

2. gyakorlat

RENDSZEREK MEGBÍZHATÓSÁGA: SOROS RENDSZEREK, REDUNDANCIA

Összeállította: Farkas Balázs

BEVEZETÉS – RENDSZERTULAJDONSÁGOK

Egy rendszer megbízhatósága függ:

- elemeinek megbízhatóságától és
- az elemek egymással valókapcsolatától.

A megbízhatóságot befolyásoló rendszerjellemzők:

- a rendszer struktúrája (nem azonos a villamos kapcsolásokkal!)
 - **soros rendszerek** (strukturális redundancia nélküli rendszerek)
egyetlen elem meghibásodása esetén a teljes rendszer meghibásodik;
 - **párhuzamos** rendszerek
mindaddig működőképes, amíg legalább egy eleme működőképes;
 - **egyéb** redundáns struktúrájú rendszerek;
- a rendszer üzemmódja
 - **folyamatos;**
 - **időszakos;**
 - **alkalmanként működő;**
- a rendszer javíthatósága
 - **nem javítható** (a terméktől és/vagy annak alkalmazási körülményeitől függően)
a javítás műszakilag lehetetlen, igen nehéz vagy nem gazdaságos;
 - **javítható**
a javítás történhet a meghibásodott elem helyreállításával vagy cseréjével.

A RENDSZER ÜZEMMÓDJA – PÉLDA

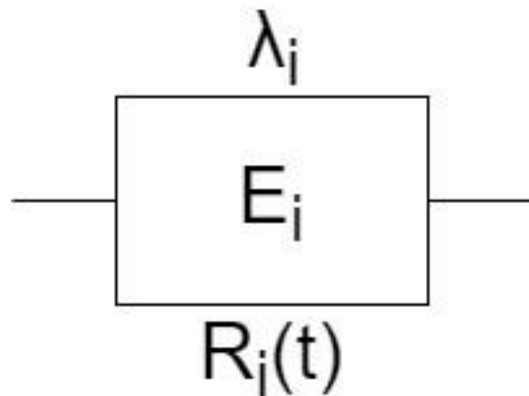
A rendszer üzemmódja	Példa		Kép forrása
Folyamatos	Éjjel-nappal szünet nélkül működő jelzőlámpás csomópont fényjelző készüléke. (Valamint éjszaka sárga villogó.)		http://pctrs.network.hu/clubpicture/4/1/7/_/energiatakarékosságbudapest_i_ker_batthyanyi_ter_bem_rakpart_ejszaka_i_s_aktivan_mukodo_kozlekedesi_lampa_gyalogosok_reszere_zold_jelzesre_programozhato_lenne-001_417051_63935.jpg
Időszakos	Csak napközben működő, éjszaka sötétre kapcsolt jelzőlámpás csomópont fényjelző készüléke.		http://www.vasarhely24.com/wp-content/uploads/2017/12/1%C3%A1mpa_0-e1512209339946.jpg
Alkalmanként működő	Igény esetén működő jelzőlámpák, melyek egyéb esetben sötétek. (Pl.: gyalogos átkelőhely vagy keresztező villamos, illetve a megkülönböztető jelzéseket használó gépjárművek áthaladásának biztosítására szolgáló fényjelző készülékek.)		http://signalterv.hu/images/uploads/SIM_1886.jpg

A RENDSZER JAVÍTHATÓSÁGA – PÉLDA

A rendszer javíthatósága	Példák	
Nem javítható	Háztartási gépek, izzók, jellemzően egyszerűbb, olcsóbb rendszerek.	 http://fusionklub.hu/picupload/large/fd66280941c43c5a577ab9d2280a44d3.jpg  http://lakihegyradio.hu/sites/default/files/Munkatarsak/hajszarito.jpg?1403325589
Javítható	Ipari berendezések, jellemzően komplex, drágább rendszerek,	 http://belsőseg.blog.hu/media/image/cs_mag_ablaktorlo/P1010189.jpg  https://i.ytimg.com/vi/q4bDA_k2m6g/maxresdefault.jpg

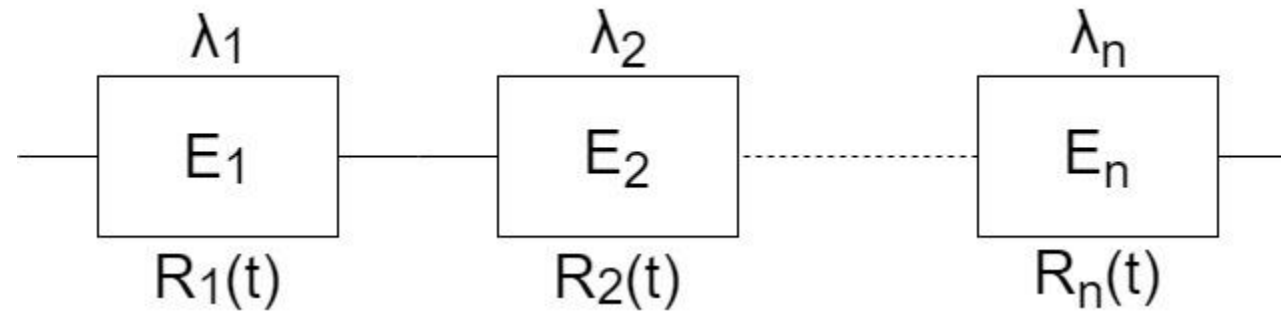
MODELLKÉPZÉS

- Egy rendszer fizikai struktúrája és megbízhatósági szempontból vett struktúrája lehet azonos, de eltérő is.
- Például a soros és a párhuzamos rezgőkör villamosan eltérő struktúrája ellenére megbízhatósági szempontból azonos struktúrájú: mindkettő soros rendszer.
- Az előbbiekből adódik az a követelmény, hogy a megbízhatósági elemzéseket mindig a rendszer **megbízhatósági helyettesítő képének** vagy más alkalmas modelljének (pl. a hibafának) megalkotásával kezdjük.
- Az elemek jelölése: „ E_i ”



SOROS RENDSZEREK

SOROS RENDSZEREK MEGBÍZHATÓSÁGA



Soros rendszer definíciója:

- a rendszer véges számú elemből áll;
- egyetlen elem meghibásodása a teljes rendszer meghibásodásához vezet;
- csak teljes meghibásodásokat veszünk figyelembe, fokozatos meghibásodásokat nem,
- a meghibásodások egymástól függetlenek;
- az elemek meghibásodási gyakorisága időinvariáns (véletlen meghibásodások, az „e” eloszlás érvényes);
- a túlélés és a meghibásodás valószínűsége egymás komplementere;
- javítást nem terveznek;
- az anyag, konstrukció, gyártás szempontjából különböző elemeknek lehet azonos λ értékük.

MŰKÖDŐKÉPESSÉG (TÚLÉLÉS) VALÓSZÍNŰSÉGE

- Soros rendszer működőképességének valószínűsége (minden elem egyidejűleg működőképes):

$$R_S(t) = R_1(t) * R_2(t) * \dots * R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

$$\text{ha } t > 0: R_i(t) < 1 \forall i - re$$

- A soros rendszer eredő túlélési valószínűsége kisebb, mint a legkisebb elemi túlélési valószínűség.

MEGHIBÁSODÁS VALÓSZÍNŰSÉGE

- Soros rendszer meghibásodásának valószínűsége (legalább egy elem meghibásodik):

$$F_S(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i(t))$$

MEGHIBÁSODÁSI RÁTA ÉS VÁRHATÓ ÉLETTARTAM

- Soros rendszer meghibásodási rátájának számítása:

$$R_S(t) = e^{-\lambda_1 t} * e^{-\lambda_2 t} * \dots * e^{-\lambda_n t} = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t}$$

$$\lambda_S = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

- A rendszer várható élettartama:

$$T_S = \frac{1}{\lambda_S} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$

SOROS RENDSZEREK – 1. PÉLDA

Tekintsünk egy azonos megbízhatósági tulajdonságokkal rendelkező, n darab elemből álló, (megbízhatóság szempontjából) soros rendszert! Tudjuk, hogy egy adott $[0; t_1]$ időintervallumban az elemek 90%-os valószínűséggel működnek. Összehasonlításként határozzuk meg a működőképesség valószínűségét $n = 1, 10$ és 100 darab elemre!

$$R(t_1) = 0,9$$

A működőképesség valószínűsége soros rendszerek esetén összeszorozódik: $R_s(t) = R_i^n(t)$

$$a) R_{s1}(t_1) = R(t_1) = 0,9$$

$$b) R_{s10}(t_1) = R^{10}(t_1) = 0,9^{10} = 0,3487$$

$$c) R_{s100}(t_1) = R^{100}(t_1) = 0,9^{100} = 2,656 * 10^{-5}$$

SOROS RENDSZEREK – 2. PÉLDA

Az előzőhöz hasonló példával szemléltetjük, hogyan hat a rendszer működőképességének valószínűségére újabb elemek sorba kapcsolása. Legyen jelen esetben az R értéke egy adott $[0; t_1]$ időintervallumban $0,5$! Határozzuk meg és ábrázoljuk a működőképesség valószínűségét $1...5$ elemre!

$$R(t_1) = 0,5$$

Azonos tulajdonságú elemekből összeállított soros rendszerek esetén ismert összefüggés a működőképesség valószínűségére:

$$R_S(t) = R_i^n(t)$$

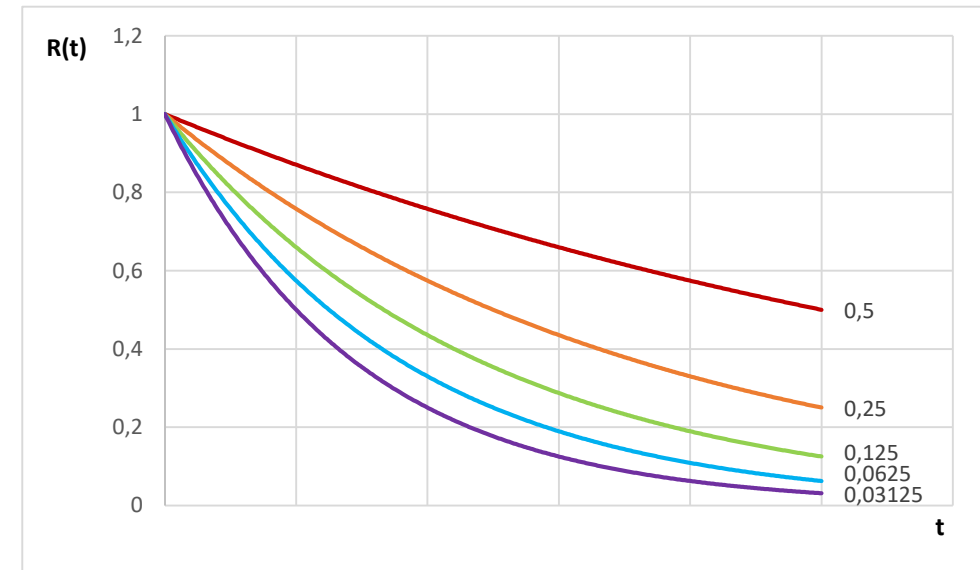
$$R_{S1}(t) = 0,5$$

$$R_{S2}(t) = R_{S1}^2(t) = 0,25$$

$$R_{S3}(t) = 0,125$$

$$R_{S4}(t) = 0,0625$$

$$R_{S5}(t) = 0,03125$$



SOROS RENDSZEREK – 3. PÉLDA

Vizsgáljunk két elemből álló soros rendszereket egy adott $[0; t_1]$ időintervallumban!

a) $R_{a1}(t_1) = 0,1, R_{a2}(t_1) = 0,9, R_{sa}(t_1) = ?$

b) $R_{b1}(t_1) = R_{b2}(t_1) = 0,5, R_{sb}(t_1) = ?$

Soros rendszerek esetén az egyes elemek működőképességének valószínűsége összeszorozódik:

$$R_s(t_1) = \prod_{i=1}^n R_i(t_1)$$

a) $R_{sa}(t_1) = R_{a1}(t_1) * R_{a2}(t_1) = 0,1 * 0,9 = 0,09$

b) $R_{sb}(t_1) = R_{b1}(t_1) * R_{b2}(t_1) = 0,5 * 0,5 = 0,25$

Soros rendszerek működőképességének valószínűsége mindig kisebb lesz, mint az azt felépítő bármelyik elem működőképességének valószínűsége (azaz a rendszer legrosszabb eleménél is). A fenti példa alapján látható, hogy bár a működőképességek valószínűségeinek összege a két eset-ben megegyezett, a belőlük épített soros rendszerek működőképességének valószínűsége nagymértékben eltér. Jelen példában az azonos elemekből álló soros rendszer közel háromszor nagyobb valószínűséggel marad működőképes ugyanabban az időintervallumban, mint a különböző tulajdonságú elemekből álló.

SOROS RENDSZEREK – 4. PÉLDA

Vizsgáljunk két elemből álló soros rendszereket egy adott $[0; t_1]$ időintervallumban!

$$a) R_{a1}(t_1) = 0,6, R_{a2}(t_1) = 0,8, R_{sa}(t_1) = ?$$

$$b) R_{b1}(t_1) = R_{b2}(t_1) = 0,7, R_{sb}(t_1) = ?$$

Soros rendszerek esetén az egyes elemek működőképességének valószínűsége összeszoródik:

$$R_s(t_1) = \prod_{i=1}^n R_i(t_1)$$

$$a) R_{sa}(t_1) = R_{a1}(t_1) * R_{a2}(t_1) = 0,6 * 0,8 = 0,48$$

$$b) R_{sb}(t_1) = R_{b1}(t_1) * R_{b2}(t_1) = 0,7 * 0,7 = 0,49$$

Látható tehát, hogy nem mindenáron szükséges azonos tulajdonságú elemek alkalmazása. Egymáshoz közeli értékekkel bíró elemek alkalmazásával a működőképesség valószínűsége se romlik számottevően.

SOROS RENDSZEREK – 5. PÉLDA

Egy megbízhatósági szempontból soros rendszer 3 különböző elemből áll, a meghibásodási ráták $\lambda_1 = 9 \cdot 10^{-4}$ 1/h, $\lambda_2 = 6 \cdot 10^{-5}$ 1/h, $\lambda_3 = 3 \cdot 10^{-6}$ 1/h. Mennyi ideig (hány óráig) működhet a rendszer, ha a meghibásodás valószínűsége nem lehet nagyobb, mint 10%?

Soros rendszerek esetén a meghibásodási ráták összeadódnak.

$$\lambda_s = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 9 \cdot 10^{-4} + 6 \cdot 10^{-5} + 3 \cdot 10^{-6} = 9,63 \cdot 10^{-4} \text{ 1/h}$$

A meghibásodás valószínűségéből számítható a működőképesség valószínűsége.

$$1 - F = 1 - 0,1 = 0,9 = R = e^{-\lambda_s t} = e^{-9,63 \cdot 10^{-4} \cdot t}$$

A fenti egyenletből fejezzük ki a keresett t értéket! Vegyük mindkét oldal természetes alapú logaritmusát!

$$\ln 0,9 = -9,63 \cdot 10^{-4} \cdot t$$

$$t = \frac{\ln 0,9}{-9,63 \cdot 10^{-4}} = 109,4 \text{ h} \approx 109 \text{ h}$$

A MEGBÍZHATÓSÁG NÖVELTÉSÉNEK MÓDSZEREI

Módszer	Magyarázat, példa
Egyszerű rendszerkialakítás, kevés alkatrész (vö. bonyolult rendszerek)	Kevesebb különböző meghibásodási lehetőség/mód.
Kis meghibásodási gyakoriságú alkatrészek (magas előállítási költség!)	Az $e^{-\lambda t}$ összefüggésnek megfelelően kisebb meghibásodási ráta nagyobb túlélési valószínűséget fog eredményezni adott időintervallumon.
Azonos meghibásodási gyakoriságok	(Lásd: Soros rendszerek – 3. példa)
Redundáns felépítés (gyenge elemekből jó rendszer)	(Lásd: a gyakorlat második része)
Előöregítés	A fürdőkádgörbe első szakaszának átlépése.
Túrélelemzés (Worst-Case méretezés, Monte Carlo analízis)	Pl. egy adott elemet a működésénél szélesebb hőmérséklettartományra terveznek (pl. külsőtér: $-30^{\circ}\text{C} \dots +70^{\circ}\text{C}$ belsőtér: $0^{\circ}\text{C} \dots +60^{\circ}\text{C}$).
Hibafa elemzés (Fault Tree Analysis)	A rendszer gyenge pontjainak felderítése, célzott védekezés. (Lásd: 7. gyak.)
Rövid üzemidő/kis működésszám	<ol style="list-style-type: none"> Amikor egy adott elemre nincs szükség, lekapcsoljuk (izzók, stb.). Bizonyos elemeket meghatározott időnként cserélünk (még a meghibásodás előtt).
Csökkentett terhelés (derating)	Pl. hőmérséklet hatása a várható élettartamra, lásd: 1. gyak., 25-26. dia.
Túlterhelés elleni védelem	Pl. villámvédelem, vagy motoroknál maximális fordulatszám figyelése („leszabályozás”).
A kockázatok elkerülése	A rendszer és környezetének ismerete, megfelelő üzemeltetése.
Karbantartási stratégiák, megelőző karbantartás	(Lásd: 6. gyak.)
Automatikus hibadiagnózis	Fontos tudni, hogy hiba lépett fel, és hogy hol van a hiba, azért, hogy a rendszer ne álljon le, és/vagy ne okozhasson egy következő hibát. (Hiba naplózása/jelzése a kezelő felé.)

REDUNDANCIA

A redundancia fogalma és formái

Hardver redundancia

Alkalmazási példák

A REDUNDANCIA FOGALMA

- A redundancia olyan, a rendszer funkcióinak teljesítéséhez minimálisan szükséges, ún. alapkiépítését meghaladó többlet, amelyre a megbízhatóság, azaz
 - a működőképesség és/vagy
 - a belső biztonságkívánt értékének elérése érdekében van szükség.
- A működőképesség növelése növeli a belső biztonságot is, azonban a belső biztonság növelése érdekében alkalmazott redundancia a működőképességet csökkenti.
- A redundanciát önmagában vagy más megbízhatóságnövelő módszerekkel kombinálva alkalmazzák.

A REDUNDANCIA FORMÁI

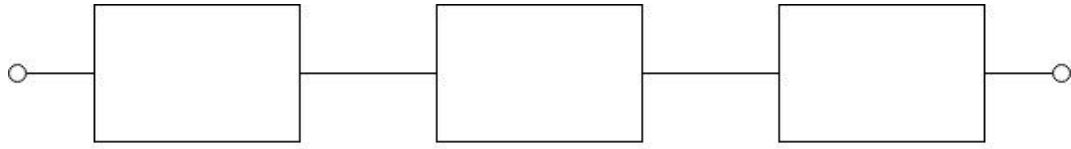
A redundancia fő formái:

- strukturális, ezen belül
 - hardver (HW)
 - szoftver (SW),
- információs,
- funkcionális,
- idő,
- terhelési (vö. derating),
- energia és
- ezek kombinációi.

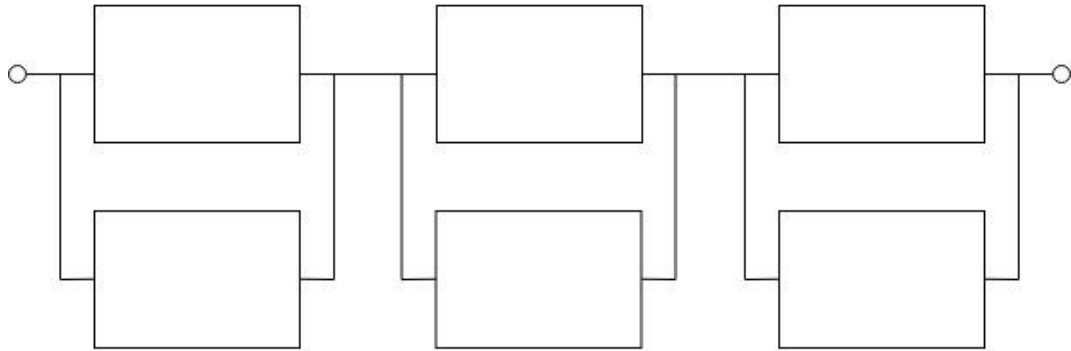
STRUKTURÁLIS REDUNDANCIA

- A strukturális redundancia megvalósítható:
 - azonos elemekkel (az elemek többszörözésével),
 - eltérőelemekkel (diverz kialakítás).
- Az elemek többszörözése a véletlenszerű meghibásodások hatása ellen véd (fenntartja a működőképességet).
- A diverz kialakítás alkalmas lehet a szisztematikus, közös okra visszavezethető (közös módusú) hibák feltárására is (megőrzi a belső biztonságot).

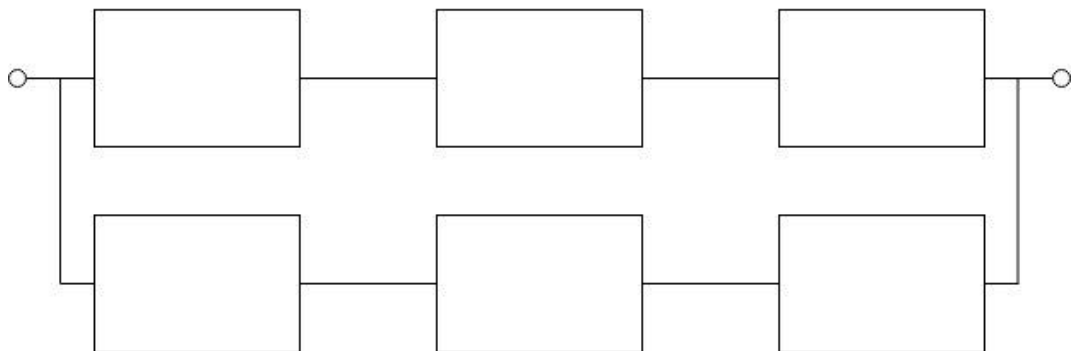
HW TARTALÉKOLÁS SZINTJEI



- Alap rendszer
(pl. egy autóbusz)



- Alkatrész, fokozat, készülék
(pl. autóbusz fődarabok: motor, hajtómű, stb.)



- Teljes rendszer
(pl. még egy autóbusz)

HARDVER REDUNDANCIA

- Redundáns felépítés esetén a redundancia fokától függő számú alkatrész, fokozat, készülék, rendszer meghibásodása esetén a teljes rendszer működőképes marad.
- Hardver redundanciával a redundancia szintjétől, formájától és fokától függően viszonylag kis megbízhatóságú elemekből nagy megbízhatóságú rendszerek építhetők.
- Fontos: a redundancia tényleges meglétét folyamatosan, vagy megfelelő gyakorisággal ellenőrizni kell!

A HARDVER REDUNDANCIAFAJTÁI

- Passzív redundancia (hideg tartalék)
 - Kapcsolt („1 az n-ből”),
 - Csúszó tartalék („k az n-ből”)
- Aktív redundancia (meleg tartalék)
 - Nem kapcsolt (párhuzamos, „1 az n-ből”)
 - Kapcsolt („1 az n-ből”)
 - Csúszó tartalék („k az n-ből”)
 - Többségi (szavazólogikával „k az n-ből”)

IDEÁLIS ÉS VALÓSÁGOS KAPCSOLÓ

Az ideális kapcsoló

- kapcsolási ideje $t_k=0$,
- élettartama $T=\infty$.

A valóságos kapcsoló

- kapcsolási ideje ($t_k>0$) csak akkora lehet, amekkorát a folyamat megenged;
- élettartama ($T<\infty$) jóval nagyobb, mint az általa kapcsolt tartalék egységeké, hogy a rendszer élettartamát a kapcsoló érdemben ne csökkentse.

A redundancia hasznosítása szempontjából a kapcsolási idő nemcsak a kapcsoló fizikai működésének időtartamától, hanem a tartalékelemek használatra alkalmassá tételének időigényétől is függ.

Az átkapcsolás történhet:

- kézzel,
- automatikusan.

PASSZÍV REDUNDANCIA (HIDEG TARTALÉK, COLD STAND-BY)

Passzív redundancia esetén a tartalékelemek (alkatrészek, fokozatok, készülékek, rendszerek) csak az alapelemek meghibásodása esetén veszik át a terhelést, addig nincsenek bekapcsolva.

E megoldás

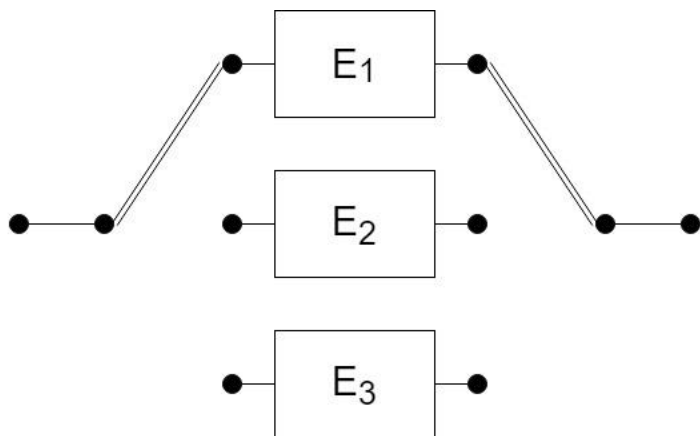
- előnye, hogy a tartalékelemek, igénybevétele, ill. használati ideje csak a tartalék funkció tényleges ellátásával kezdődik meg (lényegesen hosszabb élettartam);
- hátránya, hogy alkalmazásához kapcsolási folyamatra van szükség, és ez az átkapcsolás az eddig nem használt tartalékelem használatra alkalmassá tétele miatt viszonylag időigényes.

A passzív redundancia fizikailag megvalósítható:

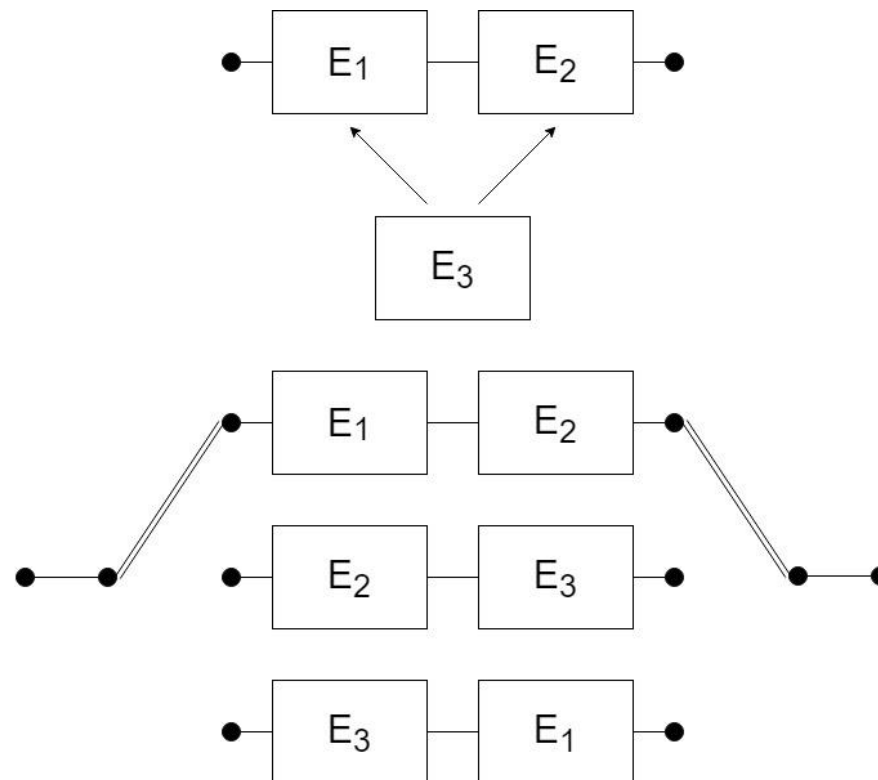
- beépített formában,
- cserélhető tartalékelem formájában.

PASSZÍV HARDVER REDUNDANCIA

Kapcsolt
(„1 az n-ből”)



Csúszó
(„k az n-ből”)



PASSZÍV REDUNDANCIA – ALKALMAZÁSI PÉLDÁK

Kapcsolt („1 az n-ből”): pótvörös

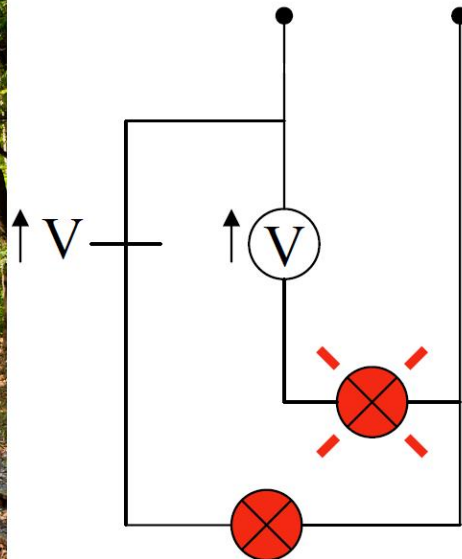
forrás:

http://keptar.gyermekvasut.hu/var/albums/oktatas/jelzok/gyvasut_20111015-47206.jpg?m=1318959895

Csúszó („k az n-ből”): Pótkerék

forrás:

https://www.donwhites.com/assets/stock/colormatched_02/white/640/cc_2018jes1600_01_02_640/cc_2018jes160001_02_640_pw7.jpg



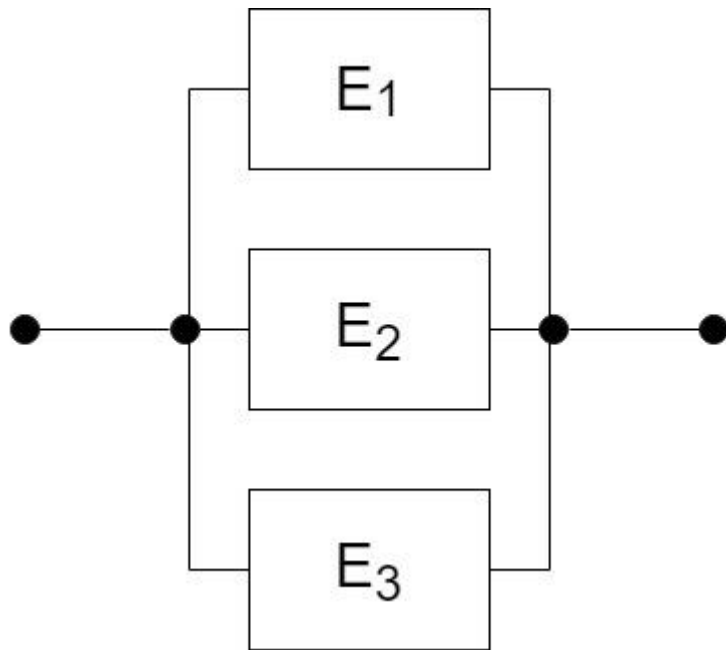
AKTÍV REDUNDANCIA (MELEG TARTALÉK, HOT STAND-BY)

Aktív redundancia esetén a tartalékelemek az alapelemekkel együtt dolgoznak. E megoldás

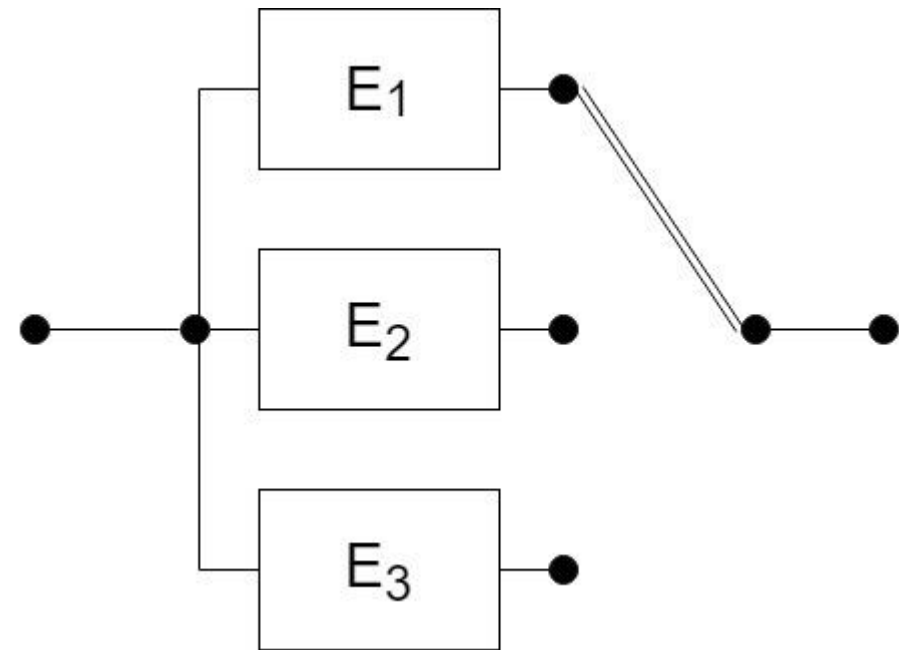
- előnye, hogy a tartalékelemek a használatra azonnal alkalmasak, és a kialakítástól függően átkapcsolásra vagy nincs szükség, vagy ha igen, az átkapcsolási időigen rövid lehet;
- hátránya, hogy a tartalékelemek az alapelemekkel együtt igénybe vannak véve, így nem érhető el akkora élettartam növekedés, mint a passzív redundanciával.

AKTÍV HARDVER REDUNDANCIA – 1

Nem kapcsolt
(párhuzamos, „1 az n-ből”)

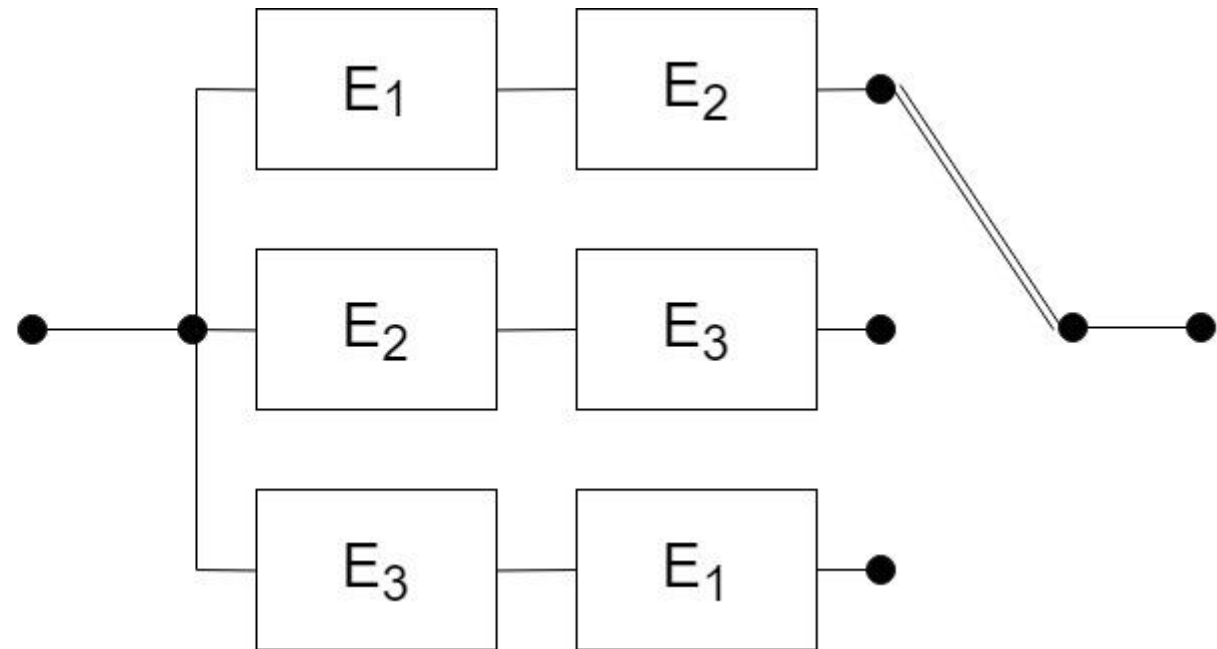
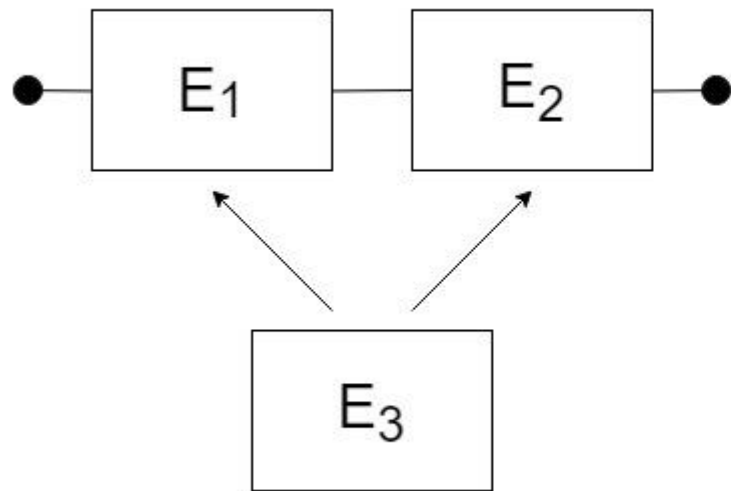


Kapcsolt
(„1 az n-ből”)



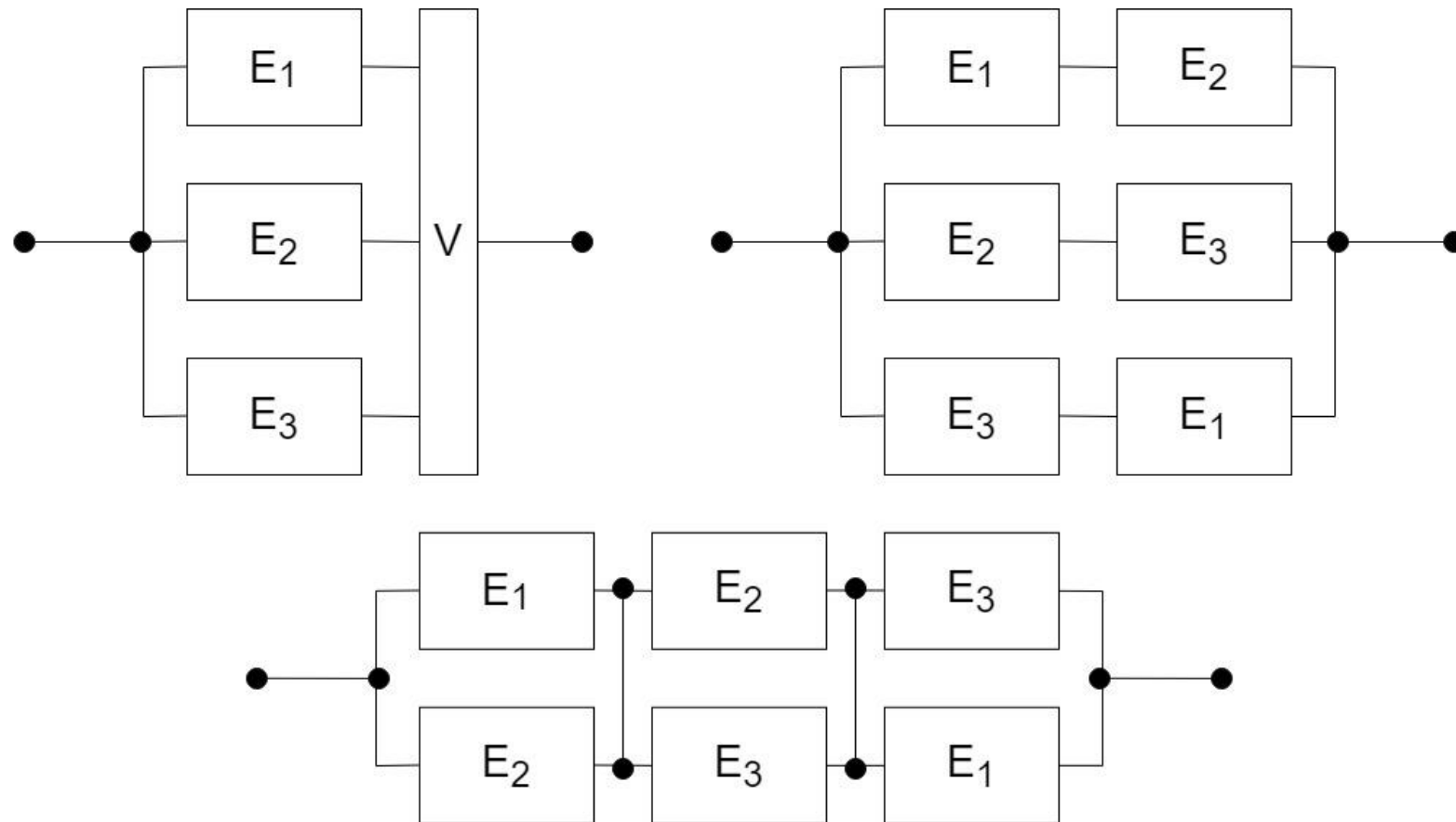
AKTÍV HARDVER REDUNDANCIA – 2

Csúszó
(„k az n-ből”)



AKTÍV HARDVER REDUNDANCIA – 3

Többségi
(szavazólogikával „k az n-ből”)



AKTÍV REDUNDANCIA – ALKALMAZÁSI PÉLDÁK

Nem kapcsolt (párhuzamos): DB főjelző

forrás: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/b/b0/Hp_0.jpg



Csúszó(„k az n-ből”): Központi tartalék

forrás: http://iho.hu/img/161021_ikarus/201607270.jpg



HÁZI FELADAT

- Hány elemből állhat az a soros rendszer, amelyet azonos elemekből ($\lambda = 8 \cdot 10^{-8} \text{ 1/h}$) szeretnénk felépíteni, és elvárás, hogy az üzembe helyezést követően két éven belül 90% valószínűséggel működjön?
- Gyűjtsön további példákat különböző redundanciára!