# Universitatea POLITEHNICA din București Facultatea de Automatică și Calculatoare Departamentul de Calculatoare

### **PROIECT**

# Transmisie automată pentru autovehicule

**PROFESOR COORDONATOR** 

**STUDENT** 

Prof. dr. ing. Mocanu Mariana

Jugănaru Călin Vlad, 314CA

BUCUREȘTI

2018

# **CUPRINS**

INTRODUCERE ȘI TEMA PROIECTULUI	Pagina 3
	Pagina 6
SCHEMA BLOC	Pagina 9
ORGANIGRAMA	Pagina 10
EXPLICAREA FUNCȚIONALITĂȚII	Pagina 12
SPAŢIUL STĂRILOR ȘI TABELUL TRANZIŢIILOR	Pagina 14
DIAGRAMELE DE STARE, DIAGRAMELE KARNAUGH ȘI ECUAȚIILE REZULTATE	Pagina 15
IMPLEMENTAREA CIRCUITULUI	Pagina 22

### **INTRODUCERE**

### ȘI TEMA PROIECTULUI

În cazul autovehiculelor propulsate de motoare cu combustie internă (de exemplu: motoare Otto sau Diesel), cuplul (energia cinetică de rotație provenită de la motor) nu poate fi transmis direct la roțile motrice. Aceste fapt se datorează, în primul rând, modului de funcționare al acestor motoare: ele respectă un ciclu fix (ciclu Otto/Diesel/Atkinson/Miller/etc.), iar dacă arborele cotit al motorului ar fi legat direct de diferențialul roților motrice (printr-o bară cilindrică rigidă, ca de exemplu), atunci când vehicului se va opri, deci roțile nu se vor mai mișca, acesta va opune rezistență motorului, și, fiindcă masa unui autovehicul este de ordinul tonelor, greutatea sa va învinge forța de tracțiune a motorului și acesta se va opri.

Deci, este necesar un mecanism intermediar între arborele cotit și diferențial, care să poate fi cuplat și decuplat la nevoie. Totuși, dacă același cuplu ce provine de la motor ar fi transmis direct la roți, ar fi greu de urnit vehiculul din loc și apoi, ar fi ineficient când șoferul dorește să accelereze, ba chiar viteza maximă pe care o poate atinge ar fi foarte mică (sub 30 km/h). Atunci, va fi nevoie de un ansamblu de roți dințate și axuri, care, puse în contact o anumită combinație de asfel de componente, vor crea o rație între cuplul provenit de la motor și cel transmis la roți. Acest sistem se numește transmisie, iar aceste rații, trepte de viteză. Autovehiculele propulsate de motoare electrice nu au nevoie de trepte de viteză, transmisiile acestora având, practic, o singură treaptă.

În cazul transmisiilor clasice, manuale, șoferul este nevoit să schimbe manual treptele de viteză, să cupleze și să decupleze motorul de transmisie, să calce pedala de ambreiaj când este necesar (și se întamplă destul de des), să țină pedala de ambreiaj călcată la podea atunci când vehicului staționează sau să-l scoată din orice treaptă de viteză. Acest sistem este incomod, și predispus la greșeli din partea șoferilor, mai ales că discul de ambreiaj (din cauza frecărilor) se uzează în timp și este destul de costisitor unul nou.

O soluție modernă pentru aceste probleme ar fi transmisia automată. Primele astfel de transmisii au apărut în anii '30 pe continentul american, dar foloseau un sistem mecanic de transmisie prin fluid și treptele erau schimbate automat când motorul ajungea la o anumită turație (viteză de rotație a arborelui cotit), fiindcă atunci producea suficient de mult cuplu încât 'obliga' mecanismul să schimbe într-o treaptă de viteză superioară. Când vehiculul încetinea, și, turația motorului scădea suficient de mult, mecanismul automat 'aluneca' într-o treaptă inferioară.

În secolul 21, ne permite să creăm un sistem de transmisie automată modern, acționată și coordonată numai de dispozitive electronice, precum un braț robotic, un circuit integrat sau un computer central, astfel încat transmisia să fie 100% automată și electronică, mai rapidă, mai eficientă și mai durabilă, deoarece impulsul electric se propagă aproape instant, și, pentru un sistem robotizat, schimbarea treptei de viteză se poate realiza la nivel de microsecundă, pe când unui om îi trebuie cel puțin o secundă doar să acționeze o manetă.

Transmisiile automate pot fi și sunt implementate în mai multe moduri. Prima ar fi o simplă transmisie manual, la care se adaugă un computer (controlor) central, care comandă în ce treaptă să schimbe, și două acuatoare (brațe robotice), care pun în contact discul de ambreiaj și volantul, apoi două roți dințate din cutia de viteze și, astfel, schimbă treapta. Apoi, există cele cu dublu ambreiaj, foarte asemănătoare cu primul tip, dar cutia de viteze este compusă

din două: una pentru trepetele pare și una pentru treptele impare. Astfel, sunt necesare două discuri de ambreiaj, dar aceasta nu este o problemă pentru un sistem în totalitate electronic. Această variantă este, în prezent, cea mai rapidă și eficientă din punct de vedere al minimizării uzurii și al consumului de carburant.

O altă abordare ar fi transmisia prin fluid (sau cu convertor de cuplu). Aici, pentru fiecare treaptă de viteză nu este asociată o simplă roată dințată de anumite dimensiuni, ci o serie de rotițe puse în mișcare dintr-un sistem de rotițe solare și planetare. Acesta este cu mult mai complex decât celelate, mai voluminous, mai greu, uneori mai inefficient, dar are, totuși, niște avantaje în anumite cazuri. Mai există și transmisii automate de tip continuu-variabil (CVT), dar acestea nu au trepte de viteză, ci funcționează într-un mod cu totul diferit și nu sunt foarte comune în afara curselor.

În continuare mă voi referi prin transmisie și cutie de viteze la orice tip de mecanism care funcționează pe bază de trepte de viteză, deci toate cele menționate anterior, în afară de CVT. Funcționalitatea și modul de implementare al aparatului meu nu diferă de la un tip de cutie de viteze la altul, ci doar modalitatea prin care sunt acționate anumite component în interiorul acestora.

### **MODUL DE IMPLEMENTARE**

Toate aceste tipuri de transmisii automate au în comun conceptele de treaptă de viteză și de mod. Modurile sunt niște stări în care se poate afla transmisia și urmează schema P-R-N-D. Aceste moduri vor fi selectare de către șofer, folosind o manetă electronică, ce poate fi acționată înainte sau înapoi. Acestei manete îi vom asocia variabila *m*, cu valorile posibile 0, respectiv 1.

P (Park) → Nu este selectată nicio treaptă de viteză (se află în punctual neutru / transmisia este decuplată de motor) și este pusă o piedică pe o roată dințată din cutia de viteze (asemănător unei frâne). Opțional, ar putea în mod automat să fie acționată și 'frâna de mână' electornică. Este recomandat ca, după ce vehicului este imobilizat, să fie selectat modul Park, apoi oprit motorul. Astfel, la pornire, va fi în mod implicit selectat modul Park.

R (Reverse) → Marșarier (treapta de mers cu spatele). Marea majoritate a autovehiculelor au o singură treaptă de mers înapoi.

N (Neutral) → Nu este selectată nicio treaptă de viteză, dar roțile se pot mișca (de exemplu, mașina poate aluneca într-o pantă sau poate fi împinsă).

**D** (**Drive**) → Modul pentru mers înainte, cu schimbarea automată a treptelor de viteză. În Drive, poate fi selectată o treaptă sau niciuna (neutru), deoarece există un senzor de viteză la roți, care va transmite controlorului dacă vehicului se mișcă sau nu, și un senzor la pedala de accelerație. Dacă vehiculul se oprește, va rămâne în Drive, dar nu va fi selectată nicio treptă pentru a nu se opri

motorul. Atunci cănd șoferul va călca pedala de accelerație, va fi, din nou, selectată prima treaptă de viteză.

În timpul mersului, în funcție de turația motorului, controlorul va selecta treapta potrivită, menținând motorul într-un interval optim de turație. Acest optim poate însemna eficiența accelerării (ceea ce se numește interval de cuplu și putere maximă) sau eficența consumului de carburant (de obicei, turații relativ mici, dar tot în zona de cuplu maxim). Specialiștii recomandă, în general, ca motoarele pe bază de motorină să fie ținute între 1500 și 2500 de rotații ale arborelui cotit pe minut (turații), iar cele pe bază de benzină, între 2000 și 3000. Aceste valori, sau altele, vor fi setate din fabric sub forma unor constante  $T_1$  (turația minimă), respectiv  $T_2$  (turația maximă). Totuși aceste valori ar putea fi setate de către șofer, dar trebuie alese astfel încât, dacă a atins la un moment dat o turație mai mică decâ cea minimă și va fi schimbată treapta curentă cu cea imediat inferioară, noua turație (deoarece aceasta sigur va crește) să fie mai mare decât cea minimă.

La motor va exista un senzor de turație care va transmite valoarea în timp real la doi comparatori: primul, care să verifice dacă turația curentă t este mai mare decât  $T_1$ , caz în care va rămâne în treapta curentă, dar există posibilitatea de a schimba într-o treaptă superioară, iar al doilea, care să verifice dacă turația curentă t este mai mare decât  $T_2$ , când va trebui să schimbe în treapta imediat superioară. În cazul în care turația t este mai mică decât  $t_1$ , va trebui schimbat în treapta imediat inferioară. În cazul ultimei trepte nu mai există posibilitatea de avansare în treaptă, ci doar de retrogradare.

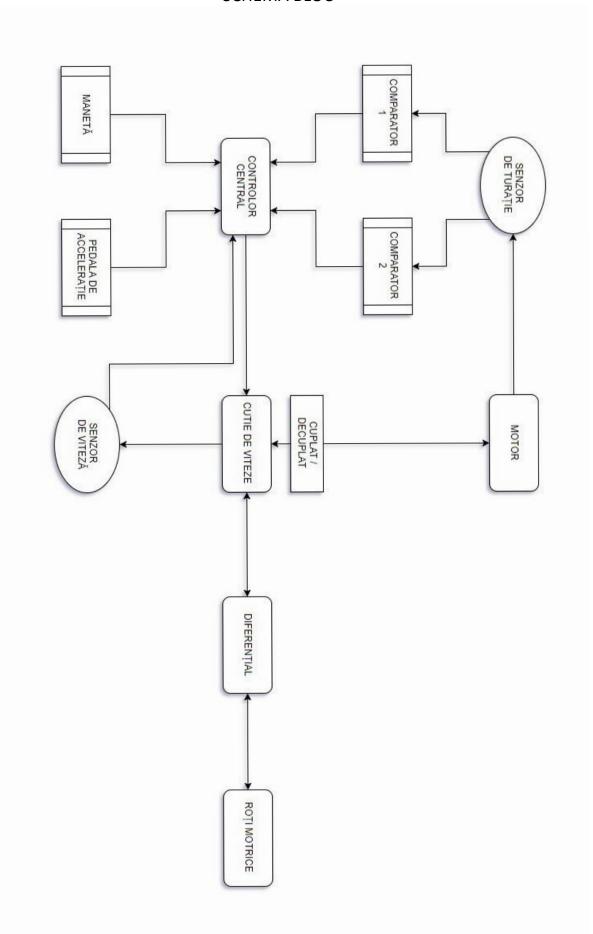
Observație: Comparațiile ,<' și ,>' pot fi înlocuite cu ,<=' și ,>='.

Analizând schema bloc de pe pagina următoare, aparatul proiectat de mine este, practic, acel controlor central. Acesta primește informații de la niște

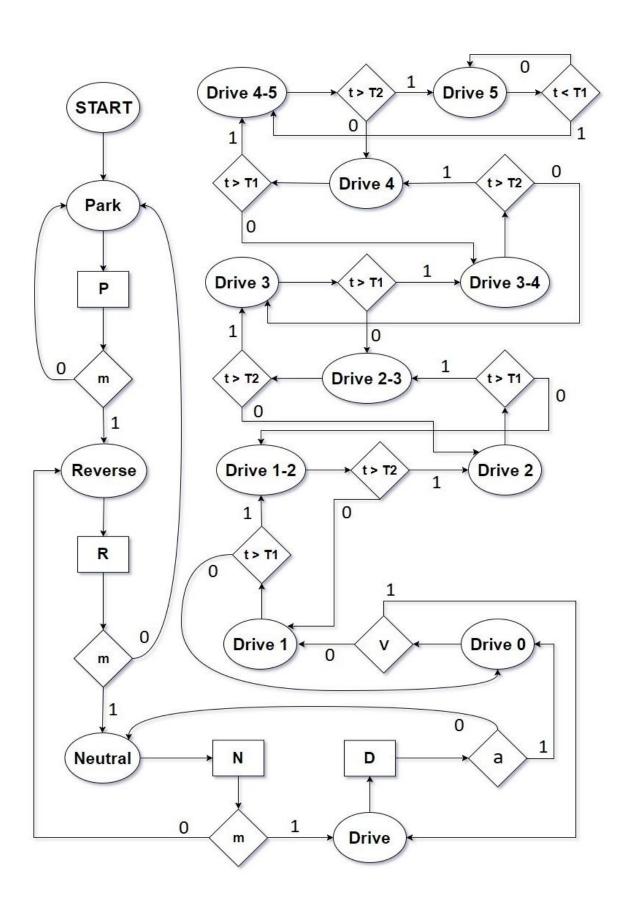
senzori și, pe baza acestora și a patru variabile de stare, va transmite cutiei de viteze (care conține roțile dințate, brațe robotice, discuri de ambreiaj și alte componente) în ce mod să se afle, iar în cazul modului Drive, în ce treaptă.

Săgeata din schema bloc o definim ca 'transmite la'. Astfel, motorul și cutia de viteze transmit informații la senzori, senzorii și comparatorii transmit informații la controlor, iar controlorul comandă, mai departe, cutiei de viteze în ce mod/treaptă să se afle. Se poate observa că nu va fi transmis cuplul de la cutia de viteze direct la roți, ci va trece printr-un diferențial, cu care va fi mereu cuplat, din motive tehnice. De motor, transmisia este cuplată numai când este selectată o treaptă de viteză, iar senzorii și comparatorii transmit informații controlorului la intervale regulate de timp (de preferat, cât mai mici). Totuși, acestă schemă bloc este realizată pentru cazurile mai simple, ale autovehiculelor cu tracțiune pe o singură punte. În cazul în care vehicului are tracțiune integrală, cutia de viteze va fi conectată la sistemul de tracțiune, care va transmite apoi la diferențiale.

### **SCHEMA BLOC**



#### **ORGANIGRAMA**



În organigramă se pot observa niște structuri condiționale. Acestea vor fi stocate în niște variabile cu numele prescurtate sugestiv, după cum urmează:

m (manetă) → 0, dacă este acționată înainte, și 1, pentru înapoi.

Observație: Această manetă poate fi înlocuită, de exemplu, cu o rotiță, și atunci mișcările de înainte și înapoi vor fi înlocuite cu unele în sensul trigonometric, respectiv sensul acelor de ceas. Funcționalitatea rămâne aceeași.

- a (accelerație) → 1, dacă pedala de accelerație este călcată, altfel 0
- c₁ (comparator 1) → dacă turația curentă t este mai mare decât T₁
- c₂ (comparator 2) → dacă turația curentă t este mai mare decât T₂
- v (viteză) → dacă viteza este mai mare decât 0 (vehiculul nu s-a oprit)

Stările au fost numite sugestiv, corespunzător modurilor și treptelor de viteză. În modul Drive, starea Drive simplu înseamnă că nu este selectată încă nicio treaptă de viteză. Stările Drive 0, Drive 1 și Drive 1-2 corespund treptei întâi, dar sunt necesare trei stări pentru implementarea circuitului, deoarece apar structurile condiționale și nu trebuie să existe hazarde. În rest, Drive 2 și Drive 2-3 înseamnă că treapta a doua este selectată dar testează dacă ar putea să schimbe treapta în cea imediat inferioară sau superioară, la fel și pentru celelalte trepte.

# EXPLICAREA FUNCȚIONALITĂȚII AUTOMATULUI

Inițial șoferul intră în autovehiculul parcat. Motorul este oprit și rămas selectat modul Park, deci roțile nu se mișcă, roțile din cutia nu se mișcă și au o pedică pusă, eventual, frâna de parcare este acționată electronic. Șoferul apasă pe butonul Start / Stop și motorul pornește, implicit este selectat modul Park și aprins un LED la litera P din bord. Șoferul poate deplasa maneta doar cu câte o poziție înainte sau înapoi, respectând ordinea P-R-N-D. Pentru a sări peste una sau mai multe poziții sunt necesare mai multe mișcări consecutive. Dacă se află în modul Park și mișcă maneta înainte nu se va întampla nimic (va rămâne în Park).

Dacă mișcă maneta cu o poziție înapoi, va selecta modul Reverse (marșarier), se va aprinde LED-ul corespunzător din bord, iar șoferul va putea conduce cu spatele. De aici, dacă va mișca maneta în sus, se va întoarce în Park, iar în jos, va selecta modul Neutral (neutru). În modul neutru, nu este selectată nicio treaptă de viteză, dar este necesar să treacă din marșarier prin neutru, până să selecteze modul de mers înainte. Aici se va aprinde LED-ul pentru N din bord.

În sfârșit, din neutru se poate ajunge înapoi în marșarier sau în modul Drive. Inițial, în Drive nu este selectată nicio treaptă de viteză, deci motorul nu este cuplat de cutie (ca în modul neutru). Dacă șoferul calcă pedala de accelerație, este automat selectată prima treaptă de viteză, dacă nu, se întoarce în N și va trebui să selecteze Drive din nou (este util la stop-uri). Dacă ajunge la o turație mai mare decât  $T_2$ , va fi selectată treapta a doua și tot așa. Dacă turația este prea mică, va fi selectată treapta imediat inferioară. În orice treaptă s-ar afla (sau nu) din modul Drive, va fi aprins LED-ul pentru D din bordul vehiculului.

Există, totuși, două cazuri special la schimbarea treptelor: dacă se află în ultima treaptă, nu mai poate avansa, deci rămâne în aceasta cât timp turația este mai mare (sau și egală) decât cea minimă, iar dacă se află în prima treaptă, chiar

dacă turația este prea mică, cât timp vehicului încă se mișcă ea rămâne selectată, altfel, va fi decuplată transmisia de motor pentru a nu se opri.

Specialiștii nu recomandă scoaterea manuală din viteză în cazul transmisiilor automate în timpul mersului, caz pe care l-am implementat în aparatul meu: din modul Drive poate ieși în modul Neutral doar dacă nu mai este cuplată nicio treaptă de viteză și pedala de accelerație nu mai este acționată. Pentru a nu fi cuplată nicio treaptă trebuie ca vehicului să se fi oprit, deci maneta este inutilă cât timp vehiculul se află în modul Drive și se mișcă. În marșarier, vitezele posibile de atins sunt prea mici astfel încât să conteze, deci nu este nevoie de o astfel de măsură de siguranță și pentru modul Reverse.

La final, după ce șoferul imobilizează autovehicului, din Drive poate trece în Neutral, din Neutral în Reverse, din marșarier în Park, și acum poate opri, în siguranță, motorul, din butonul Start/Stop.

# SPAŢIUL STĂRILOR ȘI TABELUL TRANZIŢIILOR

$Q_1Q_0$ $Q_3Q_2$	00	01	11	10
00	START	PARK	REVERSE	NEUTRAL
01	DRIVE	DRIVE 0	DRIVE 1	DRIVE 1-2
11	DRIVE 2	DRIVE 2-3	DRIVE 3	DRIVE 3-4
10	DRIVE 4	DRIVE 4-5	DRIVE 5	

Se poate observa din tabelul de mai sus și din organigramă că nu există două stări adiacente care să difere prin mai mult de un bit al variabilelor de stare. Deoarece una dintre constângerile impuse de cerința proiectului era aceea că trebuie folosite exact patru variabile de stare, am putut implementa numai 5 trepte de viteză (pentru 6 mi-ar mai fi trebuit încă două stări).

# DIAGRAMELE DE STARE URMĂTOARE DIAGRAMELE KARNAUGH ȘI ECUAȚIILE REZULTATE

Stare	Q <sub>3</sub> <sup>t</sup>	$Q_2^t$	$Q_1^t$	$Q_0^t$	Q <sub>3</sub> <sup>t+1</sup>	Q <sub>2</sub> <sup>t+1</sup>	Q <sub>1</sub> <sup>t+1</sup>	$Q_0^{t+1}$	Out	D <sub>0</sub>	$D_1$	J <sub>2</sub>	K <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	S <sub>3</sub>
START	0	0	0	0	0	0	0	1	Р	1	0	0	*	*	0
Р	0	0	0	1	0	0	m	1	Р	1	m	0	*	*	0
N	0	0	1	0	0	m	1	$\overline{m}$	N	$\overline{m}$	1	m	*	*	0
R	0	0	1	1	0	0	m	$\overline{m}$	R	$\overline{m}$	m	0	*	*	0
D	0	1	0	0	0	а	ā	а	D	а	ā	*	ā	*	0
$D_0$	0	1	0	1	0	1	V	V	D	٧	<b>V</b>	*	0	*	0
D <sub>1-2</sub>	0	1	1	0	<i>C</i> <sub>2</sub>	1	$\bar{c}_2$	$\bar{C}_2$	D	$\bar{c}_2$	$\bar{c}_2$	*	0	0	<b>C</b> <sub>2</sub>
$D_1$	0	1	1	1	0	1	<i>C</i> <sub>1</sub>	$ar{c}_1$	D	$\bar{c}_1$	$c_1$	*	0	*	0
D <sub>4</sub>	1	0	0	0	1	$ar{c}_1$	$ar{c}_1$	<i>C</i> <sub>1</sub>	D	<i>C</i> <sub>1</sub>	$\bar{c}_1$	$\bar{c}_1$	*	0	*
D <sub>4-5</sub>	1	0	0	1	1	0	<i>C</i> <sub>2</sub>	1	D	1	<i>C</i> <sub>2</sub>	0	*	0	*
	1	0	1	0						*	*	*	*	*	*
D <sub>5</sub>	1	0	1	1	1	0	<i>C</i> <sub>1</sub>	1	D	1	<i>C</i> <sub>1</sub>	0	*	0	*
D <sub>2</sub>	1	1	0	0	<i>C</i> <sub>1</sub>	1	$ar{c}_1$	<i>C</i> <sub>1</sub>	D	$c_1$	$\bar{c}_1$	*	0	$\bar{c}_1$	*
D <sub>2-3</sub>	1	1	0	1	1	1	<i>C</i> <sub>2</sub>	<i>C</i> <sub>2</sub>	D	<i>C</i> <sub>2</sub>	<i>C</i> <sub>2</sub>	*	0	0	*
D <sub>3-4</sub>	1	1	1	0	1	$\bar{c}_2$	$\bar{c}_2$	$\bar{c}_2$	D	$\bar{c}_2$	$\bar{c}_2$	*	<b>C</b> <sub>2</sub>	0	*
D <sub>3</sub>	1	1	1	1	1	1	<i>C</i> <sub>1</sub>	$ar{C}_1$	D	$\bar{c}_1$	<i>C</i> <sub>1</sub>	*	0	0	*

 $Q_0 \rightarrow CBBD, MUX 8:1$ 

$Q_1Q_0$ $Q_3Q_2$	00	01	11	10
00	1	1	$ar{m}$	$ar{m}$
01	а	v	$\overline{c}_1$	$\overline{c}_2$
11	<i>c</i> <sub>1</sub>	<i>C</i> <sub>2</sub>	$\overline{c}_1$	$\overline{c}_2$
10	<i>c</i> <sub>1</sub>	1	1	*

Deoarece D =  $Q^{t+1}$ , este mai simplu să punem tabelul de 2 x 2 variabile sub forma de 1 x 3 și rezultatele se vor vedea foarte ușor.

$Q_3Q_2Q_1$ $Q_0$	000	001	011	010	110	111	101	100
0	1	$ar{m}$	$\overline{c}_2$	а	<i>c</i> <sub>1</sub>	$\overline{c}_2$	*	<i>c</i> <sub>1</sub>
1	1	$\overline{m}$	<u></u> <u> </u> <u> </u> <u> </u>	v	<i>C</i> <sub>2</sub>	<u></u> <u> </u> <u> </u> <u> </u>	1	1

Dacă stabilim liniile de selecție din multiplexorul de 8:1 la  $Q_{3,}$   $Q_{2,}$   $Q_{1,}$  intrările vor fi:

I<sub>1</sub> (000): 1

I<sub>5</sub> (100): c<sub>1</sub>

 $I_2$  (001):  $\bar{m}$ 

I<sub>6</sub> (101): 1

 $I_3$  (010):  $a\overline{Q}_0 + vQ_0$ 

 $I_7$  (110):  $c_1\overline{Q}_0 + c_2Q_0$ 

 $I_4$  (011):  $\overline{c}_1Q_0 + \overline{c}_2\overline{Q}_0$ 

 $I_8$  (111):  $\overline{c}_1Q_0 + \overline{c}_2\overline{Q}_0$ 

# $Q_1 \rightarrow CBBD, MUX 8:1$

De data acesta, facem direct tabelul de 1 x 3.

$Q_3Q_2Q_1$	000	001	011	010	110	111	101	100
0	0	1	<u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u>	ā	$\overline{c}_1$	<u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u>	*	<u></u> <u> </u> <u> </u>
1	m	m	<i>c</i> <sub>1</sub>	v	<i>c</i> <sub>2</sub>	<i>c</i> <sub>1</sub>	<i>c</i> <sub>1</sub>	<i>c</i> <sub>2</sub>

Dacă stabilim liniile de selecție din multiplexorul de 8:1 la  $Q_{3,}$   $Q_{2,}$   $Q_{1,}$  intrările vor fi:

$$I_1$$
 (000):  $mQ_0$   $I_5$  (100):  $\overline{c}_1\overline{Q}_0 + c_2Q_0$ 

$$I_2$$
 (001):  $m$   $I_6$  (101):  $c_1$ 

$$I_3$$
 (010):  $\overline{a}\overline{Q}_0 + vQ_0$   $I_7$  (110):  $\overline{c}_1\overline{Q}_0 + c_2Q_0$ 

$$I_4$$
 (011):  $c_1Q_0 + \overline{c}_2\overline{Q}_0$   $I_8$  (111):  $c_1Q_0 + \overline{c}_2\overline{Q}_0$ 

# $Q_2 \rightarrow CBBJK$

J - MUX 4:1

$Q_1Q_0$ $Q_3Q_2$	00	01	11	10
00	0	0	0	m
01	*	*	*	*
11	*	*	*	*
10	<b>c</b> <sub>1</sub>	0	0	*

# Stabilind liniile de selecție la $Q_3$ și $Q_2$ :

$Q_0$ $Q_1$	0	1
0	0	0
1	m	0

 $I_1$  (00): m  $Q_1 \overline{Q}_0$ 

$Q_0$ $Q_1$	0	1
0	*	*
1	*	*

I<sub>2</sub>(01): 0

$Q_0$ $Q_1$	0	1
0	$c_1$	0
1	*	0

 $I_3$  (10):  $c_1 \, \overline{Q}_2$ 

$Q_0$ $Q_1$	0	1
0	*	*
1	*	*

I<sub>4</sub>(11): 0

K - MUX 2:1

$Q_1Q_0$ $Q_3Q_2$	00	01	11	10
00	*	*	*	*
01	ā	0	0	0
11	0	0	0	<i>C</i> <sub>2</sub>
10	*	*	*	*

Stabilind linia de selecție la Q<sub>3</sub>:

$Q_1Q_0$ $Q_2$	00	01	11	10
0	*	*	*	*
1	ā	0	0	0

$Q_1Q_0$ $Q_2$	00	01	11	10
0	0	0	0	$c_2$
1	*	*	*	*

 $I_1$  (0):  $\bar{a} \ \bar{Q}_1 \bar{Q}_0$ 

 $I_2(01): c_2 Q_1 \overline{Q}_0$ 

 $Q_3 \rightarrow CBBRS$ 

$Q_1Q_0$ $Q_3Q_2$	00	01	11	10
00	*	*	*	*
01	*	*	*	0
11	0	0	0	*
10	$\overline{c}_1$	0	0	0

$$\mathsf{R} = \bar{c}_1 \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 \bar{Q}_0$$

$Q_1Q_0$ $Q_3Q_2$	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	0	0	<i>C</i> <sub>2</sub>
11	*	*	*	*
10	*	*	*	*

$$S = c_2 Q_2 Q_1 \overline{Q}_0$$

### **OUTPUT**

$Q_1Q_0$ $Q_3Q_2$	00	01	11	10
00	Р	Р	R	N
01	D	D	D	D
11	D	D	D	D
10	D	D	D	*

Făcând diagramele Karnaugh pentru fiecare output în parte rezultă:

$$P = \overline{Q}_3 \overline{Q}_2 \overline{Q}_1$$

$$R = \overline{Q}_3 \overline{Q}_2 Q_1 Q_0$$

$$N = \overline{Q}_2 Q_1 \overline{Q}_0$$

$$D = Q_2 + Q_3$$

Aceste output-uri vor fi implementate fizic prin niște LED-uri cu câte o literă asociată în consola din bordul vehiculului. Este garantat că doar un LED va fi aprins la un moment dat și toate celelalte vor fi stinse, mai puțin atunci când motorul este oprit și toate vor fi stinse.

## IMPLEMENTAREA CIRCUITULUI

