

МАНЕВРИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ

1. Постановка задачи
2. Горизонтальное маневрирование
3. Вертикальное маневрирование

Часть 1. Горизонтальное маневрирование

1. Постановка задачи

Маневрирование электропотреблением - совокупность организационно-технических и технико-экономических мероприятий, имеющих целью отработку вынужденного графика электропотребления без снижения и изменения номенклатуры продукции, выпускаемой предприятием

В настоящее время возможны два пути решения проблемы отработки вынужденных графиков нагрузки:

1. *энергосистема задает ограничения* по мощности в часы максимума своей нагрузки и лимит энергии на фиксированный период времени;
2. *энергосистема задает вынужденный график электропотребления* на весь период времени.

Так как объектом управления является график нагрузки, представленный на декартовой плоскости, то математически задачу маневрирования удобно свести к задаче изменения координат этого графика.

При этом различают:

- вертикальное маневрирование (по оси ординат);
- горизонтальное маневрирование (по оси абсцисс);
- декартово маневрирование (по декартовой плоскости).

2. Горизонтальное маневрирование

2.1. Принцип горизонтального маневрирования

Принцип горизонтального маневрирования нагрузкой заключается в следующем:

при сохранении расхода электроэнергии на технологический процесс, снижения максимума нагрузки и уменьшения потерь электроэнергии в сетях можно достичь путем размещения во времени индивидуальных графиков нагрузок электроприемников, при котором групповой график нагрузки будет иметь минимальную неравномерность.

Выравнивание совмещенного графика нагрузки при этом достигается не за счет изменения формы индивидуальных графиков отдельных электроприемников, а за счет их смещения один относительно другого, т.е. горизонтального смещения по оси времени

2.2. Критерий неравномерности графика нагрузки

Расчеты по организации совместного режима работы группы электроприемников с целью выравнивания совмещенного графика нагрузки при горизонтальном маневрировании основываются на теории корреляции электрических нагрузок и сводятся к определению порядка (последовательности) включения во времени отдельных электроприемников в группе, а также временных интервалов (сдвигов), через которые они включаются.

Неравномерность нагрузки $p(t)$ характеризуется дисперсией DP :

$$DP = P_{\text{СК}}^2 - P_{\text{с}}^2$$

где $P_{\text{с}}$, $P_{\text{СК}}$ – средняя и среднеквадратичная мощность графика $p(t)$, кВт

Дисперсия группового графика нагрузки n электроприемников определяется суммой двух составляющих – *независимой* от размещения во времени отдельных графиков нагрузки и *корреляционной*, обусловленной взаимным расположением индивидуальных графиков:

$$DP(t_{12}, \dots, t_{1n}, \dots, t_{n-1,n}) = \sum_{j=1}^n Dp_j + 2 \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ i < j}} k_{P_{ij}}(t_{ij})$$

где Dp_j – дисперсия j -го графика нагрузки $p_j(t)$;

$k_{P_{ij}}(t_{ij})$ – взаимокорреляционная функция графиков нагрузки i -го и j -го электроприемников $p_i(t)$ и $p_j(t)$;

t_{ij} – сдвиг во времени между графиками (моментами включения) электроприемников $p_i(t)$ и $p_j(t)$.

ВКФ двух графиков нагрузки p_a и p_b

$$kP_{ab}(t_{ab}) = \frac{Dp_{ab}(t_{ab}) - (Dp_a + Dp_b)}{2}$$

где Dp_a , Dp_b – дисперсии графиков нагрузки p_a и p_b ;
 $Dp_{ab}(t_{ab})$ – дисперсия совмещенного графика нагрузки $p_a + p_b$
при смещении по оси времени графика p_b на интервал t_{ab}
относительно графика p_a .

ВКФ двух графиков нагрузки численно характеризует изменение равномерности суммарного графика $P_{ab}(t_{ab}) = p_a(t) + p_b(t)$ при смещении момента включения (а, следовательно, и всего графика) электроприемника с графиком $p_b(t)$ относительно $p_a(t)$.
Наименьшее значение $kP_{ab}(t_{ab})$ соответствует наибольшей равномерности $P_{ab}(t_{ab})$.

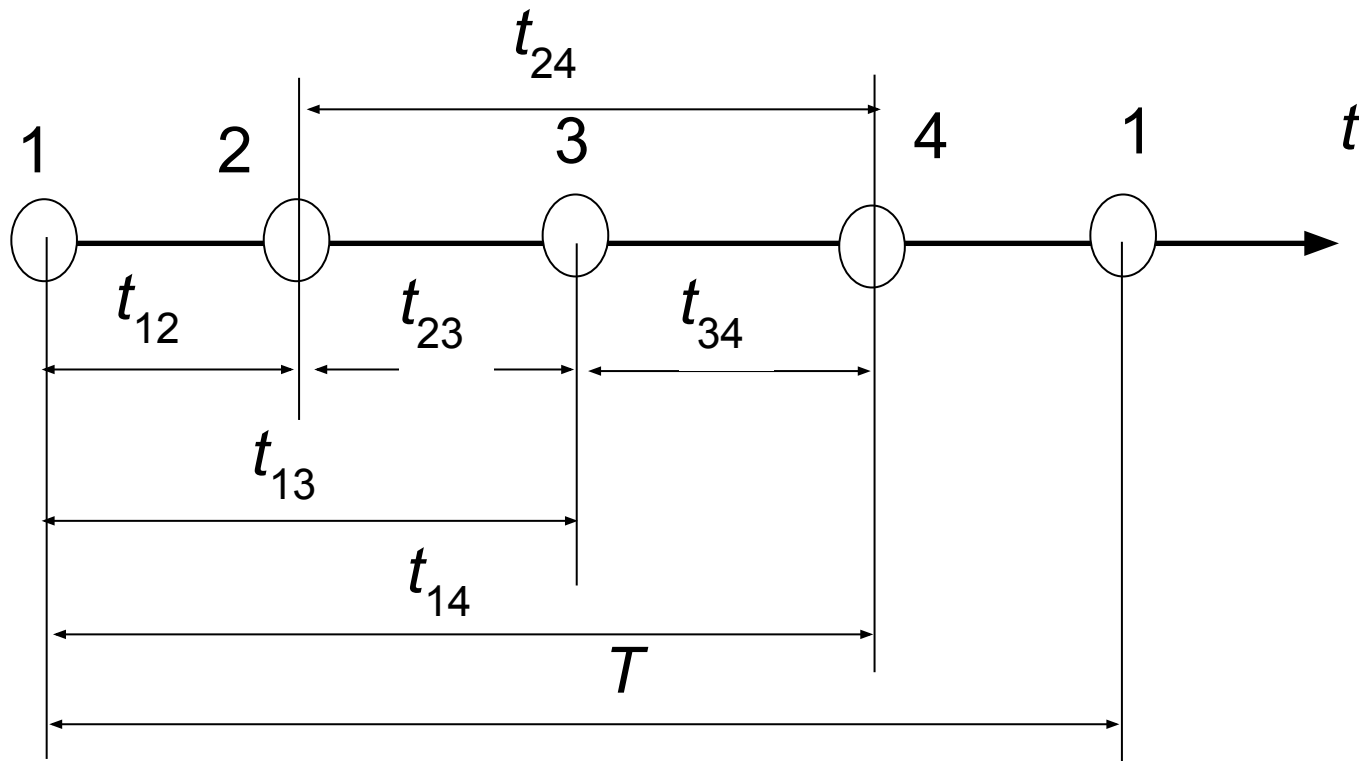
Решение задачи выравнивания группового графика нагрузки состоит в определении сдвигов t_{ij} между моментами включения электроприемников, приводящих к минимуму корреляционной составляющей дисперсии совмещенного графика нагрузки:

$$D_{\text{к}}(t_{ij}) = 2 \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ i < j}} k p_{ij}(t_{ij}) \rightarrow \min$$

2.3. Определение оптимальных смещений графиков нагрузки

Т. к. задание некоторых сдвигов t_{ij} может влиять или полностью определять возможные значения других сдвигов, то все сдвиги качественно делятся на:

- *независимые* $t_{H3} = 0 \div T,$
- *ограниченно зависимые* $t_{O3} = t_{H3} \div T,$
- *зависимые* $t_3 = \sum t_{H3} + \sum t_{O3}$



Если в группе из $n = 4$ электроприемников принять

независимыми - t_{12} , t_{13} и t_{14} ,

то **зависимые** - $t_{23} = t_{13} - t_{12}$, $t_{34} = t_{14} - t_{13}$, $t_{24} = t_{14} - t_{12}$.

Если принять

независимым t_{12} ,

то **огр-зависимые** $t_{23} = t_{12} \div T$, $t_{34} = (t_{12} + t_{23}) \div T$,

зависимые $t_{13} = t_{12} + t_{23}$, $t_{24} = t_{23} + t_{34}$, $t_{14} = t_{12} + t_{23} + t_{34}$

Алгоритм поиска значений t_{ij}

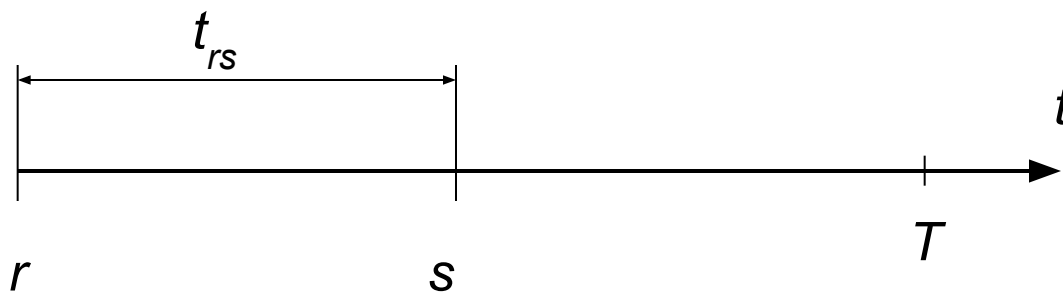
- заключается в пошаговом формировании совмещенного графика нагрузки из N индивидуальных графиков, причем на каждом шаге дисперсия совмещенного графика DP должна убывать с максимальной скоростью:

1. Рассчитывается множество ВКФ графиков нагрузок для всех пар электроприемников $\{kp_{ij}(t_{ij})\}$, $i = 1 \div N-1; j = 1 \div N; i < j$.

2. Из множества $\{kp_{ij}(t_{ij})\}$ выбирается ВКФ для электроприемников r, s для которой ВКФ имеет наименьшее значение при некотором сдвиге t_{rs}

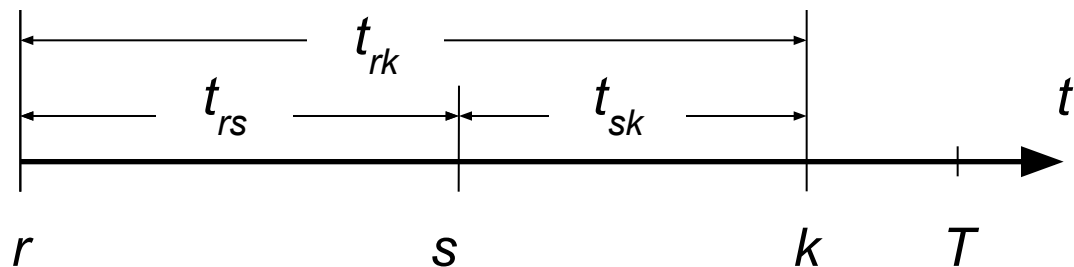
$$kp_{rs}(t_{rs}) = \min \{kp_{ij}(t_{ij})\}$$

3. На ось времени наносятся моменты включения электроприемников с номерами r и s , отстоящими друг от друга на интервал (сдвиг) t_{rs} .



4. Для каждого из оставшихся $K=N-2$ электроприемников выполняется следующая процедура:

4.1. На ось времени условно наносится момент включения k -го электроприемника, $k=1\div K$, и определяются независимые и зависимые сдвиги с учетом наличия на оси времени моментов включения других электроприемников ;



4.2 Для независимых сдвигов задается ряд возможных значений в диапазоне $[0 \div T]$ и рассчитываются значения соответствующих зависимых сдвигов;

$$t_{rk} = [0 \div T] \quad \text{– независимый;}$$

$$t_{sk} = t_{rk} - t_{rs} \quad \text{– зависимый;}$$

4.3. Для текущей группы электроприемников, представленной на оси времени, определяется множество сумм взаимокорреляционных моментов для каждого значения независимого сдвига:

$$S_k(t_{rk}) = kp_{rs}(t_{rs}) + kp_{rk}(t_{rk}) + kp_{sk}(t_{sk})$$

4.4. Из множества $S_k(t_{rk})$ выбирается минимальное значение и помещается в массив

$$S^{min} = \{S_k^{min}\}$$

4.5. Повторяются пп. 4.1-4.4 для других электроприемников.

5. Из множества значений минимальных сумм взаимокорреляционных моментов

$$S^{min} = \{S_1^{min}, S_2^{min}, \dots, S_{N-2}^{min}\}$$

выбирается минимальная, соответствующая некоторому электроприемнику с номером k^{min} , а на оси времени фиксируется момент включения этого электроприемника в соответствии со значениями независимых и зависимых сдвигов t_{rk}^{min} , t_{sk}^{min} ;

6. Повторяются пп.4-5 для оставшихся графиков до тех пор, пока моменты включения для всех электроприемников не будут размещены на оси времени

ПРИМЕР.

Рассмотрим работу трех электроприемников a , b , c , графики которых, осредненные на шести интервалах времени, приведены в табл.

Интервал	Мощность, кВт			
	P_a	P_b	P_c	$P_{abc} = P_a + P_b + P_c$
1	30	20	10	60
2	50	35	15	100
3	70	63	7	140
4	70	57	13	140
5	40	37	3	80
6	60	48	12	120

Дисперсия совмещенного графика нагрузки P_{abc} является функцией трех переменных t_{ab} , t_{ac} , t_{bc} – сдвигов между исходными графиками нагрузок электропримеников:

$$DP_{abc}(t_{ab}, t_{ac}, t_{bc}) = DP_a + DP_b + DP_c + \\ + 2 \cdot [kp_{ab}(t_{ab}) + kp_{ac}(t_{ac}) + kp_{bc}(t_{bc})]$$

Максимум равномерности будет достигаться при минимальном значении корреляционной составляющей дисперсии Dk :

$$Dk(t_{ab}, t_{ac}, t_{bc}) = 2 \cdot [kp_{ab}(t_{ab}) + kp_{ac}(t_{ac}) + kp_{bc}(t_{bc})]$$

Расчет ВКФ графиков нагрузки P_a и P_b

Интервал	Мощность, кВт		Сдвиг t_{ab}						
	P_a	P_b	0	1	2	3	4	5	6
i									
1	30	20	50	70	90	90	60	80	50
2	50	35	85	105	105	75	95	65	85
3	70	63	133	133	103	123	93	113	133
4	70	57	127	97	117	87	107	127	127
5	40	37	77	97	67	87	107	107	77
6	60	48	108	78	98	118	118	88	108
Pc^2 , кВт ²	2844,44	1877,78	9344,4	9344,4	9344,4	9344,4	9344,4	9344,4	9344,4
Pck^2 , кВт ²	3066,67	2086,00	10189, 33	9752,6 7	9586,0 0	9652,6 7	9682,6 7	9786,0 0	10189, 33
DP , кВт ²	222,22	208,22	844,89	408,22	241,56	308,22	338,22	441,56	844,89
kp , кВт ²			207,22	-11,11	-94,44	-61,11	-46,11	5,56	207,22

Значения ВКФ графиков нагрузки при различных сдвигах

$k_p,$ кВт ²	Сдвиг t_{ij}						
	0	1	2	3	4	5	6
ab	207, 22	-11,1 1	-94,4 4	-61,1 1	-46,1 1	5,56	207, 22
ac	15,0 0	-16,6 7	50,0 0	-16,6 7	1,67	-33,3 3	15,0 0
bc	-1,00	-6,83	41,3 3	-3,00	-7,00	-23,5 0	-1,00

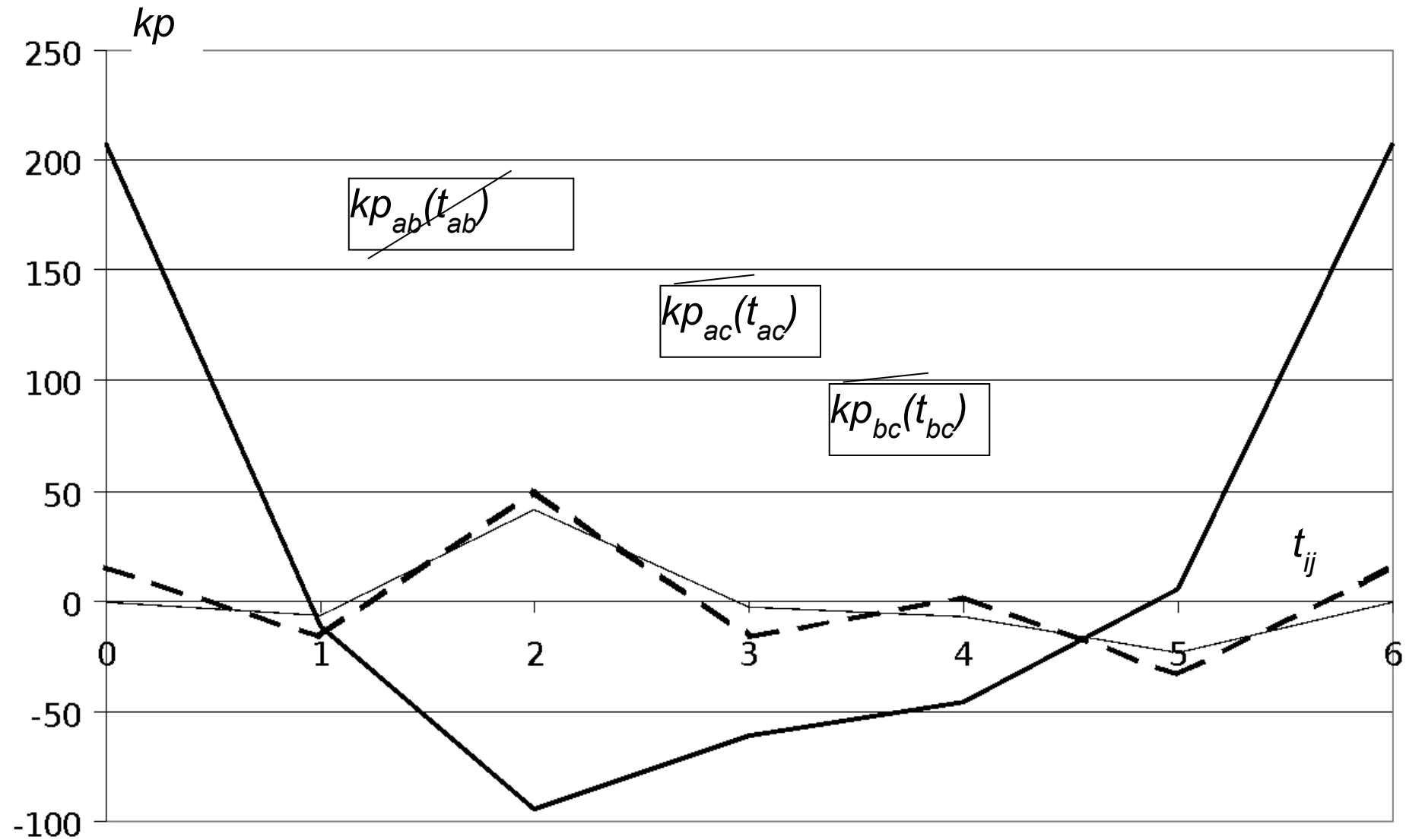
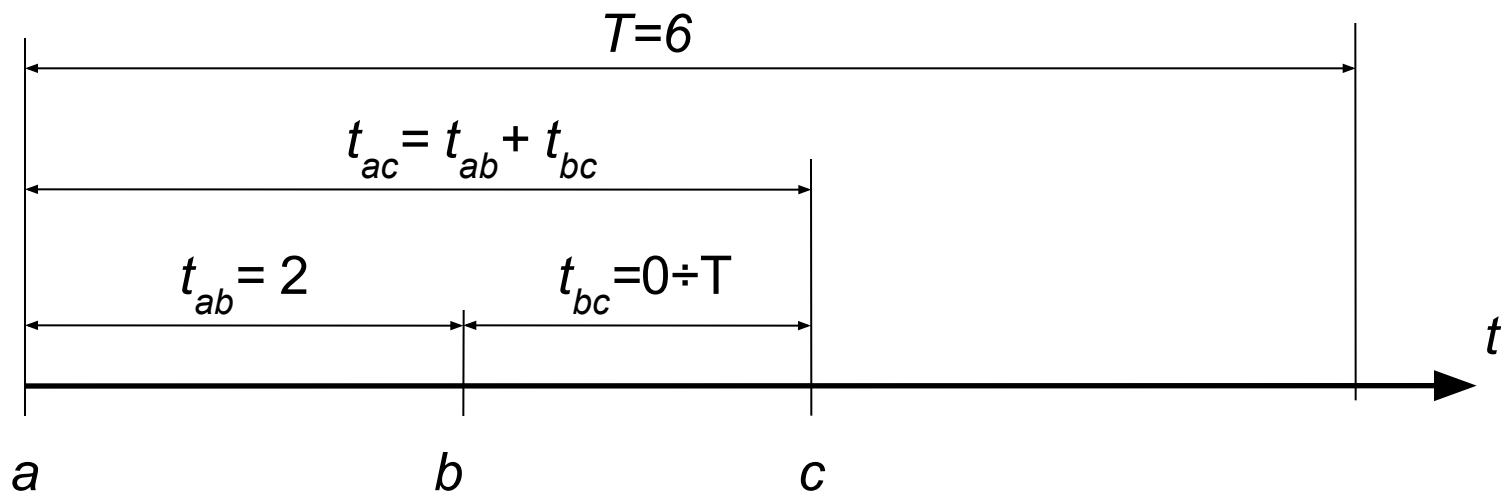


Схема размещения во времени моментов включения
электроприемников a , b , c .



Значения ВКФ $kp_{ac}(t_{ac})$ и $kp_{bc}(t_{bc})$ и их суммарное значение

t_{bc}	$t_{ac} = 2 + t_{bc}$	$kp_{bc}(t_{bc})$	$kp_{ac}(t_{ac})$	$kp_{ac}(t_{ac}) + kp_{bc}(t_{bc})$
0	2	-1,00	50,00	49,00
1	3	-6,83	-16,67	-23,50
2	4	41,33	1,67	43,00
3	5	-3,00	-33,33	-36,33
4	0	-7,00	15,00	8,00
5	1	-23,50	-16,67	-40,17

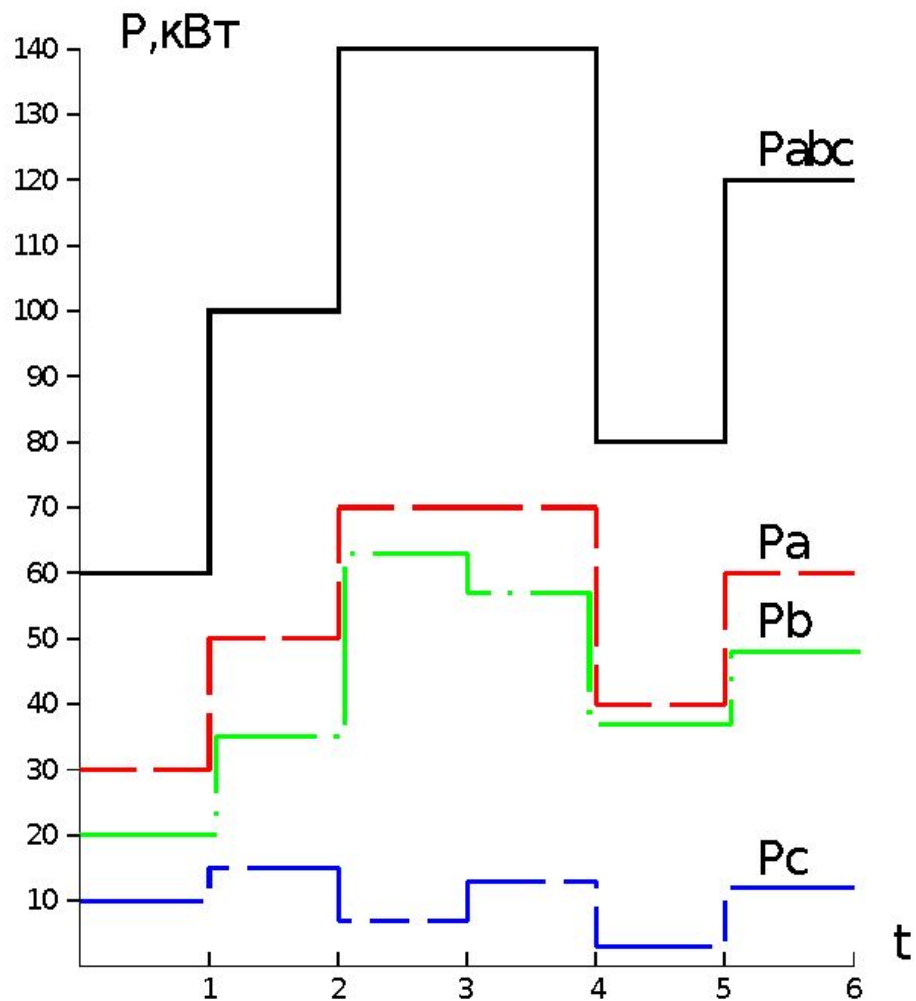
Графики нагрузок электроприемников a , b , c при оптимальном размещении во времени.

Интервал	Мощность, кВт			
i	P_a	P_b	P_c	P_{abc}
1	30	37	12	79
2	50	48	10	108
3	70	20	15	105
4	70	35	7	112
5	40	63	13	116
6	60	57	3	120
DP	222,22	208,22	16,00	177,22

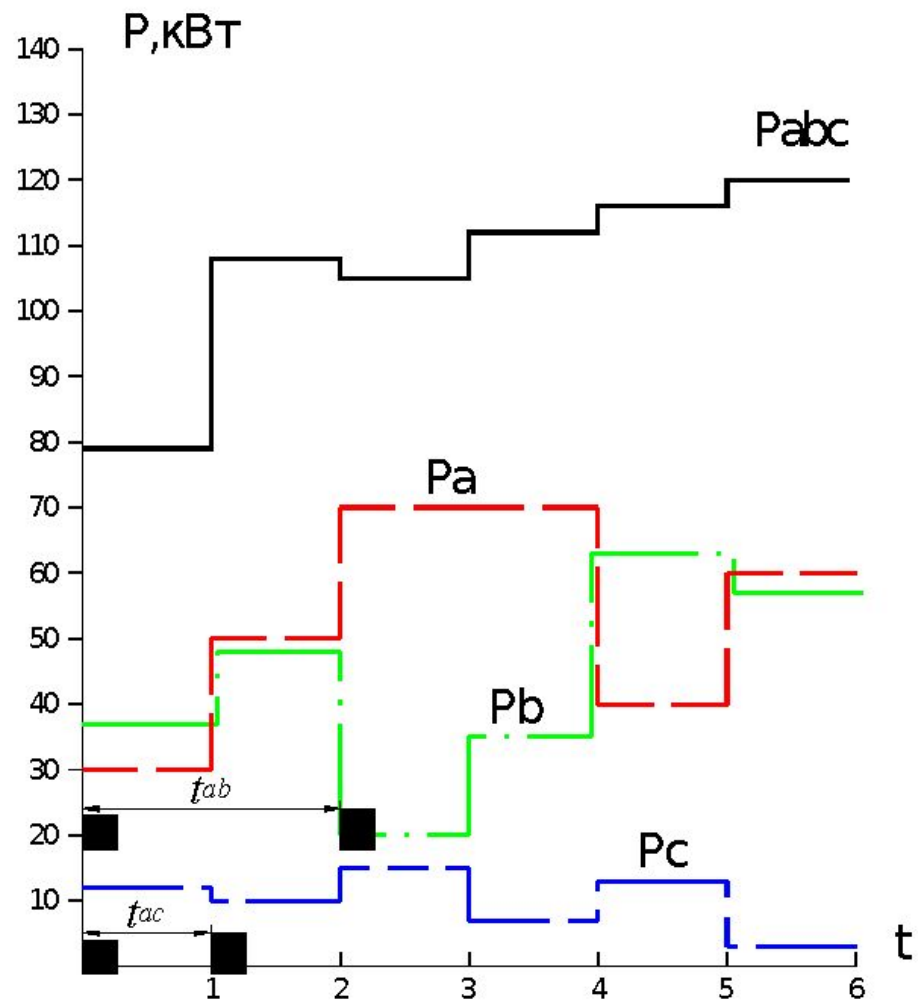
Задание: самостоятельно составить расчетные выражения для зависимого сдвига и определить комбинации возможных сдвигов во времени, если бы на 1-м шаге был определен сдвиг

1. $t_{bc} = 2$

2. $t_{ac} = 2$



а)



б)

Графики нагрузки электроприемников и совмещенный график нагрузки

а) в исходном режиме;

б) при оптимальных сдвигах во времени.