

§2 Второй отборочный этап

Второй отборочный этап проводится в командном формате в сети интернет, работы оцениваются автоматически средствами системы онлайн-тестирования. Продолжительность второго отборочного этапа — 3 месяца с учетом того, что задачи открываются участникам в онлайн-системе последовательно, на каждую задачу отводится 2 недели. Задачи носят междисциплинарный характер и в более простой форме воссоздают инженерную задачу заключительного этапа. Решение каждой задачи дает определенное количество баллов. Баллы зачисляются в полном объеме за правильное решение задачи в зависимости от значимости задачи для финального этапа.

Задачи по энергетике для 9 и 10-11 классов

1 задача. 17 баллов.

«Гибридная энергетическая установка»

Военный маяк, стоящий на острове, работает 7 часов каждый день и потребляет мощность 80 кВт. Оборудование маяка работает на напряжении 400 В. Маяк питается от гибридной энергетической установки, в состав которой входят дизельный генератор с номинальной мощностью 80 кВт, ветрогенератор с диаметром рабочего колеса 5 м и КИЭВ 0,32, а также две одинаковые батареи аккумуляторов. Каждые 30 дней проходящий мимо корабль завозит на остров 4000 л дизельного топлива. Удельный расход топлива дизельным генератором зависит от мощности, с которой он работает, согласно формуле

$$L = 34P^3 - 630P^2 + 312P$$

где L – удельный расход топлива, л/кВт·ч, P – доля мощности дизельного генератора от номинальной.

Дизель-генератор можно запрограммировать на работу только в двух режимах: с мощностью 100% от номинальной и с заданной в программе оптимальной мощностью.

Скорость ветра меняется в течение дня согласно таблице:

Скорость ветра, м/с	Доля времени суток, %
7,00	8,0
7,50	11,0

8,00	18,0
8,50	28,0
9,00	17,0
9,50	17,0
10,00	0,5
10,50	0,3
11,00	0,2

Батареи аккумуляторов служат независимым источником питания и могут обеспечивать часть потребностей маяка в электроэнергии. Они заряжаются от ветрогенератора и разряжаются, питая маяк, попеременно; автоматически переключаются один раз в сутки. В состав каждой батареи входят аккумуляторы, работающие на напряжении 80 В и рассчитанные на ток 50 А.

Может ли маяк проработать до прибытия корабля, если будет питаться только от дизельного генератора? Определите, сколько аккумуляторов должно входить в каждую батарею и как они должны быть соединены (последовательным, параллельным или групповым способом), чтобы к моменту прибытия корабля достигалось максимальное количество не израсходованного дизельного топлива. На какую оптимальную мощность необходимо запрограммировать дизельный генератор, чтобы обеспечивалось максимальное количество не израсходованного к прибытию корабля топлива?

Потерями электроэнергии в сети и на внутреннем сопротивлении батарей аккумуляторов пренебречь. Все ответы дать с точностью до десятых. Плотность воздуха считать равной $1,2 \text{ кг/м}^3$.

Решение:

Поскольку мощность дизельного генератора и маяка равны, то если маяк будет питаться только от дизельного генератора, то он должен работать на 100% мощности все время, пока работает маяк. Таким образом, до прибытия корабля он проработает 30 дней по 7 часов с мощностью 80 кВт и выработает $30 \cdot 7 \cdot 80 = 16800 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$. Удельный расход топлива согласно приведенной в условиях формуле при $P = 1$ составляет $L = 0,26 \text{ л/кВт}\cdot\text{ч}$, а общий расход топлива составит $0,26 \cdot 16800 = 4368 \text{ л}$. Таким образом, имеющегося до прибытия корабля топлива на работу маяка не хватит. Часть электроэнергии для работы маяка необходимо брать от батарей.

Для начала определим оптимальный режим работы дизельного генератора, при котором он будет потреблять минимальное количество топлива. Для этого найдем минимум приведенной в условиях функции удельного расхода топлива от мощности.

$$L = 34P^3 - 630P^2 + 312P$$

$$L' = 10,32P^2 - 12,60P + 3,12$$

$$10,32P^2 - 12,60P + 3,12 = 0$$

$$\begin{cases} P_1 = 0,875 \\ P_2 = 0,345 \end{cases}$$

Подстановка полученных значений мощности в формулу расхода топлива показывает, что минимуму отвечает значение $P_{\text{опт.}} = 0,875$, т.е. дизельный генератор должен работать с мощностью 87,5% от номинальной, или 70 кВт.

Каждая батарея аккумуляторов в свой день должна работать с мощностью 10 кВт в течение 7 часов, выдав за сутки, таким образом, 70 кВт·ч электроэнергии. Проверим, можно ли зарядить за сутки одну батарею от ветрогенератора так, чтобы она проработала необходимое количество часов с заданной мощностью.

Мощность ветрогенератора рассчитывается по формулам

$$N = \frac{\xi \rho F v^3}{2}$$

$$F = \frac{\pi d^2}{4}$$

где ξ - КИЭВ (коэффициент использования энергии ветра), ρ - плотность воздуха, F - площадь ветроколеса, d - диаметр ветроколеса, v - скорость ветра.

Используя эти формулы и данные о доли времени суток, в течение которого держится данная скорость ветра (данные из таблицы), получаем, что максимальная мощность, которую может развить ветрогенератор, составляет 5,015 кВт, и за сутки работы выработка составит примерно 56 кВт·ч. Это означает, что батарея разрядится до конца суток (до подключения второй батареи), и дизельный генератор должен в этот момент переключиться на работу на 100% номинальной мощности и выработать недостающие 14 кВт·ч электроэнергии.

Рассчитаем общий суточный расход топлива дизельным генератором. Для этого, подставив найденное значение $P_{\text{опт.}} = 0,875$ в формулу удельного расхода топлива, найдем, что минимальный удельный расход составляет $L_{\text{мин.}} = 0,211$ л/кВт·ч.

Если для поддержания оптимальной мощности дизельного генератора батарея аккумуляторов должна работать с мощностью 10 кВт, а ее общая энергоемкость составляет 56 кВт·ч, то батарея проработает 5,6 часа. В течение этого времени дизельный генератор будет работать на мощности 70 кВт, выработает 392 кВт·ч электроэнергии и израсходует на это 82,7 л топлива в сутки.

Оставшиеся 1,4 часа дизельный генератор проработает на 100% номинальной мощности, т.е. с мощностью 80 кВт и удельным расходом топлива $L = 0,26$ л/кВт·ч, выработает 112 кВт·ч и израсходует на это 29,12 л топлива. Общий расход топлива за сутки составит 111,82 л, за 30 дней – 3354,6 л топлива. Остаток к прибытию корабля будет составлять $4000 - 3354,6 = 645,4$ л дизельного топлива.

Наконец, определим, какими должны быть батареи аккумуляторов. Рассчитаем ток нагрузки:

$$I = \frac{W}{U}$$

где W – мощность нагрузки, U – рабочее напряжение нагрузки. Ток будет составлять 200 А. Поскольку и ток, и напряжение нагрузки больше, чем ток и напряжение одного аккумулятора, в батарее их необходимо соединить групповым способом.

Число параллельных групп:

$$m = \frac{I}{I_a}$$

где I_a – ток группы. Получается, в батарее должно быть 4 группы.

В каждой группе необходимо соединить последовательно

$$n = \frac{U}{E_0}$$

аккумуляторов, где E_0 – напряжение одного аккумулятора. Таким образом, в каждой группе должно быть 5 аккумуляторов, а общее количество аккумуляторов в каждой батарее должно составлять 20 штук.

Ответ

1. Не может
2. Групповым способом
3. 20 аккумуляторов
4. 70 кВт

2 задача. 4 балла

Мясокомбинат

В районе города построили небольшой круглосуточный мясокомбинат с двумя цехами, один цех является конвейерной лентой по разделке мяса, на конвейерной ленте установлены несколько электроприводов, потребление полной электрической мощности в этом цехе описывается следующей зависимостью:

$$S_1 = 726 \left(2 - \cos \left(\exp \left(\sin(\ln^3(t^2)) - \frac{1}{4} \right) \right) \right)$$

Где S_1 - потребление электрической мощности, t - время (от 1 ч. до 24 ч.)

Другой цех является камерой охлаждения с высоким количеством электроприводов для охлаждения мяса, потребление полной электрической мощности в этом цехе описывается следующей зависимостью:

$$S_2 = \cos \left(2 + \frac{1}{3} \cdot \cos \left(3 \cdot \exp \left(\sin(\ln^3(t^2)) - \frac{1}{4} \right) \right) \right)$$

Где S_2 - потребление электрической мощности, t - время (от 1 ч. до 24 ч.)

Так как электроприводы являются потребителями реактивной мощности, то они снижают общий коэффициент мощности на подключенной электростанции до 0,6. Данный коэффициент мощности не допустим, поэтому главному энергетнику мясокомбината поручили спроектировать компенсатор реактивной мощности.

Главный энергетик мясокомбината решил спроектировать компенсатор реактивной мощности на переключаемых конденсаторах. Было решено использовать конденсаторы с номиналом 10 мФ и напряжением 110 В, напряжение сети считать 220 В, частота сети

50 Гц. Так как потребление мощности изменяется в течении 24 часов, то необходимо спроектировать оптимальный компенсатор мощности с наименьшим числом переключающих ключей, и наименьшим среднеквадратичным отклонением реактивной мощности в сутки.

Потребляемая мощность электроприводов является чисто индуктивной, и другими реактивными сопротивлениями можно пренебречь. Ответ округлять до десятых

Требуется:

- 1) Определить минимальное и максимальное потребление реактивной мощности.
- 2) Определить, сколько конденсаторов всего нужно для компенсации максимальной реактивной мощности.
- 3) Определить, сколько ключей требуется для компенсатора мощности.

Решение

1) Для определения минимального и максимального потребления реактивной мощности требуется суммировать потребление полных электрических мощностей двух цехов:

$$S = S_1 + S_2 = 100 \left(2 + \sin \left(\ln \left(r^2 - \frac{1}{4} \right) \right) \right) + 100 \left(2 + \sin \left(\ln \left(r^2 + 100 \right) \right) \right)$$

Дальше требуется определить потребление реактивной мощности:

$$Q = S \cdot \sin(\varphi)$$

$$\varphi = \arccos(Q/S)$$

Итого реактивная мощность мясокомбината будет вычисляться следующим образом:

$$Q = \left(100 \left(2 + \sin \left(\ln \left(r^2 - \frac{1}{4} \right) \right) \right) + 100 \left(2 + \sin \left(\ln \left(r^2 + 100 \right) \right) \right) \right) \cdot \sin(\arccos(Q/S))$$

Для нахождения максимальной и минимальной реактивной мощности требуется или графически исследовать функцию, или найти ее производную и исследовать аналитически.

2) Максимальная реактивная мощность составляет 258,3 Вар, минимальная реактивная мощность составляет: $Q_{\min} = 159,6 \text{ Вр}$ соответственно найдем максимальное индуктивное сопротивление:

$$X_{L \max} = \frac{U^2}{Q_{\min}} = \frac{220^2}{159,6} = 303,2 \text{ Ом}$$

Зная индуктивное сопротивление, определим количество конденсаторов, которое требуется для компенсации данного сопротивления.

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = 15,2 \Omega$$

Зная сопротивление конденсатора, можно вычислить общее количество требуемых конденсаторов, но так как напряжение конденсатора в 2 раза меньше требуемого, то необходимо последовательное сопротивление конденсаторов, но так как при последовательном подключении конденсаторов емкость их снижается в 2 раза, и что бы скомпенсировать данное падение емкости, требуется подключить параллельно такую же пару конденсаторов, таким образом, что бы обеспечить сопротивление $X_C = 15,2 \Omega$ требуется 4 конденсатора, суммарное количество конденсаторов 80

3) Для определения минимального количества ключей, требуется распределить полученные конденсаторы по группам. В качестве опорного решения предлагается распределить их по следующему принципу:

Номер ключа	Количество конденсаторов	Реактивное сопротивление
1	4	15
2	8	30
3	16	60
4	24	120
5	24	120

Таким образом одно из оптимальных решений имеет ответ – 5 ключей.

3 задача. 18 баллов

Энергоэффективная колония

Руководство колонии землян на Фобосе решило вплотную заняться вопросом энергоэффективности.

Колония состоит из нескольких объектов, оснащенных солнечными батареями. Когда солнечные батареи не справляются, недостающую энергию объект берёт от общей электростанции.

По каждому объекту колонии есть журнал потребления и генерации, в котором каждая запись соответствует местным суткам (8 земных часов).

Напишите программу, по данным журналов определяющую максимальное энергопотребление всех объектов колонии от общей станции за одни местные сутки в течение последнего земного месяца (30 земных суток).

Входные данные

2*N строк по 90 чисел в каждой. Каждая пара строк дает информацию об одном объекте.

В строках с нечетными номерами перечислены величины потребления за каждые местные сутки.

В строках с четными номерами перечислены величины производства за каждые местные сутки.

Выходные данные

Требуется вывести одно число - максимальное потребление колонии за одни местные сутки в течение всего периода. Входные данные генерируются автоматически. Их нужно скачать и подать на вход написанной вами программы. Полученный ответ ввести в поле ввода.

Решение

Решение данной задачи обеспечивает следующий алгоритм (программа на языке Python):

```
cin = open("colony.in")
```

```
L = cin.readlines()
```

```
cin.close()
```

```
state = list(map(int, L[0].split()))
```

```
sign = -1
```

```
for c in L[1:]:
```

```
    x = list(map(int, c.split()))
```

```
    state = [state[i] + x[i] * sign for i in range(len(x))]
```

```
    sign = -sign
```

```
print (max(state))
```

4 задача. 100 баллов

Дополнительная задача

В изолированном от Единой энергетической системы (ЕЭС) промышленном городе зависимость потребляемой электрической мощности $P_1(t)$, МВт от времени суток t описывается следующей функцией:

$$P_1 = 1200 + 55 \cdot \left(\cos^3(4 \cdot t) + \frac{1}{\tan(6 \cdot t)} + 5 \cdot \sin\left(\frac{1}{2} \cdot t\right) \right)$$

Время t измеряется в часах и может принимать значения на промежутке от 1 ч. до 24 ч.

Коэффициент мощности в городе в силу его изолированности от ЕЭС не был предметом внимания энергетиков, и равнялся 0,6. В силу близости города к источникам сырья для производства кремния, инвесторы приняли решение построить в этом городе завод по производству кремния для солнечных батарей методом Чохральского. В силу дефицита мощности для обеспечения завода, город был соединен с ЕЭС. Зависимость потребляемой заводом электрической мощности $P_2(t)$, МВт от времени суток t описывается следующей функцией:

$$P_2 = 400 + 50 \cdot \left(\frac{\sin(t)}{1 - \cos(t)} \right)$$

После строительства и пуска завода коэффициент мощности завода равнялся 0,7, и было принято решение установить на заводе локальный компенсатор реактивной мощности на основе синхронных электрических машин. При его проектировании подрядчик допустил ряд существенных ошибок, в связи с чем в ночные часы (22:00 – 7:00) синхронные машины обеспечивают компенсацию реактивной мощности завода в двойном количестве, а в дневные часы (7:00 – 22:00) не работает совсем.

Поскольку город с заводом подключены к ЕЭС, возникает потребность в повышении коэффициента мощности. Спроектируйте компенсатор реактивной мощности для энергосистемы, включающей город и завод, на переключающихся конденсаторах. Номинальное напряжение конденсаторов равняется напряжению сети 220 В, а емкость одной батареи конденсаторов равняется 1,43 мкФ.

Потребляемая реактивная мощность является чисто индуктивной, и другими реактивными сопротивлениями можно пренебречь.

При проектировании вам необходимо рассчитать и указать в ответе следующие параметры:

1). Количество N конденсаторов, используемых в компенсаторе реактивной мощно-

сти.

2). Количество M ключей, используемых в компенсаторе реактивной мощности.

3). Среднеквадратичное отклонение реактивной мощности в энергосистеме, включающей город и завод, от нуля. Ответ с точностью до сотых.

4). Таблицу истинности ключей в приведенном формате:

S_n	...	S_2	S_1	Час
0/1	0/1	0/1	0/1	1
0/1	0/1	0/1	0/1	2
0/1	0/1	0/1	0/1	3
0/1	0/1	0/1	0/1	4
0/1	0/1	0/1	0/1	...
0/1	0/1	0/1	0/1	24

Где 0 – ключ выключен, 1 – ключ включен.

5). Таблицу распределения ключей:

Ключ	Конденсаторы	Реактивная мощность
S_1	N_1	Q_1
S_2	N_2	Q_2
...
S_n	N_m	Q_k

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Задача считается верно решенной, если верно указан ответ на вопрос 1 и при этом указанное в решении среднеквадратичное отклонение совпадает с отклонением, рассчитанным проверяющим на основании приведенных в решении таблиц истинности ключей и таблицы распределения ключей. Если задача решена неверно, балл за задачу равен 0

Решение: необходимо построить оба графика потребления, и выделить реактивную мощность с учетом коэффициента мощности:

График S1 (синий) – согласно задачи

График Q1 (красный) – получен перемножением S1 на $\sin(\arccos(0,6))$

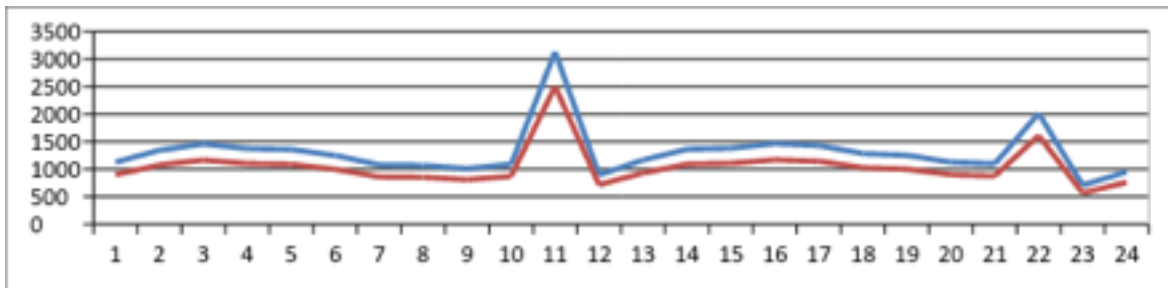
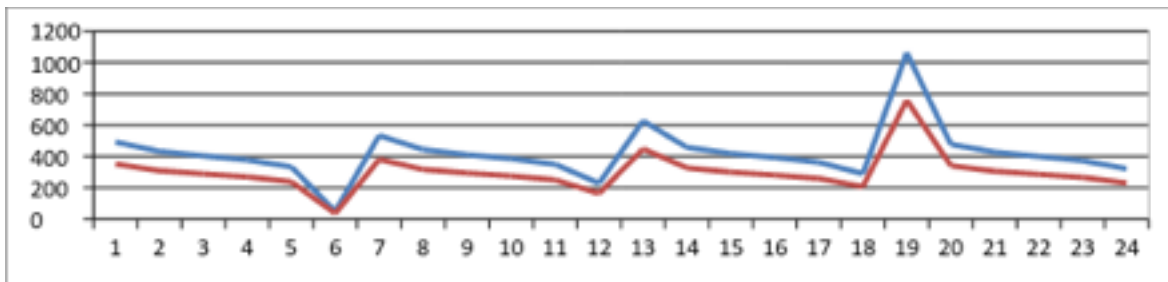


График S2 (синий) - согласно задачи

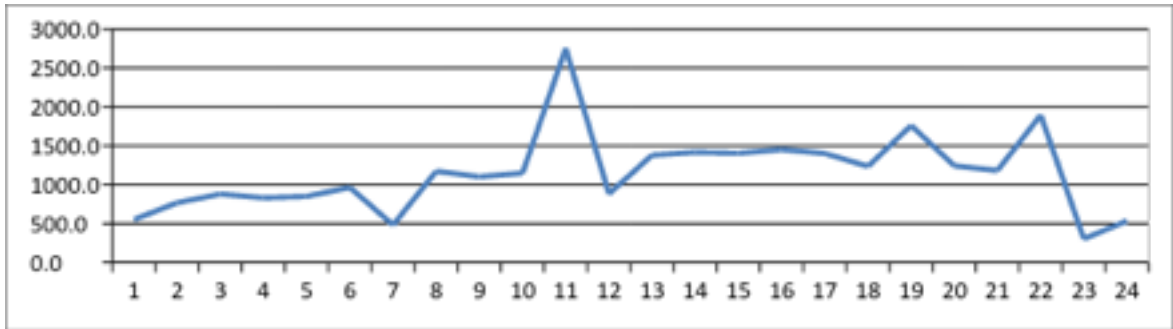
График Q2 (красный) – получен перемножением S2 на $\sin(\arccos(0,7))$



Затем необходимо сложить два графика Q1 и Q2 согласно условиям работы:

- Компенсатор реактивной мощности компенсирует реактивную мощность завода в ночные часы (22:00 - 6:00) в удвоенном количестве.
- В дневные часы (7:00 – 21:00), компенсатор реактивной мощности отключается полностью.

Результат сложения:



2) Из полученного графика необходимо найти максимальное потребление реактивной мощности:

$$Q_{\max} = 2755,1 \text{ Вар}$$

3) Необходимо найти компенсируемую мощность 1 конденсатора:

$$Q_c = U^2 \cdot 2 \cdot C \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50$$

$$Q_c = 21,7 \text{ Вар}$$

4) Зная мощность 1 конденсатора, можно найти максимальное количество требуемых конденсаторов:

$$N = \frac{Q_{\max}}{Q_c}$$

$N = 126,7$, округляем до целых и получаем 127 конденсаторов.

5) Для оптимального распределения конденсаторов по ключам стоит пользоваться распределением согласно двоичному исчислению, т.е. на каждый следующий ключ будет приходиться 2^n конденсатора, где n – номер ключа.

Получается следующая таблица истинности:

Ключ	Конденсаторы	Реактивная мощность
S1	1	21,7
S2	2	43,5
S3	4	86,9
S4	8	173,9
S5	16	347,7
S6	32	695,4

S7	64	1390,9
----	----	--------

Получается, что ключей должно быть 7.

б) Зная расположения конденсаторам составим таблицу истинности:

S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	В р е м я
0	0	1	1	0	0	1	1
0	1	0	0	0	1	1	2
0	1	0	1	0	0	0	3
0	1	0	0	1	1	0	4
0	1	0	0	1	1	1	5
0	1	0	1	1	0	0	6
0	0	1	0	1	1	0	7
0	1	1	0	1	1	0	8
0	1	1	0	0	1	1	9
0	1	1	0	1	0	1	10
1	1	1	1	1	1	1	11
0	1	0	1	0	0	1	12
1	0	0	0	0	0	0	13
1	0	0	0	0	0	1	14
1	0	0	0	0	0	1	15
1	0	0	0	0	1	1	16
1	0	0	0	0	0	1	17
0	1	1	1	0	0	1	18
1	0	1	0	0	0	1	19
0	1	1	1	0	0	1	20
0	1	1	0	1	1	0	21
1	0	1	0	1	1	1	22

0	0	0	1	1	1	0	23
0	0	1	1	0	0	1	24

Получается следующая таблица со значениями:

Q	Q _{компенсатора}	Q _{итог}
551,0	543,3	7,7
767,2	760,6	6,6
879,0	869,3	9,7
831,5	825,8	5,6
849,9	847,6	2,4
964,9	956,2	8,7
481,8	478,1	3,7
1172,2	1173,6	-1,4
1103,5	1108,4	-4,9
1148,6	1151,8	-3,3
2755,1	2760,0	-4,9
882,3	891,0	-8,8
1381,5	1390,9	-9,4
1417,7	1412,6	5,1
1405,1	1412,6	-7,5
1452,6	1456,1	-3,4
1402,6	1412,6	-10,0
1235,4	1238,8	-3,4
1762,3	1760,3	2,0
1242,7	1238,8	3,9
1183,5	1173,6	9,9
1897,1	1890,7	6,4
302,8	304,3	-1,5

534,1	543,3	-9,2
-------	-------	------

Найдем среднее квадратичное отклонение итоговой реактивной мощности согласно формуле:

$$CKO = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Q_i^2}{n}}$$

$$CKO=6,4$$