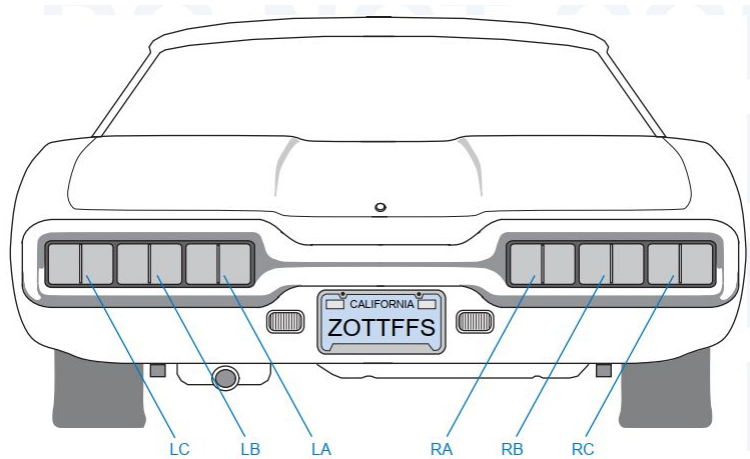
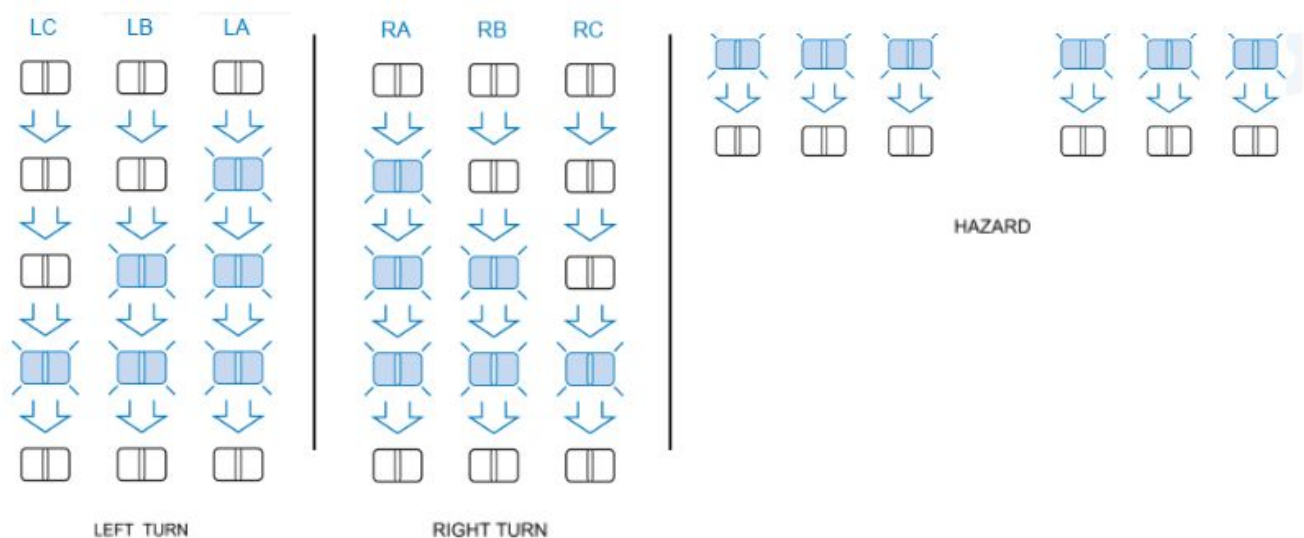


ให้ออกแบบ state machine และวงจร sequential circuit เพื่อควบคุมไฟท้ายของรถ Ford Thunderbird ที่ถูกผลิตในปี 1965 โดยไฟท้ายของรถนั้นจะมีทั้งหมดอยู่ 2 ด้าน ด้านละ 3 ดวง รวมเป็น 6 ดวงดังภาพที่แสดงอยู่ด้านล่าง



โดยไฟทั้ง 2 ด้านมีไว้เพื่อแสดงทิศทางของรถที่จะทำการเลี้ยวและแสดงสถานะไฟฉุกเฉิน ซึ่งถูกทิศทางและสถานะจะถูกกำหนดโดยผู้ขับขี่รถยนต์ ไฟของรถยนต์คันนี้จะมีเฉพาะกว่ารถปกติที่เราเห็นอยู่ทั่วไปคือจะมีการเปิดไฟทีละดวงไล่ไปตามทิศทางของรถที่จะทำการเลี้ยวจนครบ 3 ดวงแล้วจะดับลงทั้งหมดและวนเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกว่าผู้ขับขี่จะสั่งให้ปิดไฟเลี้ยว ในลักษณะของไฟฉุกเฉินไฟทั้ง 6 ดวงจะกระพริบไปพร้อมๆกันวนไปเรื่อยๆเช่นกันจนกว่าผู้ขับขี่จะสั่งให้ปิดไฟฉุกเฉิน ในกรณีที่ผู้ขับขี่เปิดไฟเลี้ยวและไฟฉุกเฉินพร้อมกันไฟท้ายของรถยนต์จะแสดงสถานะเป็นไฟฉุกเฉิน เพื่อให้เกิดความเข้าใจมากขึ้นไฟแสดงสถานะแต่ละแบบจะเป็นไปตามภาพด้านล่างนี้

สรุปได้ว่า input ของระบบจะมีปุ่มทั้งหมด 3 ปุ่มคือปุ่ม เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา ปุ่มไฟฉุกเฉิน และ output ของระบบคือ ไฟ



ท้ายทั้งหมด 6 ดวง

## 1.ส่วนควบคุม สถานะของไฟ (State control, Sequential Circuit)

ในคำสั่งเปิดไฟแต่ละคำสั่งจะมีสถานะคือ ไฟซ้าย 4 จังหวะ ไฟขวา 4 จังหวะ และไฟฉุกเฉิน 2 จังหวะ และมีเงื่อนไขว่า **คำสั่งแต่ละคำสั่งจะไม่ถูกส่งพร้อมกัน** นั้นหมายความว่า ส่วนควบคุมสถานะสามารถใช้ร่วมกันเพื่อประหยัดอุปกรณ์ในแต่ละคำสั่งได้ โดย  $4 = 2^2$  หรือคือใช้ D flipflop 2 ตัวนั่นเอง

เพื่อไม่ให้เกิดความสับสน จะให้สถานะควบคุมเป็นตัวเลขฐานสองตั้งแต่ 00, 01, 10 และ 11 เป็นไปตามลำดับข้างต้น จะได้ตารางแสดงสถานะดังนี้

I	Q1	Q2	D1	D2
0	x	x	0	0
1	0	0	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	1	1
1	1	1	0	0

หมายเหตุ: ให้ I คือ Input ที่ใช้ควบคุมสถานะของหน่วยความจำ คือถ้า I ส่งสัญญาณ “เปิด” จะเริ่มนับสถานะต่างๆ และกลับเป็นสถานะตั้งต้นทันทีหากส่งสัญญาณ “ปิด” โดย I จะได้จากการกดคำสั่งอย่างใดอย่างหนึ่งทั้งเลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา และไฟฉุกเฉิน เพราะตามที่กล่าวไปข้างต้นว่า จะใช้สถานะเหล่านี้ควบคุมการทำงานของทั้งหมด

ให้ Q1 และ Q2 เป็นสถานะเดิมในหน่วยความจำ(D Flipflop)

ให้ D1 และ D2 เป็นสถานะต่อไปที่จะให้หน่วยความจำเปลี่ยนแปลง

จะได้ว่า  $D1 = I Q1' Q2 + I Q1 Q2' = I (Q1' Q2 + Q1 Q2') = I (Q1 \oplus Q2)$

$D2 = I Q2$

## 2.ส่วนควบคุม สัญญาณไฟเลี้ยงซ้าย-ขวา (Combinational Circuit)

หลังจากที่เราได้สถานะต่างๆจากส่วนที่ 1 แล้ว เราสามารถใช้สถานะเหล่านั้นและสัญญาณคำสั่งเปิดไฟเลี้ยงซ้าย-ขวามาควบคุมสถานะของไฟเลี้ยงได้ดังตารางต่อไปนี้

### ตารางสัญญาณไฟซ้าย

L	Q1	Q2	LC	LB	LA
0	x	x	0	0	0
1	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	1
1	1	0	0	1	1
1	1	1	1	1	1

จะได้  $LC = L \cdot Q1 \cdot Q2$   
 $LB = L \cdot Q1$   
 $LA = L \cdot (Q1 + Q2)$

### ตารางสัญญาณไฟขวา

R	Q1	Q2	RA	RB	RC
0	x	x	0	0	0
1	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	0
1	1	0	1	1	0
1	1	1	1	1	1

จะได้  $RA = R \cdot (Q1 + Q2)$   
 $RB = R \cdot Q1$   
 $RC = R \cdot Q1 \cdot Q2$

### 3.ส่วนควบคุม สัญญาณไฟฉุกเฉิน (Combinational Circuit)

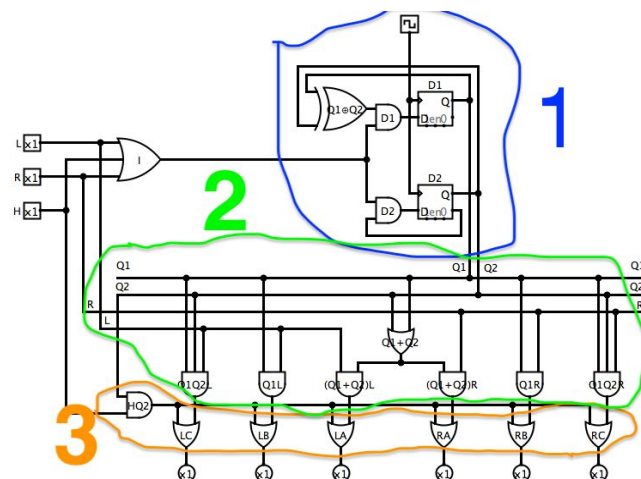
เนื่องจากคำสั่งไฟฉุกเฉินใช้ output เดียวกับคำสั่งไฟเขียวและไฟเหลืองและไฟเหลืองประกั้นว่าแต่ละคำสั่งจะไม่ถูกใช้งานพร้อมกัน(ถ้าพร้อมต้องใช้ AND gate เช็ดเงื่อนไขเพิ่ม) ฉนั้นสามารถนำผลที่ได้ของทั้งสองมาเลือกใช้(OR) กันได้เลย  
นอกจากนี้ เนื่องจากสถานะของไฟฉุกเฉินมีแค่สองสถานะคือ 0 และ 1 จุดนี้เราสามารถใชหน่วยความจำ Q2 มาใช้ได้เลย เพราะมีสถานะสลับกัน 0 และ 1 อยู่แล้ว จะได้ตารางค่าความจริงดังนี้

H	Q2	LC	LB	LA	RA	RB	RC
0	x	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1

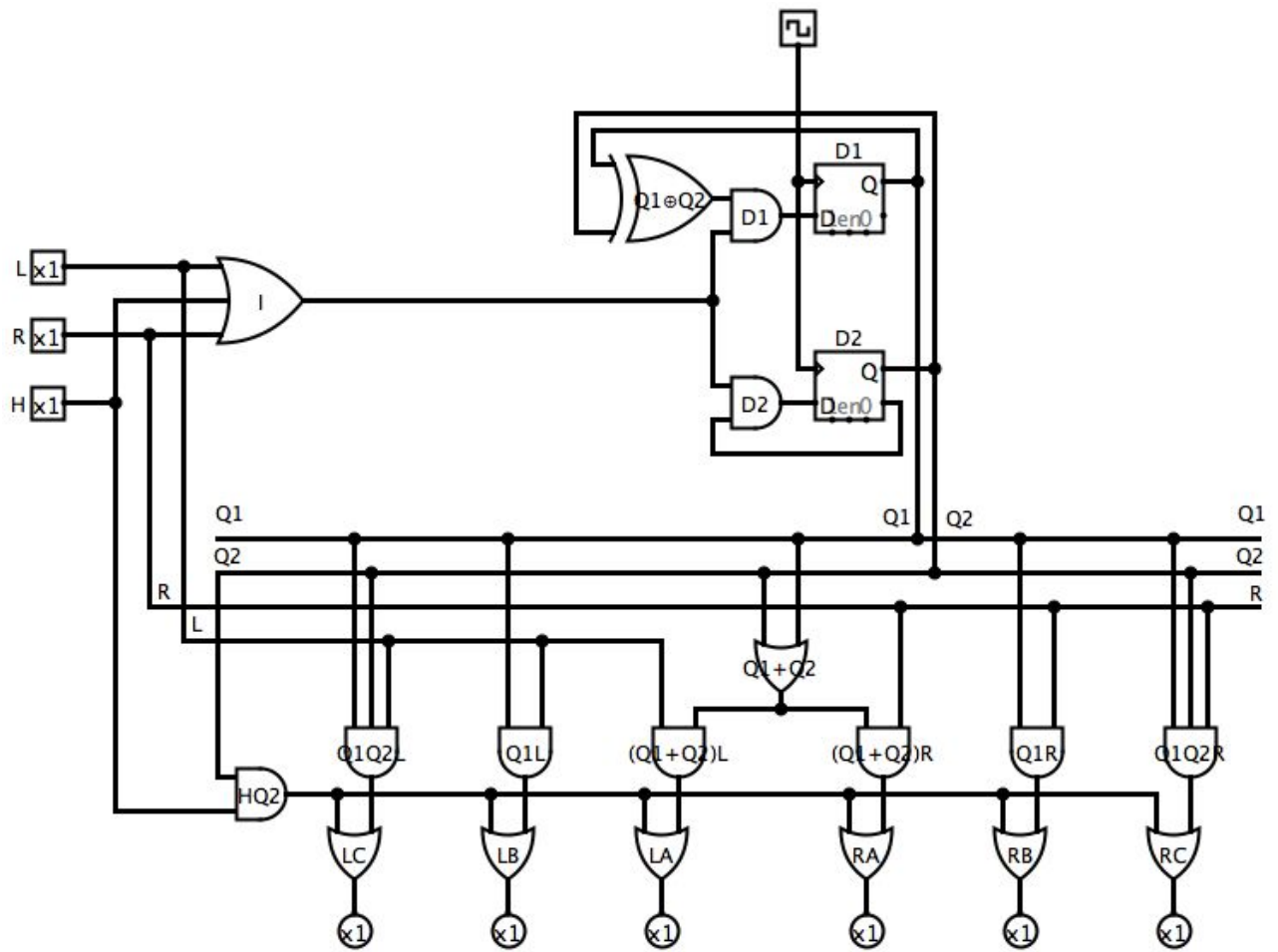
จะได้

$$\begin{aligned} LC &= H Q2 \\ LB &= H Q2 \\ LA &= H Q2 \\ RA &= H Q2 \\ RB &= H Q2 \\ RC &= H Q2 \end{aligned}$$

เมื่อรวมกับสัญญาณไฟเลี้ยงใหม่จะได้เป็น

$$\begin{aligned} LC &= L Q1 Q2 + H Q2 \\ LB &= L Q1 + H Q2 \\ LA &= L (Q1 + Q2) + H Q2 \\ RA &= R (Q1 + Q2) + H Q2 \\ RB &= R Q1 + H Q2 \\ RC &= R Q1 Q2 + H Q2 \end{aligned}$$


ภาพแบ่งส่วนการทำงานของวงจร



រូបភាព