

การออกแบบและสร้างเครื่องวิเคราะห์วงจรรายโดยวิธีทางดิจิทัล



นาย ประมุข ชนะพรพันธุ์

001552

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

แผนกวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 16890745

DESIGN AND CONSTRUCTION OF  
A NETWORK ANALYSER USING DIGITAL TECHNIQUE

Mr. Pramuk Thanapornpun

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Electrical Engineering  
Graduate School  
Chulalongkorn University

1978

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การออกแบบและสร้างเครื่องวิเคราะห์ทางจรรยาโดยวิธีทางดิจิทัล  
โดย                              นายประมุข ชนะพรพันธุ์  
แผนกวิชา                      วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษา              ดร.เทียนชัย ประคิสดायน

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

*สุประคิษฐ์ บุญนาค*  
..... รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
( ผศ. สุประคิษฐ์ บุญนาค )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

*Chm. 9.3*  
..... ประธานกรรมการ  
( ผศ.ดร.โคทม อาริยา )

*ท้าวสุ ฐิตะเมธ*  
..... กรรมการ  
( ผศ.ดร.เทียนชัย ประคิสดायน )

*ดร.ชاکรี ศรีไพพรรณ*  
..... กรรมการ  
( ดร.ชاکรี ศรีไพพรรณ )

*อ.กฤษณา วิศวธีรานันท์*  
..... กรรมการ  
( อ.กฤษณา วิศวธีรานันท์ )

อธิบดีของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การออกแบบและสร้างเครื่องวิเคราะห์ห่วงจรชายโดยวิธีคิจิตอล  
ชื่อนิติกร                      นายประมุข ชนะพรพันธุ์  
อาจารย์ที่ปรึกษา            ผศ.ดร. เทียนชัย ประคิสดायน  
แผนกวิชา                      วิศวกรรมไฟฟ้า  
ปีการศึกษา                    พ.ศ. 2520



### บทคัดย่อ

เครื่องวิเคราะห์ห่วงจรชายที่ออกแบบโดยวิธีทางคิจิตอลหรือที่เรียกสั้นๆว่า เครื่องวิเคราะห์ห่วงจรแบบคิจิตอลที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นในการวิจัยนี้ ใช้วัสดุจำพวก อินทิเกรตเท็ดเซอร์กิตเป็นส่วนใหญ่ ในการออกแบบได้พยายามใช้ระบบคิจิตอลให้มากที่สุด เพื่อที่จะลดความผิดพลาดเนื่องจากวงจรทางอนาลอก ในการวัดอัตราขยายเราจะ เปลี่ยนสัญญาณกระแสสลับขาเข้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยวงจรเอชทูคิกิตคอน เวิร์ทเทอร์ และใช้วงจรเอชทูคิกิตคอนเวิร์ทเทอร์ในการ เปลี่ยนแรงดันกระแสตรงให้เป็นสัญญาณทางคิจิตอลแล้ว จึงนำผลที่ได้ไปคำนวณโดยใช้แคลคูลุสเทอร์ซิฟ ส่วนการวัดความ แตกต่างมุมจะใช้วิธีปล่อยสัญญาณความถี่คงที่เป็นเวลานานเท่ากับเวลาที่สัญญาณขาเข้า ทั้งสองทางกัน และยังปล่อยสัญญาณความถี่คงที่อันเดิมเป็นเวลานานเท่ากับหนึ่งคาบของสัญญาณขาเข้า ดังนั้นถ้าเรานับจำนวนลูกคลื่นของสัญญาณความถี่คงที่ที่ถูกปล่อยออกมาทั้งสอง ครั้ง แล้วนำผลลัพท์ในการนับไปหารกันโดยใช้แคลคูลุสเทอร์ซิฟ และคูณผลลัพท์ด้วย 360 ผลที่ได้จะเป็นค่าความแตกต่างมุมในหน่วยองศา

จากเครื่องวิเคราะห์ห่วงจรที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นในการวิจัยนี้ มีความผิดพลาดในการวัดอัตราขยายต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ และความผิดพลาดในการวัดความ

แตกต่างกันน้อยกว่า 0.8 องศา ในย่านความถี่ 10 เฮิรต์ ถึง 10 กิโลเฮิรต์ และความ  
แตกต่างของขนาดของสัญญาณขาเข้าทั้งสองอยู่ในช่วง 20 เดซิเบล



with the gain of  $\pm 20$  decibels, the constructed Digital Network Analyser yields the gain accuracy of less than 1 percent and the phase difference of less than 0.8 degree error

## กิติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ เทียนชัย ประคิสดायน ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัย ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเป็นอย่างดี

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ สุธุชน์ สัตย์ประกอบ และเจ้าหน้าที่ต่างๆของแผนกวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยนี้



สารบัญ

	หน้า
หัวเรื่อง (ภาษาไทย)	ก
(ภาษาอังกฤษ)	ข
หน้าอนุมัติ	ค
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ง
(ภาษาอังกฤษ)	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญ	ฅ
สารบัญตารางประกอบ	ฉ
สารบัญรูปประกอบ	ท
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 เครื่องวิเคราะห์ทางจรแบบคิจิตอด	1
1.3 การดำเนินงานวิจัย	3
1.4 สรุปย่อของการทำวิทยานิพนธ์	5
บทที่ 2 ระบบของเครื่องวิเคราะห์ทางจรแบบคิจิตอด	6
2.1 บทนำ	6
2.2 ภาควัตถุอิตร้าขยาย	6
2.3 ภาควัตถุความแตกต่างมุม	6
2.4 แผนภาพตัวเครื่อง	8
2.5 สรุปผล	13
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างวงจร	14
3.1 บทนำ	14
3.2 ภาคเอซี ทู คิซี คอนเวิร์ทเทอร์	14



3.3	ภาคเหตุที่ คอนเวิรท์เทอร์	14
3.4	ภาคตรวจจับความแตกต่างมุม	26
3.5	ภาคนับและมัลติเพลกเซอร์	30
3.6	ภาคคีโคคเคอร์	31
3.7	ภาคคำนวณและแสดงผล	34
3.8	ภาคควบคุม	39
3.9	สรุปผล	46
บทที่ 4	การทดสอบวงจรรยอย	47
4.1	บทนำ	47
4.2	การทดสอบภาคเอซี ทู คีซี คอนเวิรท์เทอร์	47
4.3	การทดสอบภาคเหตุที่ คอนเวิรท์เทอร์	55
4.4	การทดสอบภาคนับและมัลติเพลกเซอร์	58
4.5	การทดสอบภาคคำนวณและแสดงผล	58
4.6	การทดสอบภาคคีโคคเคอร์	58
4.7	การทดสอบภาคควบคุมการมัลติเพลกเซอร์	61
4.8	การทดสอบภาคควบคุมการคำนวณอัตรายาย	61
4.9	การทดสอบภาคควบคุมการคำนวณเฟส	61
4.10	สรุปผล	67
บทที่ 5	การทดสอบเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทัล	68
5.1	บทนำ	68
5.2	การทดสอบเบื้องต้น	68
5.3	วิเคราะห์วงจรที่ทราบลักษณะสมบัติทางไฟฟ้า	71
5.4	การใช้เครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทัลวิเคราะห์วงจรที่ไม่ทราบลักษณะสมบัติ	91
5.5	สรุปผลการทดลอง	97
5.6	ขอเสนอแนะ	98

เอกสารอ้างอิง

100

ภาคผนวก

101

ประวัติผู้ทำวิจัย

149



### สารบัญตารางประกอบ

ตารางที่	ชื่อของตาราง	
4.1	ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของวงจรเอชทูทีซีคอนเวิรท์เทอร์	48
4.2	การแสดงผลการทดสอบวงจรเอชทูทีซีคอนเวิรท์เทอร์ที่อัตราขยายเป็นหนึ่ง	51
4.3	การแสดงผลการทดสอบวงจรเอชทูทีซีคอนเวิรท์เทอร์ที่อัตราขยายเป็นสิบ	52
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกทั้งสองขั้วของวงจรเอชทูทีซีคอนเวิรท์เทอร์ในกรณีต่างๆ	53
4.5	ผลการทดสอบความแม่นยำของวงจรเอชทูทีซีคอนเวิรท์เทอร์	56
4.6	ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของวงจรเอชทูทีซีคอนเวิรท์เทอร์	56
4.7	แสดงสภาวะการทำงานของภาคนับและมัลติเพลกเซอร์	59
4.8	ผลการทดสอบภาคคีโคคเคอร์	60
4.9	แสดงผลการทดลองภาคควบคุมการมัลติเพลก	64
4.10	ผลการทดสอบภาคควบคุมการคำนวณอัตราขยาย	65
5.1	การทดสอบโดยป้อนสัญญาณสองอันที่มีความถี่, ขนาดและมุมเท่ากัน	69
5.2	ผลการทดสอบเครื่องโดยใช้สัญญาณจากวงจรอินเวิรท์ทิงแอมป์รีฟลายเออร์	70
5.3	ผลการทดสอบวงจร RC low pass filter โดยใช้ความต้านทานขนาด 11.95 กิโลโอห์มและคาปาซิเตอร์ขนาด 0.0505 ไมโครฟาร์ด	72
5.4	ผลการคำนวณลักษณะสมบัติของวงจร RC low pass filter ที่มีขนาดความต้านทาน 11.95 กิโลโอห์มและคาปาซิเตอร์ขนาด 0.0505 ไมโครฟาร์ด	

5.5 ผลการวิเคราะห์วงจร RC low pass filter ที่มีค่าความต้านทาน 1182 โอห์ม และค่าคาปาซิเตอร์ขนาด 0.0505 ไมโครฟาร์ด 78

5.6 ลักษณะสมบัติทางทฤษฎีของวงจร RC low pass filter ที่มีค่าความต้านทาน 1182 โอห์มและค่าคาปาซิเตอร์ขนาด 0.0505 ไมโครฟาร์ด 79

5.7 ผลการทดสอบวงจร RC high pass filter ที่มีความต้านทาน 11.95 โอห์มและคาปาซิเตอร์ขนาด 0.0505 ไมโครฟาร์ด 82

5.8 ลักษณะสมบัติทางทฤษฎีของวงจร RC high pass filter ที่มีค่าความต้านทาน 11.95 โอห์มและคาปาซิเตอร์เป็น 0.0505 ไมโครฟาร์ด 83

5.9 ผลการทดสอบวงจร RC high pass filter โดยค่าความต้านทานเป็น 1182 โอห์มและคาปาซิเตอร์เป็น 0.0505 ไมโครฟาร์ด 87

5.10 ลักษณะสมบัติทางทฤษฎีของวงจร RC high pass filter ที่มีค่าความต้านทาน 1182 กิโลโอห์มและคาปาซิเตอร์ขนาด 0.0505 ไมโครฟาร์ด

5.11 ผลการวัดอัตรารายยและ ความแตกต่างมุมของวงจรในรูปที่ 5.12 92

## สารบัญรูปภาพประกอบ

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1	แผนภาพการทำงานของภาคwicklungtraขยายที่โซ่กันทั่วไป	2
1.2	แผนภาพการทำงานของภาคwicklungtraความแตกต่างมุมที่โซ่กันทั่วไป	2
1.3	แผนภาพการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรแบบดิจิทัลที่ ออกแบบ	4
2.1	แผนภาพการทำงานของภาคคำนวณอัตรขยายที่โค้ออกแบบ	7
2.2	แผนภาพการทำงานของภาคwicklungtraความแตกต่างมุมที่โค้ออกแบบ	9
2.3	แผนภาพการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรแบบดิจิทัลที่ ออกแบบ	10
3.1	วงจรมัลติเพลกเซอร์คอนเวร์ตเตอร์	15
3.2	แผนภาพการทำงานของภาคเอมูเลชันคอนเวร์ตเตอร์	16
3.3	วงจรมัลติเพลกเซอร์และตัวเปรียบเทียบ	20
3.4	วงจรมัลติเพลกเซอร์และตัวฟิลลิปคอม	22
3.5	วงจรมัลติเพลกเซอร์และตัวสวิตช์	24
3.6	แหล่งจ่ายแรงดันคงที่ -1 โวลต์	24
3.7	วงจรมัลติเพลกเซอร์การส่งสัญญาณ	25
3.8	ภาพแสดงสัญญาณขาเข้าและพัลส์ที่สร้างขึ้นในวงจรมัลติเพลกเซอร์ ความแตกต่างมุม	27
3.9	วงจรมัลติเพลกเซอร์ความแตกต่างมุม	29
3.10	วงจรมัลติเพลกเซอร์และมัลติเพลกเซอร์	32
3.11	วงจรมัลติเพลกเซอร์	33
3.12	แผนภาพที่วงจรมัลติเพลกเซอร์ของภาคคำนวณและแสดงผล	35
3.13	วงจรมัลติเพลกเซอร์เฟส	36

3.14	วงจรถ่วงและแสดงผล เครื่องหมาย	37
3.15	วงจรถ่วงและแสดงผล หนึ่งหลัก	38
3.16	แผนภาพการทำงานของภาคควบคุม	40
3.17	วงจรถ่วงการมัลติเพลก	42
3.18	วงจรถ่วงการคำนวณเฟส	43
3.19	วงจรถ่วงการคำนวณอัตราขยาย	44
3.20	วงจรถ่วงการแสดงผลและส่งสัญญาณ	45
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับแรงดันขาออก ของวงจรถ่วงเอชทีซีคอนเวอเตอร์ชุดที่ 1	49
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับแรงดันขาออก ของวงจรถ่วงเอชทีซีคอนเวอเตอร์ชุดที่ 2	49
4.3	แสดงภาพอุปกรณ์ขณะทดสอบภาคเอชทีซีคอนเวอเตอร์	55
4.4	แผนภาพแสดงปลายขาเข้าและออกของภาคนับและมัลติเพลกเซอร์	57
4.5	ภาพแสดงเครื่องมือและการจัดอุปกรณ์ขณะทำการทดสอบภาคนับ และมัลติเพลกเซอร์	57
4.6	ภาพแสดงเครื่องมือและการจัดอุปกรณ์ขณะทำการทดลองภาคคำนวณ และแสดงผล	61
4.7	แผนภาพแสดงปลายขาเข้าและออกของภาคคิโคเคอร์	62
4.8	ภาพแสดงเครื่องมือและการจัดอุปกรณ์ขณะทำการทดสอบภาคคิโคเคอร์	62
4.9	แผนภาพแสดงปลายขาเข้าและออกของภาคควบคุมการมัลติเพลก	63
4.10	แผนภาพแสดงปลายขาเข้าและออกของภาคควบคุมการคำนวณ อัตราขยาย	63
4.11	แผนภาพแสดงปลายขาเข้าและออกของภาคควบคุมการคำนวณเฟส	67

5.1	วงจรอินเวอร์ทิ่งแอมพลิฟลายเออร์	71
5.2	วงจร RC low pass filter	73
5.3	กราฟเปรียบเทียบผลการคำนวณทางทฤษฎีกับผลการวัดโดยเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทัลของอัตรายายของวงจร RC low pass filter ที่มีความต้านทานเป็น 11.95 กิโลโอห์มและค่าคาปาซิเตอร์เป็น 0.0505 ไมโครฟาร์ด	75
5.4	กราฟเปรียบเทียบผลการคำนวณทางทฤษฎีกับผลการวัดโดยเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทัลของความแตกต่างมุมของวงจร RC low pass filter ที่มีความต้านทานเป็น 11.95 กิโลโอห์มและค่าคาปาซิเตอร์เป็น 0.0505 ไมโครฟาร์ด	76
5.5	กราฟเปรียบเทียบผลการคำนวณทางทฤษฎีกับผลการวัดโดยเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทัลของอัตรายายของวงจร RC low pass filter ที่มีความต้านทานเป็น 1182 โอห์มและค่าคาปาซิเตอร์เป็น 0.0505 ไมโครฟาร์ด	80
5.6	กราฟเปรียบเทียบผลการคำนวณทางทฤษฎีกับผลการวัดโดยเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทัลของความแตกต่างมุมของสัญญาณขาออกเทียบกับสัญญาณขาเข้าของวงจร RC low-pass filter ที่มีความต้านทานเป็น 1182 โอห์ม และค่าคาปาซิเตอร์เป็น 0.0505 ไมโครฟาร์ด	81
5.7	วงจร RC high pass filter	84
5.8	กราฟเปรียบเทียบผลการคำนวณทางทฤษฎีกับผลการวัดโดยเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทัลของอัตรายายของวงจร RC high pass filter ที่มีความต้านทานเป็น 11.95 กิโลโอห์มและค่าคาปาซิเตอร์ 0.0505 ไมโครฟาร์ด	85



- 5.9 กราฟเปรียบเทียบผลการคำนวณทางทฤษฎีกับผลการวัดโดย  
เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรแบบดิจิทัลของความแตกต่างมุมของ  
วงจรรวม RC high pass filter ที่มีความต้านทานเป็น 11.95  
กิโลโอห์มและค่าคาปาซิเตอร์เป็น 0.0505 ไมโครฟาร์ด 86
- 5.10 กราฟเปรียบเทียบผลการคำนวณทางทฤษฎีกับผลการวัดโดย  
เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรแบบดิจิทัลของอัตราขยายของวงจรรวม  
RC high pass filter ที่มีความต้านทานเป็น 1182  
โอห์ม และค่าคาปาซิเตอร์เป็น 0.0505 ไมโครฟาร์ด 89
- 5.11 กราฟเปรียบเทียบผลการคำนวณทางทฤษฎีกับผลการวัดโดย  
เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรแบบดิจิทัลของอัตราขยายของวงจรรวม  
RC high pass filter ที่มีความต้านทานเป็น 1182  
โอห์ม และค่าคาปาซิเตอร์เป็น 0.0505 ไมโครฟาร์ด 90
- 5.12 วงจรสองท่าที่ไม่ทราบลักษณะสมบัติ 93
- 5.13 กราฟแสดงผลการวัดอัตราขยายโดยเครื่องวิเคราะห์ห้วงจร  
แบบดิจิทัลของวงจรรวมที่ไม่ทราบลักษณะสมบัติในรูปที่ 5.12 94
- 5.14 กราฟแสดงผลการวัดความแตกต่างมุมของสัญญาณขาออก  
เทียบกับสัญญาณขาเข้าของวงจรรวมที่ไม่ทราบลักษณะสมบัติใน  
รูปที่ 5.12 โดยเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรแบบดิจิทัล 95
- 5.15 วงจรรวม Second Order Low pass Chebyshev Filter  
ซึ่งเป็นวงสองท่าในรูปที่ 5.12 96
- ก.1 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเลี้ยงวงจร 102
- ข.1 วงจรสร้างสัญญาณความถี่คงที่ 5 เมกกะเฮิรตซ์ 104
- ข.2 วงจรสร้างสัญญาณความถี่คงที่ 2 เมกกะเฮิรตซ์ 104
- ค.1 วงจรควบคุมสวิตช์เลือกชนิดการวัด 106
- ง.1 ภาพแสดงเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรแบบที่สร้างขึ้น 109

ง.2	ภาพแสดงหน้าปัดของเครื่องวิเคราะห์วงจรแบบดิจิทัลที่สร้างขึ้น	110
จ.1	แผนภาพแสดงการต่อปลายรับส่งสัญญาณภายในเครื่อง	113
จ.2	Timing Diagram ของการวัดอัตราขยาย	114
จ.3	Timing Diagram ของการวัดความแตกทางมุม	115