

HLEDÁNÍ A ODSTRAŇOVÁNÍ PORUCH

Wolfgang Matthes

HLEDÁNÍ A ODSTRAŇOVÁNÍ PORUCH

Měření a testování v počítačové a číslicové technice

české vydání 2001

Příspěvky uveřejněné v této knize, zejména všechny články a návrhy, plány, výkresy a ilustrace jsou autorsky chráněny. Jejich rozmnožování a rozšiřování, byť částečné, je zásadně povoleno jen s písemným souhlasem vydavatele.

Informace v předkládané knize jsou uveřejněny bez ohledu na případnou patentovou ochranu. Označení softwarových a hardwarových produktů mohou být zapsanými obchodními značkami, i když na to není výslovně poukázáno. Náleží příslušným držitelům ochranných značek a podléhají zákonným ustanovením.

Sestavování textů a obrázků byla věnována maximální péče. Přesto nemohou být zcela vyloučeny chyby. Nakladatelství, vydavatel ani autor nemohou převzít žádnou právní zodpovědnost ani jakékoliv záruky za chybné údaje a jejich následky. Nakladatelství i autor budou vděční za oznámení případných chyb.

Firmě Scale-Multimedia, Aachen děkujeme za poskytnutí karty rozhraní a firmě Conrad-Electronic, Hirschau za poskytnutí zvukové karty k pořízení titulní fotografie.

Copyright

Wolfgang Matthes

HLEDÁNÍ A ODSTRAŇOVÁNÍ PORUCH

Měření a testování v počítačové a číslicové technice

Příspěvky uveřejněné v této knize, zejména všechny statě a články, stejně jako návrhy, plány, výkresy a obrázky, jsou autorsky chráněny. Jejich rozmnožování a šíření, i částečné, je zásadně možné jen s písemným svolením vydavatele.

Informace v této knize jsou zveřejňovány bez ohledu na případnou patentovou ochranu. Označení softwarových a hardwarových produktů uvedených v této knize mohou tedy být registrovanými výrobními značkami, i když to není výslovně zmíněno. Patří držiteli výrobní značky a podléhají zákonným ustanovením.

Vytváření textů a obrázků byla věnována nejvyšší péče. Přesto nelze zcela vyloučit chyby. Autor, nakladatelství, vydavatel ani překladatel nemůže za chybné údaje a jejich následky přebírat právní odpovědnost ani jakoukoliv záruku. Za upozornění na případné chyby budou všichni, kdo se podíleli na vydání knihy, vděční.

Veškerá práva vyhrazena.

© Segment B.V., Beek (Limburg), the Netherlands, 2001

Kniha je překladem německého originálu „Fehlersuchen in der Computer – und Digitaltechnik“ (ISBN 3-89576-026-9)

1. české vydání 2001

ISBN 80-86167-18-6 (HEL Ostrava)

Orig.: ISBN 3-89576-026-9 (Elektor-Verlag, Aachen)

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	ZÁKLADY HLEDÁNÍ PORUCH	15
2.1	ZÁKLADNÍ ODBORNÉ POJMY	15
2.2	PŘÍČINY CHYB, MECHANISMY CHYB A MODELÝ CHYB	17
2.2.1	<i>Příčiny chyb ve vývoji a v servisu</i>	<i>17</i>
	Příčiny chyb ve vývoji	17
	Příčiny poruch v servisu	22
2.2.2	<i>Chybové mechanismy a chybové hypotézy</i>	<i>24</i>
	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>	<i>32</i>
2.3	TESTOVACÍ A DIAGNOSTICKÉ PRINCIPY	34
2.3.1	<i>Testovací a zkušební postupy</i>	<i>34</i>
2.3.2	<i>Kritéria kvality zkušebního postupu</i>	<i>35</i>
2.3.3	<i>Úrovně testování, rozsah testování, tvrdost testů</i>	<i>37</i>
	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>	<i>54</i>
2.4	ROZPOZNÁVÁNÍ PORUCH (VERIFIKACE)	61
2.4.1	<i>Pozorování a sledování normálních průběhů</i>	<i>61</i>
2.4.2	<i>Sledování diagnostických průběhů</i>	<i>61</i>
2.4.3	<i>Rozpoznávání přechodných poruch (krátkodobých výpadků)</i>	<i>64</i>
2.4.4	<i>Zahořovací testy (burn-in-tests)</i>	<i>65</i>
2.5	LOKALIZACE PORUCH	66
2.5.1	<i>Strategie hledání poruch</i>	<i>66</i>
2.5.2	<i>Logické uvažování při hledání poruch</i>	<i>66</i>
2.5.3	<i>Sledování průběhu nebo sledu signálů</i>	<i>69</i>
	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>	<i>83</i>
2.5.5	<i>Principy brokovnice (shotgun principles)</i>	<i>84</i>
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>Hlídaní podmínek 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 hlídacého 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	VESTAVĚNÉ AUTOTESTOVACÍ A JINÉ TESTOVACÍ PROSTŘEDKY	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
4	TECHNIKA MĚŘENÍ A TESTOVÁNÍ	179
4.1	ZÁKLADY	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	MĚŘENÍ ZÁKLADNÍCH ELEKTRICKÝCH VELIČIN	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	OSCILOSKOPY	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	TESTOVÁNÍ V ČÍSLICOVÉ (DIGITÁLNÍ) TECHNICE	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>Přizpůsobení 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	Testování průchodnosti (propojení) a zkratů	512
	Ruční testování	512
	Automatické testování kabelů	515
	Testování kabelů střídavým napětím	517
	Dvojice vodičů zapojené do kříže (split pairs)	518
5.3.2	Identifikace kabelů	518
5.3.3	Oční diagram (eye pattern)	523
5.3.4	Reflexní testování (time domain reflectometry, TDR)	527
5.4	HLEDÁNÍ CHYB NA DESKÁCH PLOŠNÝCH SPOJŮ	531
5.4.1	Obvyklé chyby na deskách plošných spojů	531
5.4.2	Hledání poruch ve stavu bez napájení	533
5.4.3	Hledání chyb za provozu	537
	Hledání chyb sledováním signálu	537
	Hledání chyb pomocí in-circuit testu	538
5.5	HLEDÁNÍ CHYB V DIGITÁLNÍCH ZAPOJENÍCH	542
5.5.1	Testy plauzibility	542
5.5.2	Sledování signálů	547
	Praktické problémy se sledováním signálů	551
	Poruchy nulování (reset)	556
	Hodinové generátory	557
5.5.3	Hledání poruch na sběrnicových systémech	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
REJSTŘÍK		591