

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени академика С.П.КОРОЛЕВА

Кафедра "Конструирование радиоэлектронной аппаратуры"

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ  
РАДИОЭЛЕКТРОННОГО УЗЛА ПО ВНЕЗАПНЫМ  
ОТКАЗАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

Утверждено редакционным  
советом института в качестве  
методического указания  
для студентов специальности  
0705

Приведены основные материалы необходимые для выполнения лабораторной работы по дисциплине "Теоретические основы конструирования, технологии и надежности РЭА" специальности 0705. Даются краткие теоретические сведения необходимые для понимания лабораторной работы. Работа рассчитана на применение микро-ЭВМ.

Составитель

Пурсуков М.С.

## I. Теоретические основы лабораторной работы.

Под надежностью понимают свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки при соблюдении режимов эксплуатации и правил технического обслуживания.

Надежность - это сложное понятие с помощью которого оцениваются такие важные характеристики изделий как безотказность, ремонтпригодность, долговечность, работоспособность, восстанавливаемость и др.

В процессе эксплуатации на изделия воздействует комплекс внешних и внутренних факторов, которые приводят к обратимым и необратимым изменениям свойств материалов из которых изготовлены изделия и их элементы. Изменения параметров элементов могут происходить как постоянно так и скачкообразно. Так же изменяются и параметры изделий. Соответственно, в зависимости от характера изменения параметров элементов и изделий в целом различают внезапные и постепенные отказы.

Так как внезапные и постепенные отказы независимы, то вероятность безотказной работы РЭА

$$P(t) = P_B(t) P_n(t)$$

где  $P_B(t)$  - вероятность безотказной работы РЭА по отношению к внезапным отказам в течение времени  $t$  ;

$P_n(t)$  - вероятность безотказной работы по отношению к постепенным отказам за время  $t$  при условии, что внезапных отказов не было.

В данном приложении приводится методика расчета надежности РЭА в предположении, что  $P_n(t) = 1$ .

Целью лабораторной работы является приобретение практических навыков расчета надежности радиоэлектронного узла по внезапным отказам с использованием микро-ЭВМ.

### 1.1. Числовые характеристики надежности. Основные расчетные соотношения.

Как отмечалось выше, надежность является понятием сложным. Оно характеризуется многими числовыми характеристиками (параметрами). Числовые характеристики надежности можно разбить на ряд групп, такие как: безотказность, ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость и др.

В данной работе изучаются параметры надежности, относящиеся к группе безотказности.

В общем случае для сложных изделий расчет надежности производится в несколько этапов:

1). Составляется структурная схема надежности для каждого узла (блока) и системы в целом; дается определение отказа.

2). Определяются расчетные формулы в соответствии со структурной схемой надежности и принятой моделью отказов; формулы должны выразить зависимость показателей надежности системы от показателей надежности элементов.

3). Расчетные данные сравниваются с заданными и в случае их несоответствия принимаются меры по повышению надежности. меры по повышению надежности.

В методике расчета надежности приводимой ниже, приняты следующие допущения:

- Отказ любого элемента системы приводит к отказу всей системы;

- Отказы элементов являются событиями случайными и независимыми;

- Интенсивность отказов всех элементов системы не зависят от времени, т.е. время работы до отказа элементов и время работы системы между отказами распределено по экспоненциальному закону.

При  $P_n(t) = 1$  вероятность безотказной работы системы  $P_c(t)$

$$P_c(t) = P_0(t) = P(t) \quad (1)$$

Вычисление количественных показателей надежности блоков и системы в целом производится по формулам:

а) Вероятность безотказной работы

$$P(t) = \exp\left[-\sum_{j=1}^K \lambda_{\Sigma} t\right] \quad (2)$$

где  $\lambda_{\Sigma}$  - суммарная интенсивность отказов элементов, входящих в блок, систему и т.д.  
 $t$  - время работы изделия для которого рассчитывается надежность.

б) 
$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{j=1}^K N_j \cdot \lambda_{oi} \quad (3)$$

$N_j$  - количество элементов, имеющих одинаковую интенсивность входящих в группу  $j = 1, 2 \dots K$

$K$  - количество групп элементов, имеющих одинаковую интенсивность отказов.

$\lambda_{oi}$  - интенсивность отказов электrorадиоэлементов.

(из справочника).

в) Нарботка на отказ

$$T_c = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} = \frac{1}{\sum_{j=1}^K N_j \cdot \lambda_{oi}} \quad (4)$$

г) Для случая, если блоки (узлы) работают неодновременно, учитывается только время работы каждого блока.

$$P(t) = \exp[-(\lambda_{\delta_1} t_1 + \lambda_{\delta_2} t_2 + \dots + \lambda_{\delta_m} t_m)] \quad (5)$$

где  $t_1, t_2, \dots, t_m$  - время работы блока  $\lambda_{\delta_1}, \lambda_{\delta_2}, \dots, \lambda_{\delta_m}$

Результаты расчета сравниваются с заданным уровнем надежности.

$$P(t) \geq P_{\text{зад}}(t) \quad (6)$$

Если условие (6) не удовлетворяется, то применяются меры по повышению надежности.

## 1.2. Методика расчета.

Различают ориентировочный и окончательный расчеты надежности.

1) ориентировочный расчет надежности производится на этапе эскизного проектирования после разработки принципиальной электрической схемы. Он позволяет выявить слабые участки системы и наметить пути повышения их надежности на этом этапе проектирования.

Расчет производится поэтапно (см. параграф 1.1), при этом предполагается что все элементы схемы работают в номинальном режиме эксплуатации. Результаты расчета по формулам 2+4 удобно свести в таблицу. После выполнения расчета надежности для всех узлов (блоков) производится расчет надежности всей системы, используя формулы 2+5 с учетом ее структуры.

Таблица I

Бр- пп	Наименование и тип элемента	Объем в схема	Кол-во элементов $N_i$	$\lambda_{oi}$ , $\cdot 10^6 1/час$	$N_i \lambda_{oi}$ , $\cdot 10^6 1/час$

б) Окончательный расчет надежности производится на этапе технического проектирования (и всех последующих этапах), когда известны режимы работы всех элементов, и условия эксплуатации. Учет режимов работы и условий эксплуатации производится при помощи коэффициентов, имеющихся в справочной литературе или же с помощью эмпирических формул.

Интенсивность отказов каждого элемента или узла определяется по формуле

$$\lambda_i = \lambda_{oi} \cdot a_i \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot \dots$$

где  $a_i$  - поправочные коэффициенты в зависимости от коэффициента нагрузки  $K_n$  и температуры  $T^\circ C$  выбирается по таблицам 2+9 приложения.

$A_1, A_2, \dots$  — поправочные коэффициенты для учета воздействия других эксплуатационных факторов (выбираются по таблицам приложения).

Определив параметры надежности, можно построить графики зависимостей  $P(t)$  от времени. Результаты расчетов сравниваются с заданным уровнем надежности (6).

Все расчеты по лабораторной работе выполняются с применением ЭВМ.

### 1.2. Расчет коэффициентов нагрузок и интенсивностей отказов для некоторых типов электрорадиоэлементов.

Коэффициенты нагрузок для различных элементов РЭА находят ся следующим образом.

Для резисторов:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} \cdot A_i \quad 1/\text{час} ;$$

$$K_{нi} = \frac{P_{\text{расч.ном.}}}{P_{\text{доп.т.ч}}} = \frac{P_{\text{ном.}} + P_{\text{эф.}} + P_{\text{имп.}}}{P_{\text{доп.т.ч}}}$$

Величины  $\lambda_{0i}$  и  $A_i$  берутся из таблиц приложения.

Для конденсаторов:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} \cdot A_i \quad 1/\text{час} ;$$

$$K_{нi} = \frac{U_{\text{ном.т.}} + U_{\text{пер.}} + U_{\text{имп.}}}{U_{\text{доп.т.ч}}}$$

Величины  $\lambda_{0i}$  и коэффициенты  $A_i$  берутся из таблиц приложения.

Для полупроводниковых диодов и транзисторов:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} \cdot A_i \quad 1/\text{час} ;$$

Для диодов  $K_H = \frac{I_B}{I_o}$  и  $K_H = \frac{U_{обр}}{U_{обр.н}}$   
 где  $I_B$  - средний рабочий выпрямленный ток;  
 $I_o$  - номинальный выпрямленный ток (по ТУ);

$U_{обр}$  - обратное напряжение;

$U_{обр.н}$  - номинальное обратное напряжение (по ТУ)

Для транзисторов один из наибольших коэффициентов

$$K_H = \frac{I_K}{I_{кн}} ; K_H = \frac{I_э}{I_{эо}} ; K_H = \frac{U_c}{U_{кб.о}}$$

$$K_H = \frac{U_{кэ}}{U_{кэо}} ; K_H = \frac{U_{эб}}{U_{эб.о}} ; K_H = \frac{\nu P}{P_o}$$

Здесь  $I_K$  - ток коллектора;  $I_э$  - ток эмиттера;

$I_o$  - ток номинальный по ТУ;  $U_{кб}$  - напряжение

коллектор-база;  $U_{кэ}$  - напряжение

коллектор-эмиттер;  $U_{эб}$  - напряжение

эмиттер-база;  $U_c$  - напряжение номиналь-

ное по ТУ;  $P_o$  - мощность рассеивания

номинальная по ТУ.

Для трансформаторов в коточных изделиях (дресселей, катушек индуктивности и др.):

$$\lambda_i = \lambda_o \cdot a_i \cdot \frac{1}{i_o} ; K_H = \frac{i}{i_o}$$

где  $i, i_o$  - плотность тока в первичной или вторичной цепи в действительности и по ТУ соответственно;

Для электромагнитных реле:

$$\lambda_i = \lambda_o + \Delta \lambda_i \cdot \eta_r \cdot n_k \cdot \frac{1}{i_o} ;$$

$$K_H = \frac{I_H}{I_{н.о}} ; K_H = \frac{U}{U_o}$$

где  $I_n$  - ток нагрузки рабочий;  $I_{но}$  - ток нагрузки номинальный по ТУ,  $U$  - рабочее напряжение переключаемой цепи;  $N_k$  - число пар действующих контактов;  $\Delta L_{\alpha}$  - добавочная доля интенсивностей отказов;  $\eta_T$  - поправочный коэффициент.

## 2. Порядок выполнения лабораторной работы

Для выполнения лабораторной работы необходимо:

- а) проработать теоретические основы лабораторной работы (во внеаудиторное время);
- б) получить задание на выполнение лабораторной работы;
- в) подготовить все материалы для программирования расчетов на ЭВМ. Составить таблицу расчетов;
- г) составить алгоритм и программу расчетов на ЭВМ. Отладить программу расчетов и произвести расчеты;
- д) данные расчетов списать с дисплея ЭВМ в рабочую тетрадь.

## 3. Содержание отчета.

Отчет должен быть оформлен в соответствии с общими требованиями к отчетам по лабораторным работам конструкторского профиля (специальности 0705) и содержать:

1. Наименование и цель работы.
2. Содержание индивидуального задания.
  1. Основные расчетные соотношения и таблицу результатов расчета.
  1. Алгоритм и программу расчета с краткими описаниями.
  1. Выводы.

#### 4. Контрольные вопросы.

1. Условия применения экспоненциального закона надежности.
2. Как учитываются условия эксплуатации при расчете надежности по внезапным отказам?
3. В чем заключается свойство экспоненциального закона надежности? Как оно используется при расчете вероятности безотказной работы?
4. Дать определение вероятности безотказной работы системы и элементов.
5. Интенсивность отказов (дать определение). Как она изменяется в зависимости от величины коэффициентов нагрузки?
6. Как влияет на допустимое значение коэффициента нагрузки температура?

#### Литература.

1. Козлов В.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. -М.: Сов.радио, 1975.
2. Яшим А.А. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности ЭВА. -М.: Радио и связь, 1983.
3. Конспект лекций по курсу "Теоретические основы конструирования, технологии и надежности ЭВА".

Таблица 1

Номинальная интенсивность отказов радиоэлементов  
при  $T = 20^{\circ}\text{C}$  и  $K_H = 1,0$

Тип радиоэлемента	$\lambda \cdot 10^{-6}$ 1/ч
<u>Полупроводниковые приборы</u>	
Диоды импульсные точечные германиевые	3,0
Диоды импульсные сплавные кремниевые	0,6
Триоды маломощные низкочастотные германиевые	3,0
Триоды маломощные низкочастотные кремниевые	1,0
<u>Резисторы непроволочные, номинальная мощность рассеяния 0,25 Вт</u>	
МЛТ (металлопленочные, лакированные, теплоустойчивые)	0,1
ТВО (теплоустойчивые, влагостойкие, объемные)	0,4
УЛН (углеродистые, лакированные, измерительные)	0,6
<u>Конденсаторы</u>	
Керамические	1,4
Пленочные	12,0
Электролитические танталовые	12,0
Импульсные трансформаторы	10,0

Поправочные коэффициенты  $\alpha = f(K_H, T^\circ)$  для определения интенсивности отказов полупроводниковых приборов

Полупроводниковые приборы	T, °C	$K_{H,1}$	$K_{H,2}$	$K_{H,3}$	$K_{H,4}$	$K_{H,5}$	$K_{H,6}$	$K_{H,7}$	$K_{H,8}$		
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8		
Диоды	германиевые	20	0,09	0,15	0,22	0,30	0,39	0,50	0,62	0,71	
		40	0,15	0,23	0,32	0,41	0,51	0,63	0,76	0,91	
		60	0,42	0,53	0,66	0,86	1,13	1,40	1,75	2,13	
	кремниевые	20	0,77	0,77	0,78	0,79	0,81	0,83	0,85	0,88	
		40	0,92	0,92	0,92	0,94	0,97	1,00	1,04	1,08	
		60	1,03	1,04	1,08	1,11	1,16	1,22	1,30	1,39	
	Транзисторы	германиевые	20	0,20	0,23	0,23	0,25	0,42	0,50	0,70	0,71
			40	0,23	0,32	0,40	0,55	0,66	0,81	1,04	1,22
			60	0,39	0,52	0,63	0,86	1,10	1,32	1,65	1,90
кремниевые		20	0,06	0,16	0,18	0,20	0,35	0,43	0,52	0,63	
		40	0,07	0,17	0,20	0,23	0,40	0,51	0,59	0,72	
		60	0,03	0,19	0,22	0,26	0,50	0,61	0,71	0,85	

Таблица 3

Поправочные коэффициенты  $\alpha = f(K_H, T^\circ)$  для определения  $\lambda$  резисторов

Тип резисторов	T, °C	$K_{H,1}$	$K_{H,2}$	$K_{H,3}$	$K_{H,4}$	$K_{H,5}$	$K_{H,6}$	$K_{H,7}$	$K_{H,8}$
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Непроволочные	20	0,15	0,20	0,26	0,35	0,42	0,50	0,60	0,72
	40	0,27	0,33	0,42	0,51	0,60	0,76	0,91	1,11
	60	0,40	0,47	0,57	0,67	0,82	1,03	1,43	1,70

Таблица 4

Поправочные коэффициенты  $a = f(K_H, T^\circ)$   
 для определения  $\lambda$  конденсаторов

Тип конденсаторов	T, °C	$K_H$				
		0,1-0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Керамические	20	0,06	0,06	0,10	0,18	0,23
	40	0,07	0,09	0,13	0,28	0,35
	60	0,10	0,12	0,20	0,45	0,62
Пленочные	20	0,26	0,36	0,49	0,64	0,80
	40	0,31	0,42	0,51	0,80	1,10
	60	0,46	0,61	0,75	1,19	2,00
Электролитические	20	0,39	0,20	0,20	0,20	0,39
	40	0,47	0,30	0,30	0,30	0,47
	60	0,70	0,50	0,50	0,50	0,70

Таблица 5

Поправочные коэффициенты  $a = f(K_H, T^\circ)$   
 для определения  $\lambda$  трансформаторов

T, °C	$K_H$							
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,6	0,6	1,0
40	0,1	0,2	0,2	0,5	1,2	1,8	2,4	3,0
60	0,2	0,3	0,4	1,2	2,5	4,1	6,4	8,6

Таблица 6

Поправочный коэффициент  $K_1$  в зависимости от воздействия механических факторов на неамортизированную аппаратуру

Условия эксплуатации аппаратуры	$K_1$
Лабораторные	1,0
Стационарные (полевые)	1,07
Корабельные	1,37
Автофургонные	1,46
Железнодорожные	1,54
Самолетные	1,65

Таблица 7

Поправочный коэффициент  $K_2$

Влажность, %	Температура, °C	$K_2$
60-70	20-40	1,0
90-98	20-25	2,0
90-98	30-40	2,5

Таблица 8

Поправочный коэффициент  $K_3$

Высота, км	$K_3$
0-1	1,0
5-6	1,16
10-15	1,3
20-25	1,38
30-40	1,45

Таблица 9

Допустимые значения коэффициента электрической нагрузки радиоэлементов

Тип радиоэлемента	Параметры радиоэлементов, по которым определяются $K_n$	Допустимое значение $K_n$
Полупроводниковые диоды (выпрямительные и импульсные)	Выпрямленный ток  (среднее значение Амплитуда обратного напряжения)	см. рис. П.1,2  0,7
Полупроводниковые триоды	Мощность, рассеиваемая на триоде Напряжение между электродами	см. рис. П.1,2  см. рис. П.1,2
Резисторы	Рассеиваемая мощность	см. рис. П.3
Конденсаторы	Амплитуда напряжения (суммарная)	см.рис. П.4
Импульсные	Амплитуда напряжения	0,9

Таблица 10

Допустимое значение амплитуды переменного напряжения к номинальному в зависимости от частоты, %

Тип конденсатора	Частота, Гц					
	50	100	300	500	1000	10000
Слюдяные низко- омные	-	-	-	100	60	60
Бумажные	20	15	10	-	5	2
Электролитические	20	-	-	5	3,5	0,8

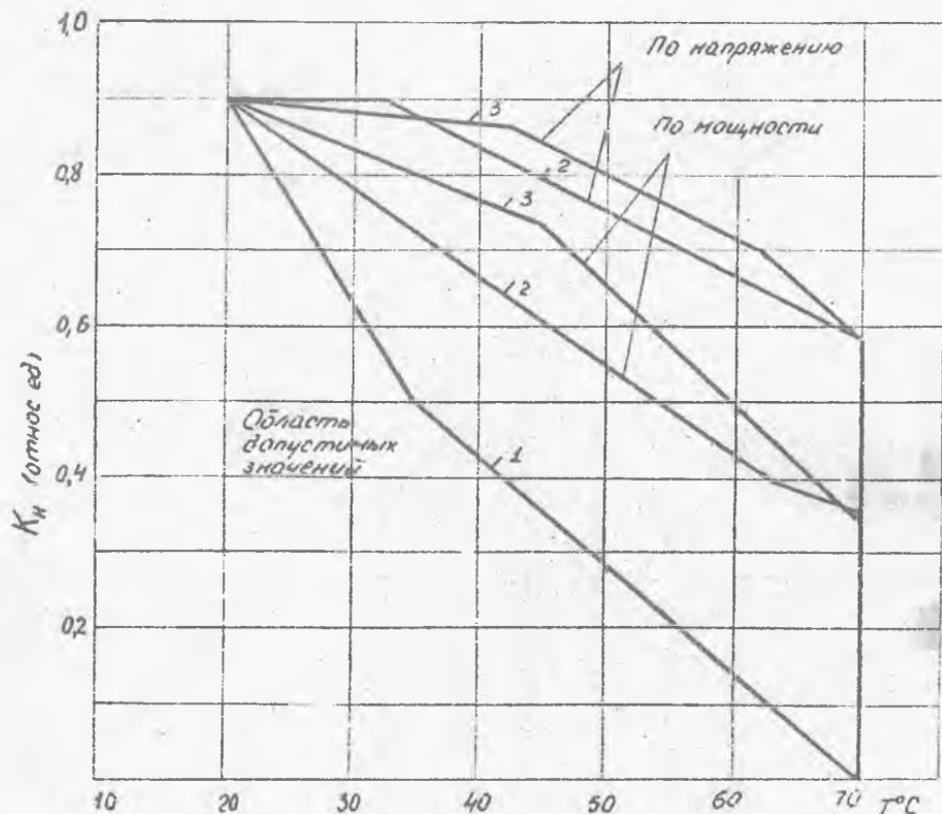


Рис. 1. Области допустимых значений  $K_H$  в зависимости от температуры для германиевых диодов и триодов:

1 - диоды; 2 - триоды МП16, 20, 21, 25, 26, 39 - 42;  
 П27 - 30; 40 - 42; 210, 213, 214, 215, 216, 217, ГТ400;  
 3 - триоды П416, 422, 423, 605 - 609, ГТ308.

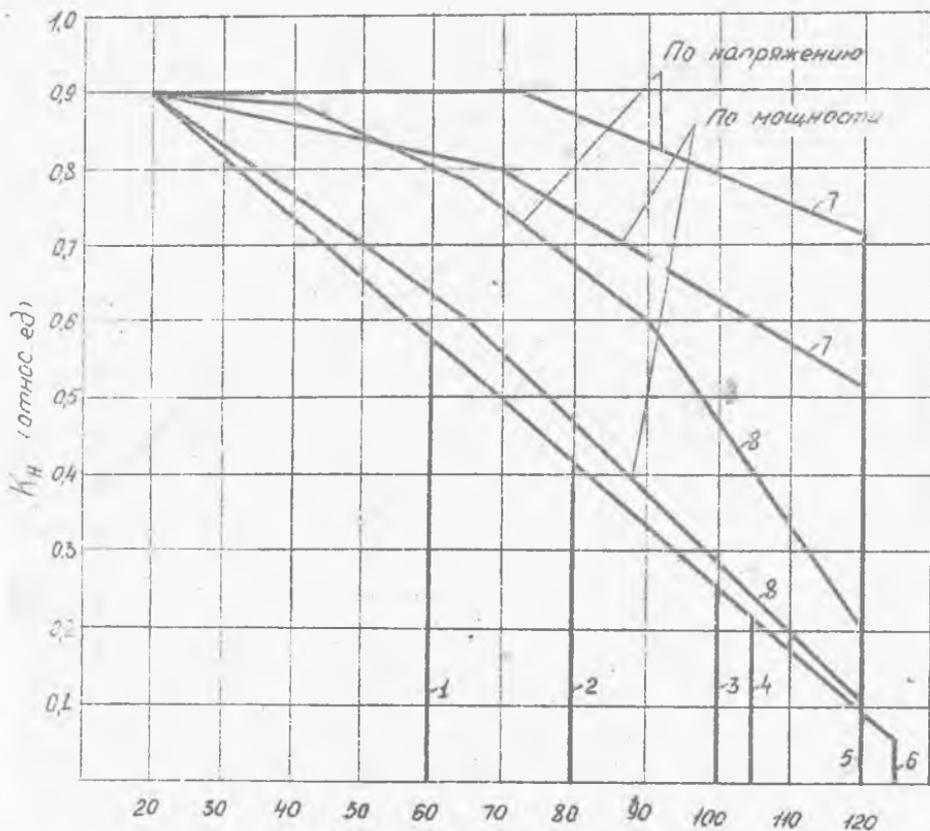


Рис. 2. Области допустимых значений  $K_n$  в зависимости от температуры для кремниевых диодов и триодов:

диоды: 1 - КД 401-405; 2 - Д1009-1011; 3 - Д219, 405, КД409, БД1; 4 - Д101, 102, 103; 5 - Д104, 105, 106, 206-211, 217, 218, 229; 6 - Д202 - 205, 242 - 248, КД202;  
 триоды: 7 - МП101 - 106, 111 - 116, П302 - 306; 8 - П701, 702, КТ301.

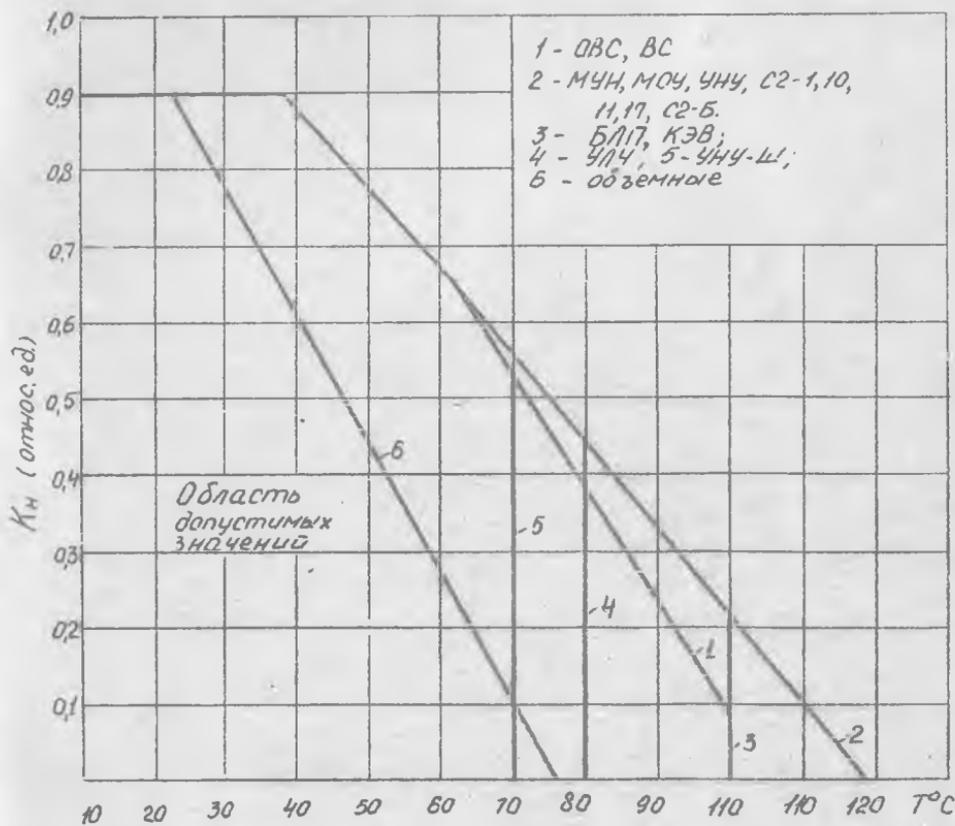


Рис. 3. Области допустимых значений  $K_n$  в зависимости от температуры для резисторов

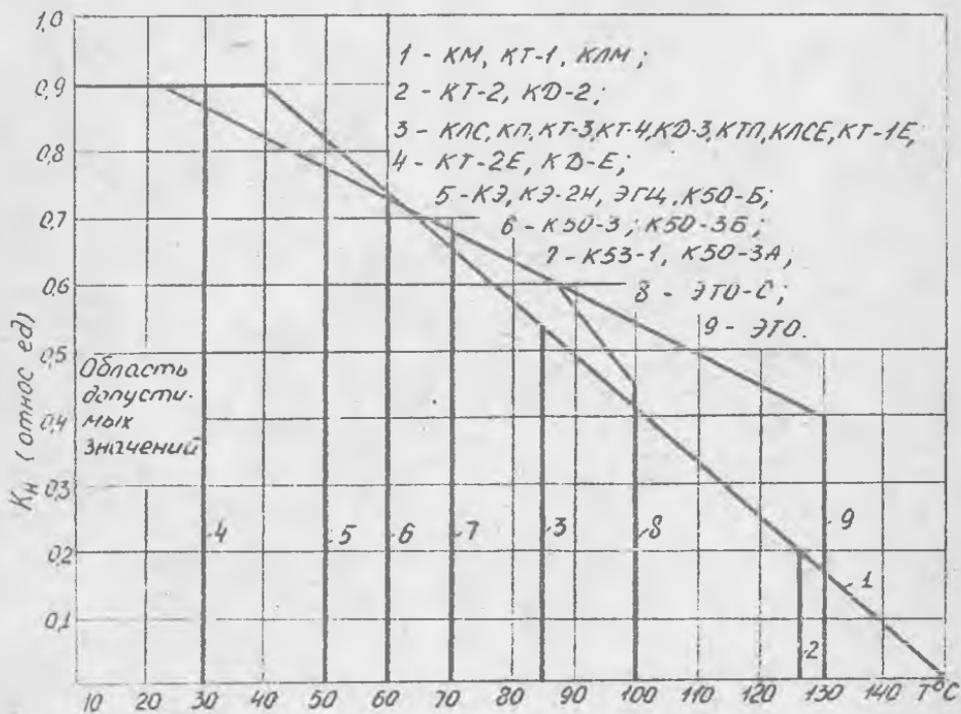


Рис. 4. Области допустимых значений  $K_H$  в зависимости от температуры для конденсаторов