Spolehlivost

INP 2019

FIT VUT v Brně

Obsah

- Definice spolehlivosti
- Ukazatele spolehlivosti
- Modelování spolehlivosti
  - Kombinatorické modely
  - Markovské modely
- Systémy odolné proti poruchám

Pozn.: Bude prezentován jen velmi základní přehled problematiky, podrobněji v (magisterském) kurzu Systémy odolné proti poruchám.

Spolehlivost

- Spolehlivost **byla** definována jako obecná vlastnost *objektu* spočívající ve schopnosti plnit požadované funkce při zachování hodnot stanovených *provozních ukazatelů* v daných mezích a v čase podle stanovených *technických podmínek* (ČSN 01 0102 „Názvosloví spolehlivosti v technice“) .
  - *Objekt* – součástka, obvod, funkční jednotka, nebo systém
  - *Provozní ukazatele* – produktivita, rychlost, výkonnost, spotřeba energie, …
  - *Technické podmínky* – souhrn specifikací technických vlastností, předepsaných pro požadovanou funkci objektu, způsob jeho provozu, skladování, přepravy, údržby a oprav
- Spolehlivost **je** souhrnný termín používaný pro popis pohotovosti a činitelů, které ji ovlivňují: bezporuchovost, udržovatelnost a zajištěnost údržby (platná terminologická norma ČSN IEC 50 (191))
- Spolehlivost je komplexní vlastnost objektu, která je číselně nekvantifikovatelná – v angličtině *dependability.*

Porucha, chyba, selhání

- Porucha – např. poškození obvodu v důsledku přehřátí, což může a nemusí způsobit chybu.
- Chyba – odchýlení od korektního stavu systému – např. dojde v důsledku poruchy k chybnému sečtení, což může a nemusí způsobit selhání.
- Selhání – systém nepracuje podle specifikace.

Fault (porucha) → Error (chyba) → Failure (selhání)

Příčiny selhání

- chyba software
- návrhová chyba hardware
- náhodná chyba (v datech)
- vnější rušení – např. chyba v datech, uložených v paměti, např. částicí alfa
- porucha hardware
  - destrukcí – průraz statickou elektřinou, aj.
  - korozí
  - mechanickým poškozením
  - atd.

Klasifikace poruch a chyb

- časově stálé – permanentní, trvalý defekt (hard defect)
- přechodné – objeví se chyba v datech a zase zmizí (soft error, transient error)
- občasné – opakovaně se občas objeví a zase zmizí - intermittent error, např. zlomený drát, nebo vadný mechanický kontakt („vakl“ kontakt)

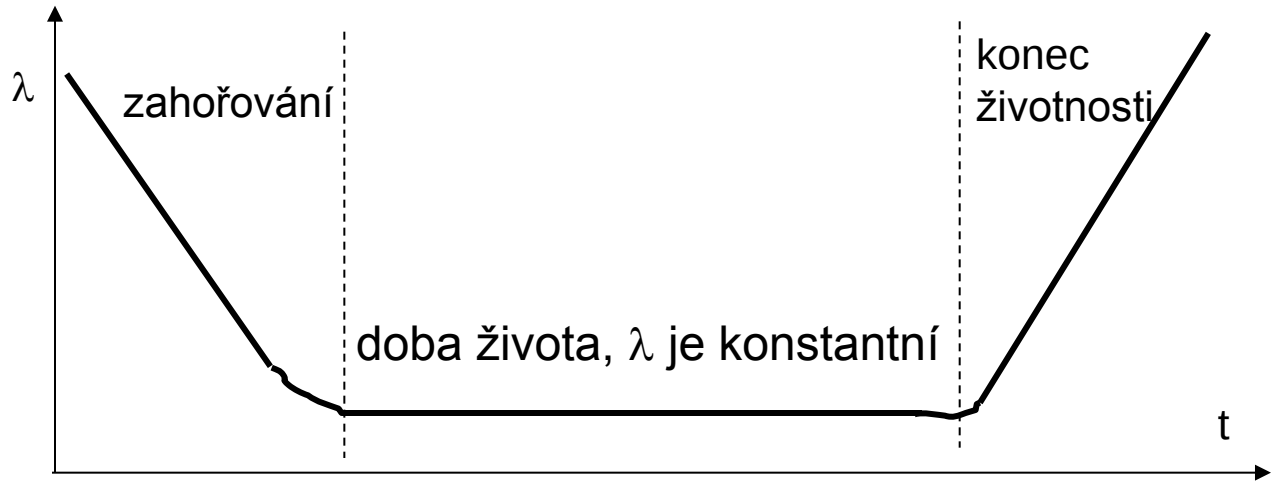
Klasifikace objektů (systémů)

- neopravované – neopravují se, protože to není ekonomické (např. žárovka)
- opravované – obsahují mechanismy umožňující opravit určité poruchy

Intenzita poruch

• Intenzita poruch λ – četnost, s jakou se systém porouchá. Vyjadřuje se jako počet poruch za jednotku času.

• Časový průběh funkce $\lambda(t)$ je popsán vanovou křivkou.



• V praxi je často intenzita poruch zjednodušeně modelována konstantou, např. λ = 0,001 porucha/hod.

Ukazatele spolehlivosti

$R(t)$ – pravděpodobnost bezporuchové činnosti v intervalu <0, t>, v angl. reliability. Je to podmíněná pravděpodobnost, a to tím, že v čase 0 je objekt bez poruchy.

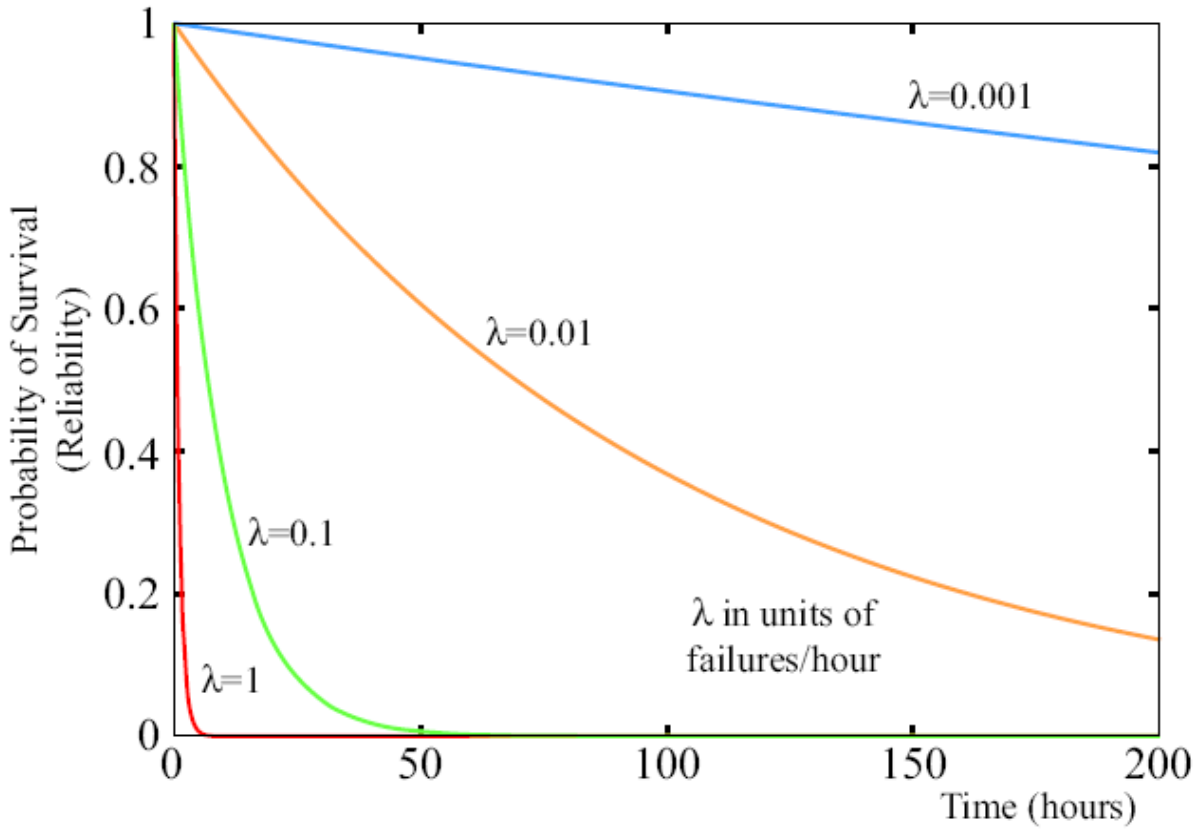
$R(t)$ se chová podle exponenciálního zákona $R(t) = e^{-\lambda t}$

Komplementární veličina je pravděpodobnost výskytu poruchy $Q(t) = 1 - R(t)$.

Sledovaný časový interval činnosti (doba mise – mission time) je zásadní:

- u počítače v kosmických aplikacích je např. 10 let (let kosmické sondy na hranici sluneční soustavy)
- u počítače pro letadla je např. 15 hod., tj. asi max. doba letu

Funkce R(t) při různých hodnotách λ



Odolnost proti poruchám – schopnost systému pracovat bezchybně i za přítomnosti poruch. Je to něco jiného, než pravděpodobnost bezporuchové činnosti!

Jak? – díky použití opravných kódu, a maskováním chyb/poruch systémem TMR – viz dále.

Ani velmi spolehlivý systém, postavený z velmi spolehlivých součástek, nemusí být odolný proti poruchám.

Pohotovost (availability) je pravděpodobnost, že v okamžiku t bude systém funkční.
Koeficient pohotovosti $K_p(t)$, v angl. $a(t)$.

Př. Počítač v bance může mít občas poruchu, ale musí se rychle opravit tak, aby to klienti nepoznali. Takže nemusí být odolný proti poruchám.

Střední doba bezporuchové činnosti T_S

$$T_S = \int_0^{\infty} R(t)d(t)$$

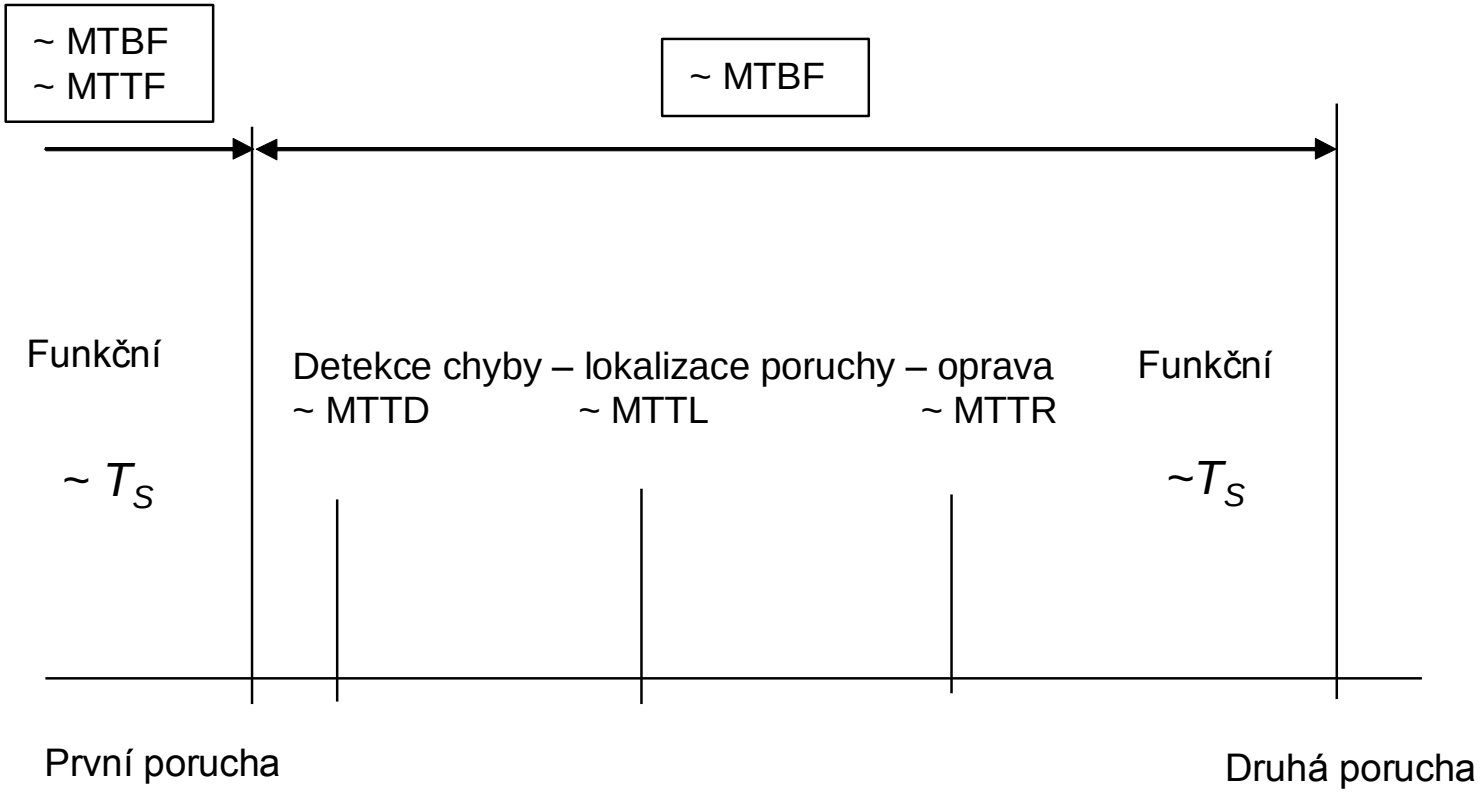
- Pro exponenciální zákon platí $T_S = 1/\lambda$.

$$T_S = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad \text{pokud } R(t) = e^{-\lambda t}$$

- T_S nemá stejný význam jako další veličina, používaná pro opravované systémy, tzv. střední doba mezi poruchami – Mean Time Between Failures (MTBF)

- Pro neopravované systémy lze T_S lze ztotožnit se střední dobou do (první) poruchy Mean Time To a Failure (MTTF)

Vztahy mezi středními ukazateli spolehlivosti



MTTD – Mean Time To Detect
MTTL – Mean Time To Locate
MTTR – Mean Time To Repair

Pro opravované systémy je analogicky zavedena intenzita oprav μ jako převrácená hodnota střední doby opravy $T_O = 1/\mu$

Pohotovost $a = T_S / (T_S + T_O) = \mu / (\mu + \lambda)$

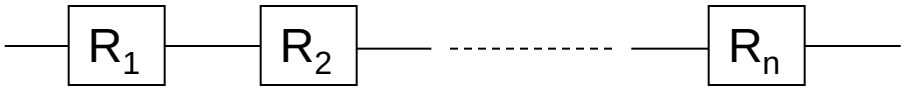
Bezpečnost (safety) $S(t)$ je pravděpodobnost, že systém buďto pracuje správně, nebo hlásí poruchu, případně chybu v datech. Hodnota $S(t)$ je tedy větší než $R(t)$.

Příklady:

- Systém pro řízení dopravní křižovatky nebo železničního přejezdu se konstruuje jako bezpečný. Když selže, nesmí nikdy nastavit v obou směrech zelenou, resp. nesmí blikat bílé světlo. Bezpečný stav je: nesvítí nic, všude je červená, nebo oranžová, atd.
- Když se porouchá hydraulika letadla, lze je řídit ručně.
- Když se porouchá ventil, tak nejde otevřít.

Modelování spolehlivosti: Kombinatorický výpočet R(t)

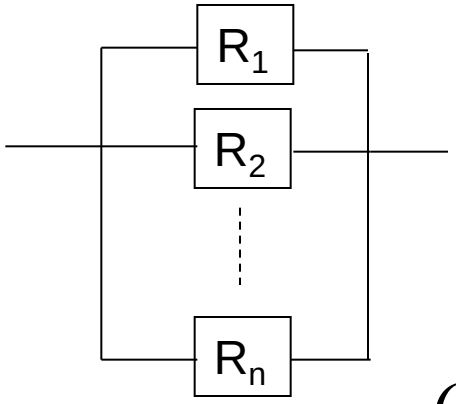
Sériové spolehlivostní zapojení



$$R(t) = \prod_{i=1}^{n} R_i(t)$$ za dobu *t*

Výčet provozuschopných stavů:
111 … 1

Paralelní spolehlivostní zapojení



Výčet provozuschopných stavů:
111 … 1
011 … 1
101 … 1
…
000 … 1

000 … 0 Ne!

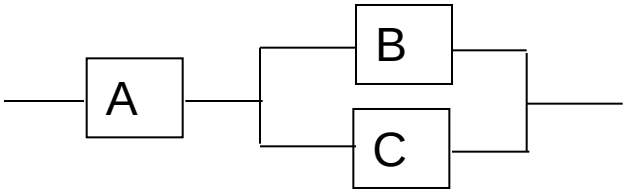
$$Q(t) = \prod_{i=1}^{n} Q_i(t) \Rightarrow R(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - R_i(t))$$

Sériově-paralelní spolehlivostní zapojení se řeší modifikovanou Karnaughovou mapou.

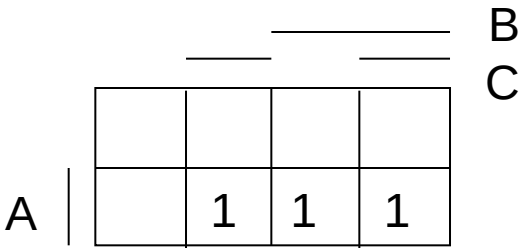
Postup výpočtu:

1. Vytvořit spolehlivostní model analyzovaného systému.
2. Nakreslit spolehlivostní Karnaughovu mapu – 1 odpovídá bezporuchovému modulu, 0 modulu s poruchou. Počet proměnných je roven počtu modulů v systému. U složitých systémů sdružujeme moduly do modulů vyšší úrovně, a ty pak řešíme postupně.
3. Provozuschopné stavy systému vyznačíme v mapě jedničkami.
4. Najdeme disjunktní pokrytí mapy, tj. každá jednička je pokryta pouze jedenkrát. Formálně zaměníme logické operace AND, OR, NOT za součin, součet a jedničkový komplement.

Příklad:



A, B, C jsou pravděpodobnosti bezporuchové činnosti



Výčet provozuschopných stavů:

ABC
1 1 1
1 1 0
1 0 1

Disjunktní pokrytí a úprava:

R = A.B + A.(1-B).C

Další metody kombinatorického modelování

Zálohování „*m* z *n*“

$$R(t)_{m\,z\,n} = \sum_{i=0}^{n-m} \binom{n}{i} R^{n-i}(t)\left[1-R(t)\right]^{i}$$

kde *n* je počet všech modulů
m je počet požadovaných fungujících modulů
i je počet přijatelných poruch

Př. viz dále - TMR

Další metody kombinatorického modelování

Binomický zákon – vyjadřuje pravděpodobnost *P*, že nastane *r* nezávislých událostí na *n* místech. Předpokládá, že pravděpodobnost výskytu události *p* (vadný výrobek, průraz izolace) je stejná.

$$P = \binom{n}{r} . p^r . (1-p)^{n-r} = \frac{n!\, p^r (1-p)^{n-r}}{r!(n-r)!}$$

Markovské spolehlivostní modely

- Kombinatorické modelování často selhává, protože
  - blokové modely se obtížně sestavují
  - spolehlivostní modely jsou složité
  - proces oprav se popisuje obtížně
- Proto se nejčastěji používají Markovské spolehlivostní modely
  - Spolehlivostní model je vytvářen pomocí teorie stochastických procesů s diskrétními stavy a spojitým časem.
  - Markovský proces – náhodná posloupnost hodnot, kde k-tá hodnota závisí pouze na hodnotě k-1.
  - Spolehlivostní model lze vyjádřit grafem, maticí nebo soustavou rovnic. Model popisuje pravděpodobnosti přechodů mezi důležitými stavy systému. Z modelu lze vypočítat klíčové spolehlivostní ukazatele (příklady uvidíme při popisu TMR, NMR atd).
  - mimo možnosti INP

Zvyšování spolehlivosti systému

Základní princip zvyšování spolehlivosti je zálohování součástek, funkčních jednotek, nebo celých systémů (redundance).

Typy záloh:
- technické vybavení (zálohy zdvojení, ztrojení, …)
- programové vybavení (alternativní programy, testovací a diagnostické programy)
- informační (detekční a opravné kódy – např. parita, Hammingův kód)
- časové (opakování operace)

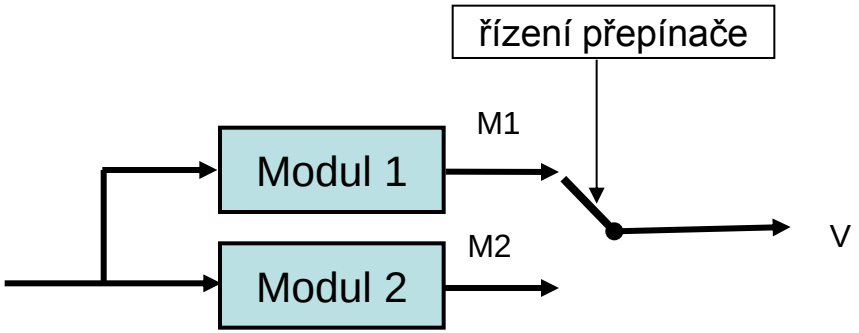
Typy substitučních záloh:
- zatížená – intenzita poruch je stejná jako u funkční jednotky – stejný pracovní režim
- odlehčená – intenzita poruch je snížená, např. snížením napájecího napětí
- nezatížená – intenzita poruch je (teoreticky) nulová

Typy záloh podle využití v čase:
- statická – pracuje nepřetržitě po celou dobu funkce systému, je trvale připojená, nebo jako záloha bez přepínání
- dynamická – neboli s přepínáním podle potřeby

100% spolehlivost nelze u reálných systémů zajistit nikdy!!!

Techniky zajištění odolnosti proti poruchám: Duplexní systém

- Jednoduchá metoda, která využívá dvě stejně pracující (nicméně ne nutně stejně implementované) verze modulu M.
- Pokud jsou výstupy M1 a M2 různé, není zřejmé na základě jejich pozorování, který výsledek je správný.
- Nelze dosáhnout maskování chyby a řízená soustava je ohrožena chybou nebo výpadkem řídicího signálu během přepínání na záložní prvek.
- Cena navíc oproti nezabezpečené verzi: 1 x modul, přepínač, řídicí logika



Techniky zajištění odolnosti proti poruchám

- Statická redundance
  - třímodulová redundance (TMR)
  - NMR – zobecnění TMR
    - N – celkový počet modulů
    - n – počet modulů, jejichž porucha je tolerována

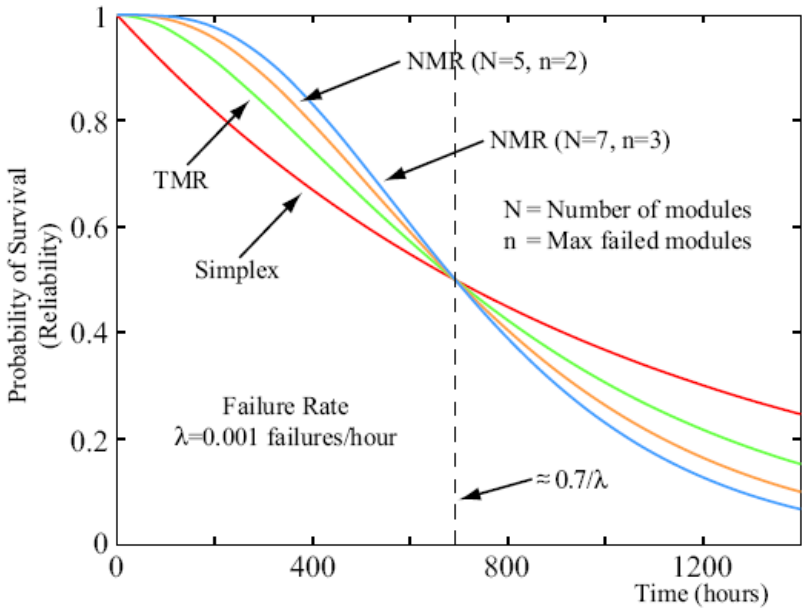
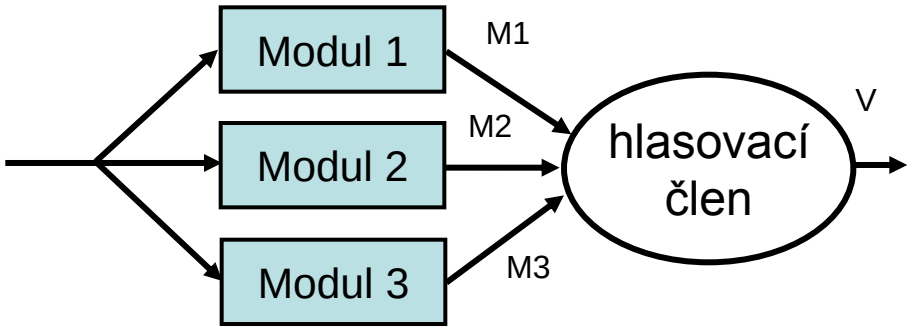


Figure 2.15: *The TMR architecture only provides improved dependability over its simplex alternative up to a specific point in the systems lifetime. This point is determined by the failure rate of the simplex system.*



Příklad realizace hlasovacího členu pro 1b výstup (majoritní funkce)

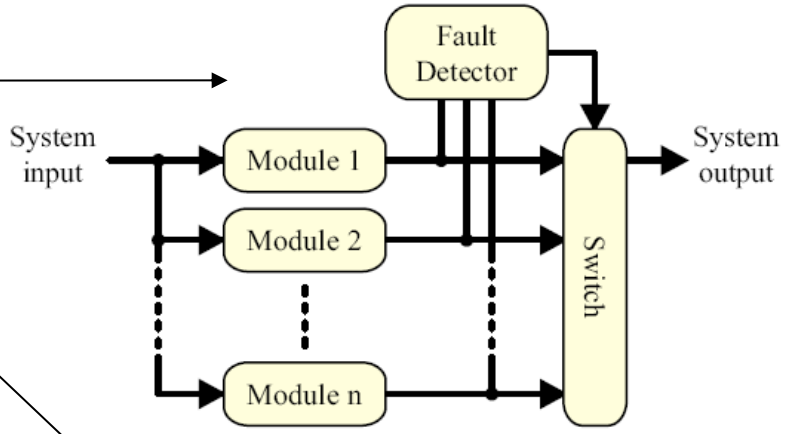
M1	M2	M3	V
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

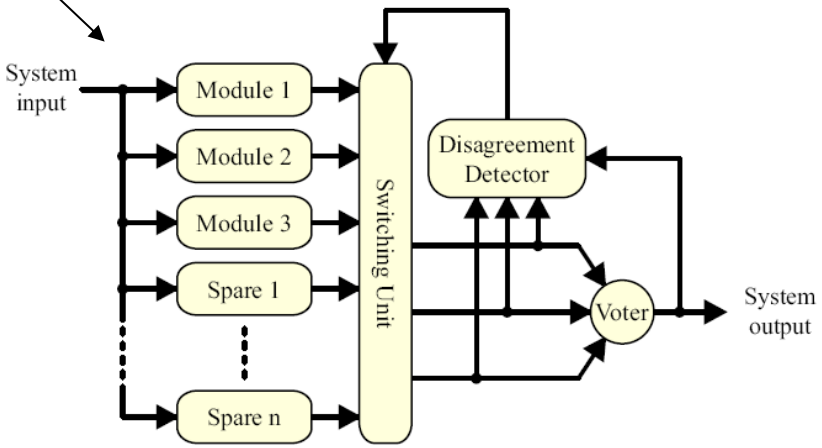
$$R(t) = 3e^{-2\lambda t} - 2e^{-3\lambda t}$$

Pozn: Simplex = 1 modul

Techniky zajištění odolnosti proti poruchám

- Dynamická redundance
  - Při poruše aktivního modulu se systém přepne na záložní modul. Musí existovat detektor poruchy.
- Hybridní redundance
  - TMR + náhrada poškozených modulů záložními moduly





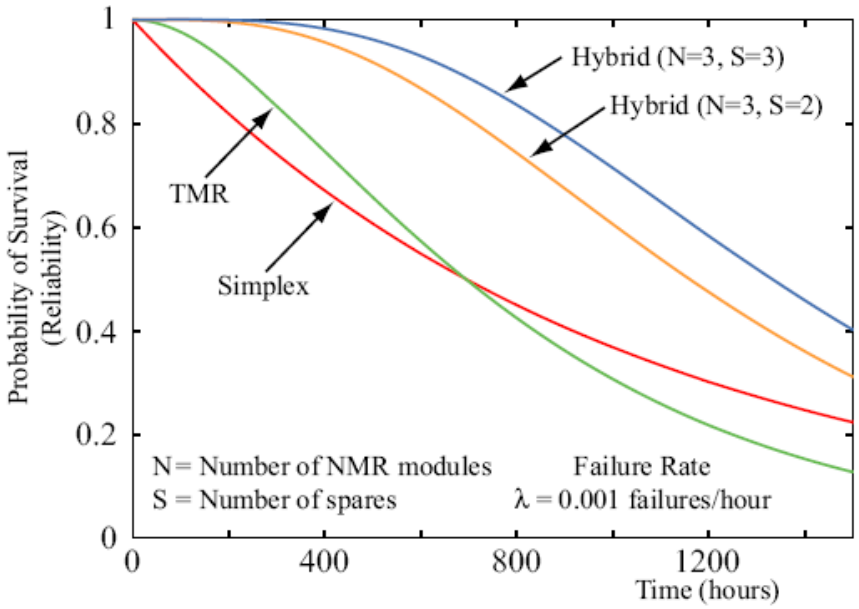


Figure 2.18: *This graph show the change in reliability with time of two hybrid redundancy systems compared to that of simplex and TMR systems. One hybrid system has two spares, $S = 2$, the other three, $S = 3$, both use TMR for masking. The voter, switch and disagreement detector are assumed to never fail.*

Spolehlivost z pohledu návrhu

- Pasivní přístup: volba spolehlivějších součástek, řízení kvality, stínění, chlazení, bezpečná návrhová pravidla, verifikace návrhu, důsledná dokumentace, testování a diagnostika, nepoužívá se redundance – jde o předcházení poruchám (fault avoidance)
- Aktivní přístup: použití hw i sw (i časové) redundance, návrh bezpečných a odolných obvodů, detekce chyb v datech, oprava chyb v datech pomocí opravných kódů, hlavně jde o tolerování (maskování) poruch, izolaci poruch a rekonfiguraci s cílem vyřadit vadné součásti (fault tolerance).
- Praxe: kombinace pasivního i aktivního přístupu

Literatura

- Drábek V.: Systémy odolné proti poruchám. Přednášky FIT VUT 2009
- Hlavička J. et al.: Číslicové systémy odolné proti poruchám. Vydavatelství ČVUT Praha 1992
- Polsterová H.: Spolehlivost v elektrotechnice, skriptum FEKT VUT v Brně, 2003
- Greensted A.: A reliability Engineered Multicellular Architecture Inspired by Endocrinology: The BioNode System. PhD Thesis, The University o York, 2004, 184 s.