

### 3 Editarea schematică și simularea funcționării circuitelor cu software specializat (I)

#### 3.1 Obiective

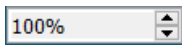
Se prezintă utilitarul Logisim care pune la dispoziție facilități de proiectare și simulare a circuitelor numerice digitale. Sunt prezentate elementele componente ale utilitarului și modul de lucru cu controalele active din componența simulatorului. Sunt redată câteva exemple de circuite, atât din punct de vedere al modului de implementare cât și în ceea ce privește procesul de simulare a funcționalității acestora. Se prezintă editorul de simboluri și posibilități de organizare a circuitelor în cadrul librăriei proiectului.

#### 3.2 Utilitarul Logisim


Utilitarul Logisim (versiunea 2.7.1) oferă suport pentru descrierea circuitelor numerice digitale și simularea funcționalității acestora, prin aplicarea de stimuli pe terminalele de intrare și observarea rezultatelor care apar pe terminalele de ieșire. Descrierea unui circuit se face sub forma unei scheme de simboluri grafice interconectate, care poartă denumirea de *schemă logică*. Logisim pune la dispoziție un set de circuite logice de bază și oferă posibilitatea extinderii acestora cu alte circuite, printr-o implementare în stil ierarhic și grupare în librării de circuite reutilizabile. Implementarea unui circuit presupune două faze de dezvoltare:

1. Descrierea schemei logice în editorul schematic, prin care se definește structura circuitului. În modul de descriere a schemei logice se poate activa sau dezactiva modulul de simulare a funcționalității circuitului.
2. Definirea simbolului reprezentativ circuitului în vederea reutilizării acestuia în componența altor circuite. În acest fel se facilitează dezvoltarea ierarhică la niveluri de abstractizare, de complexitate progresivă.

##### 3.2.1 Editorul schematic

Editorul schematic este disponibil imediat după lansarea în execuție a utilitarului Logisim. Acesta conține o zonă de lucru în care se poate realiza schema logică a circuitului (Figura 3. 1). Dimensiunea elementelor de pe schemă se poate schimba (zoom in/zoom out) cu ajutorul casetei  din colțul stânga-jos.

##### 3.2.1.1 Uneltele de lucru și organizarea pe librării (Toolbox)

În partea laterală a zonei de lucru se află uneltele de lucru pentru realizarea unei scheme logice (zona Toolbox). Acesta conține lista librăriilor disponibile, începând din partea superioară cu librăria proiectului denumită implicit *Untitled* (acesta este de altfel și numele proiectului curent). Inițial, în cadrul acesteia se află doar circuitul curent – cu denumirea implicită *main* – a cărui schemă logică este în dezvoltare. Apăsând  în dreptul unei librării se pot vizualiza uneltele și circuitele din componența sa, sub formă de simboluri grafice asociate la numele lor. Astfel, în cadrul librăriei *Gates* se pot accesa

porțile logice fundamentale, iar în celelalte librării se pot descoperi circuite logice de complexitate mai ridicată sau diverse unelte necesare în realizarea schemei logice.

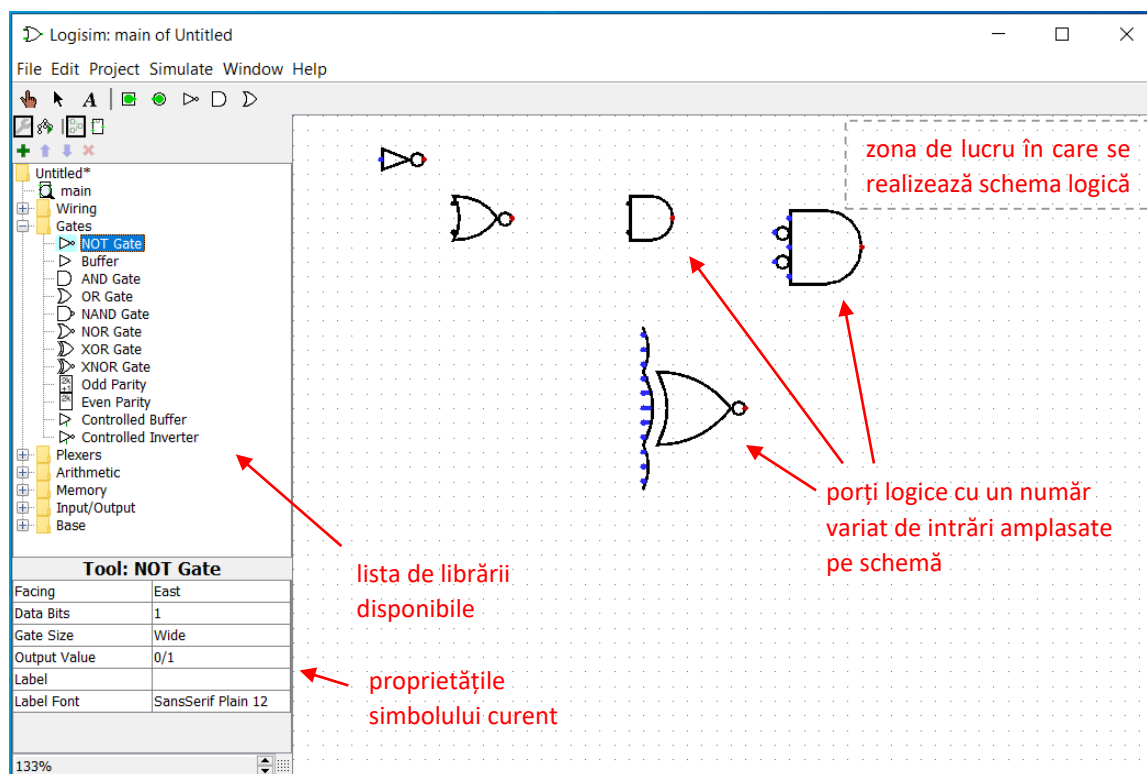





Figura 3. 1 Editorul schematic al utilitarului Logisim

### 3.2.1.2 Simbolurile, amplasarea pe schemă și proprietățile acestora


Simbolurile circuitelor puse la dispoziție de librăriile existente se pot introduce pe schemă prin selectare și apăsarea mouse-ului în poziția dorită a zonei de lucru. Ulterior, pot fi reamplasate în altă poziție prin selectare și deplasare (drag-and-drop). Un simbol de pe schemă se poate multiplica cu opțiunile de copiere (**Copy**) și lipire (**Paste**) disponibile în secțiunea **Edit** a meniului din partea superioară a ferestrei principale sau cu combinația de taste **Ctrl+C**, urmată de **Ctrl+V** sau simplu **Ctrl+Insert**. Ori de câte ori un simbol este selectat, va apărea în partea inferioară a listei de librării numele simbolului și o listă de proprietăți specifice acestuia. De exemplu, prin selectarea inversorului NOT (Figura 3. 1) setul de proprietăți cuprinde:

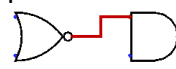
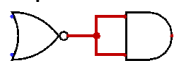
- Facing – direcția de amplasare pe schemă (rotirea simbolului);
- Data Bits – numărul de biți pentru care se aplică funcția logică NOT;
- Gate Size – dimensiunea simbolului pe schemă;
- Output Value – comportamentul la ieșire: poate avea "0 logic" sau "1 logic";
- Label – eticheta de identificare pe schemă, care este opțională;
- Label Font – dimensiunea textului etichetei.

Proprietățile diferă de la simbol la simbol, dar o parte dintre acestea sunt comune la majoritatea. Valorile proprietăților se pot modifica, ceea ce poate avea efect asupra funcționalității circuitului asociat simbolului și/sau asupra aspectului acestuia în zona de


lucru, în funcție de caz. De exemplu: o poartă ȘI-NU (NAND) cu 2 intrări (Number Of Inputs = 2) are simbolul ; dacă are 5 intrări simbolul devine ; dacă intrările 2 și 4 sunt inversate (Negate 2 = Yes; Negate 4 = Yes) atunci apare un cerculeț în dreptul acestora: .

### 3.2.1.3 Realizarea conexiunilor pe schema logică





Se observă faptul că intrările și ieșirile apar, de regulă, sub forma unor puncte mai proeminente amplasate la extremitățile simbolului, având culori diferite. Pentru o localizare fiabilă a acestora, amplasarea mouse-ului în dreptul lor duce la apariția unui cerculeț verde în jur: .

Conectarea intrărilor și a ieșirilor se realizează prin apăsarea butonului de mouse și deplasarea acestuia pe schemă de la un pin la celălalt: . Crearea unei ramificații într-un punct al unui fir se poate realiza prin trasarea unui nou fir, începând cu acel punct până la o intrare/ieșire neconectată: . Ramificația se distinge pe fir printr-o bulină de culoarea acestuia. Astfel, tipurile de conexiuni posibile pot fi:

- conexiune directă de la o ieșire la o intrare;
- conexiune de la o ieșire la un fir existent sau de la un fir existent la o intrare; de menționat faptul că două fire separate devin unul singur prin conectare.

Un cablu cu mai multe fire se poate crea cu elementul  Splitter din librăria *Wiring*, pentru care attributele Fan Out și Bit Width In se setează la numărul de fire. **Notă:** Orice element de pe schemă (simbol sau segment de fir) se poate șterge prin click-dreapta pe acesta și alegerea opțiunii de ștergere (**Delete**) sau apăsând tasta *Del*, după selectare.

### 3.2.1.4 Elemente de circuit cu valori constante

Printre alte elemente de circuit puse la dispoziție de librăria *Wiring* se pot remarca  Power și  Ground.  Power reprezintă sursa de curent, care are valoarea "1 logic" (VCC), iar  Ground reprezintă masa, care are valoarea "0 logic" (GND). Ambele pot fi folosite cu rol de valori constante în circuit. Utilizarea acestor elemente este exemplificată în Figura 3. 2.

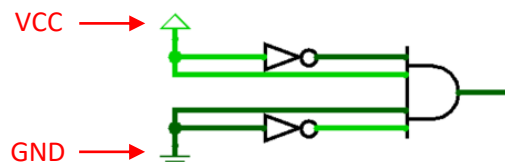



Figura 3. 2 Circuit cu intrările conectate la VCC și GND



Datorită faptului că simularea este activată implicit în Logisim, valorile constante se propagă producând efecte vizibile la ieșirile circuitelor și pe fire. Firele care transportă

valoarea "1 logic" au culoarea verde-deschis, iar cele care transportă valoarea "0 logic" sunt colorate cu verde-închis.

### 3.2.1.5 Unealta de text

Unealta **A Text Tool** este disponibilă în cadrul librăriei *Base* sau în bara de unelte (Toolbar) situată sub meniul . Cu ajutorul ei se pot insera fragmente de text, fără o funcționalitate propriu-zisă. Textul poate conține explicații sau etichete relevante pentru analizarea schemei.

### 3.2.1.6 Terminale de intrare și ieșire

Orice schemă logică a unui circuit necesită, pe lângă valori constante, atât terminale de intrare prin care se transmit valori către circuit cât și terminale de ieșire prin care se pot prelua rezultatele produse de acesta. Numărul de terminale de intrare și ieșire depinde de structura circuitului. În timpul simulării, terminalele evidențiază valorile logice. În Logisim, terminalul de intrare are simbolul  **Pin** și este accesibil în librăria *Wiring*. Atributul său numit *Output?* definește tipul terminalului: de intrare sau de ieșire. În cazul în care terminalul este de ieșire (*Output?* = True) simbolul adoptă o formă circulară , ca în Figura 3. 3. Un terminal poate avea un număr variabil de biți. Pentru terminale de 1 bit este necesar ca proprietatea *Data Bits* = 1. Terminalul se poate denumi dând valori proprietății *Label*.

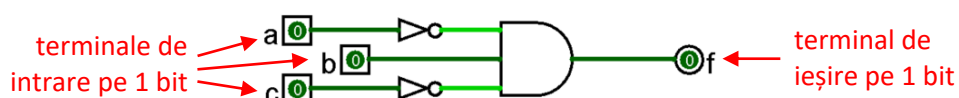




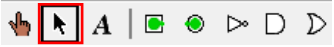




Figura 3. 3 Circuit cu terminale de intrare și ieșire pe care se pot identifica valorile logice în timpul simulării

### 3.2.1.7 Simularea în Logisim


În momentul plasării terminalelor de intrare, valorile implicite ale acestora se propagă prin circuit producând efecte corespunzătoare. În modul de editare a schemei nu se pot aduce modificări valorilor asociate terminalelor de intrare. Pentru a activa modificarea terminalelor de intrare trebuie să se acceseze unealta  **Poke Tool**, situată atât în cadrul librăriei *Base*, cât și în bara de unelte . Ulterior, valorile terminalelor se pot schimba apăsând pe simbolul acestora în schemă. Revenirea la modul de editare a schemei logice se face accesând una din uneltele  **Select Tool** sau  **Edit Tool** situate tot în librăria *Base* sau în bara de unelte .

Dacă simulatorul detectează erori sau conexiuni incomplete în circuit, atunci terminalele de ieșire pot indica valori necunoscute  sau eronate . Toate comenzile legate de sesiunea de simulare se află la secțiunea **Simulate** a meniului. De exemplu, oprirea simulării se poate realiza cu comanda **Simulation Enabled** sau cu combinația de taste **Ctrl+E**. Tot cu această comandă se realizează reactivarea simulării. Resetarea simulării se realizează cu comanda **Reset Simulation** sau cu combinația de taste **Ctrl+R**.


Aceasta este utilă după oprirea simulării, dacă se dorește resetarea ultimelor semnale valorice înregistrate în circuit și forțarea tuturor terminalelor la “0 logic”.

### 3.2.1.8 Bara de unelte a editorului schematic (Toolbar)

Bara de unelte este situată dedesubtul meniului și conține un subset din elementele de circuit, dar și unelte care pot fi accesate cu ușurință de utilizator, astfel:

. Este posibilă modificarea componentei acesteia accesând opțiunea **Options** din secțiunea **Project** a meniului. În fereastra de opțiuni care apare pe ecran se va accesa tab-ul **Toolbar** care permite adăugarea și ștergerea de elemente.

### 3.2.2 Editorul de simboluri

Circuitul descris de schema logică se poate încapsula într-un simbol reprezentativ, de forma unui dreptunghi cu terminalele de intrare și ieșire (pini). Simbolul se salvează în librăria proiectului și poate fi utilizat în cadrul altor scheme logice, având funcționalitatea circuitului pe care îl încapsulează. Interacțiunea cu circuitul se va face prin terminale. Comutarea de la modul de editare a schemei logice la modul de editare a simbolului asociat, și invers, se realizează cu comenzile **Edit Circuit Appearance**, respectiv **Edit Circuit Layout** din secțiunea **Project** a meniului. Pentru o comutare rapidă, cele două comenzi apar și dedesubtul barei de unelte având simbolurile: . Pentru circuitul din Figura 3. 3 se generează automat simbolul prezentat în Figura 3. 4.

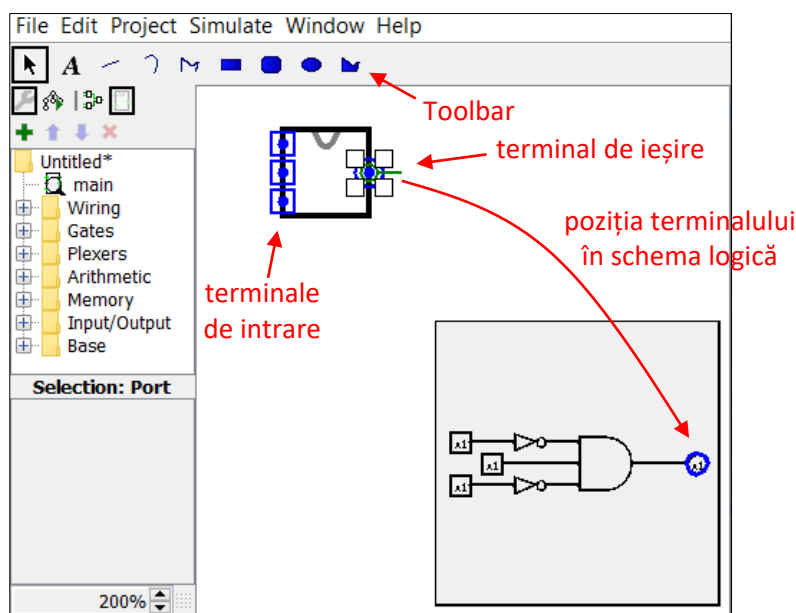







Figura 3. 4 Editarea simbolului asociat schemei logice curente

Simbolul poate suferi modificări ulterioare. Terminalele de intrare sunt marcate cu un dreptunghi albastru, iar cele de ieșire cu un cerculeț. Pentru identificarea unui terminal, selectarea acestuia pe simbol va evidenția poziția sa în schema logică. Opțional, denumirile terminalelor sau chiar a circuitului se pot amplasa pe simbol folosind unealta de text din Toolbar-ul editorului de simboluri: .

### 3.2.3 Organizarea circuitelor în cadrul librăriei proiectului

În cadrul librăriei proiectului se pot crea unul sau mai multe circuite. Adăugarea unui circuit se realizează cu comanda **Add circuit**  situată deasupra listei de librării. Programul va solicita numele noului circuit și se va crea o schemă logică fără elemente. Alături de această comandă se află comenzile de deplasare a circuitului curent într-o altă poziție, în cadrul librăriei  , și comanda de ștergere a circuitului .

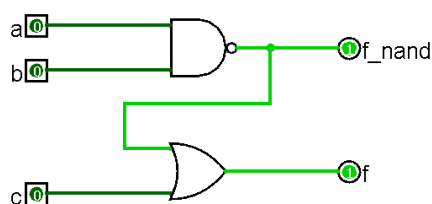
Se poate comuta între circuitele librăriei proiectului apăsând dublu-click pe numele circuitului, în Toolbox. Va apărea schema logică a circuitului în zona de lucru și se vor putea aduce modificări. În meniu, la secțiunea **File**, sunt comenzi de salvare a proiectului – **Save**, de încărcare a unui alt proiect – **Open** sau de creare a unui nou – **New**. Un proiect se va salva cu tot cu librăria de circuite a acestuia.

**Notă:** Salvați proiectul din când în când și la final pentru a nu pierde circuitele realizate.

Prin selectarea unei scheme din librăria curentă se vor putea vizualiza și modifica proprietățile acesteia, printre care și numele indicat de atributul **Circuit Name**.

### 3.3 Activități practice

1. Creați un proiect nou în Logisim și realizați un circuit care să conțină porțile logice fundamentale NOT, AND, XOR, OR din librăria *Gates*. Configurați porțile să fie pe 1-bit, cu 2 intrări (cu excepția NOT). Introduceți 2 terminale de intrare, folosite în comun de către toate porțile și 4 terminale de ieșire, câte unul pentru fiecare poartă. Testați funcționarea porților logice cu ajutorul simulatorului și a tabelelor de adevăr corespunzătoare.
2. Adăugați un nou circuit în cadrul proiectului, în care să realizați schema logică din figura următoare. Calculați tabelul de adevăr al circuitului. Testați circuitul aplicând toate combinațiile posibile de valori pe intrările a, b, c și confrunțați rezultatele cu valorile din tabel. Vizualizați simbolul generat pentru circuit și adăugați nume corespunzătoare în dreptul terminalelor de intrare și ieșire folosind unealta de text din Toolbar.



3. Adăugați câte un circuit separat în cadrul proiectului pentru următoarele funcții logice și testați-le în simulator confruntând rezultatele cu cele din tabelul de adevăr pentru toate combinațiile valorilor de intrare:

- a)  $f_1 = a + \bar{b} + c$
- b)  $f_2 = (a + b) \cdot (a + c)$
- c)  $f_3 = a + \bar{b} \cdot \bar{c}$
- d)  $f_4 = b \cdot (\bar{a} + \bar{c} + b \cdot \bar{c})$
- e)  $f_5 = \overline{a \cdot b \cdot c}$
- f)  $f_6 = \bar{a} + \bar{b} + \bar{a} + \bar{c}$
- g)  $f_7 = \overline{a \cdot b} + b \cdot \bar{c}$