



Солнечная энергетика

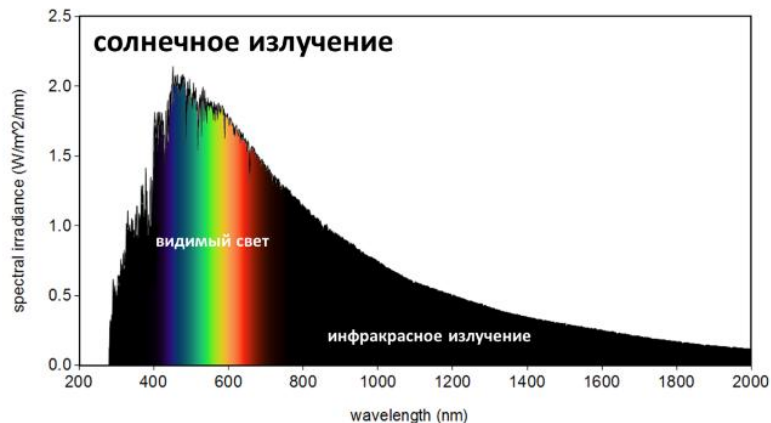
Дисциплина

Общая энергетика

доцент ОЭЭ

Шестакова Вера Васильевна

Почему невозможно сделать солнечную батарею с эффективностью в 100%?



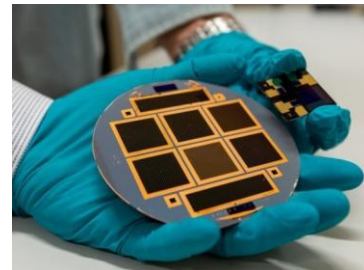
КПД солнечных батарей около 20%

Ограничения для СЭС:

- не работают ночью;
- малоэффективны в пасмурную погоду;
- сезонные различия в продолжительности дня для северных широт (день и ночь отличаются по длительности до 2,5 раз).

Куда теряются 70% солнечного излучения?

Тандемное устройство из перовскита и кремния.
Перовскитные фотоэл. модули – эффективны в ультрафиолетовом и видимом диапазонах.
Кремниевые – видимое и ИК излучение



Фотоэлемент из перовскита и кремния

Расчет мощности нагрузки по потребителям для выбора мощности альтернативных источников

<https://solar-e.ru/solarcalc/> Онлайн калькулятор солнечных батарей

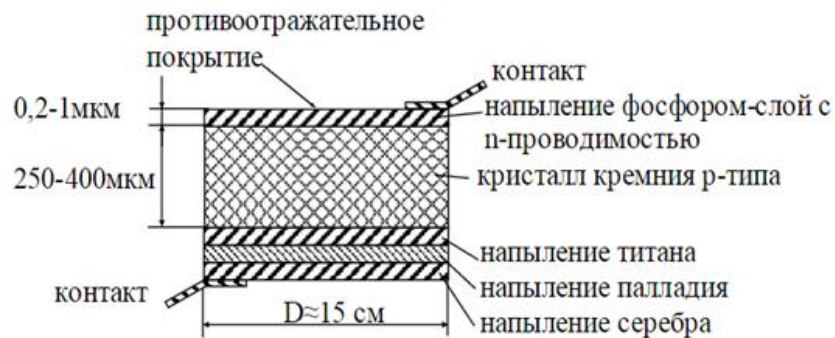
<input checked="" type="checkbox"/> Электrolампа	1	шт ×	60	Вт ×	5	часов	в сутки	0.30 кВт·ч в сутки
<input checked="" type="checkbox"/> Телевизор	1	шт ×	130	Вт ×	6	часов	в сутки	0.78 кВт·ч в сутки
<input type="checkbox"/> Холодильник	1	шт ×	100	Вт ×	6	часов	в сутки	
<input checked="" type="checkbox"/> Чайник	1	шт ×	2000	Вт ×	0,2	часов	в сутки	0.40 кВт·ч в сутки
<input checked="" type="checkbox"/> Микроволновка	1	шт ×	1500	Вт ×	0,2	часов	в сутки	0.30 кВт·ч в сутки
<input type="checkbox"/> Газ. котел	1	шт ×	200	Вт ×	6	часов	в сутки	
<input type="checkbox"/> Циркул. насос	1	шт ×	50	Вт ×	6	часов	в сутки	
<input checked="" type="checkbox"/> Компьютер	2	шт ×	350	Вт ×	3	часов	в сутки	2.10 кВт·ч в сутки
<input checked="" type="checkbox"/> Электроплита	1	шт ×	4000	Вт ×	2	часов	в сутки	8.00 кВт·ч в сутки
<input checked="" type="checkbox"/> Кофеварка	1	шт ×	1000	Вт ×	0,2	часов	в сутки	0.20 кВт·ч в сутки
<input checked="" type="checkbox"/> Стиральная машина	1	шт ×	1600	Вт ×	1,5	часов	в неделю	0.34 кВт·ч в сутки
<input checked="" type="checkbox"/> Утюг	1	шт ×	1500	Вт ×	2	часов	в неделю	0.43 кВт·ч в сутки

Средняя нагрузка **12.85** кВт·ч в сутки

Мощности солнечных модулей от 100 Вт до 560 Вт

Конструкция фотоэлемента

Фотоэлектрическая генерация – процесс прямого преобразования солнечного излучения в электрическую энергию на основе внутреннего фотоэффекта (воздействие на монокристаллический кремний электромагнитного излучения).

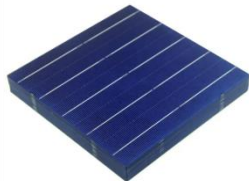


Титан – для низкоомного контакта с кремнием.

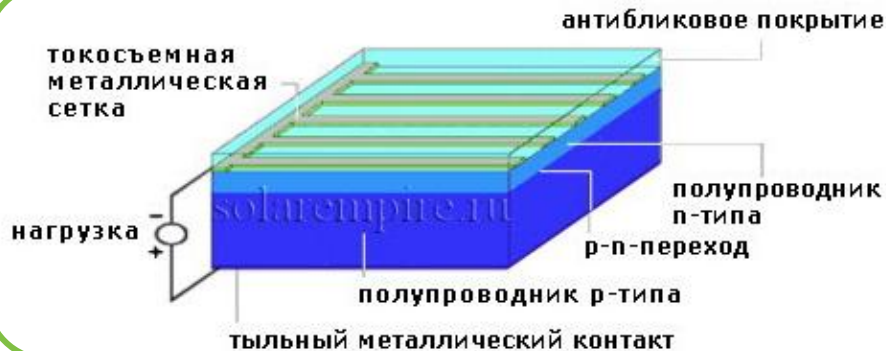
Палладий – предупреждение химического взаимодействия между титаном и серебром.

Серебро – образование токопроводящей сетки.

Конструкция фотоэлемента.
Размеры: 10x5, 15x15, 15x7.5 см.

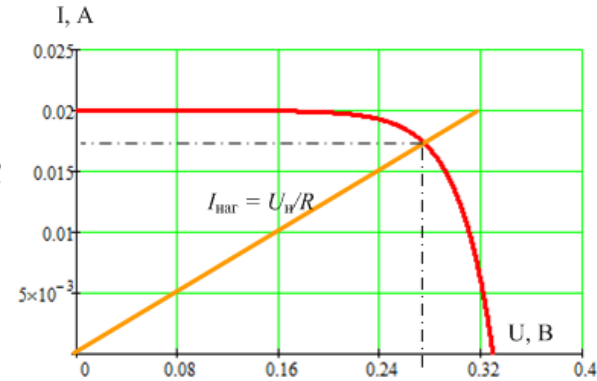
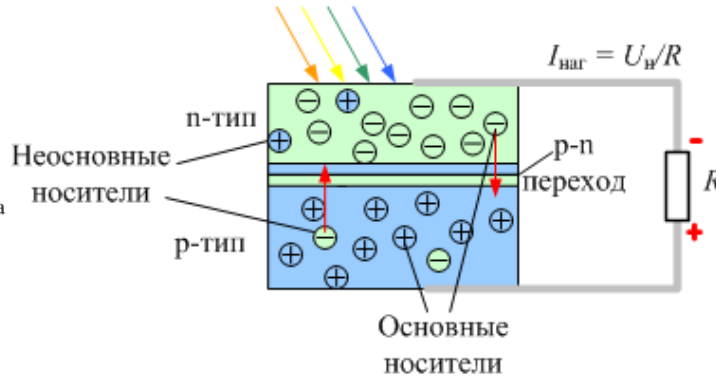
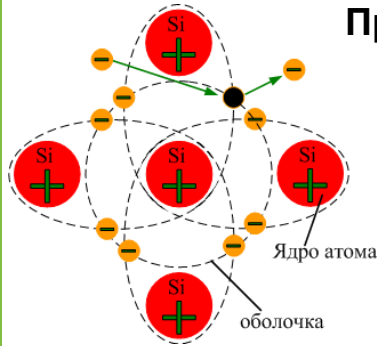


0,5 В, 2.5 Вт



Фотоэлектрическая генерация

Принцип действия полупроводникового фотоэлемента



ВАХ фотоэлемента

При облучении кремния фотонами с энергиями, больше энергии запрещенной зоны, $h\nu > E_g$, в кремнии появляются дополнительные свободные носители фотоэлектроны и фотодырки. Поток генерируемых светом носителей образует фототок.

$$I_{нар} = I_{\phi} - I_{неосн} \left(e^{\frac{eU_n}{kT}} - 1 \right)$$

I_{ϕ} – фототок

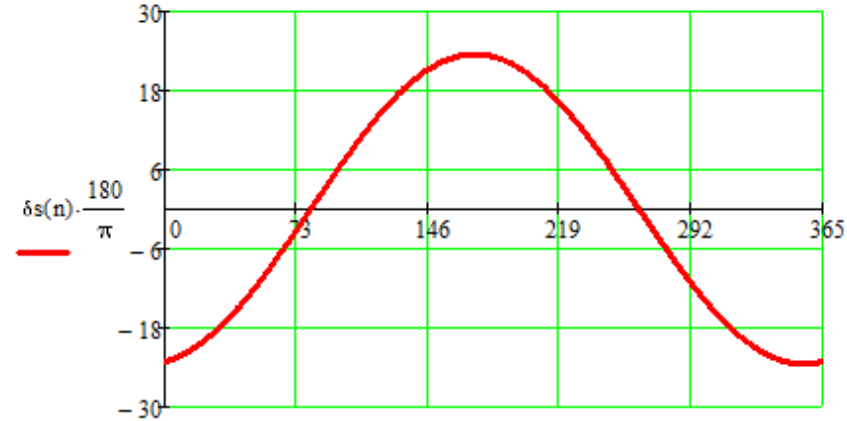
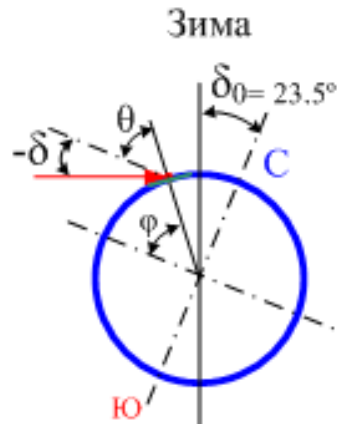
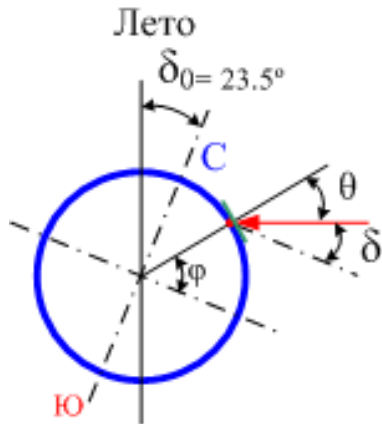
$I_{неосн}$ – ток неосновных носителей

$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана

T – температура фотоэлемента, К

Правила установки солнечных элементов



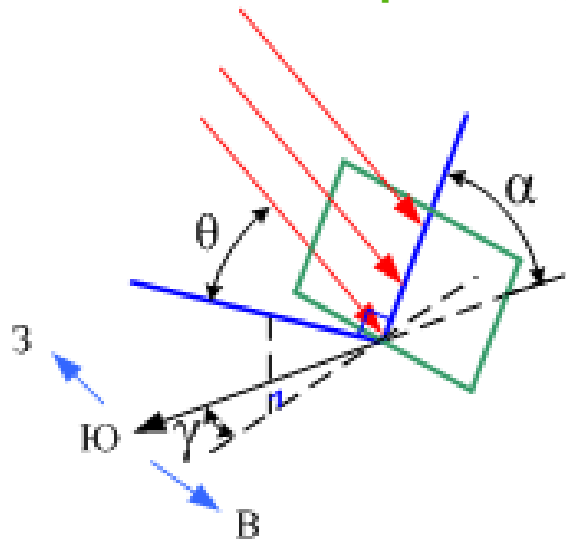
Зависимость угла падения лучей
от дня года

$\varphi = 56,4977$ – географическая широта г. Томска
(географические координаты $56^{\circ}29'19''$ с.ш. $84^{\circ}57'08''$ в.д.),
 δ – угол склонения Солнца в i -ый день от начала года, угол
между направлением к Солнцу и экваториальной
плоскостью планеты

$$\delta_i = \delta_0 \sin \left[360^{\circ} \frac{284 + n_i}{365} \right]$$

n_i – номер суток с начала года,
для 22 июня $n_i = 173$, для 22 декабря $n_i = 357$.
 $\delta_0 = 23^{\circ}27' = 23,45$ – среднее склонение Солнца для
северного полушария, обусловленное наклоном оси
вращения планеты.

Правила установки солнечных элементов



θ – угол между потоком солнечного излучения и нормалью к поверхности приемника

γ – азимут, угол между проекцией на горизонтальную плоскость нормали к поверхности панели и меридианом

α – угол наклона солнечной панели к горизонтальной плоскости

Облученность панели солнечным излучением H в основном определяется потоком коротковолнового излучения на единицу поверхности за промежуток времени

$$H \equiv \int E_{\text{кв}} \cos(\theta) dt \quad [\text{Дж/м}^2]$$

$E_{\text{кв}}$ – плотность прямого коротковолнового излучения, Вт/м²,

$\cos(\theta) = (A - B)\sin(\delta) + [C\sin(\omega) + (D + E)\cos(\omega)]\cos(\delta)$,
причем

$$A = \sin(\varphi) \cos(\alpha)$$

$$B = \cos(\varphi) \sin(\alpha) \cos(\gamma)$$

$$C = \sin(\alpha) \sin(\gamma)$$

$$D = \cos(\varphi) \cos(\alpha)$$

$$E = \sin(\varphi) \sin(\alpha) \cos(\gamma)$$

$\omega = 15^\circ(ts - 12)$ – часовой угол, это угол поворота земли с момента астрономического солнечного полдня, $ts = 13,33$ часа для г. Томска.

Задание 1

Солнечный модуль установлен на крыше дома в г. Томске. Угол наклона крыши $\alpha = 45^\circ$. Крыша дома произвольно ориентирована на 26° восточного направления (азимут $\gamma = -26^\circ$).

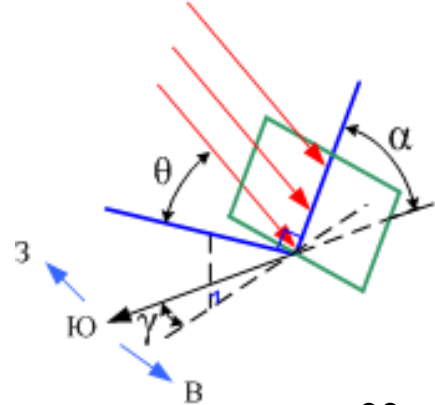
$$\cos(\theta) = (A - B)\sin(\delta) + [C\sin(\omega) + (D + E)\cos(\omega)]\cos(\delta)$$

При заданном расположении панели косинус угла падения солнечного излучения для 22 июня в астрономический ясный полдень по равен $\cos(\theta_1) = 0,792$, а 22 декабря при тех же условиях $\cos(\theta_2) = 0,602$.

1) Рассчитайте по $\cos(\theta_1)$ и $\cos(\theta_2)$ соответственно для 22 июня и 22 декабря при следующих условиях:

- солнечный модуль установлен под углом, равным географической широте местности $\alpha = \varphi$;
- модуль ориентирован строго на юг, $\gamma = 0$.

2) Во сколько раз изменится плотность прямого коротковолнового излучения $E_{\text{кв}} \cdot \cos(\theta)$ при $\alpha = \varphi$ и $\gamma = 0$?



Задание 2

1) Выберите необходимое количество модулей типа TDB125x125-96-P для строительства СЭС мощностью $P = 100$ кВт.



Солнечная батарея (панель) из 12 модулей

Монокристалл. Шунтирующие диоды. Устойчивость против ветра и града. Пониженная потеря света даже при тусклом освещении. Гарантия 25 лет			
Номинальная мощность, Вт	250	Рабочая температура, °C	-40 – +55
Номинальное напряжение, В	48,6	Вес, кг	29,5
Номинальный ток, А	5,15	Размеры модуля (96 фотоэлементов последовательно, 12 – параллельно), мм	1596 × 1596 × 46
Напряжение холостого хода, В	59,8	Размеры фотоэлемента (ячейки), мм	47 × 47
Ток короткого замыкания, А	5,38	КПД модуля, %	14,7
Максимальное напряжение системы, В	750		



Задание 2

2) Определите площадь и размеры территории, занимаемую солнечными модулями.

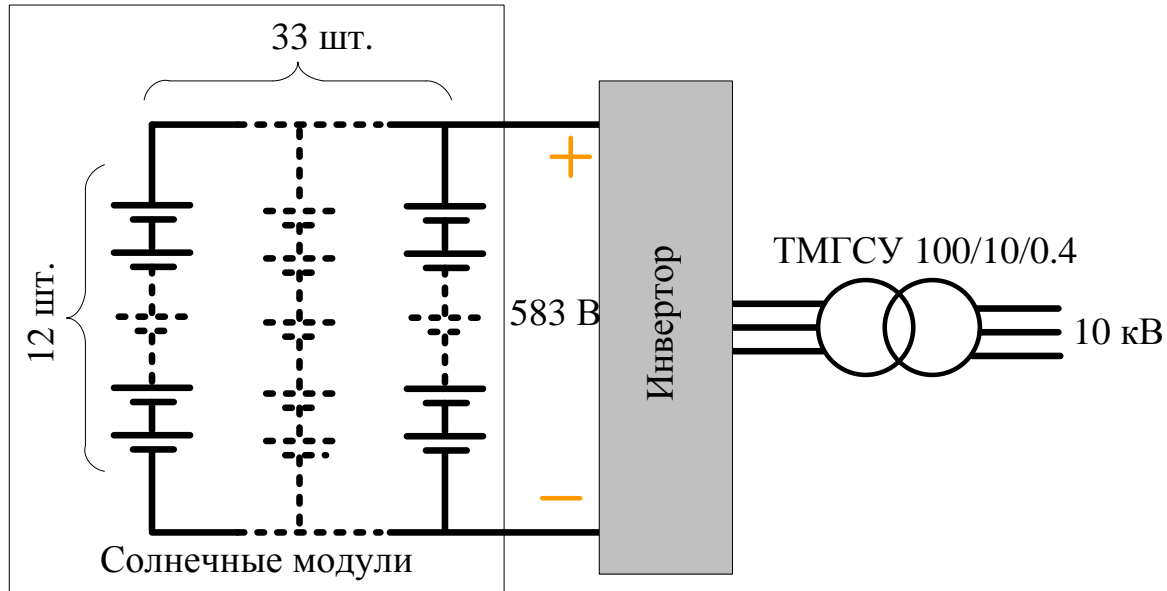
3) Определите фазное напряжение на выходе инвертора, фазный ток на выходе инвертора, мощность повышающего трансформатора. Выходное линейное напряжение обмотки ВН трансформатора – 10 кВ.

4) Нарисуйте электрическую схему СЭС мощностью $P = 100$ кВт с трехфазным мостовым инвертором и повышающим трансформатором.



Задание 2

Электрическая схема СЭС мощностью $P = 100$ кВт с трехфазным мостовым инвертором и повышающим трансформатором



Задание 3

Определите КПД преобразования солнечной энергии в фотопреобразователе

- $E = 200 \text{ Вт/м}^2$ – расчетной интенсивности солнечного излучения кВт/м^2 .
- $\Delta I = 40 \text{ А/м}^2$ – плотность тока фотоэлемента, А/м^2 ,
- $U = 0,5 \text{ В}$ – напряжение фотоэлемента, В .

Определите полный КПД энергоблока, если

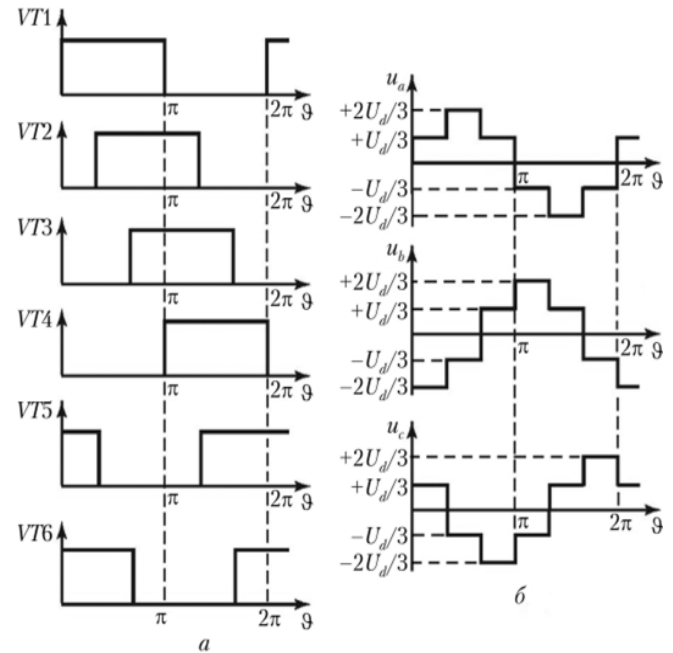
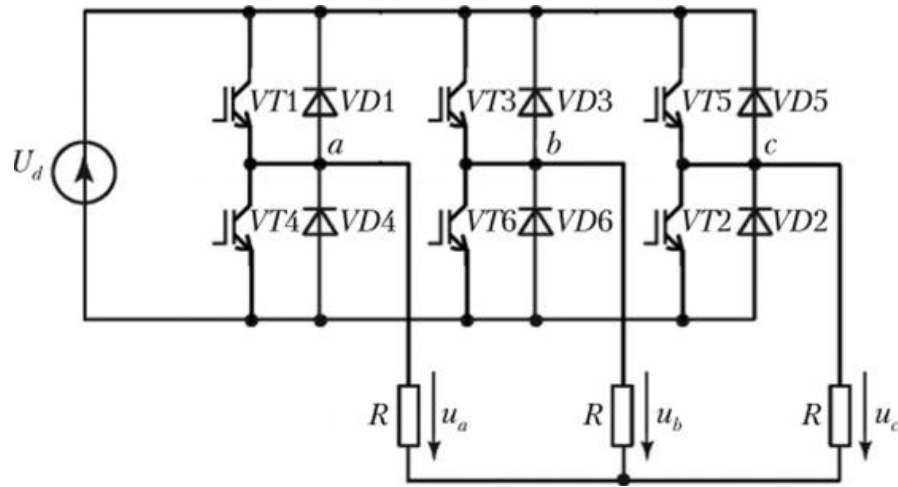
- КПД инвертора 99%,
- КПД трансформатора 99%

ВАХ фотоэлемента модуля

$G, \text{ кВт/м}^2$	$U, \text{ В}$	$\Delta I, \text{ А/м}^2$	$G, \text{ кВт/м}^2$	$U, \text{ В}$	$\Delta I, \text{ А/м}^2$
1,0	0,5	200	0,4	0,5	80
0,8	0,5	160	0,2	0,5	40
0,6	0,5	120			

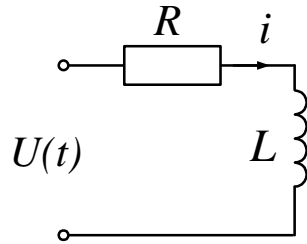
Как работает инвертор

$$U_{ab} = U_{bc} = U_{ca} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot U_d; \quad U_a = U_b = U_c = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot U_d$$



Трехфазный мостовой инвертор с активной нагрузкой

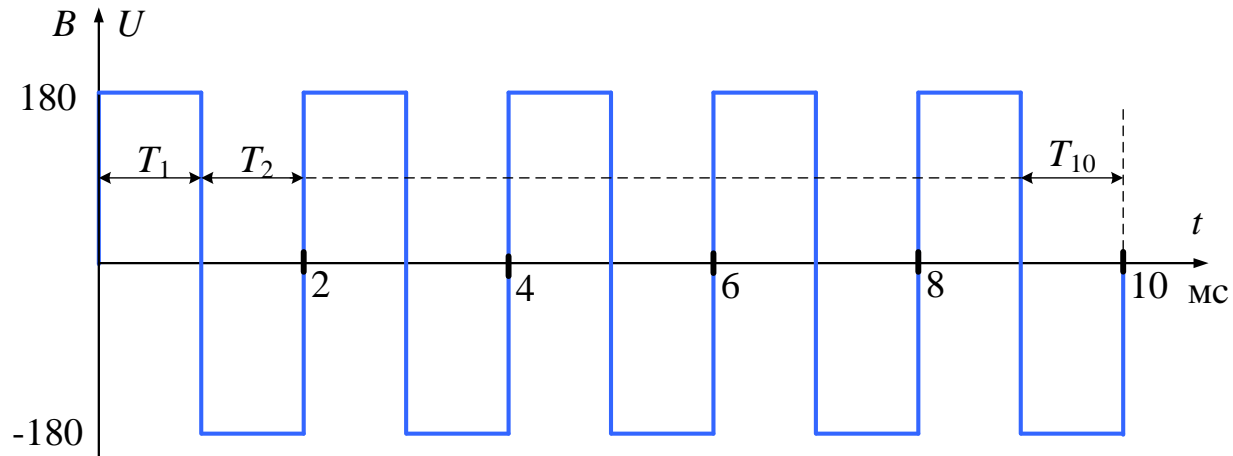
Как работает инвертор



Постройте график тока переходного процесса для интервала времени 0-10 мс.

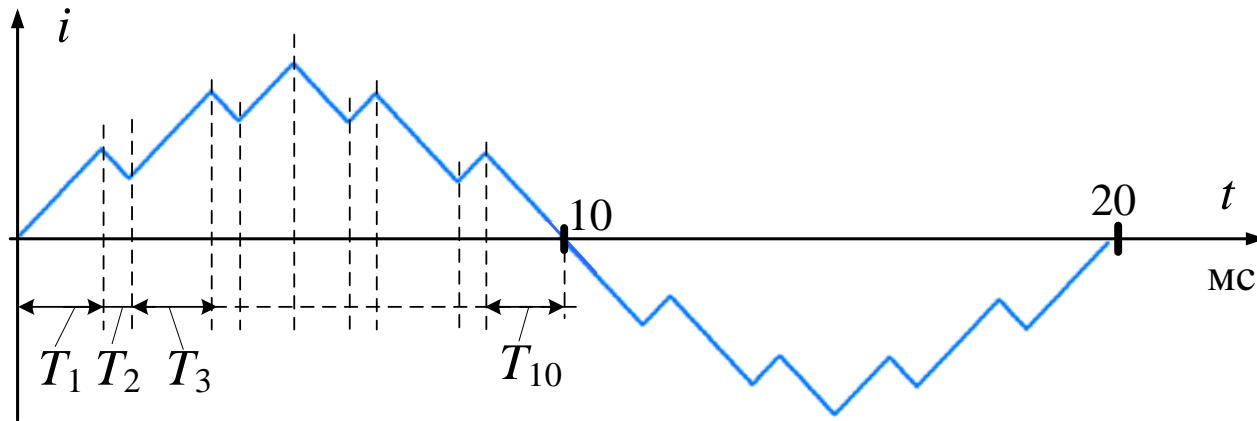
Схема цепи

$R = 10 \text{ Ом}$, $L = 0,001 \text{ Гн}$



Как работает инвертор

- Определите, при каких значениях R и L постоянная времени переходного процесса будет равна 0,2 с.
- Подберите длительности T_1, T_2, \dots, T_{10} прямоугольных импульсов напряжения такими, чтобы ток i переходного процесса представлял собой квазисинусоиду.
- Постройте график тока переходного процесса для интервала времени 0-10 мс.



Общий вид переменного квазисинусоидального тока на выходе ШИМ

Как работает частотный преобразователь

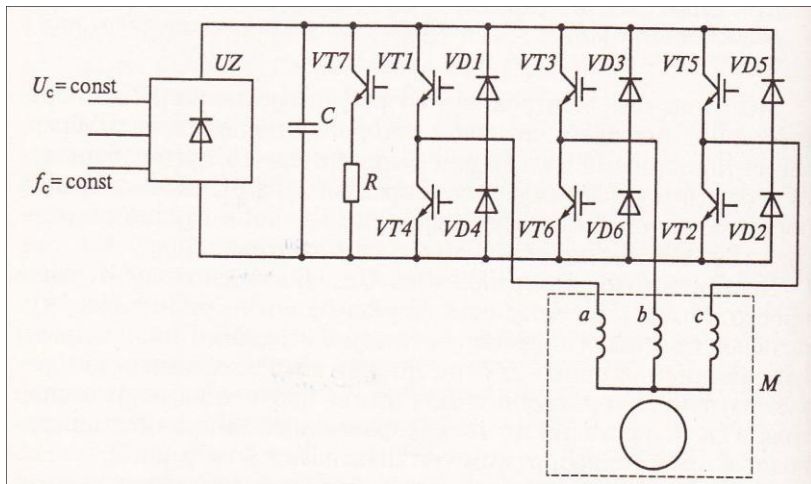
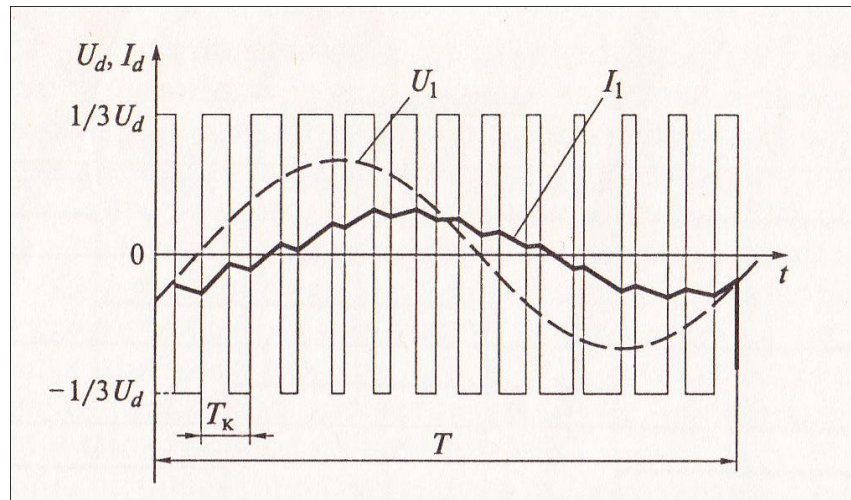


Схема частотного асинхронного электропривода с транзисторным инвертором напряжения



Принцип широтно-импульсной модуляции напряжения и тока фазы автономного инвертора напряжения

Солнечные системы для получения электроэнергии на основе термодинамического принципа

Размер до 30 м диаметром, получение **100-200 кВт** электрической энергии

$Q = Q_{\text{погл}} - Q_{\text{пот}}$ – тепловой поток, поступающий к теплоносителю

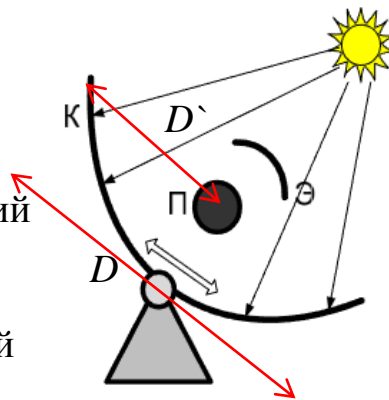
$Q_{\text{погл}} = \rho \alpha S E$ – энергия поглощения приемной трубкой П

ρ – коэф. отражения концентратора

α – коэф. поглощения приемника

$S = lD$ – площадь проекции концентратора

E – средняя плотность излучения, Вт/м²



Линейно-параболический концентратор
П – приемник, поглощает излучение,
Э – экран, уменьшает тепловые потери,
К – концентратор (параболическое зеркало, поворачивается вслед за Солнцем)

$$Q_{\text{пот}} = \varepsilon (\sigma T^4) \frac{D}{D'} r l$$

ε – коэф. излучения поверхности трубки

σ – постоянная Стефана-Больцмана

T – температура приемника

r – радиус трубки

Мощность бытовых приборов (потребление за 1 час)

Телевизор Led – **50-150 Вт**

Холодильник класса А – **100-300 Вт** (во время работы компрессора)

Ноутбук – **20-50 Вт**

Лампа энергосберегающая – **30 Вт**, Светодиодная **3-9 Вт**

Бойлер – **2000 Вт**

Роутер – **10-20 Вт**

Кондиционер – **700-900 Вт**

Эл. чайник – **1500 Вт.**

Микроволновка – **500-700 Вт**

Стиральная машина – **700-1000 Вт**

...

Рекомендуемая литература



1. Олешкевич, М. М. Нетрадиционные источники энергии : учебно-методическое пособие / М. М. Олешкевич. — Минск : БНТУ, 2016. — ISBN 978-985-550-548-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/248141> (дата обращения: 23.10.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Мартюшев, Д. А. Возобновляемые источники энергии : учебное пособие / Д. А. Мартюшев, П. Ю. Илюшин. — Пермь : ПНИПУ, 2015. — ISBN 978-5-398-01455-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/160508> (дата обращения: 23.10.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

