

Задание № 12

РАСЧЕТ НЕЛИНЕЙНЫХ РЕЗИСТИВНЫХ ЦЕПЕЙ ПРИ ПОСТОЯННЫХ ТОКАХ

Задача 12.1. Расчет цепи методом итераций

Метод итераций – аналитический метод расчета токов или напряжений нелинейной цепи, основанный на использовании величины статического сопротивления нелинейного элемента $R_{ст}$. Но так как $R_{ст}$ зависит от тока (напряжения), то его точное значение неизвестно до получения результата расчета. Поэтому сначала задается ориентировочно предполагаемым значением $R_{ст} = R_{ст}^{(0)}$ (нулевым приближением) и любым методом расчета линейных цепей определяют ток нелинейного элемента. По характеристике нелинейного элемента, заданной графически или аналитически, уточняют величину статического сопротивления в полученной рабочей точке, т.е. определяют следующее, первое приближение $R_{ст}^{(1)}$. С его помощью снова рассчитывают ток нелинейного элемента и находят второе приближение $R_{ст}^{(2)}$. Процесс последовательных приближений продолжают до тех пор, пока разность двух последующих значений тока не станет меньше допустимой погрешности. Если процесс итераций получается расходящимся, то вместо расчета тока нелинейного элемента определяют его напряжение, далее по ВАХ находят ток, а затем сопротивление.

В задании предлагается рассчитать цепь с элементом, ВАХ которого хорошо аппроксимируется степенной функцией

$$i = aU^n \quad \text{или} \quad U = ai^R.$$

Коэффициенты a и n могут быть определены методом выбранных точек [2, 3], которые заданы в условиях задания.

З а д а н и е

Для заданного варианта задачи (Прил.1) выполнить следующее:

- аппроксимировать ВАХ нелинейного элемента степенной функцией, определив коэффициенты методом выбранных точек;
- составить уравнения цепи любым методом и получить выражение для тока или напряжения нелинейного элемента;
- определить ток и напряжение нелинейного элемента методом итераций.

Пример 12.1

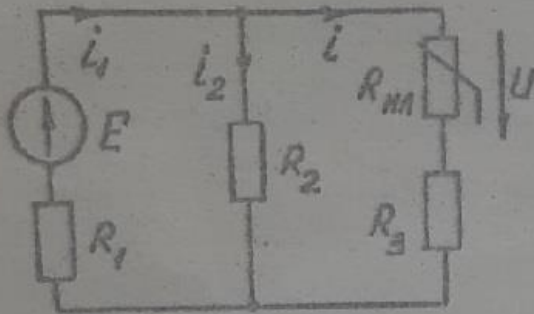


Рис. 12.1

Решение

Используя координаты заданных точек ВАХ, получим систему уравнений

$$\begin{aligned} 0,32 &= a \cdot 20^n \\ 1,08 &= a \cdot 30^n \end{aligned}$$

Решив систему, получим

$$a = 4 \cdot 10^{-5}, \quad n = 3 \quad \text{и} \quad i = 4 \cdot 10^{-5} U^3.$$

Составив уравнения цепи любым методом, получим для тока нелинейного элемента выражение

$$i = \frac{ER_2}{R_1 R_2 + (R_1 + R_2)(R_{CT} + R_3)} = \frac{40}{74 + R_{CT}}$$

Зададим $R_{CT}^{(1)} = 50$ Ом, получим $i^{(1)} = \frac{40}{74 + 50} = 0,32$ А,

по ВАХ находим

$$U^{(1)} = \sqrt[3]{\frac{i^{(1)}}{a}} = \sqrt[3]{\frac{0,32}{4 \cdot 10^{-5}}} = 20 \text{ В.}$$

Далее получим

$$R_{CT}^{(2)} = \frac{U^{(1)}}{i^{(1)}} = \frac{20}{0,32} = 62,5 \text{ Ом, } i^{(2)} = 0,29 \text{ А, } U^{(2)} = 19,4 \text{ В;}$$

$$R_{CT}^{(3)} = \frac{U^{(2)}}{i^{(2)}} = \frac{19,4}{0,29} = 66,9 \text{ Ом, } i^{(3)} = 0,284 \text{ А, } U^{(3)} = 19,1 \text{ В;}$$

$$R_{CT}^{(4)} = \frac{U^{(3)}}{i^{(3)}} = \frac{19,1}{0,284} = 67,3 \text{ Ом, } i^{(4)} = 0,281 \text{ А, } U^{(4)} = 19,05 \text{ В.}$$

Можно остановиться на $i = 0,28$ А, $U = 19$ В.

Если бы процесс получился расходящимся, то следовало

Для схемы на рис. 12.1 определить ток нелинейного элемента с точностью до третьего знака. Исходные данные: $R_1 = 60$ Ом, $R_2 = 40$ Ом, $R_3 = 50$ Ом, $E = 100$ В. ВАХ нелинейного элемента задана координатами напряжения и тока: $(0, 0)$; $(20 \text{ В}, 0,32 \text{ А})$; $(30 \text{ В}, 1,08 \text{ А})$. ВАХ аппроксимировать функцией $i = aU^n$.

бы вычислять не ток, а напряжение по формуле

$$U = i R_{CT} = \frac{40 R_{CT}}{74 + R_{CT}}$$

и проводить далее расчет методом итераций аналогично предыдущему.

Задача 12.2. Расчет цепи графоаналитическим методом

Этот метод основан на эквивалентных преобразованиях графическим способом элементов и ветвей, соединенных последовательно и параллельно. Метод пригоден при любом числе нелинейных элементов и позволяет определить токи и напряжения во всех ветвях. При расчете этим методом нужно построить результирующую ВАХ цепи относительно взаимов источника. Для этого следует построить ВАХ всех элементов в отдельности. ВАХ линейных элементов строится по закону Ома ($U = Ri$), а нелинейных - по заданным точкам или аппроксимирующим формулам. Масштабы по осям рекомендуется выбирать так, чтобы величина заданных ЭДС или тока источника соответствовала приблизительно 2/3 всей шкалы. Результирующие ВАХ для последовательных участков находятся суммированием ординат (напряжений) ВАХ элементов, а для параллельных - суммированием абсцисс (токов) ВАХ элементов. Рабочая точка на результирующей ВАХ находится как точка пересечения полученной ВАХ с прямой линией $E = const$ или $J = const$. Рабочие точки на ВАХ элементов находятся путем переноса абсцисс или ординат с одной кривой на другую в последовательности, обратной ранее проведенному построению.

З а д а н и е

Для заданного варианта задачи (Прил.1) выполнить следующее:

- построить ВАХ всех элементов цепи;
- построить ВАХ всех ветвей и результирующую ВАХ всей цепи относительно взаимов источника (любого);
- найти рабочие точки на ВАХ всех элементов;
- результаты (токи и напряжения) элементов свести в таблицу.

П р и м е р 12.2

Для схемы на рис. 12.2 определить токи и напряжения всех элементов. Исходные данные: $R_1 = 5 \text{ Ом}$, $R_2 = 100 \text{ Ом}$,

$E = 10 \text{ В}$, $J = 0,2 \text{ А}$, ВАХ нелинейного элемента $U = 100i^5 \text{ В}$.

Решение.

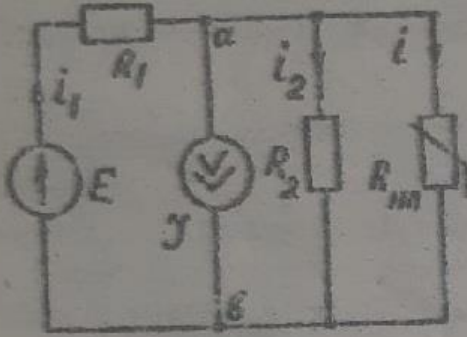


Рис. 12.2

На рис. 12.3 приведены все необходимые построения. Порядок построения следующий:

- строим ВАХ нелинейного элемента $U_{нл}$ по формуле $U = 100i^5$;
- строим ВАХ $U_{R1} = 5i$, $U_{R2} = 100i^2$, $J = 0,2$;
- суммируя абсциссы кривых U_{R2} и $U_{нл}$ получим кривую $U_{2нл}$;
- суммируя абсциссы кривых $U_{2нл}$ и $J = 0,2$, получим кривую $U_{2\delta}$;

- суммируя ординаты кривых $U_{2\delta}$ и U_{R1} , получим кривую $U_{рез}$;
- проведем прямую $E = 10 \text{ В}$, точка ее пересечения с $U_{рез}$ даст рабочую точку. Переходя с характеристики на характеристику, определим рабочие точки на всех кривых.

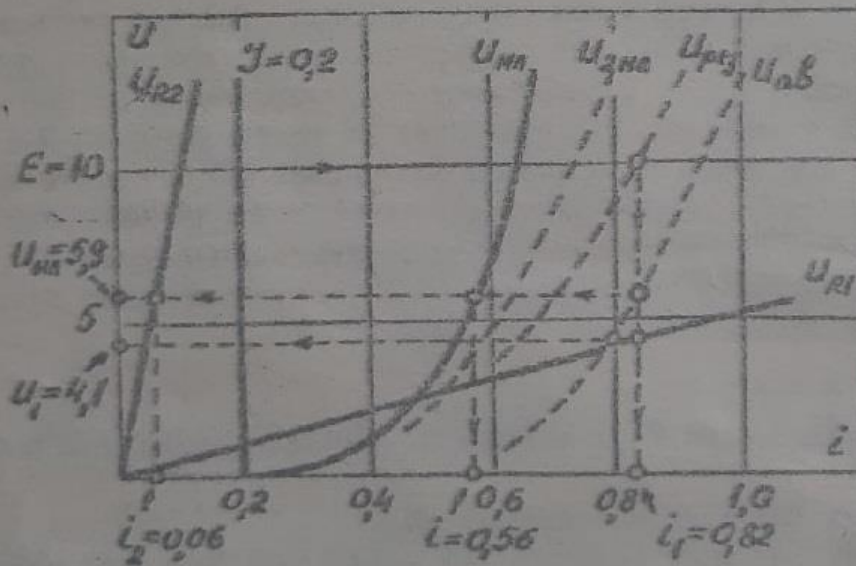


Рис. 12.3

Задача 12.3. Расчет цепи методом эквивалентного источника

Этот графоаналитический метод применяется для цепей с одним нелинейным элементом. В этом случае линейная часть цепи (рис. 12.4, а) замещается эквивалентным источником напря-

ления (рис.12.4,б) или тока (рис.12.4,в). ЭДС источника напряжения $E_M = U_{хх}$, где $U_{хх}$ - напряжение холостого хода на зажимах 1 - 2 при отключенном нелинейном элементе, а ток источника тока $J_M = i_{кз}$, где $i_{кз}$ - ток короткого замыкания при замкнутых зажимах 1 - 2. Сопротивление источника $R_M = R_{12}$, где R_{12} - сопротивление линейной части цепи относительно зажимов 1 - 2 при исключенных источниках.

Рабочая точка на ВАХ нелинейного элемента находится путем графического решения нелинейного уравнения для схемы на рис.12.4,б: $E_M - R_M i = U_{нл}(i)$, или уравнения для схемы на рис.12.4,в: $J_M - U_{нл}/R_M = i(U_{нл})$. Соответствующие построения приложены на рис. 12.5.

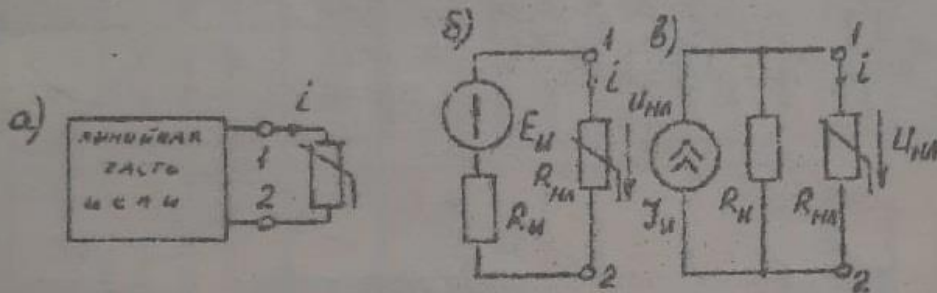


Рис. 12.4

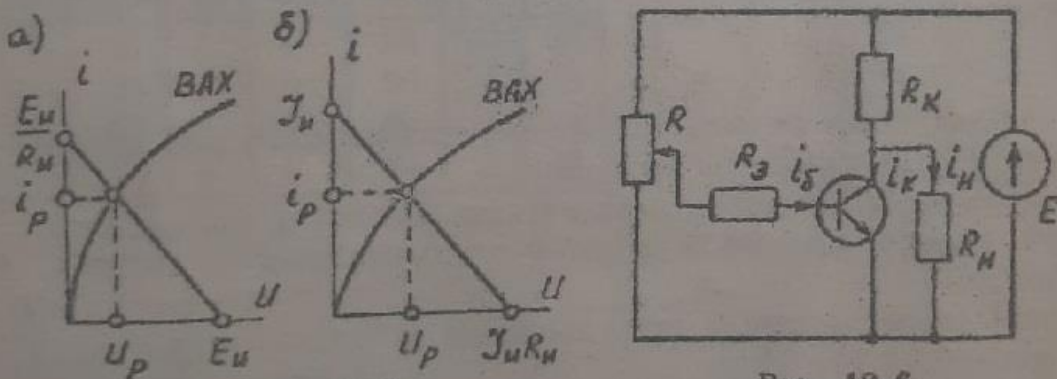


Рис. 12.5

Рис. 12.5

В задаче предлагается определить рабочую точку транзистора в схеме усилителя на рис. 12.6, т.е. определить входной ток базы i_B , ток коллектора i_K и ток нагрузки i_N при питании усилителя от источника постоянного тока с ЭДС E . Приближенная расчетная схема представлена на рис. 12.7, где $R_{бэ}$ и $R_{кэ}$ - нелинейные сопротивления, имитирующие переходы транзистора база-эмиттер и коллектор-эмиттер, а R_1 и R_2 - сопротивления частей потенциометра-делителя R . ВАХ перехода

база-эмиттер (R_{δ_3}) хорошо аппроксимируется функцией

$$i_{\delta} = a(e^{\alpha U_{\delta_3}} - 1), \text{ мА}$$

ВАХ перехода коллектор-эмиттер ($R_{KЭ}$) представляет собой семейство характеристик, каждая из которых соответствует определенному току базы i_{δ} . Эти характеристики изображены на рис. 12.8.

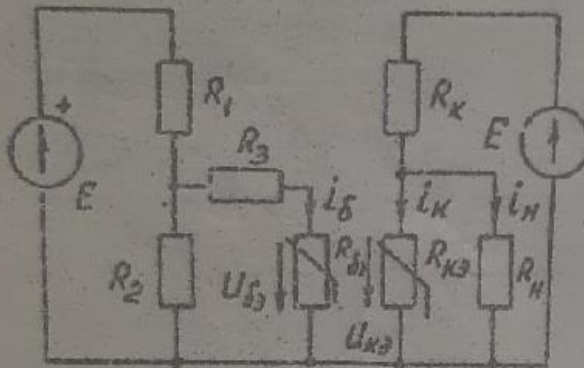


Рис. 12.7

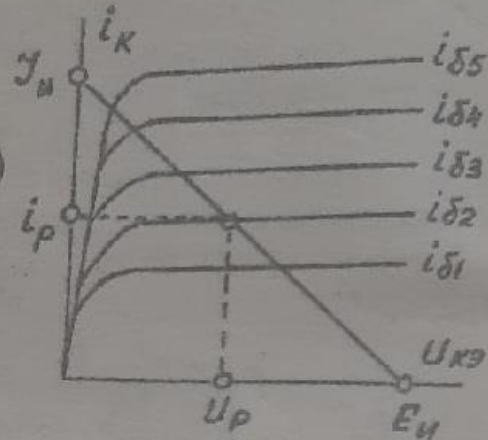


Рис. 12.8

Рабочая точка находится как точка пересечения характеристики эквивалентного источника с одной из характеристик, соответствующей заданному току базы ($i_{\delta} = i_{\delta_2}$).

З а д а н и е

Для схемы на рис. 12.7 в соответствии с данными варианта из Прил. 4 выполнить следующее:

- построить ВАХ перехода база-эмиттер пользуясь рекомендованной аппроксимирующей формулой и коэффициентами a и α из Прил. 4;
- определить параметры эквивалентного источника цепи базы;
- произвести графические построения, аналогичные построениям на рис. 12.5, определить ток базы i_{δ} ;
- определить параметры эквивалентного источника цепи коллектора, причем, если в цепи базы был выбран источник тока, в цепи коллектора надо выбрать источник напряжения, или наоборот;
- построить ВАХ перехода коллектор-эмиттер, воспользовавшись обобщенной системой кривых на рис. 12.9 и определив масштабы токов и напряжения с помощью величин I_m , E_m и i_{δ_0} из Прил. 4;

- произвести графические построения для определения рабочей точки на ВАХ перехода коллектор-эмиттер, как это показано на рис. 12.6;
- определив в рабочей точке $i_k = i_p$ и $U_{кэ} = U_p$, найдите ток нагрузки i_H .

Приложение I

Таблица вариантов к задачам 12.1 и 12.2

Вариант	Схема в прил. 2	$E_1, В$	γ, Λ	$E_2, В$	ВАХ из прил. 3 $U_2 = f(i_2)$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_H, Ом$			
1	13	1	5	20	-1	10	I	IV	4	10	-
2	14	2	6	25	5	5			5	8	-
3	15	3	7	30	1,5	13			3	9	4
4	16	4	8	40	5	8			8	15	4
5	17	1	5	35	1,5	20			8	14	-
6	18	2	6	50	5	15			10	16	-
7	19	3	7	36	0,5	10	II	V	6	20	5
8	20	4	8	50	6	10			8	30	2
9	21	1	5	24	0,5	15			6	30	-
10	22	2	6	30	6	15	III	VI	5	12	-
11	23	3	7	25	1	8			3	8	3
12	24	4	8	45	5	15			9	30	2

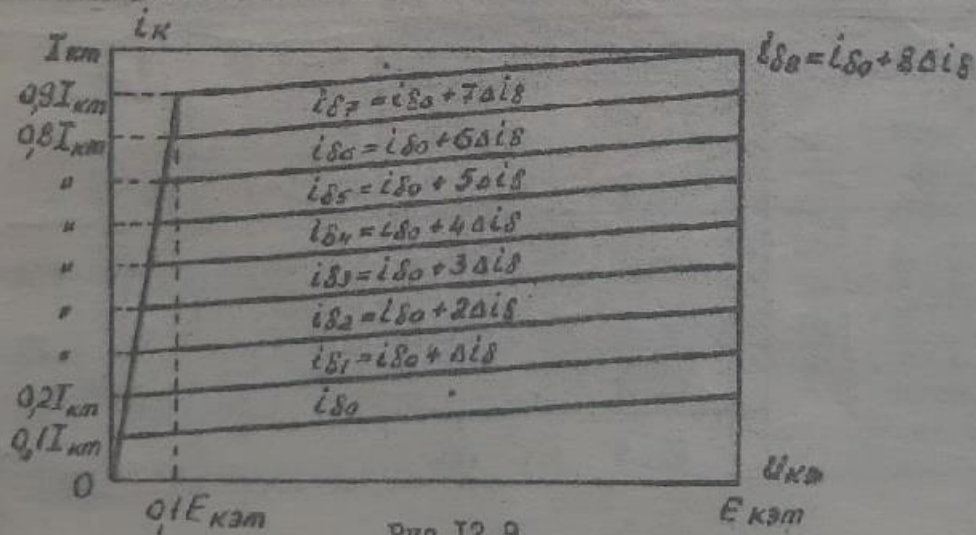
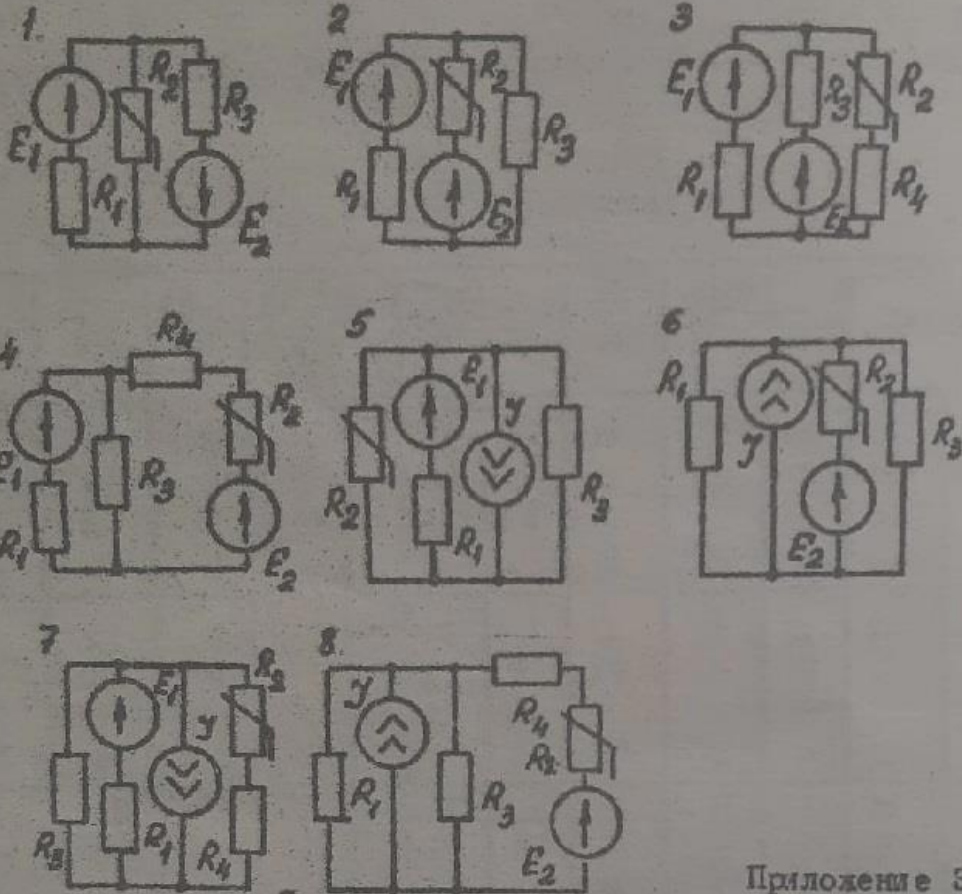


Рис. 12.9

Варианты расчетных схем



Приложение 3

Вольт-амперная характеристика нелинейного элемента

Координаты		Номер В А X					
		1	II	III	IV	V	VI
Первая точка	i_1, A	0	0	0	0	0	0
	U_1, B	0	0	0	0	0	0
Вторая точка	i_2, A	0,8	0,7	0,8	0,7	1,4	1,6
	U_2, B	2,052,74	3,74	7,2	7,84	5,15	
Третья точка	i_3, A	1,6	1,5	1,6	1,5	3,0	3,2
	U_3, B	16,427,0	4,6	9,03	36	20,5	

Таблица вариантов к задаче 12.3

Но- мер ва- ри- ан- та	$E,$ В	$R_1,$ Ом	$R_2,$ Ом	$R_3,$ Ом	$R_K,$ Ом	$R_H,$ Ом	$I_{кат},$ мА	$E_{кат},$ В	$i_{\beta 0},$ мА	a	d	$\Delta i_{\beta},$ мА
1	50	1000	10	250	800	400	30	40	0,4	0,3	5	0,2
2	60	1200	20	300	1000	500	30	40	1,0	0,3	6	0,4
3	30	800	10	100	600	300	40	15	0,5	0,5	5	0,2
4	40	1000	15	150	700	350	40	15	1,5	0,3	6	0,5
5	35	700	10	200	800	800	20	20	1,0	0,4	7	0,2
6	30	750	15	280	900	600	40	25	1,0	0,5	8	0,1
7	20	600	20	200	300	900	50	30	1,0	0,6	5	0,2
8	25	500	10	200	200	1000	60	30	1,5	0,3	3	0,2
9	40	500	10	400	1000	1000	20	30	0,5	0,3	6	0,1
10	45	900	100	150	1100	1100	25	25	1,0	0,4	3	0,2
11	80	1500	10	300	1000	600	50	40	1,0	0,5	10	0,3
12	50	1400	25	300	1200	1000	20	30	1,5	0,3	6	0,2
13	60	2000	20	200	1500	500	40	30	1,0	0,6	6	0,2
14	45	900	10	200	1600	1600	20	50	0,6	0,4	5	0,2
15	55	1100	20	250	2000	1000	20	30	1,5	0,6	5	0,3
16	35	800	12	100	1000	1000	25	20	2,0	0,5	8	0,2
17	45	1100	15	180	1400	1000	40	40	1,5	0,3	7	0,2
18	70	1600	10	250	800	400	60	30	1,0	0,4	8	0,1
19	65	1500	10	200	700	700	80	50	1,0	0,5	8	0,2
20	80	1100	20	500	600	400	60	30	1,5	0,6	8	0,2
21	25	600	20	180	500	500	30	20	1,0	0,6	5	0,2
22	40	600	10	350	1000	800	20	30	0,6	0,3	5	0,1
23	50	1200	20	280	1200	1200	30	30	1,0	0,3	6	0,2
24	70	1500	10	300	900	600	40	40	1,0	0,5	8	0,3
25	20	500	20	200	500	250	20	10	1,0	0,6	6	0,2