателями надежности нагрузки, а с другой – показателями надежности системы электроснабжения (СЭС), выходное напряжение которой является входным напряжением для СЭП. Основной характеристикой СЭС является *степень бесперебойности подачи электроэнергии*. Они могут иметь наработку на отказ до 50 тыс. ч при наличии резервного источника электроэнергии и устройства гарантированного электроснабжения, порядка 10 тыс. ч при наличии резервного источника электроэнергии и около 2 тыс. ч при отсутствии резервного источника электроэнергии. При этом СЭС содержит не менее двух одновременно работающих источников электроэнергии, каждый из которых может полностью обеспечить электроэнергией нагрузку.

Наработка на отказ устройства нагрузки в существенной мере зависит от элементной базы. Так, устройства на интегральных схемах (ИС) и больших интегральных схемах (БИС) имеют высокие показатели надежности (более 100 тыс. ч), а устройства, использующие электровакуумные и электромеханические приборы, сравнительно низкую наработку на отказ (порядка сотен часов).

При определении требований к показателям надежности СЭП необходимо учитывать уровень мощности и рабочего напряжения. При достаточно большой выходной мощности СЭП в ее составе неизбежно применение большого количества (обычно соединенных параллельно) транзисторов, диодов и других компонентов, снижающих надежность устройства. При высоком уровне рабочего напряжения применяются последовательно соединенные сравнительно низковольтные *электрорадиоизделия (ЭРИ)*, которые



также ухудшают показатели надежности СЭП. При построении СЭП используют два вида резервирования:

- постоянное – резервирование, при котором в работе постоянно находятся все элементы, и система не отказывает до выхода из строя определенного их числа;
- замещением – резервирование, при котором резервные элементы включаются только после автоматического отключения отказавших элементов.

Показатели ИП в значительной степени определяются их электрической и конструктивной совместимостью с системой электропитания, выходное напряжение которой является входным для ИП. Если ИП являются составной частью стационарной ЭА, то в качестве системы электропитания используется стационарная промышленная сеть, отвечающая требованиям стандарта. При размещении ЭА на подвижном объекте должна быть обеспечена совместимость ИП с *системой автономного электропитания (САЭС)* и с транспортным средством. При этом может использоваться аккумуляторная батарея транспортного средства для работы в буферном режиме с САЭС или генератор транспортного средства в качестве САЭС.

К системе автономного электропитания предъявляются следующие требования: обеспечение заданными значениями напряжений и мощности постоянного и переменного токов, стабильность выходных напряжений, бесперебойность электропитания, высокая наработка на отказ, возможность размещения в непосредственной близости к источникам электропитания, минимальное время готовности к работе, минимальный расход топлива.

Серийно выпускаемые САЭС имеют похожие структурные схемы, отличающиеся видом приводного двигателя, выходными мощностью и напряжением, схемой подключения источников электроэнергии, числом каналов и способом их переключения, конструктивным исполнением. Наиболее распространенными в настоящее время являются САЭС, построенные по схеме генератора переменного тока стабильной частоты с отбором мощности от двигателя транспортного средства, а также встраиваемые электроагрегаты с бензиновыми, дизельными, газотурбинными и другими двигателями [6].

Долговечность, стабильность параметров генерируемого тока и другие важнейшие характеристики САЭС во многом определяют



ся типом приводного двигателя, который должен работать на топливе, идентичном топливу двигателей транспортных средств [7].

В системе автономного электроснабжения ЭА подвижных объектов связи чаще применяются бензиновые электроагрегаты мощностью 4 и 8 кВт, напряжением 230 и 400 В переменного тока и частотой 50 Гц. В основном используются электроагрегаты переменного тока, в меньшей степени распространены САЭС постоянного тока. Все электроагрегаты обеспечивают электроэнергией ЭА как на стоянке, так и при движении. Время непрерывной работы САЭС составляет не менее 24 ч с дозаправками топливом. В табл. 1.1 приведены характеристики встраиваемых электроагрегатов, имеющих близкие показатели качества электроэнергии: допустимые отклонения напряжения в установившемся режиме  $\pm(2...5)\%$  и при переходных процессах  $\pm(20...50)\%$ , время восстановления 0,5...2 с, допустимые отклонения частоты в установившемся режиме  $\pm(3...5)\%$  и при переходных процессах  $\pm(6...12)\%$ , время восстановления 1...3 с.

Для аппаратуры средней и большой потребляемой мощности, установленной на подвижных объектах, в качестве источников электроэнергии применяют в основном автомобильные и прицепные электростанции. Автомобильные электростанции осуществляют длительное электроснабжение на стоянке. Прицепные электростанции используют для той аппаратуры, к которой не предъявляются требования по бесперебойности электроснабжения. Основные характеристики автомобильных и прицепных электростанций приведены в табл. 1.2.1.

На рис. 1.2.1 приведена структурная схема САЭС постоянного тока ЭА систем связи. Она содержит источники электроэнергии и распределительную сеть. Основные параметры дизельных электростанций серии ЭД приведены в таблице 1.2.2. Основным источником электроэнергии является бензиновый электроагрегат типа АБ4У-П/28.5-1В. Резервным источником электроэнергии является электроустановка ЭУ66-4-П/28.5 на автомобиле ГАЗ-66 и бортовая сеть транспортной базы на БТР-80.

Аккумуляторная батарея 12СТ-85Р является вспомогательным (аварийным) источником. Основной, резервный и вспомогательный источники электроэнергии могут работать как на стоянке, так и при движении транспортного средства.

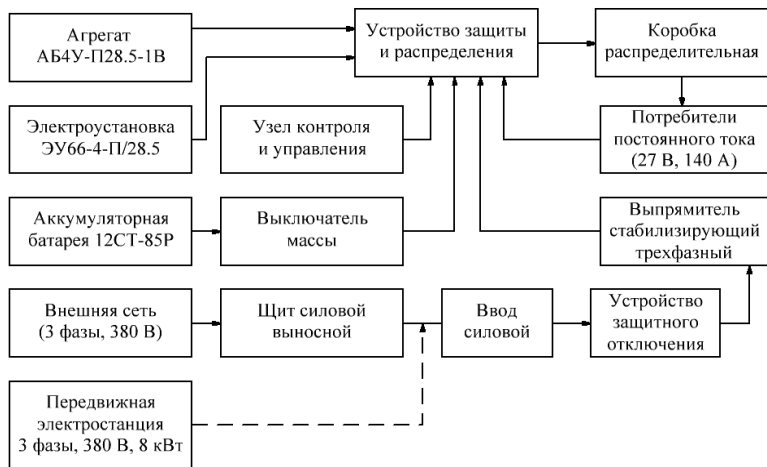
Электроагрегат устанавливается в кузове транспортного средства в герметизированном отсеке и имеет следующие основные



характеристики: мощность 4 кВт; напряжение  $28,5 \text{ В} \pm 5 \%$  постоянного тока; непрерывная работа на стоянке 24 ч, при движении 12 ч; топливо — бензин А76; удельный расход топлива не более  $400 \text{ г/кВт} \cdot \text{ч}$ ; масса 156 кг.

Электроустановка ЭУ66-4-П/28.5 размещается под капотом и в кабине транспортного средства. Ее характеристики: мощность 4 кВт; напряжение  $28,5 \text{ В} \pm 5\%$  постоянного тока; непрерывная работа 10 ч; масса 183 кг.

В изделиях, размещаемых на транспортном средстве БТР-80, вместо электроустановки используется штатная бортовая сеть постоянного тока с ограниченным отбором мощности. Основные характеристики бортовой сети: разрешенная для отбора мощность 2 кВт; напряжение 26...29 В постоянного тока; непрерывная работа в течение времени движения транспортного средства.



**Рис. 1.2.1.** Структурная схема САЭС постоянного тока

Аккумуляторная батарея размещается либо в агрегатном, либо в отдельном отсеке и используется для электроснабжения стартера электроагрегата и цепей управления САЭС. Батарея работает в буферном режиме с источником электроэнергии постоянного тока. Этим достигается уменьшение выбросов напряжения на выходе САЭС при переходных процессах вследствие коммутации нагрузки, а также уменьшение пульсации напряжения источника электропитания. При работе батареи в буферном режиме она постоян-



но находится в режиме подзаряда. В аварийном режиме батарея используется для электроснабжения электронных средств.

В системах автономного электроснабжения постоянного тока предусмотрена возможность электроснабжения от внешней четырехпроводной сети переменного тока частоты  $50 \text{ Гц} \pm 1\%$  при напряжении  $380 \text{ В}_{-15}^{+10} \%$  или от четырехпроводной передвижной электростанции переменного тока частоты  $50 \text{ Гц} \pm 5\%$  при напряжении  $380 \text{ В} \pm 5\%$  [8].

Структурная схема САЭС переменного тока приведена на рис. 1.2.2. В состав этого типа САЭС входят два гальванически развязанных канала электроснабжения (основной и резервный). В качестве основного источника электроэнергии используется передвижная электростанция, в качестве резервного — собственная электроустановка. Стационарная сеть может быть как основным, так и резервным источником электроэнергии.

Таблица 1.2.1.  
Встраиваемые агрегаты

Основные характеристики	Условное обозначение				
	АБ-0,5	АБ-1	АБ-2	АБ-4	АБ-8
Мощность, кВт	0,5	1,0	2,0	4,0	8,0
Напряжение, В	30	230	230		
Частота, Гц	400		400		
Вид топлива	Бензин				
Масса, кг	22	62	170	195	400
Средняя наработка на отказ, ч	100	200	250		300
Моторесурс, ч	1200	1800		2500	
Удельный расход топлива, г/(кВт·ч)	1800	900	650	625	600



Таблица 1.2.2.

Электростанции трехфазного тока автомобильные частоты 400 Гц

Основные характеристики	Условное обозначение				
	ЭД8-Т / 400-1 BC	ЭД16- Т/ 400-1 BC	ЭД30- Т/ 400-1 PC	ЭД2х30- Т/ 400-1 PC	ЭД2х16- Т/ 400-1 BAC
Номинальная мощность, кВт	8	16	30	2 x 30	2 x 16
Транспортная база	MT- ЛБу	MT- ЛБу	БТР- 60ПБ	MT-ЛБу	КамАЗ- 4310
Запас топлива, л/ч работы	550/189	550/100	240/24	550/55	1200/55
Удельный расход топлива, кг/(кВт·ч)	0,298	0,3	0,318	0,318	0,288
Моторесурс по двигателю, ч	10 000	10 000	18 000	18 000	10 000
Наработка на отказ, ч	600	600	500	5 000	6 000

Электроустановки отбора мощности от двигателя транспортно-го средства применяют как вспомогательные или резервные при работе на стоянке. Сравнение параметров электроустановок переменного тока, работающих на стоянке, с бензиновыми и дизельными электроагрегатами приведено в табл. 1.2.3. Из таблицы видно, что электроустановки мощностью 8...30 кВт имеют существенно меньшую удельную массу (15...25 кг/кВт по сравнению с электроагрегатами, имеющими 47...75 кг/кВт) и более высокий расход топлива (0,5...1 кг/кВт·ч против 0,3...0,6 кг/кВт·ч). При необходимости частых перемещений суммарная масса источника электроэнергии мощностью 16 кВт и топлива для его работы в течение 48 ч значительно меньше у электроустановок (800 кг) по сравнению с бензиновым (1010 кг) и дизельным (1230 кг) агрегатами.



**Рис. 1.2.2.** Структурная схема САЭС переменного тока

Основные области использования электроустановок переменного тока: холодный резерв на основном цикле работы; основной источник на время разворачивания; основной источник для средств с малым сроком работы на одном месте; основной источник в экстремальных условиях. В табл. 1.2.4 приведены показатели качества электроэнергии некоторых типов электроустановок.

Одним из требований со стороны ЭА может быть необходимость бесперебойного электропитания. Даже кратковременные перебои в электропитании отдельных видов запоминающих устройств ведут к нарушению программы работы, для восстановления которой требуется длительное время. Бесперебойное электропитание нагрузки обеспечивается при помощи устройств гарантированного электроснабжения, дополнительных фидеров электроснабжения, резервных источников электроэнергии. Перечисленные электрические требования определяют выбор мощности, рода тока, числа фаз и уровня выходного напряжения системы электроснабжения, а по важности задач, решаемых ЭА, выбираются количество источников электроэнергии и режимы их работы.

В табл. 1.2.5 приведены основные технические характеристики дизельных электростанций. Они применяются для электроснабжения электронных систем переменным током частоты 50 или 400 Гц при напряжении 230 В и размещаются на шасси автомобиля КамАЗ-4310 (электростанция ЭД2 х 16) и на автомобильном прицепе 2-ПН-2 (электростанция ЭД30) [9].





Таблица 1.2.3.  
 Основные характеристики источников электроэнергии

Основные характеристики	Источники электроэнергии										
	Электроустановки отбора мощности, кВт				Бензоэлектроагрегаты, кВт						
	4	8	16	30	4	8	16	30	48	75	150
Масса, кг	200	200	260	350	260	480	750	1000	1500	1500	1500
Часовой расход топлива, кг/ч	8..8,6	9,2...9,8	11,2...12	14,5...15	3	5,2	5,4	2,6	4,8	9	9
Моторесурс, ч	2500	2500	2500	2500	3000	3000	3000	6000	6000	6000	6000
Нарботка на отказ, ч	500	400	300...500	400	400	400	500	600	600	600	600
Время приведения в рабочее состояние, ч	2	2	2	2	30	30	30	45	45	45	45
Снижение средней скорости движения, %	Не снижает				7	7	7	8	8	8	8
Удельная масса, кг/кВт	50	25	16,2	11,6	65	60	47	75	62,5	50	50
Удельный расход топлива, кг/кВт.ч	2	1,15	0,7	0,5	0,75	0,65	0,34	0,325	0,3	0,3	0,3



Использование СЭС с выходным напряжением постоянного тока не позволяет выполнить указанные требования к уровню гармонических составляющих, так как в этом случае ИП должен быть построен с использованием высокочастотного инвертора. При удовлетворении достаточно жестких требований к массе и объему ИП подвижной ЭА уровень помех составляет не менее  $10^{-3}$  –  $10^{-4}$  от выходного напряжения.

Таблица 1.2.4.  
Основные характеристики электроустановок

Параметры	Тип электроустановки				
	I	II	III	IV	V
Мощность номинальная, кВт	16	16	2 x 16	16	30
Частота номинальная, Гц	50	505	50	50	50
Напряжение номинальное, В	400	400	400	400	400
Установившееся отклонение напряжения, %	±3	±3	±2	±3	±2
Установившееся отклонение частоты, %	±5	±5	±0,5	±2,5	±1
Переходное отклонение: частоты, % время восстановления, с	±20 1	±20 1	±20 1	±20 1	±20 1
Переходное отклонение: частоты, % время восстановления, с	±12 7	±10 5	±6 3	±6 3	±5 2
Коэффициент искажения напряжения, %: линейного фазного	10 30	10 28	5 10	10 28	5 10
Коэффициент небаланса, %	10	10	10	10	10
Защита от перегрузок по току	Да	Да	Да	Да	Да
Защита при аварийном повышении оборотов генератора	Да	Да	Да	Да	Да
Защита при понижении оборотов генератора	Нет	Нет	Нет	Да	Да

*Примечание.* Обозначения электроустановок: I – ЭУ375-16-Т/400; II – ЭУ43203-16-Т/400; III – ЭСД2х16-Т/400; I – ЭУ375-16-Т/400 АЗРК; IV – ЭУ4310-16-Т/400; V – перспективная ЭУ.



Снижение уровня гармонических составляющих может быть достигнуто применением САЭС синусоидального трехфазного тока и использованием многофазных схем выпрямления тока секционированных вторичных обмоток входного трансформатора. После повышения этим трансформатором напряжения до заданного уровня, его выпрямления, фильтрации и стабилизации на выходе ИП включается емкостный накопитель электроэнергии для компенсации напряжения при импульсном потреблении тока передающим устройством.

Таблица 1.2.5.

Основные характеристики дизельных электростанций

Основные характеристики	Тип электростанции			
	ЭД2х16-Т230П-1 РАМ1		ЭДЗО-Т230П-1 РП	
	Дизель-генератор типа 1603	Преобразователь частоты 50/400 Гц	Электроагрегат АДЗО-Т230П-1 РП	Преобразователь частоты 400/50 Гц
Частота тока, Гц	50	400	400	50
Напряжение, В	230	230	230	230
Мощность, кВт	2 x 16	15	30	4
Номинальный ток, А	2 x 50, 2	44,5	94	12,5
Параметры входной сети	–	380 В, 50 Гц, 3 фазы	–	230 В, 400 Гц, 3 фазы
Длительность непрерывной работы без дозаправки, ч	24	–	4	–
Габаритные размеры, мм	7900 x 2650 x 3450		5750 x 1890 x 2500	
Масса, кг	12400		4000	
Зависимость выходной мощности от высоты над уровнем моря, кВт:	Не оговорена		Не оговорена	
2000 м	13,5 x 2		25,5	
3000 м	11 x 2		22,5	
4000 м	8 x 2		–	



Основными недостатками рассмотренных САЭС являются:

- большое потребление электроэнергии по постоянному току при запуске;
- ненадежный запуск при температуре  $-50^{\circ}\text{C}$ ; большой расход топлива;
- малый ресурс;
- критичность к марке топлива.