

การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ซบเคลือบผิวกรอบขาไอซี

ปริญญานิพนธ์
ของ
พนม เสือสีบพันธุ์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
พฤษภาคม 2545
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

๒๗ ๒๕๔๕

๒๗ ๒๕๔๕

๒๗

การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ซูปเปอร์เคลือบผิวกรอบขาไอซี

บทคัดย่อ

ของ

พนม เสือสีบพันธุ์

๒๗ ๒๕๔๕

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา

พฤษภาคม ๒๕๔๕

๒ ๒๕๔๕

พนม เสือสืบพันธุ์. (2545). การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปเคลือบผิวกรอบขาไอซี.

ปริญญาานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม : ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร, ผศ.ดร. ชีระพล เทพหัสดิน
ณ อยุธยา.

การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปเคลือบผิวกรอบขาไอซี. โดยการออกแบบวงจร
จ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-30 V. 0-5 A. แบบลิเนียร์ พร้อมวงจรกำเนิดความถี่ตั้งแต่ 1-99
มิลลิวินาทีและวงจรขับกำลัง โดยให้สัญญาณไฟตรงจากวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าจ่ายเข้าวงจรกำเนิดและขับ
สัญญาณพัลส์ โดยนำไปใช้กับในการชุบกรอบขาไอซี โดยการทดสอบประสิทธิภาพของรูปคลื่นที่ได้เมื่อจ่าย
ภาระที่เป็นถึงชุปกับการจ่ายภาระที่เป็นตัวต้านทาน เพื่อทดสอบสัญญาณพัลส์ที่ได้ ตามทฤษฎีของ
Enrique Gutierrez Jr.

ผลการทดสอบสรุปได้ว่า การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปกรอบขาไอซี
มีรายละเอียดดังนี้

1. ชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse) สามารถปรับคลื่นคาบเวลาของรูปคลื่นได้ตั้งแต่ 1-99
มิลลิวินาที
2. ชุดจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (Power Supply) สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0-5 แอมป์
ปรับแรงดันได้ตั้งแต่ 0-30 โวลท์
3. ค่าการกระเพื่อม (Ripple) ของสัญญาณหรือค่าสัญญาณรบกวน (Noise) ต่ำกว่า 5% ของค่า
ปรับตั้งสัญญาณพัลส์ในภาระแบบตัวต้านทานที่ปรับค่ากระแสขาออกที่ 5 แอมป์ แต่สูงกว่า 5% เท่ากับ
6.25% เมื่อปรับค่ากระแสขาออกที่ 3.5 แอมป์ และกรณีเมื่อจ่ายเข้าถึงชุปโดยปรับค่ากระแสที่ 3.4 แอมป์
จะมีค่าการกระเพื่อม (Ripple) หรือค่าสัญญาณรบกวน (Noise) มากขึ้น
4. ค่าการกระโดดของสัญญาณพัลส์ (Over shoot) ต่ำกว่า 5% ของค่าปรับตั้งสัญญาณพัลส์ใน
ภาระแบบตัวต้านทานและภาระที่ต่อเข้าช่อง(Cell) ชุปเคลือบผิวกรอบขาไอซี ทั้งการเปลี่ยนตำแหน่งการวัด
ที่ขาออกของสัญญาณพัลส์และที่วัดคร่อมที่หน้าสัมผัสใกล้ช่อง (cell) น่ายาที่เกิด ปฏิกริยา อิเลคโตรไลต์
5. ค่าเวลาในการตั้งตัวรูปคลื่น (Setting time) น้อยกว่า 1 ใน 10 ของความกว้างพัลส์ ทั้งภาระที่
เป็นตัวต้านทานและช่อง (Cell) ใกล้บริเวณการเกิดปฏิกริยาเคมีโดยจะเห็นการหน่วงของเวลาชัดเจนเมื่อ
วัดคร่อมช่อง (cell) ใกล้บริเวณการเกิดปฏิกริยาเคมี
6. เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์มีเปอร์เซ็นต์การผิดพลาดจากการปรับค่าเวลา On time/ Off time ต่อ
ค่าเวลาที่แสดงที่ออสซิลโลสโคปเท่ากับ 0.1 เปอร์เซ็นต์

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF PULSE POWER SUPPLY FOR
LEADFRAME ELECTRO PLATING**

**AN ABSTRACT
BY
PHANOM SUASEUBPHAN**

**Presented In partial fulfillment of the requirements
for the Master of Education degree In Industrial Education
at Srinakharinwirot University
May 2002**

Phanom Suaseubphan. (2002). *Design and Construction of Pulse Power Supply For Leadframe Electro Plating*. Master thesis, M.A. (Industrial Education).

Bangkok : Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee :
Dr. Pairust Vongyuttakrai , Dr. Teerapol Thephatsadin Na Ayuttaya.

This research was to design and construction of Pulse Power Supply for leadframe electro plating .Power supply to supply adjustable voltage 0-30 V. and current 0-5 A. with linear system. DC.signal from power supply will supply to pulse generator and drive circuit. To apply with leadframe plating and tested the result of pulse signal at output according to theory 's Enrique Gutierrez.Jr

The result of the experiment shows that pulse power supply have detail loud the following.

1. Pulse Generator can adjusted between 1-99 msec.
2. Power supply module can be adjusted to 0 - 30 V. and 0 - 5 A.
3. Ripple of signal less than 5% with resistance load when apply current at 5 Amp. and above 5% (6.25%) when apply current at 3.5 Amp. and supply to plating cell at 3.4 Amp. it can create more ripple and noise signal.
4. Overshoot less than 5% of setting pulse at resistance load and real plating cell load unless change position of measurement signal between out put of pulse power supply and actual cell on contact in plating reaction.
5. Setting time of signal less than 1 of 10 minimum pulse width on resistance load and actual plating cell solution at near chemical reaction can observe delay time of signal.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ซูปเปอร์เสียงรอบขาไอซี

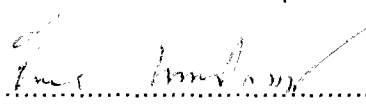
ของ
นายพนม เสือสืบพันธุ์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

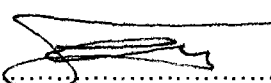

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.นภาพร หะวานนท์)
วันที่ 5 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2545

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์


..... ประธาน
(อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)


..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุคันธกุล)


..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ไธมาส สุขหวาน)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความรู้จากอาจารย์ ดร. ไพรัช วงศ์ยุทธไกร ประธานกรรมการควบคุม ผศ. ดร. ชีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ อาจารย์ ดร. อุปวิทย์ สุวคันธกุล และอาจารย์โอภาส สุขหวาน ที่กรุณาเป็นคณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการสอบ พร้อมทั้งการให้ข้อคิด คำแนะนำในการปรับปรุงปริญญานิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ พ.จ.อ. พิสิฐ - คุณทองพรรณ เสือสืบพันธุ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และข้อเสนอแนะต่างๆ ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณลัดดา เสือสืบพันธุ์และคุณวิภา สมโภชพุดติกุล ที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจทานจัดรูปแบบและเครื่องพิมพ์ พร้อมข้อเสนอแนะต่างๆ ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณ โกศล หวังสุนทรภาพร สำหรับการอนุมัติให้ใช้สถานที่ในการทดสอบเครื่องทำให้ปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ นิสิต เพื่อนร่วมรุ่น ปริญญาโท หลักสูตรวิชาอุตสาหกรรมศึกษา ทุกท่าน และบุคคลอื่นที่ไม่สามารถกล่าวชื่อนามได้ทั้งหมดที่ให้กำลังใจ ในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ผู้วิจัยขอโน้มรำลึกถึงพระคุณของบิดามารดา ครู-อาจารย์ อันเป็นที่เคารพรักสูงสุด ให้ทั้งความรู้ กำลังใจ กำลังทรัพย์ และ คุณประโยชน์อันเกิดจากปริญญานิพนธ์ ขอมอบให้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ และครูอาจารย์ ซึ่งมีพระคุณอย่างสูงยิ่งอันหาที่เปรียบมิได้

พนม เสือสืบพันธุ์

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	2
ความสำคัญของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	4
สมมติฐานการวิจัย.....	4
2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
วิวัฒนาการของอุตสาหกรรมไอซี.....	5
วัสดุที่ใช้ทำกรอบขาไอซี (Lead frame material).....	10
การผลิต Leadframe (manufacture of lead frame Strip).....	11
การประดิษฐ์ L/F (Leadframe Fabrication).....	12
เคมีไฟฟ้าเบื้องต้น.....	16
กฎฟาราเดย์.....	16
ความรู้เบื้องต้นของการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า.....	18
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า.....	22
การกระจายของกระแสไฟฟ้า.....	22
รูปคลื่นชนิดต่างๆและรูปคลื่นสี่เหลี่ยม.....	23
การวิเคราะห์รูปคลื่น.....	25
รูปคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสและรูปคลื่นพัลส์.....	28
รูปคลื่นที่ผิดเพี้ยน.....	33
การวิเคราะห์ฮาร์มอนิก.....	36
สิ่งสนับสนุนความก้าวหน้าในเทคโนโลยีเครื่องจ่ายรูปคลื่นพัลส์ที่ใช้ในการชุบ.....	39
ย่านการทำงาน.....	47
เวลาการเปลี่ยนคลื่น.....	47
การควบคุมและสั่งงานและการใช้งาน.....	50
ค่าอินตักแทนซ์ของสายเคเบิล.....	50
เทคโนโลยีกับการใช้งานแหล่งจ่ายไฟตรง.....	52
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	58

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	61
เกณฑ์ข้อกำหนดของการออกแบบและการสร้างเครื่องในการวิจัย	61
ลำดับขั้นตอนในการวิจัย.....	62
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	72
ผลการทดสอบและการทดลองใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ซูปเปอร์เลิบบีว กรอบขาไอซี.....	73
5 สรุป อภิปรายผล ข้อเสนอแนะ.....	85
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	85
ความสำคัญของการวิจัย.....	85
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	86
สรุปผลการวิจัย.....	87
การอภิปรายข้อมูล	88
ข้อเสนอแนะ	89
ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป.....	90
บรรณานุกรม.....	91
ภาคผนวก.....	93
ภาคผนวก ก. หนังสือขอความร่วมมือเพื่อการวิจัย.....	94
ภาคผนวก ข. รายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์.....	96
ภาคผนวก ค. การทดสอบและภาพประกอบเกี่ยวกับการสร้าง.....	141
ภาคผนวก ง. คู่มือการใช้งาน.....	146
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	153

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	การจำแนกไอซีตามขนาดความอัดแน่นของจำนวนชิ้นส่วน.....	6
2	เทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไอซีจำแนกตามกระบวนการผลิต.....	8
3	แสดงการเปรียบเทียบเทคโนโลยีของ Power supply.....	44
4	แสดงรายละเอียดของตัวเก็บประจุ(วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์และวงจรขับ).....	97
5	รายละเอียดของอุปกรณ์อื่นๆ (วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์และวงจรขับ).....	97
6	รายละเอียดของไอซี...(วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์และวงจรขับ).....	98
7	รายละเอียดของทรานซิสเตอร์...(วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์และวงจรขับ).....	98
8	รายละเอียดของตัวเก็บประจุ... (วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์และวงจรขับ).....	98
9	รายละเอียดอุปกรณ์ของ Linear power supply ของตัวเก็บประจุ.....	99
10	รายละเอียดอุปกรณ์ของ Linear power supply ของทรานซิสเตอร์.....	99
11	รายละเอียดอุปกรณ์ของ Linear power supply รายละเอียดของไอซี.....	99
12	รายละเอียดอุปกรณ์ของ Linear power supply รายละเอียดของตัวต้านทาน.....	100
13	รายละเอียดอุปกรณ์ของ Linear power supply รายละเอียดของอุปกรณ์อื่นๆ.....	100

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	4
2 การแบ่งชนิดต่างๆของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์.....	5
3 บล็อกไดอะแกรมแสดงกระบวนการผลิตที่สำคัญของไอซี.....	7
4 ขบวนการย่อยของกระบวนการประกอบไอซี.....	8
5 มุมมองของการผลิตแบบ nonhemetic ซึ่งแสดงให้เห็นการต่อลวดชิปไปยังขาต้าน ในของกรอบขาไอซี.....	10
6 การติดเทปยึดขาต้านในของกรอบไอซีโดยการวางแผ่นชิปตรงกลาง.....	10
7 ชนิดโครงสร้างของการผนึกไอซีด้วยการต่อตรงหรือการฟอร์มขาไอซี.....	11
8 ชิ้นส่วนที่ถอดออกจากทูล (Tooling) ที่ใช้ในการบีมขึ้นรูป L/F.....	13
9 L/F ชนิดกัดด้วยสารเคมี (Etching) โดยเตียงลำดับจากด้านขวาของ L/F.....	14
10 ลำดับการประกอบสำหรับการผนึกแบบ Dual in Line package ส่วนประกอบฐานและด้าน บนทำมาเรียบร้อยด้วยแก้วสำหรับฝังประกบ L/F และปิดผนึก.....	15
11 ลำดับการประกอบ Plastic postmolded แบบ Dual-in-line Package แผ่น L/F จะรองรับตัวชิพ (Chip)หลังจากการยึด Die และยึดเส้นลวด.....	15
12 หลักการซุบอย่างง่าย.....	19
13 ลักษณะการเข้าเกาะเคลือบผิวที่ขั้วลวดของอ็อนบวก(M+)ที่เป็นเกลียวแบบธรรมดา.....	21
14 ลักษณะของกระจายของกระแสไฟฟ้าและความหนาที่เคลือบในบริเวณต่างๆ ของชิ้นงาน.....	23
15 ออสซิลโลสโคป.....	24
16 เครื่องบันทึกรูปภาพ.....	25
17 ดิจิตอลสโคปเรจอสซิลโลสโคป.....	25
18 รูปคลื่นพื้นฐานต่างๆ.....	26
18 คลื่นบันไดที่เปลี่ยนแปลงจากระดับบวก 2 ระดับ.....	27
19 คลื่นที่เกิดจากการรวมกันของคลื่นพื้นฐาน.....	28
20 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสมี $t_1 = t_2$	28
21 รูปคลื่นพัลส์ที่มี t_1 น้อยกว่า t_2	28
22 รูปคลื่นพัลส์ในทางทฤษฎี.....	29
23 รูปคลื่นพัลส์แบบสี่เหลี่ยมมุมฉากที่สร้างขึ้นในทางปฏิบัติ.....	31
24 รูปคลื่นที่มีความลาดเอียงทั้งด้านบนและด้านล่าง.....	33
25 ลักษณะของรูปคลื่นพัลส์สี่เหลี่ยมที่เกิดจากผลการตอบสนองความถี่ต่างๆและผลของ โอเวอร์ชูตที่เกิดกับสัญญาณ.....	34

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
27 คลื่นรูปสามเหลี่ยมและฟันเลื่อย.....	35
28 คลื่นแบบแทรกชอยด์ล,สแตรเคส,ดิฟเฟอเรนเชียล,อินทิเกรต.....	36
29 สี่เหลี่ยมจัตุรัสและความถี่ฮาร์โมนิก.....	37
30 คลื่นพัลส์และแถบความถี่ฮาร์โมนิก.....	37
31 ก.) คลื่นฟันเลื่อย ข.) แถบความถี่ฮาร์โมนิก.....	38
32 ก.) คลื่นเอาต์พุตเรกติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น ข.) แถบความถี่ฮาร์โมนิก.....	38
33 ค่าวัฏจักรหน้าที่(Duty cycle) แสดงวัฏจักรหน้าที่เท่ากับ $T1/(T1+T2)$	39
34 Duty cycle at 25%,50%,75%).....	40
35 แสดงค่าความถี่เมื่อเวลา T1 และ T2เปลี่ยนแปลง(Frequency).....	40
36 แสดงค่าขนาด (Amplitude)ของสัญญาณ.....	41
37 แสดงรูปคลื่นพัลส์ต่างๆ ที่ใช้ในการชุบ (Wave form).....	41
38 ตัวแปรต่างๆที่เหมาะสมโดยเปลี่ยนค่า Wave form,frequency,Duty cycle, Amplitude.....	42
39 ค่ากระแสสูงสุดของสัญญาณพัลส์... Periodic Pulse.....	45
40 พื้นที่ค่ากระแสเฉลี่ยจากค่ากระแสสูงสุด ในภาพประกอบ 40	45
41 ค่ากระแสเฉลี่ยของคลื่นพัลส์เมื่อ D = 10% ที่ กระแสสูงสุด 100 แอมป์.....	47
42 เวลาการเปลี่ยนคาบคลื่นพัลส์ที่เวลาได้ขึ้น 10-90%มี Over&under shoot.....	48
43 Slow rise time periodic pulse.....	48
44 Signal Overshoot of periodic pulse.....	49
45 Periodic Pulse reverse with off-time and periodic pulse reverse with NO off-time Effect of using Low inductance cabling.....	49
47 วงจรพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเชิงเส้น	53
48 วงจรพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตชิง.....	54
49 บัค,บูสต์,บัคบูสต์เรกูเลเตอร์.....	55
50 ภาพประกอบคอนเวอร์เตอร์ชนิดต่างๆ.....	57
51 ก. RMC แบบอนุกรมกับโหลด ข. RMC แบบขนานกับโหลด.....	58
52 แสดงขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย.....	62
53 แสดงวงจรสมมูลของการกำเนิดสัญญาณพัลส์.....	64
54 แสดงวงจรสมมูลจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง.....	65
55 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์.....	68
56 เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง.....	69
57 วงจรแสดงผลของแรงดันและกระแส.....	70

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
59 วงจรขับสัญญาณพัลส์.....	71
60 ผลการทดสอบวัดขนาดของสัญญาณที่จุดต่อด้านออก(Output)ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วยออสซิลโลสโคปเมื่อตัวตัวต้านทานกระเบื้องค่า 0.2 โอห์ม ขนาด 20 วัตต์ พร้อมจุดต่อด้านออก(Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ที่กระแสแอมป์ ค่าเวลาเปิด (On time) /เวลาปิดเท่ากับ1/1 มิลลิวินาที.....	75
61 ผลการทดสอบวัดขนาดของสัญญาณที่จุดต่อด้านออก (Output) ของเครื่อง กำเนิดสัญญาณพัลส์ เมื่อตัวตัวต้านทานกระเบื้องค่า 0.2 โอห์ม ขนาด20 วัตต์ พร้อมจุด ต่อด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ปรับกระแส เท่ากับ 5 แอมป์ ค่าเวลาเปิด (On time) /เวลาปิดเท่ากับ1/1 มิลลิวินาที.....	76
62 ผลการทดสอบวัดขนาดของสัญญาณที่จุดต่อด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ พัลส์เมื่อตัวตัวต้านทานกระเบื้องค่า0.2โอห์ม ขนาด 20 วัตต์ พร้อมจุดต่อสายไฟฟ้า ขนาด THW#16 ความยาว ด้านละ 1 เมตร ด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ พัลส์ ที่กระแส 3.5 แอมป์ ค่าเวลาเปิด (On time) /เวลาปิดเท่ากับ 1/1 มิลลิวินาที.....	77
63 ผลการทดสอบวัดขนาดของสัญญาณที่จุดต่อด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ พัลส์ เมื่อตัวตัวต้านทานกระเบื้องค่า 0.2 โอห์ม ขนาด 20 วัตต์ พร้อมจุดต่อสายไฟฟ้า ขนาด THW#16 ความยาวด้านละ 1 เมตร ด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ พัลส์ ที่กระแส 5 แอมป์ ค่าเวลาเปิด (On time) /เวลาปิดเท่ากับ 1/1 มิลลิวินาที.....	78
64 ผลการทดสอบวัดขนาดของสัญญาณที่จุดต่อด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ พัลส์เมื่อตัวตัวต้านทานกระเบื้องค่า0.2โอห์มขนาด20 วัตต์ พร้อมจุดต่อสายไฟฟ้าขนาด THW#16 ความยาว โดยรวม เท่ากับ 3.5 เมตร และต่อกับจุดต่อ ขั้ว บวก และ ลบด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ที่กระแส 3.5 แอมป์ ค่าเวลาเปิด (On time) /เวลาปิดเท่ากับ 1/1 มิลลิวินาที.....	79
65 ผลการทดสอบวัดขนาดของสัญญาณที่จุดต่อด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ พัลส์ เมื่อตัวตัวต้านทานกระเบื้องค่า 0.2 โอห์ม ขนาด20วัตต์ พร้อมจุดต่อสายไฟฟ้า ขนาด THW#16 ความยาว โดยรวม เท่ากับ 3.5 เมตร และต่อกับจุดต่อ ขั้ว บวก และลบ ด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ที่กระแส 5 แอมป์ ค่าเวลาเปิด (On time) /เวลาปิดเท่ากับ 1/1 มิลลิวินาที.....	80
66 ผลการทดสอบวัดขนาดของสัญญาณพร้อมตัวต้านทาน 0.2 โอห์ม เมื่อตัวต้านทานต่อกับ สายไฟฟ้าขนาด THW#16 ความยาว โดยรวม เท่ากับ 2 เมตร อีกด้านของสายไฟต่อ กับ จุดต่อ ขั้ว บวกและลบด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่กระแส 5 แอมป์ ค่าเวลาเปิด (On time) /เวลาปิดเท่ากับ 1/1 มิลลิวินาที.....	81

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
67 ผลการทดสอบวัดขนาดของสัญญาณพร้อมจุดต่อชั่วคราว และลบด้านออก (Output) ของ เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ที่กระแส 3.4 แอมป์ ค่าเวลาเปิด (On time) /เวลาปิดเท่ากับ 1/1 มิลลิวินาที ใน การจ่ายสัญญาณพัลส์เข้าถึงชุดกรอบขาไอซี.....	82
68 ผลการทดสอบวัดขนาดของสัญญาณที่ปลายสาย ณ. จุดที่ต่อเข้าช่องจ่ายน้ำยาชุด เป็น จุดใกล้ช่องจ่ายน้ำยาชุดเคลือบผิวกรอบขาไอซีมากที่สุด ที่กระแส 3.4 แอมป์ ค่าเวลาเปิด (On time) ต่อเวลาปิดเท่ากับ 1/1 มิลลิวินาที ในการจ่ายสัญญาณพัลส์เข้าถึงชุดกรอบขา ไอซี.....	83
69 แสดงการทดสอบเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุดกรอบขาไอซี	142
70 เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบลิเนียร์พร้อมชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้านหลัง.....	143
71 เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบลิเนียร์พร้อมชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ภายในเครื่อง.....	143
72 ลายวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุดเคลือบผิวกรอบขาไอซี.....	144
73 ลายวงจรแสดงผลแรงดันและกระแสไฟฟ้า.....	145
74 ส่วนประกอบด้านหน้าของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุดกรอบขาไอซี.....	148
75 ด้านหลังของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุดกรอบขาไอซี.....	149
76 ส่วนประกอบภายในเครื่อง.....	149

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

อุตสาหกรรมไอซีนับเป็นอุตสาหกรรมที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีที่รวดเร็วที่สุดสาขาหนึ่ง ซึ่งผลจากการพัฒนาดังกล่าว เราสามารถควบคุมขนาดสายเส้นภายในวงจรไอซีให้ลดลงประมาณ 10 ไมครอนลงเหลือ 1 ไมครอนภายในระยะเวลา 20 ปีและสามารถย่อใส่ชิ้นส่วนจำนวนมากเพิ่มขึ้นลงบนช่องไอซีขนาดเท่ากันกล่าวคือเริ่มจากการย่อใส่ความหนาแน่นขนาดเล็ก (Small Scale Integration) ไปจนกระทั่งถึงความหนาแน่นขนาดใหญ่ (Very Large Scale Integration VLSI) ทำให้ชิ้นส่วนไอซีที่ผลิตออกมามีคุณภาพสูงขึ้นเรื่อยๆ เช่น ไอซี MOSRAM ซึ่งเป็นหน่วยความจำเมื่อได้รับการพัฒนาจาก 16 K จนเป็น 256 K นั้น จะต้องใช้กำลังไฟฟ้าลดลงถึง 20 เท่าตัว (จาก 0.02 MW เป็น 0.001 MW) และความเร็วในการเรียกข้อมูลก็สั้นลงเกือบเท่าตัว จาก 200 ns (10^{-9} วินาที) เป็น 100 ns และราคาต่อหน่วยของไอซีหน่วยความจำและไอซีอื่นๆ ลดลงอย่างรวดเร็ว

มูลเหตุสำคัญของการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีที่รวดเร็วเช่นนี้ เกิดขึ้นจากการใช้จ่ายเพื่อการวิจัยและพัฒนาเป็นจำนวนมาก โดยที่ค่าใช้จ่ายของอุตสาหกรรมนี้อยู่ในเกณฑ์ที่สูงมาก เมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมเน้นเทคโนโลยีอื่นๆ ซึ่งส่งผลให้มีการลงทุนด้านอุปกรณ์การผลิตในมูลค่าที่สูงมากทุกปี ทำให้อุตสาหกรรมซึ่งผลิตอุปกรณ์เครื่องจักร เพื่อสนองต่ออุตสาหกรรมนี้มีขนาดโตขึ้นอย่างรวดเร็วและมีบทบาทสำคัญในการกำหนดอัตราการพัฒนายาวตัวของอุตสาหกรรมไอซีด้วย (NECTEC:2530:80) ไอซีสามารถถูกจำแนกได้ตามขนาดความหนาแน่นของจำนวนชิ้นส่วน (Devices) ในชิป (Chip) เป็น 4 ประเภท คือ

1. VLSI (Very Large Scale Integration) 2. LSI (Large Scale Integrate) 3. MSI (Medium Scale Integration) 4. SSI (Small Scale Integration) แต่กระบวนการผลิตไอซีก็ยังมีหลักการที่คล้ายคลึงกัน

แบ่งออกเป็น 6 กระบวนการย่อยคือ 1. กระบวนการออกแบบ (Design) 2. กระบวนการผลิตหน้ากาก (Mask) 3. กระบวนการปลูกผลึกและเตรียมแผ่นผลึก (Crystal Growth) 4. กระบวนการโปรเซสแผ่นผลึก (Wafer Processing) 5. กระบวนการประกอบหรือผนึกไอซี (IC Assembly) 6. กระบวนการตรวจสอบ (Inspection) (NECTEC.2530 : 6) กระบวนการประกอบหรือการผนึกไอซี (IC Assembly) จะนำแผ่นผลึกที่ผ่านการโปรเซสจากกระบวนการก่อนหน้านี้มาทำการตัดออกเป็นชิป (Chip) ตามขนาดของไอซี ทั้งนี้โดยใช้เลเซอร์หรือเพชร (Diamond Cutter) หลังจากนั้นอาจมีกระบวนการบัดกรีแผ่นผลึกโดยผลึกเฉพาะส่วนที่ใช้ได้ไปติดบนกรอบขา (Lead Frame) เพื่อต่อเชื่อมกับลวดตัวนำซึ่งมักใช้ทอง หลังจากเสร็จสิ้นการต่อเชื่อมแล้ว ชิปผลึกจะถูกผนึกเพื่อป้องกันฝุ่นและไอน้ำ โดยอาจใช้สารจำพวกพลาสติก ในกรณีที่ไม่มีข้อกำหนดจำเพาะที่เข้มงวดนักอาจใช้เซรามิก ถ้ามีข้อกำหนดจำเพาะที่เข้มงวดกว่า หลังการผนึกไอซีแล้วจะนำชิ้นส่วนนี้ไปตัดแต่งขาตามกำหนด แล้วพิมพ์เบอร์ เพื่อส่งไปทำการทดสอบคุณสมบัติในขั้นสุดท้ายต่อไป (NECTEC. 2530 : 12)

อุตสาหกรรมชุบเคลือบผิวด้วยสัญญาณพัลส์ใช้กันมาอุตสาหกรรมการชุบกรอบขาไอซี (Leadframe) ด้วยไฟฟ้า (Electroplating) นับเป็นอุตสาหกรรมสนับสนุน (Supporting Industry) อุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการผลิตไอซี ซึ่งกระบวนการชุบกรอบขา (Leadframe; L/F) ด้วยเงิน แบบเฉพาะจุด (Ag Spot) มีการใช้สัญญาณพัลส์ในการชุบ แต่ในงานชุบกรอบขาไอซีที่มีพื้นที่ชุบเล็กน้อยและ L/F มีความบางมากกว่าปกติ จะไม่สามารถใช้เครื่องจ่ายสัญญาณพัลส์ที่มีความสามารถในการจ่ายกระแสในย่าน

การทำงานที่สูงได้ เนื่องจากความเชื่อมั่นของเครื่องทำงานได้ดีเฉพาะย่านๆหนึ่ง นอกจากนั้นยังต้องสัมพันธ์กับเวลาในการจ่ายกระแสในช่วงแรก (Slow Start) และลักษณะการกระพือมของกระแสลักษณะ รูปคลื่นที่ได้ถ้าความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่ดีพอจะทำให้เกิด การไหม้ (Burnt) ที่พื้นผิวหรือไม่มีความสม่ำเสมอของผิวซุบเกิดผิวหยาบขรุขระเป็นรู ซุบไม่ติด (Void) ต้องลดกระแส และต้องเพิ่มเวลาในการซุบทำให้เสียเวลาในการซุบมากขึ้นทำให้เกิดผิวเคลือบมีสีเปลี่ยนไปได้ถ้าเก็บไว้นานๆ สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการซุบมีต้นทุนสูงขึ้นและสิ้นเปลือง L/F สำหรับทดสอบก่อนการผลิต Mass มาก เนื่องจากการหาความสัมพันธ์การปรับกระแสและเวลาให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ซุบเคลือบผิว ซึ่งการที่จะต้องใช้เครื่องจ่ายสัญญาณพัลส์ในย่านกระแสต่ำและมีวงจรการหน่วงเวลาในการเริ่มจ่ายกระแส จะต้องมีการสั่งทำเป็นพิเศษซึ่งต้องสั่งจากต่างประเทศและมีราคาแพง นอกจากนั้นเมื่อตกลงการสั่งซื้อนำเข้าแล้วเครื่องจะมีแต่คู่มือในการใช้งานเพียงเท่านั้น รายละเอียดวงจรภายในจะไม่เปิดเผย เมื่อชำรุดเสียหายหรือเกิดการขัดข้องต้องส่งไปซ่อมยังบริษัทต่างประเทศผู้ผลิต ทำให้เสียเวลาและสิ้นเปลืองงบประมาณในการสั่งซื้อซ่อม

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดออกแบบ สร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์การซุบกรอบขาไอซี ที่มีงานการทำงานที่กระแสต่ำ (3-4 แอมป์) ลดปัญหาการกระพือมของกระแสไฟฟ้า (Ripple Current) สัญญาณรบกวน (Noise) และเวลาในการตั้งค่าของสัญญาณพัลส์ ลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อจากต่างประเทศ เมื่อเกิดการชำรุดเสียหายหรือขัดข้อง สามารถหาชิ้นส่วนหรืออะไหล่ได้ เนื่องจากรู้หมายเลข (เบอร์) อุปกรณ์ที่จะทำการเปลี่ยนอยู่แล้วจากการออกแบบ และยังเป็นแนวทางในการพัฒนาทักษะความรู้ในการซ่อมบำรุงให้เกิดความก้าวหน้าในการซุบกรอบขาไอซีต่อไป

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์สามารถปรับกระแส 0-5 แอมป์ และสามารถปรับแรงดัน 0-30 โวลต์ ปรับเวลาเปิดและปิดแรงดันและกระแสได้ตั้งแต่ 1 – 9.9 มิลลิวินาที
2. ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องจ่ายสัญญาณพัลส์โดยมีค่าการกระพือมของกระแสไฟฟ้าที่ 5% ของค่าที่ตั้งค่าการกระโดด (Over shoot) ของกระแสที่ต่ำกว่า 5% ของค่าที่ปรับตั้งเวลาในการตั้งตัวของรูปคลื่นหรือเวลาไต่ขึ้น (Setting time or rise time) น้อยกว่า 1/10 ของความกว้างพัลส์ต่ำสุด

ความสำคัญของการวิจัย

ได้เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ เพื่อใช้สำหรับงานซุบเคลือบผิวกรอบขาไอซี ในพื้นที่การซุบที่จำกัดและกรอบขาไอซีที่บางๆ

ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้การวิจัยในการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ในการซุบกรอบขาไอซีครั้งนี้บรรลุตามจุดมุ่งหมายที่วางไว้ดังนี้

1. โดยการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ในการซุบกรอบขาไอซีขนาด 5 แอมป์ 30 โวลต์ สามารถปรับเวลาเปิดและปิดแรงดันและกระแสได้ตั้งแต่ 1–9.9 มิลลิวินาที ซึ่งมีคุณสมบัติ และประสิทธิภาพตามมาตรฐานการซุบ มีส่วนประกอบดังนี้

- 1.1 ชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse) มีคาบระยะเวลาในการเปิดปิดกระแสได้ ตั้งแต่ 1–9.9 มิลลิวินาที
- 1.2 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 5 แอมป์ (A) 30 โวลท์ (V) โดยจ่ายกระแส/แรงดันผ่านชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์เพื่อจ่ายไปยังภาระต่อไป
2. ตัวแปรที่จะศึกษา เป็นการศึกษาคุณสมบัติของเครื่องกับมาตรฐานที่กำหนด มีรายละเอียดดังนี้
 - 2.1 ค่าการกระเพื่อม (Ripple) ของแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าต่ำกว่า 5% ของค่าปรับตั้งสำหรับสัญญาณพัลส์
 - 2.2 ค่าการกระโดดของแรงดันหรือกระแสไฟฟ้า (Over shoot) ต่ำกว่า 5% ของค่าปรับตั้ง
 - 2.3 ค่าเวลาในการตั้งตัวของรูปคลื่น (Setting time) น้อยกว่า 1/10 ของความกว้างพัลส์ที่ต่ำสุด
 - 2.4 ประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาดจากค่าปรับตั้งโดยการวัดสัญญาณรูปคลื่นที่ได้กับการชูปrobe รอบขาไอซี

นิยามศัพท์เฉพาะ

การออกแบบเครื่องจ่ายสัญญาณกระแสพัลส์

หมายถึง การกำหนดลักษณะของวงจรและอุปกรณ์ไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสัมพันธ์กับการใช้ของวัสดุอุปกรณ์ อิเลคทรอนิกส์ เพื่อให้สามารถจ่ายกระแสสัญญาณพัลส์ในการชูป

การสร้างเครื่องจ่ายกระแสสัญญาณพัลส์

หมายถึง การประกอบวัสดุอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์เข้าด้วยกันและบรรจุลงในกล่องชุดเดียวกัน โดยมีพื้นฐานความสัมพันธ์ สอดคล้องกับการออกแบบที่กำหนดไว้

สัญญาณพัลส์

หมายถึง สัญญาณแรงดันหรือกระแสที่เป็นคาบคลื่นสี่เหลี่ยมมีช่วงเวลาการเปิด(On)และปิด(Off) ไม่เท่ากัน

แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

หมายถึง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่แปลงรูปคลื่นกระแสสลับเป็นกระแสตรงให้สามารถจ่ายไฟฟ้าเข้ายังอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์นั้นๆ

ค่าการกระเพื่อม (Ripple) ของแรงดันหรือกระแสไฟฟ้า

หมายถึง อัตราส่วนขององค์ประกอบเอซีที่ขี่ (Superimpose) บนสัญญาณแรงดันดีซี องค์ประกอบเอซี อาจคิดค่า RMS. หรือค่า peak to peak โดยทั่วไปเมื่อกระแสไหลตมค่า Ripple จะมีค่าสูง

ค่าการกระโดด (Over shoot) ของแรงดันหรือกระแส

หมายถึง ค่าการกระโดดของสัญญาณแรงดันหรือกระแสในขณะการตั้งค่าของสัญญาณ

ค่าเวลาในการตั้งตัวของรูปคลื่น (Setting time or Rise time)

หมายถึง ระยะเวลาที่สัญญาณขอบหนา (Leading edge) เปลี่ยนแปลงจากขนาดสัญญาณที่ 10% ไปจนถึง 90% ของขนาดสูงสุด

ความถี่ (Frequency)

หมายถึง อัตราพัลส์ที่แสดงในหน่วยของเฮิร์ตซ์

ตัวอย่าง 100 Hz เฮิร์ตซ์ เท่ากับ 100 พัลส์ ต่อ วินาที

ความถี่ (Frequency)

หมายถึง อัตราพัลส์ที่แสดงในหน่วยของเฮิร์ตซ์ ตัวอย่าง 100 Hz เฮิร์ตซ์ = 100 พัลส์ ต่อ วินาที

การทดลองนำไปใช้งาน

หมายถึง การทดลองนำเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ได้นำไปทดลองใช้งานในการชุบเคลือบผิวกรอบขาไอซี

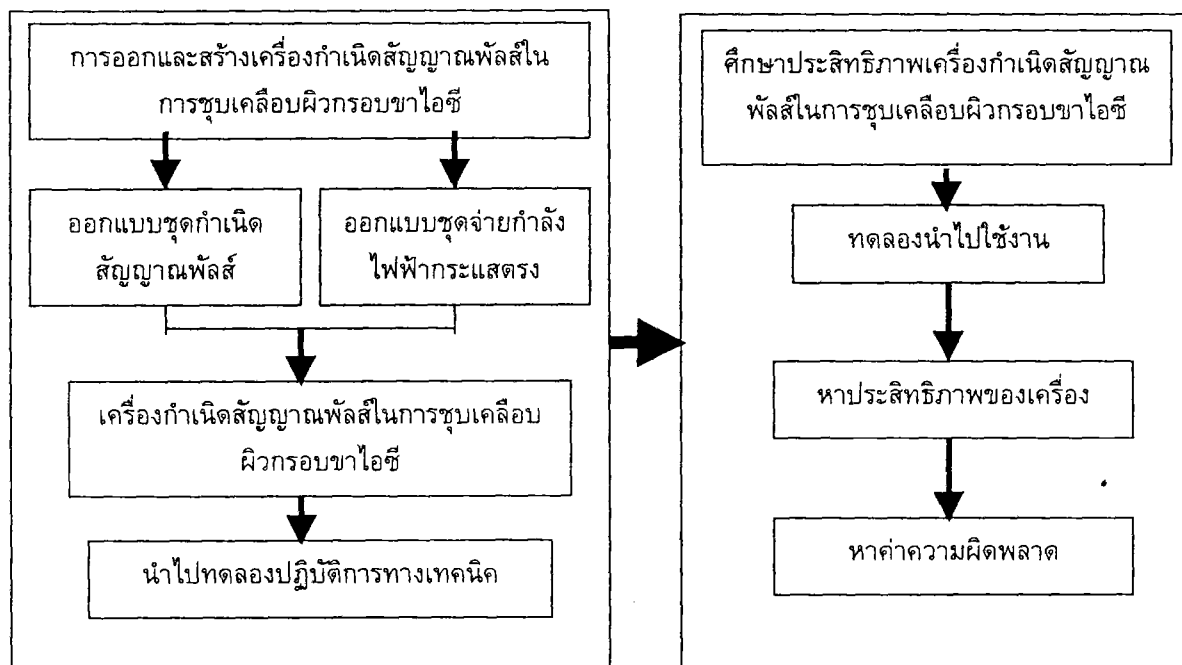
ประสิทธิภาพของเครื่อง

หมายถึง การทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์สามารถกำเนิดสัญญาณพัลส์ตั้งแต่ 0-9.9 มิลลิวินาที โดยสามารถปรับแรงดันที่ 0-30 โวลท์ ปรับกระแสตั้งแต่ 0-5 แอมป์ และ ค่าการกระเพื่อม (Ripple) ของแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าต่ำกว่า 5% ของค่าปรับตั้ง, ค่าการกระโดดของแรงดันหรือกระแสไฟฟ้า (Over shoot) ต่ำกว่า 5% ของค่าปรับตั้ง ,ค่าเวลาในการตั้งตัวของรูปคลื่น (Setting time) น้อยกว่า 1/10 ของความกว้างพัลส์ที่ต่ำสุด กับการชุบเคลือบผิวกรอบขาไอซี

ค่าความผิดพลาด

หมายถึง ค่าแรงดัน,กระแส และ ค่าการกระเพื่อมของสัญญาณพัลส์,การกระโดดของสัญญาณพัลส์, ค่าการตั้งตัวของสัญญาณพัลส์ ที่เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับค่าที่ปรับตั้งช่วงการใช้งานโดยการใช้ออสซิลโลสโคปวัดเปรียบเทียบสัญญาณรูปคลื่นที่ได้เพื่อหาค่าความผิดพลาด

กรอบแนวความคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวความคิดในการวิจัย

สมมุติฐานการวิจัย

เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุบเคลือบผิวกรอบขาไอซี มีประสิทธิภาพ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

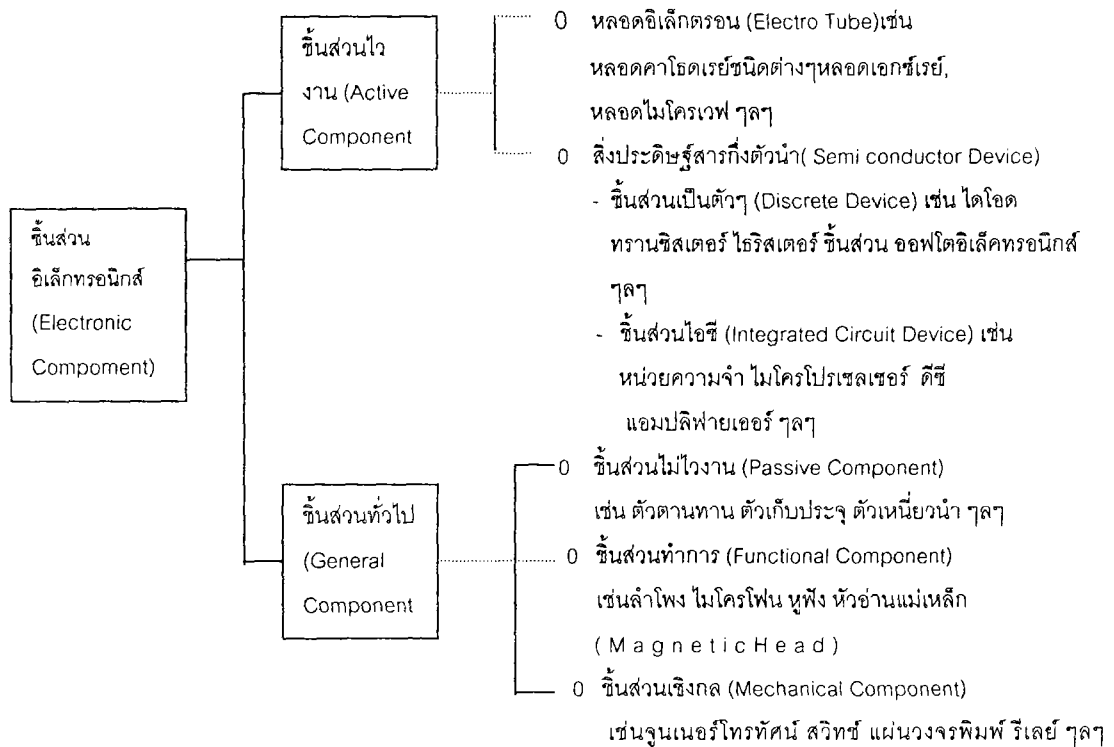
ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตามหัวข้อต่อไปนี้

1. วิวัฒนาการของอุตสาหกรรมไอซี
2. พื้นฐานของเคมีไฟฟ้าเกี่ยวกับการชุบ
3. ความรู้พื้นฐานเรื่องสัญญาณพัลส์
4. สิ่งสนับสนุนความก้าวหน้าในเทคโนโลยีเครื่องจ่ายกระแสรูปคลื่นพัลส์ที่ใช้ในการชุบ
5. เทคโนโลยีกับการใช้งานแหล่งจ่ายไฟตรง
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1 วิวัฒนาการของอุตสาหกรรมไอซี

1.1 สถานภาพของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

ไอซีเป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ที่มีการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างกว้างขวาง เราอาจจำแนกไอซีว่าเป็นชิ้นส่วนหนึ่งของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ประเภทสารกึ่งตัวนำ ดังแสดงในภาพประกอบ 2 ต่อไปนี้



ภาพประกอบ 2 การแบ่งชนิดต่างๆ ของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

จากภาพประกอบ 2 เราจะเห็นได้ว่า ชั้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อาจแบ่งออกได้เป็นสองจำพวกใหญ่ ๆ คือ ชั้นส่วนไวงาน (Active Component) และชั้นส่วนทั่วไป (General Component)

ชั้นส่วนไวงาน เป็นชั้นส่วนซึ่งเข้าไปมีบทบาทต่อการเคลื่อนตัวของกระแส หรืออิเล็กตรอนโดยตรง เช่น ทำการเรียงกระแส (Rectify) ขยาย (Amplifier) หรือ โมดูเลท (Modulate) เป็นต้น

ในอดีต ชั้นส่วนไวงานที่มีการใช้กันมาก คือหลอดสุญญากาศ (Vacuum Tube) แต่ต่อมาชั้นส่วนเหล่านี้ได้ถูกทดแทนโดยทรานซิสเตอร์และไอซี อันเป็นชั้นส่วนไวงานสารกึ่งตัวนำอย่างรวดเร็วอย่างไรก็ตาม หลอดสุญญากาศ หรือหลอดอิเล็กทรอนิกส์ ยังคงมีการใช้งานกันอยู่ ในลักษณะงานที่เป็นสัญญาณขนาดใหญ่ พลังงานสูงและความถี่สูง ทั้งนี้เพราะชั้นส่วนไวงานสารกึ่งตัวนำมีข้อจำกัดในการใช้งานในช่วงดังกล่าว

ชั้นส่วนไวงานนี้จึงแบ่งออกเป็น ชั้นส่วนไวงานซึ่งอาศัยหลักการของหลอดสุญญากาศ ซึ่งในภาพประกอบ 2 เราจะเรียกว่าหลอดอิเล็กทรอนิกส์ (Electron Tubes) กับชั้นส่วนไวงานที่อาศัยหลักการทำงานของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งยังอาจแบ่งย่อยออกเป็นชนิดที่แยกออกเป็นตัว ๆ (Discrete) กับชนิดที่ผนึกอัดรวมอยู่ในชิพขนาดเล็ก หรือที่เรียกว่า ไอซี

สำหรับชั้นส่วนทั่วไปนั้น จะประกอบด้วยชั้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ นอกเหนือจากชั้นส่วนไวงานที่กล่าวข้างต้น ที่สำคัญได้แก่

1. ชั้นส่วนไม่ไวงาน (Passive Component) ได้แก่ ชั้นส่วนซึ่งประกอบขึ้นเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และซึ่งไม่มีบทบาทต่อการเคลื่อนตัวของกระแสหรืออิเล็กตรอนดังชั้นส่วนไวงาน
2. ชั้นส่วนทำการ (Functional Component) ได้แก่ ชั้นส่วนซึ่งแปลงพลังงานหรือสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นพลังงานเสียงหรือพลังงานรูปอื่น หรือแปลงกลับกัน
3. ชั้นส่วนเชิงกล (Mechanical Component) ได้แก่ ชั้นส่วนที่มีหลักการทำงานเชิงกล

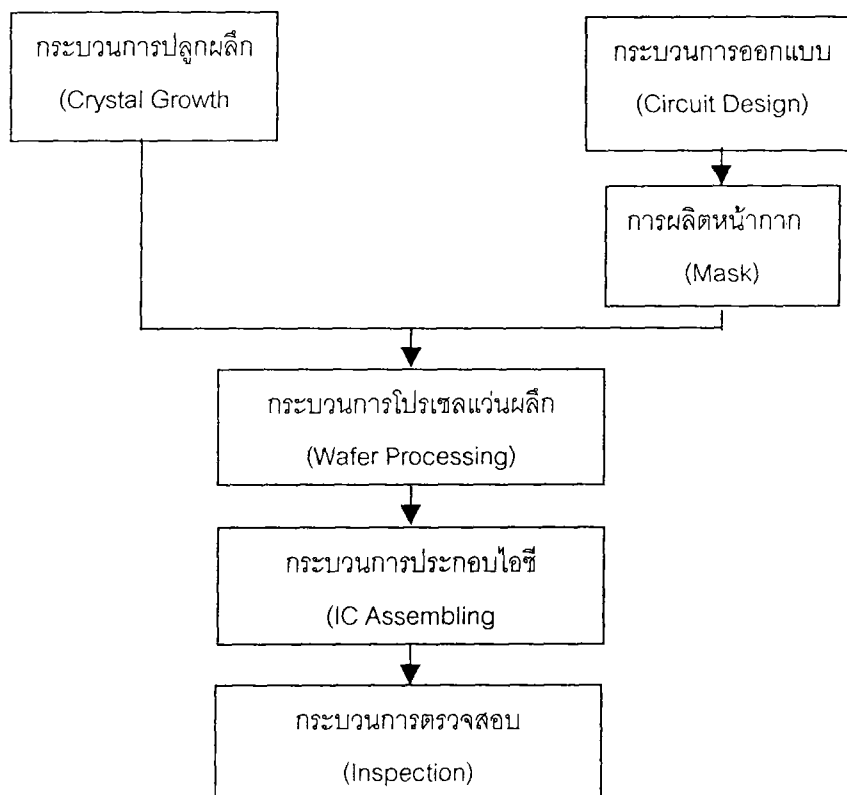
1.2 กระบวนการผลิตไอซี

ไอซีที่มีใช้กันในปัจจุบัน อาจจำแนกออกตามขนาดความอัดแน่นของจำนวนชิ้นส่วน (Devices) ในชิพ (Chip) (ตาราง 1)

ตาราง 1 การจำแนกไอซีตามขนาดความอัดแน่นของจำนวนชิ้นส่วน

รูปแบบ	จำนวนชิ้นงาน
VLSI (Very Large Scale Integration)	มากกว่า 1 แสนชิ้นส่วน
LSI (Large Scale Integration)	1,000 ~ 1 แสน
MSI (Medium Scale Integration)	100 ~ 1,000
SSI (Small Scale Integration)	2 ~ 100

แม้ความอัดแน่นของจำนวนชิ้นส่วนจะเพิ่มขึ้นก็ตาม แต่กระบวนการผลิตไอซีก็ยังมีหลักการที่คล้ายคลึงกัน อันอาจแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ในภาพประกอบ 3

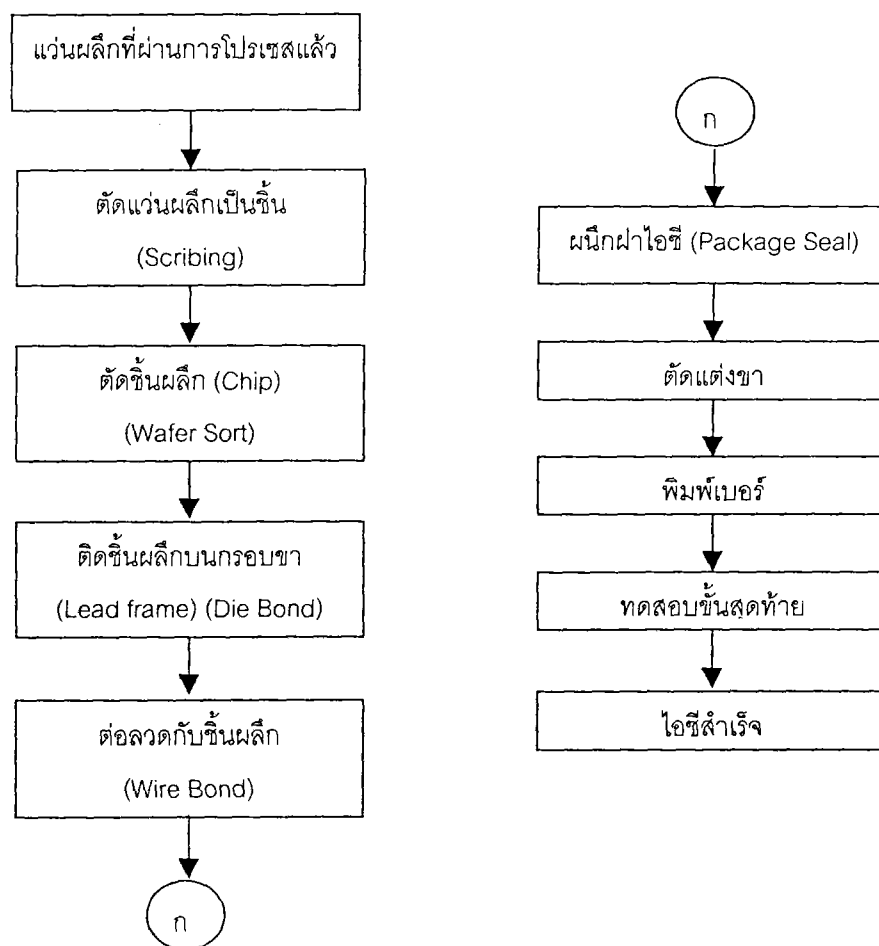


ภาพประกอบ 3 บล็อกไดอะแกรมแสดงกระบวนการผลิตที่สำคัญของไอซี

จากกระบวนการทั้งหมดจะขัอก้าวถึงกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับ Leadframe โดยตรงคือกระบวนการประกอบไอซี (IC Assembly)

1.2.1 กระบวนการประกอบไอซี (IC Assembly)

ในกระบวนการนี้ จะนำแว่นผลึกที่ผ่านการโปรเซสจากกระบวนการก่อนหน้านี้มาทำการตัดออกเป็นชิ้น (Chip) ตามขนาดของไอซี ทั้งนี้โดยใช้เลเซอร์หรือเพชร (Diamond Cutter) หลังจากนั้น อาจมีกระบวนการตัดชิ้นผลึก โดยผลึกเฉพาะส่วนที่ใช้ได้ไปติดบนกรอบขา (Lead Frame) เพื่อต่อเชื่อมกับลวดตัวนำซึ่งมักใช้ทอง หลังจากเสร็จสิ้นการต่อเชื่อมแล้วชิ้นผลึกจะถูกฉีก เพื่อป้องกันฝุ่นและไอน้ำ โดยอาจใช้สารจำพวกพลาสติก ในกรณีที่ไม่มีข้อกำหนดจำเพาะที่เข้มงวดนัก หรืออาจใช้เซรามิก ถ้ามีข้อกำหนดจำเพาะที่เข้มงวดกว่าหลังการฉีกผลึกไอซีแล้วจะนำชิ้นส่วนนี้ไปติดตั้งขาตามกำหนดแล้วพิมพ์เบอร์ เพื่อส่งไปทำการทดสอบคุณสมบัติในขั้นสุดท้ายต่อไป (ภาพประกอบ 4)



ภาพประกอบ 4 ขบวนการย่อยของกระบวนการประกอบไอซี

1.3 เทคโนโลยีและอุปกรณ์การผลิตที่ใช้

สำหรับเทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไอซีนั้น อาจรวบรวมสรุปได้ดังตาราง 2

ตาราง 2 เทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไอซีจำแนกตามกระบวนการผลิต

กระบวนการ	เทคโนโลยี	อุปกรณ์
1. กระบวนการออกแบบ	- เทคโนโลยีด้านซอฟต์แวร์ - เทคโนโลยีด้านการออกแบบวงจร	- คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) - Digitizer

ตาราง 2 (ต่อ) เทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไอซีจำแนกตามกระบวนการผลิต

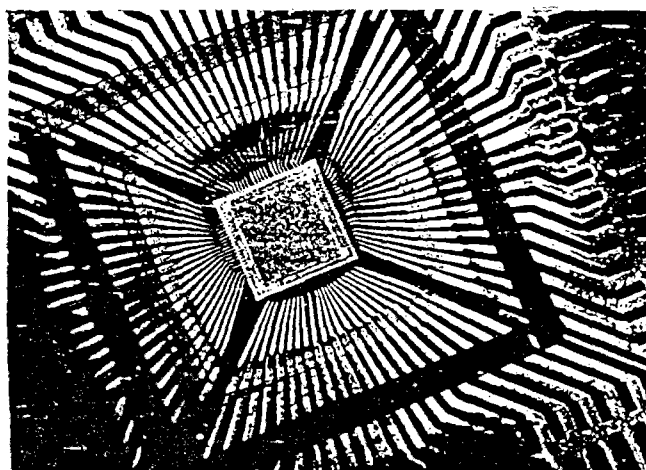
กระบวนการ	เทคโนโลยี	อุปกรณ์
2..กระบวนการผลิตหน้ากาก	- เทคโนโลยีลิโธกราฟี (Lithography)	- เครื่องตรวจสอบหน้ากาก
	- เทคโนโลยีการผลิตกระจกคุณภาพสูง	- Step and Repeat Reduction Equipment.
	- เทคโนโลยีการเคลือบผิวกระจก (Glass- coating)	- Pattern Generator
		- Glass – coating
3.กระบวนการปลูกผลึกและเตรียมแผ่นผลึก	- เทคโนโลยีการปลูกผลึก (Czochralski Growth)	- Electron – beam Machine
	- เทคโนโลยีการผลิตซิลิกาความบริสุทธิ์สูง (Electronic Grade Silicone)	- เครื่องปลูกผลึกแบบ (Zochralski Growth)
	- เทคโนโลยีการเตรียมผิวผลึก	- Lapping Machine
	- เทคโนโลยีด้านผลึก	- Polishing Machine
		- Electron Microscopy
4.กระบวนการโปรเซสแผ่นผลึก	- เทคโนโลยีลิโธกราฟี (Lithography)	- Other Measuring
	- เทคโนโลยีการซ้อน (Projection Alignment)	- Equipment
	- เทคโนโลยีการเอทชิง (Etching)	- Diffusion Furnace
	- เทคโนโลยีด้านการเจือสาร	- Epitaxial Growth
	- เทคโนโลยีอื่นๆที่ต้องใช้ในการผลิตหน้ากาก	- Mask Aligner
		- Vacuum, Evaporator
		- Chemical – Vapor-Deposition Equipment
5. กระบวนการประกอบไอซี	- เทคโนโลยีการเชื่อมต่อ (Bonding Technology)	- Sputtering Equipment
	- เทคโนโลยีการผนึกไอซี (Packaging Technology)	- Ion Implantation
	- เทคโนโลยีการทดสอบ (Testing Technology)	- Equipment
		- Dry Etching Equipment
		- Proben

จากตาราง 2 เราจะเห็นได้ถึงชนิดของเทคโนโลยีและอุปกรณ์การผลิตสำคัญซึ่งจำเป็นต้องใช้ ในแต่ละกระบวนการผลิต (NECTEC.2531 : 13-14)

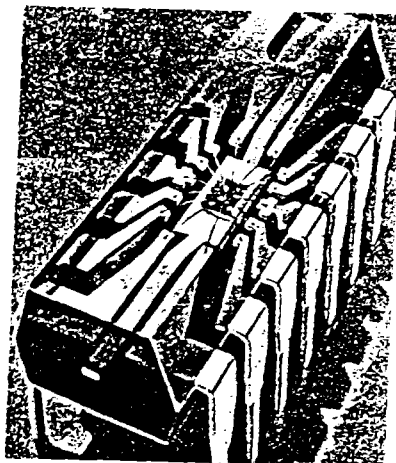
1.4 วัสดุที่ใช้ทำกรอบไอซี (Lead frame Material)

ก่อนการประเมินคุณสมบัติของวัสดุที่ทำ L/F สิ่งหนึ่งที่ต้องเข้าใจว่าการประกอบ L/F ทำอย่างไร หน้าที่ของมันในด้านการประกอบ (Assembly) การบริการ และปฏิกิริยาผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมอย่างไร

L/F เป็นวัสดุฐานรองรับชั้นต้นกับแผ่นชิพ ระหว่างการฉีกพลาสติก ในการประกอบ (Assembly) ตัวไอซี และต่อวงจรไฟฟ้าออกมายังวงจรภายนอก ดังภาพประกอบ 5 ซึ่งการต่อระหว่างชิพกับแผ่น L/F ใช้ลวดทองคำเส้นเล็กๆ ในการต่อ และในภาพประกอบ 6 แสดงชิพที่ถูกต่อกับขาต้านในของ L/F ที่ติดเทปอยู่โดยทั่วไปส่วนใหญ่ด้านนอกจะอยู่ในรูปแบบของแผ่นลายวงจรพิมพ์ Printed wiring board (PWB) ขาต้านนอกสุดของ L/F จะถูกต่อกับแผ่นวงจร (Board) โดยการสอดใส่ในซ็อกเก็ต ถ้าไม่มีซ็อกเก็ตก็ต่อเข้ากับแผ่นวงจรโดยผ่านรูที่ถูกเจาะไว้

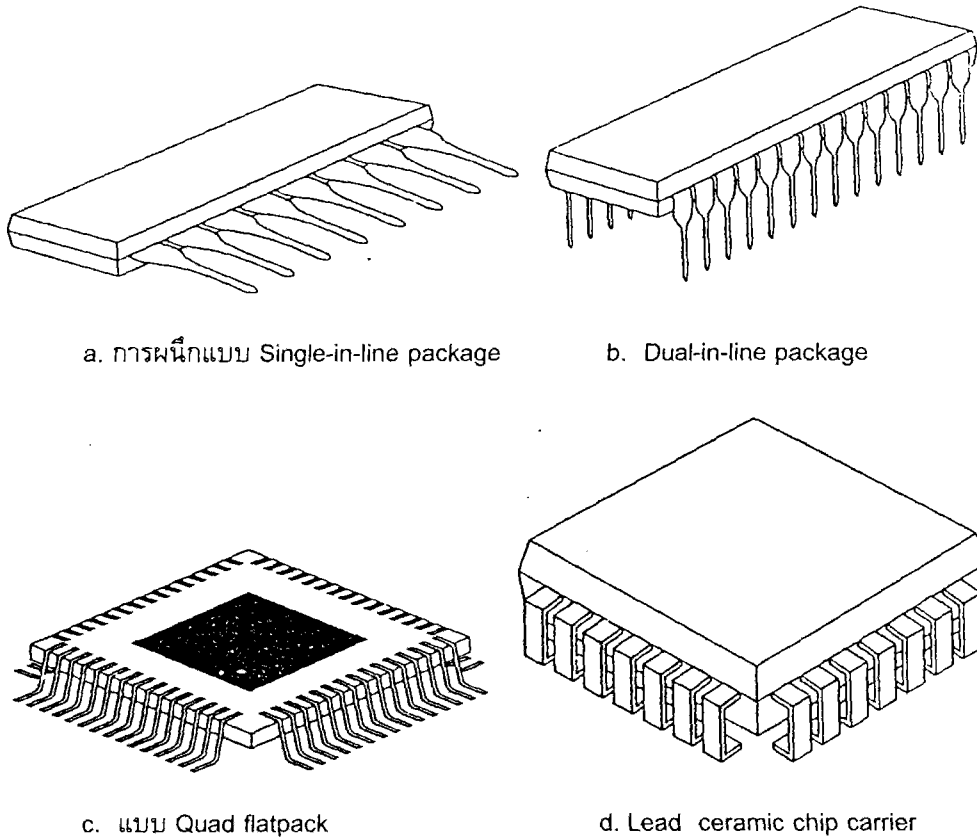


ภาพประกอบ 5 มุมมองของการผลิตแบบ nonhermetic ซึ่งแสดงให้เห็นการต่อลวดจากชิพไปยังขาต้านในของกรอบไอซี



ภาพประกอบ 6 ชิปที่ใช้การติดเทปยึดขาต้านในของกรอบไอซี หรือ Leadframe

ในบางกรณีรูปร่างภายนอกของ L/F จะต่อตรงจากขาด้านในยังขาด้านนอก ซึ่งก่อให้เกิดรูปแบบต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไปดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 7 แสดงชนิดโครงสร้างของการผนึกไอซีด้วยการใช้ต่อตรงหรือการฟอร์มขาไอซี

1.4.1 การผลิต Lead frame (Manufacture of Lead frame Strip)

ในการที่จะบรรลุถึงข้อกำหนด (Specifications) ที่เข้มงวดก่อนการได้ L/F ที่สมบูรณ์นั้นต้องมีคุณสมบัติหลายอย่างสิ่งแรกเป็นคุณภาพของพื้นผิว L/F ที่ต้องใช้ความระมัดระวัง เพราะว่า L/F ที่ทำเสร็จแล้วต้องถูกชุบและขั้นตอนการประกอบ Assembly ต้องการความราบเรียบ (Smooth) ผิวที่สะอาดสำหรับการต่อถึงกันภายในระหว่างการประกอบ (Assembly) พื้นที่ของวัสดุถ้ามีข้อบกพร่อง (Defect) เช่นการชุบเงินมีหลุมเกิดรอยขีดข่วน (Scratch) จะทำให้เกิดชุบที่ไม่เหมาะสม ในพื้นที่เล็กๆ ไม่ได้รับการชุบหรือการติดแน่นของผิวชุบเคลือบที่ไม่ดีจะเป็นสาเหตุของปัญหา มีหลุมว่างเปล่า (Void) หรือตุ่มพอง (Blister) จะมีผลกระทบที่ไม่ดีต่อลักษณะการทำงานหรือความเชื่อมั่นของอุปกรณ์ไอซี (Integrate circuit) ถ้าเกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการติดลวดทองคำบน (Wire bond) ระหว่าง L/F กับเส้นลวดทองคำ (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดทองประมาณ 0.025 mm.ถึง 0.001 นิ้ว) เข้ากับซิลิคอนชิพ (Silicon chip)

ขนาดมิติต่างๆที่เที่ยงตรงแม่นยำของ L/F เป็นสิ่งที่ต้องให้ความระมัดระวังอย่างยิ่ง ขณะเดียวกันกับความแม่นยำในการปั๊มขึ้นรูป (Stamping) หรือการกัดด้วยสารเคมี (Etching) มีบทบาทสำคัญที่จะได้ขนาดมิติที่แม่นยำ หลังจากการตัด L/F ออกเป็นท่อนๆก็มีบทบาทที่สำคัญต้องไม่มี Crown ไม่มี Oil canning

หรือเป็นคลื่น (Wavy) ที่ขอบ ส่วนใหญ่ค่าที่ต้องการมีค่าที่ยอมรับได้อยู่ที่ $\pm 3\%$ ของความหนาของ L/F ปกติ และ $\pm 0.075 \text{ mm. (0.003")}$ ของความกว้าง

แนวเส้นโค้งตามขวางข้างๆ (Camber) ของท่อน L/F ตามความยาว และความราบเรียบตามความยาว (Coil set) ของท่อน L/F ค่าทั้งสองมีความสำคัญต้องมีค่าที่น้อยที่สุด ค่า Camber ที่ L/F โค้งเป็นหลังเต่า มีค่าที่ยอมรับได้ที่ $3.18 - 6.35 \text{ mm. (1/8-1/4 นิ้ว)}$ ในความยาว L/F 1.8 m (6 ฟุต) ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนา (Thickness) ความกว้าง (Width) ความอ่อนตัว ของ L/F ความราบเรียบและการเป็นเส้นตรง (Straightness) เป็นสิ่งที่ต้องให้ความระมัดระวังในการจะป้อนงาน (feeding) และการดึง (Indexing) ในเครื่องการประกอบแบบอัตโนมัติ

การบวนการผลิต L/F ออกเป็นท่อน (Strip) จะต้องทำให้ความเค้นที่หลงเหลืออยู่ตามขอบของ Strip ให้น้อยที่สุด ความเค้นที่เกิดขึ้นจากการตัดเฉือนที่ขอบสามารถเป็นต้นเหตุให้ตำแหน่งเลื่อนจาก x-y ของขาภายในสามารถติดตัวขึ้นได้ และมีอิทธิพลให้เกิดการกระดก Coplanarity (ตำแหน่งแกน Z) ได้ดี

ตัวอย่าง ทองแดงโลหะผสม Copper-alloy ทำการหล่อจากแท่งโลหะ $0.3 - 0.75 \text{ m (1 - 0.25 ฟุต)}$ ความกว้างและความยาวมากกว่า 2 เมตร (6.5 ฟุต) แท่งโลหะผ่านการรีดร้อนซึ่งมีความหนาประมาณ $12.5 \text{ mm. (0.5 นิ้ว)}$ รีดเย็นที่ความหนาสุดท้ายของแผ่นโลหะ แล้วตัดแยกออกตามความกว้างที่ต้องการ เหล็กนิเกิล (Fe-Ni) และเหล็กผสมนิเกิล-โคบอล (Fe-Ni-Cobalt) (Co) เป็นโลหะที่หล่อผสมกันเพื่อให้ได้ความหนาและมักจะนำเข้าสู่เตาเผาก่อนการรีดร้อน (hot rolling)

การรักษาความร้อนถูกนำมาใช้ในช่วงต่างๆ กระบวนการรีดเย็น มักจะหลังจากขั้นสุดท้ายของการหลอมและบางกรณีหลังจากการตัดเฉือน (Slit) ตามขนาดความหนาของแผ่นโลหะ การรักษาความร้อนเตรียมไว้สำหรับการเผาให้อ่อนตัว (นุ่ม) สำหรับการทำงานที่เย็นต่อไป และสถานะตอนหลังของกระบวนการก่อให้เกิดการอ่อนตัว ของโลหะที่เหมาะสมหรือการยึดเป็นเส้นตรงการเข้ารูป การรักษาความร้อนหลังจากการตัดเฉือน (Slit) มีความมุ่งหมายเพื่อลดความเค้น (Stresses) ที่หลงเหลืออยู่

การปฏิบัติโดยปรกติที่จะทำความสะอาดผิวโลหะโดยการไม่บดการขัดถู หรือการขัดด้วยล้อหุ้มหนังในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิต การบดไม่ (โลหะผสมทองแดง) และการเจียรใน grinding (โลหะผสมเหล็ก-นิเกิล) ขนาดหนักกับวัสดุทำ L/F มักจะปฏิบัติเพื่อขจัดคราบออกไซด์และการลอกคราบโลหะอื่นๆ หรือ Defect ที่ติดมาจากการรีดร้อน (hot rolling) รอยสีกรอยถลอกที่ผิวจะถูกปฏิบัติการขัดอย่างเบา (light gage) เพื่อการปรับปรุงพื้นผิว การขัดด้วยหนังหรือการขัดเงาเป็นขั้นตอนสุดท้ายที่ขจัด Defect ที่เป็นพวก Cosmetic ซึ่งจะแสดงให้เห็นภายหลังระหว่างการชุบหรือการทดสอบผิวมีตุ่มพอง (Blister) หรือไม่

การเลือกตารางการผลิตจะยึดเอาความแข็งแรง, การอ่อนตัวตามต้องการคู่กันกับความเค้นที่หลงเหลือให้น้อยที่สุด มีความราบเรียบมากที่สุด ท่อน L/F ตัวอย่างความหนา $0.25 \text{ mm. (0.010 ")}$ ซึ่งถูกใช้กับการฝึกแบบ Dual-in-line (PDIPS) แต่บาง Package จะมีความหนามากกว่า และน้อยกว่า (เช่น 0.1 mm. หรือ $0.004"$) สำหรับการฝึก (Package) ที่ติดบนผิวที่มีขาไอซีมากขึ้น ความกว้างของท่อน L/F ประมาณ $25 - 100 \text{ mm. (1-4 ")}$ หรือมากกว่าในแฟรมแบบ interdigitated อย่างไรก็ตาม ท่อน L/F สำหรับการกัดด้วยเคมี (Etching) มักจะมีความกว้าง $200-450 \text{ mm. (8-18")}$ และตัดที่ความยาวในและท่อนที่ 0.3 m (1ft) หรือการใส่ในม้วน (Coil) และผ่านกระบวนการพิเศษเพื่อให้แน่ใจในความราบเรียบ (Flatness)

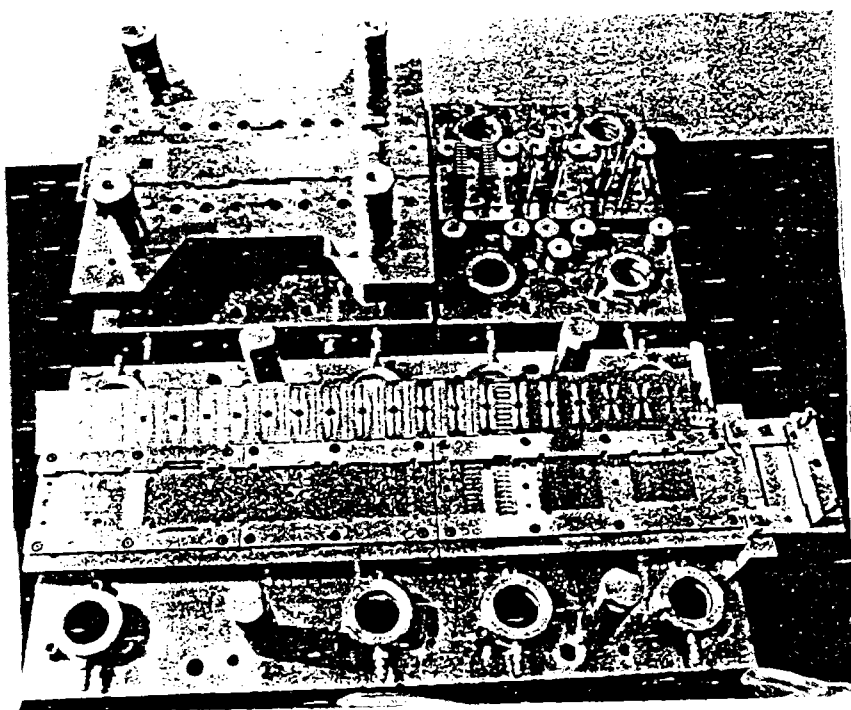
1.4.1.1 การประดิษฐ์ L/F (Lead frame Fabrication)

การเตรียมการต่อระหว่างซิลิโคนชิพ (Silicone chip) และวงจร PWB (Print wiring board) เป็นสิ่งสำคัญมาก L/F มีหน้าที่ที่สำคัญในการผ่านขั้นตอนต่างๆ หลายขั้นตอน การเลือกการประดิษฐ์ L/F มีกระบวนการ

การขึ้นพื้นฐานอยู่ 1 ใน 2 อย่าง คือ การปั๊มขึ้นรูป (Stamping) หรือการกัดจากการถ่ายภาพผ่านสารเคมี (Etching) การเลือกกระบวนการผลิตได้นั้นจะกำหนดจากการออกแบบ L/F และคำนึงถึงเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิต การปั๊มขึ้นรูป (Stamping) มีความไวสูง (High speed) มีปริมาณมาก (High Volume) กระบวนการผลิตมีราคาต่ำ ซึ่งต้องพิจารณาควบคู่กับราคาที่สูงในช่วงเริ่มแรกและใช้เวลานานสำหรับการทำทูล (Tooling) การกัดจากการถ่ายภาพจากสารเคมี (Etching) มีราคาต่อหน่วยที่สูงกว่าในกระบวนการผลิตแต่การทำทูล (Tooling) ใช้เวลาน้อยกว่าและราคาที่ต่ำกว่า

1.4.1.1.1 การปั๊มขึ้นรูป (Stamping)

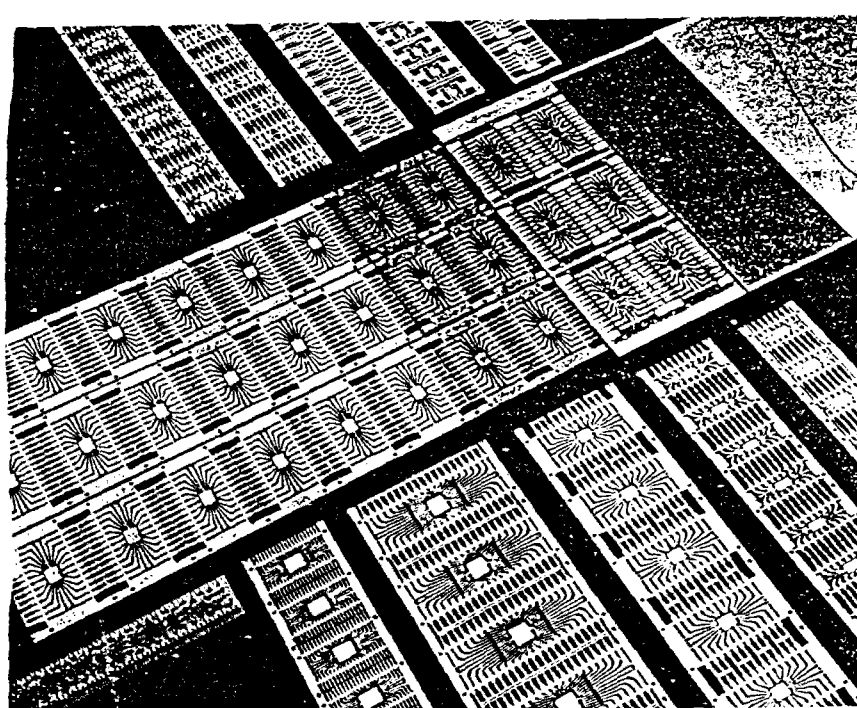
การผลิตจากการปั๊มขึ้นรูป L/F ใส่ในม้วนต่อม้วน (Reel to Reel) ลักษณะเด่นเป็นเครื่องปั๊มขึ้นรูปที่มีความเร็วสูงและมีความแม่นยำที่อัตรา $18-180 \times 10^3$ Kg (20-200 ตัน) และสามารถทำความเร็วสูงถึง 1000 ช่วงชักต่อนาที ตัวปั๊มเป็นตัวทำให้เรียบแบนเมื่อผ่านเข้าสู่กระบวนการกด (Pressing) และตกแต่งขลิบขอบให้เรียบในทูล (Tool) จนได้ชิ้นงานตามสเปค ที่ต้องการมีการพัฒนาชุดกด (Pressing) ชุด Die และชุด Punch ทำจากทังสเตนคาบาย (Tungsten carbide) ดังภาพประกอบ 8 L/F ที่ถูกป้อนเข้าทูลมี Pin แหงเข้าที่รูทั้งสองข้าง รูนี้ใช้ในการกำหนดตำแหน่งที่เที่ยงตรงของท่อน L/F ที่เข้าไปในหนึ่งหน่วยความยาวในแต่ละช่วงชักของการกด (Press) แต่ละตำแหน่งของทูลมีการแต่งเข้ารูลหลายขั้นตอนจนกระทั่งสำเร็จเป็นชิ้นงาน ชนิดของทูล (tool) มีความยาว 300-700 mm. (12-18") และประกอบด้วยพัล (punch) 40 ถึงมากกว่า 200 ผู้ผลิตบางรายต้องการจัดขอบวัสดุบางชนิดจากการกด (ทั่วไปจะมีความเค้นสูงจากการตัดเฉือน) โดยการทำให้ขาด้านใน L/F เรียบโดยการกด หลังจากเปลี่ยนสภาพโดยการกดปั๊มขึ้นรูปมักจะนำไปใส่ม้วน อย่างไรก็ตามสามารถทำการตัด L/F ให้เป็นหลายๆแถวหรือแถวเดียว



ภาพประกอบ 8 ชิ้นส่วนที่ถอดออกของทูล (Tooling)ที่ใช้ในการปั๊มขึ้นรูป Leadframe

1.4.1.1.2 การกัดด้วยสารเคมีจากการถ่ายภาพ (Etching)

กระบวนการกัดด้วยการถ่ายภาพอาจจะเป็นม้วน Reel to Reel หรือเป็นแผ่นเรียบ ชั้นแรกวัสดุจะถูกเคลือบด้วยฟิล์ม (Photoresist) ซึ่งเป็นม้วนแผ่นบางร้อน อาจเป็นแบบแห้งหรือเปียก ขั้นตอนการทำ ความสะอาดและการกระตุ้นจะกระทำก่อนตัดแผ่นบางตามชนิดขนาดของ L/F ที่เข้ามา Photoresist จะถูกนำออกจากที่กำบังโดยปล่อยให้แสงอัลตราไวโอเล็ตผ่านไปยัง L/F ตามรูปแบบที่วางไว้อย่างแม่นยำของลวดลาย อาร์ตเวิร์ก (Artwork) แบบ แก้วหรือแผ่นฟิล์ม ลวดลายที่เสร็จแล้วจะผ่านการปรับปรุงพื้นที่บริเวณที่ยังมีเศษ โลหะที่หลงเหลืออยู่ขณะโลหะถูกเคลือบด้วย Resist และพื้นที่ที่ถูกกัดที่อิสระจาก Resist แล้ววัสดุจะวิ่งผ่าน ไปยังหัวฉีด etchant ชนิด Cupric chloride หรือ Ferric chloride ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการป้องกันการ Photoresist ของ L/F ที่เสร็จแล้ว L/F ที่ถูกกัดจะถูกเก็บอยู่ในม้วนหรือการตัดเป็นท่อนยาว (ดังภาพประกอบ 9)



ภาพประกอบ 9 L/F ชนิดกัดด้วยสารเคมี (Etching) โดยเรียงลำดับจากด้านขวาของ L/F กึ่งกลาง Laminated, Exposed, Etching และขั้นตอนกระบวนการทำความสะอาด

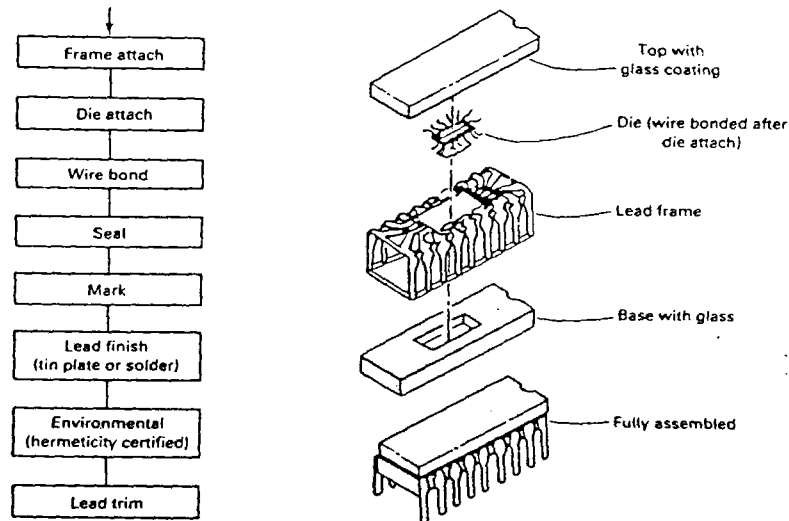
1.4.1.1.3 การชุบ (Plating)

L/F ที่ถูกปั๊ม (Stamp) สำหรับการผนึกแบบ Nonhermetic จะวิ่งผ่านไปยังขั้นตอนต่อไปในการชุบ จันทวน (ครอบคลุมทั้งหมด) หรือการเลือกชุบ (ที่ die pad, และปลายขาต้านใน (inner lead tips) ด้วยนิเกิล ทอง (Au) หรือ เงิน (Ag) การชุบ การชุบปกติจะเก็บงานไว้ในม้วนต่อม้วน (Reel to Reel) แต่จะมีการตัดเป็น ท่อนหลังจากการกัด (Etching)

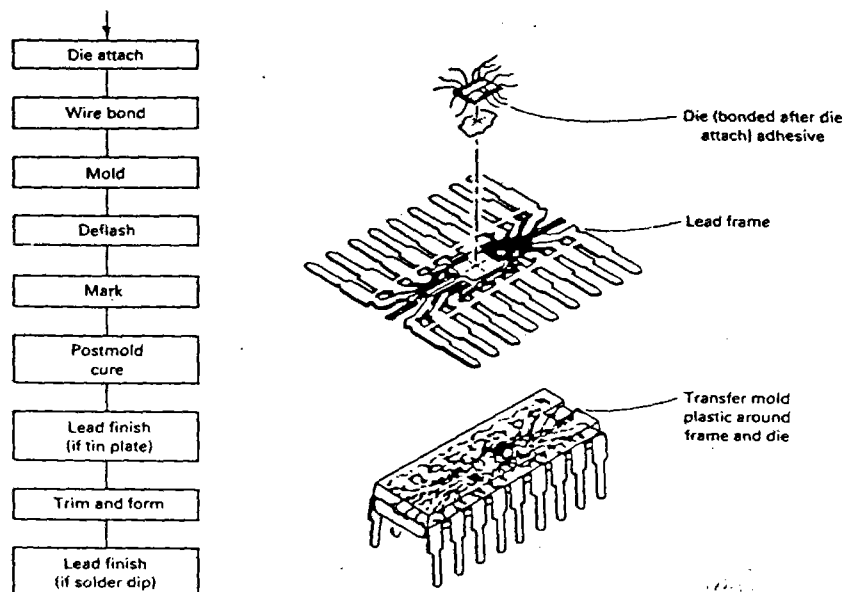
การชุบเป็นท่อนจะมีความยาว 6 -10 หน่วย (177-225 mm. หรือ 7-9") พร้อมสำหรับการประกอบ (Assembly)

1.4.1.1.4 กระบวนการบรรจุการฉีก

หลังจากการชุบจะผ่านการฉีกบรรจุดังภาพประกอบ 10 และ ภาพประกอบ 11 แสดงขั้นตอนการฉีกสำหรับการฉีกแบบ hermetic และ nonhermetic (ASM INTERNATIONAL.1996 : 483-487)



ภาพประกอบ 10 แสดงลำดับการประกอบสำหรับการฉีกแบบ Dual-in-line package ส่วนประกอบด้านฐานและด้านบนสุดทำมาจากเรียบร้อยแล้วด้วยแก้วสำหรับฝั่งประกบ L/F และปิดฉีก Seal



ภาพประกอบ 11 ลำดับการประกอบ Plastic postmolded แบบ Dual-in-line Package แผ่น Lead frame จะรองรับตัวชิพ (Chip) หลังจากการยึด Die และยึดเส้นลวด

2. พื้นฐานของเคมีไฟฟ้าเกี่ยวกับการชุบ

2.1 การแบ่งชนิดของตัวนำไฟฟ้า

ตัวนำไฟฟ้าโดยทั่วๆ ไปจำแนกออกได้เป็น 3 พวกคือ ก๊าซอิเล็กโทรไลต์ และ โลหะ สำหรับก๊าซจะนำไฟฟ้าได้ไม่ค่อยดีนัก ซึ่งจะเกิดการนำไฟฟ้าได้ก็ต่อเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า ที่มีความต่างศักย์สูงๆ หรือเมื่อก๊าซเหล่านี้แตกตัวเป็นไอออน ส่วนอิเล็กโทรไลต์จะนำไฟฟ้าได้ดีกว่าก๊าซโดยอิเล็กโทรไลต์จะ หมายถึง สารละลายที่มีการแตกตัวของโมเลกุลของตัวถูกละลายเป็นไอออนบวก และไอออนลบ และไอออนเหล่านี้ จะเป็นตัวนำไฟฟ้าเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในสารละลายซึ่งอิเล็กโทรไลต์สามารถแบ่งได้เป็น 2 พวกคือ อิเล็กโทรไลต์แก่และอิเล็กโทรไลต์อ่อน โดยอิเล็กโทรไลต์แก่ หมายถึง สารละลายที่ตัวถูกละลายสามารถแตกตัวได้ดีมาก ทำให้มีปริมาณของไอออนในสารละลายสูง ส่วนอิเล็กโทรไลต์อ่อนตัวถูกละลาย จะแตกตัวเป็นไอออนได้น้อย ส่วนใหญ่จะเป็นโมเลกุลที่ไม่แตกตัวซึ่งไม่สามารถนำไฟฟ้าได้ ดังนั้นพวกอิเล็กโทรไลต์แก่จึงนำไฟฟ้าได้ดีกว่าอิเล็กโทรไลต์อ่อน สำหรับตัวนำไฟฟ้าที่เป็นโลหะจะนำไฟฟ้าได้ดีที่สุด เพราะเป็นการนำไฟฟ้าไปโดยอิเล็กตรอน ซึ่งมีขนาดและมวลสารน้อยกว่าไอออนลบตัวนำไฟฟ้าที่กล่าวมาทั้งหมดนี้พวกอิเล็กโทรไลต์จะเกี่ยวข้องกับเรื่องของ การชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้ามากที่สุด เพราะน้ำยาชุบก็คืออิเล็กโทรไลต์นั่นเอง

ในการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า โดยปกติจะมีแผ่นโลหะซึ่งเป็นขั้วบวก และชิ้นงานเป็นขั้วลบ จุ่มอยู่ในน้ำยาชุบหรืออิเล็กโทรไลต์ เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปไอออนบวก ของโลหะที่ละลายอยู่ในน้ำยาชุบ (ก็คือตัวถูกละลายที่แตกตัวในส่วนที่เป็นไอออนบวก) ก็จะทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้า โดยวิ่งไปจับกับอิเล็กตรอนที่ขั้วลบทำให้ไอออนบวกของโลหะถูกรีดิวซ์เคลือบที่อยู่ที่ผิวของขั้วลบ ส่วนไอออนลบในน้ำยาชุบ ก็จะวิ่งไปยังขั้วบวก เพื่อไปจ่ายอิเล็กตรอนให้กับขั้วบวก หรือ อาจจะไปออกซิไดซ์ขั้วบวก ทำให้โลหะที่เป็น ขั้วบวกในสภาพอะตอมถูกออกซิไดซ์ กลายเป็นไอออนบวกละลายลงสู่น้ำยาชุบ และจ่ายอิเล็กตรอนให้กับขั้วบวก ซึ่งจะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลครบวงจร

2.2 กฎของฟาราเดย์

ในระหว่างปีค.ศ 1833 -1834 ฟาราเดย์ได้ตีพิมพ์ผลงานเพิ่มเติมจากผลงานเดิมของเขา ซึ่งผลงานใหม่ที่ตีพิมพ์นี้สรุปเป็นกฎได้ 2 ข้อ คือ

1. ปริมาณของสารที่แตกออกหรือเกิดขึ้นเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในสารละลาย จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณไฟฟ้า
2. ปริมาณไฟฟ้าเท่ากัน ย่อมทำให้สารแตกออก หรือเกิดขึ้นเป็นจำนวนสมมูลทางเคมีที่เท่ากัน แม้ว่าสารนั้นๆ จะแตกต่างกันก็ตาม

กฎข้อที่ 1 ทดสอบได้โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในสารละลายด้วยระยะเวลาต่างๆ กัน แล้วหาปริมาณของสารที่ไปเกาะที่ขั้วลบ ก็จะพบว่าน้ำหนักของสารที่ไปเกาะต่อเวลาจะเป็นอัตราส่วนที่คงที่

กฎข้อที่ 2 ทดสอบได้โดยผ่านปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่เท่ากัน (จำนวนคูลอมบ์เท่ากัน) ลงไปในสารละลายต่างๆ ที่แตกต่างกัน เช่น ในสารละลายกรดกำมะถันเจือจาง ในสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเป็นต้น สมมติว่าทั้งสามสารละลายข้างต้นผ่านกระแสไฟฟ้าลงไป 1 แอมแปร์เป็นเวลา

1 ซึ่งโม่งจะพบว่าน้ำหนักของสารที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบเป็น 0.0379 กรัม ของก๊าซไฮโดรเจน 4.0248 กรัมของโลหะเงินและ 1.186 กรัมของโลหะทองแดง เมื่อเอาน้ำหนักสมมูลของสารเหล่านี้ คือ ของไฮโดรเจนเท่ากับ 1.008 โลหะเงินเท่ากับ 107.88 และโลหะทองแดงเท่ากับ 31.78 ไปหารกับน้ำหนักของสารที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบ ก็จะได้ค่าออกมา 3 ค่าซึ่งเท่ากันและก็คือจำนวนสมมูลของสารนั่นเองซึ่งโลหะแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการเข้าเคลือบหรือละลายออกไม่เท่ากันขึ้นกับสมมูลปฏิกิริยาเคมี ซึ่งก็คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักอะตอมต่อวาเลนซ์ของไอออนโลหะที่เกิดขึ้นในกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสนั้น

จากกฎของฟาราเดย์ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการหาปริมาณสารที่ไปเกาะที่ขั้วลบได้ เพราะว่าปริมาณไฟฟ้าที่ทำให้สารไปเกาะที่ขั้วลบจำนวน 1 สมมูลจะต้องใช้ปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ (Faraday, F) ซึ่งเท่ากับ 96,500 คูลอมป์ จากความสัมพันธ์นี้ สามารถสร้างเป็นสูตรได้ คือ

$$W = \frac{ItA}{nF}$$

W = $ITe/96,500$ หรืออาจเขียนสมการดังนี้

เมื่อ I แทน กระแสไฟฟ้าที่ผ่านลงไปในสารละลาย มีหน่วยเป็นแอมแปร์

t หรือ T แทน เวลาที่ผ่านกระแสไฟฟ้าลงไป มีหน่วยเป็นวินาที

A หรือ e แทน น้ำหนักสมมูลของสารที่จะไปเกาะที่ขั้วลบ (สำหรับนิกเกิล = 58.71 g/mole)

W แทน น้ำหนักของสารที่ไปเกาะที่ขั้วลบ มีหน่วยเป็นกรัม

n แทน วาเลนซ์ (สำหรับนิกเกิล = 2)

F แทน ค่าคงที่ของฟาราเดย์ (96,500 C หรือ A.sec/mole)

การคำนวณตามกฎของฟาราเดย์นี้จะถือว่า ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้า และขั้วลบเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือ ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดถูกใช้ไปในการเคลือบผิวเพียงอย่างเดียวไม่ได้ถูกใช้ไป เพื่อทำอย่างอื่น ๆ เลย แต่ในทางปฏิบัติแล้วประสิทธิภาพมักจะไม่เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ฉะนั้น จึงจำเป็นต้องนำ ค่าของประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้า มาแก้ไขด้วยเช่นถ้าคำนวณน้ำหนักสารที่ไปเกาะที่ขั้วลบ(W)ได้ 5 กรัม แต่ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าน้ำหนักสารที่ไปเกาะที่ขั้วลบจริงๆเป็น $5 \times (80/100)$ เท่ากับ 4 กรัม หรือในทำนองเดียวกัน ถ้าอยากทราบถึงประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าจะต้อง คำนวณหาน้ำหนักของสารที่ไปเกาะที่ขั้วลบ ตามสูตรของฟาราเดย์แล้วจึงไปหาน้ำหนักของสารที่ไปเกาะจริงๆ อาจทำได้โดยการชั่งน้ำหนักจะได้ว่าน้ำหนักที่ไปเกาะจริงต่อน้ำหนักที่คำนวณได้ คูณด้วยหนึ่งร้อย ก็จะได้ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าเป็นเปอร์เซ็นต์ออกมา

นอกจากนี้ยังสามารถจะคำนวณหาความหนาของโลหะที่ไปเกาะเคลือบบนชิ้นงานได้อีกด้วย โดยเมื่อนำน้ำหนักของสารที่ไปเกาะเคลือบอยู่ที่ขั้วลบ หรือชิ้นงานได้แล้ว ให้เอาไปหารด้วยความหนาแน่นของโลหะที่ไปเกาะ และพื้นที่ของชิ้นงานที่ไปเกาะ โดยต้องใช้หน่วยระบบเดียวกันโดยตลอด โดยสูตรนี้หาได้จาก

$$D = m/V$$

เมื่อ D หรือ d แทน ความหนาแน่นของโลหะที่ไปเกาะบนชิ้นงาน (สำหรับนิกเกิล = 8.90 g/cm³)

M หรือ W แทน น้ำหนักของโลหะที่ไปเกาะบนชิ้นงาน (กรัม) (g)

V แทน ปริมาตรของโลหะที่ไปเกาะบนชิ้นงาน

แต่เนื่องจาก $V = a \times I$

เมื่อ a แทน พื้นที่ผิวชิ้นงานโลหะจะเกาะ (cm^2)

I หรือ T แทน ความหนาของฟิล์มโลหะที่ไปเกาะ ดังนั้น (cm)

$$D = \frac{m}{a \times I}$$

$$I = \frac{m}{a \times D}$$

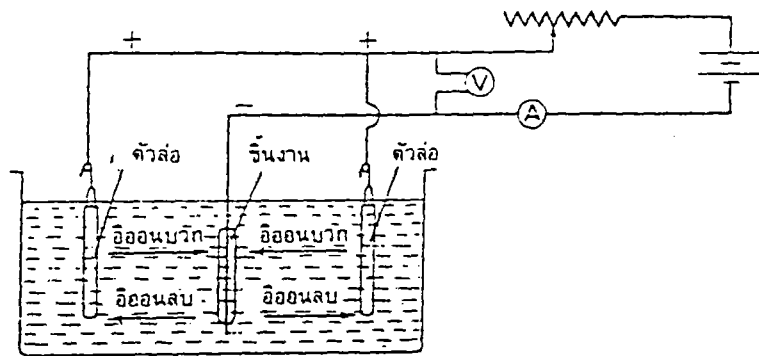
หรืออาจเขียนเป็นสมการดังนี้ $T = \frac{W}{ad}$

เวลาในการชุบเคลือบผิว : $t = \frac{WnF}{IA}$

2.3 ความรู้เบื้องต้นของการชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

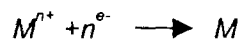
2.3.1 หลักการ

การชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าหมายถึงการนำเอาชิ้นงานหรือวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้ามากระทำเคลือบผิวด้วยโลหะโดยอาศัยไฟฟ้ากระแสตรงเข้าช่วย ซึ่งมีหลักการง่ายๆ คือนำชิ้นงานที่จะทำการชุบต่อเข้ากับขั้วลบของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนโลหะที่จะไปเคลือบผิวบนชิ้นงาน ต่อเข้ากับขั้วบวก (แต่ขั้วบวกไม่จำเป็นจะต้องเป็นโลหะชนิดเดียวกันกับโลหะที่ไปเคลือบบนชิ้นงานเสมอไป) ซึ่งเรียกว่า ตัวล่อนำชิ้นงานและตัวล่อจุ่มลงไปในน้ำยาชุบ แล้วปรับปริมาณทางไฟฟ้า คือแรงเคลื่อน และกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสม ก็จะทำให้ไอออนของโลหะที่จะเคลือบบนชิ้นงาน วิ่งไปยังขั้วลบซึ่งเป็นชิ้นงาน แล้วรับอิเล็กตรอน ที่ผิวของชิ้นงาน กลายเป็นโลหะเคลือบติดอยู่บนผิวของชิ้นงาน ส่วนขั้วบวก ถ้าเป็นโลหะชนิดเดียวกับโลหะไปเคลือบที่ผิวได้ของชิ้นงานก็จะละลายสู่น้ำยาชุบในรูปของไอออนบวก จากหลักการข้างต้นสามารถจะเขียนเป็นแผนภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 แสดงให้เห็นถึงหลักการชุบอย่างง่าย

จากภาพประกอบ 12 อ็อกซิเจน เรียกว่า แคโทดิก จะเคลื่อนที่ไปรับอิเล็กตรอนและเกิดเป็นผิวเคลือบจับอยู่ที่คาโทด



อ็อกซิเจนเรียกว่าแอโนดิกจะเคลื่อนที่ไปให้อิเล็กตรอนที่แอโนดและรวมตัวกับโลหะอ็อกซิเจนละลายออกมาเป็นเกลือโลหะ $X^{n-} \rightarrow X + n e^-$

โลหะอ็อกซิเจนจากสารละลาย Migration $\longrightarrow$ ผิวคาโทด

โลหะอ็อกซิเจนที่ผิวคาโทด dehydration $\longrightarrow$ แอโนดิก

แอโนดิก + อิเล็กตรอนจากคาโทด discharges แอโนดิก movement on the surface อะตอมของโลหะในผิวเคลือบ

พิจารณาจากภาพประกอบ 12 จะเห็นว่าน้ำยาชุบจะต้องนำไฟฟ้าได้จึงจะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลได้ครบวงจรฉะนั้นในน้ำยาชุบจึงมีสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของน้ำยาชนิดที่แตกตัวเป็นอ็อกซิเจนบวกและอ็อกซิเจนลบเมื่อละลายน้ำได้ดีซึ่งอ็อกซิเจนเหล่านี้จะเป็นตัวนำไฟฟ้าให้ไหลครบวงจรคืออ็อกซิเจนบวกจะนำกระแสไฟฟ้าบวกไปยังขั้วลบหรือเคลื่อนที่ไปยังขั้วลบ เพื่อจะรับอิเล็กตรอนจากขั้วลบนั่นเอง ส่วนอ็อกซิเจนลบจะวิ่งไปขั้วบวกเพื่อจ่ายอิเล็กตรอนให้กับขั้วบวกปรากฏการณ์เช่นนี้จะเกิดขึ้นตลอดเวลาใน ขณะที่ทำการชุบ ฉะนั้น โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว น้ำยาชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าจะประกอบด้วยสารเคมีที่สำคัญๆ ดังนี้

- สารที่เป็นตัวกำเนิดโลหะ น้ำยาชุบแต่ละชนิดจะมีกำเนิดโลหะไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับว่าต้องการชุบเคลือบผิวด้วยโลหะชนิดใด เช่น ถ้าต้องการชุบเคลือบผิวด้วยทองแดง ก็จะต้องมีเกลือของโลหะทองแดงเป็นตัวกำเนิดโลหะ คือ คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) ละลายอยู่ในน้ำยาชุบหรือ ถ้าต้องการชุบเคลือบผิวด้วยนิกเกิล ก็จะต้องมีนิกเกิลซัลเฟต ($NiSO_4$) หรือนิกเกิลคลอไรด์ ($NiCl_2$) ละลายอยู่ในน้ำยาชุบสารที่เป็นตัวกำเนิดโลหะนี้เป็นสารหลักที่สำคัญที่สุดในเรื่องการชุบ เพราะว่าสารเหล่านี้จะแตกตัวเมื่ออยู่ในน้ำยาชุบเป็นอ็อกซิเจนบวกและอ็อกซิเจนลบ โดยอ็อกซิเจนบวก คือ Cu^{2+} หรือ Ni^{2+} จะเป็นตัวเคลื่อนที่ไปเคลือบเกาะบนชิ้นงานเป็นโลหะทองแดงหรือนิกเกิล

- สารที่ช่วยเพิ่มการนำไฟฟ้า แม้ว่าที่เป็นตัวกำเนิดโลหะจะแตกตัวและนำไฟฟ้าได้ แต่ก็ยังนำไม่ดีนักจะต้องมีสารที่ช่วยเพิ่มการนำไฟฟ้าใส่ลงไปในน้ำยาชุบด้วยสารพวกนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นพวกกรดแก่หรือด่าง

แก่ชนิดต่าง ๆ เช่น กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริก หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นต้น ซึ่งจะช่วยให้อัตราเร็วของการเกาะเคลือบผิวดีขึ้น

- สารควบคุมระดับ พี.เอช (Buffer) น้ำยาชุบแต่ละชนิดจะอยู่ในสภาพการใช้งานได้ดี หรือไม่จะต้องมีพี.เอช. อยู่ในช่วงที่เหมาะสมตามแต่ละชนิดของน้ำยาชุบ ฉะนั้นถ้าไม่ต้องการให้ พี.เอช. ของน้ำยาชุบเปลี่ยนแปลงไปมากนัก ก็ควรจะใส่สารควบคุมระดับ พี.เอช. ลงไปด้วยอย่างของสารควบคุมระดับของน้ำยาชุบ เช่น โซเดียมคาร์บอเนตในน้ำยาชุบทองแดงแบบต่างหรือกรดบอริกในน้ำยาชุบนิเกิล เป็นต้น

- น้ำยาเงา (Brightener) ในงานชุบส่วนมากจะต้องการ ความเงางามของชิ้นงาน ที่เป็นผลิตภัณฑ์ ดังนั้น จึงต้องทำการเติมน้ำยาเงาลงไปในน้ำยาชุบเพื่อให้ผิวของชิ้นงานที่ได้มีลักษณะแวววาวสวยงาม ซึ่งน้ำยาเงานี้มีมากมายหลายชนิดขึ้นอยู่กับสูตรที่ผู้ผลิตจะคิดค้นขึ้นมา ฉะนั้นในการใช้จึงใช้ตามคำแนะนำของผู้ผลิต

- สารรักษาระดับการเคลือบผิวให้สม่ำเสมอ (Levelier) สารนี้ส่วนมากจะเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่มีซัลเฟอร์รวมอยู่และที่รู้จักเป็นที่นิยมใช้มากได้แก่คูมาริน (Coumarin) ซึ่งจะช่วยให้ผิวชิ้นงานลดความเป็นรูหรือหลุมให้น้อยลง เช่น ชิ้นงานก่อนจะทำการชุบอาจจะมีหลุมเล็กๆ อยู่หลุมหนึ่งแต่เมื่อชุบแล้วหลุมนี้ไปหรือดีขึ้นมาก ถ้า น้ำยาชุบมีสารรักษาระดับการเคลือบผิวให้สม่ำเสมออยู่ด้วย

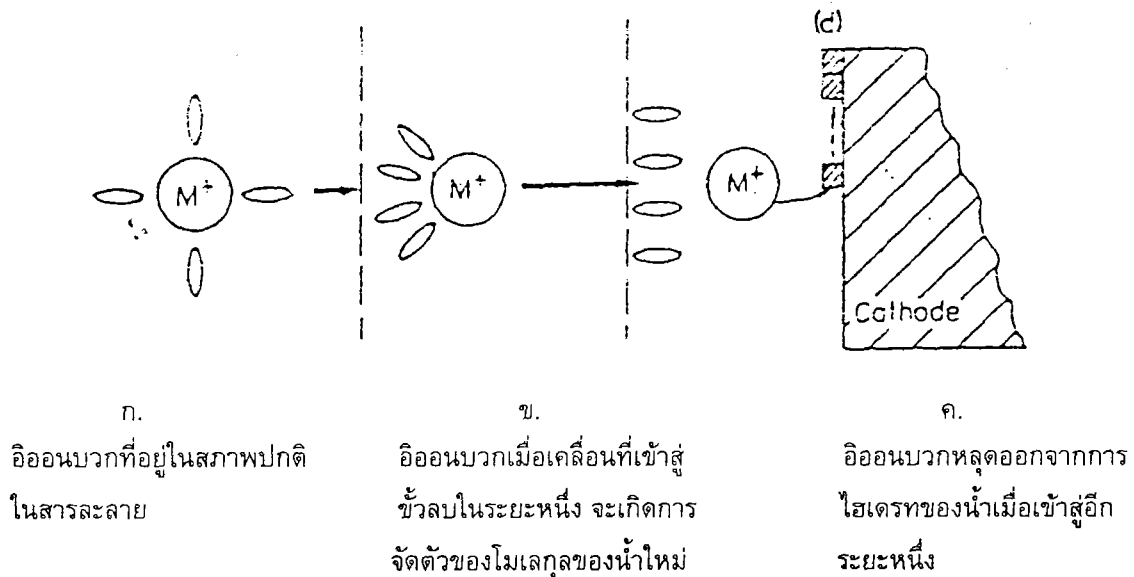
- สารเพิ่มความชื้น (Wetting agent) เป็นสารที่มีความสำคัญมากในการชุบโลหะเงาเพราะจะไปลดแรงตึงผิวของสารละลายชิ้นงานที่เป็นผลิตภัณฑ์จะไม่เกิดรอยต่างการใช้สารเพิ่มความชื้นจะต้องใช้ในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพราะถ้าใช้ไม่เหมาะสมแล้วจะทำให้ความเงางามสูญเสียไปหรือทำให้การรักษาระดับการเคลือบผิวไม่ดี ฉะนั้น โดยปกติแล้ว น้ำยาเงา สารรักษาระดับและสารเพิ่มความชื้น จึงต้องใช้ของผู้ผลิตแหล่งเดียวกันเสมอ และเรียกรวมๆ กันว่า น้ำยาเงา

2.3.2 ลักษณะการเข้าเกาะเคลือบผิวที่ขั้วลบ

ลักษณะการเข้าเกาะเคลือบผิวของอออนบวก (M⁺) ซึ่งเป็นอออนของโลหะจะแบ่งพิจารณาได้เป็น 2 กรณีคือ

ก. น้ำยาชุบที่เป็นเกลือแบบธรรมดา

น้ำยาชุบที่เป็นเกลือแบบธรรมดา อออนบวกจะรวมตัวอยู่กับโมเลกุลของน้ำเป็นตัวทำละลายเรียกว่าเกิดการไฮเดรต (Hydrate) โดยอออนบวก ที่ถูกไฮเดรต หรือห่อหุ้มด้วยโมเลกุลของน้ำ ยังคงแสดงจำนวนประจุเท่าเดิม เช่น Cu^{2+} เมื่อถูกไฮเดรตจะเป็น $\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4^{2+}$ เมื่ออออนบวกในรูปของไฮเดรตเคลื่อนที่เข้าหาขั้วลบเพื่อจะทำการเคลือบผิวที่ขั้วลบ จะเกิดตามลำดับขั้นตอนดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 ลักษณะการเข้าเกาะเคลือบผิวที่ขั้วลบของอีออนบวก (M^+) ที่เป็นเกลือแบบธรรมดา

ข. น้ำยาชุบที่เป็นเกลือเชิงซ้อน

น้ำยาชุบจำนวนมากที่อีออนของโลหะที่จะไปเคลือบบนผิวของชิ้นงานอยู่ในรูปของเกลือเชิงซ้อน เช่น เกลือเชิงซ้อนไซยาไนด์ของทองแดง เงิน สังกะสี แคดเมียม ทอง เกลือเชิงซ้อนไพโรฟอสเฟตของทองแดง เกลือเชิงซ้อนฟลูออโบเรตของตะกั่ว ทองแดง ดีบุก นิเกิล เป็นต้น ลักษณะการเข้าเกาะที่ขั้วลบของอีออนเชิงซ้อนค่อนข้างจะสลับซับซ้อน แต่พอจะสรุปได้ว่าอีออนของโลหะเมื่อเคลื่อนที่เข้าหาขั้วลบได้ระยะหนึ่งจะเปลี่ยนสภาพที่เป็นอีออนเชิงซ้อนไปเป็นอีออนอิสระแล้วจึงถูกไฮเดรตด้วยโมเลกุลของน้ำจากนั้นก็จะมีกลไกการเคลื่อนที่เข้าหาขั้วลบเหมือนกับน้ำยาชุบที่เป็นเกลือแบบธรรมดาตามข้อ ก.

2.3.3 ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบและขั้วบวก

ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบ และขั้วบวกบางทีเรียกสั้นๆ ว่า ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าหรือบางทีเรียกว่า ประสิทธิภาพของขั้วลบ หรือประสิทธิภาพของขั้วบวก ซึ่งประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบและที่ขั้วบวกนี้ส่วนใหญ่จะมีค่าแตกต่างกันโดยประสิทธิภาพนี้อาจจะนิยามได้ 2 ลักษณะ คือ ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้า เท่ากับอัตราส่วนระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการชุบเคลือบผิวจริงๆ ต่อปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านลงไปทั้งหมดคูณด้วยหนึ่งร้อยหรืออาจจะนิยามว่าประสิทธิภาพของขั้วบวก คือ ปริมาณโลหะของขั้วบวกที่ละลายจริงต่อปริมาณของโลหะของขั้วบวกที่ควรละลายตามกฎของฟาราเดย์คูณด้วยหนึ่งร้อยหรืออาจจะนิยามว่าประสิทธิภาพของขั้วลบ คือ ปริมาณสารที่มากเกาะเคลือบผิวที่ขั้วลบต่อปริมาณที่ควรเกาะขั้วลบตามกฎของฟาราเดย์คูณด้วยหนึ่งร้อย

โดยปกติแล้ว ประสิทธิภาพมักจะไม่ค่อยจะถึงหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์ทั้งขั้วบวกและลบ ทั้งนี้ เพราะกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปยังน้ำยาชุบไม่ได้นำไปใช้ในการละลายขั้วบวก หรือทำให้อีออนบวกของโลหะไปเกาะที่ขั้วลบเพียงอย่างเดียวแต่ยังถูกใช้ในการไปทำให้เกิดกลไกอื่นอีกด้วย เช่น ไปแยกสลายโมเลกุลของ

147903 83

ของน้ำไปทำให้เกิดก๊าซขึ้นที่ขั้วบวกหรือขั้วลบ หรือถูกเปลี่ยนไปเป็นความร้อนเกิดขึ้นในสารละลาย เป็นต้น ตัวอย่างของการหาประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบ เช่น ในการชุบโครเมียม ถ้าใช้ไฟฟ้าผ่านลงไป ในสารละลาย 1 ฟาราเดย์ ถ้าเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ควรมีโลหะไปเกาะที่ขั้วลบ 8.667 กรัม แต่จากการทดลองพบว่า มีโลหะโครเมียมไปเกาะจริงๆ เพียง 1.646 กรัม ฉะนั้น ประสิทธิภาพของขั้วลบเท่ากับ $(1.646 / 8.667) \times 100 = 19$ เปอร์เซ็นต์ หรือในการหาประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วบวกก็ทำได้ทำนองเดียวกัน ตัวอย่างเช่น ในการชุบเคลือบผิวโลหะอย่างหนึ่งพบว่า เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในสารละลายไป 100 กรัม ฉะนั้นประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วบวกเท่ากับ $(80/100) \times 100 = 80$ เปอร์เซ็นต์) เป็นต้น

ในการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าที่ดีที่สุดนั้น ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้า ที่ขั้วบวกและขั้วลบ ควรมีเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ทั้งคู่ หรือถ้าไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ทั้งสองขั้วก็อาจจะเป็นลักษณะว่า ประสิทธิภาพที่ขั้วบวกและที่ขั้วลบจะต้องเท่ากัน เพราะทั้งสองกรณีนี้จะรักษาปริมาณอ็อกไซด์ที่เป็นแหล่งกำเนิดของโลหะคงที่และเท่าเดิมเสมอ เนื่องจากปริมาณโลหะที่ไปเคลือบผิวที่ขั้วลบ จะเท่ากับปริมาณโลหะที่ละลายจากขั้วบวกลงสู่สารละลาย แต่ถ้าประสิทธิภาพของขั้วบวกและขั้วลบไม่เท่ากันจะทำให้ปริมาณของอ็อกไซด์เป็นตัวกำเนิดโลหะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาซึ่งจะทำให้หน้ายาชุบเสื่อมสภาพเร็ว แต่ก็ยังมีวิธีแก้ปัญหาเหล่านี้ได้ เช่น อาจจะใช้พื้นที่ผิวของขั้วบวก และขั้วลบไม่เท่ากันเข้าช่วยหรืออาจจะใช้สารเคมีที่เติมลงไปเพื่อลดหรือเพิ่มการละลายของขั้วบวกเข้าช่วย เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะช่วยปรับให้ประสิทธิภาพของขั้วบวกและขั้วลบมีค่าใกล้เคียงกันหรือเท่าๆ กันได้

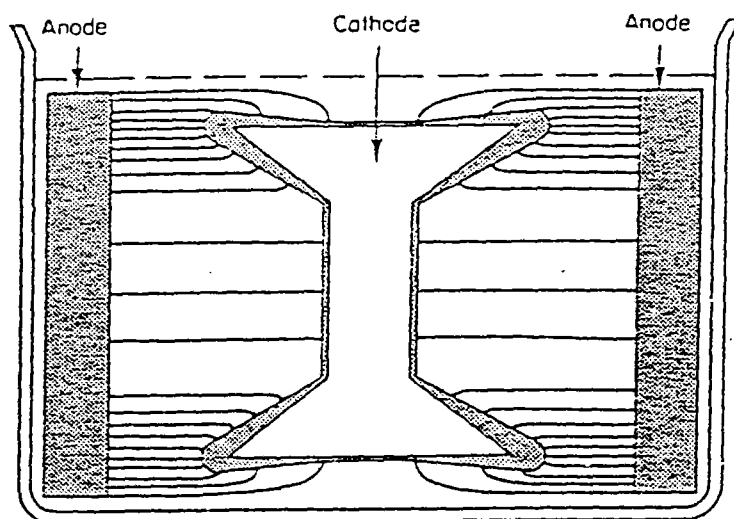
2.3.4 ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าคือปริมาณของกระแสไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ โดยปกติแล้วจะแสดงในหน่วยของแอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตรหรือแอมแปร์ต่อตารางฟุต และถ้าไม่ระบุว่าเป็นความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วบวก หรือลบก็มักจะ หมายถึงความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบในน้ำยาชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า แต่ละชนิดจะกำหนดภาวะการทำงานไว้ชัดเจนว่าจะชุบที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเท่าใด ฉะนั้นก่อนจะทำการชุบจึงต้องคำนวณพื้นที่ผิวของชิ้นงาน หรือขั้วลบเสียก่อนแล้วนำค่าพื้นที่นี้ไปคำนวณดูว่าจะใช้กระแสไฟฟ้าเท่าใดจึงจะทำให้ได้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าตามที่กำหนดตัวอย่างเช่น ในการชุบเคลือบผิวด้วยโลหะโดยไฟฟ้าชนิดหนึ่ง จะต้องทำการชุบที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 8 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร และปรากฏว่าพื้นที่ผิวหน้าของชิ้นงานที่จะทำการชุบทั้งหมดเท่ากับ 5 ตารางเดซิเมตร ฉะนั้นในการชุบนี้จะต้องใช้กระแสไฟฟ้าเท่ากับ $8 \times 5 = 40$ แอมแปร์ จึงจะอยู่ในภาวะการทำงานที่ดี โดยปกติแล้ว ถ้าการชุบชนิดเดียวกันมีภาวะการทำงานบางอย่างแตกต่างกันก็อาจจะใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแตกต่างกันไป เช่น อลูมิเนียมสูงและมีการกวนน้ำอย่างแรงก็จะชุบที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงกว่าปกติได้ ซึ่งจะทำให้มีอัตราเร็วของการชุบเคลือบผิวเร็วขึ้น แต่ทางปฏิบัติทั่วไปแล้ว การชุบที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่ำจะเคลือบผิวได้เป็นระเบียบและสวยงามกว่าแต่ก็เสียเวลาในการชุบมากขึ้น

2.3.5 การกระจายของกระแสไฟฟ้า

เนื่องจากชิ้นงานที่จะทำการชุบมีรูปร่างแตกต่างกันออกไป เช่น แบน กลม กลวง โค้ง แหลม ฯลฯ จะพบว่าจุดต่างๆ บนชิ้นงานจะห่างจากขั้วลบไม่เท่ากันจุดใดที่อยู่ใกล้ขั้วลบกระแสไฟฟ้าจะเดินทางทำให้มีลักษณะการกระจายของกระแสไฟฟ้า บริเวณจุดที่อยู่ใกล้มากกว่าจุดที่อยู่ไกล และยังตรงบริเวณใดที่มีลักษณะ

เป็นมุมแหลมด้วยแล้วยังมีการกระจายของกระแสไฟฟ้าในบริเวณนั้นหนาแน่นมากขึ้นไปอีกเนื่องจากการกระจายของกระแสไฟฟ้า ก็คือ การกระจาย หรือการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนของโลหะ ที่จะไปเกาะที่ขั้วลบ ดังนั้น จุดใดของขั้วลบที่อยู่ใกล้ขั้วบวก หรือจุดที่เป็นมุมแหลมจะมีการเกาะเคลือบผิวของโลหะบริเวณนั้นมากกว่าบริเวณอื่นๆ จึงทำให้ผิวที่เคลือบนั้นหนาแน่นกว่าที่อื่นด้วย ซึ่งอาจจะแสดงลักษณะการกระจายของกระแสไฟฟ้า และความหนาแน่นที่เคลือบบนชิ้นงานได้ดังภาพประกอบ 14



ภาพประกอบ 14 ลักษณะของการกระจายของกระแสไฟฟ้าและความหนาที่เคลือบในบริเวณต่างๆ ของชิ้นงาน

จากภาพจะเห็นว่าบริเวณของชิ้นงานส่วนที่เป็นมุมแหลมหรืออยู่ใกล้ขั้วบวกจะมีการกระจายของกระแสไฟฟ้าหนาแน่นมากที่สุดและมีการเกาะเคลือบผิวหนาที่สุดซึ่งถ้าต้องการให้การชุบเคลือบออกมาในลักษณะเช่นนี้ ก็ไม่ต้องแก้ไขอะไร แต่ถ้าต้องการให้มีลักษณะของการชุบเคลือบผิวที่มีความหนาแน่นเท่าๆ กันตลอดชิ้นงาน ก็อาจจะแก้ไขได้โดยหาแผ่นวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยา กับน้ำยาชุบมาทั้ง ระหว่างขั้วบวกกับขั้วลบตรงบริเวณที่อยู่ใกล้กัน เพื่อลดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าให้เหลือเท่าๆ กันทุกบริเวณของขั้วลบ วัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้า เช่น โพลีเอทิลีน พีวีซีหรือโพลีโพรพิลีน เป็นต้น แต่ถ้าหากว่าการเกาะเคลือบผิวที่ขั้วลบไม่ทั่วหรือไม่สม่ำเสมอ อันเนื่องมาจากสาเหตุที่น้ำยามีกำลังการเกาะเคลือบผิวไม่ดีก็จะต้องแก้ไขโดยวิธีออกแบบขั้วบวกให้เหมาะสมเข้าช่วยคือ ออกแบบให้มีการกระจาย ของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบให้เท่ากันและทั่วถึงในส่วนที่ต้องการให้มีการเกาะเคลือบผิวสำหรับกำลังการเคลือบผิว หมายถึงความสามารถในการกระจายของอิเล็กตรอนบวกหรืออิเล็กตรอนของโลหะไปเคลือบผิวบนชิ้นงานได้ทั่วถึงมากหรือน้อยเพียงใด ถ้า น้ำยาใดมีกำลังการเคลือบผิวไม่ดีจะสังเกตได้จากการชุบชิ้นงานที่มีลักษณะกลวงหรือโค้งงอจะพบว่าส่วนที่อยู่ลึกๆ ลงไปจะไม่เกิดการเคลือบผิว (อนันต์ ทองมฤณ. 2539 : 2.1-2.6)

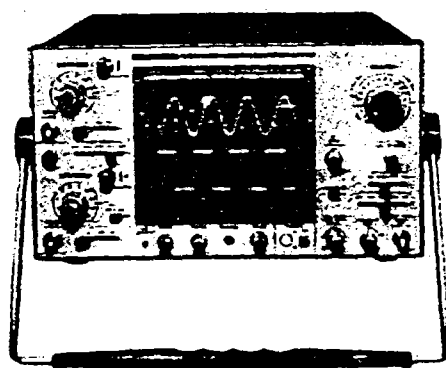
3. ความรู้พื้นฐานเรื่องสัญญาณพัลส์

3.1 รูปคลื่นชนิดต่าง ๆ และรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

รูปคลื่นจะเกี่ยวข้องกับการทำงานในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นการกระทำอะไรก็ตาม ก็จะทำให้เกิดรูปคลื่นต่าง ๆ ขึ้นมา เช่น การพูดของมนุษย์ก็จะทำให้เกิดคลื่นรูปไซน์ (sine wave) ในการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า พวкмอเตอร์ พัดลม วิทยุ โทรทัศน์ เครื่องเสียงและอื่น ๆ ก็จะเกี่ยวข้องกับคลื่นรูปไซน์ นอกจากนั้นในอุปกรณ์เหล่านี้ยังผลิตรูปคลื่นอื่น ๆ หรือมีวงจรเปลี่ยนแปลงรูปคลื่นโดยผ่านอุปกรณ์พวก R, L, C ทำให้รูปคลื่นมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปวิธีการที่จะอธิบายในการเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดันของรูปคลื่นต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับเวลาสามารถทำได้โดยเขียนลงในกราฟกำหนดแนวแกนตั้งฉากแทนกระแสและแรงดัน แนวแกนนอนแทนเวลา กราฟที่ได้ออกมาก็คือรูปคลื่น (Wave form) ของกระแสแรงดันนั่นเอง

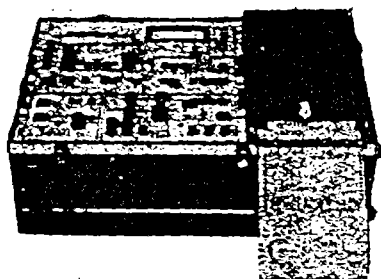
3.1.1 รูปคลื่นและรูปร่างสัญญาณ

รูปคลื่นที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันและเป็นรูปคลื่นธรรมดาที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านอิเล็กทรอนิกส์ ด้านไฟฟ้า หรือด้านวิทยาศาสตร์สาขาต่าง ๆ รูปคลื่นจะแสดงออกมาในรูปคลื่นไซน์ รูปคลื่นนี้ขนาดความแรงหรือแอมพลิจูด (Amplitude) ช่วงของคลื่นเป็นตรีโกโนเมตริกไซน์ของเวลา (Trigonometric sine of time) หรือขึ้นอยู่กับตัวแปรอื่น ๆ เครื่องมือหลายชนิดสามารถแสดงกราฟเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่นได้อย่างรวดเร็วตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน เช่น ออสซิลโลสโคปจะแสดงรูปคลื่นของสัญญาณออกมาในรูปของจุดแสงวิ่งเคลื่อนที่ โดยที่แผ่นเพลต ด้านแนวนอน (Horizontal) จะควบคุมแสงเป็นสัดส่วนกับเวลา และที่แผ่นเพลตด้านแนวตั้ง (vertical) จะควบคุมจุดแสงเป็นสัดส่วนกับความแรง (amplitude) ของแรงดันในช่วงเวลานั้น ๆ ภาพที่แสดงออกมาบนจอออสซิลโลสโคป ก็คือรูปคลื่นของแรงดันนั่นเอง ออสซิลโลสโคปแสดงภาพประกอบ 15



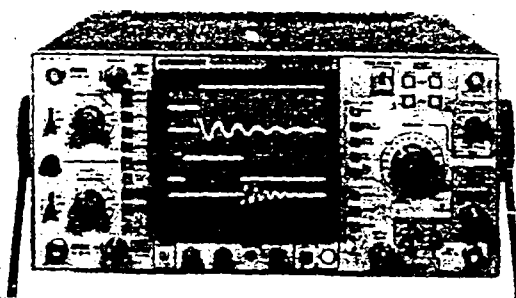
ภาพประกอบ 15 ออสซิลโลสโคป

ในเครื่องบันทึกกราฟ (Graphic recorder) การบันทึกกราฟลงบนกระดาษแผ่นยาวหรือกระดาษเคมี กระดาษแผ่นยาวหรือกระดาษเคมีจะถูกดึงด้วยความเร็วที่คงที่ ผ่านปากกาหรืออุปกรณ์หัวบันทึกแบบอื่น ๆ เช่น หัวบันทึกแบบความร้อน ตำแหน่งและทิศทางของการบันทึกของหัวบันทึก มุมที่ถูกต้องในทิศทาง การเคลื่อนที่ของกระดาษแผ่นยาวหรือกระดาษเคมีจะขึ้นอยู่กับแรงดันชั่วขณะเข้ามา ภาพที่แสดงลงบนกระดาษแผ่นยาวหรือกระดาษเคมีก็คือรูปคลื่นของแรงดันนั่นเอง เครื่องบันทึกกราฟแสดงดังภาพประกอบ 16



ภาพประกอบ 16 เครื่องบันทึกกราฟ

การเปลี่ยนแปลงของแรงดันจะมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่แน่นอนโดยตลอด และจะกลับเข้าสู่ค่าเดิม การเปลี่ยนแปลงจะเป็นเช่นนี้ตลอดเวลาซ้ำ ๆ กัน เราเรียกรูปภาพของแรงดันดังกล่าวนี้ว่ารูปคลื่นแบบเป็นระยะหรือรูปคลื่นแบบพีริออดิก (Periodic waveform) และค่าการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดรวมกันเรียกว่าไซเคิล (cycle) เวลาที่ใช้ในแต่ละไซเคิลเรียกว่า ระยะเวลา หรือพีเรียด (period) ของรูปคลื่นถ้าแรงดันมีการเปลี่ยนแปลงแบบอะพีริออดิก (aperiodic) หรือเป็นแบบระยะที่ไม่แน่นอน การดูรูปคลื่นด้วยออสซิลโลสโคปจะไม่สะดวก ดังนั้นการใช้เครื่องมือบันทึกกราฟจะช่วยให้ในการศึกษาและวิเคราะห์รูปคลื่นของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงนี้ได้สัญญาณบางอย่างจะเกิดแรงดันนี้ขึ้นเพียงชั่วขณะแล้วหายไป เช่น ในขณะที่กระแสไหลผ่านขดลวด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก ผลดังกล่าวจะทำให้ระดับแรงดันในขดลวดเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงของแรงดันดังกล่าวเรียกว่า ทรานเซียนต์ (Transients) สามารถวัดได้ด้วยออสซิลโลสโคปชนิดสโตเรจที่สามารถจำภาพได้ หรือใช้เครื่องมือบันทึกกราฟบันทึกภาพไว้ออสซิลโลสโคปชนิดดิจิทัลสโตเรจแสดงดังภาพประกอบ 17

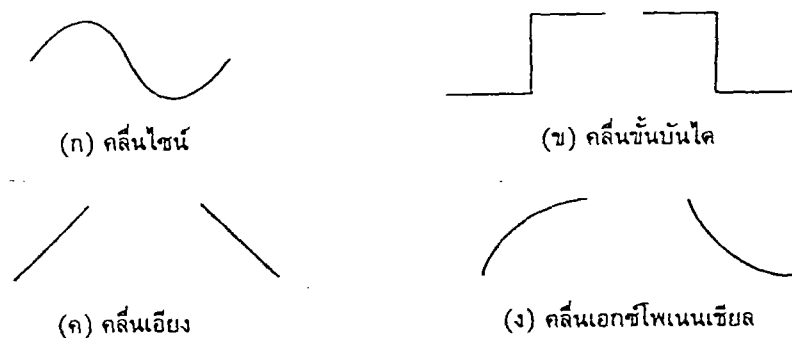


ภาพประกอบ 17 ดิจิตอลสโตเรจออสซิลโลสโคป

3.2 การวิเคราะห์รูปคลื่น

การวิเคราะห์รูปคลื่นที่ไม่เป็นคลื่นไซน์ (Nonsinusoidal waveform) สามารถทำได้สองวิธีคือ วิธีแรกวิเคราะห์โดยใช้คณิตศาสตร์ รูปคลื่นพีริออดิกใด ๆ จะประกอบด้วยส่วนประกอบของไฟตรง และจำนวนของรูปคลื่นไซน์ที่มีการเปลี่ยนแปลงของความแรง เฟส (phases) และความถี่ (frequency) ระยะเวลาของรูปคลื่นที่ไม่ใช่ไซน์จะเท่ากับผลคูณทั้งหมดของระยะเวลา ทุก ๆ ส่วนของคลื่นไซน์

การวิเคราะห์รูปคลื่นวิธีที่สองใช้วิธีสังเกตการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอย่างต่อเนื่อง ในแต่ละส่วนสามารถจะแยกเป็นกลุ่มย่อย ๆ หรือประเภทย่อย ๆ ของรูปคลื่นเบื้องต้นได้ดังนี้คือ คลื่นไซน์ (Sine wave) คลื่นขั้นบันได(step wave) คลื่นเอียง (ramp wave) และคลื่นเอกซ์โพเนนเชียล(exponential wave) ภาพประกอบ 18 โดยจะกล่าวรายละเอียดของแต่ละรูปคลื่นต่อไป



ภาพประกอบ 18 รูปคลื่นพื้นฐานต่างๆ

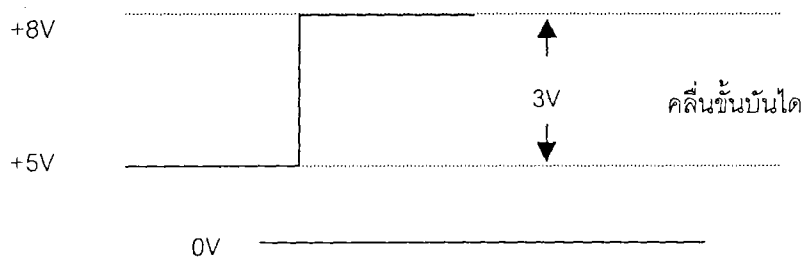
3.2.1 รูปคลื่นไซน์

รูปคลื่นไซน์ (sine waveform) แสดงไว้ภาพประกอบ 18 (ก) การเคลื่อนตัวของแรงดันทั่วไปจะเป็นในลักษณะนี้ และสัญญาณเสียงที่บริสุทธิ์ (pure audio tone) ก็มีการเปลี่ยนแปลงเป็นแบบคลื่นไซน์ สัญญาณแบบคลื่นไซน์นี้เป็นสัญญาณชนิดเดียวที่สามารถนำไปจ่ายให้วงจร ที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน (R) ตัวเก็บประจุ (C) และขดลวด (L) แล้วรูปร่างของสัญญาณจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่อาจมีการเปลี่ยนแปลงทางความแรงและเฟสของสัญญาณในทฤษฎีเกี่ยวกับวงจรไฟสลบทั้งหมดจะเกี่ยวข้องกับรูปคลื่นไซน์ การคำนวณเกี่ยวกับปริมาตร, อิมพีแดนซ์ และเรโซแนนซ์ จะอาศัยพื้นฐานการคำนวณโดยใช้คลื่นไซน์บริสุทธิ์

รูปคลื่นที่ไม่ใช่ไซน์บางชนิดมีส่วนประกอบของคลื่นไซน์อยู่ด้วย เช่น เอาต์พุตของวงจรเรกติไฟเออร์ชนิดครึ่งคลื่น (half wave) และชนิดเต็มคลื่น (full wave) เป็นต้น

3.2.2 รูปคลื่นขั้นบันได

รูปคลื่นขั้นบันได (step waveform) แสดงไว้ดังภาพประกอบ 18 (ข) เป็นคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันอย่างทันทีทันใด จากระดับแรงดันค่าหนึ่งไประดับแรงดันอีกค่าหนึ่ง เช่น เปลี่ยนระดับแรงดันจากศูนย์ไปเป็นระดับแรงดันบวกหรือเปลี่ยนแปลงจากระดับศูนย์มาเป็นระดับลบ ในทางทฤษฎี การเปลี่ยนแปลงระดับจะมีเวลาในการเปลี่ยนแปลงเป็นศูนย์ แต่ในทางปฏิบัติไม่เป็นเช่นนั้น จึงต้องทำให้เวลาที่จะเปลี่ยนแปลงระดับสั้นที่สุด ตามปกติเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับจะใช้เวลานานมาก จากเวลา ก่อนการเปลี่ยน และเวลาหลังการเปลี่ยนระดับแรงดันต่าง ๆ อาจเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ ระดับของแรงดันคงที่อาจจะมีค่าเป็นบวก เป็นลบ หรือเป็นศูนย์ก็ได้ขนาดความแรงของรูปคลื่นขั้นบันไดก็คือผลต่างระหว่างระดับค่าคงที่สองค่า ภาพประกอบ 19 แสดงคลื่นขั้นบันไดที่เปลี่ยนแปลงจากระดับบวก 2 ระดับ



ภาพประกอบ 19 คลื่นขั้นบันไดที่เปลี่ยนแปลงจากระดับบวก 2 ระดับ

3.2.3 รูปคลื่นเอียง

รูปคลื่นเอียง (ramp waveform) แสดงไว้ดังภาพประกอบ 18 (ค) คือรูปคลื่นที่มีระดับแรงดันเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงในอัตราที่คงที่ ซึ่งถูกแสดงออกมาในรูปของเส้นตรงอาจอยู่ในแนวนอนหรือแนวตั้ง จุดเริ่มต้นที่เกิดคลื่นเอียงอาจเริ่มต้นที่ระดับเป็นศูนย์ เป็นบวกค่าใด ๆ หรือเป็นลบค่าใด ๆ ก็ได้

3.2.4 รูปคลื่นเอกซ์โพเนนเชียล

รูปคลื่นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (exponential waveform) ได้รับชื่อมาจากสมการที่เขียนขึ้นมาเฉพาะการเปลี่ยนแปลงชนิดนี้เท่านั้น ดังตัวอย่าง สมการ

$$e = E e^{-V/r}$$

รูปคลื่นแบบเอกซ์โพเนนเชียลแสดงไว้ดังภาพประกอบ 18(ง) ระดับแรงดันจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในตอนเริ่มต้นและเปลี่ยนแปลงน้อยลงในตอนท้ายจนในที่สุดระดับแรงดันจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง แรงดันจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือเปลี่ยนแปลงลดลงก็ได้จุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของการทำงานจะอยู่ที่ระดับแรงดันบวกใด ๆ ระดับแรงดันลบใด ๆ หรือระดับศูนย์ก็ได้ หลังจากระยะเวลาหนึ่งระดับแรงดันก็จะหยุดการเปลี่ยนแปลง ในทางทฤษฎีแล้วจะถือว่าระดับแรงดันจะไม่หยุดการเปลี่ยนแปลง แต่ในทางปฏิบัติอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นน้อย ๆ นั้นมีค่าน้อยมากจนสามารถตัดทิ้งได้

จากที่กล่าวมาถ้านำเอาคลื่นต่าง ๆ เหล่านั้นมารวมกันจะได้คลื่นแบบใหม่ออกมาซึ่งก็มาจากพื้นฐานของคลื่นที่กล่าวมานั่นเอง เช่นเอาคลื่นไซน์หลาย ๆ ความถี่มาผสมกันก็ได้คลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสแควเวฟ (square wave) หรือคลื่นพัลส์ (pulse wave) ขึ้นมาเอาคลื่นขั้นบันไดขาขึ้นและขาลงมารวมกันก็ได้คลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือคลื่นพัลส์ขึ้นมาเช่นกันเอาคลื่นเอียงขึ้นและเอียงลงมารวมกันก็ได้คลื่นรูปฟันเลื่อย (sawtooth wave) ขึ้นมาหรือเอาคลื่นเอกซ์โพเนนเชียลขาขึ้นและขาลงมารวมกันก็ได้คลื่นอินทิเกรต (integrated wave) และคลื่นดิฟเฟอเรนเชียล (differentiated wave) ขึ้นมา ภาพประกอบ 20 แสดงคลื่นที่เกิดจากการรวมกันของคลื่นพื้นฐาน



(ก) คลื่นพัลส์



(ข) คลื่นฟันเลื่อย



(ค) คลื่นอินทิเกรต

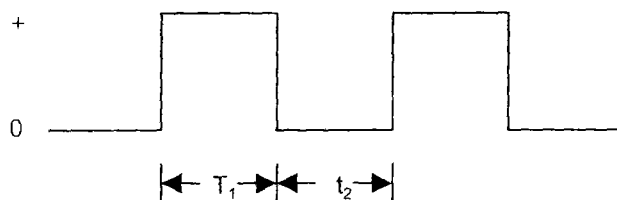


(ง) คลื่นดิฟเฟอเรนเชียล

ภาพประกอบ 20 คลื่นที่เกิดจากการรวมกันของคลื่นพื้นฐาน

3.2.5 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสและรูปคลื่นพัลส์

การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมซึ่งมักจะเรียกว่าคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสแควร์เวฟ-ฟอร์ม (square waveform) เป็นคลื่นลักษณะพิเศษที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก เพราะช่วงเวลาของคลื่นที่ปรากฏกับช่วงเวลาของคลื่นที่ไม่ปรากฏจะมีค่าเท่ากัน แสดงดังภาพประกอบ 21



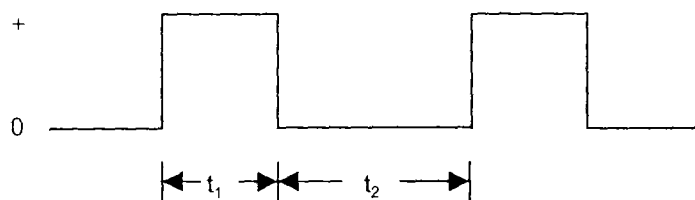
ภาพประกอบ 21 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส มี $t_1 = t_2$

จากภาพประกอบ 21 กำหนดให้

t_1 แทน ช่วงเวลาของคลื่นที่ปรากฏ หรือเรียกว่า PW (Pulse width)

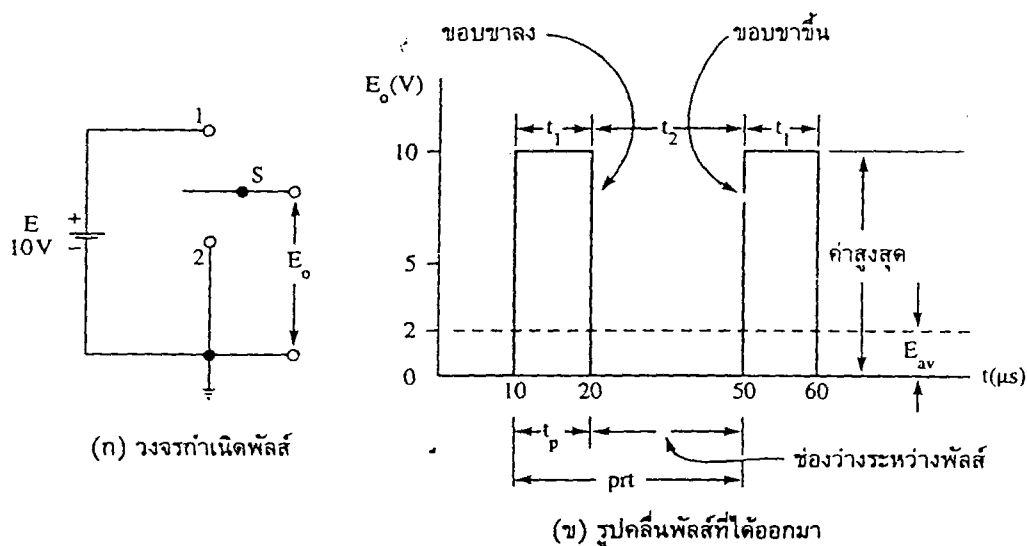
t_2 แทน ช่วงเวลาของคลื่นที่ไม่ปรากฏ หรือเรียกว่า Space width

คลื่นพัลส์ (pulse waveform) ก็เป็นคลื่นลักษณะเช่นเดียวกับคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสนั่นเองที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันอย่างรวดเร็วจากระดับหนึ่งไปอีกระดับหนึ่ง และเปลี่ยนกลับลงมาอย่างรวดเร็วเข้าสู่ปกติ แต่มีความแตกต่างจากรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสตรงที่ช่วงเวลาของรูปคลื่นที่ปรากฏจะสั้นกว่าช่วงเวลาของรูปคลื่นที่ไม่ปรากฏ แสดงดังภาพประกอบ 22 หรือกล่าวได้ว่าคาบเวลาของสัญญาณด้านบวก (t_1) และด้านลบ (t_2) ไม่เท่ากัน หรือ t_1 ไม่เท่ากับ t_2 จะเรียกชื่อรูปคลื่นนี้ว่า รูปคลื่นพัลส์ (Pulse waveform)



ภาพประกอบ 22 รูปคลื่นพัลส์ที่มี t_1 น้อยกว่า t_2

ในการนำรูปคลื่นสี่เหลี่ยมมุมฉากไปใช้งานมักนิยมนำรูปคลื่นพัลส์ไปใช้ในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ด้านการควบคุมและด้านคอมพิวเตอร์ซึ่งกล่าวได้ว่าคลื่นพัลส์มีความสำคัญในการใช้มากมาย และกว้างขวางทั่วไป ดังนั้นรายละเอียดเกี่ยวกับค่าต่างๆ ของคลื่นพัลส์ดังนี้ในภาพประกอบ 23 (ก) เป็นวงจรไฟตรงที่จ่ายผ่านสวิตช์ S ทำให้เกิดสัญญาณพัลส์แบบสี่เหลี่ยมมุมฉากแสดงไว้ในภาพประกอบ 23 (ข) การทำงานของวงจรกำเนิดพัลส์ภาพประกอบ 23 (ก) เมื่อโยกสวิตช์ S ไปที่ตำแหน่งหมายเลข 1 จะมีแรงดัน 10 V จ่ายออกเอาต์พุตที่ E_o และเมื่อโยกสวิตช์ S ไปที่ตำแหน่งหมายเลข 2 จะมีแรงดัน 0 V จ่ายออกเอาต์พุตที่ E_o นำไปเขียนเป็นกราฟได้ตามภาพประกอบ 23 (ข) เมื่อพิจารณารูปคลื่นพัลส์ที่ได้ในภาพประกอบ 23 (ข) จะมีส่วนประกอบต่าง ๆ ของรูปคลื่นพัลส์ ดังนี้ ระดับแรงดันจาก 0 V ถึง 10 V เรียกว่าค่าสูงสุด (peak value) ในช่วงเวลาที่แรงดันเปลี่ยนแปลงจาก 0 V เป็น 10 V เรียกว่าขอบขาขึ้น (leading edge)



ภาพประกอบ 23 แสดงรูปคลื่นพัลส์ในทางทฤษฎี

ในช่วงเวลาที่แรงดันเปลี่ยนแปลงจาก 10V เป็น 0 V เรียกว่าขอบขาลง (trailing edge) ระยะตั้งแต่ขอบขาขึ้นถึงขอบขาลงเรียกว่าความกว้างของพัลส์ (pulse width) ใช้ตัวย่อ t_p จุดเริ่มต้นของพัลส์ลูกแรกไปจนถึงจุดเริ่มต้นของพัลส์ลูกต่อไปเรียกว่าช่วงเวลาพัลส์เกิดซ้ำ (pulse repetition time) ใช้ตัวย่อ prt หรือเรียกว่าคาบเวลาของพัลส์ พัลส์ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องกันหลาย ๆ พัลส์เรียกว่าชุดของพัลส์ (pulse train) ในชุดของพัลส์หนึ่ง ชุดที่เกิดขึ้นในเวลา 1 วินาทีเรียกว่าอัตราการเกิดพัลส์ซ้ำ (pulse repetition rate) ใช้ตัวย่อ prr หรืออาจเรียกว่าความถี่ของการเกิดพัลส์ซ้ำ (pulse repetition frequency) ใช้ตัวย่อ prf ซึ่งจะมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz)

อัตราการเกิดพัลส์ซ้ำ (prf) จะมีค่าเท่ากับส่วนกลับของช่วงเวลาพัลส์เกิดซ้ำ (prt) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$prf = \frac{1}{prt} \quad \text{Hz} \quad (1)$$

ค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นใด ๆ อาจเป็นแรงดันหรือกระแสก็ตาม ก็คือส่วนประกอบของไฟตรงของคลื่นนั้น ๆ การหาค่าแรงดันเฉลี่ย (average voltage value หรือ E_{av}) ในทางทฤษฎีจากภาพประกอบ 23

(ข) ทำได้โดยการหารพื้นที่ของพัลส์ (A_p) ด้วยช่วงเวลาที่พัลส์เกิดซ้ำ (prt) ค่าแรงดันเฉลี่ย (E_{av}) ก็คือค่าอ่านได้จริงจากดีซีโวลต์มิเตอร์

$$E_{av} = \frac{A_p}{prt} \quad V \quad (2)$$

$$A_p = t_p \times E_{peak} \quad s-V \quad (3)$$

โดยที่ E_{av} แทน ค่าแรงดันเฉลี่ย มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)
 A_p แทน พื้นที่ของพัลส์ มีหน่วยเป็นวินาที-โวลต์ (s-V)
 prt แทน ช่วงเวลาที่พัลส์เกิดซ้ำ มีหน่วยเป็นวินาที (s)
 t_p แทน ความกว้างของพัลส์ มีหน่วยเป็นวินาที (s)
 E_{peak} แทน แรงดันสูงสุด มีหน่วยเป็นโวลต์ (v)

จากภาพประกอบที่ 23 (ข) แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการที่ (2) และ (3)

$$t_p = 10 \mu s = 10 \times 10^{-6} s$$

$$E_{peak} = 10 V$$

$$\begin{aligned} prt &= 50 \mu s - 10 \mu s \\ &= 40 \mu s = 40 \times 10^{-6} s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หา } A_p \text{ จาก } A_p &= t_p \times E_{peak} \\ &= 10 \times 10^{-6} s \times 10 V \\ &= 100 \mu s-V \end{aligned}$$

$$\text{หา } E_{av} \text{ จาก } E_{av} = \frac{A_p}{prt} = \frac{100 \mu s-V}{40 \mu s} = 2.5 V$$

จากการคำนวณแรงดันเฉลี่ยของพัลส์ตามภาพประกอบ 23 (ข) จะได้ค่า E_{av} ออกมา 2.5 V จากภาพประกอบ 23 (ข) แรงดันของพัลส์จะเริ่มต้นจากศูนย์ไปเป็นแรงดันบวก ซึ่งไม่จำเป็นเสมอไปที่จะเป็นเช่นนั้น จะเริ่มต้นจากบวกหรือลบที่ค่าใด ๆ ก็ได้ ค่า A_p ที่ได้ออกมาก็จะมีค่าเท่าเดิม เพราะเป็นผลรวมทางคณิตศาสตร์ของพื้นที่พัลส์

มีคำศัพท์เทคนิคอีกคำหนึ่งที่ใช้กันมากในเรื่องของพัลส์คือคำว่าดิวตีไซเคิล หรือวัฏจักรหน้าที่ (duty cycle) เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าแรงดันเฉลี่ย (E_{av}) กับค่าแรงดันสูงสุด (E_{peak}) ของรูปคลื่นพัลส์ หรือร้อยละของอัตราส่วนระหว่างความกว้างของพัลส์กับคาบเวลาของพัลส์ มักจะกำหนดไว้เป็นเปอร์เซ็นต์ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของดิวตีไซเคิล} = \frac{E_{av}}{E_{peak}} \times 100 \% \quad (4)$$

$$\text{หรือเปอร์เซ็นต์ของดิวตีไซเคิล} = \frac{t_p}{prt} \times 100 \% \quad (5)$$

ดังนั้นจากภาพประกอบ 23 (ข) จะสามารถหาเปอร์เซ็นต์ของดิวตี้ไซเคิลออกมาได้

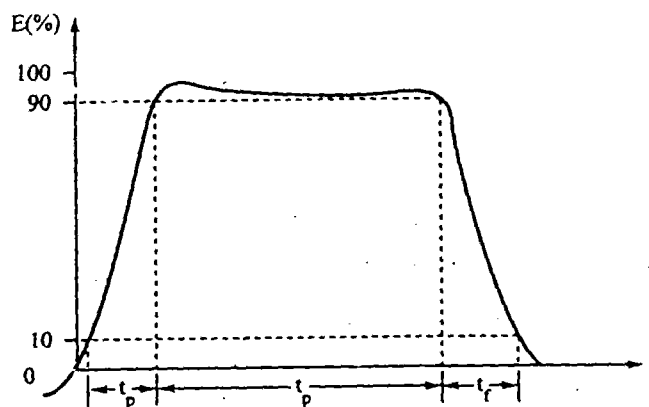
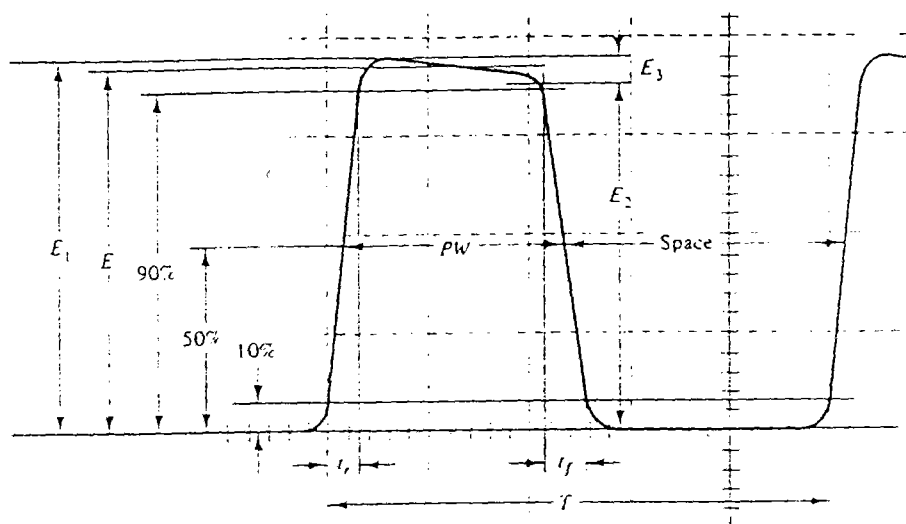
$$\text{เปอร์เซ็นต์ของดิวตี้ไซเคิล} = \frac{E_{av}}{E_{peak}} \times 100 \%$$

$$\text{แทนค่าจะได้ เปอร์เซ็นต์ของดิวตี้ไซเคิล} = \frac{2.5}{10V} \times 100 = 25 \%$$

$$\text{หรือจากสมการ เปอร์เซ็นต์ของดิวตี้ไซเคิล} = \frac{t_p}{prt} \times 100 \%$$

$$\text{แทนค่าจะได้เปอร์เซ็นต์ของดิวตี้ไซเคิล} = \frac{10 \times 10^{-6} \text{ s} \times 100}{40 \times 10^{-6} \text{ s}} = 25 \%$$

รูปคลื่นแรงดันพัลส์ที่แสดงไว้ในภาพประกอบ 23 (ข) เป็นรูปคลื่นในทางทฤษฎีเท่านั้นแต่ในทางปฏิบัติแล้วรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉากจะไม่เป็นรูปมุมฉากที่แท้จริง แสดงดังภาพประกอบ 24



ภาพประกอบ 24 รูปคลื่นพัลส์แบบสี่เหลี่ยมมุมฉากที่สร้างขึ้นในทางปฏิบัติ

จากภาพประกอบ 24 เป็นรูปคลื่นพัลส์แบบสี่เหลี่ยมมุมฉากที่สร้างขึ้นได้จริง ซึ่งจะไม่เป็นมุมฉากจริง ดังนั้นการหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของพัลส์จะไม่มีมาตรฐานเปรียบเทียบที่แน่นอน จึงจำเป็นต้องมีกฎเกณฑ์ข้อกำหนดที่ใช้เป็นมาตรฐานเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของพัลส์ที่ต่างกันได้

การหาค่าคุณลักษณะของรูปคลื่นพัลส์ตามภาพประกอบ 24 จะกำหนดที่จุด 90 เปอร์เซ็นต์ และ 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าความสูงของรูปคลื่นเป็นมาตรฐาน สามารถกำหนดได้ดังนี้

ความกว้างของพัลส์ (pulse duration) หรือ t_p จะคิดที่ค่าความสูงของพัลส์มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของค่าสูงสุดเป็นวินาที (s) หรือความกว้างของพัลส์ (Pulse Width) ต้องวัดมาจากค่าเฉลี่ยของความกว้างทั้งหมด เนื่องจากถ้าวัดจาก PW ที่จุดสูงสุด และถ้าวัด PW ที่จุดต่ำสุดของพัลส์ จะได้ค่าไม่เท่ากัน จึงต้องใช้ค่าเฉลี่ยคือวัด PW ที่ 50% ของขนาดสูงสุดของแรงดันค่าเฉลี่ย (E) ในกรณีของช่องว่างของพัลส์ (SW) ก็เช่นเดียวกัน คือวัดที่จุด 50% ของแรงดันเฉลี่ย (E) ดังนั้นคาบเวลาของสัญญาณ (T) จะเท่ากับ PW+SW

เวลาเคลื่อนขึ้น (rise time) หรือ t_r เป็นระยะเวลาที่ขนาดของพัลส์เริ่มต้นตั้งแต่ค่า 10 เปอร์เซ็นต์ จนถึงค่า 90 เปอร์เซ็นต์ของค่าสูงสุดของรูปคลื่นพัลส์เป็นวินาที (s) หรือเรียกว่าเวลาไต่ขึ้น (Rise time or t_r) หมายถึงระยะเวลาที่สัญญาณพัลส์ขอบหน้า (Leading edge) เปลี่ยนแปลงจากขนาดของสัญญาณที่ 10% ไปจนถึงขนาดสัญญาณ 90 % ของขนาดสูงสุดจากรูป $t_r = 90\%$ ของ E1

3. เวลาเคลื่อนลง (fall time) หรือ t_f บางครั้งเรียกว่าเวลาลด (delay time) เป็นระยะเวลาที่พัลส์มีขนาดลดลงจาก 90 เปอร์เซ็นต์เหลือเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าสูงสุดของรูปคลื่นพัลส์เป็นวินาที (s) หรือเวลาลด (Fall time or t_f) หมายถึงระยะเวลาที่สัญญาณพัลส์ขอบหลัง (Trailing edge) ตกจากระดับ ของสัญญาณที่ 90 % ลงไปจนถึง 10% ของขนาดสูงสุดของขอบหลังจากภาพ $t_f = 90\%$ ของ E2 ความกว้างของพัลส์ (PW) ต้องวัดมาจากค่าเฉลี่ยของความกว้างทั้งหมด เนื่องจากถ้าวัดจาก PW ที่จุดสูงสุด และถ้าวัด PW ที่จุดต่ำสุดของพัลส์จะได้ค่าไม่เท่ากัน จึงต้องใช้ค่าเฉลี่ยคือวัด PW ที่ 50% ของขนาดสูงสุดของแรงดันค่าเฉลี่ย (E) ในกรณีของช่องว่างของพัลส์ (SW) ก็เช่นเดียวกัน คือวัดที่จุด 50% ของแรงดันเฉลี่ย (E) ดังนั้นคาบเวลาของสัญญาณ (T) จะเท่ากับ PW+SW

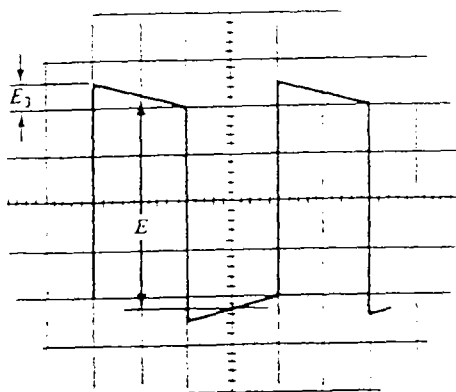
ค่าขนาดแรงดันค่าเฉลี่ยของพัลส์ (Average pulse amplitude) คือค่าเฉลี่ยที่คำนวณจากค่าของขนาดสูงสุดของพัลส์ขอบหน้า (E1) และค่าขนาดสูงสุดของพัลส์ขอบหลัง (E2) ดังสมการ

$$E = \frac{E_1 + E_2}{2}$$

ความลาดเอียง (Tilt) หมายถึง ความลาดเอียงบริเวณระดับของสัญญาณสูงสุดของขอบหน้าของพัลส์มาจนถึงขอบหลังของพัลส์ อาจเกิดขึ้นได้ทั้งด้านบวก และด้านลบของสัญญาณตัวอย่างในภาพ 24 เกิดเฉพาะด้านบวกเท่านั้น ค่าของความลาดเอียงบางครั้งเรียกชื่อว่า Fractional tilt มีค่าเท่ากับระดับความแตกต่างของขนาดสูงสุดของขอบหน้าพัลส์ กับขนาดสูงสุดของขอบหลังพัลส์เทียบกับอัตราส่วนของขนาดของพัลส์เฉลี่ยดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{Tilt} &= \frac{E_2 - E_1}{2} \times 100 \% \\ &= \frac{E_2}{E} \times 100 \% \end{aligned}$$

ในกรณีที่รูปคลื่นพัลส์ที่มีความลาดเอียงทั้งด้านบนและด้านล่างของระดับสัญญาณดังแสดงในภาพประกอบ 25 สามารถหาค่าของความลาดเอียงได้เช่นกันโดยใช้สมการความลาดเอียง(นักตร วิจารณ์ เทพินทร์.2540 : 17-18)



ภาพประกอบ 25 คลื่นที่มีความลาดเอียงทั้งด้านบนและด้านล่าง

รูปคลื่นที่ผิดเพี้ยน

รูปคลื่นที่ผิดเพี้ยน (Waveform distortion) และผลตอบสนองของความถี่มีความสัมพันธ์กัน โดยปกติเมื่อป้อนรูปคลื่นพัลส์สี่เหลี่ยมเข้าไปในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronics component) ต่างๆ ผลลัพธ์ของสัญญาณพัลส์ที่ผ่านออกมาเอาต์พุตจะผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นของสัญญาณพัลส์ที่ป้อนเข้ามา ถ้าปรากฏดังภาพประกอบ 26 (a) แสดงว่ารูปคลื่นพัลส์สี่เหลี่ยมผิดเพี้ยนไปเนื่องจากวงจรให้ผลตอบสนองต่อความถี่สูง (High-frequency response) ไม่ได้ดีนัก จะเกิดเวลาไถ่ขึ้นของสัญญาณมากกว่าปกติ

จากภาพประกอบ 26 (b) เป็นสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการป้อนพัลส์สี่เหลี่ยมเข้าไปในวงจรที่มีผลการตอบสนองความถี่สูงได้ดี แต่ตอบสนองสัญญาณความถี่ต่ำ (Low – Frequency Response) ได้ไม่ดีจะเกิดการผิดเพี้ยนขึ้น สังเกตจากช่วงลาดเอียงของความลาดเอียงมีมากขึ้น ลักษณะนี้เรียกว่า Low frequency distortion แต่ถ้าสัญญาณที่เกิดขึ้นจากวงจรที่มีผลการตอบสนองความถี่ที่ไม่ดีทั้งย่านความถี่ต่ำและสูง จะเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณเป็นผลรวมจากกรณีภาพประกอบ 26 (a) และ 26 (b) ผสมกันเป็นภาพประกอบ 26 (c) เรียกว่า Low-and-high frequency distortion ในกรณีภาพประกอบ 26 (d) เป็นลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากพัลส์สี่เหลี่ยมที่ป้อนเข้าวงจรที่มีผลของตัวเหนี่ยวนำ (Inductance) และตัวเก็บประจุ (Capacitance) ต่ออยู่ จะเกิดสัญญาณโอเวอร์ชูต และสัญญาณแกว่ง (Over shoot and ringing) เกิดขึ้น ดังรูปที่ 30 (d)

ความถี่ตัด (Cutoff frequency) การตอบสนองความถี่ของวงจรขยายนั่นตอบสนองได้ดี หมายถึงเมื่อขยายสัญญาณแล้วขนาดของสัญญาณเอาต์พุตไม่ลดลง ได้ที่ย่านความถี่ช่วงใดช่วงหนึ่งเท่านั้น ขึ้นอยู่กับค่า R และ C ในวงจรกรองความถี่แบบต่างๆ

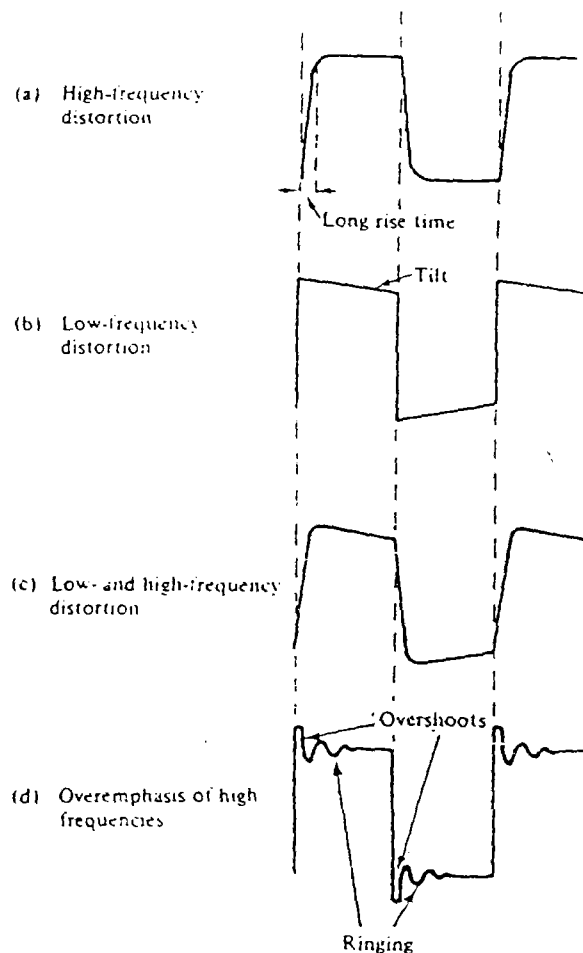
ความถี่ตัด หมายถึง ค่าของความถี่ค่าใดค่าหนึ่งที่ทำให้แรงดันเอาต์พุต ของวงจรกรองความถี่มีค่าลดลง เหลือเท่ากับ 0.707 เท่าของสัญญาณแรงดันอินพุต ความถี่ตัดมี 2 ย่านคือ

1. Upper cutoff frequency (f_H) คือค่าความถี่สูงที่ทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลงเท่ากับ 0.707 ของ e_{in} (กรณีนี้จะเกิดกับวงจร RC-Integrator) มีความสัมพันธ์กับเวลาไต่ขึ้น (t_r) และเวลาตก (t_f) ของวงจรดังสมการ

$$t_r = t_f = \frac{0.35}{f_H}$$

2. ความลาดเอียง และ Lower cutoff frequency เมื่อจ่ายพัลส์ที่สมบูรณ์ผ่านวงจรที่มีค่า Lower cut off frequency) เท่ากับศูนย์ $f_L = 0$ ด้านบนของรูปคลื่นจะเรียบ แต่ เมื่อ f_L มีค่ามากกว่าศูนย์ จะเกิดความลาดเอียงขึ้น

Waveform Distortion



ภาพประกอบ 26 แสดงลักษณะของรูปคลื่นพัลส์ที่เปลี่ยนไปที่เกิดจากผลการตอบสนองความถี่ต่าง ๆ และผลของโอเวอร์ชูตที่เกิดขึ้นกับสัญญาณ

ที่เอาท์พุทของพัลส์ (ภาพประกอบ 26 (b) ที่ค่าความลาดเอียงน้อยกว่า 10 % ค่าความลาดเอียงจะแปรผันกับ ความกว้างพัลส์ (PW) และค่าความถี่คัตออฟ (FL) ดังสมการ

เมื่อ Tilt แทน ความลาดเอียง

เพราะฉะนั้น $Tilt = 2\pi f_L \times PW$

เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม

$$T = 2 \times PW = \frac{t}{f}$$

ดังนั้น
$$Tilt = \frac{\pi f_L}{f}$$

ในทำนองเดียวกัน สามารถหาค่า Lower cutoff frequency (F_L) ได้ดังสมการ

เมื่อ f แทน ความถี่ของพัลส์อินพุต

f_L แทน Lower cutoff frequency

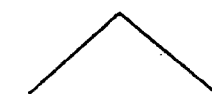
Tilt แทน ความลาดเอียง

PW แทน ความกว้างของพัลส์อินพุต

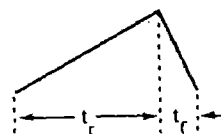
สำหรับรูปคลื่นพัลส์บางแบบ ค่าเวลาเคลื่อนขึ้นและเวลาเคลื่อนลงจะมีค่าน้อยมาก จนยากที่จะวัดค่าได้แน่นอนในทางปฏิบัติ ถึงแม้จะใช้ออสซิลโลสโคปแบบวัดความถี่สูงก็ตาม เมื่อความกว้างของพัลส์มีค่าน้อยมาก ๆ จะถือว่าเวลาเคลื่อนขึ้นและเวลาเคลื่อนลงเป็นเวลาทั้งหมดของพัลส์

3.2.6 รูปคลื่นสามเหลี่ยมและรูปคลื่นฟันเลื่อย

ถ้านำคลื่นเอียงขึ้น(positive ramp) มารวมกับคลื่นเอียงลาดลง (negative ramp) โดยมีมุมเอียงเท่ากันต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ และระยะเวลาของคลื่นเอียงเท่ากันทุกคลื่น เรียกคลื่นแบบนี้ว่า คลื่นรูปสามเหลี่ยม (triangular waveform) ตามภาพประกอบ 27 (ก) จะมีขนาดความแรงเท่ากัน



(ก) คลื่นรูปสามเหลี่ยม



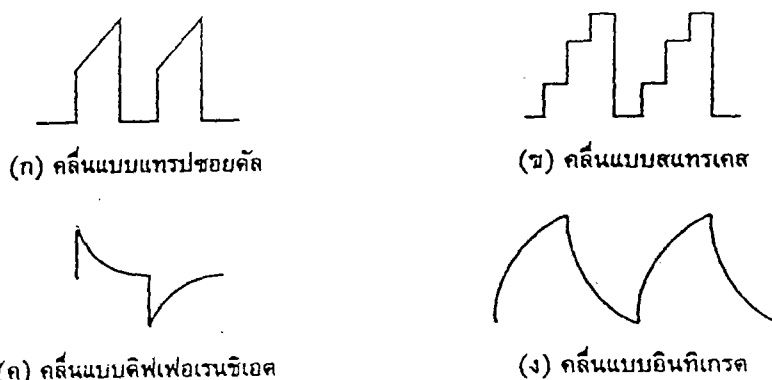
(ข) คลื่นรูปฟันเลื่อย

ภาพประกอบ 27 คลื่นรูปสามเหลี่ยมและคลื่นรูปฟันเลื่อย

คลื่นรูปฟันเลื่อย (sawtooth waveform) ตามภาพประกอบ 27 (ข) จะเกิดขึ้นเมื่อความเอียงลาดขึ้นและความเอียงลาดลงมีเวลาในการเกิดไม่เท่ากันแต่จะมีขนาดความแรงเท่ากันโดยปกติความเอียงลาดขึ้นจะมีเวลามากกว่าความเอียงลาดลงมาก ๆ ในการนำไปใช้งานจริงจะต้องพยายามทำให้ความเอียงลาดลงมีเวลาเป็นศูนย์ เหมือนกับคลื่นขั้นบันไดช่วงลง (negative step) โดยกำหนดเวลาเคลื่อนขึ้น ใช้ตัวย่อ t_r และเวลาเคลื่อนลง t_f เหมือนตัวย่อที่ใช้ในรูปคลื่นพัลส์

คลื่นชนิดต่าง ๆ

ยังมีรูปคลื่นชนิดอื่น ๆ (miscellaneous waveform) ที่อาจพบได้ในอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่มีรูปคลื่นแตกต่างไปจากรูปคลื่นที่กล่าวมาแล้ว เช่นคลื่นแบบแทรปซอยดัล (trapezoidal waveform) ประกอบด้วยคลื่นขั้นบันไดช่วงขึ้นรวมกับคลื่นเอียงลาดขึ้นและคลื่นขั้นบันไดช่วงลง คลื่นแบบสแตเรส (staircase waveform) ประกอบด้วยคลื่นขั้นบันไดช่วงขึ้นหลาย ๆ คลื่นต่อเนื่องกันเป็นหนึ่งชุด รวมกับคลื่นขั้นบันไดช่วงลงอีกหนึ่งคลื่น คลื่นแบบดิฟเฟอเรนเชียลประกอบด้วยคลื่นเอกซ์โพเนนเชียลลาดขึ้นกับเอกซ์โพเนนเชียลลดลง และคลื่นแบบอินทิเกรตประกอบด้วยคลื่นแบบเอกซ์โพเนนเชียลลาดขึ้นและเอกซ์โพเนนเชียลลดลงเป็นชุดสลับกันไป



ภาพประกอบ 28 คลื่นแบบแทรปซอยดัล,แบบสแตเรส,แบบดิฟเฟอเรนเชียล, แบบอินทิเกรต

3.2.7 การวิเคราะห์ฮาร์มอนิก

จากที่กล่าวถึงคลื่นแบบพริอดิกที่ไม่ใช่คลื่นไซน์ซึ่งประกอบขึ้นจากรูปคลื่นไซน์บริสุทธิ์จำนวนหนึ่ง กับส่วนประกอบของแรงดันไฟตรง การวิเคราะห์รูปคลื่นชนิดต่าง ๆ แต่ละชนิดดังนี้

ความถี่ของคลื่นไซน์ที่เกิดขึ้นจะมีหลายความถี่ เกิดจากการคูณกันของความถี่ที่กำหนดให้ จะเรียกความถี่เหล่านี้ว่า ฮาร์มอนิก (harmonic) ของความถี่ที่กำหนดให้และคลื่นไซน์ที่เป็นความถี่ที่กำหนดให้จะเรียกว่าความถี่พื้นฐาน (fundamental) อัตราส่วนระหว่างความถี่ฮาร์มอนิกกับความถี่พื้นฐานก็คือจำนวน (number) ของฮาร์มอนิกนั้น เช่น ความถี่พื้นฐานเท่ากับ 200 Hz ฮาร์มอนิกที่สองเท่ากับ 400 Hz และฮาร์มอนิกที่ห้าจะเท่ากับ 1 kHz เป็นต้น

การใช้หลักการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธีฟูริเออร์ (fourier analysis) จะสามารถหาค่าส่วนประกอบของคลื่นแบบพริอดิกได้ นอกจากจะแสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบของฮาร์มอนิกว่ามีอะไรบ้างแล้ว ยังบอกให้ทราบถึงขนาดความแรง เฟสของแต่ละฮาร์มอนิก และขนาดความแรงของส่วนประกอบไฟตรงด้วย

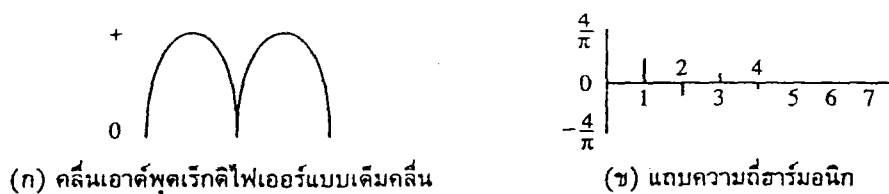
จากข้อมูลที่กล่าวมาสามารถเขียนขึ้นมาเป็นสมการที่ประกอบด้วยค่าคงที่และส่วนประกอบของไซน์และโคไซน์ หรือจากข้อมูลที่กล่าวมา และจากสมการที่ได้สามารถนำมาเขียนเป็นกราฟได้ เรียกว่า ขนาดความแรงของแถบความถี่ (amplitude spectrum)

3.2.7.3 คลื่นฟันเลื่อย

ภาพประกอบ 31 สามารถเขียนออกมาเป็นสมการฟูรีเออร์ได้ดังนี้

$$e = \frac{2}{\pi} \left(\sin \omega t - \frac{1}{2} \sin 2\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \dots - \frac{(-1)^n}{n} \sin n\omega t \right)$$

จากการวิเคราะห์รูปคลื่นฟันเลื่อย จะเห็นได้ว่าฮาร์มอนิกจะปรากฏออกมาทั้งหมด ฮาร์มอนิกก็จะมีแอมพลิจูดเป็นบวก และฮาร์มอนิกคู่จะมีความแอมพลิจูดเป็นลบ รูปคลื่นจะสมมาตรกันกับแกนแนวนอนเหมือนคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ดังนั้นส่วนประกอบของไฟตรงจะไม่ปรากฏออกมาให้เห็น



ภาพประกอบ 31 คลื่นฟันเลื่อยและแถบความถี่ฮาร์มอนิก

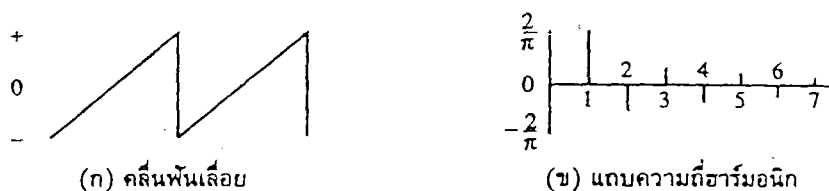
3.2.7.4 เอ้าต์พุตเรกติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น

ในภาพประกอบ 32 สามารถเขียนออกมาเป็นสมการฟูรีเออร์ได้ดังนี้

$$e = \frac{2}{\pi} + \frac{4}{\pi} \left[\frac{1}{3} \cos \omega t - \frac{1}{15} \cos 2\omega t + \frac{1}{35} \cos 3\omega t + \dots - \left(\frac{-1}{4n^2 - 1} \right)^n \cos n\omega t \right]$$

จากการวิเคราะห์ รูปคลื่นเอ้าต์พุตเรกติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น จะเห็นว่าฮาร์มอนิกสูงขึ้นไปจะมีขนาดความแอมพลิจูดลดลงอย่างรวดเร็ว

การวิเคราะห์รูปคลื่นทั้งสี่แบบตามทฤษฎีแล้วฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นจะมีจำนวนไม่จำกัด เช่นถึง n จำนวน หรืออาจถึงค่าอนันต์ (infinity) แต่ในทางปฏิบัติ ฮาร์มอนิกที่สูงจะมีขนาดความแอมพลิจูดลดลงมาก จนไม่จำเป็นต้องนำเข้ามาเกี่ยวข้องสามารถตัดทิ้งได้ (พันธศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์, 2539 : 9-24)



ภาพประกอบ 32 คลื่นเอ้าต์พุตเรกติไฟเออร์แบบเต็มคลื่นและแถบความถี่ฮาร์มอนิก

3.2.7.1 คลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ในภาพประกอบ 29 สามารถเขียนออกมาเป็นสมการฟูรีเออร์ได้ดังนี้

$$e \text{ แทน } \frac{4}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots + \frac{1}{n} \sin n\omega t \right)$$

e แทน ขนาดความแรงของแรงดันที่เวลา t ใด ๆ

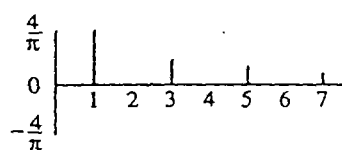
n แทน จำนวนของฮาร์โมนิก

ω แทน ความเร็วเชิงมุมของความถี่พื้นฐานเท่ากับ $2\pi f$

จากการเขียนสมการฟูรีเออร์ จะมีเฉพาะความถี่ฮาร์โมนิกเท่านั้น ไม่มีส่วนประกอบของไฟตรง เพราะว่ารูปคลื่นสมมาตรกันในแนวนอน ได้ค่าขนาดความแรงเฉลี่ยเป็นศูนย์



(ก) คลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส



(ข) แถบความถี่ฮาร์โมนิก

ภาพประกอบ 29 คลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสและแถบความถี่ฮาร์โมนิก

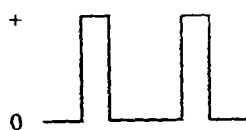
3.2.7.2 คลื่นพัลส์

ภาพประกอบ 29 สามารถเขียนออกมาเป็นสมการฟูรีเออร์ได้ดังนี้

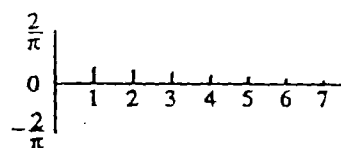
$$e = \frac{\theta}{\pi} + \frac{2}{\pi} \left(\sin \theta \cos \omega t + \frac{\sin 2\theta \cos 2\omega t}{2} + \frac{\sin 3\theta \cos 3\omega t}{3} + \dots + \left(\frac{\sin n\theta \cos n\omega t}{n} \right) \right)$$

เมื่อ $\theta = \pi$ (ดิวตี้ไซเคิล)

จากการวิเคราะห์รูปคลื่นพัลส์ ความถี่ฮาร์โมนิกจะปรากฏออกมา ถึงแม้ว่าสมการนี้จะใช้สมการโคไซน์ รูปคลื่นของมันก็ปรากฏเช่นเดียวกับสมการไซน์ ส่วนประกอบของไฟตรงก็จะปรากฏออกมาด้วย เพราะว่ามันไม่มีรูปคลื่นใดของพัลส์เกิดต่ำกว่าแกนนอน รูปคลื่นและแถบความถี่ฮาร์โมนิกในภาพประกอบ 30 เพราะฉะนั้น $\theta = 0.314$ เรเดียน = 18 องศา



(ก) คลื่นพัลส์



(ข) แถบความถี่ฮาร์โมนิก

ภาพประกอบ 30 คลื่นพัลส์และแถบความถี่ฮาร์โมนิก

3.2.7.3 คลื่นฟันเลื่อย

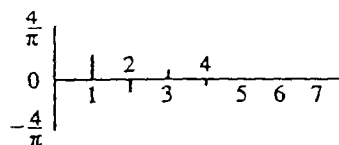
ภาพประกอบ 31 สามารถเขียนออกมาเป็นสมการฟูรีเออร์ได้ดังนี้

$$e = \frac{2}{\pi} \left(\sin \omega t - \frac{1}{2} \sin 2\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \dots - \frac{(-1)^n}{n} \sin n\omega t \right)$$

จากการวิเคราะห์รูปคลื่นฟันเลื่อย จะเห็นได้ว่าฮาร์มอนิกจะปรากฏออกมาทั้งหมด ฮาร์มอนิกก็จะมีแอมพลิจูดเป็นบวก และฮาร์มอนิกคู่จะมีความแอมพลิจูดเป็นลบ รูปคลื่นจะสมมาตรกันกับแกนแนวนอนเหมือนคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ดังนั้นส่วนประกอบของไฟตรงจะไม่ปรากฏออกมาให้เห็น



(ก) คลื่นเอาต์พุตเรกติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น



(ข) แถบความถี่ฮาร์มอนิก

ภาพประกอบ 31 คลื่นฟันเลื่อยและแถบความถี่ฮาร์มอนิก

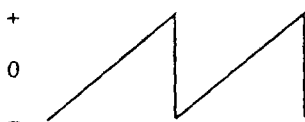
3.2.7.4 เอาต์พุตเรกติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น

ในภาพประกอบ 32 สามารถเขียนออกมาเป็นสมการฟูรีเออร์ได้ดังนี้

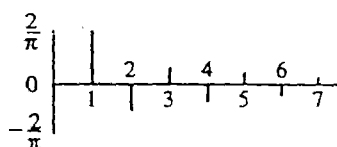
$$e = \frac{2}{\pi} + \frac{4}{\pi} \left[\frac{1}{3} \cos \omega t - \frac{1}{15} \cos 2\omega t + \frac{1}{35} \cos 3\omega t + \dots - \left(\frac{-1}{4n^2 - 1} \right)^n \cos n\omega t \right]$$

จากการวิเคราะห์ รูปคลื่นเอาต์พุตเรกติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น จะเห็นว่าฮาร์มอนิกสูงขึ้นไปจะมีขนาดความแอมพลิจูดลดลงอย่างรวดเร็ว

การวิเคราะห์รูปคลื่นทั้งสี่แบบตามทฤษฎีแล้วฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นจะมีจำนวนไม่จำกัด เช่นถึง n จำนวน หรืออาจถึงค่าอนันต์ (infinity) แต่ในทางปฏิบัติ ฮาร์มอนิกที่สูงจะมีขนาดความแอมพลิจูดลดลงมาก จนไม่จำเป็นต้องนำเข้ามาเกี่ยวข้องสามารถตัดทิ้งได้ (พันธศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์. 2539 : 9-24)



(ก) คลื่นฟันเลื่อย



(ข) แถบความถี่ฮาร์มอนิก

ภาพประกอบ 32 คลื่นเอาต์พุตเรกติไฟเออร์แบบเต็มคลื่นและแถบความถี่ฮาร์มอนิก

4. สิ่งสนับสนุนความก้าวหน้า ในเทคโนโลยีเครื่องจ่ายกระแส รูปคลื่นพัลส์ ที่ใช้ในการชุบ

ความก้าวหน้าในเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำกำลัง (Power semiconductor) ไมโครคอมพิวเตอร์ กระบวนการประดิษฐ์ (Manufacture) และระบบเครือข่าย ซึ่งทั้งหมดเป็นปัจจัยสนับสนุนให้สามารถออกแบบ ประดิษฐ์ โดยมีการพัฒนาเรื่องความเที่ยงตรงมากขึ้น ซึ่งมีความยืดหยุ่นและมีความสามารถที่สูงกว่าในเครื่องจ่ายไฟการชุบด้วยไฟฟ้าแบบกระแสตรง แบบรูปคลื่นพัลส์และรูปคลื่นต่างๆ ความต้องการของตลาด เครื่องจ่ายไฟ เช่นคอมพิวเตอร์ โทรคมนาคม การวัดและการทหาร /เกี่ยวกับอากาศยาน เมื่อรวมเทคโนโลยีต่างๆ เข้าด้วยกันแล้วเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกการชุบด้วยไฟฟ้ามีการพัฒนาขึ้นสิ่งที่บ่งชี้ถึงความก้าวหน้าในเครื่องจ่ายไฟฟ้าสำหรับการชุบด้วยไฟฟ้าแบ่งแยกออกเป็นประเภทดังนี้

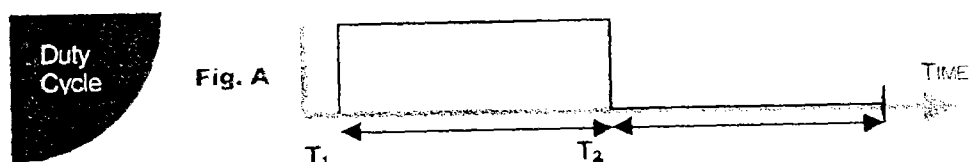
- ปรับปรุงความสามารถในการชุบตามสเปคข้อกำหนด
- ความสามารถในการกำเนิดรูปคลื่นที่มีความสมบูรณ์
- ความสามารถในการด้านความเร็ว และง่ายต่อการใช้งาน
- ปรับปรุงด้วยระบบอัตโนมัติและกระบวนการโดยรวม
- ขนาดและน้ำหนัก มีขนาดน้อยลง

4.1 ภาพรวมของช่วยรูปคลื่นพัลส์

คำอธิบายง่าย ๆ ของรูปคลื่นพัลส์เป็นการเพิ่มจำนวนของตัวแปรควบคุมมากกว่ากระแสตรง (DC) กระแสตรง DC เราสามารถควบคุมความหนาแน่นของกระแส(หรือการปรับแอมป์(Amp))ขณะที่รูปคลื่นพัลส์ เราสามารถควบคุมเวลาเปิด(on time)เวลาปิด(off time)และความสูง(Amplitude)รูปคลื่นที่สมบูรณ์แบบกว่าทำให้เราสามารถเปลี่ยนแปลงกระบวนการชุบด้วยไฟฟ้าเคมีได้สมบูรณ์กว่าโดยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของชั้นการแพร่กระจาย (Diffusion) ขนาดเมล็ดที่ชุบ(Grain size) และปริมาณตรงกลาง (Nucleation) พัลส์ กลายเป็นการเรียกที่ครอบคลุมกว้างขวางอย่างมาก การจะกำหนดให้แน่นอนว่ารูปคลื่นที่แตกต่างกันและ คุณสมบัติของรูปคลื่นจำเป็นที่จะให้ความกระจ่างเข้าใจในขอบข่ายของการสัญญาณที่ไม่ใช่รูปคาบคลื่นแบบไฟฟ้ากระแสตรง DC และทำไมการใช้พัลส์ในการชุบต้องมีการค้นคว้าและพิจารณาอย่างรอบคอบให้กระจ่างถึงขอบข่ายที่กว้างขวางของรูปคลื่นที่ไม่ใช่แบบไฟฟ้ากระแสตรงจำเป็นต้องการพิจารณาตัวแปรต่างดังนี้

รูปคลื่นพัลส์มีสูตรกำหนดวัฏจักรหน้าที่ (Duty Cycle) ไว้ดังนี้

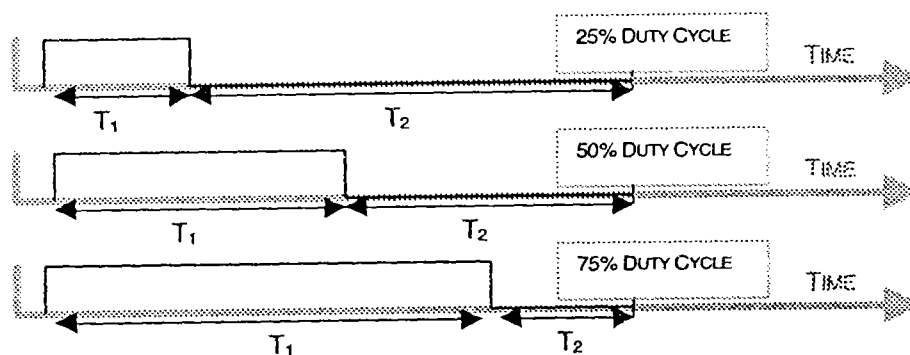
$$\frac{T_1}{T_1 + T_2} \quad \text{ดัง ภาพประกอบ 33}$$



ภาพประกอบ 33 ค่าวัฏจักรหน้าที่ (Duty Cycle) แสดงวัฏจักรหน้าที่เท่ากับ $T_1/(T_1+T_2)$

รูปคลื่นวัฏจักรงาน (Duty Cycle) ในภาพประกอบ 34 แสดงตัวอย่างรูปคลื่นสัญญาณหลายๆ

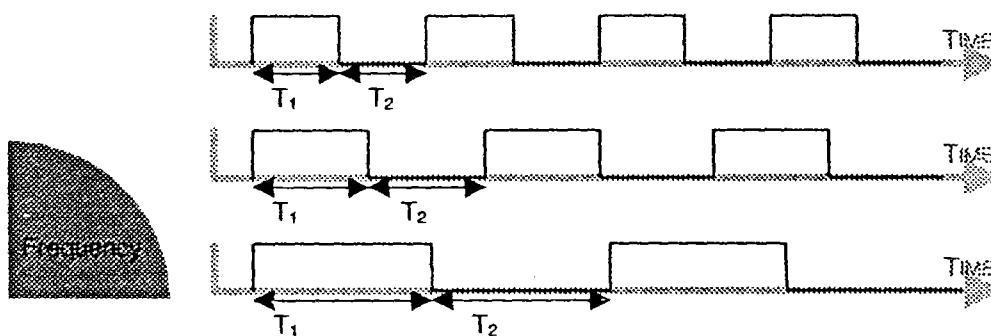
วัฏจักรงานที่ 25 %,50% และ 75 % ตามลำดับข้อสังเกตว่า วัฏจักรงาน (duty cycle) ของ 100 % จะเป็นสัญญาณไฟตรง DC



ภาพประกอบ 34 ค่า Duty cycle at 25%,50%,75%. (Duty cycle at 25%,50%,75%)

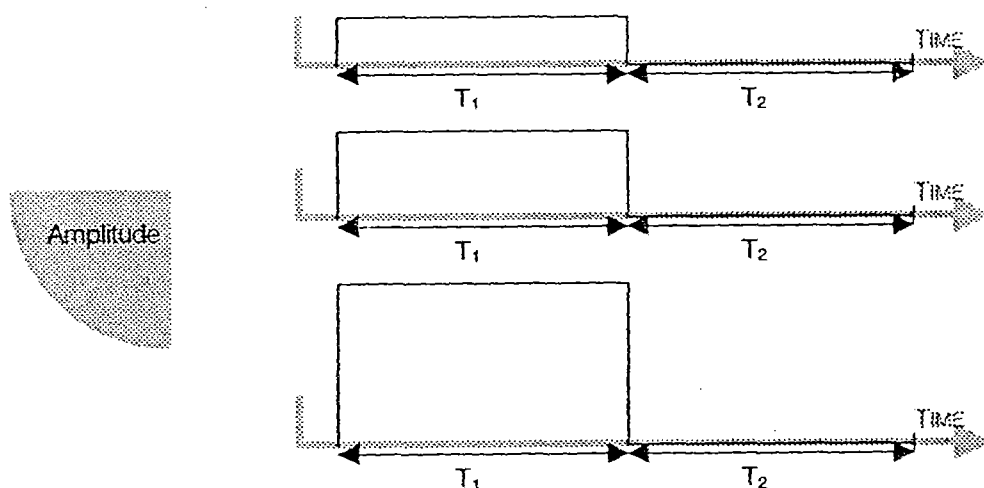
รูปคลื่นพัลส์ มีความถี่ที่ถูกกำหนด โดย $\frac{1}{T_1 + T_2}$ แสดงดังภาพประกอบ 33

ตัวแปรตัวที่ 2 เป็นความถี่ของรูปคลื่นพัลส์ และเราสามารถดูจากภาพประกอบ 35 พัลส์ที่เปลี่ยนแปลงโดยการเปลี่ยนความถี่



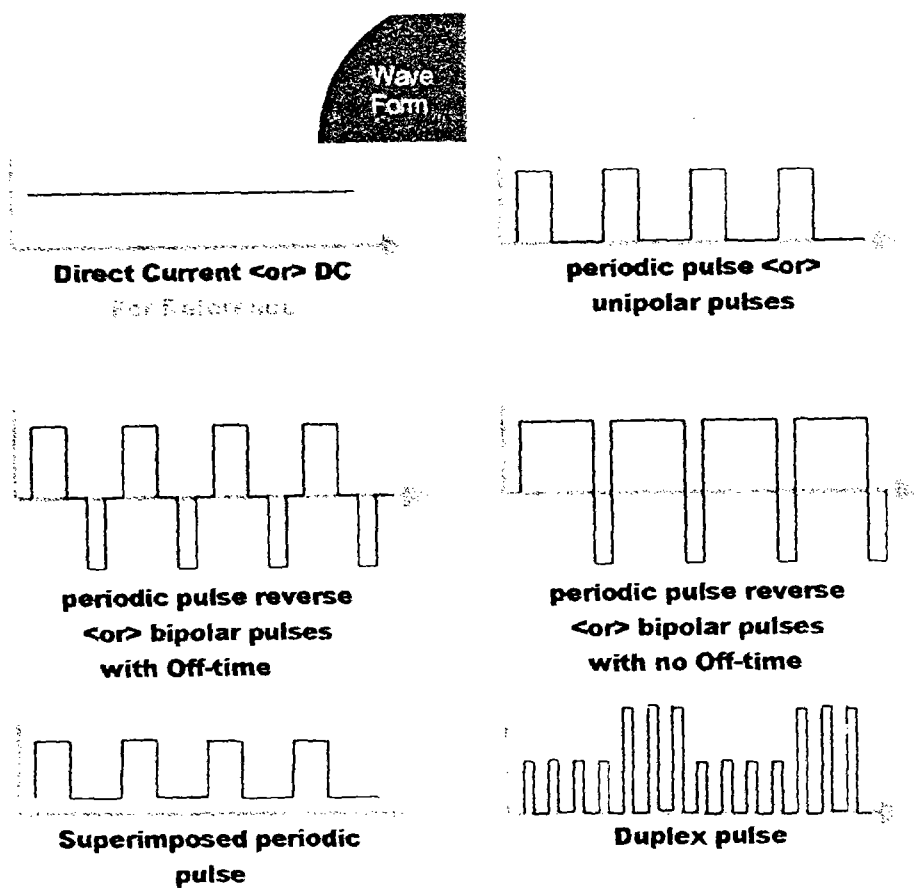
ภาพประกอบ 35 แสดงค่าความถี่เมื่อ T_1 และ T_2 เปลี่ยนแปลง (Frequency)

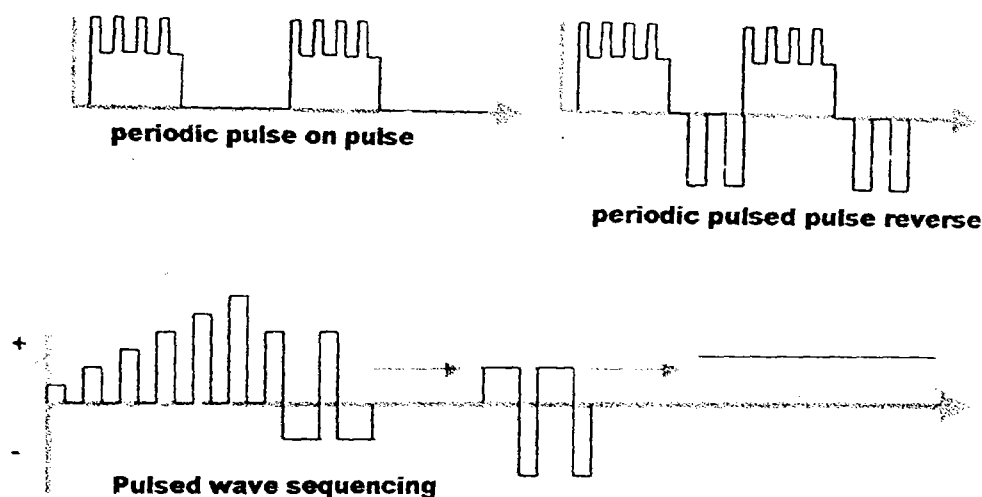
ตัวแปรตัวที่3เป็นขนาดซึ่งกำหนดโดยสัญญาณความสูงระหว่างเวลาการON ดังแสดงในภาพประกอบ 36



ภาพประกอบ 36 แสดงค่าขนาด (Amplitude) ของสัญญาณพัลส์

ตัวแปรอีกอันเป็นรูปคลื่นของตัวมันนั่นเอง ดังภาพประกอบ 37 เป็นการเปลี่ยนแปลงรูปคลื่นพัลส์ การซุบ ซึ่งบางรูปคลื่นมีการใช้ ณ ปัจจุบันอยู่ในการซุบ

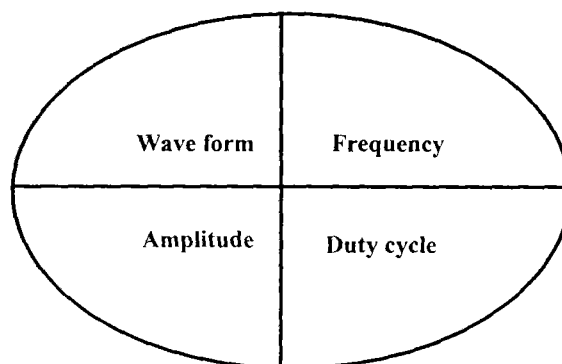




ภาพประกอบ 37 แสดงรูปคลื่นพัลส์ชนิดต่างๆที่ใช้ในการชุบ (Wave form)

อัตราส่วน และวิธีการประยุกต์ใช้พัลส์ในการชุบ เป็น ผลลัพธ์จากการเปลี่ยนแปลงจำนวนสัญญาณที่ไม่ใช่ ไฟตรง DC หลาย ๆ การประยุกต์ใช้พัลส์ในการชุบไม่ประสบผลสำเร็จเพราะว่าขาดแคลนการปรับแต่งรูปคลื่นที่เหมาะสม เช่นการปรับค่าวัฏจักรงาน (Duty cycle), ความถี่ (Frequency) และ-ขนาดรูปคลื่น (Amplitude) ในภาพประกอบ 38 การรวมตัวแปรต่างๆที่เหมาะสมโดยมีการเปลี่ยนแปลงรวมกัน ซึ่งให้ระบบประสบผลลัพธ์ตามต้องการและผลลัพธ์ที่อาจจะไม่สามารถทำให้สำเร็จได้ถ้าใช้ไฟกระแสตรง DC ธรรมดา

ประโยชน์หลายอย่างรวมถึงการปรับปรุงความสามารถในการผลิต การลดค่าใช้จ่ายและสามารถบรรลุคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนด(Spec) (ตัวอย่างเช่นการ Deposit ที่สวยงาม) หรือได้รูปทรงทางเรขาคณิตที่สมบูรณ์ ซึ่งไม่มีก่อนการชุบ



ภาพประกอบ 38 แสดงตัวแปรค่าๆที่เหมาะสมโดยการเปลี่ยนแปลงรวมกันระหว่าง รูปคลื่น ความถี่ ขนาดความสูงคลื่น ค่าวัฏจักรหน้าที่

3. PULSE PLATING POWER SUPPLY OVERVIEW

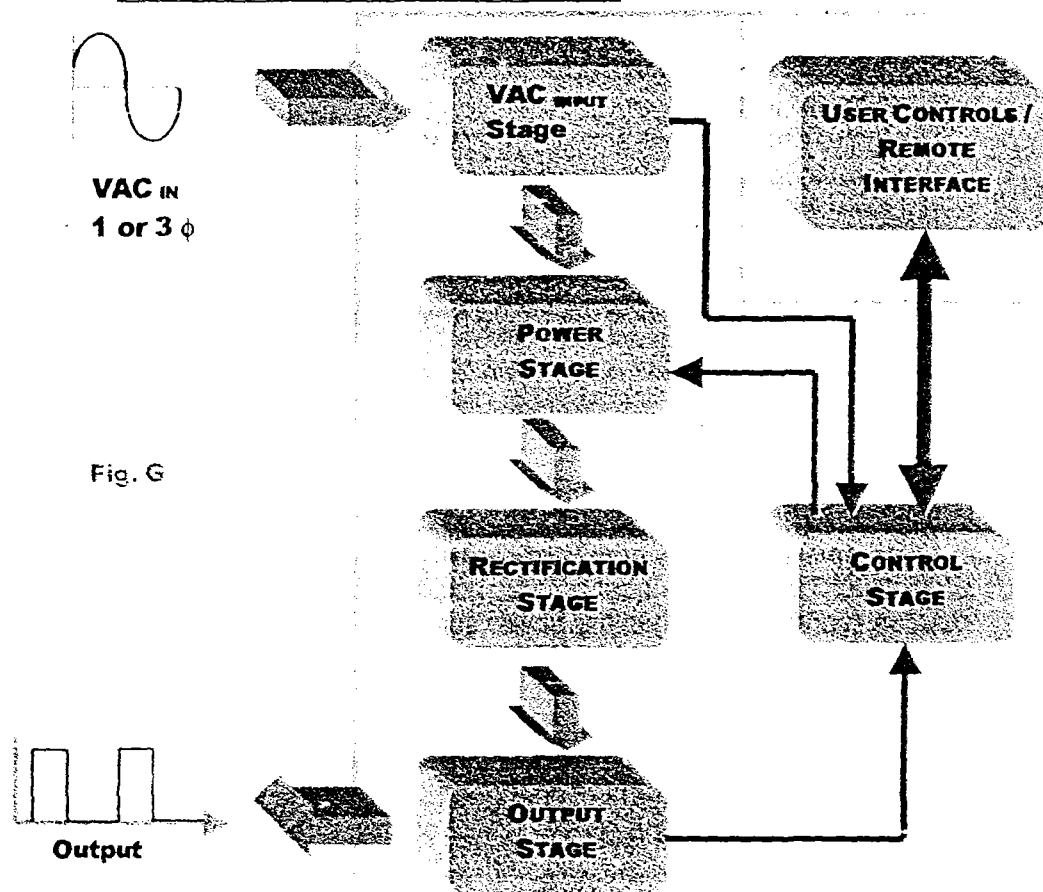


Fig. G

ภาพประกอบ 39 ภาพรวมของ Pulse Plating Power Supply

ภาพประกอบ 39 เป็นแผนภูมิการไหลทั่วไปสำหรับพัลส์ในเครื่องจ่ายไฟฟ้า เครื่องหมายที่แสดงความก้าวหน้าในการจ่ายไฟฟ้าและการทำหน้าที่ของพัลส์ในการจ่ายไฟฟ้ามีมากกว่า 10 ปีผ่านมา

4.2 เทคโนโลยีกำลังแปลงสัญญาณ

การเพิ่มจำนวนของเทคโนโลยีจากที่มีอยู่ในการเปลี่ยนแปลงไฟ AC ด้านเข้าไปเป็นพัลส์ธรรมดาพัลส์กลับคาบคลื่น (Pulse Reverse) หรือลำดับพัลส์ที่เรียงเป็นลำดับ (Pulse Wave Sequencing) ทางด้านออก

ตาราง 3 แสดงการเปรียบเทียบเทคโนโลยีของ (Power Supply)

Technology เทคโนโลยี	Pulsing Performance คุณสมบัติในการ ชูป	Power Capability กำลังความ สามารถ	Transition times เวลาในการ เปลี่ยนคลื่น	Unit Size & weight ขนาด & น้ำหนัก
SCR	แย่	สูงมาก	ช้า	มาก
Linear เครื่องจ่าย แบบ ลิเนียร์	ดี	สูง	เร็ว	มาก
แบบการสวิตช์ /แบบเฟส Switch- Mode/Phase- Mode	ดี	สูง	ปานกลางถึงเร็ว	น้อย
รวมกันระหว่าง แบบ สวิตช์กับแบบลิ เนียร์	ดี	ปานกลาง	เร็ว	น้อย

- โดยทั่วไปเทคโนโลยี SCR ยังมีข้อบกพร่องในเรื่องความเร็วที่จะกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่เป็นสันลอน (crisp) ที่สมบูรณ์
- โดยทั่วไปเครื่องจ่ายไฟแบบลิเนียร์จ่ายไฟรูปคลื่นได้ดีแต่มีขนาดใหญ่ และจำกัดที่กำลังการจ่ายกระแสไฟฟ้า
- แบบสวิตช์ซึ่ง มีขนาดเล็กกว่าและเบากว่ามีการจ่ายไฟรูปคลื่นที่ดีและกำลังสูงกว่า มีเวลาการเปลี่ยนคลื่นช้ากว่าแบบลิเนียร์เล็กน้อยเล็ก
- การรวมกันของแบบสวิตช์ซึ่งและแบบลิเนียร์ได้ข้อจำกัดแต่ละเทคโนโลยี และมีข้อกำหนดทางคุณสมบัติในการใช้งานเครื่องในย่านการทำงานที่กว้างขวางจาก เอาท์พุต(output) สูงสุดถึงสัญญาณระดับต่ำ (Low signal levels)

4.3 แรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านเข้า (Input Voltage)

เครื่องจ่ายไฟการชูปด้วยไฟฟ้ามีการประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวางกับแรงดันไฟสลับ AC โดยประกอบด้วย 1 และ 3 ϕ เฟส กำลังในการจ่ายกระแสจะถูกกำหนดโดยโรงงานชูป อย่างไรก็ตามไฟที่จ่ายเข้า 3 ϕ เฟส จะถูกจ่ายที่ได้กำลังที่สูง ในเครื่องจ่ายไฟสำหรับการชูปด้วยไฟฟ้า

4.4 การจ่ายประเภท และการที่สม่ำเสมอ (Line and load regulation)

ภาระที่สม่ำเสมอราบเรียบ (Load Regulation) เป็นคุณสมบัติของเครื่องจ่ายไฟเพื่อรักษาความคงที่ระหว่างทางด้านออกการเปลี่ยนแปลงภาระ (Load) ที่เป็นอิสระต่อแรงดันทางด้านเข้า (AC line voltage)

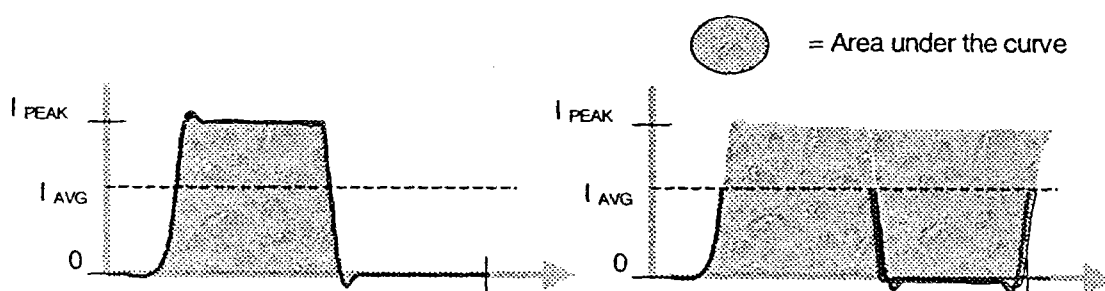
สิ่งนี้เป็นลักษณะสำคัญยิ่งสำหรับการจ่ายไฟการชุบ การขาดแคลนความสม่ำเสมอของไฟฟ้าที่ภาระจะทำให้เกิดความเสียหายต่อสัญญาณด้านนอก เช่น ทำลายผลที่ได้จากการชุบ ปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่ปรับปรุงความสม่ำเสมอในการรับภาระการจ่ายไฟ (Load regulation)

4.5 ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและระดับสัญญาณ RMS (Average, Peak and RMS signal level)

แนวคิดการแสดงค่าแอมพลิจูด (Amplitude) หรือขนาดของสัญญาณ ซึ่งจะมีค่าเฉลี่ย (Average) และค่าสูงสุด (Peak) เป็นคุณสมบัติพื้นฐาน เพื่อให้การชุบได้สัดส่วนเหมาะสมและได้อัตราการพัตของโลหะที่ชุบ (Deposit) ที่ดีค่าสูงสุด (Peak) ของขนาดสัญญาณ (Amplitude) ในภาพประกอบ 40 เท่ากับขนาด (Amplitude) ของสัญญาณระหว่างช่วงคาบคลื่นพัลส์ (period) ที่ปรากฏดังภาพประกอบ 41 สำหรับรูปคลื่นกลับด้านพัลส์ (Pulse reverse) จะมีขนาดค่าสูงสุดในช่วงบวก + และค่าสูงสุดในช่วงจังหวะลบ -



ภาพประกอบ 40 ค่ากระแสสูงสุดของสัญญาณพัลส์ (Periodic Pluse)



ภาพประกอบ 41 พื้นที่ค่ากระแสเฉลี่ยจากค่ากระแสสูงสุดในภาพประกอบ 40 (Area under the curve)

ค่าเฉลี่ยของระดับสัญญาณในภาพประกอบ 40 สามารถอธิบายได้ในภาพประกอบ 41 พื้นที่ภายใต้รูปคลื่นพัลส์จะถูกเฉลี่ยจากคาบการไหลเป็นจังหวะ (pulse period)

เราคิดว่ากระแสเฉลี่ย (Average Current) เป็นจำนวนกระแสทำงาน (Working Current) ซึ่งถูกจ่ายเข้าในงานชุบ ในกรณีไฟฟ้ากระแสตรง DC ค่าเฉลี่ย (Average) และขนาด (Amplitude) ของรูปคลื่นเท่ากัน

ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าสามารถคำนวณโดยใช้สูตร

$$I_AVG = \{ABS [(I1_peak)(I1_Dtcy)] + ABS[(I2_peak)(I2_Dtcy)] + ABS[(I3_peak)(I3_Dtcy)] + \dots\}$$

I_AVG แทน ค่าเฉลี่ยขนาดของสัญญาณไฟ (Average signal amplitude)

ABS แทน ค่าสมบูรณ์ (Absolute value)

IX- peak แทน ขนาดสัญญาณสูงสุดของสัญญาณสำหรับค่าสูงสุดใด ๆ

IX-Dtcy แทน ช่วง duty cycle สำหรับค่าสูงสุด Peak X

ภาพประกอบ 40 ค่าเฉลี่ย I Average = I 1 Peak (I1_{DUTYCYCLE}) คลื่นนี้มีเพียงค่าสูงสุด 1 ช่วงระหว่างคาบคลื่น

RMS หรือค่าการใช้งาน(Root Mean Square) ค่ากระแสนี้มีความสำคัญเช่น กันดังตัวอย่างข้างล่างที่แสดง

A - rms เป็นระยะที่ตกอยู่ระหว่าง A - pk และ A - dc สูตรโดยทั่วไป ณ เวลาใด ๆของการเปลี่ยนแปลงรูปคลื่น f(t) เป็น

$$A - dc : = \left[\frac{I}{T} \right] \int_0^T f(t) dt$$

$$A - rms : = \sqrt{\left[\frac{I}{T} \right] \int_0^T f(t)^2 dt}$$

สำหรับในกรณีรูปพัลส์ที่มีซีกครึ่งเดียว สูตรเป็นดังนี้

$$A - dc : = A - pk \cdot D ,$$

$$A - rms : = A - pk \sqrt{D}$$

ตัวอย่างรูปคลื่น 1000 A - pk และมี D (duty cycle) = 50 %

เรามี A _ pk = 1000 , A _ dc = 500 และ A _ rms = 707

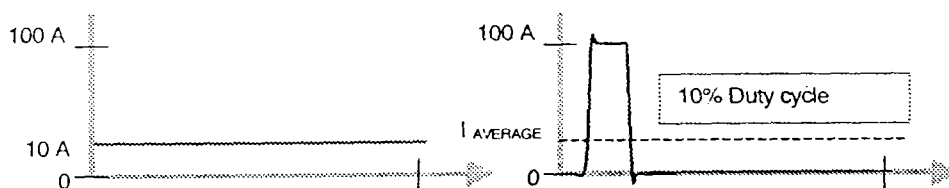
ค่า RMS ไม่ใช่ค่าสูงสุด(Peak)หรือค่าเฉลี่ย (Average) ซึ่งมันจะครอบคลุมอัตรากำลัง (Power rating) ของชุดแบ่งกระแส (Shunt) และสายไฟฟ้าเคเบิลที่ใช้

ตัวอย่าง กระแสที่ชุด Shunt ต้องการที่ 707 แอมป์ แม้ว่าค่ากระแสเฉลี่ยมีค่าเพียง 500 แอมป์ไฟตรง (Avg)

เทคโนโลยีสมัยใหม่ของเครื่องจ่ายไฟสามารถจ่ายไฟที่ค่าสูงสุด (Peak) ต่ออัตราส่วนค่าเฉลี่ย (A peak/A average) ที่สูงกว่า เทคโนโลยีเดียวกันนี้สามารถทำให้ค่าเฉลี่ยต่อค่าสูงสุดมีค่าแน่นอนและได้ผลสูงสุด

เมื่อพิจารณาขนาดของค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดสำหรับระบบการขับ ที่ภาระ (load) จะถูกพิจารณาให้แน่ใจว่า กำลังในการจ่ายไฟมีแรงดันเพียงพอกับขนาดของเครื่องจ่ายไฟในการให้กระแสสูงสุด ดังภาพประกอบ 42

ถ้าให้ระบบการขับที่ต้องการไฟ 2 โวลท์ที่ 10 แอมป์เมื่อแทนค่าที่ 10 เปอร์เซนต์ของค่าวัฏจักรหน้าที่ (Duty Cycle) จะได้รูปคลื่นพัลส์ต้องการไฟ 20 โวลท์(ไฟตรง) ที่ 100 แอมป์ ที่เป็น ค่าสูงสุด(Peak) เพื่อรักษาค่าเฉลี่ยในการขับให้คงที่ 10 แอมป์ แม้ว่ามันจะเป็นการแสดงควมหมายในเชิงคณิตศาสตร์ ระดับแรงดันขนาดนี้อาจจะไม่เป็นที่ยอมรับในการขับ เช่นเดียวกันจะมีการเพิ่มค่ากระแสใช้งาน RMS สำหรับชนิดของรูปคลื่นพัลส์เช่นการปรับค่าเช่นนี้ จะต้องการสายไฟที่มากความสามารถทนกระแสได้สูง



ภาพประกอบ 42 แสดงค่ากระแสเฉลี่ยของรูปคลื่นพัลส์เมื่อค่าวัฏจักรหน้าที่เท่ากับ 10% ที่กระแสสูงสุด 100 Amp. (I_{Average} and I_{peak} at load)

4.6 ความสม่ำเสมอระหว่างแรงดันและกระแส (VOLTAGE VS CURRENT REGULATION)

ความสม่ำเสมอของกระแสเครื่องจ่ายไฟ (ธรรมชาติอ้างอิงที่กระแส) ความสม่ำเสมอของขนาดรูปคลื่นของกระแสต้านออก(output) สำหรับภาพประกอบ 40 I_{peak} กระแสสูงสุดถูกกำหนดในหน่วยแอมแปร์ แรงดันไฟต้านออกถูกกำหนดจากกระแสต้านออก (output) และความต้านทานหรืออิมพีแดนซ์ของระบบการชูป ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของการเครื่องจ่ายไฟ

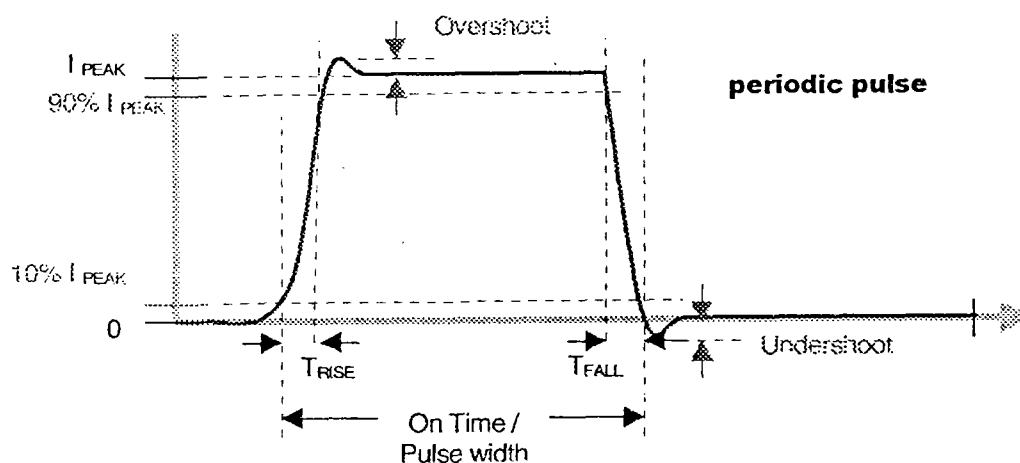
ความสม่ำเสมอของแรงดันเครื่องจ่ายไฟ (โดยการปรับมาที่แบบแรงดัน) ขนาดความสม่ำเสมอของพัลส์ ในแรงดันต้านออก ภาพประกอบ 40 I_{peak} ถูกกำหนดในเงื่อนไขของแรงดันไฟ กระแสต้านออกถูกกำหนดโดยแรงดันไฟฟ้า และค่าความต้านทาน หรือค่าอิมพีแดนซ์ของระบบการชูป ขึ้นอยู่กับความสามารถในการจ่ายไฟของเครื่องจ่ายไฟ

4.7 ย่านการทำงาน (Operating Range)

เป็นการยากสำหรับการใช้งานชูปในย่านการทำงานที่กว้างของเครื่องจ่ายไฟ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของชิ้นส่วนคาโทดที่ไม่คงที่มีการเปลี่ยนแปลงจากงานชูปชนิดต่างๆ โดยธรรมชาติแล้ว SCR ทำงานภายในขนาดพารามิเตอร์ระหว่าง 20% ถึง 90% ของอัตราต้านออกสูงสุด (Maximum rated output) ย่านการทำงาน (Operating range) เป็นจุดวิกฤตของเครื่องจ่ายไฟแบบพัลส์เพราะว่าเหตุผลหลายประการที่ซับซ้อนของการจ่ายไฟต้านออกเทคโนโลยีได้ปรับปรุงย่านการทำงานของเครื่องจ่ายไฟปัจจุบันเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าสามารถทำงานได้อย่างเชื่อมั่นระหว่าง 5 % - 100 % แน่นอนว่าบริษัทสามารถผลิตกำลังการจ่ายไฟในการทำงานต่ำกว่า 2-3 เปอร์เซ็นต์ ของค่าสูงสุดจนถึง 100 %

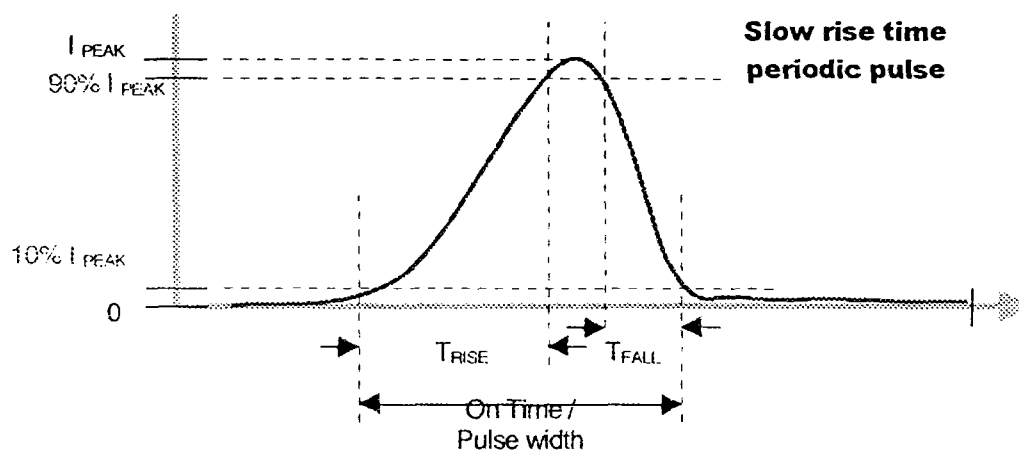
4.8 เวลาการเปลี่ยนคลื่น (Transition time)

ในภาพประกอบ 43 แสดงให้เห็นว่าเวลาการเปลี่ยนคาบคลื่นพัลส์เวลาไต่ขึ้น (T_{RISE}) ของสัญญาณเคลื่อนจาก 10-90% ของขนาดสูงสุดของสัญญาณ เวลาไต่ลง (T_{FALL}) มีการ Overshoot และ Undershoot

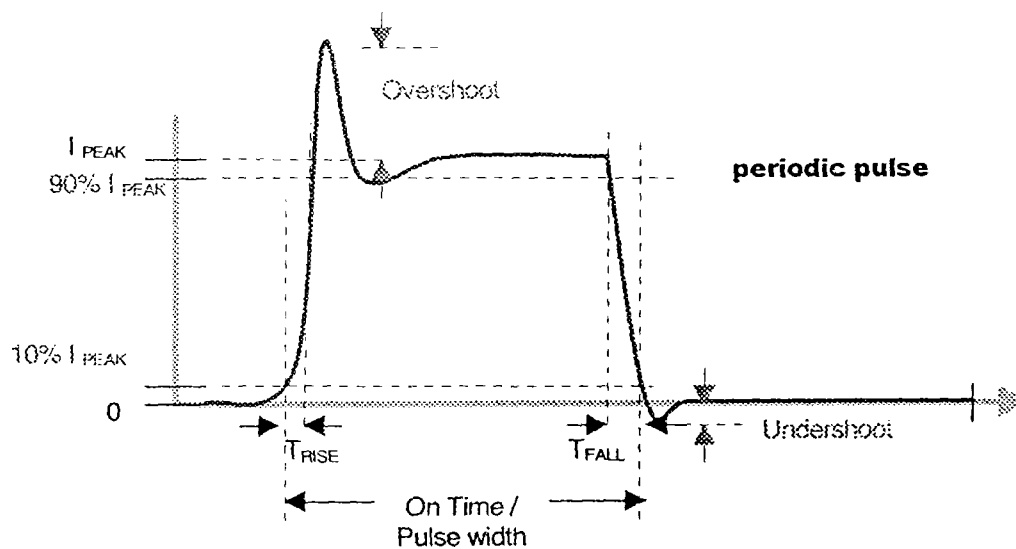


ภาพประกอบ 43 แสดงเวลาการเปลี่ยนคาบคลื่นพัลส์ที่เวลาไต่ขึ้น (Trise) 10-90% ของขนาดสูงสุดของสัญญาณ (Periodic Pluse have Overshoot and undershoot)

สัญลักษณ์การปรับปรุงเวลาไต่ขึ้นแสดงถึงความสามารถของรูปคลื่น เวลาไต่ขึ้นและเวลาดตกเป็นจุดที่ต้องให้ความสนใจ เพราะมันเป็นสัญญาณ บอกถึงการทำลายรูปคลื่นได้ภาพประกอบ 44 เป็นตัวอย่างพัลส์ที่บิดเบี้ยวในหนึ่งคาบคลื่นเวลาไต่ขึ้นมีช่วงเวลาเข้าใกล้เคียงกับความกว้างของพัลส์ (Pulse width) จำนวนการสูญเสียพลังงานที่มีผลทำให้การซบที่ช้ากว่า พลังงานที่แสดงที่น้อยกว่าทำให้ต้องใช้เวลาในการซบที่นานกว่าที่ขึ้นงานเดียวกันต้องระมัดระวังในการทำเครื่องจ่ายไฟที่ไม่บรรจุถึงเวลาไต่ขึ้นที่รวดเร็ว สิ่งที่ต้องเสียไปคือมีการเลยOvershootของสัญญาณเกิดขึ้นซึ่งจะทำให้เกิดการทำลายสภาวะการซบในถึงซบดังภาพประกอบ 45



ภาพประกอบ 44 แสดงตัวอย่างพัลส์ที่บิดเบี้ยวในหนึ่งคาบคลื่นที่เวลาไต่ขึ้นช้ามาก (Slow rise time periodic pulse)

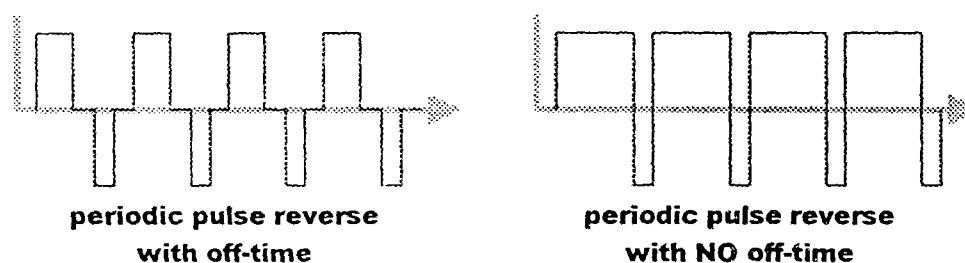


ภาพประกอบ 45 แสดงสัญญาณพัลส์ที่มีค่าการกระโดดของกระแส (Over shoot) ซึ่งทำลายสภาวะการซบในถึง (Signal Overshoot of periodic pluse)

ชนิดของเวลาไต่ขึ้น (Rise times) ของเครื่องจ่ายไฟมีอัตรา 10-50 ไมโครวินาที สิ่งนี้สามารถทำให้พัลส์มีค่าอยู่ที่ 100 ไมโครวินาทีการผลิตเครื่องจ่ายไฟนั้นจะผลิตให้ขณะเครื่องทำงานมีเวลาไต่ขึ้นที่เร็วกว่าตามต้องการที่ 1-10 ไมโครวินาที เพื่อลดความกว้างของพัลส์และเพิ่มความถี่สำหรับการจ่ายกระแสที่แน่นอน

4.9 ระดับการเปลี่ยนพัลส์ที่เป็นศูนย์ (Zero Level Transitions)

รูปคลื่นพัลส์กลับด้าน (Pulse reverse) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วงโดยสิ้นเชิง พิจารณาดูการเปลี่ยนพัลส์ระดับศูนย์ดังตัวอย่างในภาพประกอบ 46



ภาพประกอบ 46 แสดงพัลส์กลับด้าน (Pulse reverse)แบบมีเวลาการปิด (With off time)และไม่มีเวลาปิด(Periodic Pluse reverse with of time and with no off time)

การเลือกชนิดเครื่องจ่ายไฟที่ถูกต้องขึ้นอยู่กับกระบวนการเคมี และการใช้งาน อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้วคาบพัลส์กลับด้าน (Pulse Reversal) โดยไม่มีช่วงเวลาหยุด (Off Time) จะใช้กับเหตุผล 2 ประการ

- เวลาหยุดไม่มีการถ่ายโอน กำลังและมีการทำงานของอ็อกซิเจนน้อยที่สุด สถานการณ์ที่แน่นอนเวลาหยุดหลังจากการกลับคาบคลื่น (Reverse) อาจจะทำให้ความเสียหายกับสภาวะสารเคมีในถังชุบ (Plating bath) การจ่ายกำลังในการชุบซึ่งต้องการหยุดชั่วขณะ (Pause) เมื่อการสวิตช์ระหว่างวงรอบคลื่นบวกและลบ ชีตความสามารถการชุบมีอัตราต่ำกว่าเนื่องจากการหน่วงที่เวลาเดียวกัน สำหรับความกว้างพัลส์ที่แคบ ซึ่งเวลาการหน่วงนี้มีนัยสำคัญเป็น 7

- ในการประยุกต์ใช้แน่นอนต้องการยึดเกาะที่เป็นแผ่นเกล็ด ในงานชุบที่ได้รับการเลือกสรรแล้ว เวลาหยุด (Off time) จะช่วยให้เกิดการละลายแผ่นเกล็ดนี้แน่นอนว่าในเทคโนโลยีสมัยก่อนเป็นการยากที่จะทำรูปคลื่นกลับด้าน (pulse reverse) โดยไม่มีเวลาปิด (Off time)

4.10 การควบคุมการสั่งงานและการใช้งาน

เครื่องจ่ายไฟที่ใช้ในการชุบแต่เดิมมีการควบคุมที่ง่ายมาก สามารถทำให้การจำกัดตัวเลขการปรับไฟ DC ตามต้องการ แรงดันและกระแส ซึ่งเป็นการใช้โดยผู้ใช้งานปกติ ขณะที่การจ่ายไฟแบบพัลส์มีจำนวนการปรับที่มากกว่า (เวลาฟอร์เวิร์ด (forward time) เวลารีเวิร์ด (Reverse time) ขนาดด้านฟอร์เวิร์ด (Forward-Amplitude) ขนาดด้านรีเวิร์ด (Reverse-Amplitude) เป็นอย่างน้อย การควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์กลายเป็นจุดที่ต้องใช้ความระมัดระวังมากกว่าในการบรรลุโดยปราศจากความผิดพลาดในการทำงาน

กลไกการปรับโดยใช้นิ้วปรับแบบกดปุ่ม ได้ถูกแทนที่โดยการควบคุมแบบดิจิทัลสมัยใหม่และการแสดงแบบดิจิทัลทำให้ลดการผิดพลาด แก้ไขเวลาในการตั้งค่าและความสามารถในการอ่าน

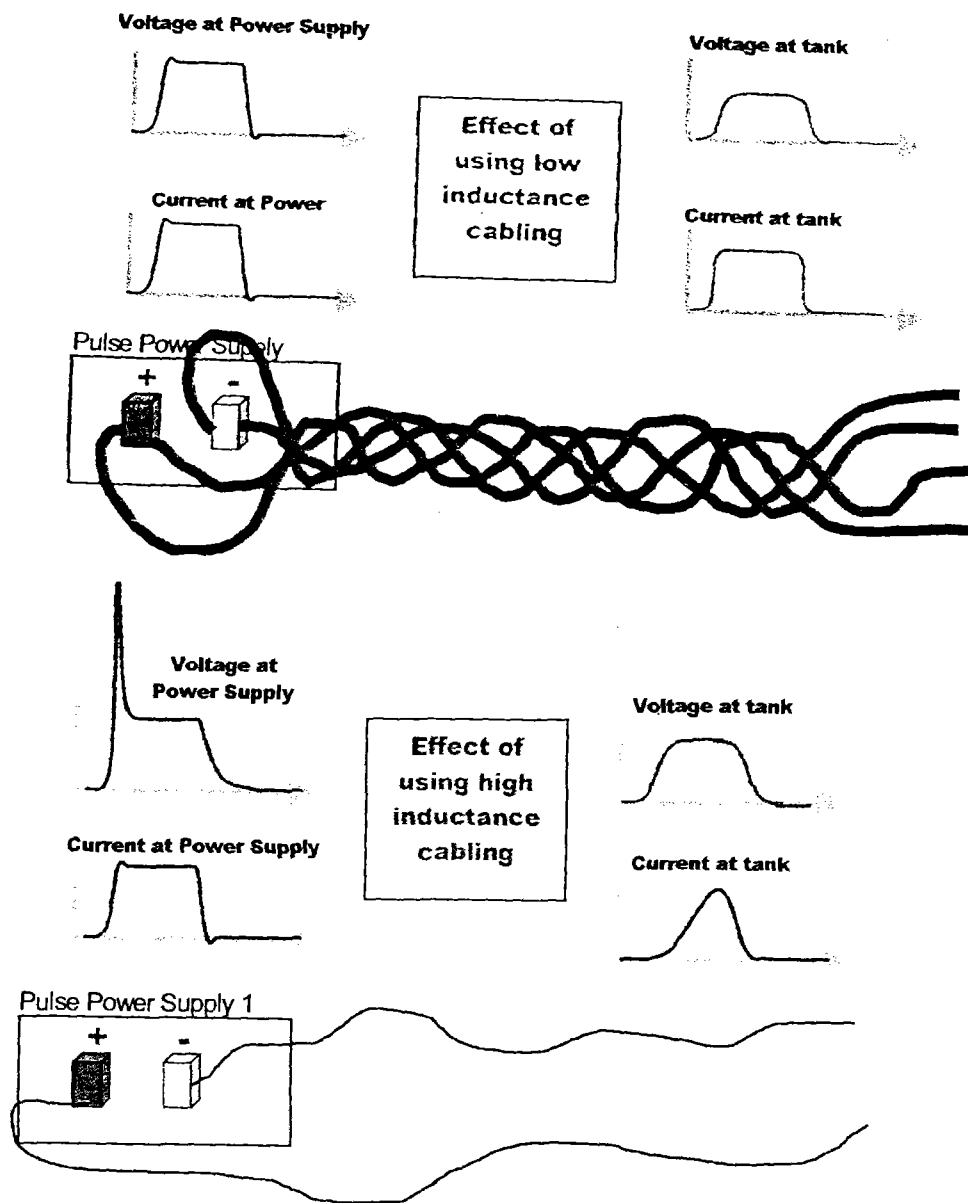
มีการพัฒนาจนนำไปสู่การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุมทำให้สามารถ

- มีเมนูแสดงค่าต่างๆเป็นระบบดิจิทัล
- มีการเก็บค่าและสามารถเรียกคืนโปรแกรมของรูปคลื่นได้
- ใช้สัญญาณดิจิทัลในการสั่งงาน

4.11 ค่าอินดักแตนซ์ของเคเบิล

ค่าอินดักแตนซ์สามารถทำให้เกิดความต้านทานทางแม่เหล็กเกิดการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสในตัวนำ รูปคลื่นพัลส์ที่ต่อเนื่องจะเกิดการเปลี่ยนแปลงกระแสในแต่ละการเปลี่ยนของพัลส์ (Pulse transition) อินดักแตนซ์จะไปทำลายรูปคลื่นพัลส์ให้กลายเป็นรูปคลื่นที่ไม่สามารถใช้ในการชุบโดยไฟฟ้ากระแสตรง ค่าอินดักแตนซ์เป็นการทำลายเวลาไต่ขึ้นและเวลาดกโดยดูได้ในภาพประกอบ 44

เวลาในการไต่ขึ้นและเวลาดกของการชุบของเครื่องจ่ายไฟมีผลจากการควบคุมค่าอินดักแตนซ์ตามภาพประกอบ 47



ภาพประกอบ 47 แสดงผลของการใช้สายเคเบิลที่มีค่าอินดักแตนซ์ต่ำและสูง

โดยทั่วไปแนะนำให้มีการลดค่าอินดักแตนซ์

- ควรวางเครื่องจ่ายไฟให้ใกล้ถึงขั้วเพื่อลดความยาวของสายไฟและบัสบาร์
- ใช้สายไฟขนาดใหญ่หรือบัสบาร์ที่ใหญ่เพื่อเพิ่มพื้นที่
- พยายามให้ตัวนำอยู่ใกล้กันมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ โดยการพันเป็นเกลียวสำหรับบัสบาร์ (Bus bar) วางให้ขนานให้ใกล้กันที่สุด เท่าที่จะมีความปลอดภัยที่สุด
- การเพิ่มอัตราขยายสามารถทำได้โดยการรันโดยพันสายเคเบิลเป็นเกลียวคู่ (Multiple twist pair) เป็นการแบ่งกระแสระหว่างกัน

4.12 ขนาดและน้ำหนัก (Size and Weight)

เทคโนโลยีสมัยใหม่ของเครื่องแปลงไฟฟ้ามีการลดทั้งขนาดและน้ำหนัก เช่นการเปรียบเทียบแบบSCR หรือแบบลิเนียร์ ความถี่สูงกว่าเป็นผลลัพธ์มาจากการลดน้ำหนัก และขนาดของกำลังและสัมพันธ์กับวงจร ผลลัพธ์ของการพัฒนาเป็นดังนี้

- มีขนาดเล็กสามารถวางใกล้ถึงจุดได้ ลดค่าอินดักแตนซ์ซึ่งแสดงในหัวข้อ ค่าอินดักแตนซ์ของสายเคเบิล ถ้าวางใกล้ถึงไม่ได้จากทำให้สูญเสียค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงสายไฟฟ้าที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำบางกรณี ค่าใช้จ่ายสูงกว่าเครื่องจ่ายไฟฟ้า
- มีขนาดเล็กทำให้ไม่สิ้นเปลืองพื้นที่
- น้ำหนักเบาทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง
- น้ำหนักเบาสามารถยกไปที่ใด ๆ ได้สะดวก เช่น การซ่อม การปรับแต่ง การเปลี่ยนแปลง (Enrique . 2000 : 1-24)

5. เทคโนโลยีกับการใช้งานแหล่งจ่ายไฟตรง

แนวความคิดในยุคต้นๆ ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เพียงประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อเป็นตัวลดระดับแรงดันไฟฟ้าลงตามที่ต้องการ และยังเป็นการแยกกันทางไฟฟ้าของวงจรออกจากระบบไฟฟ้าหลัก และมีส่วนประกอบอื่นคือ วงจรเรียงกระแส และวงจรกรองแรงดันเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียบเท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติแล้วแรงดันไฟฟ้าตรงเอาต์พุตที่เรียบนั้นอาจจะไม่สามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ตลอดได้ เนื่องจากสาเหตุ 2 ประการ คือ

1. ระดับแรงดันไฟฟ้าหลักไม่คงที่ ซึ่งมักจะเกิดขึ้นเสมอๆ และยากที่จะตรวจสอบหรือแก้ปัญหา
2. ภาวะของโหลดมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากบางครั้งโหลดดึงกระแสมากจนทำให้แรงดัน

เอาต์พุตตกลงมา

แหล่งจ่ายไฟฟ้านี้จึงถูกจัดว่าเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ไม่มีการรักษาเสถียรภาพแรงดันเอาต์พุต (Unregulation) การรักษาเสถียรภาพของแรงดันเอาต์พุตจัดเป็นสิ่งที่สำคัญมากในการจ่ายพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบให้แก่โหลดเหล่านี้คือ

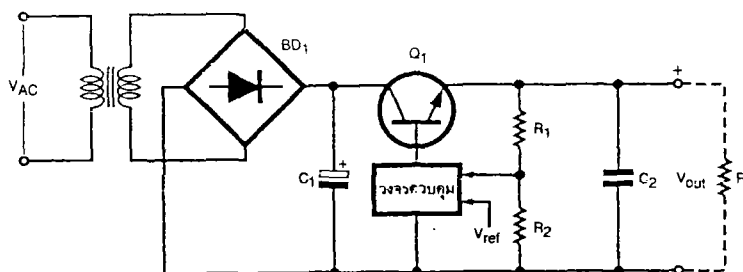
- เสถียรภาพทางแรงดันขาออกซึ่งต้องพยายามรักษาให้คงที่หรืออยู่ในช่วงที่ยอมรับได้
 - การแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตให้แหล่งจ่ายไฟ เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการใช้งาน และเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สวิตซ์ได้ (ทรานซิสเตอร์ มอสเฟต)
 - มีแรงดันเอาต์พุตหลายค่า (multiple output) เพื่อการใช้งานกับโหลดเป็นไปได้อย่างกว้าง เพราะระบบหนึ่งอาจใช้ทั้งไฟบวกและไฟลบที่ต่างระบบแรงดันกัน
 - ขนาดและน้ำหนักของแหล่งจ่ายไฟ ต้องมีประหยัดเนื้อที่และน้ำหนักซึ่งแนวโน้มของเทคโนโลยีสมัยใหม่สามารถทำให้มีขนาดเล็กลง
 - ประสิทธิภาพต้องพยายามให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุดเพื่อจะได้ใช้กำลังงานอย่างคุ้มค่าที่สุด
- แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในปัจจุบัน สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ
1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงเส้น
 2. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตซ์

5.1 แหล่งจ่ายไฟตรงแบบเชิงเส้น

แหล่งจ่ายไฟชนิดนี้มีส่วนประกอบดังภาพประกอบ 48 จะเห็นว่ามีส่วนที่เพิ่มเข้ามาคือ

ทรานซิสเตอร์ วงจรควบคุมกระแสเบส วงจรป้อนกลับ และวงจรกรองกระแสแรงดัน

โดยมีการทำงานคือ ทรานซิสเตอร์จะทำหน้าที่ในการจ่ายกระแสให้กับโหลดซึ่งจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับวงจรควบคุม โดยเป็นการเพิ่มหรือลดกระแสเบสเพื่อให้แรงดันเอาต์พุตคงที่ตามต้องการ ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในแหล่งจ่ายไฟแบบนี้จะทำงานเป็นเชิงเส้นอยู่ในย่านแอกทีฟ, แรงดันเอาต์พุตค่อนข้างเสถียรภาพดีกว่าแบบสวิตซ์



ภาพประกอบ 48 วงจรพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเชิงเส้น

และมีการแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพียงเล็กน้อย วงจรการทำงานไม่ซับซ้อน อุปกรณ์หาได้ง่าย มีราคาถูก สำหรับเครื่องขนาดเล็ก

แต่ข้อเสียที่ต้องแก้ไขมากได้แก่ การใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำ ซึ่งจะมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากกว่าหม้อแปลงที่ใช้ในความถี่สูงๆ และอีกอย่างหนึ่งคือ ทรานซิสเตอร์และหม้อแปลงมีการดูดซับพลังงานเป็น

ผลของกระแสที่ไหลผ่านตัวมันจะนั้นแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นมักมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 30% - 50%

5.2 แหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตซ์

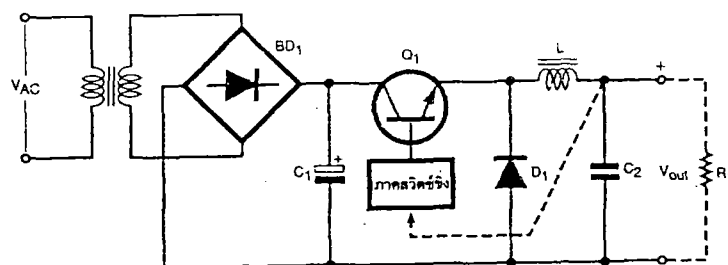
ความแตกต่างจากแหล่งจ่ายไฟแบบลิเนียร์อยู่ในส่วนเอาต์พุตของหม้อแปลง ดังภาพประกอบ 49 จะเห็นว่าส่วนที่แตกต่างกันคือ มีทรานซิสเตอร์, ภาควิตซ์, ไดโอดที่ใช้ในช่วงความถี่สูง และวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งประกอบด้วย ขดลวด(L) และตัวเก็บประจุ(C2) เพื่อทำหน้าที่เก็บพลังงานและทำให้กระแสและแรงดันของโหลดมีการกระเพื่อม (Ripple) น้อยลง

ส่วนทรานซิสเตอร์และภาควิตซ์นั้นจะทำงานต่างจากแบบเชิงเส้น โดยทรานซิสเตอร์จะทำงานแบบสวิตซ์ที่ความถี่สูง มีการทำงาน 2 ช่วงคือ ช่วงไม่นำกระแส ซึ่งมีความต้านทานสูงมากเหมือนสวิตซ์ถูกเปิด กับช่วงนำกระแสเมื่อตัวมีความต้านทานต่ำเหมือนปิดวงจร การสวิตซ์ด้วยความถี่สูงนี้เป็นการบังคับแรงดันเอาต์พุตด้วย

โดยในภาควิตซ์จะมีวงจรควบคุมการสวิตซ์ เป็นการควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ และวงจรควบคุมนี้ใช้เทคนิคการมอดูเลตทางความกว้างของพัลส์ (PWM) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนขยายความผิดพลาดของแรงดันเอาต์พุต โดยรับสัญญาณความแตกต่างของแรงดันเอาต์

พุดที่ต่อกับโหลดกับแรงดันที่ตั้งเอาไว้ นำไปขยายและนำไปยังส่วนที่สองคือ ส่วนเปรียบเทียบ และนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณรูปฟันเลื่อย ซึ่งสัญญาณที่ได้จะนำไปเป็นสัญญาณสำหรับการสวิตช์ในภาคสวิตช์

เนื่องจากใช้ความถี่ในการสวิตช์สูงมากประมาณ 200 kHz หม้อแปลงที่ใช้มักเป็นหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ที่มีขนาดเล็กและเบา ทั้งยังเป็นส่วนที่แยกทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตด้วย ในการออกแบบบางครั้งอาจไม่ใช้หม้อแปลงลดแรงดันไฟสลับที่อินพุต เพราะหม้อแปลงความถี่สูงจะมีราคาสูงตามไปด้วย



ภาพประกอบ 49 วงจรพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตช์

ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ทำงานเป็นแบบสวิตช์ ทำให้เกิดการสูญเสียน้อยกว่าแบบเชิงเส้นมาก ทั้งยังสามารถจ่ายกำลังงานเอาต์พุตได้สูงกว่าด้วย ประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายไฟสวิตช์ซึ่งขึ้นอยู่กับช่วง 70%-80%

ถึงแม้ว่าจะมีข้อดีทางคุณสมบัติอยู่มาก แต่ก็ต้องสนใจในจุดด้อยของมันที่ว่าวงจรมีความซับซ้อนและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้มักมีราคาสูงและหาซื้อได้ยากในประเทศ และจากการสวิตช์ที่ความถี่สูงจึงเกิดการรบกวนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) กับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ได้

จากโครงสร้างพื้นฐานและหลักการทำงานของแหล่งจ่ายไฟตรงทั้ง 2 แบบนั้น เราสามารถนำมาเปรียบเทียบจุดดีจุดเสียกัน ดังแสดงในตาราง

สำหรับแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตช์หรือเรียกอีกแบบว่า สวิตช์โวลต์เพาเวอร์ซัพพลาย (Switched Mode Power Supplies, SMPS) นั้นสามารถแบ่งตามชนิดของคอนเวอร์เตอร์ 2 ชนิดคือ

1. สวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์
2. เรโซแนนซ์โหมดคอนเวอร์เตอร์

5.2.1 สวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ (SMC)

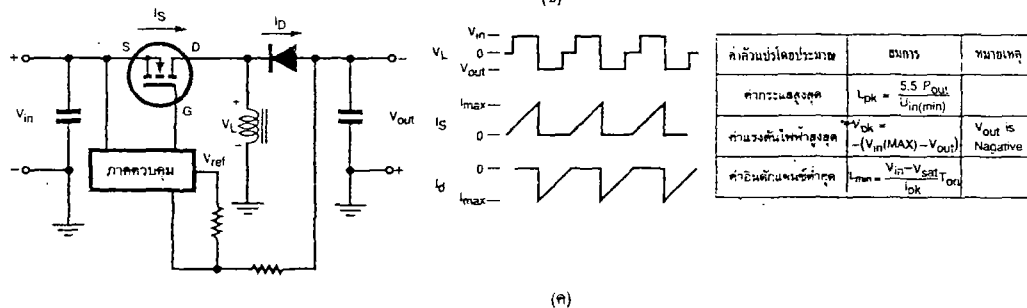
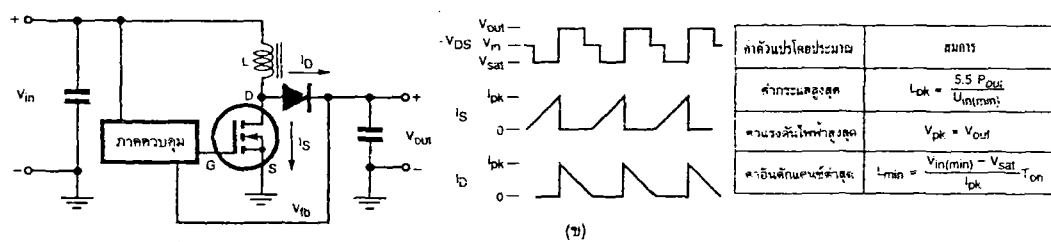
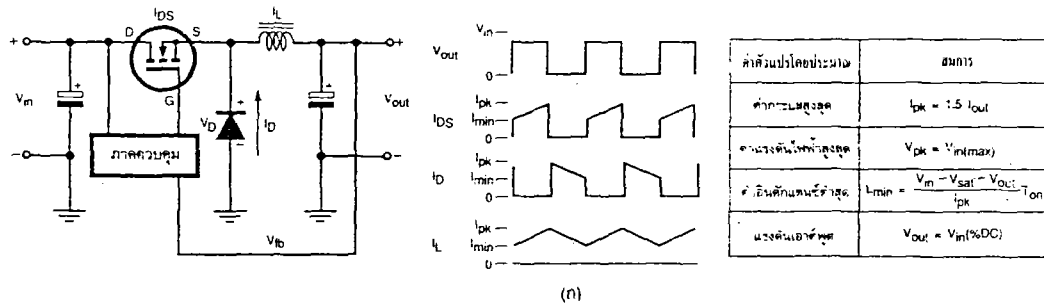
SMC ประกอบด้วย อุปกรณ์สามส่วนใหญ่ๆ เช่นเดียวกับโครงสร้างพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟสวิตช์ทั่วไปที่มี สวิตช์ ไดโอดความถี่สูง และวงจรกรองความถี่ต่ำและสามารถแบ่งชนิดของ SMC ได้โดยหม้อแปลงที่แยกอินพุตกับเอาต์พุต ซึ่งก็จะเหมาะกับการใช้งานแตกต่างกันไป

5.2.2 SMC ชนิดไม่มีหม้อแปลงเฟอร์ไรต์

SMC แบบนี้จะใช้ขดลวดเป็นตัวเก็บพลังงานแม่เหล็กไว้และเหมาะสมกับการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า กระแสตรง เช่น มอเตอร์ ซึ่งมีการจัดแบ่งวงจรได้ 2 ชนิด ตามลักษณะการวางของขดลวด (L) ดังนี้

5.2.3 บัคเรกูเลเตอร์ (Buck Regulator)

ดังภาพประกอบ 50 (ก) เป็นเรกูเลเตอร์ที่ผลิตแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย (V_{out}) มีค่าต่ำกว่าแรงดันอินพุต (V_{in}) เสมอ เมื่อสวิตช์ปิดไดโอดทำงานในสภาวะป้อนกลับ ขดลวดมีกระแสไหลผ่านไปยังโหลดและสะสม



ภาพประกอบ 50 ก.บัคเรกูเลเตอร์(Buck Regulator) ข.บูสต์เรกูเลเตอร์(Boost Regulator) ค.บัคบูสต์เรกูเลเตอร์(Boost Regulator)

พลังงานในรูปสนามแม่เหล็กไว้ จนวงจรป้อนกลับตรวจสอบว่าแรงดันขาออกถึงระดับที่ตั้งไว้ วงจรควบคุมจึงจะสั่งให้เปิดสวิตช์ เส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดยุบตัวและยังคงรักษากระแสให้ไหลไปยังโหลด แต่จะกลับทิศทางการไหลไปไบแอสให้ไดโอดนำกระแสทำให้การทำงานครบวงจร ในทางทฤษฎีเราถือว่าแรงดันเอาต์พุตเรียบมาก ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุเอาต์พุตจึงเป็นค่าคงที่และจากสมการ

$$I = C \, dv/dt$$

จึงได้ว่าไม่มีกระแสไหลผ่านตัวเก็บประจุนั้น เพราะฉะนั้นกระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านขดลวดก็เป็นกระแสเดียวกันกับกระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านโหลด ทำให้แรงดันเอาต์พุตน้อยกว่าอินพุตเสมอ

5.2.4 บูสต์เรกูเลเตอร์ (Boost Regulator)

ในภาพประกอบ 50 (ข) อุปกรณ์ต่างๆของ เรกูเลเตอร์แบบนี้ก็คล้ายกับแบบแรก แต่มีการสลับตำแหน่งกันเล็กน้อย หลักการทำงานก็คล้ายคลึงกัน

เมื่อสวิตช์ปิดหรือมอสเฟตทำงานขดลวดสะสมพลังงานจากกระแสที่เพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้น จนกระทั่งสวิตช์เปิดตามคาบเวลาที่ตั้งเอาไว้ที่ภาคควบคุม ขั้วแรงดันที่กลับกันนี้เองทำให้เป็นการยกกระดับแรงดันอินพุตให้สูงขึ้น ทำให้ V_{ds} จึงมีค่าเท่ากับ $V_{in} + V_L$ หรือเท่ากับ $V_{didode} + V_{out}$ จะเห็นว่าแรงดันเอาต์พุตของเรกูลเตอร์แบบนี้มีขนาดแรงดันที่สูงขึ้นกว่าอินพุต

ส่วนกระแสที่ไหลผ่านขดลวดนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ ลักษณะแรกเป็นการไหลอย่างไม่ต่อเนื่อง เกิดได้เนื่องจากการที่ขดลวดคายพลังงานหมดก่อนเวลาที่จะถึงช่วงสะสมพลังงานอีกครั้ง ดังภาพ I_s และ I_d ในภาพประกอบ 50 (ข) ซึ่งในรูปนี้เป็นการไหลที่ต่อเนื่องพอดี

การประยุกต์ของเรกูลเตอร์ทั้ง 2 ชนิดนี้มีมากมายตามแต่การใช้งาน เช่น บัค-บูสต์เรกูลเตอร์ในภาพประกอบ 50 (ค) ซึ่งเป็นการผสมรูปแบบการทำงานของ 2 วงจรพื้นฐาน ซึ่งขดลวดสะสมพลังงานช่วงปิดสวิตช์ พอเมื่อสวิตช์จะคายพลังงานผ่านกราวด์ไปยังตัวเก็บประจุและไดโอด ทำให้เกิดแรงดันเอาต์พุตเป็นลบ ทั้งขนาดที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าแรงดันอินพุตก็ได้ขึ้นอยู่กับวงจรควบคุม

5.2.5 SMC ชนิดมีหม้อแปลงเฟอร์ไรต์

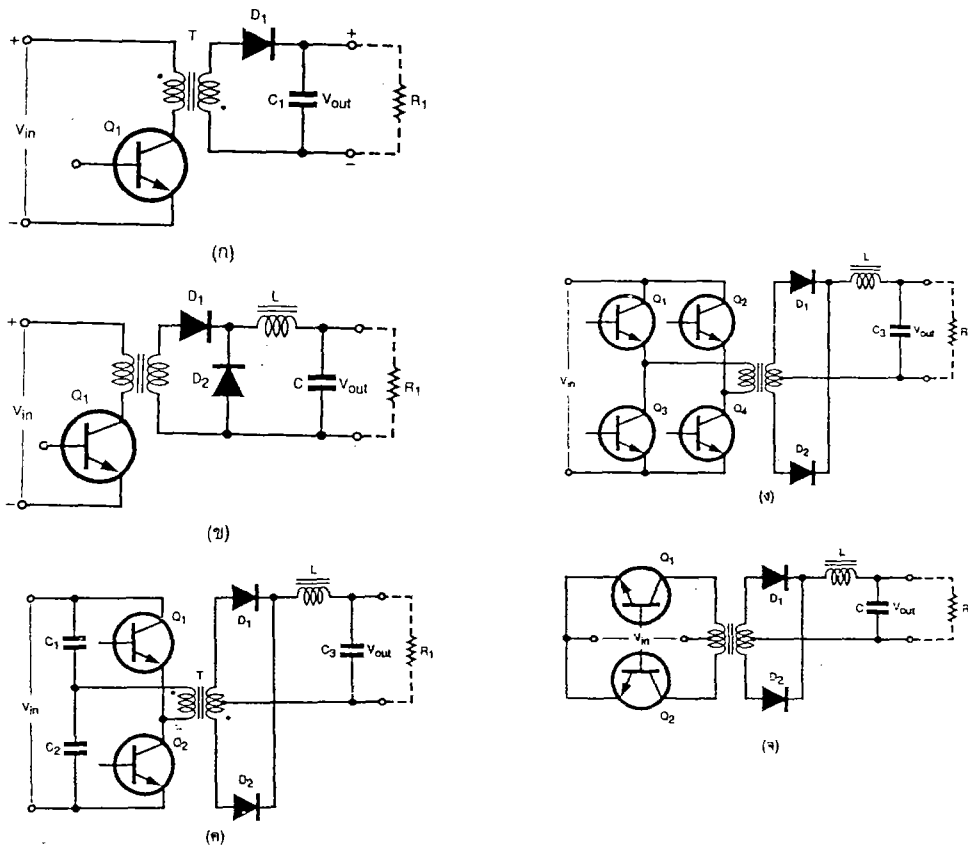
จากชนิดที่ไม่มีหม้อแปลงเฟอร์ไรต์จะมี ข้อเสียที่ว่าไม่มีเพียงแต่ตัวอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่แยกเอาต์พุตออกจากอินพุต หากผลทางทรานเซียน์อาจจะทำให้อุปกรณ์สวิตช์เสียหายได้ จึงทำการเพิ่มหม้อแปลงเฟอร์ไรต์ในวงจรเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งโครงสร้างและหลักการทำงานต่างก็เป็นการดัดแปลงจากแบบแรกเล็กน้อย และยังเป็นตัวเก็บพลังงานแทนขดลวด

เหตุที่ใช้แกนเฟอร์ไรต์ เพราะเป็นการสวิตซ์ความถี่สูง ซึ่งไม่เหมาะสมกับ การใช้แกนเหล็ก ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้วัสดุผสมกันระหว่างแมกนีเซียมกับสังกะสี (MnZn) และนิเกิลกับสังกะสี (NiZn) ซึ่งทั้งสองชนิดนี้สามารถทำงานได้ถึงในย่านความถี่ 1-3 MHz

ซึ่งแบบนี้จะมีลักษณะ การใช้งานอยู่ 2 แบบคือ แบบฟอร์เวิร์ดและฟลายแบค และจะแตกต่างกันตรงที่แบบฟอร์เวิร์ดกระแสของหม้อแปลงทางขดทุติยภูมิจะมีเฟตตรงทางปฐมภูมิ ส่วนแบบฟลายแบคจะใช้วิธีการเก็บพลังงานจากขดปฐมภูมิไว้ที่ขดทุติยภูมิก่อน ในขณะที่ภาคเรกติไฟร์อยู่ในสภาวะไม่นำกระแส

5.2.6 การทำงานแบบฟลายแบค

ในภาพประกอบ 51 (ก) T จะทำงานตามจังหวะการทำงานของ Q1 ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ของพัลส์ที่ป้อนให้ขาเบสของ Q1 แต่ D1 นั้นจะทำงานเมื่อ Q1 หยุดทำงาน ทำให้มีค่า V_{out} ได้ เมื่อ Q1 หยุดทำงานและวิธีการนี้สามารถเลือกย่านการทำงานแบบต่อเนื่องหรือเป็นช่วงๆ ได้ตามลักษณะของโหลด



ภาพประกอบ 51 ก. ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ข. ฟอว์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ค. ฮาฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์
ง. ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จ. พุชพูลคอนเวอร์เตอร์

5.2.7 การทำงานแบบฟอร์เวิร์ด

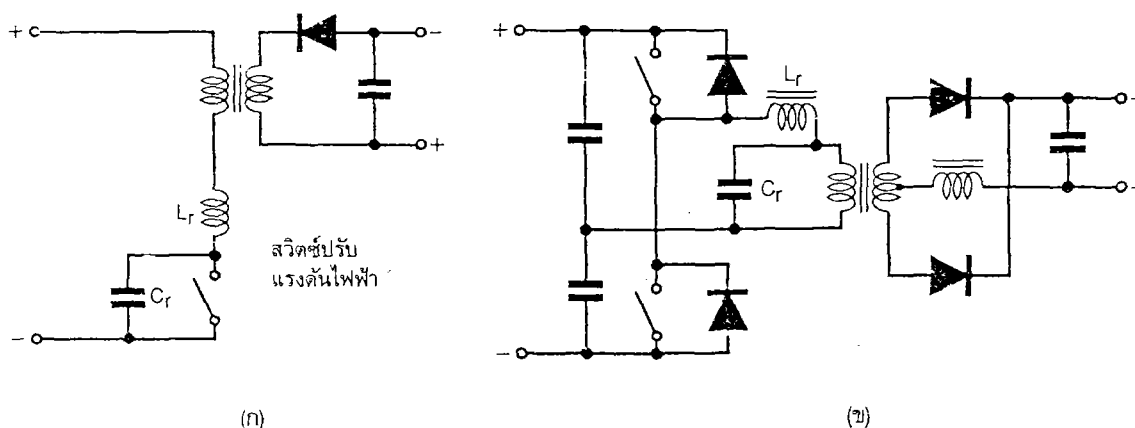
ในภาพประกอบ 51 (ข)-(จ) เป็นรูปแบบต่างๆของการต่อแบบฟอร์เวิร์ด ซึ่งมีข้อแตกต่างจากแบบฟลายแบคตรงที่การทำงานของ Q_1 กับ D_1, D_2 จะตรงกัน คือ เมื่อ Q_1 ทำงานจะทำให้มี V_{out} ปรากฏเช่นกัน และทางด้านอุปกรณ์แบบฟอร์เวิร์ดจะต้องมี L_1 มาช่วยในการสวิตช์ ทำให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าทางเอาต์พุตได้สูงกว่าแบบฟลายแบค

5.2.7 เรโซแนนซ์คอนเวอร์เตอร์ (RMC)

จากหลักการของ SMC จะพบว่าอุปกรณ์สวิตช์จะต้องทำงานเปิด-ปิดวงจรความถี่สูง หากมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมอุปกรณ์สวิตช์อยู่เมื่อทำการสับสวิตช์ทันทีทันใด ก็จะทำให้เกิดการกระชากของทั้งแรงดันและกระแสของสวิตช์อย่างรวดเร็วหรือเรียกว่าเป็นผลทรานเซียนยังถ้าเกิดที่ความถี่สูงมากๆ จะเป็นต้นเหตุทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวน (EMI) และคลื่นวิทยุรบกวน (RFI) ทั้งยังเป็นการสูญเสียกำลังไฟฟ้าบางส่วนไปด้วย

การแก้ไขเป็นไปได้ถ้าสามารถทำการเปิด-ปิดสวิตช์ขณะที่แรงดันหรือกระแสเป็นศูนย์พอดี โดยเพียงการเพิ่มวงจรเรโซแนนซ์แบบแมงคาเรือง (tank circuit) ที่ประกอบด้วย L_1 กับ C_r เข้าไปในวงจร SMC ซึ่งเทคนิคนี้กำลังเป็นที่สนใจอย่างมากในปัจจุบัน เพราะสามารถทำงานที่ความถี่สูงมากตั้งแต่ 1 MHz ขึ้นไป สามารถจ่ายกำลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่าแบบเดิม ที่สำคัญคือ มีประสิทธิภาพสูงกว่าแหล่งจ่ายไฟตรงชนิดอื่นคือ ประมาณ 85% - 90%

วงจรเทงก์มีการต่อใช้งาน 2 แบบ คือ แบบอนุกรมกับเซตปฐมภูมิของหม้อแปลงเฟอร์ไรต์ ดังในภาพประกอบ 52 (ก) กับแบบขนานกับเซตปฐมภูมิ ดังในภาพประกอบ 52 (ข)



ภาพประกอบ 52 ก. RMC แบบอนุกรมกับโหลด ข. RMC แบบขนานกับโหลด

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บัญชา อาจริชัย (2541) ได้สร้างและทดลองเรื่อง “ เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่เพื่อการทดสอบ ” ได้ศึกษาทดลองวงจรกำเนิดรูปคลื่นสัญญาณ (Function Generator) วัดค่าความถี่ที่ 100 Hz ดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) 50% ที่ค่าต่างๆ ทดลองรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine Wave) ความถี่ และแอมป์ริจูด ค่าต่างๆ ทดลองรูปสัญญาณความถี่ฐานเวลา การทำงานของวงจรพบปัญหาสัญญาณรบกวนที่เกิดจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงต้องต่อคาปาซิเตอร์ (Capacitor) บริดจ์เรกติไฟเออร์ (Bridge Rectifier) ปัญหาการเดินสายภายในตู้เครื่องควรใช้สายซิลในบางจุดเพื่อลดค่าผิดเพี้ยน, ปัญหาเครื่องมือวัดสัญญาณฐานเวลา 0.5 เฮิร์ตซ์ กับความถี่อื่น พุทเพราะความถี่แตกต่างกันมากไม่สามารถวัดพร้อมกันได้ ข้อเสนอแนะชุดกำเนิดสัญญาณมีรูปคลื่นสัญญาณ 3 สัญญาณ ถ้านำออกมาใช้ทั้งแบบชุดควบคุมในเครื่องกำเนิดรูปคลื่นสัญญาณทำเป็นดิจิตอลก็จะทำให้สะดวกต่อการเลือกความถี่โดยการกดแป้นตัวเลข ตัวเลขแต่ละตัวมีค่าแรงดันต่างกันไปเพราะมันควบคุมแรงดัน

ปราโมทย์ สิงห์โสดา และคณะ (2539) ได้ได้สร้างและทดลอง เรื่อง “ ฟังก์ชันเจนเนเรเตอร์และเคาน์เตอร์ ” โดยได้สร้างเครื่องขึ้นมาทดลองแสดงการทำงานของแต่ละภาค ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง ฟังก์ชันเจนเนเรเตอร์และเคาน์เตอร์ โดยสร้างวงจรขยายสัญญาณของฟังก์ชันเจนเนเรเตอร์ ใช้ IC CA3100LM วงจรเครื่องกำเนิดสัญญาณเนกาตีฟ แรมที่ใช้ IC เบอร์ NE 556 วงจรกำเนิดความถี่ใช้ IC เบอร์ XR 2206 วงจรแหล่งจ่ายไฟ ผลการทดลองพบปัญหาในการสร้างเครื่องและทดลองอยู่ที่ภาคอินพุท วงจรหารและชุดวัดความถี่ ซึ่งถ้าในการสร้างเครื่องวัดความถี่มีภาคอินพุทที่ดี หมายถึงประสิทธิภาพในการวัดความถี่ได้สูงมาก ๆ และอินพุทอิมพีแดนซ์มาก ๆ รวมทั้งเอาท์พุทมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ ๆ หรือว่ามีวงจรที่หารความถี่ได้สูง ๆ ได้ เครื่องสร้างขึ้นก็สามารวัดความถี่สูง ๆ กว่านี้ ส่วนสาเหตุที่ไม่สามารถสร้างอินพุทที่ดีหรือสร้างวงจรหารความถี่สูง ๆ ได้ เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้หาซื้อได้ยาก หรือไม่มีในเมืองไทย ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ไม่สามารถทำให้การสร้างเครื่องวัดความถี่ประสบผลสำเร็จมากเท่าที่ควร ข้อเสนอแนะ ถ้าต้องการให้

ความถี่ สวิตช์เริ่มต้นจากความถี่สูงไปหาความถี่ต่ำสูงไปหาความถี่ต่ำได้โดยต้องวงจรแรมท์เยเนเรเตอร์ ให้เป็นทั้งเนกาตีฟแรมท์ และโพสิตีฟแรมท์ แล้วใช้สวิตช์ เลือกตัดต่อให้เป็นเนกาตีฟแรมท์หรือโพสิตีฟแรมท์ C ของเคาเตอร์ ผลการทดลองฟังก์ชันเยเนเรเตอร์ 1. คลื่นรูปซายน์ที่ได้มีความเพี้ยนต่ำและสามารถ ให้ความถี่ได้สูงกว่า 2 เมกะเฮิร์ตซ์ 2. คลื่นรูปสี่เหลี่ยมตั้งแต่ 1 เฮิร์ตซ์ จนถึงประมาณ 250 กิโลเฮิร์ตซ์ มีความเพี้ยนต่ำ แต่ เมื่อสูงกว่านั้นช่วงไรส์ไทม์ (Rise time) จะเป็นเส้นโค้งมากทั้งนี้ เนื่องจากคุณสมบัติของคาปาซิเตอร์ และเวลาในการคอนดัก (Conduct) ของทรานซิสเตอร์ภายในตัวไอซีเบอร์ XR2206 3.คลื่นรูปสามเหลี่ยม ได้จากการนำคลื่นรูปสามเหลี่ยมไปเข้าวงจร อินทิเกรเตอร์ นั้นเอง 4. ภาคแรมท์เยเนเรเตอร์ ได้สัญญาณเนกาตีฟแรมท์ ที่มีความเพี้ยนต่ำมาก ทั้งนี้เพราะ การเลือกใช้ไอซีเบอร์ NE 566 ซึ่งสามารถสร้างความถี่สูงได้ถึง 1 เมกะเฮิร์ตซ์เมื่อนำมาเป็นแรมท์ เยเนเรเตอร์จึงได้ความเพี้ยนต่ำ 5.ภาคมอดูเลเตอร์ ภาคนี้ได้สัญญาณที่มอดูเลท ออกมาตั้งแต่ 10% จนถึงประมาณ 95% เมื่อเป็น เลแอมมอดูเลชั่น และตั้งแต่ 20% จนถึงประมาณ 80% เมื่อเป็นเอฟเอ็มมอดูเลชั่น โดยการมอดูเลททั้ง 2 แบบนี้สัญญาณที่เราจะนำไปเข้ามอดูเลทต้องมีความถี่ต่ำกว่า ความถี่ของคลื่นพาห์ ไม่น้อยกว่า 2 เท่า

สุชสันต์ วชิรภักฎญา และคณะ (2536) ได้สร้างและทดลอง เรื่อง “ เครื่องจ่ายไฟฟ้าแบบตัดต่อด้วยความถี่สูง ” โดยออกแบบและสร้างเครื่องที่ 150 วัตต์ 5 แอมป์ และปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-30 v. โดยออกแบบวงจร Filter การ Control โดยใช้ Error AMP และ Close loop Voltage และการใช้ Soft ware ช่วยในการ Simulate วงจร เลือกใช้ฮาร์ดแวร์ จอคอนเวอร์ ทนแรงดันไม่สูงเกินไป และวงจรนี้มีการกระเพื่อมค่อนข้างน้อย ผลการทดลองได้ค่าดังนี้

1. แรงดันขาเข้า (Input Line Voltage) 200 Vac ถึง 240 Vac
2. ความถี่ขาเข้า (Input Frequency) 50 Hz
3. ความถี่ในการสวิตช์ (Switching Frequency) 100 Hz
4. กำลังขาออก (Out Power) 150 watt
5. แรงดัน (Output Voltage) 30 volt
6. กระแสขาออกสูงสุด (Maximum Output current) 5 Amp
7. แรงดันกระเพื่อมด้านขาออก (Ripple Voltage) < 150 mv. p-p
8. ลายน์เรกูเลชั่น (Line Regulation) = 0.25 %
9. โหลดเรกูเลชั่น (Load Regulation) = 4 %

พิสิฐนัฐ อธิธิยาวุฒิ และคณะ (2531) ได้สร้างและทดลอง เรื่อง “ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบ สวิทช์ความถี่สูงโดยออกแบบเป็นชนิด Off-the-Line Switching Power Supply และ Half Bridge Converter ที่ขนาด 50 วัตต์ โดยมีแรงดันออก 5 โวลท์ ที่สภาวะปกติและจ่ายกระแสได้สูงสุด 10 แอมป์แปร์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจ่ายไฟแบบเชิงเส้น (Linear Regulation) แบบทั่วไปที่มีขนาดกำลังวัตต์ (หรือ VA) ที่เท่ากัน แล้วเครื่องจ่ายไฟที่ทำขึ้นจากโครงงานนี้จะมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาว่า ประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องจ่ายไฟแบบเชิงเส้นทั่วไป แต่ยังมีข้ออุปสรรคที่ติบางอย่างเช่น ไดโอดแบบชอทกกี (Schottky Diode) ซึ่งมีแรงดันฟอร์เวิร์ดไบแอสเพียง 0.2 โวลท์เท่านั้น เมื่อเทียบกับไดโอดแบบกลับตัวได้เร็วที่ใช้ในโครงงานนี้ ซึ่งมีแรงดันฟอร์เวิร์ดไบแอส 0.6 โวลท์ กำลังงานสูญเสียจะเท่ากับ $0.6 \times 10 = 6$ วัตต์ ใช้ไดโอดถึง 2 ตัว กำลังงานสูญเสียจะเป็น 12 วัตต์ ส่วนไดโอดแบบชอทกกี จะเสียกำลังงานสูญเสียรวม $0.2 \times 10 \times 2 = 4$ วัตต์ เท่านั้น และยังมีแกนเฟอร์ไรท์ที่ใช้ยังไม่ค่อยดีนัก ทำให้มีกำลังงานสูญเสียมาก ในด้านแรงดันกระเพื่อมด้านขาออก (Ripple Voltage) จากการทดสอบพบว่ามีความถี่สูงกว่าเครื่องจ่ายไฟแบบเชิงเส้น แต่มีค่าใกล้เคียงกับเครื่องจ่ายไฟแบบ

ตัดต่อด้วยความถี่สูง แบบที่ขายทั่วไป ในด้านลายน์และโหลดเรกกูเลชั่น จากการทดสอบพบว่ามีความใกล้เคียงกับเครื่องจ่ายไฟแบบเชิงเส้น สำหรับแนวทางการปรับปรุง เครื่องจ่ายไฟฟ้าแบบตัดต่อด้วยความถี่สูงในอนาคต คือ การนำเอามอสเฟตกำลัง (Power Mosfet) มาใช้แทนทรานซิสเตอร์กำลัง โดยที่มอสเฟตสามารถใช้งานได้ที่ความถี่ที่สูงกว่าทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะทำให้ขนาดของหม้อแปลง กำลังแบบพัลส์ และภาคกรองแรงดันขาออก (Output Filter) มีขนาดเล็กลง อีกทั้งมอสเฟตใช้กระแสขั้วเกท (Gate) น้อย ขนาดของชุดวงจรขับ (Base Drive) จึงมีขนาดเล็กลงด้วย ซึ่งผลที่ได้ก็คือ ขนาดของเครื่องจ่ายไฟจะเล็กลง และน้ำหนักจะเบาขึ้น

สหรัฐ ปริกแสง (2530) ได้สร้างและทดลองเรื่อง “ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิงซึ่งความถี่สูง ” โดยสร้างคอนเวอร์เตอร์ในลักษณะแบบกึ่งสะพาน โดยเลือกใช้การควบคุมสัญญาณพัลส์แบบมอดูเลทความกว้างพัลส์ ในภาคของการสวิตชิง ใช้ทรานซิสเตอร์กำลังเป็นอุปกรณ์ในการสวิตซ์ ในการทำงานและทดลองจะมีส่วนสำคัญอยู่ 3 ส่วนใหญ่ คือ

1. Control และ Protection
2. Base drive
3. Converter

ไอซีแบบ PWM จะให้ความถี่ที่คงที่ตามที่อุปกรณ์ภายนอก ทำการต่อเอาไว้แต่จะสามารถเปลี่ยนแปลง Duty Cycle ขณะใช้งานหรือมีการผิดพลาด ในวงจร สำหรับวงจร Base drive จะต้อง Bias ให้กับ Transistor ให้เหมาะสมเพื่อให้ Transistor เหล่านั้น สามารถจ่ายกระแสให้ขา Base ของ Power Transistor ได้อย่างเพียงพอ ซึ่ง Power Transistor นี้จะต้องสามารถนำมาใช้งานกับการทำงานในย่าน Saturate ได้มีฉะนั้น Transistor อาจเสียหายได้สำหรับวงจรภาค Converter นั้นเป็นแบบ Half Bridge ซึ่งวงจรนี้เป็นวงจรสำหรับ Switching Power Supply วงจรสำหรับ Switching Power Supply วงจรหนึ่งที่สามารถจ่าย Power ได้มาก

บุญเลิศ ประสิทธิ์ศุภโรจน์ (2541) ได้วิจัยเรื่อง “ การลดความแปรปรวนของความหนากระบวน การชุบตะกั่วด้วยไฟฟ้า ” โดยได้ศึกษาและเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาค่าความสามารถของกระบวนการผลิต (Cpk) ต่ำโดยเปรียบเทียบค่า Cpk ก่อนการแก้ไขปัญหาลงและหลังการแก้ไขปัญหามาจากเครื่องชุบตะกั่วด้วยไฟฟ้า TECHNIC รุ่น SP 744 ของโรงงานผลิตไอซี ซึ่งได้สรุปผลการทดลองไว้ดังนี้

1. ผลการทดลองทำให้ทราบว่าสามารถเพิ่มความหนาได้โดยการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเพิ่มจำนวน ขั้วไฟฟ้า ลดระยะห่างเฟรมและตะกร้าอาโนดบอล ปลอดภัยกันกระแสนวหลักและแถวออก รวมทั้งให้ระยะห่างระหว่างเฟรมมากๆ
2. การลดความแปรปรวนของความหนาสามารถทำได้โดยลดปริมาณแรงดันไฟฟ้า ลดจำนวนขั้วไฟฟ้า ติดตั้งตัวกันกระแสนวหลัก ลดระยะห่างระหว่างเฟรม เพิ่มระยะห่างของเฟรมกับตะกร้าอาโนดบอล
3. ความหนาจะแปรผันกับความสม่ำเสมอของความหนา หรือ อาจจะสรุปให้เห็นภาพได้ชัดเจนขึ้นคือถ้าความหนาเพิ่มขึ้นด้วยวิธีการใด ๆ ก็ตามจะทำให้ความสม่ำเสมอของความหนาน้อยลง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการทดลอง การออกแบบและการสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปเคลือบผิวกรอบขาไอซีในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะดำเนินการวิจัยตามหัวข้อต่อไปนี้

1. เกณฑ์ข้อกำหนดของการออกแบบและการสร้างเครื่องในการวิจัย
2. ลำดับขั้นตอนการวิจัย

1. เกณฑ์ข้อกำหนดของการออกแบบและการสร้างเครื่องในการวิจัย

1.1 การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปเคลือบผิวกรอบขาไอซี ซึ่งมีคุณสมบัติและประสิทธิภาพตามมาตรฐานของเครื่อง มีส่วนประกอบดังนี้

1.1.1 ชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse) ซึ่งสามารถปรับคลื่นเวลาของรูปคลื่นได้ตั้งแต่ 1 – 9.9 มิลลิวินาที

1.1.2 ชุดแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (Power Supply) สามารถปรับกระแสไฟฟ้า 0-5 แอมแปร์ (A) ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 0-30 โวลท์ (V) จำนวน 1 ชุด

1.2 ตัวแปรที่จะศึกษา เป็นการศึกษาค่าความผิดพลาดกับคุณสมบัติของเครื่องกับมาตรฐานที่กำหนดมีรายละเอียดดังนี้

1.2.1 ค่าการกระเพื่อม (Ripple) ของสัญญาณพัลส์ต่ำกว่า 5% ของค่าปรับตั้งสัญญาณพัลส์

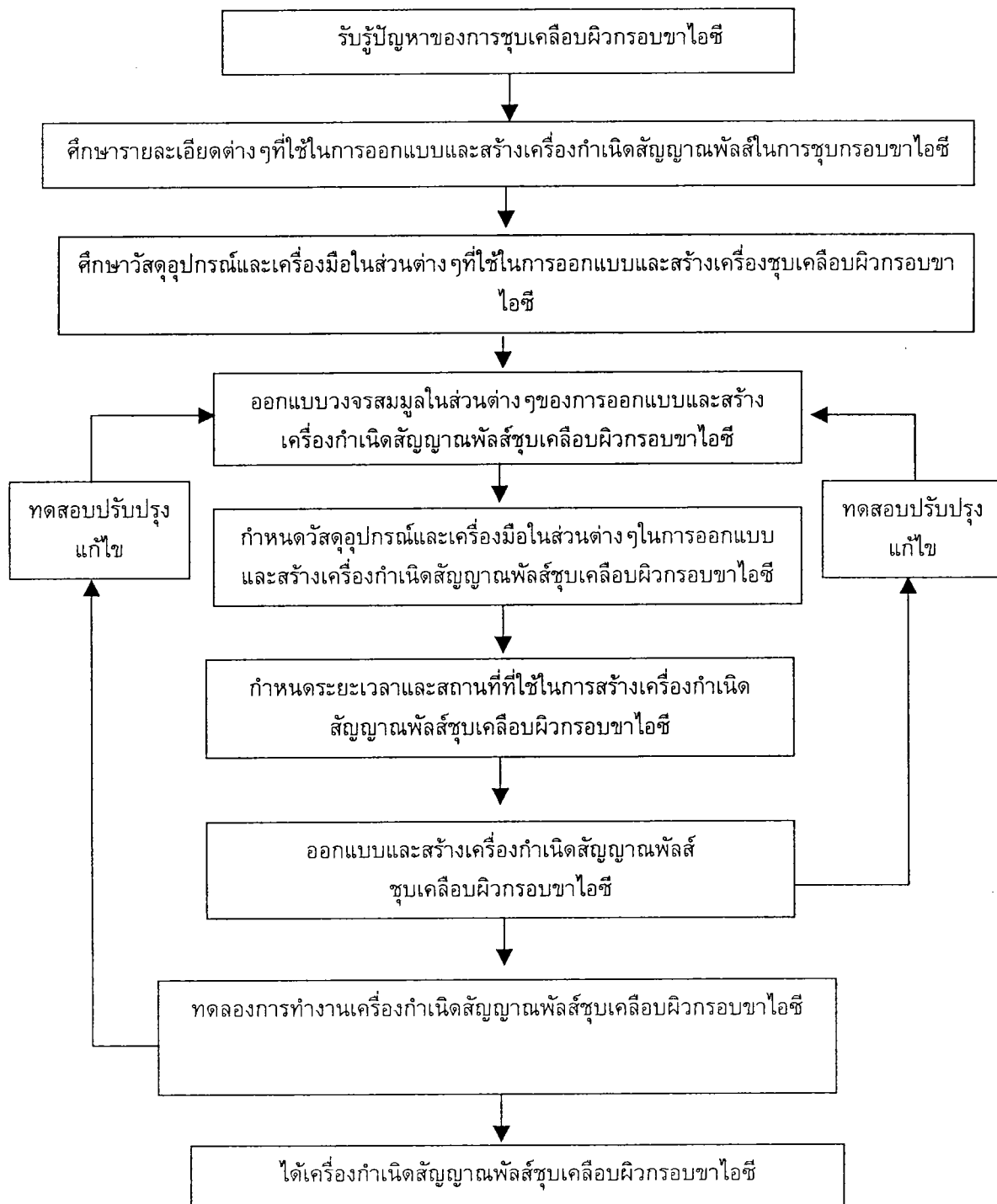
1.2.2 ค่าการกระโดดของสัญญาณพัลส์ (Over shoot) ต่ำกว่า 5% ของค่าปรับตั้งสัญญาณพัลส์

1.2.3 ค่าเวลาในการตั้งตัวของรูปคลื่น (Setting time) น้อยกว่า 1 ใน 10 ของความกว้างพัลส์ที่ต่ำสุด

1.2.4 ประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาดจากค่าปรับตั้งโดยการวัดสัญญาณรูปคลื่นที่ได้กับการชุปเคลือบผิวกรอบขาไอซี

2. ลำดับขั้นตอนในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้



2.1 รับรู้ปัญหาของการชุปใช้สัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์รอบขาไอซี ซึ่งเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ทั้งหมดที่ใช้อยู่ เป็นการนำเข้ามาจากต่างประเทศและมีราคาแพง เมื่อเกิดการชำรุดเสียหายก็ไม่สามารถซ่อมภายในประเทศได้ เนื่องจากอุปกรณ์บางชนิดไม่ได้รับการเปิดเผยจากผู้ผลิตทำให้สูญเสียงบประมาณค่าใช้จ่ายมากขึ้น

2.2 ศึกษารายละเอียดต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ขับเคลื่อนมอเตอร์รอบขาไอซีศึกษา

2.2.1 ค้นคว้าจากเอกสารตำราและงานวิจัยเชิงทดลอง ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ขับเคลื่อนมอเตอร์รอบขาไอซี และงานวิจัยเชิงทดลองทางด้านไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง

2.2.2 ศึกษาคุณสมบัติและส่วนประกอบของชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse) ในการจ่ายสัญญาณพัลส์ ไปยัง Output และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ ที่ใช้มาประกอบเป็นชุดที่สมบูรณ์

2.3 ศึกษาวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือในส่วนต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องจ่ายสัญญาณพัลส์ขับเคลื่อนมอเตอร์รอบขาไอซี

2.3.1 วัสดุ เป็นการศึกษาถึงวัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องจ่ายสัญญาณพัลส์ขับเคลื่อนมอเตอร์รอบขาไอซี

2.3.1.1 ตะกั่วบัดกรี

2.3.1.2 แผ่นปริ้น (Printed Circuit Board)

2.3.1.3 สายไฟ

2.3.1.4 ส่วนประกอบต่างๆในการประกอบแผ่นปริ้น เช่น ตาไก่ แทนพลาสติกกรองรับแผ่นปริ้นชกกันการช็อต (Short circuit)

2.3.1.5 กล่องใส่เครื่องจ่ายสัญญาณพัลส์ขับเคลื่อนมอเตอร์รอบขาไอซี

2.3.2 อุปกรณ์เป็นการศึกษาถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องจ่ายสัญญาณพัลส์ขับเคลื่อนมอเตอร์รอบขาไอซี

2.3.2.1 เป็นการศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้เป็นไอซี (IC) ที่ต้องการในการกำเนิดสัญญาณพัลส์ และการเปรียบเทียบแรงดัน IC ดิจิตอลที่ใช้ในการนับค่าที่ป้อนเข้าในการปรับความถี่และในส่วนการแสดงผลจากการปรับ

2.3.2.2 เป็นการศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรทรานซิสเตอร์กำลังในการขับสัญญาณขาออกเพื่อการคงที่ค่ากระแสและแรงดันที่ด้านออกของเครื่อง

2.3.2.3 เป็นการศึกษาอุปกรณ์ที่เป็นตัวป้อนกลับ (Feedback) วงจรออปแอมป์ (Opamp) ของสัญญาณแรงดันและกระแสที่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการใช้งานที่ภาระต่างๆของวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

2.3.2.4 เป็นการศึกษาอุปกรณ์ที่เป็นหม้อแปลง แกนหม้อแปลง การออกแบบวัสดุที่ใช้ทำหม้อแปลงไฟฟ้า

2.3.2.5 เป็นการศึกษาอุปกรณ์ที่เป็นตัวเก็บประจุ (C) ตัวเก็บประจุคัปปลิงสัญญาณ และตัวเก็บประจุที่ใช้ในการกรองกระแสให้เรียบ อัตราทอนกระแสเพื่อ RMS แรงดันกระแสเพื่อช่วงเวลาไฮสไคป์ (เป็นระยะเวลาอย่างต่ำที่แหล่งจ่ายไฟจะยังคงรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตไว้ ภายในขีดจำกัดของเอาต์พุตเรกูเลชั่นได้) ค่าความจุของตัวเก็บประจุฟิเตอร์

2.3.2.6 เป็นการศึกษาอุปกรณ์ที่เป็นไดโอด (D) เป็นไดโอดเรกติไฟเออร์อินพุตต้องศึกษาคุณสมบัติที่สำคัญ 4 อย่างคือ 1. การทนกระแสตรง (IFMS) 2. การทนกระแสสูงสุดชั่วขณะ (IFRM) 3. การทนกระแสเมื่อไบแอสตรง (IFM) 4. การทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุด (PRV)

2.3.2.7 เป็นการศึกษาอุปกรณ์ที่เป็นตัวต้านทาน (R) ความต้านทานที่จะใช้ในวงจรทั้งแบบปรับค่าได้ และแบบคงที่ ความแม่นยำในการรักษาค่าความต้านทาน

2.3.2.8 เป็นการศึกษาวงจรแสดงผลแรงดันและกระแสที่วัดที่ขาออกของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ในการชูปกรอบขาไอซีเพื่อแสดงผลที่จอมอนิเตอร์ให้มีค่าผิดพลาดที่น้อยที่สุด

2.3.3 เครื่องมือเป็นการศึกษาถึงเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ และสร้างในส่วนของการใช้และการตรวจสอบคุณสมบัติของเครื่องจ่ายสัญญาณพัลส์ชูปกรอบขาไอซี

2.3.3.1 มัลติมิเตอร์ ใช้ทำการวัดและตรวจสอบความต้านทาน แรงดัน ที่ได้รับการออกแบบไว้ในวงจร

2.3.3.2 ออสซิลโลสโคป ใช้ทำการวัดและตรวจสอบสัญญาณรูปคลื่น กระแสและแรงดันค่าสูงสุดใช้ตรวจสอบสัญญาณการกระเพื่อมของพัลส์ ค่าตั้งต้นของรูปคลื่น ค่าการกระโดดของรูปคลื่น

2.3.3.3 ไขควง ใช้ในการขันสกรูเข้าออกจากเครื่องในการประกอบ

2.3.3.4 หัวแร้งไฟฟ้า ใช้ในการบัดกรีอุปกรณ์เข้ากับแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board) และการต่ออุปกรณ์พวกสายไฟต่างๆ บัดกรีเข้ากับขั้วต่อต่างๆ

2.3.3.5 คีมใช้ในการตัดและจับยึดอุปกรณ์ ในการบัดกรีและประกอบ

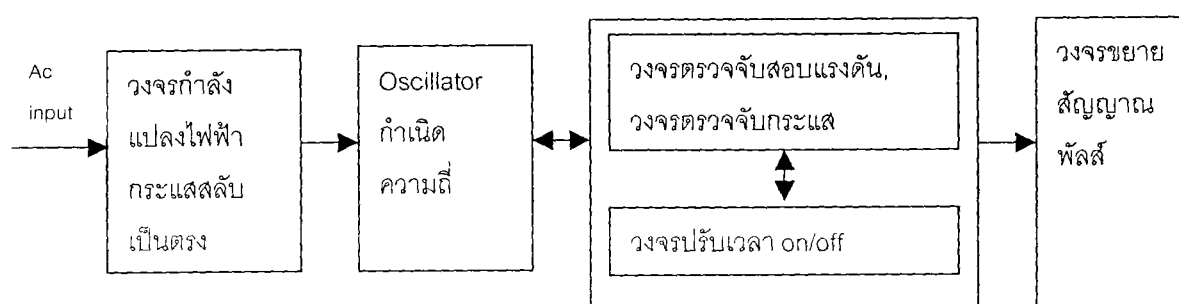
2.3.3.6 สว่านไฟฟ้า ใช้ในการเจาะประกอบ

2.3.3.7 ตะไบโลหะ ใช้ในการตะไบตกแต่งโลหะหลังจากการเจาะรู

2.3.3.8 ประแจใช้ขันเข้า ขันออก ในการล็อกนอตแหวนในการประกอบ

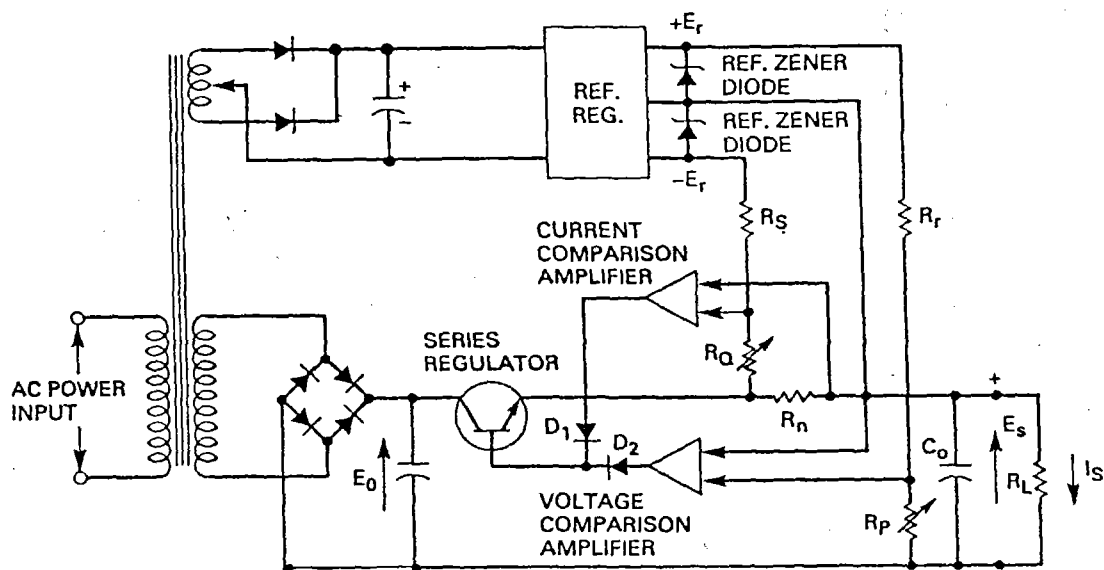
2.4 ออกแบบวงจรสมมูลในส่วนต่างๆของการออกแบบ และสร้างเครื่องจ่ายสัญญาณพัลส์ชูปกรอบขาไอซี

2.4.1 ออกแบบวงจรสมมูลกำเนิดสัญญาณพัลส์



ภาพประกอบ 54 วงจรสมมูลของการกำเนิดสัญญาณพัลส์

2.4.2 ออกแบบวงจรสมมูลจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (Power supply)



ภาพประกอบ 55 วงจรสมมูลของการจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสดตรง

2.5 กำหนดวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือในส่วนประกอบต่างๆ ในการออกแบบและสร้างเครื่องจ่ายสัญญาณพัลส์ชบเคลื่อนผิวกรอบไอซี

2.5.1 วัสดุ อุปกรณ์เครื่องมือ

2.5.1.1 ตะกั่วบัดกรี 1 ม้วน

2.5.1.2 สายไฟฟ้าขนาด 0.1,0.5, 1 Sqmm ยาวขนาดละ10 เมตรสาย THW 16

sqmm ประมาณ 5-10 เมตร

2.5.1.3 ปริ้นท์ชั้นเดียว ขนาด 0.1x0.2 จำนวน 2 แผ่น

2.5.1.4 แผ่นวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์จำนวน 1 แผ่นประกอบด้วย ความต้านทาน ตัวเก็บประจุ ไอซี ทρανซิสเตอร์ ไดโอด

2.5.1.5 แผ่นวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจำนวน 1 แผ่น ประกอบด้วย ความต้านทาน ตัวเก็บประจุ ไอซี ทราานซิสเตอร์ ไดโอด

2.5.1.6 หม้อแปลงขนาด 220 V. จำนวน 3 ชุด

2.5.1.7 มัลติมิเตอร์ ดิจิตอลและแบบอนาล็อกอย่างละ 1 ชุด

2.5.1.8 ไบโคมวง 1 ชุด

2.5.1.9 หัวเร่งบัดกรีชนิดแช่จำนวน 1 ชุด

2.5.1.10 ส่วนไฟฟ้าชนิดมือถือพร้อมดอกสว่าน 1 ชุด

2.5.1.11 ออสซิลโลสโคป 1 ตัว

2.6 ออกแบบสร้างเครื่องจ่ายสัญญาณพัลส์ชุปกรอบขาไอซี โดยได้ดำเนินการสร้างส่วนประกอบ ต่างๆ ตามลำดับดังนี้

2.6.1 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์โดย IC Osallator เบอร์ TC 5082P ส่วนการปรับค่า เวลาเปิด (On time) เวลาปิด (Off time) จะใช้ IC BCD Up/down counter ไอซีเบอร์ IC 4510 BP 4 ตัว ร่วมกับ ไอซี TC 40 44, และ TC 4011 BP โดยการปรับตั้งผ่าน Thump wheel switch เบอร์ A7PS-206 ซึ่งสามารถปรับค่าเวลาเปิด (on) และ ปิด (off) ได้จาก 0.0 –9.9 mSec โดยมีทรานซิสเตอร์กำลังเบอร์ C2987A ในการขยายกำลังสัญญาณพัลส์ ซึ่งแสดงดังภาพประกอบ 56

2.6.2 การออกแบบสร้างเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่แรงดัน 0-30 โวลต์ 0-5 แอมป์ แบบปรับค่าได้ ซึ่งแสดงดังภาพประกอบ 55 แรงดัน E_o เป็นส่วนที่ได้จากแรงดันไฟสลับด้านอินพุตและแปลงเป็นแรงดันขาออกที่ E_s ในวงจร กระแสเรกติฟายเออร์ที่เกิดขึ้นได้แก่ I_s โดยมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ $E_o - E_s$ ค่า E_s ถูกควบคุมโดยการเปลี่ยนแปลงกระแสในชุดลำดับของทรานซิสเตอร์เรกติฟายเออร์ ที่ทรานซิสเตอร์จะมีแรงดันตกคร่อมและกระแสผ่านพร้อมกัน เป็นวงจรการขยายสัญญาณที่ Class A. Co เป็นฟีดแบ็คที่ขาออกในวงจร โดยแรงดันอ้างอิงได้รับจากซีเนอร์ไดโอด เมื่อ R_L มากกว่า R_C ($R_C = V_{setting}/I_{setting}$) วงจร Voltage Comparison จะทำงานขยายสัญญาณขณะที่วงจรขยายกระแส Current Amplifier จะถูกตัดการทำงานเมื่อ D1 ได้รับการรีเวอร์ไบอัส ในกรณีนี้จะมีแรงดันค่า 0 โวลต์ คร่อมขาเข้าของ Voltage Comparision Amplifier ฉะนั้น $E_r/R_r = E_s/R_p$ หรือ $E_s = (E_r \times R_p) / R_r$ E_s แรงดันขาออกจะถูกควบคุมโดยการเปลี่ยนแปลงค่า E_r หรือ R_p เมื่อ $R_L < R_C$ Voltage comparision amplifier จะถูกตัดออกจากวงจรโดย D2 เป็นรีเวอร์ไบอัส ในกรณีนี้ Current comparision amplifier จะทำงาน และมีแรงดันตกคร่อมที่ขาเข้าของตัวต่อ ดังนั้น $E_r/R_s = (I_s \times R_m) / R_q$ หรือ $I_s = (E_r/R_s) \times (R_q/R_m)$ กระแส I_s ขาออกจะจำกัดที่จุดปรับตั้งควบคุมโดย E_r หรือ R_q คาปาซิเตอร์ C_o เป็นตัวเก็บพลังงานเตรียมไว้ สำหรับอิมพีแดนซ์ขาออกต่ำที่ความถี่สูง ซึ่งเป็นสิ่งปรารถนาสำหรับแหล่งจ่ายแรงดันคงที่ ค่า C_o ยังช่วยให้มีความเชื่อมั่นในการรักษาแรงดันขาออกจากการออสซิลเลตเมื่อภาระ (load) เปลี่ยนแปลงในกรณีที่มีการต่อ R_L ที่ขาออก

จากภาพประกอบ 57 เป็นการออกแบบและสร้างแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 0-30 โวลต์ 0 - 5 แอมป์ ได้ทำการออกแบบและสร้างแหล่งจ่ายไฟแบบลิเนียร์ โดยที่ป้อนแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ให้กับหม้อแปลงที่ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจร โดยมีไอซีเบอร์ 2N3055 เป็นทรานซิสเตอร์กำลังในการขับกระแสจ่ายให้กับภาระซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ V13 และ V14 เป็นชุดขับขั้นต้น เมื่อได้รับสัญญาณจากไอซี 741 โดย ไอซี 741 N1 เป็นชุดขับเพิ่ม หรือลดอัตราการขยายแรงดันไฟฟ้าซึ่งมีไอซี LM324 ขับกระแสเปลี่ยนแทประดับแรงดันที่หม้อแปลงไอซี 741 N2 เป็นชุดขับเพิ่มหรือลดระดับกระแสตามภาระที่ต้องการทางด้านออก (OUT PUT), V15 เป็น LED แสดงสถานะการรักษาระแสให้คงที่ หรือ CC (CONSTANT CURRENT) ส่วน V16 เป็น LED แสดงสถานะการรักษาระดับแรงดันให้คงที่ CV (CONSTANT VOLTAGE) โดยมี RP1 และ RP 5 เป็นตัวปรับกระแสหยาบและละเอียด , PR 4 และ PR 6 เป็นตัวปรับแรงดันหยาบและละเอียดตามลำดับซึ่งเป็นไปตามความมุ่งหมายของการวิจัย ในการปรับค่ากระแสและแรงดันให้คงที่ที่ 0-30 โวลต์ และ 0-5 แอมป์ เมื่อต่อเข้าภาระ ก็จะสามารถคงค่ากระแส (Constant current) ได้เป็นอย่างดีที่ค่าความต้านทานต่ำๆ และคงค่าแรงดัน (Constant Voltage) ได้เมื่อค่าความต้านทานที่สูงขึ้น

2.7 การทดสอบหาประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาดของเครื่องกำเนิดสร้างเครื่องจ่ายสัญญาณพัลส์ชุปกรอบขาไอซี โดยการทำสอบหาค่าดังต่อไปนี้

2.7.1 การทดสอบหาค่าการกระเพื่อมของสัญญาณ (Ripple of signal)

2.7.2 การทดสอบหาค่าการกระโดดของสัญญาณ (Overshoot of signal)

2.7.3 การทดสอบหาค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นสัญญาณ (Setting or rise time of signal)

การกำหนดตารางการตรวจสอบได้แยกกระทำการตรวจสอบดังนี้

1. ตรวจสอบค่าสัญญาณพัลส์กับผลที่ใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปเคลื่อนผิวไอซี โดยการทำทดสอบดังนี้

1.1 การทดสอบกับภาระที่เป็นตัวต้านทาน

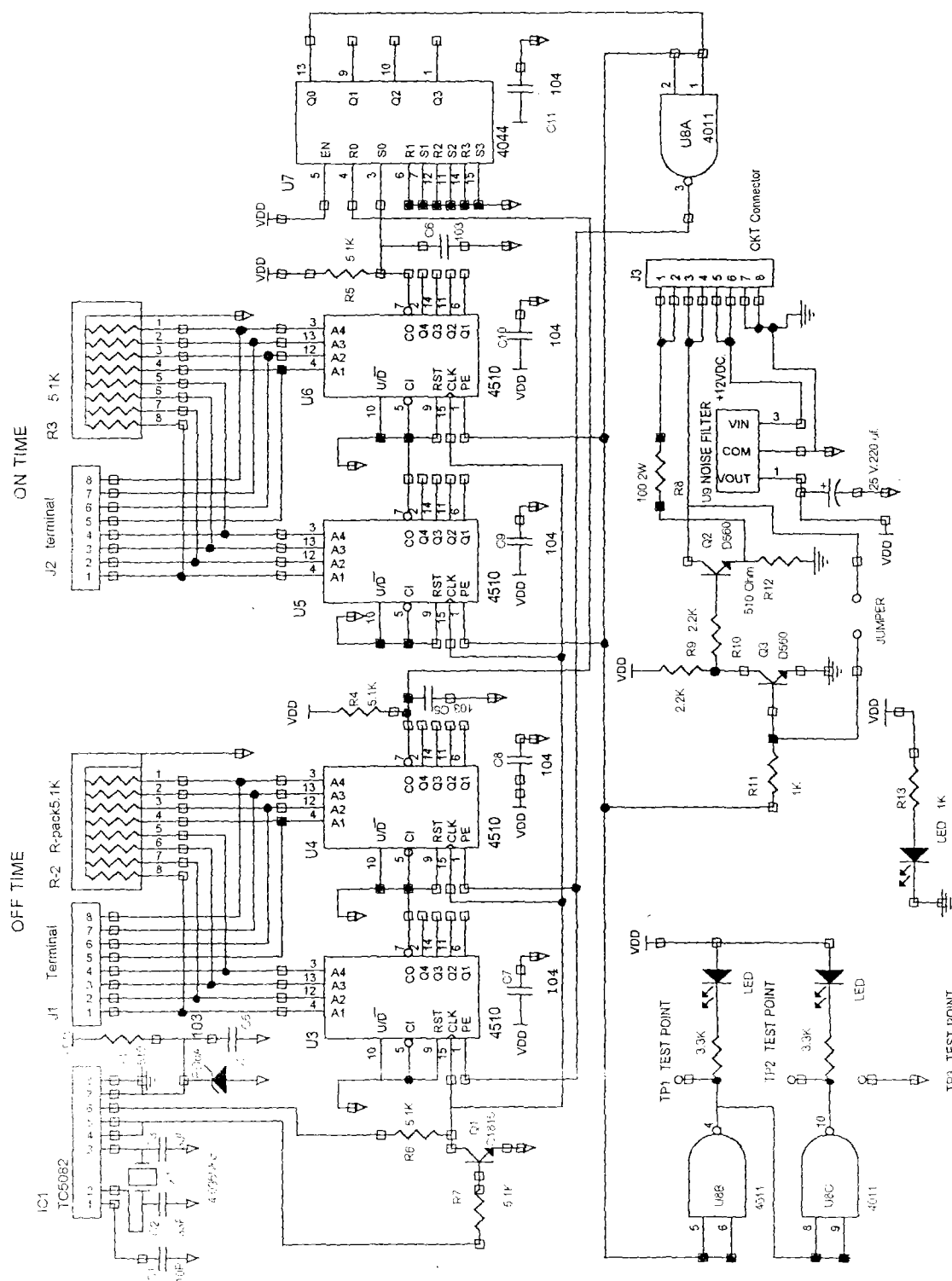
1.2 การทดสอบกับภาระที่มีค่าอินดักแตนซ์มากขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงความยาวของสายไฟที่ต่อกับ

ภาระ

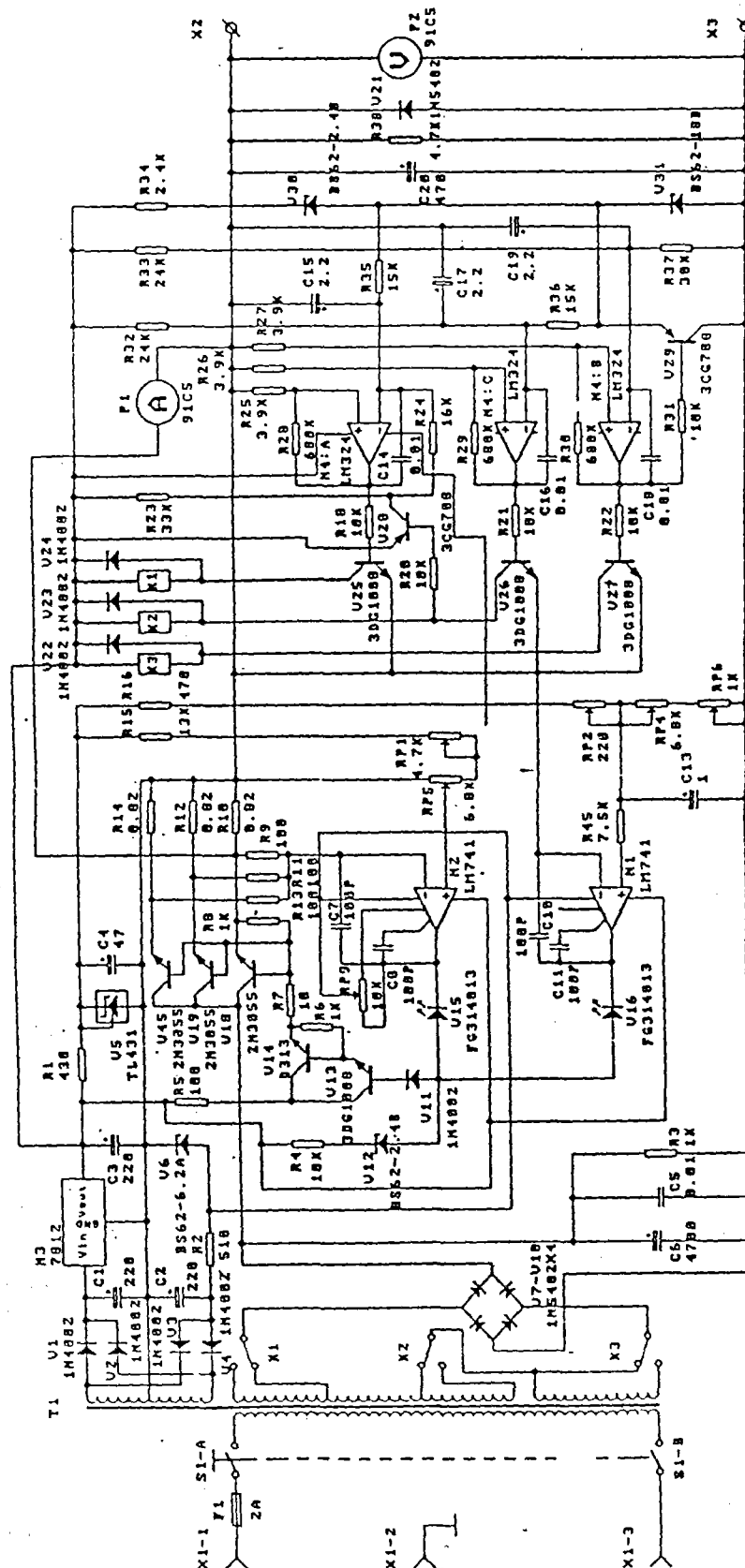
1.3 การทดสอบกับภาระที่เป็นงานจริงเป็นถังชุปเงินเคลื่อนผิวกรอบขาไอซี

โดยผลการวัดทั้งหมดจะทำการเปรียบเทียบรูปคลื่นสัญญาณที่เกิดขึ้นทั้ง 3 คือตรวจสอบ กระเพื่อมของสัญญาณ (Ripple of signal) ,หาค่าการกระโดดของสัญญาณ (Overshoot of signal) ,ค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นสัญญาณ (Setting or rise time of signal)

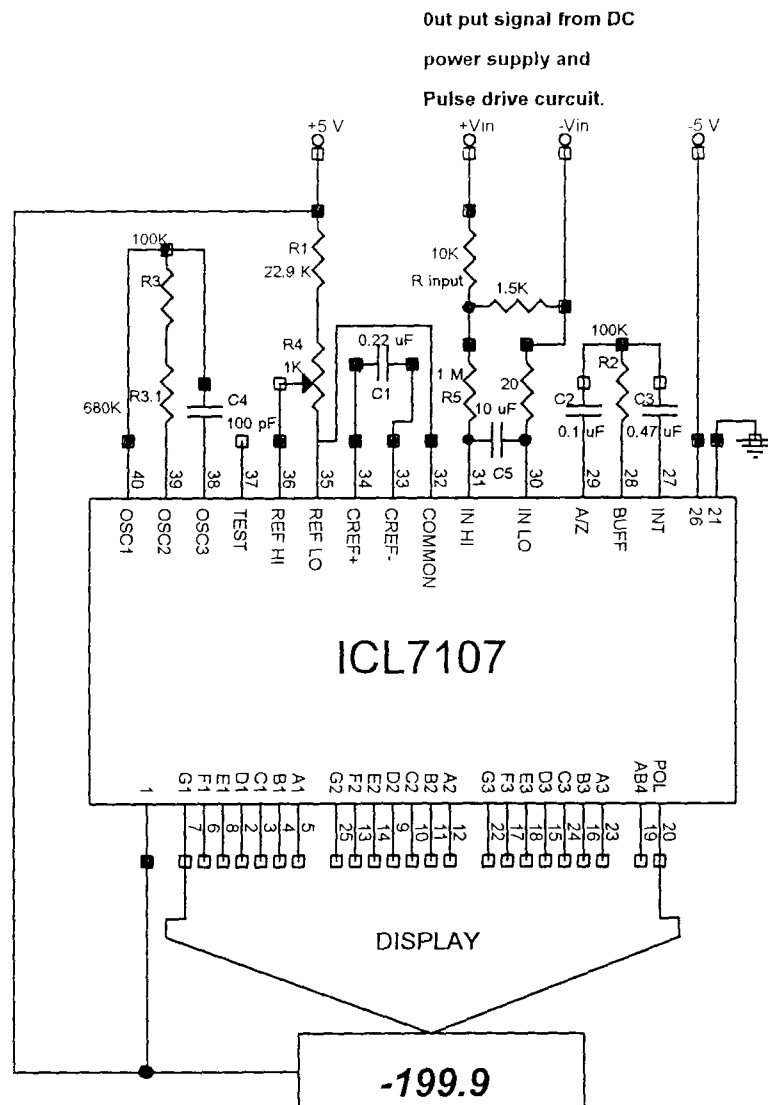
2. ตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องในการแสดงค่าจากการวัดรูปคลื่นสัญญาณด้วยออสซิลโลสโคปกับค่าเวลาที่ปรับตั้งที่หน้าเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์



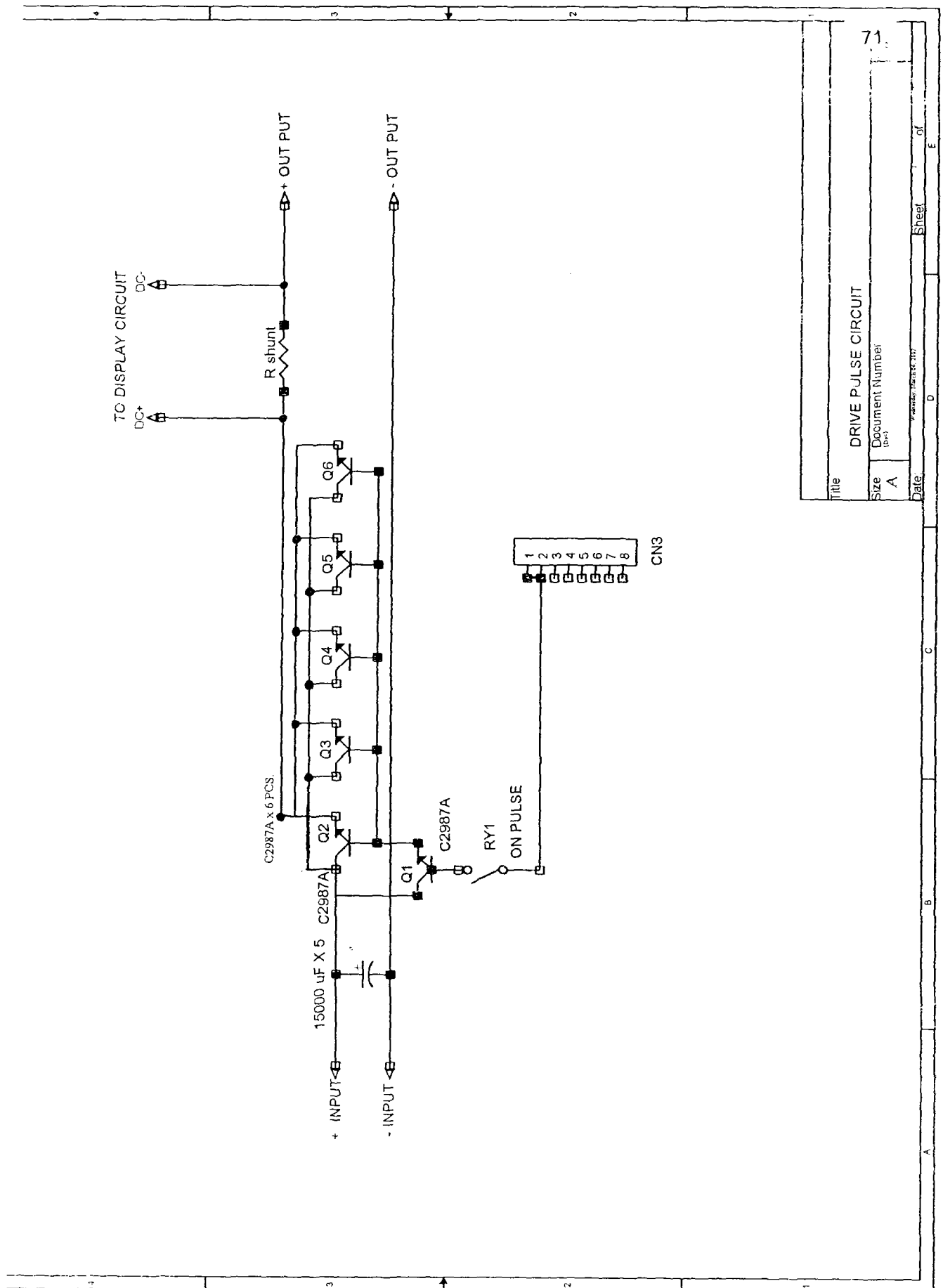
ภาพประกอบ 56 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse signal generator circuit)



ภาพประกอบ 57 วงจรเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบลิเนียร์ (Linear power supply circuit)



ภาพประกอบ 58 วงจรแสดงผลของแรงดันและกระแส (Voltage and Current display)



Title		DRIVE PULSE CIRCUIT		71	
Size	A	Document Number	UD-2-1		
Date			Sheet	of	
		D		E	
"MILITARY STANDARD, 1957"					

ภาพประกอบ 59 วงจรขับสัญญาณพัลส์ (Pulse power drive circuit)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปเคลือบผิวกรอบขาไอซี โดยออกแบบวงจรและกำหนดวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ ที่ใช้ในการสร้างตามรายละเอียดที่ได้ศึกษาค้นคว้าไว้ และทดสอบปรับปรุงแก้ไขการทำเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปเคลือบผิวกรอบขาไอซีซึ่งได้ผล ดังต่อไปนี้

1. ออกแบบและสร้างแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 0-30 โวลต์ 0-5 แอมป์ ได้ออกแบบและสร้างแบบลิเนียร์จากการทดสอบโดยที่ป้อนแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ให้กับหม้อแปลงที่ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจร โดยมีไอซีเบอร์ 2N3055 เป็นทรานซิสเตอร์กำลังในการขับกระแสจ่ายให้กับภาระซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ V13 และ V14 เป็นชุดขับขั้นต้น เมื่อได้รับสัญญาณจากไอซี 741 โดย ไอซี 741 N1 เป็นชุดขับเพิ่มหรือลดอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าโดยมีไอซี LM324 ขับกระแสเปลี่ยนแทประดับแรงดันที่หม้อแปลง ไอซี 741 N2 เป็นชุดขับเพิ่มหรือลดระดับกระแสตามภาระที่ต้องการด้านออก (OUT PUT) V15 เป็น LED แสดงสถานะการรักษาระแสให้คงที่ หรือ CC (CONSTANT CURRENT) ส่วน V16 เป็น LED แสดงสถานะการรักษาระงัดให้คงที่ CV (CONSTANT VOLTAGE) โดยมี RP1 และ RP 5 เป็นตัวปรับกระแสหยาบและละเอียด PR 4 และ PR 6 เป็นตัวปรับแรงดันหยาบและละเอียดตามลำดับซึ่งเป็นไปตามความมุ่งหมายของการวิจัย ในการปรับค่ากระแสและแรงดันให้คงที่ที่ 0-30 โวลต์ และ 0-5 แอมป์ เมื่อต่อเข้าภาระสามารถคงค่ากระแส (Constant current) ได้เป็นอย่างดีที่ค่าความต้านทานต่างๆ และคงค่าแรงดัน (Constant Voltage) ได้ดีเมื่อค่าความต้านทานที่สูงขึ้น

2. ออกแบบและสร้างชุดแสดงผลแรงดันและกระแสโดยใช้ไอซี ICL 7107 ซึ่งเป็นไอซีขับ LED 7 SEGMENT ขนาด 31/2 ดิจิต แสดงผลโดยไอซี ICL 7107 เป็นตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ซึ่งสัญญาณอินพุตที่รับเข้ามาจะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลขับให้ 7 SEGMENT แสดงค่ากระแสและแรงดันที่วัดได้จากวงจร การวัดกระแสจะใช้ 7 SEGMENT 7 ชุด ส่วน แรงดันไฟฟ้าใช้ 7 SEGMENT 3 ชุด เพื่อให้สามารถวัดค่าได้ถูกต้องแม่นยำ และละเอียดพอในการปรับขณะจ่ายให้แก่ภาระซึ่งเป็นไปตามความมุ่งหมายของการวิจัย

3. ออกแบบสร้างชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ขนาด 1.0-99Msec. โดยใช้ไอซีออสซิลเลเตอร์ TC 5082P เป็นตัวกำเนิดสัญญาณพัลส์ ส่วนการปรับค่าเวลาเปิด (ON TIME) และ ปิด (OFF TIME) จะใช้ IC BCD UP/DOWN COUNTER ไอซีเบอร์ 4510 ร่วมกับสวิตช์ปรับหรือ THUMBWHEEL SWITCH โดยค่าที่ได้จาก THUMBWHEEL SWITCH จะเป็น BINARY CODE เข้ายังไอซี 4510 4 ชุด ต่อเข้ายัง ไอซี 4044 ซึ่งเป็นไอซี QUAD 3 STATE R-S LATCHES โดยมีไอซี 4011 เป็น NAND GATE ในการขับกระแสให้ทำงานตามต้องการ

ส่วนวงจรขยายกำลังสัญญาณพัลส์ที่ได้ให้ขยายกระแสได้สูงขึ้นนั้นใช้ไอซีเบอร์ C2987A ในการขยายโดยต่อร่วมกัน 6 ตัว ซึ่งสามารถจ่ายกระแสได้ถึง 60 Amp. ผู้วิจัยได้ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ และประกอบอุปกรณ์ลงแผ่นวงจรพิมพ์แล้วได้

ตรวจสอบตามรายละเอียดที่กำหนดไว้ ซึ่งเป็นไปตามความมุ่งหมายของการวิจัย โดยใช้คุณสมบัติและรายละเอียดของอุปกรณ์ดังนี้

ค่าความต้านทานที่ในทุกชุดตั้งแต่ชุดแปลงกำลังไฟฟ้าจากไฟสลับเป็นไฟตรง ชุดแสดงผลแรงดันและกระแส ชุดกำเนิดพัลส์ มีค่าผิดพลาด ร้อยละ 1 เปอร์เซนต์

ตัวเก็บประจุที่ใช้จะแยกเป็นชนิดตามคุณสมบัติของวงจร โดยการกรองกระแสภาคจ่ายไฟจะใช้ อิเล็กโตรไลต์ ชุด AUTO ZERO CAP หรือ INTEGRATING CAP ของ ชุดแสดงผลจะเป็นชนิดโพสิโพลีโพลิน หรือ ไมลาร์ ส่วนชุด OSC CAP ของชุดแสดงผลต้องเป็นชนิดไมลาร์ เป็นต้น

ไดโอด ชุดกำเนิดความถี่พัลส์จะใช้ซีเนอร์ไดโอด ขนาด 5.6 โวลท์

จากนั้นจึงได้นำเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์มาทำการทดสอบและวิเคราะห์ ข้อมูลต่อไป

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ชุดกรอบขาไอซี

การทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุดกรอบไอซีผู้วิจัยได้ทำหนังสือจากบัณฑิตวิทยาลัยไปยัง บริษัท ชุมิโกะลีดเฟรม (ไทยแลนด์) จำกัด แผนกชุดกรอบขาไอซี สวณอุตสาหกรรมโรจนะ ตำบลคานหาม อำเภอกุทัย จังหวัดอยุธยา เพื่อทำการทดสอบและวิเคราะห์แล้วนำ ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ที่ได้นำเสนอโดยแบ่งออกเป็น

1. การทดสอบหาค่าการกระเพื่อมของสัญญาณ (RIPPLE OF SIGNAL)
2. การทดสอบหาค่าการกระโดดของสัญญาณ (OVER SHOOT OR UNDER SHOOT OF SIGNAL)
3. การทดสอบหาค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นสัญญาณ (SETTING OR RISE TIME OF SIGNAL)
4. การทดสอบหาประสิทธิภาพการขับเคลื่อนผิวกรอบขาไอซี

การปรับเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์โดยการสอบเทียบมีรายละเอียดดังนี้

ก่อนการทดสอบได้สอบเทียบเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่สร้างขึ้นโดยการปรับค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าทางด้านออก (Out put) ให้ได้ผลการวัดที่แสดงจากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ของบริษัทชุมิโกะลีดเฟรม (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ใช้ในการชุดกรอบขาไอซีกับเครื่องที่ได้สร้างขึ้นมาให้ตรงกันเพื่อเป็นมาตรฐานเดียวกันในการวัดค่าการจ่ายกระแสไฟฟ้าชุดกรอบขาไอซี ซึ่งจากผลการปรับค่าการสอบเทียบสามารถแสดงผลได้ตรงกันที่ภาระต่างๆเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง

1. การทดสอบหาค่าการกระเพื่อมของสัญญาณ(Ripple of signal) ค่าการกระโดดของสัญญาณ (Over or under shoot) การตั้งตัว (Setting or rise time) ได้ทดสอบดังนี้

1.1 การทดสอบโดยการต่อค่าความต้านทาน 0.2 โอห์ม ขนาด 20-40 วัตต์ต่อคร่อมกับจุดต่อด้านออก (Out put) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ เพื่อจ่ายสัญญาณพัลส์ที่ปรับตั้งเวลาเปิด (On time) ที่ 1 มิลลิวินาทีเวลาปิด (Off time) ที่ 1 มิลลิวินาที โดยมีการเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าที่แสดง ทางด้านออก (Out put) เป็น 3.5 แอมป์ และ 5.0 แอมป์ เพื่อวัดหาค่าการกระเพื่อมของสัญญาณ (RIPPLE OF SIGNAL การทดสอบหาค่าการกระโดดของสัญญาณ (OVER SHOOT OR UNDER SHOOT OF SIGNAL) การทดสอบหาค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นสัญญาณ (SETTING OR RISE TIME OF SIGNAL)

1.2 การทดสอบโดยการต่อจุดต่อด้านออก (Out put) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เข้าภาระที่เป็นสายไฟฟ้า THW #16 ยาวประมาณ 2 เมตร และ 3.5 เมตร ต่อเข้ากับตัวต้านทาน ค่า 0.2 โอห์ม ขนาด 20 วัตต์ดังมีรายละเอียดดังนี้

1.2.1 การทดสอบโดยการต่อสายไฟ THW#16 ยาว 1 เมตร จำนวน 2 เส้น ต้นสายไฟฟ้าต่อเข้ากับขั้ว + และ - ที่จุดต่อด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ขั้วเคลื่อนผิวกรอบขาไอซี และปลายสายไฟ THW#16 ทั้งสองด้านต่อเข้ากับตัวต้านทานแบบกระเบื้องค่า 0.2 โอห์มขนาด 40 วัตต์ ฉะนั้นความยาวโดยรวมของสายไฟฟ้าเบอร์ 16 มีความยาวรวมเท่ากับ 2 เมตร เพื่อเป็นการทดสอบวัดสัญญาณที่เกิดขึ้นมีผลอย่างไรกับความยาวของสายไฟโดยการปรับค่ากระแสทางด้านออกของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ 3.5 แอมป์ และ 5 แอมป์ โดยการวัดสัญญาณพัลส์จะวัดที่จุดต่อด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์

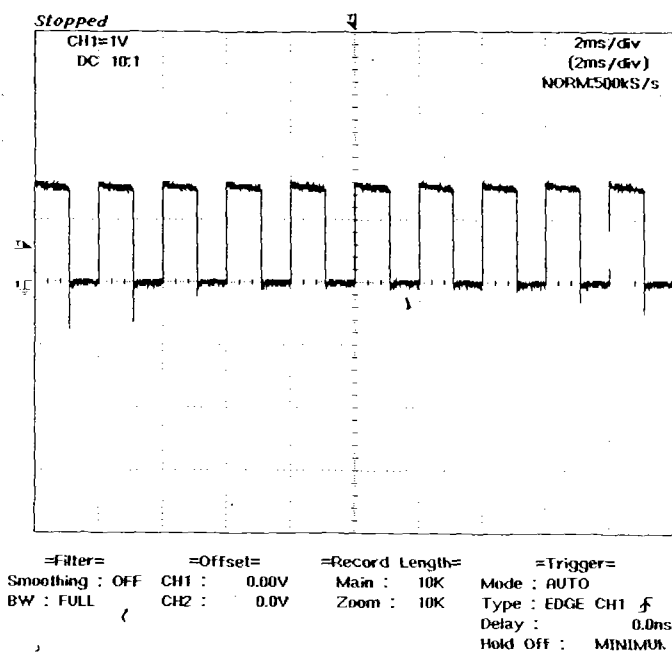
1.2.2 การทดสอบโดยการต่อสายไฟ THW#16 มีความยาวโดยรวมเท่ากับ 3.5 เมตร ต่อเข้ากับตัวต้านทานแบบกระเบื้องค่า 0.2 โอห์ม (โดยต่อกับตัวความต้านทานขนาด 0.4 โอห์ม ขนาด 10 วัตต์จำนวน 2 ตัว) ขนาด 20 วัตต์ และต่อเข้ากับจุดต่อด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ เพื่อเป็นการทดสอบวัดสัญญาณที่เกิดขึ้นมีผลอย่างไรกับความยาวของสายไฟโดยการปรับค่ากระแสทางด้านออกของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ 3.5 แอมป์ และ 5 แอมป์ จุดต่อด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์

1.2.3 การทดสอบจากข้อ 1.2.1 การเปลี่ยนจุดวัดทดสอบ จากตำแหน่งขั้วต่อด้านออก (Out put) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เป็นการวัดตรงตำแหน่งคร่อมระหว่างตัวต้านทานแบบกระเบื้องค่า 0.2 โอห์มขนาด 20 วัตต์

1.3 การทดสอบโดยการต่อเข้าช่องจ่ายน้ำยาสูบเข้ากับจุดต่อสายทางด้านออก (Out put) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ซึ่งเป็นการชูบงานจริงและวัดสัญญาณที่ได้

ผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

1.1 ผลการทดสอบ โดยการต่อตัวต้านทานค่า 0.2 โอห์มขนาด 20 วัตต์ต่อคร่อมกับจุดต่อด้านออก (Out put) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ เพื่อจ่ายสัญญาณพัลส์ที่ปรับตั้งเวลาเปิด (On time) ที่ 1 มิลลิวินาที เวลาปิด (Off time) ที่ 1 มิลลิวินาที โดยมีการเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าที่แสดง ทางด้านออก (Out put) เป็น 3.5 แอมป์ และ 5 แอมป์ เพื่อวัดหาค่าการกระเพื่อมของสัญญาณ (RIPPLE OF SIGNAL) การทดสอบหาค่าการกระโดดของสัญญาณ (OVER SHOOT OR UNDER SHOOT OF SIGNAL) การทดสอบหาค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นสัญญาณ (SETTING OR RISE TIME OF SIGNAL) โดยการวัดสัญญาณพัลส์จะวัดที่จุดต่อด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์สามารถสรุปผลที่ได้ดังนี้

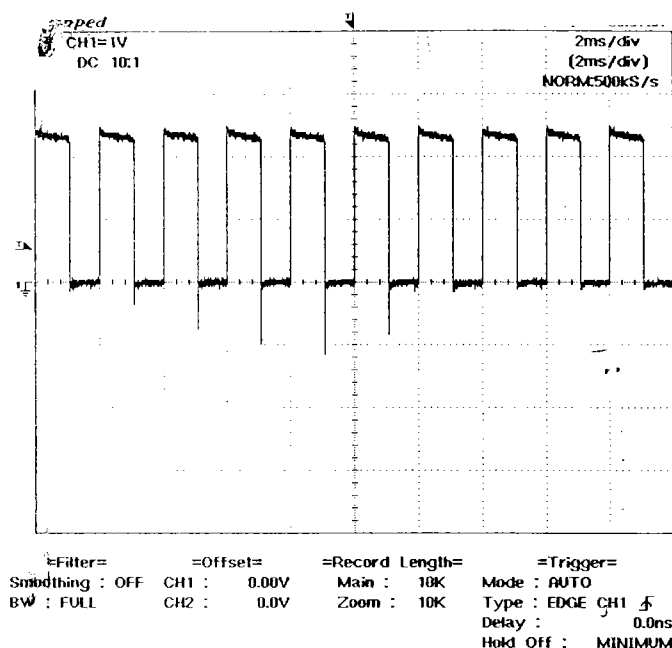


ภาพประกอบ 60 ผลการทดสอบ วัดขนาดของสัญญาณที่จุดต่อด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ด้วยออสซิลโลสโคปเมื่อตัวตัวต้านทานกระเบื้องค่า 0.2 โอห์ม ขนาด 20 วัตต์ต่อด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ที่กระแส 3.5 แอมป์ ค่าเวลาเปิด (On time) /เวลาปิดเท่ากับ 1/1 มิลลิวินาที

1.1.1 ผลของการกระเพื่อม (Ripple) ของสัญญาณที่ได้จากออสซิลโลสโคปที่สังเกตได้จากภาพประกอบ 60 สัญญาณ Noise มีขนาดประมาณ 0.1 โวลท์ คิดเป็น 6.25 % ของค่าแรงดันสูงสุดที่ 1.6 โวลท์

1.1.2 ค่าการกระโดด Under shoot ของสัญญาณที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของรูปคลื่นยังไม่มีให้เห็นแต่ที่เห็นคล้ายลักษณะ Under shoot นั้นเป็น ลักษณะของ อิมพัลส์ ทรานเซียนท์ อ่านค่าได้ค่าประมาณ 0.75 โวลท์ ดังภาพประกอบ 60 จากค่าแรงดันยอดคลื่นที่อ่านได้ประมาณ 1.6 โวลท์ (Peak to Peak) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการอิมพัลส์ทรานเซียนท์ อยู่ที่ 46.8 % ของค่าปรับตั้งที่ 1.6 โวลท์ จากยอดถึงยอด (Peak to Peak) แต่ค่า อิมพัลส์ทรานเซียนท์นี้ เป็นลักษณะของการกระโดดพุ่งขึ้นอย่างรวดเร็วโดยมีการหน่วงเวลาที่น้อยมากจนไม่ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวเพี้ยนไปของสัญญาณพัลส์ที่ได้รับ

1.1.3 ค่าเวลาการตั้งตัวของรูปคลื่นมีค่าน้อยมากจากที่กำหนดไว้โดยต้องน้อยกว่า 1/10 ของความกว้างของสัญญาณพัลส์ ซึ่งในที่นี้ค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์อยู่ที่ 1 มิลลิวินาที ค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นต้องน้อยกว่า 0.1 มิลลิวินาที จากภาพประกอบ 60 ค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นมีค่าน้อยกว่า 0.1 มิลลิวินาทีมาก ซึ่งได้ค่าตามมาตรฐานสัญญาณพัลส์ตามทฤษฎีการชูปกรอบขาไอซี



ภาพประกอบ 61 ผลการทดสอบวัดขนาดของสัญญาณที่จุดต่อด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ เมื่อตัว ตัวต้านทานกระเบื้องค่า 0.2 โอห์ม ขนาด 20 วัตต์ต่อด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ปรับกระแสเท่ากับ 5 แอมป์ ค่าเวลาเปิด (On time) / เวลาปิดเท่ากับ 1/1 มิลลิวินาที

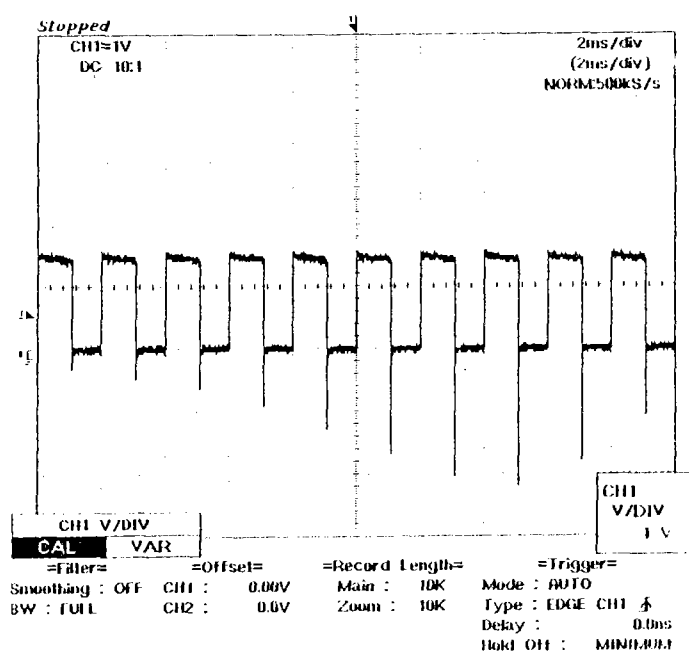
1.1.4 ค่าการกระเพื่อม (Ripple) ของสัญญาณที่ได้ ผลการวัดด้วยออสซิลโลสโคปจากภาพประกอบ 61 สัญญาณ Noise มีขนาดประมาณ 0.1 โวลต์ คิดเป็น 4.16% ของค่าแรงดันสูงสุดที่ปรับตั้งที่ 2.4 โวลต์ เป็นไปตามมาตรฐานทฤษฎีการชุกรอบขาไอซี

1.1.5 ค่าการกระโดด Under shoot ของสัญญาณที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของรูปคลื่น ยังไม่มีให้เห็นแต่ที่เห็นคล้ายลักษณะ Under shoot นั้นเป็น ลักษณะของอิมพัลส์ทรานเซียนท์ อ่านค่าได้เท่ากับ 1.19 โวลต์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการอิมพัลส์ทรานเซียนท์ อยู่ที่ 50 % ของค่าปรับตั้งที่ 2.4 โวลต์ จากยอดถึงยอด (Peak to Peak) แต่ค่า อิมพัลส์ทรานเซียนท์นี้ เป็นลักษณะของการกระโดดพุ่งขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีการหน่วงเวลาที่น้อยมากจนไม่ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวเพี้ยนไปของสัญญาณพัลส์ที่รับดังภาพประกอบ 61

1.1.6 ค่าเวลาการตั้งตัวของรูปคลื่นมีค่าน้อยมากจากที่กำหนดไว้โดยต้องน้อยกว่า 1/10 ของความกว้างของสัญญาณพัลส์ ซึ่งในที่นี้ค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์อยู่ที่ 1 มิลลิวินาที ค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นต้องน้อยกว่า 0.1 มิลลิวินาที จากภาพประกอบ 61 ค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นมีค่าน้อยกว่า 0.1 มิลลิวินาที ซึ่งได้ค่าตามมาตรฐานสัญญาณพัลส์ตามทฤษฎีการชุกรอบขาไอซี

2. ผลการทดสอบโดยการต่อด้านออก (Out put) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เข้าการะที่เป็นสายไฟฟ้า THW #16 ยาวประมาณ 2 เมตร และ 3.5 เมตร ต่อเข้ากับตัวต้านทาน ค่า 0.2 โอห์ม ขนาด 20 วัตต์ ดังมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การทดสอบโดยการต่อสายไฟ THW#16 ยาว 1 เมตร จำนวน 2 เส้น ต้นสายไฟฟ้าต่อเข้ากับขั้ว + และ ขั้วลบ - ที่จุดต่อด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ขั้วเคลือบผิวกรอบขาไอซี และปลายสายไฟ THW#16 ทั้งสองด้านต่อเข้ากับตัวต้านทานแบบกระเบื้องค่า 0.2 โอห์มขนาด 40 วัตต์ ฉะนั้นความยาวโดยรวมของสายไฟฟ้าเบอร์ 16 มีความยาวรวมเท่ากับ 2 เมตร เพื่อเป็นการทดสอบวัดสัญญาณที่เกิดขึ้นมีผลอย่างไรกับความยาวของสายไฟโดยการปรับค่ากระแสทางด้านออกของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ 3.5 แอมป์ และ 5 แอมป์ โดยการวัดสัญญาณพัลส์จะวัดที่จุดต่อด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์

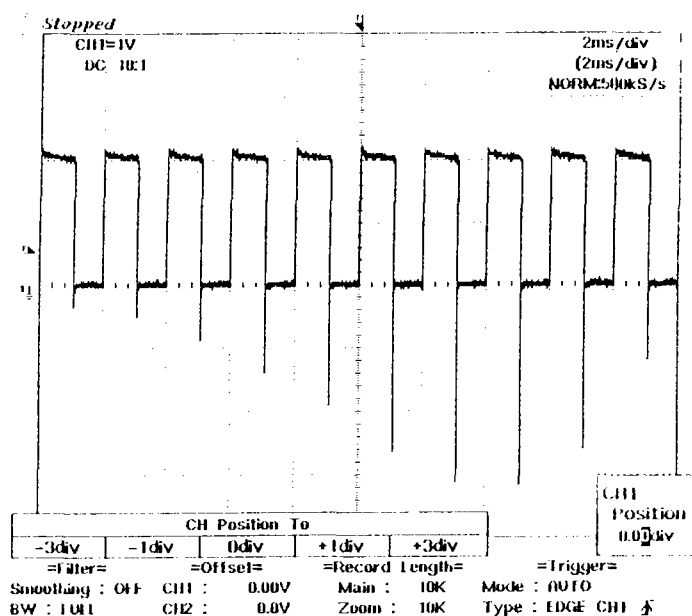


ภาพประกอบ 62 ผลการทดสอบวัดขนาดของสัญญาณที่จุดต่อด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ เมื่อตัวตัวต้านทานกระเบื้องค่า 0.2 โอห์ม ขนาด 20 วัตต์ต่อสายไฟฟ้าขนาด THW#16 ความยาว ด้านละ 1 เมตร ด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ที่กระแส 3.5 แอมป์ ค่าเวลาเปิด (On time) /เวลาปิดเท่ากับ 1/1 มิลลิวินาที

2.1.1 ค่าการกระเพื่อม (Ripple) ของสัญญาณที่ได้ ผลการวัดด้วยออสซิลโลสโคป จากภาพประกอบ 62 สัญญาณ Noise มีขนาดประมาณ 0.1 โวลท์ คิดเป็น 6.25 % ของค่าแรงดันสูงสุดที่ปรับตั้งที่ 1.6 โวลท์ เป็นไปตามมาตรฐานทฤษฎีการชุกรอบขาไอซี

2.1.2 ค่าการกระโดด Under shoot ของสัญญาณที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของรูปคลื่น ยังไม่มีให้เห็นแต่ที่เห็นคล้ายลักษณะ Under shoot นั้นเป็นลักษณะของอิมพัลส์ทรานเซียนท์ อ่านค่าได้เท่ากับ 2.2 โวลท์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการอิมพัลส์ทรานเซียนท์ มากกว่าค่าปรับตั้งที่ 1.6 โวลท์ จากยอดถึงยอด (Peak to Peak) อยู่ที่ 0.6 โวลท์ แต่ค่าอิมพัลส์ทรานเซียนท์นี้ เป็นลักษณะของการกระโดดพุ่งขึ้นอย่างรวดเร็วโดยมีการหน่วงเวลาที่น้อยมาก จนไม่ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวเพี้ยนไปของสัญญาณพัลส์ที่ได้รับ ดังภาพประกอบ 62

2.1.3 ค่าเวลาการตั้งตัวของรูปคลื่นมีค่าน้อยมากจากที่กำหนดไว้โดยต้องน้อยกว่า 1/10 ของความกว้างของสัญญาณพัลส์ ซึ่งในที่นี้ค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์อยู่ที่ 1 มิลลิวินาที ค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นต้องน้อยกว่า 0.1 มิลลิวินาที จากภาพประกอบ 62 ค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นมีค่าน้อยกว่า 0.1 มิลลิวินาที ซึ่งได้ผลทดสอบค่าตามมาตรฐานสัญญาณพัลส์ตามทฤษฎีการชุกรอบขาไอซี



ภาพประกอบ 63 ผลการทดสอบวัดขนาดของสัญญาณที่จุดต่อด้านออก (Out put) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ เมื่อตัว ตัวต้านทานกระเบื้องค่า 0.2 โอห์ม ขนาด 20 วัตต์ต่อสายไฟฟ้าขนาด THW#16 ความยาว ด้านละ 1 เมตร ด้านออก (Out put) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ที่กระแส 5 แอมป์ ค่าเวลาเปิด (On time) /เวลาปิดเท่ากับ 1/1 มิลลิวินาที

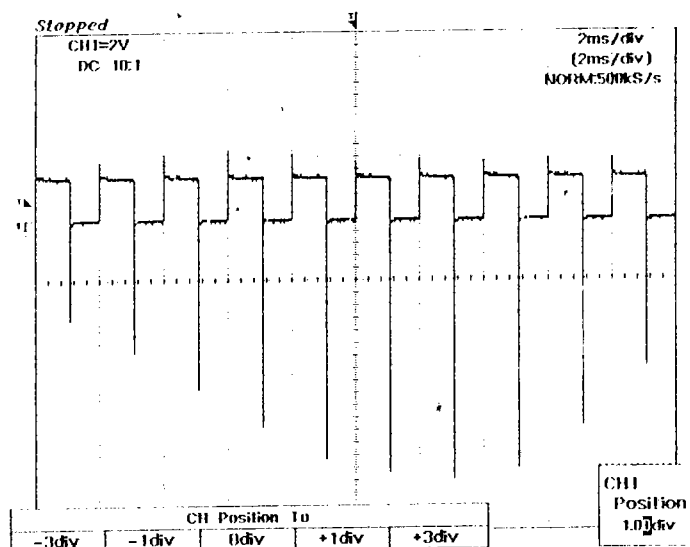
2.1.4 จากการกระเพื่อม (Ripple) ของสัญญาณที่ได้ผลการวัดด้วยออสซิลโลสโคปจากภาพประกอบ 63 สัญญาณ Noise มีขนาดประมาณ 0.1 โวลท์ คิดเป็น 4.45 % ของค่าแรงดันสูงสุดที่ปรับตั้งที่ 2.2 โวลท์ เป็นไปตามมาตรฐานทฤษฎีการชุกรอบขาไอซี

2.1.5 ค่าการกระโดด Under shoot ของสัญญาณที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ รูปคลื่น ยังไม่มีให้เห็นแต่ที่เห็นคล้ายลักษณะ Under shoot นั้นเป็น ลักษณะของ อิมพัลส์ทรานเซียนท์ อ่านค่าได้เท่ากับ 3.1 โวลท์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการอิมพัลส์ทรานเซียนท์ มากกว่าค่าปรับตั้งที่ 2.2. โวลท์จากยอดถึงยอด (Peak to Peak) อยู่ 0.9 โวลท์ แต่ค่าอิมพัลส์ทรานเซียนท์ นี้เป็นลักษณะของการกระโดดพุ่งขึ้นอย่างรวดเร็ว

เร็วโดยมีการหน่วงเวลาที่น้อยมากจนไม่ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวเพี้ยนไปของสัญญาณพัลส์ที่ได้รับดังภาพประกอบ 63

2.1.6 ค่าเวลาการตั้งตัวของรูปคลื่นมีค่าน้อยมากจากที่กำหนดไว้โดยต้องน้อยกว่า $1/10$ ของความกว้างของสัญญาณพัลส์ ซึ่งในที่นี้ค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์อยู่ที่ 1 มิลลิวินาที ค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นต้องน้อยกว่า 0.1 มิลลิวินาที จากภาพประกอบ 63 ค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นมีค่าน้อยกว่า 0.1 มิลลิวินาที ซึ่งได้ผลทดสอบค่าตามมาตรฐานสัญญาณพัลส์ตามทฤษฎีการชุปกรอบขาไอซี

2.2 การทดสอบโดยการต่อสายไฟ THW#16 โดยมีความยาวโดยรวมเท่ากับ 3.5 เมตร ต่อเข้ากับตัวต้านทานแบบกระเบื้องค่า 0.2 โอห์ม ขนาด 20 วัตต์ และต่อเข้ากับขั้วบวก และขั้วลบที่จุดต่อต้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เพื่อเป็นการทดสอบวัดสัญญาณที่เกิดขึ้นมีผลอย่างไรกับความยาวของสายไฟโดยการปรับค่ากระแสทางด้านออกของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ 3.5 แอมป์ และ 5 แอมป์ จุดต่อต้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์



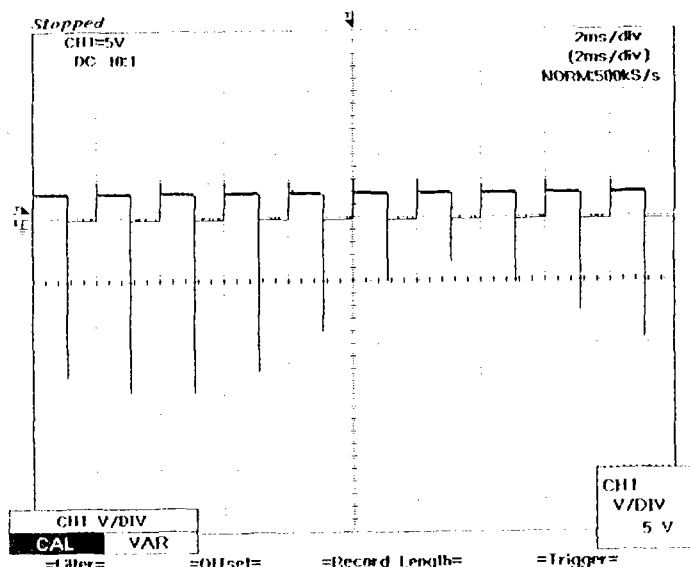
ภาพประกอบ 64 ผลการทดสอบวัดขนาดของสัญญาณที่จุดต่อต้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ เมื่อตัวต้านทานกระเบื้องค่า 0.2 โอห์ม ขนาด 20 วัตต์ต่อสายไฟฟ้าขนาด THW#16 ความยาว โดยรวม เท่ากับ 3.5 เมตร และต่อกับจุดต่อ ขั้ว บวก และลบด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ที่กระแส 3.5 แอมป์ ค่าเวลาเปิด (On time) /เวลาปิดเท่ากับ 1/1 มิลลิวินาที

2.2.1 ค่าการกระเพื่อม (Ripple) ของสัญญาณที่ได้ ผลการวัดด้วยออสซิลโลสโคปจากภาพประกอบ 64 สัญญาณ Noise มีขนาดประมาณ 0.1 โวลต์ คิดเป็น 7.14. % ของค่าแรงดันสูงสุดที่ปรับตั้งที่ 1.4 โวลต์

2.2.2 ค่าการกระโดด Under shoot ของสัญญาณที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของรูปคลื่นยังไม่มีให้เห็นแต่ ที่เห็นคล้ายลักษณะ Under shoot นั้นเป็น ลักษณะของ อิมพัลส์ ทรานเซียนท์ อ่านค่าได้เท่ากับ 6.4 โวลต์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการอิมพัลส์ ทรานเซียนท์ มากกว่าค่าปรับตั้งที่ 1.4 โวลต์ จากยอดถึงยอด

(Peak to Peak) อยู่ 5 โวลท์ แต่ค่า อิมพัลส์ทรานเซียนท์ นี้เป็นลักษณะของการกระโดดพุ่งขึ้นอย่างรวดเร็วโดยมีการหน่วงเวลาที่น้อยมากจนไม่ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวเพี้ยนไปของสัญญาณพัลส์ที่ได้รับ ดังภาพประกอบ 64 นอกจากนั้นพบว่าเกิดมีรูปสัญญาณการกระโดดทางด้านบวกคล้ายกับ Over shoot แต่เป็นสัญญาณ อิมพัลส์ทรานเซียนท์ที่มีการพุ่งขึ้นของสัญญาณที่มีเวลาหน่วงน้อยมากเช่นเดียวกับสัญญาณด้านลบ แต่ขนาดด้านบวกน้อยกว่าขนาดน้อยกว่าด้านลบ สัญญาณอิมพัลส์ ทรานเซียนท์ทางด้านบวกเกิดขึ้นมีค่าประมาณ 0.8 โวลท์ คิดเป็น 57.14% ของค่าปรับตั้งที่ 1.4 โวลท์

2.2.3 ค่าเวลาการตั้งตัวของรูปคลื่นมีค่าน้อยมากจากที่กำหนดไว้โดยต้องน้อยกว่า 1/10 ของความกว้างของสัญญาณพัลส์ ซึ่งในที่นี้ค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์อยู่ที่ 1 มิลลิวินาทีค่า การตั้งตัวของรูปคลื่นต้องน้อยกว่า 0.1 มิลลิวินาที จากภาพประกอบ 64 ค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นมีค่าน้อยกว่า 0.1 มิลลิวินาทีซึ่งได้ผลทดสอบค่าตามมาตรฐานสัญญาณพัลส์ตามทฤษฎีการชุกรอบขาไอซี



ภาพประกอบ 65 ผลการทดสอบวัดขนาดของสัญญาณที่จุดต่อด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ เมื่อตัวตัวต้านทานกระเบื้องค่า 0.2 โอห์ม ขนาด 20 วัตต์คร่อมจุดต่อสายไฟฟ้าขนาด THW#16 ความยาว โดยรวม เท่ากับ 3.5 เมตร และต่อกับจุดต่อ ขั้ว บวก และลบด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ที่กระแส 5 แอมป์ ค่าเวลาเปิด (On time) /เวลาปิดเท่ากับ 1/1 มิลลิวินาที

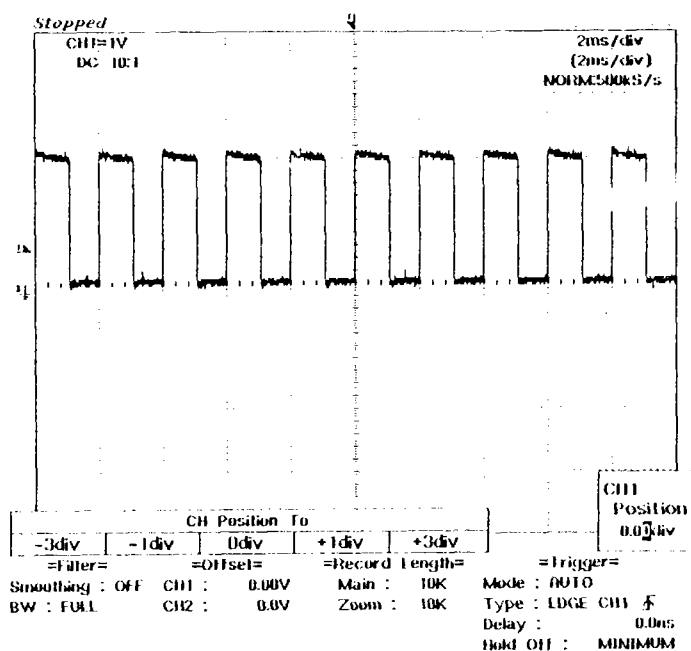
2.2.4 ค่าการกระเพื่อม (Ripple) ของสัญญาณที่ได้ ผลการวัดด้วยออสซิลโลสโคป จากภาพประกอบ 65 สัญญาณ Noise มีขนาดประมาณ 0.1 โวลท์ คิดเป็น 5 % ของค่าแรงดันสูงสุดที่ปรับตั้งที่ 2 โวลท์

2.2.5 ค่าการกระโดด Under shoot ของสัญญาณที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของรูปคลื่นยังไม่มีให้เห็นแต่ ที่เห็นคล้ายลักษณะ Under shoot นั้นเป็น ลักษณะของ อิมพัลส์ทรานเซียนท์ อ่านค่าได้เท่ากับ 14 โวลท์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการอิมพัลส์ทรานเซียนท์ มากกว่าค่าปรับตั้งที่ 2 โวลท์ จากยอดถึงยอด (Peak to Peak) อยู่ 12 โวลท์ แต่ค่าอิมพัลส์ทรานเซียนท์นี้ เป็นลักษณะของการกระโดดพุ่งขึ้นอย่างรวดเร็วโดยมีการหน่วงเวลาที่น้อยมากจนไม่ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวเพี้ยนไปของสัญญาณพัลส์ที่ได้รับดังภาพประกอบ 65 นอกจากนั้นพบว่าเกิดมีรูปสัญญาณการกระโดดทางด้านบวกคล้ายกับ Over shoot แต่เป็นสัญญาณอิมพัลส์

ทรานเซียนท์ที่มีการพุ่งขึ้นของสัญญาณที่มีเวลาหน่วงน้อยมากเช่นเดียวกับสัญญาณด้านลบแต่ขนาดด้านบวกน้อยกว่าขนาดน้อยกว่าด้านลบ สัญญาณอิมพัลส์ทรานเซียนท์ทางด้านบวกเกิดขึ้นมีค่าประมาณ 1 โวลต์ คิดเป็น 50% ของค่าปรับตั้งที่ 2 โวลต์

2.2.6 ค่าเวลาการตั้งตัวของรูปคลื่นมีค่าน้อยมากจากที่กำหนดไว้โดยต้องน้อยกว่า 1/10 ของความกว้างของสัญญาณพัลส์ ซึ่งในที่นี้ค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์อยู่ที่ 1 มิลลิวินาที ค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นต้องน้อยกว่า 0.1 มิลลิวินาที จากภาพประกอบ 65 ค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นมีค่าน้อยกว่า 0.1 มิลลิวินาที ซึ่งได้ผลทดสอบค่าตามมาตรฐานสัญญาณพัลส์ตามทฤษฎีการชูปกรอบขาไอซี

2.3 การทดสอบจากข้อ 2.1 โดยการเปลี่ยนจุดวัดทดสอบจากตำแหน่งขั้วต่อด้านออก(Output)ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ เป็นการวัดตรงตำแหน่งคร่อมระหว่างตัวต้านทานแบบกระเบื้องค่า 0.2 โอห์มขนาด 20 วัตต์



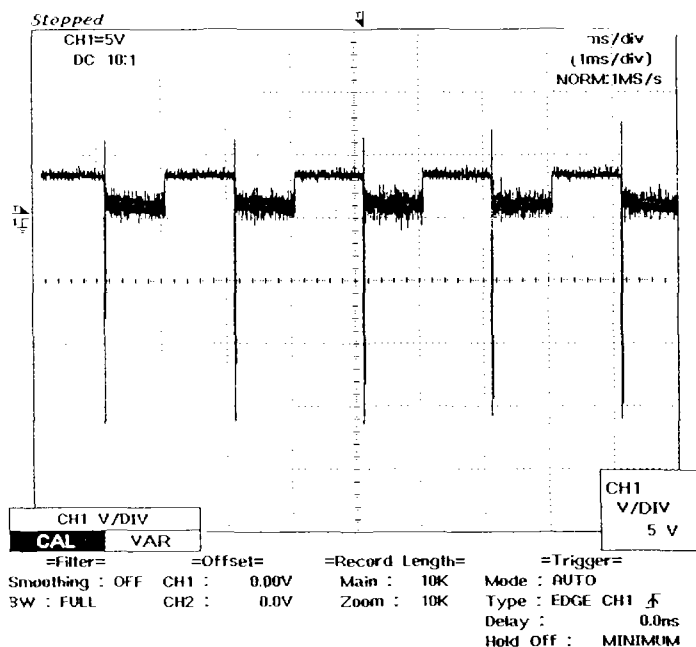
ภาพประกอบ 66 ผลการทดสอบวัดขนาดของสัญญาณคร่อมตัวต้านทาน 0.2 โอห์ม เมื่อตัวต้านทานต่อกับสายไฟฟ้าขนาด THW#16 ความยาวโดยรวมเท่ากับ 2 เมตร อีกด้านของสายไฟต่อกับจุดต่อขั้วบวกและลบด้านออก (Output) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ที่กระแส 5 แอมป์ ค่าเวลาเปิด (On time) / เวลาปิดเท่ากับ 1/1 มิลลิวินาที

2.3.1 ค่าการกระเพื่อม (Ripple) ของสัญญาณที่ได้ผลการวัดด้วยออสซิลโลสโคปจากภาพประกอบ 66 สัญญาณ Noise มีขนาดประมาณ 0.1 โวลต์ คิดเป็น 4.76. % ของค่าแรงดันสูงสุดที่ปรับตั้งที่ 2.1 โวลต์

2.3.2 ไม่มีการกระโดด Under or Over shoot ของสัญญาณที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ รูปคลื่นให้เห็น แต่ซึ่งได้ผลทดสอบค่าตามมาตรฐานสัญญาณพัลส์ตามทฤษฎีการชุกรอบขาไอซี

2.3.3 ค่าเวลาการตั้งตัวของรูปคลื่นมีค่าน้อยมากจากที่กำหนดไว้โดยต้องน้อยกว่า 1/10 ของความกว้างของสัญญาณพัลส์ ซึ่งในที่นี้ค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์อยู่ที่ 1 มิลลิวินาที ค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นต้องน้อยกว่า 0.1 มิลลิวินาที จากภาพประกอบ 66 ค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นมีค่าน้อยกว่า 0.1 มิลลิวินาทีซึ่งได้ผลทดสอบค่าตามมาตรฐานสัญญาณพัลส์ตามทฤษฎีการชุกรอบขาไอซี

3. การทดสอบ โดยต่อสายไฟฟ้าจากช่องจ่ายน้ำยาสูบเข้ากับจุดต่อสายขั้วบวกและลบทางด้านออก (Out put) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ซึ่งเป็นการชุกรอบขาไอซีและวัดสัญญาณที่ได้



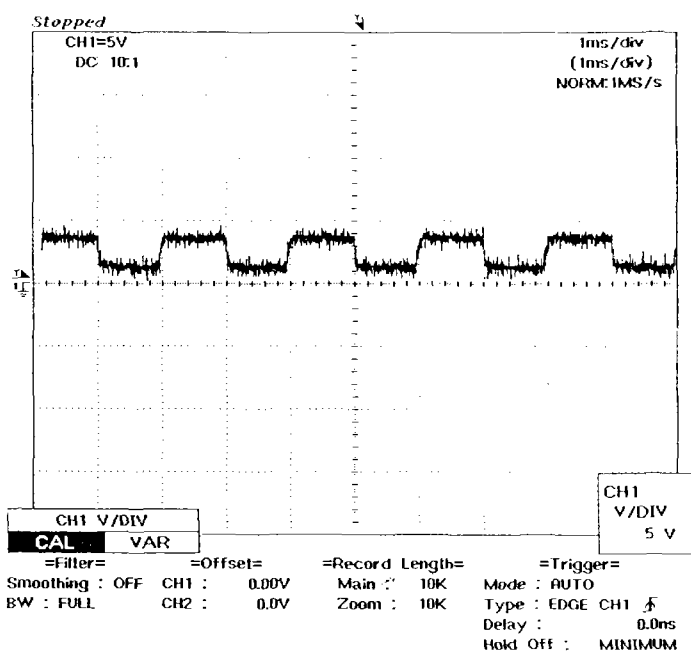
ภาพประกอบ 67 ผลการทดสอบวัดขนาดของสัญญาณคร่อมจุดต่อขั้วบวกและลบด้านออก (Out put) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ที่กระแส 3.4 แอมป์ ค่าเวลาเปิด (On time) / เวลาปิดเท่ากับ 1/1 มิลลิวินาที ในการจ่ายสัญญาณพัลส์เข้าถึงชุกรอบขาไอซี

3.1 ค่าการกระเพื่อม (Ripple) ของสัญญาณที่ได้ ผลการวัดด้วยออสซิลโลสโคปจาก ภาพประกอบ 67 สัญญาณ Noise มีขนาดประมาณ 1 โวลท์ คิดเป็น 25 % ของค่าแรงดันสูงสุดที่ปรับตั้งที่ 4 โวลท์ ขณะเวลาการเปิด(On time) และค่าการกระเพื่อมของสัญญาณขณะเวลาปิด (Off time) มีค่าเท่ากับ 2.4 โวลท์

3.2 ค่าการกระโดด Under shoot ของสัญญาณที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของรูปคลื่น ยังไม่ให้เห็นแต่ที่เห็นคล้ายลักษณะ Under shoot นั้นเป็น ลักษณะของ อิมพัลส์ทรานเซียนท์ อ่านค่าได้เท่ากับ 16 โวลท์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการอิมพัลส์ ทรานเซียนท์ มากกว่าค่าปรับตั้งที่ 4 โวลท์ จากยอดถึงยอด (Peak to Peak) แต่ค่าอิมพัลส์ทรานเซียนท์เป็นลักษณะของการกระโดดพุ่งขึ้นอย่างรวดเร็วโดยมีการหน่วงเวลาที่น้อยมากจนไม่ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวเพี้ยนไปของสัญญาณพัลส์ที่ได้รับ ดังภาพประกอบ 67 นอกจากนั้น พบว่าเกิดมีรูปสัญญาณการกระโดดทางด้านบวกคล้ายกับ Over shoot แต่เป็นสัญญาณอิมพัลส์ทรานเซียนท์ที่มีการ

พุ่งขึ้นของสัญญาณที่มีเวลาหน่วงน้อยมากเช่นเดียวกับสัญญาณด้านลบ แต่ขนาดด้านบวกน้อยกว่าขนาดน้อยกว่าด้านลบสัญญาณนิมพัลส์ทรานเซียนท์ทางด้านบวกเกิดขึ้นมีค่าประมาณ 3 โวลต์ มีค่าน้อยกว่าของค่ารับตั้งที่ 4 โวลต์

3.3 ค่าเวลาการตั้งตัวของรูปคลื่นมีค่าน้อยมากจากที่กำหนดไว้โดยต้องน้อยกว่า 1/10 ของความกว้างของสัญญาณพัลส์ ซึ่งในที่นี้ค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์อยู่ที่ 1 มิลลิวินาที ค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นต้องน้อยกว่า 0.1 มิลลิวินาที จากภาพประกอบ 67 ค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นมีค่าน้อยกว่า 0.1 มิลลิวินาที ซึ่งได้ผลทดสอบค่าตามมาตรฐานสัญญาณพัลส์ตามทฤษฎีการชุกรอบขาไอซี



ภาพประกอบ 68 ผลการทดสอบวัดขนาดของสัญญาณที่ปลายสาย ณ จุดที่ต่อเข้าช่องจ่ายน้ำยาชุปเป็นจุดใกล้ช่องจ่ายน้ำยาชุปเคลือบผิวกรอบขาไอซีมากที่สุดที่กระแส 3.4แอมป์ ค่าเวลาเปิด (On time) ต่อเวลาปิดเท่ากับ 1/1 มิลลิวินาที ในการจ่ายสัญญาณพัลส์เข้าถึงชุกรอบขาไอซี

3.4 ค่าการกระเพื่อม (Ripple) ของสัญญาณที่ได้ ผลการวัดด้วยออสซิลโลสโคปจากภาพประกอบ 68 สัญญาณ Noise ณ เวลาการเปิด (On time) และขณะ เวลาปิด (Off time) มีขนาดประมาณ 2.4 โวลต์ของค่าแรงดันสูงสุดที่ปรับตั้งที่ 4.6 โวลต์

3.5 ไม่มีการกระโดด Under or Over shoot ของสัญญาณที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของรูปคลื่นให้เห็น แต่ซึ่งได้ผลทดสอบค่าตามมาตรฐานสัญญาณพัลส์ตามทฤษฎีการชุกรอบขาไอซี

3.6 ในกรณีที่วัดสัญญาณที่ใกล้ตำแหน่งช่องจ่ายน้ำยา (Cell) บริเวณปลายจุดต่อสายไฟพร้อมช่องจ่ายน้ำยาเป็นจุดที่ใกล้กับการเกิดปฏิกิริยาเคมีมากที่สุด จะทำให้เห็นเวลาการตั้งตัวของรูปคลื่นเปลี่ยนไปโดยใช้เวลามากขึ้นทำให้รูปร่างของสัญญาณพัลส์เปลี่ยนไปจากภาพประกอบที่ 68 ค่าเวลาในการตั้งตัวช่วง Rise Time มีเวลาเท่ากับ 0.045 msec ส่วนช่วงเวลา Fall time มีเวลาเท่ากับ 0.030 msec จากกราฟ 1/10

ของความกว้างพัลส์ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 0.045 msec ซึ่งผลการทดสอบเป็นไปตามความมุ่งหมายของการวิจัย และมาตรฐานตามทฤษฎีพัลส์ที่ใช้ในการซูป

สรุปการหาประสิทธิภาพและค่าผิดพลาดจากการปรับตั้งโดยวัดสัญญาณรูปคลื่นที่ได้กับการะการซูปเคลือบผิวกรอบขาไอซี ผลจากการปรับตั้งค่า On/Off และค่าที่อ่านได้ จากออสซิลโลสโคปมีค่าถูกต้องกับค่าปรับตั้งคิดเป็นประสิทธิภาพประมาณ 99 % คิดเป็นค่าผิดพลาดประมาณ 0.1 %

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ซูปเปอร์คอนดักติ้งไอซีได้ดำเนินการดังต่อไปนี้

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. ออกแบบและสร้างเครื่องจ่ายสัญญาณพัลส์ขนาด 5 แอมป์ 30 โวลต์ ปรับเวลาเปิด และปิด กระแสได้ตั้งแต่ 01 – 99 มิลลิวินาที
2. ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องจ่ายสัญญาณพัลส์ โดยมีค่าการกระเพื่อมของกระแสไฟฟ้าที่ 5% ของค่าปรับตั้ง ค่า (Over shoot) การกระโดดของกระแสที่ต่ำกว่า 5 % ของค่าปรับตั้ง เวลาในการตั้งตัวของรูปคลื่น (Setting time) น้อยกว่า 1/10 ของความกว้างพัลส์ต่ำสุด

ความสำคัญของการวิจัย

ได้เครื่องจ่ายสัญญาณพัลส์ เพื่อใช้สำหรับงานซูปเปอร์คอนดักติ้งไอซี ในพื้นที่การซูปที่จำกัดและ กรอบหาไอซีที่บางๆ

สมมุติฐานในการวิจัย

เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ซูปเปอร์คอนดักติ้งไอซีมีประสิทธิภาพ

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ซูปเปอร์คอนดักติ้งไอซีครั้งนี้ ผู้วิจัย ได้ดำเนินการดังต่อไปนี้

1. รับรู้ปัญหาของการซูปโดยใช้สัญญาณพัลส์ในการซูปซูปเปอร์คอนดักติ้งไอซี ซึ่งเครื่องจ่าย สัญญาณพัลส์ทั้งหมดที่ใช้อยู่เป็นการนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาแพง เมื่อเกิดการชำรุดเสียหายก็ไม่สามารถซ่อมภายในประเทศได้ เนื่องจากอุปกรณ์บางชนิดไม่ได้รับการเปิดเผยจากผู้ผลิต ทำให้สูญเสียงบประมาณค่าใช้จ่ายมากขึ้น
2. ศึกษารายละเอียดต่างๆที่ใช้ในการออกแบบ และสร้างเครื่องจ่ายสัญญาณพัลส์ซูปเปอร์คอนดักติ้ง ไอซี
 - 2.1 ศึกษาค้นคว้าจากเอกสารตำราและงานวิจัยเชิงทดลอง ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและสร้าง เครื่องจ่ายสัญญาณพัลส์ซูปเปอร์คอนดักติ้งไอซีและงานวิจัยเชิงทดลองทางด้านไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ที่เกี่ยวข้อง
 - 2.2 ศึกษาคุณสมบัติและส่วนประกอบของชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse) ในการจ่าย สัญญาณพัลส์ ไปยังเอาต์พุต และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ ที่ใช้มาประกอบเป็นชุดที่สมบูรณ์
3. ออกแบบวงจรในส่วนต่างๆของการสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ซูปเปอร์คอนดักติ้งไอซี

3.2 ออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ในการชุกรอบขาไอซี

3.2.1 ออกแบบกำเนิดสัญญาณพัลส์และวงจรขับสัญญาณพัลส์ที่ 0-5 แอมป์ และแรงดันที่ 0-30 โวลท์ ที่สามารถขับกระแสจ่ายภาระสำหรับการชุกรอบขาไอซี

4. กำหนดวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือในส่วนต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุกรอบขาไอซี ผู้วิจัยได้เลือกใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพดี และได้สัญญาณที่เรียบตามจุดมุ่งหมายของการวิจัย

4.1 ชุดแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 0-30 โวลต์ 0-5 แอมป์ โดยใช้เครื่องจ่ายกำลังแบบลิเนียร์ ที่สามารถคงกระแสไฟฟ้า (CC) และแรงดันไฟฟ้า (CV) ได้ โดยการสั่งชุดอุปกรณ์ตามรายละเอียดของวงจรที่ได้กำหนดและออกแบบไว้จากบริษัทอิเล็กทรอนิกส์พาร์ทซ์พลาย จำกัด

4.2 ชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุกรอบขาไอซีและชุดขับสัญญาณพัลส์ โดยสั่งชุดอุปกรณ์ตามรายละเอียดของวงจรที่ได้ทำการกำหนดและออกแบบไว้จากบริษัทอิเล็กทรอนิกส์เซอร์วิส จำกัด

4.3 สั่งทำแผ่นวงจรพิมพ์จากวงจรที่ได้ออกแบบไว้เป็นแผ่นปริ้นส์สองชั้นและประกอบวงจรที่บริษัท โปรเซอร์กิท

5. กำหนดระยะเวลาและสถานที่ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์

5.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ถึง มีนาคม

5.2 สถานที่ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลออกแบบและสร้างได้แก่บ้านพักอาศัยของผู้วิจัย และ บริษัท ชุมิโกะ - ลีตเฟรม (ไทยแลนด์) จำกัด

6. สร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุกรอบขาไอซี เพื่อการวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการสร้างส่วนประกอบต่างๆ ตามแบบที่กำหนด

7. ทดสอบปรับปรุงและแก้ไขการทำงานเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุกรอบขาไอซีที่บ้านพักอาศัยผู้วิจัย และบริษัท ชุมิโกะลีตเฟรม (ไทยแลนด์) จำกัด

8. ทดสอบค่าผิดพลาดตามคุณสมบัติที่ใช้ในการชุกรอบขาไอซีผู้วิจัยได้ทำหนังสือจากบัณฑิตวิทยาลัยไปยังแผนกการชุกรอบขาไอซี ชุมิโกะลีตเฟรม (ไทยแลนด์) จำกัด

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุกรอบขาไอซี ที่ได้สร้างขึ้นมาทดสอบคุณสมบัติที่ใช้ในการชุกรอบขาไอซีที่ได้ประสิทธิภาพตามมาตรฐานทฤษฎีการชุกรอบขาไอซี บริษัท ชุมิโกะลีตเฟรม (ไทยแลนด์) จำกัด ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. ส่วนที่เป็นไปตามทฤษฎีการชุกรอบขาไอซีเป็นที่ยอมรับ และสามารถนำไปใช้งานได้ตามความต้องการ มีรายละเอียดดังนี้

1.1 ค่าการกระเพื่อมของสัญญาณหรือสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5% ของค่าปรับตั้งที่ปรับกระแสที่เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เท่ากับ 5 แอมป์ เนื่องจากค่าสัญญาณการกระเพื่อมหรือสัญญาณรบกวนมีค่าประมาณ 0.1 โวลท์

1.2 ค่าการกระโดดของสัญญาณ Over or under shoot จนทำให้รูปร่างของสัญญาณเสียหายไม่เกิดขึ้น และมีค่าน้อยกว่า 5% ของค่าปรับตั้ง เป็นไปตามมาตรฐานสัญญาณพัลส์สำหรับชุกรอบขาไอซี

1.3 ค่าเวลาในการตั้งตัวของรูปคลื่น (SETTING TIME) น้อยกว่า 1/10 ของความกว้างพัลส์ต่ำสุดเมื่อต่อเข้ากับภาระที่เป็นตัวต้านทาน 0.2 โอห์ม 20 วัตต์ เป็นไปตามมาตรฐานสัญญาณพัลส์สำหรับชุดเคลื่อนที่วนรอบขาไอซี

จากผลการทดสอบการเปลี่ยนตำแหน่งของสัญญาณที่วัดเพื่อตรวจสอบการตั้งตัวของรูปคลื่น ณ ตำแหน่งที่ใกล้กับจุดต่อสายไฟเข้าช่องจ่ายน้ำยาสูบ (Cell) จะมีค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นที่มีการหน่วงเวลามากขึ้น จากการที่วัดช่องจ่ายน้ำยาสูบเคลื่อนที่ไอซีได้ค่าประมาณ 0.040 มิลลิวินาที ซึ่งมีเวลาน้อยกว่า 1/10 ของความกว้างพัลส์ต่ำสุดเป็นไปตามมาตรฐานการชุดกรอบขาไอซี

2. ส่วนที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานทฤษฎีการชุดกรอบขาไอซี แต่สามารถนำเครื่องไปใช้ได้ตามความต้องการมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ค่าสัญญาณการกระเพื่อม (Ripple) หรือสัญญาณนอยซ์ (Noise) ในช่วง Off time และ On time ของภาระที่จ่ายเข้าถึงชุดโหลหะมีค่าสูงกว่าภาระที่เป็นตัวต้านทานที่ใช้ทดสอบค่า 0.2 โอห์ม ซึ่งในสภาพการจ่ายสัญญาณพัลส์เข้าสู่ชุดกรอบขาไอซีนั้นมีผลมาจากสภาวะอิมพีแดนซ์ของสายไฟ ค่า Noise ที่เกิดจากความรบกวนสัญญาณรบกวนจากหน้าสัมผัส (Contact Noise) ค่าสัญญาณรบกวนจากการสุ่มวัด (Measuring Random Noise) ที่ใช้ต่อเข้าช่อง (Cell) น้ำยาสูบร่วมกับปฏิกิริยาอิเล็กทรอนิกส์ที่ที่เกิดขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติที่ใช้ในการชุดเคลื่อนที่วนรอบขาไอซี ที่ได้ประสิทธิภาพตามมาตรฐานการชุดกรอบขาไอซี เป็นไปตามขอบเขตของการวิจัยซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. โดยการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุดเคลื่อนที่วนรอบขาไอซี ซึ่งมีคุณสมบัติและประสิทธิภาพตามมาตรฐานของทฤษฎีพัลส์สำหรับชุดเคลื่อนที่วนรอบขาไอซี มีส่วนประกอบดังนี้

1.1 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ชนิดที่มีการปรับค่าแรงดันขาออกได้ 0-30 โวลต์ และปรับกระแสไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0-5 แอมป์ จำนวน 1 ชุด

1.2 ชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์พร้อมชุดขับเคลื่อนมีความสามารถหนักรับขยายกระแสที่ได้มากกว่ากระแส แอมป์ 30 โวลต์ ปรับเวลาเปิดและปิดกระแสได้ตั้งแต่ 01 – 99 มิลลิวินาที

2. เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องจ่ายสัญญาณพัลส์ตามคุณสมบัติตามทฤษฎีพัลส์ที่ใช้ในการชุดกรอบขาไอซี โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ค่าการกระเพื่อม (Ripple) ของแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ 5% ของค่าที่ปรับตั้งของสัญญาณพัลส์ จากผลการทดสอบ พบว่าค่าการกระเพื่อมของสัญญาณหรือสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5% ของค่าปรับตั้งที่ปรับกระแสที่เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เท่ากับ 5 แอมป์ เนื่องจากค่าสัญญาณการกระเพื่อมหรือสัญญาณรบกวนมีค่าประมาณ 0.1 โวลต์ เมื่อปรับกระแสที่ 3.5 แอมป์จึงทำให้มีค่าการกระเพื่อม (Ripple) หรือค่าสัญญาณรบกวน (Noise) ของแรงดันและกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 6.25 % เนื่องจากค่าปรับตั้งมีค่าลดลงส่วนค่าสัญญาณรบกวนยังคงเท่าเดิม เมื่อการต่อสายไฟฟ้าที่ยาวขึ้น ค่าแรงดันที่ขาออกของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์มีค่าต่ำลงทำให้ได้ค่าที่คำนวณหาการกระเพื่อมของสัญญาณ มีค่ามากขึ้นกว่า 5% ของค่าปรับตั้งสัญญาณพัลส์ กรณีการต่อเข้าช่อง (Cell) ถึงชุดกรอบขาไอซีจากการทดสอบสามารถสรุปผลได้ว่าค่าสัญญาณการกระเพื่อม (Ripple) หรือสัญญาณนอยซ์ (NOISE) ในช่วง OFF TIME และ ON TIME ของภาระที่จ่ายเข้าถึงชุดโหลหะมีค่าสูงกว่าภาระที่เป็นตัวต้านทานที่ใช้ทดสอบค่า 0.2 โอห์ม

2.2 ค่าการกระโดดของแรงดันกระแสมีค่าต่ำกว่า 5 % ของค่าที่ปรับตั้งของสัญญาณ ผลที่ได้ จากการทดสอบพบว่าเป็นไปตามมาตรฐานสัญญาณพัลส์สำหรับชุดเคลื่อนที่วนรอบขาไอซีคือมีค่าต่ำกว่า 5 % ของค่าปรับตั้ง แต่จะพบว่าสัญญาณที่ได้จากการวัดด้วยออสซิลโลสโคปมีลักษณะของอิมพัลส์ทรานเซียนท์เป็นลักษณะของการกระโดดพุ่งขึ้นอย่างรวดเร็วโดยมีการหน่วงเวลาที่น้อยมาก จนไม่ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวเพี้ยนไปของสัญญาณพัลส์ที่ได้รับ โดยจะเกิดขึ้นในช่วงลบหรือช่วงการปิดของสัญญาณเมื่อต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เข้ากับตัวต้านทานหรือต่อเข้ากับสายไฟฟ้าที่มีความยาวโดยรวมเท่ากับ 2 เมตร เมื่อทำการทดสอบโดยการต่อเข้ากับตัวต้านทาน 0.2 โอห์มที่ต่อพ่วงด้วยสายไฟ THW#16 ยาว 3 เมตร พบว่ามีการพุ่งขึ้นของแรงดันทางด้านบวกหรือช่วงเวลากการเกิดรูปคลื่น (Rise time) แต่สัญญาณด้านบวกมีค่าต่ำกว่าช่วงสัญญาณไหลบ ซึ่งรูปร่างของสัญญาณที่จ่ายสัญญาณพัลส์เข้าถึงชุดมีลักษณะดังกล่าว คือ พบการพุ่งขึ้นของกระแสและแรงดันทั้งช่วงบนและลบ ผลการทดสอบยังพบอีกว่าเมื่อกระทำการเปลี่ยนจุดวัดสัญญาณจากจุดต่อขาออกด้านหลังเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ไปเป็นบริเวณขั้วต่อที่ใกล้กับช่องใส่แบตเตอรี่ (Cell) สัญญาณแรงดันที่ได้จะไม่ผลของพุ่งของแรงดันทั้งทางด้านบวกและด้านลบ

2.3 ค่าเวลาในการตั้งตัวของรูปคลื่น (Setting time) มีค่าน้อยกว่า 1/10 ของความกว้างพัลส์ต่ำสุด ค่าเวลาในการตั้งตัวของรูปคลื่น (Setting time) น้อยกว่า 1/10 ของความกว้างพัลส์ต่ำสุดเมื่อต่อเข้ากับภาระที่เป็นตัวต้านทาน 0.2 โอห์ม 20 วัตต์ เป็นไปตามมาตรฐานสัญญาณพัลส์สำหรับชุดเคลื่อนที่วนรอบขาไอซี จากผลการทดสอบการเปลี่ยนตำแหน่งของสัญญาณที่วัดเพื่อตรวจสอบการตั้งตัวของรูปคลื่น ณ ตำแหน่งที่ใกล้กับจุดต่อสายไฟเข้าช่องจ่ายน้ำยาชุด (Cell) จะมีค่าการตั้งตัวของรูปคลื่นที่มีการหน่วงเวลามากขึ้นจากการที่วัดช่องจ่ายน้ำยาชุดเคลื่อนที่วนไอซีได้ค่าประมาณ 0.040 มิลลิวินาที ซึ่งมีเวลาน้อยกว่า 1/10 ของความกว้างพัลส์ต่ำสุด เป็นไปตามมาตรฐานการชุดเคลื่อนที่วนไอซี

อภิปรายผล

การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุดเคลื่อนที่วนไอซี มีรายละเอียดดังนี้

1. สัญญาณการกระเพื่อม (Ripple) หรือสัญญาณรบกวน (Noise) จากผลการทดสอบมีค่าสูงเมื่อจ่ายสัญญาณพัลส์เข้าช่องใส่แบตเตอรี่หรือถังชุดเนื่องจากความยาวและชนิดของสายไฟฟ้า และปัจจัยอื่น ๆ ที่ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมแต่จะลดลงเมื่อต่อภาระเข้ากับภาระที่เป็นตัวต้านทาน 0.2 โอห์ม 20 วัตต์ และต่อกับสายไฟฟ้ายาว 2 และ 3.5 เมตร เมื่อปรับกระแสที่ 5 แอมป์ มีค่าการกระเพื่อมของสัญญาณต่ำกว่า 5% ของค่าปรับตั้งของสัญญาณพัลส์ ซึ่งสอดคล้องกับข้อเขียนของ Henry (Henry W.Ott, 1988 :1-417) ที่เขียนไว้ในหนังสือ NOISE REDUCTION TECHNIQUES IN ELECTRONIC SYSTEM ว่าสาเหตุของสายไฟฟ้าเป็นสาเหตุหนึ่งในสาเหตุอื่น ๆ ของการเกิดสัญญาณรบกวนอื่น ๆ ดังนี้ 1. สาเหตุจาก EMC 2. จากสาเหตุเบิ้ล 3. ระบบกราวด์ 4. จากการ Balancing และการ Filtering 5. จากอุปกรณ์ Passive เช่น คาปาซิเตอร์ ตัวเหนี่ยวนำ หม้อแปลงไฟฟ้า ฯลฯ 6. Shielding 7. Contact protection 8. Intrinsic Noise Sources 9. Active device noise 10. Digital circuit noise and lay out 11. Digital circuit radiation 12. Electrostatic discharge.

2. สัญญาณการกระโดด (Over or Under shoot) ในช่วง Rise Time และ Fall Time ผลการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานสัญญาณพัลส์ชุดเคลื่อนที่วนรอบขาไอซีที่มีค่าน้อยกว่า 5% ของค่าปรับตั้งแต่จะเห็นขนาดการพุ่งขึ้นของสัญญาณในช่วงขาขึ้นและขาลงของสัญญาณเมื่อวัดที่ขาออกของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ถึงความยาวรวมของสายไฟฟ้ามักขึ้นยังมีค่าการพุ่งของสัญญาณมากขึ้น เช่น จากการทดสอบที่ความ

ยาวรวม 2 เมตร จะมีการพุ่งของสัญญาณในช่วงลบ แต่เมื่อเพิ่มความยาวเป็น 3.5 เมตร จะมีการพุ่งของสัญญาณพัลส์มากขึ้นโดยมีการพุ่งขึ้นทางด้านบวกด้วยและจะมีค่าน้อยลงเมื่อวัดที่จุดใกล้ช่อง (Cell) จ่ายน้ำยาเป็นจุดที่มีการเกิดปฏิกิริยาเคมีในการชุบมีการถ่ายเทไอออนภายในถังชุบทำให้สัญญาณกระแสและแรงดันที่พุ่งสูงขึ้นมีค่าลดลงจนไม่เกิดขึ้นให้เห็น ซึ่งสอดคล้องกับบทความของ Enrique Gutierrez Jr. (<http://www.tecnu.net/pdf/symposium.pdf>) เรื่อง "RECENT ADVANCES IN PULSE POWER SUPPLY TECHNOLOGY & PLATING CAPABILITY" กล่าวและแสดงภาพประกอบไว้ว่า ผลของอินดักแตนซ์ เมื่อวัดสัญญาณที่ชุด Pulse Power Supply จะเห็นการพุ่งของสัญญาณบวกอย่างชัดเจนจากผลของการใช้สายไฟฟ้าที่ค่าอินดักแตนซ์มาก เมื่อวัดสัญญาณที่ถังชุบสัญญาณแรงดันและกระแสจะเกิดการเสียรูปจากสัญญาณพัลส์ตามอุดมคติอย่างมาก ซึ่งได้เสนอแนวทางในการลดค่าอิมพีแดนซ์ไว้ดังนี้ 1. วาง Pulse power supply ใกล้ถังชุบมากที่สุดเพื่อลดความยาวสายเคเบิลหรือ Busbar ลง 2. ใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของสายให้ใหญ่หรือแบบแบนใหญ่เพื่อเพิ่มพื้นที่ของสายไฟ 3. การวางสายไฟฟ้าให้รักษาระยะทางระหว่างตัวนำไฟฟ้าทั้งสองให้สั้นที่สุดหรือโดยการใช้วิธีการพันเกลียวสลับกันไปจากถังชุบสู่เครื่องจ่ายสัญญาณพัลส์ให้ขนานกันและแยกจากกันให้น้อยที่สุด

3. ค่าเวลาในการตั้งตัวของรูปคลื่น (Setting Time) มีค่าน้อยกว่า 1/10 ของความกว้างพัลส์ต่ำสุดเมื่อต่อเข้ากับภาระที่เป็นตัวต้านทาน 0.2 โอห์ม 20 วัตต์ เป็นไปตามมาตรฐานการชุบเคลือบผิวกรอบขาไอซี จากผลการทดสอบการเปลี่ยนตำแหน่งของสัญญาณที่วัดเพื่อตรวจสอบการตั้งตัวของรูปคลื่น ณ ตำแหน่งที่ใกล้กับจุดต่อสายไฟฟ้าเข้าช่องจ่ายน้ำยา (Cell) และถังชุบ (Tank) จะมีการตั้งตัวของรูปคลื่นที่มีการหน่วงเวลามากขึ้นทำให้สัญญาณพัลส์ที่ได้มีลักษณะไม่เป็นไปตามพัลส์ทางอุดมคติซึ่งสาเหตุมาจากค่าอินดักแตนซ์ที่เพิ่มมากขึ้น แต่ยังมีเวลาน้อยกว่า 1/10 ของความกว้างพัลส์ต่ำสุดเป็นไปตามมาตรฐานการชุบกรอบขาไอซี ซึ่งสอดคล้องกับบทความของ Enrique Gutierrez Jr. (<http://www.tecnu.net/pdf/symposium.pdf>) เรื่อง "RECENT ADVANCES IN PULSE POWER SUPPLY TECHNOLOGY & PLATING CAPABILITY" กล่าวไว้ว่า อินดักแตนซ์มีความสามารถเป็นตัวผ่านค่าต้านทานสนามแม่เหล็กที่จะเปลี่ยนค่ากระแสในตัวนำสัญญาณรูปคลื่นพัลส์จะถูกกำหนดให้มีระดับกระแสไหลอย่างต่อเนื่องในแต่ละ Pulse Transition ฉะนั้นอินดักแตนซ์จึงเป็นตัวที่จะลดความสามารถการตั้งตัวของรูปคลื่นทำให้รูปคลื่นมีรูปร่างลาดขึ้นสำหรับเวลาขึ้น (Rise Time) และลาดลงสำหรับเวลาลง (Fall Time)

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การศึกษาค้นคว้านี้สมบูรณ์ผู้วิจัยจึงได้เสนอแนะเพื่อให้เกิดแนวคิดใหม่ๆ ในการศึกษาค้นคว้าในอนาคตดังนี้

1. การออกแบบชุดจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบคงที่กระแสและแรงดันนั้น ควรออกแบบให้คงที่ที่เหมาะสมกับค่าอิมพีแดนซ์ของภาระในการชุบมากขึ้นที่อิมพีแดนซ์ ประมาณ 0.1-0.5 โอห์ม สำหรับการชุบกรอบขาไอซี
2. แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบลิเนียร์ในภาคการเปลี่ยนแทปแรงดันหม้อแปลง ควรใช้เป็นแบบโซลิตส เตอร์เรียลที่มีความสามารถในการสวิตช์ได้ดีกว่ารีเลย์ธรรมดา
3. การออกแบบชุดจ่ายกำลังไฟฟ้าและชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ควรอยู่ในชุดเดียวกันลายวงจรพิมพ์เดียวกัน เพื่อสะดวกในการเดินสายไฟและเชื่อมโยงภายในกล่องและการลดค่าสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น

4. ภาคการตรวจจับกระแสเพื่อป้องกันกระแสมายังชุดควบคุมควรใช้เป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับและป้องกันเพื่อความแม่นยำ
5. ควรมีการวัดสัญญาณรูปคลื่นกระแสเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปคลื่นกับสัญญาณรูปคลื่นแรงดัน

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัย

1. ควรตรวจสอบวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ที่จะนำเครื่องไปใช้งานอย่างลึกซึ้งก่อนการออกแบบเครื่องมือ นั้นจะมีปัญหาในเรื่องคุณภาพของเครื่อง
2. ควรใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ในการควบคุมการผลิตสัญญาณรูปคลื่นและการป้องกันของสัญญาณที่แม่นยำกว่า
3. ในภาคกำเนิดความถี่ ควรมีการศึกษาและสร้างการปรับตั้งที่ความถี่ที่สูงกว่านี้ โดยสามารถปรับเป็นจุด ทศนิยมได้ซึ่งสามารถครอบคลุมได้ทุกย่านการใช้งาน
4. ควรมีการศึกษาและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบกลับคาบคลื่น (Pulse reversal waveform) ที่มีตัวแปรให้ศึกษาผลทางด้านการซัพได้มากขึ้น
5. ควรมีการศึกษาวิจัยการกำเนิดความถี่ทั้งด้านบวกและด้านลบ (Forward and Reverse)
6. เพื่อลดขนาดของชุดจ่ายกำลังไฟฟ้ากำเนิดพัลส์ควรใช้ชุดจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิทชิงแทนแบบลิเนียร์
7. ควรมีการศึกษาเรื่องชนิดและอิมพีแดนซ์ของสายไฟฟ้าที่ใช้ในการซัพและผลต่อการซัพเคลือบผิวกรอบขาไอซี
8. ควรมีการศึกษาค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างผลการปรับค่าต่างๆ ของความถี่ วัฏจักรคาบ (Duty cycle) แอมพลิจูด ผลของสัญญาณรูปคลื่นอื่นๆ ที่นอกเหนือจากสัญญาณพัลส์

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- เซมิกอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์. (2538). *สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย* กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- นภัทร วัฒนเทพินทร์. (2540). *ทฤษฎีและการออกแบบวงจรพัลส์*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์.
- บุญเลิศ ประสิทธิ์ศุภโรจน์. (2540). *การลดความแปรปรวนของความหนาในกระบวนการชุบตะกั่วด้วยไฟฟ้า*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม.(วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.
- พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์. (2539). *วงจรพัลส์และสวิตชิง*. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- พิสิษฐ์ อธิธิยาวุฒิ และคนอื่น ๆ . (2532). *เครื่องจ่ายไฟแบบตัดต่อด้วยความถี่สูง*. วิทยานิพนธ์ วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.
- สหรัฐ ปริกแสง. (2530). *เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิงความถี่สูง*. วิทยานิพนธ์ อส.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.
- สุขสันต์ วชิรภิญญา และคนอื่น ๆ. (2536). *เครื่องจ่ายไฟแบบตัดต่อด้วยความถี่สูง*. วิทยานิพนธ์ วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.
- อนันต์ ทองมอญ. (2530). *ชุบโครเมียม – ชุบทอง*. กรุงเทพฯ : อุตสาหกรรมเครื่องจักรกล.
- ASM INTERNATIONAL . (1996). *ELECTRONIC MATERIALS HANDBOOK Volume1 PACKAGING*. Usa : material ark.
- Enrique Gutierrez Jr. (2000). *RECENT ADVANCE IN PULSE POWER SUPPLY TECHNOLOGY & PLATING CAPABILITY*. Usa. : WWW.Tecnu.net/pdf/symposium.pdf
- Henry W. Ott. (1998). *NOISE REDUCTION TECHNIQUES IN ELECTRONIC SYSTEMS*. Usa. : AT&T Bell Laboratories.
- NECTEC. (2531). *รายงานการสำรวจและศึกษาสถานภาพทางเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาคที่ 4 วงจรรวม (IC)*. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบัง.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

หนังสือขอความร่วมมือเพื่อการวิจัย

ที่ ทม 1012/ ๔1๐3



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

/3 มีนาคม 2545

เรื่อง ขอใช้เครื่องมือเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้จัดการโรงงาน บริษัท ชุมิโกะสตีลเฟรมไทยแลนด์ จำกัด

เนื่องด้วย นายพนม เสือสืบพันธุ์ นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์เรื่อง “การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปเคลือบผิวกรอบขาไอซี” โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ นิสิตมีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพื่อพัฒนาเครื่องมือการวิจัย โดยขอใช้เครื่องมือวัด และเครื่องชุปเคลือบผิวกรอบขาไอซีสำหรับทดลองเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปเคลือบผิวกรอบขาไอซีที่ได้สร้างขึ้นมา เพื่อทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปเคลือบผิวกรอบขาไอซี ในระหว่างเดือนมีนาคม 2545

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ นายพนม เสือสืบพันธุ์ ได้ใช้เครื่องมือเพื่อการวิจัยดังกล่าว ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภาพรณ์ หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 664-1000 ต่อ 5726, 5644

โทรสาร. 258-4119

ภาคผนวก ข

รายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์

รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์และวงจรขับ

ตาราง 4 แสดงรายละเอียดของตัวต้านทาน

ลำดับ	ขนาดของตัวต้านทาน (โอห์ม)	ขนาดของตัวต้านทาน (กิโลโอห์ม)	ค่าผิดพลาด (ร้อยละ)	ขนาด(วัตต์)
1	100 Ω วายาวด์	-	1	2
2	-	1	1	0.5
3	510	-	1	0.5
4	-	5.1 k Ω 9ขา R Pack	1	0.2
5	-	5.1 k Ω 9ขา R Pack	1	0.2
6	-	1	1	0.2
7	-	5.1	1	0.2
8	-	5.1	1	0.2
9	-	5.1	1	0.2
10	-	5.1	1	0.2
11	510	-	1	0.2
12	-	1	1	0.2
13	510	-	1	0.2

ตาราง 5 แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์อื่นๆ

ลำดับ	รายการ	ขนาดและเบอร์	จำนวน
1	X tal	4.096 mHz	1
2	LED	3 มม.	1
3	ซีเนอร์ไดโอด	RD 6 A	1
4	เซรามิคฟิลเตอร์	10 kHz	1
5	เทอร์มินอล	8 ขา ตัวผู้	3 ตัว
		ตัวเมีย	3 ตัว

ตาราง 6 แสดงรายละเอียดไอซี

ลำดับ	เบอร์
1	4510
2	4510
3	4510
4	TC 4044 BP
5	CD 4011
6	TOSHIBA TC 5082 P

ตาราง 7 แสดงรายละเอียดของทรานซิสเตอร์

ลำดับ	เบอร์	ชนิด
1	C 1815	NPN
2	NEC D560	NPN
3	NEC D560	NPN
4	C2987A	NPN

ตาราง 8 แสดงรายละเอียดของตัวเก็บประจุ

ลำดับ	ขนาดของ ตัวเก็บประจุ (ไมโครฟารัด)	ขนาดของ ตัวเก็บประจุ (พิโกฟารัด)	ขนาดของตัว เก็บประจุ (นาโนฟารัด)	ค่าผิดพลาด (ร้อยละ)	ขนาดความ คงทน (V)	ชนิด
1	.01	-	-	-	100	แทนทาลัม
2	.01	-	-	-	100	แทนทาลัม
3	.01	-	-	-	100	แทนทาลัม
4	.01	-	-	-	100	แทนทาลัม
5	.01	-	-	-	100	แทนทาลัม
6	.01	-	-	-	100	ไมลาร์
7	.01	-	-	-	100	ไมลาร์
8	220	-	-	-	25 V	อิเล็กโทรไลต์
9	22	-	-	-	35	-
10	-	10	-	-	-	เซรามิค
11	-	33	-	-	-	เซรามิค
12	-	33	-	-	-	เซรามิค
13	3300	-	-	-	-	อิเล็กโทรไลต์

รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเชิงเส้น Linear power supply

ตาราง 9 แสดงรายละเอียดของตัวเก็บประจุ

ลำดับที่	ขนาดของตัวเก็บประจุ (นาโนฟารัด)	ขนาดของตัวเก็บประจุ (ไมโครฟารัด)	ค่าผิดพลาด (ร้อยละ)	ขนาดคงทน (V)	ชนิด
1	0.1	-	10	100	เซรามิค
2	0.1	-	10	100	เซรามิค
3	0.1	-	10	100	เซรามิค
4	0.1	-	10	100	เซรามิค
5	-	220	-	50	อิเล็กโทรไลต์
6	-	220	-	50	อิเล็กโทรไลต์
7	-	4700	-	50	อิเล็กโทรไลต์
8	-	4700	-	50	อิเล็กโทรไลต์
9	-	.01	-	50	อิเล็กโทรไลต์
10	-	.01	-	50	อิเล็กโทรไลต์
11	-	.01	-	50	อิเล็กโทรไลต์
12	-	.01	-	100	อิเล็กโทรไลต์
13	-	470	-	50	อิเล็กโทรไลต์
14	-	2.2	-	50	อิเล็กโทรไลต์

ตาราง 10 แสดงรายละเอียดของทรานซิสเตอร์

ลำดับ	เบอร์	จำนวน	ชนิด
1	2 N 3055	4 ตัว	NPN
2	D 313	-	-
3	3 DGI 008	4 ตัว	NPN
4	3 CG 708	2 ตัว	PNP

ตาราง 11 แสดงรายละเอียดของไอซี

ลำดับ	เบอร์	จำนวน
1	LM 324	1 ตัว
2	LM 741	2 ตัว
3	7812	1 ตัว
4	-	-

ตาราง 12 แสดงรายละเอียดของตัวต้านทาน

ลำดับ	ขนาดของตัวต้านทาน (โอห์ม)	ขนาดของตัวต้านทาน (กิโลโอห์ม)	ค่าผิดพลาด (ร้อยละ)	ขนาดวัตต์	จำนวน
1	0.82 Wind Wound	-	1	2	4
2	510	-	-	-	-
3	100	-	1	0.2	4
4	-	10	1	0.2	5
5	-	1	1	0.2	1
6	-	13	1	0.2	1
7	-	680	1	0.2	5
8	-	15	1	0.2	1
9	-	4.7	1	0.2	1
10	-	30	1	0.2	1
11	-	24	1	0.2	2
12	-	2.4	1	0.2	1
13	-	33	1	0.2	1
14	470	-	1	0.2	1
15	-	3.9	1	0.2	3
16	-	4.7 ปรับค่าได้	10	1	2
17	-	6.8 ปรับค่าได้	10	1	2
18	-	220 ปรับค่าได้	10	1	1
19	-	1 ปรับค่าได้	10	1	1
20	-	10 k เกือกม้า	5	1	1

ตาราง 13 แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์อื่นๆ

ลำดับ	ชนิด	เบอร์	จำนวน
1	LED	0.3 V	2 ตัว
2	หม้อแปลง 10 A	0, -15, 15 0-30, 0-10, 0, 20	1 ตัว

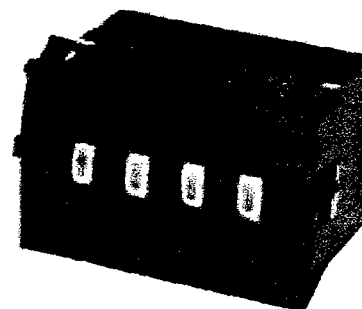
OMRON

Thumbwheel Switch

A7P

Easy-to-Assemble Thumbwheel Switch with Forward and Reverse Rotation

- Dustproof construction ensures highly reliable performance at low voltage and very small current even under adverse environmental conditions
- Plus (+) and minus (–) pushbuttons for positive forward and reverse rotation of each digital wheel
- Switch units can be assembled simply by fitting the integral hook coupler of each unit into the mating unit, thus eliminating need of nuts and bolts for assembly



Ordering Information

■ SWITCH UNITS

Output Code	Part Number			
	High-grade front mounting solder terminals		Popular front mounting solder terminals	
	Light gray case	Black case	Light gray case	Black case
03 (decimal code)	A7PH-203	A7PH-203-1	A7PS-203	A7PS-203-1
06 (binary code)	A7PH-206	A7PH-206-1	A7PS-206	A7PS-206-1
(binary code w/+, – display)	A7PH-206-PM	A7PH-206-PM-1	A7PS-206-PM	A7PS-206-PM-1
07 (binary code w/diode provision)	A7PH-207	A7PH-207-1	A7PS-207	A7PS-207-1
19 (decimal code w/diode provision)	A7PH-219	A7PH-219-1	A7PS-219	A7PS-219-1
54 (binary code hexadecimal)	A7PH-254	A7PH-254-1	A7PS-254	A7PS-254-1
55 (binary code hexadecimal, w/component adding provision)	–	–	A7PS-255	A7PS-255-1

■ ACCESSORIES

Accessory	Part Number	
	For front mounting type switch assembly	
	Light gray	Black
End Cap	A7P-M	A7P-M-1
Spacer	A7P-P	A7P-P-1
Connector	Solder terminals	NRT-C
	PC terminals	NRT-CP

- Note: 1. When placing your order, please specify the model numbers and quantities of required switch units, end caps, and spacers, respectively. (Note that switch units and accessories are not factory-assembled for shipment.)
2. Switch case, end cap, and spacer are made of polyacetal resin.
3. One of the following alphabetic codes must be filled into the boxed part of the model number to specify a legend to be hot stamped on the required spacer.
4. End caps come as a set -- left and right.

Code	Legend	Code	Legend
A	Hot stamp not required	H	cm
B	SEC	J	m
C	MIN	K	°C
D	H	L	PCS
E	g	Q	x10 SEC
F	kg	T	0
G	mm	U	Decimal Point

Characteristics

	A7PH	A7PS
Rating capacity	10μA to 0.15 A 125 VAC/28 VDC (resistive load)	1 mA to 0.1 A 50 VAC/28 VDC (resistive load)
Operating current	3 A max.	1 A max.
Contact resistance	200 mΩ max.	
Insulation resistance	100 MΩ min. (at 500 VDC) between nonconnected terminals 1,000 MΩ min. (at 500 VDC) between each terminal and noncurrent-carrying part	10 MΩ min. (at 500 VDC) between nonconnected terminals
Dielectric strength	600 VAC, 50/60 Hz for 1 minute between nonconnected terminals 1,000 VAC, 50/60 Hz for 1 minute between each terminal and noncurrent-carrying part	
Withstanding force	650 g max.	
Vibration	10 to 55 Hz, 1.5 mm double amplitude	
Shock	500 m/s ² (approx. 50 G)	
Operating temperature	-10° to 65°C	
Storage temperature	-20° to 80°C	
Humidity	85% RH max. (at 40°C)	
Life		
Mechanical	2,000,000 operations (steps) min.	100,000 operations (steps) min.
Electrical	1,000,000 operations (steps) min.	50,000 operations (steps) min.
Weight (per unit)	Approx. 9.2 g	Approx. 8.6 g

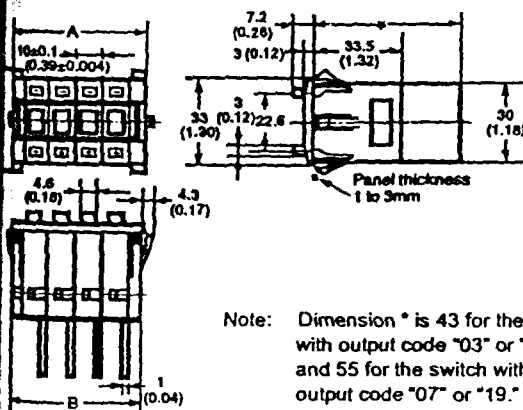
Data shown are of initial value.

Dimensions

mm (inch)

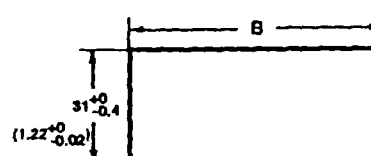
SWITCH UNITS

□ A7PS-□



Note: Dimension * is 43 for the switch with output code "03" or "06," and 55 for the switch with output code "07" or "19."

Panel cutout



No. of units (n)	A (10n + 12)	B (10n + 9)
1	22 (0.87)	20 (0.79)
2	32 (1.26)	30 (1.18)
3	42 (1.65)	40 (1.57)
4	52 (2.05)	50 (1.97)
5	62 (2.44)	60 (2.36)
6	72 ± 0.8 (2.83 ± 0.03)	70 ± 0.8 (2.76 ± 0.03)
7	82 ± 0.8 (3.23 ± 0.03)	80 ± 0.8 (3.15 ± 0.03)
8	92 ± 0.8 (3.62 ± 0.03)	90 ± 0.8 (3.54 ± 0.03)
9	102 ± 0.8 (4.02 ± 0.03)	100 ± 0.8 (3.94 ± 0.03)
10	112 ± 0.8 (4.41 ± 0.03)	110 ± 0.8 (4.33 ± 0.03)

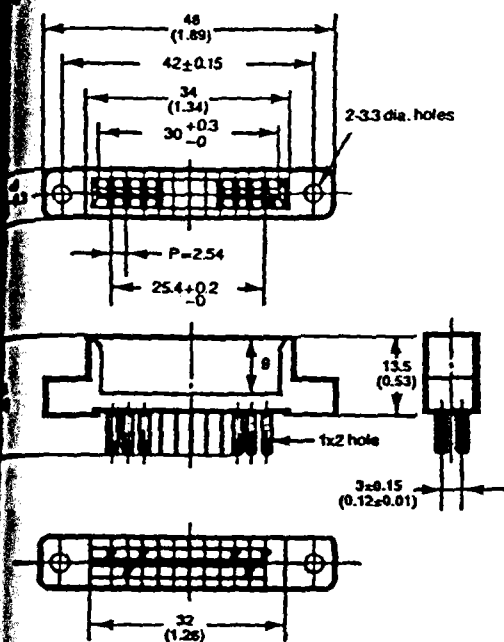
1. Unless otherwise specified, a tolerance of ± 0.4 mm applies to all dimensions.

2. Each model number applies to a single switch unit and not to the switch assembly as shown in the drawings.

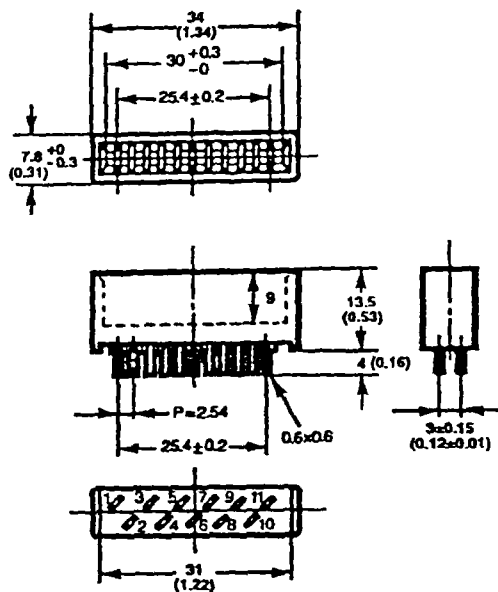
OMRON

A7P

CONNECTORS



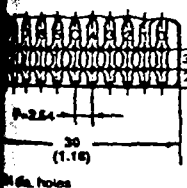
NRT-CP



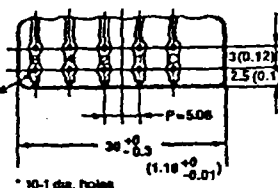
Unless otherwise specified, a tolerance of ± 0.4 mm applies to all dimensions.

TERMINALS

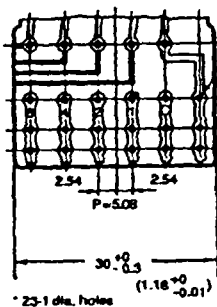
A7P-203-□



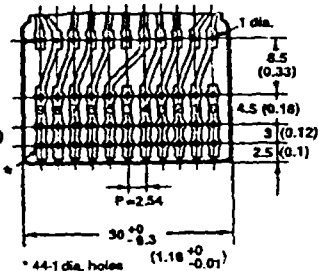
A7P-206-□



A7P-207-□



A7P-219-□



Hints on Correct Use

See HINTS ON CORRECT USE under the General Information section.

OMRON

OMRON ELECTRONICS, INC.

East Commerce Drive

St. Louis, IL 60173

1-800-55-OMRON

GC SW5

4/98

Specifications subject to change without notice.

OMRON CANADA, INC.

885 Milner Avenue

Scarborough, Ontario M1B 5V8

416-286-6465

Printed in the U.S.A.

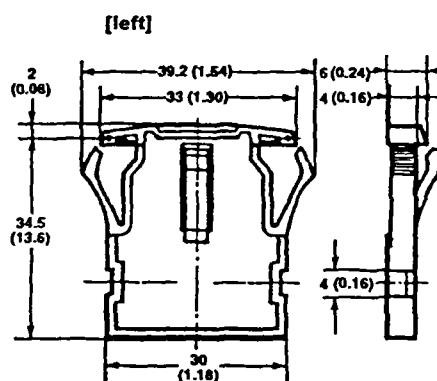
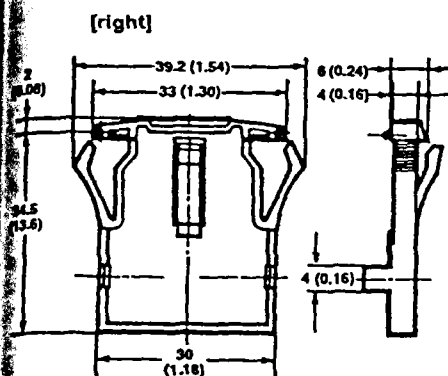
A7P

OMRON

A7P

END CAPS

A7P-M, A7P-M-1

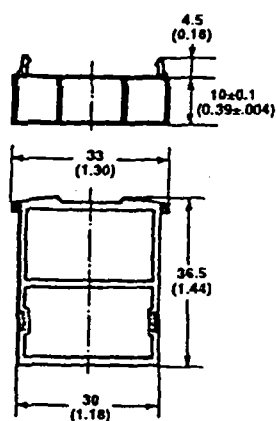


Note: 1. Unless otherwise specified, a tolerance of ± 0.4 mm applies to all dimensions.

2. End caps are attached to each end of the switch assembly and are used to secure the switch assembly to a mounting panel.

SPACERS

A7P-P□, A7P-P□-1



Note: Unless otherwise specified, a tolerance of ± 0.4 mm applies to all dimensions.



August 2000

LM124/LM224/LM324/LM2902 Low Power Quad Operational Amplifiers

General Description

The LM124 series consists of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, DC gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM124 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional $\pm 15V$ power supplies.

Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage
- The unity gain cross frequency is temperature compensated
- The input bias current is also temperature compensated

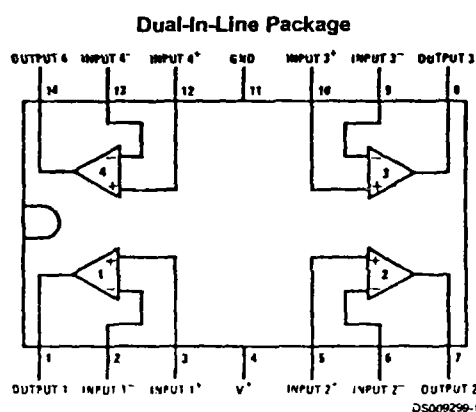
Advantages

- Eliminates need for dual supplies
- Four internally compensated op amps in a single package
- Allows directly sensing near GND and V_{OUT} also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

Features

- Internally frequency compensated for unity gain
- Large DC voltage gain 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain) 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
Single supply 3V to 32V
or dual supplies $\pm 1.5V$ to $\pm 16V$
- Very low supply current drain (700 μA)—essentially independent of supply voltage
- Low input biasing current 45 nA (temperature compensated)
- Low input offset voltage 2 mV and offset current: 5 nA
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing 0V to $V^+ - 1.5V$

Connection Diagram



Top View

Order Number LM124J, LM124AJ, LM124J/883 (Note 2), LM124AJ/883 (Note 1), LM224J, LM224AJ, LM324J, LM324M, LM324MX, LM324AM, LM324AMX, LM2902M, LM2902MX, LM324N, LM324AN, LM324MT, LM324MTX or LM2902N LM124AJRQML and LM124AJRQMLV (Note 3)

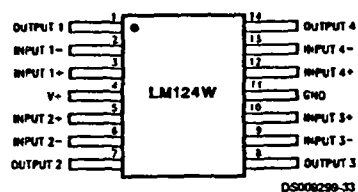
See NS Package Number J14A, M14A or N14A

Note 1: LM124A available per JM38510/11006

Note 2: LM124 available per JM38510/11005

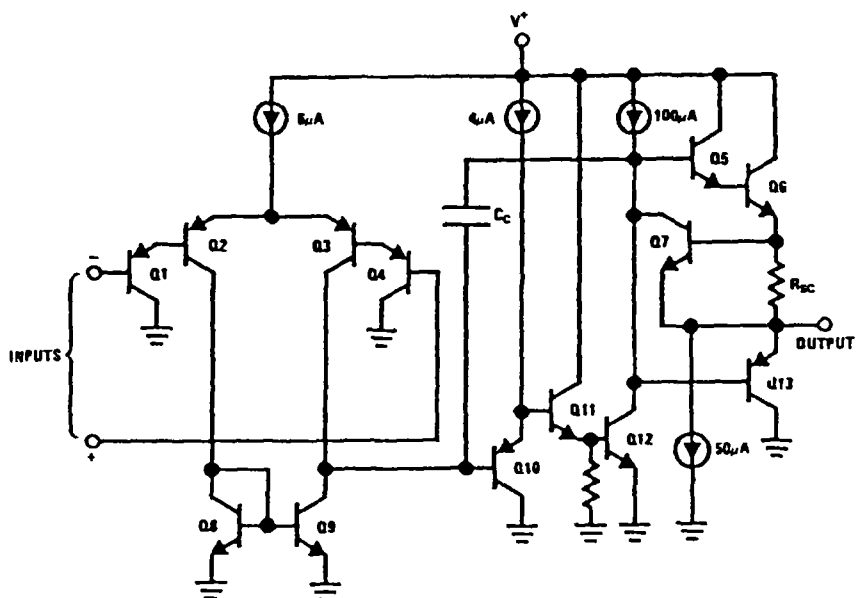
Connection Diagram (Continued)

Note 3: See STD Mil DWG 5962R99504 for Radiation Tolerant Device



Order Number LM124AW/883, LM124AWG/883, LM124W/883 or LM124WG/883
 LM124AWRQML and LM124AWRQMLV (Note 3)
 See NS Package Number W14B
 LM124AWGRQML and LM124AWGRQMLV (Note 3)
 See NS Package Number WG14A

Schematic Diagram (Each Amplifier)



Absolute Maximum Ratings (Note 12)

For military/aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Representatives for availability and specifications.

	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A	LM2902
Supply Voltage, V^+	32V	26V
Differential Input Voltage	32V	26V
Input Voltage	-0.3V to +32V	-0.3V to +26V
Input Current		
$I_{IN(+)}$ < -0.3V (Note 6)	50 mA	50 mA
Power Dissipation (Note 4)		
Pinned DIP	1130 mW	1130 mW
Pinless DIP	1260 mW	1260 mW
Small Outline Package	800 mW	800 mW
Short-Circuit to GND		
Per Amplifier (Note 5)		
$V^+ = 15V$ and $T_A = 25^\circ C$	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range		-40°C to +85°C
LM324/LM324A	0°C to +70°C	
LM224/LM224A	-25°C to +85°C	
LM124/LM124A	-55°C to +125°C	
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Soldering Temperature (Soldering, 10 seconds)	260°C	260°C
Reflow Information		
Lead-In-Line Package		
Soldering (10 seconds)	260°C	260°C
Small Outline Package		
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.		
Surge Tolerance (Note 13)	250V	250V

Electrical Characteristics

$V^+ = 5.0V$, (Note 7), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124A			LM224A			LM324A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Offset Voltage	(Note 8) $T_A = 25^\circ C$		1	2		1	3		2	3	mV
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$		20	50		40	80		45	100	nA
Input Offset Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$		2	10		2	15		5	30	nA
Common-Mode Range (Note 10)	$V^+ = 30V$, (LM2902, $V^+ = 26V$), $T_A = 25^\circ C$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	V
Quiescent Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ On All Op Amps $V^+ = 30V$ (LM2902 $V^+ = 26V$) $V^+ = 5V$		1.5	3		1.5	3		1.5	3	mA
Signal Gain	$V^+ = 15V$, $R_L \geq 2k\Omega$, ($V_O = 1V$ to $11V$), $T_A = 25^\circ C$	50	100		50	100		25	100		V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	DC, $V_{CM} = 0V$ to $V^+ - 1.5V$, $T_A = 25^\circ C$	70	85		70	85		65	85		dB

Electrical Characteristics (Continued)

$V^+ = +5.0V$, (Note 7), unless otherwise stated

Parameter		Conditions	LM124A			LM224A			LM324A			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Power Supply Rejection Ratio		$V^+ = 5V$ to $30V$ (LM2902, $V^+ = 5V$ to $26V$), $T_A = 25^\circ C$	65	100		65	100		65	100		dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 11)		$f = 1\text{ kHz}$ to 20 kHz , $T_A = 25^\circ C$ (Input Referred)	-120			-120			-120			dB
Output Current	Source	$V_{IN}^+ = 1V$, $V_{IN}^- = 0V$, $V^+ = 15V$, $V_O = 2V$, $T_A = 25^\circ C$	20	40		20	40		20	40		mA
	Sink	$V_{IN}^- = 1V$, $V_{IN}^+ = 0V$, $V^+ = 15V$, $V_O = 2V$, $T_A = 25^\circ C$	10	20		10	20		10	20		
		$V_{IN}^- = 1V$, $V_{IN}^+ = 0V$, $V^+ = 15V$, $V_O = 200\text{ mV}$, $T_A = 25^\circ C$	12	50		12	50		12	50		μA
Short Circuit to Ground		(Note 5) $V^+ = 15V$, $T_A = 25^\circ C$	40	60		40	60		40	60		mA
Input Offset Voltage		(Note 8)	4			4			5			mV
V_{OS} Drift		$R_S = 0\Omega$	7	20		7	20		7	30		$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current		$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$	30			30			75			nA
I_{OS} Drift		$R_S = 0\Omega$	10	200		10	200		10	300		$\mu A/^\circ C$
Input Bias Current		$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$	40	100		40	100		40	200		nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)		$V^+ = +30V$ (LM2902, $V^+ = 26V$)	0	$V^+ - 2$		0	$V^+ - 2$		0	$V^+ - 2$		V
Large Signal Voltage Gain		$V^+ = +15V$ (V_O Swing = $1V$ to $11V$) $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	25			25			15			V/mV
Output Voltage Swing	V_{OH}	$V^+ = 30V$ (LM2902, $V^+ = 26V$)	$R_L = 2\text{ k}\Omega$		26	$R_L = 10\text{ k}\Omega$		27	$R_L = 10\text{ k}\Omega$		27	V
	V_{OL}	$V^+ = 5V$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$	5	20		5	20		5	20		mV
Output Current	Source	$V_O = 2V$	$V_{IN}^+ = +1V$, $V_{IN}^- = 0V$, $V^+ = 15V$		10	20		10	20		10	mA
	Sink	$V_{IN}^- = +1V$, $V_{IN}^+ = 0V$, $V^+ = 15V$	10	15		5	8		5	8		

Electrical Characteristics

$V^+ = +5.0V$, (Note 7), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124/LM224			LM324			LM2902			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 8) $T_A = 25^\circ C$	2	5		2	7		2	7		mV
Input Bias Current (Note 9)	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$	45	150		45	250		45	250		nA
Input Offset Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$	3	30		5	50		5	50		nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	$V^+ = 30V$, (LM2902, $V^+ = 26V$), $T_A = 25^\circ C$	0	$V^+ - 1.5$		0	$V^+ - 1.5$		0	$V^+ - 1.5$		V
Supply Current	Over Full Temperature Range										mA
	$R_L = \infty$ On All Op Amps										
	$V^+ = 30V$ (LM2902 $V^+ = 26V$) $V^+ = 5V$	1.5	3		1.5	3		1.5	3		
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15V$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, ($V_O = 1V$ to $11V$), $T_A = 25^\circ C$	50	100		25	100		25	100		V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	DC, $V_{CM} = 0V$ to $V^+ - 1.5V$, $T_A = 25^\circ C$	70	85		65	85		50	70		dB
Power Supply Rejection Ratio	$V^+ = 5V$ to $30V$ (LM2902, $V^+ = 5V$ to $26V$),	65	100		65	100		50	100		dB

Critical Characteristics (Continued)

+5.0V, (Note 7), unless otherwise stated

Parameter	Conditions		LM124/LM224			LM324			LM2902			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Open-Loop Gain (Note 11)	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $f = 1\text{ kHz to } 20\text{ kHz}, T_A = 25^\circ\text{C}$ (Input Referred)		-120			-120			-120			dB
Current	Source	$V_{IN}^+ = 1\text{V}, V_{IN}^- = 0\text{V},$ $V^+ = 15\text{V}, V_O = 2\text{V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	20	40		20	40		20	40		mA
	Sink	$V_{IN}^- = 1\text{V}, V_{IN}^+ = 0\text{V},$ $V^+ = 15\text{V}, V_O = 2\text{V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	10	20		10	20		10	20		
		$V_{IN}^- = 1\text{V}, V_{IN}^+ = 0\text{V},$ $V^+ = 15\text{V}, V_O = 200\text{ mV}, T_A = 25^\circ\text{C}$	12	50		12	50		12	50		μA
Output to Ground	(Note 5) $V^+ = 15\text{V}, T_A = 25^\circ\text{C}$		40		60	40		60	40		60	mA
Offset Voltage	(Note 8)		7			9			10			mV
	$R_S = 0\Omega$		7			7			7			$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}, V_{CM} = 0\text{V}$ $R_S = 0\Omega$		100			150			45		200	nA
	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}$		40		300	40		500	40		500	pA/°C
Common-Mode Range (Note 10)	$V^+ = +30\text{V}$ (LM2902, $V^+ = 26\text{V}$)		0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	V
Signal Gain	$V^+ = +15\text{V} (V_O \text{ Swing} = 1\text{V to } 11\text{V})$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$		25			15			15			V/mV
Voltage	V_{OH}	$V^+ = 30\text{V}$ (LM2902, $V^+ = 26\text{V}$)	$R_L = 2\text{ k}\Omega$ $R_L = 10\text{ k}\Omega$			26 27 28			22 23 24			V
	V_{OL}	$V^+ = 5\text{V}, R_L = 10\text{ k}\Omega$	5 20			5 20			5 100			mV
Current	Source	$V_O = 2\text{V}$ $V_{IN}^+ = +1\text{V},$ $V_{IN}^- = 0\text{V},$ $V^+ = 15\text{V}$	10	20		10	20		10	20		mA
	Sink	$V_{IN}^- = +1\text{V},$ $V_{IN}^+ = 0\text{V},$ $V^+ = 15\text{V}$	5	8		5	8		5	8		

For operating at high temperatures, the LM324/LM324A/LM2902 must be derated based on a $+125^\circ\text{C}$ maximum junction temperature and a thermal resistance θ_{JA} of 100°C/W which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM224/LM224A and LM124/LM124A can be derated on a $+150^\circ\text{C}$ maximum junction temperature. The dissipation is the total of all four amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplitude of the signal to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V^+ . At values of supply voltage in excess of +15V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistor becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the input. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that the input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than -0.3V (at 25°C).

These specifications are limited to $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ for the LM124/LM124A. With the LM224/LM224A, all temperature specifications are limited to $-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$. The LM324/LM324A temperature specifications are limited to $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$, and the LM2902 specifications are limited to $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$.

$V_O = 1.4\text{V}$, $R_S = 0\Omega$ with V^+ from 5V to 30V; and over the full input common-mode range (0V to $V^+ - 1.5\text{V}$) for LM2902, V^+ from 5V to 26V.

The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so long as change exists on the input lines.

The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.5\text{V}$ (at 25°C), but either or both inputs can go to +32V without damage (+26V for LM2902), independent of the magnitude of the signal.

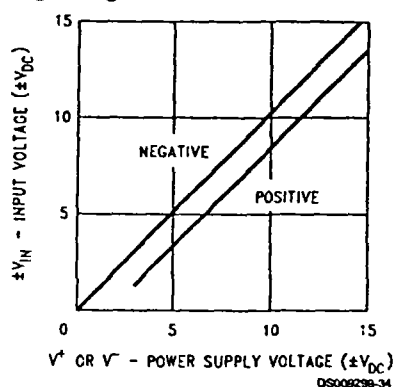
Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be minimized as this type of capacitance increases at higher frequencies.

Refer to RETS124AX for LM124A military specifications and refer to RETS124X for LM124 military specifications.

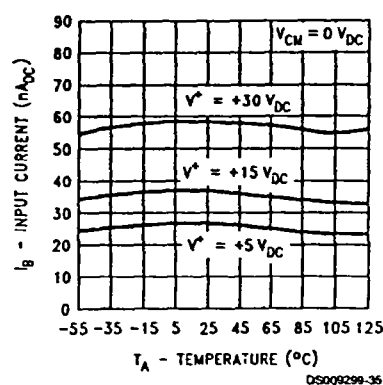
Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

Typical Performance Characteristics

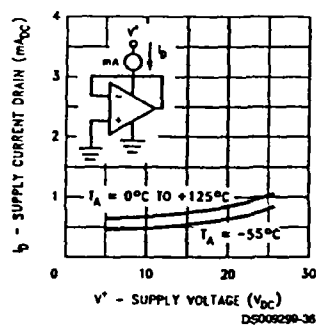
Input Voltage Range



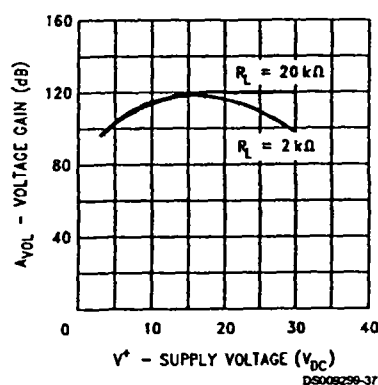
Input Current



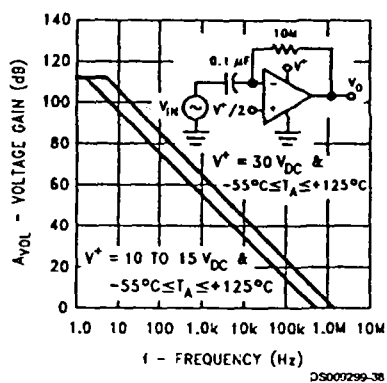
Supply Current



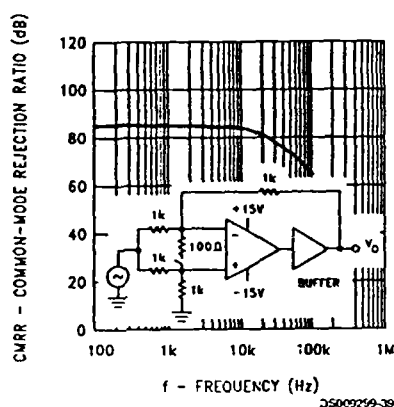
Voltage Gain



Open Loop Frequency Response

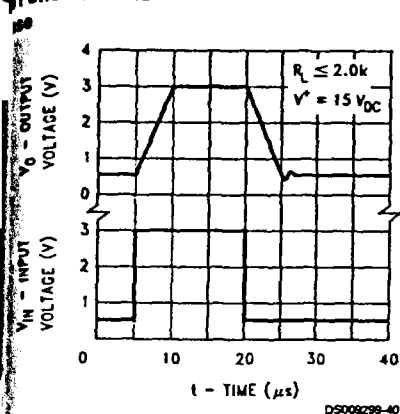


Common Mode Rejection Ratio

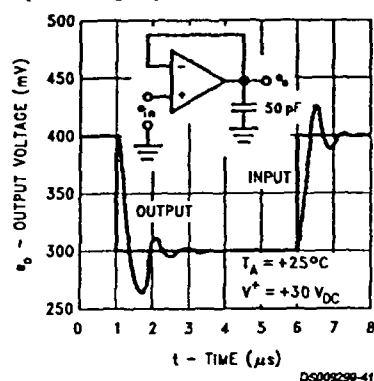


Typical Performance Characteristics (Continued)

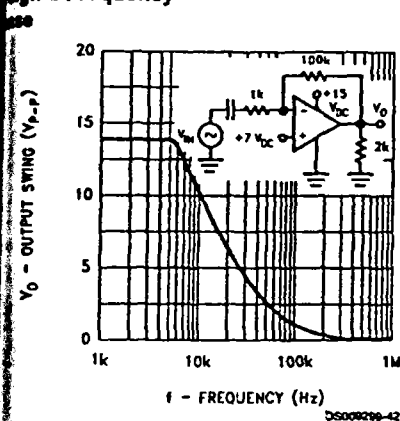
Voltage Follower Pulse



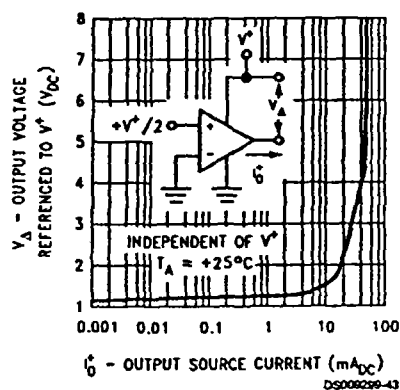
Voltage Follower Pulse Response (Small Signal)



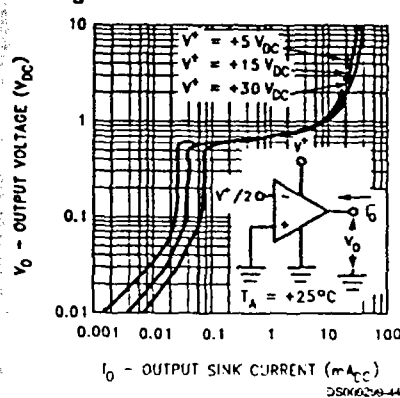
Signal Frequency



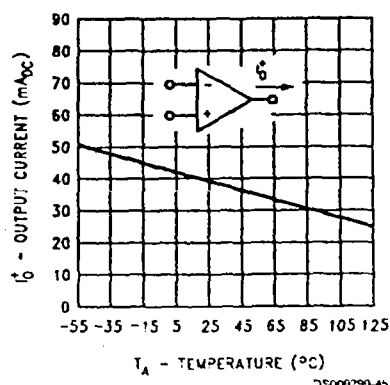
Output Characteristics Current Sourcing



Characteristics Sinking

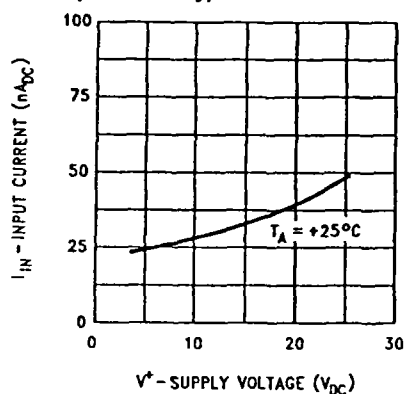


Current Limiting

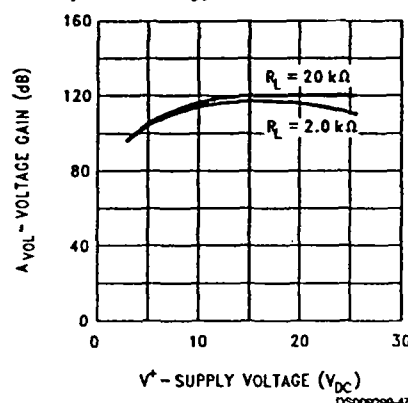


Typical Performance Characteristics (Continued)

Input Current (LM2902 only)



Voltage Gain (LM2902 only)



Application Hints

The LM124 series are op amps which operate with only a single power supply voltage, have true-differential inputs, and remain in the linear mode with an input common-mode voltage of $0\text{ }V_{DC}$. These amplifiers operate over a wide range of power supply voltage with little change in performance characteristics. At $25^\circ C$ amplifier operation is possible down to a minimum supply voltage of $2.3\text{ }V_{DC}$.

The pinouts of the package have been designed to simplify PC board layouts. Inverting inputs are adjacent to outputs for all of the amplifiers and the outputs have also been placed at the corners of the package (pins 1, 7, 8, and 14).

Precautions should be taken to insure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a test socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

Large differential input voltages can be easily accommodated and, as input differential voltage protection diodes are not needed, no large input currents result from large differential input voltages. The differential input voltage may be larger than V^+ without damaging the device. Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than $-0.3\text{ }V_{DC}$ (at $25^\circ C$). An input clamp diode with a resistor to the IC input terminal can be used.

To reduce the power supply drain, the amplifiers have a class A output stage for small signal levels which converts to class B in a large signal mode. This allows the amplifiers to both source and sink large output currents. Therefore both NPN and PNP external current boost transistors can be used to extend the power capability of the basic amplifiers. The output voltage needs to raise approximately 1 diode drop above ground to bias the on-chip vertical PNP transistor for output current sinking applications.

For ac applications, where the load is capacitively coupled to the output of the amplifier, a resistor should be used, from the output of the amplifier to ground to increase the class A bias current and prevent crossover distortion.

Where the load is directly coupled, as in dc applications, there is no crossover distortion.

Capacitive loads which are applied directly to the output of the amplifier reduce the loop stability margin. Values of 50 pF can be accommodated using the worst-case non-inverting unity gain connection. Large closed loop gains or resistive isolation should be used if larger load capacitance must be driven by the amplifier.

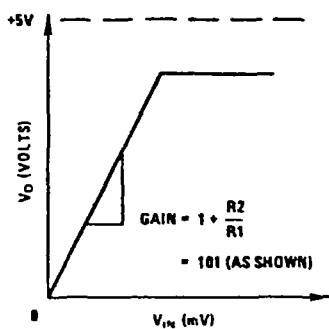
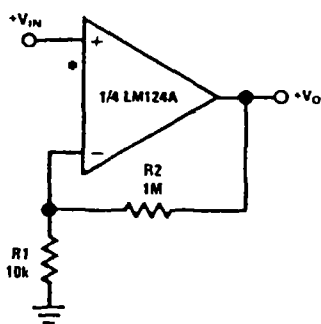
The bias network of the LM124 establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of from $3\text{ }V_{DC}$ to $30\text{ }V_{DC}$.

Output short circuits either to ground or to the positive power supply should be of short time duration. Units can be destroyed, not as a result of the short circuit current causing metal fusing, but rather due to the large increase in IC chip dissipation which will cause eventual failure due to excessive junction temperatures. Putting direct short-circuits on more than one amplifier at a time will increase the total IC power dissipation to destructive levels, if not properly protected with external dissipation limiting resistors in series with the output leads of the amplifiers. The larger value of output source current which is available at $25^\circ C$ provides a larger output current capability at elevated temperatures (see typical performance characteristics) than a standard IC op amp.

The circuits presented in the section on typical applications emphasize operation on only a single power supply voltage. If complementary power supplies are available, all of the standard op amp circuits can be used. In general, introducing a pseudo-ground (a bias voltage reference of $V^+/2$) will allow operation above and below this value in single power supply systems. Many application circuits are shown which take advantage of the wide input common-mode voltage range which includes ground. In most cases, input biasing is not required and input voltages which range to ground can easily be accommodated.

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$)

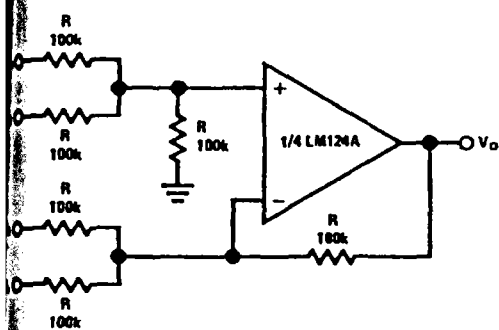
Non-Inverting DC Gain (0V Input = 0V Output)



DS009299-6

needed due to temperature independent I_{IN}

DC Summing Amplifier ($V_{IN'S} \geq 0 V_{DC}$ and $V_O \geq V_{DC}$)

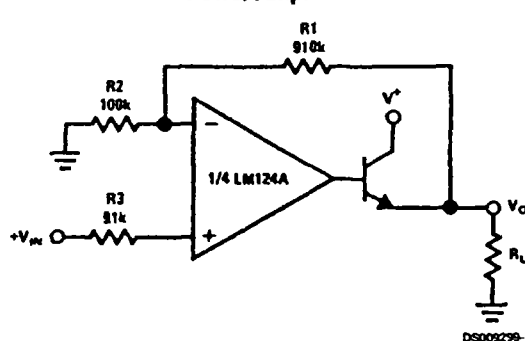


DS009299-6

$$V_O = V_1 + V_2 - V_3 - V_4$$

$$V_1 + V_2 \geq (V_3 + V_4) \text{ to keep } V_O \geq 0 V_{DC}$$

Power Amplifier



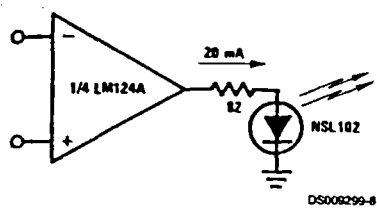
DS009299-7

$$V_O = 0 V_{DC} \text{ for } V_{IN} = 0 V_{DC}$$

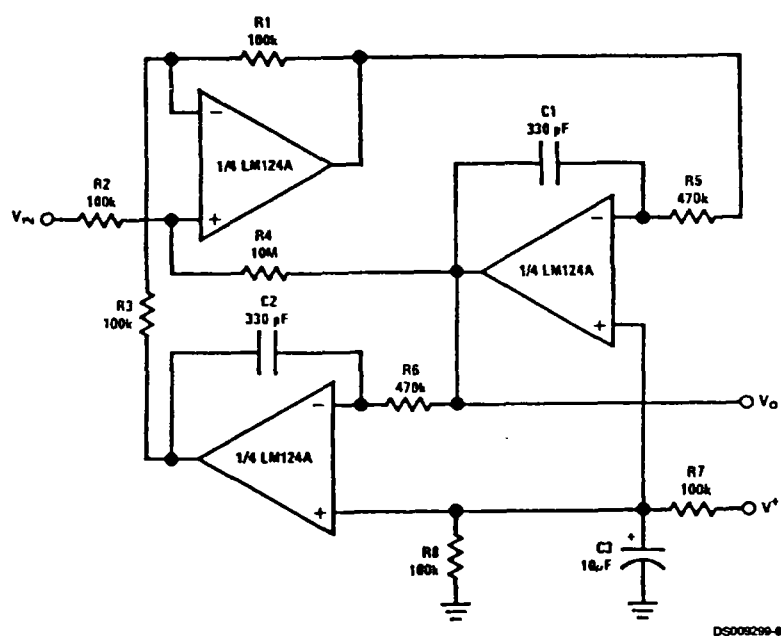
$$A_V = 10$$

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 \text{ V}_{\text{DC}}$) (Continued)

LED Driver



"BI-QUAD" RC Active Bandpass Filter

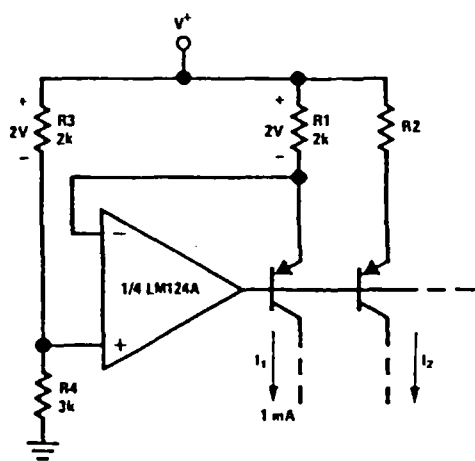


$$f_0 = 1 \text{ kHz}$$

$$Q = 50$$

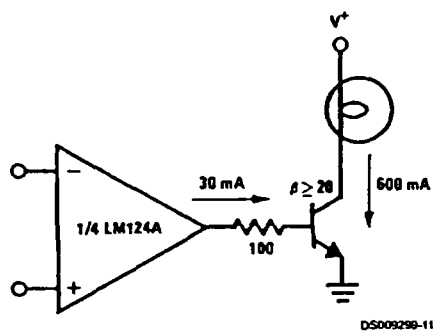
$$A_v = 100 \text{ (40 dB)}$$

Fixed Current Sources



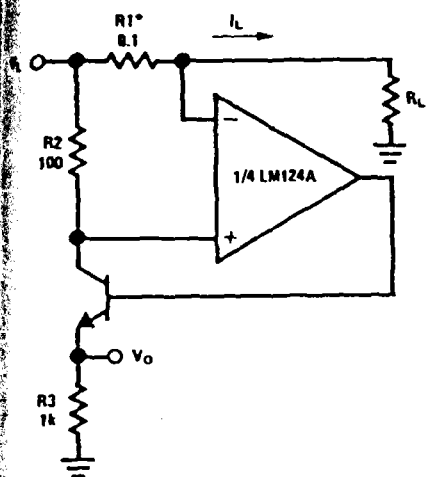
$$I_2 = \left(\frac{R_1}{R_2} \right) I_1$$

Lamp Driver



Local Single-Supply Applications ($V^+ \approx 5.0 \text{ V}_{\text{DC}}$) (Continued)

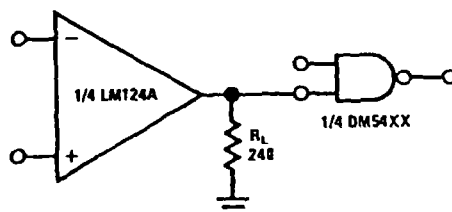
Current Monitor



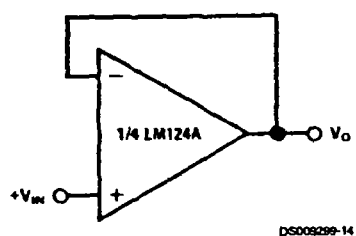
$$\frac{V_O}{1A}$$

 $V^+ = 2V$
 $R1 \text{ for } I_L \text{ small}$

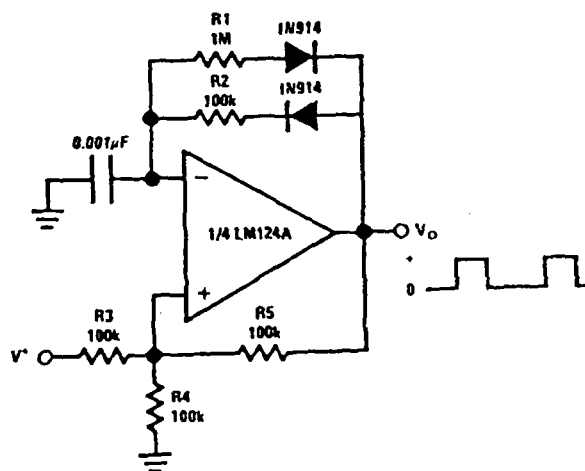
Driving TTL



Voltage Follower

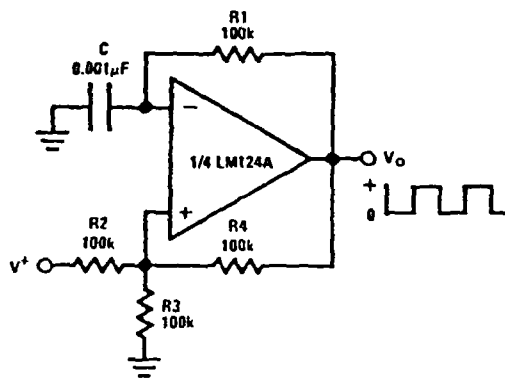


Pulse Generator



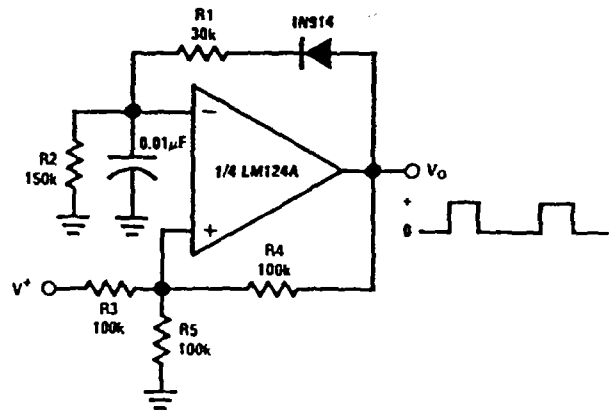
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{OC}$) (Continued)

Squarewave Oscillator



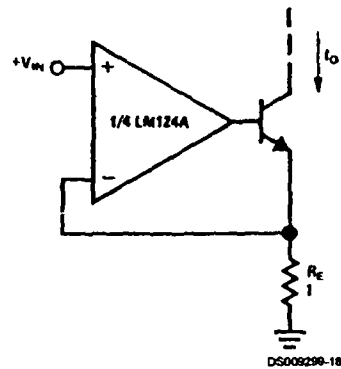
DS009299-16

Pulse Generator



DS009299-17

High Compliance Current Sink

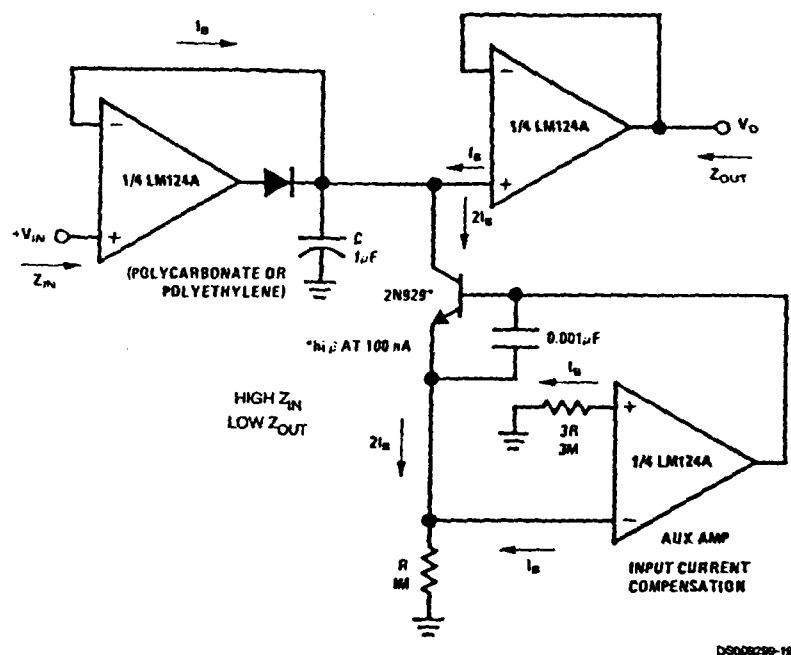


DS009299-18

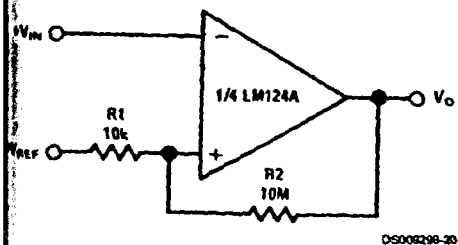
$I_O = 1 \text{ amp/volt } V_{IN}$
 (Increase R_E for I_O small)

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

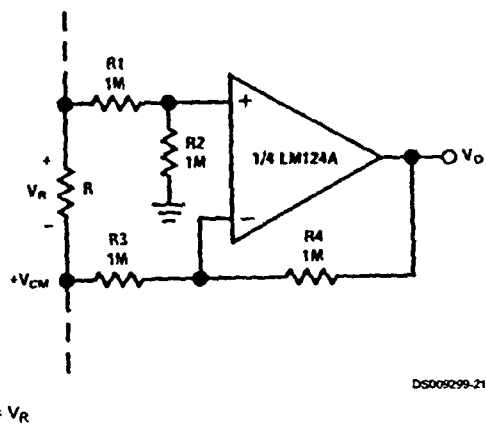
Low Drift Peak Detector



Comparator with Hysteresis

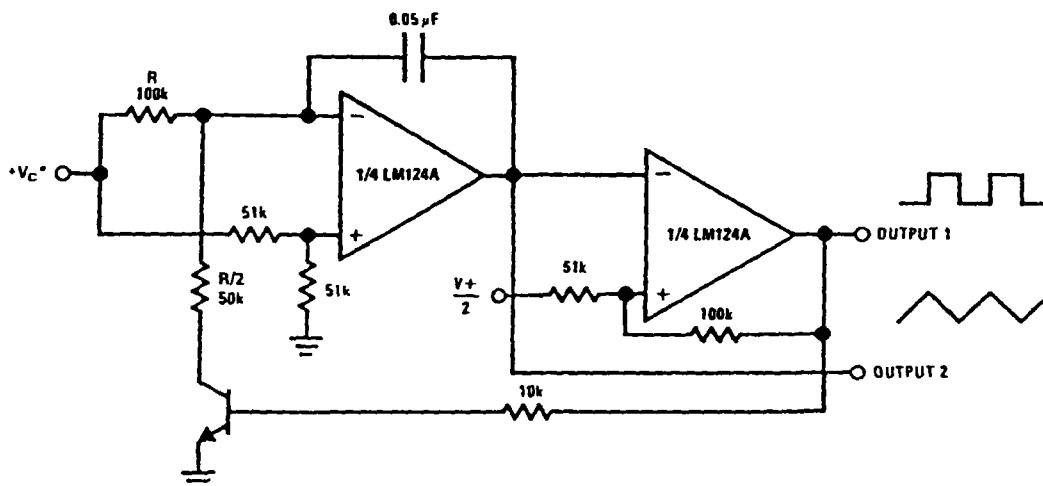


Ground Referencing a Differential Input Signal



Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0\text{ V}_{DC}$) (Continued)

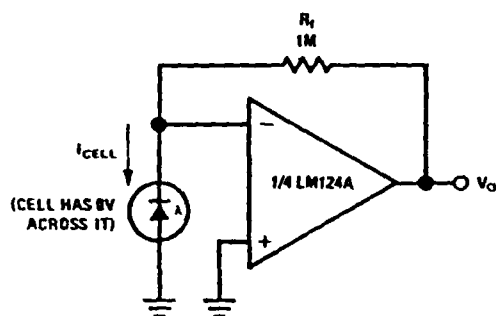
Voltage Controlled Oscillator Circuit



DS000299-22

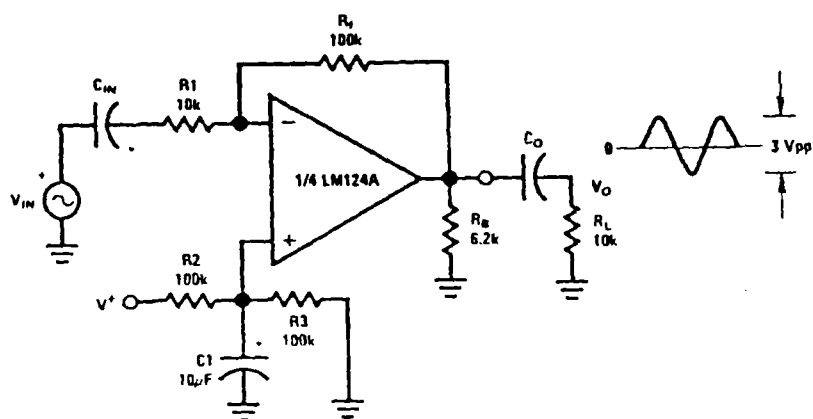
*Wide control voltage range: $0\text{ V}_{DC} \leq V_C \leq 2(V^+ - 1.5\text{ V}_{DC})$

Photo Voltaic-Cell Amplifier



DS000299-23

AC Coupled Inverting Amplifier

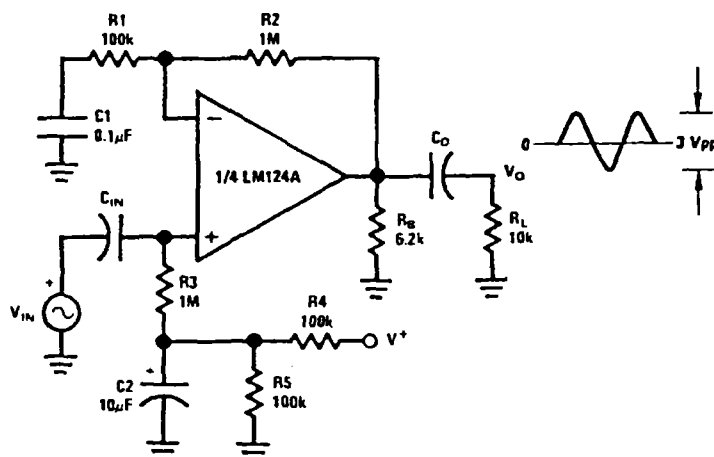


DS000299-24

$$A_v = \frac{R_f}{R_1} \text{ (As shown, } A_v = 10 \text{)}$$

Local Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

AC Coupled Non-Inverting Amplifier

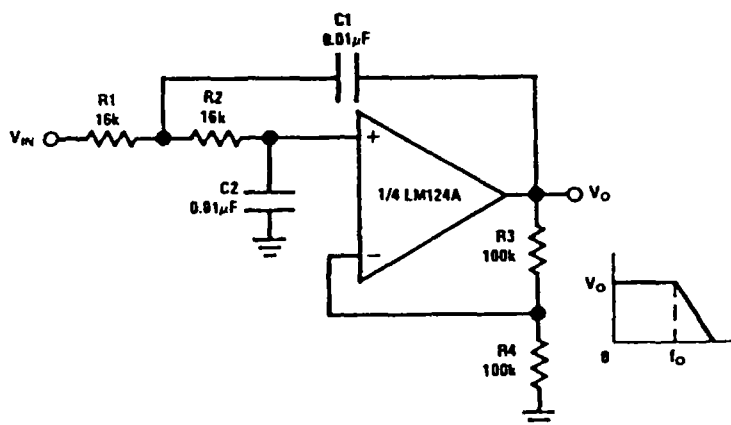


DS009299-25

$$1 + \frac{R2}{R1}$$

11 (As shown)

DC Coupled Low-Pass RC Active Filter



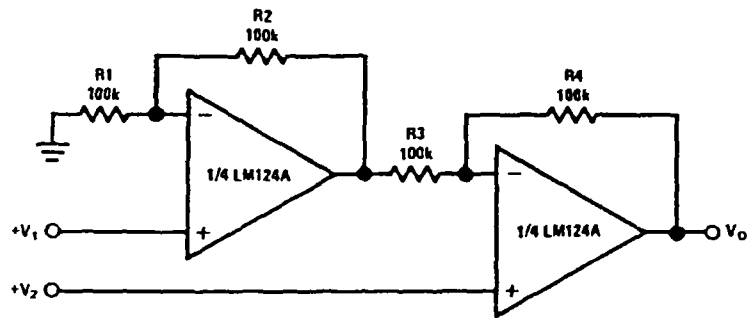
DS009299-26

1 kHz

2

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

High Input Z, DC Differential Amplifier



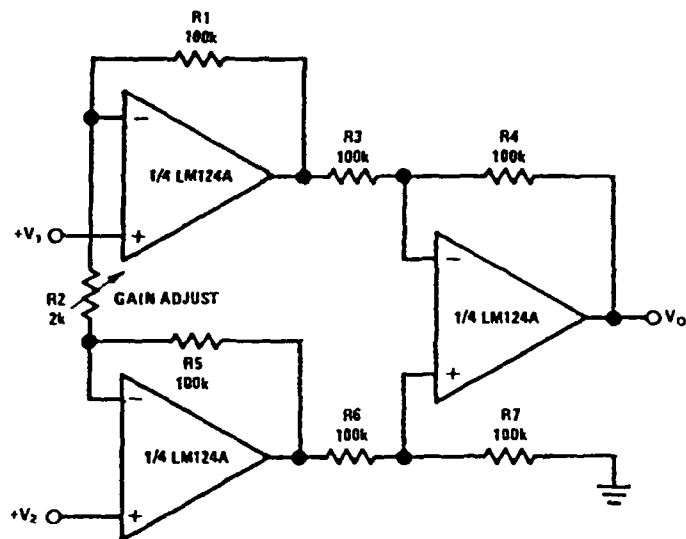
DS006299-27

For $\frac{R1}{R2} = \frac{R4}{R3}$ (CMRR depends on this resistor ratio match)

$$V_O = 1 + \frac{R4}{R3}(V_2 - V_1)$$

As shown: $V_O = 2(V_2 - V_1)$

High Input Z Adjustable-Gain DC Instrumentation Amplifier



DS006299-28

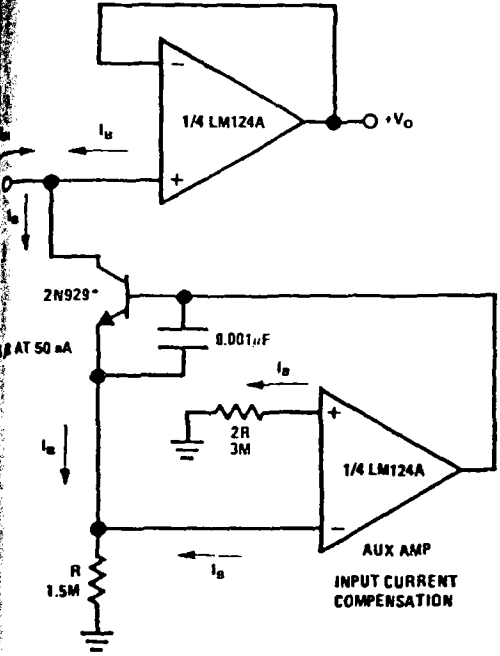
If $R1 = R5$ & $R3 = R4 = R6 = R7$ (CMRR depends on match)

$$V_O = 1 + \frac{2R1}{R2}(V_2 - V_1)$$

As shown $V_O = 101(V_2 - V_1)$

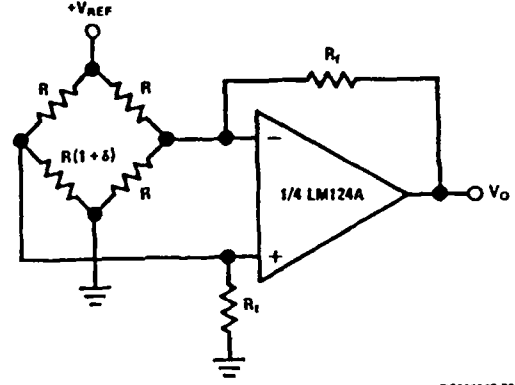
Local Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0\text{ V}_{\text{DC}}$) (Continued)

Using Symmetrical Amplifiers to Reduce Input Current (General Concept)



DS009299-29

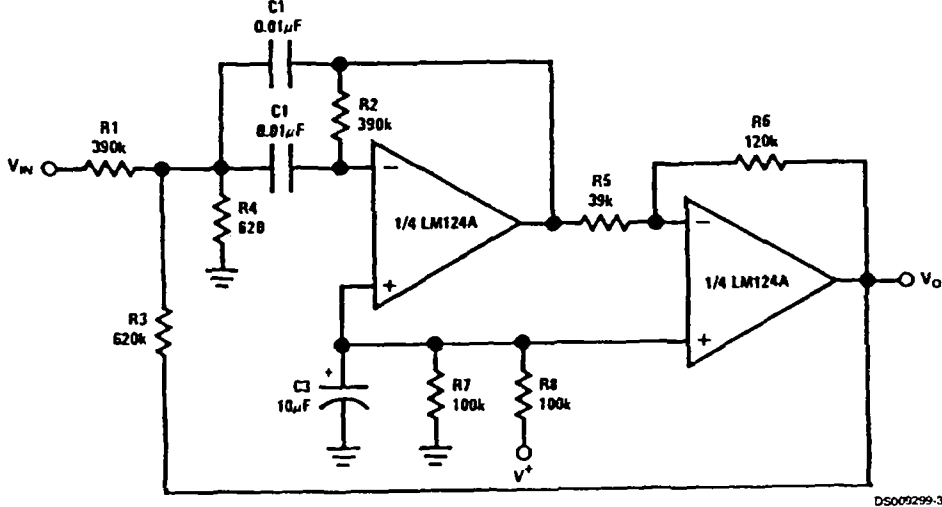
Bridge Current Amplifier



DS009299-30

For $\delta \ll 1$ and $R_I \gg R$
$$V_O \approx V_{REF} \left(\frac{\delta}{2} \right) \frac{R_I}{R}$$

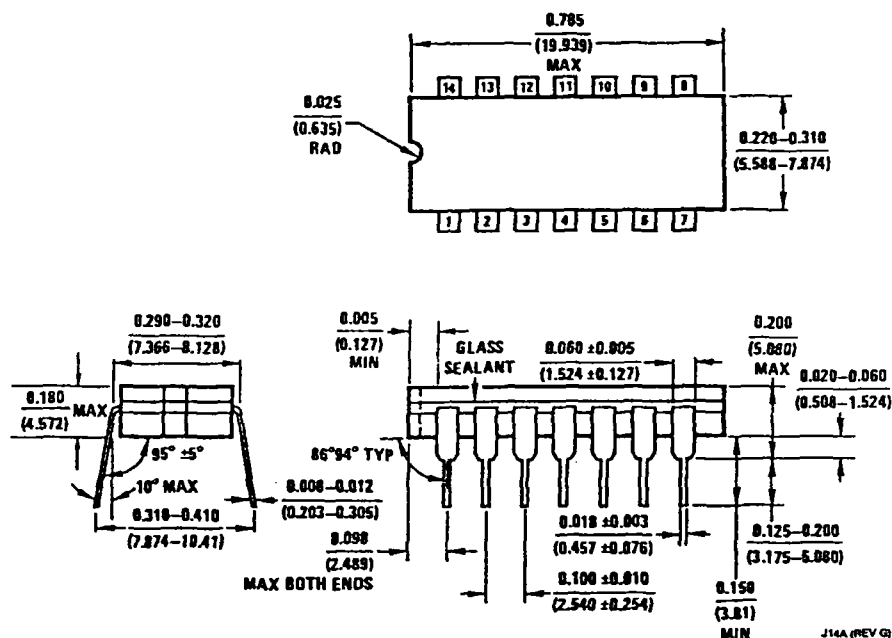
Bandpass Active Filter



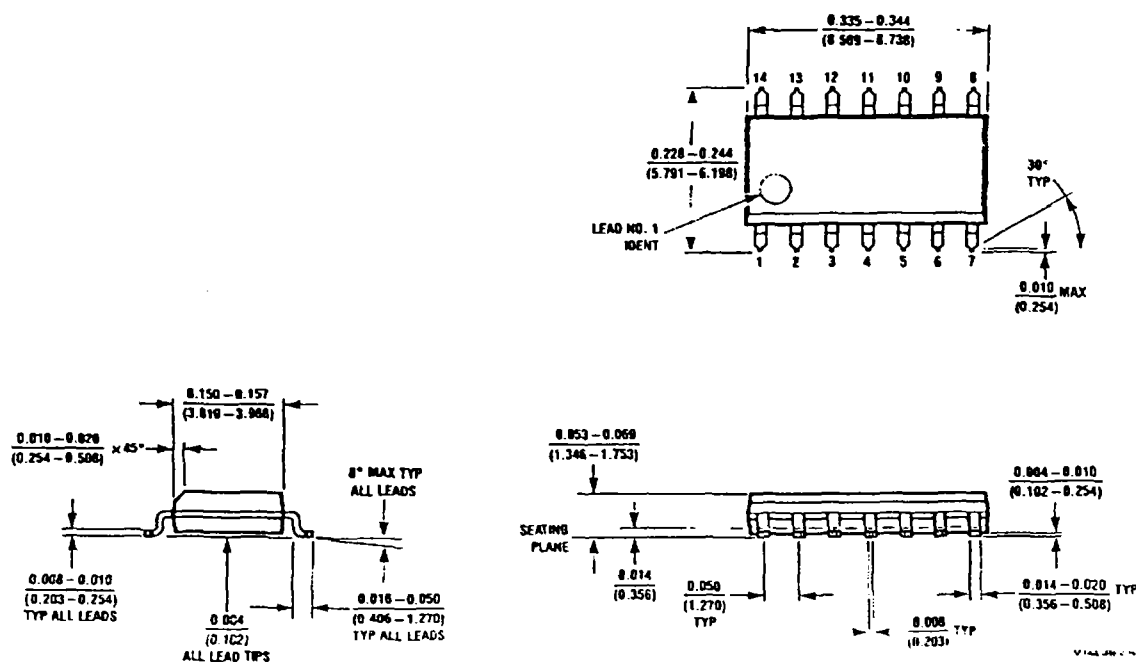
DS009299-31

1 kHz
25

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted

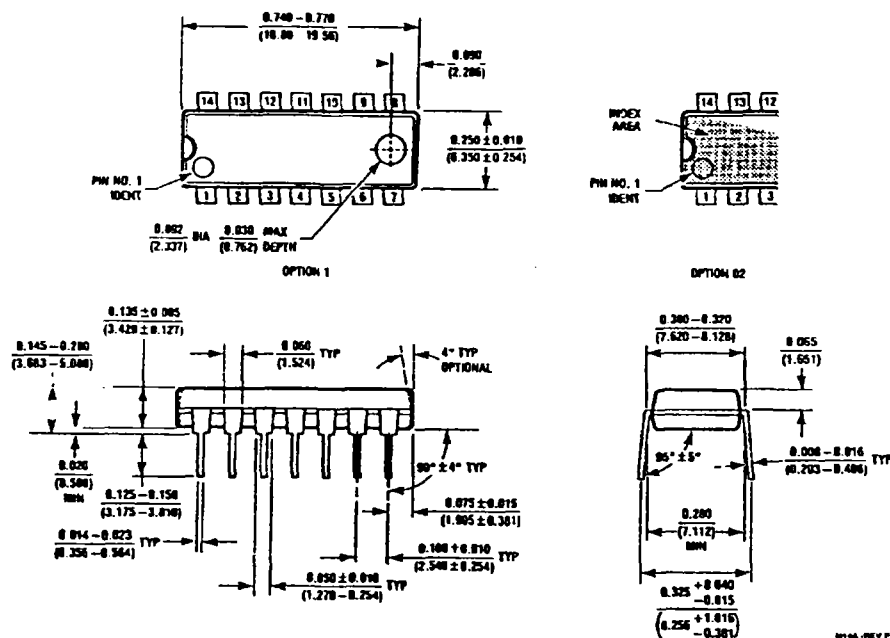


Ceramic Dual-In-Line Package (J)
 Order Number JL124ABCA, JL124BCA, JL124ASCA, JL124SCA, LM124J, LM124AJ, LM124AJ/883, LM124J/883, LM224J, LM224AJ or LM324J
 NS Package Number J14A

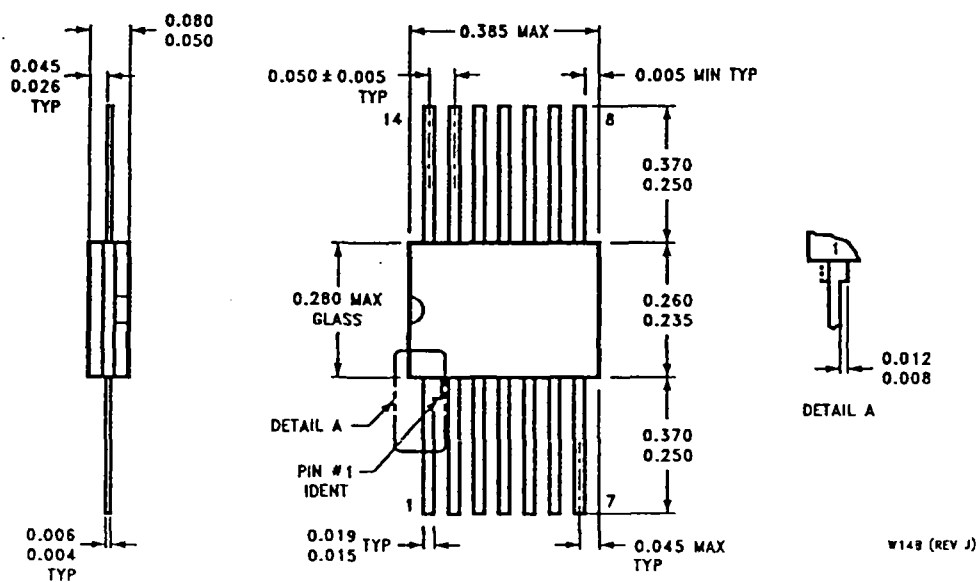


MX S.O. Package (M)
 Order Number LM324M, LM324MX, LM324AM, LM324AMX, LM2902M or LM2902MX
 NS Package Number M14A

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)

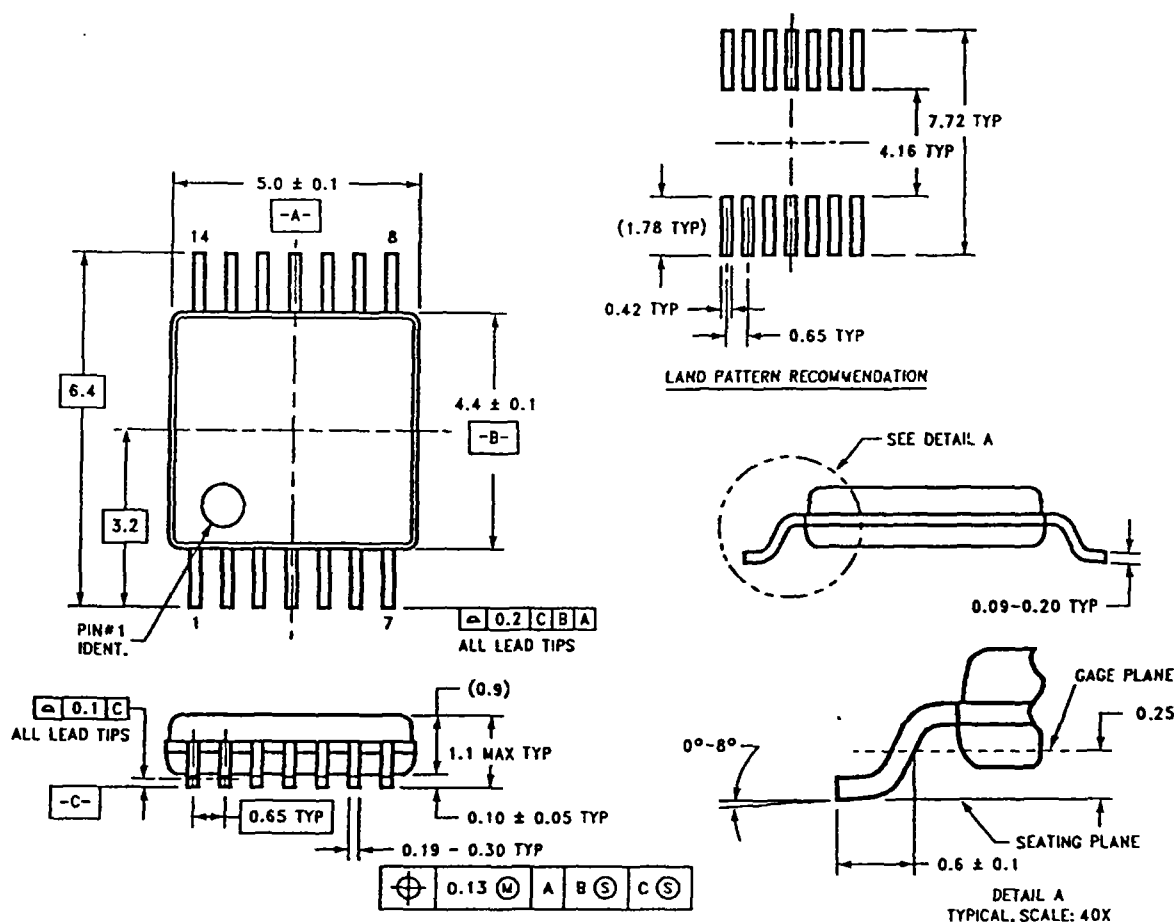


Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM324N, LM324AN or LM2902N
NS Package Number N14A



Ceramic Flatpak Package
Order Number JL124ABDA, JL124ABZA, JL124ASDA, JL124BDA, JL124BZA,
JL124SDA, LM124AW/883, LM124AWG/883, LM124W/883 or LM124WG/883
NS Package Number W14B

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

MTC14 (REV C)

14-Pin TSSOP
Order Number LM324MT or LM324MTX
NS Package Number MTC14

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor
Corporation
Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com
www.national.com

National Semiconductor
Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 8208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507



ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

3¹/₂ Digit,

LCD/LED Display, A/D Converters

July 1998

Features

- Guaranteed Zero Reading for 0V Input on All Scales
- True Polarity at Zero for Precise Null Detection
- 1pA Typical Input Current
- True Differential Input and Reference, Direct Display Drive
- LCD ICL7106, LED ICL7107
- Low Noise - Less Than 15 μ V_{p-p}
- On Chip Clock and Reference
- Low Power Dissipation - Typically Less Than 10mW
- No Additional Active Circuits Required
- Enhanced Display Stability (ICL7106S, ICL7107S)

Ordering Information

PART NO.	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
ICL7106CPL	0 to 70	40 Ld PDIP	E40.6
ICL7106RCPL	0 to 70	40 Ld PDIP (Note)	E40.6
ICL7106CM44	0 to 70	44 Ld MQFP	Q44.10x10
ICL7106SCPL	0 to 70	40 Ld PDIP	E40.6
ICL7107SCPL	0 to 70	40 Ld PDIP	E40.6
ICL7107CPL	0 to 70	40 Ld PDIP	E40.6
ICL7107RCPL	0 to 70	40 Ld PDIP (Note)	E40.6
ICL7107CM44	0 to 70	44 Ld MQFP	Q44.10x10

NOTE: "R" indicates device with reversed leads for mounting to PC board underside. "S" indicates enhanced stability.

Description

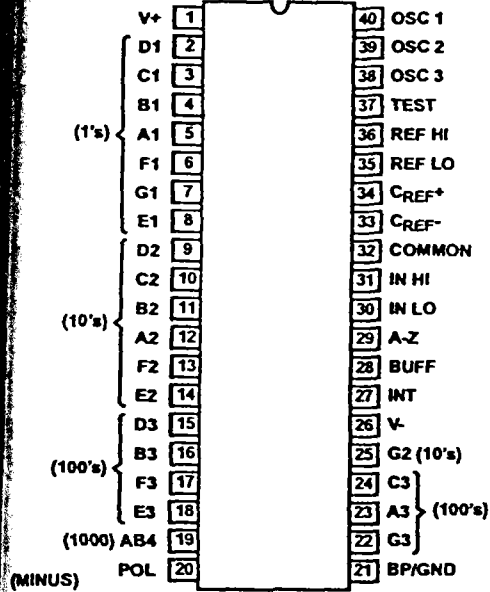
The Intersil ICL7106 and ICL7107 are high performance, low power, 3¹/₂ digit A/D converters. Included are seven segment decoders, display drivers, a reference, and a clock. The ICL7106 is designed to interface with a liquid crystal display (LCD) and includes a multiplexed backplane drive; the ICL7107 will directly drive an instrument size light emitting diode (LED) display.

The ICL7106 and ICL7107 bring together a combination of high accuracy, versatility, and true economy. It features auto-zero to less than 10 μ V, zero drift of less than 1 μ V/°C, input bias current of 10pA (Max), and rollover error of less than one count. True differential inputs and reference are useful in all systems, but give the designer an uncommon advantage when measuring load cells, strain gauges and other bridge type transducers. Finally, the true economy of single power supply operation (ICL7106), enables a high performance panel meter to be built with the addition of only 10 passive components and a display.

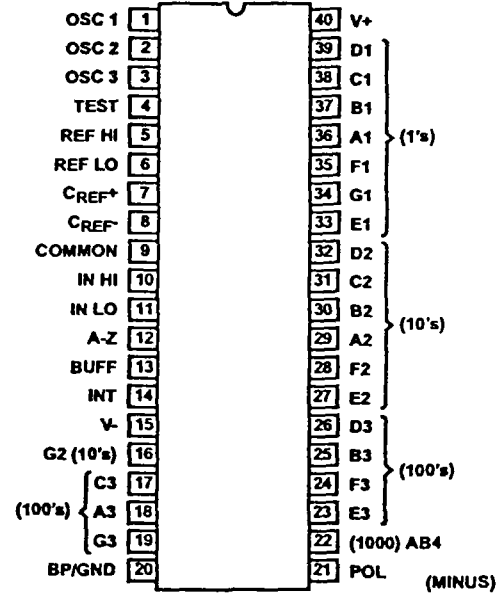
ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

Inputs

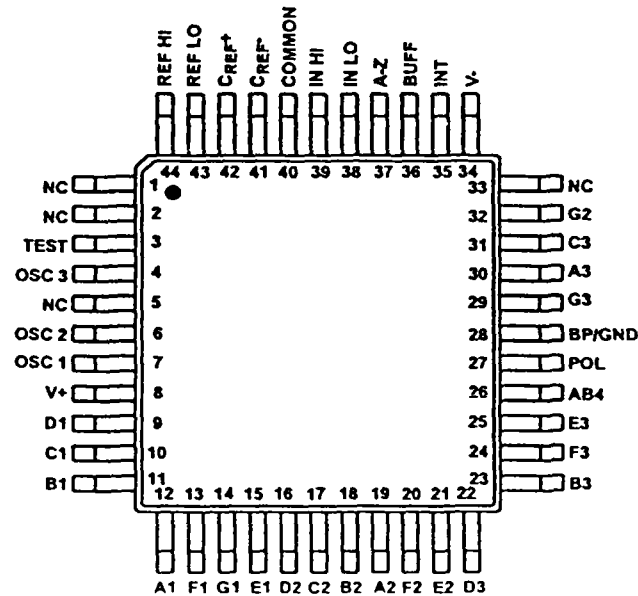
ICL7106, ICL7107 (PDIP)
TOP VIEW



ICL7106R, ICL7107R (PDIP)
TOP VIEW



ICL7106, ICL7107 (MQFP)
TOP VIEW



ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage	
ICL7106, V+ to V-	15V
ICL7107, V+ to GND	6V
ICL7107, V- to GND	-9V
Analog Input Voltage (Either Input) (Note 1)	V+ to V-
Reference Input Voltage (Either Input)	V+ to V-
Back Input	
ICL7106	TEST to V+
ICL7107	GND to V+

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 2)	θ_{JA} (°C/W)
PDIP Package	50
MQFP Package	80
Maximum Junction Temperature	150°C
Maximum Storage Temperature Range	-65°C to 150°C
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s)	300°C
(MQFP - Lead Tips Only)	

Operating Conditions

Temperature Range	0°C to 70°C
-------------------	-------------

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTES:

1. Input voltages may exceed the supply voltages provided the input current is limited to $\pm 100\mu\text{A}$.

2. θ_{JA} is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

Electrical Specifications (Note 3)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SYSTEM PERFORMANCE					
Zero Input Reading	$V_{IN} = 0.0V$, Full Scale = 200mV	-000.0	± 000.0	+000.0	Digital Reading
Stability (Last Digit) (ICL7106S, ICL7107S Only)	Fixed Input Voltage (Note 7)	-000.0	± 000.0	+000.0	Digital Reading
Ratiometric Reading	$V_{IN} = V_{REF}$, $V_{REF} = 100mV$	999	999/1000	1000	Digital Reading
Rollover Error	$-V_{IN} = +V_{IN} \approx 200mV$ Difference in Reading for Equal Positive and Negative Inputs Near Full Scale	-	± 0.2	± 1	Counts
Linearity	Full Scale = 200mV or Full Scale = 2V Maximum Deviation from Best Straight Line Fit (Note 6)	-	± 0.2	± 1	Counts
Common Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = 1V$, $V_{IN} = 0V$, Full Scale = 200mV (Note 6)	-	50	-	$\mu V/V$
Noise	$V_{IN} = 0V$, Full Scale = 200mV (Peak-To-Peak Value Not Exceeded 95% of Time)	-	15	-	μV
Leakage Current Input	$V_{IN} = 0$ (Note 6)	-	1	10	pA
Zero Reading Drift	$V_{IN} = 0$, 0°C To 70°C (Note 6)	-	0.2	1	$\mu V/^{\circ}C$
Scale Factor Temperature Coefficient	$V_{IN} = 199mV$, 0°C To 70°C, (Ext. Ref. 0ppm/°C) (Note 6)	-	1	5	ppm/°C
End Power Supply Character V+ Supply Current	$V_{IN} = 0$ (Does Not Include LED Current for ICL7107)	-	1.0	1.8	mA
End Power Supply Character V- Supply Current	ICL7107 Only	-	0.6	1.8	mA
COMMON Pin Analog Common Voltage	25k Ω Between Common and Positive Supply (With Respect to + Supply)	2.4	3.0	3.2	V
Temperature Coefficient of Analog Common	25k Ω Between Common and Positive Supply (With Respect to + Supply)	-	80	-	ppm/°C
DISPLAY DRIVER ICL7106 ONLY					
Peak-To-Peak Segment Drive Voltage	V+ = to V- = 9V (Note 5)	4	5.5	6	V
Peak-To-Peak Backplane Drive Voltage					

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

Electrical Specifications (Note 3) (Continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
PLAY DRIVER ICL7107 ONLY					
Segment Sinking Current (Except Pins 19 and 20)	$V^+ = 5V$, Segment Voltage = 3V	5	8	-	mA
Pin 19 Only		10	16	-	mA
Pin 20 Only		4	7	-	mA

NOTES:

Dissipation rating assumes device is mounted with all leads soldered to printed circuit board.

Unless otherwise noted, specifications apply to both the ICL7106 and ICL7107 at $T_A = 25^\circ\text{C}$, $f_{\text{CLOCK}} = 48\text{kHz}$. ICL7106 is tested in the circuit of Figure 1. ICL7107 is tested in the circuit of Figure 2.

Back plane drive is in phase with segment drive for 'off' segment, 180 degrees out of phase for 'on' segment. Frequency is 20 times conversion rate. Average DC component is less than 50mV.

Not tested, guaranteed by design.

Sample Tested.

Typical Applications and Test Circuits

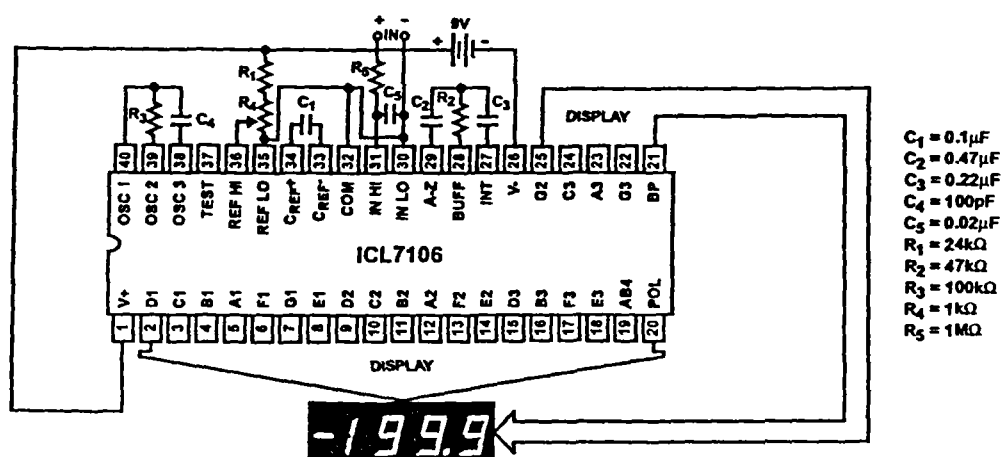


FIGURE 1. ICL7106 TEST CIRCUIT AND TYPICAL APPLICATION WITH LCD DISPLAY COMPONENTS SELECTED FOR 200mV FULL SCALE

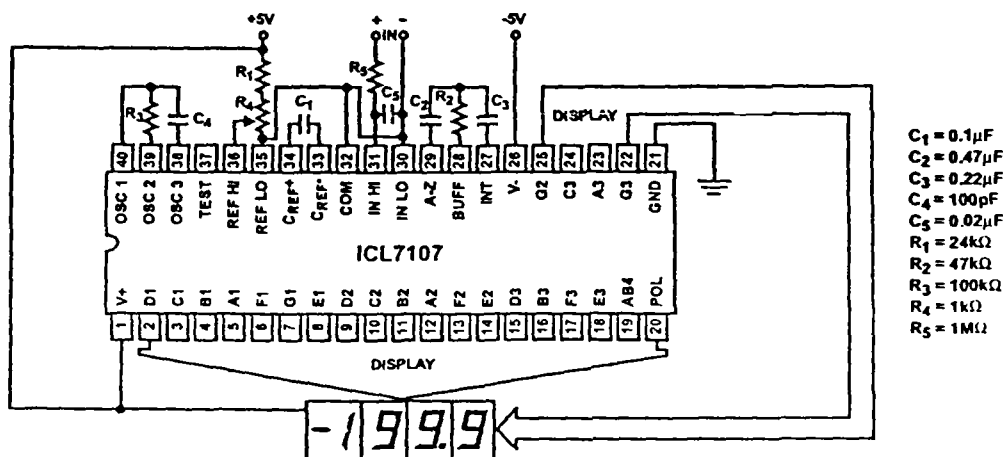


FIGURE 2. ICL7107 TEST CIRCUIT AND TYPICAL APPLICATION WITH LED DISPLAY COMPONENTS SELECTED FOR 200mV FULL SCALE

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

Design Information Summary Sheet

OSCILLATOR FREQUENCY

$$f_{OSC} = 0.45/RC$$

$$C_{OSC} > 50\text{pF}; R_{OSC} > 50\text{k}\Omega$$

$$f_{OSC} (\text{Typ}) = 48\text{kHz}$$

OSCILLATOR PERIOD

$$T_{OSC} = RC/0.45$$

INTEGRATION CLOCK FREQUENCY

$$f_{CLOCK} = f_{OSC}/4$$

INTEGRATION PERIOD

$$T_{INT} = 1000 \times (4/f_{OSC})$$

60/50Hz REJECTION CRITERION

$$T_{INT}/60\text{Hz} \text{ or } T_{INT}/50\text{Hz} = \text{Integer}$$

OPTIMUM INTEGRATION CURRENT

$$I_{INT} = 4\mu\text{A}$$

FULL SCALE ANALOG INPUT VOLTAGE

$$V_{INFS} (\text{Typ}) = 200\text{mV} \text{ or } 2\text{V}$$

INTEGRATE RESISTOR

$$R_{INT} = \frac{V_{INFS}}{I_{INT}}$$

INTEGRATE CAPACITOR

$$C_{INT} = \frac{(I_{INT})(T_{INT})}{V_{INT}}$$

INTEGRATOR OUTPUT VOLTAGE SWING

$$V_{INT} = \frac{(I_{INT})(T_{INT})}{C_{INT}}$$

V_{INT} MAXIMUM SWING:

$$(V+ - 0.5\text{V}) < V_{INT} < (V+ - 0.5\text{V}), V_{INT} (\text{Typ}) = 2\text{V}$$

• DISPLAY COUNT

$$\text{COUNT} = 1000 \times \frac{V_{IN}}{V_{REF}}$$

• CONVERSION CYCLE

$$t_{CYC} = t_{CLOCK} \times 4000$$

$$t_{CYC} = t_{OSC} \times 16,000$$

$$\text{when } f_{OSC} = 48\text{kHz}; t_{CYC} = 333\text{ms}$$

• COMMON MODE INPUT VOLTAGE

$$(V+ - 1\text{V}) < V_{IN} < (V+ - 0.5\text{V})$$

• AUTO-ZERO CAPACITOR

$$0.01\mu\text{F} < C_{AZ} < 1\mu\text{F}$$

• REFERENCE CAPACITOR

$$0.1\mu\text{F} < C_{REF} < 1\mu\text{F}$$

• V_{COM}

Biased between V_i and V₋.

• V_{COM} $\equiv$ V₊ - 2.8V

Regulation lost when V₊ to V₋ $\leq$ 6.8V

If V_{COM} is externally pulled down to (V₊ to V₋)/2, the V_{COM} circuit will turn off.

• ICL7106 POWER SUPPLY: SINGLE 9V

$$V+ - V- = 9\text{V}$$

Digital supply is generated internally

$$V_{GND} \equiv V+ - 4.5\text{V}$$

• ICL7106 DISPLAY: LCD

Type: Direct drive with digital logic supply amplitude.

• ICL7107 POWER SUPPLY: DUAL $\pm 5.0\text{V}$

$$V+ = +5\text{V to GND}$$

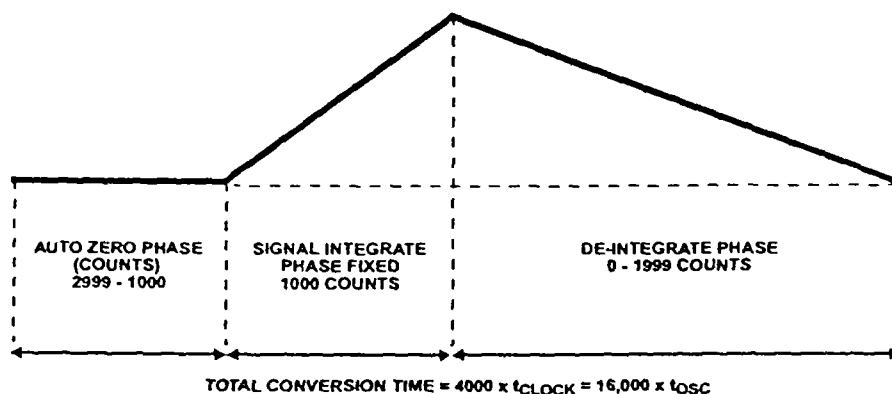
$$V- = -5\text{V to GND}$$

Digital Logic and LED driver supply V₊ to GND

• ICL7107 DISPLAY: LED

Type: Non-Multiplexed Common Anode

Typical Integrator Amplifier Output Waveform (INT Pin)



ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

Detailed Description

Analog Section

Figure 3 shows the Analog Section for the ICL7106 and ICL7107. Each measurement cycle is divided into three phases. They are (1) auto-zero (A-Z), (2) signal integrate (INT) and (3) de-integrate (DE).

Auto-Zero Phase

During auto-zero three things happen. First, input high and low are disconnected from the pins and internally shorted to analog COMMON. Second, the reference capacitor is charged to the reference voltage. Third, a feedback loop is closed around the system to charge the auto-zero capacitor to compensate for offset voltages in the buffer amplifier, integrator, and comparator. Since the comparator is included in the loop, the A-Z accuracy is limited only by the noise of the system. In any case, the offset referred to the input is less than $10\mu\text{V}$.

Signal Integrate Phase

During signal integrate, the auto-zero loop is opened, the internal short is removed, and the internal input high and low are connected to the external pins. The converter then integrates the differential voltage between IN HI and IN LO for a fixed time. This differential voltage can be within a wide common mode range: up to 1V from either supply. If, on the other hand, the input signal has no return with respect to the converter power supply, IN LO can be tied to analog COMMON to establish the correct common mode voltage. At

the end of this phase, the polarity of the integrated signal is determined.

De-Integrate Phase

The final phase is de-integrate, or reference integrate. Input low is internally connected to analog COMMON and input high is connected across the previously charged reference capacitor. Circuitry within the chip ensures that the capacitor will be connected with the correct polarity to cause the integrator output to return to zero. The time required for the output to return to zero is proportional to the input signal. Specifically the digital reading displayed is:

$$\text{DISPLAY COUNT} = 1000 \left(\frac{V_{\text{IN}}}{V_{\text{REF}}} \right)$$

Differential Input

The input can accept differential voltages anywhere within the common mode range of the input amplifier, or specifically from 0.5V below the positive supply to 1V above the negative supply. In this range, the system has a CMRR of 86dB typical. However, care must be exercised to assure the integrator output does not saturate. A worst case condition would be a large positive common mode voltage with a near full scale negative differential input voltage. The negative input signal drives the integrator positive when most of its swing has been used up by the positive common mode voltage. For these critical applications the integrator output swing can be reduced to less than the recommended 2V full scale swing with little loss of accuracy. The integrator output can swing to within 0.3V of either supply without loss of linearity.

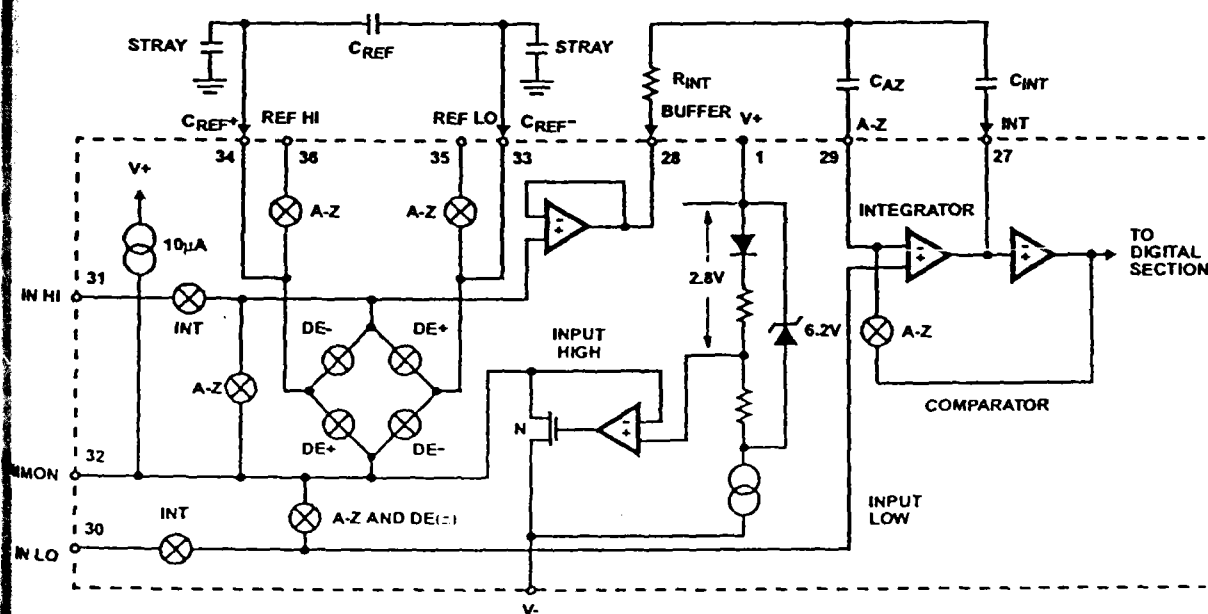


FIGURE 3. ANALOG SECTION OF ICL7106 AND ICL7107

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

Differential Reference

The reference voltage can be generated anywhere within the power supply voltage of the converter. The main source of common mode error is a roll-over voltage caused by the reference capacitor losing or gaining charge to stray capacity on its nodes. If there is a large common mode voltage, the reference capacitor can gain charge (increase voltage) when called up to integrate a positive signal but lose charge (decrease voltage) when called up to de-integrate a negative input signal. This difference in reference for positive or negative input voltage will give a roll-over error. However, by selecting the reference capacitor such that it is large enough in comparison to the stray capacitance, this error can be held to less than 0.5 count worst case. (See Component Value Selection.)

Analog COMMON

This pin is included primarily to set the common mode voltage for battery operation (ICL7106) or for any system where the input signals are floating with respect to the power supply. The COMMON pin sets a voltage that is approximately 2.8V more negative than the positive supply. This is selected to give a minimum end-of-life battery voltage of about 6V. However, analog COMMON has some of the attributes of a reference voltage. When the total supply voltage is large enough to cause the zener to regulate ($>7V$), the COMMON voltage will have a low voltage coefficient ($0.001\%/V$), low output impedance ($\approx 15\Omega$), and a temperature coefficient typically less than $80\text{ppm}/^\circ\text{C}$.

The limitations of the on chip reference should also be recognized, however. With the ICL7107, the internal heating which results from the LED drivers can cause some degradation in performance. Due to their higher thermal resistance, plastic parts are poorer in this respect than ceramic. The combination of reference Temperature Coefficient (TC), internal chip dissipation, and package thermal resistance can increase noise near full scale from $25\mu V$ to $80\mu V_{p-p}$. Also the linearity in going from a high dissipation count such as 1000 (20 segments on) to a low dissipation count such as 1111 (8 segments on) can suffer by a count or more. Devices with a positive TC reference may require several counts to pull out of an over-range condition. This is because over-range is a low dissipation mode, with the three least significant digits blanked. Similarly, units with a negative TC may cycle between over-range and a non-over-range count as the die alternately heats and cools. All these problems are of course eliminated if an external reference is used.

The ICL7106, with its negligible dissipation, suffers from none of these problems. In either case, an external reference can easily be added, as shown in Figure 4.

Analog COMMON is also used as the input low return during auto-zero and de-integrate. If IN LO is different from analog COMMON, a common mode voltage exists in the system and is taken care of by the excellent CMRR of the converter. However, in some applications IN LO will be set at a fixed known voltage (power supply common for instance). In this application, analog COMMON should be tied to the same point, thus removing the common mode voltage from the converter. The same holds true for the reference voltage. If reference can be conveniently tied to analog COMMON, it

should be since this removes the common mode voltage from the reference system.

Within the IC, analog COMMON is tied to an N-Channel FET that can sink approximately 30mA of current to hold the voltage 2.8V below the positive supply (when a load is trying to pull the common line positive). However, there is only $10\mu A$ of source current, so COMMON may easily be tied to a more negative voltage thus overriding the internal reference.

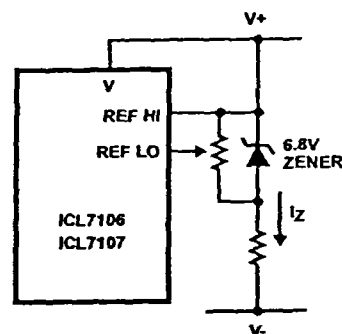


FIGURE 4A.

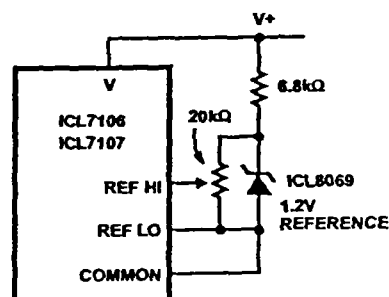


FIGURE 4B.

FIGURE 4. USING AN EXTERNAL REFERENCE

TEST

The TEST pin serves two functions. On the ICL7106 it is coupled to the internally generated digital supply through a 500Ω resistor. Thus it can be used as the negative supply for externally generated segment drivers such as decimal points or any other presentation the user may want to include on the LCD display. Figures 5 and 6 show such an application. No more than a 1mA load should be applied.

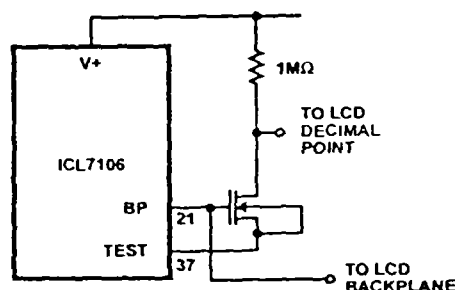


FIGURE 5. SIMPLE INVERTER FOR FIXED DECIMAL POINT

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

The second function is a "lamp test". When TEST is pulled high (to V+) all segments will be turned on and the display should read "1888". The TEST pin will sink about 15mA under these conditions.

CAUTION: In the lamp test mode, the segments have a constant DC voltage (no square-wave). This may burn the LCD display if maintained for extended periods.

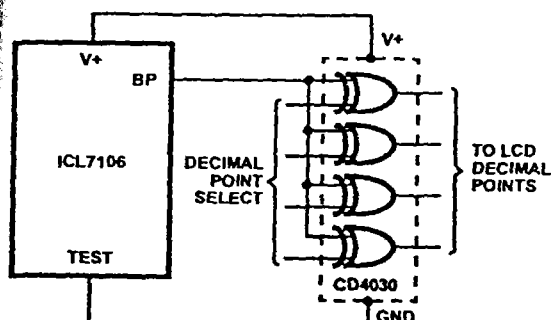


FIGURE 6. EXCLUSIVE 'OR' GATE FOR DECIMAL POINT DRIVE

Digital Section

Figures 7 and 8 show the digital section for the ICL7106 and ICL7107, respectively. In the ICL7106, an internal digital ground is generated from a 6V Zener diode and a large P-Channel source follower. This supply is made stiff to absorb the relative large capacitive currents when the back plane (BP) voltage is switched. The BP frequency is the clock frequency divided by 800. For three readings/sec., this is a 60Hz square wave with a nominal amplitude of 5V. The segments are driven at the same frequency and amplitude and are in phase with BP when OFF, but out of phase when ON. In all cases negligible DC voltage exists across the segments.

Figure 8 is the Digital Section of the ICL7107. It is identical to the ICL7106 except that the regulated supply and back plane drive have been eliminated and the segment drive has been increased from 2mA to 8mA, typical for instrument size common anode LED displays. Since the 1000 output (pin 19) must sink current from two LED segments, it has twice the drive capability or 16mA.

In both devices, the polarity indication is "on" for negative analog inputs. If IN LO and IN HI are reversed, this indication can be reversed also, if desired.

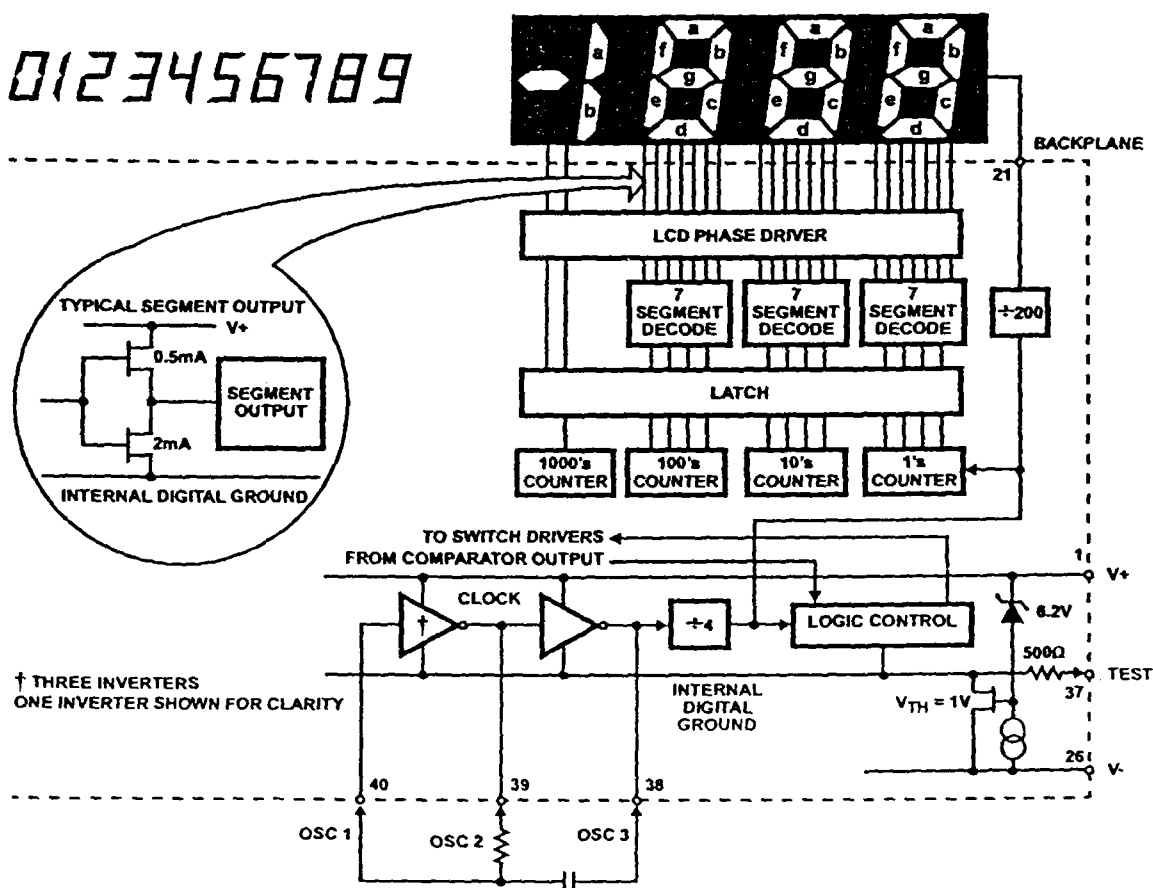


FIGURE 7. ICL7106 DIGITAL SECTION

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

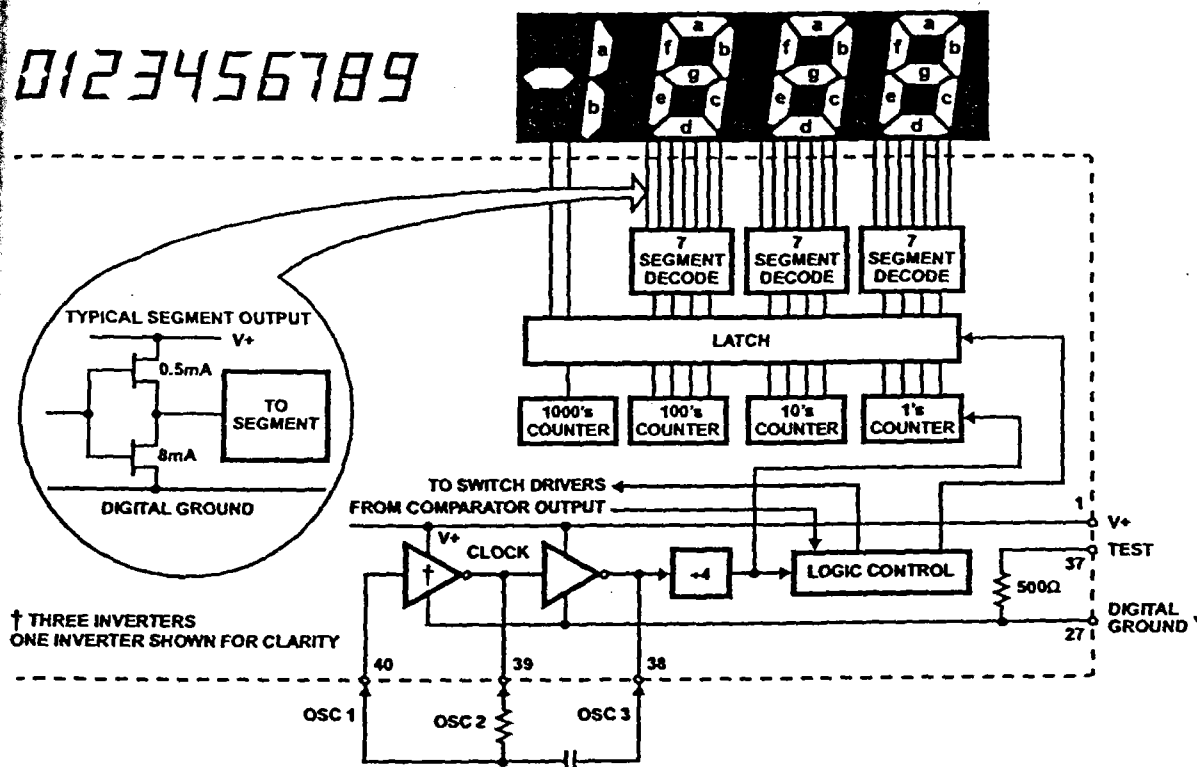


FIGURE 8. ICL7107 DIGITAL SECTION

System Timing

Figure 9 shows the clocking arrangement used in the ICL7106 and ICL7107. Two basic clocking arrangements can be used:

1. Figure 9A. An external oscillator connected to pin 40.
2. Figure 9B. An R-C oscillator using all three pins.

The oscillator frequency is divided by four before it clocks the decade counters. It is then further divided to form the three convert-cycle phases. These are signal integrate (1000 counts), reference de-integrate (0 to 2000 counts) and auto-zero (1000 to 3000 counts). For signals less than full scale, auto-zero gets the unused portion of reference de-integrate. This makes a complete measure cycle of 4,000 counts (16,000 clock pulses) independent of input voltage. For three readings/second, an oscillator frequency of 48kHz would be used.

To achieve maximum rejection of 60Hz pickup, the signal integrate cycle should be a multiple of 60Hz. Oscillator frequencies of 240kHz, 120kHz, 80kHz, 60kHz, 48kHz, 40kHz, $33\frac{1}{3}$ kHz, etc. should be selected. For 50Hz rejection, Oscillator frequencies of 200kHz, 100kHz, $66\frac{2}{3}$ kHz, 50kHz, 40kHz, etc. would be suitable. Note that 40kHz (2.5 readings/second) will reject both 50Hz and 60Hz (also 400Hz and 440Hz).

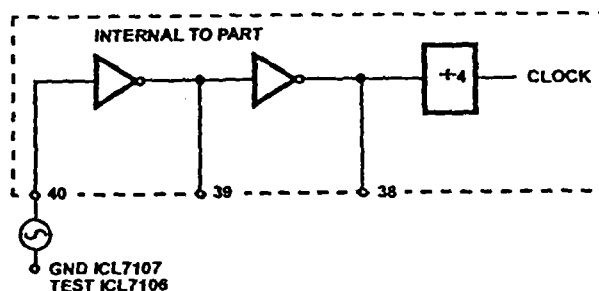


FIGURE 9A.

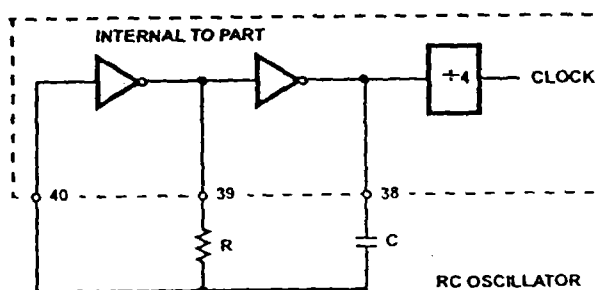


FIGURE 9B.

FIGURE 9. CLOCK CIRCUITS

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

Component Value Selection

Integrating Resistor

Both the buffer amplifier and the integrator have a class A output stage with 100 μ A of quiescent current. They can supply 4 μ A of drive current with negligible nonlinearity. The integrating resistor should be large enough to remain in this very linear region over the input voltage range, but small enough that undue leakage requirements are not placed on the PC board. For 2V full scale, 470k Ω is near optimum and similarly a 47k Ω for a 200mV scale.

Integrating Capacitor

The integrating capacitor should be selected to give the maximum voltage swing that ensures tolerance buildup will not saturate the integrator swing (approximately, 0.3V from either supply). In the ICL7106 or the ICL7107, when the analog COMMON is used as a reference, a nominal +2V full-scale integrator swing is fine. For the ICL7107 with +5V supplies and analog COMMON tied to supply ground, a +3.5V to +4V swing is nominal. For three readings/second (48kHz clock) nominal values for C_{INT} are 0.22 μ F and 0.10 μ F, respectively. Of course, if different oscillator frequencies are used, these values should be changed in inverse proportion to maintain the same output swing.

An additional requirement of the integrating capacitor is that it must have a low dielectric absorption to prevent roll-over errors. While other types of capacitors are adequate for this application, polypropylene capacitors give undetectable errors at reasonable cost.

Auto-Zero Capacitor

The size of the auto-zero capacitor has some influence on the noise of the system. For 200mV full scale where noise is very important, a 0.47 μ F capacitor is recommended. On the 2V scale, a 0.047 μ F capacitor increases the speed of recovery from overload and is adequate for noise on this scale.

Reference Capacitor

A 0.1 μF capacitor gives good results in most applications. However, where a large common mode voltage exists (i.e., the REF LO pin is not at analog COMMON) and a 200mV scale is used, a larger value is required to prevent roll-over error. Generally 1 μF will hold the roll-over error to 0.5 count in this instance.

Oscillator Components

For all ranges of frequency a 100k Ω resistor is recommended and the capacitor is selected from the equation:

$$f = \frac{0.45}{RC} \text{ For 48kHz Clock (3 Readings/sec).}$$

$C = 100\text{pF.}$

Reference Voltage

The analog input required to generate full scale output (2000 counts) is: $V_{IN} = 2V_{REF}$. Thus, for the 200mV and 2V scale, V_{REF} should equal 100mV and 1V, respectively. However, in many applications where the A/D is connected to a transducer, there will exist a scale factor other than unity between the input voltage and the digital reading. For instance, in a weighing system, the designer might like to have a full scale reading when the voltage from the transducer is 0.662V. Instead of dividing the input down to 200mV, the designer should use the input voltage directly and select $V_{REF} = 0.341V$. Suitable values for integrating resistor and capacitor would be 1 20k Ω and 0.22 μF . This makes the system slightly quieter and also avoids a divider network on the input. The ICL7107 with $\pm 5V$ supplies can accept input signals up to $\pm 4V$. Another advantage of this system occurs when a digital reading of zero is desired for $V_{IN} \neq 0$. Temperature and weighing systems with a variable fare are examples. This offset reading can be conveniently generated by connecting the voltage transducer between IN HI and COMMON and the variable (or fixed) offset voltage between COMMON and IN LO.

ICL7107 Power Supplies

The ICL7107 is designed to work from $\pm 5V$ supplies. However, if a negative supply is not available, it can be generated from the clock output with 2 diodes, 2 capacitors, and an inexpensive IC. Figure 10 shows this application. See ICL7660 data sheet for an alternative.

In fact, in selected applications no negative supply is required. The conditions to use a single +5V supply are:

1. The input signal can be referenced to the center of the common mode range of the converter.
2. The signal is less than $\pm 1.5V$.
3. An external reference is used.

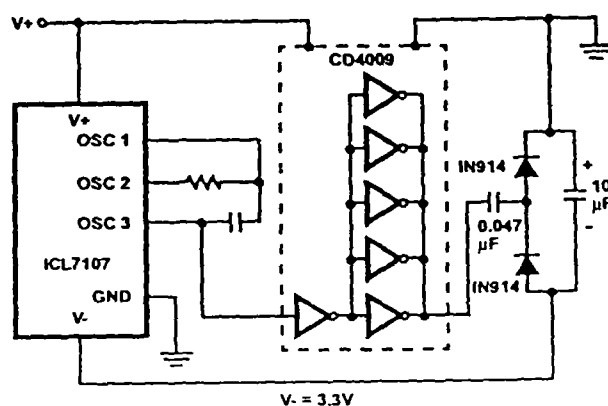


FIGURE 10. GENERATING NEGATIVE SUPPLY FROM +5V

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

Typical Applications

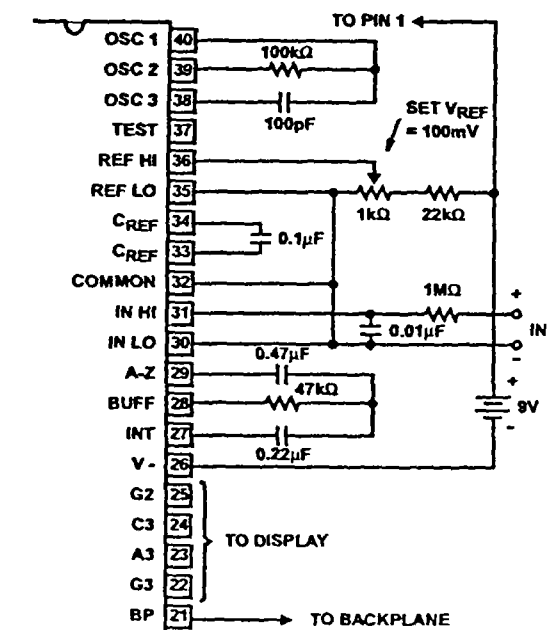
The ICL7106 and ICL7107 may be used in a wide variety of configurations. The circuits which follow show some of the possibilities, and serve to illustrate the exceptional versatility of these A/D converters.

The following application notes contain very useful information on understanding and applying this part and are available from Intersil Corporation.

Application Notes

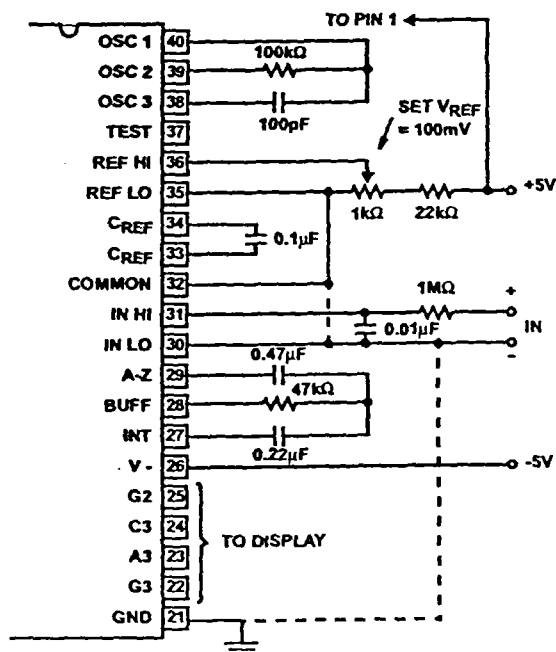
NOTE #	DESCRIPTION	AnswerFAX DOC. #
AN016	"Selecting A/D Converters"	9016
AN017	"The Integrating A/D Converter"	9017
AN018	"Do's and Don'ts of Applying A/D Converters"	9018
AN023	"Low Cost Digital Panel Meter Designs"	9023
AN032	"Understanding the Auto-Zero and Common Mode Performance of the ICL7136/719 Family"	9032
AN046	"Building a Battery-Operated Auto Ranging DVM with the ICL7106"	9046
AN052	"Tips for Using Single Chlp 3 ¹ / ₂ Digit A/D Converters"	9052

Typical Applications



Values shown are for 200mV full scale, 3 readings/sec., floating supply voltage (9V battery).

FIGURE 11. ICL7106 USING THE INTERNAL REFERENCE

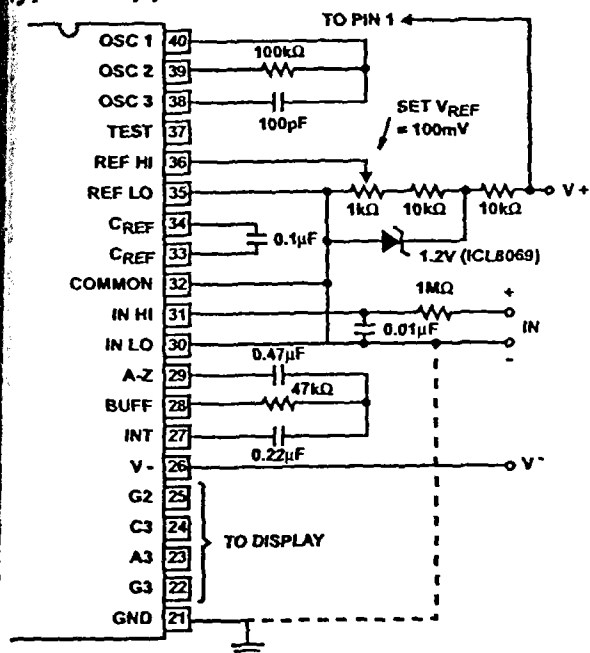


Values shown are for 200mV full scale, 3 readings/sec. IN LO may be tied to either COMMON for inputs floating with respect to supplies, or GND for single ended inputs. (See discussion under Analog COMMON.)

FIGURE 12. ICL7107 USING THE INTERNAL REFERENCE

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

Typical Applications (Continued)



IN LO is tied to supply COMMON establishing the correct common mode voltage. If COMMON is not shorted to GND, the input voltage may float with respect to the power supply and COMMON acts as a pre-regulator for the reference. If COMMON is shorted to GND, the input is single ended (referred to supply GND) and the pre-regulator is overridden.

FIGURE 13. ICL7107 WITH AN EXTERNAL BAND-GAP REFERENCE (1.2V TYPE)

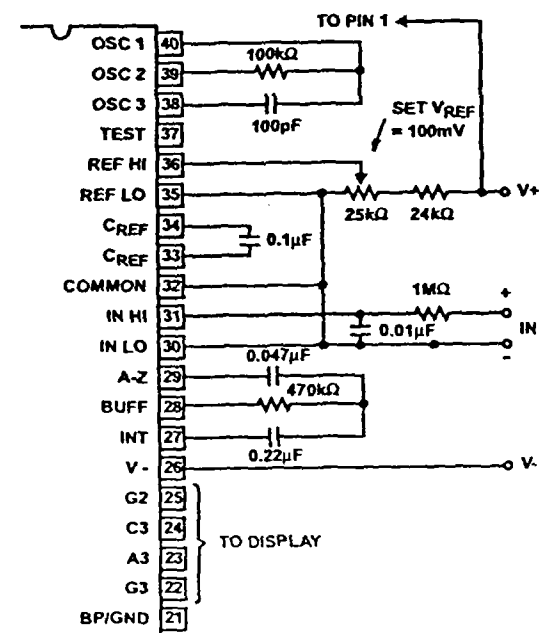
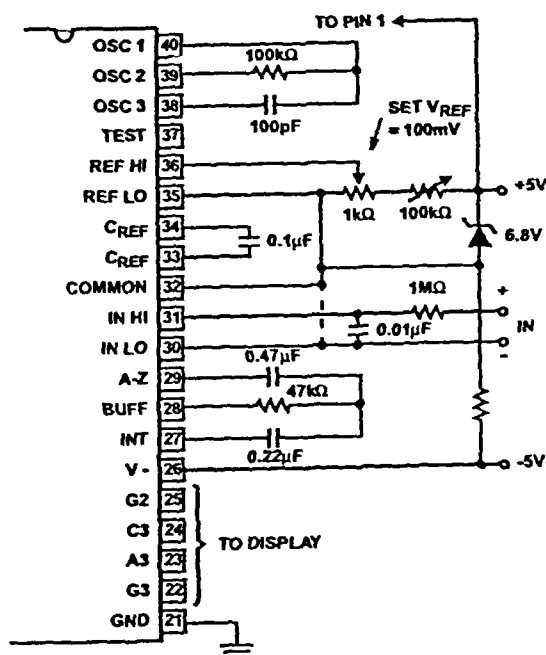
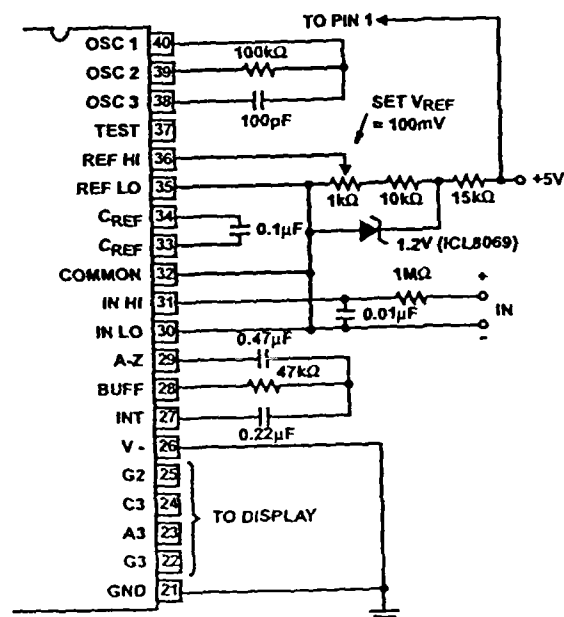


FIGURE 15. ICL7106 AND ICL7107: RECOMMENDED COMPONENT VALUES FOR 2V FULL SCALE



Since low TC zeners have breakdown voltages ~ 6.8V, diode must be placed across the total supply (10V). As in the case of Figure 14, IN LO may be tied to either COMMON or GND.

FIGURE 14. ICL7107 WITH ZENER DIODE REFERENCE



An external reference must be used in this application, since the voltage between V+ and V- is insufficient for correct operation of the internal reference.

FIGURE 16. ICL7107 OPERATED FROM SINGLE +5V

TO PIN 1

OSC 1 40

OSC 2 39

OSC 3 38

TEST 37

REF HI 36

REF LO 35

CREF 34

CREF 33

COMMON 32

IN HI 31

IN LO 30

A-Z 29

BUFF 28

INT 27

V- 26

G2 25

C3 24

A3 23

G3 22

BP 21

TO BACKPLANE

TO DISPLAY

SCALE FACTOR ADJUST

ZERO ADJUST

9V

100kΩ

100pF

100kΩ

1MΩ

220kΩ

22kΩ

0.1μF

0.01μF

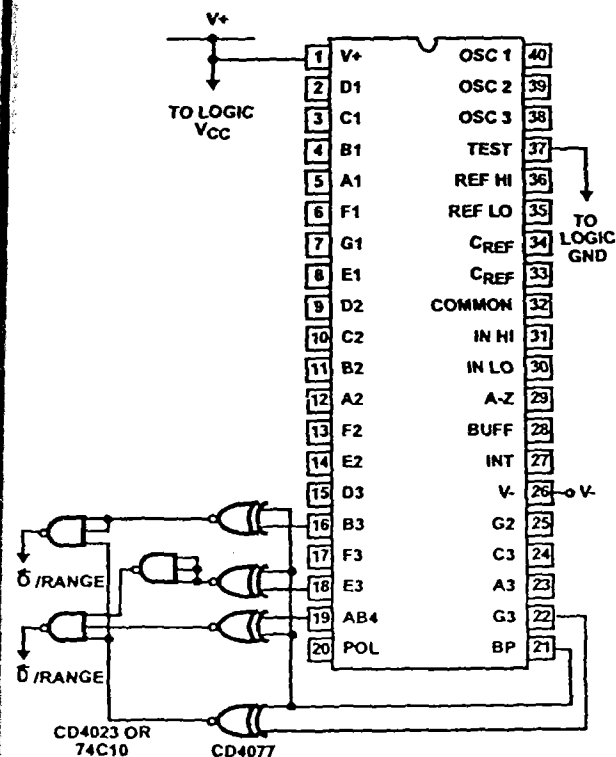
0.47μF

47kΩ

0.22μF

SILICON NPN
MPS 3704 OR
SIMILAR

FIGURE 18. ICL7106 USED AS A DIGITAL CENTIGRADE THERMOMETER

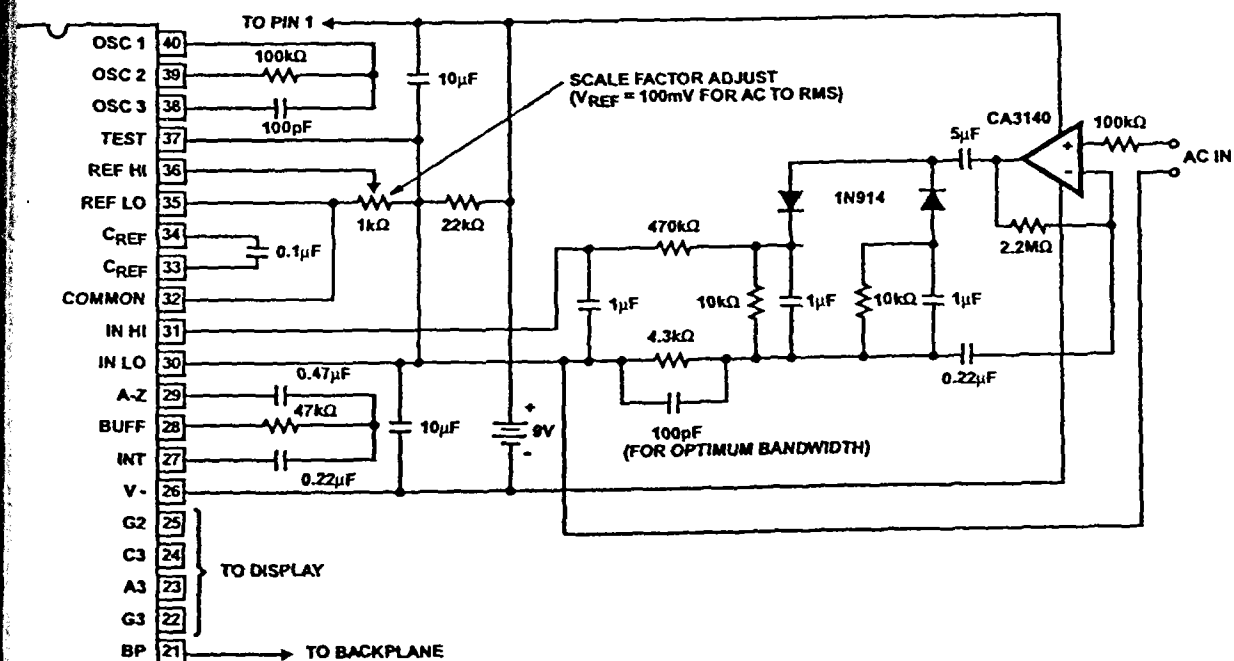


The LM339 is required to ensure logic compatibility with heavy display loading.

13

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

Typical Applications (Continued)



Test is used as a common-mode reference level to ensure compatibility with most op amps.

FIGURE 21. AC TO DC CONVERTER WITH ICL7106

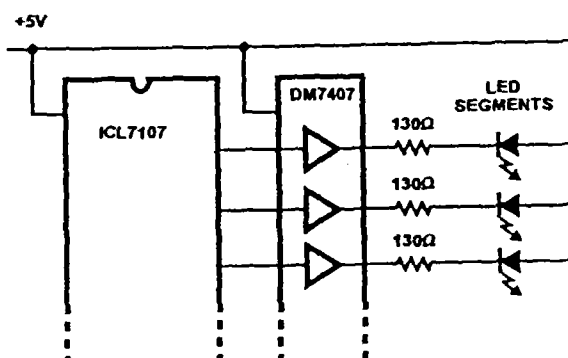
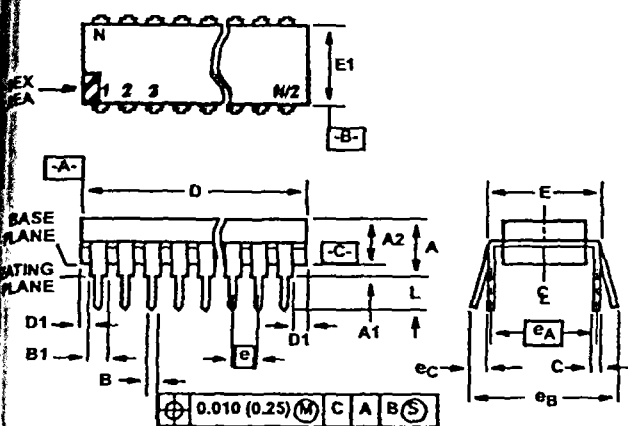


FIGURE 22. DISPLAY BUFFERING FOR INCREASED DRIVE CURRENT

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

Dual-In-Line Plastic Packages (PDIP)



NOTES:

1. Controlling Dimensions: INCH. In case of conflict between English and Metric dimensions, the inch dimensions control.
2. Dimensioning and tolerancing per ANSI Y14.5M-1982.
3. Symbols are defined in the "MO Series Symbol List" in Section 2.2 of Publication No. 95.
4. Dimensions A, A1 and L are measured with the package seated in JEDEC seating plane gauge GS-3.
5. D, D1, and E1 dimensions do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.010 inch (0.25mm).
6. E and e_A are measured with the leads constrained to be perpendicular to datum $-C-$.
7. e_B and e_C are measured at the lead tips with the leads unconstrained. e_C must be zero or greater.
8. B1 maximum dimensions do not include dambar protrusions. Dambar protrusions shall not exceed 0.010 inch (0.25mm).
9. N is the maximum number of terminal positions.
10. Corner leads (1, N, N/2 and N/2 + 1) for E8.3, E16.3, E18.3, E28.3, E42.6 will have a B1 dimension of 0.030 - 0.045 inch (0.76 - 1.14mm).

E40.6 (JEDEC MS-011-AC ISSUE B)

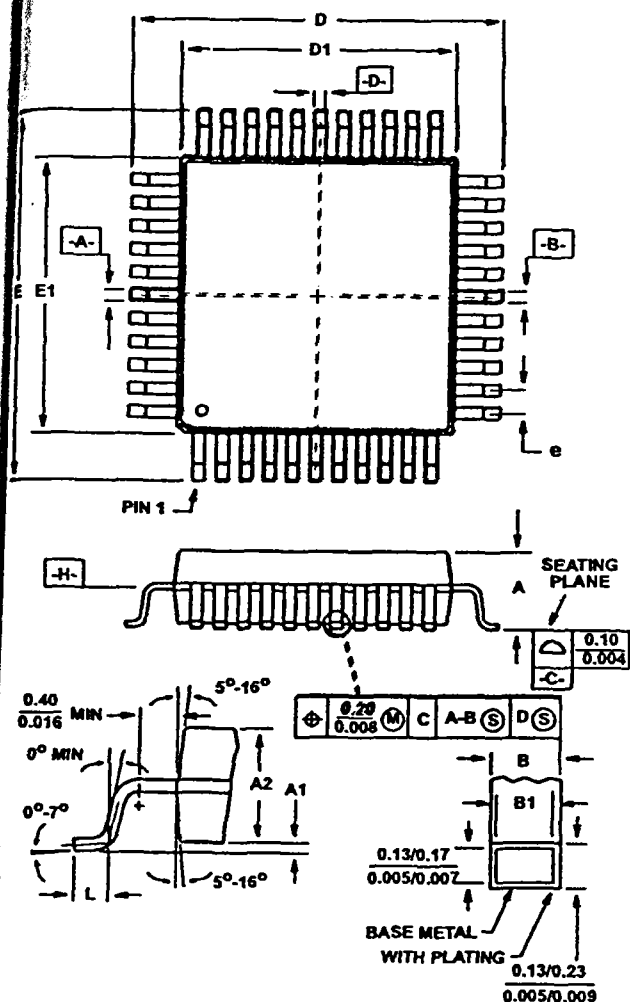
40 LEAD DUAL-IN-LINE PLASTIC PACKAGE

SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS		NOTES
	MIN	MAX	MIN	MAX	
A	-	0.250	-	6.35	4
A1	0.015	-	0.39	-	4
A2	0.125	0.195	3.18	4.95	-
B	0.014	0.022	0.356	0.558	-
B1	0.030	0.070	0.77	1.77	8
C	0.008	0.015	0.204	0.381	-
D	1.980	2.095	50.3	53.2	5
D1	0.005	-	0.13	-	5
E	0.600	0.625	15.24	15.87	6
E1	0.485	0.580	12.32	14.73	5
e	0.100 BSC		2.54 BSC		-
e_A	0.600 BSC		15.24 BSC		6
e_B	-	0.700	-	17.78	7
L	0.115	0.200	2.93	5.08	4
N	40		40		9

Rev. 0 12/93

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

Metric Plastic Quad Flatpack Packages (MQFP/PQFP)



Q44.10x10 (JEDEC MO-108AA-2 ISSUE A)
44 LEAD METRIC PLASTIC QUAD FLATPACK PACKAGE

SYM- BOL	INCHES		MILLIMETERS		NOTES
	MIN	MAX	MIN	MAX	
A	-	0.093	-	2.35	-
A1	0.004	0.010	0.10	0.25	-
A2	0.077	0.083	1.95	2.10	-
B	0.012	0.018	0.30	0.45	6
B1	0.012	0.016	0.30	0.40	-
D	0.510	0.530	12.95	13.45	3
D1	0.390	0.398	9.90	10.10	4, 5
E	0.510	0.530	12.95	13.45	3
E1	0.390	0.398	9.90	10.10	4, 5
L	0.026	0.037	0.65	0.95	-
N	44		44		7
e	0.032 BSC		0.80 BSC		-

Rev. 1 1/94

NOTES:

1. Controlling dimension: MILLIMETER. Converted inch dimensions are not necessarily exact.
2. All dimensions and tolerances per ANSI Y14.5M-1982.
3. Dimensions D and E to be determined at seating plane **-C-**.
4. Dimensions D1 and E1 to be determined at datum plane **-H-**.
5. Dimensions D1 and E1 do not include mold protrusion. Allowable protrusion is 0.25mm (0.010 inch) per side.
6. Dimension B does not include dambar protrusion. Allowable dambar protrusion shall be 0.08mm (0.003 inch) total.
7. "N" is the number of terminal positions.

All Intersil semiconductor products are manufactured, assembled and tested under ISO9000 quality systems certification.

Intersil semiconductor products are sold by description only. Intersil Corporation reserves the right to make changes in circuit design and/or specifications at any time without notice. Accordingly, the reader is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. Information furnished by Intersil is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Intersil or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Intersil or its subsidiaries.

For information regarding Intersil Corporation and its products, see web site <http://www.intersil.com>

Sales Office Headquarters

NORTH AMERICA

Intersil Corporation
P. O. Box 883, Mail Stop 53-204
Melbourne, FL 32902
TEL: (407) 724-7000
FAX: (407) 724-7240

EUROPE

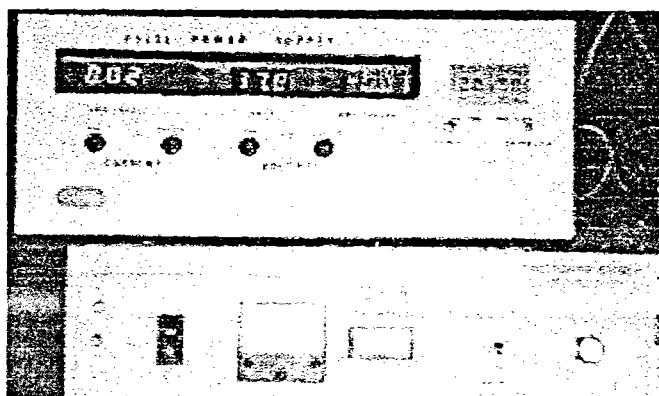
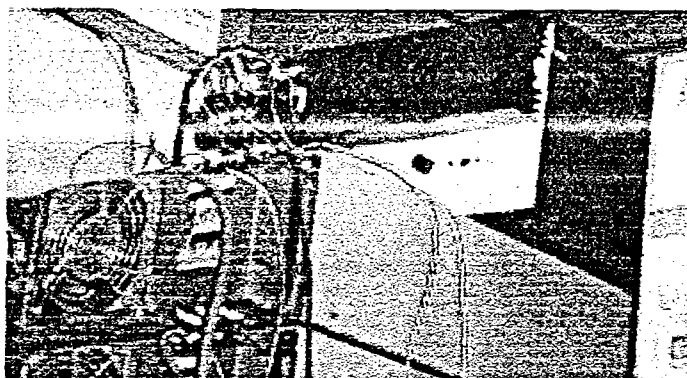
Intersil SA
Mercure Center
100, Rue de la Fusée
1130 Brussels, Belgium
TEL: (32) 2.724.2111
FAX: (32) 2.724.22.05

ASIA

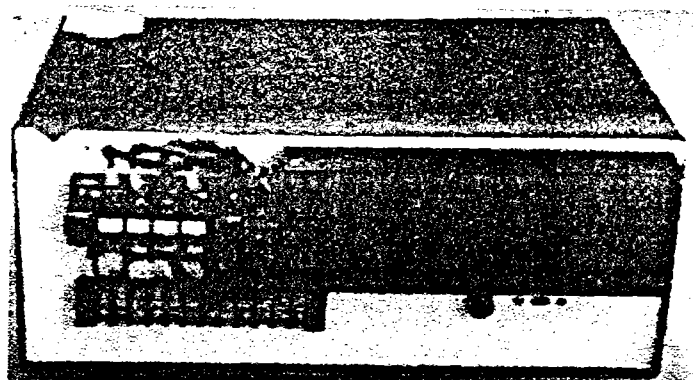
Intersil (Taiwan) Ltd.
7F-6, No. 101 Fu Hsing North Road
Taipei, Taiwan
Republic of China
TEL: (886) 2 2716 9310
FAX: (886) 2 2715 3029

ภาคผนวก ค

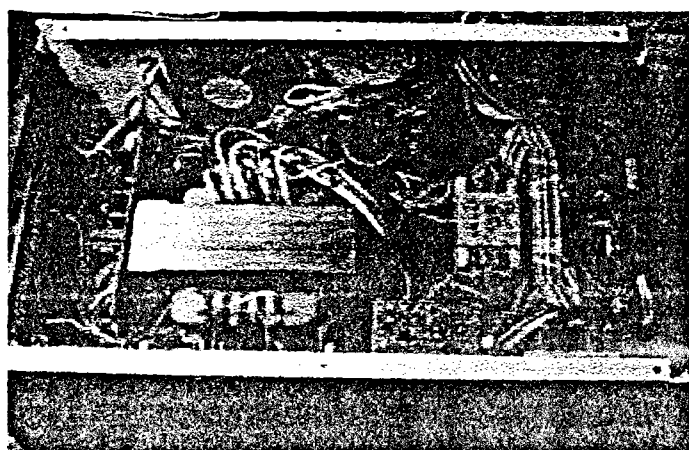
การทดสอบและภาพประกอบเกี่ยวกับการสร้าง



ภาพประกอบ 69 แสดงการทดสอบเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชวกรอบาไอซี



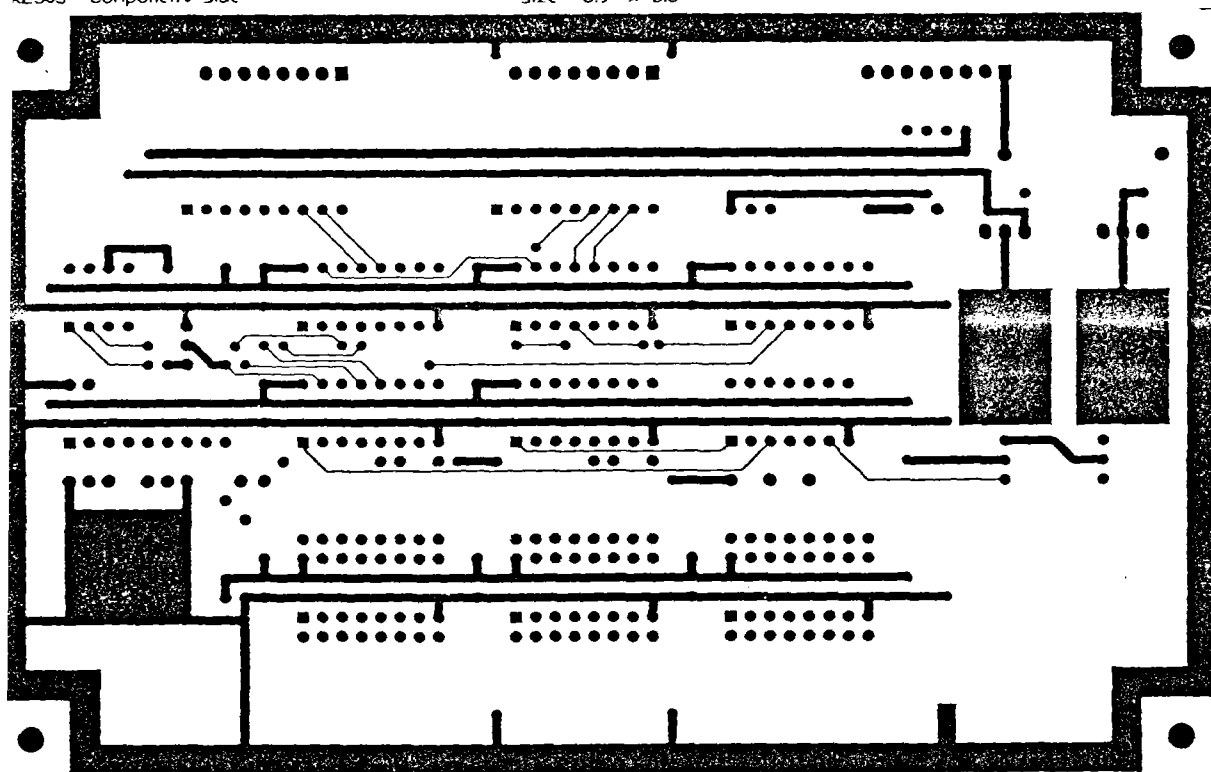
ภาพประกอบ 70 แสดงเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบลิเนียร์พร้อมชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ส่วนด้านหลังเครื่อง



ภาพประกอบ 71 แสดงเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบลิเนียร์พร้อมชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ส่วนด้านในเครื่อง

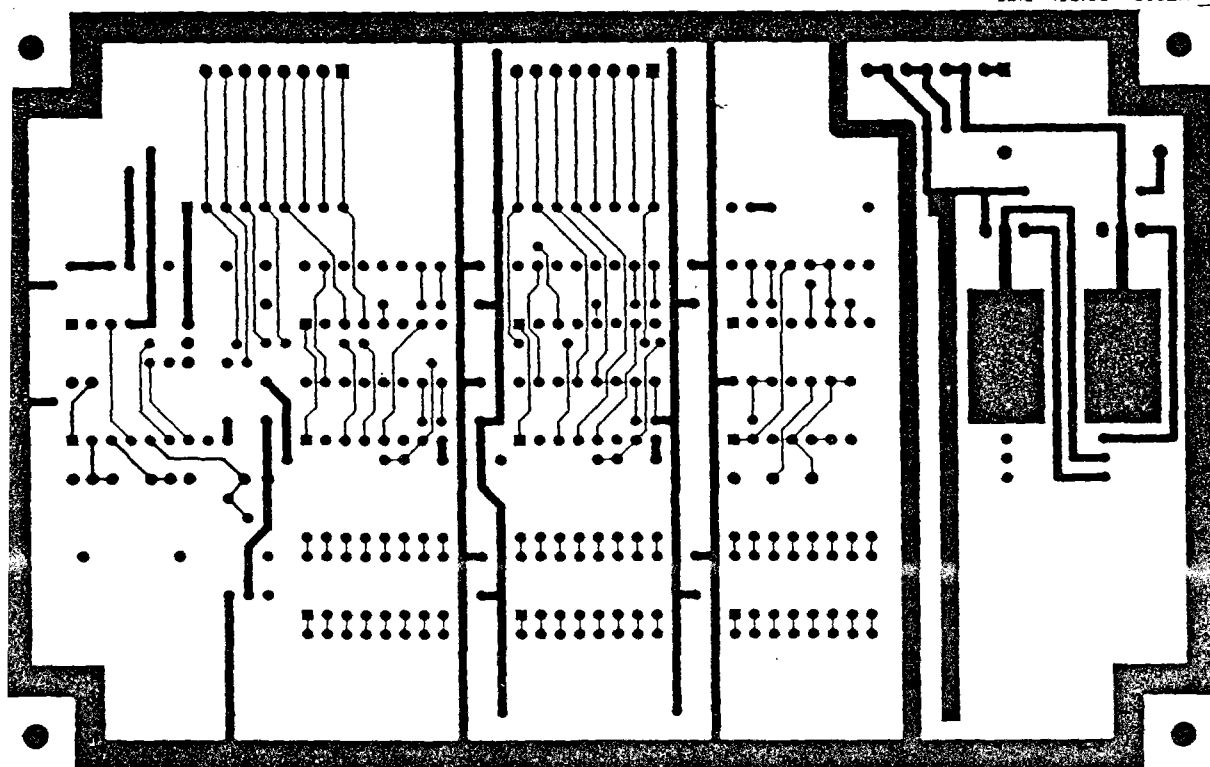
R2305 Component side

size 3.9" x 6.3"

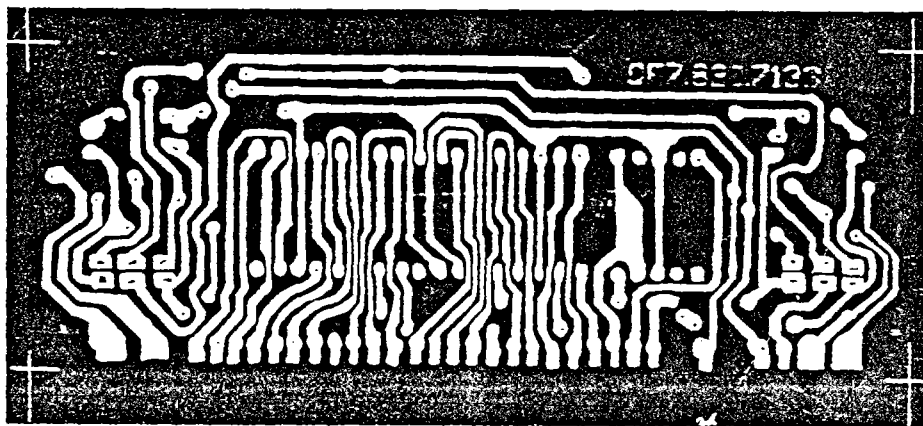
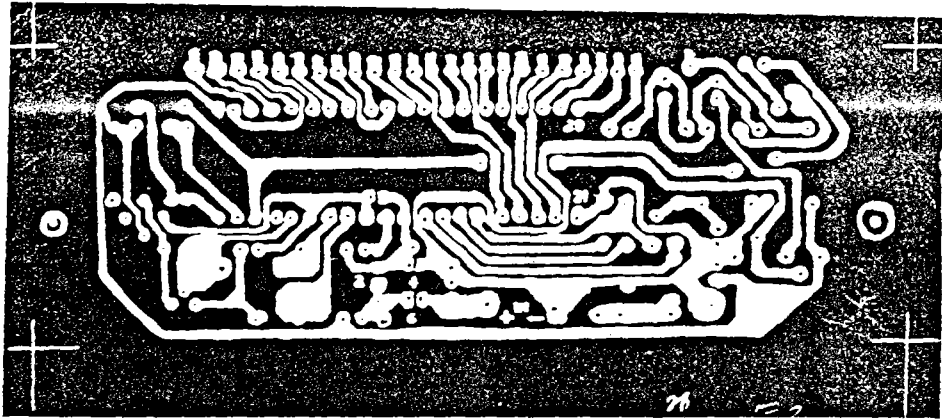


size 3.9" x 6.3"

R2305 Component side



ภาพประกอบ 72 แสดงลายวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ขับเคลื่อนผิวกรอบขาไอซีด้านหน้าและด้านหลัง



ภาพประกอบ 73 แสดงลายวงจรแสดงผลแรงดันและกระแสไฟฟ้า

ภาคผนวก ง

คู่มือการใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปกรอบขาไอซี

คำนำ

คู่มือการใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปกรอบขาไอซี ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อให้ท่านได้ทำความเข้าใจเกี่ยวกับชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปกรอบขาไอซี รวมทั้งการใช้งานและการบำรุงรักษา เพื่อให้การใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปกรอบขาไอซี เป็นไปอย่างถูกต้องและปลอดภัยและมีอายุการใช้งานที่ยืนยาว

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมั่นใจว่าคู่มือฉบับนี้จะทำให้ท่านผู้ใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปกรอบขาไอซี ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

พนม เสือสืบพันธุ์

สารบัญ

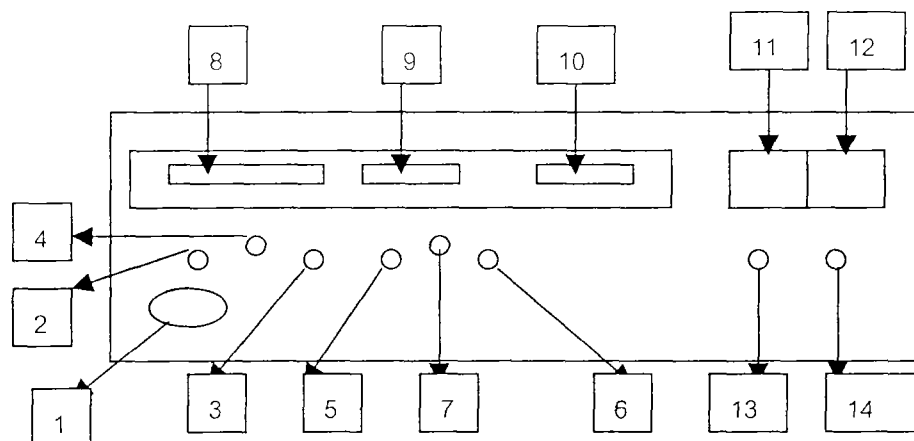
	หน้า
ความรู้ทั่วไปของการใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชักรอบขาไอซี	149
ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชักรอบขาไอซี	149
ส่วนประกอบด้านหน้าของเครื่อง	149
ส่วนประกอบด้านหลังของเครื่อง	150
ส่วนประกอบภายในเครื่อง	150
วิธีการติดตั้งและการใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์	151
วิธีการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์	151

ความรู้ทั่วไปของการใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปกรอบขาไอซี

เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปกรอบขาไอซี ถูกออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อใช้งานในการชุปกรอบขาไอซีที่ต้องใช้สัญญาณพัลส์ ในการชุปแบบอิเล็กทรอนิกส์โดยมีส่วนประกอบดังนี้

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องกำเนิดสัญญาณชุปเคลือบผิวกรอบขาไอซีได้แก่

1. ส่วนประกอบกำหนดหน้าของเครื่องมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 74 ด้านหน้าของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปกรอบขาไอซี

หมายเลข 1 สวิตช์เปิด-ปิด ไฟฟ้าเข้าเครื่อง

หมายเลข 2 ปุ่มปรับกระแสไฟฟ้าแบบละเอียด

หมายเลข 3 ปุ่มปรับกระแสไฟฟ้าแบบหยาบ

หมายเลข 4 หลอด LED แสดงสถานะการทำงานของเครื่องเมื่อจ่ายกระแสคงที่

หมายเลข 5 ปุ่มปรับแรงดันไฟฟ้าแบบละเอียด (FINE)

หมายเลข 6 ปุ่มปรับแรงดันไฟฟ้าแบบหยาบ

หมายเลข 7 หลอด LED แสดงสถานะการทำงานของเครื่องที่แรงดัน

หมายเลข 8 7 SEGMENT แสดงค่ากระแสที่ OUT PUT ของชุดจ่ายกำลังไฟฟ้า

หมายเลข 9 แสดงสถานะการทำงานของแรงดัน

หมายเลข 10 7 SEGMENT แสดงค่ากระแสที่วัดด้านนอก ของชุดกำเนิดพัลส์

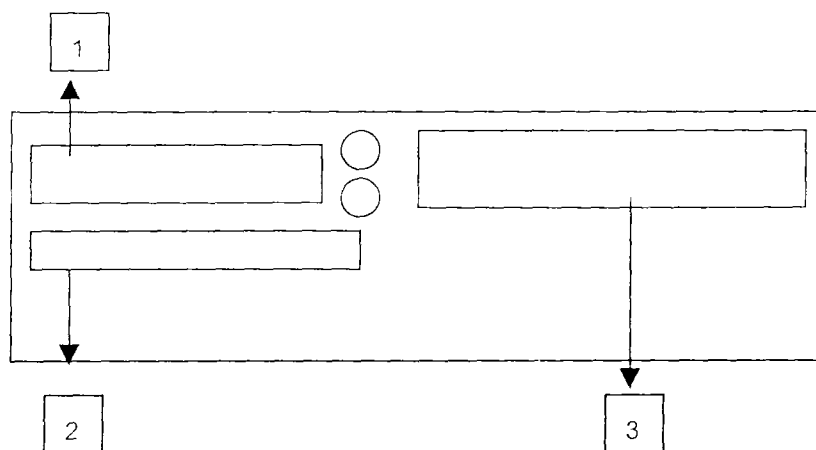
หมายเลข 11 THUMBWHEEL SWITCH ON TIME

หมายเลข 12 ปรับสัญญาณเวลาปิด OFF TIME

หมายเลข 13 แสดงไฟเข้าชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์

หมายเลข 14 แสดงช่วงการทำงานของชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์จ่ายกระแสเข้าเครื่อง

2. ส่วนประกอบด้านหลังของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปกรอบขาไอซี



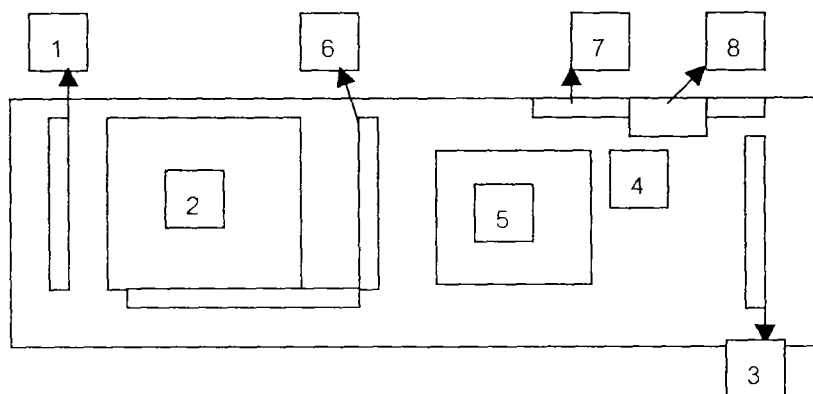
ภาพประกอบ 75 ด้านหลังของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปกรอบขาไอซี

หมายเลข 1 ขั้วต่อสาย TERMINAL สำหรับ OUT PUT ขาออกของแรงดันและขาเข้าจากชุด RECTIFIER ขั้ว + และ +

หมายเลข 2 ขั้วต่อสาย TERMINAL สำหรับไฟเข้า INPUT VOLATGE

หมายเลข 3 เป็นตำแหน่งแผงระบายความร้อนของทรานซิสเตอร์

3. ส่วนประกอบภายในเครื่อง



ภาพประกอบ 76 ส่วนประกอบภายในของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปกรอบขาไอซี

หมายเลข 1 คือ แผ่นวงจรพิมพ์ของชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้า

หมายเลข 2 คือ หม้อแปลงไฟฟ้า

หมายเลข 3 คือ เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์

หมายเลข 4 คือ รีเลย์

หมายเลข 5 คือชุดจ่ายไฟให้วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

หมายเลข 6 คือ เรคตีไฟเออร์จ่ายเข้าวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า

หมายเลข 7 POWER TRANSISTOR

หมายเลข 8 Noise Filter

4. วิธีการติดตั้งและการใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ควรปฏิบัติดังนี้

4.1 การติดตั้งให้ต่อใช้งานติดตั้งตามสัญลักษณ์ขั้วต่อสายให้ถูกต้อง

4.2 การใช้งานเมื่อต้องการใช้แรงดันคงที่ (CONSTANT VOLTAGE) ให้กระทำดังนี้

4.1.1 หมุนปุ่มปรับละเอียด (FINE) และปรับหยาบ (COARSE) ของชุดคงค่ากระแสไฟฟ้า CC ตามเข็มนาฬิกาจนสุด ปรับปุ่ม CV ปุ่มหมายเลข 5 และ 6 จนกระทั่งแรงดันด้านนอก (OUT PUT) ถึงค่าที่ต้องการซึ่งหลอด LED จะแสดงสถานะ CV ส่วนหลอด LED ตำแหน่ง CC จะดับ

4.1.2 เมื่อต้องการใช้การคงที่กระแส (CONSTANT CURRENT) ที่ OUT OUT ขาออกของเครื่องให้กระทำดังนี้ คือ

หลังจากเปิดปุ่มของเครื่อง POWER ให้ไฟฟ้าจากภายนอกเข้าเครื่อง สิ่งแรก คือ ปรับปุ่ม CV หมายเลข.. และ .. ไปที่ตำแหน่งสูงสุดขณะที่หมุนลดปุ่ม CC หมายเลข. 2 และ 3 ลงจนเข็มนาฬิกาจนกระทั่งกระแสถึงค่าที่ต้องการ หลอด LED จะแสดงสถานะ สว่างที่ตำแหน่ง CC ส่วนหลอด CV จะดับ

5. วิธีการตรวจสอบการใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุดขาไอซี

5.1 เปิดสวิตซ์ให้เครื่องทำงานจะมีหลอดไฟแสดงการทำงานติดเป็นสีแดงแสดงว่ามีไฟฟ้าจ่ายเข้าเครื่อง

5.2 เมื่อปรับค่าแรงดันในขณะที่ไม่มีการต่ออยู่จะต้องแสดงค่าตามการปรับแรงดัน ส่วนค่ากระแสไฟฟ้าจะแสดงค่าเมื่อมีการต่ออยู่ที่ภายนอก

6. วิธีการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุดกรอบขาไอซีมีรายละเอียดดังนี้

6.1 การติดตั้งเครื่องใช้งานควรอยู่ในห้องที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 35 °C.

6.2 การเก็บรักษาเครื่องควรอยู่ในที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก

6.3 ไม่ควรให้เครื่องตกกระแทกหรือมีการสั่นสะเทือนแรงๆ

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นายพนม เสือสืบพันธุ์
วันเดือนปีเกิด	29 ตุลาคม 2510
สถานที่เกิด	อำเภอปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	9/5 หมู่ 2 ตำบลศาลาแดง อำเภอเมือง จังหวัดอ่างทอง
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรฝ่ายซ่อมบำรุง
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท ชูมิโกะ สีดเฟรม (ไทยแลนด์) จำกัด สวนอุตสาหกรรมโรจนะ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2530	ปวช.วิทยาลัยเทคนิคอ่างทอง
พ.ศ. 2532 -	ปวส.วิทยาลัยช่างกลปทุมวัน
พ.ศ. 2535	คอ.บ. สาขาครุศาสตร์ไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
พ.ศ. 2545	กศ.ม. วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร