

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>ZÁKLADY HLEDÁNÍ PORUCH</b> .....	<b>15</b>
2.1	ZÁKLADNÍ ODBORNÉ POJMY .....	15
2.2	PŘÍČINY CHYB, MECHANISMY CHYB A MODELY CHYB .....	17
2.2.1	<i>Příčiny chyb ve vývoji a v servisu</i> .....	17
	Příčiny chyb ve vývoji .....	17
	Příčiny poruch v servisu .....	22
2.2.2	<i>Chybové mechanismy a chybové hypotézy</i> .....	24
	Chybové mechanismy v polovodičích .....	25
	Chybové mechanismy v zařízeních nebo funkčních jednotkách .....	31
	Chybové mechanismy podmíněné prostředím .....	31
2.2.3	<i>Modely chyb</i> .....	32
2.3	TESTOVACÍ A DIAGNOSTICKÉ PRINCIPY .....	34
2.3.1	<i>Testovací a zkušební postupy</i> .....	34
2.3.2	<i>Kritéria kvality zkušebního postupu</i> .....	35
2.3.3	<i>Úrovně testování, rozsah testování, tvrdost testů</i> .....	37
	Stav techniky .....	42
	Neúplnost při testování .....	50
	Příčiny nedostatečné tvrdosti testu, popřípadě nedostatečného pokrytí ....	52
2.3.4	<i>Návrh systému z hlediska testování a servisu</i> .....	54
2.4	ROZPOZNÁVÁNÍ PORUCH (VERIFIKACE) .....	61
2.4.1	<i>Pozorování a sledování normálních průběhů</i> .....	61
2.4.2	<i>Sledování diagnostických průběhů</i> .....	61
2.4.3	<i>Rozpoznávání přechodných poruch (krátkodobých výpadků)</i> .....	64
2.4.4	<i>Zahořovací testy (burn-in-tests)</i> .....	65
2.5	LOKALIZACE PORUCH .....	66
2.5.1	<i>Strategie hledání poruch</i> .....	66
2.5.2	<i>Logické uvažování při hledání poruch</i> .....	66
2.5.3	<i>Sledování průběhu nebo sledu signálů</i> .....	69
	Časové poměry při testování .....	70
	Metody sledování signálů .....	70
	Jmenovité chování .....	76
	Jednoduché příklady .....	76
	Latentní poruchy a sledování signálů .....	80
	Zpětná vazba v průbězích signálu .....	80
2.5.4	<i>Sledování signálu při neúplné dokumentaci</i> .....	83
2.5.5	<i>Principy brokovnice (shotgun principles)</i> .....	84
2.6	VYMĚŇOVAT NEBO MĚŘIT? .....	84

2.7	„OBRÁCENÁ“ VÝMĚNNÁ METODA: TESTERY A REFERENČNÍ ZAŘÍZENÍ (MASTER MACHINE) .....	87
2.7.1	<i>Testery, simulátory a testovací pomůcky</i> .....	88
2.7.2	<i>Referenční zařízení (master machines)</i> .....	89
2.8	DIFERENČNÍ DIAGNOSTIKA .....	90

### **3 VESTAVĚNÉ PROSTŘEDKY PRO TESTOVÁNÍ A HLEDÁNÍ PORUCH ..... 91**

3.1	Přehled .....	91
3.2	Rozpoznávání poruch on line .....	94
3.2.1	Zdvojování (dvojnásobná redundance) .....	94
	Princip Master – Checker (hlavní zapojení – kontrolní zapojení) .....	95
	Hledání poruch u dvojnásobné redundance .....	95
3.2.2	<i>Kontrola paritou</i> .....	99
	Obvody pro kontrolu parity na paralelních informačních vedeních .....	100
	Účinnost kontroly paritou .....	104
3.2.3	<i>Kontrolní kódy CRC</i> .....	106
	Účinnost kontroly CRC .....	108
	Cyklické kódy jako základ komprese testových dat .....	110
3.2.4	<i>Časové kontroly a měření času</i> .....	110
	Metody kontroly časů .....	110
	Měření času .....	114
	Obvody pro kontrolu a měření času .....	115
	Testování prvků pro kontrolu a měření času .....	126
3.2.5	<i>Další testy plauzibility</i> .....	128
3.2.6	<i>Hlídní podmínky prostředí a provozních podmínek</i> .....	130
	Minimální technické požadavky .....	131
	Základní zapojení .....	133
	Kontrola napětí .....	135
	Kontrola teploty .....	139
	Ochrana před krádeží a sabotáží .....	140
	Příklad hlídacích integrovaného obvodu .....	140
3.2.7	<i>Ochranná opatření</i> .....	142
3.3	POZOROVATELNOST A DOSAŽITELNOST .....	143
3.3.1	<i>Nejjednodušší formy přístupnosti</i> .....	143
3.3.2	<i>Testovací rozhraní</i> .....	147
3.3.3	<i>Dotazovací čili serializační princip</i> .....	148
3.3.4	<i>Adresovací čili deserializační princip</i> .....	152
3.3.5	<i>Posuvná čili skenovací metoda</i> .....	156
	Princip .....	156
	Level Sensitive Scan Design (LSSD) .....	157
	Skenování s náhodným přístupem (Random Access Scan) .....	160
	Scan/Set Princip .....	161
	Boundary Scan .....	161

3.3.6	<i>Pozorovatelnost a dosažitelnost ve vlastních konstrukcích</i> .....	169
3.4	<b>VESTAVĚNÉ AUTOTESTOVACÍ A JINÉ TESTOVACÍ PROSTŘEDKY</b> .....	170
3.4.1	<i>Autotestovací prostředky</i> .....	170
3.4.2	<i>Pseudonáhodné testy</i> .....	171
3.4.3	<i>Sběrnice s vysokou impedancí</i> .....	173
3.4.4	<i>Strom z logických členů NAND</i> .....	173
3.4.5	<i>Testovací prostředky v programovatelné logice</i> .....	175
3.4.6	<i>Hlídací a testovací prostředky ve výkonových zapojeních</i> .....	176
<b>4</b>	<b>TECHNIKA MĚŘENÍ A TESTOVÁNÍ</b> .....	<b>179</b>
4.1	<b>ZÁKLADY</b> .....	179
4.1.1	<i>K volbě měřicích a testovacích přístrojů</i> .....	179
4.1.2	<i>Základní technická data</i> .....	180
4.1.3	<i>Chyby měření, citlivost, rozlišovací schopnost</i> .....	182
	Chyby (neurčitosti) měření .....	182
	Citlivost .....	185
	Rozlišovací schopnost .....	185
	Volba přístroje .....	186
	Chyby podmíněné měřicím uspořádáním .....	187
	Cejchování/kalibrace .....	188
4.2	<b>MĚŘENÍ ZÁKLADNÍCH ELEKTRICKÝCH VELIČIN</b> .....	188
4.2.1	<i>Měřicí přístroje pro napětí a proud</i> .....	188
	Analogové měřicí přístroje .....	188
	Číslicové měřicí přístroje .....	193
4.2.2	<i>Měření napětí</i> .....	195
	Praktická zapojení .....	200
	Napájení číslicových přístrojů .....	201
	Problémy s rušením u stejnosměrných měření .....	203
	Přesnější měření napětí: měření proti zvýšenému napětí (zvednutí) .....	204
	Měření vysokého napětí .....	205
4.2.3	<i>Měření proudu</i> .....	207
	Měření proudu bez rozpojení .....	210
	Otázky z praxe .....	212
	Měření napětí na nízkohmových odporech: čtyřdrátové připojení (Kelvin sensing) .....	215
4.2.4	<i>Současné měření proudu a napětí</i> .....	216
4.2.5	<i>Měření odporu</i> .....	216
	Určování odporu z proudu a napětí .....	217
	Přímo ukazující měřiče odporu (ohmmetry) .....	217
	Přesné měření odporů .....	219
	Určení vnitřního odporu měřicího přístroje .....	220
4.2.6	<i>Měření výkonu</i> .....	221
4.2.7	<i>Kompenzační metody měření</i> .....	221

4.2.8	<i>Měření střídavých veličin</i> .....	224
	Měření napětí a proudu .....	224
	Měření výkonu .....	226
4.2.9	<i>Měřicí můstky</i> .....	228
4.2.10	<i>Měření frekvence</i> .....	229
4.2.11	<i>Analogové stimuly</i> .....	231
	Zdroje stejnosměrného napětí .....	231
	Síťové napájecí zdroje a (laboratorní) síťové napájecí přístroje .....	231
	Zátěže .....	236
4.3	<b>OSCILOSKOPY</b> .....	240
4.3.1	<i>Běžný (analogový) osciloskop</i> .....	240
	Konstrukce .....	240
	Přehled funkčních jednotek .....	242
	Paměťové osciloskopy .....	248
4.3.2	<i>Digitální paměťový osciloskop (DSO)</i> .....	248
	Konstrukce .....	248
	Základy vzorkování signálu .....	250
	Elementární souvislosti v časové oblasti .....	254
	Rozpoznávání špičkových hodnot .....	260
	Metody vzorkování .....	264
4.3.3	<i>Charakteristické hodnoty</i> .....	266
	Všeobecné charakteristiky .....	266
	Charakteristické hodnoty digitálních paměťových osciloskopů .....	272
4.3.4	<i>Volba a testování osciloskopů</i> .....	275
	Analogový nebo digitální? .....	275
	Co nám osciloskop ukáže .....	278
	Testování osciloskopů .....	281
	Testovací zapojení .....	282
	Příklady měření .....	286
4.3.5	<i>Měřicí praxe</i> .....	293
	Základní nastavení .....	293
	Pracovní režimy (1) Režim Y-t (zobrazení časového průběhu signálu) ...	295
	Pracovní režimy (2): režim X-Y .....	299
	Různé praktické rady .....	302
	Spouštění .....	306
	Režimy spouštění .....	306
	Volba zdroje spouštěcího signálu .....	307
	Připojení signálu .....	310
	Zvláštnosti .....	315
	Adaptace .....	316
4.4	<b>TESTOVÁNÍ V ČÍSLICOVÉ (DIGITÁLNÍ) TECHNICE</b> .....	321
4.4.1	<i>Základy</i> .....	321
	Analogové a digitální testování .....	321
	Adaptace .....	323
	Příprava stimulu .....	334
4.4.2	<i>Logický analyzátor</i> .....	346
	Přehled funkčních jednotek .....	347

	Metody záznamu .....	349
	Základy zachycování binárních signálů .....	350
	Spouštění .....	356
	K praktickému používání .....	361
4.4.3	<i>Příznaková analýza</i> .....	364
	Příznakový analyzátor .....	364
	Příznaková analýza jako vestavěný autotestovací prostředek .....	368
	Komprese testových dat pomocí příznaků .....	372
4.4.4	<i>Prokazování událostí a spouštění</i> .....	373
	Další příklady zapojení pro sekvenční analýzu .....	379
4.4.5	<i>Čítání a čítače</i> .....	392

## **5 ÚVOD DO PRAXE TESTOVÁNÍ A HLEDÁNÍ CHYB ..... 403**

5.1	TESTOVÁNÍ SOUČÁSTEK .....	403
5.1.1	<i>Testovací metody a prostředky</i> .....	403
5.1.2	<i>Testování v zapojení</i> .....	404
	Očividné příznaky chyb .....	404
	Sledování signálu .....	405
	Dva triky pro hledání chyb .....	407
	Testy „in-circuit“ .....	409
	Ruční testování v zapojení .....	414
	Porovnávací testování .....	420
5.1.3	<i>Testovací normály</i> .....	421
5.1.4	<i>Přízpůsobení pro měření (adaptace)</i> .....	427
	Propojovací prvky a kabely .....	427
	Adaptace součástek v zapojení (vytvoření kontaktu pro měření) .....	432
	Adaptace jednotlivých součástek .....	438
5.1.5	<i>Pasivní součástky</i> .....	442
5.1.6	<i>Tranzistory</i> .....	451
5.1.7	<i>Integrované obvody</i> .....	455
5.2	TESTOVÁNÍ NAPÁJENÍ .....	460
5.2.1	<i>Měření na rozvodné síti 230 V</i> .....	460
	Síťová instalace .....	460
	Napětí a proudy u síťového připojení .....	461
	Připojení sítě .....	468
	Měření napětí a proudu .....	481
	Měření osciloskopem .....	485
	Síťový měřicí adaptér .....	487
	Prokazování síťového rušení .....	493
	Testování bezpečnostních opatření .....	496
5.2.2	<i>Testování síťových napájecích zdrojů</i> .....	498
	Testovací úlohy .....	504
5.2.3	<i>Baterie, akumulátory a jimi napájená zařízení</i> .....	507
	Testování nabíječek .....	510

5.3	TESTOVÁNÍ KABELŮ .....	512
5.3.1	<i>Testování průchodnosti (propojení) a zkratů .....</i>	512
	Ruční testování .....	512
	Automatické testování kabelů .....	515
	Testování kabelů střídavým napětím .....	517
	Dvojice vodičů zapojené do kříže (split pairs) .....	518
5.3.2	<i>Identifikace kabelů .....</i>	518
5.3.3	<i>Oční diagram (eye pattern) .....</i>	523
5.3.4	<i>Reflexní testování (time domain reflectometry, TDR) .....</i>	527
5.4	HLEDÁNÍ CHYB NA DESKÁCH PLOŠNÝCH SPOJŮ .....	531
5.4.1	<i>Obvyklé chyby na deskách plošných spojů .....</i>	531
5.4.2	<i>Hledání poruch ve stavu bez napájení .....</i>	533
5.4.3	<i>Hledání chyb za provozu .....</i>	537
	Hledání chyb sledováním signálu .....	537
	Hledání chyb pomocí in-circuit testu .....	538
5.5	HLEDÁNÍ CHYB V DIGITÁLNÍCH ZAPOJENÍCH .....	542
5.5.1	<i>Testy plauzibility .....</i>	542
5.5.2	<i>Sledování signálů .....</i>	547
	Praktické problémy se sledováním signálů .....	551
	Poruchy nulování (reset) .....	556
	Hodinové generátory .....	557
5.5.3	<i>Hledání poruch na sběrníkových systémech .....</i>	557

## **DODATKY ..... 561**

DODATEK 1.	OPATŘENÍ PROTI VÝBOJŮM ELEKTROSTATICKÉHO NÁBOJE (ESD) .....	561
DODATEK 2.	BEZPEČNOST PRÁCE .....	563
DODATEK 3.	PLOVOUCÍ ZEM .....	564
DODATEK 4.	ÚROVNĚ SIGNÁLŮ A HRANY SIGNÁLŮ .....	566
DODATEK 5.	CHARAKTERISTIKY STŘÍDAVÉHO PROUDU .....	569
DODATEK 6.	POSUVNÉ REGISTRY SE ZPĚTNOU VAZBOU .....	573
DODATEK 7.	ZÍSKÁVÁNÍ INFORMACÍ POMOCÍ ON-LINE SYSTÉMŮ .....	584
DODATEK 8.	ODKAZY NA LITERATURU .....	587

## **REJSTRÍK ..... 591**