ПЛАН НА ЛЕКЦИЯТА

МОДЕЛИ НА НАДЕЖДНОСТ - ОСНОВНИ РАЗПРЕДЕЛЕНИЯ

- Общи понятия за моделите на надеждност
- Статистическа обработка на резултатите от изпитването и определяне показателите на надеждността
- Закони в надеждността за дискретни разпределения
- Закони в надеждността за непрекъснати разпределения

ОБЩИ ПОНЯТИЯ ЗА МОДЕЛИТЕ НА НАДЕЖДНОСТ

В основата на процесите, водещи до възникване на откази в електронните изделия (системи, апаратура, устройства, модули, елементи) лежат *общи закономерности*.

***Затова* разпределението на случайните величини, описващи реалните процеси на възникване на откази *могат приближено да се заменят* с някои известни разпределения от теорията на вероятностите.**

ЗАБЕЛЕЖКА!

При анализа и оценката на надеждността в електрониката, конкретните електронни изделия (система, апаратура, устройство, модул, компонент, елемент) ще наричаме и означаваме за краткост с обобщеното понятие *«обект»*.

ВИДОВЕ ЗАКОНИ НА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗПОЛЗВАНИ В ЕЛЕКТРОНИКАТА

В теорията на надеждността най-широко разпространение са получили следните закони на разпределение:

- **Закони за разпределение на дискретни случайни величини**
  - **Биномен закон**
  - **Разпределение на Поасон**
- **Закони за разпределение на непрекъснати случайни величини**
  - **Експоненциален**
  - **Нормален**
  - **Логаритмично нормален**
  - **Вейбулов**
  - **Гама разпределение**
  - **Разпределение на Релей**

ОСНОВНИ СТЪПКИ ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА МОДЕЛ НА НАДЕЖДНОСТ

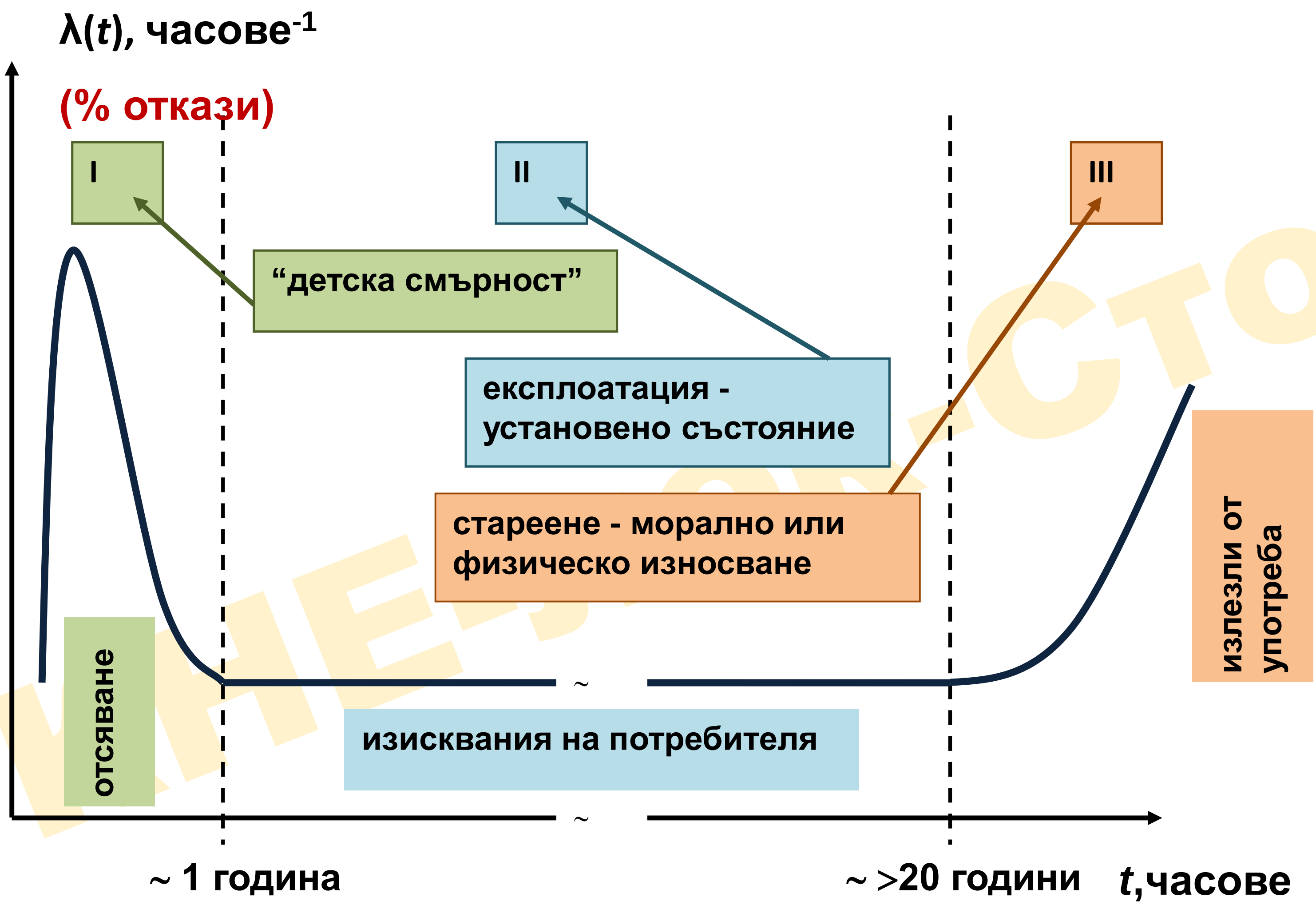
При решаване на задачи за оценка и прогнозиране на работоспособност на обекта трябва да има МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ ЗА АНАЛИТИЧНО ПРЕДСТАВЯНЕ НА ПОКАЗАТЕЛИТЕ ЗА НАДЕЖДНОСТ.

Стъпка 1 – Провеждане на изпитвания

Стъпка 2 – Изчисляване на статистически оценки

Стъпка 3 – Апроксимация на аналитични функции

ИЗМЕНЕНИЕ НА ИНТЕНЗИВНОСТТА НА ОТКАЗИТЕ ВЪВ ВРЕМЕТО



За да се класифицират моделите на надеждност и да се определят възможните им приложения, трябва да се изясни как се изменя безотказността на обектите при тяхната експлоатация.

Опитът показва, че изменението на интензивността на отказите λ(t) на електронните изделия се описва с U-образна крива, следваща формата на вана/корито. Затова често се нарича "крива на ваната (bathtube curve)". Открояват се три характерни периода - I, II и III.

ХАРАКТЕРНИ ПЕРИОДИ ЗА ВРЕМЕТО НА ЖИВОТ

I период – интензивността на отказите е променлива и повишена, поради ранни отказии от дефекти в производството, монтажа и настройка. Понякога със завършването на този период се свързва гаранционното обслужване, когато отстраняването на откази се извършва от производителя.

II период – интензивността на отказите се намалява и *практически остава постоянна*. Отказите имат случаен характер. Дължат се преди всичко нна неспазване условията на експлоатация, случайни изменения на натоварването, неблагоприятни външни условия и т.н.

III период – интензивността на отказите нараства поради увеличаване на отказите от износване, стареене и др. причини , свързани с продължителната експлоатация

Видът на аналитичната функция, описваща изменението на показателите на надеждността, определя закона за разпределение на случайната величина, който се избира в зависимост от свойствата на обекта, условията на работа и характерът на отказите.

СТАТИСТИЧЕСКО ИЗСЛЕДВАНЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ ИЗПИТВАНЕТО ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ ПОКАЗАТЕЛИТЕ НА НАДЕЖДНОСТТА

Постановка:

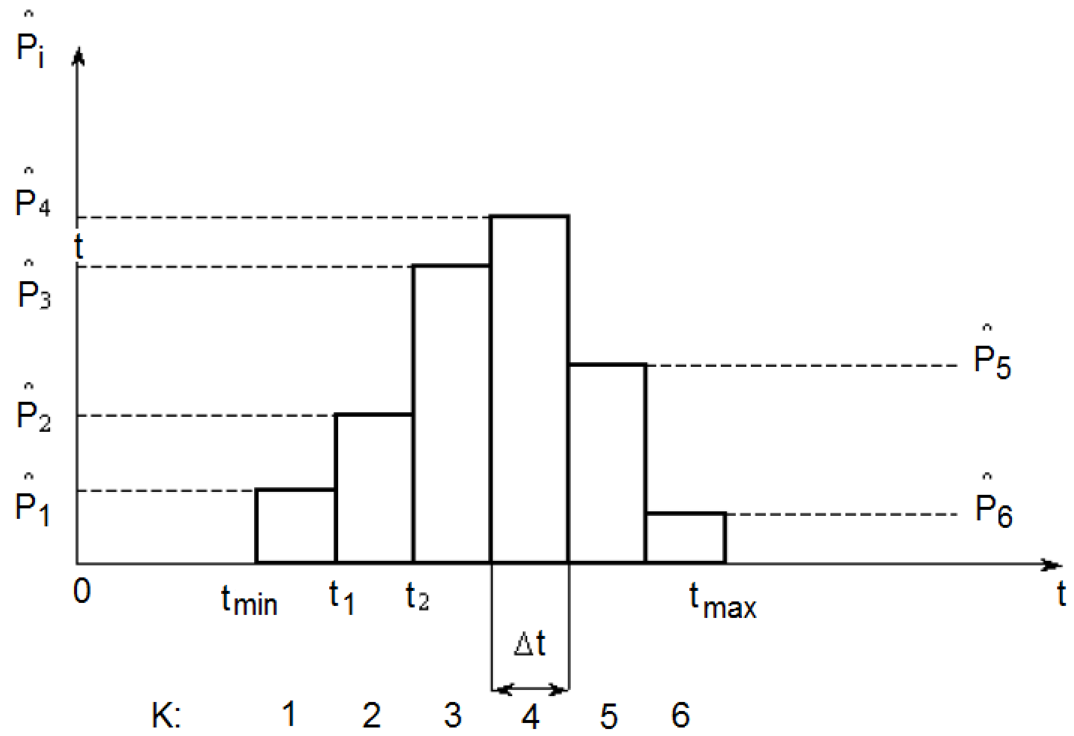
- **налични резултати от изпитване на N на брой невъзстановими еднакви изделия**
- **масив от данни за времето до отказ (TTF), който формира статистическа извадка**
- **извадката характеризира случайната величина TTF $T=\{t\}$**

Същност на изследването:

- **трябва да се избере закон за разпределение чрез апроксимация (изглаждане) и да се провери правилността на избора**
- **изборът на една или друга апроксимираща функция носи характер на хипотеза**
- **експерименталните данни могат с голямо или с по-малко *правдоподобие* да потвърждават или отхвърлят справедливостта на една или друга хипотеза, посредством определени критерии**

СТЪПКИ ПРИ ОБРАБОТКАТА НА ДАННИТЕ

Формиране на статистически ред:



Възможен вид хистограма за представяне на статистически ред

- За компактност и нагледност извадката от стойности за TTF се представя графично чрез хистограма

СТЪПКИ ПРИ ОБРАБОТКАТА НА ДАННИТЕ

Изчисляване на емпиричната функция

❖ Определят се статистическите оценки на показателите за надеждност:

➢ **Функцията на разпределението на отказите – (оценка на вероятността за отказ)**

$n(t_i)$ – брой подложени на изпитване за време t_i

N – брой работоспособни

$$\widehat{Q}(t_{\min}) = \frac{n(t_{\min})}{N} = 0$$

$$\widehat{Q}(t_1) = \frac{n(t_1)}{N} = \frac{\Delta n(t_{\min}, t_1)}{N} = Q_1$$

$$\widehat{Q}(t_2) = \frac{n(t_2)}{N} = \frac{\Delta n(t_{\min}, t_1) + \Delta n(t_1, t_2)}{N} = Q_1 + Q_2$$

....

$$\widehat{Q}(t_{\max}) = \frac{n(t_{\max})}{N} = \sum_{i=1}^{k} Q_i = 1$$

СТЪПКИ ПРИ ОБРАБОТКАТА НА ДАННИТЕ

Изчисляване на емпиричната функция

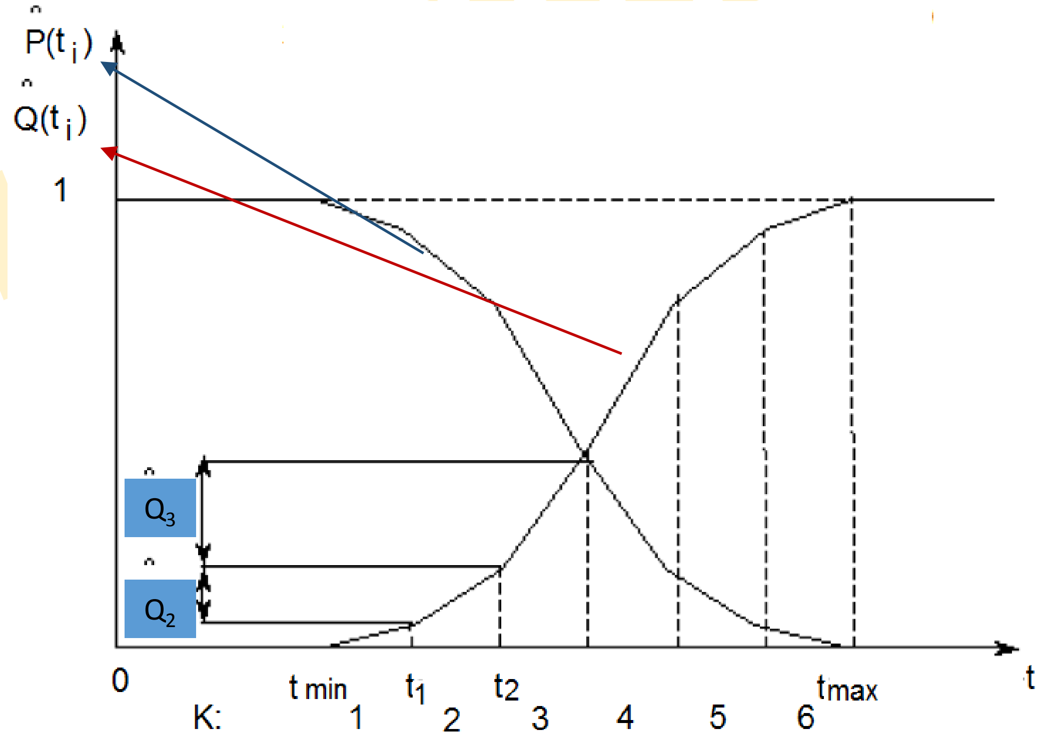
❖ Определят се статистическите оценки на показателите за надеждност:

➢ **Функцията на надеждността – (оценка на вероятността за безотказна работа)**

$$\hat{P}(t_{min}) = 1 - \hat{Q}(t_{min}) = 1$$

....

$$\hat{P}(t_{max}) = 1 - \hat{Q}(t_{max}) = 0$$



Графика на статистическата оценка

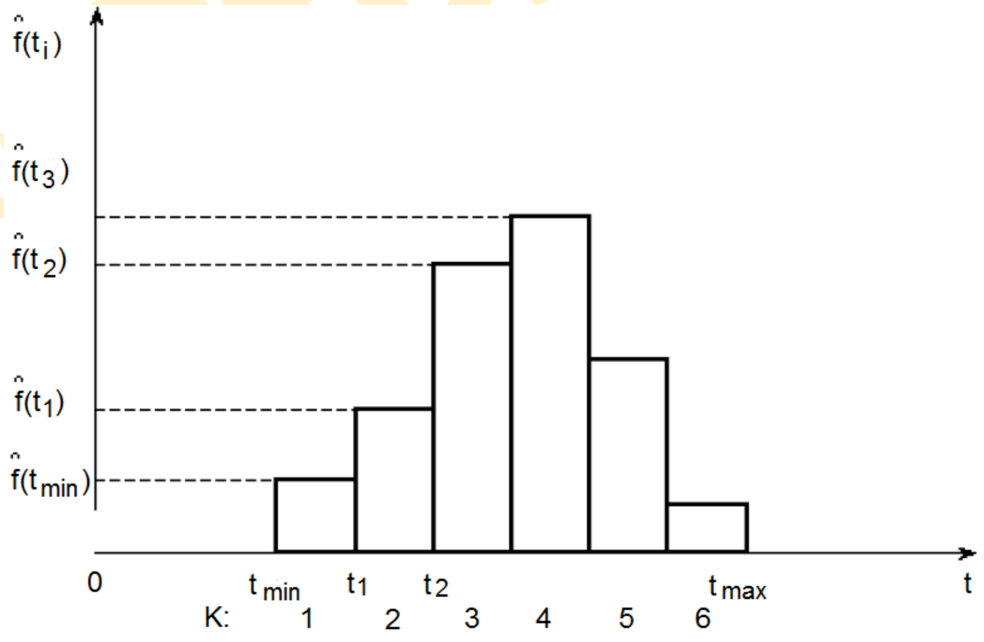
СТЪПКИ ПРИ ОБРАБОТКАТА НА ДАННИТЕ

Изчисляване на емпиричната функция

❖ Определят се статистическите оценки на показателите за надеждност:

➢ **Плътност на разпределение на отказите – (оценка на pdf)**

$$\widehat{f}(t_i) = \frac{\Delta n(t_i, t_{i+1})}{N \times \Delta t} = \frac{\widehat{P_i}}{\Delta t}$$



Графика на статистическата оценка

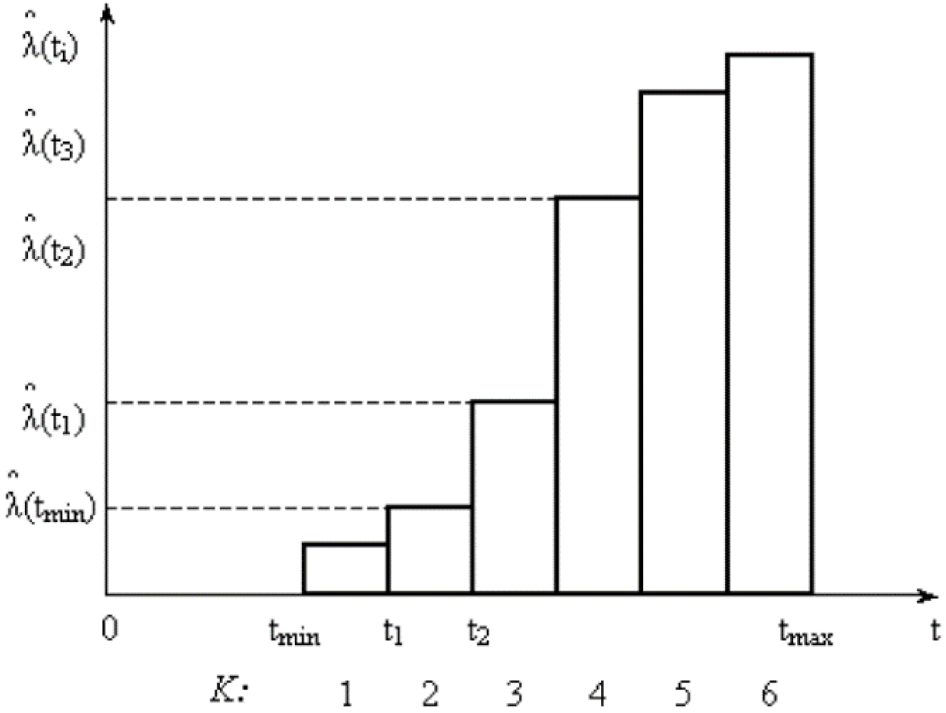
СТЪПКИ ПРИ ОБРАБОТКАТА НА ДАННИТЕ

Изчисляване на емпиричната функция

❖ Определят се статистическите оценки на показателите за надеждност:

➢ **Интензивност на отказите – (оценка на интензивността λ)**

$$\hat{\lambda}(t_i)=\frac{\Delta n(t_i,t_{i+1})}{N(t_i)\times\Delta t}=\frac{\Delta n(t_i,t_{i+1})}{[N-n(t_i)]\Delta t}$$



Графика на статистическата оценка

СТЪПКИ ПРИ ОБРАБОТКАТА НА ДАННИТЕ

Пресмятане на статистическите оценки на числовите характеристики

❖ С оценка на характеристиките се определят:

- **Оценка на средното TTF – (статистическо средно)**

$$\hat{T}_0 = \sum_{i=1}^{K} \tilde{t}_i \times \hat{P}_i$$

- **Оценка на дисперсията на TTF– (емпирична дисперсия)**

$$\hat{D} = \sum_{i=1}^{K} \left(\ddot{t} - \hat{T}_0 \right)^2 \hat{P}_i$$

$\ddot{t}_i = t_i + \Delta t/2 = t_{i+1} - \Delta t/2$ - средата на *i*-тия интервал TTF

- **Оценка на средно квадратично отклонение**

$$\hat{D} = \hat{S}^2$$

СТЪПКИ ПРИ ОБРАБОТКАТА НА ДАННИТЕ

Пресмятане на статистическите оценки на числовите характеристики

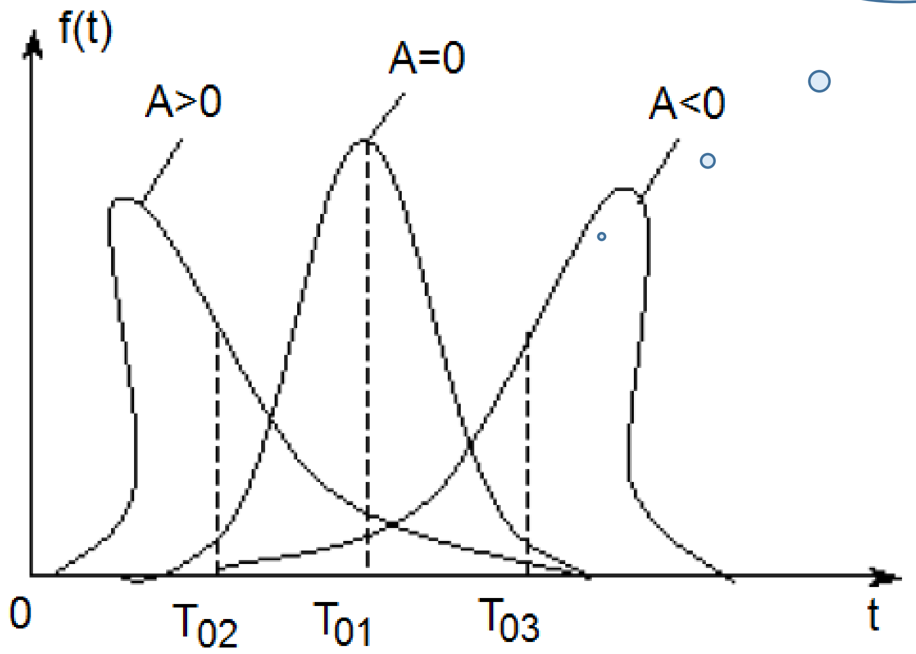
❖ Оценки и някои спомагателни характеристики на разсейване на случайната величина T:

➢ **Извадков коефициент на асиметрия на TTF**

асиметрия

$$A = \sum_{i=1}^{K} \left(\tilde{t}_i - \widehat{T}_0\right)^3 \widehat{P}_i \Big/ \widehat{S}^3$$

за избор на апроксимираща функция



СТЪПКИ ПРИ ОБРАБОТКАТА НА ДАННИТЕ

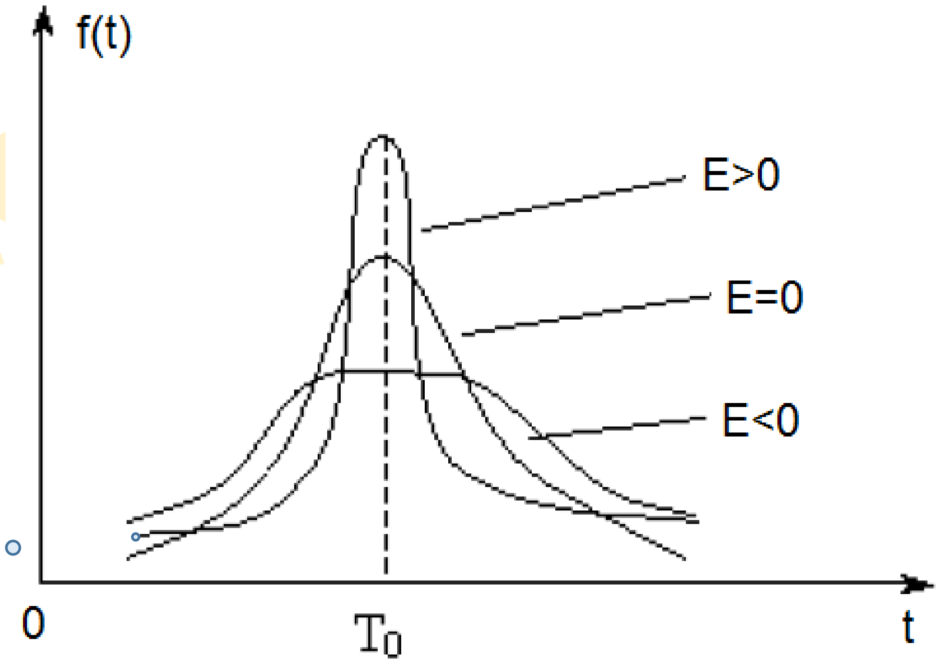
Пресмятане на статистическите оценки на числовите характеристики

❖ Оценки и някои спомагателни характеристики на разсейване на случайната величина T:

➢ **Извадков ексцес на TTF**

$$E = \left[\sum_{i=1}^{K} \left(\tilde{t}_i - \hat{T}_0 \right)^4 \hat{P}_i \Big/ \hat{S}^4 \right] - 3$$

стръмност



за избор на апроксимираща функция

СТЪПКИ ПРИ ОБРАБОТКАТА НА ДАННИТЕ

Избор на закона на разпределение

- Подбор на аналитична функция , която най-добре апроксимира емпиричната функция на надеждност

Забележка! *Неопределена и субективна процедура, зависеща от априорното познаване на обекта и свойствата му, условията на работа и от анализа на вида на графиките* $\widehat{P}(t)$, $\widehat{f}(t)$ и $\widehat{\lambda}(t)$

- Нека е избран хипотетичен закон на разпределение със зададена теоретична pdf с неизвестни параметри *a*, *b*, *c*,….

$$f(t) = \Psi(t, a, b, c, \ldots)$$

- Трябва параметрите да се подберат така, че f(t) най-добре да изглажда степенчатата графика

$$\widehat{f}(t)$$

СТЪПКИ ПРИ ОБРАБОТКАТА НА ДАННИТЕ

Избор на закона на разпределение

❖ Подбор на аналитична функция , която най-добре апроксимира емпиричната функция на надеждност

➢ Използва се следния подход:

- **Изчисляват се параметрите *a*, *b*, *c*,…. , така че най-важните числени характеристики на теоретичното разпределение да са равни на съответните статистически оценки**

- **На графиката заедно с $\widehat{f}(t)$ се построява теоретическата pdf $f(t)$, за визуална оценка на резултата от апроксимацията**

- **Доколкото наличието на различие е неизбежно, трябва да се отговори на въпроса дали то се обяснява с наличието на случайни обстоятелства и дали теоретичното разпределение е избрано погрешно.**

- **Отговор се дава с изчисляване на критерия за съгласие**

СТЪПКИ ПРИ ОБРАБОТКАТА НА ДАННИТЕ

Избор на закона на разпределение

- Подбор на аналитична функция , която най-добре апроксимира емпиричната функция на надеждност

КРИТЕРИЙ ЗА СЪГЛАСИЕ

Дефиниция – ***Критерий за съгласие*** – критерий за проверка на хипотеза, че случайната величина *T*, представена със своя извадка, има разпределение от предполагаем тип. Подбор на аналитична функция, която най-добре апроксимира емпиричната функция на надеждност.

Забележка! С критерия за съгласие може да се отхвърли избрана хипотеза, ако ***P*** е достатъчно голяма, но това не може да служи за доказателство за правилността на хипотезата, а показва само това, че хипотезата не противоречи на данните на експеримента.

СТЪПКИ ПРИ ОБРАБОТКАТА НА ДАННИТЕ

Избор на закона на разпределение

❖ Подбор на аналитична функция , която най-добре апроксимира емпиричната функция на надеждност

КРИТЕРИЙ ЗА СЪГЛАСИЕ

➢ **Проверката се състои в следното:**

o **Пресмята се критерий, като мярка за разходимост на теоретичното от емпиричното разпределение. Тази мярка е случайна величина.**

От известните критерии най-често се използва критерия на Пирсон χ^2

$$\chi^2 = N \times \sum_{i=1}^{k} \left(\hat{P}_i - P_i\right)^2 / P_i$$

$P_i = f\left(\ddot{t}_i\right)\Delta t$ - теоретична честота (вероятност) за попадане на случайната величина в интервала $\left[t_i, t_i + \Delta t\right]$

СТЪПКИ ПРИ ОБРАБОТКАТА НА ДАННИТЕ

Избор на закона на разпределение

❖ Подбор на аналитична функция , която най-добре апроксимира емпиричната функция на надеждност

КРИТЕРИЙ ЗА СЪГЛАСИЕ

o **Определя се броя на степените на свобода** ***R = k – L***

L - брой независими условия, наложени на честотата $\hat{P}_i$ *, например:*

а) **условие** $\sum \hat{P}_i = 1$

б) ***условие за съвпадение*** $\sum \ddot{t}_i \times \hat{P}_i = T_o$

в) ***условие за съвпадение*** $\sum \left(\ddot{t}_i = T_0\right)^2 \times P_i = D$ ***и т.н.***

Най-често *L* = 3. Колкото е по-голяма степента на свобода, толкова повече случайната величина χ^2 се подчинява на разпределението на Пирсон

СТЪПКИ ПРИ ОБРАБОТКАТА НА ДАННИТЕ

Избор на закона на разпределение

❖ Подбор на аналитична функция , която най-добре апроксимира емпиричната функция на надеждност

КРИТЕРИЙ ЗА СЪГЛАСИЕ

- **По пресметнатите χ^2 и *R* се определя вероятността *P*, величината, имаща разпределение по Пирсон с *R* степени на свобода, да превъзхожда пресметнатата стойност χ^2.**

- **Приемане или отхвърляне на хипотеза**

Отговорът на въпроса колко малка трябва да бъде вероятността, за да се отхвърли хипотезата за избор на един или друг закон на разпределение е в много отношения неопределен.

На практика ако ***P*** < 0.1, то се препоръчва да се потърси друг закон на разпределение

ЗАКОНИ В НАДЕЖДНОСТТА ЗА ДИСКРЕТНИ РАЗПРЕДЕЛЕНИЯ

БИНОМЕН ЗАКОН (БЗ)

Обикновено се използва при статистически контрол на качеството, когато има много малко сведения за поведението на изделията, а последните трябва да се класифицират на годни и негодни (брак).

Характеризира вероятността за поява на събитие ν в *m* независими опити.
Ако вероятността за поява на събитието ν в един опит е равна на *p* (вероятността събитието да не се появи е *q = 1 - p*), а броят на независимите изпитвания е *m*, то вероятността събитието ν да се появи *n*-пъти в серия от *m* опита е P_m^n :

$$P_m^n = C_m^n p^n (1-p)^{m-n}$$

където $C_m^n = \dfrac{m!}{n!(m-n)!}$ е цяло положително число

Основни характеристики:

- Математическо очакване $M(\nu) = p \times n$
- Дисперсия $\sigma^2(\nu) = M(\nu) \times q$
- Средно квадратично отклонение $\sigma(\nu) = \sqrt{M(\nu) \times q}$

ЗАКОНИ В НАДЕЖДНОСТТА ЗА НЕПРЕКЪСНАТИ РАЗПРЕДЕЛЕНИЯ

ЕКСПОНЕНЦИАЛНО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ (ЕЗ)

Като правило се използва при оценка надеждността на сложни изделия, отказите на които се обуславят от голям брой компоненти в състава им.
Използва се при изследване TTF на неремонтируеми изделия за определяне на времето между съседни откази в ремонтируеми изделия.

Времето между два съседни откази в прост поток от откази е непрекъсната случайна величина, разпределена експоненциално

(1) $$f(t) = \lambda_0 \exp(-\lambda_0 t)$$

Съответната интегрална функция е

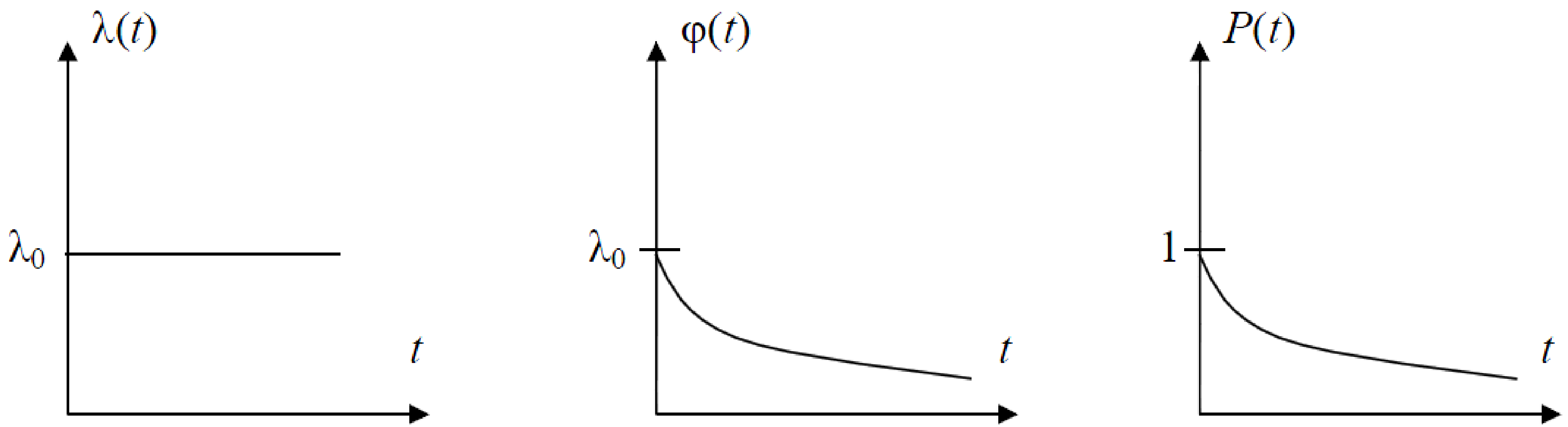
(2) $$F(t) = Q(t) = \int_0^t f(t)dt = 1 - e^{-\lambda_0 t}$$

В периода на нормална експлоатация на електронна апаратура времето на работа между отказите е подчинено на ЕЗ с параметри $\lambda(t) = \lambda_0 = const$

(3) $$P(t) = 1 - Q(t) = e^{-\lambda_0 t}$$ $f(t)$ удовлетворява (1)

ЗАКОНИ В НАДЕЖДНОСТТА ЗА НЕПРЕКЪСНАТИ РАЗПРЕДЕЛЕНИЯ

ЕКСПОНЕНЦИАЛНО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ (ЕЗ)



$$P(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t)dt \right)$$

при λ = const

$$P(t) = \exp(-\lambda t)$$

Параметър на разпределението : λ

Основни характеристики:

- Средно време на работа до отказ $T_0(t) = \int_0^\infty P(t)dt = 1/\lambda$
- Математическо очакване $M(t) = T = 1/\lambda$
- Дисперсия $D(t) = 1/\lambda^2$

ЗАКОНИ В НАДЕЖДНОСТТА ЗА НЕПРЕКЪСНАТИ РАЗПРЕДЕЛЕНИЯ

ЕКСПОНЕНЦИАЛНО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ (ЕЗ)

ОСОБЕНОСТИ НА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО:

– **независимост на интензивността на отказите във времето λ (t) = const – *(главна особеност)***

- **λ (t)= V(t) – const**
- **$T_{cp}=T_0$**

– **не отчита предисторията на процеса – инвариантност на вероятността за безотказна работа на електронните изделия в интервала (t_0, $T_0+\Delta t$) към разположението на началото на интервала Δt по абцисната ос**

– **трябва да се използва в случаи, когато:**

- **процесите на стареене и износване в електронните изделия протичат достатъчно бавно**
- **се анализира сравнително неголям период от времето на живот на изделията**

– **използва се при оценка на надеждността на сложни изделия, отказите на които се обуславят от голям брой техни компоненти**

– **използва се при изследване TTF на неремонтируеми изделия**

– **използва се за определяне времето между съседни откази в ремонтируеми изделия**

НОРМАЛНО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ (НЗ)

Плътност на вероятността pdf

$$f(t) = \left(\frac{1}{b\sqrt{2\pi}}\right)\exp\left[-\frac{(t-a)^2}{2b^2}\right]$$

Параметри на разпределението:

- a (положително, отрицателно и равно на 0)
- b (положително)

Основни характеристики:

- Математическо очакване M(T) = a
- Дисперсия $\sigma^2(T) = b$

Вероятността случайната величина време на работа до отказ *t* да попадне в интервал (t_1, t_2) е

$$P(t) = P(t_1 \le t \le t_2) = \Phi(z_2) - \Phi(z_1)$$

където $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^z e^{\frac{t^2}{2}}dt$ е функция на Лаплас (интеграл на вероятността) и $z_1 = \frac{t_1 - a}{\sigma}$ $z_2 = \frac{t_2 - a}{\sigma}$

ЗАКОНИ В НАДЕЖДНОСТТА ЗА НЕПРЕКЪСНАТИ РАЗПРЕДЕЛЕНИЯ

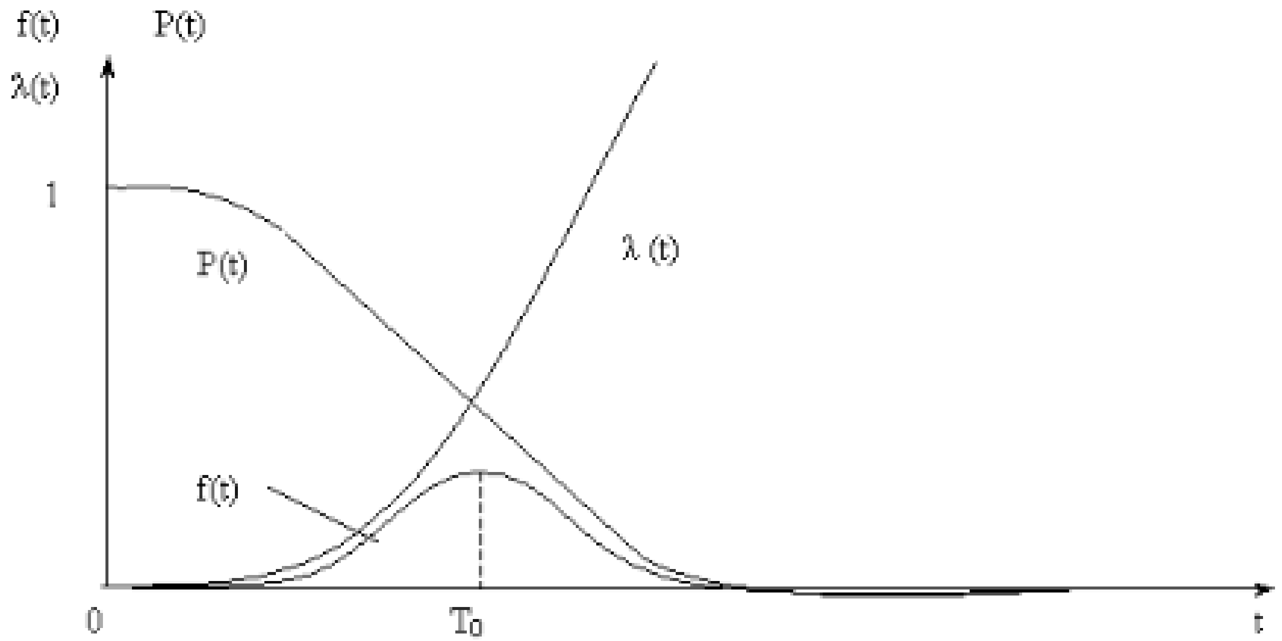
НОРМАЛНО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ (НЗ)

ОСОБЕНОСТИ НА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО:

– гранично разпределение, към което се приближават другите закони на разпределение

– универсално и удобно за широки приложения

– добре описва работоспособността на електронни изделия, в процеса на естествено стареене и износване, когато възникват параметрични откази



ЗАКОНИ В НАДЕЖДНОСТТА ЗА НЕПРЕКЪСНАТИ РАЗПРЕДЕЛЕНИЯ

ЛОГАРИТМИЧНО НОРМАЛНО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ (ЛНЗ)

ЛНЗ разпределение е логаритъм (lg*t*) на времето на работа до отказ *T*

Плътност на вероятността pdf $$f(t)=\frac{\mu}{t\sigma^2(t)}\exp\left\{\frac{[z-M(t)]^2}{2\sigma^2(t)}\right\}$$

където $\lg T_0 = M(t)$, $\sigma(t)$, $\sigma^2(t)$ – са съответно математическо очакване, средноквадратично отклонение, дисперсия на случайната величина *t*, $\mu = 0,4343$

Основни характеристики:

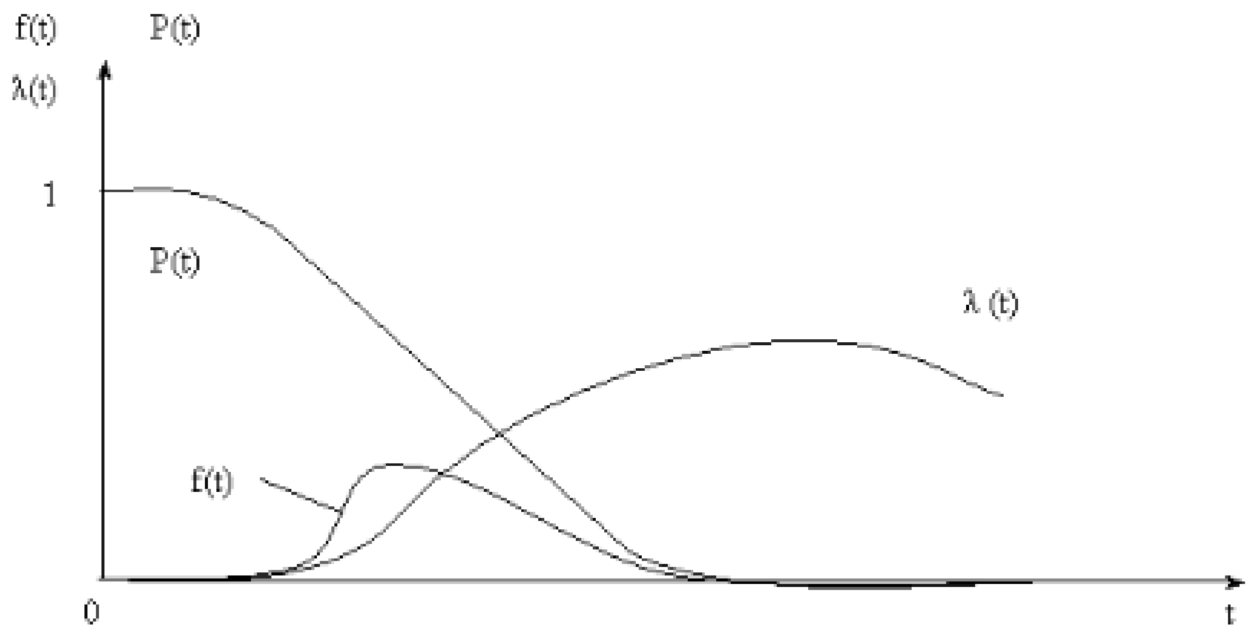
- Математическо очакване $M(t)=T_0\exp\left[\frac{\sigma^2(t)}{2\mu^2}\right]=T_{cp}$
- Дисперсия $\sigma^2(t)=T^2{}_{cp}\left[\left(T_{cp}/T_0\right)^2-1\right]$

ЗАКОНИ В НАДЕЖДНОСТТА ЗА НЕПРЕКЪСНАТИ РАЗПРЕДЕЛЕНИЯ

ЛОГАРИТМИЧНО НОРМАЛНО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ (ЛНЗ)

ОСОБЕНОСТИ НА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО:

- **много по-точно от нормалното описва TTF за изделия, в които отказ възниква поради стареене, напр. електронни лампи**
- **за оценка на откази от износване**
- **за оценка на загуба на време за отстраняване на отказ**
- **добре апроксимира случайната величина, получавана в хода на умножение на голям брой независими или слабо корелирани случайни величини**



ЗАКОНИ В НАДЕЖДНОСТТА ЗА НЕПРЕКЪСНАТИ РАЗПРЕДЕЛЕНИЯ

ВЕЙБУЛОВО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ (ВЗ)

ВЗ е получен емпирично и намира широко приложение

Плътност на вероятностите

$$f(t) = \alpha\beta t^{\beta-1} e^{-\alpha t^{\beta}}$$

Вероятност за безотказна работа

$$P(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = e^{-\alpha t^{\beta}}$$

Интензивност на отказите

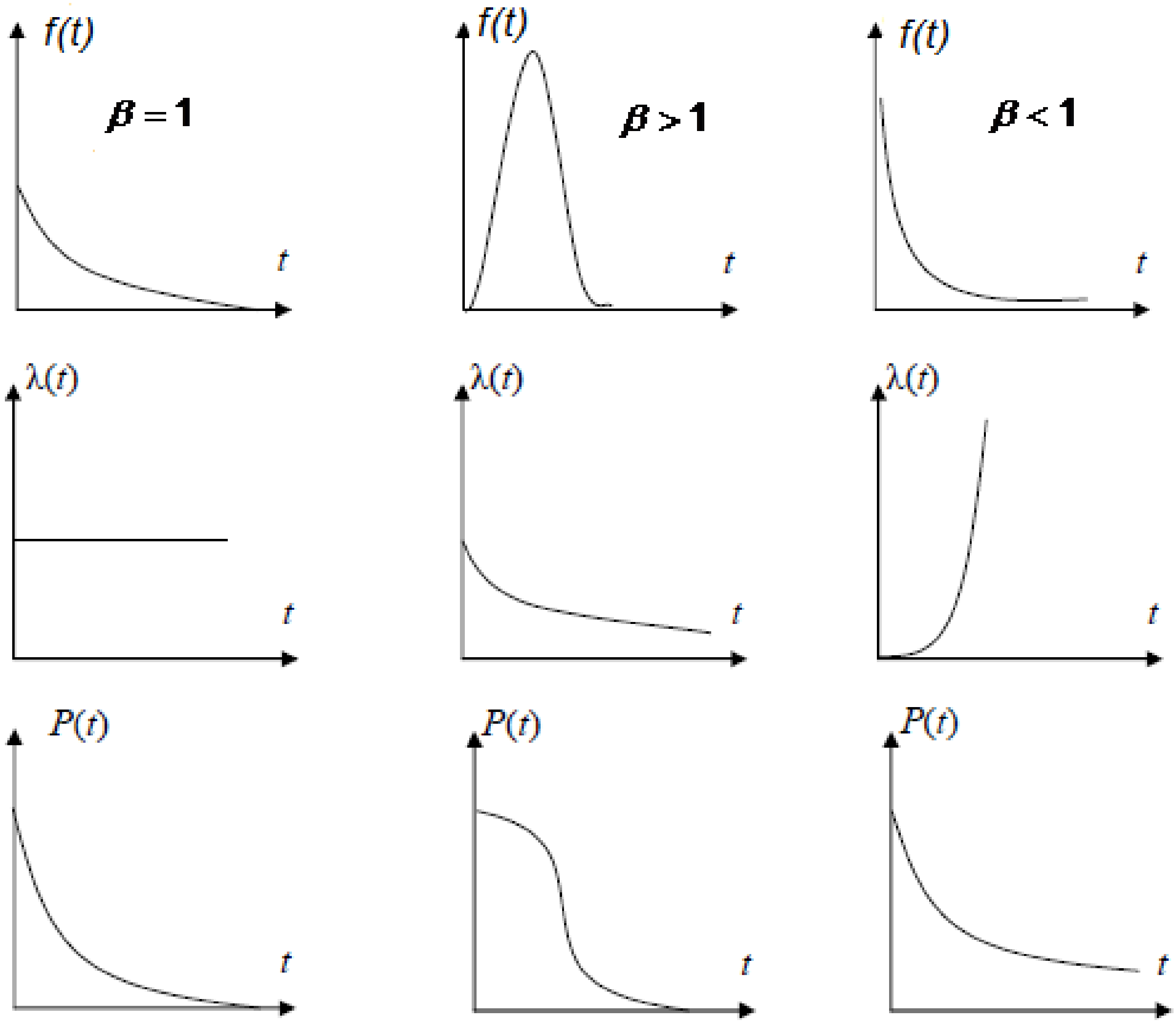
$$\lambda(t) = f(t)/P(t) = \alpha\beta t^{\beta-1}$$

Средно време на безотказна работа

$$T_{cp}(t) = \int_0^\infty P(t)dt = \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)\alpha^{-1/\beta}{}_0$$

ЗАКОНИ В НАДЕЖДНОСТТА ЗА НЕПРЕКЪСНАТИ РАЗПРЕДЕЛЕНИЯ

ВЕЙБУЛОВО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ (ВЗ)



ЗАКОНИ В НАДЕЖДНОСТТА ЗА НЕПРЕКЪСНАТИ РАЗПРЕДЕЛЕНИЯ

ВЕЙБУЛОВО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ (ВЗ)

ОСОБЕНОСТИ НА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО:

– за изследване характеристиките на полупроводникови прибори (□<1)

– за оценка от ускорени изпитвания на електронни компоненти във форсирани режими от износване

– за оценка на загуба на време за отстраняване на отказ

– за оценка на надеждността в периода на “детска смъртност” (□<1)

– за оценка при износване и стареене

ЗАКОНИ В НАДЕЖДНОСТТА ЗА НЕПРЕКЪСНАТИ РАЗПРЕДЕЛЕНИЯ

ГАМА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ (ГЗ)

Плътност на вероятността pdf $$f(t) = \frac{\alpha^{\beta} t^{\beta-1}}{\Gamma(\beta)} \exp(-\alpha t)$$

където параметрите α и β (цяло число) са положителни числа, а

$\Gamma(\beta) = (\beta - 1)!$ е Гама функция на Ойлер

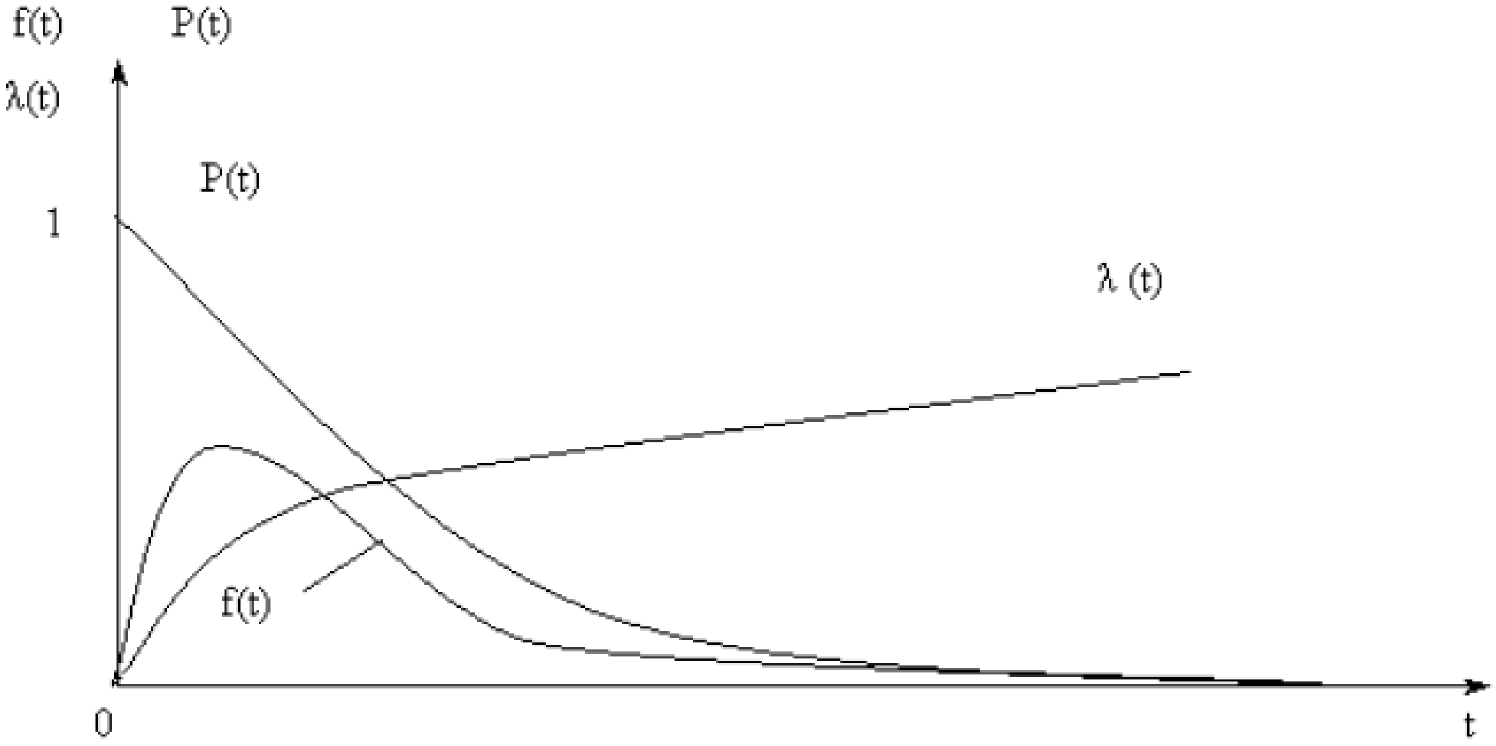
Основни характеристики:

- Математическо очакване $T_{cp} = \beta / \alpha$
- Дисперсия $D = D\{T\} = \beta / \alpha^2$

При $\beta = 1$ се преобразува в експоненциално разпределение
При $\beta > 1$ се преобразува в нормално разпределение

ЗАКОНИ В НАДЕЖДНОСТТА ЗА НЕПРЕКЪСНАТИ РАЗПРЕДЕЛЕНИЯ

ГАМА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ (ГЗ)



$$P(t) = e^{-\alpha t} \sum_{i=1}^{k-1} \frac{(\alpha t)^i}{i!}$$

$$\lambda(t) = \frac{\alpha^{\beta} t^{\beta-1}}{(\beta - 1)! \sum_{i=1}^{k} \frac{(\alpha t)^i}{i!}}$$

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t)dt = \frac{\beta}{\alpha}$$

ЗАКОНИ В НАДЕЖДНОСТТА ЗА НЕПРЕКЪСНАТИ РАЗПРЕДЕЛЕНИЯ

ГАМА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ (Г3)

ОСОБЕНОСТИ НА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО:

– за оценка характеристиките на надеждност на електронни компоненти и изделия в началния период на експлоатация (□>1)

– за изследване на електромеханични и механични устройства

– за изследване на елементи на високонадеждна електронна апаратура с намаляваща във времето интензивност на отказите (□<1)

– описва разпределението на времената до отказ на електронни системи, резервирани със заместване, когато времето до отказ на основния и на резервирания елемент се описват с експоненциално разпределение – параметърът □ е равен на общия брой системи

ЗАКОНИ В НАДЕЖДНОСТТА ЗА НЕПРЕКЪСНАТИ РАЗПРЕДЕЛЕНИЯ

РАЗПРЕДЕЛЕНИЯ НА РЕЛЕЙ И НА χ^2 (КСИ КВАДРАТ)

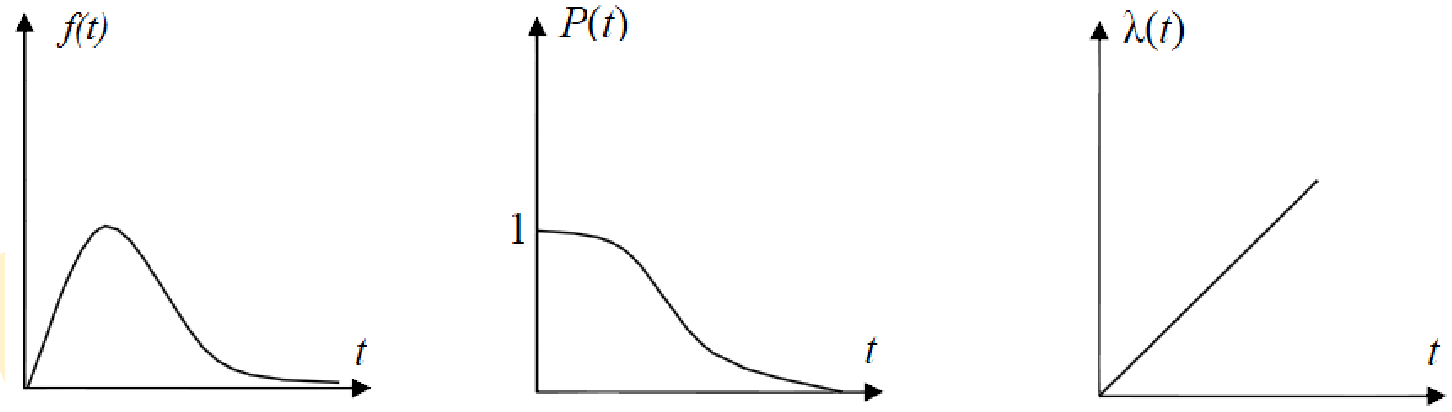
$$P(t) = \exp\left(-t^2/2\sigma^2\right)$$

$$f(t) = \left(t/\sigma^2\right)\exp\left(-t^2/2\sigma^2\right)$$

$$\lambda(t) = t/\sigma^2$$

където σ е дисперсия на времето за безотказна работа

$$T_{cp} = \sigma\sqrt{\pi/2}$$



Използва се за описание характеристиките на надеждността на електронни компоненти с явно изразен ефект на стареене