

Розрахунок надійності

Надійність елементів ЕОА

Найбільш масові елементи ЕОА: DD, R, C, VT, VD, роз'єми і т.д. Відмова одного чи декількох елементів веде до відмови всієї складної ЕОА, при чому *ці елементи фактично є невідновлюваними*.

по інтенсивності відмов вони між собою не рівноцінні. Для визначення інтенсивності відмов в реальних умовах необхідно враховувати режими та умови, в яких працює та експлуатуються елементи, а відповідно і весь пристрій.

При номінальних умовах $\lambda_e = \lambda_{0e}$

Інтенсивність відмов елементів λ_{0e} при номінальних умовах

Елементи	$\lambda_{0e} \cdot 10^{-7} \text{ 1/год}$
Резистори С2-23-0.125	0,02
Конденсатори К50-6	0,5
Конденсатори керамічні	0,3
Транзистори: малопотужні	0.15 - 0.37
середньої потужності	1,21
великої потужності	1,59
Транзистор КТ315	0,88
Мікросхеми К555	0,2
Контакт роз'єму (друкований роз'єм - контакт роз'єму; навісний роз'єм - контакт + пайка одного виводу)	0,2
Друкована плата (1 сторона)	1
Пайка виводів дискретних компонентів	$0.5 \cdot 10^{-9}$

Надійність друкованого вузлу визначається **надійністю всіх елементів**, що встановлюються да ДП, власне самою ДП на пайкою елементів.

Визначимося з номінальними умовами.

Під **номінальними умовами** розуміють роботу елементу при $K_n = 1$, $t_{cp} = 25 \pm 5$, вологість повітря $65 \pm 5\%$, $P = 760 \text{ mm}$. Певне середовище не містить пилу, вільна від руйнівальної дії газів, солей, Елементи не випробовують ударів та вібрацій. З визначення слідує номінальні умови.

Елементи працюють в реальних режимах та умовах.

Режим роботи елемента визначається як

$$\lambda_e = \varphi(W, I, U)$$

Режим роботи елементів оцінюється коефіцієнтом навантаження K_n , що дорівнює відношенню величини параметру, що визначає навантаження елементу в схемі пристрою, до номінального значення цього параметру по паспорту або ТУ (data sheet).

Для різних елементів коефіцієнт навантаження визначається по різним параметрам (розсіювана потужність, протікаючий струм, прикладена напруга) або їх сукупність. Частіше

за все коефіцієнт навантаження визначається в статичному режимі, рідше по змінному струму.

$$K_H = \frac{H_{\text{роб}}}{H_{\text{ном}}} = \frac{\text{навантаження робоче}}{\text{навантаження номінальне}}$$

$H_{\text{роб}}$ - визначається зі схеми

$H_{\text{ном}}$ - визначається з довідника

Коефіцієнт навантаження елементів визначається (для конкретних елементів):

$$K_{H_W} = \frac{W_{\text{роб}}}{W_{\text{ном}}} - \text{для VT, R, IC}$$

$$K_{H_U} = \frac{U_{\text{роб}}}{U_{\text{ном}}} - \text{для C, VD}$$

$$K_{H_I} = \frac{I_{\text{роб}}}{I_{\text{ном}}} - \text{для VD, IC, VT}$$

K_H не повинен перевищувати 1, бажано K_H зменшувати, однак при малих (наприклад $K_H = 0.1$ маємо значний запас по надійності, але при цьому значно зростають габарити та вага. Рекомендується брати $K_H = 0.5 \div 0.8$.

Для елементів $H_{\text{роб}}$ розраховується, вимірюється, ... по результатам схемотехнічного проектування. $H_{\text{ном}}$ - з довідника. Тоді

$$\lambda_e = \lambda_{oe} K_H$$

Залежність інтенсивності відмов германієвих та кремнієвих транзисторів від K_H представлено в таблиці

K_H	не більше 0.1	0.1 - 0.4	0.4 - 0.8
Германієві	$\lambda = 0.3 \cdot 10^{-7}$	$0.5 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$
Кремнієві	$\lambda = 0.15 \cdot 10^{-7}$	$0.3 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$

На надійність елементів **впливають** не тільки електричні режими, а також зовнішні фактори:

- температура
- вологість
- тиск

тобто **кліматичні впливи**.

Дискретні компоненти проектуються з урахуванням, що вони можуть використовуватися в пристроях різного призначення, в різних режимах та різних умовах експлуатації. *Умови експлуатації* суттєво впливають на надійність елементів, а відповідно на надійність всього виробу, тобто $\lambda_e = f(T^\circ, P, F)$ - температура, тиск, вологість.

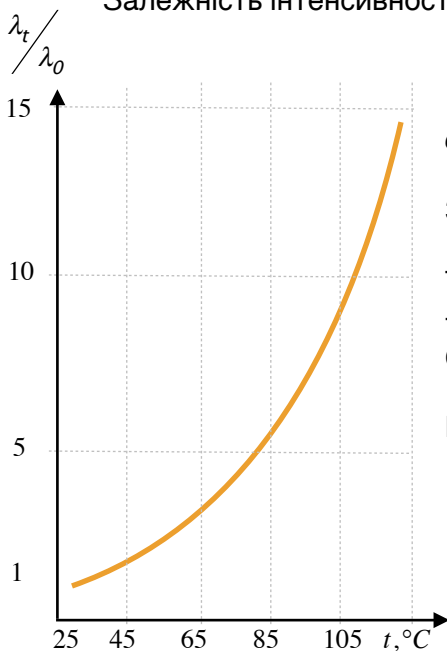
Зовнішні впливи враховуються відповідно a_t , a_p , a_F .

Приблизно можна рахувати, що середній час напрацювання (T_{cp}) до першої відмови зменшується на 10% при збільшенні температури оточуючого середовища на $\approx 5\%$. Ця залежність зберігається в діапазоні 10-60 $^{\circ}\text{C}$.

В літературі приводять значення поправочних коефіцієнтів a_t , що показують в скільки разів інтенсивність відмов **при даному** K_H відрізняється від інтенсивності відмов при номінальних умовах при зміні температури.

$$a_t = \frac{\lambda_e(t_p)}{\lambda_e(t^{\circ} = 25^{\circ}\text{C})} \Big|_{K_H = \text{const}}$$

Залежність інтенсивності відмов ІС від температури має вигляд



Савельєв А.Я., Овчінніков В.А. Конструювання ЕОМ та систем (с.119)

Залежність відносної λ ІС від температури.

Такі графіки a_t для резисторів, для конденсаторів різних типів, для діодів та транзисторів також наведені у Савельєва.

Вам прийдеється враховувати температуру, тому що

$$T_p = T_{\text{навок серед}} + \Delta t_{\text{нагр зони}}$$

$\Delta t_{\text{нагр зони}}$ якщо збільшується на $10 \div 15^{\circ}\text{C}$, то значення a_t може збільшуватися в 10 разів (див. на графік)

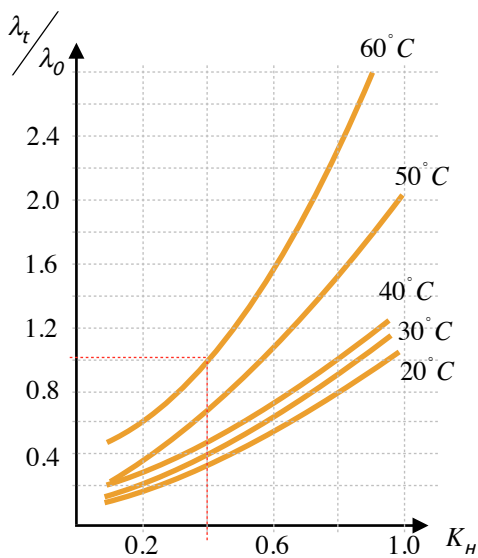
$$\lambda_e = \lambda_{oe} \cdot K_H \cdot a_t$$

Ми з вами навели приклади інтенсивностей відмов деяких окремих елементів (див. таблицю). Можна додати, що $\lambda(t)$ для R та VT за останні 20 років зменшилося в 300 разів.

Побудова ЕОА III та IV поколінь на ІС дозволило **на порядок збільшити** їх надійність. за прогнозами вчених $\lambda(t)$ ІС може знизитися до $1 \cdot 10^{-11} \text{ 1/год}$.

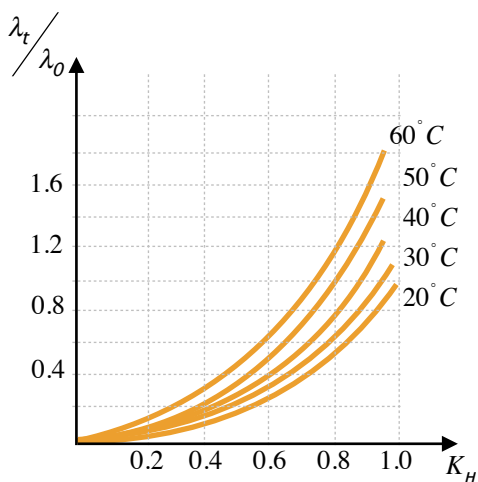
В Літературі наводяться значення коефіцієнтів в залежності від коефіцієнту навантаження (див. Савельєв А.Я., Овчінніков В.А. Конструювання ЕОМ та систем).

Залежність відносної інтенсивності відмов від температури роботи та коефіцієнту навантаження

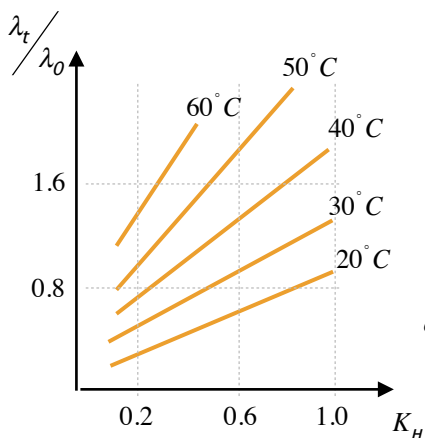


для резисторів

$$\lambda_{T_p=50^\circ\text{C}} < \lambda_{T_p=60^\circ\text{C}} \text{ при } K_{HT_p=50^\circ\text{C}} < K_{HT_p=60^\circ\text{C}}$$



для керамічних конденсаторів



для германієвих транзисторів

Таким чином в цих графіках враховується, що

$$a_t = f(t_p, K_H)$$

Умови експлуатації включають не тільки температурні впливи, але й механічні впливи. Механічні впливи враховуються поправочним коефіцієнтом a_b . Фізичний зміст є

аналогічним до a_t , тобто a_b показує в скільки разів інтенсивність відмов при даному K_H відрізняється від інтенсивності відмов при номінальних умовах при зміні впливів.

Узагальнений коефіцієнт, що враховує механічні впливи (вібрації, лінійні прискорення, удари, ...) представляють наступним чином:

$$a_e = \frac{\lambda_e}{\lambda_{e\text{лаб}}},$$

a_e є відношення λ_e в ЕОА різного призначення до $\lambda_{e\text{лаб}}$ елементів ЕОА, що використовується в лабораторних умовах, що відповідають найменшим рівням експлуатаційних впливів.

Відношення інтенсивності відмов елементів ЕА різного призначення до інтенсивності відмов елементів лабораторної ЕА (див. Савельєв)

Тип ЕОА	$\lambda_e / \lambda_{e\text{л}}$
стаціонарна наземна	20
корабельна	40
автомобільна	50
залізнодорожна	25-30
високогірна	80
літакова	120-150
лабораторна	1

З таблиці слідує, що надійність елементів ЕОА суттєво знижується зі збільшенням рівня механічних навантажень.

Таким чином результуюча інтенсивність відмов елементів i -го типу (одного й того є типу) з урахуванням впливів можна представити так:

$$\lambda_{PE} = \lambda_{0E} \cdot K_H \cdot a_t \cdot \dots \cdot a_{\text{експ}}$$

для даного типу елементу. λ_{PE} буде стільки, скільки типів елементів в схемі.