

STRUCTURI COMBINAȚIONALE CU PORȚI LOGICE (SSI)

1. Scopul lucrării

Studiul structurilor numerice realizate cu circuite SSI (Small Scale Integration) și însușirea metodelor de analiză și sinteză a acestor structuri.

2. Aparat necesare

- panou logic
- sursă de alimentare reglabilă
- voltmetru electronic (sau tip MAVO-35)
- cordoane de legătură

3. Considerații teoretice

Structurile numerice combinaționale sau circuitele logice combinaționale (CLC) implementează funcții binare. O funcție binară de n variabile binare independente este o aplicație $f: \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}$, unde domeniul de definiție este mulțimea $\{0,1\}^n = \{(x_1 x_2 \dots x_n) | x_1 \in \{0,1\}, x_2 \in \{0,1\}, \dots, x_n \in \{0,1\}\}$.

Numărul maxim de elemente ale mulțimii $\{0,1\}^n$ este 2^n , dar nu este absolut necesar ca funcția să fie definită pentru toate aceste combinații de variabile. Numărul maxim de funcții binare de n variabile este:

$$N = \sum_{i=0}^{2^n} C_{2^n}^i = 2^{2^n}$$

Analiza unui circuit combinațional are ca scop determinarea funcției logice intrare-ieșire. Aceasta se poate exprima fie în limbaj natural, fie algebric prin expresii logice, fie prin tabele de adevăr, fie prin diagrame Veitch-Karnaugh.

Sinteza unui circuit combinațional urmărește determinarea schemei logice pornind de la unul din modurile de reprezentare enumerate mai sus.

Orice funcție binară poate fi implementată numai cu porți ȘI-NU. Se spune că operatorul logic ȘI-NU formează un set complet de operatori. Panoul logic conține 3 tipuri de circuite integrate realizate în tehnologie TTL standard:

- circuitul 7404 conține 6 inversoare:

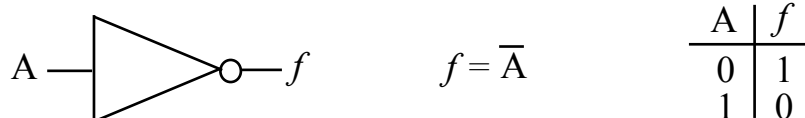


Fig. 3.1 Reprezentarea grafică a inversorului, expresia algebrică și tabelul de adevăr

- circuitul 7400 conține 4 porți ȘI-NU cu câte 2 intrări:

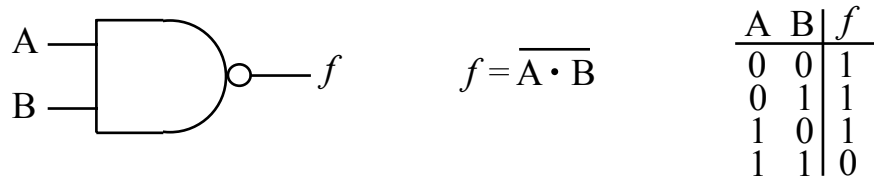


Fig. 3.2 Reprezentarea grafică, expresia algebrică și tabelul de adevăr

- circuitul 7410 conține 3 porți ȘI-NU cu câte 3 intrări:

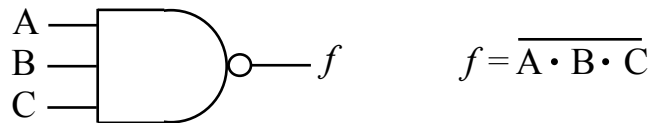


Fig. 3.3 Reprezentarea grafică a porții ȘI-NU cu 3 intrări și expresia algebrică

Pentru a găsi circuitul optim care implementează funcția căutată este necesară operația de minimizare a funcției binare, în urma căreia rezultă o expresie algebrică cât mai simplă care permite construcția circuitului folosind un număr minim de porți.

Există numeroase tehnici de minimizare: pentru calculul manual se preferă utilizarea diagramelor Veitch-Karnaugh, iar pentru calculul automat metode tabelare cum ar fi metoda Quine-McCluskey sau metoda Espresso.

Exemplu de minimizare a funcției binare f din tabelul de adevăr de mai jos, folosind diagramele Veitch-Karnaugh:

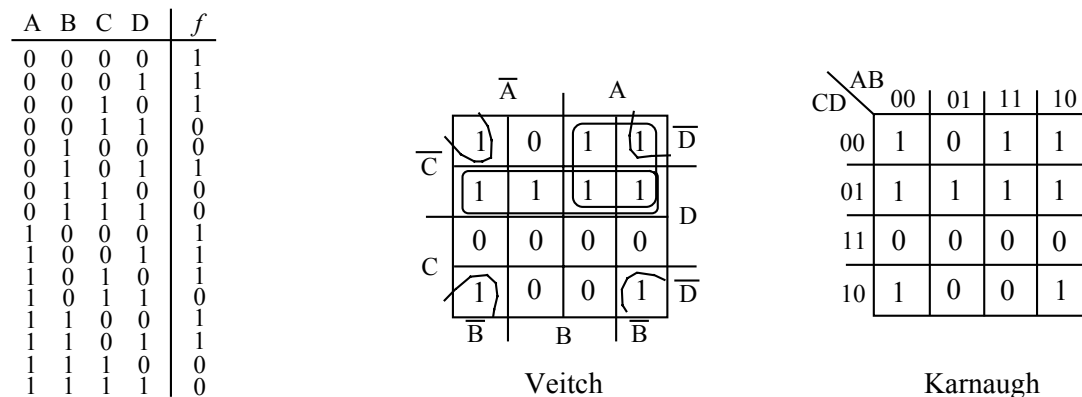


Fig. 3.4 Exemplu de folosire a diagramelor Veitch-Karnaugh

Expresia minimă a funcției f rezultă imediat din una din cele două forme ale diagramelor prezentate:

$$f(A, B, C, D) = \overline{B} \cdot \overline{D} + \overline{C} \cdot D + A \cdot \overline{C} = \overline{\overline{\overline{B}} \cdot \overline{\overline{D}} \cdot \overline{\overline{C}} \cdot \overline{\overline{D}} \cdot \overline{\overline{A}} \cdot \overline{\overline{C}}}$$

Am folosit o teoremă fundamentală a algebrei boolene cunoscută sub numele de "Legile lui DeMorgan" care permite transformarea operațiilor binare SAU în ȘI și invers. Ea permite implementarea funcțiilor binare numai cu porți ȘI-NU:

$$\overline{X + Y} = \overline{X} \cdot \overline{Y}, \text{ sau relația duală: } \overline{X \cdot Y} = \overline{X} + \overline{Y}$$

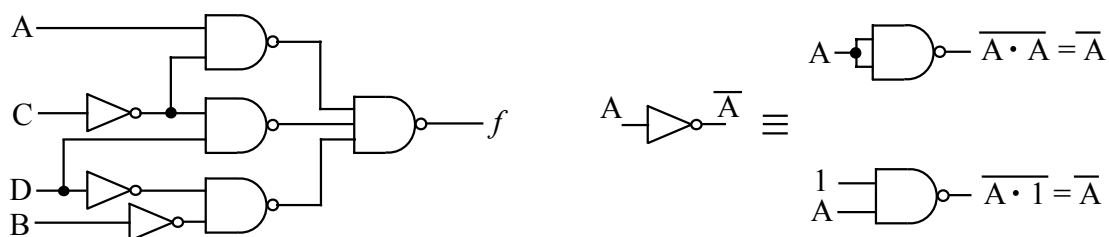


Fig. 3.5 Schema logică cu număr minim de porți ȘI-NU

Inversoarele se pot obține din porți ȘI-NU prin conectarea împreună a intrărilor (legile de idempotență) sau prin conectarea celorlate intrări la 1 logic (elementul neutru pentru operația binară ȘI).

4. Modul de lucru

Dacă panoul logic nu este prevăzut cu sursă de alimentare de la rețea, se alimentează cu o tensiune de 5V de la o sursă de tensiune reglabilă. **ATENȚIE LA RESPECTAREA POLARITĂȚII ȘI LA VALOAREA INICIALĂ A TENSIUNII!** Datorită diodei din rețeaua de protecție se măsoară cu un voltmetru tensiunea între pinii de alimentare indicați de catalog (la circuitele integrate care conțin porți logice, între pinii 14 și 7). Se pornește de la 0V și se mărește tensiunea de la sursă, până ce valoarea măsurată ajunge la +5V. Valoarea limită absolută de catalog este de +7V. Depășirea valorii limită absolute va distruge cu o mare probabilitate circuitul integrat!

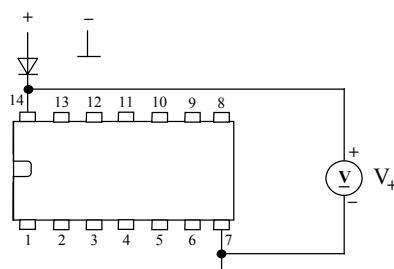


Fig. 4.1 Stabilirea tensiunii corecte de alimentare a panoului logic

4.1. Se face analiza schemei logice din figura 4.2, reprezentând cele 4 funcții binare prin expresii algebrice, tabele de adevăr și diagrame temporale. Se verifică experimental rezultatele obținute în urma analizei teoretice a circuitului.

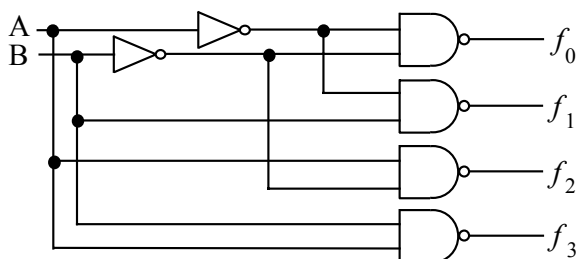


Fig. 4.2 Schema logică a unui decodificator realizat cu porți

4.2. Se implementează cu număr minim de porți ȘI-NU funcția binară reprezentată prin tabelul de adevăr din figura 4.3.

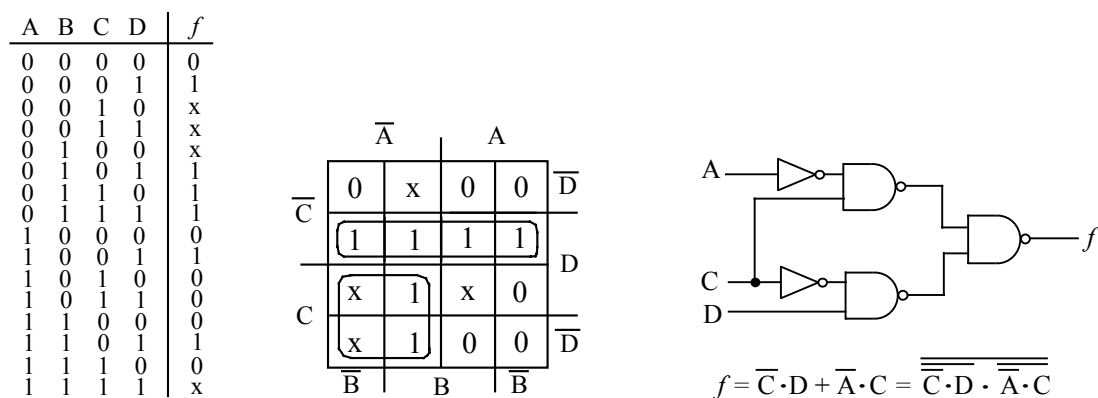


Fig. 4.3 Sinteza funcției binare reprezentată prin tabelul de adevăr

Se realizează montajul din figura 4.3 și se face verificarea sintezei prin analiza circuitului folosind tabelul de adevăr. Schema logică obținută este unică? Care este criteriul de minimizare adoptat aici?

4.3. Se verifică funcționarea circuitului obținut prin rezolvarea problemei 5.1, folosind tabelul de adevăr.

4.4. Se verifică funcționarea circuitului obținut prin rezolvarea problemei 5.2, folosind descrierea problemei în limbaj natural.

5. Probleme rezolvate

5.1. Să se proiecteze un circuit logic combinațional de tip "cheie electronică" cu 3 intrări și o singură ieșire. Fiecare intrare reprezintă starea unui contact: dacă contactul este deschis, acesta furnizează 1 logic pe intrarea respectivă. În starea inițială toate contactele sunt deschise și ieșirea circuitului este în 1 logic, adică alarma este dezactivată.

Dacă închiderea contactelor (care pot acționa de exemplu niște zăvoare electromagnetice) se face într-o anumită ordine prestabilită, atunci ieșirea rămâne în 1 logic și alarma nu este declanșată. Dacă ordinea de închidere a contactelor nu este respectată, ieșirea trece în 0 logic și se afișează starea de alarmă prin aprinderea unui LED.

Câte combinații posibile există? Dar pentru 5 contacte? Explicați cum trebuie să fie contactele și de ce.

Rezolvare:

Să presupunem că ordinea prestabilită de închidere a contactelor este B, C, A. Tabelul de adevăr pentru implementarea funcției de alarmare, minimizarea funcției cu ajutorul diagramei Veitch și schema logică obținută sunt date în figura 5.1.

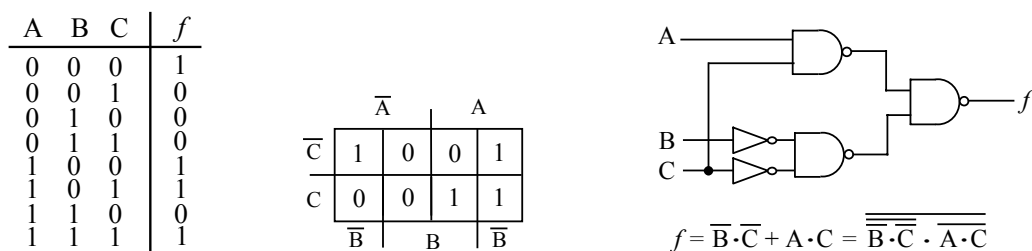


Fig. 5.1 Sinteza funcției binare de alarmare

Pentru 3 contacte există $3! = 6$ combinații posibile, iar pentru 5 contacte avem 120 de combinații distincte. Se folosesc întrerupătoare cu menținere, deoarece este necesară memorarea stărilor contactelor la fiecare pas. În lipsa acestor memorii mecanice, sunt necesare memorii electronice, deci problema nu este rezolvabilă prin metodele prezentate în lucrare.

5.2. Să se proiecteze un circuit de decodificare pentru afișajul cu 7 segmente din figura 5.2, care să permită afișarea a 4 stări distincte, prin literele O, L, H și E. Cele 4 stări distincte sunt date de toate combinațiile posibile realizate cu 2 variabile de intrare, A și B. Segmentele elementului de afișaj sunt aprinse pentru 0 logic și stinse pentru 1 logic.

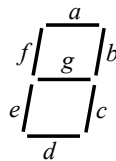


Fig. 5.2 Notății folosite pentru cele 7 segmente ale elementului de afișaj

Rezolvare:

Pentru fiecare segment de afișaj se generează câte o funcție binară conform cerințelor problemei. Rezultă tabelul de adevăr din figura 5.3. Prin minimizare se obțin ecuațiile funcțiilor binare căutate și rezultă schema logică a circuitului.

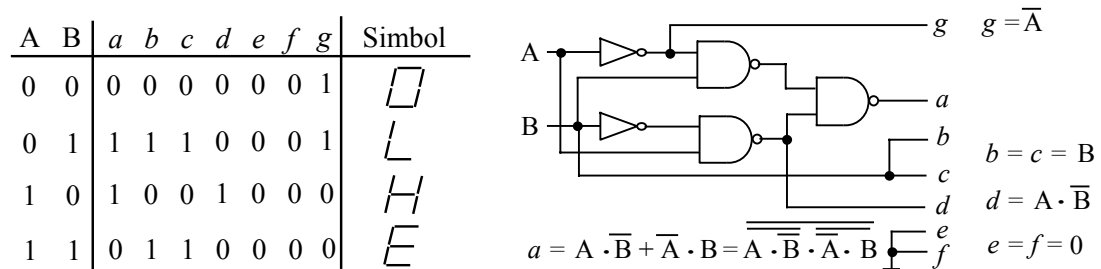


Fig. 5.3 Sinteza circuitului de decodificare pentru afișajul cu 7 segmente

5.3. O companie face angajări de personal pentru diferite compartimente. Candidații trebuie să îndeplinească cel puțin una din următoarele 5 condiții:

- a: bărbat, necăsătorit, cu studii superioare
- b: necăsătorit(ă), cu studii superioare, vârsta sub 30 de ani
- c: femeie, necăsătorită, fără studii superioare
- d: bărbat, vârsta sub 30 de ani
- e: necăsătorit(ă), vârsta peste 30 de ani

Să se proiecteze un circuit pentru selecția candidaților.

Rezolvare:

Se pune problema să găsim o funcție binară f , de mai multe variabile, pentru selecția candidaților. Dacă $f = 1$ se consideră candidat acceptat, iar dacă $f = 0$, atunci avem de-a face cu un candidat respins. Stabilim care sunt variabilele funcției:

- A - vârsta ($A = 1$ dacă vârsta este sub 30 de ani, și $A = 0$ în caz contrar)
- B - sexul ($B = 1$ dacă este bărbătesc și $B = 0$ dacă este femeiesc)
- C - starea civilă ($C = 1$ dacă este necăsătorit(ă) și $C = 0$ dacă este căsătorit(ă))
- D - studii ($D = 1$ dacă are studii superioare și $D = 0$ dacă nu are studii)

Aceste variabile binare rezultă din datele problemei, iar proiectantul este liber să aleagă modul în care se atribuie valorile logice acestor variabile. Candidatul este acceptat dacă cel puțin una din condițiile cerute este îndeplinită, adică:

$$f = a + b + c + d + e, \text{ unde}$$

$$a = BCD, \quad b = ACD, \quad c = \overline{BCD}, \quad d = AB, \quad e = \overline{AC}$$

Expresia algebrică a funcției căutate este $f = BCD + ACD + \overline{BCD} + AB + \overline{AC}$, dar această formă a funcției nu este minimă. Pentru o minimizare rapidă și eficientă se trec termenii produs într-o diagramă Veitch. Soluția problemei este dată în figura 5.4.

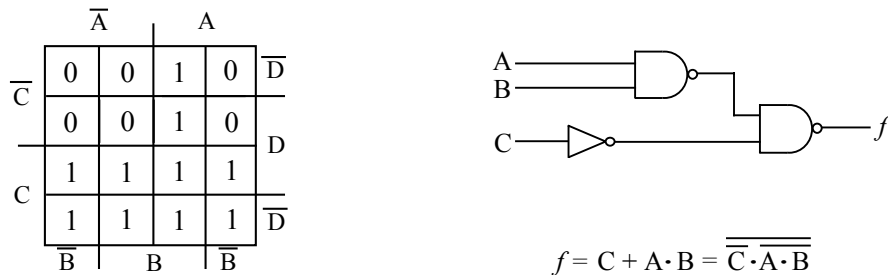


Fig. 5.4 Sinteza funcției binare $f(A,B,C,D)$

6. Probleme propuse

6.1. Să se implementeze cu număr minim de porți SAU-NU un circuit de anticoincidență cu 3 intrări (circuit care furnizează 1 logic la ieșire când cele 3 variabile de intrare nu sunt identice și 0 logic în rest).

6.2. Să se implementeze funcția SAU-EXCLUSIV folosind:

- un număr minim de porți ȘI-NU
- un număr minim de porți ȘI-SAU-NU (vezi figura 6.1)
- comparați cele două soluții din punct de vedere a numărului de circuite integrate folosite și a timpului de propagare.

6.3. Să se proiecteze un circuit care acționează o alarmă în interiorul automobilului dacă cheia este în contact când ușa este deschisă și motorul oprit, sau dacă luminile sunt aprinse atunci când cheia nu este în contact, sau dacă centura șoferului nu este legată și motorul funcționează, sau atunci când scaunul pasagerului de lângă șofer este ocupat și centura lui nu este legată în timp ce motorul funcționează.

6.4. Un ascensor transportă materiale care au mase cuprinse între 100 și 1000 Kg. Sesiizarea greutății se face prin închiderea a 3 contacte: A, B și C (vezi figura 6.2). Să se determine funcția de comandă a cuplării motorului, știind că ascensorul poate fi deplasat dacă e gol (A, B, C deschise) sau dacă are greutate cuprinse între 100 și 1000 Kg (A, B închise, C deschis). În afara acestor limite, ascensorul nu poate fi deplasat.

