

# **Obrazová sada pro předmět Diagnostika číslicových systémů I.**

Andrea Bínová

---

Bakalářská práce  
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav aplikované informatiky

akademický rok: 2005/2006

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Andrea BÍNOVÁ**

Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**

Studijní obor: **Informační technologie**

Téma práce: **Obrazová sada pro předmět Diagnostika číslicových systémů I.**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte předložené podkladové materiály a doporučenou literaturu pro orientaci v daném tématu.
2. Zpracujte přidělenou část materiálů do elektronické podoby ve formátu vhodném pro běžné typy prezentací.
3. Navrhněte metodu doplňování a třídění podkladových materiálů.
4. Realizace práce předložte na CD ROM.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Melichar B.:**Textové informační systémy, ČVUT Praha, 1996**
2. Molnár Z.:**Moderní metody řízení informačních systémů, Grada, 1992**
3. Kocourek P.:**Přenos informace, ČVUT Praha, 1994**
4. Pokorný J.:**Spolupráce aplikací MS Office, Kopp, 1997**
5. Sobota B.:**Milián J.:Grafické formáty, Kopp, 1996**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Petr Neumann, Ph.D.**

Ústav elektrotechniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

**14. února 2006**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**16. června 2006**

Ve Zlíně dne 14. února 2006

  
prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*pověřený děkan*



  
doc. Ing. Ivan Zelinka, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího bakalářské práce, ředitele ústavu a institutu. V případě publikace budu uvedena jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala.

Ve Zlíně, 07. 06. 2006

.....

podpis

## RESUMÉ

Anotace česky

Tato bakalářská práce je elektronickým přepisem rukopisné části přednášek pro předmět Diagnostika číslicových systémů I. Rukopisná část přednášek byla určena pro prezentaci pomocí fólií a zpětného projektoru. Po zpřístupnění moderní projekční techniky širokému okruhu přednášejících v nových prostorách univerzity je účelné převést všechny materiály do elektronické podoby. Jednotná elektronická podoba podkladů usnadní modifikaci a aktualizaci přednáškových materiálů a uspoří čas, který může být věnován obsahové stránce přednášek. Z uvedených důvodů práce neobsahuje formální prvky bakalářské práce, jako úvod, závěr nebo popisy obrázků či tabulek, které by rušily charakter prezentace.

Anotace ve světovém jazyce

This bachelor thesis is an electronic transcription of the manuscript lecturing part for the speciality in Microelectronic Diagnostics Part One. The manuscript lecturing part was prepared on transparent sheets for the presentation with the overhead projector. It is reasonable to transfer all lecturing materials in integral electronic scheme after the modern presentation means has been unlocked for the wide range of lectures in the university new property. The unified electronic scheme for the lecturing groundwork makes its both modification and updating much easier. The spared time can be devoted to the lectures content then. On the ground of above stated reasons, this work does not have the formal thesis structuring like introduction, conclusion or figures and tables description which would interfere with the presentation character.

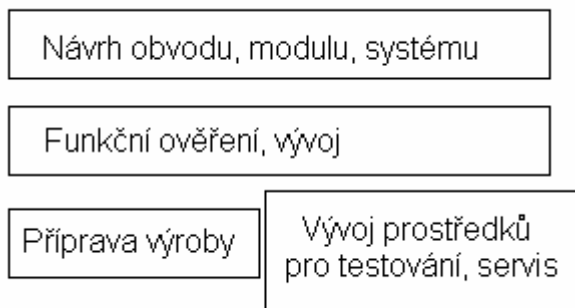
# OBSAH

<b>1 KAPITOLA – ÚVOD.....</b>	<b>8</b>
<b>2 KAPITOLA – ZÁKLADNÍ POJMY DIAGNOSTIKY .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Vznik a vývoj.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2 Slovník pojmů .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3 Vysvětlení a souvislosti pojmů.....</b>	<b>20</b>
2.3.1 Diagnostické testy .....	20
2.3.2 Diagnostické pokrytí .....	20
<b>2.4 Forma Diagnostiky .....</b>	<b>21</b>
<b>3 KAPITOLA - PROBLEMATIKA TESTOVÁNÍ (DIAGNOSTICKÝCH) ELEKTRONICKÝCH PRVKŮ.....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 HLEDISKA TRÍDĚNÍ PORUCH:.....</b>	<b>24</b>
3.1.1 Podle podmínek vzniku .....	24
3.1.2 Podle stupně poruchy .....	24
3.1.3 Podle místa vzniku .....	24
<b>3.2 Typické poruchy elektronických prvků.....</b>	<b>25</b>
3.2.1 Možné příčiny poruch polovodičových součástek .....	25
3.2.2 Nestálé poruchy .....	25
3.2.3 Mechanismy – procesy s vlivem na životnost součástí .....	25
<b>3.3 Modely poruch .....</b>	<b>26</b>
3.3.1 Základní typy poruch na dvojjstupovém členu NAND .....	27
<b>4 KAPITOLA – STRUKTURNÍ TESTY.....</b>	<b>29</b>
<b>4.1 Intuitivní zcitlivění cesty .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2 Obvody s větvením.....</b>	<b>29</b>
4.2.1 Nejednoznačnost při testování B/I.....	30
<b>4.3 postup generování jednoho kroku testu .....</b>	<b>32</b>
<b>5 KAPITOLA – ALGORITMUS D.....</b>	<b>33</b>
<b>5.1 Základní postup:.....</b>	<b>33</b>
<b>5.2 Předpoklady pro D-Algorithmus.....</b>	<b>34</b>
<b>5.3 Generování testu:.....</b>	<b>34</b>
<b>6 KAPITOLA - DEFINICE A POUŽITÍ POMOCNÝCH POJMŮ PRO ALGORITMUS D.....</b>	<b>35</b>
<b>6.1 Singulární pokrytí.....</b>	<b>35</b>
<b>6.2 Přenosová D – krychle.....</b>	<b>37</b>
6.2.1 Přenosové D-krychle základních logických členů.....	38
6.2.2 Vícenásobné přenosové D-krychle .....	38
<b>6.3 Primitivní D-krychle poruchy .....</b>	<b>38</b>
<b>6.4 Šíření D .....</b>	<b>39</b>
<b>6.5 Odvození jednoho kroku testu.....</b>	<b>40</b>
<b>6.6 Kritika D-algoritmu a modifikace.....</b>	<b>41</b>
6.6.1 Slabá místa D-algoritmu .....	41
6.6.2 Zdokonalující modifikace.....	42

<b>7 KAPITOLA – FUNKČNÍ TESTY</b> .....	<b>43</b>
<b>7.1 Boolovská diference</b> .....	<b>43</b>
<b>7.2 Obecná definice</b> .....	<b>43</b>
7.2.1 Odvození Boolovské diference.....	43
<b>7.3 Grafické a algebraické postupy</b> .....	<b>43</b>
7.3.1 Mapa.....	43
7.3.2 Algebraický výpočet.....	44
<b>7.4 Použití Boolovské diference</b> .....	<b>44</b>
<b>7.5 Detekce poruch na vnitřních vodičích</b> .....	<b>45</b>
<b>7.6 Boolovská diference vyšších řádů</b> .....	<b>46</b>
<b>7.7 Tabulky úplných testů</b> .....	<b>46</b>
7.7.1 Náhodné a pseudonáhodné testy.....	46
<b>8 KAPITOLA - TESTOVÁNÍ SEKVENČNÍCH OBVODŮ</b> .....	<b>48</b>
<b>8.1 Identifikační metody</b> .....	<b>48</b>
<b>8.2 Princip použití jazyků vyšší úrovně</b> .....	<b>49</b>
<b>8.3 Strukturní metody</b> .....	<b>51</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>53</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>54</b>

## 1 KAPITOLA – ÚVOD

### Tradiční (historický) přístup k návrhu:



### Kompromisní přístup:

Návrh usnadňující provádění testů a diagnostiky

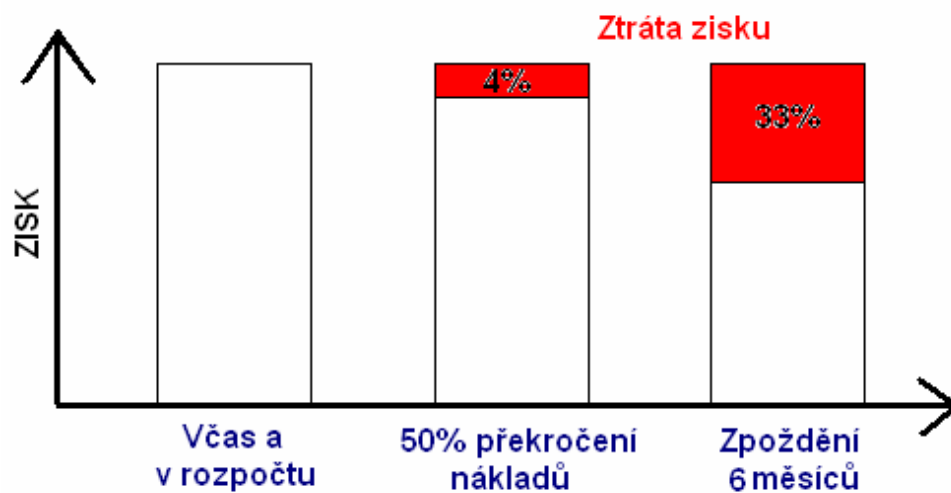
- 
- 
- 

### Aktuální a budoucí trend:

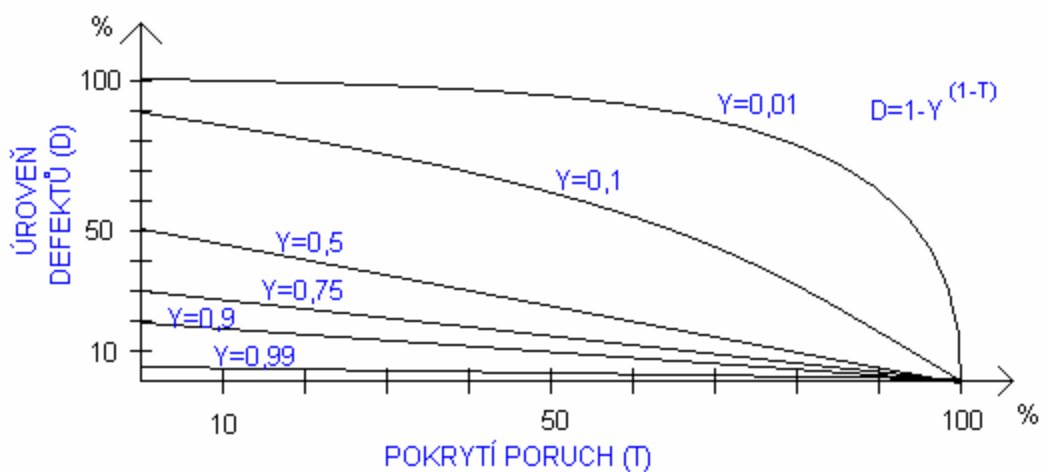
Návrh s využitím testovatelných obvodů a současně s vývojem příslušné diagnostiky.

- 
- 
-

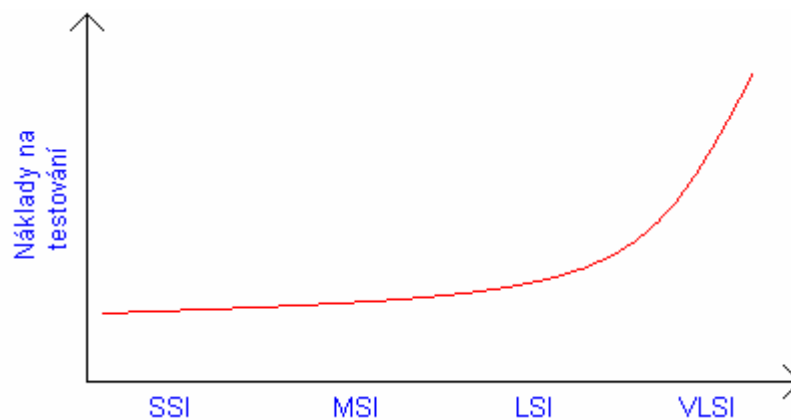




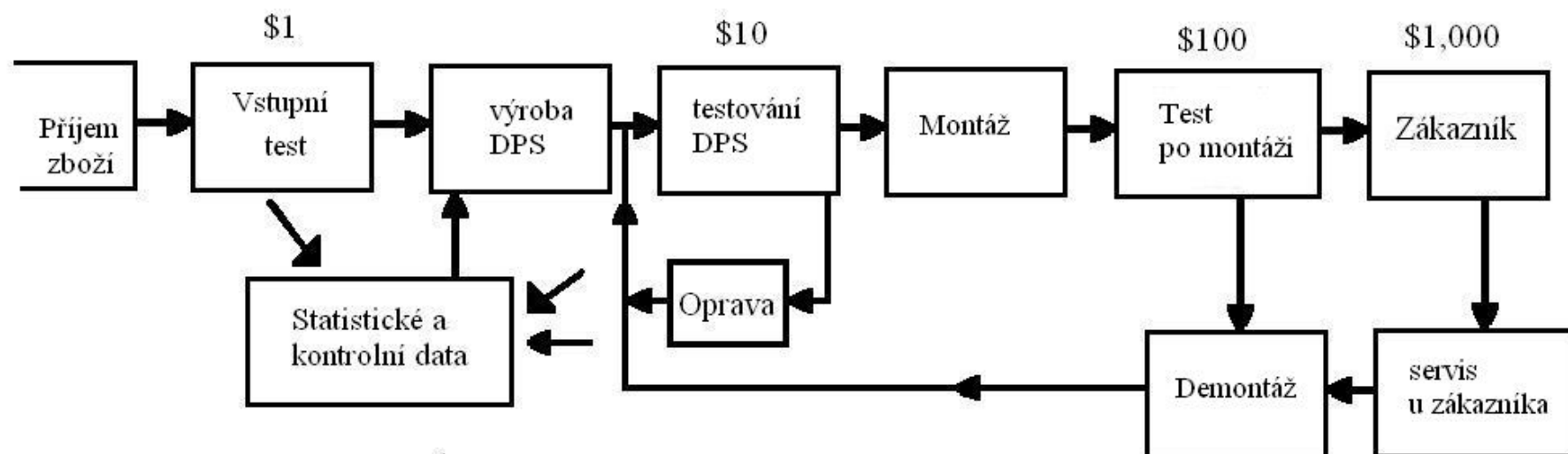
Obr. 1 Závislost zisku na překročení rozpočtu a termínu uvedení na trh



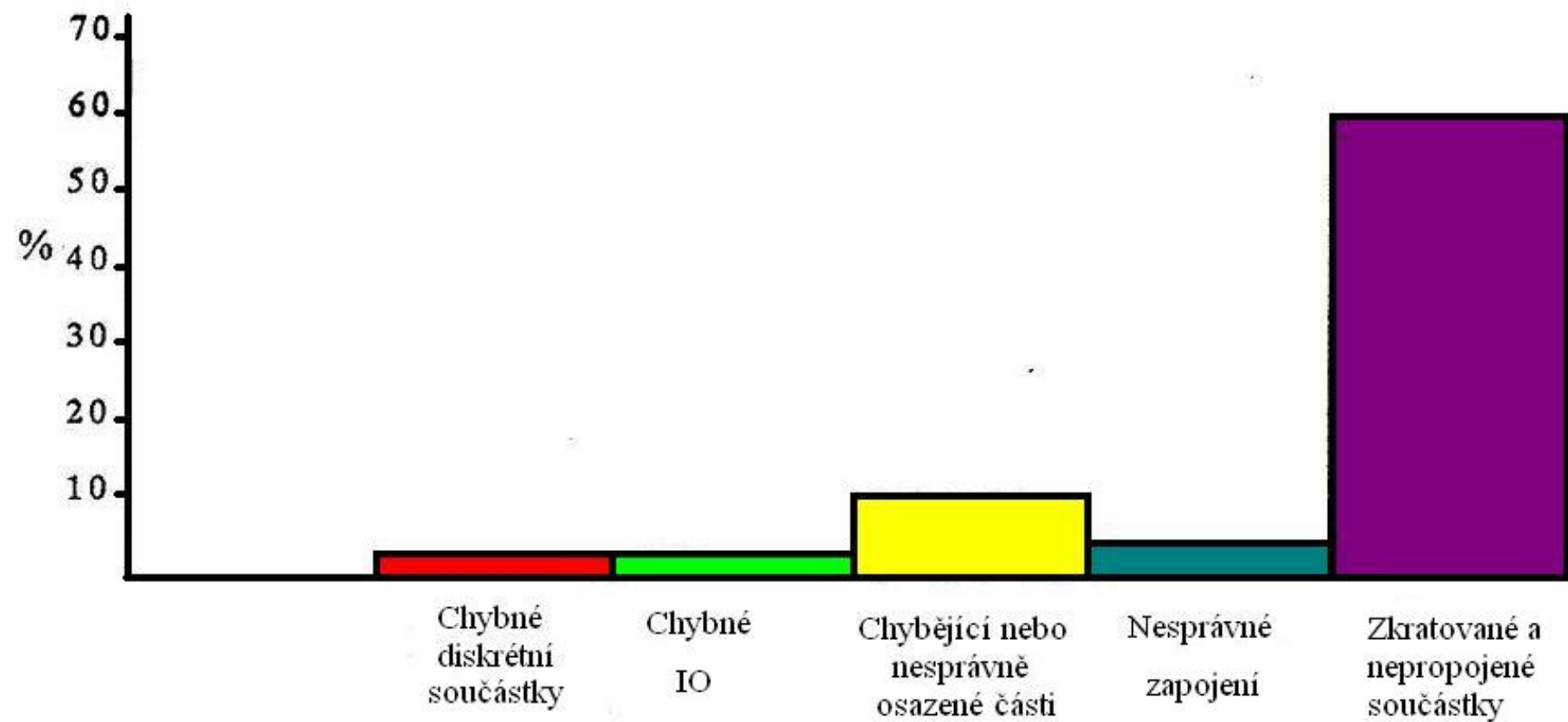
Obr. 2 Úroveň defektů jako funkce výtěžnosti a stupně pokrytí poruch



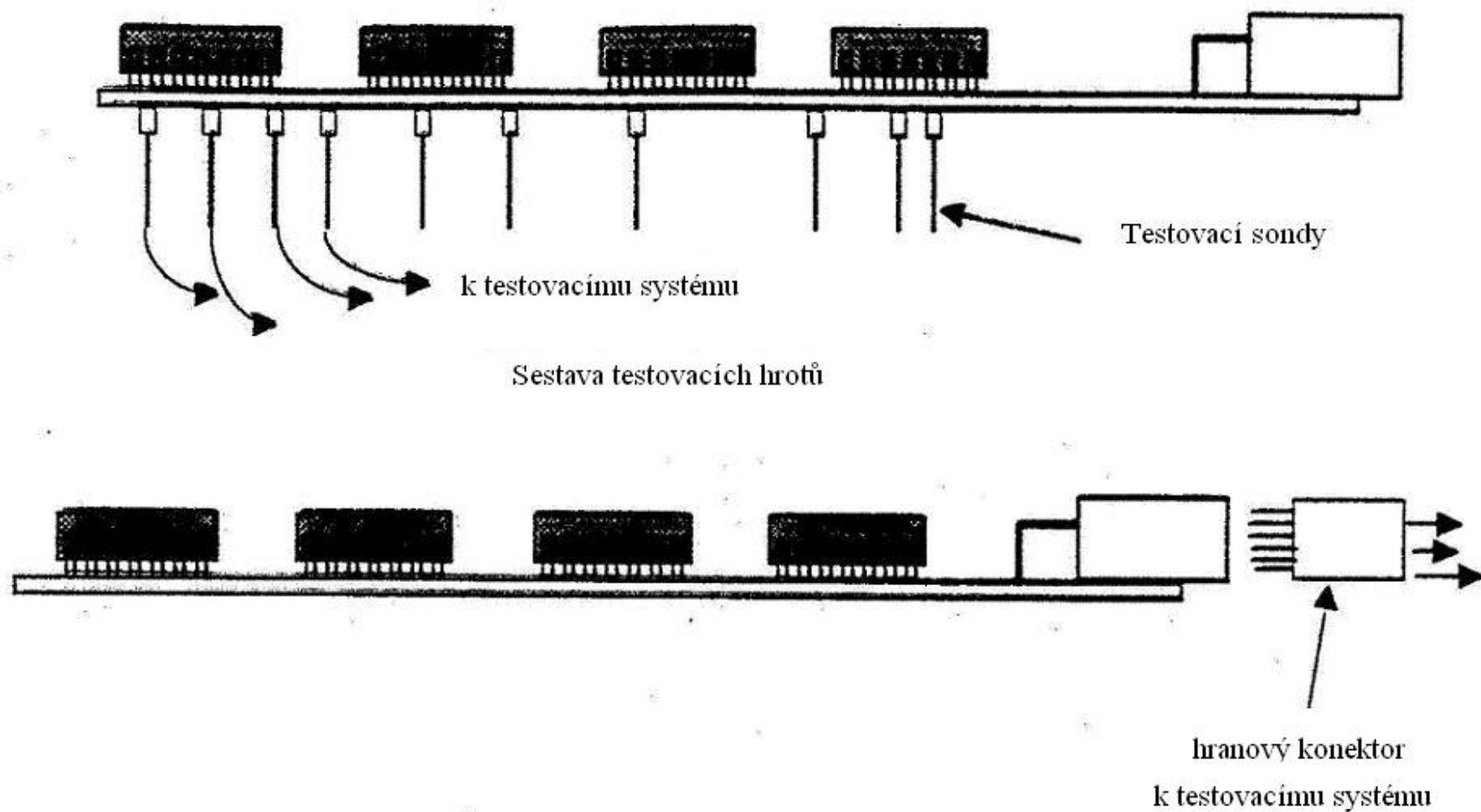
Obr. 3 Trend nákladů na testování



Obr. 4 Ilustrace pravidla o nárůstu nákladů při pozdějším zjištění závady

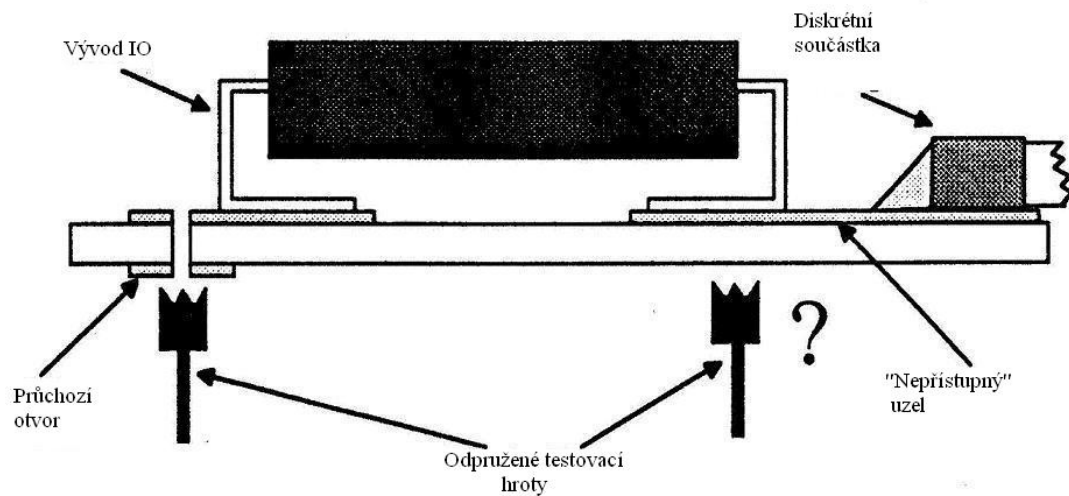
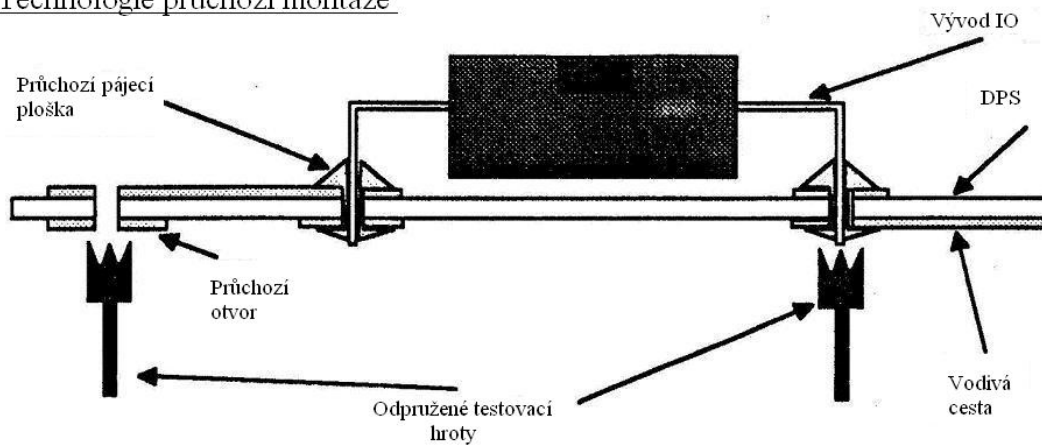


Obr. 5 Ilustrace podílu hlavních skupin závad na celkovém počtu závad



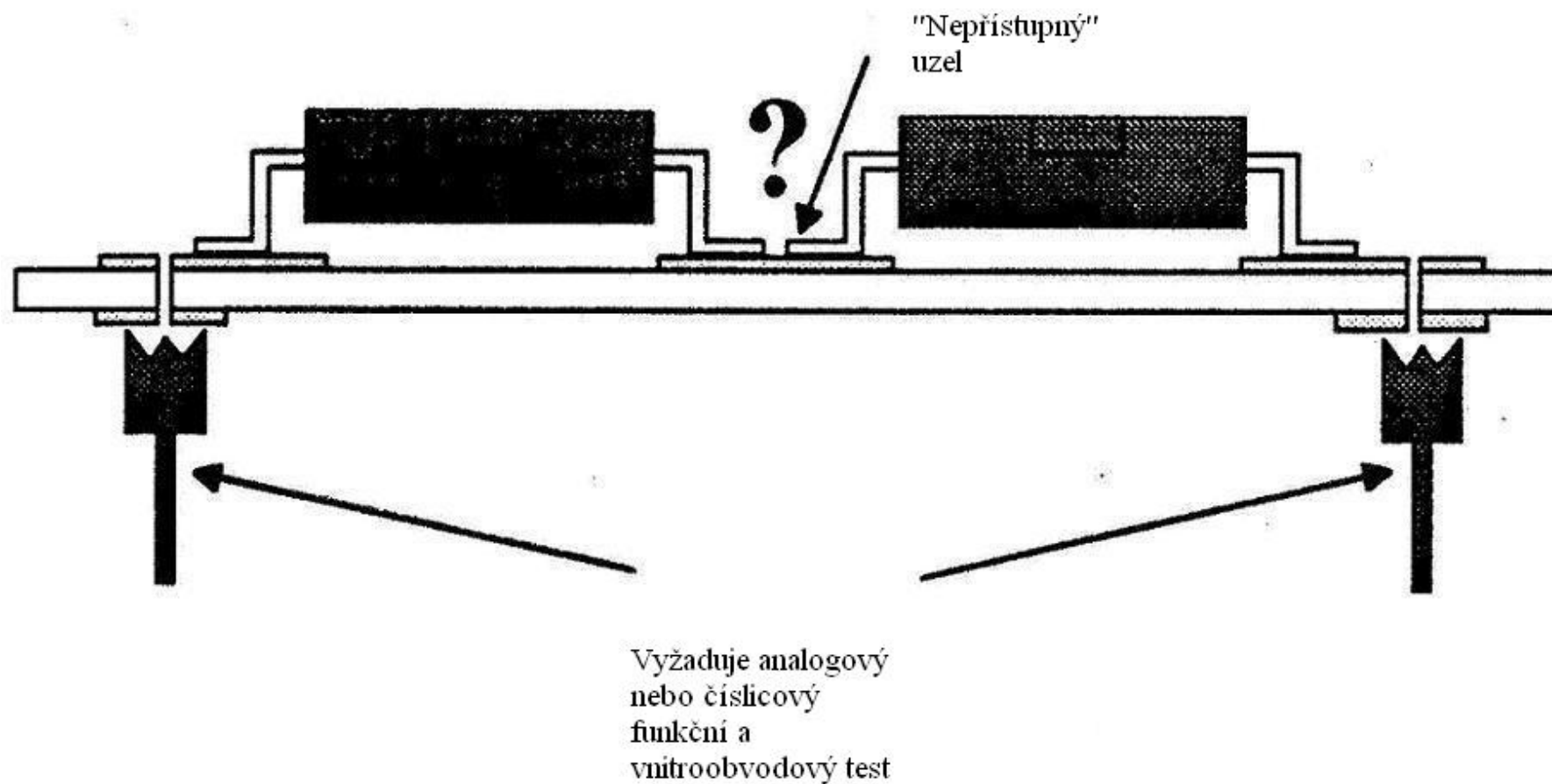
Obr. 6 Ilustrace možnosti připojení kontaktu u testeru

Technologie průchozí montáže

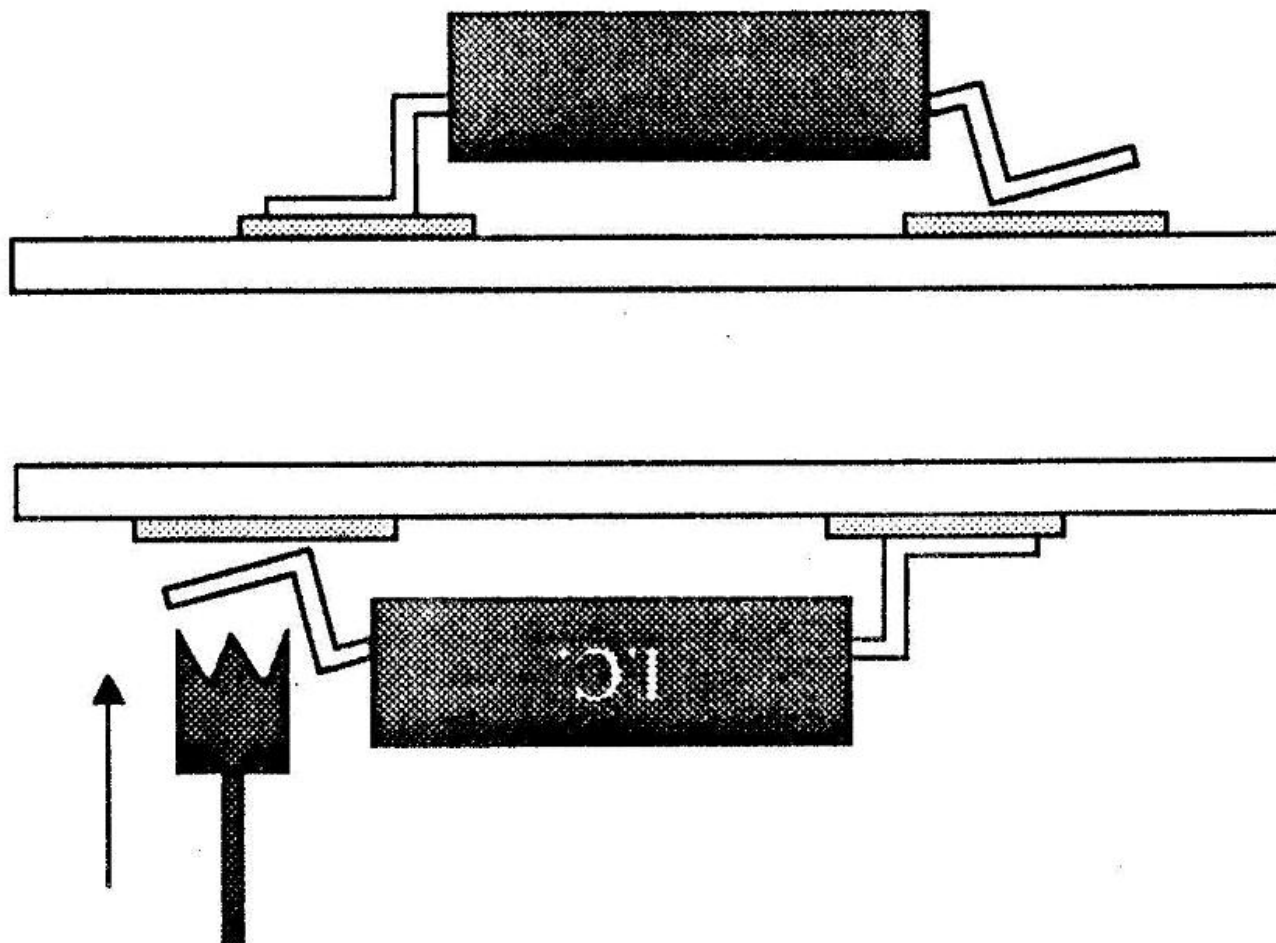


Technologie povrchové montáže

Obr. 7 Ilustrace rozdílu mezi tradiční technologií montáže součástek (THT) a technologií povrchové montáže



Obr. 8 Ilustrace problému "skrytého" kontaktního uzlu nepřístupného pro kontaktní jehlu testeru



Obr. 9 Ilustrace "nezjistitelné" závady

## Technologie povrchové montáže

Tyto nové metody podporují:

1. "Skryté" uzly
2. Vyšší hustotu vývodů
3. Oboustranná montáž součástek
4. Možnost návrhu DPS menších rozměrů
5. Struktury zákaznických IO, MCM, ASIC

Protože přístupnost uzlů je nepřetržitě snižována, snižuje se pokrytí chyb vnitroobvodovým testem.

Díky speciálním obvodům add.5, se rovněž snižuje pokrytí chyb vnitroobvodovým testem.

Obr. 10 Hlavní problémy testování desek osazených technologií povrchové montáže



V testu obvodu:

a) MDA

b) metoda diagnostického buzení obvodu

Požaduje 100% přístup uzlů  
Vyžaduje sestavu měřicích hrotů

	MDA	Metoda diagnostického buzení obvodu
Programování	Snadné, nízká-cena	Snadné – s knihovnamí Obtížné – bez knihoven
Odstranění závad	Snadné, nízká-cena	Může být obtížné a časově náročné
Náklady – systém/vlastník	nízké	vysoké

Obr. 11 Srovnání metody testování závad způsobených samotnou montáží (MDA) a metody diagnostického buzení obvodu

## Funkční testy

a) Go - Nogo (bez vad / vadný)

b) diagnostika závad

	Go - Nogo	Metoda diagnostiky závad
Programování	Obvykle zřetelné	Hodně komplexní Často může požadovat CAD simulaci
Příslušenství	Normální koncový konektor	Nejllepší se sadou testovacích hrotů nebo řízenou sondou
Odstranění závad	Obvykle zřetelné	Může být obtížné a časově náročné
Náklady – systém/vlastník	nízké	vysoké

Obr. 12 Srovnání nároku na jednoduchý test funkčnosti (Go-Nogo) a test zaměřený na diagnostiku závad

## 2 KAPITOLA – ZÁKLADNÍ POJMY DIAGNOSTIKY

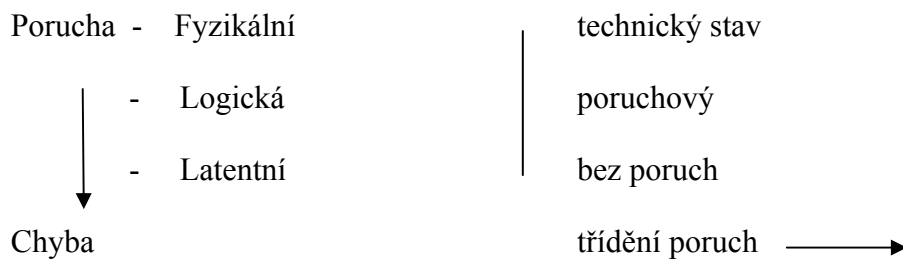
### 2.1 Vznik a vývoj

1/1959 Eldred v Jach: Test routines based on symbolic logic statements

### 2.2 Slovník pojmů

Detekce poruchy 1bit informace	Slovník poruch
Detekční test	Statický test
Diagnostický objekt	Strukturní test
Diagnostické pokrytí	Technický stav
Diagnostické rozlišení	Test, délka testu, minimální
Dynamický test	Testovací bod
Funkční test	Triviální test
Generování testu	Úplný test
Chyba	Zahořování
Injekce poruch	Závislý test
Komparační test	
Krok testu	
Latentní porucha	
Lokalizace poruchy	
Lokalizační test	
Maskování poruchy	
Mikrodiagnostika	
Minimalizace testu	
Model poruchy	
Nestálá porucha	
Nezávislý test	
Odezva	
Parametrický test	
Porucha – fyzikální, logická	
Redundance	
Simulace	

## 2.3 Vysvětlení a souvislosti pojmů



Detekce poruchy (chyby)

Lokalizace

Úroveň detekce (lokalizace)  $\Rightarrow$  diagnostické rozlišení

### 2.3.1 Diagnostické testy

Test – množina dvojic vzájemně přiřazených vstupních a výstupních vektorů

Krok testu

Délka testu

Vstupní a výstupní posloupnost testu

### 2.3.2 Diagnostické pokrytí

Vyjádření - absolutně

- relativně

Úplný test

Minimální

Triviální

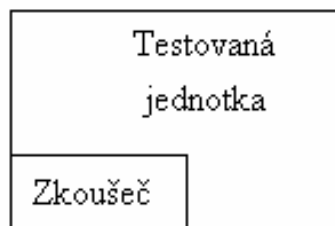
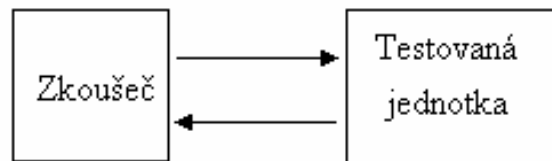
Komparační test

## 2.4 Forma Diagnostiky

FORMA  
Periodická  
Průběžná

Vnější  
Zkoušeč  
Zdvojení

Vnitřní  
diagnostický procesor  
bezpečnostní kódy



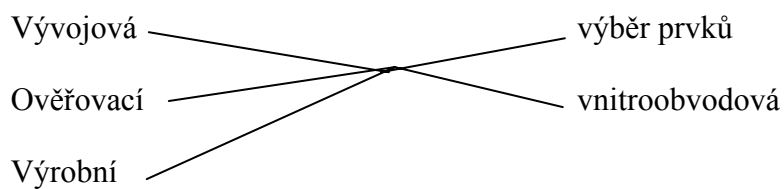
### 3 KAPITOLA - PROBLEMATIKA TESTOVÁNÍ (DIAGNOSTICKÝCH) ELEKTRONICKÝCH PRVKŮ

Testování před osazením

Vnitro obvodové testování

Parametrické testování

Fáze testování:



Výstupní kontrola

Zákaznická – servis, údržba, prevence

Diskrétní prvky – pasivní, aktivní I O kombinované sestavy a moduly

Důsledky aplikace technologie SMD – zvyšování hustoty integrace.

Návrh pro snadnou diagnostiku

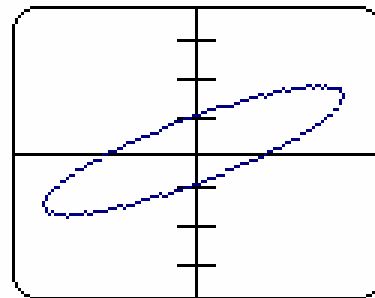
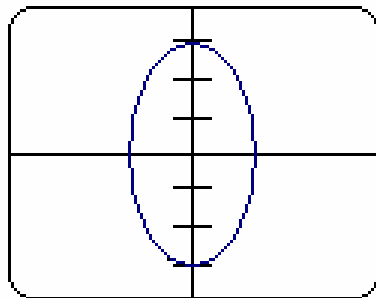
Analogové a číslicové prvky

Příklady:

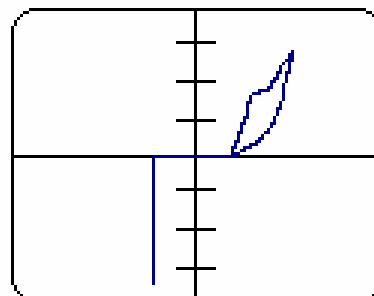
### ASA – Analog Signature Analysis

Firma POLAR GB

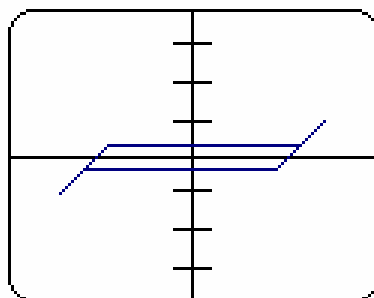
Systémy T4000, T6000



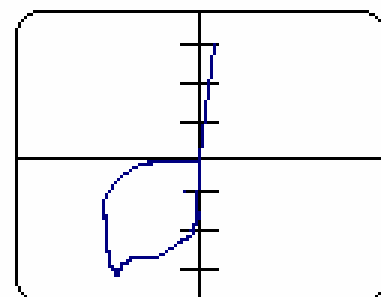
Kondenzátor 47µF



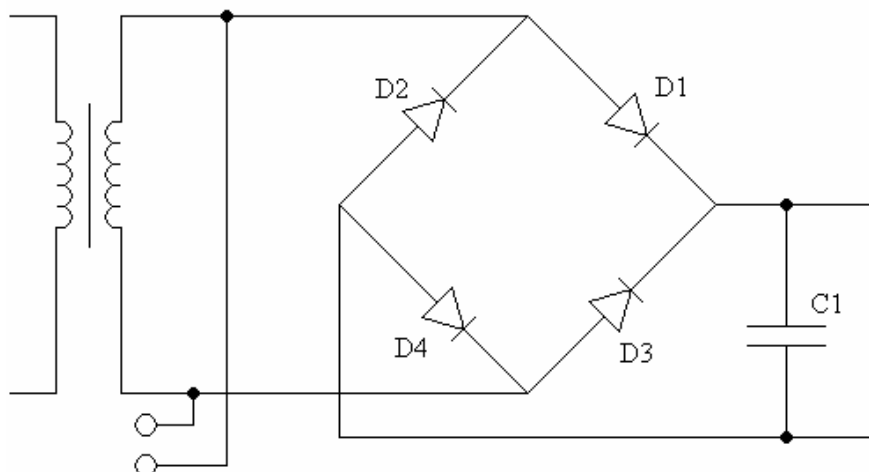
IO  
74HC02  
U<sub>cc</sub> - zem



bez vady



zkrat D3



rozsah napětí  
kmitočet  
tolerance  
1 součástka z 5 součástek  
= až 80% vad součástek  
a spojových desek

### 3.1 HLEDISKA TŘÍDĚNÍ PORUCH:

#### 3.1.1 Podle podmínek vzniku

Z vnějších příčin (provozní podmínky)

Vnitřní příčiny (nedokonalost výrobku)

Podle časového průběhu změn parametru

Náhlá porucha

Postupná porucha

Nestálá (občasná) porucha

Stálá porucha

#### 3.1.2 Podle stupně poruchy

Úplná porucha (znemožnění funkce)

Částečná porucha

Kombinace stupně poruchy a časového průběhu změn parametru

Katastrofální porucha (náhlá a úplná)

Degradační porucha (postupná a částečná)

#### 3.1.3 Podle místa vzniku

Porucha polovodičových součástek

Porucha pájených spojů

Porucha plošných spojů

Porucha konektorů

Porucha kabeláže

Porucha vnějších zařízení



## **3.2 Typické poruchy elektronických prvků**

### **3.2.1 Možné příčiny poruch polovodičových součástek**

Povrchové defekty	Kontaminace vrstev (oxidu)
Chyby montáže a propojení	Mechanické
Pouzdření	Průrazy
Elektrické parametry	Rekrytalizace
Metalizace	Kontaktování
Difúzní operace	

### **3.2.2 Nestálé poruchy**

Náhodný šum  
Elektrostatické náboje  
Zdroje záření  
Vlhkost  
Kontaminace.

### **3.2.3 Mechanismy – procesy s vlivem na životnost součástí**

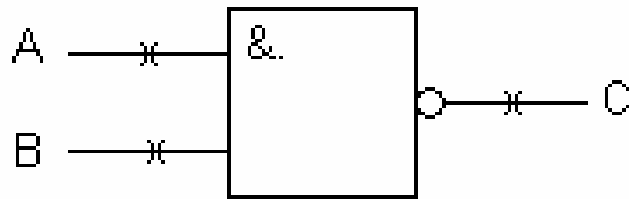
Proudové elektromigrace (transportní procesy)  
Korozní jevy  
Vytváření intermetalických slitin

### 3.3 Modely poruch

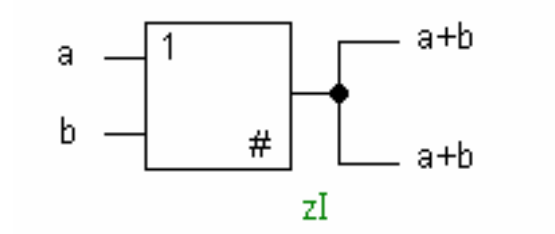
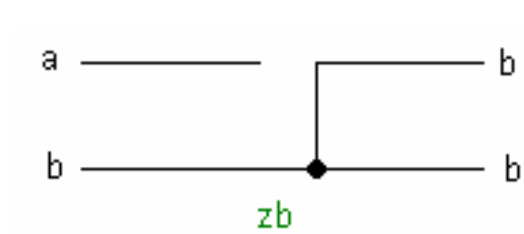
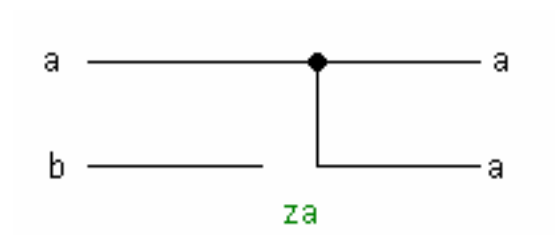
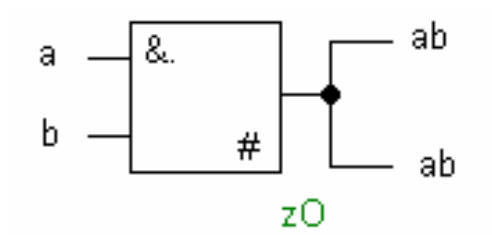
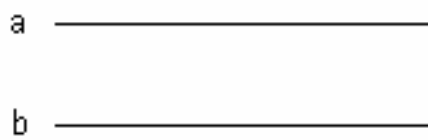
*Poruchy typu t*

t0

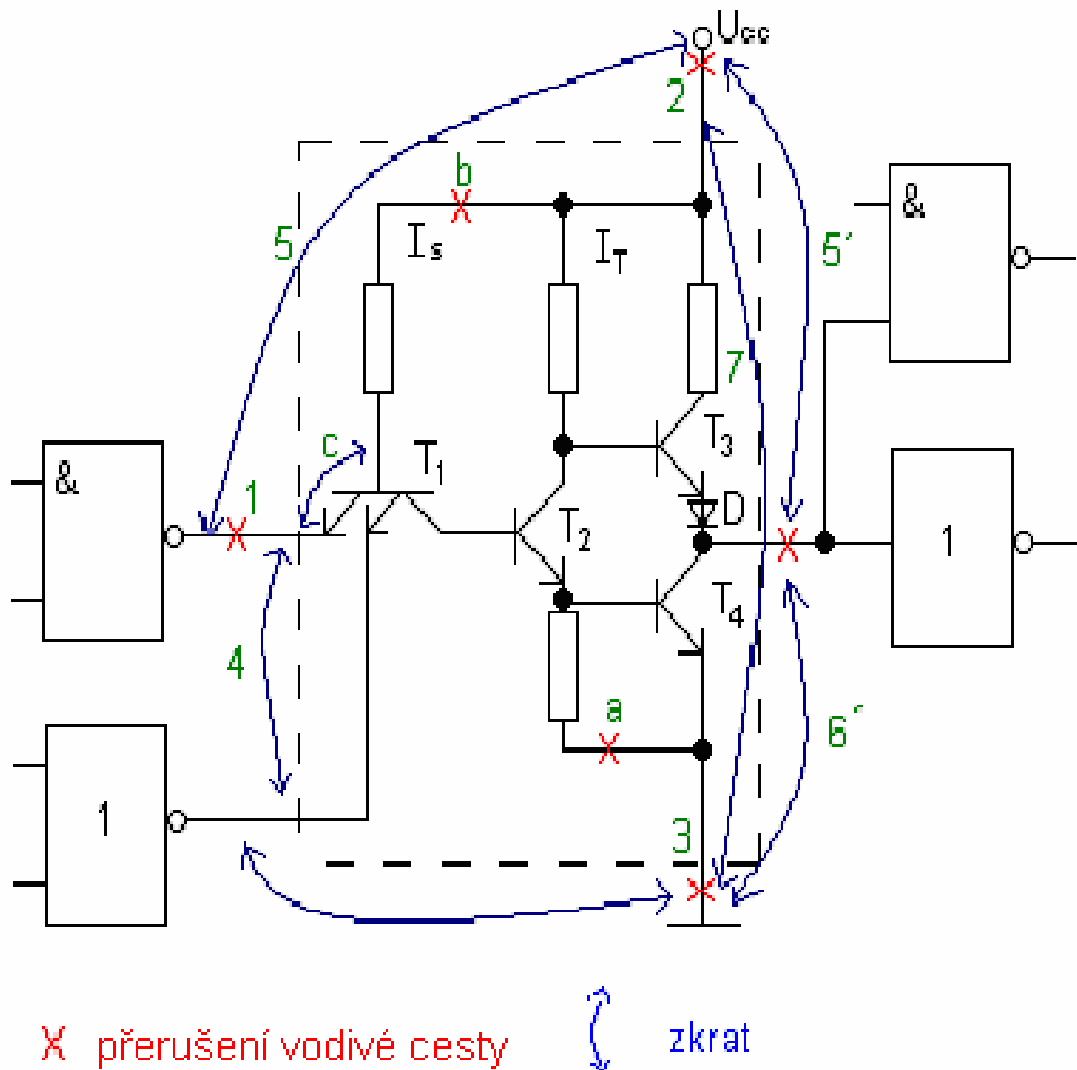
t1



*Poruchy typu z*



### 3.3.1 Základní typy poruch na dvojvstupovém členu NAND



a – zvětšení hodnoty zpoždění při přechodu do stavu I – částečná porucha

b – zamezí průchodu součinného proudu  $I_s \Rightarrow$  výstup nelze sepnout do stavu 0  $\Leftrightarrow$  tO vstupu nebo tI výstupu

c – nelze simulovat zkratem nebo přerušením na vývodech

Test, který je úplný pro poruchy tO a tI, detekuje také všechny poruchy typu zO a zI mezi libovolnými dvěma vstupními vodiči základního logického členu.

Lze rozšířit i na za, zb zkrat mezi dvěma vodiči na téže citlivé cestě  $\Rightarrow$  vznik zpětné vazby  
:

Přemostění lichého počtu negací  $\rightarrow$  oscilace

Sudý počet  $\rightarrow$  paměťový člen (sekvenční chování)

Poruchy desek: (%)

Zkraty	75	Přerušení	7
Chyba osazení	12	Vada součástky	6

Poruchy IO: (%)

Čip	52	Svár	5
AI	7	Pouzdro	26
Au	10		

## 4 KAPITOLA – STRUKTURNÍ TESTY

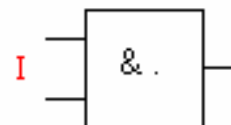
### 4.1 Intuitivní zcitlivění cesty

Týká se výhradně vodičů.

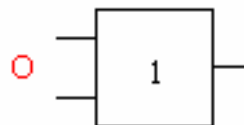
Definice citlivosti

Průchod cesty logickými členy

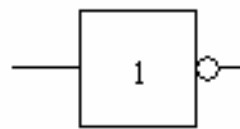
**AND, NAND**



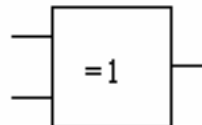
**OR, NOR**



**Invertor**



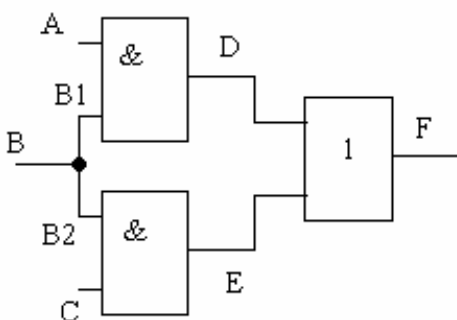
**Nonekvivalence**



PRIMÁRNÍ - vstupy

- výstupy

### 4.2 Obvody s větvením



A	B	C	F	A	B	B1	B2	C
1	1	0	1	tO	tO	tO		
0	1	1	1		tO		tO	tO
0	1	0	0	tI				tI
1	0	1	0		tI	tI	tI	

#### 4.2.1 Nejednoznačnost při testování B/I

Citlivá cesta: B - B1 - D - F

B - B2 - E - F

Obě současně!!!

Vektor ABC = 1 0 0  $\Rightarrow$  neexistuje B2/I

ABC = 0 0 1  $\Rightarrow$  neexistuje B1/I

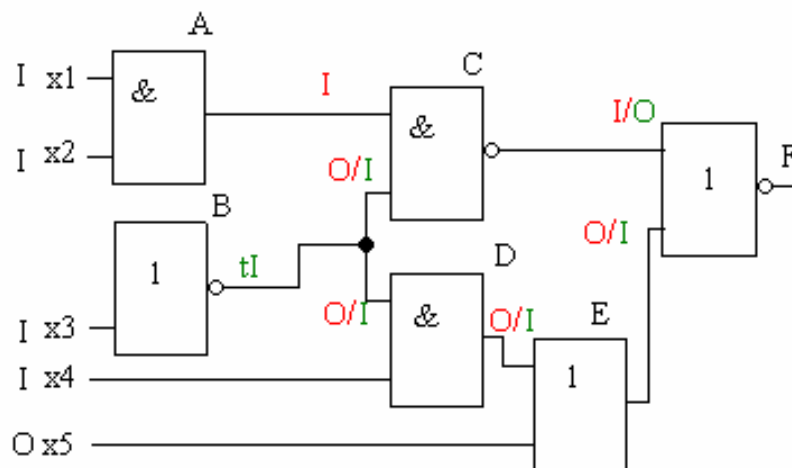
##### 4.2.1.1 Rekonvergentní cesty

Parita inverze – důležité kritérium při současném zcitlivění více cest.

Věta: test kombinačního logického obvodu sestaveného ze základních logických členů je úplný vůči všem poruchám typu  $t$ , pokrývá-li poruchy  $tO$  a  $tI$  na primárních vstupech a na všech větvích za všemi body větvení.

TEST REDUNDANTNÍHO OBVODU NEMŮŽE BÝT NIKDY ÚPLNÝ!

V každé síti s rekonvergentním větvením s různou paritou inverzí můžeme očekávat redundanci.



$$F = x_1 x_2 \overline{x_3} x_3 x_5 + x_1 x_2 \overline{x_3} x_4 x_5$$

Poruchová pravdivostní tabulka:

		Y							
A	B	-	A/I	A/O	B/I	B/O	Y/I	Y/O	
0	0	0	0	0	0	0	1	0	
0	1	0	1	0	0	0	1	0	
1	0	0	0	0	1	0	1	0	
1	1	1	1	0	1	0	1	0	

Ekvivalence (nerozšířitelnost) poruch

Vrozená a vnesená ekvivalence

Př. Ekvivalence poruch základních logických členů:

Ekvivalence poruchy	AND	NAND	OR	NOR	NOT
Vstupy	tO	tO	tI	tI	tO tI
Výstupy	tO	tI	tI	tO	tI tO

Implikace poruch

Maticе poruch  $A/I \Rightarrow C/I$

A	B	A/I	A/O	B/I	B/O	C/I	C/O	
0	0	0	0	0	0	1	0	
0	1	0	0	0	0	1	0	X
1	0	0	0	1	0	1	0	X
1	1	1	1	0	1	0	1	X

Metoda skládání dílčích tabulek úplných testů (TÚT)

TÚT + princip citlivé cesty → úplný test celého logického obvodu

Zásada:

na všechny základní členy přivést všechny kombinace z tabulky úplného testu

pro výstup členu zajistit citlivou cestu k primárnímu výstupu

V jednoduchých případech použitelné i pro sekvenční obvody

### 4.3 postup generování jednoho kroku testu

Volíme typ poruchy

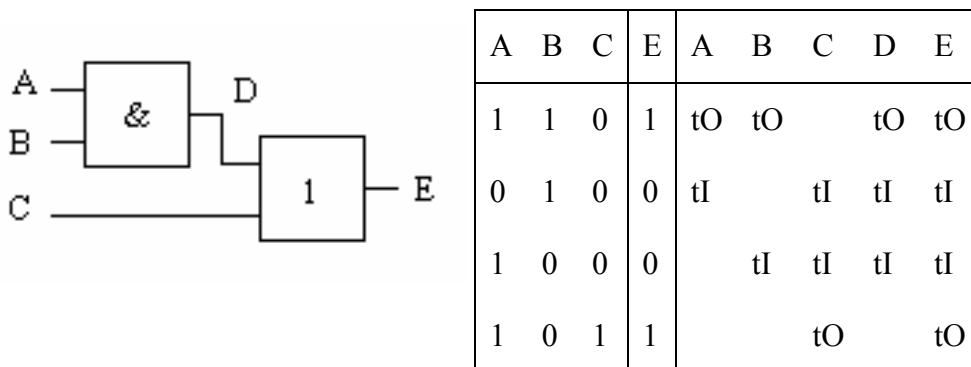
Opačnou hodnotu do místa poruchy

Sestavení citlivé cesty z místa poruchy na primární výstup

Odvození ostatních proměnných na primárních vstupech

Určení všech poruch pokrytých daným krokem testu

Příklad:



SEZNAM PORUCH: A/O, A/I, B/O, B/I, C/O, C/I, D/O, D/I, E/O, E/I

*1.krok testu pro A/O*

ÚPLNÝ TEST = 4 KROKY = ½ TRIVIÁLNÍ TEST



## 5 KAPITOLA – ALGORITMUS D

1966 – IBM – J.P.Roth

D - dependent (Domino)

Označení pro signály nesoucí informaci o poruše.

Pětihodnotový model šíření signálů

$$h_i = (h_s, h_p)_i ; i = 1, \dots, 5$$

$h_s \in \{0, 1, x\}$  hodnota signálu bez poruchy

$h_p \in \{0, 1, x\}$  hodnota signálu s poruchou

Definice pětihodnotového modelu:

$h_i$	$(h_s, h_p)_i$	} hodnoty shodné ve stavu bez i s poruchou
0	(0,0)	
1	(1,1)	
X	(X,X)	
D	(1,0)	
$\bar{D}$	(0,1)	

### 5.1 Základní postup:

Označení signálu v místě poruchy

D	Pro poruchu	tO
$\bar{D}$	Pro poruchu	tI

Intuitivní zcitlivění cesty. Přivést D ( $\bar{D}$ ) na některý primární výstup.

## 5.2 Předpoklady pro D-Algorithmus

Poruchy logického obvodu jsou typu tI a tO na vodičích obvodu.

Na primární vstupy lze přivést libovolný vstupní vektor.

Všechny primární výstupy jsou přístupné.

## 5.3 Generování testu:

1. Na základě popisu vstupů a výstupů logického členu se do obvodu vnutí předpokládaná porucha.
2. Postupné vytváření všech možných citlivých cest z místa vzniku poruchy na primárním výstupu. Uvažujeme i šíření několika cestami současně. Odhalování rozporů vlivem nekonvergentního větvení – vyloučení nepoužitelných citlivých cest.
3. Hledání odpovídajícího vstupního vektoru pro získané citlivé cesty = operace konzistence

„D“ splňuje pravidla pro b. proměnnou v booleovské algebře

Šíření D a  $\bar{D}$  přes základní logické členy:

OR	0	1	D	$\bar{D}$	NOT		AND	0	1	D	$\bar{D}$
0	0	1	D	$\bar{D}$	0	1	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	D	$\bar{D}$
D	D	1	D	1	D	$\bar{D}$	D	0	D	D	0
$\bar{D}$	$\bar{D}$	1	1	$\bar{D}$	$\bar{D}$	D	$\bar{D}$	0	$\bar{D}$	0	$\bar{D}$

Operace konzistence – odvození vstupů a zajištění cesty.

$$tO \sim D \rightarrow 1$$

$$tI \sim \bar{D} \rightarrow 0$$

## 6 KAPITOLA - DEFINICE A POUŽITÍ POMOCNÝCH POJMŮ PRO ALGORITMUS D

### 6.1 Singulární pokrytí

Logická funkce  $n$  proměnných

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

vyjádřená pomocí funkce  $n+1$

$$g(x_1, x_2, \dots, x_{n+1})$$

za podmínky

$$g(a_1, a_2, \dots, a_{n+1}) = I \text{ právě tehdy,}$$

$$\text{když } a_{n+1} = f(a_1, a_2, \dots, a_n) = f = - I$$

- O

Množina přímých implikantů funkce představuje ve speciální formě úplný zápis funkce  $f$

*Uspořádání do tabulky*

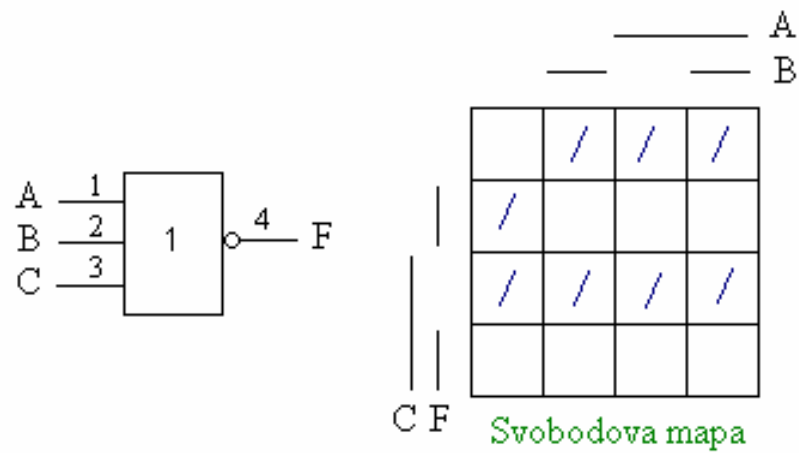
řádky = jednotlivé implikanty

sloupce = odpovídající hodnoty všech proměnných

získáme Singulární pokrytí funkce  $f$

řádky = primitivní krychle funkce  $f$

Příklad:

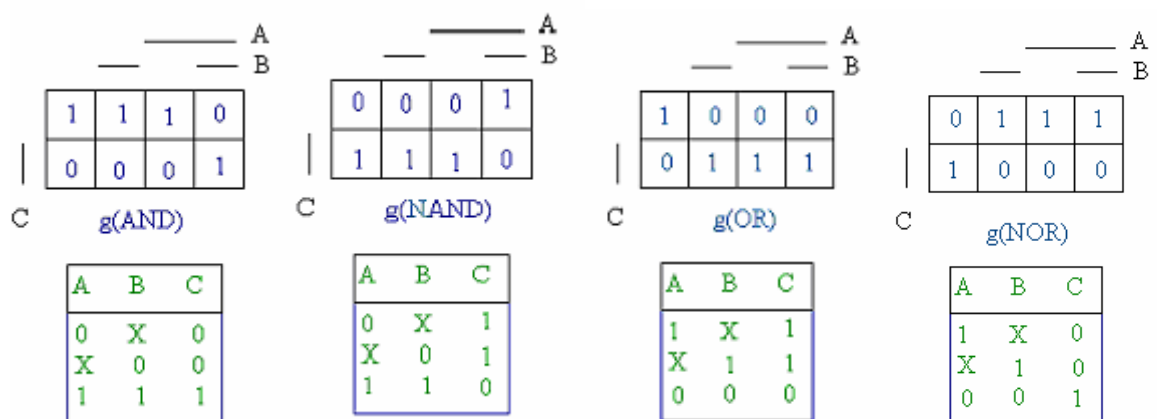


1	2	3	4	
1	X	X	0	}
X	1	X	0	
X	X	1	0	
0	0	0	1	}

Primitivní krychle pro  $\bar{F}$

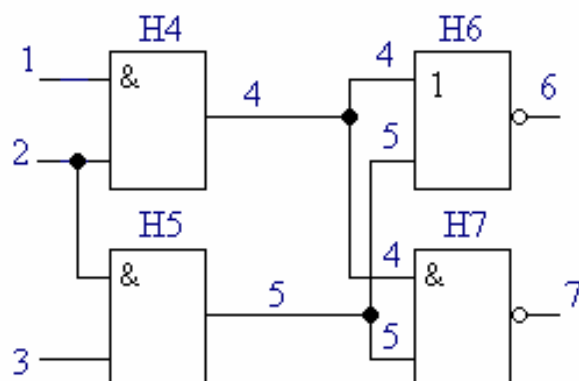
Primitivní krychle pro F

### SINGULÁRNÍ POKRYTÍ



Singulární pokrytí kombinačního obvodu  $\Rightarrow$  sdružením singulárních pokrytí všech členů obvodu do jedné tabulky

Příklad:



	1	2	3	4	5	6	7
H4	1	1		1			
	X	0		0			
	0	X		0			
H5		1	1		0		
		X	0		1		
		0	X		1		
H6				0	0	1	
				X	1	0	
				1	X	0	
H7				1	1		0
				0	X		1
				X	0		1

## 6.2 Přenosová D – krychle

Vektor se složkami z oboru 5 hodnot: 0, 1, X, D,  $\overline{D}$

**Smysl:** Usnadnit výběr vstupních vektorů logického členu a zajištění citlivé cesty pro signál D.

**Postup:**

1. Vycházíme ze singulárního pokrytí
2. Průnik krychlí (řádků) s rozdílnou hodnotou výstupu

Pravidla pro průnik:

$$0 \cap 0 = 0 \cap X = X \cap 0 = 0$$

$$1 \cap 1 = 1 \cap X = X \cap 1 = 1$$

$$X \cap X = X$$

$1 \cap 0 = D$ $0 \cap 1 = \bar{D}$	Průnik není komutativní
-------------------------------------	----------------------------

**6.2.1 Přenosové D-krychle základních logických členů**

AND		
A	B	C
D	1	D
1	D	D

NAND		
A	B	C
D	1	$\bar{D}$
1	D	$\bar{D}$

OR		
A	B	C
D	0	D
0	D	D

NOR		
A	B	C
D	0	$\bar{D}$
0	D	$\bar{D}$

**6.2.2 Vícenásobné přenosové D-krychle**

Použití při zcitlivění většího počtu cest v místě nekonvergence.

Před průnikem krychlí s opačným výstupem vytvoříme průnik dvou a více krychlí (podle požadované násobnosti) se stejným výstupem.

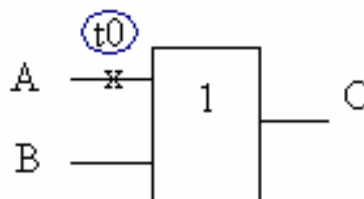
**6.3 Primitivní D-krychle poruchy****Postup:**

1. Sestavit singulární pokrytí poruchového chování logického členu.
2. Pro každý průnik použít jednu krychli bezporuchového a jednu poruchového stavu.
3. Symbol D se smí vyskytovat pouze na výstupní proměnné.

Pro vstupní proměnné platí:  $0 \cap 1 = 1 \cap 0 = 0$

Zajímají nás pouze stejné vstupní vektory poskytující odlišný výstup.

Příklad:



	A	B	C
1	1	X	1
2	X	1	1
3	0	0	0

Bez poruchy

	A	B	C
1	X	1	1
2	X	0	0

Porucha t0  
na A

$$1ř \cap 2ř$$

$$10D$$

Porucha t0 na vodiči A (A/O) detekuje vstupní vektor: AB = 10

Signalizace: C = 1 ... bez poruchy

C = 0 ... PORUCHA

(obecný typ poruchy – zkrat, záměna, implicitní průnik)

## 6.4 Šíření D

Zřetězení přenosových D-krychlí pro následné logické členy

D-průnik ~ operátor  $\hat{D}$

Definice operátoru  $\hat{D}$ :  $\emptyset$  ... prázdno; ND ... nedefinováno

$\hat{D}$	0	1	X	D	$\overline{D}$
0	0	$\emptyset$	0	ND	ND
1	$\emptyset$	1	1	ND	ND
X	0	1	X	D	$\overline{D}$
D	ND	ND	D	SP1	SP2
$\overline{D}$	ND	ND	$\overline{D}$	SP2	SP1

Pravidla aplikace operátoru  $\hat{D}$ :

1. a  $\hat{D}b - \emptyset$

- ND

D-průnik neexistuje

2. Ve výsledném D-průniku obsazeno v jedné a více proměnných SP1, ale žádný SP2  
 $\Rightarrow D\hat{D}D = \bar{D}$ .

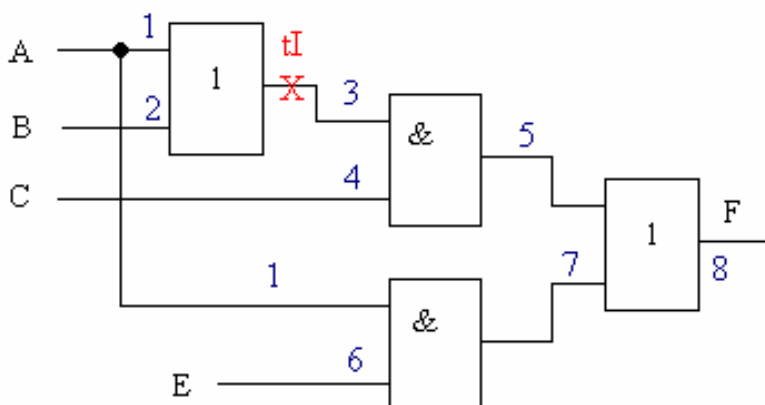
3. Jedna a více proměnných SP2, ale žádný SP1, pak provedeme v B  $D \rightarrow \bar{D}$  a  $\bar{D} \rightarrow D$   
 dále dle 2.

4. Současný výskyt SP1, SP2  $\Rightarrow$  neexistuje D-průnik.

5. Neexistuje-li D-průnik, cesta blokována  $\rightarrow$  volit jiné přenosové D-krychle.

## 6.5 Odvození jednoho kroku testu

Příklad:





1. Odvození primitivní D-krychle poruchy
2. Šíření D z místa poruchy na primární výstup
3. Konzistence

	1	2	3	4	5	6	7	8
S1	1	X	1					
S2	X	1	1					
S3	0	0	0					
S4			0	X	0			
S5			X	0	0			
S6			1	1	1			
S7	0					X	0	
S8	X					0	0	
S9	1					1	1	
S10					1		X	1
S11					X		1	1
S12					0		0	0

	1	2	3	4	5	6	7	8
d1	D	0	D					
d2	0	D	D					
d3			D	1	D			
d4			1	D	D			
d5	D						1	D
d6	1						D	D
d7					D		0	D
d8					0		D	D

Testovací krychle vektor

Průniky	1	2	3	4	5	6	7	8	Aktivity	Fáze
$t_c^0$	0	0	$\bar{D}$						3	Zcitlivění cesty
$t_c^1 = t_c^0 \bar{D} d3$	0	0	$\bar{D}$	1	$\bar{D}$				5	
$t_c^2 = t_c^1 \bar{D} d7$	0	0	$\bar{D}$	1	$\bar{D}$		0	$\bar{D}$	8	
$t_c^3 = t_c^2 \bar{D} s7$	0	0	$\bar{D}$	1	$\bar{D}$	X	0	$\bar{D}$		Konzistence

Testovací krychle  $t_c$  (test cube)

$t_c^0$  = primitivní D-krychle poruchy

Vektor aktivity : ABCE = 001X

$$F = 0$$

## 6.6 Kritika D-algoritmu a modifikace

### 6.6.1 Slabá místa D-algoritmu

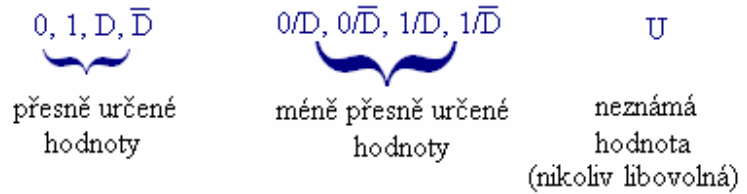
Mechanické provádění operace konzistence (nebere ohled na topologii obvodu)

Přiřazené konkrétní hodnoty signálů vedou často k rozporům (konflikty mezi původně přidělenými a nově navrhovanými hodnotami)

## 6.6.2 Zdokonalující modifikace

### 6.6.2.1 Algoritmus 9V

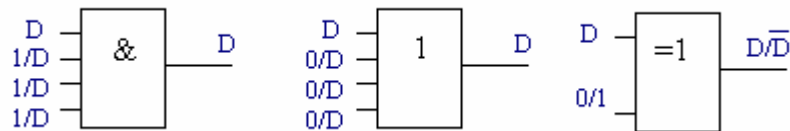
Využívá 9 hodnot



Citlivá cesta se buduje

„opatrně“, tzn. na počátku všechny hodnoty  $U$ , pak tzv. zcitlivující hodnoty.

Příklad:



### 6.6.2.2 Algoritmus PODEM (Path Oriented DEcision Making)

Implikace vzad

### 6.6.2.3 Algoritmus FAN (Fujiwara 1983)

V každém kroku implikace vpřed i vzad  $\rightarrow$  3x rychlejší než PODEM, 6x rychlejší než D-algoritmus.

## 7 KAPITOLA – FUNKČNÍ TESTY

### 7.1 Boolovská diference

Vychází z funkce realizované obvodem

Algebraická metoda

Boolův diferenciální počet

Rozdílová funkce s hodnotou:

1 ... při změně výstupu vlivem poruchy

0 ... při shodných výstupech

### 7.2 Obecná definice

$$\frac{dF(x)}{dx_i} = F(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n) \oplus F(x_1, x_2, \dots, \bar{x}_i, \dots, x_n)$$

#### 7.2.1 Odvození Boolovské diference

Z mapy logických funkcí

Algebraická metoda (univerzální)

### 7.3 Grafické a algebraické postupy

#### 7.3.1 Mapa

$$F = A\bar{B} + AC + CD$$

$\frac{dF}{dA}$	<table style="border-collapse: collapse; width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	$\begin{matrix} B \\ C \\ D \end{matrix}$		$\frac{dF}{dB}$	<table style="border-collapse: collapse; width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	$\begin{matrix} A \\ C \\ D \end{matrix}$
0	0	0	1	0	0	0	1																															
1	1	1	1	0	0	1	1																															
0	0	0	1	1	1	1	1																															
0	0	0	1	0	0	1	1																															
A	1	1	1	0	0	0	1	0		B	0	0	0	0	1	1	0	0																				
$\frac{dF}{dC}$	<table style="border-collapse: collapse; width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	$\begin{matrix} A \\ B \\ D \end{matrix}$		$\frac{dF}{dD}$	<table style="border-collapse: collapse; width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	$\begin{matrix} A \\ B \\ C \end{matrix}$
0	0	0	0	1	1	0	0																															
0	1	0	1	1	1	1	1																															
0	0	0	0	1	1	0	1																															
0	1	0	1	1	1	0	1																															
C	0	1	0	1	0	0	1	1		D	0	1	0	1	0	0	0	0																				

### 7.3.2 Algebraický výpočet

Ze symetričnosti operace nonekvivalence

$$\frac{dF(x)}{dx_i} = \frac{d\overline{F(x)}}{dx_i}$$

$$\frac{dF(x)}{dx_i} = \frac{d\overline{F(x)}}{dx_i}$$

Pro diferenci logického součinu a součtu

$$\frac{d[F(x) \cdot G(x)]}{dx_i} = F(x) \frac{dG(x)}{dx_i} \oplus G(x) \frac{dF(x)}{dx_i} \oplus \frac{dF(x)}{dx_i} \frac{dG(x)}{dx_i}$$

$$\frac{d[F(x) + G(x)]}{dx_i} = \overline{F(x)} \frac{dG(x)}{dx_i} \oplus \overline{G(x)} \frac{dF(x)}{dx_i} \oplus \frac{dF(x)}{dx_i} \frac{dG(x)}{dx_i}$$

Pokud funkce K není závislá na  $x_i$ , pak

$$\frac{d[F(x) \cdot K]}{dx_i} = K \frac{dF(x)}{dx_i}$$

$$\frac{d[F(x) + K]}{dx_i} = \overline{K} \frac{dF(x)}{dx_i}$$

Vystačíme si s nimi pro všechny unární funkce

Nonekvivalence, jako jediná funkce zůstane operací boolovské diference zachována

$$\frac{d[F(x) \oplus G(x)]}{dx_i} = \frac{dF(x)}{dx_i} \oplus \frac{dG(x)}{dx_i}$$

V případě konstanty vzhledem k  $x_i$

$$\frac{d[F(x) \oplus K]}{dx_i} = \frac{dF(x)}{dx_i}$$

## 7.4 Použití Boolovské diference

Jednotkové vrcholy odpovídající vstupním vektorům, pro něž existuje citlivá cesta ze vstupní proměnné  $x_i$  na výstup  $F$  (Hodnota  $F$  se při změně hodnoty  $x_i$  mění!)

7.4.1.1 Formální zápis nalezení všech vektorů:

$$\frac{dF(x)}{dx_i} = 1$$

- 1) Nemá-li rovnice řešení  $\Rightarrow$  Výstup je na hodnotě  $x_i$  nezávislý!  $\Rightarrow$  vstupní proměnná  $x_i$  je **redundantní** a její poruchu **nelze detekovat**.
- 2) Má-li rovnice řešení  $\Rightarrow$  citlivá cesta z  $x_i$  na  $F$  existuje **vždy** a nelze ji zablokovat žádnou změnou hodnot ostatních proměnných.

Všechny kroky detekující poruchu **t0** na vstupu  $x_i$  najdeme jako řešení rovnice:

$$x_i \cdot \frac{dF(x)}{dx_i} = 1$$

**t1** na vstupu  $x_i$  najdeme jako řešení rovnice:

$$\bar{x}_i \cdot \frac{dF(x)}{dx_i} = 1$$

#### 7.4.1.2 Praktické doporučení pro binární funkce

Rozložit do výhodnějšího tvaru:

$$F = K + x_i K_I + \bar{x}_i K_O$$

$K, K_I, K_O \dots$  funkce nezávislé na  $x_i$

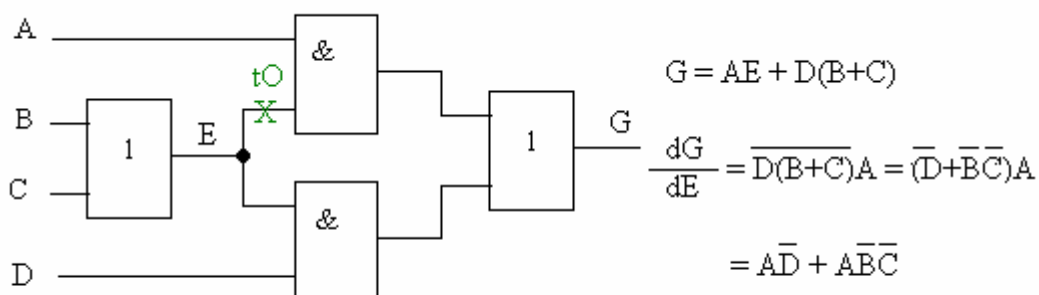
$$\frac{dF}{dx_i} = \bar{K}(K_I \oplus K_O)$$

## 7.5 Detekce poruch na vnitřních vodičích

Boolovskou diferenci možno použít pro sestavení strukturních testů obvodů se známým zapojením:

- Zavedení pomocné proměnné
- Výpočet boolovské diferenciální výstupní funkce podle pomocné proměnné
- Vynásobení vektorem pro potřebnou hodnotu pomocné proměnné

Příklad:



Test t0 na E při  $E = 1 \dots B+C = 1$

$$(B+C) \frac{dG}{dE} = (B+C)(\bar{A}\bar{D} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}) = AB\bar{D} + ACD\bar{B}$$

$$ABCD = 11X0 \cdot 1X10$$

## 7.6 Boolovská diference vyšších řádů

Generování testů pro několikanásobné poruchy.

současný výskyt:

$$\frac{d^2 F(x)}{dx_i dx_j} = F(x_1, \dots, x_i, \dots, x_j, \dots, x_n) \oplus F(x_1, \dots, \overline{x_i}, \dots, \overline{x_j}, \dots, x_n)$$

současně i jednotlivě:

$$\frac{dF(x)}{d(x_i + x_j)} = \frac{dF(x)}{d(x_i \oplus x_j)} + \frac{dF(x)}{d(x_i x_j)}$$

## 7.7 Tabulky úplných testů

Diagnostické moduly – modulární makrostruktura

- Rozčlenění obvodu do modulů
- Sestavení TÚT pro jednotlivé moduly
- Zřetězení testů modulů

Problémy:

- Testy modulů sestaveny nezávisle
- Sekvenční chování jednotlivých modulů
- Větvení signálů mezi moduly

### 7.7.1 Náhodné a pseudonáhodné testy

1. Náhodný generátor testu – generování, vyhodnocování simulací → požadované pokrytí.
2. Použití pseudonáhodných generátorů v reálném čase – komparační test, pokrytí se dosahuje pomocí statistických metod

Náhodný děj: NEREPRODUKOVATELNÝ

Pseudonáhodný děj: deterministický konvergentně (generátory náhodných čísel)

Použití v reálném čase, tj. během testování a pokaždé znovu.

Správné odezvy předem neznáme = diagnostické pokrytí nelze ověřovat simulací. Pokrytí poruch se určuje pomocí STATISTICKÝCH METOD.

1. Známe vlastnosti použitého generátoru  $\Rightarrow$  pravděpodobnost výskytu jednotlivých vektorů.
2. Určení délky náhodného testu  $L$  zaručující, že pravděpodobnost detekce všech poruch v obvodu bude  $>$  než určitá mezní hodnota.
3. Namísto diagnostického pokrytí se u náhodných testů určuje pravděpodobnost, že žádná z poruch nebude zanedbána.

Kvalita detekce poruch!

Doplňkem je pravděpodobnost neúplné detekce  $q_D$ :

Vychází z pravděpodobnosti detekce nejobtížněji detekovatelné poruchy  $x \rightarrow p_x$

$$q_D = (1 - p_x)^L$$
$$L = \frac{\log q_D}{\log(1 - p_x)}$$

Předpokládaný počet vektorů pro detekci poruchy  $x$  je  $dx$ ; pro obvod s  $n$  vstupy platí:

$$p_x = \frac{dx}{2^n}$$

V praxi: Vážené náhodné testy (pravděpodobnost výskytu 0 a 1 na jedn. Vstupech je různá podle struktury obvodu)

Pseudotriviální testy (náhodně generovaná posloupnost je omezená na podm. vstupu)

## 8 KAPITOLA - TESTOVÁNÍ SEKVENČNÍCH OBVDŮ

Vyšší složitost přípravy testů ve srovnání s kombinačními obvody:

- Přítomnost paměťových členů
- Nutnost nastavit předem požadovaný vnitřní stav obvodu
- Test pro zadanou poruchu nelze odbýt jedním krokem – řada kroků s pevně definovaným pořadím
- Zpoždění projevu poruchy na výstupu o celou řadu taktů
- Vstupuje hledisko časování

Z hlediska požadavků praxe zatím univerzálně nerozřešeno.

Složité metody pro omezené skupiny obvodů: malý rozsah zapojení

typ zapojení

způsob řízení

Testy FUNKČNÍ - identifikační metody

- jazyky vyšší úrovně

STRUKTURNÍ

### 8.1 Identifikační metody

**Základní myšlenka:** Změna chování vlivem poruchy → vznik jiného sekvenčního obvodu.

- Především teoretický význam
- Pochopení principů a zákonitostí testování obvodů s pamětí
- Nezahrnuje redundantní část obvodu

**Předpoklad:** V původní tabulce stavů může vzniknout v důsledku poruchy jakákoliv změna.

*Kontrolní posloupnost* – pro každý poruchový obvod vyvolá odlišnou odezvu alespoň v jednom kroku. Úplný detekční univerzální test sekvenčního obvodu s podmínkou zachování počtu vnitřních stavů.

V praxi – zvětšení počtu stavů vlivem zkratů

*Rozlišovací posloupnost* – posloupnost vstupních kombinací, která vede ke vzniku odlišné výstupní posloupnosti pro každý počáteční stav, v němž je aplikována.



*Rozlišovací strom* – sestavení rozlišné posloupnosti

*Synchronizační posloupnost* – převedení automatu do předem určeného stavu (nemusí vždy existovat)

*Nastavovací posloupnost* – převedení automatu do stavu, který dokážeme identifikovat podle výstupní posloupnosti → odtud do výchozího stavu testu dle tabulky přechodů.

## 8.2 Princip použití jazyků vyšší úrovně

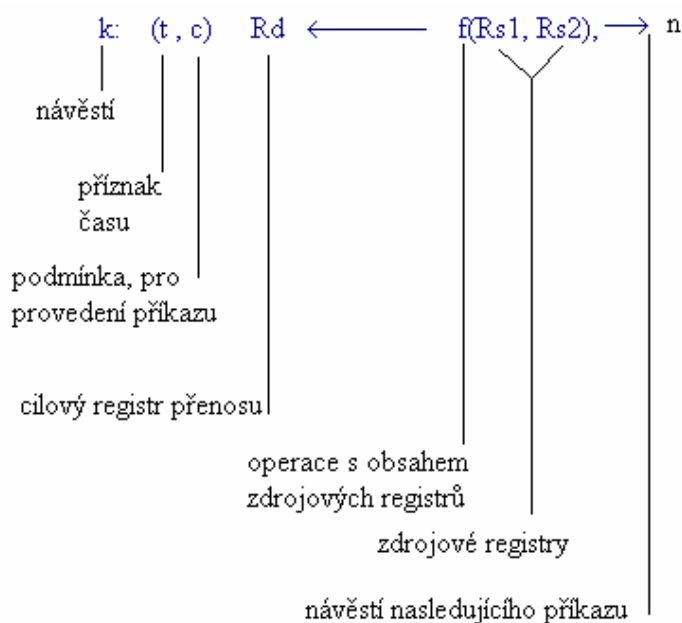
Složitější obvody se již nepopisují tabulkou přechodů.

Popis na úrovni přenosů mezi registry – úroveň RT, RTL (Register Transfer Level)

Popis užívá i další funkční bloky – střadače, čítače, SR, ALU... Vytváření makrostruktur.

Činnost popisovaného systému → posloupnost příkazů.

Příklad zápisu:



Reprezentace poruch: chybová modifikace příkazu.

k: příkaz se nenajde, případně duplicita

f: jiná operace nebo chybně

t: provedení v nesprávném čase nebo vůbec

n: skok na jiné návěstí či vůbec

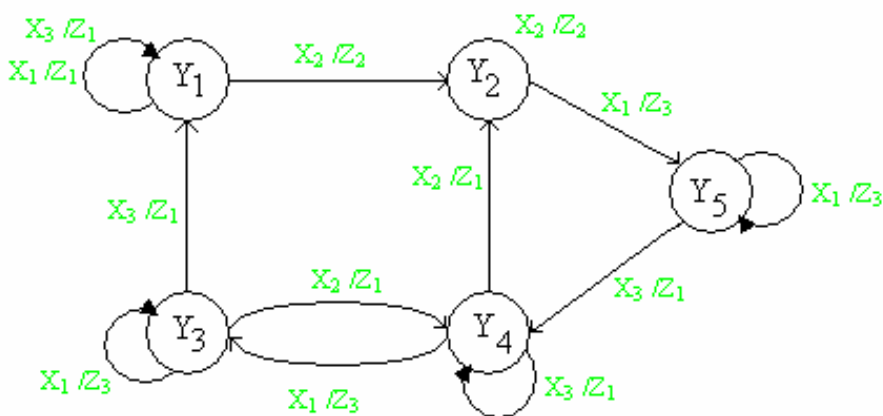
c: provedení příkazu při jiné podmínce nebo vůbec

R: jiný registr nebo změna obsahu

Tabulka stavů (přechodů):

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub> , Z <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub> , Z <sub>2</sub>	Y <sub>1</sub> , Z <sub>1</sub>
Y <sub>2</sub>	Y <sub>5</sub> , Z <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> , Z <sub>2</sub>	
Y <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub> , Z <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub> , Z <sub>1</sub>	Y <sub>4</sub> , Z <sub>1</sub>
Y <sub>4</sub>	Y <sub>3</sub> , Z <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> , Z <sub>1</sub>	Y <sub>4</sub> , Z <sub>1</sub>
Y <sub>5</sub>	Y <sub>5</sub> , Z <sub>3</sub>		Y <sub>4</sub> , Z <sub>1</sub>

Graf přechodů:



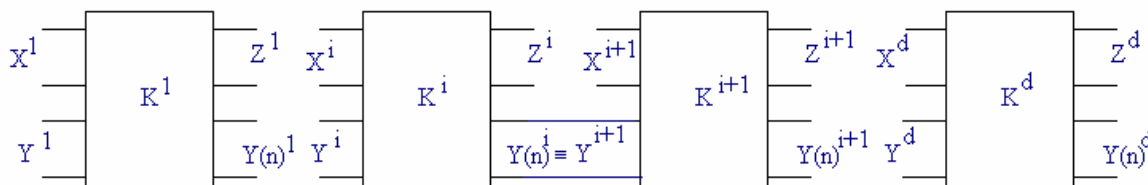
Moorův automat

$$Z(t) = \lambda[Y(t)]$$

Mealy automat

$$Z(t) = \lambda[X(t), Y(t)]$$

Transformace sekvenčního obvodu na iterativní kombinační obvod



+ rozčlenění na jednodušší moduly

+ detekce zaměřena na změnu chování

+ ověřování diagnostického pokrytí – simulace a injekce poruch na funkční úrovni

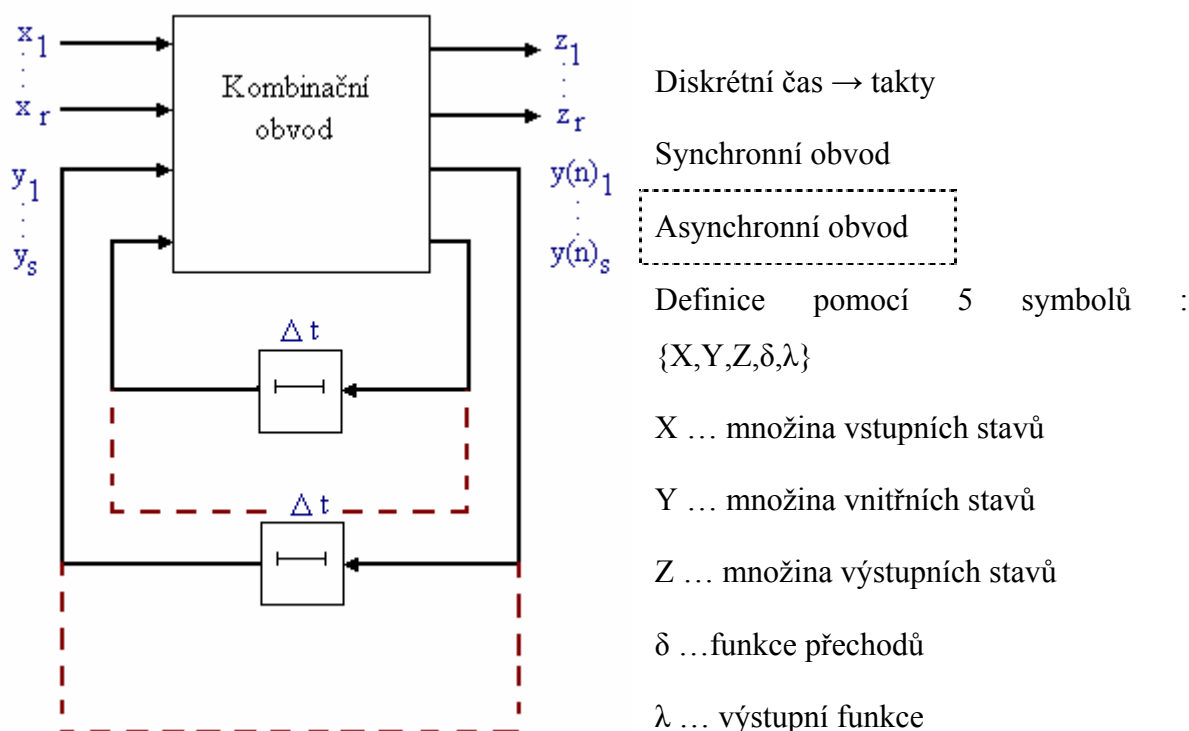
### 8.3 Strukturní metody

Transformace sekvenčního obvodu na kombinační

PRAKTICKY – rozpojováním zpětných vazeb

TEORETICKY - experimentem při generování testu a poté aplikace na skutečný obvod

Hoffmanův model sekvenčního obvodu:



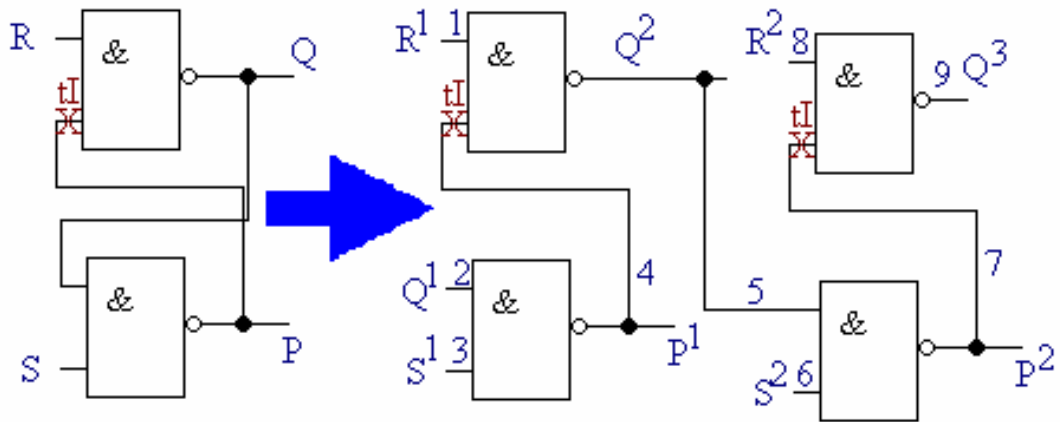
Horní index – požadované číslo kopie obvodu a současně číslo taktu pro zobrazení hodnoty.

Počet primárních vstupů a výstupů odpovídá původnímu obvodu.

Při vytváření citlivé cesty na některý z výstupů může pro různé poruchy vzniknout různě dlouhá kaskáda.

Každý stupeň kaskády odpovídá jednomu taktu sekvenčního obvodu.

Příklad: Porucha tI v obvodu RS



Výchozí vnitřní stav = X

	R	S	P	Q
1	0	X	X	X
2	1	1	0	1

Zcitlivění cesty: 0 na  $P^1$ , pomocí  $Q^1 = S^1 = 1 \rightarrow$  nelze splnit, neboť  $Q^1 = X$

0 na  $P^2$ , pomocí  $Q^2 = S^2 = 1$

$S^2$  : vnější vstup

$Q^2 = 1$  pomocí  $R^1 = 0$ ,  $P^1, Q^1, S^1 = X$

pro zcitlivění cesty  $P^2 \dots Q^3$   $R^2 = 1$

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- 1) MELICHAR B. : Textové informační systémy, ČVUT Praha, 1996
- 2) MOLNÁR Z. : Moderní metody řízení informačních systémů, Grada, 1992
- 3) KOCOUREK P. : Přenos informace, ČVUT Praha, 1994
- 4) POKORNÝ J. : Spolupráce aplikací MS Office, Kopp, 1997
- 5) SOBOTA B. : Grafické formáty, Kopp, 1996
- 6) Fólie Ing. P. Neumanna, Ph. D.

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1	<i>Závislost zisku na překročení rozpočtu a termínu uvedení na trh</i> .....	9
Obr. 2	<i>Úroveň defektů jako funkce výtěžnosti a stupně pokrytí poruch</i> .....	9
Obr. 3	<i>Trend nákladů na testování</i> .....	9
Obr. 4	<i>Ilustrace pravidla o nárůstu nákladů při pozdějším zjištění závady</i> .....	10
Obr. 5	<i>Ilustrace podílu hlavních skupin závad na celkovém počtu závad</i> .....	11
Obr. 6	<i>Ilustrace možnosti připojení kontaktu u testeru</i> .....	12
Obr. 7	<i>Ilustrace rozdílu mezi tradiční technologií montáže součástek (THT) a technologií povrchové montáže</i> .....	13
Obr. 8	<i>Ilustrace problému "skrytého" kontaktního uzlu nepřístupného pro kontaktní jehlu testeru</i> .....	14
Obr. 9	<i>Ilustrace "nezjistitelné" závady</i> .....	15
Obr. 10	<i>Hlavní problémy testování desek osazených technologií povrchové montáže</i> .....	16
Obr. 11	<i>Srovnání metody testování závad způsobených samotnou montáží (MDA) a metody diagnostického buzení obvodu</i> .....	17
Obr. 12	<i>Srovnání nároku na jednoduchý test funkčnosti (Go-Nogo) a test zaměřený na diagnostiku závad</i> .....	18