

В.И.Пупкин

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

«РАСЧЕТ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ»



г. Харьков, 2010

УДК 621.311.4.659.24
Л35

Методическое пособие для проектирования «Расчет системы автономного энергоснабжения с использованием фотоэлектрических преобразователей» В.И.Пупкин– Харьков, ХГУХПИ 2010 – 83с.

Печатается по постановлению Редакционно-издательского Совета .

Рецензенты:

Ю. А. Гурченко – доцент, кандидат физико-математических наук.



1. Задание для расчета

1. Задается объект, для которого нужно рассчитать фотоэлектрическую систему, и место строительства. Для расчета необходимы планы всех этажей с обозначением площадей помещений и их функционального назначения, план кровли и/или прилегающей территории, на которых будут размещены солнечные батареи;

2. Указываются климатические условия для объекта, то есть интенсивности прямой, диффузной и суммарной радиации для каждого месяца, широта местности, максимальное количество дней без солнца;

3. Выбирается схема, по которой будет осуществляться электроснабжение: автономная работа фотоэлектрической системы, работа с генератором в качестве дублера, совместная работа с сетью;

4. Указывается хозяйственное назначение объекта, его потребность в электроэнергии. Например, для загородного дома основное потребление энергии приходится на выходные дни, в то время как в рабочие дни выработанная электроэнергия может передаваться в сеть. Для юридических объектов, работающих пять дней в неделю, наоборот, в выходные дни вырабатываемая электроэнергия может передаваться в сеть или аккумулироваться. Эти данные также должны учитываться при расчете емкости аккумуляторных батарей.

2. Расчет освещения по методу удельной мощности

1. Согласно СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» определяется требуемая освещенность E для заданного помещения (таблица 2.1).

Таблица 2.1

Освещенность некоторых помещений.

Наименование помещения	Наименьшая освещенность Е, лк		Плоскость, для которой нормируется освещенность, и ее высота от пола, м
	При газоразрядных лампах	При лампах накаливания	
Конторы, кабинеты, комнаты для занятий, классы	300	(250)	Г-0,8
Конструкторские, чертежные, копировальные бюро, помещения для проектных работ	500	(300)	Г-0,8
Читальный зал	300	(150)	Г-0,8
Помещения для записи и регистрации читателей, справочный отдел	300	(150)	Г-0,8
Конференц-зал	200	(100)	Г-0,0
Киноаппаратная, щитовая	75	(30)	Г-0,8
Светокопировальная мастерская	200	(100)	Г-0,8
Проходная	100	(50)	Г-0,8
Помещение для отдыха, культурного обслуживания, ожидания	150	(75)	Г-0,8
Помещение общественных организаций	200	(100)	Г-0,8
Фойе	150	(75)	Г-0,0
Выставочный зал	200	(100)	Г-0,8
Отделение связи и сбербанка	300	(150)	Г-0,8
Помещение для программистов	300	(150)	Г-0,8
Кабинеты врачей	200	(100)	Г-0,8

Кулинария	300	(150)	Г-0,8
Спортивный зал	200	(150)	Г-0,0
Актальный зал в учебном здании	200	(100)	Г-0,0
Кабинеты и комнаты преподавателей	200	(100)	Г-0,8
Рекреационные помещения	150	(75)	Г-0,0
Комнаты для игр	200	(100)	Г-0,5
Обеденные залы	200	(100)	Г-0,8
Торговые залы универмагов, магазинов готового платья, белья, обуви, тканей, меховых изделий, головных уборов, ювелирных, книжных, кустарно-художественных изделий, торговые залы продовольственных магазинов	300	(150)	Г-0,8
Площадки у лифтов	150	(75)	Г-0,0
Раздевалки в банях, преддушевые	(75)	30	Г-0,8
Моечные в банях, душевые	(75)	30	Г-0,0
Вестибюли, холлы, гардеробные в школах и центральных гостиницах	150	(75)	Г-0,0
Лестницы главные в общественных зданиях	100	(50)	Г- пол площадок и ступеней
Лестницы главные в учреждениях отдыха и гостиницах	50	(20)	Г- пол площадок и ступеней
Прочие лестницы в общественных зданиях	75	(30)	Г- пол площадок и ступеней
Шахта лифта	(50)	5	В- на стене шахты
Технические этажи	(50)	20	-
Кладовые продуктов	(50)	20	-
Чердак	(50)	5	-

2. Принимается, что для создания средней освещенности 100 лк на каждый квадратный метр площади освещаемого помещения требуется удельная мощность $P_{уд}$ 16 – 20 Вт/м² при прямом освещении лампами накаливания и

6 – 10 Вт/м² при прямом освещении люминесцентными лампами. Эти расчеты верны при светлых потолках и стенах. Большие значения удельной мощности принимаются для помещений с меньшей площадью.

3. Находится удельная мощность для требуемого уровня освещенности:

$$P_{уд}^{mp} = P_{уд} \cdot \frac{E}{100},$$

где E – требуемая освещенность, в лк.

4. Определяется общая требуемая мощность ламп $P_{тр}$:

$$P_{тр} = P_{уд}^{mp} \cdot F,$$

где F - площадь помещения.

5. Задается мощность используемой лампы $P_{лампы}$.
6. Определяется количество ламп, требуемое для освещения помещения (результат округляется до большего целого):

$$N = \frac{P_{тр}}{P_{лампы}}.$$

Пример расчета

1. Объектом расчета будет являться жилое помещение – гостиная частного дома, площадью 16 м². Освещенность по таблице 2.1 $E=75$ лк для ламп накаливания.
2. Принимаем, что удельная мощность $P_{уд}=20$ Вт/м².
3. Удельная мощность для требуемого уровня освещения:

$$P_{уд}^{mp} = P_{уд} \cdot \frac{E}{100} = 20 \cdot \frac{75}{100} = 15 \text{ Вт/м}^2.$$

4. Общая требуемая мощность ламп $P_{тр}$:

$$P_{тр} = P_{уд}^{mp} \cdot F = 15 \cdot 16 = 240 \text{ Вт}.$$

5. Принимаем к использованию лампы накаливания с $P_{лампы}=60$ Вт.
6. Требуемое количество ламп:

$$N = \frac{P_{тр}}{P_{лампы}} = \frac{240}{60} = 4.$$

3. Расчет фотоэлектрической системы

Расчет системы включает следующие этапы:

1. Определение нагрузки, потребляемой энергии и необходимой мощности инвертора.
2. Определение значения емкости аккумуляторной батареи и их количества.
3. Определение необходимого количества солнечных батарей.

Определение энергопотребления и мощности инвертора.

1.1. Перечислить всю нагрузку переменного тока с указанием ее номинальной мощности и числа часов работы в неделю. Занести данные в таблицу 3.1. Умножить мощность на число часов работы для каждого прибора и сложить получившиеся значения для определения суммарной потребляемой энергии переменного тока в неделю $W_{пер}$. Значения мощностей некоторых приборов даны в таблице 3.2. Расчет освещения был приведен выше. Необходимо умножить значение общей требуемой мощности ламп для каждого помещения на число часов работы и записать суммарный результат в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Нагрузка переменного тока.

№	Нагрузка переменного тока	Мощность в Вт	×	Часов в неделю	=	Вт*ч/неделю
1			×		=	
2			×		=	
3			×		=	
Всего					=	

Таблица 3.2

Мощности потребителей.

№	Потребитель	Мощность в Вт
1	Микроволновая печь	850 – 1500
2	Чайник	1200 – 1500
3	Холодильник	230 – 550
4	Посудомоечная машина	2000 – 2500
5	Кофемолка	140 – 220
6	Тостер	800 -1500
7	Блендер	220 – 700
8	Кухонный комбайн	500 – 800
9	Кофеварка	150 – 3000 (зависит от типа, объема, температуры нагрева)
10	Телевизор	17 – 300 (зависит от модели и диагонали)
11	Компьютер	150 – 300
12	Кондиционер	800 – 2500 (зависит от режима работы)
13	Пылесос	700 – 2000
14	Фен	1200 – 1800
15	Стиральная машина	700 – 2000
16	Утюг	800 – 2400 (делятся на маломощные, средней и максимальной мощности)
17	Электроплита	1200 – 4000
18	Принтер	100 – 650
19	Копировальное устройство	2000 – 5000
20	Факс	130
21	Насос	250-500
22	Музыкальный центр	100
23	DVD-плеер	35 – 60
24	Вытяжка	100 – 150
25	Вентилятор	10 – 60
26	Электросушилка	400 – 2000
27	Электроодеяло	40 – 100
28	Бритва	10 – 15
29	Обогреватель	1500 – 6000 (зависит от площади обогреваемого помещения)
30	Дрель	600 – 1000

1.2. Далее нужно посчитать, сколько энергии постоянного тока потребуется. Для этого необходимо умножить получившееся значение на коэффициент $k=1,2$, учитывающий потери в инверторе:

$$W_{тр} = W_{пер} \cdot k.$$

1.3. Определить значение входного напряжения инвертора $U_{инв}$ по характеристикам выбранного инвертора. Обычно это 12 или 24 В, для мощных систем 48 В и более. Инвертор выбирается таким образом, чтобы его мощность была выше мощности переменного тока умноженной на k .

1.4. Число Ампер-часов в неделю, требуемое для покрытия нагрузки переменного тока, определяется по формуле:

$$q_{нед}^{пер} = \frac{W_{тр}}{U_{инв}}.$$

1.5. Посчитать нагрузку постоянного тока $W_{пост}$ и занести результат в таблицу 3.3.

Таблица 3.3

Нагрузка постоянного тока.

№	Нагрузка постоянного тока	Мощность в Вт	×	Часов в неделю	=	Вт*ч/неделю
1			×		=	
2			×		=	
3			×		=	
Всего					=	

1.6. Определить напряжение в системе постоянного тока $U_{пост}$. Обычно это 12 или 24 В.

1.7. Число Ампер-часов в неделю, требуемое для покрытия нагрузки постоянного тока, определяется по формуле:

$$q_{нед}^{пост} = \frac{W_{пост}}{U_{пост}}.$$

1.8. Суммарная требуемая емкость аккумуляторной батареи, то есть количество $A^*ч$ (Ампер-часов), потребляемых в неделю:

$$q_{нед} = q_{нед}^{пер} + q_{нед}^{пост}.$$

1.9. Суточное значение потребляемых $A^*ч$ определяется делением $q_{сут}$ на 7 дней:

$$q_{сут} = \frac{q_{нед}}{7}.$$

Определение значения необходимой емкости аккумуляторной батареи и их количества.

2.1. Определить максимальное число последовательных "дней без солнца" $N_{бс}$ (то есть когда солнечной энергии недостаточно для заряда аккумуляторной батареи и соответственно для работы нагрузки из-за непогоды или облачности), пользуясь таблицей 3.4 и ориентируясь на режим эксплуатации. При круглогодичной эксплуатации фотоэлектрической системы с дублером, в том числе при работе с общей энергосетью, для уменьшения затрат можно выбрать минимально возможное количество дней без солнца – 1. Это обуславливается подзарядкой от резервного источника в любое время. Также возможно принять за этот параметр выбранное количество дней, в течение которых аккумуляторные батареи будут питать нагрузку самостоятельно без подзарядки. Если система применяется для загородного дома, посещаемого только по выходным, необходима большая емкость батарей, потому что они могут заряжаться в течение всей недели, а отдавать энергию только в выходные дни.

Таблица 3.4

Количество дней без солнца, обусловленное погодными условиями.

Широта местности	Период		
	Летние месяцы	Осенние и весенние месяцы	Зимние месяцы
30	2-4	3-4	4-6
40	2-4	4-6	6-10
50	2-4	6-8	10-15
60	3-5	8-12	15-25
70	3-5	12-14	20-35

2.2. Суммарная емкость аккумуляторов, учитывающая количество дней без солнца $N_{бс}$:

$$q_N = q_{сум} \cdot N_{бс}.$$

2.3. Задать величину глубины допустимого разряда аккумуляторной батареи. При этом необходимо учесть, что чем больше глубина разряда, тем быстрее батареи выйдут из строя. Рекомендуется значение глубины разряда 20% - 50% (используется 20% - 50% от значения номинальной емкости). Соответственно коэффициент использования γ составит от 0,2 до 0,5. Ни при каких обстоятельствах разряд батареи не должен превышать 80%.

2.4. Заряд аккумуляторной батареи с учетом глубины разряда:

$$q_{\gamma} = \frac{q_N}{\gamma}.$$

2.5. Выбрать коэффициент α из таблицы 3.5, который учитывает температуру окружающей среды в помещении, где установлены аккумуляторные батареи. Обычно это средняя температура в зимнее время. Коэффициент учитывает уменьшение емкости при понижении температуры.

Таблица 3.5

Температурный коэффициент для аккумуляторной батареи.

Температура в градусах		Коэффициент
Цельсия	Фаренгейта	
26,7C	80F	1,00
21,2C	70F	1,04
15,6C	60F	1,11
10,0C	50F	1,19
4,4C	40F	1,30
-1,1C	30F	1,40
-6,7C	20F	1,59

2.6. Общая требуемая емкость аккумуляторных батарей:

$$q_{\text{общ}} = q_{\gamma} \cdot \alpha.$$

2.7. Выбрать тип аккумуляторной батареи, который будет использоваться (лучше свинцово-кислотные аккумуляторы). Выписать для него номинальную емкость $q_{\text{ном}}$ и номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$.

2.8. Разделить общую требуемую емкость батарей $q_{\text{общ}}$ на номинальную емкость выбранной аккумуляторной батареи и округлить полученное значение до ближайшего большего целого. Это будет количество батарей, соединенных параллельно:

$$N_{\text{пар}}^{\text{АКБ}} = \frac{q_{\text{общ}}}{q_{\text{ном}}}.$$

2.9. Разделить номинальное напряжение постоянного тока системы $U_{\text{инв}}$ на номинальное напряжение аккумуляторной батареи (чаще 2, 6 или 12 В). Округлить полученное значение до ближайшего большего целого. Результат задаст количество последовательно соединенных батарей:

$$N_{\text{посл}}^{\text{АКБ}} = \frac{U_{\text{инв}}}{U_{\text{ном}}}.$$

2.10. Подсчитать требуемое количество аккумуляторных батарей:

$$N^{AKБ} = N_{пар}^{AKБ} \cdot N_{посл}^{AKБ}.$$

Определение необходимого количества солнечных батарей.

3.1. Определить количество i пиковых солнце-часов в день для заданной местности. Для этого среднемесячное поступление солнечного излучения в кВт*ч/месяц на площадку, имеющую тот же угол наклона, что и солнечные батареи, необходимо разделить на количество дней месяца. Под пиковыми часами понимаются часы с интенсивностью 1000 Вт/м². Таким образом, при эксплуатации системы в летний период можно считать по месяцу с наименьшим значением. Если электроснабжение полностью должно обеспечиваться за счет солнечных батарей, то подсчет должен проводиться по наиболее холодному месяцу. Недостатком в этом случае будет большое число требуемых солнечных батарей, а, значит, и несравнимо большие затраты вследствие очень малого значения пиковых солнце-часов. Для мощных систем установка солнечных батарей становится экономически нецелесообразной. Поэтому при наличии резервного источника питания рекомендуется проводить расчет по среднегодовому значению пиковых солнце-часов. Это позволит сократить затраты на фотоэлектрическую систему. В теплое время года вырабатываемая энергия может передаваться в общую сеть, а в холодное соответственно забираться из сети или от резервного источника питания.

Если солнечные батареи устанавливаются под некоторым углом β к горизонту, то среднемесячное дневное суммарное количество солнечной энергии, поступающее на наклонную поверхность, может быть найдено по формуле:

$$E_{\pi} = R \cdot E,$$

где E – среднемесячное дневное суммарное количество солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность;

R – отношение среднемесячных дневных количеств солнечной радиации, поступающей на наклонную и горизонтальную поверхности.

Коэффициент пересчета с горизонтальной плоскости на наклонную с южной ориентацией равен сумме трех составляющих, соответствующих прямому, рассеянному и отраженному солнечному излучению:

$$R = \left(1 - \frac{E_p}{E}\right) \cdot R_n + \frac{E_p}{E} \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2},$$

где E_p – среднемесячное дневное количество рассеянного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную

поверхность; $\frac{E_p}{E}$ – среднемесячная дневная доля рассеянного солнечного излучения; R_n – среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с горизонтальной на наклонную поверхность; β – угол наклона поверхности солнечной батареи к горизонту; ρ – коэффициент отражения (альбедо) поверхности Земли и окружающих тел, обычно принимаемый равным 0,7 для зимы и 0,2 для лета.

Среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с горизонтальной на наклонную поверхность:

$$R_n = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_{zn} + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_{zn} \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_3 + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_3 \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta},$$

где φ – широта местности, град; β – угол наклона солнечной батареи к горизонту, град; δ – склонение Солнца (угол между линией, соединяющей центры Земли и Солнца, и ее проекцией на плоскость экватора) в средний день месяца, град:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right),$$

n – порядковый номер дня, отсчитанный от 1 января (номер среднего расчетного дня для каждого месяца года).

Значение δ можно взять из таблицы 3.6.

Таблица 3.6

Угол склонения Солнца

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
n	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344
δ , град	-20,9	-13	-2,4	9,4	18,8	23,1	21,2	13,5	2,2	-9,6	-18,9	-23

ω_z – часовой угол захода (восхода) Солнца для горизонтальной поверхности:

$$\omega_z = \arccos(-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta).$$

ω_{zn} – часовой угол захода Солнца для наклонной поверхности с южной ориентацией:

$$\omega_{zn} = \arccos[-\operatorname{tg}(\varphi - \beta) \cdot \operatorname{tg} \delta].$$

3.2. Выбрать тип солнечной батареи, который планируется использовать. Для него выписать номинальную мощность $P_{ном}^{CB}$ и напряжение $U_{ном}^{CB}$, а также ток в точке максимальной мощности I_{mpp} .

3.3. Умножить значение $q_{сут}$ на коэффициент $\zeta=1,2$ для учета потерь на заряд-разряд аккумуляторной батареи:

$$q_{з-р} = q_{сут} \cdot \zeta.$$

3.4. Разделить значение $q_{з-р}$ на число пиковых солнцечасов для заданной местности i . В результате будет получено значение тока, который должны генерировать солнечные батареи:

$$I^{CB} = \frac{q_{з-р}}{i}.$$

3.5. Для определения числа модулей, соединенных параллельно, разделить значение тока, вырабатываемого батареями, на максимальный ток I_{mpp} одного модуля и округлить полученное до ближайшего большего целого

$$N_{пар}^{CB} = \frac{I^{CB}}{I_{mpp}}.$$

3.6. Для определения числа модулей, соединенных последовательно, разделить напряжение постоянного тока системы $U_{инв}$ на номинальное напряжение солнечной батареи (обычно 12 или 24 В):

$$N_{посл}^{CB} = \frac{U_{инв}}{U_{ном}^{CB}}.$$

3.7. Общее количество требуемых фотоэлектрических модулей:

$$N^{CB} = N_{пар}^{CB} \cdot N_{посл}^{CB}.$$

3.8. Площадь солнечных батарей:

$$S^{CB} = N^{CB} \cdot S_1^{CB},$$

где S_1^{CB} - площадь одной солнечной батареи.

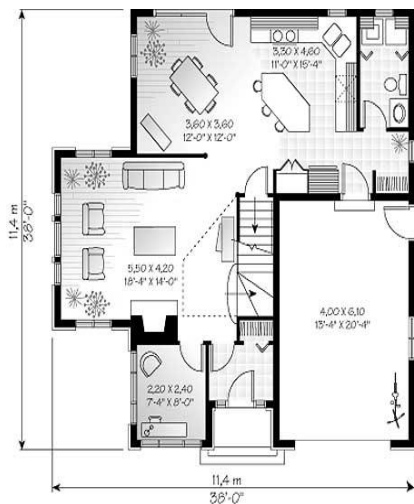
Числовой пример расчета фотоэлектрической системы

Определение энергопотребления и мощности инвертора

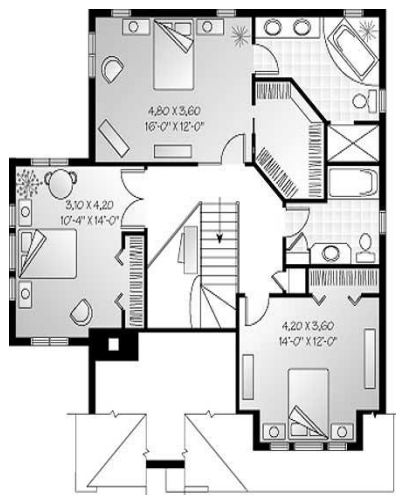
1.1. Расчет производится для двухэтажного частного дома с габаритными размерами 11,4 м × 11,4 м, расположенного в г. Симферополе (рис. 3.1). На первом этаже находятся: гостиная, столовая, кухня, кабинет, прихожая, санузел, гараж. На втором этаже соответственно: три спальни, ванная, санузел, коридор. Потребление энергии в неделю составит $W_{пер} = 151,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ (таблица 3.7). Дом подключен к общей энергосети. Когда энергии, вырабатываемой солнечными батареями, будет недостаточно, энергия будет потребляться из сети. И наоборот, когда выработка будет больше потребления, электроэнергия передается в сеть.



а)



б)



в)

Рис. 3.1. Двухэтажный частный дом. а). Фасад; б). План первого этажа; в). План второго этажа.

Таблица 3.7

Нагрузка переменного тока

№	Нагрузка переменного тока	Мощность в Вт	×	Часов в неделю	=	кВт*ч/неделю
1	Освещение	1460	×	30,3	=	44,2
2	СВЧ-Печь	1000	×	7,0	=	7,0
3	Чайник	1500	×	3,7	=	5,6
4	Другие кухонные устройства	200	×	4,2	=	0,8
5	Холодильник	230	×	103,6	=	23,8
6	Телевизор	300	×	21,5	=	6,4
7	Компьютер	300	×	43,4	=	13
8	Кондиционер	1000	×	32,2	=	32,2
9	Пылесос	1000	×	3,9	=	3,9
10	Фен	1200	×	3,3	=	4,0
11	Стиральная машина	700	×	4,9	=	3,4
12	Утюг	800	×	6,7	=	5,3
13	Инструменты	1500	×	1,3	=	2,0
Всего					=	151,6

Графики распределения мощности показаны на рис. 3.2.

- 1.2. Энергии постоянного тока с учетом потерь в инверторе потребуется:

$$W_{mp} = W_{пер} \cdot k = 151,6 \cdot 1,2 = 181,92 \text{ кВтч.}$$

- 1.3. Для того чтобы выбрать инвертор, разделим значение W_{mp} на число часов за неделю, то есть на $7 \cdot 24 = 168$ ч:

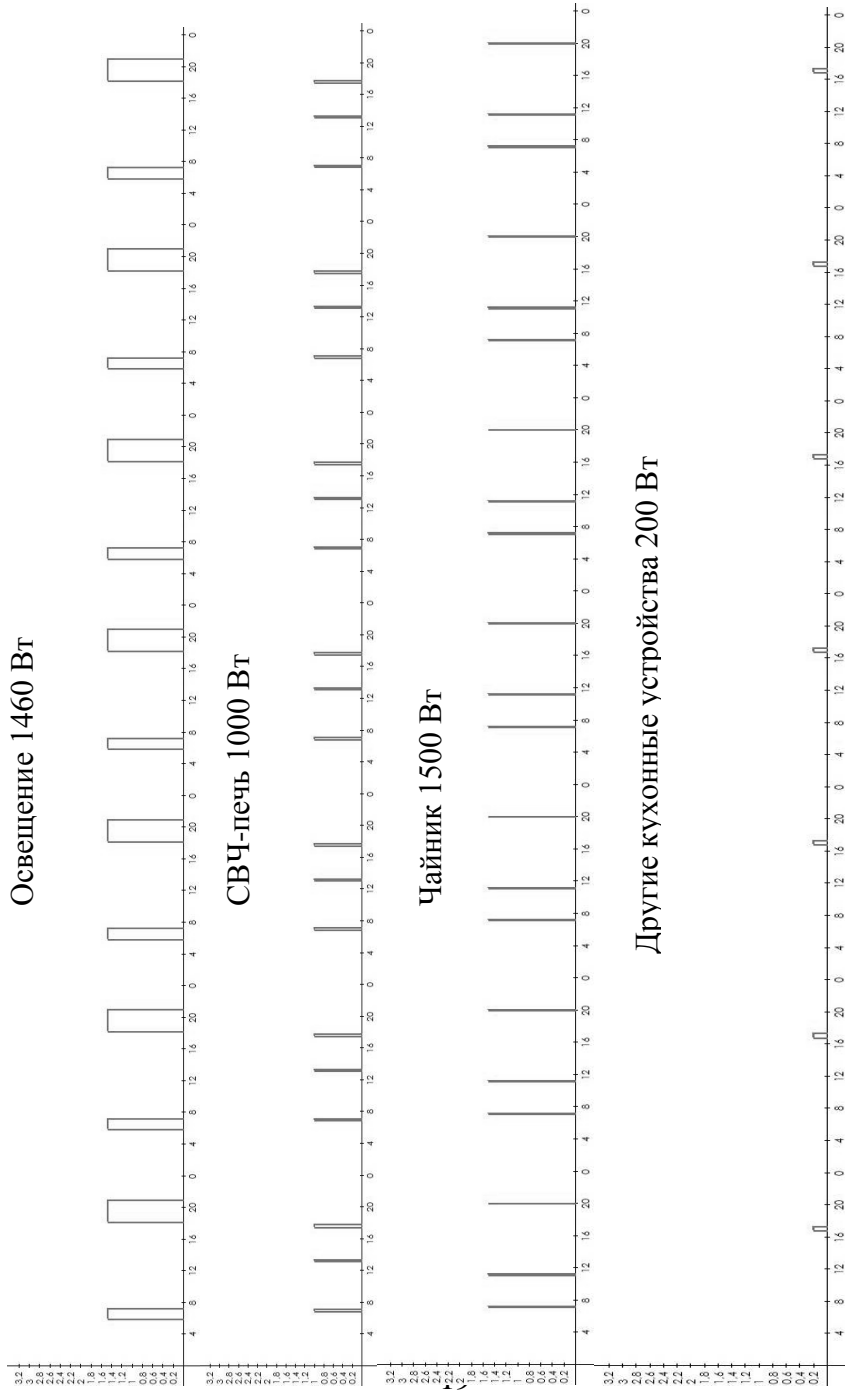
$$P_{инв} = \frac{W_{mp}}{7 \cdot 24} = \frac{181,92 \cdot 10^3}{7 \cdot 24} = 1082,86 \text{ Вт.}$$

Выбираем инвертор Simin SIM-1500P. Номинальное напряжение инвертора $U_{инв} = 24 \text{ В}$, номинальная мощность:

$$P_{н.инв} = 1500 \text{ Вт.}$$

- 1.4. Число Ампер-часов в неделю, требуемое для покрытия нагрузки переменного тока:

$$q_{нед}^{пер} = \frac{W_{mp}}{U_{инв}} = \frac{181,92 \cdot 10^3}{24} = 7580 \text{ Ач.}$$



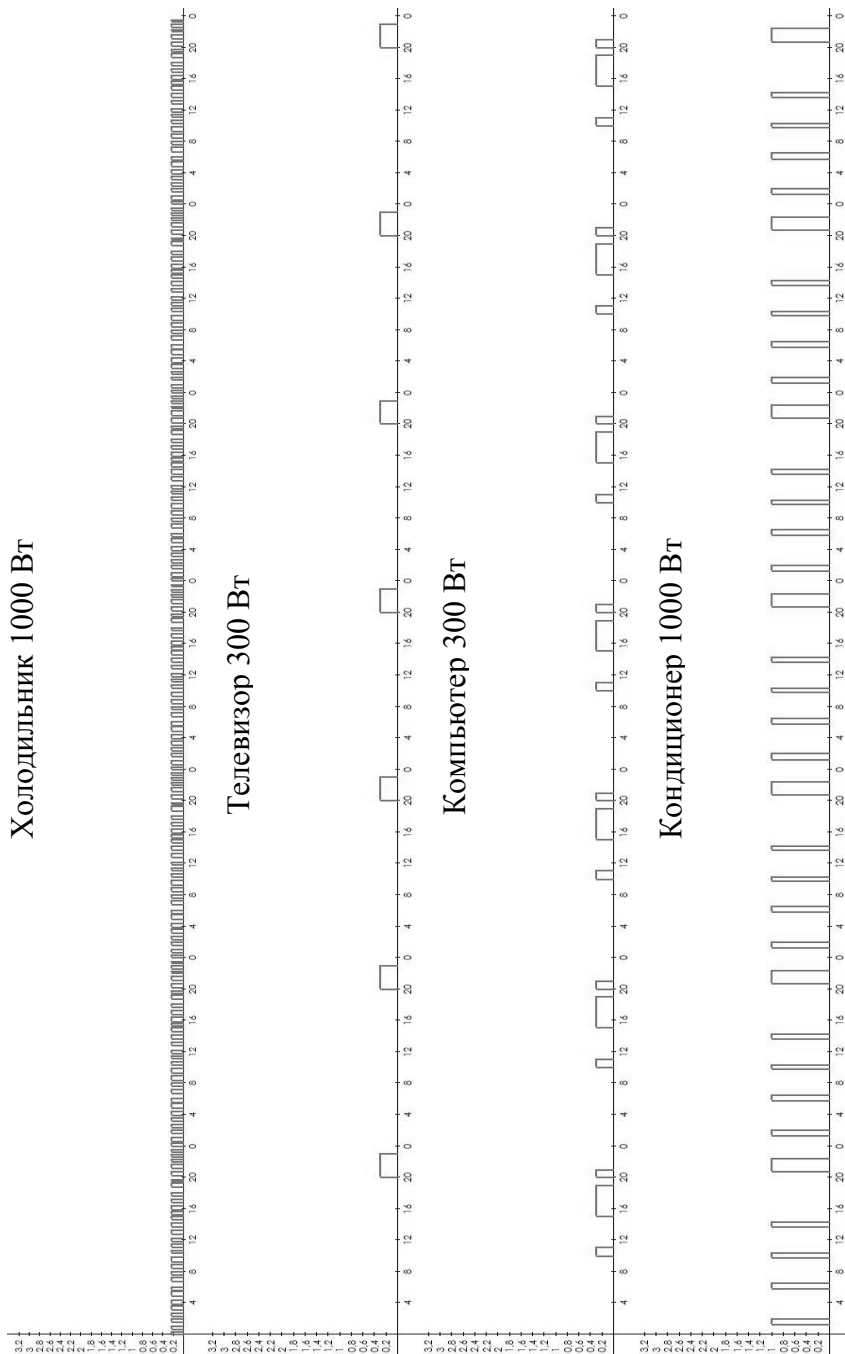


Рис. 3.2. Графики распределения нагрузки.

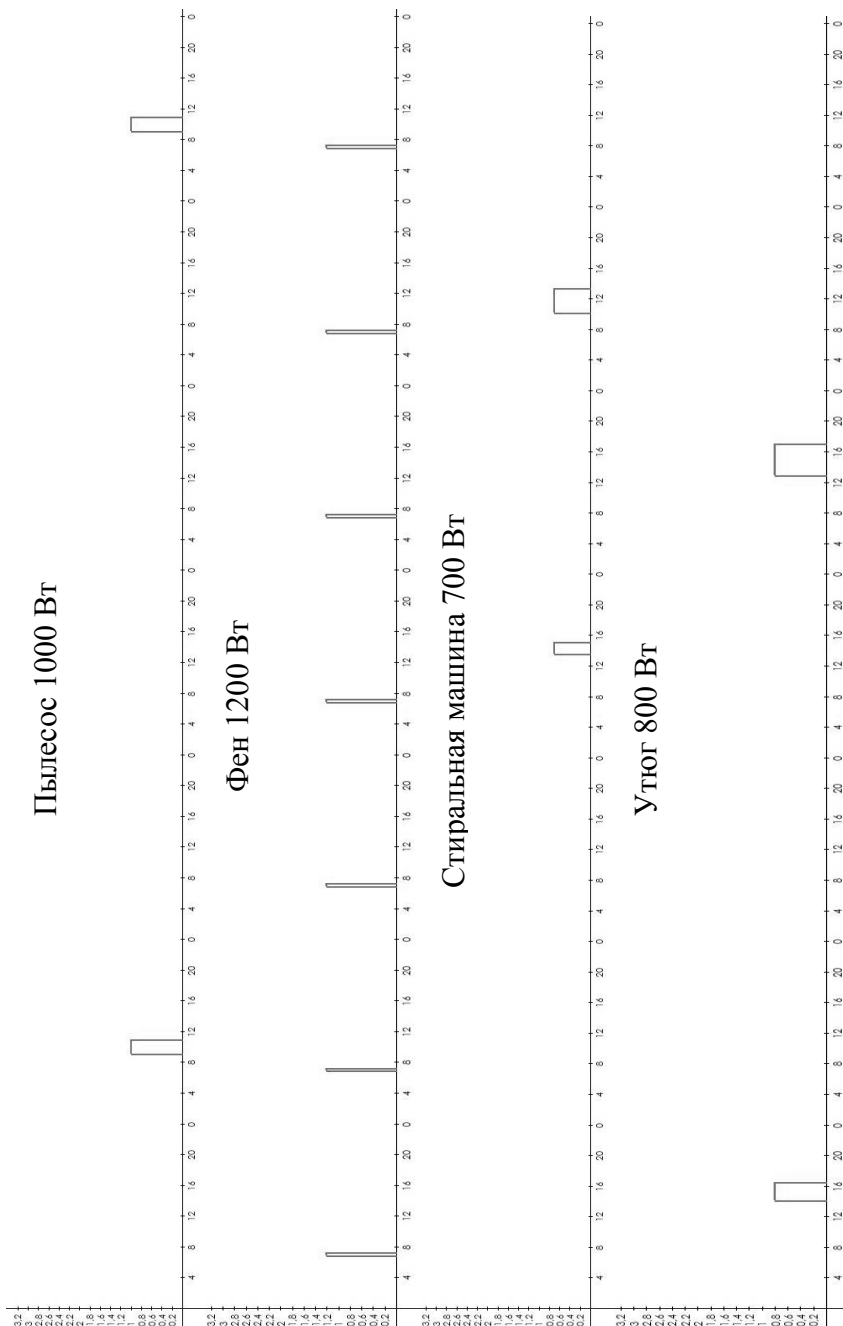
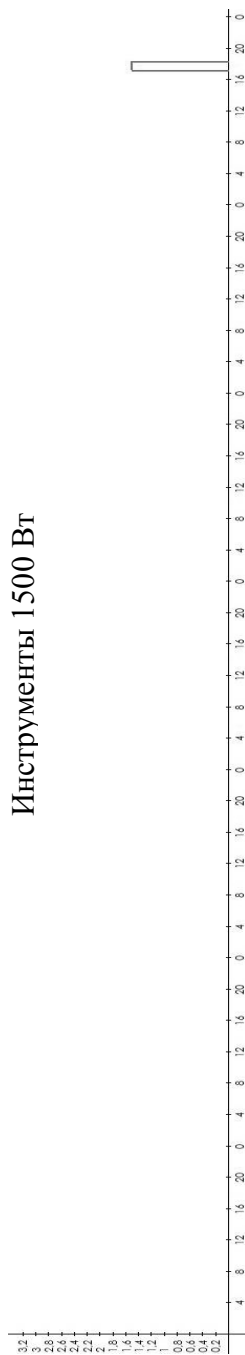


Рис. 3.2. Графики распределения нагрузки.

Инструменты 1500 Вт



Сумма нагрузок 151,6 кВт·ч/нед

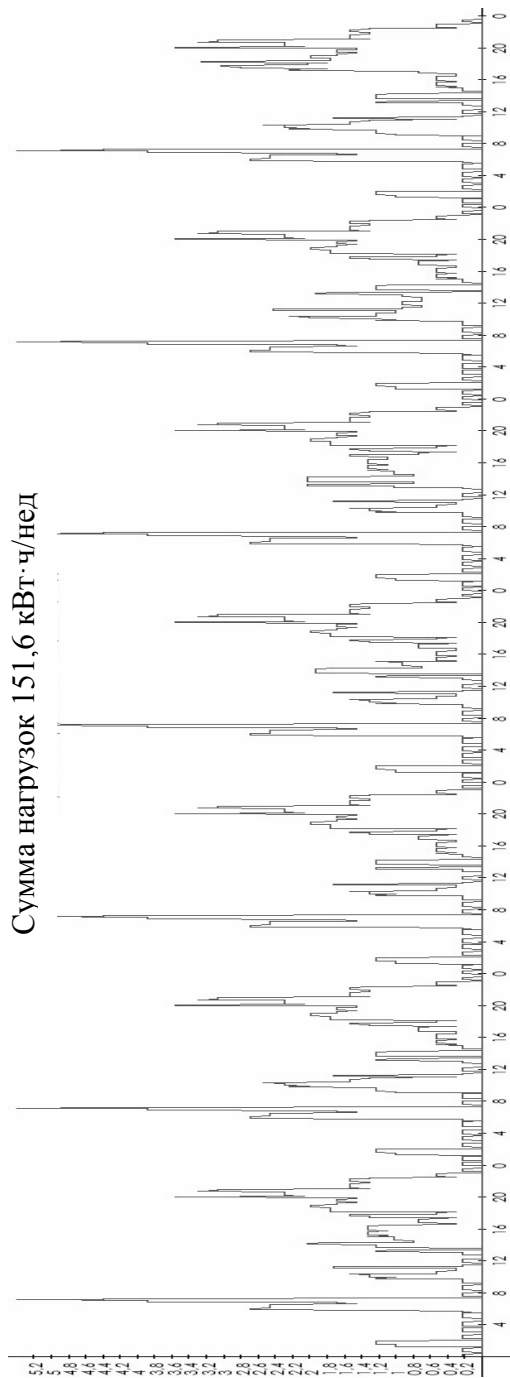


Рис. 3.2. Графики распределения нагрузок.

1.5. Принимаем, что в доме нет нагрузки постоянного тока
 $W_{пост} = 0$.

1.6. Суточное значение потребляемых Ач:

$$q_{сут} = \frac{q_{нед}}{7} = \frac{q_{нед}^{пер}}{7} = \frac{7580}{7} = 1082,86 \text{ Ач.}$$

Определение значения необходимой емкости аккумуляторной батареи и их количества

2.1. Принимаем, что максимальное число последовательных "дней без солнца" в связи с круглогодичным режимом работы и использованием общей энергосети, то есть в условиях, когда подзарядка аккумуляторных батарей может осуществляться в любое время суток и в любой день $N_{бс}=1$.

2.2. Суммарная емкость аккумуляторов, учитывающая количество дней без солнца:

$$q_N = q_{сут} \cdot N_{бс} = 1082,86 \cdot 1 = 1082,86 \text{ Ач.}$$

2.3. Задаемся величиной глубины допустимого разряда аккумуляторной батареи 50%. Соответственно коэффициент использования $\gamma=0,5$.

2.4. Заряд аккумуляторной батареи с учетом глубины разряда:

$$q_{\gamma} = \frac{q_N}{\gamma} = \frac{1082,86}{0,5} = 2165,72 \text{ Ач.}$$

2.5. Выбираем из таблицы 3.4 коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды в помещении, где установлены аккумуляторные батареи. Если аккумуляторные батареи располагаются в гараже, то при 15,6С $\alpha=1,11$.

2.6. Общая требуемая емкость аккумуляторных батарей:

$$q_{общ} = q_{\gamma} \cdot \alpha = 2165,72 \cdot 1,11 = 2403,95 \text{ Ач.}$$

2.7. Выбираем аккумуляторную батарею DJM 12200. Номинальное напряжение $U_{ном}=12 \text{ В}$, емкость $q_{ном}=200 \text{ А*ч}$.

2.8. Количество батарей, соединенных параллельно:

$$N_{пар}^{АКБ} = \frac{q_{общ}}{q_{ном}} = \frac{2403,95}{200} = 12.$$

2.9. Количество батарей, соединенных последовательно:

$$N_{посл}^{АКБ} = \frac{U_{инв}}{U_{ном}} = \frac{24}{12} = 2.$$

2.10. Общее количество требуемых аккумуляторных батарей:

$$N^{АКБ} = N_{пар}^{АКБ} \cdot N_{посл}^{АКБ} = 12 \cdot 2 = 24.$$

Определение необходимого количества солнечных батарей.

3.1. Для того чтобы определить число пиковых солнце-часов, необходимо знать значения среднемесячного поступления солнечного излучения в Симферополе.

Если солнечные батареи устанавливаются под некоторым углом $\beta=45^0$ к горизонту, то производится перерасчет солнечного излучения с горизонтальной поверхности на наклонную. Значения широты местности, угла наклона солнечных батарей, часового угла захода Солнца для горизонтальной поверхности, часового угла захода Солнца для наклонной поверхности с южной ориентацией, коэффициента пересчета с горизонтальной плоскости на наклонную с южной ориентацией, значения солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность, альbedo земной поверхности, среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с горизонтальной на наклонную поверхность и число часов солнечного сияния приведены в таблице 3.8.

Расчет в данном случае будет производиться по среднегодовому количеству пиковых солнце-часов, чтобы уменьшить затраты на фотоэлектрическую систему. Это возможно за счет использования общей энергосистемы в качестве дублера. В теплое время года вырабатываемая энергия может передаваться в общую сеть, а в холодное соответственно забираться.

Таблица 3.8

Расчет числа пиковых солнце-часов для угла наклона $\beta=45^\circ$

Месяц	φ	β	ω_z	ω_{zn}	R_n	Прямое излучение E_s , кВт*ч/м ²	Рассеянное излучение E_d , кВт*ч/м ²	Суммарное излучение E , кВт*ч/м ²	ρ	R	i
январь	45	45	67,55	90	2,98	15,13	24,44	39,57	0,7	1,78	2,37
февраль	45	45	76,65	90	2,13	20,95	31,43	52,38	0,7	1,48	2,58
март	45	45	87,60	90	1,51	47,72	51,22	98,94	0,7	1,29	4,26
апрель	45	45	99,53	90	1,11	77,99	59,36	137,35	0,2	1,01	4,61
май	45	45	109,90	90	0,89	96,61	73,33	169,94	0,2	0,88	4,99
июнь	45	45	115,25	90	0,80	123,38	69,84	193,22	0,2	0,84	5,38
июль	45	45	112,82	90	0,84	145,5	66,35	211,85	0,2	0,86	6,09
август	45	45	103,89	90	1,01	123,3	57,04	180,42	0,2	0,98	5,87
сентябрь	45	45	92,20	90	1,33	87,3	48,89	136,19	0,2	1,18	5,34
октябрь	45	45	80,26	90	1,89	59,3	38,41	97,77	0,7	1,61	5,26
ноябрь	45	45	69,98	90	2,71	22,12	27,94	50,06	0,7	1,79	2,99
декабрь	45	45	64,88	90	3,33	11,64	20,95	32,59	0,7	1,85	2,00
										Среднее:	4,31

3.2. Выбираем солнечную батарею KV 175, то есть $P_{ном}^{CB}=175$ Вт, $U_{тпр}^{CB}=36$ В, ток в точке максимальной мощности $I_{мпр}=4,93$ А. Площадь солнечной батареи $1,28$ м².

Для питания инвертора устанавливаем понижающий стабилизатор напряжения и принимаем минимальное напряжение на выходе солнечной батареи $U_{мин.}^{CB} = 24$ В. Это обеспечит стабильность работы энергосистемы при низких интенсивностях солнечной радиации. Дальнейший расчет при установке стабилизатора напряжения будет несколько отличаться от приведенного выше.

3.3. Учитываем потери на заряд-разряд аккумуляторной батареи:

$$q_{з-р} = q_{сут} \cdot \zeta = 1082,86 \cdot 1,2 = 1299,43 \text{ А} \cdot \text{ч}.$$

3.4. Значение тока, который должны генерировать солнечные батареи:

$$I^{CB} = \frac{q_{з-р}}{i} = \frac{1299,43}{4,31} = 301,49 \text{ А}.$$

3.5. Общее количество требуемых солнечных батарей:

$$N^{CB} = \frac{I^{CB} \cdot U_{инв}}{P_{ном}^{CB}} = \frac{301,49 \cdot 24}{175} = 41.$$

3.6. Число модулей, соединенных последовательно:

$$N_{посл}^{CB} = \frac{U_{инв}}{U_{мин}^{CB}} = \frac{24}{24} = 1.$$

3.7. Число модулей, соединенных параллельно:

$$N_{пар}^{CB} = \frac{N^{CB}}{N_{посл}^{CB}} = \frac{41}{1} = 41.$$

3.8. Площадь солнечных батарей:

$$S^{CB} = N^{CB} \cdot S_1^{CB} = 41 \cdot 1,28 = 52,48 \text{ м}^2.$$

4. Экономическое обоснование проекта гелиосистемы с фотоэлектрическими преобразователями

1. Исходные данные.

В соответствии с предшествующим расчетом подбираем оборудование, необходимое для работы энергосистемы, используя таблицы 4.1, 4.2, 4.3, 4.4.

Таблица 4.1

Стоимость фотопреобразователей.

Наименование	Габариты, мм	Вес, кг	Номинальная мощность, Вт	Напряжение при P _{max} , В	Ток при P _{max} , А	Стоимость, грн
KV-10	440x285x35	1,85	10	18	0,7	От 700
KV-25	527x487x35	3,5	25	18	1,4	От 1400
KV-80	1210x527x35	7,5	80	17,5	4,57	От 3840
KV-85	1210x527x35	7,5	85	17,65	4,82	От 4080
KV-90	1210x660x35	7,5	90	18	5	От 4320
KV-175	1585x805x35	16	175	35,5	4,93	От 7770
KV-180	1585x805x35	16	180	36	5	От 7992
KV-185	1585x805x35	16	185	36,1	5,14	От 8214

Таблица 4.2

Стоимость аккумуляторов

Наименование	Вес, кг	Напряжение, В	Емкость, Ач	Стоимость, грн
DJM 1245	14,9	12	45	950
DJM 1255	19	12	55	1100
DJM 1275	25	12	75	1375
DJM 12100	32	12	100	1725
DJM 12120	37,6	12	120	2125
DJM 12150	48,2	12	150	2700
DJM 12200	64	12	200	3300
Haze HZB 12230	70	12	230	4625

Таблица 4.3

Стоимость инверторов

Наименование	Номинальная мощность, Вт	Входное напряжение, В	Стоимость, грн
Powersine PS600-12	600	12	3950
Powersine PS800-24	800	24	4050
Powersine PS1000-12	1000	12	7087,5
Powersine PS1600-12	1600	12	10025
Simin SIM-1500P	1500	12/24	3612,5
Simin SIM-2000P	2000	12/24	4866,25
Simin SIM-3000PC	3000	12/24	8223,75

Таблица 4.4

Расценки на строительно-монтажные работы

Вид проводимых работ	Стоимость услуги, грн
Демонтаж оборудования	820
Затяжка кабеля в п/э трубу	16,40
Монтаж, инсталляция аккумуляторной батареи более 120Ач	225
Монтаж, инсталляция аккумуляторной батареи до 120Ач	150
Монтаж, инсталляция инвертора более 2кВт	1500
Монтаж, инсталляция инвертора до 2кВт	900
Монтаж, инсталляция контроллера заряда (в зависимости от мощности)	150 – 750
Монтаж, инсталляция солнечного фотоэлектрического модуля более 100Вт	450
Монтаж, инсталляция солнечного фотоэлектрического модуля до 100Вт	300
Монтаж, инсталляция стабилизатора более 10кВт	900
Монтаж, инсталляция стабилизатора до 10кВт	600
Монтаж, подключение модуля синхронизации	1000
Перекоммутация автоматов	32
Подключение генератора к системе бесперебойного питания с ручным запуском	820
Подключение генератора с автоматическим режимом работы	1640
Прокладка кабелей хомутами (высота до 3м)	32.80
Прокладка короба сечением 40-100 мм на высоте до 3 м	24,60
Проход через бетон/стену толщиной до 550мм диаметром до 18мм	328
Проход через кирпичную стену толщиной до 550мм диаметром до 18мм	164
Сборка, монтаж, инсталляция оборудования - устройств автоматики и защиты	820
Укладка кабеля в траншее	16,40

2. Расчет капитальных вложений.

По исходным данным, исходя из рассчитанной мощности системы и необходимого количества оборудования, а также оценки строительно-монтажных издержек, составляем таблицу 4.5, в которую вносим необходимые капитальные затраты.

Таблица 4.5

Капитальные вложения в первый год работы проекта

Наименование	Количество	Стоимость единицы	Общая стоимость
...
...
		Итого:	...

Капитальные вложения осуществляются один раз во время внедрения проекта, а также каждый год для поддержания его работоспособности (капитальный ремонт, текущий ремонт).

Капитальные вложения в 1 год работы проекта определяем по формуле:

$$K_1 = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_i ,$$

где C_i – стоимость единицы i -оборудования;
 N_i – количество i -оборудования.

Расчет ведем для каждой i строки таблицы 4.5.

Капитальные вложения в последующие годы работы проекта для осуществления плановых ремонтов определяем по формулам:

$$K_{fn} = K_1 \cdot k_n ,$$

$$K_{fc} = K_1 \cdot k_c ,$$

где $k_n = 0,01$ для текущего ремонта;
 $k_c = 0,05$ для капитального ремонта.

Капитальный ремонт проводим каждый 10 год работы проекта. Текущий ремонт – каждый год.

3. Расчет производственных затрат.

Для расчета производственных затрат оцениваем количество обслуживающего персонала и его заработную плату. Кроме того, исходя из данных предыдущего расчета, определяем стоимость энергии, взятой из энергосети в холодное время года. Данные представляем в табличной форме (таблица. 4.6).

Таблица 4.6

Производственные затраты за 1 год работы системы

Покупка электроэнергии из сети	Количество электроэнергии, кВтч	Стоимость 1 кВтч, грн	Стоимость электроэнергии, грн
Зарплата персонала	Количество человек	Средняя заработная плата 1 человека, грн	Фонд оплаты труда, грн
		Итого:	

4. Расчет производственных доходов и замещения сетевой электроэнергии.

Для расчета доходов и замещения топлива, определяем стоимость произведенной электроэнергии, включая ту энергию, которая была отдана в сеть. Данные сводим в таблицу 4.7.

Таблица 4.7

Производственные доходы за 1 год работы системы

Продажа электроэнергии в сеть	Количество электроэнергии, кВтч	Стоимость 1 кВтч, грн	Стоимость электроэнергии, грн
Замещение сетевой электроэнергии	Количество электроэнергии, кВтч	Стоимость 1 кВтч, грн	Стоимость электроэнергии, грн
		Итого:	

5. Расчет срока окупаемости системы без дисконтирования финансовых потоков.

Определяем срок окупаемости системы без учета капитальных ремонтов каждые 10 лет работы:

$$T_1 = \frac{K_1}{P_i - C_i - K_i},$$

где K_1 – капитальные затраты в первый год работы системы;

K_i – капитальные затраты в последующие годы работы системы;

C_i – издержки производства за 1 год работы;

P_i – доходы от производства за 1 год работы.

Уточняем значение времени окупаемости с учетом капитальных ремонтов:

$$T_2 = \frac{K_1 + K_{fc} \cdot N_{fc}}{P_i - C_i - K_i},$$

где $N_{fc} = T_1/10$. Отбрасываем дробную часть, чтобы определить количество капитальных ремонтов, проведенных за срок эксплуатации системы.

При необходимости уточняем время окупаемости еще раз по формуле:

$$T_1 = \frac{K_1}{P_i - C_i - K_i}.$$

Пример экономического обоснования фотоэлектрической системы

1. Исходные данные.

В соответствии с предыдущим расчетом гелиосистемы для двухэтажного дома, выписываем необходимые данные для экономического обоснования:

- Количество солнечных батарей (KV 175): $N^{CB} = 41$;
- Количество аккумуляторных батарей ($q=200$ Ач, $U=12$ В): $N^{AB} = 24$;

- Количество произведенной за год электроэнергии (без электроэнергии, отданной в сеть): $W_{\text{Авт}} = 16612 \text{ кВтч}$;
- Количество энергии, взятой из сети: $W_{\text{Вх}} = 2360 \text{ кВтч}$;
- Количество электроэнергии, отданной в сеть:
 $W_{\text{Вых}} = 2366 \text{ кВтч}$.

2. Составляем смету капитальных вложений.

Таблица 4.8

Капитальные вложения в первый год работы проекта

Наименование	Количество	Стоимость единицы, грн	Общая стоимость, грн
Солнечные батареи	41	7770	318570
Аккумуляторы	24	3300	79200
Инвертор	1	3612,5	3612,5
Монтаж солнечных батарей	41	450	18450
Монтаж аккумуляторов	24	225	5400
Установка инвертора	1	900	900
Установка стабилизатора напряжения	1	600	600
Установка контроллера заряда	1	200	200
Прокладка кабелей	20	32,80	656
Установка устройств автоматики и защиты	1	820	820
		Итого:	428408,5

Определяем годовые затраты на текущий ремонт:

$$K_{fn} = 428408,5 \cdot 0,01 = 4284,09 \text{ грн};$$

3. Расчет производственных затрат.

Используя результаты предыдущих расчетов, составляем таблицу 4.9, в которую сводим все производственные затраты.

Таблица 4.9

Производственные затраты за 1 год работы системы

Покупка электроэнергии из сети	Количество электроэнергии, кВтч	Стоимость 1 кВтч, грн	Стоимость электроэнергии, грн
	2360	0,25	590
Зарплата персонала	Количество человек	Средняя заработная плата 1 человека, грн	Фонд оплаты труда, грн
	1	2000	2000
		Итого:	2590

4. Расчет производственных доходов.

Для расчета доходов и замещения топлива, определяем стоимость произведенной электроэнергии, включая ту энергию, которая была отдана в сеть. Стоимость единицы энергии, отданной в сеть, принимаем по условиям «зеленого тарифа», то есть как для потребителей второй группы с коэффициентом 2. Экономический эффект от замещения 1 кВтч сетевой электроэнергии принимаем как разницу между ценой на электроэнергию, купленную из сети, и ценой на электроэнергию, продаваемую в сеть в условиях «зеленого тарифа». Данные сводим в таблицу 4.10.

Таблица 4.10

Производственные доходы за 1 год работы системы

Продажа электроэнергии в сеть	Количество электроэнергии, кВтч	Стоимость 1 кВтч, грн	Стоимость электроэнергии, грн
	2366	1,12	2650
Замещение сетевой электроэнергии	Количество электроэнергии, кВтч	Стоимость 1 кВтч, грн	Стоимость электроэнергии, грн
	16612	$1,12 - 0,25 = 0,87$	14452,44
		Итого:	17102,36

5. Расчет срока окупаемости системы.

Определяем срок окупаемости системы без учета капитальных ремонтов:

$$T_1 = \frac{428408,5}{17102,36 - 2590 - 4284,09} = 41,9 \text{ (лет)}.$$

5 . Расчёт инвертора

Зная некоторые параметры инвертора: входное напряжение $U_{\text{вх.}} = 220\text{В}$, КПД $\eta_{II} = 0,94$, а также расчетную потребляемую мощность, например, $P_p = 17\text{кВт}$, а следовательно суммарную энергию, потребляемую зданием за неделю $W_{\text{нед}} = 464,07 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{нед}$, мы можем определить необходимое количество постоянного тока для питания инвертора, что в дальнейшем нам позволит определить необходимые параметры для выбора качества и количества фотоэлектрических модулей (ФЭМ) солнечных батарей, аккумуляторных батарей (АКБ) и импульсного стабилизатора напряжения (ИСН).

1. Определим необходимую нагрузку постоянного тока в неделю для питания инвертора:

$$P_{\text{ред.}} = W_{\text{нед}} / \eta_{II}, (\text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{неделя}),$$

где $W_{\text{нед}}$ - суммарная энергия, потребляемая зданием в неделю. Она равна сумме энергии, потребляемой электроприборами и освещением.

η_{II} – КПД инвертора, $\eta_{II} = 0,94$.

$$P_{\text{ред.}} = 464,07 / 0,94 = 493,7 (\text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{неделя}).$$

2. Определим количество постоянного тока в неделю, для питания инвертора:

$$I_{\text{пос.}} = \frac{P_{\text{ред.}}}{U_{\text{вх.}}}, (A \cdot \text{ч} / \text{неделя}),$$

где $U_{\text{вх.}}$ - входное напряжение инвертора.

$$A_{\text{нед}} = \frac{493,7}{220} = 2,24 (\text{кА} \cdot \text{ч} / \text{неделя}).$$

3. Определим необходимое количество постоянного тока в день (за сутки), для питания инвертора:

$$A_{\text{дн}} = \frac{A_{\text{нед}}}{n}, (A \cdot \text{ч} / \text{день})$$

где n - количество рабочих дней, в которые происходит наибольшее потребление, принимаем 5 дней.

$$A_{\text{дн}} = \frac{2244}{5} = 448,8 \approx 449 (A \cdot \text{ч}) \text{ в день.}$$

Выбор инвертора для проектируемой системы электроснабжения

При выборе инвертора для нашей системы следует руководствоваться следующими принципами: простота и надежность конструкции, простота в эксплуатации, невысокая стоимость наряду с такими характеристиками, как высокая точность поддержания частоты и значения выходного напряжения, высокая перегрузочная способность, синусоидальная форма выходного напряжения. При всем этом требуется однофазное выходное напряжение и довольно высокая мощность инвертора, для обеспечения общей нагрузки на инвертор в 17 кВт.

Поэтому предпочтение было отдано инверторам корпорации Benning серии INVERTRONIC, а именно инвертору типа DIN:G220 E230/.../2rfg, внешний вид которого представлен на рис. 10.3.

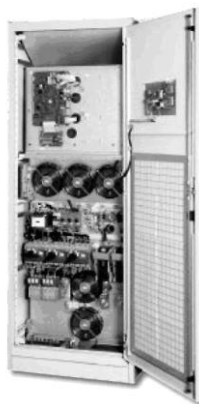


Рис.5.1. Внешний вид инвертора: передняя панель, шкаф инвертора в закрытом и открытом состоянии.

Инверторный силовой блок преобразует постоянный ток в однофазный переменный синусоидальный ток с постоянной амплитудой и стабильной частотой. Выходное напряжение не зависит от искажений или перебоев в сети.

В состав инвертора встроены байпас.

В случае перебоев или пропадания сети солнечная или аккумуляторная батарея, подключенная к входу постоянного тока, подключается моментально, без перерыва в питании потребителя. Если достигается уровень низкого разряда батарей, инвертор автоматически выключается, своевременно выдавая предупреждение об отключении.

Автоматическое переключение нагрузки на байпас или любой другой доступный ввод происходит в случае выхода инвертора за рамки предустановленного диапазона.

Статический байпас состоит из полупроводникового ключа в цепи байпаса. В случае допустимого отклонения выходного напряжения от установленного значения он автоматически и бесперебойно переключает нагрузку на сеть. Модуль статического байпаса задействует бесперебойный статический ключ для переключения сети в заданном диапазоне. Ключ может быть приведен в действие как вручную, так и автоматически - контроллером. Микропроцессорный мониторинг автономен, и предотвращает сбой в работе модуля и любые нелогичные переключения статического байпаса. Так, например, переключение возможно в ручном или автоматическом режиме только в случае если напряжение, частота и фазность инвертора синхронизированы с байпасом. Отклонения от заданных значений по частоте приведут к блокировке переключения, или при отказе инвертора будет проведено переключение с прерыванием. Обратное переключение может быть произведено только в случае нормально работающего инвертора, и в любом случае является непрерывным.

Статический байпас имеет перегрузочную способность 150% на 10 мин., и 1000% на 100 мс. Если прошла перегрузка или короткое замыкание байпас автоматически переводит

нагрузку на инвертор, в случае если он работает в нормальном режиме. Статический байпас состоит из антипараллельного тиристорного блока с микропроцессорным управлением. Переключение с инвертора на сеть и обратно осуществляется в синхронизированном режиме без разрыва цепи.

Внутренняя структура шкафа инвертора представлена на рис. 5.2.

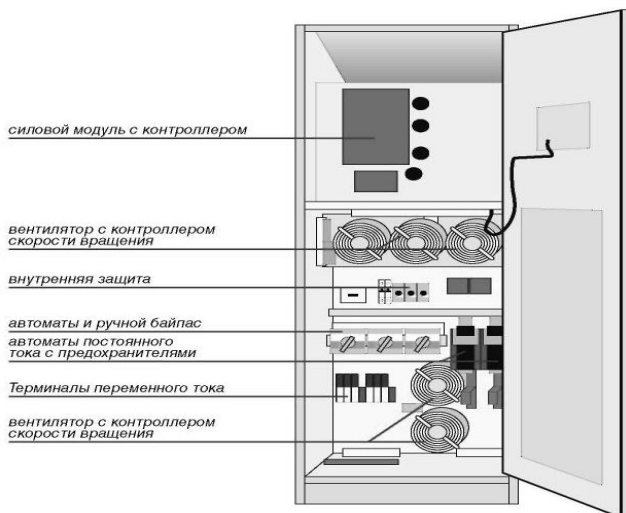


Рис.5.2. Внутренняя структура шкафа инвертора.

Технические данные инвертора представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Технические данные инвертора INVERTRONIC DIN:G220 E230/.../2rfg-WDG 20.

Номинальная выходная мощность ($\cos \varphi = 0,8$): 20кВА
<u>ВХОД ИНВЕРТОРА</u>
Входное напряжение: 220В
Допускаемое отклонение входного напряжения: от -15 до +20%
Коэффициент пульсации: < 5% эфф.
Входной ток при $\cos \varphi = 0,8$ и номинальном входном напряжении: 80А

Мощность при работе от батарей: 17,6 кВт
КПД на номинальной нагрузке: 94%
<u>ВЫХОД ИНВЕРТОРА</u>
Выходное напряжение: 1/N 230 PE
Пределы регулирования выходного напряжения: $\pm 5\%$
Стабилизация напряжения:
-динамическая: $\pm 4\%$ для 100% изменения нагрузки
Время регулирования: $< 10\text{мс}$
Номинальный выходной ток: 86А
Допускаемая перегрузка: 50% на 60с; 25% на 10 мин; 10% на 20мин
Ток короткого замыкания: устойчив к токам короткого замыкания; $I_{кз} = 3 \times I_{ном}$ в течение 20с
Частота на выходе: 50Гц (60Гц) $\pm 0,1\%$; кварцевая или сетевая синхронизация
Форма выходного сигнала: синусоида
<u>СТАТИЧЕСКИЙ БАЙПАС</u>
Перегрузочная способность: 150% на 10мин, 500% на 100мс
Время переключения: -при сбое инвертора: $< 1\text{мс}$ (бесперебойно) -при перегрузке или ручном включении: $< 1\text{мс}$ (бесперебойно)
<u>ОБЩИЕ ДАННЫЕ</u>
Размеры: -Высота: 2000 -Ширина: 800 -Глубина: 600

Производитель: Германия.

Стоимость: 15000 грн.

Таким образом, для работы в данной системе принимается инвертор INVERTRONIC DIN:G220 E230/.../2rfg-

WDG 20, имеющий полную выходную мощность 20 кВА, входное напряжение постоянного тока 220В. Выбор мощности, несколько большей, чем расчетная активная (17 кВт), обусловлен необходимостью иметь запас по мощности для обеспечения пусковых токов некоторого оборудования (например: холодильник, электродвигатель, большая часть радиотехники и т.д.), а также тем, что активная выходная мощность инвертора будет несколько ниже полной (порядка 17,4 кВт).

6. Расчёт импульсного стабилизатора напряжения мощностью 17кВт

Исходные данные:

1. $P_n=17000\text{Вт}$ – мощность нагрузки.
2. $U_{\text{вх. ном.}}=220\text{ В}$ – номинальное входное напряжение (при параметрах солнечной батареи).
3. $k_{\text{вх.1}}=0,8$ – коэффициент для расчета минимального входного напряжения; $k_{\text{вх.2}}=1,2$ – коэффициент для расчета максимального входного напряжения.
4. $U_n=220\text{ В}$ – выходное стабилизированное постоянное напряжение блока.
5. $I_n=77,3\text{А}$ – номинальный ток нагрузки; $I_{n.\text{min}}=7,73\text{А}$ – минимальный ток нагрузки.
6. $U_{n\sim}=1,1\text{ В}$ – переменная составляющая выходного постоянного напряжения И.С.Н. (пульсация), размах.
7. $f=10\text{ кГц}$ – частота работы силовых транзисторов И.С.Н.
8. Материал сердечника М6000НМ1 (марка феррита сердечника силового трансформатора выбирается из ряда: М2000 НМ1–А(Б); М2000 НМ1-17; М3000 НМ-А; М6000 НМ-1).
9. Принципиальная схема двухтактной силовой части И. С. Н.(рис.6.1)

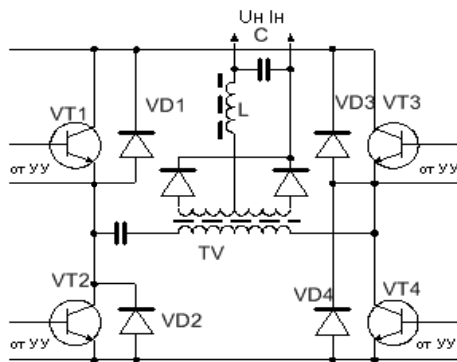


Рис.6.1. Принципиальная схема двухтактной силовой части ИСН.

ЭТАП 1. Определение исходных данных для расчёта трансформатора.

1. Мощность нагрузки ИСН (в Вт)

$$P_n = U_n \cdot I_n,$$

где U_n – напряжение нагрузки, В;

I_n – ток в нагрузке, А.

$$P_i = 220 \cdot 77,3 = 17000 \text{ Вт.}$$

2. Минимальное амплитудное значение напряжения на первичной обмотке трансформатора.

$$U_{IM \min} = U_{\text{вх. min}} - U_{\text{к.э.н.}},$$

где $U_{\text{âõ.min}}$ - минимальное входное напряжение,

$$U_{\text{âõ.min}} = k_{\text{âõ.1}} U_{\text{âõ.н}} = 220 \cdot 0,8 = 176 \text{ В,}$$

$U_{\text{к.э.н.}}$ - напряжение коллектор-эмиттер силового транзистора в режиме насыщения, составляет 0,7 В;

$$U_{IM \min} = 176 - 0,7 = 175,3 \text{ В.}$$

3. Минимальное амплитудное значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора:

$$U_{2m \min} = \frac{U_n + \Delta U_{\partial p} + \Delta U_{\partial}}{\gamma_{\max}},$$

где $\Delta U_{\partial p} = R_{\partial p} I_n$ - падение напряжения на дросселе L_{Φ} ;

$R_{\partial p}$ – сопротивление обмотки дросселя.

Падение напряжения выбираем из соотношения:

$$\Delta U_{\partial p} \approx 0,6B - \text{при } U_n > 5B,$$

где ΔU_{∂} - падение напряжения на выпрямительных диодах;

ΔU_{∂} составляет 0,7 В;

γ_{\max} - предельный коэффициент заполнения импульсов управления γ_{\max} , принимаем равным 0,45. Теоретически предельный коэффициент заполнения в И.С.Н. должен быть $<0,5$.

$$U_{2m \min} = \frac{220 + 0,6 + 0,7}{0,45} = 492 \text{ В.}$$

4. Коэффициент трансформации:

$$K_{\text{тр}} = \frac{U_{2m \min}}{U_{1m \min}},$$

$$K_{\text{тр}} = \frac{492}{175,3} = 3.$$

5. Максимальное амплитудное напряжение на вторичной обмотке трансформатора:

$$U_{2m \max} = K_{\text{тр}} \cdot U_{1m \max},$$

где $U_{1m \max} = k_{\text{вх}2} \cdot U_{\text{вх.ном}} - U_{\text{к.э.н.}}$ - максимальное амплитудное напряжение на первичной обмотке трансформатора.

$$U_{1m \max} = 1,2 \cdot 220 - 0,7 = 263,3 \text{ В,}$$

$$U_{2m \max} = 263,3 \cdot 3 = 789,9 \text{ В.}$$

6. Минимальное значение коэффициента заполнения импульсов напряжения на трансформаторе:

$$\gamma_{\min} = \frac{U_n + \Delta U_{\partial p} + \Delta U_{\partial}}{U_{2m \max}},$$

$$\gamma_{\min} = \frac{220+0,6+0,7}{786} = 0,28.$$

7. Эффективные значения напряжений на первичной и вторичной обмотках трансформатора:

$$U_{1.\text{эф.}} = U_{I_{\min}} \sqrt{\gamma_{\max}},$$

$$U_{2.\text{эф.}} = U_{I_{2\min}} \sqrt{\gamma_{\max}},$$

$$U_{1.\text{эф.}} = 175,3\sqrt{0,45} = 117,6,$$

$$U_{2.\text{эф.}} = 492\sqrt{0,45} = 330.$$

8. Эффективные значения токов во вторичной и первичной обмотках трансформатора:

$$I_{2\text{эф}} = I_n \sqrt{\gamma_{\max}},$$

$$I_{1\text{эф.}} = I_2 \sqrt{\gamma_{\max}}.$$

где I_2 – амплитудное значение тока вторичной обмотки трансформатора. В нашем случае $I_2 = I_n$ при малой пульсации тока через дроссель фильтра.

$$I_{2\text{эф}} = 77,3\sqrt{0,45} = 51,8 \text{ А},$$

$$I_{1\text{эф.}} = 77,3\sqrt{0,45} = 51,8 \text{ А}.$$

9. Теперь можно найти габаритную мощность трансформатора:

$$P_{\text{габ}} = \frac{U_{1\text{эф}} I_{1\text{эф}} + U_{2\text{эф}} I_{2\text{эф}}}{2} + P_{\text{потр.у.}},$$

где $P_{\text{потр.у.у.}} = P_n k_y$, k_y – коэффициент потерь на питание схемы (УУ) с учетом ее потребления $P_{\text{потр.у.у.}}$.

Примем $k_y = 0,02$, тогда можно определить добавочную мощность в трансформаторе.

$$P_{\text{потр.у.у.}} = P_n \cdot k_y = 17000 \cdot 0,02 = 340 \text{ Вт}$$

$$P_{\text{габ}} = \frac{117,6 \cdot 51,8 + 330 \cdot 51,8}{2} + 340 = 11592,8 \text{ Вт}.$$

10. Рассчитаем параметр, характеризующий электромагнитную мощность трансформатора – $S_{ст.} \times S_{ок.}$ (в см⁴). Это произведение площади активного поперечного сечения магнитопровода трансформатора $S_{ст.}$ (в см²) на площадь окна сердечника $S_{ок.}$ (в см²), заполняемого обмотками трансформатора:

$$S_{ст.} \cdot S_{ок.} \geq \frac{P_{заб.}}{10 \cdot \Delta B j \eta_{mp} k_c k_M f},$$

где ΔB - диапазон изменения магнитной индукции в сердечнике трансформатора за время рабочего импульса t_u (Тл). Примем $\Delta B = 0,4$ Тл согласно таблице 6.1.

Таблица 6.1.

Диапазон изменения магнитной индукции в сердечнике трансформатора для двухтактного силового узла.

Марка феррита	Диапазон $\Delta B, \text{Тл}$
	$P_H \geq 11 \text{Вт}$
M2000HM1-A M2000HM1-B M2000HM1-17	0,2
M300HM1-A	0,28
M6000HM1	0,4

f - частота работы ИСН, [кГц];

j - плотность тока в обмотках трансформатора выбирается в зависимости от выходной мощности ИСН (таблица 6.2).

Принимаем $j = 1$ А/мм².

Таблица 6.2.

Плотность тока в обмотках трансформатора.

$P_H, \text{Вт}$	201÷500	500÷1000	>1000
$j, \text{А/мм}^2$	4÷3,5	3,5÷2	1

$\eta_{\partial\partial}$ - коэффициент полезного действия трансформатора на этом этапе примем $\eta_{mp} = 0,97$ - для $P_H > 50 \text{Вт}$;

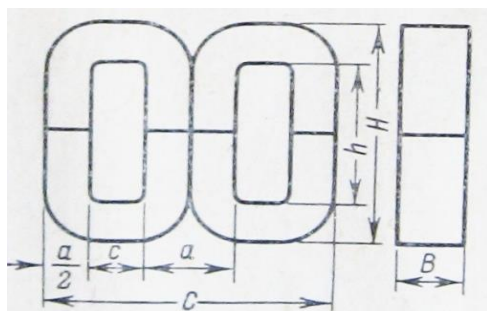
k_c - коэффициент, учитывающий эффективное заполнение площади поперечного сечения сердечника магнитопровода ферромагнетиком; для феррита равен 1;

k_m - коэффициент, учитывающего степень заполнения окна сердечника медью обмоток, на этом этапе принимаем $k_m=0,15$ – при $P_n > 50$ Вт:

$$S_{ст.} \cdot S_{ок.} = \frac{11592,84}{10 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 0,97 \cdot 1 \cdot 0,15 \cdot 10} = 1991,9 \text{ см}^4.$$

По этому параметру можно выбрать ближайший сердечник кольцевой формы из ряда магнитопроводов.

11. Ближайший сердечник $S_{ст.} \cdot S_{ок.} = 2100 \text{ см}^4$.



$a=32 \text{ мм}; h=160 \text{ мм};$
 $c=64 \text{ мм}; C=128,7 \text{ мм};$
 $H=225,4 \text{ мм}; B=64 \text{ мм};$
 $S_{ст}=20,5 \text{ см}^2;$
 $l_{cp}=54,9 \text{ см}; V_{ст}=1125 \text{ см}^3;$
 $G_{ст}=7,72 \text{ кг}.$

Рис. 6.2. Сердечник кольцевой формы.

12. Максимальная длительность импульса напряжения (в мкс) на обмотках трансформатора:

$$t_{u \max} = T \cdot \gamma_{\max},$$

где T – период импульсов, $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10 \cdot 10^3} = 0,1 \text{ мс};$

$$\gamma_{\max} = 0,45.$$

$$t_{u \max} = 0,1 \cdot 0,45 = 0,045 \text{ мс} = 45 \text{ мкс}.$$

13. Число витков первичной W_1 и вторичной W_2 обмоток силового трансформатора:

$$W_1 = \frac{t_{u\max} U_{lm\min}}{\Delta BS_{\tilde{n}\delta}},$$

$$W_2 = W_1 \cdot k_{\delta\delta},$$

W_1 и W_2 округляем до большего целого числа.

$$W_1 = \frac{0,45 \cdot 175,3 \cdot 10^{-4}}{0,4 \cdot 20,5 \cdot 10^{-4}} = 10 \text{ витков},$$

$$W_2 = W_1 \cdot k_{\delta\delta} = 10 \cdot 3 = 30 \text{ витков}.$$

14. Диаметры меди проводов (в мм) для первичной и вторичной обмоток:

$$D_{1M} = D_{2M} = 1,13 \sqrt{I_{1\text{эф}} / (j \cdot NN_1)},$$

где $I_{1\text{эф}}$ и $I_{2\text{эф}}$ – эффективные токи, [А];

$$j - \text{плотность тока } \left[\frac{A}{\text{мм}^2} \right], j = 1 \left[\frac{A}{\text{мм}^2} \right];$$

NN_1 и NN_2 – число параллельных проводов в первичной и вторичной обмотках трансформатора, для двухтактного $NN_1 = NN_2 = 3$.

$$D_{1M} = D_{2M} = 1,13 \sqrt{51,8 / 1 \cdot 3} = 4,7 \text{ мм}.$$

15. Из справочных данных для обмоточных проводов выбираем провод, ближайший по значению диаметра. Там же находим площади поперечного сечения выбранных проводов (в мм^2) с учетом изоляции $S_{1\text{из}}$ и $S_{2\text{из}}$ соответственно для первичной и вторичной обмоток. Выбираем провод ПЭТВ-2.

$$D_{1\text{эф}} = D_{2\text{эф}} = 5,20 \text{ мм}.$$

Площадь провода с изоляцией $S_{1\text{из}} = 21,24 \text{ мм}^2$.

Сопротивление постоянному току $\rho_1 = 0,000811 \text{ Ом/м}$.

16. Суммарная площадь поперечного сечения (в см^2), занимаемая в окне сердечника первичной и вторичной обмотками,

$$S_{\Sigma} = (S_{1\Sigma} + S_{2\Sigma}) / 100,$$

где $S_{1\Sigma} = S_{1\text{из}} \cdot W_1 \cdot NN_1$ – площадь поперечного сечения, занимаемая первичной обмоткой;

$S_{2\Sigma} = S_{2из} \cdot W_2 \cdot NN_2$ - площадь поперечного сечения, занимаемая вторичной обмоткой.

$$S_{\Sigma} = (S_{1\Sigma} + S_{2\Sigma}) / 100 = 637,2 + 1911,6 = 2548,8 \text{ мм}^2 = 25,49 \text{ см}^2,$$

$$S_{1\Sigma} = S_{1из} \cdot W_1 \cdot NN_1 = 21,24 \cdot 10 \cdot 3 = 637,2 \text{ мм}^2,$$

$$S_{2\Sigma} = S_{2из} \cdot W_2 \cdot NN_2 = 21,24 \cdot 30 \cdot 3 = 1911,6 \text{ мм}^2.$$

17. На основе предыдущих данных определим коэффициент заполнения окна сердечника обмотками:

$$k_o = S_{\Sigma} / S_o,$$

где S_o – площадь сечения окна выбранного нами сердечника трансформатора.

Коэффициент k_o должен находится в пределах $0,19 \leq k_o \leq 0,25$.

$$S_o = h \cdot c = 160 \cdot 64 = 10240 \text{ мм}^2 = 102,4 \text{ см}^2.$$

$$k_o = S_{\Sigma} / S_o = \frac{24,37}{102,4} = 0,23.$$

18. Длина провода, необходимого для намотки первичной и вторичной обмоток:

$$\begin{aligned} l_{1н} &= l_{ср.в1} \cdot W_1 / 100, \\ l_{2н} &= l_{ср.в2} \cdot W_2 / 100, \end{aligned}$$

где $l_{ср.в}$ - средняя длина витка при намотке, определяется по выражению:

$$l_{ср.в1} = 2 \cdot (a + B + D_{1\varphi}),$$

где a, B – размеры магнитопровода, мм; $D_{1\varphi}$ – диаметр меди проводов.

$$l_{ср.в} = 2 \cdot (32 + 64 + 5,20) = 202,4 \text{ мм},$$

$$l_{1н} = \frac{202,4 \cdot 10}{100} = 20,24 \text{ см},$$

$$l_{2н} = \frac{202,4 \cdot 30}{100} = 60,72 \text{ см}.$$

19. Активное сопротивление постоянному току (Ом) первичной и вторичной обмоток:

$$R_1 = \frac{\rho_1 \ell_1}{NN_1}; \quad R_2 = \frac{\rho_2 \ell_2}{NN_2},$$

где ρ_1 и ρ_2 – сопротивление одного метра намоточного провода данного сечения, $\rho_1 = \rho_2 = 0,00811 \hat{h} / i$

$$R_1 = \frac{\rho_1 \ell_1}{NN_1} = \frac{0,00811 \cdot 0,2024}{3} = 0,00055 \text{ Ом}; R_2 = \frac{\rho_2 \ell_2}{NN_2} = \frac{0,00811 \cdot 0,6072}{3} = 0,0016 \text{ Ом}.$$

20. Рассчитаем полное сопротивление обмоток с учетом эффекта вытеснения тока на высокой частоте (поверхностного эффекта). Как известно, с ростом частоты преобразования увеличивается сопротивление медного проводника. Этому явлению представляется полезным дать относительно простые соотношения для учета этого явления.

Формула расчета сопротивления медного проводника круглого сечения на высокой частоте:

$$R_n = k_f \cdot r_o,$$

где R_n – полное сопротивление проводника с учетом поверхностного эффекта;

r_o – сопротивление проводника постоянному току;

k_f – коэффициент поправки на влияние высокой частоты.

Таким образом, возвращаясь к выражению полного сопротивления на высокой частоте в обозначениях рассматриваемой методики расчета трансформатора, будем иметь:

$$R_{1n} = k_f R_1; \quad R_{2n} = k_f R_2,$$

где R_{1n} и R_{2n} – полные сопротивления первичной и вторичной обмоток трансформатора на высокой частоте, Ом;

k_f – значение коэффициента, взятое из таблицы 6.3;

R_1 и R_2 – сопротивления обмоток постоянному току.

Таблица 6.3

Коэффициент поправки k_f для синусоидального тока
высокой частоты.

Частота f , кГц	20	50	75	100	150	200	250	300	400	500
k_f для проводников диаметром $D_M > 0,8$ мм	1,014	1,065	1,24	1,3	1,41	1,6	1,76	1,9	2,16	2,37

Промежуточные значения k_f следует при расчете брать как ближайшее большее значение из приведенных в таблице.

В нашем случае при диаметре провода 5,2 мм и частоте 20 кГц $k_f \approx 1,014$.

Найденные значения сопротивлений обмоток трансформатора будут использованы ниже, для определения потерь мощности в трансформаторе.

$$R_{1n} = k_f R_1 = 1,014 \cdot 0,00055 = 0,00056 \text{ Ом} / \text{м},$$

$$R_{2n} = k_f R_2 = 1,014 \cdot 0,0016 = 0,00162 \text{ Ом} / \text{м}.$$

ЭТАП 2. Расчет потерь в высокочастотном трансформаторе, его перегрев и КПД

1. Потери мощности (в ваттах) в меди первичной и вторичной обмоток трансформатора:

$$P_{1M} = I_{1\phi}^2 \cdot R_{1n},$$

$$P_{2M} = I_{2\phi}^2 \cdot R_{2n},$$

$$P_{1M} = 51,8^2 \cdot 0,00056 = 1,5 \text{ Вт},$$

$$P_{2M} = 51,8^2 \cdot 0,00162 = 4,4 \text{ Вт}.$$

2. Суммарные потери в меди в обеих обмотках трансформатора с учетом изменения сопротивления при увеличении температуры:

$$P_M = (P_{M1} + P_{M2}) [1 + 0,004 (T_{дон} - T_o)],$$

где $T_{дон}$ – максимальная допустимая температура материала сердечника;

$$T_{\text{доп}}=100\div 120^{\circ}\text{C}; T_0=15^{\circ}\text{C}.$$

$$P_M = (1,5 + 4,4)[1 + 0,004(100 - 15)] = 7,91 \text{ Вт}.$$

3. Рассчитываем по выражению, приведенному далее, удельные потери в магнитопроводе в зависимости от частоты и индукции:

$$P_{y\partial} = P_1 \cdot f^{\alpha} \cdot B^{\beta} \cdot (1 + k \cdot T),$$

где P_1 , α , β , k – коэффициенты, значения которых приведены в таблице 6.4;

T – температура сердечника трансформатора, на этом этапе примем $T=100^{\circ}\text{C}$. Частота подставляется в кГц.

Таблица 6.4

Коэффициенты для расчета удельной мощности.

Коэффициент	Значение коэффициента при частоте, кГц							
	0,4÷10	100÷100	0,4÷10	100÷100	0,4÷10	100÷100	0,4÷10	100÷100
	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ферритов марок							
	M2000HM-1A M2000HM-1B		M2000HM1-17		M3000HN-A		M6000HM-1	
P_1 Вт/кг г	32±7	13±3	63±10	25±4	48±8		11±2	38±0,8
α	1,2	1,4	1,2	1,4	1,2		1,35	1,6
β	2,4		2,85		2,76		2,69	2,6
k ($^{\circ}\text{C}$) ⁻¹	0,004		0,004		0,008		0,008	

Из таблицы 6.4 находим: $P_1=11\text{Вт/кг}$, $\alpha = 1,35$, $\beta = 2,69$, $k=0,008(^{\circ}\text{C})^{-1}$.

$$D_{\partial\alpha} = 11,0 \cdot 10^{1,35} \cdot 0,4^{2,69} (1 + 0,008 \cdot 100) = 37,7 \text{ Вт/кг}.$$

Найдем потери в сердечнике трансформатора (в ваттах) на его перемагничивание, пренебрегая потерями на вихревые токи:

$$P_{ct} = \frac{P_{y\partial} m_{mp.c}}{10^3},$$

где $m_{\text{тр.с.}}$ – масса сердечника трансформатора в граммах. В нашем случае $m_{\text{тр.с.}} = G_{\text{ст}}=7,72 \text{ кг}=7,72 \cdot 10^3 \text{ г}$.

$$P_{cm} = \frac{37,7 \cdot 7,72 \cdot 10^3}{10^3} = 291,04 \text{ Вт/кг.}$$

4. Теперь можно определить суммарные потери мощности (в ваттах) в трансформаторе

$$P_{\Sigma} = P_M + P_{cm},$$

$$P_{\Sigma} = 7,91 + 291,04 = 298,95.$$

5. Соответственно найденным суммарным потерям P_{Σ} , КПД трансформатора (в процентах) получим из выражения:

$$\eta_{mp} = \frac{U_{2\phi} I_{2\phi} \cdot 100}{U_{2\phi} I_{2\phi} + P_{\Sigma}},$$

$$\eta_{mp} = \frac{330 \cdot 51,8 \cdot 100}{330 \cdot 51,8 + 298,95} = 98,28\%.$$

6. Для расчета перегрева трансформатора в условиях естественной конвекции вычислим его площадь поверхности охлаждения (в квадратных сантиметрах). Для сердечника выбранной формы:

$$S_{\text{юё}} = 2 \cdot [H \cdot C + H \cdot B + 2 \cdot h \cdot a_{\text{юю}}],$$

где $a_{\text{юю}} = 6 \cdot D_{1\phi}$ – размер, показывающий увеличение площади охлаждения за счет размещения проводов на катушке (в разрезе выбранного сердечника провод будет видно 6 раз).
 $S_{\text{юё}} = 2 \cdot [225,4 \cdot 128,7 + 225,4 \cdot 64 + 2 \cdot 160 \cdot (6 \cdot 5,2)] / 100 = 1068,37 \text{ см}^2.$

7. Предлагаемая температура перегрева (в градусах Цельсия), трансформатора:

$$\tau = \frac{P_{\Sigma}}{\alpha_M S_{\text{охл}}},$$

где $\alpha_M = (10 \div 15) \cdot 10^{-4} \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$ – коэффициент теплоотдачи

трансформатора. Выбираем $\alpha_M = 10 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$.

$$\tau = \frac{298,95}{10 \cdot 10^{-4} \cdot 1068,37} = 279,8^\circ\text{C}.$$

Перегрев трансформатора, вычисленный по данной формуле не должен превышать допустимого значения, которое в этом случае определяется в соответствии с допустимой рабочей температурой ферритового сердечника. Это та температура сердечника, при которой гарантируются его основные магнитные параметры.

Для данной марки, максимальная рабочая температура равна 120°C . Значит, при температуре внутри блока ИСН, не превышающей 70°C , температура перегрева трансформатора должна быть $\tau \leq 40^{\circ}\text{C}$. Так как полученное значение перегрева более 40°C , то необходимо осуществить дополнительный отвод теплоты от трансформатора.

ЭТАП 3. Расчёт тока холостого хода трансформатора и его паразитных параметров

1. Рассчитаем ток холостого тока трансформатора, который впоследствии можно задать в качестве контролируемого параметра при изготовлении и сдачи трансформатора. Активная составляющая тока холостого хода:

$$I_{o.a.} = P_{cm} / U_{1\text{эф}},$$

$$I_{o.a.} = 291,04 / 117,6 = 2,47 \text{ А.}$$

Реактивная составляющая тока холостого хода:

$$I_{or} = \frac{H_M \ell_{cp} \cdot 10^{-2}}{W_1},$$

где ℓ_{cp} – длина средней силовой магнитной линии, для выбранного сердечника, см;

H_M – напряженность магнитного поля в сердечнике, А/м.

Для вычисления H_M будем считать, что сердечник перемагничивается по частному циклу со значением индукции $B_{тр.с}$, которая является рабочей индукцией идеализированной частной петли гистерезиса:

$$\dot{I}_i = \frac{\hat{A}_{\dot{O}E\bar{n}}}{\mu_i \mu},$$

где $\hat{A}_{\dot{O}E\bar{n}} = B_r + \Delta B / 2$.

Величина ΔB была определена выше, а остаточная индукция материала магнитопровода B_r определена справочными данными на выбранный тип магнитопровода (таблица 6.5).

Минимальная магнитная проницаемость сердечника

$$\mu = \mu_1 - \Delta \mu$$

где μ_1 - номинальная магнитная проницаемость материала магнитопровода;

$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – относительная магнитная проницаемость;

$\Delta \mu$ - магнитная проницаемость при уменьшении индукции.

Таблица 6.5

Значения величин B_r , μ_1 и $\Delta \mu$.

Параметр	Значение параметров ферритов марок		
	M2000HM1-A M2000HM1-B M2000HM1-17	M3000HM1-A	M6000HM-A
$B_r, Tл$	0,14	0,1	0,14
μ_1	2000	3000	6000
$\Delta \mu$	300	300	1200

Из таблицы $B_r = 0,14 Tл$; $\mu_1 = 6000$; $\Delta \mu = 1200$.

$l_{cp} = 54,9$ см для выбранного сердечника.

$$B_{TP.c} = B_r + \Delta B / 2 = 0,14 + 0,4 / 2 = 0,34 Tл,$$

$$\mu = 6000 - 1200 = 4800,$$

$$H_M = \frac{0,34}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 4800} = 56,4 \text{ А/м},$$

$$I_{or} = \frac{56,4 \cdot 54,9 \cdot 10^{-2}}{10} = 3,1 \text{ А}.$$

Эффективное значение тока холостого хода определим из выражения:

$$I_{xx} = \sqrt{I_{i.\dot{a}.}^2 + I_{or}^2},$$

$$I_{xx} = \sqrt{3,1^2 + 2,47^2} = 3,96 \text{ A}.$$

2. Индуктивность (в Гн) для различных ферритов:

- для ферритов марки M2000HM1-A; M2000HM1-B; M2000HM1-17

$$L_{\mu l} = \frac{0,26(W_l/100)^2 S_{ст}}{l_{ср}},$$

где $S_{ст}$ (в квадратных сантиметрах) и $l_{ср}$ (в сантиметрах);

- для сердечника из феррита марки M3000HM-A

$$L_{\mu l} = \frac{0,38(W_l/100)^2 S_{ст}}{l_{ср}};$$

- для сердечника из феррита марки M6000HM-1:

$$L_{\mu l} = \frac{0,78(W_l/100)^2 S_{ст}}{l_{ср}}.$$

В данном случае используется последняя из указанных формул:

$$L_{\mu l} = \frac{0,78 \cdot (10/100)^2 \cdot 20,5}{54,9} = 0,003 = 3 \text{ мГн}.$$

ЭТАП 4. Расчет режимов работы силового транзистора

Начнем с расчета составляющих импульсного тока.

1. Импульсный ток (в амперах), который характеризует значения тока намагничивания трансформатора в конце импульса t_u , определяется по формуле

$$I_{\mu u} = \frac{U_{IM \min} \gamma_{\max}}{L_{\mu l} f \cdot 10^3},$$

где f – частота, кГц.

$$I_{\mu u} = \frac{175,3 \cdot 0,45}{0,003 \cdot 10 \cdot 10^3} = 2,6 \text{ A}.$$

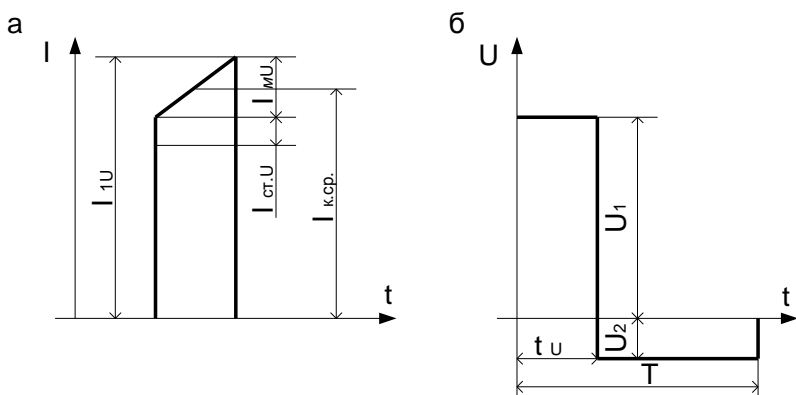


Рис. 6.3. Режимы работы силового транзистора.

2. Часть тока через транзистор, которая обусловлена потерями на перемагничивание (потери в стали) сердечника трансформатора, можно учесть следующим образом. Режимы работы силового транзистора приведены на рис.6.3. Будем считать, что эти потери делятся на две равные части: первая выделяется намагничиванием сердечника, вторая – на этапе его размагничивания. Таким образом, полагая, что в интервале рабочего импульса тока имеется приращение прямоугольного импульса, эквивалентного по мощности потерям в «стали», определим его из соотношения:

$$I_{\text{ст.и.}} = \frac{P_{\text{ст}}}{2U_{\text{IMmin}}} ,$$

$$I_{\text{ст.и.}} = \frac{291,04}{2 \cdot 175,3} = 0,8 \text{ A} .$$

3. Суммарный ток (в амперах), который назовем импульсным током холостого хода трансформатора:

$$I_{\text{ххи}} = I_{\text{ст.У}} + I_{\mu\text{У}} ,$$

$$I_{\text{ххи}} = 0,8 + 2,6 = 3,4 \text{ A} .$$

4. Максимальное значение импульсного тока (в амперах) через силовой транзистор в момент его включения для двухтактной схемы:

$$I_{IU} = \frac{I_{xxU}}{2} + I_{1\text{эф}} \frac{1}{2\sqrt{\gamma_{\max}}},$$

$$I_{IU} = \frac{3,4}{2} + 51,8 \frac{1}{2\sqrt{0,45}} = 40,3 A.$$

5. Определим ток коллектора транзистора, который образуется путем усреднения эквивалентного прямоугольного импульса тока в зависимости от коэффициента заполнения.

Амплитуда изменения тока коллектора зависит от коэффициента заполнения и определяется соотношением:

$$\Delta I_k = \frac{U_{IM\min} t_{U\max}}{L_{\mu l}},$$

где $t_{U\max}$ – в микросекундах; $L_{\mu l}$ – в микрогенри; ΔI_k – в амперах.

$$\Delta I_k = \frac{175,3 \cdot 0,045}{3} = 2,62 A.$$

6. Средний ток коллектора:

$$I_{k.c.p.} = (I_{IU} - \Delta I_k / 2) \gamma_{\max},$$

$$I_{k.c.p.} = (40,3 - 2,6 / 2) \cdot 0,45 = 17,55 A.$$

7. Найдем максимальное значение напряжения коллектор-эмитер транзистора $U_{к.э.}$ без учета выброса напряжения, вызванного индуктивностью рассеяния.

Для двухтактной (пуш-пульной) схемы:

$$U_{к.э. \max} = 2k_{вх2} U_{вх.ном},$$

$$U_{\hat{e}, \hat{y}, \hat{f}} = 2 \cdot 1,2 \cdot 220 = 528 \hat{A}.$$

8. Выбираем транзистор - C3D IGBT серии Ultrafast N-канал 600В/24А/ $U_{кэ(нас)}=1,6В$, встроенный Hyperfast диод, $t_{rise}/t_{fall}=16/210нс$ TO247 53,06 50.

- $t_f=16нс$ - длительность фронта отпираания транзистора;
- $t_c=210нс$ - длительность спада импульса запираания транзистора;
- $U_{\hat{e}, \hat{y}, \hat{f}} = 1,6 В$ - напряжение коллетор-эммитер транзистора в режиме насыщения;

- $U_{\text{б.э.т.}} = 2,0\text{В}$ - напряжение база-эмиттер транзистора в режиме насыщения, для данного транзистора;
- $I_{\text{б}} = 7,7\text{ А}$ - ток через переход база-эмиттер.

ЭТАП 5. Расчет режимов работы силовых диодов ИСН

1. Максимальное значение среднего тока диодов:

$$I_{VD} = I_{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{max}},$$

$$I_{VD} = 77,3 \cdot 0,45 = 34,8\text{А}.$$

2. Максимальное значение среднего тока (без учета импульса в момент запираия) коммутирующего диода VD2:

$$I_{VD} = I_{\text{н}} (1 - \gamma_{\text{min}}),$$

$$I_{VD} = 77,3 \cdot (1 - 0,28) = 55,5\text{А}.$$

3. Максимальное значение (без учета паразитного выброса) для обратного напряжения на диоде VD1 и VD2 находим по соотношению:

$$U_{\text{обр max}} = U_{2M\text{max}},$$

$$U_{\text{обр max}} = 786\text{В}.$$

4. Выбор диодов.

По максимальному значению напряжения и значению среднего тока выбираем модульный диод Шоттки IRKE71/08A, 1 диод 80A 800B ADD-A-Pak.

- Максимально допустимый средний прямой ток $I_{\text{д}} = 80\text{А}$;
- Максимально допустимое среднее обратное напряжение $U_{\text{д}} = 800\text{В}$;
- Напряжение на открытом диоде при протекании тока нагрузки $\Delta U_{VD1} = \Delta U_{VD2} = 0,8\text{ В}$;
- Время восстановления обратного сопротивления диода $t_{\text{вст.}} = 0,5\text{ мкс}$.

Модульные диоды Шоттки IRK отличаются чрезвычайно низким падением напряжения на открытом диоде и высокими температурами перехода до 150°C . Такие особенности диодов актуальны для преобразователей с высокой токовой нагрузкой и низким выходным напряжением. Типичными применениями

являются высокочастотные преобразователи, высокоточные импульсные источники электропитания, системы бесперебойного питания, конвертеры, сварочное оборудование и системы защиты от изменения полярности питания.

ЭТАП 6. Расчет выходного фильтра ИСН

1. Учтем, что наибольшая пульсация напряжения имеет место на выходе фильтра при минимальном коэффициенте заполнения. Найдем относительное значение пульсаций 1-й гармоники на выходе выходного высокочастотного фильтра.

$$S = \frac{4}{\pi} \frac{100}{\gamma_{\min}} \sin[90^\circ(\gamma_{\min})] \cos[90^\circ(\gamma_{\min})] ,$$

$$S = \frac{4}{3,14} \cdot \frac{100}{0,28} \cdot 0,426 \cdot 0,898 = 174,04 .$$

2. Коэффициент пульсаций (в процентах) на выходе блока ИСН.

$$a_n = \frac{U_{n-}}{2U_n} 100,$$

где $\frac{U_{n-}}{2}$ - амплитуда переменной составляющей на выходе фильтра ИСН.

$$a_n = \frac{1,1}{2 \cdot 220} \cdot 100 = 0,25\% .$$

3. Найдем требуемый коэффициент подавления пульсаций выходным фильтром:

$$Q_n = \frac{S}{a_n} ,$$

$$Q_n = \frac{174,04}{0,25} = 696,16 .$$

4. Минимальная индуктивность (в микрогенри) дросселя фильтра при условии сохранения непрерывности тока через дроссель будет:

$$L_{\text{др. min}} = \frac{U_{\text{н}} \cdot 10^3 \cdot 0,4}{f I_{\text{н min}} \gamma_{\text{min}}} \sin[90^\circ(\gamma_{\text{min}})] ,$$

где $I_{\text{н min}}$ задано и обычно составляет $0,1 I_{\text{н ном.}}$; f – в кГц.

$$L_{\text{др min}} = \frac{220 \cdot 10^3 \cdot 0,4}{10 \cdot 7,73 \cdot 0,28} \cdot 0,426 = 1732 \text{ мкГн} .$$

5. Для выбора или расчета дросселя фильтра необходимо знать эффективное значение переменной составляющей напряжения на нем $U_{\text{Лэф}}$.

$$U_{\text{Лэф}} = \sqrt{U_1^2 \gamma_{\text{min}} + U_2^2 (1 - \gamma_{\text{min}})} ,$$

где $U_1 = U_{2\text{Мmax}} - \Delta U_{\text{ВД1}} - U_{\text{н}}$; $U_2 = U_{\text{н}} + \Delta U_{\text{ВД2}}$;

$\Delta U_{\text{ВД1}}$ и $\Delta U_{\text{ВД2}}$ - прямое падение напряжения на диодах в режиме номинального тока нагрузки.

$$U_1 = 786 - 0,8 - 220 = 565,2 \text{ В}, \quad U_2 = 220 + 0,8 = 220,8 \text{ В}.$$

$$U_{\text{Лэф}} = \sqrt{565,2^2 \cdot 0,28 + 220,8^2 \cdot (1 - 0,28)} = 352,9 \text{ В} .$$

6. По рассчитанной индуктивности дросселя $L_{\text{др. min}} = 1732 \text{ мкГн}$ и напряжению $U_{\text{Лэф}} = 352,9 \text{ В}$ подбираем дроссель Д 380 с потерями на нём – $P_{\Sigma \text{др}} = 10 \text{ Вт}$.

7. Емкость (в микрофарадах) выходного конденсатора фильтра ИСН:

$$C_{\phi} = \frac{(Q_{\text{н}} + 1) \cdot 10^6}{(2\pi f)^2 L_{\phi}} ,$$

где f – в кГц; $L_{\phi} = L_{\text{др min}}$ – эффективная индуктивность дросселя на рабочей частоте $f_{\text{раб}}$ в мГц.

$$C_{\phi} = \frac{(696,16 + 1) \cdot 10^6}{(2 \cdot 3,14 \cdot 10)^2 \cdot 1732} = 102 \text{ мкФ} .$$

8. Выбираем конденсатор.

Выбираем конденсатор фильтра К50-9 имп. 1000 мкФх63В 105°С.

Технические параметры К50-29 имп. 1000 мкФ х 63В
105°С:

- Рабочее напряжение – 63 В.
- Номинальная емкость - 1000мкФ.
- Рабочая температура – (-40...105)°С.

ЭТАП 7. Расчет потерь в силовых транзисторах и диодах ИСН.

1. Динамические потери в одном транзисторе:

$$P_{\text{дин.}} = \frac{2}{3} I_k f * 10^{-3} (U_{\text{вх.мах}} t_{\text{ф}} + 2U_{\text{вх.мах}} t_{\text{с}}),$$

где $U_{\text{вх.мах}} = k_{\text{вх}2} U_{\text{вх}}$; $I_k = I_{\text{эф}} / \sqrt{\gamma_{\text{мах}}}$; $t_{\text{с}}$ и $t_{\text{ф}}$ – в микросекундах; f – в килогерцах.

$$U_{\hat{a}\hat{o}\text{мах}} = k_{\hat{a}\hat{o}2} U_{\hat{a}\hat{o}} = 220 \cdot 1,2 = 264 \text{ В},$$

$$I_{\hat{e}} = I_{\hat{y}\hat{o}} / \sqrt{\gamma_{\text{мах}}} = 51,8 / \sqrt{0,45} = 77,3 \text{ А},$$

$$P_{\text{дин}} = \frac{2}{3} \cdot 77,3 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot (264 \cdot 0,016 + 2 \cdot 264 \cdot 0,210) = 59,3 \text{ Вт}.$$

2. Статические потери в транзисторе:

$$P_{\text{ст}} = (U_{\text{к.э.н.}} I_k + U_{\text{б.э.н.}} I_{\hat{o}}) \gamma_{\text{мах}},$$

где $U_{\hat{e},\hat{y},\hat{f}}$ - напряжение коллатор-эммитер транзистора в режиме насыщения, для данного транзистора равно 1,6 В;

$U_{\hat{a},\hat{y},\hat{f}}$ - напряжение база-эммитер транзистора в режиме насыщения, для данного транзистора равно 2,0В;

$I_{\hat{e}}$ - ток коллектора, равен 77,3 А;

$I_{\hat{a}}$ - ток через переход база-эммитер, равен 7,7 А.

$$P_{\text{ст}} = (1,6 \cdot 77,3 + 2 \cdot 7,7) \cdot 0,45 = 62,6 \text{ Вт}.$$

3. Суммарные потери:

$$P_{\text{т}\Sigma} = P_{\text{дин}} + P_{\text{ст}},$$

$$P_{\text{мп}\Sigma} = 59,3 + 62,6 = 121,9 \text{ Вт}.$$

Для 4 транзисторов $P_{\text{мп}} = 4P_{\Sigma\text{мп}} = 4 \cdot 121,9 = 487,6 \text{ Вт}.$

ЭТАП 8. Расчет потерь в силовых диодах

1. Динамические потери в диоде в ваттах:

$$P_{\text{дин}VD1} = 1,2 \cdot I_n \cdot 0,6 \cdot U_{2M \min} \cdot t_{\text{вст}} \cdot f \cdot 10^{-3},$$

где f – в кГц; $t_{\text{вст}}$ – время восстановления обратного сопротивления диода, оно равно 0,5 мкс.

$$P_{\text{дин}VD1} = 1,2 \cdot 77,3 \cdot 0,6 \cdot 492 \cdot 0,5 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 136,9 \text{ Вт.}$$

2. Статические потери в выпрямительном диоде:

$$P_{\text{см}VD1} = \Delta U_{VD1} I_n \gamma_{\max},$$

где ΔU_{VD1} – напряжение на открытом диоде VD1 при протекании тока нагрузки.

$$P_{\text{см}VD1} = 0,8 \cdot 77,3 \cdot 0,45 = 27,8 \text{ Вт.}$$

3. Суммарные потери в диоде VD1:

$$P_{VD1\Sigma} = P_{\text{дин}VD1} + P_{\text{см}VD1},$$

$$P_{VD1\Sigma} = 136,9 + 27,8 = 164,7 \text{ Вт.}$$

В четырёх диодах суммарные потери равны:

$$P_{VD} = 4P_{\Sigma VD} = 4 \cdot 164,7 = 658,8 \text{ Вт.}$$

ЭТАП 9. Расчет КПД силовой части ИСН и всего ИСН

1. Суммарные потери мощности (в ваттах) в ИСН с учетом структуры силовой части:

$$P_n = P_{\Sigma} + P_{mp} + P_{VD} + P_{\Sigma dp},$$

$$P_n = 305,2 + 487,6 + 658,8 + 10 = 1461,6 \text{ Вт.}$$

2. КПД (в процентах) силовой части ИСН:

$$\eta_{\text{с.з.}} = \frac{P_n}{P_n + P_n} \cdot 100\%,$$

$$\eta_{\text{с.з.}} = \frac{17}{17 + 1,46} \cdot 100\% = 92\%.$$

3. КПД ИСН:

$$\eta_{\text{И.С.Н.}} = \frac{P_n}{P_n + P_n + P_{\text{ном}PY}} \cdot 100\%,$$

$$\eta_{н.с.н.} = \frac{17}{17 + 1,46 + 0,34} \cdot 100\% = 90,4\% .$$

7. Расчет тороидального трансформатора для инвертора мощностью 5 кВА

Исходные данные:

$$U_1 = 27 \text{ В}$$

$$U_2 = 220 \text{ В}$$

$$S_2 = 5000 \text{ ВА}$$

1. Определяем коэффициент трансформации:

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{27}{220} = 0,123 ;$$

2. Принимаем допустимый КПД трансформатора $\eta_{\text{доп}} = 0,95$;

3. Определяем ориентировочную габаритную мощность трансформатора:

$$S_{\Gamma} = S_1 = S_2 / \eta_{\text{доп}} = 5000 / 0,95 = 5263 \text{ ВА};$$

4. Определяем токи в обмотках трансформатора:

$$I_1 = S_1 / U_1 = 5263 / 27 = 194,9 \text{ А};$$

$$I_2 = S_2 / U_2 = 5000 / 220 = 22,7 \text{ А};$$

5. Определяем ориентировочное сечение магнитопровода по эмпирической формуле:

$$S_{\text{МП}} = \frac{\sqrt{P_{\Gamma}}}{1,2} = \frac{\sqrt{5263}}{1,2} = 60,5 \text{ см}^2$$

6. Рассчитываем размеры тороидального магнитопровода:

Определяем сторону квадрата в сечении тора:

$$a = \sqrt{S_{\text{МП}}} = \sqrt{60,5} = 7,8 \text{ см};$$

Принимаем магнитопровод квадратного сечения со стороной 8 см;

Определяем диаметры тора из выражения: $a = \frac{D_1 - D_2}{2}$,

где

D_1 – внешний диаметр торра;

D_2 – внутренний диаметр тора (диаметр окна);

Принимаем $D_1/D_2 = 1,62$;

Следовательно, внутренний диаметр может быть определен по формуле:

$$a = \frac{D_2(1,62 - 1)}{2} \Rightarrow D_2 = \frac{2a}{0,62} = \frac{2 \cdot 8}{0,62} = 25,2 \text{ см};$$

Тогда внешний диаметр будет равен:

$$D_1 = D_2 \cdot 1,62 = 40,7 \text{ см};$$

Окончательно принимаем $D_1 = 42$ см; $D_2 = 26$ см; $a = h = 8$ см; $S_{МП} = 64 \text{ см}^2$;

7. Задаемся допустимой величиной магнитной индукции:

$$B_{\max} = 1,2 \text{ Тл};$$

Для сердечника, изготовленного из электротехнической стали, напряженность магнитного поля будет равна $H_{\max} = 1000 \text{ А/м}$ (по кривой намагничивания);

8. Определяем количество витков в обмотке W_2 :

$$w_2 = \frac{U_{2m}}{4,44 f B_{\max} S_{МП}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{4,44 \cdot 50 \cdot 1,2 \cdot 0,0064} = 182 ;$$

9. Определяем количество витков в обмотке w_1 :

$$w_1 = k w_2 = 0,123 \cdot 182 = 22 ;$$

10. Определяем число вольт на виток:

$$e_w = \frac{U_2}{w_2} = \frac{220}{182} = 1,21 \text{ В}$$

11. Подбираем диаметры проводов, задавшись плотностью тока $j=4\text{А/мм}^2$;

$$\text{Первичная обмотка: } d_1 = 1,13 \sqrt{\frac{I_1}{j}} = 1,13 \sqrt{\frac{194,9}{4}} = 7,9 \text{ мм}$$

$$\text{Вторичная обмотка: } d_2 = 1,13 \sqrt{\frac{I_2}{j}} = 1,13 \sqrt{\frac{22,7}{4}} = 2,7 \text{ мм}$$

12. Определяем длины проводов в обмотках:

$$l_2 = 2(a + h + 2d_2) \cdot w_2 = 2 \cdot (8 + 8 + 2 \cdot 0,27) \cdot 182 = 6021 \text{ см};$$

$$l_1 = 2(a + h + 2d_2 + 2d_1) \cdot w_2 = 2 \cdot (8 + 8 + 2 \cdot 0,27 + 2 \cdot 0,79) \cdot 182 = 797 \text{ см};$$

13. Определяем сопротивления обмоток:

$$R_1 = \frac{4\rho l_1}{\pi d_1^2} = \frac{4 \cdot 0,017 \cdot 10^{-6} \cdot 7,97}{3,14 \cdot 7,9^2 \cdot 10^{-6}} = 0,0028 \text{ Ом}$$

$$R_2 = \frac{4\rho l_2}{\pi d_2^2} = \frac{4 \cdot 0,017 \cdot 10^{-6} \cdot 60,21}{3,14 \cdot 2,7^2 \cdot 10^{-6}} = 0,179 \text{ Ом}$$

14. Определяем падения напряжений на обмотках:

$$\Delta U_1 = I_1 \cdot R_1 = 194,9 \cdot 0,0028 = 0,55 \text{ В};$$

$$\Delta U_2 = I_2 \cdot R_2 = 22,7 \cdot 0,179 = 4,06 \text{ В};$$

15. Определяем потери в меди:

$$\Delta P_{M1} = I_1^2 R_1 = 194,9^2 \cdot 0,0028 = 106,36 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_{M2} = I_2^2 R_2 = 22,7^2 \cdot 0,179 = 92,2 \text{ Вт};$$

16. Определяем потери в стали:

Потери на гистерезис:

$$\Delta P_T = H_c B_s V = 20 \cdot 1,2 \cdot 0,0134 = 0,32 \text{ Вт};$$

Потери на вихревые токи:

$$\Delta P_T = \frac{1,64 t^2 f^2 \cdot B_{\max}}{\rho} V = \frac{1,64 \cdot 0,001^2 \cdot 50^2 \cdot 1,2}{0,6 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,0134 = 109,9 \text{ Вт};$$

17. Определяем КПД трансформатора:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_{M1} + \Delta P_{M2} + \Delta P_T + \Delta P_T} = \frac{5000}{5000 + 106,36 + 92,2 + 0,32 + 109,9} = 0,94$$

Подбор силовых элементов мостового инвертора (рис. 7.1)

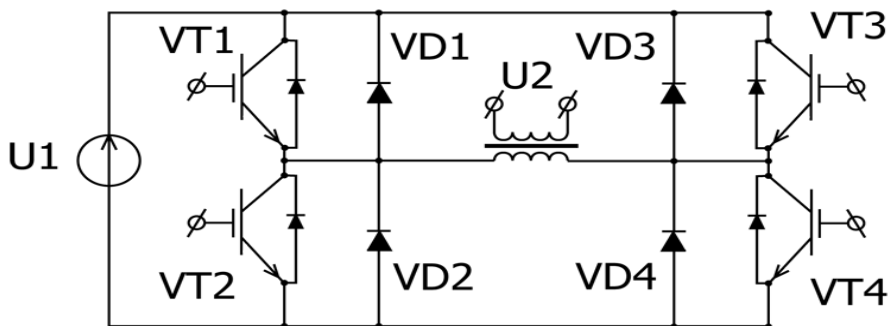


Рис. 7.1. Схема мостового инвертора.

18. Рассчитываем необходимые параметры транзисторов:

$$U_{кэ} = \sqrt{2} U_1 = \sqrt{2} \cdot 27 = 38,2 \text{ В};$$

$$I_k = \sqrt{2} I_1 = \sqrt{2} \cdot 194,9 = 275,6 \text{ А};$$

19. Подбираем 2 двойных модуля IGBT[3]:

CM400DY-12NF с параметрами:

$$U_{кэ} = 600 \text{ В};$$

$I_K = 400 \text{ A};$

Первый модуль содержит транзисторы VT1 и VT2;

Второй модуль содержит транзисторы VT3 и VT4;

20. Подбираем 2 двойных диодных модуля[3]:

RM250DZ-M с параметрами:

$U_{обр} = 400 \text{ В};$

$I_{\text{макс}} = 250 \text{ А};$

Первый модуль содержит диоды VD1 и VD2;

Второй модуль содержит диоды VD3 и VD4.

8. Устройство заряда-разряда аккумуляторных батарей

Рассмотрим расчет устройства, определяющего уровень «заряд»-«разряд» номинального напряжения аккумулятора.

Для расчета контроля напряжения аккумуляторных батарей предлагается блок-схема (рис.8.1) принципиальная схема (рис. 8.2) и методика расчета.

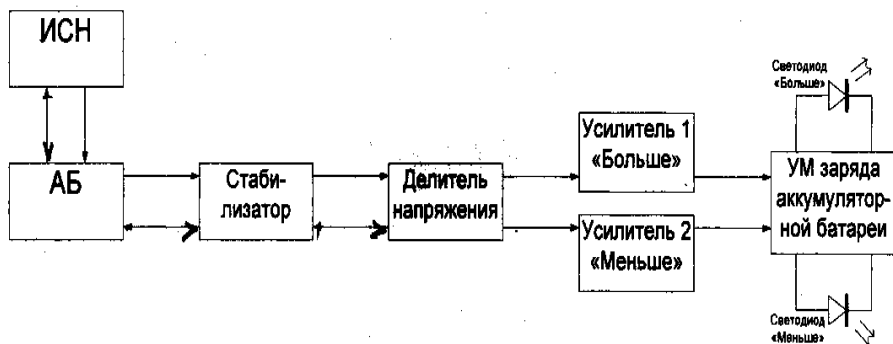


Рис. 8.1. Блок-схема устройства контроля заряда аккумуляторных батарей.

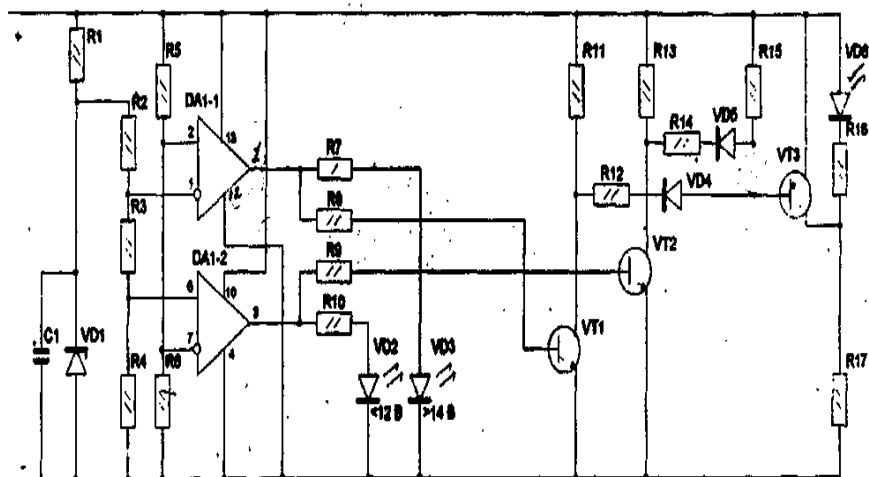


Рис.8.2. Принципиальная схема устройства контроля заряда аккумуляторных батарей.

Как известно, при напряжении на клеммах 12-типовольтового аккумулятора равном 10,2 В аккумулятор считается разряженным; при напряжении 14,4 В он считается заряженным.

Для определения этих порогов служат два компаратора (рис.8.2) DA1-1 и DA1-2, собранные на базе двойного операционного усилителя К140УД 2. Питается устройство от этого же аккумулятора. Датчиком напряжения аккумулятора служит сам аккумулятор. Делителем напряжения R5, R6 напряжение аккумулятора делится на два. Источником напряжения установки: $U_{\text{акк}} < 10,2 \text{ В}$ и $U_{\text{акк}} > 14,4 \text{ В}$ служит параметрический стабилизатор, собранный на элементах. VD1, R1, C1 (рис.8.2). Напряжение стабилизации выбирается ниже нижнего порога (аккумулятор считается разряженным).

Рассчитаем стабилизатор. В качестве VD1 выберем стабилитрон типа 2С482А с техническими данными $U_{\text{ст}} = 8,2 \text{ В}$ - напряжение стабилизации; $I_{\text{ст min}} = 1 \text{ мА}$ - ток стабилизации минимальный. При $I_{\text{ст}} = 5 \text{ мА}$: $U_{\text{ст}} = 8,2 \text{ В}$; максимальный ток стабилизации $I_{\text{ст max}} = 96 \text{ мА}$.

Для расчета сопротивления R1, учитывая, что $U_{\min \text{ акк}} \leq 10,2 \text{ В}$, выбираем:

$$U_{\min \text{ акк}} = 10 \text{ В}; U_{\text{ст}} = 8,2 \text{ В}; I_{\text{ст min}} = 5 \text{ мА}$$

$$R1 = \frac{U_{\min \text{ акк}} - U_{\text{ст}}}{I_{\text{ст min}}} = \frac{10 - 8,2}{5 \cdot 10^{-3}} = 360 (\text{Ом}) = 0,36 (\text{кОм})$$

Проверим, не будут ли превышены предельно допустимые параметры стабилитрона при напряжении заряженного аккумулятора $U_{\max \text{ акк}} = 14,4 \text{ В}$.

$$I_{\text{ст}} = \frac{U_{\max \text{ акк}} - U_{\text{ст}}}{R1} = \frac{14,4 - 8,2}{360} = 0,0172 (\text{А}) = 17,2 (\text{мА})$$

Так как $I_{\text{ст}} < I_{\text{ст. max}}$; $17,2 \text{ мА} < 96 \text{ мА}$, значит предельно допустимые параметры превышены не будут. Следовательно, стабилитрон выбран верно.

При выборе стабилитрона необходимо, чтобы при требуемом напряжении стабилизации, максимальный ток стабилизации был высок.

По справочной литературе подбираем требуемую микросхему DA1. В данном случае подобрана микросхема - операционный усилитель типа К140УД20. Входной $I_{\text{вх}}$ и выходной $I_{\text{вых}}$ токи выбранной микросхемы: $I_{\text{вх}} = 0,2 \text{ мА}$; $I_{\text{вых}} = 20 \text{ мА}$.

Ток через делитель для установки пороговых опорных значений напряжения 10,2 В и 14,4 В находится следующим образом. Обычно ток через делитель выбирают из условия

$$I_{\text{д}} \geq (2 \div 4) \cdot I_{\text{нагр.}},$$

где $I_{\text{нагр.}}$ – ток через нагрузку;

$I_{\text{д}}$ – ток через делитель.

Для рассматриваемого случая $I_{\text{нагр.}} = I_{\text{вх}}$ значит

$$I_{\text{д}} \geq (2 \div 4) \cdot 0,2 \geq 0,4 \div 0,8 \text{ мА}.$$

Выбираем ток делителя $I_{\text{д1}} = 1 \text{ мА}$.

Определим сопротивления делителя R2, R3, R4.

Согласно закону Ома:

$$R_{д1} = \frac{U_{см}}{I_{д1}} = \frac{8,2}{1} = 8,2(кОм) .$$

Ранее было определено, что напряжение аккумулятора резисторами R5 и R6 делится на два. Пусть R5, R6 есть делитель на два, тогда согласно выше изложенному R_{д2} должно быть ≥ 1 мА. При известном U_{min акк} имеем

$$R_{д2} = \frac{10}{1} = 10(кОм) .$$

При напряжении заряженного аккумулятора

$$I_{д2} = \frac{U_{maxакк}}{R_{д2}} = \frac{14,4}{10 \cdot 10^3} = 0,00144(А) = 1,44(мА) ,$$

что $> (2 \div 4) I_{нагр.}$.

Сопротивления R5 и R6 равны. R5=R6, при делении напряжения аккумулятора, следовательно:

$$R5 = R6 = \frac{10}{2} = 5(кОм) .$$

Ближайший номинал, чтобы выполнялось $I_{д} \geq (2 \div 4) \cdot I_{нагр.}$ будет равен 4,7 кОм.

Следовательно $R5 = R6 = 4,7кОм$.

Напряжение U на делителе будет меняться от 5,1 В до 7,2 В при изменении напряжения на аккумуляторе от 10,2 В до 14,4 В.

Определим номиналы резисторов, входящих в делитель. Так как при изменении напряжения на аккумуляторе в вышеуказанных пределах: I_{д1}=1 мА, значит

$$R4 = \frac{U_{1пор.}}{I_{д1}} ,$$

где U_{1пор.}-значение напряжения при разряженном аккумуляторе, равное U_{1пор.}=5,1В.

$$R4 = \frac{5,1}{1 \cdot 10^{-3}} = 5100(Ом) = 5,1(кОм) .$$

Второе пороговое напряжение U_{2 пор.} – 7,2 В, то есть

$$R3 + R4 = \frac{7,2}{1 \cdot 10^{-3}} = 7,2(\text{кОм}).$$

Тогда

$$\begin{aligned} R3 + R4 &= 7,2, \\ R3 &= 7,2 \cdot 10^3 - R4 = 7,2 \cdot 10^3 - 5,1 \cdot 10^3 = 2100(\text{Ом}), \\ R2 + R3 + R4 &= 8,2(\text{кОм}), \\ R2 &= R_{Д1} - (R3 + R4) = 8,2 - 7,2 = 1(\text{кОм}). \end{aligned}$$

Если напряжение на резисторе R6 ниже опорного, стабильного на R4, то на выходе инвертирующего компаратора DA1-2 присутствует напряжение $+U_{\text{ст}}$ питания и светится светоизлучающий диод VD2. VD2 подключен через токоограничивающий резистор R9. Выбираем по справочнику светоизлучающий диод типа АЛ102Г красного цвета, максимально допустимый прямой ток 10 мА. Примем

$$I_{\text{max}VD2} = 9\text{мА}, \text{ тогда}$$

$$R9 = \frac{U_{\text{вых}DA1-2} - U_{\text{д}}}{I_{\text{max}VD2}},$$

где $U_{\text{вых}DA1-2} \approx 10\text{В}$ (значение при разряде); $U_{\text{д}} \leq 3\text{В}$;

$$R9 = \frac{10 - 3}{9 \cdot 10^{-3}} = 777(\text{Ом}) = 0,777(\text{кОм}).$$

Ближайший номинал $R9 = 820 \text{ Ом}$.

Если напряжение на резисторе R6 выше опорного, стабильного на R4, то на выходе инвертирующего компаратора DA1-2 присутствует напряжение $-U_{\text{ст}}$ питания. Светоизлучающий диод VD2 не светится.

Если напряжение на резисторе R3 (опорное, стабильное) выше напряжения на резисторе R6, на котором оно в пределах $5,1 + 7,2 \text{ В}$ на выходе неинвертирующего компаратора DA1-1 соответствует $-U_{\text{ист}}$ питания, светоизлучающий диод VD3 не светится.

Если напряжение на резисторе R6 превышает опорное, стабильное на R3, то на выходе неинвертирующего компаратора DA1-1 присутствует напряжение $+U_{\text{ист}}$ питания и светоизлучающий диод VD3 светится, проходит ток через

резистор R7, величина которого рассчитывается также, как и R9, но по значению напряжения для заряженного аккумулятора с помощью выражения:

$$R7 = \frac{14,4 - 3}{9 \cdot 10^{-3}} = 1267(Ом) \approx 1,3(кОм).$$

Следовательно, когда напряжение на аккумуляторе $>10,2 В$ и $<14,4 В$, выход DA1-1 и выход DA1-2 находятся в состоянии «откл», то есть на этих выходах уровень - $U_{ист. питания}$, а значит VT1 и VT2 находятся в режиме отсечки, то есть $U_{к VT1}$ и $U_{г VT2}$ равно $U_{ист. питания}$. Через делитель R14, R16, R17, а также диоды VD4 и VD5 ток не течет, следовательно цепочка VD6, R18, R19 не шунтируется транзистором VT3 и излучающий светодиод светится, сигнализируя $U_{акк. ном.}$.

Элементы VT1; VT2; VT3; VD5; VD6; R8; R10; R13; R14; R15; R16; R17 выполняют логическую функцию «И» (функция логического умножения).

Найдем номиналы этих элементов. Используем для этого основные соотношения транзистора:

$$I_k = \beta \cdot I_b,$$

где I_k - ток коллектора;

I_b - ток базы;

β - коэффициент обратной связи.

Примем токи коллекторов транзисторов VT1 и VT2 $I_k = 10 мА$ при $U_{акк. max} = 14,4 В$, откуда по закону Ома

$$R_k = \frac{U_{maxакк}}{I_k} = \frac{14,4}{10 \cdot 10^{-3}} = 1440(Ом) = 1,44(кОм).$$

Выбираем ближайший номинал $R_k = 1,5 кОм$. Следовательно, $R13 = R15 = 1,5 кОм$, тогда найдем базовый ток I_b , откуда рассчитаем сопротивление R_b .

В данном случае подходят транзисторы KT503B, у которых $\beta_{min} = 40$; $I_k = 150 мА$; $U_{кз} = 40В$.

$$I_b = \frac{I_k}{\beta} = \frac{10}{40} = 0,25 мА.$$

Найдем R10. Так как при $U_{min акк.} = 10,2 В$ на выходе DA1 - 1 $U_{min акк.} = 10,2 В$.

Следовательно:

$$R10 = \frac{U_{\min \text{акк.}}}{I_{\phi}} = \frac{10,2}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 40800 (\text{Ом}) = 40,8 (\text{кОм}) .$$

Ближайший стандартный номинал 39 кОм. $R10=39 \text{ кОм}$.

Найдем $R8$ также при $U_{\max \text{ акк.}}=14,4 \text{ В}$. На выходе DA1-1 + $U_{\max \text{ акк.}}$, значит:

$$R8 = \frac{U_{\max \text{ акк.}}}{I_{\phi}} = \frac{14,4}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 57600 (\text{Ом}) \approx 58 (\text{кОм})$$

Ближайший стандартный номинал 56 кОм. $R8=56 \text{ кОм}$.

В качестве транзистора VT3 подходит транзистор типа KT502B, имеющий технические данные: $\beta_{\min}=40$; $I_K=150 \text{ мА}$; $U_{KЭ}=40\text{В}$; $U_{бэ \text{ max}}=1,2\text{В}$.

Определим значения сопротивлений $R12$; $R14$; $R15$; $R16$; $R17$. Рассчитаем балластный резистор $R16+R17$ в цепи светоизлучающего диода VD6. Чтобы не превысить предельно допустимый ток через VD6, примем степень насыщения $N=1,5$. Следовательно:

$$U'_{\text{нас.бэ}} = U_{\text{бэ max}} \cdot 1,5 = 1,2 \cdot 1,5 = 1,8 \text{ В}.$$

Максимальный прямой ток через VD6 также, как и через VD2 и VD3 равен 9 мА.

Балластный резистор $R16+R17$ рассчитывается по формуле:

$$(R16 + R17) = \frac{U_{\max \text{акк}} - U_{\text{д}}}{I_{\max}} = \frac{14,4 - 3}{9 \cdot 10^{-3}} = 1267 (\text{Ом}) \approx 1,3 (\text{кОм}).$$

Произвольно примем $R16=R17$:

$$R16 = R17 = \frac{R16 + R17}{2} = \frac{1300}{2} = 650 (\text{Ом}).$$

Ближайший стандартный номинал 680 Ом, тогда $R16=R17=680 \text{ Ом}$.

В открытом, насыщенном состоянии ток $I_{K \text{ max}}$ (или $I_{K \text{ VT3}}$) транзистора VT3 равен

$$I_{K \text{ max}} = \frac{U_{\max \text{акк}}}{R17} = \frac{14,4}{0,68 \cdot 10^3} = 0,021 (\text{А}) = 21 (\text{мА}).$$

Следовательно

$$I_{6 VT3} = \frac{I_{к VT3}}{\beta} = \frac{21}{40} = 0,525 \text{ (мА)}.$$

По ранее приведенному выражению ток I_d :

$$I_d > (2 \div 4) \cdot I_{6 VT3} > 1,05 \div 2,1 \text{ (мА)}.$$

Примем $I_d = 2 \text{ мА}$ при $U'_{нас.бэ} = 1,8 \text{ В}$. В этом случае сопротивление R_{15} равно:

$$R_{15} = \frac{U'_{нас.бэ}}{2} = \frac{1,8}{2} = 0,9 \text{ (кОм)}.$$

Ближайший стандартный номинал $R_{15} = 910 \text{ Ом}$.

Когда транзистор $VT1$ открыт, то $U_{акк \max} = 14,4 \text{ В}$.

Тогда $U_{R14+VD4} = U_{акк \max} - U'_{бэ \text{ нас}} = 14,4 - 1,8 = 12,6 \text{ В}$.

$$R_{12} = \frac{U_{R14} - U_{VD4}}{I_d} = \frac{12,6 - 0,7}{2 \cdot 10^{-3}} = 5950 \text{ (Ом)} = 5,95 \text{ (кОм)},$$

где $U_{VD4} \approx 0,7 \text{ В}$.

Ближайший стандартный номинал $5,9 \text{ кОм}$, то есть, $R_{12} = 5,9 \text{ кОм}$.

Когда транзистор $VT2$ открыт $U_{\min \text{ акк.}} = 10,2 \text{ В}$.

Определим сопротивление R_{14} . Напряжение на R_{14} и диоде $VD5$ определяется из выражения:

$$U_{R14+VD5} = U_{\min \text{ акк}} - U'_{бэ} = 10,2 - 1,8 = 8,4 \text{ (В)},$$

$$R_{14} = \frac{U_{R14} - U_{VD5}}{I_d} = \frac{8,4 - 0,7}{2 \cdot 10^{-3}} = 3850 \text{ (Ом)} = 3,85 \text{ (кОм)}.$$

Ближайший стандартный номинал $3,9 \text{ кОм}$, значит, $R_{14} = 3,9 \text{ кОм}$.

U_{VD5} и U_{VD4} - прямое падение напряжения на кремниевых диодах, равное $0,7 \text{ В}$. В качестве диодов $VD4$ и $VD5$ можно выбрать маломощные кремниевые диоды типа КД522А.

Конденсатор фильтра выбираем произвольно, типа К50-29 - электролитический конденсатор емкостью $470 \text{ мкФ} \cdot 16 \text{ В}$. При выборе конденсатора необходимо, чтобы напряжение на конденсаторе было больше напряжения, на которое он будет подключаться.

9. Подключение солнечных батарей через преобразователи к трехфазной системе

На рис. 9.1 показана схема преобразования постоянного напряжения солнечных батарей в переменное трехфазное напряжение при подключении к промышленной сети.

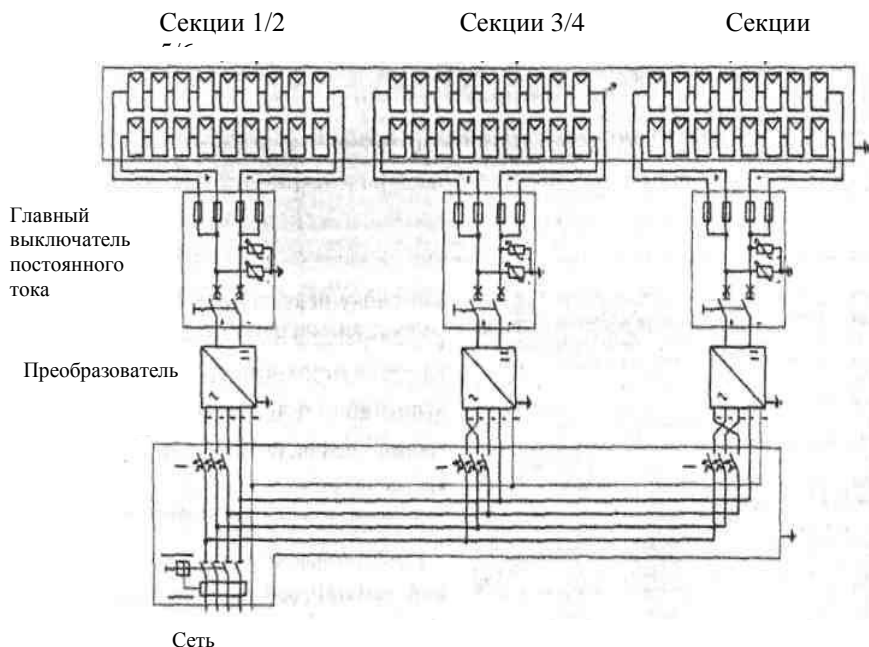


Рис. 9.1. Преобразование постоянного напряжения солнечных батарей в переменное трехфазное напряжение и подключение к промышленной сети.

10. Расчет заземления

Как правило, схема сети, а, следовательно, и режим работы нейтрали источника тока, питающего эту сеть, выбирается по технологическим требованиям, а также по условиям безопасности. Пусть в нашем случае электрическое

питание проектируемого объекта осуществляется к распределительной сети с глухозаземленной нейтралью.

Для заземления электроустановок могут быть использованы искусственные и естественные заземлители.

Естественные заземлители – проводящая часть, которая кроме своих непосредственных функций, одновременно может выполнять функции заземлителя (например, арматура фундаментов и инженерных коммуникаций зданий и сооружений, подземная часть металлических и железобетонных опор ВЛ и т.п.).

Искусственный заземлитель – заземлитель, специально выполненный с целью заземления.

Заземление, не должно является единственной мерой защиты от прямого или косвенного прикосновения, оно наиболее эффективно в комплексе с применением других защитных мер:

- автоматическое отключение питания; (ПУЭ 1.7.61, 1.7.63);
- применение оборудования класса II или с равноценной изоляцией; (ПУЭ 1.7.86, 1.7.87);
- защитное электрическое разделение цепей (ПУЭ 1.7.86, 1.7.89);
- изолирующие (непроводящие) помещения, зоны, площадки (ПУЭ 1.7.86, 1.7.89).

В качестве искусственных заземлителей применяются:

- Углублённые заземлители – полосы или круглая сталь, укладываемые горизонтально на дно котлована или траншеи в виде протяжённых элементов;
- Вертикальные заземлители – стальные ввинчиваемые или вбиваемые стержни диаметром 12-16 миллиметров, угловая сталь с толщиной стенки не менее 4 миллиметров или стальные трубы (некондиционные с толщиной стенки не менее 3,5 миллиметров). Длина ввинчиваемых электродов, как правило, 4,5-5 метров, забиваемых уголков, труб, стержней - 2,5-3метра. Верхний конец вертикального электрода должен быть на расстоянии 0,6-0,75 метров от поверхности земли (рисунок 10.1).

Расстояние от одного электрода до другого должно быть не менее его длины.

- Горизонтальные заземлители – стальные полосы толщиной не менее 4 миллиметров или круглая сталь диаметром не менее 10 миллиметров. Эти заземлители применяются для связи вертикальных заземлителей и как самостоятельные заземлители.

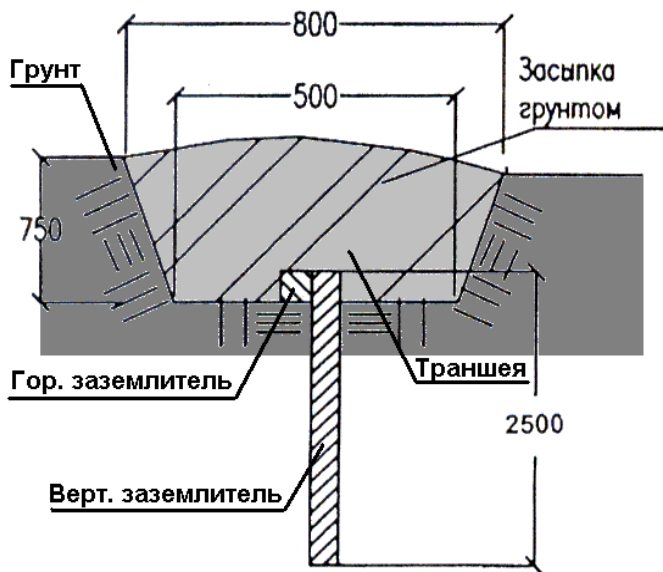


Рис. 10.1. Расположение вертикального и горизонтального электродов при заземлении.

Электроды и заземляющие проводники не должны иметь окраски, должны быть очищены от ржавчины, следов масла и т.п. В местах сварки металл защищается от коррозии с помощью покрытий из лака. Металлические части зданий должны быть объединены в единое целое для создания общего контура заземления. Соединение должно выполняться сваркой.

Расчет заземляющего устройства.

Сопротивление растеканию заземляющего устройства для однофазной сети 220 В, должно быть не более 4 Ом (ПУЭ-2009 1.7.92).

Для определения схемы заземляющего устройства произведен расчет согласно «Справочнику проектировщика электрических сетей и подстанций» П.М. Диченко, «Электротехническому справочнику» М. Круглянского.

Сопротивление заземляющего устройства определяется по формуле:

$$R_z = \frac{R_c * R_n}{R_c + R_n},$$

причем:

R_n – сопротивление протяжных заземлителей
$R_n = \frac{R_{np}}{\eta_n}; R_{np} = \frac{0,366}{l} * \rho * K_n * \ln \frac{2l^2}{b*t}, где$
R_{np} – сопротивление (Ом) полосового или круглого заземлителя; ρ – удельное сопротивление грунта; (таблица 10.1); K_n – коэффициент сезонности, $K_n = 1,5$ для Крыма (таблица 10.2); l – длина заземлителя в см; t – глубина заложения заземлителя в см; обычно (50-75 см); η_n – коэффициент использования (по таблице 10. 3).

R_c – сопротивление стержневых заземлителей
$R_c = \frac{R_0}{\eta_c * n}; R_0 = 0,00318 * \rho * K_c, где$
R_0 – сопротивление (Ом) стержневого заземлителя; ρ – удельное сопротивление грунта; (таблица 10.1); K_c – коэффициент сезонности, $K_c = 1,2$ для Крыма (таблица 10.2); η_c – коэффициент использования (по таблице 10.4); n – количество стержней.

Таблица 10.1

Рекомендуемые для приближенных расчетов средние значения удельного сопротивления грунта при влажности 10-20% к весу грунта.

<u>Слой земли (грунт)</u>	<u>Удельное сопротивление земли (Ом*см)</u>
Песок	$(4-7) \cdot 10^4$
Суглинок	$(0,5-1) \cdot 10^4$
Глина	$(0,4-0,7) \cdot 10^4$
Чернозем	$1 \cdot 10^4$

Таблица 10.2

Рекомендуемые сезонные коэффициенты K_c и K_n .

Тип заземлителя	Значения по климатическим зонам (зоны выбираются по СНиП «Климатология и геофизика»)			
	I	II	III	IV
Стержневые электроды длиной 1,8–5,0 м при глубине залегания 0,5–0,8 м; K_c в см	2,0	1,7	1,4	1,2
Для протяженных электродов на глубине 0,5-0,8 м рекомендуемый K_n	7,0	4,0	2,0	1,5

Таблица 10.3

Коэффициент использования полосы (η_p) для вертикальных заземлителей.

Для заземлителей, расположенных в ряд			Для заземлителей, расположенных по контуру		
Отношение расстояния к длине заземлителя a / l	Число электродов (стержневых) n	η_p	Отношение расстояния к длине заземлителя a / l	Число электродов (стержневых) n	η_p
2	4	0,890	2	4	0,550
	5	0,860		5	0,480
	8	0,790		8	0,430
	10	0,750		10	0,400
	20	0,569		20	0,320
	30	0,460		30	0,300

Таблица 10. 4

Коэффициент использования η_c для вертикальных заземлителей.

Для заземлителей, расположенных в ряд			Для заземлителей, расположенных по контуру		
Отношение расстояния к длине заземлителя a / l	Число электродов (стержневых) n	η_c	Отношение расстояния к длине заземлителя a / l	Число электродов (стержневых) n	η_c
2	2	0,910	2	4	0,780
	3	0,860		6	0,730
	5	0,810		10	0,680
	10	0,740		20	0,630
	15	0,690		40	0,580
	20	0,670		60	0,520

Числовой пример расчета заземляющего устройства

Этим расчетом предусматривается строительство жилого дома, расположенного по адресу: АРКрым, г. Симферополь. Согласно заданию предусматривается: защитное заземление и зануление.

Зануление корпуса вводного щита выполняется на нулевой провод ввода. Для обеспечения защитного и рабочего заземления металлический корпус вводного щита жилого дома соединяется при помощи сварки с контуром заземления. В качестве соединительного проводника используется стальная полоса 40х4 мм. В качестве стержневых заземлителей используется уголок, сталь угловая 50*50*5, длина L=2,5 м. Расстояния между вертикальными электродами (заземлителями) принимаются по 5 м, то есть $a=500$ см ($a=2*L$; для более высокого коэффициента использования.). Количество электродов равняется $n=6$ штук. В случае превышения допустимого значения сопротивления растеканию, необходимо будет принять большее количество электродов.

Сопротивление растеканию тока заземляющего устройства не должно превышать 4 Ом.

$$R_z = \frac{R_c * R_n}{R_c + R_n}$$

R_n – сопротивление протяжных заземлителей
$R_n = \frac{R_{np}}{\eta_n}$; $R_{np} = \frac{0,366}{l} * \rho * K_n * \log \frac{2l^2}{b*t}$, где
R_{np} – сопротивление в Омах полосового или круглого заземлителя, то есть стальной полосы 40х4 мм; $\rho=5000$ Ом*см – удельное сопротивление грунта в месте строительства (таблица 10.1); $K_n = 1,5$ – коэффициент сезонности для Крыма (таблица 10.2); $l = a \cdot (n-1) = 500 \cdot (6-1) = 2500$ см – длина заземлителя; $b=4$ см – ширина заземлителя; $t=75$ см – глубина заложения заземлителя; $\eta_n=0,837$ – коэффициент использования для 6 заземлителей, расположенных в ряд (таблица 10.3).

$$R_{np} = \frac{0,366}{2500} \cdot 5000 \cdot 1,5 \cdot \log \frac{2 \cdot 2500^2}{4 \cdot 75} = 5,07 \text{ Ом}$$

$$R_n = \frac{5,07}{0,837} = 6,06 \text{ Ом}$$

R_c – сопротивление стержневых заземлителей

$$R_c = \frac{R_0}{\eta_c \cdot n}; \quad R_0 = 0,00318 \cdot \rho \cdot K_c, \text{ где}$$

R_0 – сопротивление в Омах стержневого заземлителя, то есть уголка 50*50*5;

$\rho=5000 \text{ Ом*см}$ – удельное сопротивление грунта в месте строительства (таблица 10.1);

$K_c = 1,2$ – коэффициент сезонности для Крыма (таблица 10.2);

$\eta_c = 0,796$ – коэффициент использования для 6 заземлителей, расположенных в ряд (таблица 10.4);

$n = 6$ шт – количество стержней.

$$R_0 = 0,00318 \cdot 5000 \cdot 1,2 = 19,08 \text{ Ом}$$

$$R_c = \frac{19,08}{0,796 \cdot 6} = 3,99 \text{ Ом}$$

$$R_3 = \frac{6,06 \cdot 3,99}{6,06 + 3,99} = 2,4 \text{ Ом}$$

Полученное значение удовлетворяет требованиям ПУЭ.

Проектируемое заземляющее устройство расположено в ряд, состоит из 6 заземлительных электродов (50*50*5; l=2500 мм), соединенных горизонтальной стальной полосой (40*4 мм.) на глубине 750 мм с помощью сварки по всей длине внахлест, и присоединяемой к вводному щиту также с помощью сварки. Длина нахлестки 100 мм. План – схема заземляющего устройства показана на рис. 10.2.

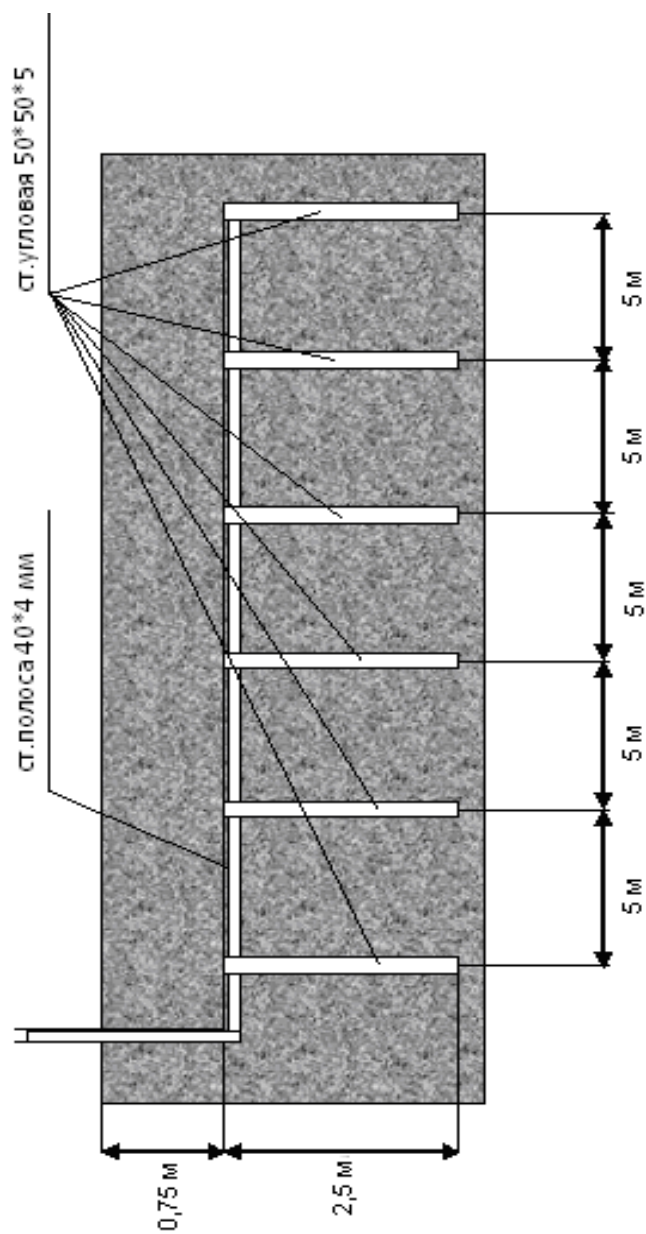


Рис. 10.2. План – схема заземляющего устройства

11. Литература

1. Источники электропитания РЭА. Справочник под ред. Г. С. Найвельта, М., «Радио и связь», 1986, 576 с. с ил.
2. Ирвинг М. Готтлиб «Источники питания. Инверторы, конверторы. Линейные и импульсные стабилизаторы». Пер. с англ., «Постмаркет», М., 2000.
3. И.И.Белопольский, Е.И.Каратникова, Л.Г.Тикалова. Расчет трансформаторов и дросселей малой мощности. М., Энергетика, 1973г.
4. Горюнов. Справочник по диодам стабилитронам, полупроводниковых приборам.
5. Бессонов Л.А. Теоретические основы элетктротехники. – Л.: Высшая школа, 1973. – 752 с.
6. Опорный лист силовых электронных модулей производителя Mitsubishi Electronics [<http://www.mitsubishichips.com/Global/common/cfm/eLineUp.cfm?FOLDER=/product/powermod>].

Содержание

1. Задание для расчета.....	3
2. Расчет освещения по методу удельной мощности.....	3
3. Расчет фотоэлектрической системы.....	7
4. Экономическое обоснование проекта гелиосистемы с фотоэлектрическими преобразователями.....	26
5. Расчёт инвертора.....	34
6. Расчёт импульсного стабилизатора напряжения мощностью 17кВт.....	39
7. Расчет тороидального трансформатора для инвертора мощностью 5 кВА.....	61
8. Устройство заряда-разряда аккумуляторных батарей.....	64
9. Подключение солнечных батарей через преобразователи к трехфазной системе.....	73
10. Расчет заземления.....	73
11. Литература.....	82

