บทที่ 5

การทดสอบเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอล

5.1 บทนำ

เราได้กล่าวถึงการออกแบบและการทดสอบวงจรในส่วนต่าง ๆ ของแผนภาพของเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอลที่แสดงในรูปที่ 2.3 เมื่อเอาวงจรเหล่านี้มาประกอบกันเข้าเป็นเครื่องวิเคราะห์แบบดิจิทอลแล้วเราจะทดสอบการทำงานของเครื่องฯ เราจะทำการทดสอบคุณสมบัติโดยทั่วไปของเครื่องฯรวมทั้งหาความแม่นยำของเครื่องด้วย หลังจากนั้นจะทดลองใช้เครื่องฯไปวิเคราะห์วงจรจริงๆ ผลของการทดสอบจะได้กล่าวในหัวข้อต่าง ๆ ต่อไป

5.2 การทดสอบเบื้องต้น

ในการทดสอบนี้เราจะทำการทดสอบเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอลสองกรณี คือ วัดสัญญาณสองอันที่มีความแตกต่างมุมเป็นศูนย์ และ 180 องศาที่ความถี่ต่าง ๆ

5.2.1 วัดสัญญาณที่มีความแตกต่างมุมเป็นศูนย์องศาในการทดสอบนี้เราจะเอาปลายทั้งสองของเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอลต่อกับสัญญาณอันเดียวกันที่ความถี่ต่าง ๆ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 5.1 จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าอัตราขยายผิดพลาดสูงสุด 1.18 เปอร์เซนต์ ที่ความถี่ 200 เฮิร์ท ส่วนมุมผิดพลาดสูงสุด 1.7 องศาที่ความถี่ 10 กิโลเฮิร์ท

5.2.2 วัดสัญญาณที่มีความแตกต่างมุมเป็น 180 องศา ในการทดสอบนี้เราจะวัดสัญญาณขาเข้าและออกของวงจรอินเวิร์ทติ้ง แอมปริฟลายเออร์ที่มีอัตราขยายต่ำๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.1 โดยปกติที่ความถี่ต่ำ ๆ สัญญาณขาเข้าและออกของวงจรอินเวิร์ทติ้งแอมปริฟลายเออร์จะมีมุมต่างกันประมาณ 180 องศา จากผลการทดสอบซึ่งแสดงในตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าผลการวัดได้ค่าความแตกต่างมุมที่ความถี่ของสัญญาณต่ำประมาณ 180 องศา และจะมากกว่า 180 องศาเล็กน้อยที่ความถี่สูงขึ้นซึ่งอาจเกิดจากผลของวงจรอินเวิร์ทติ้ง

ตารางที่ 5.1

การทดสอบโดยบ้อนสัญญาณสองอันที่มีความถี่, ขนาดและมุมเท่ากัน

ความถี่ (เฮิร์ท)	ความแตกต่างของมุม(องศา)				อัตราขยาย(เท่า)				อัตราขยาย(เดซิเบล)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
20	359.6544	359.5268	359.6814	359.6209	1.00054	1.00688	1.00095	1.00279	0.00469	0.05955	0.00825	0.02416
50	359.8216	359.8813	359.8060	359.8363	0.99777	0.99777	1.00484	1.00013	-0.01939	-0.01939	0.00113	-0.01255
100	359.7577	359.7079	359.7867	359.7514	0.99872	0.99912	1.00733	1.00172	-0.01113	-0.00765	0.01493	0.00128
200	359.6154	359.6632	359.9718	359.7501	1.01852	0.99980	1.01700	1.01177	0.15939	-0.00174	0.14642	-0.10136
500	359.9506	359.9718	359.9718	359.9647	1.01432	0.99862	0.99681	1.00382	0.12349	-0.01199	0.03312	0.14462
1000	1.1408	1.1406	1.1479	359.1431	1.00645	1.00589	1.00673	1.00421	0.05584	0.05101	0.03649	0.04778
2000	0.7602	0.7602	0.8041	0.7748	0.99355	1.00544	0.99463	0.99787	-0.05621	0.04712	-0.04677	-0.01862
5000	360.0356	360.00	360.00	360.0667	0.99357	1.00235	0.98923	0.99405	-0.08229	0.02039	-0.09405	-0.05198
10000	358.2666	358.4242	358.3457	358.3455	1.00623	0.98905	0.99477	0.99668	0.05395	-0.09564	-0.02889	-0.02353

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.2

ผลการทดสอบเครื่องฯโดยใช้สัญญาณจากวงจรอินเวิร์ทติ้ง แอมปริฟลายเออร์

ความถี่ (เฮิร์ท)	แรงดันขาเข้า (โวลท์)	แรงดันขาออก (โวลท์)	อัตราขยาย (เท่า)	อัตราขยาย (เดซิเบล)	ความแตกต่างของมุม(องศา)	อัตราขยายจากการคำนวน(เท่า)	อัตราขยายจากการคำนวน (เดซิเบล)
100	2.25	1.54	0.6856	-3.2786	180.2	0.6844	-3.2938
200	2.11	1.45	0.6870	-3.2609	180.5	0.6872	-3.2583
500	2.12	1.45	0.6881	-3.2469	180.7	0.6839	-3.3001
1000	2.16	1.48	0.6832	-3.3090	181.0	0.6852	-3.2837
2000	2.14	1.47	0.6872	-3.2583	182.7	0.6869	-3.2621
5000	2.12	1.44	0.6805	-3.3434	183.1	0.6792	-3.3600
10000	2.05	1.38	0.6783	-3.3716	183.7	0.6732	-3.4375

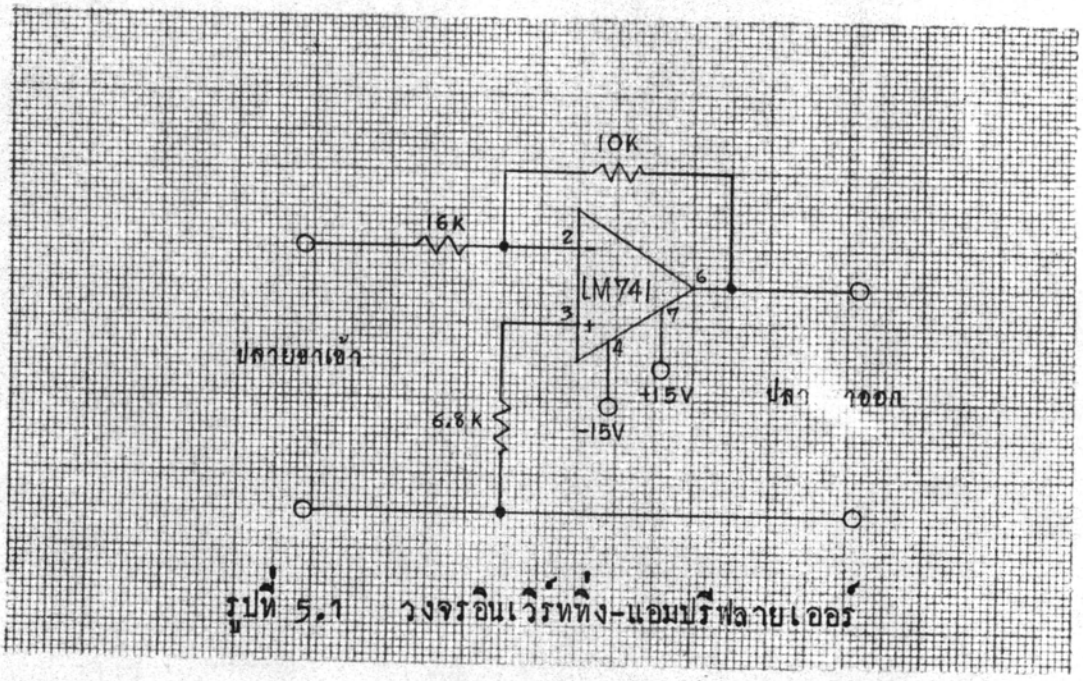
หมายเหตุ 1. แรงดันวัดโดย Digital Simpson meter

2. อัตราขยาย $= \frac{\text{แรงดันขาออก}}{\text{แรงดันขาเข้า}}$

3. อัตราขยาย(เดซิเบล) $= 20 \times \log$ (อัตราขยายเป็นเท่า)

4. ค่าที่วัดอ่านแล้วนิยม 4 ตำแหน่ง

แอมปริพลายเออร์เอง ส่วนอัตราขยายที่วัดได้เมื่อเทียบกับอัตราขยายที่คำนวนจากขนาดแรงดันของสัญญาณขาเข้าและออกของวงจร จะเห็นได้ว่าความผิดพลาดในการวัดอัตราขยายเพียง 0.76 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 10 กิโลเฮิร์ท



รูปที่ 5.1 วงจรอินเวิร์ทติ้ง-แอมปรีฟลายเออร์

5.3 การวิเคราะห์วงจรที่ทราบลักษณะสมบัติทางไฟฟ้า

ในการทดสอบนี้เราจะใช้เครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอลวัดอัตราขยายและความแตกต่างมุมของสัญญาณขาเข้าและออกของวงจร RC filter และเปรียบเทียบผลการวัดกับผลการคำนวณการทดสอบจะทดสอบทั้งวงจร RC lows pass filter และวงจร RC high pass filter ผลการทดสอบจะแสดงดังต่อไปนี้

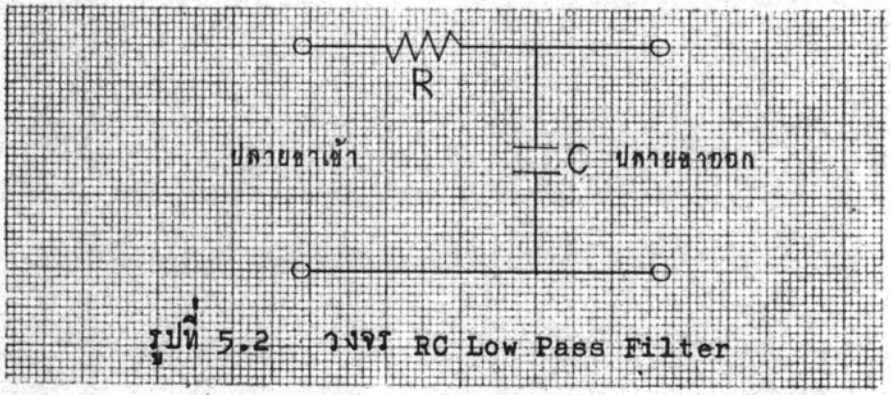
5.3.1 ทดสอบวงจร RC low pass filter วงจรนี้แสดงในรูปที่ 5.2 เราใช้ความต้านทานขนาด 11.95 กิโลโอห์ม (วัดโดย Digital mpson Multimeter) และคาพาซิเตอร์ขนาด 0.0505 ไมโครฟารัด (วัดโดยอิมพีแดนซ์บริดจ์มิเตอร์) ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 5.3 เลือกค่าที่วัดได้ที่ความถี่ 271 เฮิร์ทซึ่งมีอัตราขยายใกล้เคียงกับค่าอัตราขยายที่ความถี่ 3 เดซิเบลเพื่อคำนวณหาค่าความถี่ 3 เดซิเบลจากสมการอัตราขยายของวงจร RC low pass filter

ตารางที่ 5.3

ผลการทดสอบวงจร RC low pass filter โดยใช้
ความต้านทานขนาด 11.95 กิโลโอห์มและคาพาซิเตอร์ขนาด 0.0505 ไมโครฟารัด

ความถี่	อัตราขยาย(เท่า)				อัตราขยาย(เดซิเบล)				มุม			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
20	0.992	0.991	0.992	0.992	-0.068	-0.076	-0.070	-0.071	4.211	4.107	4.181	4.166
50	0.990	0.982	0.991	0.988	-0.088	-0.137	-0.115	-0.114	10.206	10.352	10.301	10.286
100	0.940	0.940	0.949	0.943	-0.539	-0.539	-0.454	-0.511	20.291	20.464	20.404	20.386
200	0.801	0.800	0.800	0.800	-1.933	-1.935	-1.934	-1.934	36.305	36.366	36.345	36.391
271	0.710	0.694	0.696	0.700	-2.978	-3.167	-3.151	-3.099	45.625	45.731	45.777	45.778
500	0.470	0.472	0.463	0.468	-6.568	-6.522	-6.689	-6.593	61.379	61.374	61.353	61.369
1000	0.254	0.254	0.256	0.255	-11.912	-11.898	-11.825	-11.878	74.652	74.498	74.526	74.559
2000	0.131	0.131	0.131	0.131	-17.684	-17.684	-17.675	-17.681	82.284	82.295	82.284	82.288
5000	0.053	0.053	0.051	0.052	-25.574	-25.473	-25.773	-25.608	86.566	86.728	86.739	86.678

หมายเหตุ การวัดความแตกต่างมุมใช้มุมของสัญญาณขาเข้าเป็นตัวอ้างอิง



รูปที่ 5.2 วงจร RC Low Pass Filter

อัตราขยาย(เท่า) = $(1 + (\text{ความถี่ของสัญญาณ}/\text{ความถี่3เดซิเบล})^{2})^{-\frac{1}{2}}$

$\therefore$ 0.7 = $(1 + (271/\text{ความถี่3เดซิเบล})^{2})^{-\frac{1}{2}}$

$\therefore$ ความถี่3เดซิเบล = 265.63 เฮิร์ท

ค่าความถี่ 3 เดซิเบลจริงคำนวณได้จาก

ความถี่ 3 เดซิเบล = $(2\pi RC)^{-1}$ (5.2)

= $(2\times\pi\times11950\times5.05\times10^{-8})$

= 263.73 เฮิร์ท

จะเห็นได้ว่าความถี่ 3 เดซิเบลที่หาจากผลการวัดผิดพลาดไปเพียง 1.9 เฮิร์ท หรือ 0.72 เปอร์เซ็นต์

จากค่าความต้านทานและคาพาซิเตอร์ของวงจรที่ใช้เราสามารถคำนวณอัตราขยายและความแตกต่างมุมที่ความถี่ต่างๆ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.4 รูปที่ 5.3 และ 5.4 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราขยายเป็นเดซิเบล และความแตกต่างมุมเป็นองศาของผลการวัดและผลการคำนวณตามลำดับ จากผลการทดลองและการคำนวณเราสามารถคำนวณขนาดความผิดพลาดเฉลี่ยของการวัดอัตราขยายจาก

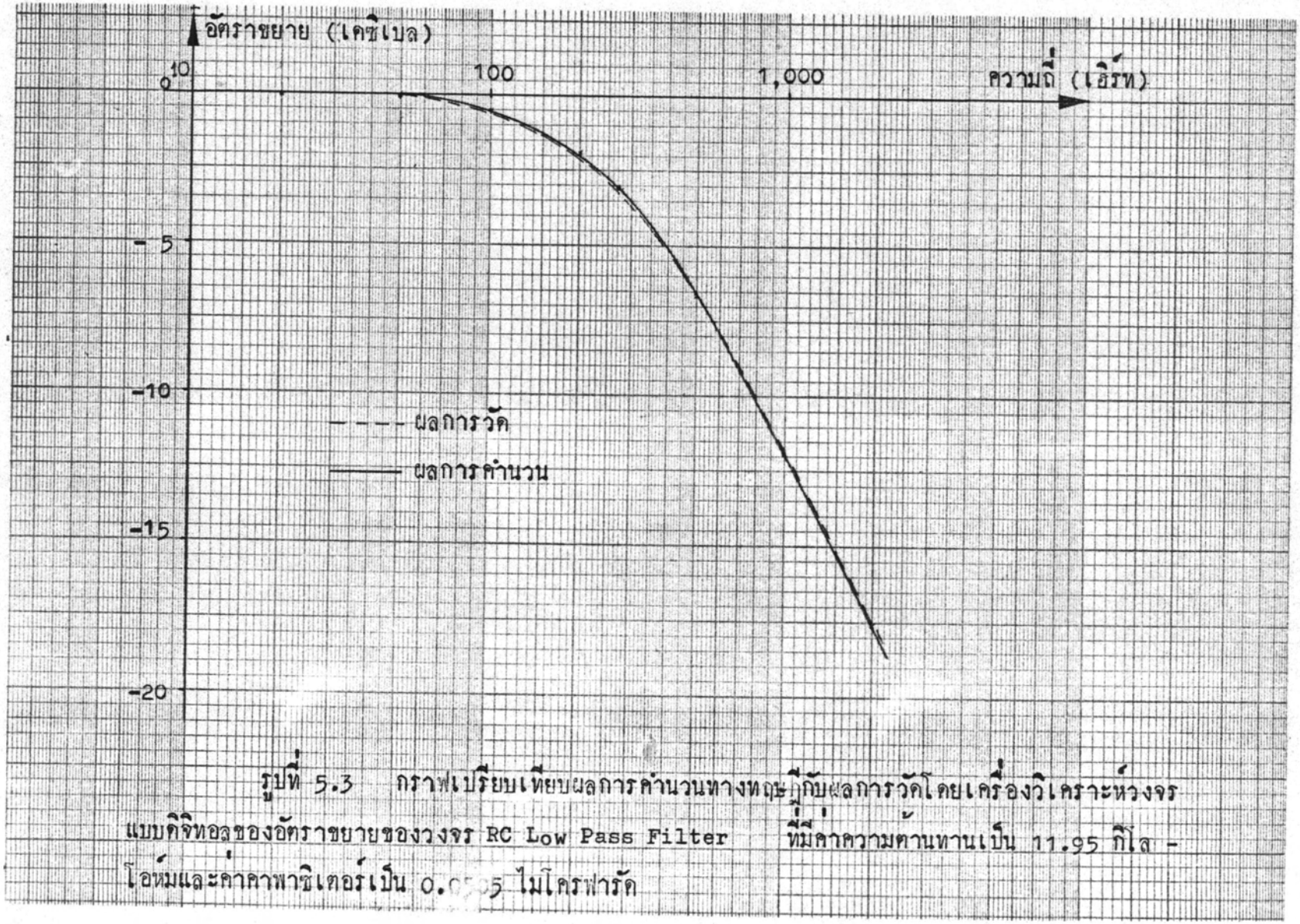
ความผิดพลาดเฉลี่ย = $\frac{1}{N}\Sigma$ |อัตราขยายที่คำนวณ - อัตราขยายที่วัด| (5.3)

โดย N เป็นจำนวนข้อมูล

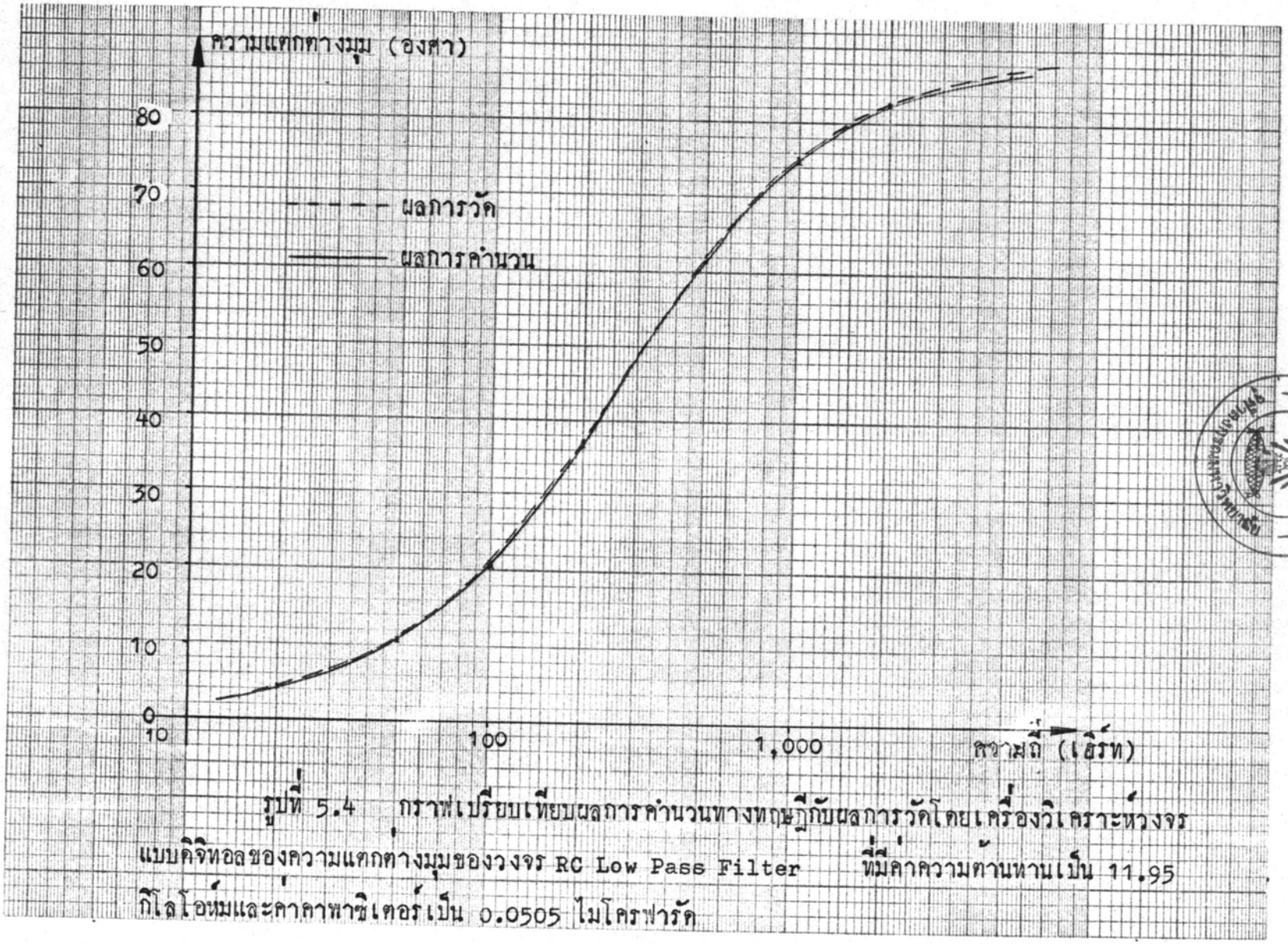
ตารางที่ 5.4

ผลการคำนวนลักษณะสมบัติของวงจร RC low pass filter ที่มีขนาดความต้านทาน 11.95 กิโลเฮิร์ทและคาพาซิเตอร์ขนาด 0.0505 ไมโครฟารัด

ความถี่ (เฮิร์ท)	อัตราขยาย (เท่า)	อัตราขยาย (เดซิเบล)	มุม (องศา)
20	0.9943	-0.0497	4.332
50	0.9825	-0.1531	10.724
100	0.9352	-0.5823	20.746
200	0.7971	-1.9698	37.147
271	0.6978	-3.1254	45.749
500	0.4669	-6.6153	62.166
1000	0.2553	-11.8605	75.211
2000	0.1309	-17.6635	82.480
5000	0.0527	-25.5591	86.978



รูปที่ 5.3 กราฟเปรียบเทียบผลการคำนวนทางทฤษฎีกับผลการวัดโดยเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอลของอัตราขยายของวงจร RC Low Pass Filter ที่มีค่าความต้านทานเป็น 11.95 กิโล - โอห์มและค่าคาพาซิเตอร์เป็น 0.0[illegible]5 ไมโครฟารัด



รูปที่ 5.4 กราฟเปรียบเทียบผลการคำนวนทางทฤษฎีกับผลการวัดโดยเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอลของความแตกต่างมุมของวงจร RC Low Pass Filter ที่มีค่าความต้านทานเป็น 11.95 กิโลโอห์มและค่าคาพาซิเตอร์เป็น 0.0505 ไมโครฟารัด

ความผิดพลาดเฉลี่ยของอัตราขยาย = 0.002 เท่า

ในทำนองเดียวกันจะได้ว่า

ความผิดพลาดเฉลี่ยของอัตราขยาย = 0.03 เดซิเบล

และความผิดพลาดเฉลี่ยของมุม = 0.369 องศา

หลังจากเปลี่ยนค่าความต้านทาน 11.95 กิโลโอห์ม เป็นความต้านทานขนาด 1182 โอห์ม (วัดโดย Digital Simpson Multimeter) แล้วทำการทดลองใหม่ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.5 ใช้ผลการทดลองที่ความถี่ 2691 เฮิร์ท คำนวนค่าความถี่ 3 เดซิเบล ได้จากสมการที่ (5.1)

ความถี่ 3 เดซิเบล (วัด) = 2637.7 เฮิร์ท

ส่วนค่าความถี่ 3 เดซิเบลจริงหาได้จากสมการ (5.2)

ความถี่ 3 เดซิเบล (จริง) = 2666 เฮิร์ท

จะเห็นได้ว่าความถี่ 3 เดซิเบลที่คำนวนจากผลการวัดผิดไป 28.3 องศา หรือ 1.06 เปอร์เซ็นต์

จากค่าความต้านทานและคาพาซิเตอร์ที่ใช้เราสามารถคำนวนอัตราขยายและความแตกต่างมุมที่ความถี่ต่างๆได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.6 รูปที่ 5.5 และ5.6 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราขยายเป็นเดซิเบล และความแตกต่างมุมเป็นองศาของผลการวัดกับ ผลการคำนวนตามลำดับ

5.3.2 ทดสอบวงจร RC high pass filter วงจรนี้แสดงในรูปที่ 5.7 เราใช้ความต้านทานขนาด 11.95 กิโลโอห์มและคาพาซิเตอร์ขนาด 0.0505 ไมโครฟารัด ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 5.7 ส่วนตารางที่ 5. 8 แสดงผลการคำนวนทางทฤษฎี รูปที่ 5.8 และ 5.9 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราขยายเป็นเดซิเบล และความแตกต่างมุมเป็นองศาของผลการวัดกับ ผลการคำนวนตามลำดับ จากผลการทดลองและการคำนวนเราสามารถคำนวนขนาดความผิดพลาดเฉลี่ยจากสมการที่ (5.3)

ตารางที่ 5.5

ผลการวิเคราะห์วงจร RC low pass filter ที่มีค่า
ความต้านทาน 1182 โอห์มและค่าคาพาซิแตนซ์ขนาน 0.0505 ไมโครฟารัด

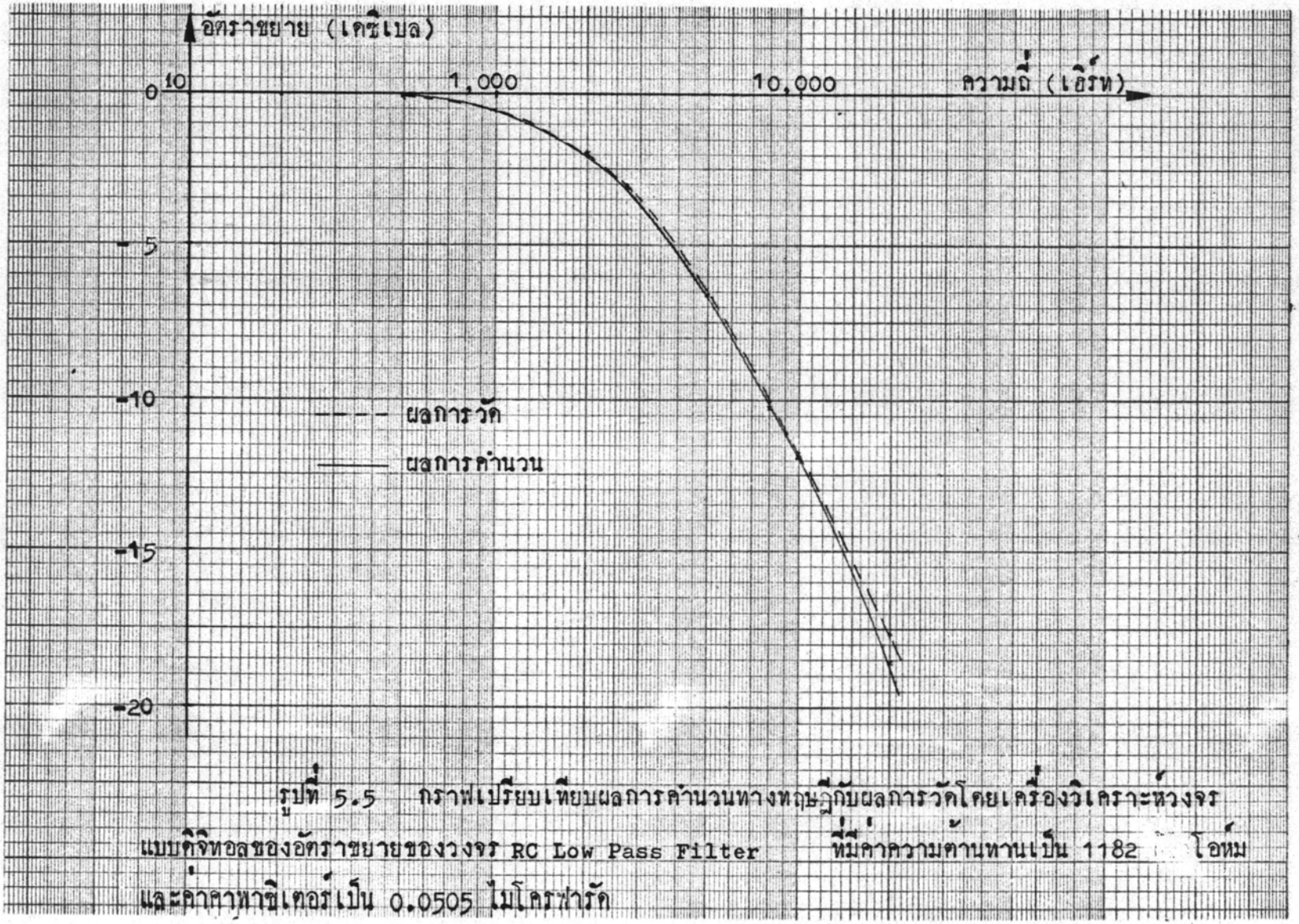
ความถี่ (เฮิรท์)	อัตราขยาย(เท่า)				อัตราขยาย(เดซิเบล)				มุม			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
100	0.996	1.006	1.007	1.033	-0.033	0.053	0.062	0.027	2.089	2.346	2.198	2.211
200	0.995	0.997	0.999	0.997	-0.047	-0.013	-0.013	-0.024	4.803	4.800	4.801	4.801
500	0.989	0.988	0.989	0.989	-0.097	-0.106	-0.095	-0.099	11.667	11.685	11.686	11.679
1000	0.941	0.932	0.939	0.937	-0.527	-0.611	-0.539	-0.559	22.625	22.632	22.596	22.618
2000	0.796	0.798	0.790	0.795	-1.985	-1.955	-2.046	-1.995	36.184	36.169	36.153	36.169
2691	0.699	0.701	0.699	0.700	-3.108	-3.085	-3.111	-3.101	45.115	45.093	45.034	45.081
5000	0.465	0.463	0.466	0.465	-6.660	-6.619	-6.632	-6.637	61.418	61.526	61.669	61.538
8000	0.305	0.306	0.307	0.306	-10.315	-10.276	-10.250	-10.280	72.817	72.817	72.933	72.856
10000	0.251	0.256	0.256	0.254	-11.992	-11.848	-11.855	-11.898	75.083	75.876	75.790	75.583
20000	0.112	0.121	0.118	0.117	-18.351	-18.533	-18.985	-18.623	82.743.	82.707	82.426	82.625

หมายเหตุ ความแตกต่างมุมใช้สัญญาณขาเข้าเป็นตัวอ้างอิง

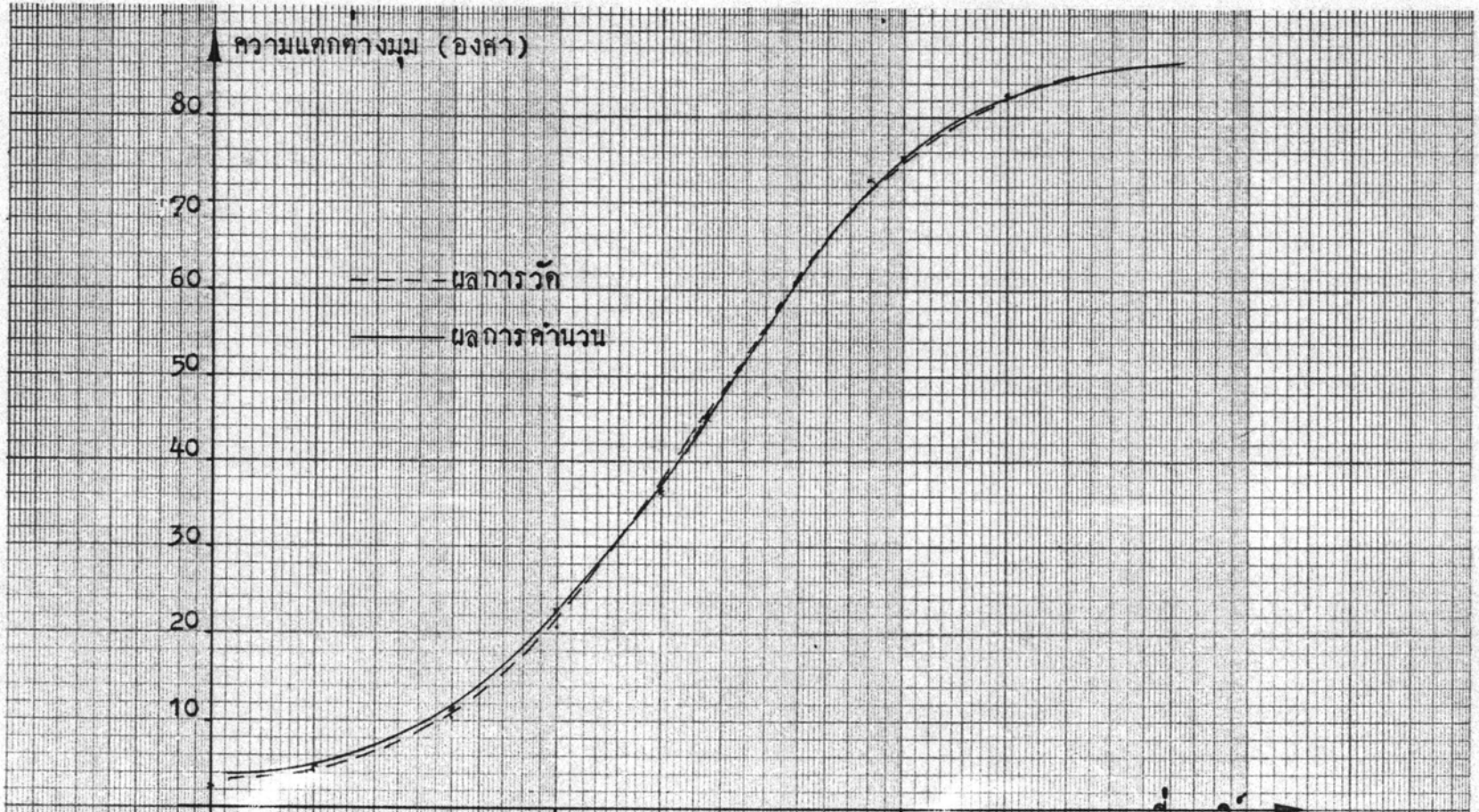
ตารางที่ 5.6

ลักษณะสมบัติทางทฤษฎีของวงจร RC low pass filter
ที่มีค่าความต้านทาน 1182 โอห์มและคาพาซิแตนท์ขนาด 0.0505 โมโครฟารัด

ความถี่ (เฮิร์ท)	อัตราขยาย (เท่า)	อัตราขยาย (เดซิเบล)	ความแตกต่างมุน(องศา)
100	0.999	-0.006	2.15
200	0.997	-0.024	4.29
500	0.983	-0.150	10.62
1000	0.936	-0.572	20.56
2000	0.799	-1.939	36.87
2691	0.704	-3.051	45.26
5000	0.471	-6.548	61.93
8000	0.316	-10.001	71.57
10000	0.258	-11.780	75.07
20000	0.132	-17.579	82.41



รูปที่ 5.5 กราฟเปรียบเทียบผลการคำนวนทางทฤษฎีกับผลการวัดโดยเครื่องวิเคราะห์วงจร แบบดิจิทอลของอัตราขยายของวงจร RC Low Pass Filter ที่มีค่าความต้านทานเป็น 1182 โอห์ม และค่าคาพาซิเตอร์เป็น 0.0505 ไมโครฟารัด



รูปที่ 5.6 กราฟเปรียบเทียบผลการคำนวนทางทฤษฎีกับผลการวัดโดยเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอลของความแตกต่างมุมของสัญญาณขาออกเทียบกับสัญญาณขาเข้าของวงจร RC Low Pass Filter ที่มีค่าความต้านทานเป็น 1182 โอห์มและค่าคาพาซิเตอร์เป็น 0.0505 ไมโครฟารัด

ตารางที่ 5.7

ผลการทดสอบวงจร RC high pass filter
ที่มีค่าความต้านทาน 11.95 โอห์ม และคาพาซิเตอร์ขนาด 0.0505 ไมโครฟารัด

ความถี่ (เฮิรท)	อัตราขยาย(เท่า)				อัตราขยาย(เดซิเบล)				มุม(องศา)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
20	0.074	0.073	0.073	0.0739	-22.571	-22.682	-22.618	-22.624	274.6	274.5	274.6	274.55
50	0.179	0.182	0.180	0.1808	-14.902	-14.815	-14.855	-14.857	279.5	279.8	279.6	279.66
100	0.331	0.332	0.330	0.3311	-9.609	-9.569	-9.625	-9.601	289.2	289.3	289.2	289.25
200	0.592	0.594	0.594	0.5936	-4.701	-4.662	-4.663	-4.675	306.1	306.2	306.2	306.17
260	0.705	0.703	0.705	0.7047	-3.042	-3.052	-3.027	-3.040	314.9	314.9	314.9	314.95
500	0.875	0.875	0.871	0.8737	-1.158	-1.160	-1.199	-1.172	331.6	331.6	331.6	331.57
1000	0.960	0.964	0.965	0.9633	-0.351	-0.316	-0.307	-0.325	344.1	344.2	344.2	344.16
2000	0.975	0.980	0.976	0.9770	-0.222	-0.175	-0.209	-0.202	351.7	351.8	351.8	351.76
5000	0.989	0.989	0.984	0.9877	-0.096	-0.089	-0.137	-0.107	356.7	356.7	356.7	356.74
10000	0.981	0.995	0.985	0.9872	-0.163	-0.046	-0.128	-0.112	357.5	357.8	357.8	357.69

หมายเหตุ การวัดความแตกต่างมุมใช้มุมของสัญญาณขาเข้าเป็นตัวอ้างอิง

ตารางที่ 5.8

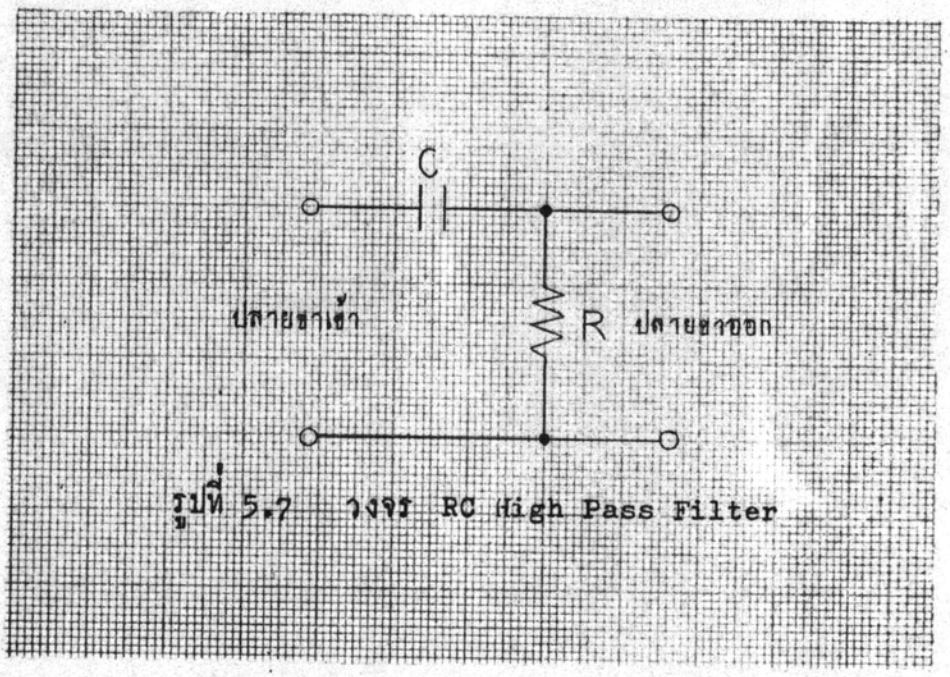
ลักษณะสมบัติทางทฤษฎีของวงจร RC high pass filter ที่มีค่าความต้านทาน 11.95โอห์มและคาพาซิแตนท์เป็น 0.0505 ไมโครฟารัด

ความถี่ (เฮิร์ท)	อัตราขยาย (เท่า)	อัตราขยาย (เดซิเบล)	มุม (องศา)
20	0.0755	-22.4365	-85.67
50	0.1861	-14.6051	-79.28
100	0.3542	-9.0144	-69.25
200	0.6039	-4.3813	-52.85
260	0.7017	-3.077	-45.45
500	0.8843	-1.0679	-27.83
1000	0.9668	-0.2926	-14.79
2000	0.9914	-0.0750	-7.52
5000	0.9986	-0.0121	-3.03
10000	0.9997	-0.0030	-1.52

ความผิดพลาดเฉลี่ยของอัตราขยาย (เท่า) = 0.0095 เท่า

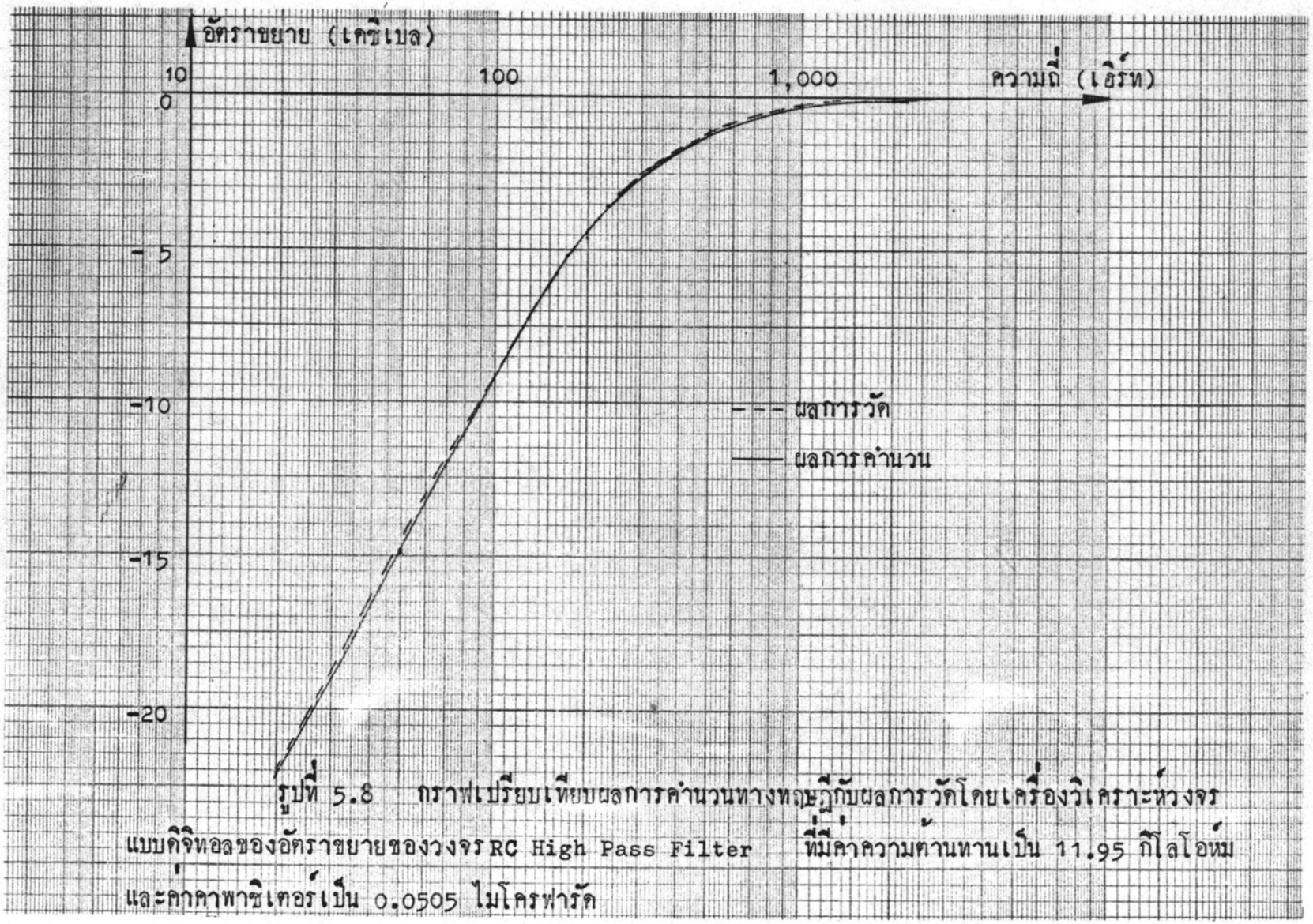
" " " " (เดซิเบล) = 0.3642 เดซิเบล

" " " ความแตกต่างมุม = 0.751 องศา

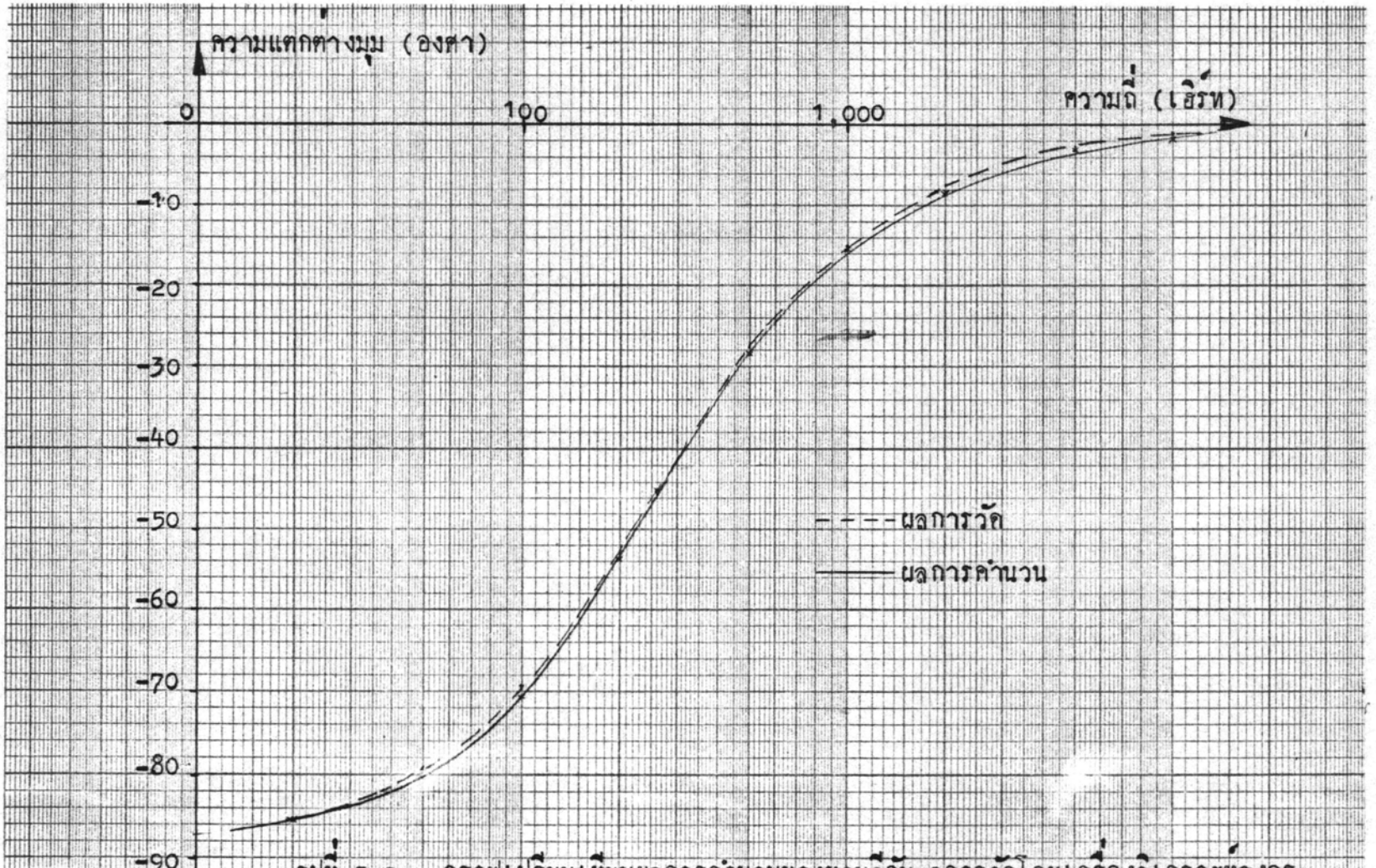


รูปที่ 5.7 วงจร RC High Pass Filter

หลังจากเปลี่ยนความต้านทานขนาด 11.95 กิโลโอห์ม ไปเป็น 1182 โอห์ม แล้วทำการทดลองใหม่ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.9 ส่วนตารางที่ 5.10 เป็นผลการคำนวนทางทฤษฎี รูปที่ 5.10 และ 5.11 เป็นกราฟเปรียบเทียบผลการวัดกับการทดลองของอัตรา



รูปที่ 5.8 กราฟเปรียบเทียบผลการคำนวนทางทฤษฎีกับผลการวัดโดยเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอลของอัตราขยายของวงจร RC High Pass Filter ที่มีค่าความต้านทานเป็น 11.95 กิโลโอห์ม และค่าคาพาซิเตอร์เป็น 0.0505 ไมโครฟารัด



รูปที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบผลการคำนวนทางทฤษฎีกับผลการวัดโดยเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิตอลของความแตกต่างมุมของวงจร RC High Pass Filter ที่มีค่าความต้านทานเป็น 11.95 กิโลโอห์มและค่าคาพาซิเตอร์เป็น 0.0505 ไมโครฟารัด

ตารางที่ 5.9

ผลการทดสอบวงจร RC high pass filter โดย

ค่าความต้านทานเป็น 1182 โอห์ม และค่าคาพาซิเตอร์เป็น 0.0505 ไมโครฟารัด

ความถี่ (เฮิร์ท)	อัตราขยาย(เท่า)				อัตราขยาย(เดซิเบล)				มุม(องศา)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
100	0.035	0.035	0.035	0.035	-29.075	-29.027	-29.073	-29.073	270.7	270.1	270.8	270.5
200	0.072	0.073	0.074	0.073	-22.822	-22.715	-22.602	-22.713	273.6	273.0	273.1	273.2
500	0.167	0.166	0.166	0.166	-15.601	-15.601	-15.611	-15.167	280.6	280.7	280.7	280.7
1000	0.328	0.329	0.329	0.329	-9.680	-9.661	-9.644	-9.662	290.0	290.0	290.0	290.0
2000	0.579	0.580	0.579	0.579	-4.750	-4.731	-4.742	-4.741	306.1	306.1	306.1	306.1
2732	0.696	0.694	0.689	0.693	-3.153	-3.177	-3.242	-3.191	314.7	314.7	314.8	314.7
5000	0.866	0.870	0.856	0.864	-1.248	-1.210	-1.350	-1.269	332.1	332.1	332.1	332.1
8000	0.930	0.926	0.925	0.927	-0.634	-0.667	-0.660	-0.660	341.4	341.4	341.5	341.4
10000	0.953	0.949	0.952	0.951	-0.503	-0.541	-0.518	-0.521	346.0	346.0	346.1	346.0
20000	0.998	0.990	0.998	0.995	-0.013	-0.085	-0.021	-0.040	353.1	353.4	353.3	353.3

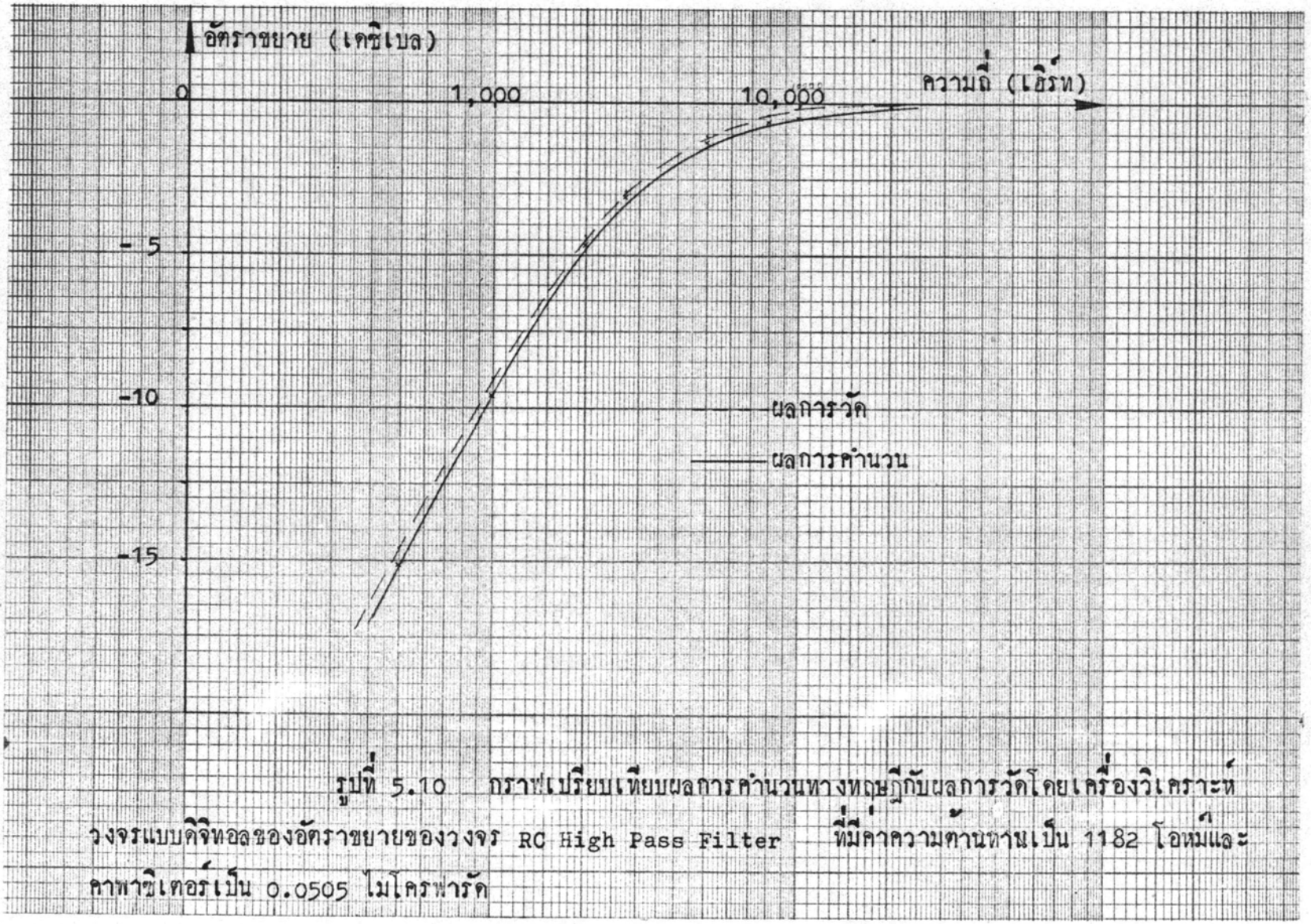
หมายเหตุ การจัดความแตกต่างมุมใช้มุมของสัญญาณขาเข้าเป็นตัวอ้างอิง

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

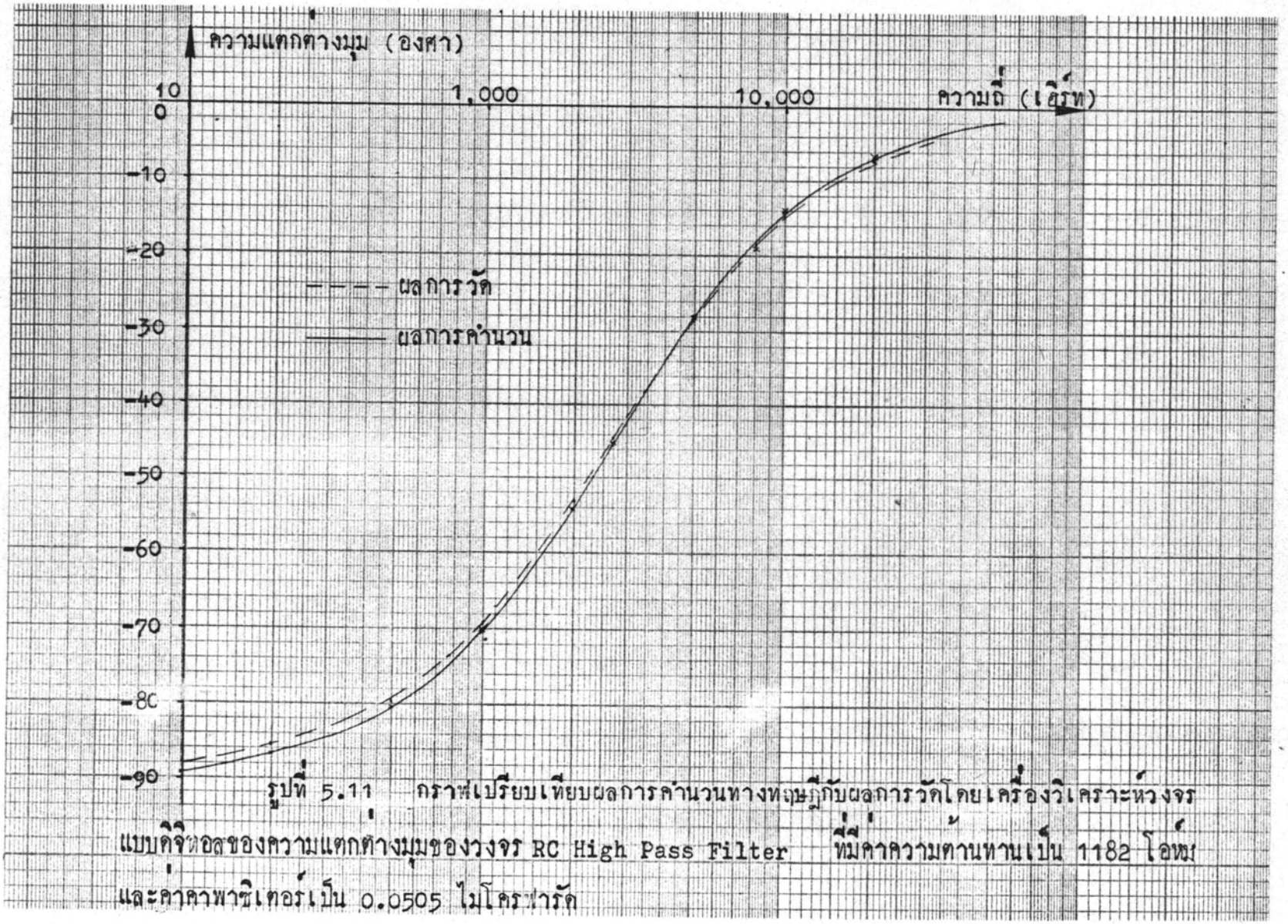
ตารางที่ 5.10

ลักษณะสมบัติทางทฤษฎีของวงจร RC high pass filter ที่มีค่าความต้านทาน 1182 โอห์มและคาพาซิแตนท์ขนาด 0.0505 ไมโครฟารัด

ความถี่ (เฮิร์ท)	อัตราขยาย (เท่า)	อัตราขยาย (เดซิเบล)	มุม (องศา)
100	0.037	-28.525	-87.85
200	0.075	-22.521	-85.71
500	0.184	-14.693	-79.38
1000	0.351	-9.089	-69.44
2000	0.600	-4.436	-53.13
2732	0.716	-2.905	-44.30
5000	0.882	-1.087	-28.07
8000	0.949	-0.457	-18.43
10000	0.966	-0.298	-14.93
20000	0.991	-0.077	- 7.594



รูปที่ 5.10 กราฟเปรียบเทียบผลการคำนวนทางทฤษฎีกับผลการวัดโดยเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอลของอัตราขยายของวงจร RC High Pass Filter ที่มีค่าความต้านทานเป็น 1182 โอห์มและคาพาซิเตอร์เป็น 0.0505 ไมโครฟารัด



รูปที่ 5.11 กราฟเปรียบเทียบผลการคำนวนทางทฤษฎีกับผลการวัดโดยเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิตอลของความแตกต่างมุมของวงจร RC High Pass Filter ที่มีค่าความต้านทานเป็น 1182 โอห์ม และค่าคาพาซิเตอร์เป็น 0.0505 ไมโครฟารัด

ขยายและความแตกต่างมุมตามลำดับ จากผลการทดลองและผลการคำนวนสามารถคำนวนความผิดพลาดเฉลี่ย ได้จากสมการที่ (5.3) จะได้ว่า

ความผิดพลาดเฉลี่ยของอัตราขยายเป็นเท่า	=	0.015	เท่า
" " " " เดซิเบล	=	0.302	เดซิเบล
" " ความแตกต่างมุม	=	0.731	องศา

จากผลการทดสอบต่างๆที่ได้กล่าวมานี้จะเห็นได้ว่าการทดสอบเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอลโดยการนำเครื่องฯไปใช้วัดวงจร RC filter ได้ผลการการวัดใกล้เคียงกับทางทฤษฎีมาก จากผลการวัดทำให้เราสามารถคำนวนหาความถี่ 3 เดซิเบลของวงจรที่ถูกวัดได้โดยผิดพลาดประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

5.4 การใช้เครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอลวิเคราะห์วงจรที่ไม่ทราบลักษณะสมบัติ

ในการทดลองนี้เราใช้วงจรสอง ท่า (Two port network) ที่ไม่ทราบลักษณะสมบัติดังแสดงในรูปที่ 5.12 ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 5.11 จากผลการทดลองเราสามารถเขียนเส้นกราฟของอัตราขยายและความแตกต่างมุมได้ดังแสดงในรูปที่ 5.13 และ 5.14 ตามลำดับ จากเส้นกราฟของอัตราขยายจะเห็นได้ว่าที่ความถี่ต่ำกว่า 500 เฮิร์ท เส้นกราฟมีเส้น asymptote มีความชัน 0 เดซิเบลต่อองศา โดยเป็นเส้นตรงที่มีอัตราขยายคงที่ที่ 6 เดซิเบล ที่ความถี่สูงกว่า 500 เฮิร์ท เส้น asymptote มีความชัน-12 เดซิเบลต่อ 2 เท่าของความถี่ เส้นกราฟมีจุดสูงสุดที่อัตราขยายประมาณ 7.3 เดซิเบล ที่ความถี่ประมาณ 360 เฮิร์ท และอัตราขยายลดลง 3 เดซิเบล จากระดับ 6 เดซิเบลที่ความถี่ 640 เฮิร์ท ส่วนกราฟของความแตกต่างมุมจะมีค่าของมุมลดจาก 0 องศาไปเป็น -180 องศา เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น และความแตกต่างมุมเป็น -90 องศา ที่ความถี่ 500 เฮิร์ท

จากเส้นกราฟของอัตราขยายและความแตกต่างมุมในรูปที่ 5.13 และ 5.14 จะเห็นได้ว่าเป็นเส้นกราฟของวงจร Second Order low Pass Chebyshev filter ที่มีความถี่หักมุมที่ 500 เฮิร์ท เนื่องสมการ Transfer function ของอัตราส่วนแรงดันขา

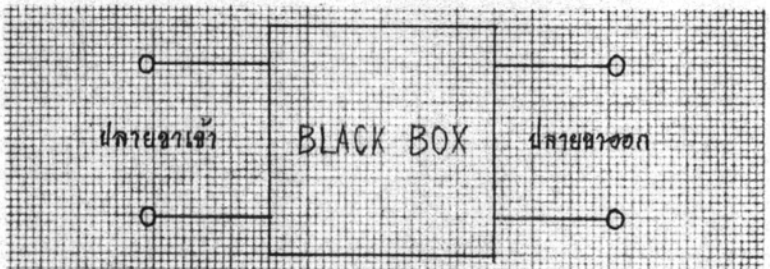
ตารางที่ 5.11

ผลการวัดอัตราขยายและความแตกต่างมุมของวงจรในรูปที่ 5.12

ความถี่ (เฮิร์ท)	อัตราขยาย (เท่า)				อัตราขยาย (เดซิเบล)				ความแตกต่างมุม (องศา)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
19.6	2.044	2.048	2.49	2.047	6.044	6.227	6.231	6.167	1.72	1.68	1.26	1.55
48.1	2.078	2.075	2.075	2.076	6.353	6.340	6.340	6.344	4.89	4.88	4.87	4.88
94.2	2.105	2.103	2.104	2.104	6.465	6.457	6.461	6.461	10.59	10.56	10.49	10.55
194.9	2.193	2.197	2.196	2.195	6.821	6.837	6.833	6.830	25.59	25.22	25.29	25.37
294.2	2.318	2.319	2.315	2.317	7.302	7.306	7.291	7.299	42.35	42.29	42.24	42.29
341.7	2.323	2.321	2.321	2.322	7.321	7.314	7.314	7.316	52.31	52.26	52.25	52.27
371.8	2.319	2.319	2.320	2.319	7.306	7.306	7.309	7.307	58.53	58.55	58.55	58.54
398.6	2.285	2.288	2.288	2.287	7.178	7.189	7.189	7.185	65.19	65.21	65.23	65.21
445.0	2.190	2.192	2.190	2.191	6.809	6.817	6.809	6.812	76.19	76.18	76.17	76.18
492.5	2.041	2.031	2.034	2.035	6.197	6.154	6.167	6.173	87.18	87.13	87.13	87.15
545.0	1.849	1.844	1.840	1.844	5.339	5.315	5.296	5.137	98.33	98.34	98.38	98.35
587.2	1.659	1.660	1.657	1.659	4.397	4.402	4.386	4.395	106.29	106.26	106.28	106.28
693.8	1.219	1.224	1.226	1.223	1.720	1.756	1.769	1.748	121.76	121.73	121.66	121.72
779.4	0.960	0.962	0.958	0.960	-0.355	-0.336	-0.373	-0.355	130.10	130.07	130.06	130.08
871.2	0.741	0.742	0.744	0.742	-2.604	-2.592	-2.569	-2.588	136.81	136.72	136.81	136.78
997.3	0.583	0.583	0.583	0.583	-4.687	-4.687	-4.687	-4.687	142.47	142.24	142.51	142.41
1991.0	0.135	0.137	0.136	0.136	-17.393	-17.266	-17.329	-17.329	165.40	165.40	165.11	165.30
2498.0	0.082	0.083	0.082	0.082	-21.724	-21.618	-21.724	-21.689	168.48	168.76	168.76	168.67

หมายเหตุ ความแตกต่างมุมวัดโดยใช้สัญญาณขาออกเป็นตัวอ้างอิง

ออกกับแรงดันขาเข้าใน s-plane ของวงจร second order low pass filter หาได้จาก



รูปที่ 5.12 วงจรสองทางที่ไม่ทราบลักษณะสมบัติ

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{K}{s^2+as+b} \qquad (5.4)$$

จากสมการที่ (5.4) เราจะได้สมการของอัตราขยายเป็น

$$\text{อัตราขยาย} = \frac{K}{\sqrt{(b-w^2)^2+a^2w^2}} \qquad (5.5)$$

โดย w เป็นความถี่เชิงมุม

จากค่าอัตราขยายที่มีความวัดโดยเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอลที่มีความถี่ 341.7, 492.5 และ 779.4 เฮิร์ท แทนค่าลงในสมการ (5.5) เพื่อหาค่า K, a และ b ได้เป็น

$K = 20378972$

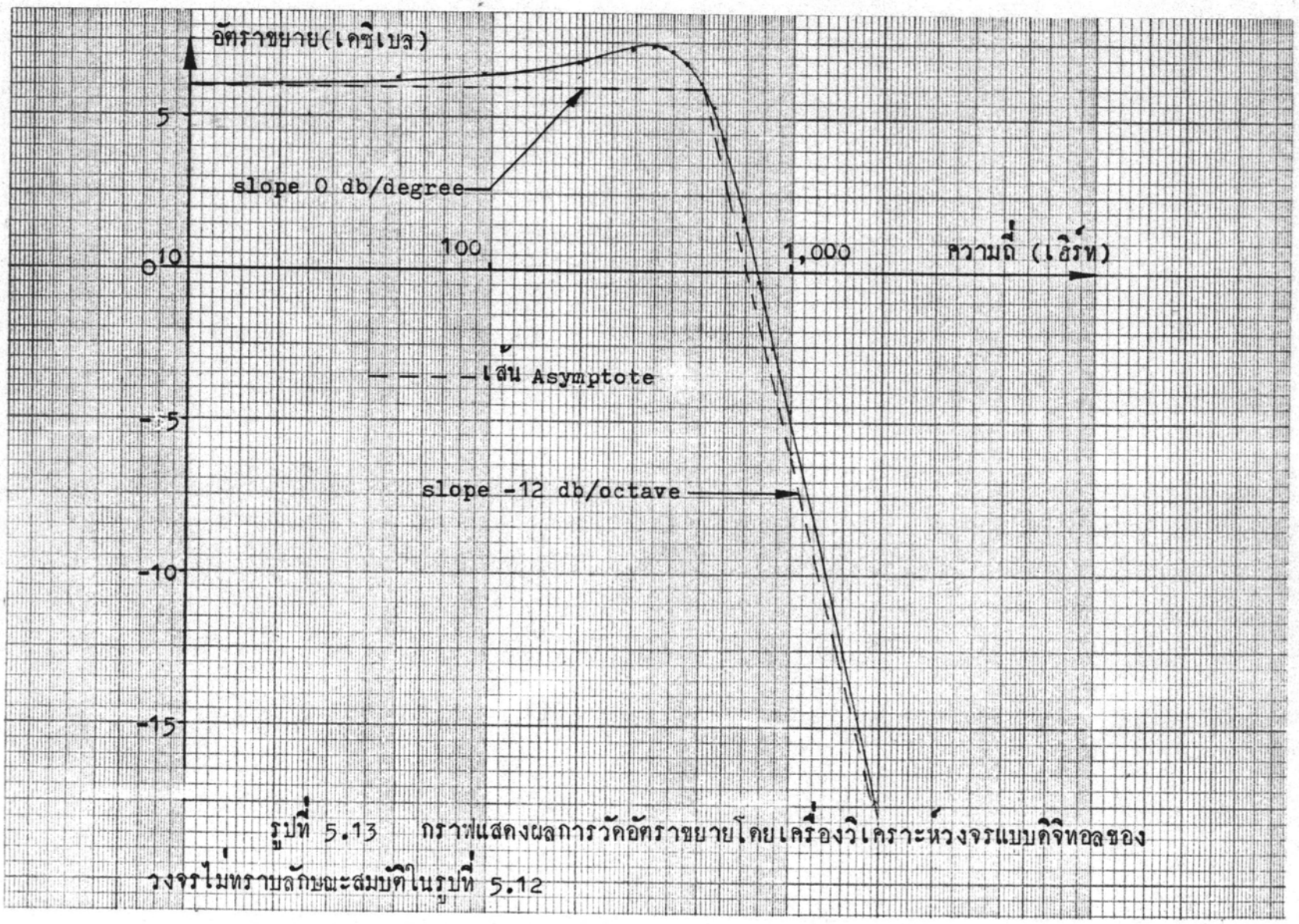
$a = 3122.83$

$b = 10272915$

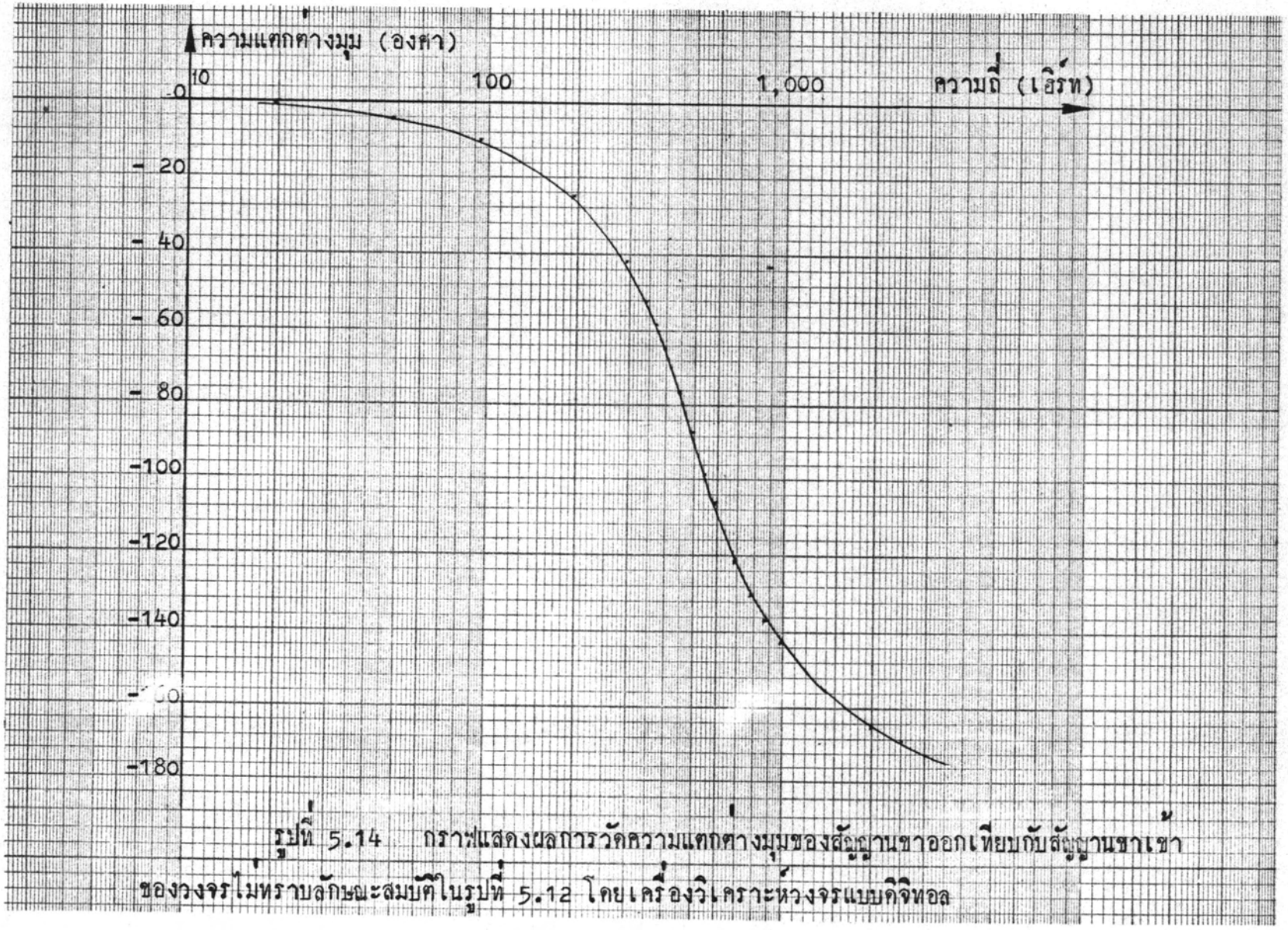
แทนค่าลงในสมการ (5.4) จะได้ว่า

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{20378972}{s^2+3122.83s + 10272915} \qquad (5.6)$$

หลังจากตรวจสอบโครงสร้างภายในของวงจรสองทางในรูปที่ 5.12 เราได้วงจรเป็นวงจร Second order low pass chebyshev filter ดังแสดงในรูปที่

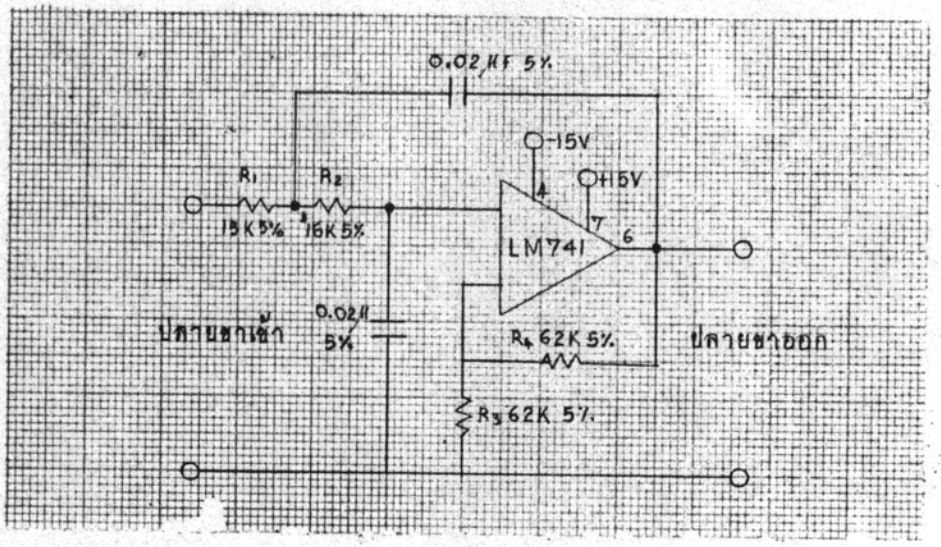


รูปที่ 5.13 กราฟแสดงผลการวัดอัตราขยายโดยเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอลของวงจรไม่ทราบลักษณะสมบัติในรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.14 กราฟแสดงผลการวัดความแตกต่างมุมของสัญญาณขาออกเทียบกับสัญญาณขาเข้าของวงจรไมหราบลักษณะสมบัติในรูปที่ 5.12 โดยเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอล

5.15 จากสมการที่ (5.4) ค่าคงที่ K,a และ b ของวงจร second order low pass Chebyshev filter หาได้จาก[6]



รูปที่ 5.15 วงจร Second order low pass Chebyshev filter

ซึ่งเป็นวงจรสอง ทำในรูปที่ 5.12

$$K = \frac{\mu}{R_1 R_2 C C_1} \qquad (5.7)$$

$$a = \frac{1}{R_2 C_1}(1-\mu) + \frac{1}{R_1 C} + \frac{1}{R_2 C} \qquad (5.8)$$

$$b = \frac{1}{R_1 R_2 C C_1} \qquad (5.9)$$

$$\mu = 1 - \frac{R4}{R3} \qquad (5.10)$$

จากค่า R_1, R_2, R_3, R_4, C_1 และ C ในรูปที่ 5.15 แทนลงในสมการ (5.7), (5.8), (5.9) และ (5.10) จะได้ว่า

$$K = 20833333$$

$$a = 3333.33$$

$$b = 10416667$$

แทนค่า K, a และ b ลงในสมการที่ (5.4) จะได้ว่า

$$\frac{V_o(s)}{V_1(s)} = \frac{20833333}{s^2 + 3333.33s + 10416667}$$

จะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์จากผลการวัดโดยเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอล-ใกล้เคียงกับความเป็นจริง

5.5 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอลที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ จะเห็นได้ว่าเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอลสามารถวัดอัตราขยายและความแตกต่างมุมได้ผลออกมาเป็นตัวเลขโดยตรง และให้ความแม่นยำของข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าทั่วๆไปที่เชื่อถือได้ จากการทดสอบวงจรย่อยต่างๆของเครื่องฯซึ่งได้กล่าวในบทที่ 4 จะเห็นได้ว่าวงจรย่อยที่เป็นวงจรทางดิจิทอลทำงานถูกต้องแน่นอน ส่วนวงจรอนาลอกมีความผิดพลาดบ้างเล็กน้อย เราพอสรุปได้ว่าเหตุที่เครื่องทำงานผิดพลาดนั้น เนื่องมาจากผลของวงจรอนาลอกแทบทั้งสิ้น

ความผิดพลาดในการวัดอัตราขยายเกิดขึ้นมากเมื่อสัญญาณขาเข้าอันหนึ่งอันใดมีขนาดเล็กมาก ในการทดสอบเครื่องฯโดยการวัดอัตราขยายของวงจร RC filter จะเห็นได้ว่าที่อัตราขยายใกล้เคียง 0 เดซิเบล มีความผิดพลาดมาก ทั้งนี้เนื่องจากผลของความต้านทานขาเข้าของเครื่องฯไม่มากพอ ส่วนความผิดพลาดของผลการวัดความแตกต่างมุมเกิดขึ้นมากที่ความถี่ของสัญญาณขาเข้าสูงๆ และเมื่อขนาดของสัญญาณขาเข้าอันใดอันหนึ่งเล็กมาก

ทั้งนี้เพราะสัญญาณขาเข้ามีความถี่สูงๆ จะทำให้จำนวนลูกคลื่นของสัญญาณความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ท ที่ผ่านเข้าสู่วงจรนับในเวลาสิบเท่าของคาบของสัญญาณขาเข้ามีจำนวนน้อย ทำให้ความแม่นยำลดลง และที่สัญญาณขาเข้ามีขนาดต่ำ การทำงานของตัวเปรียบเทียบจุดผ่านระดับศูนย์ของสัญญาณไม่ดีเท่าที่ควร

จากการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอลที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นพอสรุปคุณสมบัติได้ดังนี้

ความผิดพลาดในการวัดอัตราขยายน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์
ความผิดพลาดในการวัดความแตกต่างมุมน้อยกว่า 0.8 องศา
ความต้านทานขาเข้าประมาณ 800 กิโลโอห์มตลอดช่วง
แถบความถี่ที่ใช้งาน 10-10,000 เฮิร์ท
ความแตกต่างของขนาดของสัญญาณขาเข้าน้อยกว่า ± 20 เดซิเบล
เวลาที่ใช้ในการวัดแต่ละครั้ง 10-25 วินาที
แรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์
กำลังงานสูญเสีย 80 วัตต์

ค่าขีดความสามารถและความผิดพลาดต่างๆของเครื่องที่ได้สร้างขึ้นส่วนใหญ่ถูกกำหนดโดยวงจรแอมปลิฟลายเออร์ทางด้านขาเข้าของเครื่องฯ และวงจรเอซีทูดีซีคอนเวิร์ทเทอร์ ดังนั้นถ้าเราสามารถทำให้วงจรทั้งสองมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับอุดมคติมากขึ้นจะทำให้เครื่องวิเคราะห์วงจรที่ได้ออกแบบมานี้มีคุณสมบัติต่างๆดีขึ้น

เครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทอลที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นในการทำวิจัยนี้ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ ถ้าหากได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้นจะทำให้ได้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมาก แม้จะมีข้อเสียเนื่องจากการทำงานล่าช้าในการวัดของเครื่องฯ แต่สามารถปรับปรุงโดยใช้หลักการอันเดิมให้มีความเร็วในการทำงานสูง ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

5.6 ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยนี้ผู้ทำวิจัยใคร่ขอเสนอแนะความคิดเห็นสำหรับผู้ที่สนใจในการวิจัยนี้ ดังต่อไปนี้

5.6.1 เนื่องจากการวัดแต่ละครั้งจะใช้เวลาประมาณ 15 ถึง 25 วินาที ซึ่งช้ามาก ถ้าต้องการทำให้เครื่องฯมีความเร็วในการวัดสูงขึ้น จะต้องเปลี่ยนไอซีที่ทำหน้าที่เป็นตัวคำนวนให้ใช้เวลาในการรับข้อมูลและคำนวนน้อยลง ถ้าต้องการให้ความเร็วในการวัดสูงมากๆ ควรจะเปลี่ยนวิธีการคำนวนโดยใช้แคลคูเลเตอร์ชิพ ไปเป็นการคำนวนค่าโดยใช้หลักการของเลขในระบบเลขฐานสองและใช้ ROM มาทำหน้าที่เปลี่ยนค่าลอกการีทึมแทน โดยวิธีนี้จะทำให้ความเร็วในการวัดของเครื่องขึ้นกับความเร็วในการทำงานของวงจรเอทูดีคอนเวิร์ทเทอร์เท่านั้น

5.6.2 ในการวัดอัตราขยายจะเห็นได้ว่าความผิดพลาดเกิดจากความไม่สมมาตรของวงจรเอซีทูดีซีคอนเวิร์ทเทอร์ทั้งสองชุด และวงจรเอทูดีคอนเวิร์ทเทอร์ทั้งสองชุด ดังนั้นถ้าเราใช้ระบบแบ่งเวลาการทำงาน (Time sharing) โดยใช้วงจรทั้งสองอย่างละหนึ่งชุด และวัดสัญญาณขาเข้าทีละอันจะทำให้ผลผิดพลาดในการวัดลดลง

5.6.3 ในการวัดความแตกต่างมุมถ้าใช้สัญญาณความถี่คงที่สูงกว่า 5 จะทำให้มีความแม่นยำมากขึ้น และถ้าสามารถทำให้ตัวเปรียบเทียบมีอัตราขยายใหญ่ขึ้น และใช้เวลาในการเปรียบเทียบน้อยลงจะทำให้ได้ความแม่นยำในการวัดความแตกต่างมุมสูงขึ้น

5.6.4 จากที่กล่าวในหัวข้อ 5.6.2 และ 5.6.3 ถ้าเราสร้างวงจรเอซีทูดีซีคอนเวิร์ทเทอร์ ตัวเปรียบเทียบและวงจรแอมปลิฟลายเออร์ทางปลายขาเข้าให้มีความใกล้เคียงอุดมคติมากขึ้นจะทำให้ขีดความสามารถและความแม่นยำสูงขึ้นด้วย

5.6.5 ถ้าใช้ไมโครโพรเซสเซอร์ทำหน้าที่ควบคุมและคำนวนในเครื่องฯ แทนการใช้วงจรดิจิทอลและแคลคูเลเตอร์ชิพแบบธรรมดา จะทำให้การทำงานของเครื่องฯ รวดเร็วขึ้น และยังสามารถดัดแปลงเครื่องฯให้ใช้วัดได้หลายอย่างขึ้น เช่น วัดเพาเวอร์-แฟคเตอร์ และวัดกำลังงานสูญเสียเป็นต้น โดยเพียงเปลี่ยนโปรแกรมการทำงานเท่านั้น