

Міністерство освіти і науки України  
Донецький національний технічний університет

**Методичні вказівки  
до розрахунково-графічних і практичних робіт  
по надійності**

Затверджено учбово-видавницькою  
радою ДонНТУ  
Протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

Розглянуто на засіданні  
кафедри АТ  
Протокол № 5 від 14.05.09

Донецьк-2009

УДК 381.3

Методичні вказівки до розрахунково-графічних і практичних робіт по надійності для студентів спеціальності 7.091401 «Систем управління і автоматики» і 7.092401 «Телекомунікаційних систем»

Склали Константинов С.В., Найдьонова Т.В., Донецьк, ДонНТУ.2009-76с.

Викладені правила виконання розрахункових робіт по надійності, які виконуються студентами на практичних заняттях і у домашніх завданнях: наблизений розрахунок, розрахунок ремонтпридатності, розрахунок ЗІП і уточнений розрахунок. Приведені правила оформлення розрахунково-графічних робіт.

Комп'ютерний набір виконали студенти групи ТКС-06С Ткачева Л., Крічков Д. і ТКС-07А "с" Горбацкий А. С. і Бляшкин Д. Ю.

Автори: Константинов С. В., Найдьонова Т.В.

Рецензент: Воронцов А. Г.

## Зміст

Вступ	4
1. Наближений розрахунок надійності	5
1.1 Розрахунок безвідмовності	5
1.2 Розрахунок ремонтпридатності	8
1.3 Розрахунок ЗІП	9
1.4 Оформлення розрахункової роботи №1	10
2. Уточнений розрахунок надійності	15
2.1 Визначення режиму роботи ЕРЕ	18
2.1.1 Режим роботи резисторів і транзисторів	18
2.1.2 Режим роботи конденсаторів	27
2.1.3 Режим роботи електrolітичних конденсаторів	27
2.1.4 Режим роботи випрямних діодів	28
2.1.5 Режим роботи стабілітронів	28
2.1.6 Режим роботи світлодіодів	28
2.1.7 Режим роботи фотодіодів і фоторезисторів	29
2.1.8 Режим роботи реле і контактів	29
2.2 Оформлення розрахункової роботи №2	31
Додаток А – $\lambda_0$ різних ЕРЕ	41
Додаток Б – коефіцієнти навантажень	45
Додаток В – графіки для визначення $\alpha_1$	46
Додаток Г – $\alpha_2$ для резисторів і конденсаторів	59
Додаток Д – вплив умов експлуатації	61
Додаток Е – витрати часу на ремонт	62
Додаток Ж – список скорочень і умовних позначень	63

Міністерство освіти і науки України  
Донецький національний технічний університет

**Методичні вказівки  
до розрахунково-графічних і практичних робіт  
по надійності**

Донецьк-2009

## ВСТУП

Надійність - дуже важлива властивість будь-якого виробу. Тому оцінка надійності необхідна в будь-якій розробці.

Дані методичні вказівки повинні допомогти студентам правильно виконати деякі види розрахунку надійності. Крім того, у вказівках викладені правила оформлення домашніх завдань. Розрахунково-графічна робота №1 що містить наближений розрахунок безвідмовності, розрахунок ремонтпридатності і визначення кількості запасних частин, необхідних для обслуговування партії приладів.

У роботі №2 виконується уточнений розрахунок надійності, що враховує умови і режим роботи виробів.

Оскільки головну складність в цьому розрахунку складає визначення режиму роботи ЕРЕ, цьому питанню присвячено декілька розділів, і наведені приклади таких розрахунків.

# 1 НАБЛИЖЕНИЙ РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ

## 1.1 РОЗРАХУНОК БЕЗВІДМОВНОСТІ

Для розрахунку надійності (безвідмовності) необхідно скласти структурно-логічну схему (СЛС), що визначає алгоритм розрахунку.

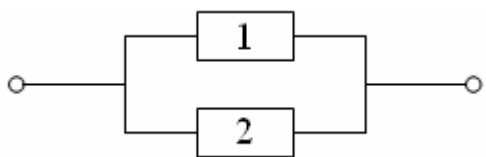
На СЛС елементи, відмова яких приводить до відмови пристрою, з'єднуються послідовно, а елементи, дублюючі один одного, лише спільна відмова яких приводить до відмови пристрою, з'єднуються паралельно.

Імовірність безвідмовної роботи (ВБР) послідовно з'єднаних на СЛС елементів, дорівнює добутку ВБР цих елементів:

$$R_{1,2 \text{ посл.}}(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) = e^{-\lambda_1 t} \cdot e^{-\lambda_2 t} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t} \quad (1)$$



При паралельному з'єднанні елементів на СЛС вірогідність відмови ланцюга з двох паралельно сполучених елементів дорівнює добутку імовірності відмов цих елементів:


$$q_{1,2 \text{ пар.}}(t) = q_1(t) \cdot q_2(t) \quad (2)$$

$$\text{Або } R_{1,2 \text{ пар.}}(t) = 1 - q_{1,2 \text{ пар.}}(t); \quad (3)$$

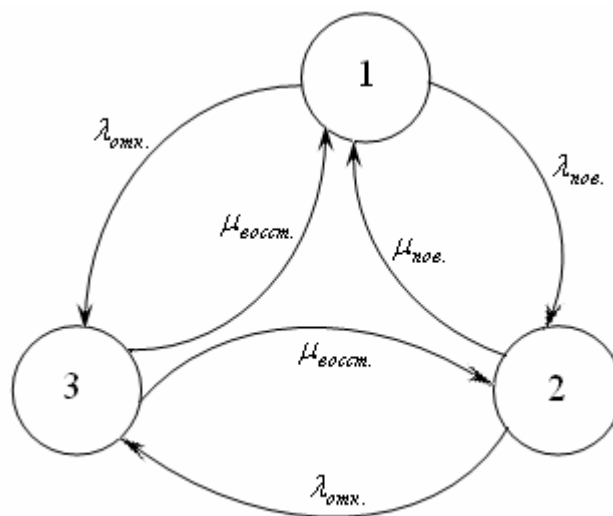
Підставляючи значення  $q_i$  в  $R_i$ , получимо:

$$R_{1,2 \text{ пар.}}(t) = 1 - (1 - R_1(t)) \cdot (1 - R_2(t)) = R_1(t) + R_2(t) - R_1(t) \cdot R_2(t) \quad (4)$$

Розрахунок ВБР ланцюга з двох паралельно з'єднаних ланок краще робити по формулах (2) і (3).

За наявності елементів, що виконують допоміжні функції, відмова яких не приводить до відмови всього пристрою або системи, їх виділяють в окрему групу. Загальну інтенсивність відмов такої групи визначають як інтенсивність пошкоджень, які переводять пристрій із справного стану в працездатний. Середній час виправлення пошкоджень також визначають окремо.

В цьому випадку доцільно побудувати граф:



де 1. – справний стан;

2. – працездатний стан;

3. – непрацездатний стан;

$\lambda_{отк.}$  – інтенсивність відмов;

$\lambda_{пов.}$  – інтенсивність пошкоджень;

$\mu_{восст.}$  – інтенсивність усунення відмов;

$\mu_{пов.}$  – інтенсивність поновлення пошкоджень;

Наближений розрахунок надійності виконується тоді, коли є варіант принципової електричної схеми.

При цьому розрахунку режим роботи ЕРЕ не враховується.

Данні розрахунку зводяться у таблицю. (Таблиця 1.1).

1. У першій колонці «Найменування ЕРЕ» записуються назва і тип ЕРЕ відповідно до таблиці 4.1 [1], або додаток А.

2. У другій колонці «кількість  $N_i$ » проставляють кількість однотипних елементів.

3. У третю колонку заносять значення « $\lambda_{\text{табл.}i}$ »,  $10^{-6} \frac{1}{\text{час}}$ .

4. У четвертій колонці знаходиться результат розрахунків добутків « $N_i * \lambda_{\text{табл.}i}$ » - підсумовування яких, дає  $\lambda_{\text{прист.}}$ .

$$(\lambda_{\text{прист.}} = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i).$$

5. У п'ятій колонці записані коефіцієнти відмов, що визначаються за формулою  $K_{\text{відм.}} = \frac{N_i * \lambda_i}{\lambda_{\text{прист.}}}$ .

Коефіцієнти відмов також підсумовуються (для контролю). Сума  $K_{\text{відм.}}$  повинна дорівнювати одиниці. По відхиленню визначають правильність розрахунків.

Значення  $K_{\text{відм.}}$  показує вплив кожного типу комплектуючих на загальну надійність пристрою.

Таблиця 1.1

Найменування й тип ЕРЕ	$N_i$	$\lambda_{\text{табл.}i}, 10^{-6}$ 1/годину	$N_i * \lambda_{\text{табл.}i}$	$K_{\text{відм.}i}$
1	2	3	4	5



## 1.2 РОЗРАХУНОК РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ

При розрахунку ремонтпридатності визначається середній час ремонту. Для цього до таблиці 1.1, отриманій при наближеному розрахунку надійності, додаються дві колонки (Таблиця 1.2).

6. Середній час ремонту (заміни) ЕРЕ(Таблиця 4.22 [1]) –  $MTTR_i$ .

7. Добуток  $K_{відм.i} * MTTR_i$ . Остання колонка підсумовується і результат є середнім часом відновлення виробу (об'єкту)

$$MTTR = \sum_{i=1}^n K_{відм.i} * MTTR_i.$$

Маючи ці дані, можна визначити, скільки виробів може обслуговувати один майстер. Для цього можна узяти термін – один тиждень (тривалість робочого часу за будь-який термін: місяць, квартал, рік – визначається по тижневому навантаженню).

За тиждень один майстер може відремонтувати (при семигодинному робочому дні)

$$N_{рем} = \frac{41_{годин}}{MTTR [годин]}.$$

На обслуговування один майстер може узяти стільки приладів, скількома забезпечить кількість відмов в тиждень, рівне  $N_{рем}$ . Один прилад за тиждень при цілодобовій роботі відмовить

$$N_{від} = \lambda * 168.$$

Кількість приладів, які майстер може узяти на обслуговування дорівнює

$$N_{обсл} = \frac{N_{рем}}{N_{відм.}}$$

Таблиця 1.2

Найменування й тип ЕРЕ	$N_i$	$\lambda_{\text{табл.і}}, 10^{-6}$ 1/годину	$N_i * \lambda_{\text{табл.і}}$	$K_{\text{відм.і}}$	$MTTR_i$	$K_{\text{отк.і}} * MTTR_i$
1	2	3	4	5	6	7

### 1.3 РОЗРАХУНОК ЗІП

Для ремонту відновлювальних виробів (об'єктів) необхідний набір запасних ЕРЕ, що дозволяють замінити ті, які вийшли з ладу. Розрахунок кількості запасних ЕРЕ виконується виходячи з інтенсивності відмов ЕРЕ, часу, на який замовляється ЗІП, і кількості обслуговуваних виробів.

Розрахуємо ЗІП на 1000 виробів, виходячи з того, що запасні ЕРЕ замовляються один раз в рік.

Для розрахунку складаємо таблицю (Таблиця 2).

1. У першій колонці записується найменування елементів з однаковими параметрами.

2. У другій колонці проставляють стандартні позначення елементів (тобто всю інформацію, необхідну для замовлення). Наприклад: КТ315А, К155ІЕ7, МЛТ-2-150 Ом – 5%.

3. У третю колонку заноситься кількість елементів з однаковими параметрами, що містяться в одному пристрої.

4. У четвертій колонці записується інтенсивність відмов  $\lambda_{\text{табл.і}}$ .

5. У п'ятій колонці записується добуток  $\lambda_i * N_i$ .

6. У шостій колонці прораховується розрахункова кількість елементів  $N_{\text{роз.}} = 8,76 * \lambda_i * N_i$ .

\* Значення  $\lambda_i$  у таблиці потрібно помножити на  $10^{-6}$ . Кількість годин в році 8760. Замовлення робиться для 1000 приладів. Добуток цих трьох чисел дає 8,76.

7. У сьомій колонці записується кількість ЕРЕ, що замовляється (округляється у велику сторону з урахуванням норм постачання)

Таблиця 2

Найменування елементів	Позначення	$N_{\text{од.парам}}$	$\lambda_{\text{табл.і}}$	$\lambda_i * N_i$	$N_{\text{роз}}$	$N_{\text{замов.}}$
1	2	3	4	5	6	7

### 1.4 ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ №1

МЕТА: навчитися виконувати наближений розрахунок надійності пристрою, ремонтпридатності виробу, а також розрахунок ЗІП.

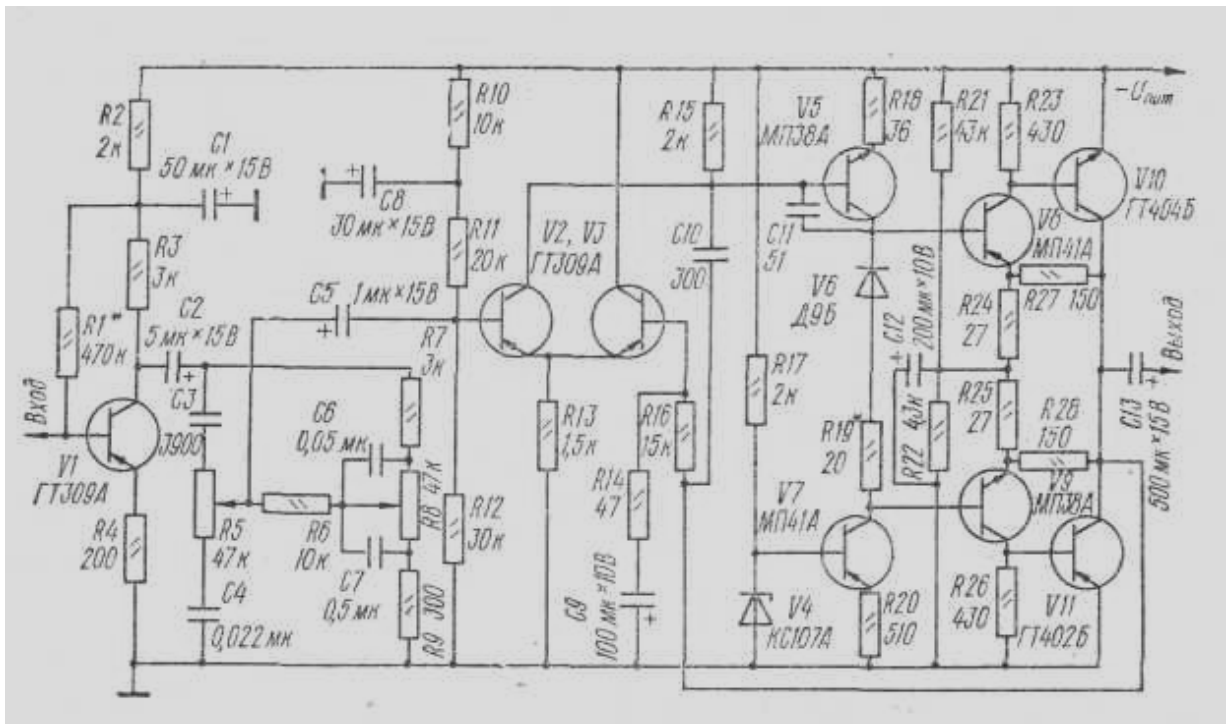


Рисунок 1 – Схема підсилювача

## ХІД РОБОТИ

Складаємо СЛС. У даній схемі вихід з ладу будь-якого елемента приведе до відмови пристрою. Тому СЛС буде ланцюгом послідовно з'єднаних елементів.

### 1. Наближений розрахунок безвідмовності.

1.1. Розрахунок безвідмовності виконуватимемо для схеми підсилювача з вихідним каскадом, що підсилює напругу сигналу (рис.1). Режим роботи елементів враховуватися не буде.

1.2. У таблицю 1.1 заносимо найменування ЕРЕ, їх кількість, інтенсивність відмов  $\lambda_{табл.}$  (послатися на джерело), а також добуток  $N_i * \lambda_{табл.i}$ .

1.3. Коефіцієнти відмов, які показують вплив кожного типа комплектуючих на загальну надійність пристрою, визначаємо за формулою:

$$K_{відм} = \frac{N_i * \lambda_i}{\lambda_{прист.}}$$

Таблиця 1.1

Найменування і тип ЕРЕ	Ni	$\lambda_{табл.i}, 10^{-6},$ 1/година	$N_i * \lambda_{табл.i}, 10^{-6},$ 1/година	$K_{відм.}$
резистори постійні	26	0,07	1,82	0,072
резистори змінні	2	0,5	1	0,040
конденсатори паперові	6	0,3	1,8	0,072
конденсатори електроліт	7	0,135	0,945	0,037
транзистори германієвий малопотужний	9	1,4	12,6	0,504
транзистори германієвий малопотужний	1	5	5	0,20
діод германієвий	1	0,68	0,68	0,027
пайки	115	0,01	1,15	0,046
Сума			24,995	1,000

1.4. Інтенсивність відмови пристрою буде:

$$\lambda_{устр} = \sum N_i * \lambda_i \approx 25 * 10^{-6} / \text{годин};$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_{устр}} \approx 40000 \text{ час};$$

$$R(2000) = e^{-\lambda_{устр} * 2000} = 0.95$$

## 2. Розрахунок ремонтпридатності

2.1. У таблицю 1.2 заносимо всю таблицю 1.1 та 2 додаткових стовпця: 6. - середній час ремонту (заміни) ЕРЕ  $MTTR_i$ , посилалися на джерело и 7. - добуток  $K_{відм.i} * MTTR_i$

Таблиця 1.2  
Наближений розрахунок надійності

Найменування тип ЕРЕ	i	Ni	$\lambda_{табл.i},$ $10^{-6},$ 1/годину	$N_i * \lambda_{табл.i},$ $10^{-6},$ 1/годину	$K_{відм}$	$MTTR_i$	$K_{відм.i} * MTTR_i$
резистори постійні		26	0,07	1,82	0,073	0,4	0,029
резистори змінні		2	0,5	1	0,040	0,5	0,02
конденсатори паперові		6	0,3	1,8	0,072	0,7	0,05
конденсатори електроліт		7	0,135	0,945	0,038	0,7	0,026
транзистори германієвий малопотужний		9	1,4	12,6	0,504	0,5	0,252
транзистори германієвий малопотужний		1	5	5	0,200	0,5	0,1
діод германієвий		1	0,68	0,68	0,027	0,4	0,011
пайки		115	0,01	1,15	0,046	0,3	0,014
Сума				24,995	1,000		0,502

У розрахунковій роботі №1 приводиться лише таблиця 1.2.

2.2. Середній час відновлення об'єкту

$$MTTR_i = \sum K_{відм} * MTTR_i = 0,502 \text{ ч}$$

2.3. За один тиждень один майстер може відремонтувати наступну кількість виробів (при робочому тижні 41 година):

$$N_{рем} = \frac{41}{0.502} \approx 81$$

2.4. Один прилад за тиждень при цілодобовій роботі відмовить

$$N_{відм} = \lambda * 7 * 24 = 0,0042$$

2.5. Кількість приладів, які майстер може узяти на обслуговування дорівнює

$$N_{об} = \frac{N_{рем}}{N_{от}} = \frac{81}{0.0042} = 19285 \approx 19000 \text{приборов}$$

### 3. Розрахунок ЗІП

Розрахуємо ЗІП на 1000 виробів, виходячи з того, що запасні ЕРЕ замовляються один раз на рік. Для розрахунку складаємо таблицю 2, в якій записуємо найменування елементів з однаковими параметрами, їх позначення і кількість, інтенсивність відмов, а також розрахункова кількість елементів.  $N_{роз} = 8,76 * \lambda_i * N_i$

Таблиця 2

Найменування елементів	Позначення	$N_{од.па}$ рам	$\lambda_{табл.і}$	$\lambda_i * N_i$	$N_{роз}$	$N_{замов}$
Резистори						
R1	МЛТ-0,125-470к-5%	1	0,07	0,07	0,6132	1
R2, R15, R17	МЛТ-0,125-2к-10%	3	0,07	0,21	1,8396	2
R3, R7	МЛТ-0,125-3к-10%	2	0,07	0,14	1,2264	2
R4	МЛТ-0,125-200-5%	1	0,07	0,07	0,6132	1
R5, R8	СП-1-47к-10%	2	0,5	1	8,76	9
R6, R10	СП-0,125-10к-5%	2	0,5	1	8,76	9
R9	МЛТ-0,125-300-5%	1	0,07	0,07	0,6132	1
R11, R19	МЛТ-0,125 —20к-10%	2	0,07	0,14	1,2264	2
R12	МЛТ-0,125-30к-5%	1	0,07	0,07	0,6132	1
R13	МЛТ-0,125-1,5к-10%	1	0,07	0,07	0,6132	1
R14	МЛТ-0,125-47-5%	1	0,07	0,07	0,6132	1
R16	МЛТ-0,125-15к-10%	1	0,07	0,07	0,6132	1
R18	МЛТ-0,125-36-10%	1	0,07	0,07	0,6132	1
R20	МЛТ-0,125-510-5%	1	0,07	0,07	0,6132	1

R21	МЛТ-0,125-43к-10%	1	0,07	0,07	0,6132	1
R22	МЛТ-0,125-4,3к-10%	1	0,07	0,07	0,6132	1
R23, R26	МЛТ-0,125-430к-10%	2	0,07	0,14	1,2264	2
R24, R25	МЛТ-0,125-27к-10%	2	0,07	0,14	1,2264	2
R27, R28	МЛТ-0,125-150-5%	2	0,07	0,14	1,2264	2
Конденсатори						
C1	К50-16-50мк*15В-10%	1	0,135	0,135	1,1826	2
C2	К50-16-5мк*15В-10%	1	0,135	0,135	1,1826	2
C3	К21-7-3900-10%	1	0,3	0,3	2,628	3
C4	К21-7-0,022мк-10%	1	0,3	0,3	2,628	3
C5	К50-16-1мк*15В-10%	1	0,135	0,135	1,1826	2
C6	К21-7-0,05мк-10%	1	0,135	0,135	1,1826	2
C7	К21-7-0,5мк-10%	1	0,135	0,135	1,1826	2
C8	К50-16-30мк*15В-10%	1	0,135	0,135	1,1826	2
C9	К50-16-100мк*10В-10%	1	0,135	0,135	1,1826	2
C10	К22У-1-300-10%	1	0,3	0,3	2,628	3
C11	К21-7-51-10%	1	0,3	0,3	2,628	3
C12	К50-16-200мк*10В-10%	1	0,135	0,135	1,1826	2
C13	К50-16-500мк*15В-10%	1	0,135	0,135	1,1826	2
Транзистори						
VT1, VT2, VT3	ГТ309А	3	1,4	4,2	36,792	37
VT5, VT9	МП38А	2	1,4	4,2	36,792	37
VT7, VT8	МП41А	2	1,4	2,8	24,528	25
VT10	ГТ404Б	1	1,4	1,4	12,264	13
Діод						
V6	Д9Б	1	0,68	0,68	5,9568	6
Стабілітрон						
V4	КС107А	1	5	5	43,8	44

Висновок. У висновках слід оцінити пристрій і розрахунок надійності (перераховувати, що зроблено, не треба).

Перелік посилань:

1. Джерело, звідки узята схема
2. Джерела довідкових даних.

## 2 УТОЧНЕНИЙ РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ

*Складається СЛС, як в розділі 1. Для кожного ланцюжка СЛС складається окрема таблиця*

В цьому розрахунку безвідмовність пристроїв визначається з урахуванням режимів роботи елементів. Враховується також температура довкілля (розрахункова температура приймається на  $10...15^{\circ}\text{C}$  вище), час роботи (годин на добу), механічні дії, вологість і атмосферний тиск. Дані розрахунку зводяться в таблицю (Таблиця 2.1)

1. У першій колонці приводяться умовні позначення елементів на схемі ( $R1, c1, vt1.$ ). Можна об'єднувати елементи одного номінала, якщо вони працюють в однаковому режимі

2. У другій колонці приводиться тип і номінал елементу (МЛТ-0,25-1К, МБМ-0,5МКФ 160В, КТ-315А) назва, якщо воно не зрозуміле.

3. У третій колонці проставляється кількість однакових елементів, що працюють в однаковому режимі.

4. У четвертій колонці указується позначення параметра, по якому визначається коефіцієнт навантаження, і його значення ( $P=0,1\text{Вт}$ ,  $U=13\text{В}$ ,  $I=32\text{мА}$ ).

5. У п'ятій колонці указується номінальне значення параметра ( $0,125\text{Вт}$ ,  $16\text{В}$ ,  $40\text{мА}$ ).

6. У шостій колонці проставляється значення коефіцієнта навантаження, рівне відношенню фактичного значення параметра к його номінальному значенню. Якщо  $K_H > 1$ , елемент вимагає заміни.

7. У сьому колонку заносяться значення коефіцієнта  $\alpha_1$ , що враховує режим роботи ( $K_H$ ) і температуру. Цей коефіцієнт знаходиться по таблицях 4.4.4.6 [1] або графікам (додаток В).



8. У восьмій колонці проставляється коефіцієнт  $\alpha_2$ , залежний від технологій виготовлення. Для резисторів  $\alpha_2$  визначається по таблиці 4.7, для конденсаторів по графіках (додаток Г), для ППП приймається рівним 1.

9. У дев'ятій колонці проставляється значення  $\lambda_{табл.}$ , яке береться з додатку А або з табл. 4.1 [1] для більшості ЕРЕ, а для ІМС – з таблиць 4.11, 4.13. Для розрахунку береться максимальне значення  $\lambda_{табл.}$ , оскільки нам невідомі умови, для яких визначалися значення цих коефіцієнтів.

10. У десятю колонку заносяться значення  $\lambda_{роб.}$ , яке визначається по формулі

$$\lambda_{роб.} = \lambda_{табл.} * \alpha_1 * \alpha_2$$

11. У одинадцяту колонку заносяться значення  $\lambda$  у відключеному стані, це значення може мінятися в досить широких межах залежно від умов, в яких працює пристрій. Ми прийматимемо

$$\lambda_{відм.} = 0,1 * \lambda_{табл.}$$

12. У дванадцяту колонку заноситься розрахункове значення  $\lambda$ , яке визначається за формулою

$$\lambda_{роз.і} = [\lambda_{роб.і} * t_{роб.} + \lambda_{відм.і} * (24 - t_{роб.})] / 24$$

де  $t_{роб.}$  – час роботи пристрою на добу.

13. У тринадцяту колонку проставляють значення добутку  $\lambda_{роз.і} * N_i$ . Числа, занесені в цю колонку, підсумовуються і дають у результаті  $\lambda$  пристрою.

14. У чотирнадцяту колонку заносять значення коефіцієнтів відмов, які визначається по формулі

$$K_{відм.і} = (\lambda_{розр.і} * N_i) / \lambda_{пристр.}$$

де чисельник береться з відповідного рядка колонки тринадцять, а знаменник рівний сумі всіх добутоків:  $\lambda_{роз.i} * N_i$ , отриманій в цій же колонці.

15. П'ятнадцята колонка містить значення  $MTTR_i$ , які беруться з таблиці 4.22. Оскільки студент має в своєму розпорядженні інформацію про час відновлення при виході з ладу різних елементів, він може вибрати будь-яке значення в межах, вказаних в таблиці 4.22, і навіть за межами цих значень, якщо для цього є підстава.

16. Остання, шістнадцята колонка містить добуток  $MTTR_i * K_{відм.i}$ , підсумовування яких дає середній час відновлення пристрою  $MTTR_{пристр.}$

Приклад заповнення таблиці приведений нижче.

Таблиця 2.1

Уточнений розрахунок надійності.

Умовне позначення на схемі	Тип і номінал елементу	Кількість $N_i$	Параметр і його значення	Номінал	Кн	$\alpha_1$
1	2	3	4	5	6	7
R1, R2, R6	МЛТ-0.5-1К	3	P=0.3 Вт	0.5	0.6	0.73
VT1, VT5	КТ 814 А	2	P=0.5 Вт	1	0.5	0.4
C1, C7	К50-6-16В-100 мкФ	2	U=12 В	16	0.75	0.54

$\alpha_2$	$\lambda_{табл.i}$	$\lambda_{роб.i}$	$\lambda_{відключ.}$	$\lambda_{рас.i}$	$\lambda_{рас.i} * N_i$	$K_{відключ.i}$	$MTTR_i$	$MTTR_i * K_{відключ.i}$
8	9	10	11	12	13	14	15	16
0.6	0.07	0.03	0.007	0.019	0.057	0.012	0.5	0.006
1	1.44	0.576	0.144	0.36	0.72	0.144	0.6	0.086
2	0.135	0.146	0.014	0.08	0.16	0.032	0.5	0.016
					$\Sigma = 1.45$	$\Sigma = 0.188$		$\Sigma = 0.108$

Примітка: у приклад заповнення таблиці 2.1 прийняті  $t_c = 30^0 C$  ( $t_{пристр.} = 40^0 C$ ), час роботи 12 годин на добу.

## 2.1 ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ЕРЕ

### 2.1.1 РЕЖИМ РОБОТИ РЕЗИСТОРІВ І ТРАНЗИСТОРІВ

Визначається якнайгірший режим роботи.

Необхідно визначити струм через елемент, напругу на ній і розсіювану потужність.

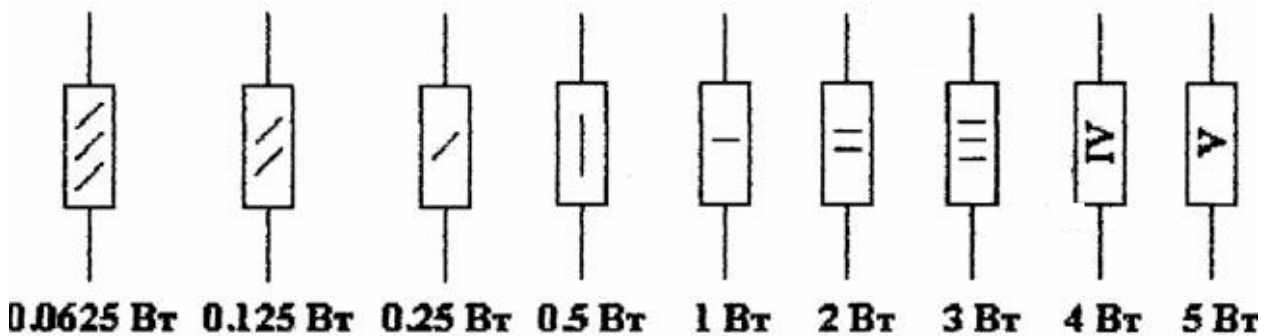
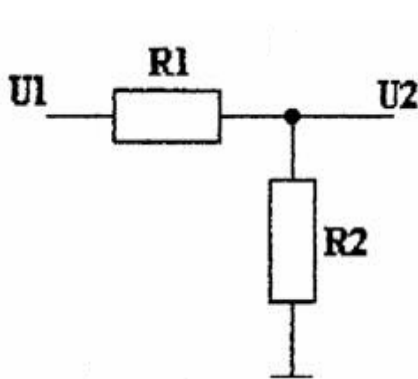


Рисунок 2.1 – Схематичне зображення резисторів з вказівкою номінальній потужності

Нижче приведені приклади розрахунку режимів для різних схем:

1) Дільник напруги (якщо опором навантаження можна нехтувати).



$$I_{R1,R2} = \frac{U_1}{R_1 + R_2}, \quad U_2 = R_2 * \frac{U_1}{R_1 + R_2},$$

$$P_1 = I_2 * R_1 = U_1 * R_1 / (R_1 + R_2)^2, \quad P_2 = I_2 * R_2$$

Якщо опір навантаження сумірно з опором дільника, воно включається паралельно  $R_2$  і враховується  $R_2 \parallel R_H$ .

Рис. 2.2

## 2) Транзисторний каскад із СЕ

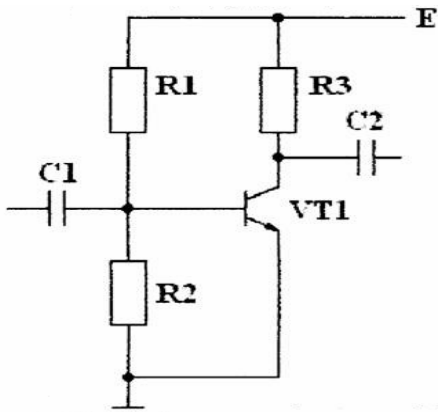


Рис. 2.3

$$I_{R1} \approx \frac{E}{R1}; \quad U_{R1} \approx E; \quad P_{R1} = U_{R1} * I_{R1} = \frac{E^2}{R1};$$

$$U_{R2} \approx 0.6B \text{ (перехід база-емітер)}$$

$$P_{R2} = I^2_{R1,R2} * R2.$$

$$U_{R3} = E, \quad I_{R3} \quad P_{R3} = U_{R3} * I_{R3} = \frac{E^2}{R3};$$

(вважаємо для випадку, коли транзистор знаходиться в стані насичення).

На транзисторі VT1 максимальна потужність (без урахування навантаження) буде розсіюватися тоді, коли на нього буде припадати половина напруги E (тобто  $U = \frac{E}{2}$ ).

Дійсно, розсіювана на транзисторі потужність

$$P_{VT} = I_{VT} * U_{VT} = I_{VT} * (E - I_{VT} * R3).$$

Ця потужність досягає максимуму, коли

$$\frac{dP_{VT}}{dI_{VT}} = (E - I_{VT} * R3) + I_{VT} * (-R3) = E - 2I_{VT} * R3 = 0.$$

Тоді

$$I_{VT} = \frac{E}{2R3} \quad \text{і} \quad U_{VT} = \frac{E}{2}.$$

Те, що це максимум підтверджується тим, що

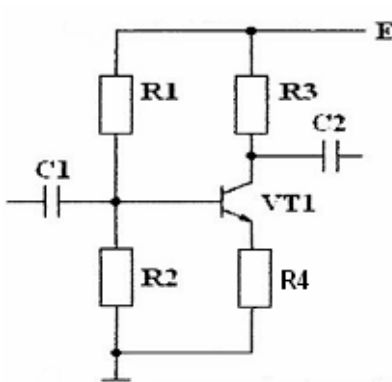
$$\frac{d^2 P_{VT}}{dI_{VT}^2} = \frac{d}{dI} (E - 2I_{VT} R3) = -2R3.$$

Як відомо, друга похідна в точці максимуму негативна.

Отже

$$P_{VT_{\max}} = \frac{E}{2} * \frac{E}{2R3} = \frac{E^2}{4R3}.$$

### 3) Каскад з СЕ і резистором в ланцюзі емітера



$$I_{R1,R2} = \frac{E}{R1+R2}, \quad I_{R3,R4} = \frac{E}{R3+R4}.$$

Режим VT1 при  $R3 + R4 = 1k$ ,  $E = 10V$ .

$I_{VT}$	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
$U_{VT}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{VT}$	0	9	16	21	24	25	24	21	16	9	0

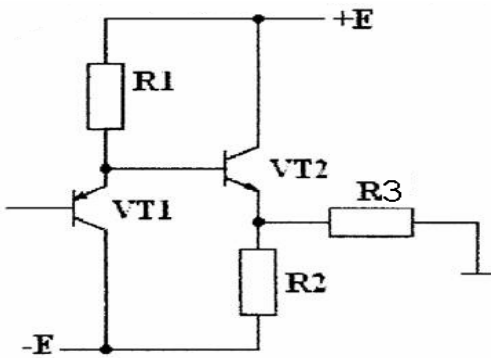
$$P_{\max} = 25\text{мВт}$$

Рис. 2.4

Таким чином, якнайгірший режим для транзистора, коли половина потужності розсіюється на транзисторі, а половина на резисторах.

Якнайгірший режим для резисторів, коли вся потужність розсіюється на них.

### 4) Подвійний емітерний повторювач і навантаження



$$I_{R1} \approx \frac{2E}{R1}, \quad P_{R1} = U_{R1} * I_{R1} = \frac{4E^2}{R1};$$

$$I_{R2} = \frac{2E}{R2}, \quad P_{R2} = U_{R2} * I_{R2} = \frac{4E^2}{R2};$$

$$I_{R3} = \frac{E}{R3}, \quad P_{R3} = U_{R3} * I_{R3} = \frac{E^2}{R3};$$

$$P_{VT1\max} = E * \frac{E}{R1} = \frac{E^2}{R1};$$

$$P_{VT2\max} = \frac{E - U_{\text{екв.}}}{2} * \frac{E - U_{\text{екв.}}}{2 * R_{\text{екв.}}};$$

Рис. 2.5

$$U_{\text{екв.}} = \frac{-E}{R2+R3} * R3;$$

$$R_{\text{екв.}} = R2 \parallel R3.$$

### 5) Схема з джерелом струму і резистором, що гасить

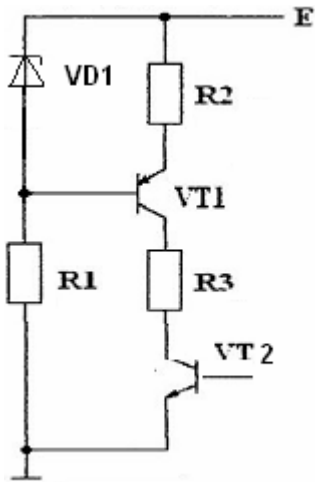


Рис. 2.6

$$I_{R_1} = \frac{E - U_{KC}}{R_1}, \quad I_{R_2} = \frac{U_{KC}}{R_2}, \quad I_{R_3} = I_{R_2}.$$

Якнайгірший режим для транзистора VT1:

$$I_{VT1} = I_{R_2}, \quad U_{VT1} = E - U_{KC} - U_{R_3}$$

$$P_{VT1} = I_{R_2} * (E - I_{R_2} * (R_2 + R_3))$$

Якнайгірший режим для транзистора VT2:

$$P_{VT2} = I_{R_2} * (E - I_{R_2} * (R_2 + R_3))$$

У наступних нижче схемах визначатимемо тільки режим транзисторів.

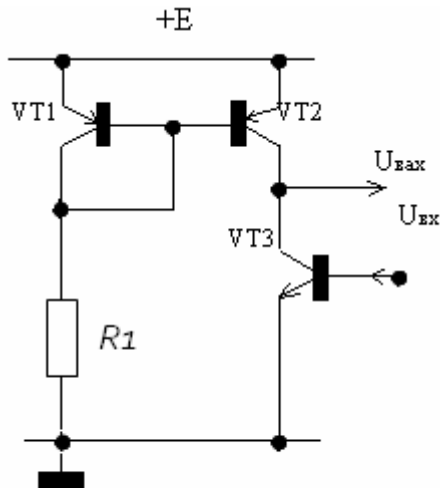


Рис. 2.7

Пристрої з джерелом струму

б) Струмове дзеркало у посилювальному каскаді

Транзистор VT1

$$I_k = \frac{E}{R_1}; U_{ЭК} = 0,6B$$

(для кремнієвих транзисторів)

$$P_{max} = I_k * U_{ЭК} = \frac{E}{R_1} * 0,6B;$$

Транзистор VT2

$$I_k = \frac{E}{R_1}; U_{ЕК max} = E \quad (\text{коли VT3 в}$$

$$\text{насиченні}) \quad P_{VT2} = \frac{E^2}{R_1}$$

Транзистор VT3 без урахування навантаження має максимальну потужність розсіювання рівну максимальній потужності розсіювання транзистора VT2.

$$P_{VT3 max} = \frac{E^2}{R_1}.$$

7) Джерело струму на двох транзисторах

Транзистор VT1

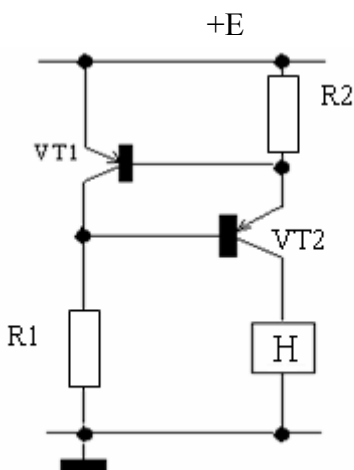


Рис. 2.8

$$I_k \approx \frac{E}{R_1}; \quad U_{ек} = U_{ебVT1} + U_{ебVT2} = 1,2B \text{ ( для кремнієвих транзисторів)}$$

Транзистор VT2

$$I_k = \frac{0,6B}{R_2} \text{ (для кремнієвих транзисторів)}$$

$$U_{эк} = E - 0,6B \text{ (при } R_H = 0)$$

Максимальна потужність розсіювання

$$P_{\max} = \frac{0,6}{R_2} * (E - 0,6B)$$

8) Джерело струму із стабілітроном

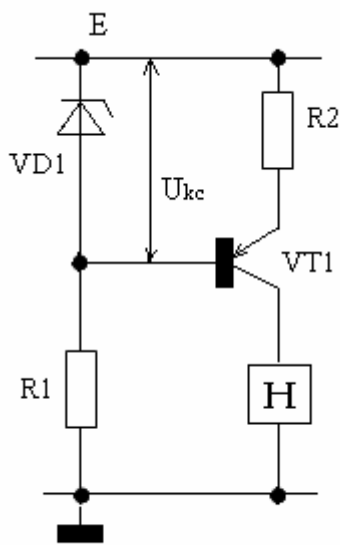


Рис. 2.9

$$I_{VT1} = \frac{U_{kc} - 0,6B}{R_2};$$

$$U_{VT1\max} = E - I_{VT1} * R_2 = E - U_{kc} + 0,6B;$$

$$P_{VT1\max} = (E - U_{kc} + 0,6B) * \frac{U_{kc} - 0,6}{R_2}$$

(при  $R_H = 0$ )

9) Схема з складеним транзистором і

навантаженням.

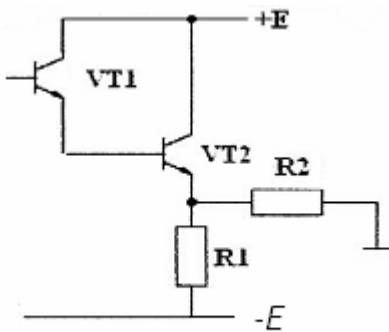


Рис. 2.10

$$R_{екв} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}, \quad U_{екв} = \frac{-E}{R_1 + R_2} * R_2.$$

Якнайгірший режим для транзистора VT1:

$$I_{VT1} = \frac{E - U_{екв}}{2 * R_{екв} * h_{21VT2\min}}, \quad U_{VT1} = \frac{E - U_{екв}}{2}.$$

Якнайгірший режим для транзистора VT2:

$$U_{VT1} = \frac{E + U_{екв}}{2}, \quad I_{VT2} = \frac{E - U_{екв}}{2 * R_{екв}}$$

Для  $R_1$ :  $I_{\max} = \frac{2E}{R_1}$ ; Для  $R_2$ :  $I_{\max} = \frac{E}{R_2}$ .

### 10) Двотактний емітерний повтрювач

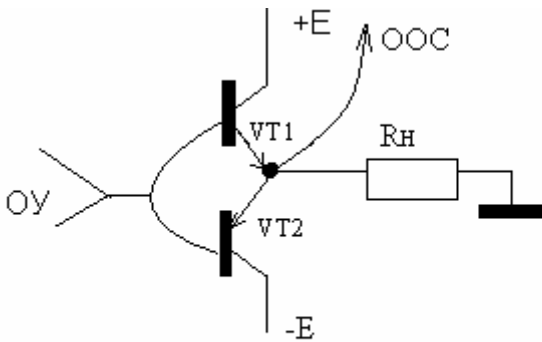


Рис. 2.11

У цьому пристрої крізного струму через транзистори VT1 і VT2 не буває, оскільки напруга, що відкриває один транзистор, замикає другий. Тому кожен транзистор працює тільки на навантаження, і максимальна

потужність, що розсіюється на транзисторах VT1 і VT2 буде

$$P_{VT} = \frac{E}{2} * \frac{E}{2R_H} = \frac{E^2}{4R_H}.$$

### 11) Двотактний повтрювач на схемах Шиклаї

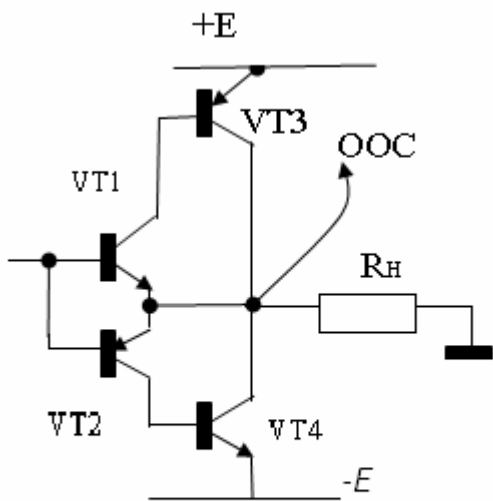


Рис. 2.12

У цій схемі транзистори VT3 і VT4 працюють на навантаження по черзі, як і в схемі рис.2.11, тому потужність, що розсіюється цими транзисторами, буде

$$P_{VT3,4} = \frac{E^2}{4R_H}.$$

Транзистори VT1 і VT2 теж працюють по черзі, забезпечуючи струм бази транзисторів VT3 і VT4.

Іншими словами колекторний струм транзистора VT1 рівний струму бази транзистора VT3, а колекторний струм транзистора VT2 рівний струму бази транзистора VT4.

Таким чином 
$$P_{VT1} = P_{VT2} = \frac{E^2}{4R_H * h_{21VT4\min}}.$$



12) Параметричний стабілізатор з транзисторним підсилювачем струму (простий повторювач)

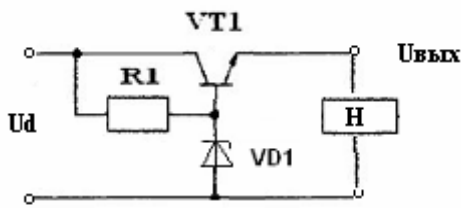


Рис. 2.14

а) Робочий режим.

В цьому випадку максимальна потужність, що розсіюється на транзисторі, буде при максимальній напрузі мережі ( $U_{d \max} = 1,1U_{\text{дном}}$ ) і максимальному струмі навантаження ( $I_{H \max}$ ).

$$P_{\max} = (1,1U_{\text{дном}} - U_{\text{вих}}) * I_{H \max}.$$

б) Режим короткого замикання.

При цьому, якщо потужність випрямляча набагато перевершує потужність стабілізатора, то

$$P_{K3} = 1,1U_{\text{дном}} * h_{21 \max}$$

де  $P_{K3}$  – потужність, що розсіюється на транзисторі в режимі короткого замикання;

$U_d$  – номінальна напруга випрямляча;

$R_1$  – опір баластного резистора R1 (рис.1);

$h_{21 \max}$  – максимальне посилення струму транзистора VT1 – береться по довіднику. Якщо ж випрямляч має потужність, узгоджену із стабілізатором, то слід врахувати вихідний опір випрямляча. Тоді

$$P_{K3} = 0,5U_d * \frac{0,5U_d}{R_{\text{випр}}}$$

де  $P_{K3}$  – максимальна потужність, яка може розсіюватися на транзисторі в режимі короткого замикання;

$R_{\text{випр}}$  – вихідний опір випрямляча, що включає опір обмотки трансформатора і діодів.

13) Параметричний стабілізатор з підсилювачем струму на складеному транзисторі (схема Шиклаї)

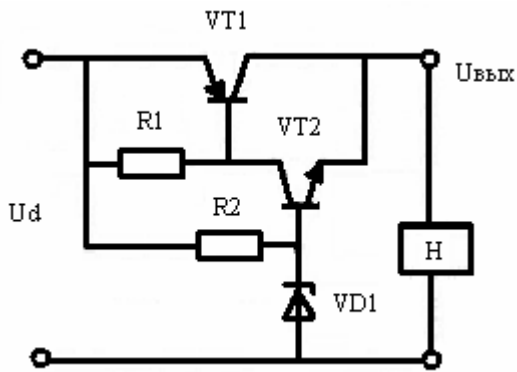


Рис. 2.14

а) Робочий режим.

В цьому випадку максимальна розсіювана потужність на транзисторі VT1 буде

$$P_{VT1\max} = (1,1U_{\text{дном}} - U_{\text{вих}}) * I_{H\max}$$

тобто така, як при простому повторювач.

Максимальна потужність на транзисторі VT2 визначатиметься формулою:

$$P_{VT1\max} = (1,1U_{\text{дном}} - U_{\text{вих}}) * \left( \frac{I_{H\max}}{h_{21VT1\min}} + \frac{U_{eбVT1}}{R_1} \right);$$

де: - в перших дужках міститься напруга на переході емітер-колектор транзистора VT2 (без урахування падіння напруги на переході емітер-база транзистора VT1);

- у других дужках перша дріб рівна струму бази транзистора VT1, а друга - струму резистора R1; в сумі це дорівнює колекторному струму транзистора VT2.

б) Режим короткого замикання.

Якщо потужність випрямляча набагато перевершує потужність стабілізатора, максимальна потужність, що розсіюється на транзисторі VT1, може досягати значення

$$P_{VT1\max} = 1,1U_d * \left( \frac{1,1U_d}{R_2} * h_{21VT2\max} - \frac{U_{eбVT1}}{R_1} \right) * h_{21VT1\max}$$

де - максимальний струм бази транзистора VT2;

$$\frac{1,1U_d}{R_2} * h_{21VT2\max} - \text{максимальний струм колектора VT2};$$

$$\frac{1,1U_d}{R_2} * h_{21VT2\max} - \frac{U_{eбVT1}}{R_1} - \text{максимальний струм бази транзистора VT1};$$

$h_{21VT1\max}$  – максимальне посилення струму транзистора VT1 (з довідника).

Режим короткого замикання визначається в тому випадку, якщо за умовами експлуатації такий режим можливий. В цьому випадку повинні бути передбачені заходи захисту.

#### 14) Визначення граничного значення опору

У слабкострумівих схемах використовуються високоомні резистори. При невисокій напрузі живлення багато резисторів навантажено менш, ніж на 10%.

Щоб не виконувати зайвих обчислень, слід визначення режимів почати з розрахунків граничного значення опору

$$R_{ep} = \frac{U_{жив}^2}{0,1P_{ном}};$$

де  $R_{ep}$  – граничне значення опору

$U_{жив}$  – напруга живлення

$P_{ном}$  – номінальна потужність резистора.

Якщо  $R > R_{ep}$ , то потужність, що розсіюється на резисторі буде менше  $0,1P_{ном}$  і, том у, рахувати її не треба, а можна відразу записати в таблицю  $K_H < 0,1$  і надалі, при визначенні коефіцієнта  $\alpha_1$  брати його мінімальним (як при  $K_H < 0,1$ ).

Виключенням є деякі імпульсні схеми. Наприклад, у мультівібраторі до базових резисторів може бути прикладене напруга в 2 рази більше  $U_{жив}$ .

### 2.1.2 РЕЖИМ РОБОТИ КОНДЕНСАТОРІВ

1. Визначається максимальне значення напруги на конденсаторі

$U_{\max}$ .

2. По довіднику визначається максимально допустиме значення напруги  $U_{ном}$ .

3. Визначається коефіцієнт навантаження

$$K_n = \frac{U_{\max}}{U_{ном}};$$

$K_n$  повинен бути менше одиниці. Інакше конденсатор треба замінити на більш високовольтний.

### 2.1.3 РЕЖИМ РОБОТИ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ КОНДЕНСАТОРІВ

1. Визначається максимально можлива напруга на конденсаторі

$U_{\max}$ .

2. Визначається коефіцієнт навантаження

$$K_n = \frac{U_{\max}}{U_{ном}}.$$

3. Перевіряється коефіцієнт пульсацій

$$K_n = \frac{\Delta U_{\max}}{2U_{\max}} < K_{п.ном},$$

де  $\Delta U_{\max}$  - повний розмах пульсацій.

Якщо вимога не виконується, конденсатор треба замінити.

### 2.1.4 РЕЖИМ РОБОТИ ВИПРЯМНИХ ДІОДІВ

Режим роботи діодів визначається за двома параметрами:  $U_{np.cр.}$  і

$U_{обр.max}$ .

1. Визначаємо  $U_{обр.max}$  і  $I_{np.cр.}$ .
2. По довіднику знаходимо номінальне значення  $U_{обр.max}$  і  $I_{np.cр.}$ .
3. Визначаємо коефіцієнти навантаження по  $U_{обр.max}$  і  $I_{np.cр.}$ .
4. Для розрахунку вибираємо більший з цих двох коефіцієнтів.

Якщо  $K_n > 1$ , діод вимагає заміни.

### 2.1.5 РЕЖИМ РОБОТИ СТАБІЛІТРОНІВ

1. Визначаємо максимальне значення струму.
2. Знаходимо по довіднику номінальний струм.
3. Визначаємо коефіцієнт навантаження. Якщо  $K_n > 1$ , стабілітрон

треба замінити.

### 2.1.6 РЕЖИМ РОБОТИ СВІТЛОДІОДІВ

Режим визначається по прямому струму. Зворотна напруга перевіряється.

1. Визначаємо максимальне значення струму.
2. Знаходимо по довіднику номінальний струм.
3. Визначаємо коефіцієнт навантаження. Якщо  $K_n > 1$ , треба

збільшити опір резистора, через який визначає струм світлодіода.

### 2.1.7 РЕЖИМ РОБОТИ ФОТОДІОДІВ

1. По довіднику визначаємо максимальне значення струму  $I_{\max}$  і потужності  $P_{\text{дон}}$ .

2. Визначаємо максимальне значення потужності розсіювання:

$$P_{\max} = I_{\max} * U_{\text{фд}}, \text{ якщо } K_{\text{фд}} < U_{\text{жсиг}}/2.$$

Якщо при  $I_{\max}$  напруга  $K_{\text{фд}} > U_{\text{жсиг}}/2$ , то  $P_{\max} = \frac{U_{\text{ном}}}{2} * \frac{U_{\text{ном}}}{2R_n}$  (як у транзистора).

3. Визначаємо коефіцієнт навантаження:

$$K_n = \frac{P_{\max}}{P_{\text{ном}}}$$

### 2.1.8. РЕЖИМ РОБОТИ РЕЛЕ І КОНТАКТІВ

Особливість розрахунку – необхідність обліку надійності обмоток і контактів. Коефіцієнт  $\alpha_1$  визначається за часом знаходження обмоток під напругою. Також враховується кількість обмоток  $V$ . Інтенсивність відмови контактів визначається окремо для кожного контакту. Коефіцієнт  $\alpha_2$  визначається по коефіцієнту навантаження на контакт.

1. Визначається час, протягом якого обмотка реле знаходиться під напругою.

2. Знаходиться коефіцієнт  $\alpha_1$  по таблиці 4.8 або рис. В12, В13

3. Визначається струм через кожний контакт.

4. Знаходиться коефіцієнт  $\alpha_2$ .

5. Визначається кількість включень реле в годину (S).

6. Знаходиться робоча інтенсивність відмови ( $\lambda_{\text{обм}}$  і  $\lambda_{\text{конт}}$  береться з таблиці 4.8)

$$\lambda_{\text{роб}} = \lambda_{\text{обм}} * \alpha_1 + \sum_{i=1} \lambda_{\text{конб}} * S * \alpha_{2i}$$

## 2.2 ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ №2

МЕТА: навчитися виконувати уточнений розрахунок надійності елементів пристрою з урахуванням режимів роботи.

### ХІД РОБОТИ

Приводиться схема і її опис.

Складається СЛС, як в розділі 1.

Указується температура навколишнього середовища (розрахункова температура приймається на  $10...15^{\circ}\text{C}$  вище), час роботи (годин на добу), механічні дії, вологість і атмосферний тиск.

1. Визначається  $R_{zp} = \frac{E^2}{0,1P_H}$

Якщо потужність самого малопотужного резистора складає 125 мВт, а  $E = 12\text{В}$ , то  $R_{zp} \frac{144}{12,5} = 11,5$  кОм.

Таким чином, коефіцієнт навантаження резисторів, опір яких більше 12 кОм, менше 0,1.

Отже, такі елементи розрахунку режиму не потребують.

2. Заносимо в таблицю 1 позначення, тип, номінал і кількість однакових елементів.

Таблиця 2.1 – Розрахунок коефіцієнтів навантаження.

Найменування елементів	Позначення	N	Фактичне значення, по якому визначається коефіцієнт навантаження	Номинальне значення параметра	Кнг
1	2	3	4	5	6
Резистори					
R1	МЛТ-0,125-470К-5%	1	-	P = 0,125 Вт	< 0,1
R2	МЛТ-0,125-2К-10%	1	$I = 12/(r_2+r_3+r_4) = 12/(2+3+0.2) = 2.3\text{mA}$ , $U = 2.3*2=4.6\text{В}$ , $P = 2.3*4.6 = 10.6\text{мВт}$	P = 0,125 Вт	<0,1
R3	МЛТ-0,125-3К-10%	1	$I = 12/(r_2+r_3+r_4) = 12/(2+3+0.2) = 2.3\text{mA}$ , $U = 2.3*3=6.9\text{В}$ , $P = 2.3*6.9 = 16\text{мВт}$	P = 0,125 Вт	0,13
R4	МЛТ-0,125-200-5%	1	$I = 12/(r_2+r_3+r_4) = 12/(2+3+0.2) = 2.3\text{mA}$ , $U = 2.3*0.2=0.446\text{ В}$ , $P = 2.3*0,446 = 1.03\text{ мВт}$	P = 0,125 Вт	<0,1
R5	СП-1-47К-10%	1	-	P = 1 Вт	<0,1
R6	МЛТ-0,125-10К-5%	1	$I = 12\text{В}/r_6=1.2\text{ мА}$ , $U = 12\text{В}$ , $P = 12*1.2 = 14.4\text{ мВт}$	P = 0,125 Вт	0,12
R7	МЛТ-0,125-3К-10%	1	$I = 12\text{В}/(r_7+r_8+r_9) = 0,240\text{мА}$ , $U=0.240*3=0.7\text{В}$ , $P = 0.7*0.24=0.17\text{мВт}$	P = 0,125 Вт	<0,1
R8	СП-1-47К-10%	1	-	P = 1 Вт	<0,1
R9	МЛТ-0,125-300-5%	1	$I = 12\text{В}/(r_7+r_8+r_9) = 0,240\text{мА}$ , $U=0.240*0,3=0.07\text{В}$ , $P = 0.07*0.24=0.017\text{мВт}$	P = 0,125 Вт	<0,1
R10	МЛТ-0,125-10К-5%	1	$I=U_{\text{пит}}/(R_{10}+R_{11}+R_{12}) = 12/60 = 0,2\text{мА}$ , $U = 0.2*10=2\text{В}$ , $P = 2*0.2=0.4\text{ мВт}$	P = 0,125 Вт	<0,1
R11	МЛТ-0,125 — 20к-10%	1	-	P = 0,125 Вт	<0,1
R12	МЛТ-0,125-30К-5%	1	-	P = 0,125 Вт	<0,1
R13	МЛТ-0,125-1,5К-10%	1	$U = U_{\text{пит}}/2 = 6\text{В}$ , $I = 6/1.5 = 4\text{мА}$ , $P = 4*6=24\text{мВт}$	P = 0,125 Вт	0.2
R14	МЛТ-0,125-47-5%	1	Оскільки струм ділитиметься між R14 і R16, можна вважати, що Кнг буде менше 0,1	P = 0,125 Вт	0.1
R15	МЛТ-0,125-2К-10%	1	$U_{r15} = U_{r18}+0.3 = 0.3+0.36=0.66\text{В}$ , $I = 0.66/2=0.33\text{мА}$ , $P = 0.33*0.66 = 0.2\text{ мВт}$	P = 0,125 Вт	0,1



R16	МЛТ-0,125-15К-10%	1	-	P = 0,125 Вт	<0,1
R17	МЛТ-0,125-2К-10%	1	UR17 = Uпит – UV4 = 12-1 = 11 В, IR17 = 11/2 = 5.5 мА, P = 5,5*11=60,5 мВт	P = 0,125 Вт	0.5
R18	МЛТ-0,125-36-10%	1	Ir18 = 10 мА, Ur18=10*36=0.36 В, P = 0.36*10 = 3.6 Вт	P = 0,125 Вт	<0,1
R19	МЛТ-0,125 — 20к-10%	1		P = 0,125 Вт	<0,1
R20	МЛТ-0,125-510-5%	1	UR20 = Uvt7-Uд = 0.3-0.7 = 0.4В, IR20 =0.4/510 = 10 мА, P = 10*0.4 = 4мВт	P = 0,125 Вт	<0,1
R21	МЛТ-0,125-4,3К-10%	1	IR21 = Uпит / (R21+R22) = 12/8,6 = 1,5мА, UR21 =6В P = 6*1,5 = 9мВт	P = 0,125 Вт	<0,1
R22	МЛТ-0,125-4,3К-10%	1	IR21 = Uпит / (R21+R22) = 12/8,6 = 1,5мА, UR21 =6В P = 6*1,5 = 9мВт	P = 0,125 Вт	<0,1
R23	МЛТ-0,125-430-10%	1	Ur23=0.3В, Ir26=0.3/430 = 0.7мА, P = 0.7*0.3=0.021мВт	P = 0,125 Вт	<0,1
R24	МЛТ-0,125-27-10%	1	IR24 = (UR19 +0,3д – 0,3-0,3)/((R24+R25)  (R27+R28)) = 0,1/45.8 = 2мА, Ur24 = 2*27 = 0,054 В, P =2*0,054=0.108 мВт	P = 0,125 Вт	0.1
R25	МЛТ-0,125-27-10%	1	IR25 = (UR19 +0,3д – 0,3-0,3)/((R24+R25)  (R27+R28)) = 0,1/45.8 = 2мА, Ur25 = 2*27 = 0,054 В, P =2*0,054=0.108 мВт	P = 0,125 Вт	0.1
R26	МЛТ-0,125-430-10%	1	Ur26=0.3В, Ir26=0.3/430 = 0.7мА, P = 0.7*0.3=0.021мВт	P = 0,125 Вт	0.1
R27	МЛТ-0,125-150-5%	1	I = 10/(R27+Rнг)= 10/370 = 27мА, U = 33 * 150 = 4 В, P = 4*27 = 108мВт	P = 0,125 Вт	0,86
R28	МЛТ-0,125-150-5%	1	I = 10/(R27+Rнг)= 10/370 = 27мА, U = 33 * 150 = 4 В, P = 4*27 = 108мВт	P = 0,125 Вт	0,86
Транзисторы					
VT1	Гт309а	1	U=Uпит/2 = 6В, I = 4мА, P = 6*4=24 мВт	P=50 мВт	0.5
VT2	Гт309а	1	U = Uпит/2 = 6В, I= 4мА, P =6*4=24мВт	P=50 мВт	0.5
VT3	Гт309а	1	U=Uпит/2=6, I=4мА, P = 4*6=24мВт	P=50 мВт	0,5
VT5	Мп38а	1	I = 10мА, U = (12 – Ur18-Uд-Ur19-Ur20) = (12-0.36-1.5-0.2-0.4)=9, 54, P=10*9,54=95,4мВт	P=150 мВт	0.7
VT7	Мп41а	1	I = 10мА, U = (12 – Ur18-Uд-Ur19-Ur20) = (12-0.36-1.5-0.2-0.4)=9, 54, P=10*9,54=95,4мВт	P=150 мВт	0.32
VT8	Мп41а	1	U=(12-Ur26-Ur21-Ur24-Ur27) /2=(12-0.3-0.3-2*1.3) /2=4.9В,	P=150 мВт	0.1

			$I=IVT10 / h21min + Ir23 =45/50+0.7=1,6 \text{ mA}$ , $P=4.9*2.2=11 \text{ мВт}$		
VT9	Мп38а	1	$U=(12-Ur26-Ur21-Ur24-Ur27) /2=(12-0.3-0.3-2*1.3) /2=4.9\text{В}$ , $I=IVT11 / h21min + Ir26 =45/50+0.7=1,6 \text{ mA}$ , $P=4.9*1,6=8 \text{ мВт}$	$P=150 \text{ мВт}$	0.1
VT10	ГТ404б	1	$U=6\text{В}$ $I = 6/220=27\text{мА}$ , $P = 6*27=162 \text{ Вт}$	$P=0,6 \text{ Вт}$	0.3
VT11	ГТ402б	1	$U=6\text{В}$ $I = 6/220=27\text{мА}$ , $P = 6*27=162 \text{ Вт}$	$P=0,6 \text{ Вт}$	0.3
Конденсатори					
C1	К50-16-50мк*15В-10%	1	$U=12\text{В}$	$K_{\Pi} = 10\%$ $U = 15 \text{ В}$	0,8
C2	К50-16-5мк*15В-10%	1	$U=12\text{В}$	$K_{\Pi} = 10\%$ $U = 15 \text{ В}$	0,8
C3	К21-7-3900-10%	1	-	$U=250\text{В}$	0,3
C4	К21-7-0,022мк-10%	1	-	$U=250\text{В}$	0,3
C5	К50-16-1мк*15В-10%	1	$U=6 \text{ В}$	$K_{\Pi} = 10\%$ $U=15\text{В}$	0,4
C6	К21-7-0,05мк-10%	1	-	$U=250\text{В}$	0,3
C7	К21-7-0,5мк-10%	1	-	$U=250\text{В}$	0,3
C8	К50-16-30мк*15В-10%	1	$U = -12+2=10\text{В}$	$K_{\Pi} = 10\%$ $U=15\text{В}$	0,7
C9	К50-16-100мк*10В-10%	1	$U=6\text{В}$	$K_{\Pi} = 10\%$ $U=10\text{В}$	0,6
C10	К22у-1-300-10%	1	-	$U=100\text{В}$	0,3
C11	К21-7-51-10%	1	$U=0.3\text{В}$	$U=250\text{В}$	0,3
C12	К50-16-200мк*10В-10%	1	$U=Ur22 = 6\text{В}$	$U=10$	0.6
C13	К50-16-500мк*15В-10%	1	$F_H=300\text{Гц}$ , $t=1/600=1.7\text{мс}$ , $dU=I_{\text{нр}}*t/C = 90*1.7/500 = 0.3\text{В}$	$K_{\Pi} = 10\%$	0,3
Діод					
V6	Д9б	1	$I = 10\text{мА}$	$I_{\text{пр}} = 125\text{мА}$ , $U_{\text{обр}} = 8 \text{ В}$	<0,1
Стабілітрон					
V4	Кс107а	1	$I = 6\text{мА}$	$I_{\text{пр}} = 100\text{мА}$ , $U_{\text{обр}} = 1 \text{ В}$	<0,1

Візьмемо температуру на  $10^0-15^0\text{C}$  більше, ніж температура навколишнього середовища. Значення коефіцієнта  $\alpha_2$  для конденсаторів приймемо від 0,5 до 10 залежно від номінальної напруги і ємкості.

2. Визначимо  $\lambda_{роб}$  по формулі

$$\lambda_{роб} = \lambda_{табл} * \alpha_1 * \alpha_2$$

4. Приймемо  $\lambda_{відімк.} = 0,1 * \lambda_{роб}$

5. Розрахункове значення  $\lambda_{рас}$  приймемо

$$\lambda_{роз} = \frac{\lambda_{раб} * t_{раб} + \lambda_{відім} * (24 - t_{раб})}{24}$$

6. Інтенсивність відмови пристрою буде, розрахуємо як

$$\lambda_{пристр.} = \sum N_i * \lambda_i = 5.56 * 10^{-6} / \text{годин}$$

7. Коефіцієнти відмов, які показують вплив кожного типу що комплектують на загальну надійність пристрою, визначаємо по формулі:

$$K_{відім/i} = \frac{N_i * \lambda_i}{\lambda_{пристр.}}$$

8. Середній час відновлення пристрою дорівнює :

$$T_{відн.} = K_{відім.i} * MTTRi = 0,495 \text{ годин}$$

9. Всі розраховані показники зведемо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Уточнений розрахунок надійності.

Найменування елементів	Позначення	N	Фактичне значення, по якому визначається коефіцієнт навантаження	Номинальне значення параметра	Kнг	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\lambda_{табл.і}$ , $10^{-6}$ , 1/час	$\lambda_{роб.і}$ , $10^{-6}$ , 1/час	$\lambda_{відм.і}$ , $10^{-6}$ , 1/час	$\lambda_{розрах.і}$ , $10^{-6}$ , 1/час	$\lambda_{розрах.} * N$ , $10^{-6}$ , 1/час	$K_{відм}$	MTTR, ч	$K_{відм} * MTTR$ , ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Резистор															
R1	МЛТ-0,125-470К-5%	1	-	P = 0,125 Вт	0,1	0,27	1	0,07	0,0189	0,007	0,011	0,011	0,002	0,4	0,00079
R2	МЛТ-0,125-2К-10%	1	P = 10.6 мВт	P = 0,125 Вт	0,1	0,27	0,6	0,07	0,0113	0,007	0,0084	0,0084	0,0015	0,4	0,00061
R3	МЛТ-0,125-3К-10%	1	P = 16 мВт	P = 0,125 Вт	0,13	0,28	0,6	0,07	0,0118	0,007	0,0086	0,0086	0,0015	0,4	0,00062
R4	МЛТ-0,125-200-5%	1	P = 1.03 мВт	P = 0,125 Вт	0,1	0,27	0,3	0,07	0,0057	0,007	0,0066	0,0066	0,0012	0,4	0,00047
R5	СП-1-47К-10%	1	-	P = 1 Вт	0,1	0,27	0,7	0,5	0,0945	0,05	0,0648	0,0648	0,0117	0,5	0,00583
R6	МЛТ-0,125-10К-5%	1	P = 14.4 мВт	P = 0,125 Вт	0,12	0,28	0,6	0,07	0,0118	0,007	0,0086	0,0086	0,0015	0,4	0,00062
R7	МЛТ-0,125-3К-10%	1	P = 0.17мВт	P = 0,125 Вт	0,1	0,27	0,6	0,07	0,0113	0,007	0,0084	0,0084	0,0015	0,4	0,00061
R8	СП-1-47К-10%	1	-	P = 1 Вт	0,1	0,27	0,7	0,5	0,0945	0,05	0,0648	0,0648	0,0117	0,5	0,00583
R9	МЛТ-0,125-300-5%	1	P = 0.017мВт	P = 0,125 Вт	0,1	0,27	0,3	0,07	0,0057	0,007	0,0066	0,0066	0,0012	0,4	0,00047
R10	МЛТ-0,125-10К-5%	1	P = 0.4 мВт	P = 0,125 Вт	0,1	0,27	0,6	0,07	0,0113	0,007	0,0084	0,0084	0,0015	0,4	0,00061
R11	МЛТ-0,125—20к-10%	1	-	P = 0,125 Вт	0,1	0,27	0,6	0,07	0,0113	0,007	0,0084	0,0084	0,0015	0,4	0,00061
R12	МЛТ-0,125-30К-	1	-	P = 0,125 Вт	0,1	0,27	0,6	0,07	0,0113	0,007	0,0084	0,0084	0,0015	0,4	0,00061

	5%															
R13	МЛТ-0,125-1,5К-10%	1	P = 24мВт	P = 0,125 Вт	0,2	0,37	0,6	0,07	0,0155	0,007	0,0098	0,0098	0,0018	0,4	0,00071	
R14	МЛТ-0,125-47-5%	1	Оскільки струм ділитиметься між R14 і R16, можна вважати, що Кнг буде менше 0,1	P = 0,125 Вт	0,1	0,27	0,3	0,07	0,0057	0,007	0,0066	0,0066	0,0012	0,4	0,00047	
R15	МЛТ-0,125-2К-10%	1	P = 0.2 мВт	P = 0,125 Вт	0,1	0,27	0,6	0,07	0,0113	0,007	0,0084	0,0084	0,0015	0,4	0,00061	
R16	МЛТ-0,125-15К-10%	1	-	P = 0,125 Вт	0,1	0,27	0,6	0,07	0,0113	0,007	0,0084	0,0084	0,0015	0,4	0,00061	
R17	МЛТ-0,125-2К-10%	1	P = 60,5 мВт	P = 0,125 Вт	0,5	0,6	0,6	0,07	0,0252	0,007	0,0131	0,0131	0,0024	0,4	0,00094	
R18	МЛТ-0,125-36-10%	1	P = 3.6 Вт	P = 0,125 Вт	0,1	0,27	0,3	0,07	0,0057	0,007	0,0066	0,0066	0,0012	0,4	0,00047	
R19	МЛТ-0,125—20к-10%	1		P = 0,125 Вт	0,1	0,27	0,6	0,07	0,0113	0,007	0,0084	0,0084	0,0015	0,4	0,00061	
R20	МЛТ-0,125-510-5%	1	P = 4мВт	P = 0,125 Вт	0,1	0,27	0,3	0,07	0,0057	0,007	0,0066	0,0066	0,0012	0,4	0,00047	
R21	МЛТ-0,125-4,3К-10%	1	P = 9мВт	P = 0,125 Вт	0,1	0,27	0,6	0,07	0,0113	0,007	0,0084	0,0084	0,0015	0,4	0,00061	
R22	МЛТ-0,125-4,3К-10%	1	P = 9мВт	P = 0,125 Вт	0,1	0,27	0,6	0,07	0,0113	0,007	0,0084	0,0084	0,0015	0,4	0,00061	
R23	МЛТ-0,125-430-10%	1	P = 0.021мВт	P = 0,125 Вт	0,1	0,27	0,3	0,07	0,0057	0,007	0,0066	0,0066	0,0012	0,4	0,00047	
R24	МЛТ-0,125-27-10%	1	P = 0.108 мВт	P = 0,125 Вт	0,1	0,27	0,3	0,07	0,0057	0,007	0,0066	0,0066	0,0012	0,4	0,00047	
R25	МЛТ-0,125-27-10%	1	P = 0.108 мВт	P = 0,125 Вт	0,1	0,27	0,3	0,07	0,0057	0,007	0,0066	0,0066	0,0012	0,4	0,00047	
R26	МЛТ-0,125-430-	1	P = 0.021мВт	P = 0,125 Вт	0,1	0,27	0,3	0,07	0,0057	0,007	0,0066	0,0066	0,0012	0,4	0,00047	

	10%														
R27	МЛТ-0,125-150-5%	1	P = 108мВт	P = 0,125 Вт	0,86	1,32	0,3	0,07	0,0277	0,007	0,0139	0,0139	0,0025	0,4	0,001
R28	МЛТ-0,125-150-5%	1	P = 108мВт	P = 0,125 Вт	0,86	1,32	0,3	0,07	0,0277	0,007	0,0139	0,0139	0,0025	0,4	0,001
Транзистори															
VT1	ГТ309а	1	P = 24 мВт	P=50 мВт	0.5	0,4	1	1,4	0,56	0,14	0,28	0,28	0,0504	0,5	0,02518
VT2	ГТ309а	1	P = 24мВт	P=50 мВт	0.5	0,4	1	1,4	0,56	0,14	0,28	0,28	0,0504	0,5	0,02518
VT3	ГТ309а	1	P = 24мВт	P=50 мВт	0,5	0,4	1	1,4	0,56	0,14	0,28	0,28	0,0504	0,5	0,02518
VT5	Мп38а	1	P = 95,4мВт	P=150 мВт	0.7	0,59	1	1,4	0,826	0,14	0,3687	0,3687	0,0663	0,5	0,03315
VT7	Мп41а	1	P = 5,4мВт	P=150 мВт	0.32	0,235	1	1,4	0,329	0,14	0,203	0,203	0,0365	0,5	0,01826
VT8	Мп41а	1	P = 11 мВт	P=150 мВт	0.1	0,07	1	1,4	0,098	0,14	0,126	0,126	0,0227	0,5	0,01133
VT9	Мп38а	1	P = 8 мВт	P=150 мВт	0.1	0,07	1	1,4	0,098	0,14	0,126	0,126	0,0227	0,5	0,01133
VT10	ГТ404б	1	P = 162 Вт	P=0,6 Вт	0.3	0,235	1	1,4	0,329	0,14	0,203	0,203	0,0365	0,5	0,01826
VT11	ГТ402б	1	P = 162 Вт	P=0,6 Вт	0.3	0,235	1	1,4	0,329	0,14	0,203	0,203	0,0365	0,5	0,01826
Конденсатори															
C1	K50-16-50мк*15В-10%	1	U=12В	Кп = 10% U = 15 В	0,8	1,26	0,9	0,135	0,1531	0,0135	0,06	0,06	0,0108	0,7	0,00756
C2	K50-16-5мк*15В-10%	1	U=12В	Кп = 10% U = 15 В	0,8	1,26	0,7	0,135	0,1191	0,0135	0,0487	0,0487	0,0088	0,7	0,00613
C3	K21-7-3900-10%	1	-	U=250В	0,3	0,08	5	0,3	0,12	0,03	0,06	0,06	0,0108	0,7	0,00755
C4	K21-7-0,022мк-10%	1	-	U=250В	0,3	0,08	0,5	0,3	0,012	0,03	0,024	0,024	0,0043	0,7	0,00302
C5	K50-16-1мк*15В-10%	1	U=6 В	Кп = 10% U=15В	0,4	0,47	0,6	0,135	0,0381	0,0135	0,0217	0,0217	0,0039	0,7	0,00273
C6	K21-7-0,05мк-10%	1	-	U=250В	0,3	0,08	0,5	0,3	0,012	0,03	0,024	0,024	0,0043	0,7	0,00302
C7	K21-7-0,5мк-10%	1	-	U=250В	0,3	0,47	0,6	0,3	0,0846	0,03	0,0482	0,0482	0,0087	0,7	0,00607
C8	K50-16-30мк*15В-10%	1	U = 12+2=10В	Кп = 10% U=15В	0,6667	1,47	0,8	0,135	0,1588	0,0135	0,0619	0,0619	0,0111	0,7	0,0078

C9	K50-16-100мк*10в-10%	1	U=6В	Кп = 10% U=10В	0,6	0,9	1	0,135	0,1215	0,0135	0,0495	0,0495	0,0089	0,7	0,00623
C10	K22у-1-300-10%	1	-	U=100В	0,3	0,08	2	0,3	0,048	0,03	0,036	0,036	0,0065	0,7	0,00453
C11	K21-7-51-10%	1	U=0.3В	U=250В	0,3	0,08	1,7	0,3	0,0408	0,03	0,0336	0,0336	0,006	0,7	0,00423
C12	K50-16-200мк*10в-10%	1	U=Ur22 = 6В	U=10	0.6	0,9	1,1	0,135	0,1337	0,0135	0,0536	0,0536	0,0096	0,7	0,00674
C13	K50-16-500мк*15в-10%	1	$F_H=300\text{Гц}$ , $t=1/600=1.7\text{мс}$ , $dU=I_{пр} * t / C =$ $90 * 1.7 / 500 =$ $0.3\text{В}$	Кп = 10%	0,3	0,47	1,3	0,135	0,0825	0,0135	0,0365	0,0365	0,0066	0,7	0,00459
Диод															
V6	Д9б	1	I = 10mA	$I_{пр} =$ 125mA, $U_{обр} = 8\text{ В}$	<0,1	0,92	1	0,68	0,6256	0,068	0,2539	0,2539	0,0457	0,4	0,01826
Стабілітрон															
V4	Кс107а	1	I = 6mA	$I_{пр} =$ 100mA, $U_{обр} = 1\text{ В}$	<0,1	0,92	1	5	4,6	0,5	1,8667	1,8667	0,3357	0,5	0,16787
паяння								0,01	0,01	0,001	0,004	0,46	0,0827	0,3	0,02482
Сума											5,1039			26,2	

Випишуємо значення  $\lambda_{\text{пристр}}$  і  $MTTR_{\text{пристр}}$ .

Визначаємо  $\lambda_{\text{пристр}} = \lambda_{\text{пристр}} * K_{\Sigma} * K_3 * K_4$  і  $ВБР_{\text{пристр}}$ .

Виводи:

У виводах описуємо розрахунок, порівнюємо з наближеним розрахунком.

Перелік посилань:

1. Джерело, звідки узята схема.
2. Джерела довідкових даних.



## Додаток А

Таблиця А1- Інтенсивність відмов  $\lambda_0$

Найменування виробу		Інтенсивність відмов $\lambda_0 \cdot 10^{-6} \text{ I/ч}$
<b>Напівпровідникові прилади</b>		
Діоди	кремнієві	0,45
	германієві	0,68
	селенові	0,6
	світлодіоди	2,5
	фотодіоди	2,5
	стабілітрони	5
Транзистори	германієві до 200мВт	0,6
	зверху 200мВт	1,91
	кремнієві до 150 мВт	0,84
	понад 150 мВт	0,74
	польові	1,5
Тиристори	кремнієві	5
<b>ЕРЕ</b>		
Електровакуумні прилади	Пентоди-підсилювачі	3,5
	Неонові лампи	0,1
	Електро-лучеві трубки	1,65
	Лампи розжарювання	0,65
	Цифрові індикаторні лампи	15
Резистори	постійні	0,07
	постійні багатоватні	0,06
	змінні	0,5
	дротяні могутні	0,21
	змінні	0,81
	вугільні, термо -	0,89
	композиційні	0,3
	фоторезистори	4,7
Конденсатори	паперові, плівкові	0,3
	керамічні	1,64
	слюдяні	0,132
	скляні	0,87
	танталові, подстроечные	1,93
	фарфорові	1,02
	електролітичні алюмінієві	0,135
Кварц		3
<b>Трансформатори і дроселі</b>		
Трансформатори	вхідні	1,1

	вихідні	0,04
	ВЧ	0,06
	імпульсні	0,29
	напруга напруження	0,06
	силові	0,052
Автотрансформатори		0,06
Дроселі	НЧ	0,175
	ВЧ	2,1
Котушки індуктивності		1,08
<b>Реле, комутаційні і сполучні елементи</b>		
Реле	герметичні закриті	0,04/к.г.
	могутні	0,3/к.г.
	малогабаритні	0,25/к.г.
	обмотка негерметизованого реле середньої потужності	5,0
Роз'єми	штепсельні	0,062/ш.
	з контрольним гніздом	0,0004/ш
Контактори		0,25/к.г.
Перемикачі	кнопочві	0,07/к.г.
	блокувальні	0,5/к.г.
	поворотні	0,18/к.г.
	могутні	0,07/к.г.
	мініатюрні	0,25/к.г.
Гнізда		0,01/ш
Клеми, затиски		0,0005
Тумблери		0,06/к
Запобіжники плавкі		0,5
З'єднання паянням на друкарських платах		0,01
Паяння монтажу	навісного	0,03
	об'ємного	0,02
<b>Джерела живлення</b>		
Акумулятори		19,0
Батареї однозарядні		300
Батареї заряджають		14,0
<b>Мікроамперметри і ін. стрілочні прилади</b>		3
<b>Електродвигуни і сельсини</b>		
Сельсини		0,6
Електродвигуни	асинхронні	11,2
	синхронні	6,25
	постійного струму	9,4

Кабелі		0,475
Ізолятори		0,05
Антени		0,36
Хвилеводи	жорсткі	1,1
Мікрофони динамічні		20
Гучномовці динамічні		4
Магнітні головки		4,7
<b>Цифрові ІМС</b>		
Серія Км155	Лн1	0,48
	Тм2	0,17
	Тм5	0,54
	решта ІМС цієї серії	0,12
Серія К155		0,24
Серія К555	Ла9	0,56
	Лн2	0,08
	Ле1,аг1	0,9
	Ре4	0,7
	решта ІМС цієї серії	0,1
Серія Кн555	Ла3	0,55
	Лп5	0,35
	решта ІМС цієї серії	0,31
Серія К176		0,21
Серія К561	Ла9,ЛЕ5	1,00
	Ле6	0,52
	решта ІМС цієї серії	0,68
Серія К500		1,00
Серія Кр581	Ру1,2,3	0,87

#### **Аналогові ІМС**

Серія К140	Уд22	0,25
	решта ІМС цієї серії	0,14
Серія Кр140	Уд18	0,34
	решта ІМС цієї серії	0,1
Серія К142		0,4
Серія К157		0,9
Серія К174	Кп1,ун13	0,1
	Пс1	0,24
	Ха14	0,17

	Ун10	0,23
	решта ІМС цієї серії	0,20
<b>Мікросхеми ЦАП і АЦП</b>		
КР 572	Па2	0,57
	ПВ 1,2,5	0,77
К1107	ПВ1,3	0,77
	ПВ2	1,00
К1108	Па1	1,00
	ПВ1	1,00
К1113	ПВ1	0,9
К1118	Па2	0,77
<b>Мікропроцесори</b>		
Кр580	Вк28,ва86	0,02
	Вв55,вм80,вн59	0,03
	решта ІМС цієї серії	1,00
К589		0,3
К1800		0,62
Км1804,кр1804,кк1804		0,77
Км1818		0,5

## Додаток Б

**Коэффициенты нагрузки ( $K_H$ )**

Элемент	Параметр	Формула	Рекомендуемый $K_H$		Примечание
			кратковр.	длительн.	
Резистор	$P$ при $I_{\max}$	$K_H = \frac{P + P_{\text{эф}} + P_{\text{ср.мощ.}}}{P_{\text{доп.тУ}}}$	$\leq 0.6$	$\leq 0.5$	Для высокоомных резисторов $U_{\max}$ (возможен пробой)
Конденсатор	$U$	$K_H = \frac{U + U_{\text{акт.}} + U_{\text{инт.}}}{U_{\text{доп.тУ}}}$	$\leq 0.7$	$\leq 0.6$	Проверяется $K_H$ – у электролитических конденсаторов
Диод	$I_{\text{ср.пр.}} \cdot U_{\text{обр. макс}}$	$K_H = \frac{I_{\text{ср.пр.}} \cdot U_{\text{обр. макс}}}{I_{\text{доп.тУ}}}; K_H = \frac{U_{\text{обр. макс}}}{U_{\text{обр. доп.тУ}}}$	$\leq 0.7$	$\leq 0.5$	
Кремниевый стабилизатор	$I_{\text{ср. макс}}$	$K_H = \frac{I_{\text{ср. макс}}}{I_{\text{ср. доп.тУ}}}$	$\leq 0.9$	$\leq 0.9$	Проверить ток без нагрузки
Транзистор	Суммарная $P$ на всех переходах	$K_H = \frac{I_{\text{акт.}} + I_{\text{вых. макс}}}{P_{\text{доп.тУ}}}$	$\leq 0.6$	$\leq 0.5$	Проверить все $U, I_{\text{вых}}$ $P$ можно для $U_{\text{эф}} = U_{\text{в}}$
Реле, контакторы	$I$ и $U$ контактов $U$ обмотки	$K_H = \frac{I_{\text{конт.}}}{I_{\text{р. доп.тУ}}}; K_H = \frac{U_{\text{конт.}}}{U_{\text{доп.тУ}}}$	$\leq 0.7$	$\leq 0.5$	Проверить $U'$ между сосед. контакт. Время по токам (в%) $\lambda$ суммируется
Разъемы, панельки, кнопки, переключ.	$I$ через контакты	$K_H = \frac{I}{I_{\text{доп.тУ}}}$	$\leq 0.9$	$\leq 0.7$	Проверить $U$ ком, между соседними контактами
Трансформаторы	$I$ нагрузки	$K_H = \frac{I_{\text{нагр}}}{I_{\text{доп.тУ}}}$	$\leq 0.9$	$\leq 0.8$	$j \geq 2 \text{ а/мм}^2 \text{ Cu}$
$L$ , дроссели	Плотность тока в обмотке	$K_H = \frac{J_{\text{раб}}}{J_{\text{доп.тУ}}}$	$\leq 0.9$	$\leq 0.8$	$U$ между обмотками
Провода	Плотность тока	$K_H = \frac{I_{\text{раб}}}{I_{\text{доп.тУ}}}$		$< 8 \text{ а/мм}^2 \text{ Cu}$ $< 5 \text{ а/мм}^2 \text{ Al}$	Сопротивление изоляции (допустимое напряжение между проводами)
Лампы накаливания	$U$	$K_H = \frac{U_p}{U_H}$			$\alpha_1 = \left(\frac{U_p}{U_H}\right)^n, \alpha_2 = 1$

Примечания: надо проверять все параметры, которые нормируются

## Додаток В

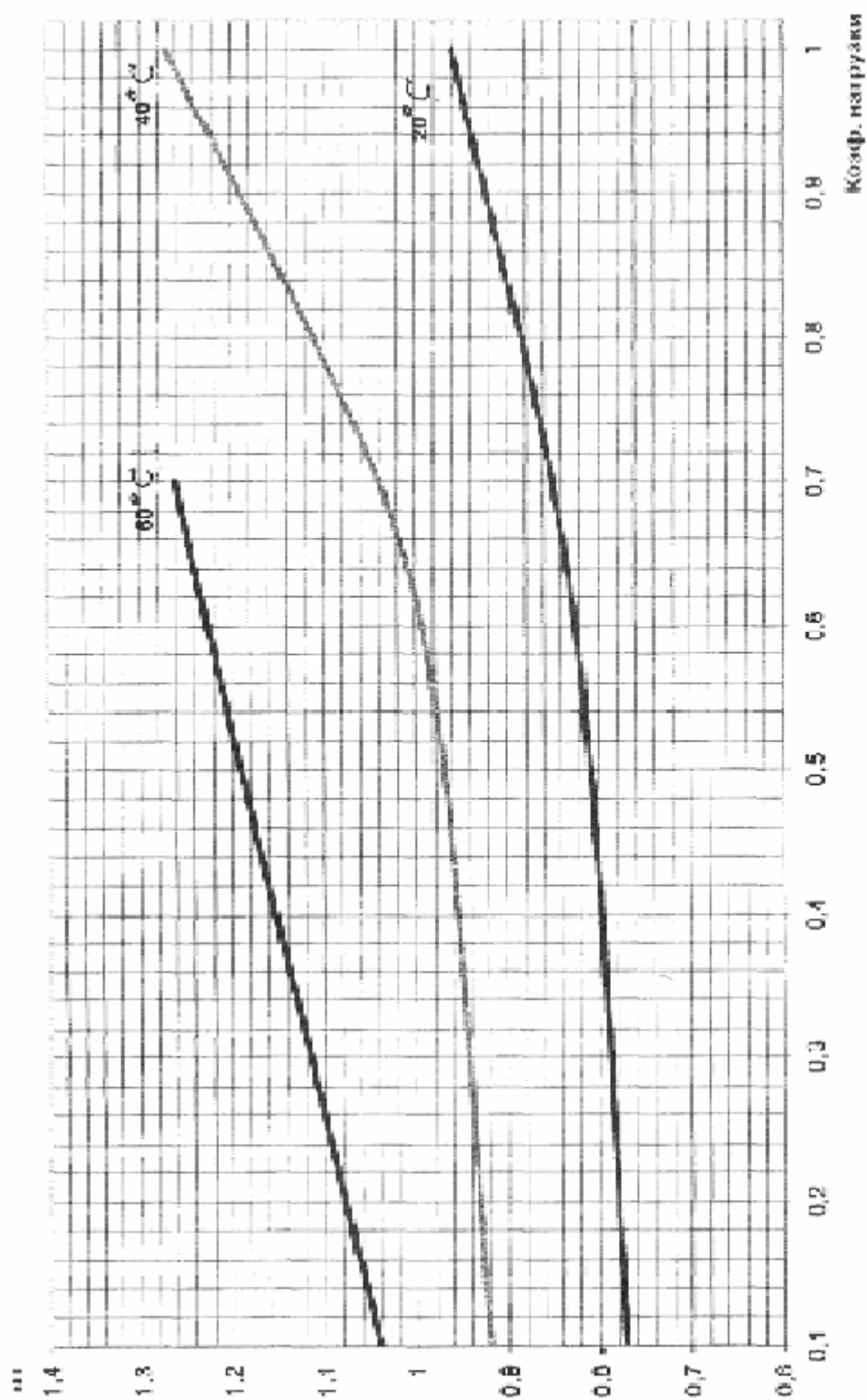


Рисунок В1 –  $\alpha_1$  для полупроводниковых диодов и стабилизаторов

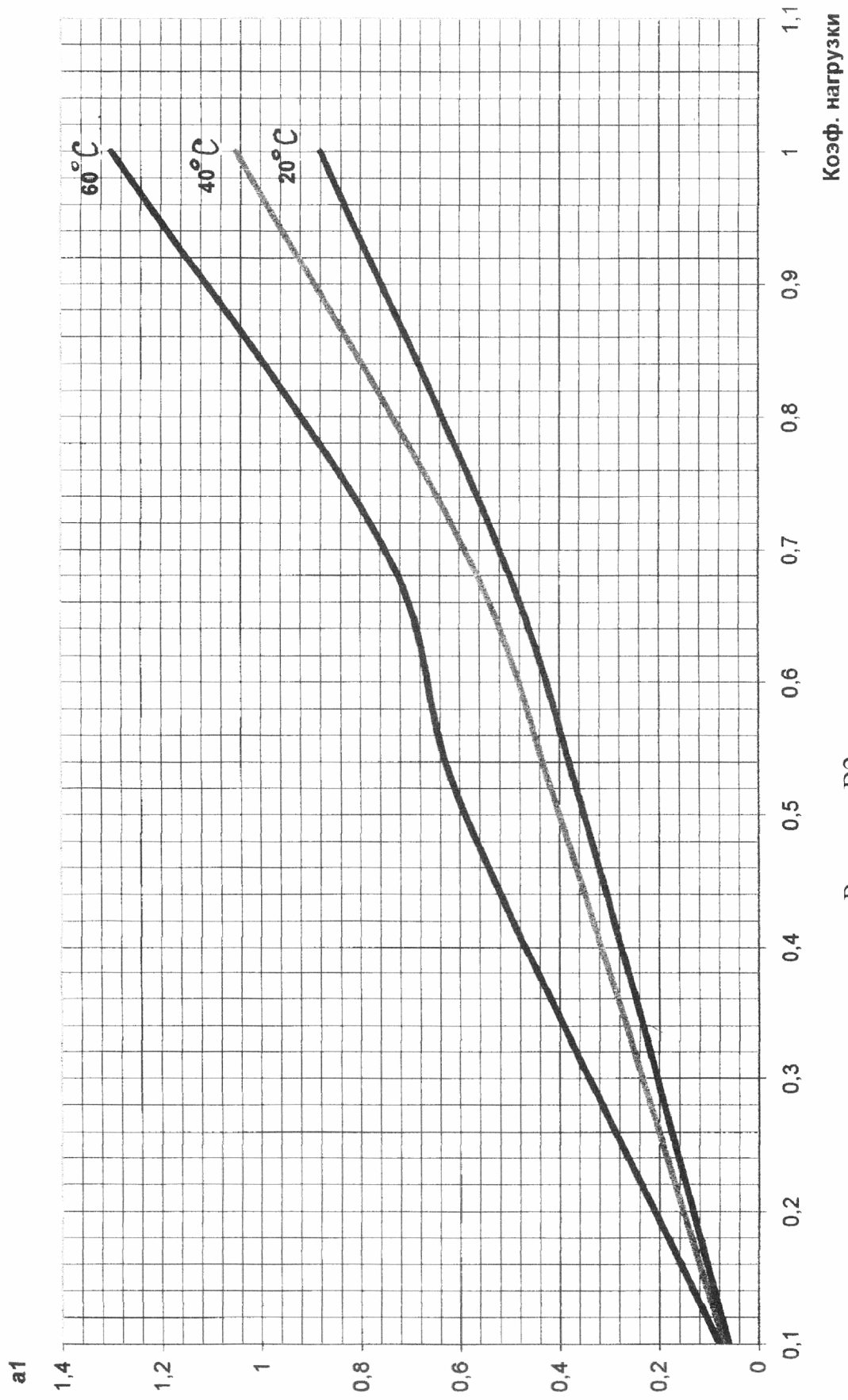


Рисунок В2 –  $\alpha_1$  для транзисторов

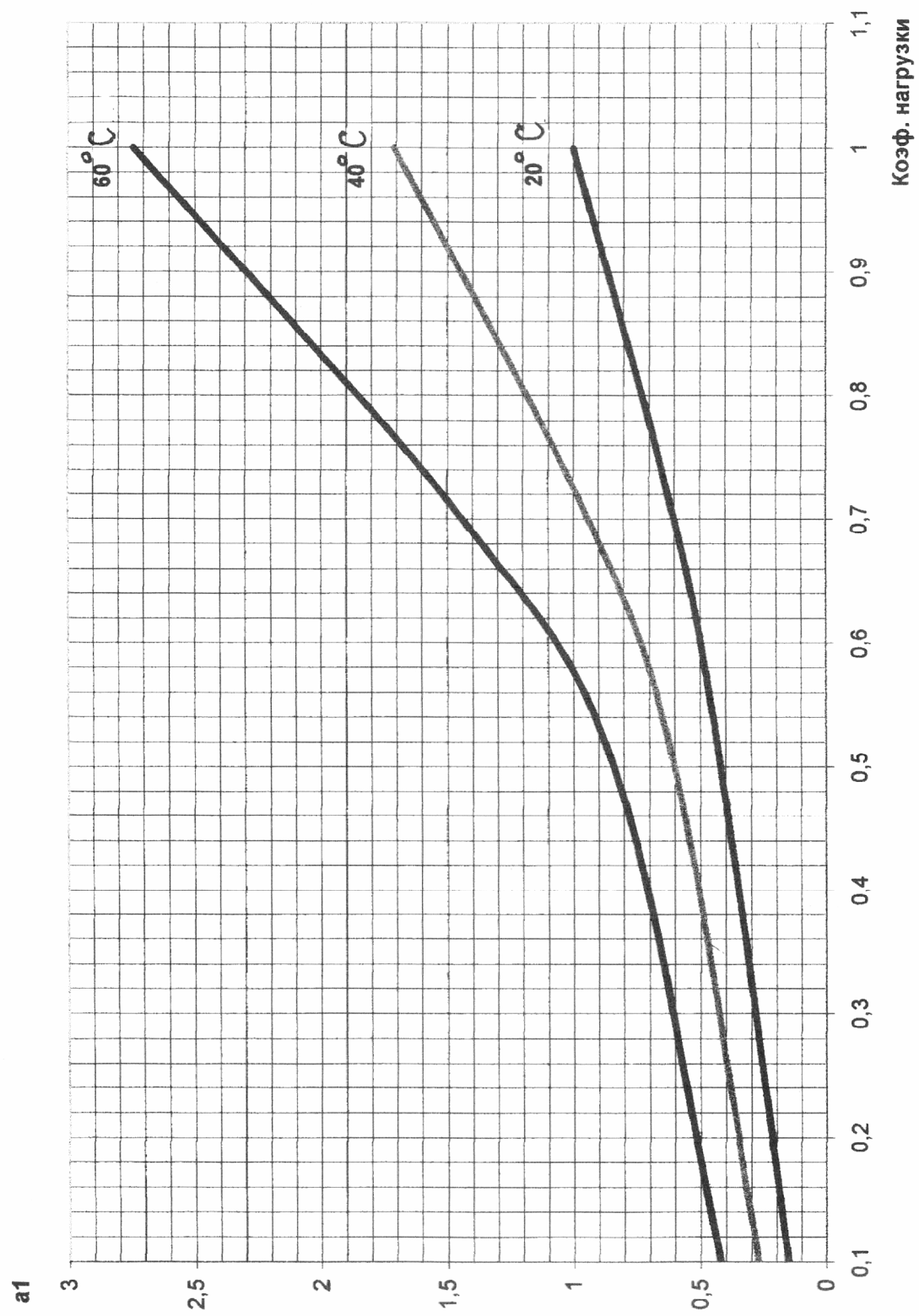


Рисунок В3 -  $a_1$  для непроволочных резисторов



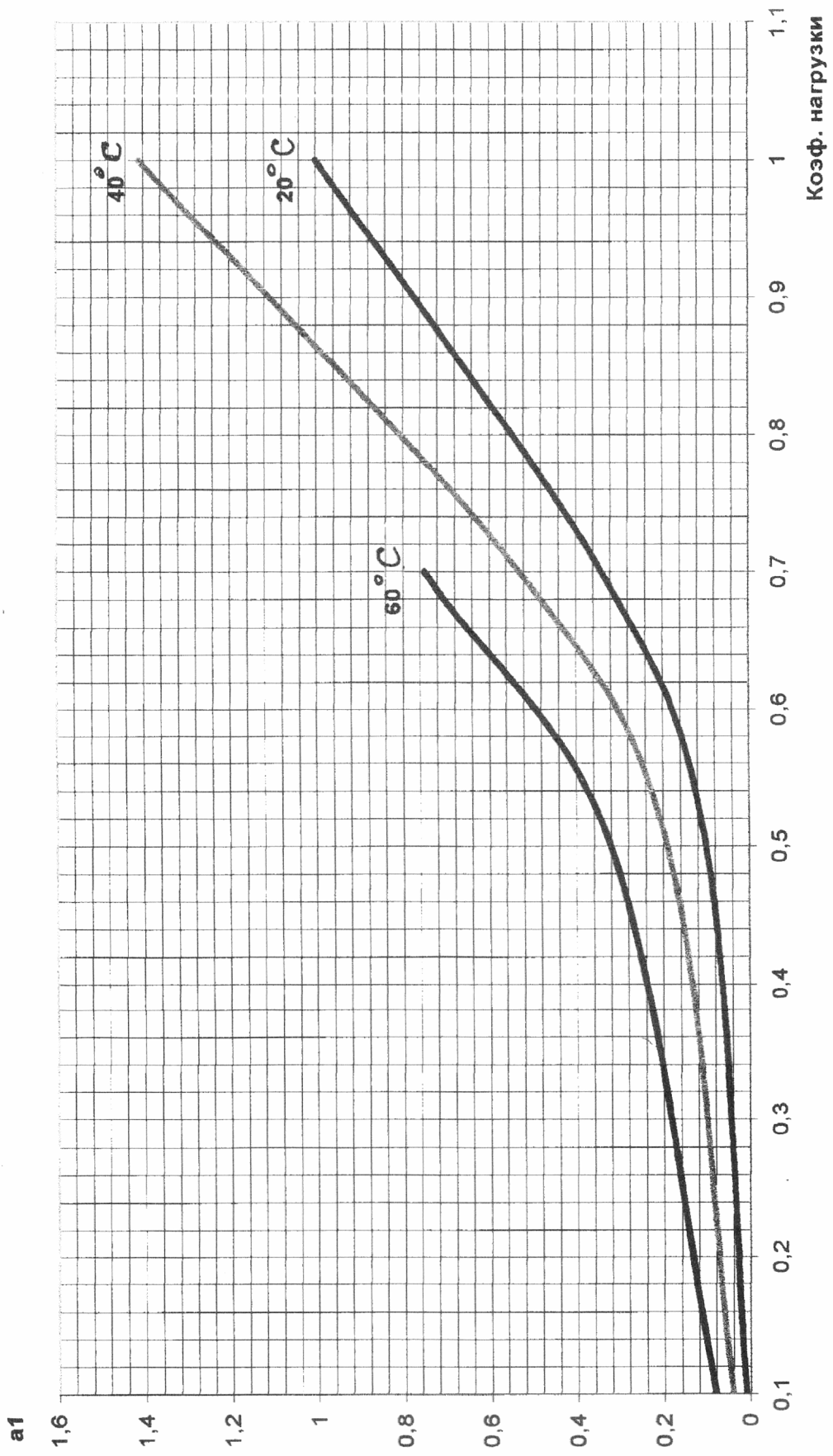


Рисунок В4 -  $\alpha_1$  для проволочных резисторов

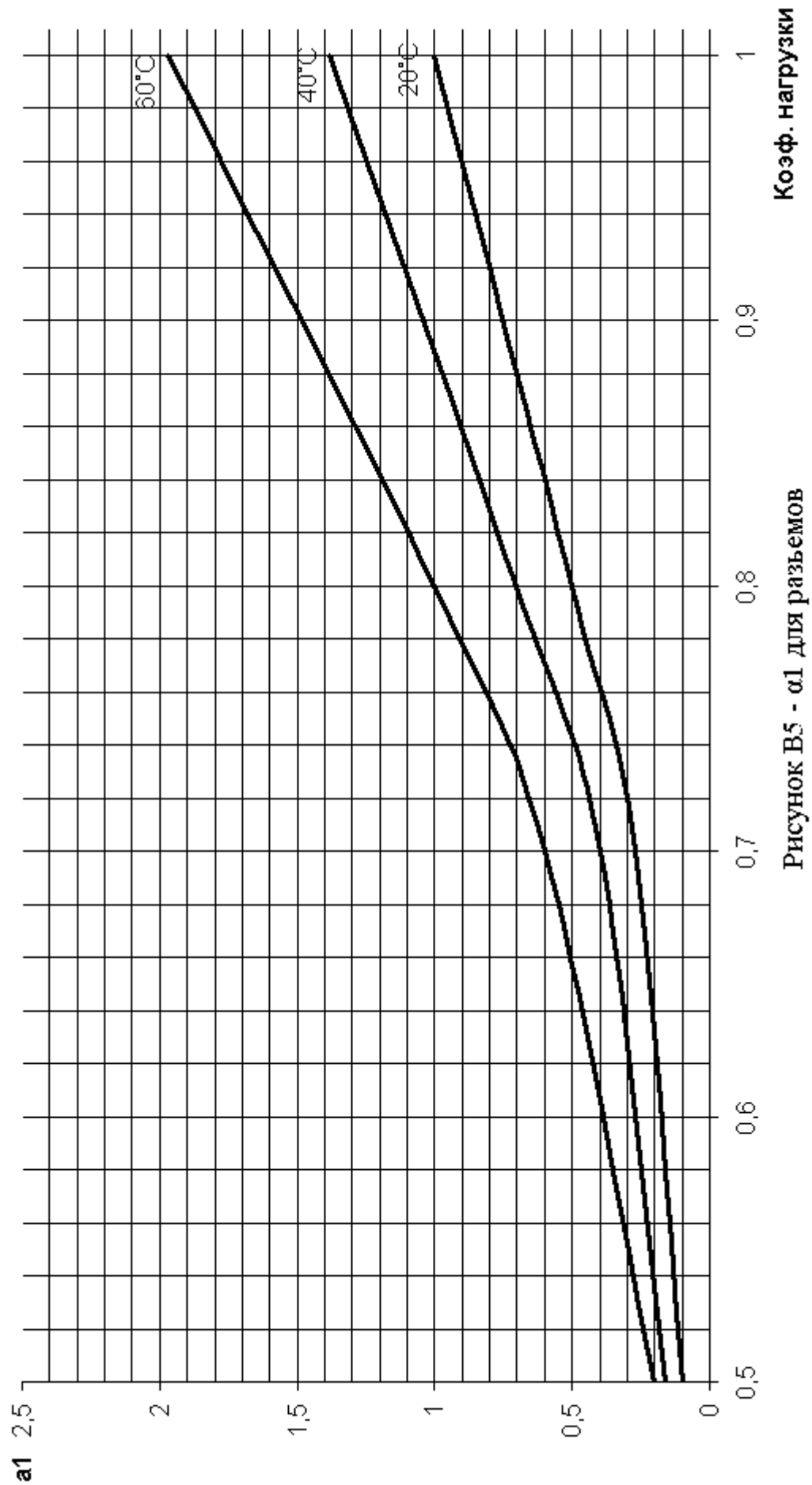


Рисунок В5 -  $\alpha_1$  для разъемов

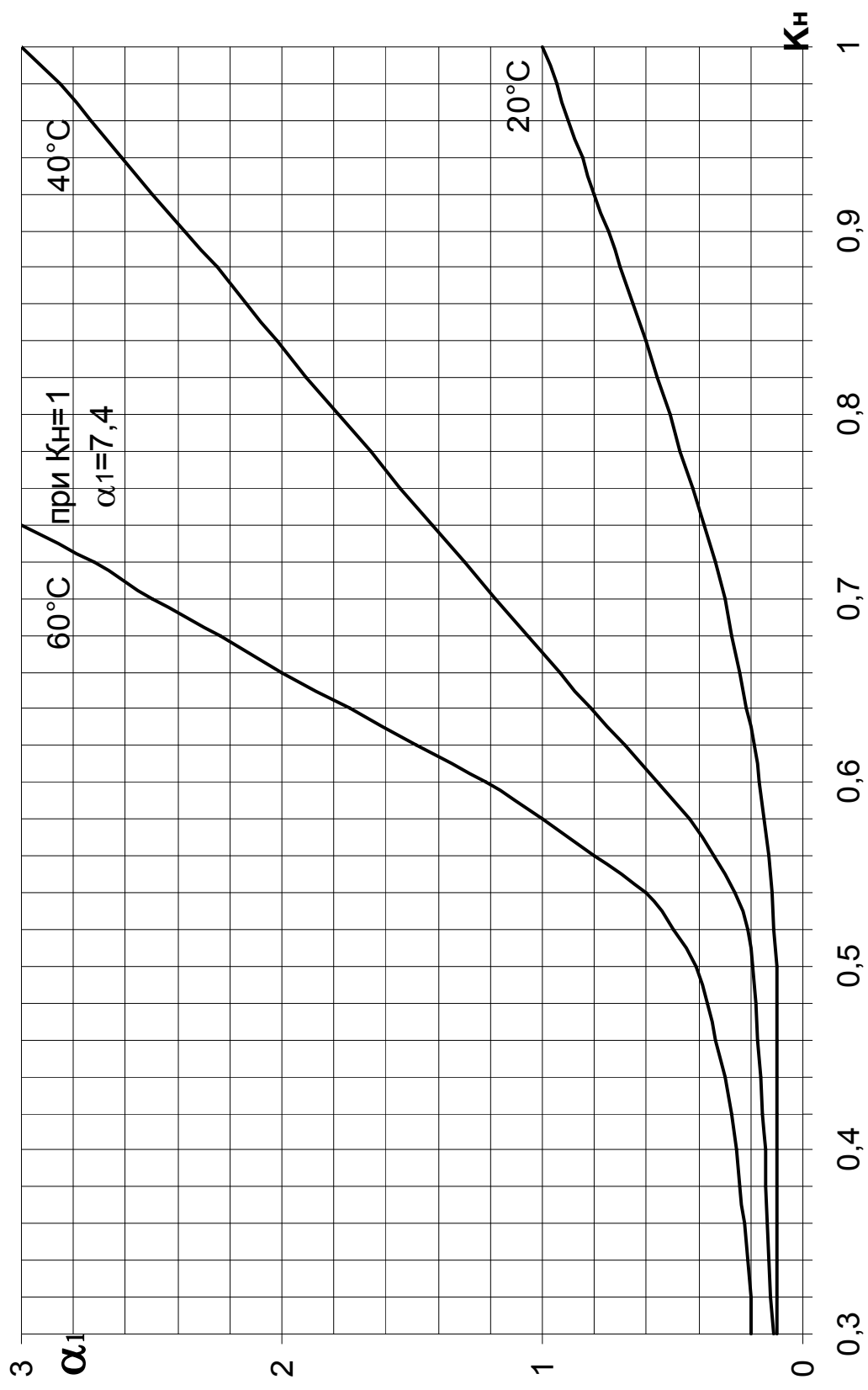


Рисунок В6 -  $\alpha_1$  для трансформаторов и моточных изделий

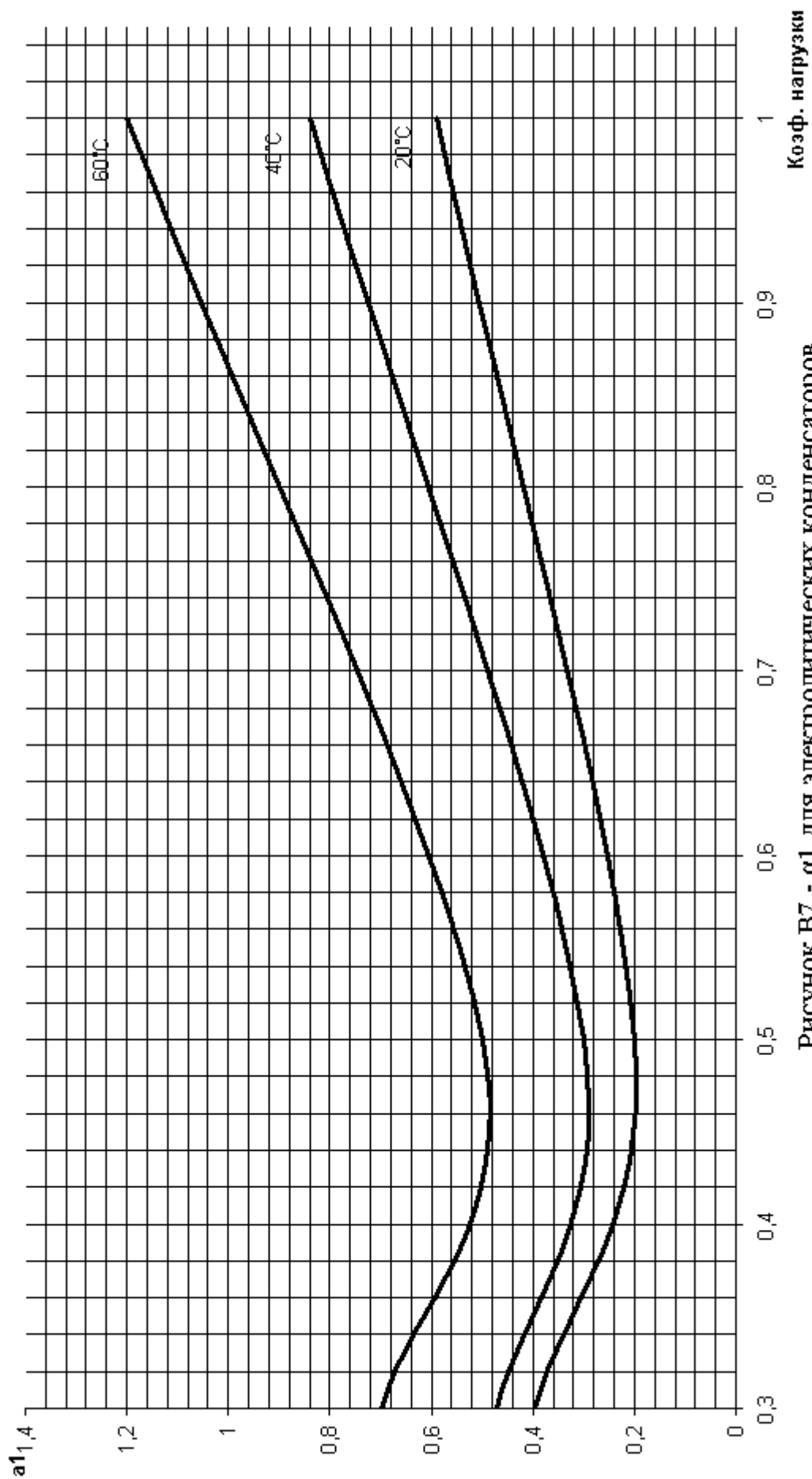


Рисунок В7 -  $a_1$  для электролитических конденсаторов

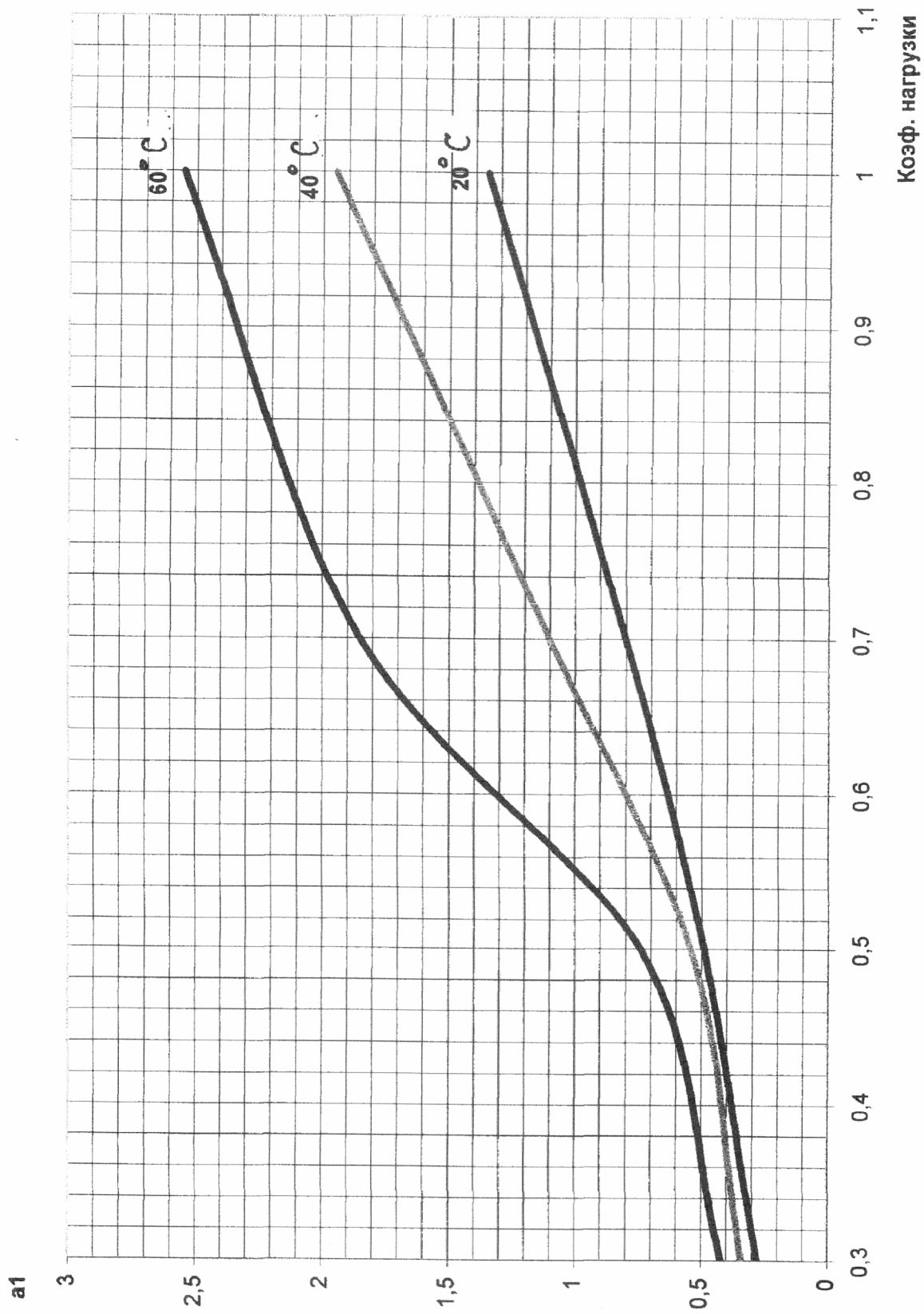


Рисунок В8 –  $a_1$  для стеклянных пленочных и МБМ конденсаторов

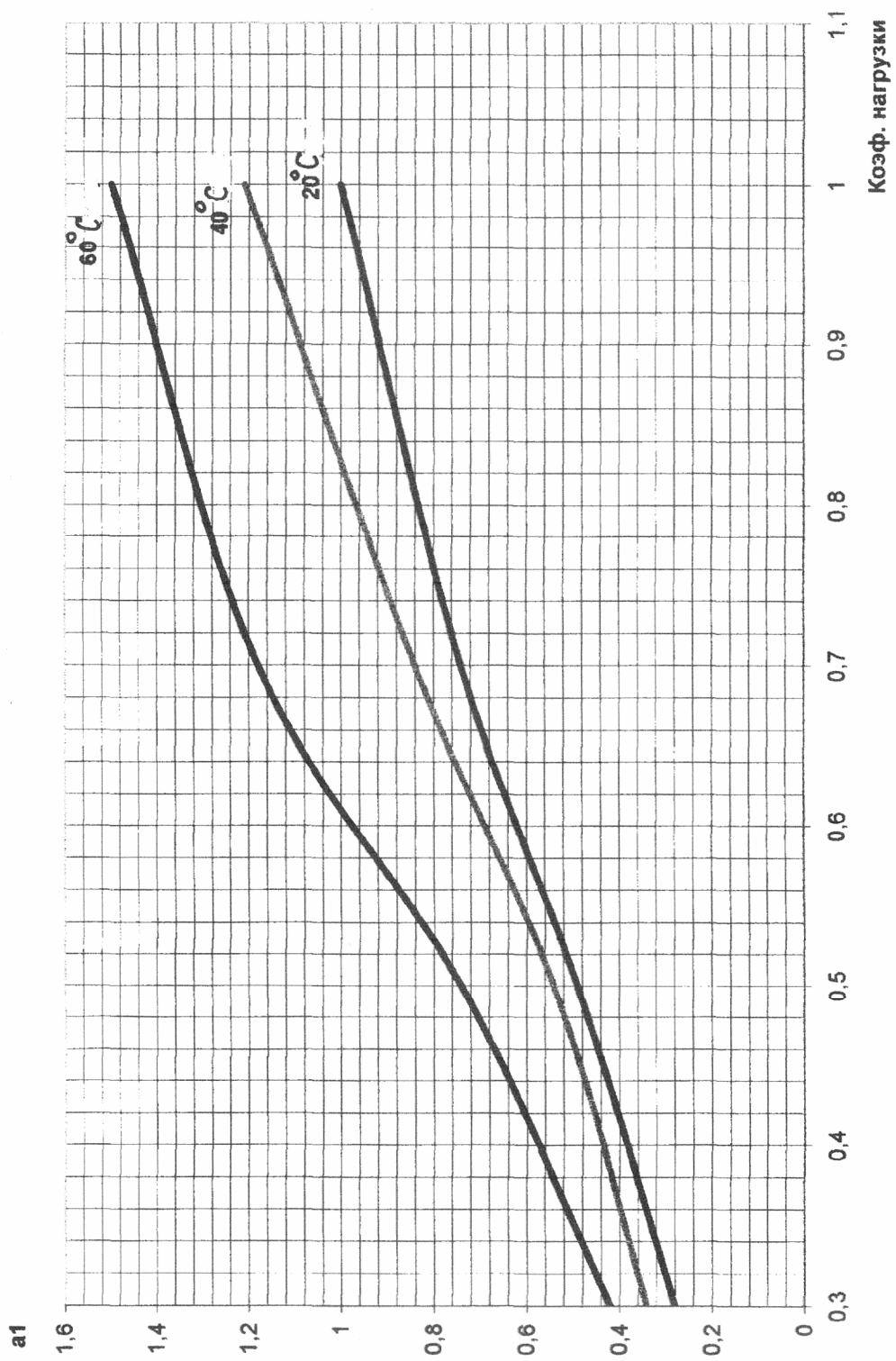


Рисунок В9 –  $a_1$  для слюдяных герметичных конденсаторов

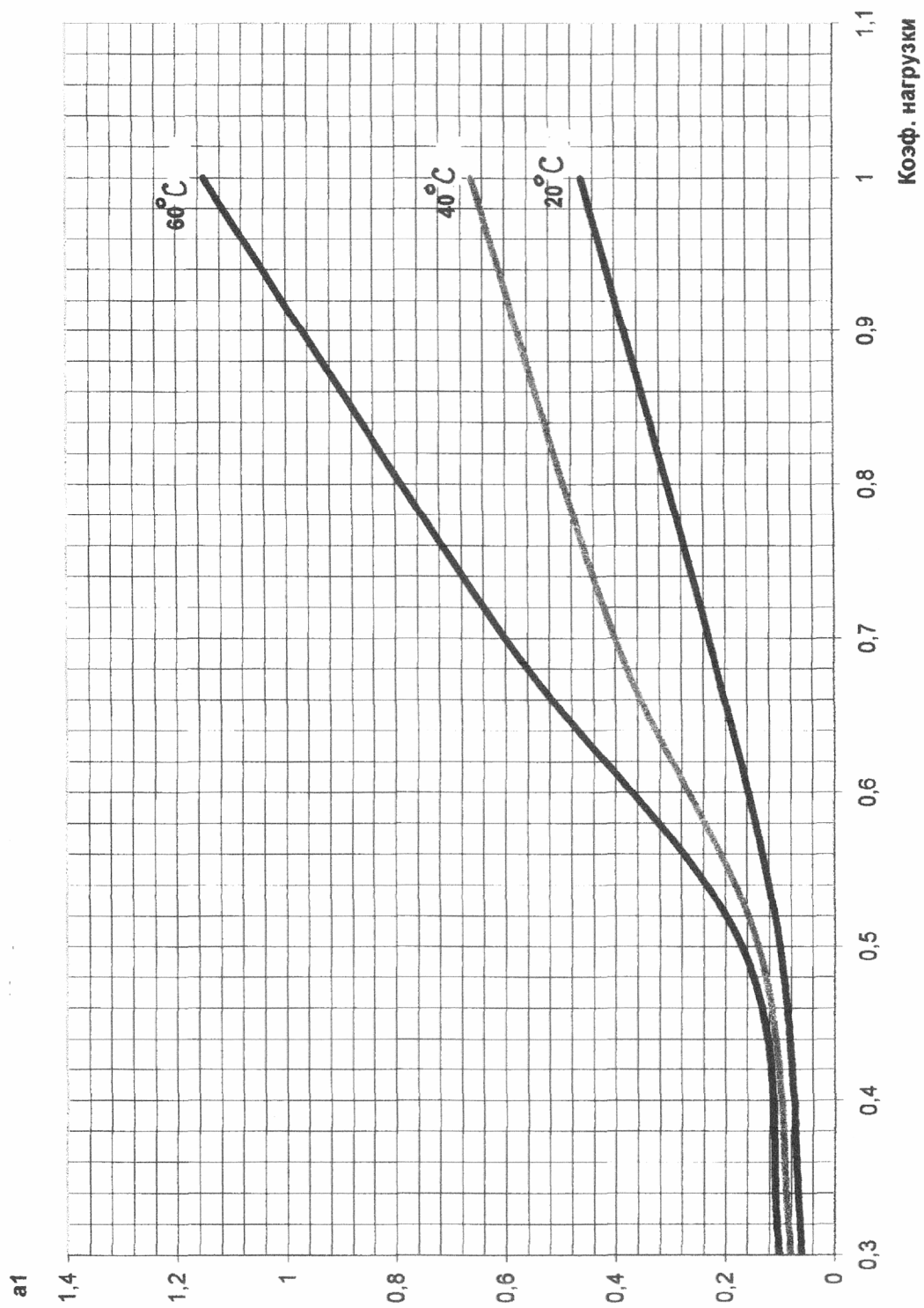


Рисунок В10 –  $a_1$  бумажных, керамических и слюдяных негерметических конденсаторов

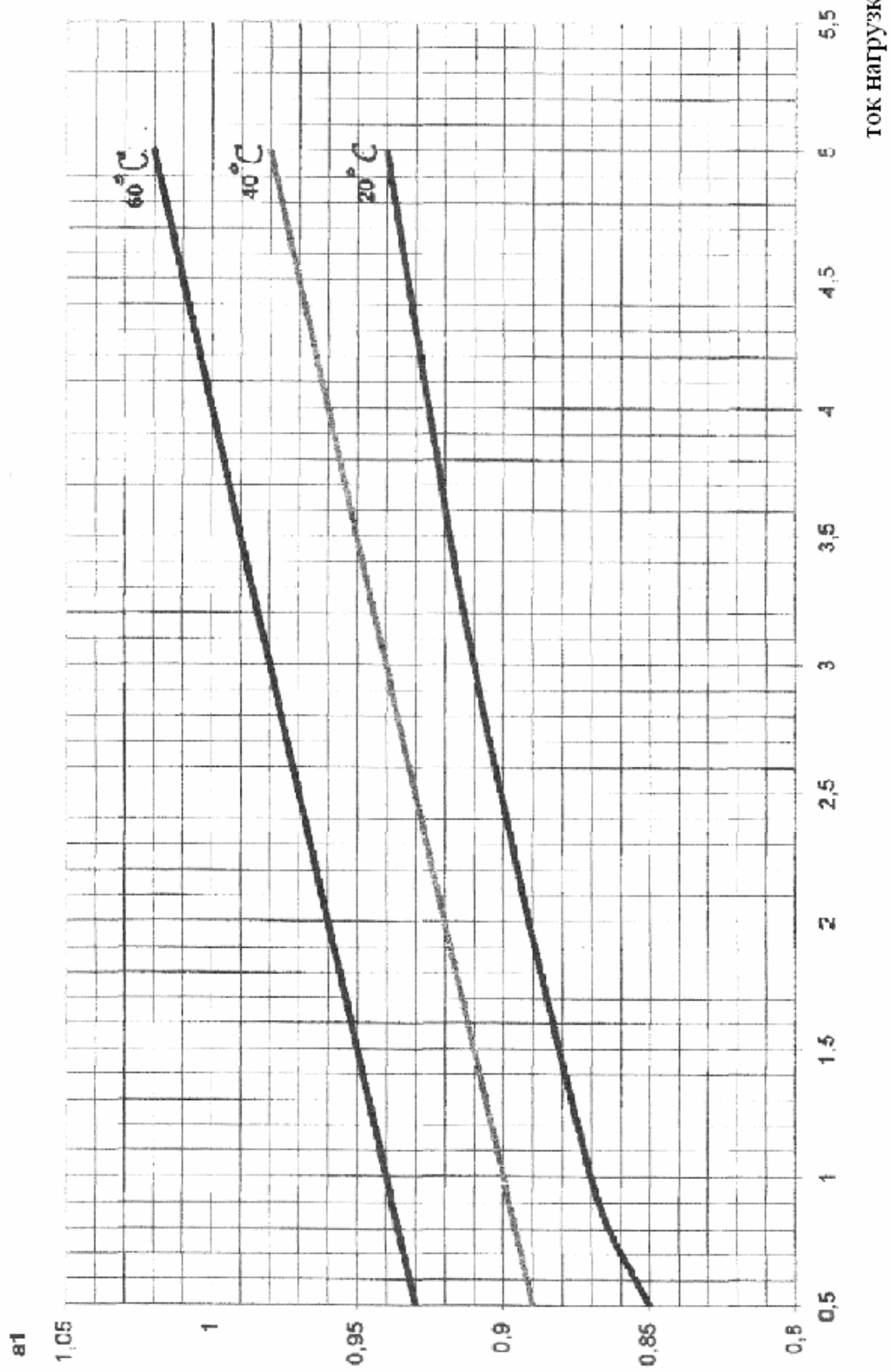


Рисунок В11 —  $\alpha_1$  для выключателей, переключателей и тумблеров



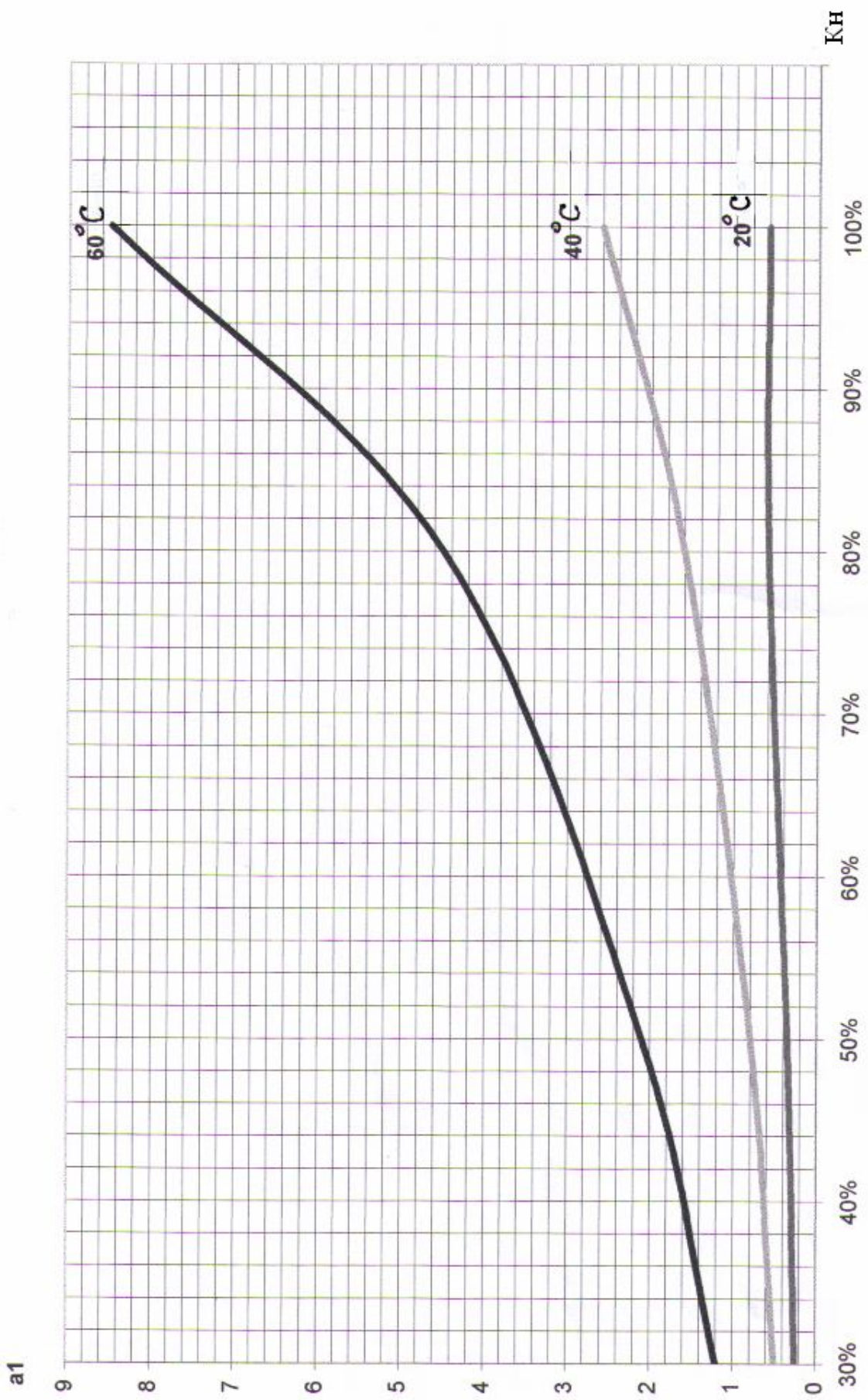


Рисунок В 12 -  $a_1$  для обмоток реле.  $K_n$  - время, когда обмотка находится под напряжением (в %)

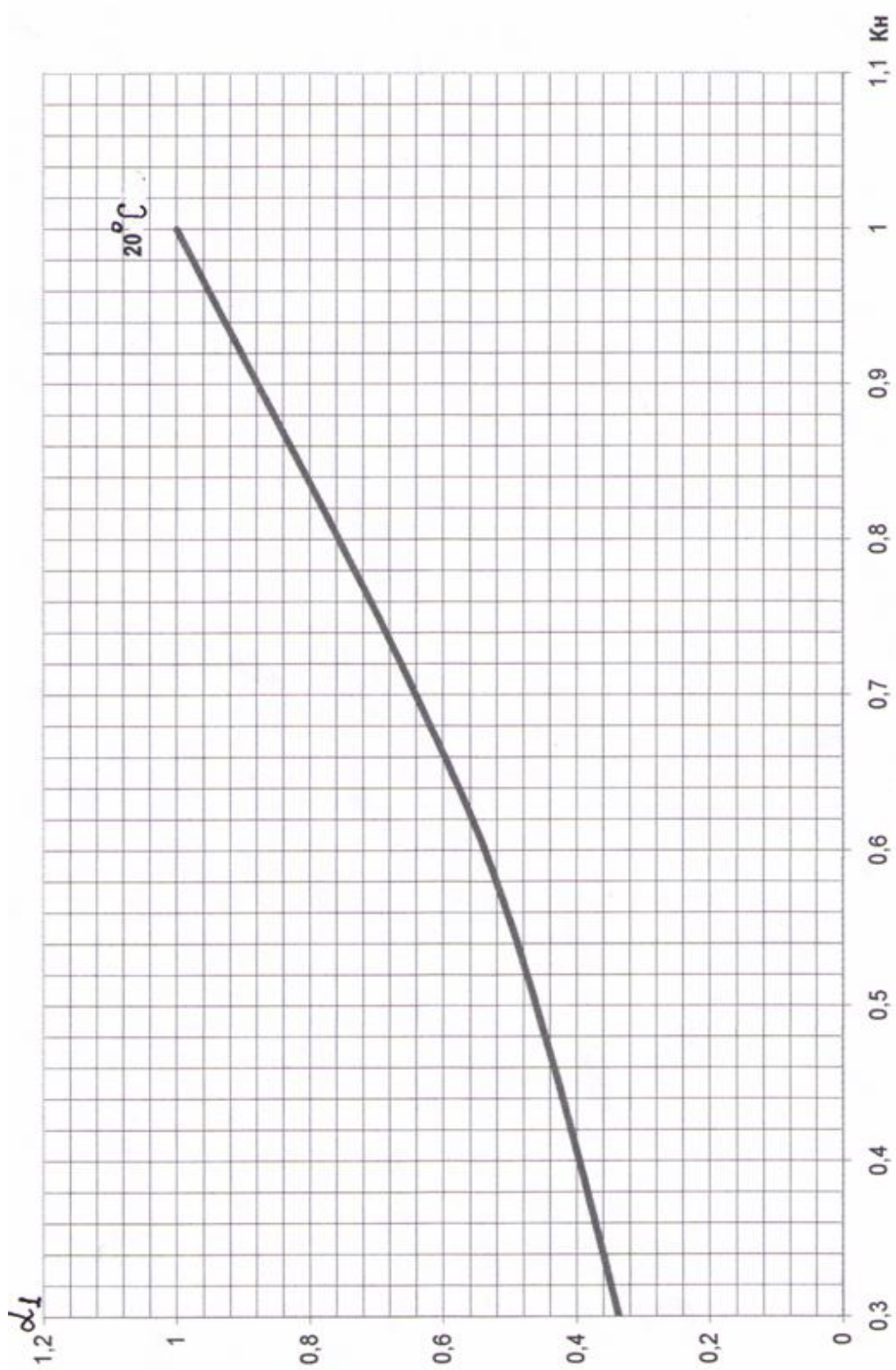


Рисунок В 13 -  $d_1$  для контактов реле

## Додаток Г

Таблиця Г1 – Значення поправочного коефіцієнта  $\alpha_2$  для резисторів

Номинальний опір, кОм	Коефіцієнт
<b>Постійні недротяні</b>	
менше 1	0,3
1-100	0,6
110-620	1
більше 620	2
<b>Потужні дротяні</b>	
0,056-0,12	0,1
0,12-1	0,25
1-1,3	0,3
більше 1,3	1
<b>Змінні недротяні</b>	
менше 0,1	0,4
0,1-1	0,5
1-10	0,6
10-100	0,7
100-1000	1
більше 1000	2

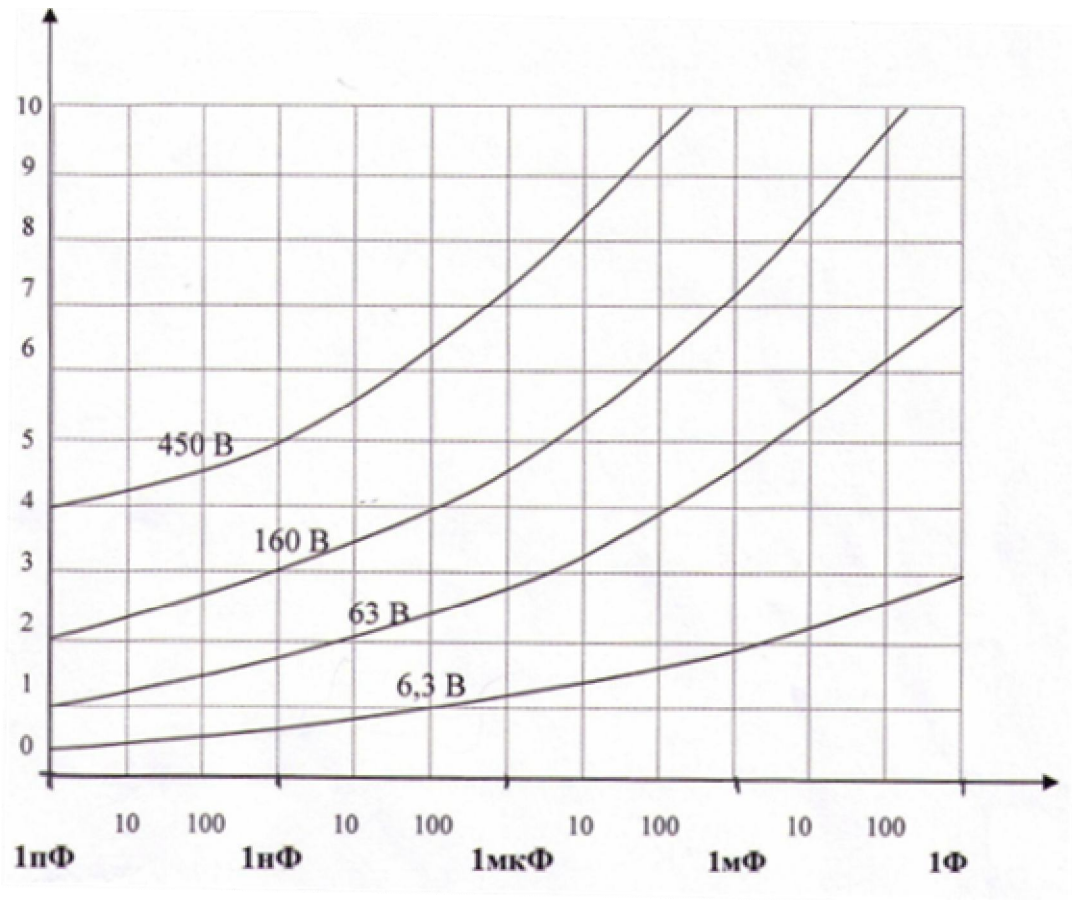


Рисунок Г1 -  $\alpha_2$  для конденсаторів

## Додаток Д

Таблиця Д1 - Коефіцієнт впливу механічних дій

Умови експлуатації апаратури	Вібрація $K_1$	Ударні навантаження $K_2$	Сумарні дії $K_\Sigma$
Лабораторні	1,0	1,0	1,0
Стационарні(польові)	1,04	1,03	1,07
Корабельні	1,3	1,05	1,37
Автофургони	1,35	1,08	1,46
Железнодорожні	1,4	1,1	1,54
Літакові	1,46	1,13	1,65

Таблиця Д2 - Коефіцієнти впливу вологості

Влажність,%	Температура	Поправочний коефіцієнт $K_3$
60.70	20.40	1,0
90.98	20.25	2,0
90.98	30.40	2,5

Таблиця Д3 - Коефіцієнти впливу атмосферного тиску

Тиск, кПа	Поправочний коефіцієнт $K_4$
0,1.1,3	1,45
1,3.2,4	1,40
2,4.4,4	1,36
4,4.12	1,35
12.24	1,3
24.32	1,25
32.42	1,2
42.50	1,16
50.65	1,14
65.80	1,1
80.100	1,0

## Додаток Е

Таблиця Е1 – Витрати часу на ремонт

Елементи	Витрати часу на ремонт, ч
Електровакуумні прилади, транзистори	0,225 - 0,956
Резистори, діоди	0,300 - 1,275
Конденсатори	0,400 - 1,700
Котушки індуктивності	0,500 - 2,125
Трансформатори	0,670 - 2,848
Реле	0,700 - 2,975
Перемикачі	0,250 - 1,063
Електродвигуни	1,250 - 5,313
Кварци	0,175 - 0,744
Сигнальні лампи	0,080 - 0,128
Коливальні контури	0,650 - 2,763
Запобіжники	0,025 - 0,106
Інші деталі (лампові панелі, затиски, раз'єми і ін.), ІМС	0,575 - 3,188

## Додаток Ж

### ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ (ДСТУ 2860-94)

#### 1. Общие понятия

Объект (об'єкт) – система, сооружение, машина, подсистема, аппаратура, функциональная единица, устройство, элемент или любая их часть, рассматриваемая с точки зрения надежности как самостоятельная единица.

Примечание 1. Объект может включать технические средства, программные средства, технический персонал или их любые сочетания.

Примечание 2. Совокупность объектов, объединенных общим назначением и целью функционирования, может рассматриваться как объект.

Обслуживаемый объект (обслуговуваний об'єкт) – объект, для которого проведение (технического обслуживания) ТО предусмотрено НТД или КД.

Необслуживаемый объект (не обслуговуваний об'єкт) – объект, для которого проведение ТО не предусмотрено НТД или КД.

Ремонтируемый объект (ремонтівний об'єкт) – объект, ремонт которого возможен и предусмотрен НТД, ремонтной или КД.

Неремонтируемый объект (не ремонтівний об'єкт) – объект, ремонт которого невозможен и не предусмотрен НТД, ремонтной или КД.

Восстанавливаемый объект (відновлюємий об'єкт) – ремонтируемый объект, который после отказа и устранения неисправностей вновь способен выполнять требуемые функции с заданными количественными показателями надежности.

Невосстанавливаемый объект (не відновлюємий об'єкт) – объект, ремонт которого невозможен или не позволяет восстановить работоспособность с заданными количественными показателями надежности.

Примечание. Невосстанавливаемый объект может быть ремонтируемым или не ремонтируемым.

Функция (функція) – выполнение объектом процесса в соответствии с его назначением, проявление заданных условий или свойств объекта согласно требованиям нормативной технологической документации (НТД) и конструкторской документации (КД).

Основная функция – функция или совокупность функций объекта, выполнение которых рассматривается как необходимое условие соответствия объекта его назначению.

Надежность (надійність) – определяется как свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значение всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Безотказность (безвідмовність) – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

Долговечность (довговічність) – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость (збережуваність) – свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Ремонтопригодность (ремонтпридатність) – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

Готовность (готовність) – свойство объекта быть в состоянии выполнять требуемые функции при заданных условиях в данный момент



времени или в течение данного интервала времени при условии обеспечения необходимыми внешними ресурсами.

Примечание 1. Это свойство зависит от сочетания свойств безотказности, ремонтпригодности и обеспеченности техническим обслуживанием и ремонтом.

Примечание 2. Необходимые внешние ресурсы, не являющиеся ресурсами ТО и ремонта, не влияют на свойство готовности объекта.

## 2. Состояние

Исправное состояние (справный стан) – состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Неисправное состояние (несправный стан) – состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Работоспособное состояние (працездатный стан) - состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствует требованиям НТД и КД.

Неработоспособное состояние (не працездатный стан) - состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям НТД и КД.

Критическое состояние (критичный стан) - состояние объекта, которое может вести к травмированию людей, значительному материальному ущербу или другим неприемлемым последствиям.

Примечание 1. Критическое состояние не всегда является следствием критической неисправности.

Примечание 2. Для конкретного объекта должен быть установлен критерий критического состояния.

Предельное состояние (граничний стан) - состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Критерий предельного состояния – признак или совокупность признаков предельного состояния объекта, установленные нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документацией.

Примечание. В зависимости от условий эксплуатации для одного и того же объекта могут быть установлены два и более критериев предельного состояния.

Незначительная неисправность (незначна несправність) – неисправность, не нарушающая ни одной из требуемых функций объекта.

Примечание. Дефект или неисправность, связанные с нарушением вспомогательной функции в результате повреждения.

Значительная неисправность (значна несправність) – неисправность, нарушающая хотя бы одну из требуемых функций объекта.

Частичная неисправность (часткова несправність) – неисправность, характеризующаяся неспособностью объекта выполнять некоторые, но не все требуемые функции.

Полная неисправность (повна несправність) – неисправность, характеризующаяся неспособностью объекта выполнять все требуемые функции.

Критическая неисправность (критична несправність) – неисправность, которая может вести к травмированию людей, значительному материальному ущербу и другим неприемлемым последствиям.

Вид неисправности:

дефект (дефект) – (по ГОСТ 15467) каждое отдельное несоответствие объекта установленным требованиям;

повреждение (пошкодження) – событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния.

### 3. Отказы

Отказ (відмова) – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Критерий отказа (критерій відмови) – признак или совокупность признаков нарушения работоспособного состояния объекта, установленные в НТД и (или) КД.

Причина отказа (причина відмови) – явления, процессы, события и состояния, вызывающие возникновение отказа объекта.

Последствия отказа (наслідки відмови) – явления, процессы, события и состояния, обусловленные возникновением отказа объекта.

Ресурсный отказ (ресурсна відмова) – отказ, в результате которого объект достигает предельного состояния.

Независимый отказ (незалежна відмова) – отказ, не обусловленный другими отказами.

Зависимый отказ (залежна відмова) – отказ, обусловленный другими отказами.

Внезапный отказ (раптова відмова) – отказ, характеризующийся скачкообразными изменениями значений одного или нескольких параметров объекта.

Постепенный отказ (поступова відмова) – отказ, возникающий в результате постепенного изменения одного или нескольких параметров объекта.

Сбой (збій) – самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора.

Перебегающий отказ (само усувна багаторазова відмова) – многократно возникающий самоустраняющийся отказ одного и того же характера.

Явный отказ (явна відмова) – отказ, обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля.

Скрытый отказ (прихована відмова) – отказ, не обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования, но выявляемый при проведении технического обслуживания или специальными методами диагностики.

Конструктивный отказ (конструктивна відмова) - отказ, возникающий по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования и конструирования.

Производственный отказ (виробнича відмова) - отказ, возникающий по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или ремонта, выполняемого на ремонтном предприятии.

Эксплуатационный отказ (експлуатаційна відмова) - отказ, возникший по причине, связанной с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации.

Деградационный отказ (деградована відмова або відмова внаслідок деградації) – отказ, обусловленный естественными процессами старения, изнашивания, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации.

#### 4. Временные понятия

Наработка (наробіток) – продолжительность или объем работы объекта.

Примечание. Нарботка может быть как непрерывной величиной (продолжительность работы в часах, км пробега и т.д.), так и целочисленной величиной (число рабочих циклов, запусков и т.п.).

Наработка до отказа (наробіток до відмови) – наработка объекта от начала эксплуатации до первого отказа.

Наработка между отказами (наробіток між відмовами) – наработка объекта от окончания восстановления его работоспособного состояния после отказа до возникновения следующего отказа.

Ресурс (ресурс) – суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или восстановления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Срок службы (термін служби) – календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или восстановления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Срок сохраняемости (термін збережуванності) - календарная продолжительность хранения и (или) транспортирования объекта, в течении которой сохраняется в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять заданные функции.

Примечание. По истечении срока сохраняемости объект должен соответствовать требованиям безопасности, долговечности и ремонтпригодности, установленным НТД на объект.

Остаточный ресурс (залишковий ресурс) – суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

Примечание. Аналогично вводятся понятия остаточной наработки до отказа, остаточного срока службы и остаточного срока хранения.

Назначенный ресурс (заданий ресурс) – суммарная наработка, при достижении которой эксплуатация объекта независимо от его технического состояния должна быть прекращена.

Назначенный срок службы (заданий термін служби) - календарная продолжительность эксплуатации, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния.

Назначенный срок хранения (заданий термін зберігання) - календарная продолжительность хранения, при достижении которой хранение объекта должно быть прекращено независимо от его технического состояния.

Примечание к трем последним. По истечении назначенного ресурса, назначенного срока службы и назначенного срока хранения объект должен быть изъят и должно быть принято решение, предусмотренное НТД: направление на ремонт, списание, проверка, установление нового назначенного срока и т.д.

Время восстановления (тривалість відновлення) – интервал времени, в течение которого объект находится в неработоспособном состоянии из-за отказа.

Продолжительность технического обслуживания (ремонта) (тривалість технічного обслуговування (ремонту)) – интервал времени, в течение которого выполняется вручную или автоматически операция ТО (ремонта) объекта.

Трудоемкость (трудомісткість) ТО (ремонта) – суммарная продолжительность индивидуальных операций ТО (чел-час).

Период приработки (період приробу) – возможный начальный период наработки объекта, в течение которого имеет место устойчивая тенденция к уменьшению параметра потока отказов, что обусловлено наличием, постепенным выявлением и устранением скрытых дефектов.

Период постоянного параметра потока отказов – период срока службы восстанавливаемого объекта с приблизительно постоянным характером потока отказов.

## 5. Виды показателей

Показатель надежности (показник надійності) – количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта.

Единичный показатель надежности – показатель надежности, характеризующий одно из свойств, составляющих надежность объекта.

Комплексный показатель надежности – показатель надежности, характеризующий несколько свойств надежности объекта.

Эксплуатационный показатель надежности, наблюдаемый показатель надежности – показатель надежности, оценка которого определяется по данным эксперимента.

Экспериментальный показатель надежности, оценочный показатель надежности – показатель надежности, точечная или интервальная оценка которого определяется по данным испытаний.

Расчетный показатель надежности (розрахунковий показник надійності) – показатель надежности, значение которого определяется расчетным методом.

Экстраполированный показатель надежности – показатель надежности, полученный посредством экстраполяции или интерполяции для наработки и (или) условий, отличных от тех, при которых получен наблюдаемый или оцененный показатель надежности.

Прогнозируемый показатель надежности – показатель надежности, рассчитанный на основании наблюдаемых, оцененных или экстраполированных показателей надежности частей объекта для заданных условий эксплуатации с учетом конструкции объекта.

Средний показатель надежности – значение, полученное в виде математического ожидания случайной переменной величины (наработки до отказа или до предельного состояния) или среднее значение наработки до отказа (до предельного состояния) всех объектов в выборке при заданных условиях.

Гамма-процентный показатель надежности – значение величины наработки, срока сохраняемости, времени восстановления, в течение которого событие (отказ, достижение предельного состояния, восстановление) не возникает с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

Стационарный показатель надежности (стаціонарний показник надійності) – значение переменного во времени показателя надежности,

определенного для условий работы объекта, когда параметры его характеристики остаются постоянными.

Нестационарный показатель надежности – значение переменного во времени показателя надежности, в данный момент времени.

## 6. Показатели безотказности

Вероятность безотказной работы (імовірність безвідмовної роботи)  $R(t_1, t_2)$  – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет.

Примечание. Принимается, что в начале интервала времени или наработки объект в состоянии выполнять требуемые функции.

Средняя наработка до отказа МТТФ (середній нарботіток до відмови) – математическое ожидание наработки объекта до первого отказа.

Средняя наработка между отказами, средняя наработка на отказ МТВФ – отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки.

Гамма-процентная наработка до отказа – наработка, в течение которой отказ объекта не возникает с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  – условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента отказ не возник.

Примечание. Интенсивность отказов является показателем безотказности неремонтируемых и невосстанавливаемых объектов.

Средняя интенсивность отказов (середня інтенсивність відмов)  $\bar{\lambda}(t_1, t_2)$  – среднее значение интенсивности отказов на заданном интервале времени.

Параметр потока отказов  $z(t)$  – отношение математического ожидания чисел отказов восстанавливаемого объекта за его наработку к значению этой наработки.



Средний параметр потока отказов  $\bar{z}(t_1, t_2)$  – среднее значение параметров потока отказов на заданном интервале времени.

## 7. Показатели долговечности

Средний ресурс (середній ресурс) – математическое ожидание ресурса.

Гамма-процентный ресурс – суммарная наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

Средний срок службы (середній термін служби) – математическое ожидание срока службы.

Гамма-процентный срок службы – календарная продолжительность эксплуатации, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

Примечание. При использовании показателей долговечности следует указывать начало отсчета и вид действий после наступления предельного состояния. Например, гамма-процентный ресурс от второго капитального ремонта до списания. Показатели, отсчитываемые от ввода в эксплуатацию до снятия с эксплуатации, называются: средний полный ресурс (срок службы), гамма-процентный полный ресурс.

## 8. Показатели сохраняемости

Средний срок сохраняемости – математическое ожидание срока сохраняемости.

Гамма-процентный срок сохраняемости – срок сохраняемости, достигаемый объектом с заданной вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

## 9. Показатели ремонтпригодности

Вероятность восстановления (імовірність відновлення)  $M(t)$  – вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданное значение.

Среднее время восстановления MTTR – математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния объекта после отказа.

Гамма-процентное время восстановления – время, в течение которого восстановление работоспособности объекта будет осуществлено с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

Интенсивность восстановления (інтенсивність відновлення)  $\mu(t)$  – условная плотность вероятности восстановления работоспособности объекта, определенная для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента восстановление не было завершено.

Средняя интенсивность восстановления  $\bar{\mu}(t_1, t_2)$  – среднее значение интенсивности восстановления на заданном промежутке времени.

Средняя трудоемкость ТО (ремонта) – математическое ожидание трудоемкости ТО (ремонта), выраженное в человеко-часах.

## 10. Комплексные показатели надежности

Коэффициент готовности (коефіцієнт готовності)  $A(t)$  – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается.

Коэффициент неготовности, коэффициент простоя  $U(t)$  – вероятность того, что объект окажется в неработоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов (см. пред.).

## Умовні позначення і скорочення

(Обов'язковий додаток А до ДСТУ 2860-94)

$\lambda (t)$  – інтенсивність відмов;

$\lambda (t_1, t_2)$  – середня інтенсивність відмов на інтервалі  $t_1, t_2$ ;

$m (t)$  – інтенсивність відновлення;

$\bar{\mu} (t_1, t_2)$  – середня інтенсивність відновлення на інтервалі  $t_1, t_2$ ;

$z(t)$  – параметр потоку відмов;

$\bar{z} (t_1, t_2)$  – середній параметр потоку відмов;

$R(t_1, t_2)$  – імовірність безвідмовної роботи на інтервалі  $t_1, t_2$ ;

$M(t)$  – імовірність відновлення;

$A(t)$  – коефіцієнт готовності;

$\bar{A} (t_1, t_2)$  – середній коефіцієнт готовності;

$A$  – стаціонарний коефіцієнт готовності;

$U(t)$  – коефіцієнт неготовності;

$U(t_1, t_2)$  – середній коефіцієнт неготовності;

$U$  – стаціонарний коефіцієнт неготовності;

MTBF – середнє напрацювання між відмовами;

MTTF – середнє напрацювання до відмови;

MTTR – середній час відновлення.

## Література

1. Макаров М. И., Жадан А. В., Зори А. А., Надежность электронных устройств автоматики, информационных и компьютерных систем. Киев, ИСМО, 1996 – 248 с.
  2. Надежность и эффективность в технике. Справочник в 10 томах. М. Маш. 1980
  3. Костиков В. Г., Парфенов Е. М., Шахнов В. А. Источники электропитания электронных средств М., Горячая линия – Телеком, 2001 – 344 с. раздел 5.2.8.
- ДСТУ 2860 – 94 Надійність техніки. Терміни та визначення.

Методичні вказівки  
до розрахунково – графічних  
і практичним роботам  
по надійності

Автор: Константинов Сергій Всеволодович  
Доцент кафедри АТ