

Dan NICULA

ELECTRONICĂ DIGITALĂ
Laborator

Editura Universității *TRANSILVANIA* din Brașov

2009

Prefață

Lucrările de laborator de **ELECTRONICĂ DIGITALĂ** se doresc a fi o invitație pentru o carieră de inginer electronist în lumea circuitelor integrate digitale.

Tehnologia circuitelor integrate digitale avansează an de an într-un ritm de neimaginat pentru alte domenii. Totuși, cunoștințele de bază, elementare, rămân aceleași și fundamentează dezvoltarea unei cariere în inginerie electronică. Până la urmă, orice sistem digital, oricât de complex ar fi, este compus din porți logice și bistabile...

Abordarea lucrărilor de laborator presupune parcurgerea în prealabil a ”Cursului de Electronică Digitală”. Pagina web de prezentare a acestui curs se poate găsi la:

<http://vega.unitbv.ro/~nicula/ed>

Lucrările de laborator de **ELECTRONICĂ DIGITALĂ** au două obiective principale:

- *Prezentarea realității despre semnalele din lumea digitală. Semnalele digitale reale nu sunt așa de frumoase și de rectangulare ca cele prezentate pe slide-uri la curs, sau ca cele prezentate în mediile de simulare. Semnalele reale pot fi ”văzute” folosind osciloscopul sau analizorul logic. Atât osciloscopul (analogic sau digital) cât și analizorul logic au avantaje și neajunsuri legate de investigarea semnalelor digitale. Osciloscopul, ca instrument de vizualizare a semnalelor va rămâne esențial în practica inginerului electronist, chiar în ”epoca virtualizării”.*

Autorul consideră cunoașterea modului de utilizare a osciloscopului (analogic și digital) ca făcând parte din bagajul elementar și fundamental al oricărui inginer electronist practicant în domeniul hardware.

- *Prezentarea metodologiei de proiectare a sistemelor digitale implementate cu circuite integrate programabile FPGA (Xilinx). Sistemele prezentate în cadrul laboratorului sunt descrise schematic. Proiectarea sistemelor mai complexe, implementate pe aceleași machete FPGA, fac obiectul disciplinei ”Limbaje de Descriere Hardware” unde sunt alocate ore de laborator și de proiect.*

Primul obiectiv (utilizarea osciloscopului și a analizorului logic) este urmărit permanent în toate lucrările de laborator, inclusiv în cele ce fac uz de macheta FPGA.

Al doilea obiectiv (metodologia de implementare cu FPGA) este urmărit în lucrările 4-7.

- **Lucrarea 1** prezintă cele trei aparate electronice folosite în cadrul laboratorului: sursa de tensiune continuă, generatorul de semnal și osciloscopul. Sunt prezentate în detaliu modul de măsurare a tensiunilor și a timpilor folosind osciloscopul.
- **Lucrarea 2** propune exersarea măsurătorilor cu osciloscopul și studierea comportamentului circuitelor RC, care modelează efecte similare cu cele observate la conectoarele de pe un circuit integrat.
- **Lucrarea 3** propune măsurarea timpilor de propagare prin porți inversoare în tehnologie TTL și tehnologie CMOS. Cu această ocazie se studiază practic efectul buclelor între ieșire și intrare închise peste un număr par și impar de inversoare.

- **Lucrarea 4** introduce metodologia de proiectare a sistemelor digitale pornind de la descrierea schematică a acestora. Implementarea se face pe circuite FPGA - Xilinx.
- **Lucrarea 5** propune exersarea metodologiei de proiectare a sistemelor digitale implementate cu FPGA pe cazul unor circuite combinaționale simple. Acestea vor fi investigate prin conectarea intrărilor la switch-uri și a ieșirilor la led-uri. Ulterior se propune o modalitate de a trece circuitele combinaționale prin toate stările posibile și investigarea acestora cu ajutorul osciloscopului și a analizorului logic.
- **Lucrarea 6** continuă exersarea metodologiei de proiectare a sistemelor digitale implementate cu FPGA prin studierea unor circuite combinaționale particulare: decodificator, multiplexor, sumator.
- **Lucrarea 7** propune realizarea a două experimente care să fixeze cunoștințele legate de comportamentul latch-urilor și bistabilelor. Se studiază diferențele dintre comportamentul latch-ului D și cel al bistabilului D.

Fișierele asociate lucrărilor de laborator se găsesc pe situl de web al laboratorului:

<http://vega.unitbv.ro/~nicula/ed/lab>

Pentru o eficiență acumulare a cunoștințelor transmise la laborator, autorul recomandă următoarea metodologie de lucru:

- *Studentii se pregătesc de laborator, în avans, prin studierea lucrării care se va efectua. Pregătirea constă în citirea textului lucrării, re-împropăatarea cunoștințelor dobândite la curs și realizarea unui scenariu a modului de desfășurare a laboratorului.*
- *La ședințele de laborator, studenții vor avea asupra lor textul lucrării (pe hârtie) și un caiet de notițe. În caietul de notițe se vor nota rezultatele experimentale, măsurători, observații, răspunsuri la întrebările care apar în text sau care sunt expuse de către cadrul didactic.*
- *Înainte de începerea propriu-zisă a lucrării, cadrul didactic va verifica gradul în care studenții cunosc ce acțiuni trebuie realizate la laborator. Aceste teste vor constitui o evaluare a studenților, cu pondere de 20% în nota finală. Studenților care nu dovedesc că au cunoștințele minimale, li se va interzice dreptul de a continua lucrarea de laborator.*
- *În timpul orelor de laborator, studenții își vor desfășura activitatea în grupuri la câte un set de aparate de laborator. Cadrul didactic va asigura studenților suportul necesar și va răspunde la întrebările acestora legate de desfășurarea lucrării. Activitatea studenților în timpul ședințelor de laborator va fi apreciată de cadrul didactic pe parcursul semestrului și va avea ponderea de 60% din evaluarea finală. Pentru evaluare se va ține cont de activitatea practică a studentului, spiritul de colegialitate, notițele din caiet și contribuțiile personale.*
- *La finalul semestrului, se va organiza un colocviu de laborator. Chestiunile care fac obiectul colocviului vor fi strict legate de lucrările de laborator efectuate și vor reprezenta 20% din evaluarea finală. Cu această ocazie, cadrul didactic va face o evaluare generală și va acorda studenților câte o notă.*

Autorul apreciază implicarea următorilor studenți în elaborarea lucrărilor de laborator:

- *Mădalina TURIAC*
- *Nicușor COJOCARU*
- *Gabriel CARAGEA*

Autorul apreciază orice comentariu și sugestie referitoare la această îndrumar făcute prin email la:

`dan.nicula@vega.unitbv.ro`

Brașov, Octombrie 2009.

Dan NICULA

Cuprins

1	Aparate de laborator. Parametrii semnalelor digitale.	
1.1	Obiective	9
1.2	Sursa de tensiune programabilă HAMEG HM8143	9
1.3	Generatorul de funcții programabil	11
1.4	Osciloscopul analog/digital HAMEG HM1508	13
1.5	Măsurări cu osciloscopul	18
1.5.1	Măsurarea tensiunilor	18
1.5.2	Măsurarea intervalelor de timp	20
1.6	Măsurarea parametrilor semnalelor digitale cu osciloscopul	21
1.6.1	Măsurarea perioadei semnalelor digitale	21
1.6.2	Măsurarea duratei palierelor și calcularea factorului de umplere	22
1.6.3	Măsurarea duratei fronturilor	23
1.6.4	Măsurarea timpilor de propagare	24
1.7	Desfășurarea lucrării	26
2	Măsurători asupra semnalelor digitale	
2.1	Obiective	29
2.2	Desfășurarea lucrării	29
2.2.1	Măsurători asupra semnalelor digitale	29
2.2.2	Circuite RC de integrare/derivare	31
3	Porți logice discrete. Măsurători asupra semnalelor digitale	
3.1	Obiective	39
3.2	Definirea parametrilor temporali asociați porților logice	39
3.3	Măsurători pe circuitul integrat 7404	39
3.3.1	Măsurarea timpului de propagare printr-un inversor	41
3.3.2	Măsurarea timpului de propagare print-un lanț de inversoare	41
3.3.3	Variația timpului de propagare cu frecvența	41
3.3.4	Variația timpului de propagare cu fan-out-ul	42
3.3.5	Circuite cu un număr impar de inversoare în buclă	42
3.3.6	Circuite cu un număr par de inversoare în buclă	43
3.4	Măsurători pe circuitul integrat 4001	43
4	Metodologia XILINX-ISE. Descrierea schematică. Porți logice	
4.1	Obiective	45
4.2	Utilizarea editorului de scheme din ISE WebPack	45
4.2.1	Pornirea ISE	45
4.2.2	Crearea unui proiect nou	46
4.2.3	Crearea unui fișier pentru o schemă (.sch)	49

4.2.4	Adăugarea componentelor	50
4.2.5	Editarea de conexiuni	51
4.2.6	Adăugarea terminalelor de intrare și de ieșire	52
4.2.7	Verificarea schemei	52
4.2.8	Introducerea de elemente grafice și text	52
4.2.9	Salvarea schemei	53
4.2.10	Crearea simbolurilor și utilizarea lor	53
4.3	Testarea pe placă	54
4.3.1	Încărcarea pe placă a fișierului bitstream (.bit)	57
4.4	Testarea cunoștințelor	58
5	Descrierea schematică. Circuite logice combinaționale.	
5.1	Obiective	61
5.2	Implementarea circuitelor logice prin descriere schematică	61
5.2.1	Funcție logică cu două intrări	61
5.2.2	Funcție logică cu trei intrări	62
5.3	Utilizarea osciloscopului pentru investigarea circuitelor combinaționale	62
5.3.1	Funcție logică cu două intrări	63
5.3.2	Funcție logică cu trei intrări	64
5.4	Utilizarea analizorului logic pentru investigarea circuitelor combinaționale	64
5.4.1	Funcție logică cu două intrări	64
5.4.2	Funcție logică cu trei intrări	66
6	Decodificatoare. Multiplexoare. Sumatoare.	
6.1	Obiective	67
6.2	Decodificator	67
6.3	Multiplexor	69
6.4	Sumatorul/scăzătorul pe 2 biți	71
7	Bistabile	
7.1	Obiective	75
7.2	Comparație Latch-Bistabil	75
7.3	Bistabile sincrone înseriate	77