

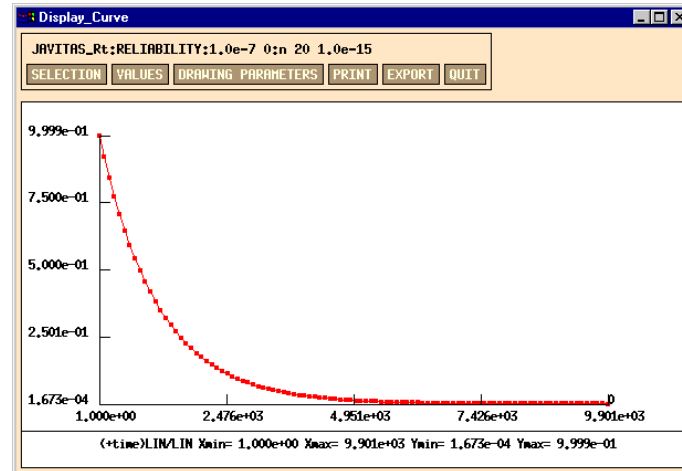
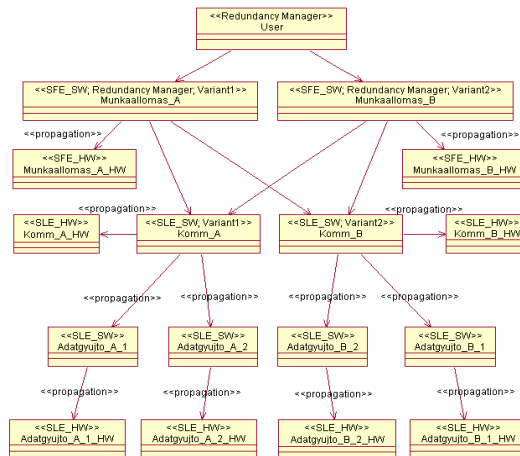
Megbízhatósági analízis

Rendszertervezés és -integráció előadás
dr. Majzik István



Méréstechnika és
Információs Rendszerek
Tanszék

Célkitűzések

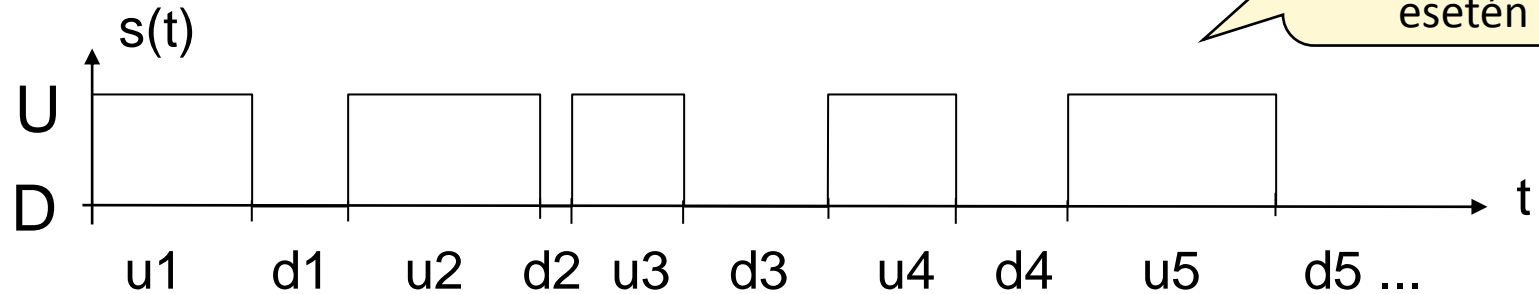


Áttekintés

- **Kvalitatív** analízis (ismétlés):
 - **Hibahatás analízis**: Mik azok a **komponens szintű hibák**, amik **rendszerszintű veszélyt, hibajelenséget** okoznak?
 - Egyszeres hibapontok meghatározása
 - Kritikus hibák meghatározása
 - Szisztematikus módszerek: Hibafa, eseményfa, ok-következmény analízis, hibamód és hatás analízis
- **Kvantitatív** analízis:
 - **Megbízhatósági analízis**: Hogyan számszerűsíthető a **komponens meghibásodások jellemzői** alapján a **rendszer megbízhatósága**?
 - Rendszerszintű megbízhatóság, rendelkezésre állás, MTTF, ...
 - **Módszerek**: Matematikai modell készítése a számításokhoz
 - Megbízhatósági blokkdiagram
 - Markov-lánc (folytonos idejű)

Ismétlés: Megbízhatósági mértékek I.

- Állapot particionálás $s(t)$ rendszerállapot esetén
 - Hibamentes (Up) illetve Hibás (Down) állapotpartíció



- Várható értékek:

- Első hiba bekövetkezése:

(Mean Time to First Failure)

$$MTFF = E\{u_1\}$$

- Hibamentes működési idő:

(Mean Up Time, Mean Time To Failure)

$$MUT = MTTF = E\{u_i\}$$

- Hibás működési idő:

(Mean Down Time, Mean Time To Repair)

$$MDT = MTTR = E\{d_i\}$$

- Hibák közötti idő:

(Mean Time Between Failures)

$$MTBF = MUT + MDT$$

Ismétlés: Megbízhatósági mértékek II.

■ Valószínűség időfüggvények:

- Rendelkezésre állás:

$$a(t) = P\{s(t) \in U\}$$

(közben meghibásodhat)

- Megbízhatóság:

$$r(t) = P\{s(t') \in U, \forall t' < t\},$$

(nem hibásodhat meg t-ig)

■ Aszimptotikus értékek:

- Készenlét:

$$K = \lim_{t \rightarrow \infty} a(t)$$

$$K = \frac{MUT}{MUT + MDT} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

Biztonságosság analíziséhez:
Biztonságos állapotpartícióban
tartózkodás valószínűsége

Aszimptotikus
rendelkezésre állás
(szokás az A jelölés is)

Rendszeresen javított
rendszer: $K > 0$

Ismétlés: Megbízhatósági mértékek II.

■ Valószínűség időfüggvények:

- Rendelkezésre állás:

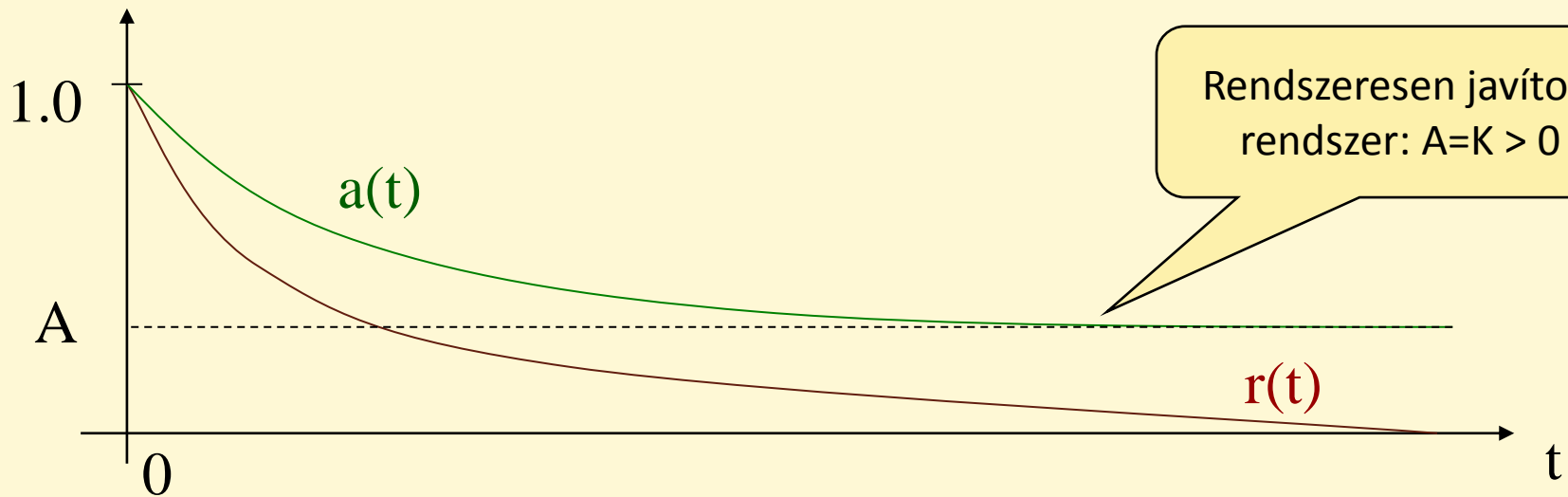
$$a(t) = P\{s(t) \in U\}$$

(közben meghibásodhat)

- Megbízhatóság:

$$r(t) = P\{s(t') \in U, \forall t' < t\},$$

(nem hibásodhat meg t-ig)



Korábbi példa: DMI megbízhatósági követelmények

■ Biztonság:

- Biztonsági funkció elviselhető hibája óránként (Tolerable Hazard Rate):
- Biztonságintegritási szint:

$$10^{-7} \leq \text{THR} < 10^{-6}$$

SIL 2

■ Megbízhatóság:

- Mean Time To Failure:

$$\text{MTTF} > 5000 \text{ óra}$$

(5000 óra: ~ 7 hónap)

■ Rendelkezésre állás (készenlét):

- $A = \text{MTTF} / (\text{MTTF} + \text{MTTR})$,

$$A > 0.9952$$

- Hibás állapot: évenként kevesebb, mint 42 óra
- $\text{MTTR} < 24$ óra esetén teljesíthető, ha a fenti MTTF adott

Ismétlés: Komponens jellemző

■ Meghibásodási tényező (gyakoriság): $\lambda(t)$

- A komponens mekkora valószínűséggel fog éppen t időpont Δt környezetében elromlani, feltéve, hogy t -ig jól működött:

$$\lambda(t)\Delta t = P\{s(t+\Delta t) \in D \mid s(t) \in U\}, \quad \text{miközben } \Delta t \rightarrow 0$$

- A megbízhatóság definíciója alapján:

$$\lambda(t) = -\frac{1}{r(t)} \frac{dr(t)}{dt}, \quad \text{így } r(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

- Elektronikai alkatrészekre:

$\lambda(t)$

Kezdeti hibák
(gyártás utáni
kiesés)

Itt $r(t) = e^{-\lambda t}$
 $MTFF = E\{U_1\} = \int_0^{\infty} r(t) dt = \frac{1}{\lambda}$

Öregedési
tartomány
(elavulás)

Használati tartomány „élettartam”

t

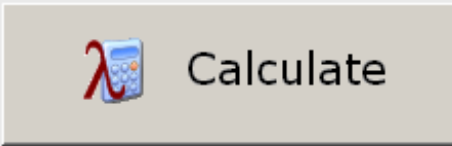
Hogyan becsülhetők a komponens adatok?


- Alkatrész szintű adatok: **Megbízhatósági kézikönyvek**
 - **MIL-HDBK-217**: The Military Handbook Reliability Prediction of Electronic Equipment (katonai alkalmazásokhoz, pesszimista)
 - **Telcordia SR-332**: Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment (telco alkalmazásokhoz, kevésbé pesszimista)
 - **IEC TR 62380**: Reliability Data Handbook - Universal Model for Reliability Prediction of Electronic Components, PCBs, and Equipment
- Alkatrész szintű meghibásodási gyakoriság függőségei:
 - Hőmérséklet, időjárási kitettség, rázkódás (pl. jármű fedélzet), magasság, ...
 - Jellegzetes felhasználási profilok
 - Ground; stationary; weather protected / non weather protected
 - Ground; non stationary; moderate / severe

Komponens meghibásodási adatok adatbázisa

MTBF Calculator by ALD

Perform reliability prediction and MTBF/FR calculation for electronic and mechanical components in 5 simple steps:

- 1. Select Component Family and Type**
Family:
MECHANICAL
Item Code:
IC-Analog
IC-Digital
Bubble Memory
Resistor
Potentiometer
Capacitor
Switch
Relay
Connector
LF Diode
LF Transistor
HF Diode
HF Transistor
- 2. Select Reliability Prediction Method**
CNET RDF93 rev 02/95
FIDES
GJB/Z 299B Part count
GJB/Z 299B Part stress
HDBK-217Plus
HRD5 TELECOMM
IEC 62380
ITALTEL IRPH93
NPRD-95
Telcordia Issue 1
Telcordia Issue 2
- 3. Select Environment and Temperature**
Mission profile:
Temperature: degrees Centigrade
- 4. Enter Component Parameters**

- 5. Get MTBF and FR**
MTBF: hours
Failure Rate: failures per million hours
Failure Rate: FIT

 ALD MTBF Calculator is a free tool suitable for simple reliability prediction of single components. If you need professional Reliability Tool for reliability engineering of complex systems, including product tree building, Reliability Block Diagrams, Reports, Report Generator, Pareto Analysis, Temperature Curve, Fault Tree Analysis, FMEA/FMECA, Safety Module, Derating Module and much more - please check our RAM Commander Software. You may download its evaluation version for free from our website. Copyright ALD Ltd. 2009 support@ald.co.il www.aldservice.com

Komponens meghibásodási adatok adatbázisa

MTBF Calculator by ALD

Perform reliability prediction and MTBF/FR calculation

1. Select Component Family and Type

Family: **ELECTRONIC**
MECHANICAL

Item Code:

- IC-Memory
- IC-Analog
- IC-Digital
- Bubble Memory
- Resistor
- Potentiometer
- Capacitor
- Switch
- Relay
- Connector
- LF Diode
- LF Transistor
- HF Diode
- HF Transistor

IC Digital IEC 62380

Ref. des.: QTY: MP:

Part name: Temp: °C

Mil. num.:

Cat. num.:

Generic name:

Type: Package:

Subtype(GaAs): # of Pins:

Tech: Substrate Material:

of gates: Interface Circuits:

Year of manufacturing:

T junction: or

0.0	hours
0.0	failures per million hours
0.0	FIT

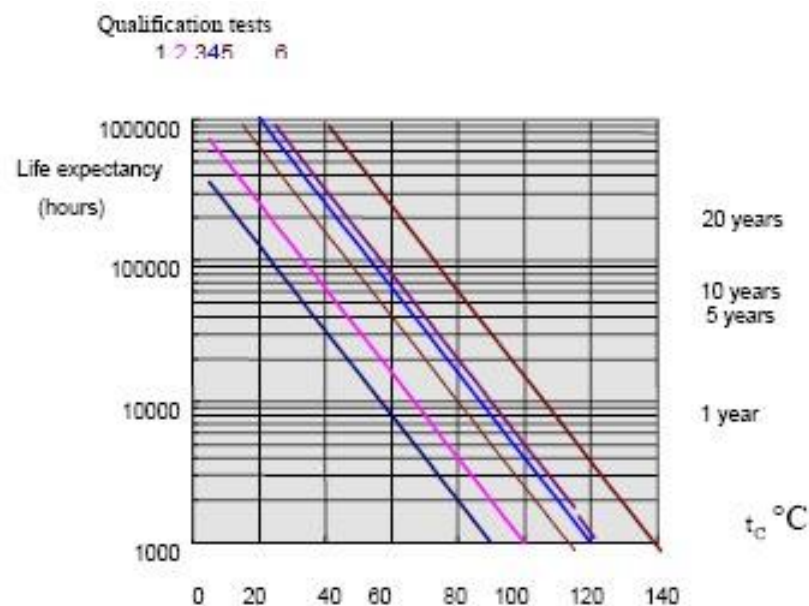
ALD MTBF Calculator is a free tool suitable for simple reliability prediction of single components.

If you need professional Reliability Tool for reliability engineering of complex systems, including product tree building, Reliability Block Diagrams, Reports, Report Generator, Pareto Analysis, Temperature Curve, Fault Tree Analysis, FMEA/FMECA, Safety Module, Derating Module and much more - please check our RAM Commander Software. You may download its evaluation version for free from our website.

Copyright ALD Ltd. 2009 support@ald.co.il www.aldservice.com

Élettartam becslése

- Milyen **élettartam** figyelembe vételével használhatók az elektronikai komponensek?
 - Mikortól kezd nőni a meghibásodási tényező?
 - Ekkorra **ütemezett karbantartás** (csere) előírható
- IEC 62380: „Life expectancy” definiált
- Példa: Elektrolit kondenzátorok (kiszáradás miatt leginkább korlátozott élettartam)
 - Hőmérsékletfüggő
 - Kezdeti bevizsgálástól is függ
 - Példa: 25°C esetén
~ 100 000 óra (~ 11 év)



Célkitűzés

■ **Komponens** jellemzők

- meghibásodási tényező (folyamatos üzemben)
- hibázási valószínűség (igény szerinti végrehajtás esetén)
- megbízhatósági időfüggvény

alapján

rendszerszintű jellemzők

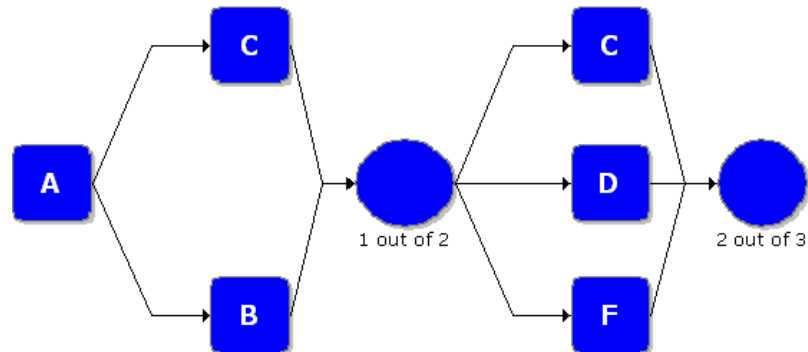
- megbízhatósági időfüggvény
- biztonságosság időfüggvény
- rendelkezésre állás időfüggvény
- készenlét
- MTFF

számítása

A biztonságos állapotpartícióra vonatkoztatva:
 $r(t)$ -hez hasonlóan a rendszer-biztonságosság is számolható

A számítás az architektúra és a hibamódok alapján történik

Kombinatorikus (Boole) modellek a megbízhatóság számítására



Boole-modellek

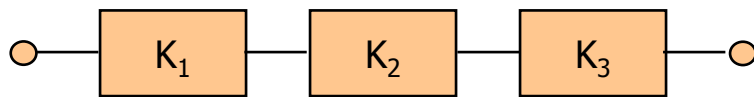
- Komponensek **kétféle állapota**:
 - Hibamentes (jó) vagy hibás (rossz)
- Nincsenek függőségek a komponensek között
 - sem meghibásodás,
 - sem javítás szempontjából
- **Komponensek kapcsolata** a megbízhatóság szempontjából:
Milyen a redundancia séma?
 - **„Soros” kapcsolat: A komponensek nem redundánsak**
 - A komponensek egyaránt szükségesek a rendszer működéséhez
 - **„Párhuzamos” kapcsolat: A komponensek redundánsak**
 - A komponensek egymást kiválthatják hiba esetén

A kapcsolat (redundancia séma) a hibamódoktól is függhet

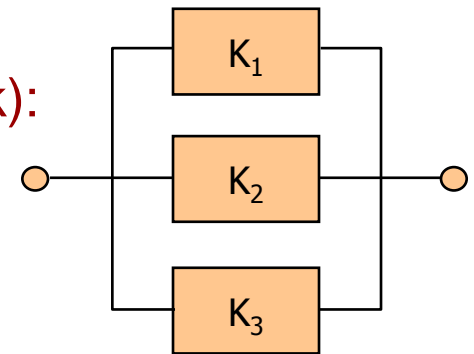
Megbízhatósági blokkdiagram

- Blokkok: Komponensek (hibamódjai)
- Kapcsolat: Soros vagy párhuzamos (redundancia)
- Utak: Működőképes rendszerkonfigurációk
 - Működőképes a rendszer, ha van **út** a megbízhatósági blokkdiagramon a kezdőponttól a végpontig **hibamentes komponenseken keresztül** (komponens hibák ezt „megszakítják”)

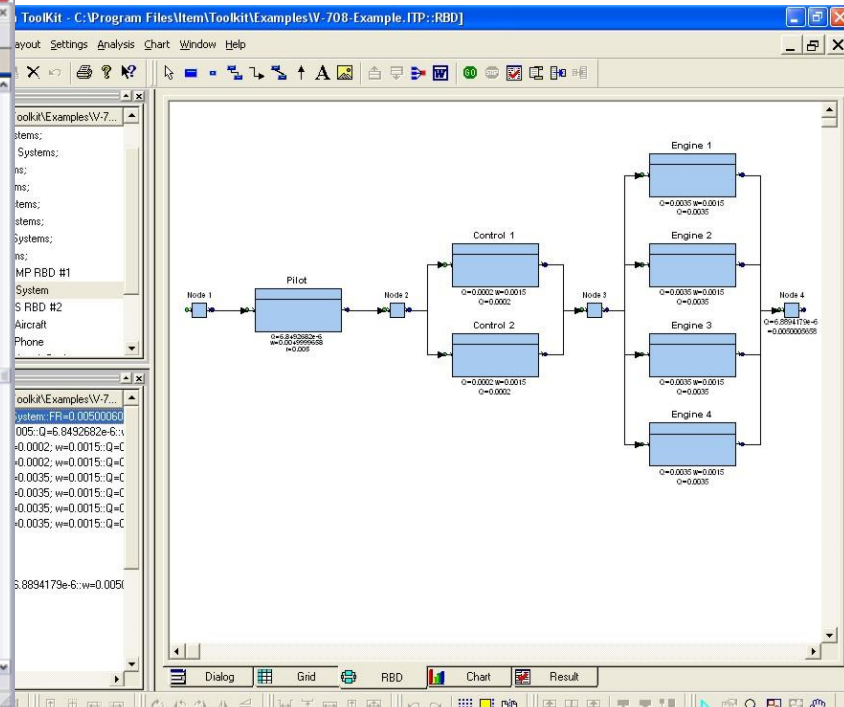
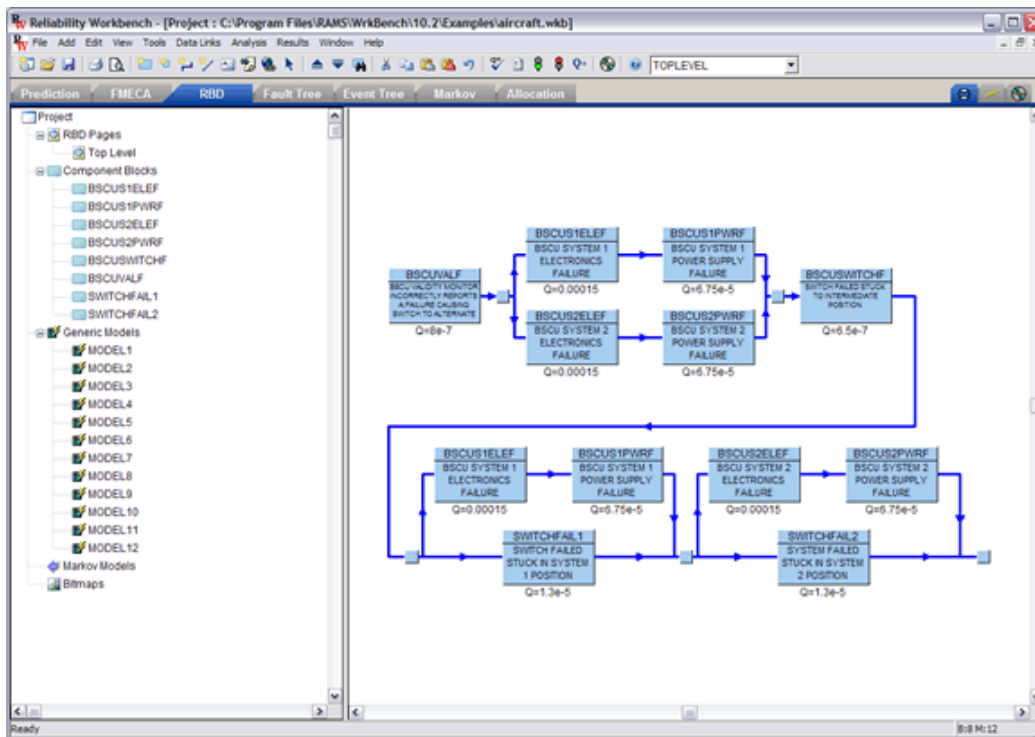
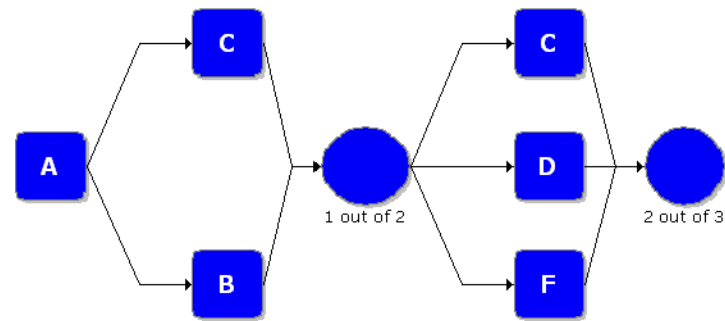
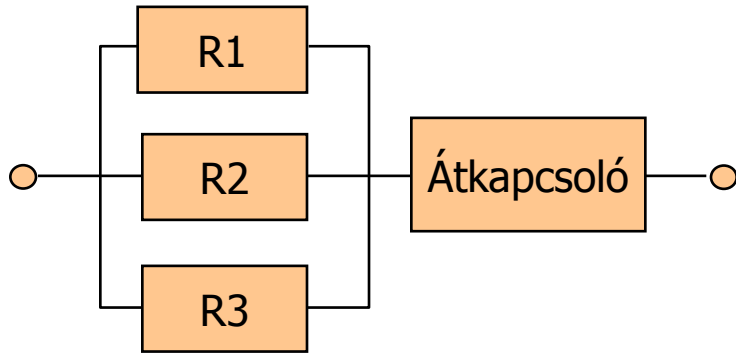
Soros (nem redundáns komponensek):



Párhuzamos (redundáns komponensek):

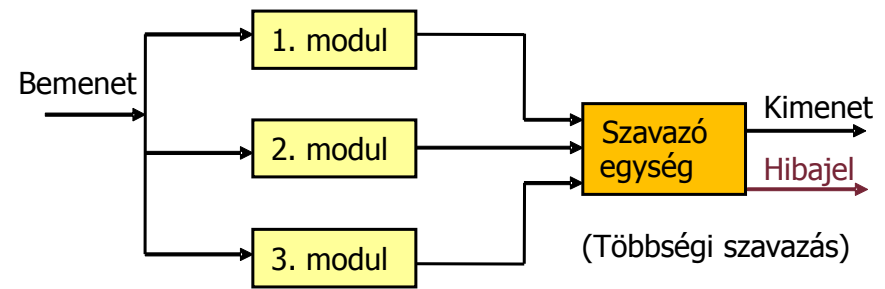
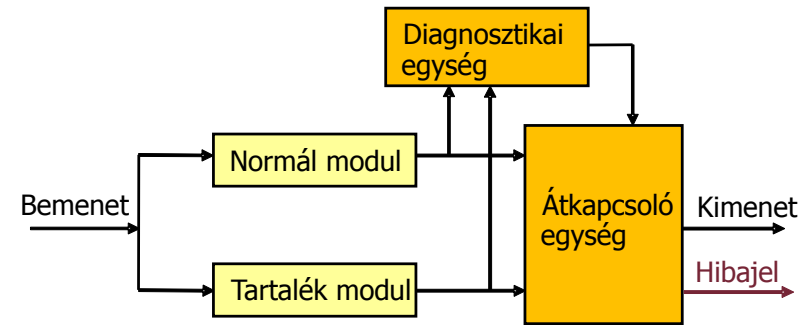


Megbízhatósági blokkdiagram példák

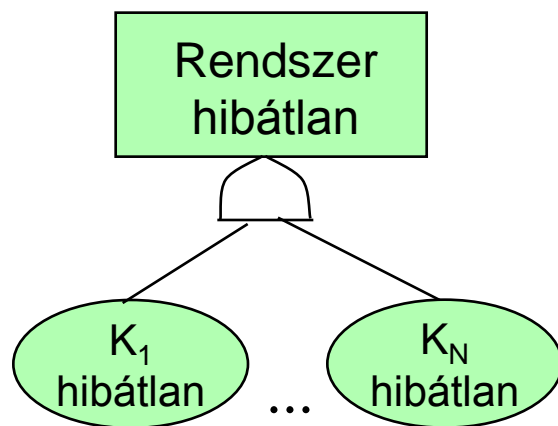
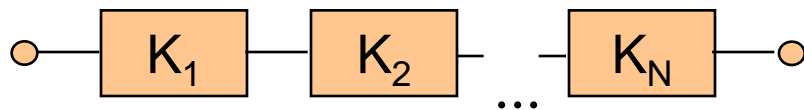


Leggyakoribb rendszerek (áttekintés)

- Soros rendszer:
Nincs redundancia
- Párhuzamos rendszer:
Redundáns komponensek
- Összetett kanonikus rendszer:
Soros és párhuzamos alrendszerek
- Ideális többségi szavazás:
TMR, NMR
- TMR/simplex rendszer
- Hidegtartalékolás



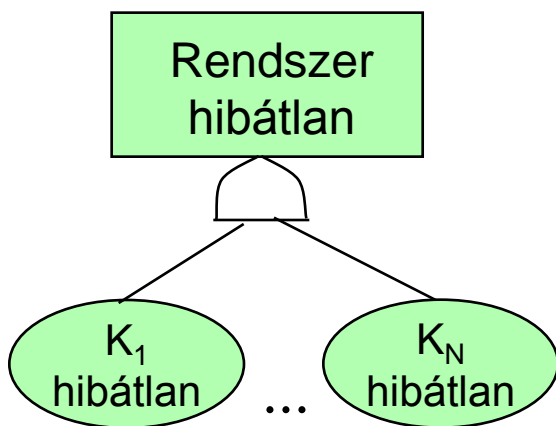
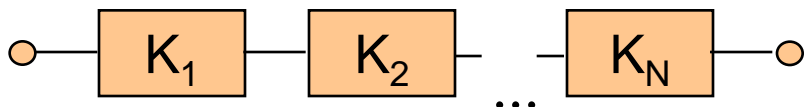
Soros rendszer



$$P(A \wedge B) = P(A) \cdot P(B)$$

ha függetlenek

Soros rendszer



$P(A \wedge B) = P(A) \cdot P(B)$
ha függetlenek

- Megbízhatóság:

$$r_R(t) = \prod_{i=1}^N r_i(t)$$

A rendszer megbízhatósága

A komponensek megbízhatósága

$$\lambda_R = \sum_{i=1}^N \lambda_i$$

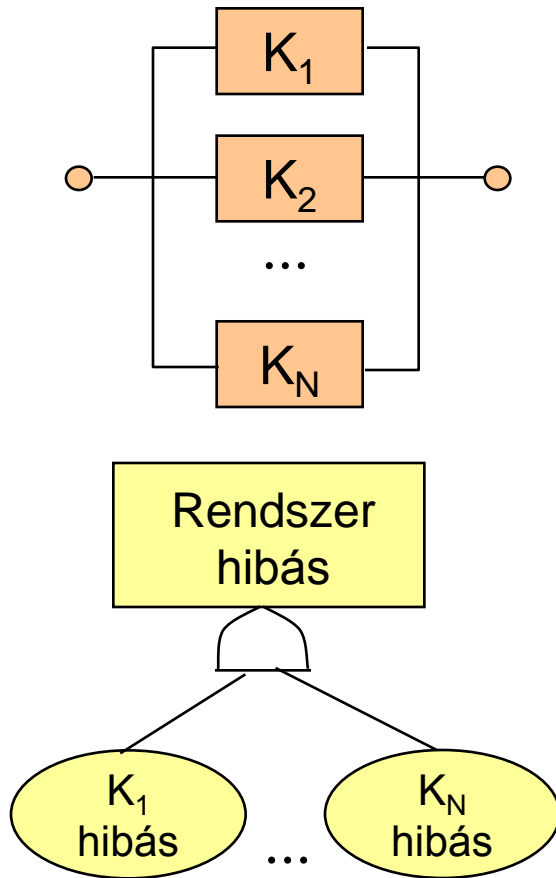
- MTFF:

$$MTFF = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \lambda_i}$$

Példa: Egy modul analízise (soros rendszer)

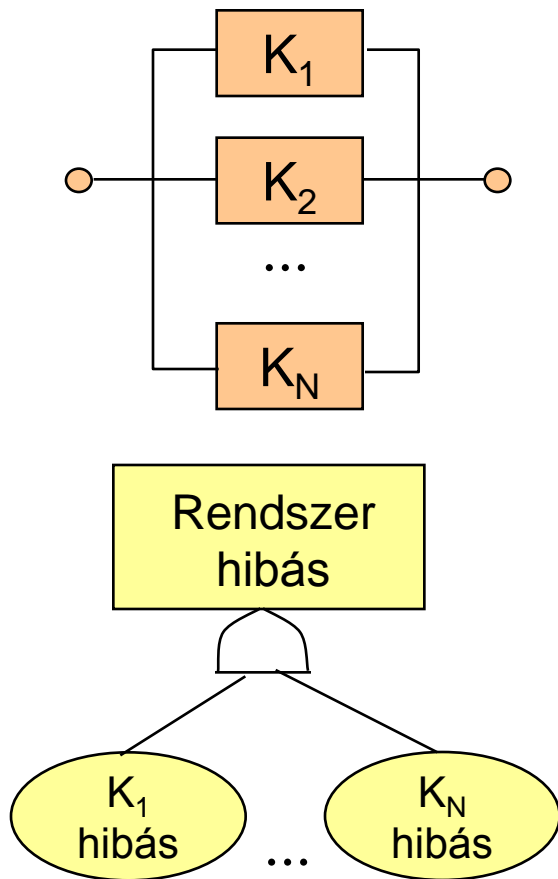
Component name	Type	Additional data	IEC 62380 reference	Fault rate	Quantity
Panduit D461612	Connector	Rectangular	Default value	0,003625	1
Panduit D461612	Connector	Rectangular	Default value	0,007200	1
74AHCT14	IC-Digital	Standard	Substituted with - SN74AHCT14D	0,014200	3
74HC/HCT540	IC-Digital	Standard	Substituted with - CD74HC540E	0,019000	2
74HC/HCT541	IC-Digital	Standard	Substituted with - SN74AHCT541DW	0,014000	3
PALCE16V8	IC-Digital	PAL	Exact matching	0,036000	1
HMA124	Optoelectronic	Optocoupler	Default value	0,011600	16
MB6S	IC-Digital	Standard	Default value	0,012700	16
Resistor	Resistor	General purpose	Default value	0,000232	32
Resistor	Resistor	Fixed, high dissipation film	Default value	0,001047	32
Capacitor	Capacitor	Tantalum - solid electrolyte	Default value	0,000725	17
Capacitor	Capacitor	Ceramic class II.	Default value	0,000223	41
SMD led	Optoelectronic	Solid State Lamp	Default value	0,002000	16
U22-DI016-C3	PWB		Default value	0,003403	1
SOD80 BZV55C	LF Diode	Zener	Default value	0,011500	64
Module:	1,392021 failure per million hours				

Párhuzamos rendszer



$P(A \wedge B) = P(A) \cdot P(B)$
ha függetlenek

Párhuzamos rendszer



$P(A \wedge B) = P(A) \cdot P(B)$
ha függetlenek

- Megbízhatóság:

$$1 - r_R(t) = \prod_{i=1}^N (1 - r_i(t))$$

- Egyforma N komponens:

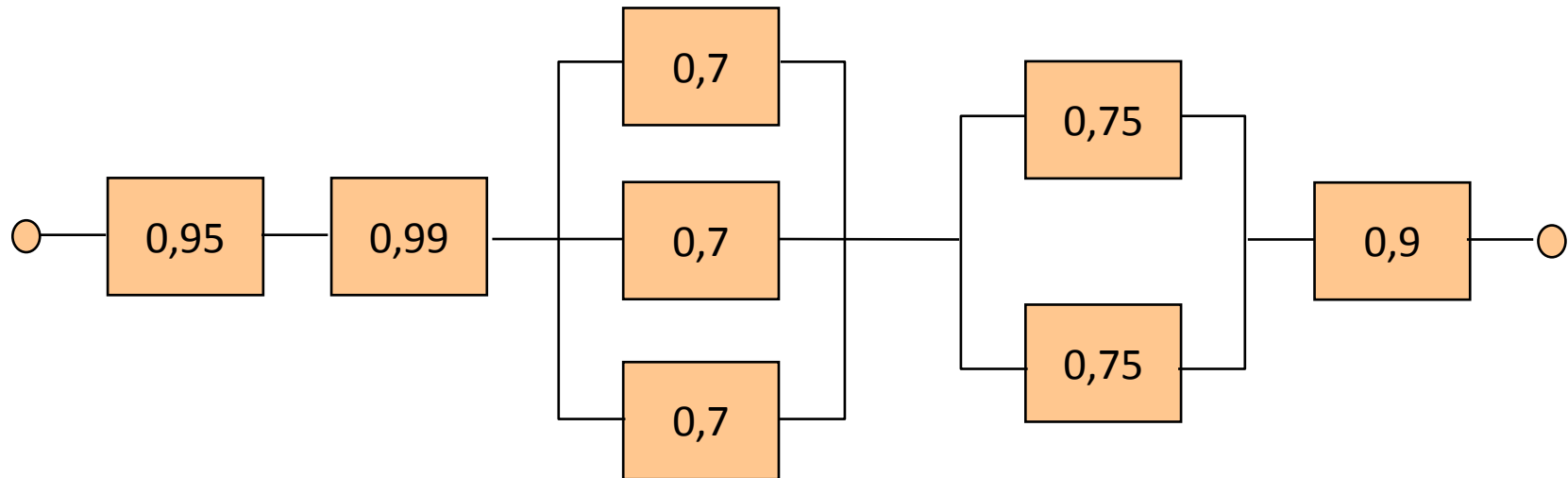
$$r_R(t) = 1 - (1 - r_K(t))^N$$

- Itt MTFF (levezetés nélkül):

$$MTFF = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^N \frac{1}{i}$$

Összetett kanonikus rendszer

- Soros és párhuzamos alrendszerek
- Példa: Számítás készenlétek esetén:



- A rendszer készenlét:

$$K_R = 0,95 \cdot 0,99 \cdot [1 - (1 - 0,7)^3] \cdot [1 - (1 - 0,75)^2] \cdot 0,9$$

N-ből M hibás komponens

- **N** egyforma komponens;
- **M** vagy több komponens hiba esetén a rendszer is hibás

$$r_R = \sum_{i=0}^{M-1} P \{ \text{"éppen } i \text{ hiba van"} \}$$

$$r_R = \sum_{i=0}^{M-1} \binom{N}{i} (1-r)^i \cdot r^{N-i}$$

Itt egyszerűen r jelöli a komponens $r(t)$ megbízhatóságot

N-ből M hibás komponens és TMR

- **N** egyforma komponens;
- **M** vagy több komponens hiba esetén a rendszer is hibás

$$r_R = \sum_{i=0}^{M-1} P \{ \text{"éppen } i \text{ hiba van"} \}$$

$$r_R = \sum_{i=0}^{M-1} \binom{N}{i} (1-r)^i \cdot r^{N-i}$$

- Alkalmazás: **Ideális többségi szavazás (TMR): N=3, M=2**

$$r_R = \sum_{i=0}^1 \binom{3}{i} (1-r)^i \cdot r^{3-i} = \binom{3}{0} (1-r)^0 \cdot r^3 + \binom{3}{1} (1-r)^1 \cdot r^2 = 3r^2 - 2r^3$$

$$MTFF = \int_0^{\infty} r_R(t) dt = \int_0^{\infty} (3r^2 - 2r^3) dt = \frac{5}{6} \cdot \frac{1}{\lambda}$$

Kisebb, mintha csak 1 komponens lenne!

TMR/simplex rendszer

- Alapeset: TMR működés
- Hiba esetén: Átkapcsolás simplex konfigurációra
 - Ha a TMR egy komponense meghibásodik (ezt a szavazó logika azonosítja)
 - A továbbiakban csak az egyik **megmaradó hibátlan komponens** működik tovább (de már hibadetektálás nélkül)

$$MTFF = \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{\lambda}$$

$$r_R = \frac{3}{2} r - \frac{1}{2} r^3$$

Hidegtartalékolás

- Meghibásodó komponens helyébe új komponens lép (ami nem volt üzemben)

$$MTFF = \sum_{i=1}^N MTFF_i$$

- Megbízhatóság általános felírása zárt alakban bonyolult (valószínűségi változók összegének sűrűségfüggvénye)
 - Azonos komponensek, exp. eloszlású komponens megbízhatósági függvény esetén:

$$r_R(t) = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t}$$

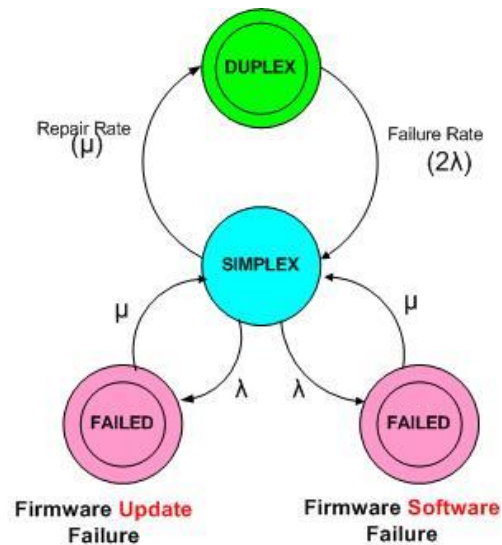
Architektúra változatok összevetése

- Analízis: Hogyan változik a rendszer rendelkezésre állása (itt: készenléte)
 - Különbéféle architektúrák esetén
 - A komponensek készenlétének növelésével
- Vizsgált architektúrák:
 - Referencia: **Simplex rendszer** (egy komponens)
 - **Soros rendszer**
 - **Párhuzamos rendszer**
 - **Párhuzamos rendszer nem tökéletes átkapcsolóval**
 - **Többségi szavazás ideális szavazóval**
 - **Többségi szavazás nem ideális szavazóval**

Összefoglalás

- Megbízhatósági blokkdiagram
- Boole-modellek kanonikus rendszerekhez
 - Soros
 - Párhuzamos
 - N-ből M
 - TMR
- Architektúra változatok összevetése

Kiegészítés: Markov modellek megbízhatósági analízisre



Markov modellek

■ A modell elemei

- Állapotok ← Rendszerállapot: Komponens állapotok (jó/hibás) kombinációi
- Állapotátmenetek ← Komponens meghibásodás, javítás
- Állapotátmenet gyakoriság ← Meghibásodási tényező, javítási tényező (javítási idő reciproka)

■ Analízis

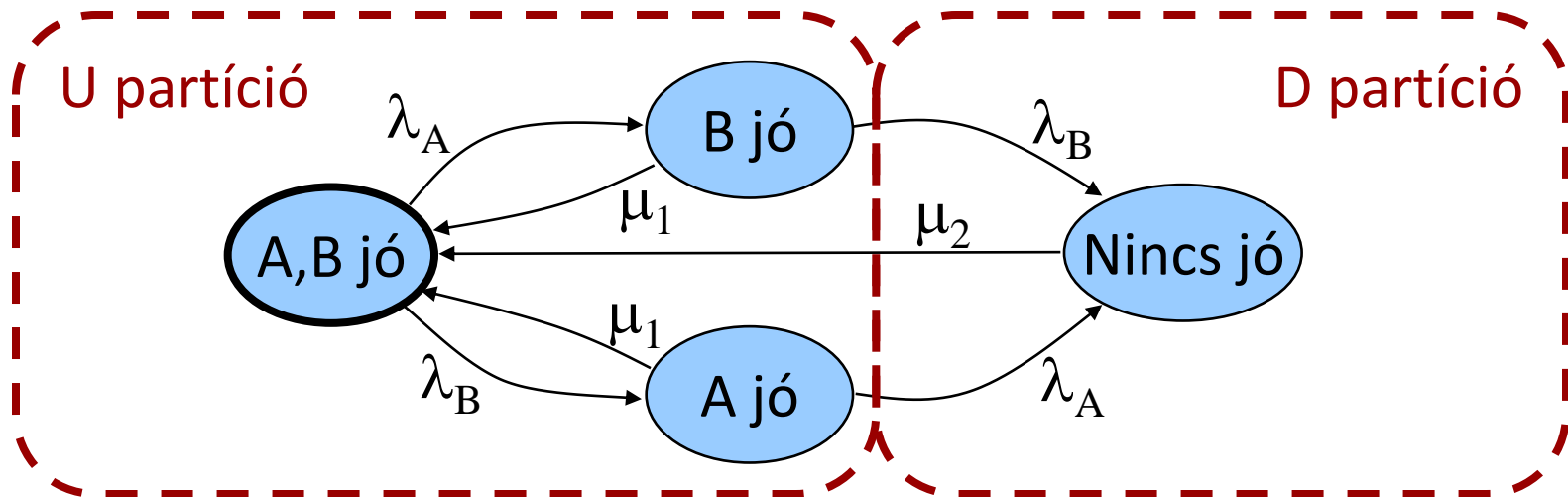
- **Tranziens**: Állapotok valószínűségi időfüggvénye
- **Állandósult**: Állapotok valószínűsége (határérték)

■ Megbízhatósági analízis

- Rendelkezésre állás: Hibamentes (U) állapotpartícióban lévő állapotok valószínűségeinek összege

Példa: CTMC megbízhatósági modell

- Két szerverből (A, B) álló rendszer:
 - Bármelyik szerver meghibásodhat
 - A szerverek külön-külön vagy együtt is javíthatók
- Rendszerszintű állapotok: Szerverek állapotai (jó / hibás) alapján
- Állapotátmenetek és gyakoriságok:
 - Az A szerver meghibásodása: λ_A meghibásodási tényező
 - A B szerver meghibásodása: λ_B meghibásodási tényező
 - Egy szerver javítása: μ_1 javítási tényező
 - Teljes rendszer javítása: μ_2 javítási tényező



Példa: CTMC megbízhatósági modell

■ Állapotpartíciók:

- $U = \{s_{AB}, s_A, s_B\}$, $s_0 = s_{AB}$
- $D = \{s_N\}$

■ Markov-lánc megoldása:

- Tranziens: $\pi(s_i, t)$
- Állandósult állapot: $\pi(s_i)$

■ Rendelkezésre állás:

$$a(t) = \pi(s_{AB}, t) + \pi(s_A, t) + \pi(s_B, t)$$

■ Készenlét:

$$K = A = \pi(s_{AB}) + \pi(s_A) + \pi(s_B)$$

■ Megbízhatóság:

- Modell módosítása: D partícióból U partícióba vezető élek törlése
- Módosított modell megoldásából:

$$r(t) = \pi(s_{AB}, t) + \pi(s_A, t) + \pi(s_B, t)$$

