บทที่ 4

การทดสอบวงจรย่อย

4.1 บทนำ

หลังจากที่เราได้ออกแบบวงจรต่างๆในบทที่แล้ว ในบทนี้เราจะแสดงผลของการทดสอบวงจรย่อยที่ได้ออกแบบไว้ทั้งหมด ในการทดสอบเราจะพิจารณาถึงหน้าที่ของวงจรย่อยนั้นๆที่มีอยู่ในระบบ แล้วจึงทดสอบตามหน้าที่ของมัน ลักษณะของผลการทดสอบจะแสดงโดยตารางแสดงผลการทดสอบ ในบางวงจรย่อยอาจต้องมีการคำนวนประกอบกับผลการทดลองเพื่อช่วยให้ทราบถึงขีดความสามารถต่างๆของวงจรย่อยเหล่านั้นซึ่งไม่อาจหาได้โดยการทดสอบหรืออาจทดสอบได้ แต่มีความยากลำบากในการทำการทดสอบ

4.2 การทดสอบภาคเอซี ทู ดีซี คอนเวิร์ทเทอร์

เนื่องจากเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอลที่ออกแบบมีภาคเอซีทูดีซีสองชุดซึ่งเหมือนกันทุกประการ ในการทดสอบเราจึงคำนึงถึงว่าสัญญาณขาออกของมันเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียบ และแรงดันนี้แปรผันโดยตรงกับขนาดของสัญญาณขาเข้าหรือไม่ และผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรทั้งสองเหมือนกันหรือไม่

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงแรงดันขาออกเทียบกับแรงดันขาเข้า จากผลการทดสอบเราสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกกับแรงดันขาเข้าของวงจรเอซีทูดีซีคอนเวิร์ทชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงดันขาเข้ากับแรงดันขาออกที่ทดสอบมาได้ มีลักษณะของการแปรผันโดยตรง ดังนั้นเราจึงใช้วิธี least square error ในการหา regression line

จากสมการของ regression line

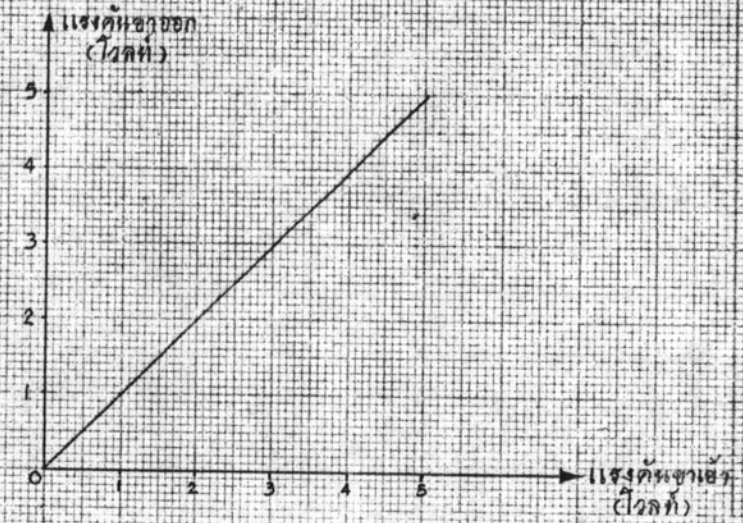
ตารางที่ 4.1

ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของวงจรเอซี ทู ดีซี คอนเวิร์ทเทอร์

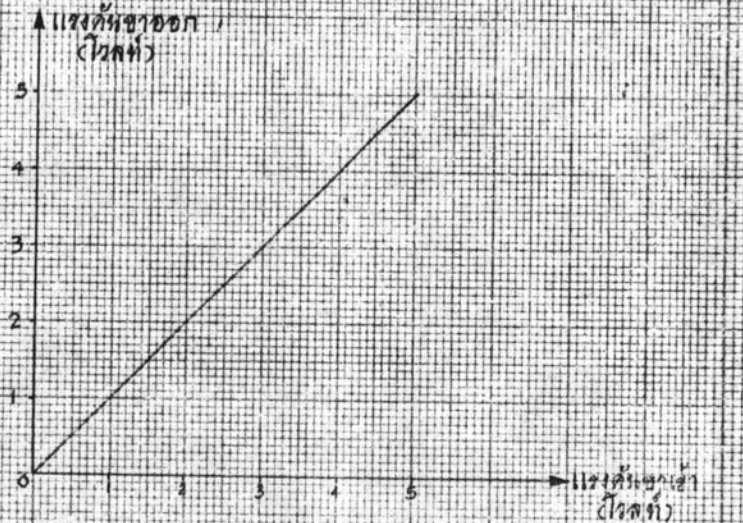
แรงดันขาเข้า (โวลท์)	แรงดันขาออก ชุดที่ 1 (โวลท์)	แรงดันขาออก ชุดที่ 2 (โวลท์)
0.0	0.001	0.001
0.2	0.200	0.201
0.5	0.499	0.501
1.0	0.998	1.000
2.0	2.002	2.001
3.0	2.997	2.999
4.0	3.999	4.003
5.0	4.996	4.999

หมายเหตุ 1. การทดสอบทำที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ท

2. วัดขนาดของแรงดันโดยใช้ Digital Simpson Multimeter, Model 464



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับแรงดันขาออกของวงจรเอซทูดีซีคอนเวิร์ทเตอร์ชุดที่ 1



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับแรงดันขาออกของวงจรเอซทูดีซีคอนเวิร์ทเตอร์ชุดที่ 2

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$y = ax + b \qquad (4.1)$$

$$a = \frac{\Sigma xy}{\Sigma x^2} \qquad (4.2)$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x} \qquad (4.3)$$

โดย x = แรงดันขาเข้า

y = แรงดันขาออก

จากข้อมูลของวงจรเอซีทูดีซีฯ ชุดที่ 1 จะได้ว่า

$$a_1 = 0.999$$

$$b_1 = 9.625 \times 10^{-4} \simeq 0$$

$$\therefore \quad y_1 = 0.999\ x_1$$

จากข้อมูลของวงจรเอซีทูดีซีฯ ชุดที่ 2 จะได้ว่า

$$a_2 = 0.999$$

$$b_2 = 2.588 \times 10^{-4} \simeq 0$$

$$\therefore \quad y_2 = 0.999\ x_2$$

จะเห็นได้ว่าวงจรเอซีทูดีซีฯทั้งสองชุดแปรผันเชิงเส้นตรงกับแรงดันขาเข้าทั้งคู่ โดยค่าคงที่ของการแปรผันประมาณเท่าๆกัน

ผลการทดสอบผลตอบสนองเชิงความถี่ที่อัตราขยายเป็นหนึ่งเท่าและสิบเท่า ได้แสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ ตารางที่ 4.4 แสดงอัตราส่วนของแรงดันขาออกทั้งสองที่อัตราขยายและความถี่ต่างๆ จากผลการทดสอบพบว่าที่ความถี่ต่ำกว่า 20 กิโลเฮิร์ท ค่าอัตราส่วนของแรงดันขาออกของวงจรทั้งสองชุดมีค่าผิดพลาดต่ำกว่า 1.5 % เครื่องมือที่ใช้และการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆในขณะทดสอบภาคเอซีทูดีซี คอนเวิร์ทเทอร์ ได้แสดงในรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.2

การแสดงผลการทดสอบวงจรเอซี ทู ดีซี คอนเวิร์ทเทอร์ที่อัตราขยายเป็นหนึ่ง

ความถี่ของสัญญาณขาเข้า (เฮิร์ท)	แรงดันของสัญญาณขาเข้า (โวลท์)	แรงดันขาออกชุดที่1 (โวลท)	แรงดันขาออกชุดที่2 (โวลท)	ripple ของสัญญาณขาออกชุดที่ 1 (มิลลิโวลท)	ripple ของสัญญาณขาออกชุดที่ 2 (มิลลิโวลท)	แรงดันขาอุกชุดที่1 ตอแรงดันขาออกชุดที่ 2	แรงดันขาอุกชุดที่2 ตอแรงดันขาเขา
0	0	0.0009	0.0014	0.1	0.1	0.643	-
10	1.578	1.566	1.567	3.8	4.8	0.999	0.992
50	1.579	1.572	1.573	0.4	1.2	0.999	0.996
100	1.587	1.574	1.582	0.2	0.2	0.995	1.008
200	1.585	1.576	1.580	0.1	0.1	0.997	0.994
500	1.585	1.576	1.582	0.0	0.1	1.004	0.994
1,000	1.581	1.579	1.572	0.1	0.1	0.996	0.999
2,000	1.575	1.576	1.571	0.1	0.1	0.997	1.001
5,000	1.576	1.579	1.574	0.1	0.1	0.997	1.002
10,000	1.570	1.563	1.564	0.1	0.1	1.001	0.996
20,000	1.566	1.566	1.566	0.1	0.1	1.000	1.000
50,000	1.520	1.525	1.531	0.1	0.1	0.996	0.997
100,000	0.961	1.411	1.464	0.1	0.1	1.038	1.468

หมายเหตุ 1. แรงดันต่างๆวัดโดย Digital Simpson Multimeter, Model 464

2. แรงดันที่จ่ายให้วงจรใช้ + 15.00 และ - 15.02 โวลท์ และมีสัญญาณรบกวนต่ำกว่า 5 mv

3. สัญญาณขาเข้ามีความเพี้ยนน้อยกว่า 3%

4. ปลายขาเข้าของวงจรทั้ง 2 ชุดต่อรวมกัน

ตารางที่ 4.3

แสดงผลการทดสอบวงจรเอ็ม ทู ดีซี คอนเวิร์ทเทอร์ที่อัตราขยายเป็น 10

ความถี่ของสัญญาณขาเข้า (เฮิร์ท)	แรงดันของสัญญาณขาเข้า (โวลท์)	แรงดันขาออกชุดที่1 (โวลท์)	แรงดันขาออกชุดที่2 (โวลท์)	ripple ที่ขาออกของชุดที่1 (มิลิโวลท์)	ripple ที่ขาออกของชุดที่2 (มิลิโวลท์)	แรงดันขาอุอกชุดที่1 ตอแรงดันขาอุอกชุดที่ 2	แรงดันขาอุอกชุดที่1 ตอแรงดันขาเข้า
0	0	0.001	0.5015	0.1	0.1	0.667	
10	0.423	4.24	4.23	11.7	13.9	1.002	10.002
50	0.423	4.24	4.23	2.1	3.1	1.002	10.002
100	0.426	4.26	4.28	0.9	0.1	0.995	10.000
200	0.426	4.26	4.28	0.0	0.0	0.995	10.000
500	0.426	4.27	4.28	0.1	0.0	0.995	10.023
1,000	0.432	4.36	4.38	0.0	0.0	0.995	10.093
2,000	0.436	4.38	4.40	0.0	0.0	0.995	10.046
5,000	0.436	4.39	4.40	0.0	0.0	0.998	10.069
10,000	0.436	4.36	4.38	0.0	0.0	0.995	10.000
20,000	0.436	4.33	4.35	0.0	0.0	0.995	9.978
50,000	0.418	4.32	4.36	0.0	0.0	0.991	10.335
100,000	0.344	3.31	2.17	2.1	1.1	1.525	9.622

หมายเหตุ 1. แรงดันต่างๆวัดโดย Digital Simpson Multimeter

2. แรงดันที่จ่ายให้วงจรใช้ +15.01 และ -15.03 โวลท์ และมีสัญญาณรบกวนต่ำกว่า 5 mv

3. สัญญาณขาเข้ามีความเพี้ยนน้อยกว่า 3%

4. ปลายขาเข้าของวงจรทั้ง 2 ชุดต่อร่วมกัน

ตารางที่ 4.4

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกทั้งสองชุดในกรณีต่างๆ

v_{11} เป็นแรงดันขาออกของชุดที่ 1 เมื่อใช้อัตราขยายเป็น 1

v_{12} เป็นแรงดันขาออกของชุดที่ 1 เมื่อใช้อัตราขยายเป็น 10

v_{21} เป็นแรงดันขาออกของชุดที่ 2 เมื่อใช้อัตราขยายเป็น 1

v_{22} เป็นแรงดันขาออกของชุดที่ 2 เมื่อใช้อัตราขยายเป็น 10

ความถี่ (เฮิร์ท)	v_{11}/v_{21}	v_{12}/v_{22}	v_{12}/v_{21}	v_{11}/v_{22}
10	0.992	1.002	10.073	0.0994
50	0.996	1.002	10.032	0.0998
100	1.008	0.995	9.871	0.1013
200	0.994	0.995	10.030	0.0989
500	0.994	0.995	10.124	0.0987
1,000	0.999	0.995	10.063	0.0985
2,000	1.001	0.995	10.006	0.0991
5,000	1.002	0.998	10.019	0.0993
10,000	0.996	0.995	10.050	0.0991
20,000	1.000	0.995	9.978	0.0997
50,000	0.997	0.991	10.325	0.0956
100,000	1.468	1.525	6.804	0.233

หมายเหตุ 1. ค่า v_{11}/v_{21} ได้จากตารางที่ 4.2

2. ค่า v_{12}/v_{22} ได้จากตารางที่ 4.3

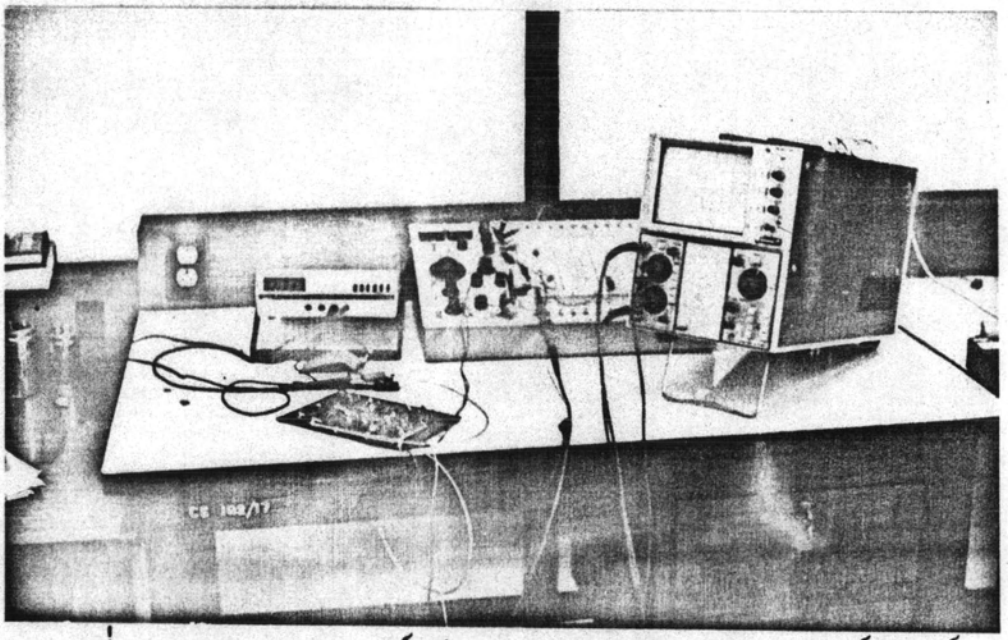
3. ค่า v_{12}/v_{21} หาได้จาก $\frac{v_{12}}{v_{21}} = \frac{v_{12}}{v_{in}} \times \frac{v_{11}}{v_{21}} \times \frac{v_{in}}{v_{11}}$

โดยใช้ค่า $\frac{v_{12}}{v_{in}}$ จากตารางที่ 4.3 และค่า $\frac{v_{11}}{v_{21}}$ กับ $\frac{v_{11}}{v_{in}}$ จากตารางที่ 4.2

4. ค่า V_{11}/V_{22} หาได้จาก

$$\frac{V_{11}}{V_{22}} = \frac{V_{11}}{V_{in}} \times \frac{V_{in}}{V_{12}} \times \frac{V_{12}}{V_{22}}$$

โดยใช้ค่า $\frac{V_{11}}{V_{in}}$ จากตารางที่ 4.2 และค่า $\frac{V_{in}}{V_{12}}$ กับ $\frac{V_{12}}{V_{22}}$ จากตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงภาพอุปกรณ์ขณะทดสอบภาคเอซี ทู ดีซี คอนเวิร์ทเทอร์

4.3 การทดสอบภาคเอทูดี คอนเวิร์ทเทอร์

ในการทดสอบวงจรนี้เราต้องการทดสอบความเป็นเชิงเส้นและความเหมือนกันของวงจรเอทูดี คอนเวิร์ทเทอร์ทั้งสองชุด จากการทดสอบโดยป้อนแรงดันที่ค่อนข้างคงที่จากถ่านไฟฉาย ซึ่งเป็นเซลไฟฟ้ากระแสตรงขนาดแรงดัน 1.5 โวลท์ และต่อปลายขาออกเข้ากับวงจรนับซึ่งมีภาคแสดงผล ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าวงจรทั้งสองภาคที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำถึงสี่หลัก

การทดสอบความเป็นเชิงเส้น และความเหมือนกันได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.6 จากผลการทดลองเราใช้วิธี least square error เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างแรงดันขาเข้ากับจำนวนลูกคลื่นที่ปลายขาออกได้ผลว่าในวงจรชุดหนึ่ง

จำนวนลูกคลื่นขาออก = 475951.46 × แรงดันขาเข้า (4.4)

ในวงจรชุดที่ สอง

จำนวนลูกคลื่นขาออก = 476593.65 × แรงดันขาเข้า (4.5)

จากสมการที่ (4.4) และ (4.5) จะได้ว่า

จำนวนพัลซ์ขาออกของชุดที่ 1 ต่อจำนวนพัลซ์ขาออกของชุดที่สอง = 0.9987

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5

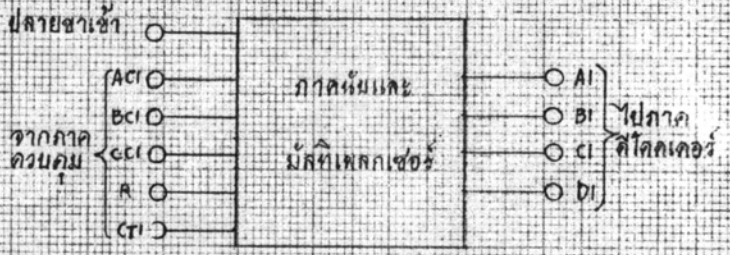
ผลการทดสอบความแม่นยำของวงจร เอทูดี คอนเวิร์ทเทอร์ ทดสอบที่แรงดันขาเข้า ขนาด 1.5 โวลท์

ครั้งที่	จำนวนพัลซ์ขาออก ของชุดที่ 1	จำนวนพัลซ์ขาออก ของชุดที่ 2
1	714149	715041
2	714373	715063
3	714156	715114
4	714338	715091
5	714503	715103

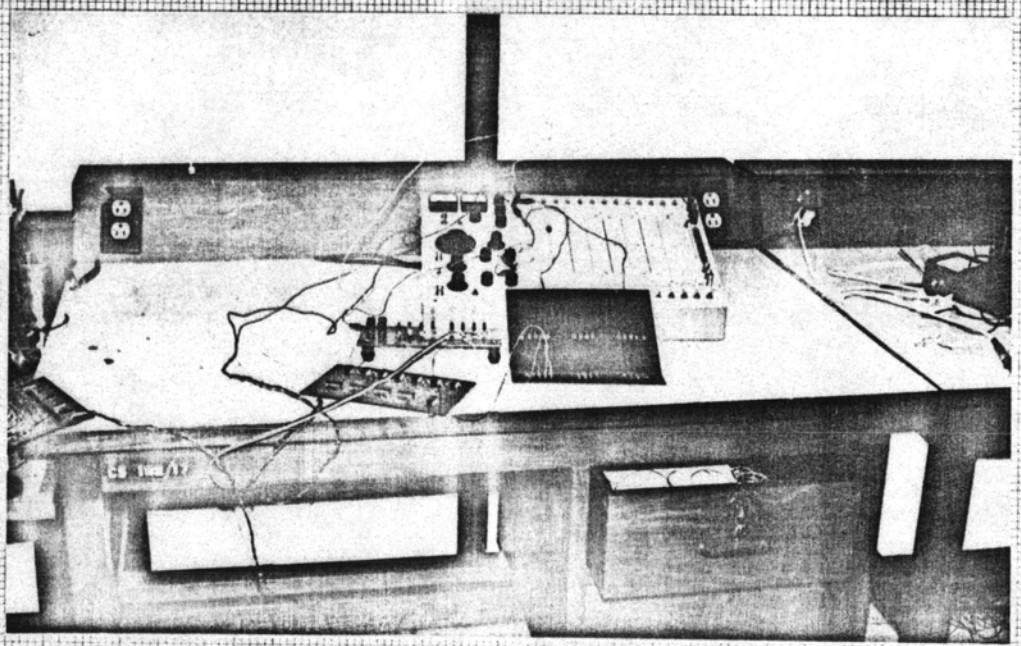
ตารางที่ 4.6

ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของวงจรเอทูดี คอนเวิร์ทเทอร์

แรงดันขาเข้า (โวลท์)	จำนวนพัลซ์ขาออก ของชุดที่ 1	จำนวนพัลซ์ขาออก ของชุดที่ 2
0.0	0	0
0.2	95220	95340
0.5	238151	239661
1.0	476318	476525
2.0	952334	952883
3.0	1427441	1428213
4.0	1903523	1910015
5.0	2379901	2380995



รูปที่ 4.4 แผนภาพแสดงปลายขาเข้าและออกของภาคนับ และมัลติเพลกเซอร์



รูปที่ 4.5 ภาพแสดงเครื่องมือและการจัดอุปกรณ์ขณะทำการทดสอบภาคนับและมัลติเพลกเซอร์

นั่นคือแรงดันขาเข้าเดียวกันจำนวนลูกคลื่นขาออกของวงจรทั้งสองจะเกือบเท่ากัน

4.4 การทดสอบภาคนับและมัลทิเพลกเซอร์

ภาคนับและมัลทิเพลกเซอร์แต่ละชุดสามารถเขียนปลายขาเข้าและออกต่างๆได้ดังแสดงในรูปที่ 4.4 จากการทดสอบการนับของวงจรทั้งสองชุด พบว่ามันสามารถนับในระบบเลข BCD ได้ทุกอย่างถูกต้อง ผลการทดสอบสภาวะการทำงานของภาคนับฯทั้งสองชุดได้ผลเหมือนกัน ดังนั้นเราจึงแสดงผลการทดสอบวงจรเพียงชุดเดียวโดยแสดงผลในตารางที่ 4.7 จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าสภาวะการทำงานถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ เครื่องมือที่ใช้และการจัดวางอุปกรณ์ขณะทดสอบผลการทำงานของภาคนับและมัลทิเพลกเซอร์นี้แสดงในรูปที่ 4.5

4.5 การทดสอบภาคคำนวนและแสดงผล

ภาคนี้เราทดสอบโดยป้อนข้อมูลเข้าไปโดยต่อปลาย 'D' ให้อยู่ระดับ 'H' พบว่ามันสามารถทำงานในลักษณะเดียวกับเครื่องคิดเลขธรรมดา ซึ่งสามารถคำนวนฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง เมื่อต่อปลาย D ให้อยู่ในระดับ 'L' พบว่าไม่ว่าจะป้อนข้อมูลใดเข้าไป ตัวเลขที่แสดงผลจะยังคงแสดงค่าก่อนที่ปลาย D จะอยู่ระดับ 'L' เครื่องมือที่ใช้และการจัดวางอุปกรณ์ในขณะทดสอบภาคคำนวนและแสดงผลได้แสดงในรูปที่ 4.6

4.6 การทดสอบภาคดีโคดเดอร์

ภาคดีโคดเดอร์มีแผนภาพแสดงปลายขาเข้าและออกดังแสดงในรูปที่ 4.7 ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.8 ซึ่งได้ผลการทดสอบตรงกับที่ได้ออกแบบไว้ เครื่องมือที่ใช้และการจัดวางอุปกรณ์ในขณะทดสอบภาคดีโคดเดอร์ ได้แสดงในรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.7

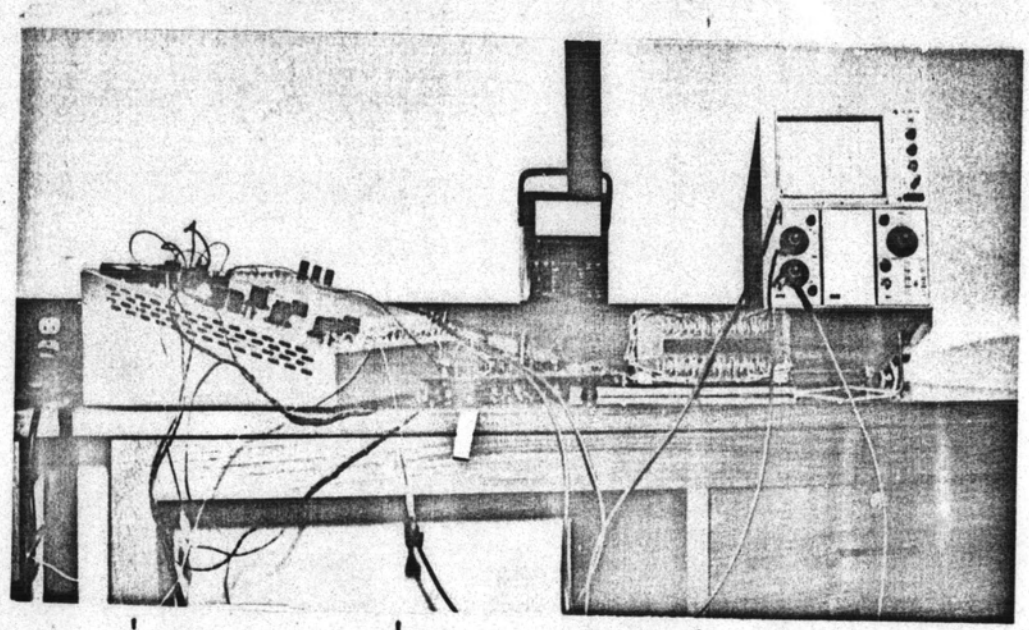
แสดงสภาวะการทำงานของภาคนับและมัลทิเพลกเซอร์

AC1	BC1	CC1	R	Cx	สภาวะของวงจรนับ	A1	B1	C1	D1
x	x	x	L	L	count	0	0	0	0
x	x	x	H	L	uncount	0	0	0	0
x	x	x	H	H	uncount	0	0	0	0
0	0	0	x	H	—	แสดงผลในหลักที่			7
0	0	1	x	H	—	"	"	"	6
0	1	0	x	H	—	"	"	"	5
0	1	1	x	H	—	"	"	"	4
1	0	0	x	H	—	"	"	"	3
1	0	1	x	H	—	"	"	"	2
1	1	0	x	H	—	"	"	"	1
1	1	1	x	H	—	1	1	1	1

ตารางที่ 4.8

ผลการทดสอบภาคดีโคดเดอร์

A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2	CT	'0'	'2'	'3'	'6'	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
X	X	X	X	X	X	X	X	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
0	0	0	0	0	0	0	1	L	L	L	L	L	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L
0	0	0	0	0	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	L	L	L
0	0	0	0	0	0	1	1	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L
0	0	0	0	0	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L
0	0	0	0	0	1	0	1	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L
0	0	0	0	0	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L
0	0	0	0	0	1	1	1	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H
0	0	0	0	1	0	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
0	0	0	0	1	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L
0	0	0	0	1	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	L
0	0	0	0	1	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	L	L	L	L	L
0	0	0	0	1	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L
0	0	0	0	1	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	L	L	L	L	L
0	0	0	0	1	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	L	L	L	L
0	0	0	0	1	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	L	L	L	L	L
0	0	0	1	0	0	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L
0	0	0	1	0	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	H	L	L	L	L	L
0	0	0	1	0	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	L	L	L	L
0	0	0	1	0	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	L	L	L	L	L
0	0	0	1	0	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	L	L	L
0	0	0	1	0	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	L	L	L	L	L
0	0	0	1	0	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	L	L	L	L
0	0	0	1	0	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	L	L	L	L	L
0	0	0	1	1	0	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L
0	0	0	1	1	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	H	L	L	L	L
0	0	0	1	1	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	H	L	L	L	L
0	0	0	1	1	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	H	L	L	L	L
0	0	0	1	1	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	L	L	L
0	0	0	1	1	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	H	L	L	L	L
0	0	0	1	1	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	L	L	L	L
0	0	0	1	1	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	H	L	L	L	L
0	0	1	0	0	0	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	L	L
0	0	1	0	0	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	H	H	L	L	L	L
0	0	1	0	0	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	L	L	L	L
0	0	1	0	0	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	H	L	L	L	L
0	0	1	0	0	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	L	L	L
0	0	1	0	0	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	H	L	L	L	L
0	0	1	0	0	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	L	L	L	L
0	0	1	0	0	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	L	L	L	L
0	0	1	0	1	0	0	0	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	H	L	L	L
0	0	1	0	1	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	H	L	L	L
0	0	1	0	1	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	H	L	L	L
0	0	1	0	1	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	L	H	L	L	L
0	0	1	0	1	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	H	L	L	L
0	0	1	0	1	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	L	H	L	L	L
0	0	1	0	1	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	H	L	L	L
0	0	1	0	1	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	L	H	L	L	L
0	0	1	1	0	0	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	L	L
0	0	1	1	0	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	H	L	H	L	L	L
0	0	1	1	0	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	H	L	L	L
0	0	1	1	0	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	L	H	L	L	L
0	0	1	1	0	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	L	L	L
0	0	1	1	0	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	L	H	L	L	L
0	0	1	1	0	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	H	L	L	L
0	0	1	1	0	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	L	H	L	L	L
0	0	1	1	1	0	0	0	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	H	H	L	L	L
0	0	1	1	1	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	H	H	L	L	L
0	0	1	1	1	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	H	H	L	L	L
0	0	1	1	1	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	H	H	L	L	L
0	0	1	1	1	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	L	L	L
0	0	1	1	1	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	H	H	L	L	L
0	0	1	1	1	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	H	L	L	L
0	0	1	1	1	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	H	H	L	L	L
0	1	0	0	0	0	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	L	L
0	1	0	0	0	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	H	H	H	L	L	L
0	1	0	0	0	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	H	L	L	L
0	1	0	0	0	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	H	H	L	L	L
0	1	0	0	0	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	L	L	L
0	1	0	0	0	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	H	H	L	L	L
0	1	0	0	0	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	L	L	L
0	1	0	0	0	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	L	L	L
0	1	0	0	1	0	0	0	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L
0	1	0	0	1	0	0	1	L	L	L	L	L	H	H	L	L	L	L	L	H	L	L
0	1	0	0	1	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	H	L	L
0	1	0	0	1	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	L	L	H	L	L
0	1	0	0	1	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	H	L	L
0	1	0	0	1	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	L	L	H	L	L
0	1	0	0	1	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	L	H	L	L
0	1	0	0	1	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	L	L	H	L	L
0	1	0	1	0	0	0	0	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	H	H	L	L
0	1	0	1	0	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	H	H	L	L
0	1	0	1	0	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	H	H	L	L
0	1	0	1	0	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	L	H	H	L	L
0	1	0	1	0	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	H	H	L	L
0	1	0	1	0	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	L	H	H	L	L
0	1	0	1	0	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	H	H	L	L
0	1	0	1	0	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	L	H	H	L	L
0	1	0	1	1	0	0	0	L	L	L	L	L	H	L	L	L	H	L	H	H	L	L
0	1	0	1	1	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	H	L	H	H	L	L
0	1	0	1	1	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	H	H	L	L
0	1	0	1	1	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	L	H	H	L	L
0	1	0	1	1	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	H	L	L
0	1	0	1	1	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	L	H	H	L	L
0	1	0	1	1	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	H	H	L	L
0	1	0	1	1	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	L	H	H	L	L
0	1	1	0	0	0	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	L
0	1	1	0	0	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	H	H	H	L	L
0	1	1	0	0	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	H	H	H	L	L
0	1	1	0	0	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	H	H	H	L	L
0	1	1	0	0	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	H	L	L
0	1	1	0	0	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	H	H	H	L	L
0	1	1	0	0	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	H	H	L	L
0	1	1	0	0	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	H	H	H	L	L
0	1	1	0	1	0	0	0	L	L	L	L	H	L	L	L	L	H	H	H	H	L	L
0	1	1	0	1	0	0	1	L	L	L	L	L	H	H	L	L	H	H	H	H	L	L
0	1	1	0	1	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	H	H	L	L
0	1	1	0	1	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	H	H	H	L	L
0	1	1	0	1	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	L	L
0	1	1	0	1	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	H	H	H	L	L
0	1	1	0	1	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	L	L
0	1	1	0	1	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	L	L
0	1	1	1	0	0	0	0	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	H	L
0	1	1	1	0	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	H	L
0	1	1	1	0	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	H	L
0	1	1	1	0	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	L	L	L	H	L
0	1	1	1	0	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	H	L
0	1	1	1	0	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	L	L	L	H	L
0	1	1	1	0	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	L	L	H	L
0	1	1	1	0	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	L	L	L	H	L
0	1	1	1	1	0	0	0	L	L	L	L	L	H	L	L	L	H	L	L	L	H	L
0	1	1	1	1	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	H	L	L	L	H	L
0	1	1	1	1	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	L	L	H	L
0	1	1	1	1	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	L	L	L	H	L
0	1	1	1	1	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	L	H	L
0	1	1	1	1	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	L	L	L	H	L
0	1	1	1	1	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	L	L	H	L
0	1	1	1	1	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	L	L	L	H	L
1	0	0	0	0	0	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	H	L
1	0	0	0	0	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	H	L	L	H	L
1	0	0	0	0	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	H	L	L	H	L
1	0	0	0	0	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	H	L	L	H	L
1	0	0	0	0	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	L	H	L
1	0	0	0	0	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	H	L	L	H	L
1	0	0	0	0	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	L	L	H	L
1	0	0	0	0	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	H	L	L	H	L
1	0	0	0	1	0	0	0	L	L	L	L	H	L	L	L	L	H	H	L	L	H	L
1	0	0	0	1	0	0	1	L	L	L	L	L	H	H	L	L	H	H	L	L	H	L
1	0	0	0	1	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	L	L	H	L
1	0	0	0	1	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	H	L	L	H	L
1	0	0	0	1	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	L	H	L
1	0	0	0	1	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	H	L	L	H	L
1	0	0	0	1	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	L	L	H	L
1	0	0	0	1	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	L	L	H	L
1	0	0	1	0	0	0	0	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L
1	0	0	1	0	0	0	1	L	L	L	L	L	H	H	L	L	L	L	H	L	H	L
1	0	0	1	0	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	H	L	H	L
1	0	0	1	0	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	L	H	L	H	L
1	0	0	1	0	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	H	L	H	L
1	0	0	1	0	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	L	H	L	H	L
1	0	0	1	0	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	H	L	H	L
1	0	0	1	0	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	L	H	L	H	L
1	0	0	1	1	0	0	0	L	L	L	L	L	H	L	L	L	H	L	H	L	H	L
1	0	0	1	1	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	H	L	H	L	H	L
1	0	0	1	1	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	H	L	H	L
1	0	0	1	1	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	L	H	L	H	L
1	0	0	1	1	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	L	H	L
1	0	0	1	1	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	L	H	L	H	L
1	0	0	1	1	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	H	L	H	L
1	0	0	1	1	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	L	H	L	H	L
1	0	1	0	0	0	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	L
1	0	1	0	0	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	H	H	L	H	L
1	0	1	0	0	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	H	H	L	H	L
1	0	1	0	0	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	H	H	L	H	L
1	0	1	0	0	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	L	H	L
1	0	1	0	0	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	H	H	L	H	L
1	0	1	0	0	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	H	L	H	L
1	0	1	0	0	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	H	H	L	H	L
1	0	1	0	1	0	0	0	L	L	L	L	H	L	L	L	L	H	H	H	L	H	L
1	0	1	0	1	0	0	1	L	L	L	L	L	H	H	L	L	H	H	H	L	H	L
1	0	1	0	1	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	H	L	H	L
1	0	1	0	1	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	H	H	L	H	L
1	0	1	0	1	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	L	H	L
1	0	1	0	1	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	H	H	L	H	L
1	0	1	0	1	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	L	H	L
1	0	1	0	1	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	L	H	L
1	0	1	1	0	0	0	0	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	H	H	L
1	0	1	1	0	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	H	H	L
1	0	1	1	0	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	H	H	L
1	0	1	1	0	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	L	L	H	H	L
1	0	1	1	0	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	H	H	L
1	0	1	1	0	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	L	L	H	H	L
1	0	1	1	0	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	L	H	H	L
1	0	1	1	0	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	L	L	H	H	L
1	0	1	1	1	0	0	0	L	L	L	L	L	H	L	L	L	H	L	L	H	H	L
1	0	1	1	1	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	H	L	L	H	H	L
1	0	1	1	1	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	L	H	H	L
1	0	1	1	1	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	L	L	H	H	L
1	0	1	1	1	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	H	H	L
1	0	1	1	1	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	L	L	H	H	L
1	0	1	1	1	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	L	H	H	L
1	0	1	1	1	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	L	L	H	H	L
1	1	0	0	0	0	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	L
1	1	0	0	0	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	H	L	H	H	L
1	1	0	0	0	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	H	L	H	H	L
1	1	0	0	0	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	H	L	H	H	L
1	1	0	0	0	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	H	H	L
1	1	0	0	0	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	H	L	H	H	L
1	1	0	0	0	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	L	H	H	L
1	1	0	0	0	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	H	L	H	H	L
1	1	0	0	1	0	0	0	L	L	L	L	H	L	L	L	L	H	H	L	H	H	L
1	1	0	0	1	0	0	1	L	L	L	L	L	H	H	L	L	H	H	L	H	H	L
1	1	0	0	1	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	L	H	H	L
1	1	0	0	1	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	H	L	H	H	L
1	1	0	0	1	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	H	H	L
1	1	0	0	1	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	H	L	H	H	L
1	1	0	0	1	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	L	H	H	L
1	1	0	0	1	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	L	H	H	L
1	1	0	1	0	0	0	0	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L
1	1	0	1	0	0	0	1	L	L	L	L	L	H	H	L	L	L	L	H	H	H	L
1	1	0	1	0	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	H	H	H	L
1	1	0	1	0	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	L	H	H	H	L
1	1	0	1	0	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	H	H	H	L
1	1	0	1	0	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	L	H	H	H	L
1	1	0	1	0	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	H	H	H	L
1	1	0	1	0	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	L	H	H	H	L
1	1	0	1	1	0	0	0	L	L	L	L	L	H	L	L	L	H	L	H	H	H	L
1	1	0	1	1	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	H	L	H	H	H	L
1	1	0	1	1	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	H	H	H	L
1	1	0	1	1	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	L	H	H	H	L
1	1	0	1	1	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	H	H	L
1	1	0	1	1	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	L	H	H	H	L
1	1	0	1	1	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	H	H	H	L
1	1	0	1	1	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	L	H	H	H	L
1	1	1	0	0	0	0	0	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	H	H	H	H	L
1	1	1	0	0	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	H	H	H	H	L
1	1	1	0	0	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	H	H	H	H	L
1	1	1	0	0	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	H	H	H	H	L
1	1	1	0	0	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	H	H	L
1	1	1	0	0	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	H	H	H	H	L
1	1	1	0	0	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	H	H	H	L
1	1	1	0	0	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	L	H	H	H	H	L
1	1	1	0	1	0	0	0	L	L	L	L	H	L	L	L	L	H	H	H	H	H	L
1	1	1	0	1	0	0	1	L	L	L	L	L	H	H	L	L	H	H	H	H	H	L
1	1	1	0	1	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	H	H	H	L
1	1	1	0	1	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	L
1	1	1	0	1	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	L
1	1	1	0	1	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	H	H	H	H	H	L
1	1	1	0	1	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	L
1	1	1	0	1	1	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	L
1	1	1	1	0	0	0	0	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	H
1	1	1	1	0	0	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	H
1	1	1	1	0	0	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	H
1	1	1	1	0	0	1	1	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	L	L	L	L	H
1	1	1	1	0	1	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	H
1	1	1	1	0	1	0	1	L	L	L	L	L	L	H	L	H	L	L	L	L	L	H
1	1	1	1	0	1	1	0	L	L	L	L	L	L	L	H	H	L	L	L	L



รูปที่ 4.6 ภาพแสดงเครื่องมือและการจัดอุปกรณ์ ขณะทำการทดลองภาคคำนวณและแสดงผล

4.7 การทดสอบภาคควบคุมการมัลทิเพลกเซอร์

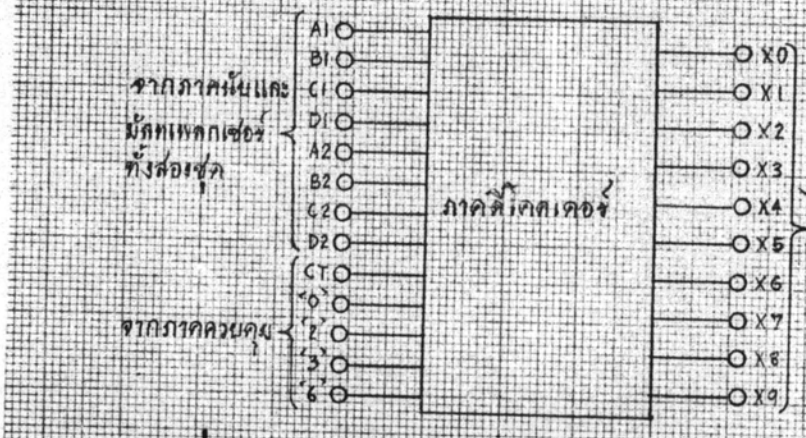
วงจรควบคุมนี้มีแผนภาพดังแสดงในรูปที่ 4.9 การทดสอบวงจรนี้ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.9 จากผลการทดลองได้ผลตรงกับที่ได้ออกแบบไว้

4.8 การทดสอบภาคควบคุมการคำนวนอัตราขยาย

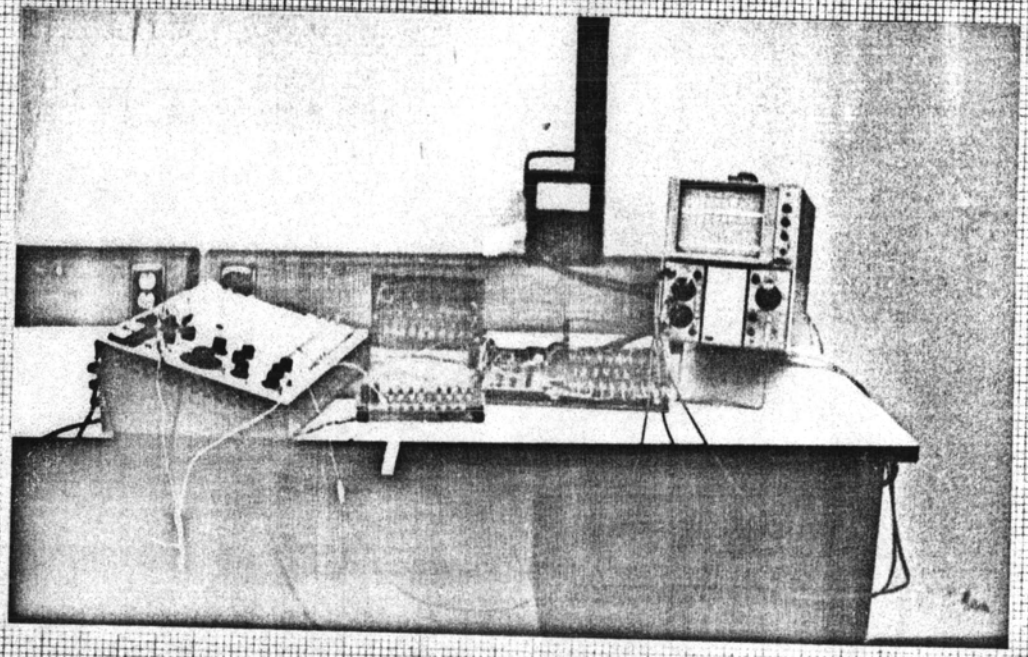
วงจรควบคุมการคำนวนอัตราขยายมีแผนภาพดังแสดงในรูปที่ 4.10 ผลการทดสอบได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.10 จากผลการทดสอบได้ผลตามที่ได้ออกแบบไว้

ในการทดสอบ 'clear' และ 'set' เมื่อ clear เป็น 'L' ทุกๆบิทในชีฟท์รีจีสเตอร์ทั้งหมดในวงจรจะเป็นศูนย์ เมื่อ 'set' เป็น 'H' จะทำให้บิทที่หนึ่งของชีฟท์รีจีสเตอร์ชุดแรกเป็น 'H'

4.9 การทดสอบวงจรควบคุมการคำนวนเฟส



รูปที่ 4.7 แผนภาพแสดงปลายขาเข้าและออกของภาคดีโคดเดอร์



รูปที่ 4.8 ภาพแสดงเครื่องมือและการจัดอุปกรณ์ขณะทำการทดสอบภาคดีโคดเดอร์

รูปที่ 4.9 แผนภาพแสดงปลายขาเข้าและออกของภาคควบคุม การมัลติเพลก

รูปที่ 4.10 แผนภาพแสดงปลายขาเข้าและออกของภาคควบคุม การคำนวณอัตราขยาย

ตารางที่ 4.9

แสดงผลการทดลองภาคควบคุมการมัลทิเพลก
(การทดลองนี้ทำหลังจากป้อนสัญญาณเข้ามา 1 พัลซ์แล้ว)

clock พัลซ ที่	สภาวะ ของ clock	AC1	BC1	CC1	CT1	AC2	BC2	CC2	CT2	CT	'÷'	ปลาย ออก
1	L	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
	H	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2	L	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
	H	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
3	L	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
	H	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4	L	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0
	H	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
5	L	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
	H	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	L	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
	H	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
7	L	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
	H	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
8	L	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9	L	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
	H	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
10	L	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	H	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
11	L	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	H	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
12	L	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0
	H	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
13	L	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0
	H	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
14	L	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0
	H	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
15	L	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	พัลซ์
	H	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	พัลซ

ตารางที่ 4.10

ผลการทดสอบภาคควบคุมการคำนวนอัตราขยาย

clear	set	time	clock	'='	'F'	'log'	'X'	'2'	'0'	'AL'	ปลายขาออก
L	L	t_0	x	0	0	0	0	0	0	x	0
H	H	t_1	↑	0	0	0	0	0	0	x	0
H	L	t_2	↓	0	0	0	0	0	0	x	0
H	L	t_3	↓	1	0	0	0	0	0	x	0
H	L	t_4	↓	0	0	0	0	0	0	x	0
H	L	t_5	↓	0	1	0	0	0	0	x	0
H	L	t_6	↓	0	0	0	0	0	0	x	0
H	L	t_7	↓	0	0	1	0	0	0	x	0
H	L	WAIT	↓	0	0	0	0	0	0	0	0
H	L	t_n	↓	0	0	0	0	0	0	1	0
H	L	t_{n+1}	↓	0	0	0	0	0	0	x	0
H	L	t_{n+2}	↓	0	0	0	1	0	0	x	0
H	L	t_{n+3}	↓	0	0	0	0	0	0	x	0
H	L	t_{n+4}	↓	0	0	0	0	1	0	x	0
H	L	t_{n+5}	↓	0	0	0	0	0	0	x	0
H	L	t_{n+6}	↓	0	0	0	0	0	1	x	0
H	L	t_{n+7}	↓	0	0	0	0	0	0	x	0
H	L	t_{n+8}	↓	0	0	0	0	0	0	x	⎍

หมายเหตุ การทดสอบนี้เป็นการทดสอบโดยเรียงลำดับการทำงานของวงจร ให้เหมือนสภาพเป็นจริงที่เกิดขึ้นเมื่อวงจรนี้ประกอบอยู่ในเครื่องฯ

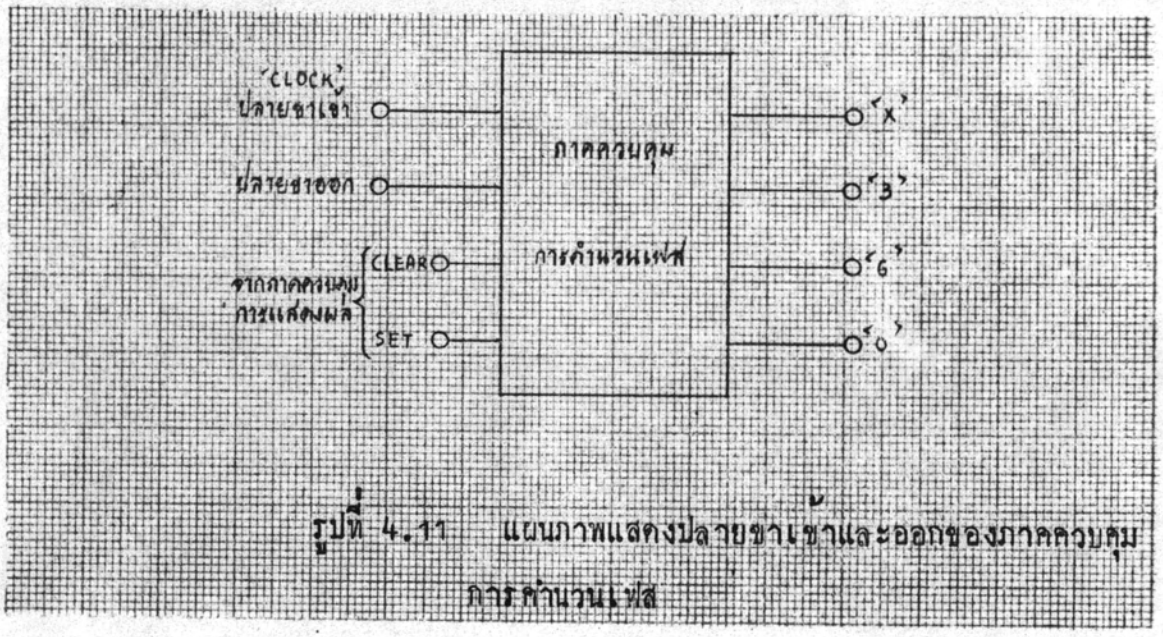
ตารางที่ 4.11

ผลการทดสอบวงจรควบคุมการคำนวนเฟส

time	clear	set	'clock'	'x'	'3'	'6'	'0'	ปลายขาออก
t_0	L	L	x	0	0	0	0	0
t_1	H	H	x	0	0	0	0	0
t_2	H	L	↓	0	0	0	0	0
t_3	H	L	↓	1	0	0	0	0
t_4	H	L	↓	0	1	0	0	0
t_5	H	L	↓	0	0	0	0	0
t_6	H	L	↓	0	0	1	0	0
t_7	H	L	↓	0	0	0	0	0
t_8	H	L	↓	0	0	0	1	0
t9	H	L	↓	0	0	0	0	⊓

หมายเหตุ การทดสอบนี้เป็นการทดสอบโดยเรียงลำดับการทำงานของวงจรให้เหมือนสภาพเป็นจริงที่เกิดขึ้นเมื่อวงจรนี้ประกอบอยู่ในเครื่องฯ

วงจรควบคุมอันนี้มีแผนภาพดังแสดงในรูปที่ 4.11 ผลของการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.11 จากผลการทดสอบได้ผลตรงตามที่ได้ออกแบบไว้



รูปที่ 4.11 แผนภาพแสดงปลายขาเข้าและออกของภาคควบคุมการค้นวนเฟส

4.10 สรุป

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วเป็นการทดสอบวงจรย่อยเกือบทั้งหมด ที่ประกอบในเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอลซึ่งได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 จากผลการทดสอบพบว่าทุกวงจรทำงานตามที่เราได้ออกแบบไว้ ข้อผิดพลาดในวงจรต่างๆที่เป็นวงจรทางดิจิทอลนั้นไม่มีเลย จะมีผลผิดพลาดบ้างเฉพาะเอซี ทู ดีซี คอนเวิร์ทและภาคเอทูดี คอนเวิร์ทเทอร์เท่านั้น

ในภาคควบคุมการแสดงผลนั้นเป็นการทำงานของวงจรเอนกระรัวแบบเอกเสถียรที่ต่อแบบทอดเนื่อง ซึ่งจะทำงานตามที่ออกแบบอย่างถูกต้อง จึงไม่ได้ทำการทดสอบ ส่วนวงจรตรวจจับความแตกต่างมุมนั้นเราไม่สามารถทำการตรวจสอบในบทนี้ เพราะไม่สามารถหาสัญญาณสองอันที่มีความแตกต่างมุมที่ทราบค่าแน่นอน และต้องเปลี่ยนความแตกต่างมุมได้ด้วย ดังนั้นเราจะทดสอบการทำงานของวงจรนี้พร้อมกับการทดสอบเครื่องฯเลยในบทต่อไป