

การออกแบบและการสร้างเครื่องวิเคราะห์ 1024 ช่อง ด้วย

แรมตี้ม แอกเซล เมโมรี



เรืออากาศโท มานะ กุ้ยอ่อน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2524

002363

117005693

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A 1024-CHANNEL
ANALYZER WITH RANDOM ACCESS MEMORIES

Flying Officer Mana Guiyon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate School

Chulalongkorn University

1981

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การออกแบบและการสร้างเครื่องวิเคราะห์ 1024 ช่องด้วย

แรนดัม แอ็กเซล เมโมรี

โดย

เรืออากาศโท มานะ กุ้ยอ่อน

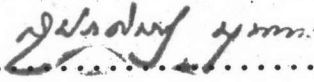
ภาควิชา

ฟิสิกส์


อาจารย์ที่ปรึกษา

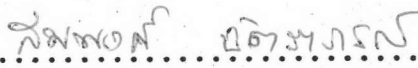
รองศาสตราจารย์ ดร. อารัง เมธาศิริ


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

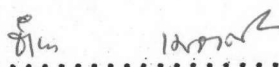
.....  คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประติษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ริชัย หโยตม)

.....  กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สัมพงศ์ จิตราภรณ์)

.....  กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปราชา การสุทธิ์)

.....  กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อารัง เมธาศิริ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและการสร้างเครื่องวิเคราะห์ 1024 ช่อง ด้วย
 แรนดัม แอ็กเชล เมโมรี
ชื่อนิสิต เรืออากาศโท มานะ กุ้ยอ่อน
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ธำรง เมธาศิริ
ภาควิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2523



บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาถึงการออกแบบและการสร้างเครื่องวิเคราะห์ 1024 ช่อง พร้อม
ด้วยผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง เครื่องมือนี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยด้าน
นิวเคลียร์ฟิสิกส์มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ชุดเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งจะเปลี่ยนความ
สูงของสัญญาณอนาลอกที่เข้ามาให้เป็นสัดส่วนกับจำนวนช่อง เมื่อสัญญาณอนาลอกตรงกับหมายเลขช่องใด
วงจรหน่วยความจำจะบันทึกจำนวนครั้งที่สัญญาณเข้ามาในช่องนั้น ข้อมูลที่เก็บในหน่วยความจำสามารถ
นำออกมาแสดงผลด้วยจอภาพของออสซิลโลสโคป และแสดงด้วยตัวเลขบนแผงหน้าปัทม์ ช่วงเวลาที่
ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณ สามารถตั้งได้โดยวงจรกำหนดเวลาคุณลักษณะของเครื่องวิเคราะห์ 1024
ช่อง คือ ใช้ความถี่ 56 เมกะเฮิรตซ์ ในการกำหนดจำนวนช่อง ความสามารถในการแยกจำนวนช่อง
มีค่าเท่ากับ 1024 ช่อง วงจรอบของการทำงานในวงจรหน่วยความจำ มีค่าคงที่เท่ากับ 0.72 ไมโคร-
วินาที การทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นแบบดิฟเฟอเรนเชียล โดยใช้วิธีการวัดพลังงานของรังสีแกมมา
พบว่ามีความผิดกว่า $\pm 0.78 \%$ ความสามารถในการแยกพลังงานรังสีแกมมา มีค่า 7.698 % ของ
ยอดพลังงาน ซีเซียม -137 โดยใช้หัววัด โซเดียม ไอโอไดด์ (ทาลเลียม)

Thesis Title Design and Construction of a 1024-Channel Analyzer with
 Random Access Memories

Name Flying Officer Mana Guiyon

Thesis Advisor Associate Professor Thamrong Methasiri, F.D.

Department Physics

Academic Year 1980

ABSTRACT

This thesis studies the design and construction of the 1024 channel analyzer. Results of test runs are also described. This device is one of the special nuclear electronic research instruments used in nuclear physics. It is composed of an analog to digital converter that associates each input signal with a specific amplitude channel, a memory device that keep track of the number of signals that fall in each of the amplitude channels, a data display devices that gives an indication of the information stored in memory on an oscilloscope and from front pannel electronic readout. The period of data acquisition is selected by the program timer. Some feature of the 1024 channel analyzer are, a 56 MHz digitizing rate, resolution to 1024 channels. The memory cycle time of 0.72 microsecond. The test of the differential non-linearity of a 1024 channel analysis by using gamma energy spectrum, was better than $\pm 0.78\%$. The energy resolution is 7.698% of photopeak in ^{137}Cs with NaI(Tl) detector.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ธำรง
 เมธาศิริ ซึ่งให้คำปรึกษา แนะนำ เลื่อนแนะความคิดในการออกแบบ และให้การสนับสนุนใน
 การสร้างเครื่องมือนี้จนสำเร็จ พร้อมทั้งได้ช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านมาตลอด ผู้เขียนขอกราบขอบ
 พระคุณเป็นอย่างสูง อีกส่วนหนึ่งผู้เขียนได้รับคำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนช่วยเหลือให้ยืมอุปกรณ์
 ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัย จากอาจารย์ และพี่หลายท่าน ผู้เขียนรู้สึกสำนึกดีในในความโอบอ้อม
 อารีที่ได้รับ สิ่งขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	๔
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๖
กิตติกรรมประกาศ	๘
รายการตารางประกอบ	๙
รายการรูปประกอบ	๑๐
รายการรูปวงจร	๑๑
บทที่	
1. บทนำ	1
1. ความสำคัญของเรื่อง	
1.1 ชุดเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	1
1.2 ชุดหน่วยความจำและหน่วยนับ	1
1.3 ชุดเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอกและหน่วยแสดงผล	3
1.4 ชุดกำหนดเวลาและหน่วยจ่ายไฟเลี้ยง	4
2. วัตถุประสงค์ในการวิจัย	4
3. ขอบเขตของการวิจัย	5
4. ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย	5
5. ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	5
2. ทฤษฎี	7
1. อันตรกิริยาของรังสีแกมมากับสสาร	
1.1 ปฏิกริยาแบบโฟโตอิเล็กตริก	7
1.2 ปฏิกริยาแบบคอมป์ตัน	7
1.3 ปฏิกริยาแบบอิเล็กตรอนคู่	7
2. อันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่มีต่อโซเดียมไอโอดีน (ทาลเลียม)	8



2.1	พรี แอมพลิไฟเออร์	9
2.2	เมนแอมพลิไฟเออร์	9
3.	การวิเคราะห์สัญญาณของเครื่องวิเคราะห์หลายช่อง	9
3.1	ส่วนประกอบของเครื่องวิเคราะห์หลายช่อง	11
3.1.1	ชุดเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	11
3.1.2	ชุดหน่วยความจำ	11
3.2	วิธีวิเคราะห์สัญญาณของเครื่องวิเคราะห์หลายช่อง	11
4.	ตัวเก็บประจุ	
5.	วงจรขยายสัญญาณความแตกต่าง	16
6.	วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน	18
7.	วงจรจ่ายกระแสคงที่	20
3.	ไอซีดิจิทัล	22
1.	พีซีชนิดของบูลเสียน	22
1.1	กฎดออลิสตี	22
1.2	ทฤษฎีเดอมอร์แกน	22
1.3	ลูปลูตตรและกฎที่สำคัญ	22
2.	ชนิดของไอซี	23
3.	ไอซี ทีทีแอล	23
3.1	ลักษณะของวงจรทางด้านเอาท์พุท	23
3.2	หลักการออกแบบวงจรทีทีแอล	26
3.3	การเชื่อมต่อระหว่างไอซีทีทีแอลกับไอซีทีทีแอล	26
3.4	การเชื่อมต่อระหว่างไอซีทีทีแอลกับวงจรภายนอก	26
3.5	การต่อขาอินพุทของเกทที่ไม่ได้ใช้	27

บทที่

หน้า

- 4. วงจรคอมโบเนชั่น 28
 - 4.1 วงจรเปรียบเทียบตัวเลขทางดิจิทัล 28
 - 4.2 ตัวเลือกข้อมูล 30
 - 4.2.1 การใช้งานตัวเลือกข้อมูล 30
 - 4.3 การมัลติเพลกซ์ 32
 - 4.4 ตัวกระจายข้อมูล 32
 - 4.5 ตัวถอดรหัส 34
 - 4.6 การเปลี่ยนเลขฐานสิบให้เป็นเลขไบนารี 34
 - 4.7 รวม 35
- 5. ระบบซีเครียนเชียล 35
 - 5.1 ฟลิปฟลอป 36
 - 5.1.1 เอส.อาร์ฟลิปฟลอป 36
 - 5.1.2 เอสอาร์ มาสเตอร์ สเลฟฟลิปฟลอป 36
 - 5.1.3 คอมพลีเมนต์ ฟลิปฟลอป 36
 - 5.1.4 เจ เค ฟลิปฟลอป 38
 - 5.1.5 เจเคมาสเตอร์สเลฟฟลิปฟลอป 38
 - 5.1.6 ดี ฟลิปฟลอป 38
 - 5.2 ซีพรีสิสเตอร์ 40
 - 5.3 วงจรนับเลขไบนารี 40
 - 5.4 วงจรนับสิบ 40
- 6. หน่วยความจำ
 - 6.1 ไวลาทไทล์และนอนไวลาไทล์ 42
 - 6.2 โครงสร้างของแรม 42

4.	การทำงานโดยแผนภาพ	43
1.	วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	43
1.1	วงจรพีเพอร์	45
1.2	วงจรโลเวอร์เลเวล ดิสคริมิเนเตอร์	45
1.3	วงจรควบคุมเกท และลิเนียร์เกท	45
1.4	วงจรขยายสัญญาณ	46
1.5	วงจรพิกตีเทคเตอร์	46
1.6	วงจรคอนเวอร์ชัน ดิสคริมิเนเตอร์	46
1.7	วงจรจ่ายกระแสคงที่	47
1.8	วงจรออสซิลเลเตอร์	47
2.	ชุดหน่วยความจำและหน่วยนับ	47
2.1	วงจรมัลติไบนารีแอดเดรล	49
2.2	วงจรเมนโหมดคอนโทรล	49
2.3	วงจรแรมและหน่วยนับ	49
2.4	การวิเคราะห์สัญญาณ	50
2.5	การแสดงผลข้อมูล	50
2.6	การเคลียร์	50
3.	ชุดเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอกและหน่วยแสดงผล	51
3.1	วงจรซีพาร์สิลเตอร์	51
3.2	วงจรกำเนิดสัญญาณลิตเพลกซ์	53
3.3	วงจรเปลี่ยนรหัสจากไบนารีเป็นบีซีดี	53
4.	ชุดกำหนดเวลา และ หน่วยจ่ายไฟเลี้ยง	54
4.1	วงจรหน่วยฐานเวลา	54
4.2	วงจรตั้งเวลา	54

บทที่	หน้า
4.3 วงจรควบคุมระบบ	54
4.4 วงจรเรกูเลเตอร์	56
5. วิธีใช้เครื่องวิเคราะห์ 1024 ช่อง	56
5. วงจรเครื่องวิเคราะห์ 1024 ช่อง	58
1. ชุดเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	53
1.1 วงจรขยายสัญญาณ	58
1.2 วงจรลิเนียร์เกท	59
1.3 วงจรฟลิกคิงเทคเตอร์	60
1.4 วงจรคอนเวอร์ชัน ซีลคริมิเนเตอร์	60
1.5 วงจรจ่ายกระแสคงที่	61
1.6 วงจรออสซิลเลเตอร์	61
1.7 ไตอะแกรมเวลา	61
2. ชุดหน่วยความจำและหน่วยนับ	63
2.1 วงจรนับไบนารีแอดเดรล	63
2.2 วงจรเมนโหมตคอนโทรล	64
2.3 วงจรแรมและหน่วยนับ	65
2.4 การวิเคราะห์สัญญาณ	65
2.5 การแสดงผลข้อมูล	67
2.6 การเคลียร์ข้อมูลของหน่วยความจำ	68
3. ชุดเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอกและหน่วยแสดงผล	69
3.1 วงจรซีพท์ทริสัสเตอร์	70
3.2 วงจรเปลี่ยนรหัสไบนารีเป็นซีบีดี	71
3.3 วงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก	72

3.4	วงจรกำเนิดสัญญาณมัลติเพลกซ์	72
4.	ชุดกำหนดเวลา และหน่วยจ่ายไฟเลี้ยง	73
4.1	วงจรหน่วยฐานเวลา	73
4.2	วงจรควบคุมระบบ	74
4.3	วงจรตั้งเวลา	74
4.4	วงจรเรกูเลเตอร์	75
6.	การทดลองและผล	99
1.	การคำนวณหาค่าความไม่เป็นเชิงเส้นแบบดิฟเฟอเรนเชียลโดยใช้สัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์	99
1.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	99
1.2	วิธีดำเนินการทดลอง	99
1.3	วิธีการคำนวณ	100
2.	การคำนวณหาค่าความไม่เป็นเชิงเส้นแบบดิฟเฟอเรนเชียลโดยการวัดกัมมันภาพรังสีแกมมา	100
2.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	103
2.2	วิธีดำเนินการทดลอง	103
2.3	การคำนวณหาตำแหน่งยอด	104
2.4	วิธีคำนวณ หาค่าความไม่เป็นเชิงเส้นแบบดิฟเฟอเรนเชียล	106
3.	ความสามารถในการแยกสัญญาณ	106
7.	สรุปผลและข้อเสนอนะ	118
	เอกสารอ้างอิง	122
	ประวัติ	123

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
6.1	แสดงผลการคำนวณค่าความไม่เป็นเชิงเส้นแบบดิฟเฟอเรนเชียล ด้วยขนาด จำนวนช่องต่าง ๆ โดยใช้สัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์	103
6.2	แสดงผลการคำนวณหาค่าตำแหน่งยอดพลังงานของลำรังสีของ ซีเซียม - 137 โคบอลท์ - 60 และโซเดียม -22 ด้วยขนาดจำนวนช่อง ต่าง ๆ กัน	105
6.3	แสดงผลการคำนวณค่าความไม่เป็นเชิงเส้นแบบดิฟเฟอเรนเชียล ด้วยขนาด จำนวนช่องต่าง ๆ จากวิธีการวัดรังสีแกมมา	106
6.4	แสดงผลการคำนวณหาค่าการแยกของพลังงานรังสีแกมมาจากพลังงานของลำ รังสีต่าง ๆ	107

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
1.1	แผนภาพของระบบวิเคราะห์สัญญาณรังสีและชุดประกอบของเครื่องวิเคราะห์ 1024 ช่อง	2
2.1 ก.	แสดงภาพของสัญญาณก่อนวิเคราะห์	10
2.1 ข.	แสดงกราฟหลังจากวิเคราะห์สัญญาณแล้ว	10
2.2	แสดงภาพวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ	13
2.3 ก.	แสดงการประจุของตัวเก็บประจุ	13
2.3 ข.	แสดงการไหลของกระแสขณะตัวเก็บประจุกำลังประจุ.....	13
2.4	แสดงภาพวงจรขยายสัญญาณความแตกต่าง	17
2.5 ก.	แสดงภาพวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดันที่ให้อิสเตอร์เรซีล	17
2.5 ข.	ภาพแสดงการเกิดอิสเตอร์เรซีล	19
2.5 ค.	วงจรสมมูลย์ ขณะเอาท์พุทอยู่สถานะสูง.....	19
2.5 ง.	วงจรสมมูลย์ ขณะเอาท์พุทอยู่สถานะต่ำ	19
2.6	แสดงภาพวงจรจ่ายกระแสคงที่	19
3.1 ก.	แสดงการไหลของกระแสที่เอาท์พุทขณะแสดงลอจิก "0"	25
3.1 ข.	แสดงการไหลของกระแสชอร์สที่เอาท์พุท	25
3.2	วงจรเปรียบเทียบตัวเลข 1 บิต	25
3.3 ก.	สวิตช์เลือกที่มีการทำงานเหมือนตัวเลือกข้อมูล	31
3.3 ข.	วงจรเลือกข้อมูล 4 อินพุท 1 เอาท์พุท	31
3.4	แสดงการมัลติเพลกซ์สัญญาณ	31
3.5	แสดงการทำงานของตัวกระจายข้อมูล	33
3.6	วงจรถอดรหัสแบบเบื้องต้น	33
3.7	วงจรเอ็นโคตเตอร์ที่ใช้ไดโอด	33
3.8	สัญญาณสัญญาณ อาร์ เอส ฟลิปฟลอป	37
3.9	โครงสร้างของเจเคฟลิปฟลอป	37

3.10	วงจร เจเค มาลีเตอร์ลีเลฟลิปฟลอบ	37
3.11	การทำงานของดีฟลิปฟลอบ	39
3.12	แสดงการทำงานของซีพทีรีซิลเตอร์	39
3.13	วงจรมับเลขไบนารี	41
3.14	การนำเอาวงจรถอดรหัสมาใช้นิยามและการจัดตำแหน่งเซลล์หน่วยความจำ ..	41
4.1	แผนภาพแสดงการทำงานของชุดเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ...	44
4.2	แผนภาพแสดงการทำงานของชุดหน่วยความจำและหน่วยนับ	48
4.3	แผนภาพแสดงการทำงานของชุดเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอกและหน่วยแสดงผล	52
4.4	แผนภาพแสดงการทำงานของชุดกำหนดเวลาและหน่วยจ่ายไฟเลี้ยง.....	55
5.1	ไดอะแกรมเวลาการทำงานของชุดเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล..	62
5.2	ไดอะแกรมเวลาการทำงานของชุดหน่วยความจำและหน่วยนับขณะวิเคราะห์สัญญาณ	66
6.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องกับความสูงของสัญญาณพัลส์ที่จำนวนช่องขนาด (ก) 128 ช่อง (ข) 256 ช่อง	101
6.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องกับความสูงของสัญญาณพัลส์ที่จำนวนช่องขนาด (ก) 512 ช่อง (ข) 1024 ช่อง	102
6.3	แสดงสเปกตรัมของกัมมันตภาพรังสีแกมมาที่วัดได้จากสารกัมมันตรังสี (ก) ซีเซียม - 137 (ข) โคบอลต์ - 60 ที่จำนวนช่องขนาด 128 ช่อง..	108
6.4	แสดงสเปกตรัมของกัมมันตภาพรังสีแกมมาที่วัดได้จากสารกัมมันตรังสีโซเดียม - 22 ที่จำนวนช่องขนาด 128 ช่อง	109
6.5	แสดงสเปกตรัมของกัมมันตภาพรังสีแกมมาที่วัดได้จากสารกัมมันตรังสี (ก) ซีเซียม - 137 (ข) โคบอลต์ -60 ที่จำนวนช่องขนาด 256 ช่อง	110
6.6	แสดงสเปกตรัมของกัมมันตภาพรังสีแกมมาที่วัดได้จากสารกัมมันตรังสีโซเดียม - 22 ที่จำนวนช่องขนาด 256 ช่อง	111

รูปที่

หน้า

6.7	แสดงสเปกตรัมของกัมมันตภาพรังสีแกมมาที่วัดได้จากสารกัมมันตรังสี (ก) ซีเซียม - 137 (ข) โคบอลต์ -60 ที่จำนวนช่องขนาด 512 ช่อง ...	112
6.8	แสดงสเปกตรัมของกัมมันตภาพรังสีแกมมาที่วัดได้จากสารกัมมันตรังสี โซเดียม - 22 ที่จำนวนช่องขนาด 512 ช่อง.....	113
6.9	แสดงสเปกตรัมของกัมมันตภาพรังสีแกมมาที่วัดได้จากสารกัมมันตรังสี (ก) ซีเซียม - 137 (ข) โคบอลต์ -60 ที่จำนวนช่องขนาด 1024 ช่อง ..	114
6.10	แสดงสเปกตรัมของกัมมันตภาพรังสีแกมมาที่วัดได้จากสารกัมมันตรังสี โซเดียม - 22 ที่จำนวนช่องขนาด 1024 ช่อง	115
6.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องกับพลังงานกัมมันตภาพรังสีแกมมา ที่จำนวนช่องขนาด (ก) 128 ช่อง (ข) 256 ช่อง	116
6.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องกับพลังงานกัมมันตภาพรังสีแกมมาที่จำนวนช่องขนาด (ก) 512 ช่อง (ข) 1024 ช่อง	117
7.1	แสดงภาพที่ถ่ายจากออสซิลโลสโคป เป็นสเปกตรัมของกัมมันตภาพรังสีแกมมาที่วัดได้จากสารกัมมันตรังสี (ก) ซีเซียม - 137 (ข) โคบอลต์ - 60 โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ 1024 ช่องที่จำนวนช่องขนาด 1024 ช่อง.....	119

รายการรูปวงจร

วงจรรูปที่		หน้า
1	วงจรรขยายสัญญาณ	76
2	วงจรถ่ายเฟรมเกท	77
3	วงจรถ่ายดีเทคเตอร์	78
4	วงจรถ่ายกระแสคางที่	79
5	วงจรถอนเวอร์ชัน ดีสคริมิเนเตอร์	80
6	วงจรถอัสซึลเลเตอร์	81
7	วงจรถอนโหมดคอนโทรล	82
8	วงจรถับไบนารีแอดเดรส	83
9	วงจรถน่วยความจำ และหน่วยควบคุม	84
10	วงจรถน่วยความจำ และหน่วยนับ	85
11	วงจรถน่วยคอนโทรลลอจิก	86
12	วงจรถน่วยพัลส์เจเนอเรเตอร์	87
13	วงจรถน่วยแบบพีซีดี	88
14	วงจรถน่วยแบบไบนารี	89
15	วงจรถน่วยมัลติเพลกซ์ข้อมูล	90
16	วงจรถน่วยเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก แบบแบ่งน้ำหนัก	91
17	วงจรถน่วยเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอกแบบขั้นบันได	92
18	วงจรถน่วยกำเนิดสัญญาณมัลติเพลกซ์	93
19	วงจรถน่วยถอดรหัส	94
20	วงจรถน่วยฐานเวลา	95
21	วงจรถน่วยควบคุมระบบ	96
22	วงจรถน่วยตั้งเวลา	97
23	วงจรถน่วยเรกูเลเตอร์	98