**5. Podstata simulačních experimentů a jejich průběh**

Pomocí experimentů chceme potvrdit validitu simulačního modelu. Experimentováním prokázat funkčnost všech hradel, zpracování jejich zpoždění a s tím spojený výskyt statických a dynamických hazardů. Správné plánování a pomocí jednodušších obvodů simulujících všechny potřebné stavy prokázat funkčnost většího komplexního obvodu. Ve výsledku všemi experimenty dokázat, že simulační model odpovídá reálnému chování a může být použit pro simulování obvodů na abstraktní úrovni, aniž by bylo potřeba obvody fyzicky sestavovat.

5.1 Experimentování probíhalo na řadě jednodušších obvodů, které simulují potřebné chování. Každý obvod byl simulován několikrát a to pokaždé s jinými vstupními parametry (odlišné zpoždění hradel, odlišné délky a logické stavy impulsů od generátorů). V každé nové simulaci s novými parametry probíhala kontrola výstupních hodnot s předpokládanými hodnotami abstraktního modelu. Většina simulací probíhala cíleně, abysme dokázali, že zvolený obvod vykazuje požadované chování (např. statické hazardy, chybovost).

5.2 Dokumentace jednotlivých zajímavých experimentů

5.2.1 Experiment hradla OR jako paměťového prvku

Obvod:

OR.jpg

B

A

Parametry simulace č.1:

Generátor A: typ – impulzní, délka impulsu – 1, posunutí v čase – 0

Hradlo: typ – OR, zpoždění – 2 ns

Očekávané chování:

* hradlo by si po přijetí prvního signálo o logické hodnotě 1 mělo zpětnou vazbou tuto hodnotu předávat („mělo by si jí zapamatovat“)

Získané výsledky:

A | **1** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

B | 2 | 2 | **1** | **2** | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

simT 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 [ns]

Zhodnocení výsledků:

* kvůli inertnímu zpoždění, které je <1ns a zpoždění na hradle, které je 2ns, zpracovává hradlo v čase 0 logickou hodnotu 1 (vrací hodnotu 1), ale než ji díky době zpoždění vrátí, zpracovává logickou hodnotu 0, díky které v dalším čase vrací nedefinovanou hodnotu (obě tyto hodnoty si zpětnou vazbou plánuje na další časy a hradlo je díky tomu neustále plánováno a neuchová si potřebnou paměť logické hodnoty 1)

Parametry simulace č.2:

Generátor A: typ – impulzní, délka impulsu – 2, posunutí v čase – 0

Hradlo: typ – OR, zpoždění – 2 ns

Očekávané chování:

* byla provedena úprava délky inicializačního impulsu na délku zpoždění hradla, hradlo by si mělo po svém zpoždění vracet pouze logickou hodnotu 1 a protože nedochází ke změně na jeho výstupu, nemělo by se po čase 2 dále plánovat

Získané výsledky:

A | **1** | **1** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

B | 2 | 2 | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

simT 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 [ns]

Zhodnocení výsledků:

* bylo potvrzeno, že pokud je inicializační impuls roven délce zpoždění hradla, dojde zpětnou vazbou k zapamatování hodnoty a hradlo OR se chová jako paměťový prvek

5.2.2 Experiment klopného obvodu

Obvod:

AND.jpg

D

C

A

AND.jpg

B

Parametry simulace č.1:

Generátor A: typ – impulzní, délka impulsu – 19, posunutí v čase – 1

Generátor B: typ – impulzní, délka impulsu – 20, posunutí v čase – 0

Hradlo: typ – NAND, zpoždění – 3 ns

Hradlo: typ – NAND, zpoždění – 3 ns

Očekávané chování:

* hradlo NAND napojené na generátor A by měl konvertovat logickou hodnotu 0 na log. hodnotu 1 a tu předávat druhému hradlu, které zároveň dostává od generátoru B log. hodnotu 1 -> tedy, mělo by vracet log. hodnotu 0

Získané výsledky:

A | **0** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

B | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

C | 2 | 2 | 2 | **1** | **2** | **2** | **2** | **2** | **2** | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

D | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | **0** | **2** | **2** | **2** | **2** | **2** | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 |

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

simT 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 [ns]

Zhodnocení výsledků:

Parametry simulace č.2:

Generátor A: typ – impulzní,

Hradlo: typ – OR, zpoždění – 2 ns, počet vstupů - 2, počet výstupů - 1

Očekávané chování:

Získané výsledky:

A | **0** | **0** | **0** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

B | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

C | 2 | 2 | 2 | **1** | **1** | **1** | **2** | **2** | **2** | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |

D | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | **0** | **0** | **0** | **2** | **2** | **2** | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 |

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

simT 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 [ns]

Zhodnocení výsledků:

Parametry simulace č.3:

Generátor A: typ – impulzní,

Hradlo: typ – OR, zpoždění – 2 ns, počet vstupů - 2, počet výstupů - 1

Očekávané chování:

Získané výsledky:

A | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

B | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

C | 2 | 2 | 2 | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** |

D | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** |

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

simT 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 [ns]

Zhodnocení výsledků:

5.2.3 Experiment prokazující statický hazard

AND.jpg

B

A

NOT.jpg

C

Parametry simulace č.1:

Generátor A: typ – impulzní,

Hradlo: typ – OR, zpoždění – 2 ns, počet vstupů - 2, počet výstupů - 1

Očekávané chování:

Získané výsledky

A | **1** | 0 | **1** | 0 | **1** | 0 | **1** | 0 | **1** | 0 | **1** | 0 | **1** | 0 | **1** | 0 | **1** | 0 | **1** | 0 | **1** |

B | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

C | 2 | 2 | 0 | **1** | 0 | **1** | 0 | **1** | 0 | **1** | 0 | **1** | 0 | **1** | 0 | **1** | 0 | **1** | 0 | **1** | 0 |

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

simT 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 [ns]

Zhodnocení výsledků

Parametry simulace č.2:

Generátor A: typ – impulzní,

Hradlo: typ – OR, zpoždění – 2 ns, počet vstupů - 2, počet výstupů - 1

Očekávané chování:

Získané výsledky

A | **1** | **1** | 0 | 0 | **1** | **1** | 0 | 0 | **1** | **1** | 0 | 0 | **1** | **1** | 0 | 0 | **1** | **1** | 0 | 0 | **1** |

B | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | **1** | **1** | 0 | 0 | **1** | **1** | 0 | 0 | **1** | **1** | 0 | 0 | **1** | **1** | 0 |

C | 2 | 2 | 0 | 0 | **1** | **1** | 0 | 0 | **1** | **1** | 0 | 0 | **1** | **1** | 0 | 0 | **1** | **1** | 0 | 0 | **1** |

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

simT 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 [ns]

Zhodnocení výsledků

Parametry simulace č.3:

Generátor A: typ – impulzní,

Hradlo: typ – OR, zpoždění – 2 ns, počet vstupů - 2, počet výstupů - 1

Očekávané chování:

Získané výsledky

A | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | **1** | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | **1** | 1 | 1 | 1 | 0 |

B | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | **1** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | **1** | 0 | 0 |

C | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | **1** | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | **1** | 0 | 0 | 0 | 0 |

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

simT 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 [ns]

Zhodnocení výsledků

5.3 Experimentování probíhalo na několika desítkách obvodů a pro každý obvod několik samostatných simulací (s různými parametry). Z experimentů lze odvodit chování simulátoru číslicových obvodů s dostatečnou věrohodností a experimentální prověřování dalších situací již napřinese další výsledky, protože všechny složitější obvody lze dekompozicí rozložit na jednotlivé dílčí jednoduché obvody, které byly simulovány a chyby odladěny tak, aby výsledky odpovídaly našemu abstraktnímu modelu.