

РЕГУЛЯТОРЫ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

ПОНЯТИЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ (СЭС)

Структурная схема СЭС представляет собой верхнюю часть иерархии, определяющей состав и функциональную взаимосвязь элементов системы.

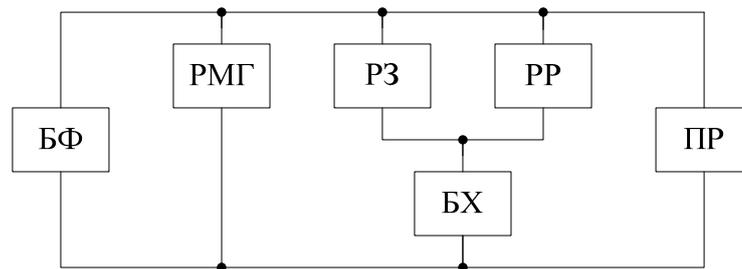


Рисунок 1 — структурная схема СЭС

БФ — батарея фотоэлектрическая;
РМГ — регулятор мощности генератора;
РЗ — регулятор заряда;
РР — регулятор разряда;
БХ — батарея химическая;
ПР — преобразователь.

СХЕМЫ

При анализе и разработке СЭС пользуются двумя принципиально различными понятиями схем:

1. Теоретические схемы служат для анализа расчетов и определения характеристик устройства. Они не являются гостированными. К этому классу относятся:
 - эквивалентные схемы и схемы замещения;
 - функциональные схемы устройств автоматики.
2. Гостированные схемы относятся к разработке реальных устройств. ГОСТ 2701-68 определяет виды и типы схем.

По виду схемы различают:

- структурные — определяют состав и функциональную зависимость элементов;
- функциональные — отражают принцип работы одного или нескольких узлов структурной схемы;

- принципиальные — определяют функционирование отдельных элементов, их номиналы и параметры.

По типу схемы различают:

- электрические;
- пневматические;
- гидравлические;
- газовые;
- кинематические;
- оптические;
- комбинированные.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СЭС

К общим характеристикам СЭС относятся требуемые параметры:

- по мощности;
- по напряжению и его допуску;
- по рабочему току;
- по заданному уравнению пульсации выходного напряжения;
- по параметрам переходного процесса и его качеству.

Для сравнения СЭС на основе различных систем преобразования энергии используются удельные характеристики, к которым относятся:

- удельная энергия;
- удельная мощность (по массе, по объему, по стоимости);
- ресурс работы;
- КПД.

УПРАВЛЕНИЕ И РЕГУЛИРОВАНИЕ СЭС

Управление — процесс приведения объекта в заданное условие при заданном и известном законе управления при изменяющихся внешних условиях либо при изменяющемся законе управления.

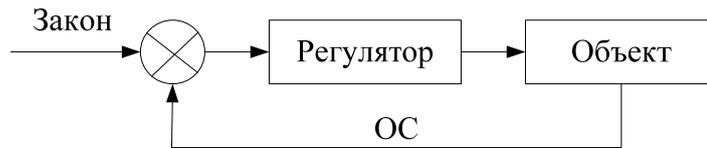
Регулирование является частным случаем управления; обеспечивает приведение одного или нескольких параметров объекта в требуемые пределы и по жестко заданному закону.

Управление регулированием может осуществляться двумя принципиально различными методами:

1. В разомкнутой системе, где регулирование осуществляется только по выходному напряжению и известному закону.



2. В замкнутой системе параметры объекта сравниваются с заданным условием и приводятся к требуемому значению.



ХАРАКТЕРИСТИКА НАГРУЗКИ И МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Тип нагрузки	Напряжение, В	Доля мощности, %
1. Цифровая электроника	+ 5 - 5 ±15	22
2. Аналоговые электронные блоки	+ 28 ±15	27
3. Двигатели	115 / 220 220 / 380 + 28	17
4. Электромагниты	≅ комплекс	10
5. Лампы и индикация	≅ комплекс	9
6. Нагреватели, термостаты	≅ комплекс	11
7. Прочее оборудование	≅ комплекс	4

Анализ оборудования и нагрузки показывает, что выделить приоритетную группу по сетке напряжений, качеству энергии, стабильности, импульсным переходным процессам не представляется возможным. Поэтому для автономных объектов принято решение согласовать основной генератор с накопителем энергии, а снабжение потребителей обеспечить группой преобразователей в требуемый вид и форму питающего напряжения.

Основные понятия о согласовании нагрузки

1. Механическая эффективность использования источника энергии.
2. Снижение глубины обратной связи по сбросу излишков энергии.
3. Обеспечить максимальную возможность накопления энергии.
4. Обеспечить отключение потребителей по приоритету.
5. В случае невозможности выполнения вышеуказанных требований необходимо подключить систему к крупной энергетической системе.

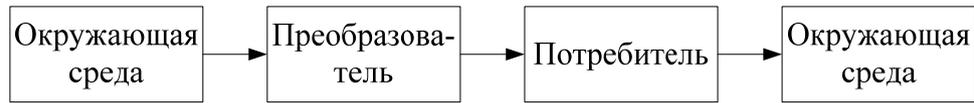
Методы регулирования

Для согласования источников и нагрузки возможны три метода регулирования:

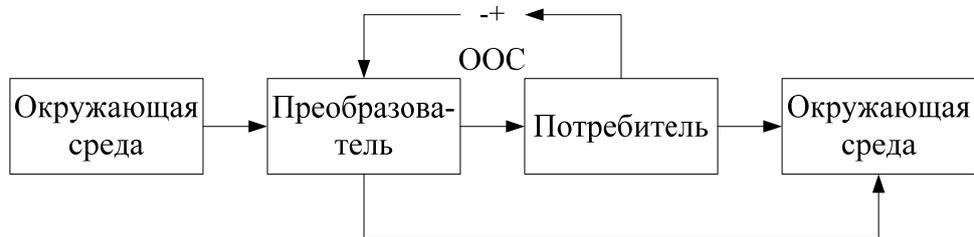
1. Сброс излишков энергии в окружающую среду.
2. Аккумуляция энергии.
3. Изменение приоритетности нагрузки

На основе этих методов возможно пять различных схем регулирования:

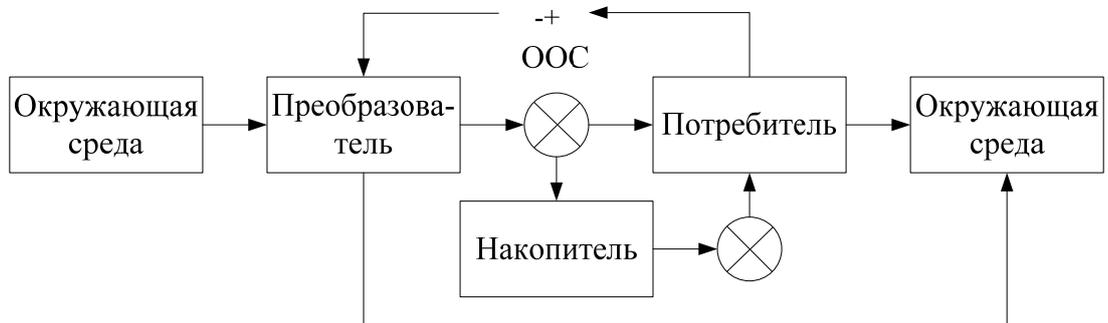
1. Наиболее простым методом является прямое подключение источника к потребителю, при котором регулирование обеспечивается собственными характеристиками источника.



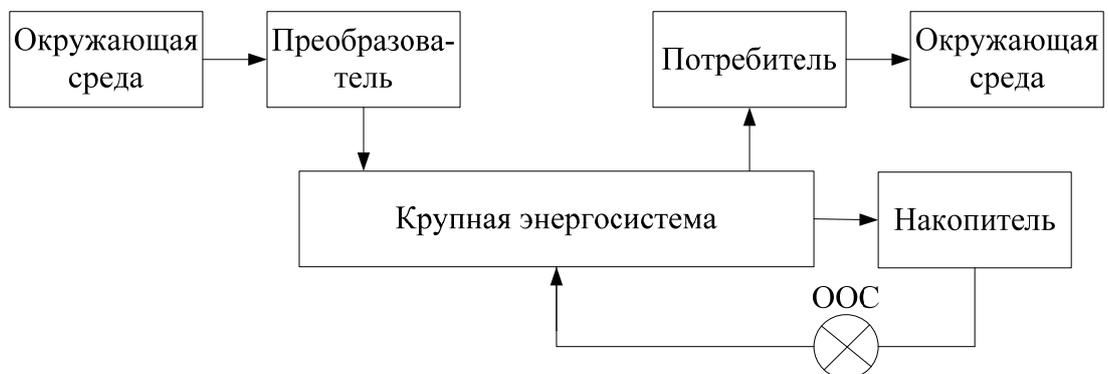
2. Регулирование с помощью обратной связи.



3. Регулирование с накоплением энергии.

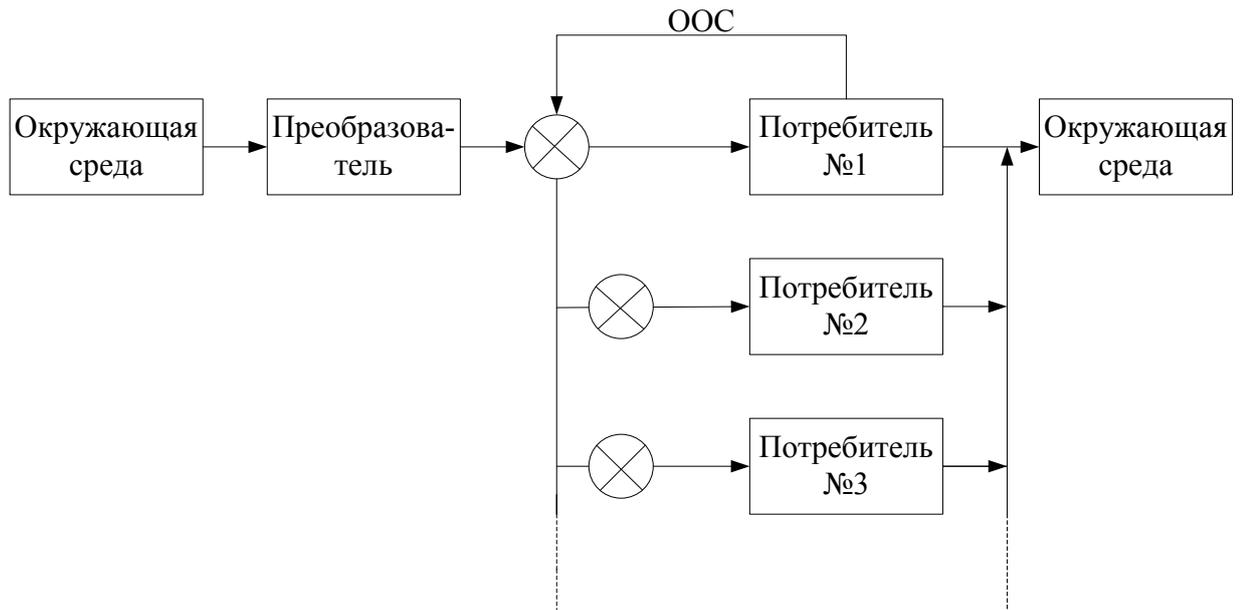


4. Регулирование с крупной энергосистемой.



Достоинством такого метода является возможность работы преобразователя с максимальным КПД. Недостаток — не автономность работы.

5. Метод регулирования приоритетности нагрузки.

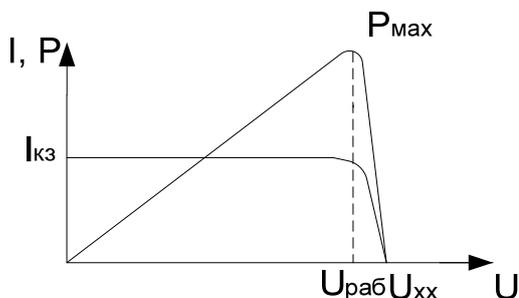


В данной системе регулирование происходит постепенное согласование возможностей преобразователя и количества потребителей. При этом в случае недостатка энергии от преобразователя отключается потребитель с самым низким приоритетом.

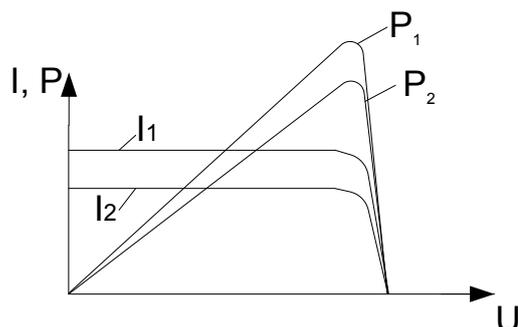
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Независимо от вида первичного преобразователя энергии, который работает от солнечной энергии, его выходные параметры определяются мощностью, которую может отдать преобразователь на нагрузку. Для анализа необходимости применения регуляторов, а также определение возможностей согласования генератора и нагрузки вводится понятие установочной, располагаемой, генерированной и согласованной мощностей.

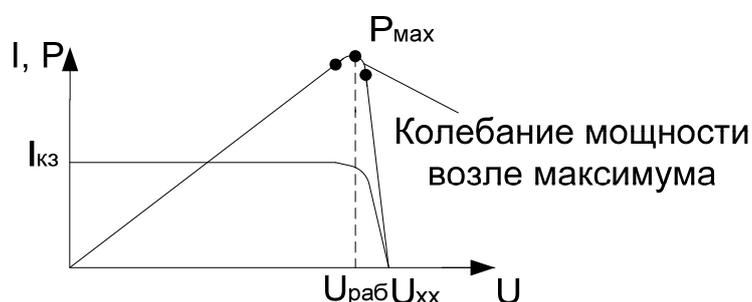
Установочная мощность определяет максимальную энергетическую возможность первичного источника. Она определяется паспортными данными установки и условиями испытаний.



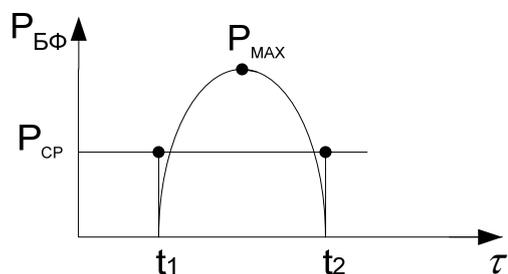
Располагаемая мощность определяется максимальным значением мощности для данного момента времени с учетом снижения эксплуатационных параметров генератора в процессе его работы.



Генерированная мощность определяется с учетом присутствия на выходной шине первичного генератора.



Согласованной мощностью называют генерированную мощность, получаемую в реальных условиях за определенное время.



ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ВЫХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНЕРАТОРА

Энергетическая отдача первичного генератора определяется следующими параметрами:

1. Изменением освещенности. Данная величина определяет энергоотдачу БФ в течение суток и зависит от степени ориентации солнечных батарей (СБ). Различают следующие виды ориентации:
 - неориентируемые СБ устанавливаются под оптимальным углом местной горизонтали;
 - частично ориентируемые СБ, энергоприход которых определяется оптимальными сезонными углами установки;
 - ориентируемые СБ обладают максимальным энергоприходом, но требуют затрат энергии на ориентацию.

2. Изменение температуры. Для первичного генератора характерно снижение выходной мощности с увеличением рабочей температуры. Как правило это происходит в результате изменения рабочего напряжения в преобразователе.

ЗАДАЧА АППАРАТУРЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ (АРК)

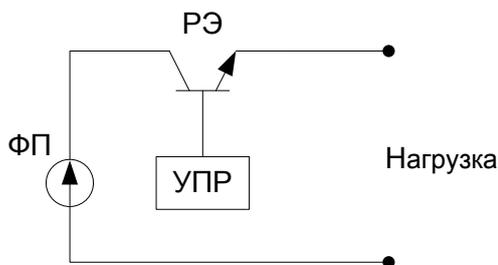
С учетом изменения мощности первичного генератора, особенностей влияния внешних условий одним из важных требований является согласование режимов работы генератор и нагрузки. Такое согласование осуществляется специальной силовой АРК, в задачи которой входит:

- удержание первичного генератор в заданной рабочей точке или стабилизация его выходного напряжения;
- согласование накопителя энергии и первичного генератора;
- контроль режима работы генератора и накопителя;
- аварийная сигнализация для отключения.

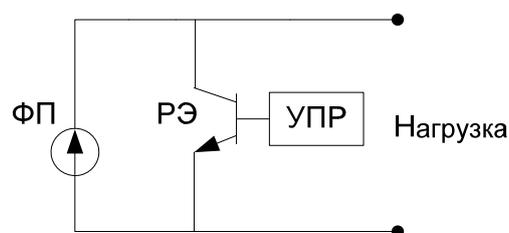
ТИПЫ РЕГУЛЯТОРОВ ПЕРВИЧНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Силовое регулирование энергоотдачи и энергоприхода на СБ может осуществляться двумя способами:

1. Непосредственное регулирование энергоприхода. Этот метод обладает существенными недостатками: высокая инерционность, снижение эффективности, высокие энергозатраты и потому в практике не применяются.
2. Регулирование выходной мощности первичного генератора. Этот метод дает возможность оперативно выводить характеристики первичного генератора на требуемый режим. Регуляторы такого типа можно характеризовать следующим образом:
 - По типу включения регулирующего элемента. Различают последовательное и параллельное (шунтовое) включения.



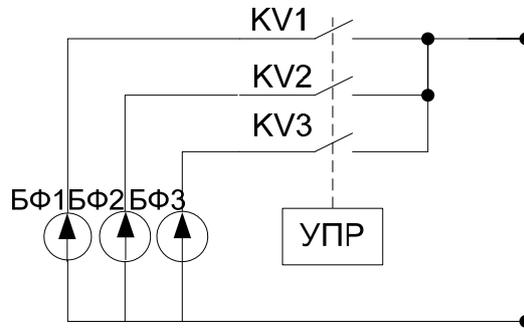
Последовательное включение



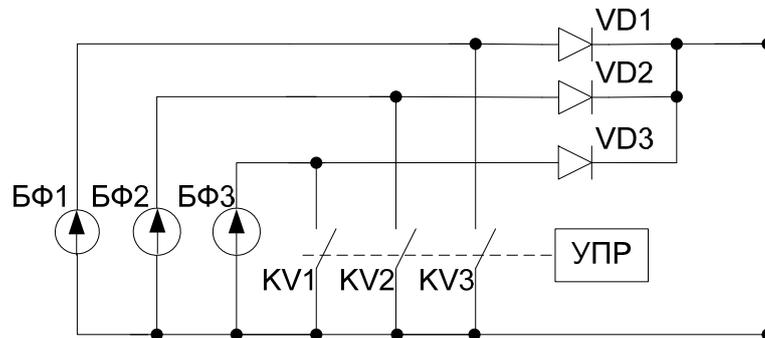
Параллельное включение

- По характеру регулирования:
 - аналоговые регуляторы;
 - дискретные регуляторы.

Аналоговые регуляторы обеспечивают плавное изменение рабочих точек первичного генератора.



Дискретные регуляторы характеризуются ступенчатым изменением регулируемого параметра.



Одним из методов регулирования может также являться аналогово-дискретный метод. В этом методе может включаться шунтовый регулятор.

- По методу регулирования:
 - линейные регуляторы;
 - широтно-импульсные регуляторы.

Линейные регуляторы обладают невысоким показателем по энергетике и значительными расходами в регуляторе. Регулирующий элемент (РЭ) работает в линейном режиме. Применяются, как правило, для маломощных энергетических установок (ЭУ).

Широтно-импульсные регуляторы работают в режиме широтно-импульсной модуляции, а РЭ — в ключевом режиме, что обеспечивает высокий КПД.

- По принципу регулирования:
 - с автосогласованием. Данная система не содержит силовых регуляторов и основана на согласованности характеристик генератора и накопителя;
 - стабилизирующие напряжение;
 - ограничивающие мощность;

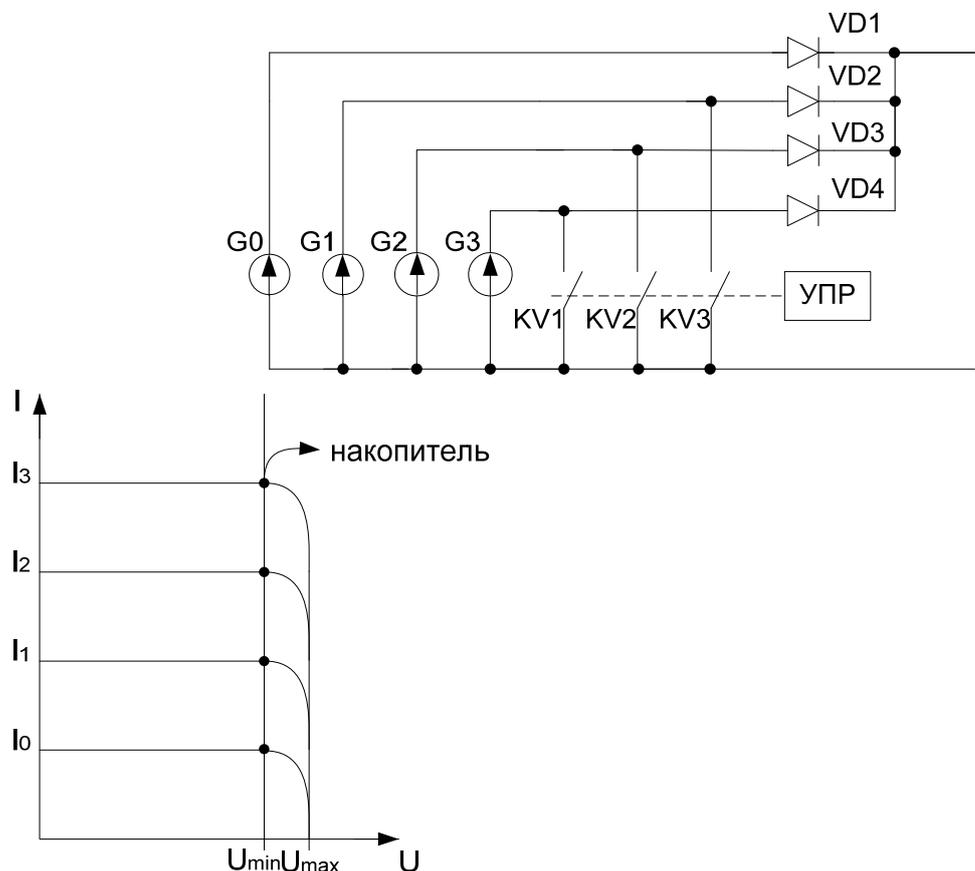
- экстремальное регулирование. Данный метод регулирования применяют при необходимости отдачи в нагрузку максимальной мощности на всех режимах работы.

ДИСКРЕТНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Задачей дискретного регулятора является отведение избыточной мощности от основного генератора ступенчатым методом. Этот метод заключается в глубоком секционировании основного генератора и приведения соответствующих секций в режим нулевой мощности в случае ее избытка.

Метод параллельного дискретного регулирования

При данном методе секции генератора параллельно подключаются к главной шине через диод, а регулирование осуществляется по токовой части ВАХ.



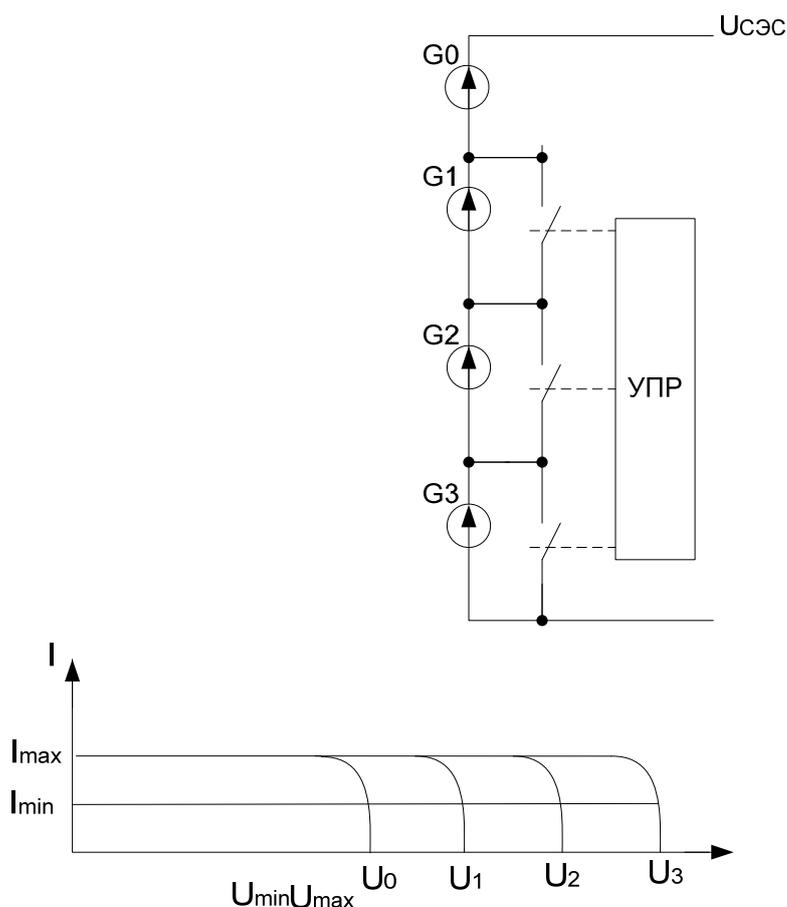
Регулирование схемы обеспечивается дискретным образом в следующей последующей последовательности. Схема работает с малыми мощностями. При увеличении нагрузки происходит снижение напряжения на генераторе до предельного минимального уровня, в результате чего схема управления подключается вторичный генератор. При этом система энергоснабжения (СЭС) переходит в устойчивое вторичное состояние, соответствующее максимальному напряжению двух параллельно включенных генераторов (I_2). Так повторяется до включения всех секций. При дальнейшем увеличении

мощности потребления система подключает вторичный генератор или накопитель, а в случае необходимости поддержания линейного напряжения производится аварийное отключение потребителя.

Приведенная схема обеспечивает регулирование, при котором происходит перевод работы панели в режим короткого замыкания.

Метод последовательного дискретного регулирования

При данном случае регулирование осуществляется по напряжению методом отвода избыточной мощности от последовательно включенных секций.



Регулятор работает аналогичным способом, но в узком диапазоне токов нагрузки. В связи с тем, что регулирование осуществляется коммутацией напряжения, схемы такого типа используются реже.

Регуляторы обоих типов могут работать и с термоэлектрическими преобразователями (ТЭЛП), и с термоэмиссионными (ТЭП).

АНАЛОГОВЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Строятся на основе стабилизаторов тока или напряжения компенсационного типа.

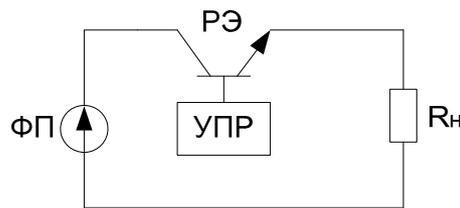
Независимо от схемы включения РЭ сброс мощности, являющейся избыточной, осуществляется на РЭ. При этом важным является режим работы, который может быть линейным или параллельным (ключевым).

Линейный режим

Существует два типа регуляторов:

- последовательный;
- параллельный.

Последовательный режим



Недостатком этого метода является то, что весь нагрузочный ток проходит через регулятор.

$$U_{\Gamma} = U_{PЭ} + U_H$$

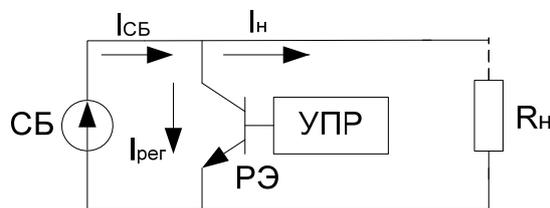
$$U_{\Gamma} = I_H R_{PЭ} + I_H R_H = I_H (R_{PЭ} + R_H)$$

Для удержания этого режима необходимо управлять $R_{PЭ}$

Регулятор такого типа аналогичен компенсационному регулятору напряжения. Диапазон работы регулятора лежит от точки холостого хода до минимального напряжения, которое определяется уровнем опорного источника.

Параллельный режим

Учитывая то, что большинство ФЭП, ТЭП, ТЭЛП позволяют работать в режиме короткого замыкания, лучшим решением может быть применение параллельного регулятора.



Достоинством этого метода является то, что на РЭ отводится только та часть мощности основного генератора, которая является избыточной, и через регулятор идет только ток регулятора. Недостаток — большая $P_{PЭ}$ (сбрасываемая мощность).

$$U_{PA3H} = U_{\Gamma} - U_H ;$$

$$R_{PЭ} = \frac{U_{KЭ}}{I_K} ;$$

$$R_{PЭ} = \frac{U_H}{I_K};$$

$$P_{PЭ} = I_K U_H.$$

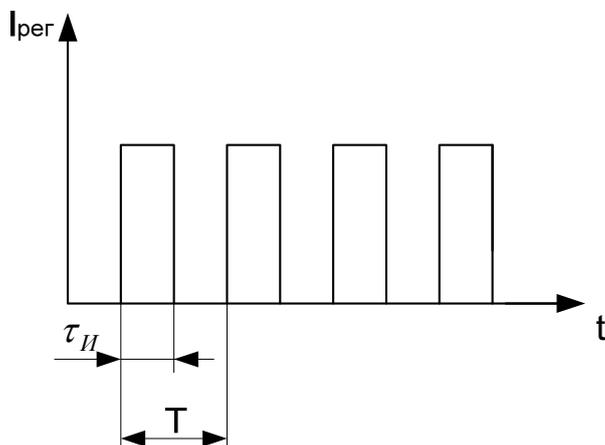
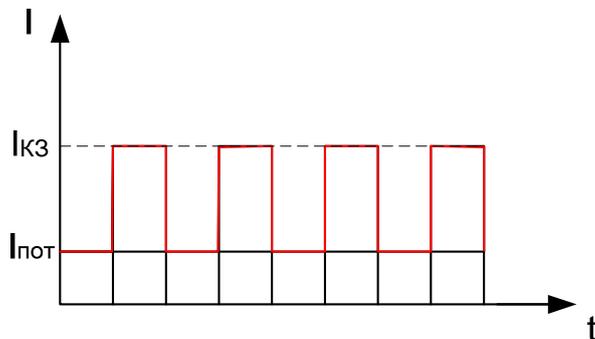
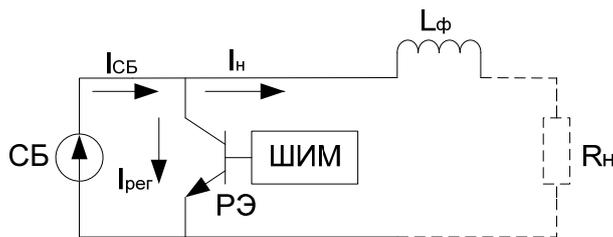
ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫЙ РЕГУЛЯТОР

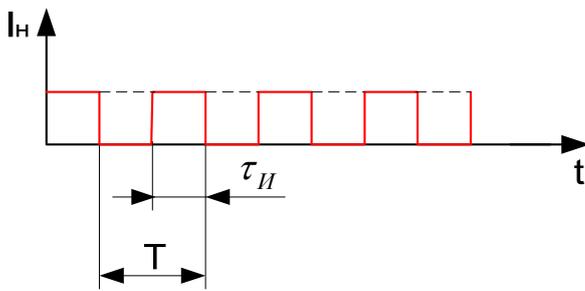
Широтно-импульсное регулирование является дальнейшим развитием линейных регуляторов в области повышения КПД.

В этом режиме силовой элемент работает в качестве ключа. При этом возможно как последовательное, так и параллельное включение РЭ. При параллельном включении РЭ режим работы первичного генератора изменяется от короткого замыкания до рабочей точки, при последовательном — от холостого хода до рабочей точки.

Параллельное включение РЭ

Отведение мощности осуществляется в импульсном режиме при переключении ключевого элемента от точки насыщения до отсечки.





$$I_{REG} = \gamma I_{KЗ},$$

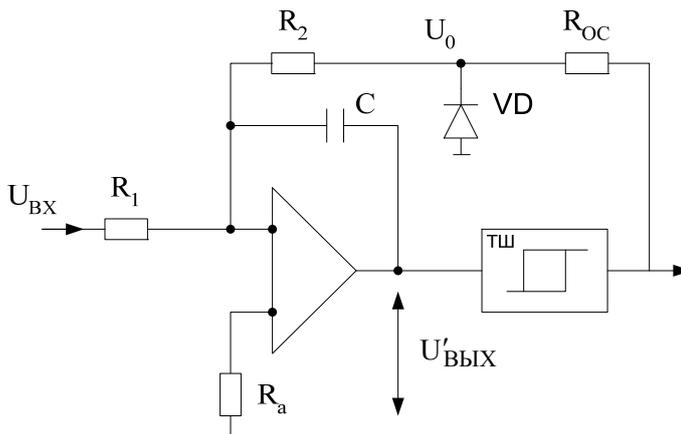
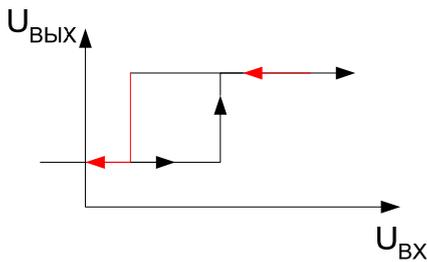
где $\gamma = \frac{\tau_H}{T}$ — коэффициент заполнения импульсом.

$$\gamma_H = \frac{\tau_H}{T} = \frac{T - \tau_H}{T};$$

$$I'_{ПОГ} = \gamma_H I_{ПОГ} = \frac{T - \tau_H}{T} I_{ПОГ}.$$

Паузы нагрузки при подключении фильтрующего элемента будут заполнены энергией, накопленной в фильтрующем элементе. В этом случае огибающая тока будет представлять собой I_{CP}

Наиболее простой реализацией шин регулятора является триггер Шмидта, который включается совместно с операционным устройством со стабилизированной окружающей средой.



$$\tau_H = \frac{h R_{CP} C}{U_0 - \left(\frac{R_2}{R_1}\right) U_{ВЫХ}};$$

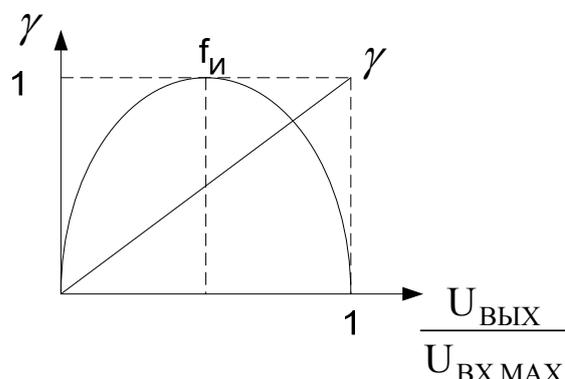
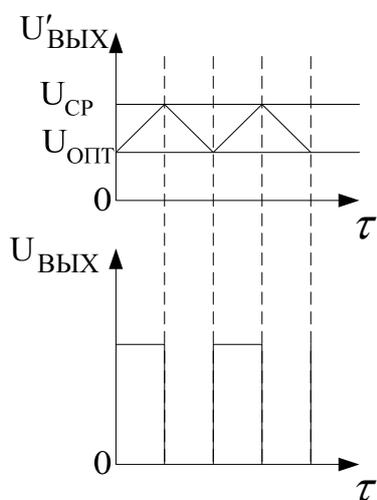
$$h = U_{CP} - U_{ОТП},$$

где U_{CP} — срабатывание

$U_{ОТП}$ — отпущение

γ — СКВАЖНОСТЬ:

$$\gamma = \frac{R_2}{R_1} = \frac{U_{ВХ}}{U_0}$$



Последовательное включение РЭ

Последовательный широтно-импульсный модулятор описывается аналогичными процессами, однако его особенностью является синхронность импульсов тока в первичном генераторе, в регуляторе и в нагрузке. Наряду с одномерными широтно-импульсными модуляторами используются двухмерные модуляторы, которые согласуются с РЭ через импульсный трансформатор.

АНАЛОГОВО-ДИСКРЕТНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

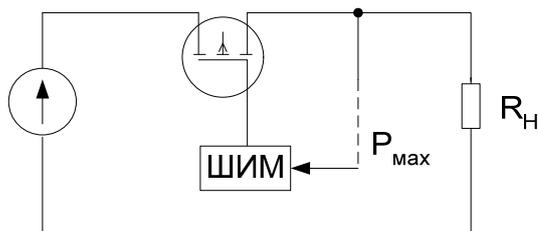
Стремление к повышению КПД регулятора и снижения потерь в нем привело к созданию комбинированного типа регулятора, в котором переход с малых на большие мощности потребления осуществляется дискретно, методом переключения секционированного первичного генератора, а точная стабилизация напряжения осуществляется линейным или широтно-импульсным модулятором.

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР

Экстремальный регулятор применяется в случае необходимости работы первичного генератора в точке максимальной мощности P_{MAX} .

Особенностью экстремального регулятора является анализ вольт-ваттной характеристики с поиском экстремума и приведение системы в точку максимальной мощности. Согласно общему анализу регулятора такой вариант возможен с последовательным РЭ. При этом различают полнопоисковые и

частично поисковые системы. Режим работы регулятора в этом случае не имеет принципиального значения (линейный или широтно-импульсный).



Первый метод поиска оптимальной точки заключается в движении регулятора от точки холостого хода до точки короткого замыкания, вычислении максимальной мощности и согласовании генератора и нагрузки в этой точке.

Второй метод заключается в предварительном установлении оптимальной точки относительно характерной.

$$n = \frac{U_{OPT}}{U_{XX}} = 0,7...0,9;$$

$$m = \frac{I_{OPT}}{I_{KЗ}} = 0,8...0,95.$$

В регуляторе такого типа осуществляется два поисковых движения: в точке холостого хода и в точке короткого замыкания, после чего РЭ переводит генератор в оптимальную точку.

РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ (АБ) В СОСТАВЕ СЭС

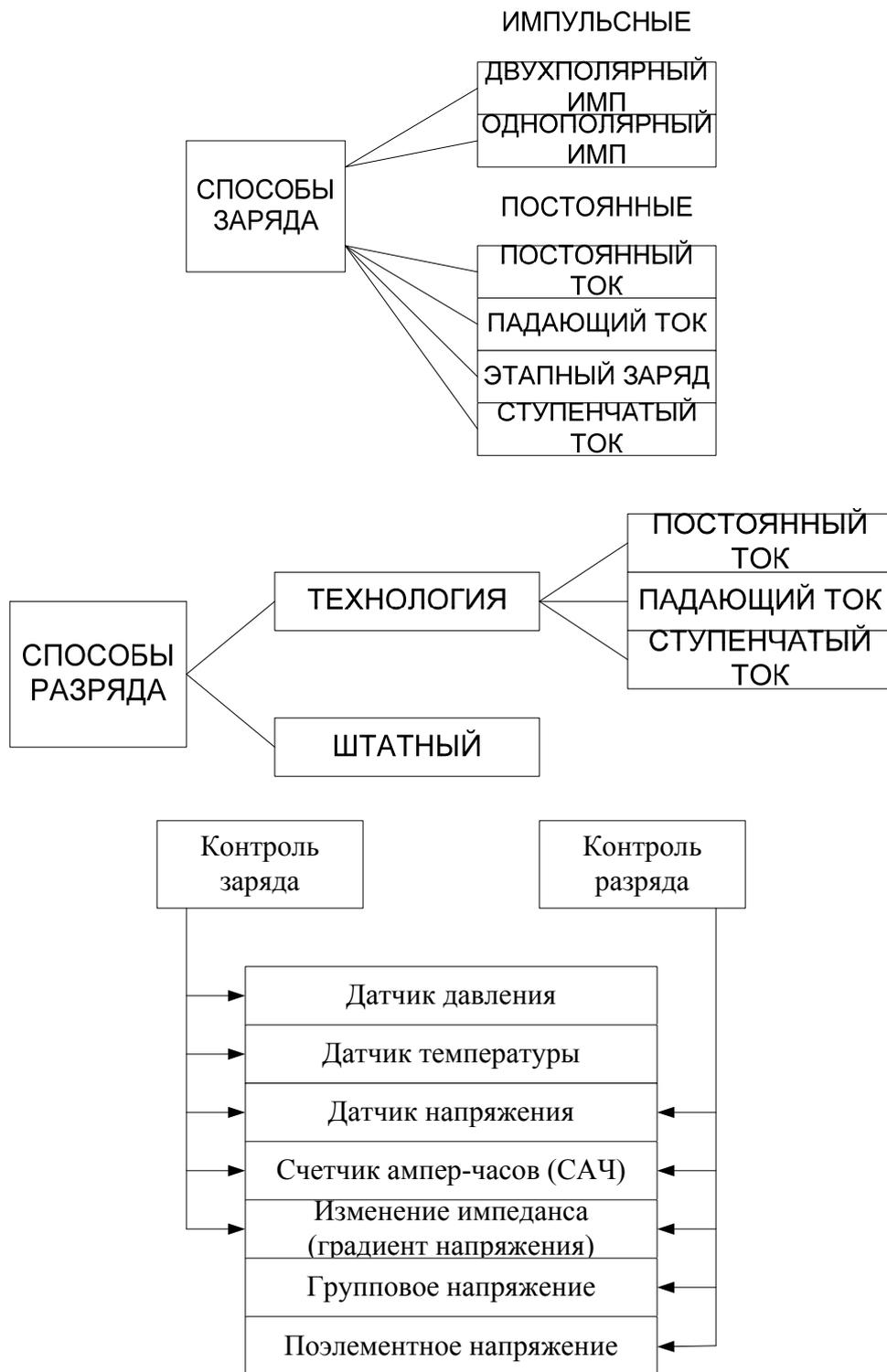
В СЭС аккумуляторы могут быть включены двумя способами:

1. Прямое включение, при котором не применяются регуляторы заряда (РЗ) и разряда (РР), которые используются на нестабилизированной шине СЭС. СЭС имеет только регулятор избыточной мощности (РИМ) для первичного генератора, а напряжение СЭС определяется минимальным разрядом и максимальным зарядом АБ.
2. Включение через РЗ и РР. Напряжение СЭС остается стабильным. Максимальное зарядное напряжение определяется РЗ, а минимальное разрядное напряжение поднимается до разрядного напряжения СЭС. При этом регуляторы представляют собой вольтодобавочное устройство, которое основано на импульсных стабилизаторах напряжения.

И в первом, и во втором случаях система включает в себя блок контроля АБ.

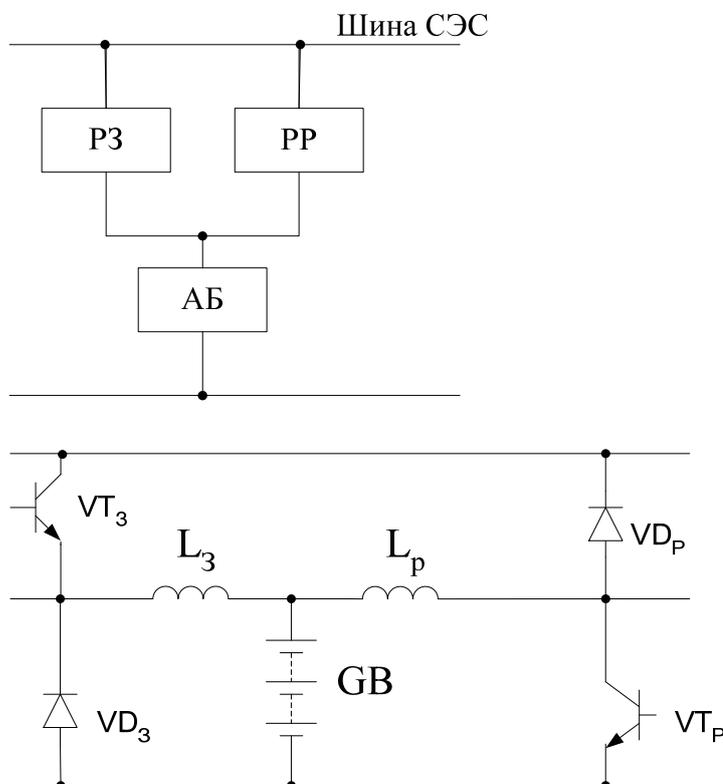
ВОЗМОЖНЫЕ МЕТОДЫ ЗАРЯДА

Не зависимо от типа заряда устройства могут реализовывать следующие функции:



РЕГУЛЯТОРЫ ЗАРЯДА И РАЗРЯДА

Наиболее простым методом регулирования в системе со стабилизированной шиной является применение вольтодобавочных устройств. РЗ и РР включают накопительные дроссели L_3 и L_p , ключевые элементы VT_3 и VT_p , возвратные диоды VD_3 и VD_p .



Регулятор работает либо в режиме разряда, либо в режиме заряда. При этом ключевые элементы работают в режиме широтно-импульсной модуляции.

Рассмотрим режим заряда

В работу включаются: L_3 , VT_3 , VD_3 . Этот режим работает, если напряжение СЭС меньше напряжения АБ:

$$U_{СЭС} \leq U_{АБ}.$$

Для обеспечения зарядного тока необходимо выполнить следующее условие:

$$U_3 > U_{АБ};$$

$$U_3 = U_{\text{СЭС}} + U_L;$$

$$U_3 = U_{\text{СЭС}} + L_3 \frac{di_3}{dt}.$$

Индуктивность L_3 должна обеспечить требуемое напряжение $U_L \cdot \frac{di_3}{dt}$ — скорость нарастания тока в цепи обеспечивается крутым фронтом в ключевом элементе VT_3 . Вольтодобавка в процессе заряда осуществляется на втором импульсе, благодаря энергии, запасенной в L_3 . Ширина импульса заряда обеспечивает требуемый уровень заряда.

Рассмотрим режим разряда

РР работает аналогичным образом в случае, если напряжение СЭС больше напряжения АБ:

$$U_{\text{СЭС}} \geq U_{\text{GB}}$$

и система находится в нулевом энергоприходе. Тогда:

$$U_{\text{СЭС}} = U_{\text{GB}} + U_{Lp} = U_{\text{GB}} + L_p \frac{di_p}{dt}.$$

Возможен случай разряда и при недостаточном энергоприходе:

$$U_{\text{СЭС}} = U_{\text{GB}} + U_{Lp} + U_{\text{СБ}}.$$

Данная система регулирования заряда и разряда АБ не включает дополнительных модулей контроля ее состояния, что является дополнительным сервисным оборудованием для заданного режима работы АБ.

СЕРВИСНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

СЧЕТЧИК АМПЕР-ЧАСОВ

САЧ обеспечивает кулонометрический контроль над состоянием заряженности или разряженности АБ в составе СЭС.

Емкость АБ определяется по формуле:

$$Q = I \cdot \tau.$$

Для обеспечения контроля необходимо проинтегрировать значение тока по времени. Наиболее простым интегратором здесь является конденсатор. Запишем выражения для определения напряжения и емкости конденсатора:

$$U_c = \frac{1}{c} \int_{\tau_1}^{\tau_2} i_c dt;$$

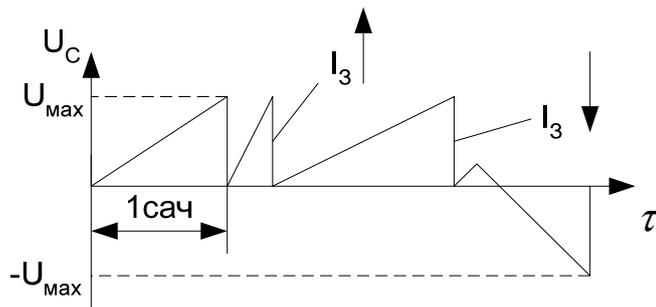
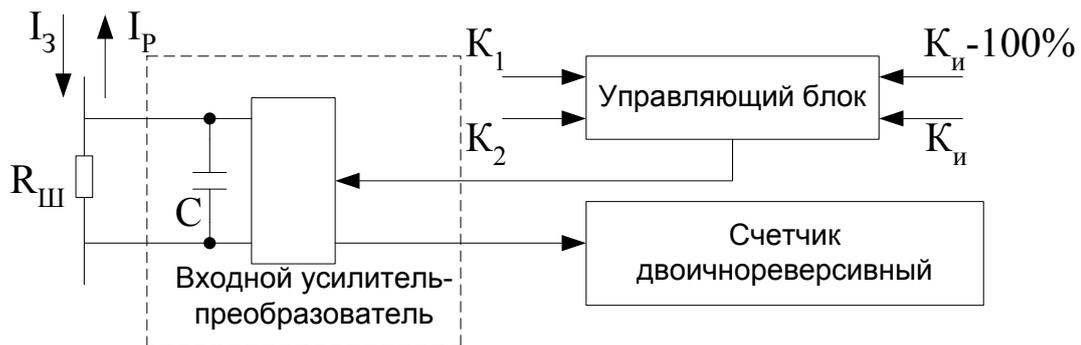
$$Q_c = CU_c;$$

$$U_c = \frac{k_1 k_2}{c} \int_0^{\tau} i_c dt = k Q_{\text{АБ}},$$

где $\frac{k_1 k_2}{c}$ — коэффициент интегрирования САЧ;

k_1, k_2 — коэффициенты, определяемые режимами заряда и разряда.

Для реализации САЧ используется шунтовый метод.



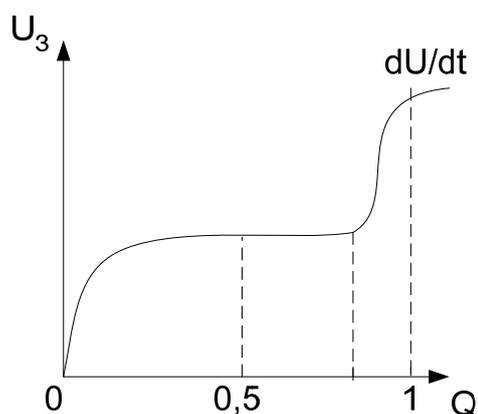
$$U = I_3 R_{III}$$

ИНДИКАТОР КОНЦА ЗАРЯДА (ИКЗ)

ИКЗ является предельным датчиком давления и устанавливается только в энергоемких аккумуляторах. При наличии газовыделения ИКЗ отключает АБ от заряда.

ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЕ СЕРВИСНЫЕ УСТРОЙСТВА

Данный метод контроля заряда используется как в системе со стабилизированной шиной СЭС, так и в системах с плавающей шиной СЭС. Метод основан на организации потенциального заряда, который осуществляется методом определения скорости возрастания напряжения на аккумуляторе. Для большинства электрохимических систем резкий скачок напряжения в конце заряда связан с окончательным накоплением активной массы и перехода системы в режим электролиза воды.



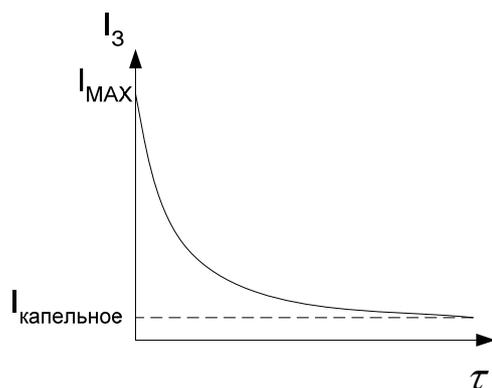
При этом система должна отследить параметр $\frac{dU}{dt}$ и отключить силовой регулятор заряда. Такой контроль может осуществляться аналоговыми и цифровыми устройствами. Лучшим методом организации такого ограничения заряда является применение микроконтроллеров и специализированных микросхем.

ПОТЕНЦИОСТАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОГРАНИЧЕНИЯ ЗАРЯДА

Этот метод пригоден для системы со стабилизированной шиной СЭС. В таком методе может отсутствовать регулятор заряда. Особенностью является то, что напряжение на шине должно быть равно или несколько превышать максимальное напряжение заряда аккумулятора.

Недостатком этого метода является необходимость применения первичного генератора с очень высокими значениями выходного тока.

$$I = (0,01 \dots 0,001) Q_H$$



БАРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОГРАНИЧЕНИЯ ЗАРЯДА

Этот метод применяется для герметичных аккумуляторов как аварийный метод ограничения заряда.

ГАЛЬВАНОСТАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОГРАНИЧЕНИЯ ЗАРЯДА

Метод основан на заряде аккумулятора постоянным током с фиксированным временем заряда. Данный метод применим для СЭС с любой шиной, но только для случаев контрольно-восстановительных циклов, поскольку невозможно организовать детерминированный энергоприход в нештатном режиме.

УСТРОЙСТВА ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА АККУМУЛЯТОРОВ

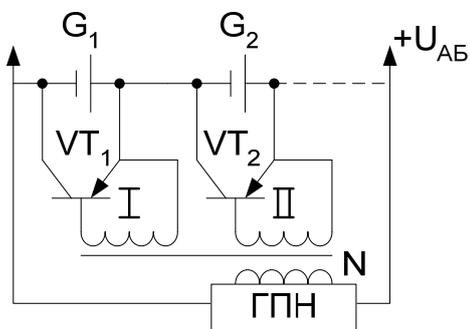
Надежность и долговечность СЭС во многом определяется ресурсом аккумулятора. Ресурс поддерживается поэлементным контролем и управлением отдельными аккумуляторами в АБ. Такие устройства работают совместно с зарядными и разрядными устройствами.

Сервисные устройства повышения ресурса подразделяются на системы:

- поэлементного дозаряда;
- поэлементного доразряда;
- поэлементное отключение;
- обходные цепи.

Устройства поэлементного доразряда

Предназначены для выравнивания разрядного напряжения на отдельных аккумуляторах в АБ в процессе разряда. Это обеспечивает равное снижение емкости на всех участках батареи.



Трансформатор

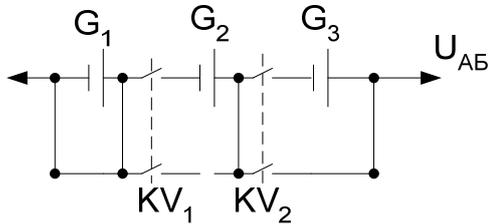
Рассмотрим работу системы в процессе разряда батареи. Часть энергии на работу генератора, подпитывающего напряжение, которое питает первичную обмотку трансформатора выравнивания. Вторичные обмотки подключены к управляющей цепи трансформаторов выравнивания. В случае превышения напряжения на каком-либо элементе батареи номинального напряжения разряда, в разрядную цепь включается трансформатор поэлементного разряда, что создает дополнительный ток разряда только для этого элемента. Это обеспечивает снижение напряжения на элементе и отвод ее избыточной емкости.

Основным недостатком метода является повышенный расход энергии.

Достоинством является простота реализации.

Поэлементное отключение

Метод применяется в режиме ограничения разряда путем отключения элементов батареи, достигших минимального разрядного уровня.



К достоинствам этого метода можно отнести:

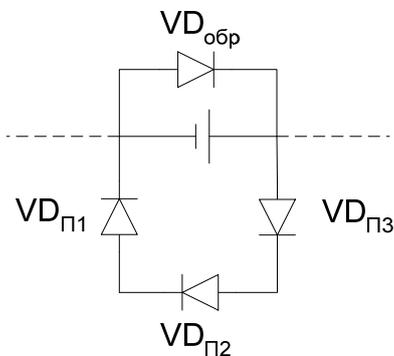
- полный отвод из батареи наиболее слабого элемента;
- имеется возможность провести испытания резервного элемента.

Недостатки:

- высокие коммутационные потери;
- низкая надежность.

Обходные цепи

Данный метод используется с любыми регуляторами заряда и разряда. Его отличием является простота реализации режима работы, однако он обладает повышенными энергетическими затратами.

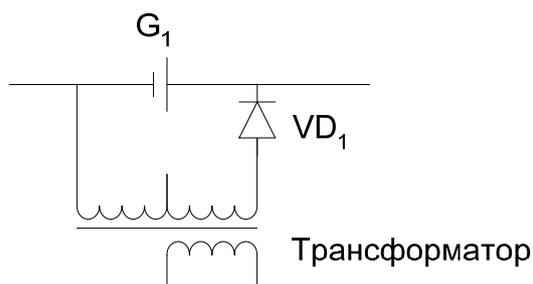


В методе используются свойства насыщающегося р-п перехода. В процессе заряда при достижении на элементе зарядного напряжения больше суммы напряжения насыщения ($U_{нас}$) диодов, зарядный ток идет по малому сопротивлению открывающихся диодов. При этом напряжение на аккумуляторе не превысит напряжения насыщения. Аналогичная ситуация происходит при разряде аккумулятора, но здесь напряжение на аккумуляторе не может быть ниже напряжения насыщения ($U_{нас}$) диода.

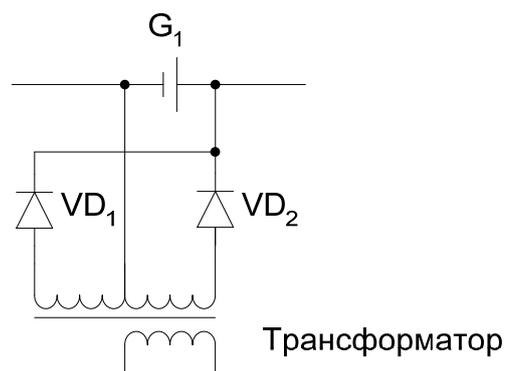
УСТРОЙСТВА НИВЕЛИРОВАНИЯ ЗАРЯДА

Данный метод контроля заряда используется как в системе со стабилизированной шиной СЭС, так и в системах с плавающей шиной СЭС. Работа устройства основана на индивидуальной подпитке отдельной АБ от

общего выравнивающего трансформатора. В соответствии с этим различают одну- и двухполупериодическую схемы.



однополупериодическая схема



двуполупериодическая схема

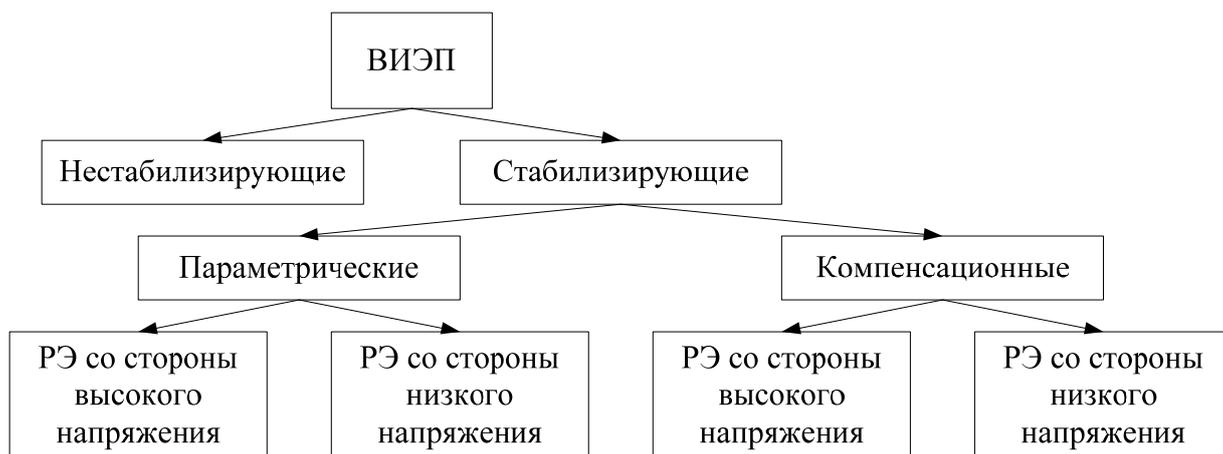
СЕТКА НАПРЯЖЕНИЙ **ВТОРИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ**

Центральная шина СЭС создается из условия оптимальности энергопередачи в цепях генератор → потребитель → накопитель. Однако потребитель рассчитан на целую сетку питающих напряжений, куда могут входить напряжения постоянного тока малых уровней, напряжения переменного тока стандартной частоты и амплитуды. Собственное энергопотребление АРК также требует определенной сетки напряжений.

Сетка напряжений создается при помощи вторичных источников электропитания (ВИЭП), в задачу которых входит создание требуемого уровня и качества питающего напряжения.

КЛАССИФИКАЦИЯ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Независимо от уровня применения, ВИЭП можно разбить на следующие группы:



Нестабилизирующие ВИЭП

Такого типа ВИЭП в основном используются для электропитания не ответственной аппаратуры класса нагревателей, приводов, не требующих стабильного уровня электропитания. Такие преобразователи имеют упрощенную схемотехнику и невысокую стоимость.

Стабилизирующие ВИЭП

Это в основном источники для питания ответственной аппаратуры с высокими требованиями стабильности электропитания.

Параметрические ВИЭП

Данный ВИЭП характерен отсутствием обратной связи, а стабилизация электропитания осуществляется за счет нелинейных элементов в цепи регулирования. Причем нелинейный элемент может быть включен как со стороны высокого напряжения, так и со стороны низкого напряжения.

Такие стабилизаторы находят применение как опорные источники, имеют невысокую стоимость и малый КПД. В современной схемотехнике находят неширокое применение.

Компенсационные ВИЭП

Компенсационные ВИЭП отличаются наличием обратной связи, которая способствует компенсации ухода выходного напряжения по средствам изменения характеристик РЭ. При этом РЭ может быть включен параллельно или последовательно с нагрузкой.

Последовательное или параллельное соединение РЭ характерно для схем преобразователей со стороны высокого напряжения. Такие преобразователи являются классическими в системах электропитания маломощной аппаратуры. В больших СЭС в связи с низким КПД применяются ограничено.

Регуляторы со стороны низкого напряжения

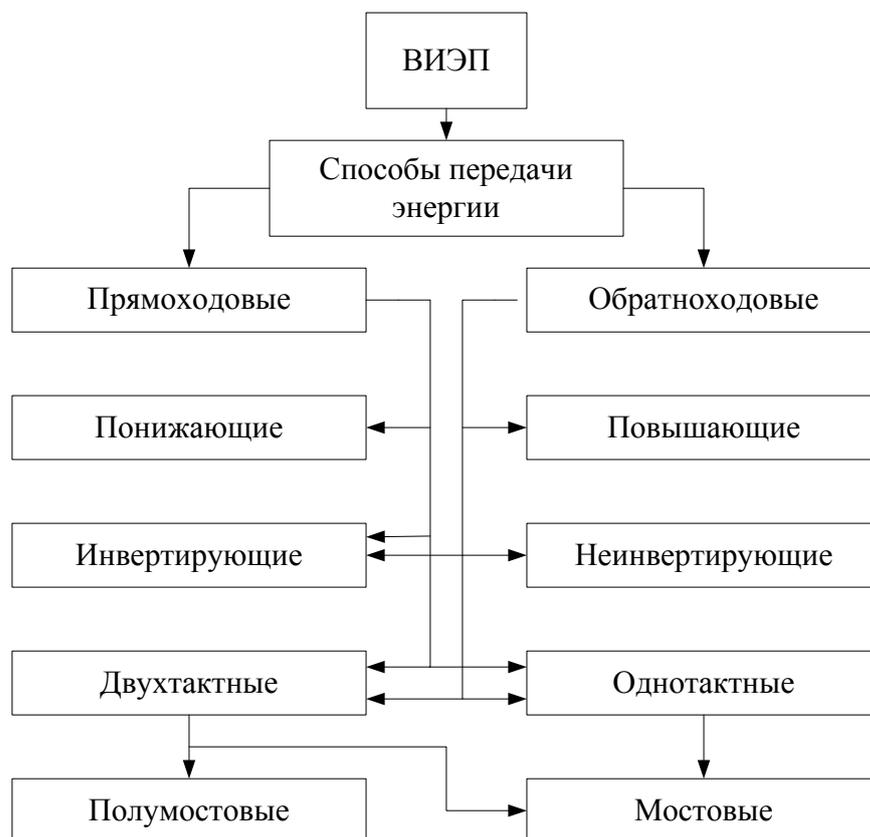
Регуляторы со стороны низкого напряжения нашли большое применение в мощных СЭС. В качестве регулятора в преобразователе могут использоваться:

- трансформаторный усилитель (однако, в связи с их громоздкостью их применение ограничено);
- транзисторные РЭ, работающие от первичного генератора;
- трансформаторные РЭ в виде трансформаторно-выпрямительных блоков.

Данный класс преобразователей наиболее распространен в системах создания сетке питающих напряжений, поскольку они обладают высоким КПД, малыми габаритами и массой.

Импульсные ВИЭП

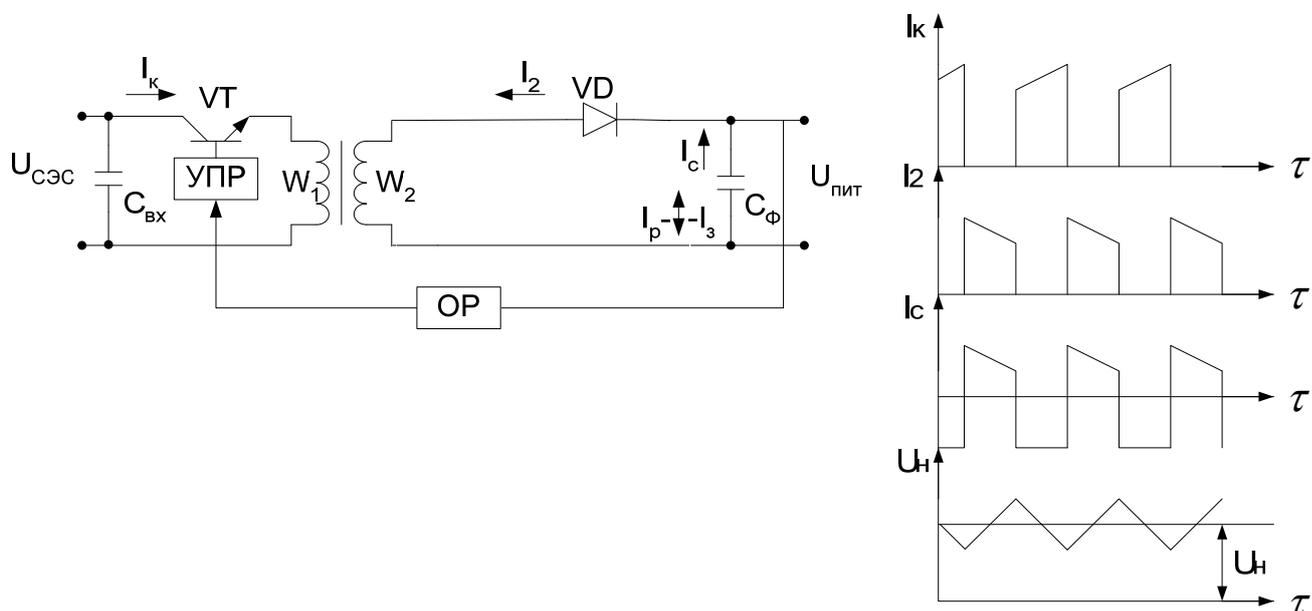
Поскольку входящее напряжение в СЭС является постоянным, то для создания соответствующей сетки необходимо применение преобразователей типа постоянный/переменный ток (ОС/АС) и постоянный/постоянный ток (ОС/ОС). Преобразователи напряжения могут быть классифицированы по следующим признакам:



ОДНОТАКТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Основным элементом для создания сетки напряжений внутреннего и внешнего питания солнечной СЭС с мощностью до 300 Вт, которая ограничена ключевым элементом, свойствами трансформатора, передачи энергии и КПД, является однотактная трансформаторная схема конвертора.

При передаче энергии могут различаться конверторы прямоходовые и обратноходовые. Наиболее простая схемотехника у обратноходовых однотактных конверторах.



ОР — оптронная развязка.

Элементы расчета одноконтных схем

Основой является выбор ключевого элемента:

$$U_K = \frac{\gamma(E - \Delta U_{VT} - \Delta U_1)k}{(1 - \gamma)} - \Delta U_{VD} - \Delta U_2,$$

где

$$\gamma = \frac{\tau_H}{T},$$

τ_H — время импульса;

T — период;

k — коэффициент трансформации:

$$k = \frac{W_2}{W_1}$$

$$I_K = \frac{P_H}{\eta E_{MAX} \gamma} + \frac{E_{MAX} \gamma}{2 L_1 f_{II}},$$

где f_{II} — частота преобразования, $f_{II} = 50 \dots 200$ кГц

L_1 — первичная обмотка трансформатора:

$$L_1 = \frac{E \gamma (1 - \gamma)}{2 I_{H MIN} f_{II} k};$$

$$U_{K MAX} = E_{MAX} + k U_H;$$

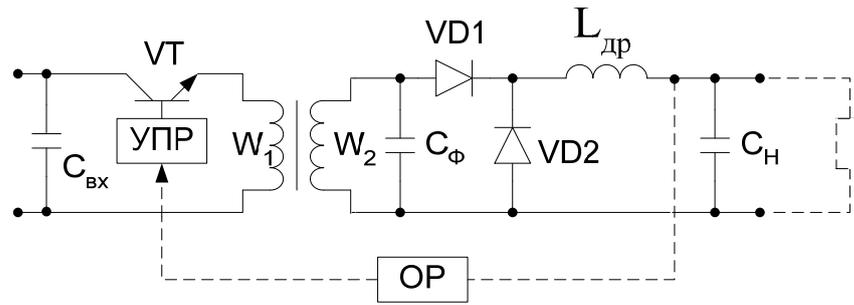
$$U_{VD} = \frac{E_{MAX} k}{1 - \gamma}.$$

Емкость C_ϕ определяется из условия неразрывности тока и может быть найдена из уравнения:

$$C_\phi = \frac{\sqrt{2} \sin \gamma_{MAX} \pi}{2 \pi^2 f_{II} (1 - \gamma_{MAX}) U_{II}} \left(I_H + \frac{E_{MAX}}{2 \pi f_{II} L_1 k} \right).$$

Особенности прямоходовых одноконтных преобразователей

Отличием прямоходовых одноконтных преобразователей является наличие во вторичной цепи отдельного накопительного элемента и соответственно включенного выпрямляющего диода в прямом направлении. Это позволяет разгрузить силовой трансформатор, применять в нем малоинерционные ферриты. При этом функцию накопления энергии принимает на себя дроссель фильтра для систем, имеющих специальный воздушный зазор.



В данной схеме при открытом ключе (VT) в трансформаторе (на прямом такте) энергия накапливается фильтрующим дросселем, который включен последовательно с выпрямляющим диодом (VD_1). При закрытом ключе энергия, накопленная в дросселе отдается в нагрузку по цепи. При этом трансформатор оказывается в разгруженном тепловом режиме.

К достоинствам данной схемы можно отнести:

- более высокий КПД.

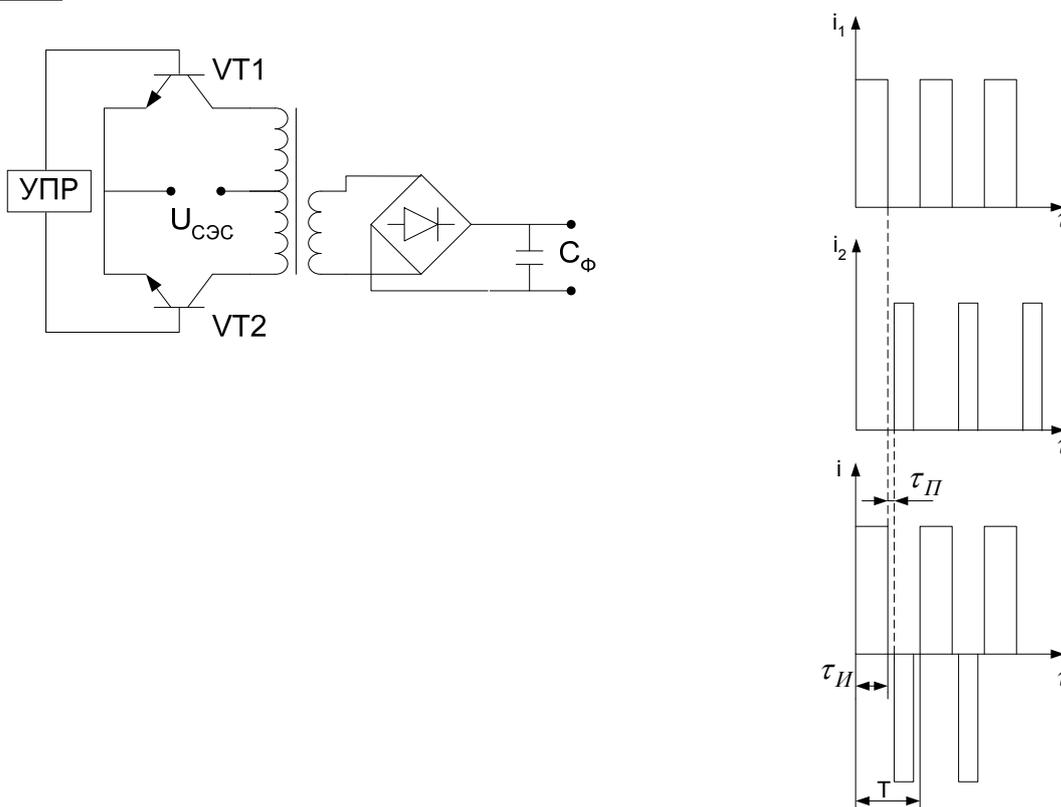
К недостаткам:

- наличие дополнительных элементов ($VD_2, L_{др}$).

ДВУХТАКТНЫЕ СХЕМЫ

Стремление получить высокий КПД преобразователя (80 %-90 %) привело к необходимости передачи энергии потребителю без промежуточных пауз, которые присущи одноктактным схемам.

Исторически первым является мостовой преобразователь со средней точкой.

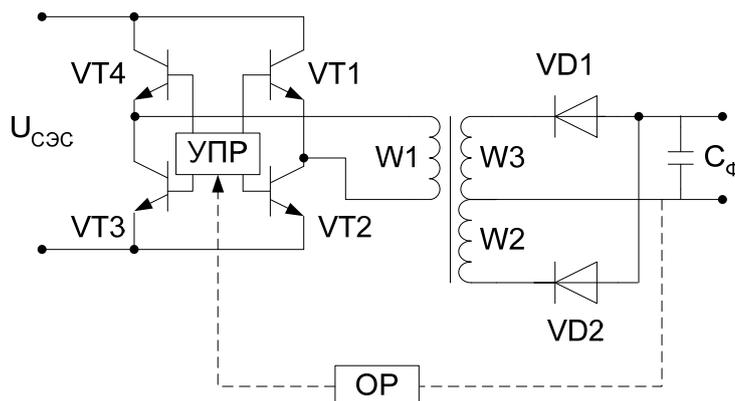


τ_{II} — время паузы;

$\tau_{И}$ — время импульса.

В схеме со средней точкой передача энергии осуществляется в прямом и обратном ходах методом переключения первичных обмоток силовыми трансформаторами.

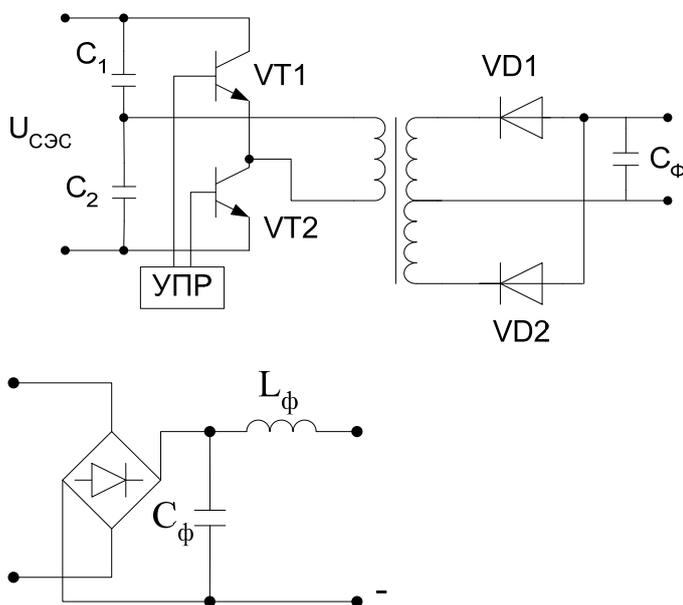
В полномостовой схеме используется однообмотковая первичная обмотка с четырьмя ключевыми элементами, что позволяет менять напряжение тока в первичной обмотке на противоположное, а также передавать энергию в нагревателе на прямом и обратном тактах.



Особенностью полумостовой схемы является наличие взвешенного питания, формируемого конденсаторами большой емкости, включенного вместо $VT3$, $VT4$.

Особенности построения полумостовой схемы

При передаче энергии от сети 220 В, 50 Гц или 380 В, 50 Гц используется система с двухтактным высокочастотным преобразователем и первичной сетью, состоящей из сетевого выпрямителя и фильтра.



Преобразуемые мощности

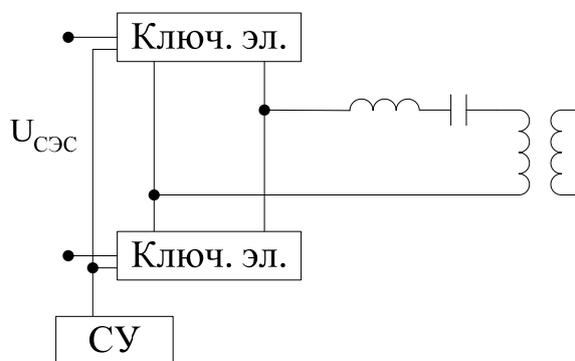
Современная преобразуемая техника с применением полевых транзисторов позволяет передавать значительные мощности в нагрузку при преобразовании. Однако передача мощности ограничена следующим:

- одноконтные схемы — до 500 Вт на один каскад;
- двухконтные схемы — от 2,5 кВт до 4 кВт на один каскад. При этом максимальная граница мощности требует эффективного принудительного охлаждения.

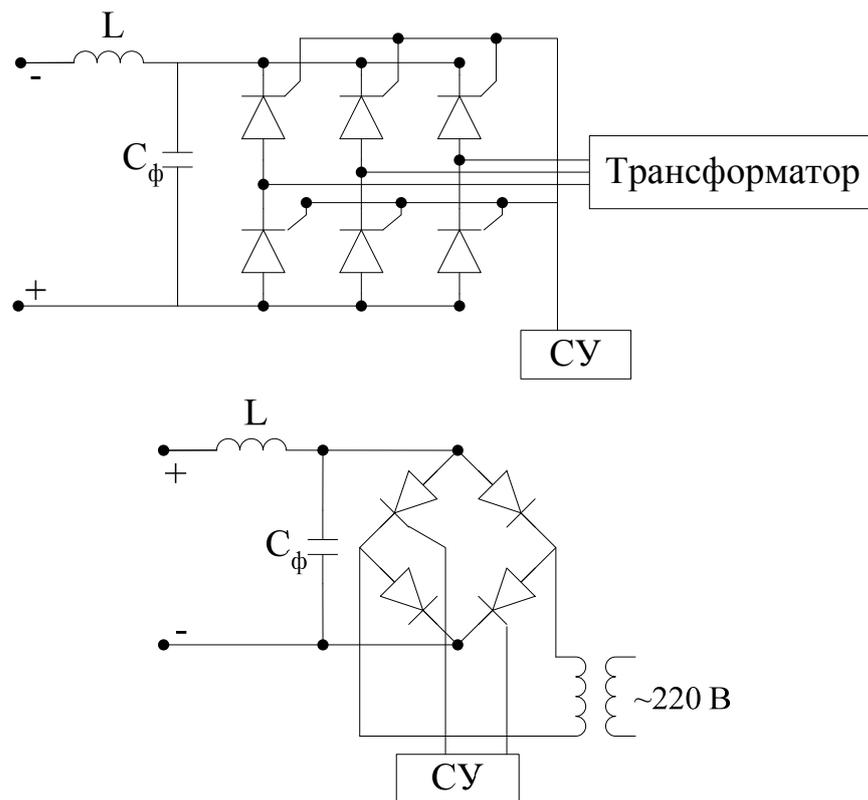
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ВЫХОДА НА ПРОМЫШЛЕННУЮ СЕТЬ

Для работы с установками на солнечной батарее или другими установками с постоянным током получено два технических решения преобразования постоянного тока переменной промышленной частоты:

1. Автономное преобразование. Его отличие состоит в том, что преобразователь не связан с промышленной сетью и является автономным источником, который должен обеспечить стабильную частоту 50 Гц и напряжение 220 В. Такие преобразователи строятся по двухконтным схемам с формированием синусоиды либо методом резонансного преобразования, либо цифровым наполнением.



2. Схемы работающие с промышленной сетью. Для этой категории основным элементом является инверторы, ведомые сетью. Это, как правило, мостовые терристорные преобразователи, частота работы которых определяется реальной частотой промышленной сети, а передача энергии в сеть осуществляется на участке спада синусоиды.



ОСОБЕННОСТИ ЛОГИКИ УПРАВЛЕНИЯ СЭС

В современных СЭС при управлении ее регуляторами, а соответственно и источниками питания, необходимо контролировать и управлять значительным числом параметров и в соответственной последовательности. Такая последовательность управления и закон управления СЭС определяются как логика функционирования СЭС. Эти функции возлагаются на отдельный элемент бока логики управления (БЛУ). Исторически БЛУ развивался от систем с жесткой логикой и соответственно замкнутыми обратными связями до современных систем с гибкой логикой и жесткими обратными связями.

СОСТАВ БЛОКА ЛОГИКИ УПРАВЛЕНИЯ

Наиболее полный состав БЛУ определяется уровнем СЭС и, как правило, в него должны входить следующие элементы:

- солнечная батарея: датчик Солнца (ДС) и уравнение освещенности, датчик тока (ДТ), датчик напряжения (ДН), датчик температуры панели;

СБ	ДТ
	ДС
	ДТ
	ДН

- РИМ: датчик тока регулятора (ДТ), датчик температуры силовых элементов, датчик напряжения на регуляторе (ДН);

РИМ	ДТ
	ДН

- регуляторы заряда и разряда: датчик тока регулятора (ДТ), датчик напряжения (ДН);

ЗРУ	ДТ
	ДН

- АБ: датчик тока заряда или разряда (ДТ), счетчик ампер-часов (САЧ), поэлементные датчики напряжения (ПК), индикаторы конца заряда (ИКЗ), предельные температурные датчики (ПДТ);

АБ	ДТ
	САЧ
	ПК
	ИКЗ
	ПДТ

- БЛУ должен содержать опорные датчики напряжения: датчик минимального напряжения (ДМН), датчик среднего напряжения (ДСН), датчик предельного напряжения (ДПН).

БЛУ	ДМН
	ДСН
	ДПН

Уровни сигналов

Согласно приведенной схеме можно утверждать, что в БЛУ будут поступать сигналы от датчиков в различной форме, но не пригодной для прямого анализа, а именно сигналы датчика температур могут быть выражены в качестве формульной зависимости:

- Аналоговые датчики

$$\text{ДТ} \rightarrow R = f(T_0)$$

$$\text{ДС} \rightarrow I_{\text{КЗ}} = f(E_0);$$

$$\text{ДТ} \rightarrow U_{\text{Д}} = f(I_{\text{Н}});$$

$$\text{ДН} \rightarrow U_{\text{Д}} = U_{\text{СЭС}}.$$

- Дискретные датчики (ДД)

$$\text{ИКЗ} \rightarrow P_{\text{MAX}} \equiv 1; P_{\text{MIN}} \equiv 0;$$

$$\text{САЧ} \rightarrow Q = \text{Код САЧ};$$

$$\text{ПДТ} \rightarrow T_{\text{MAX}} \equiv 1; T_{\text{MIN}} \equiv 0;$$

$$\text{ДД} \rightarrow Q_{\text{MAX}} \equiv 0; Q_{\text{MIN}} \equiv 1.$$

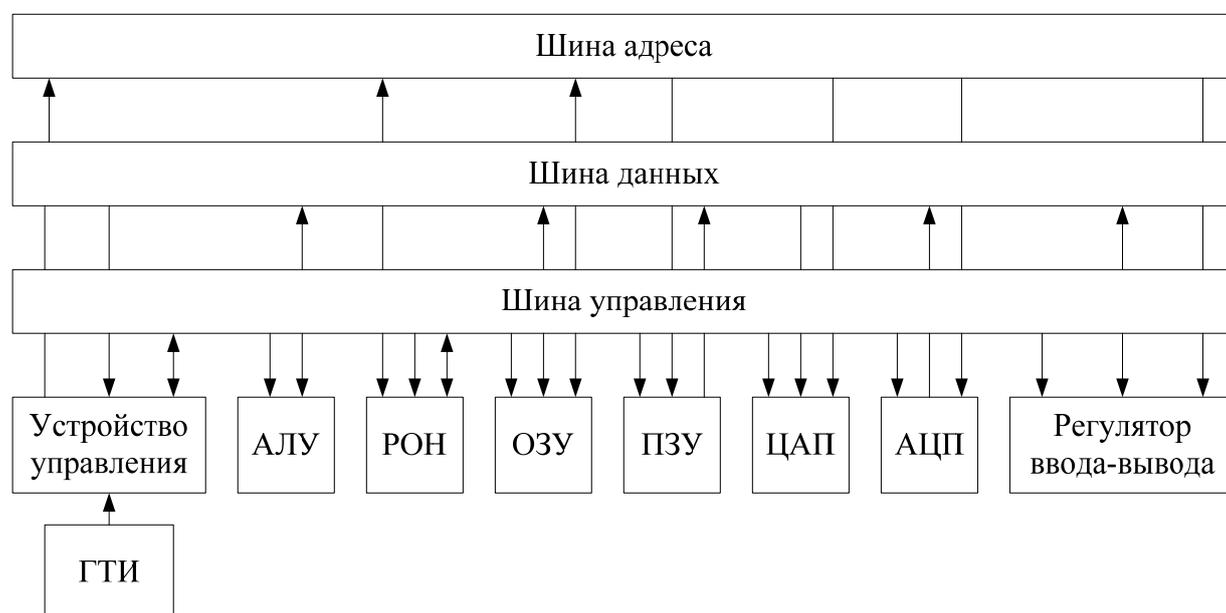
Обработка сигналов

Поскольку обработка сигналов датчиков весьма разнообразна, так как сигналы датчиков имеют различные выходные параметры, то в качестве основного используемого элемента БЛУ должен выступать микроконтроллер.

МИКРОКОНТРОЛЛЕР

Микроконтроллер — это универсальное счетно-решающее устройство, в основе которого лежит микропроцессор, запоминающее устройство, каналы цифрового и аналогового ввода-вывода. Такое устройство на одном кристалле и едином корпусе. Оно позволяет отработать любую наперед заданную логику функционирования в пределах имеющегося объема памяти и системы команд.

Структура микроконтроллера



АЛУ — арифметико-логическое устройство;
РОН — регистр общего назначения;
ОЗУ — оперативное запоминающее устройство;
ПЗУ — постоянно запоминающее устройство;
ЦАП — цифрово-аналоговый преобразователь;
АЦП — аналогово-цифровой преобразователь;
ГТИ — генератор тактовых импульсов.

Основные свойства микроконтроллера

В соответствии со структурой микроконтроллер обладает следующими свойствами:

1. Разрядность. Она определяет точность обработки сигнала.
2. Тактовая частота — скорость обработки информации.
3. Система команд — число выполненных операций.

4. Объем ПЗУ — память программы.
5. Количество аналоговых и цифровых каналов.

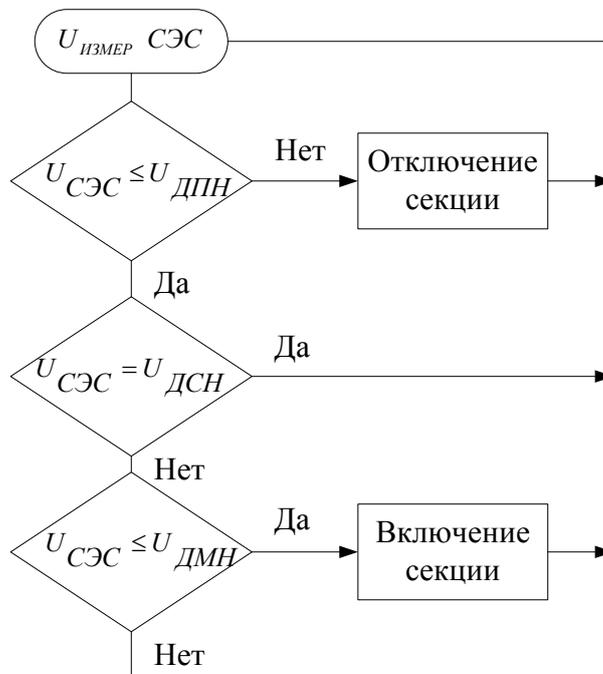
Подключение микроконтроллера в БЛУ

Для подключения осуществляются следующие операции:

- Нормализация выхода аналоговых каналов, то есть приведения их уровня к входному напряжению АЦП.
- Усиление выходных сигналов контроллера, а именно аналогового сигнала ЦАП, и шинное формирование регистров ввода-вывода.
- Установка оптронной развязки между силовыми и управляющими сигналами.

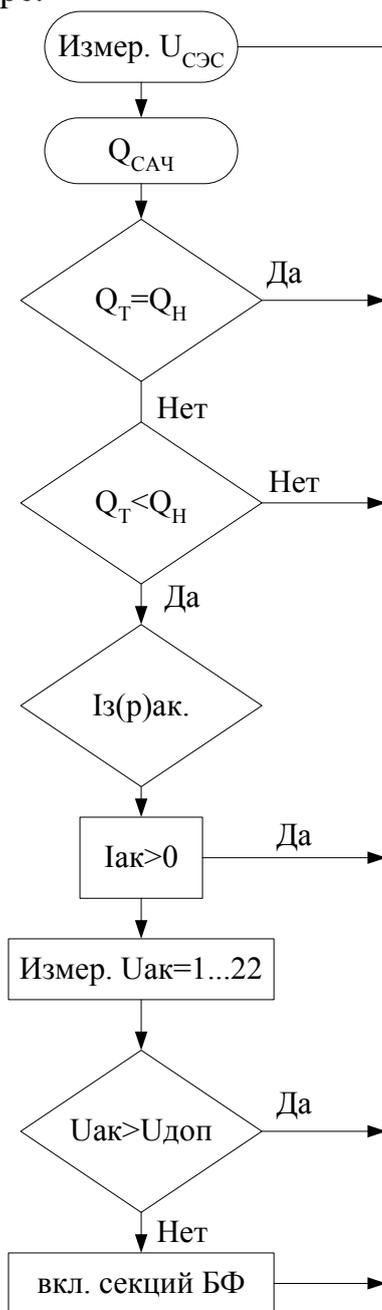
Независимо от разветвленности цепей подключения контроллера, основу работы контроллера составляет соответствующее программное обеспечение, куда входят программы анализа и отработки основной логики функционирования и программной диагностики технического состава СЭС. В общем случае в программах реализуется практически все функции логики работы СЭС с использованием соответствующих системных команд контроля. В зависимости от типа контроллера программное обеспечение может быть создано как на немонических языках, так и на языках высокого уровня. При разработке создается логика общей обработки и логика обработки конкретных параметров.

Для примера рассмотрим работу трехуровневой дискретной системы регулирования:



Контроль работы аккумулятора осуществляется следующим образом: в качестве основного измерения устанавливается напряжение СЭС, относительно которого аккумулятор по простой буферной схеме переводится из одного

режима в другой. Дополнительными параметрами является напряжение на каждом отдельном аккумуляторе.



ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕГУЛЯТОРОВ СЭС

Поскольку в основу современных СЭС, а именно в логику управления, заложен микроконтроллер, то ее техническое состояние возможно и необходимо оценивать автоматикой по соответствующим тестовым сигналам. В этом случае строится дихотомическое дерево отказа в системе и соответствующего набора тестовых сигналов. Таким образом, контроллер проводит постоянный анализ состояния регуляторов, агрегатов и элементов управления СЭС. Дихотомическое дерево проводит собственный анализ условий отказов при работе СЭС вне штатных режимах.

Кроме автоматической диагностики для более простых систем, а также условий отработки, определяется ряд контрольной аппаратуры, которая разделяется на два вида:

- КИА — контрольно-испытательная аппаратура;
- КПА — контрольно-проверочная аппаратура.

Данная аппаратура является неотъемлемой частью СЭС и схемы ее регулирования, а ее разработка и проектирование входит в работу по проектированию СЭС.