# วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้า

# Motor Speed Control Circuit



จัดทำโดย
นายธรรมธร ตันติวรศรี รหัส 48010372
นายนพปฎล อัจนารมย์วาท รหัส 48010415



อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.พลผดุง ผดุงกุล



รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 01044058 PROJECT 2
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประจำภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2551

# สารบัญ

# สารบัญรูป

โครงงานเรื่อง วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2551

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จัดทำโดย นายธรรมธร ตันติวรศรี รหัส 48010372 ชั้นปีที่ 4

นายนพปฎล อัจนารมย์วาท รหัส 48010415 ชั้นปีที่ 4

....................................................อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.พลผดุง ผดุงกุล)

วันที่ ......../........./..........

# Motor Speed Control Circuit

Mr.Tammatorn Tantivorasri ID.48010372

Mr.Noppadol Ajjanaromvat ID.48010415

Asst. Prof. Polpadung Phadungkul Advisor

Education Year 2551

## Abstract

This thesis describes a design and construction of motor speed control circuit. This circuit consists of two parts which are microcontroller and driving motor circuit. Therefore this circuit driving DC motor 1 kW.

\

# วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้า

นาย ธรรมธร ตันติวรศรี รหัส 48010372
นายนพปฎล อัจนารมย์วาท รหัส 48010415
ผศ.พลผดุง ผดุงกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2551

**บทคัดย่อ**

รายงานฉบับนี้อธิบายการออกแบบและการสร้างวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยการโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ และวงจรขับเกตเพื่อควบคุมการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้า โดยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีขนาดกำลัง 1 กิโลวัตต์

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ (Importance and Background)

ในปัจจุบัน การคอนโทรลมอเตอร์กระแสตรงหรือดีซีมอเตอร์ (DC Motor) จะพบได้โดยทั่วไป โดยเฉพาะในงานอุตสาหกรรมสมัยใหม่ส่วนมาก ด้วยความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีทางไมโครอิเลคทรอนิคส์ (Microelectronic) และ ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) ทำให้การออกแบบระบบคอนโทรลมอเตอร์กระแสตรงและการวิเคราะห์ปัญหาเป็นสิ่งที่น่าสนใจและมีความสำคัญมาก ระบบการคอนโทรลแบบดั้งเดิมมีพลังจักรกลที่สำคัญ คือ พวกมอเตอร์ไฟฟ้าต่างๆ Hydraulic พวกเบรก และ clutch เป็นต้น แต่ด้วยความเจริญของเทคโนโลยีการสร้างแม่เหล็กถาวรที่มีคุณภาพสูง ทำให้มอเตอร์กระแสตรงกลายเป็นพลังจักรกลที่สำคัญในระบบคอนโทรลเกือบทุกชนิดในปัจจุบันซึ่งพบเห็นได้ตั้งแต่การใช้มอเตอร์กระแสตรงในเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน การใช้ในรถยนต์ การใช้ในหุ่นยนต์ ตลอดถึงเครื่องจักรกลที่ทำงานแบบอัตโนมัติในอุตสาหกรรมต่างๆ ฯลฯ รวมทั้งความก้าวหน้าของไมโครโปรเซสเซอร์ สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการคอนโทรลมอเตอร์กระแสตรงได้ จึงทำให้ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน

ซึ่งโครงงานนี้จะเป็นการออกแบบและสร้างระบบควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC18F ในการควบคุมให้มอเตอร์หมุนตามความเร็วที่ต้องการ ผ่านวงจรขับมอเตอร์โดยใช้ IR2110 ซึ่งจะเป็น bootstrap ขับวงจร H-Bridge ที่เป็น N-Ch MOSFET

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน (Objectives)

1. เพื่อศึกษาการควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
2. เพื่อศึกษาการใช้งานวงจร H-Bridge
3. เพื่อศึกษาวงจรขับเกตโดยใช้ไอซียกระดับแรงดัน

### 1.3 ขอบเขตของโครงงาน (Scope of work)

1. สร้างวงจรควบคุมมอเตอร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม
2. สร้างวงจรขับมอเตอร์ H-Bridge ที่เป็น N-Ch MOSFET
3. สร้างวงจรป้องกันการลัดวงจรที่กิ่งของ H-Bridge เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ค้าง

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Expect Results)

<u>เชิงปริมาณ</u>

1. ได้วงจรควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์

<u>เชิงคุณภาพ</u>

1. ได้รับความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์ต่างๆ
2. ได้รับความรู้เกี่ยวกับการโปรแกรมด้วยภาษา C ในไมโครคอนโทรลเลอร์
3. เป็นพื้นฐานความเข้าใจในระบบควบคุม

# บทที่ 2

## ขั้นตอนการทำงาน

**2.1 ค้นคว้าข้อมูล**

- รวบรวมข้อมูลเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง
- เรียนรู้การทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้

**2.2 การออกแบบวงจร**

**2.2.1 จัดหาอุปกรณ์**

**2.2.2 สร้างวงจรและทดสอบ**

- ขั้นตอนการทดสอบ

1. ต่ออุปกรณ์ตามวงจรที่ออกแบบ
2. กำหนดสัญญาณที่ป้อนเข้าวงจร
3. สังเกตความเปลี่ยนแปลงของสัญญาณออก
4. กำหนดวิธีการทดสอบ
5. ตรวจสอบข้อผิดพลาด

**2.2.3 การออกแบบในทางโปรแกรม(Software Design)**

- รวบรวมข้อมูลเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง
- เขียน Flow Chart การทำงานของโปรแกรม
- ออกแบบสร้างโปรแกรมในการคำนวณ
- เขียนโปรแกรม
- ทดสอบโปรแกรม
- แก้ไขปรับปรุง
- ทดสอบอีกครั้ง

**2.2.4 ทดสอบ และ สรุปผล**

- ขั้นตอนทดสอบอีกครั้ง

1. ทดสอบเหมือนเดิมอีกครั้ง
2. ทำซ้ำเมื่อเกิดความผิดพลาดอีก

- สรุปผล

**2.2.5 ตารางแผนงาน**

| Step | (ก.ค.) | (ส.ค.) | (ก.ย.) | (ต.ค.) | (พ.ย.) | (ธ.ค.) | (ม.ค.) | (ก.พ.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Step 1. | | | | | | | | |
| Step 2. | | | | | | | | |
| Step 3. | | | | | | | | |
| Step 4. | | | | | | | | |
| Step 5. | | | | | | | | |
| Step 6. | | | | | | | | |

| | |
|---|---|
| Step 1 | ค้นคว้าข้อมูล |
| Step 2 | ออกแบบเครื่องมือ |
| Step 3 | จัดหาอุปกรณ์ |
| Step 4 | สร้างเครื่องมือและทดสอบ |
| Step 5 | ทำการโปรแกรมและทดสอบ |
| Step 6 | แก้ไขปรับปรุง และ สรุปผล |

**<u>อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงาน</u>**

- เครื่องคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
- ดีซีมอเตอร์ 1 ตัว
- กล่องใส่บอร์ดวงจร 1 กล่อง
- สวิตช์กดเปิด-ปิด 1 ตัว
- สวิตช์ 3 ทาง 1 ตัว
- สวิตช์แบบกุญแจ 1 ตัว
- ซิงค์ระบายความร้อน 4 ตัว
- Microcontroller PIC18F 1 ตัว
- มอสเฟต n แชนแนล 16 ตัว
- ตัวเก็บประจุ 0.1 μF 10 ตัว
- ตัวเก็บประจุ 10 μF 2 ตัว
- Diode 2 ตัว
- ตัวต้านทานสไลด์ 1 ตัว

| | | |
|---|---|---|
| - | ตัวต้านทาน 1 M | 5 ตัว |
| - | ตัวต้านทาน 100 k | 2 ตัว |
| - | ตัวต้านทาน 10 k | 7 ตัว |
| - | ตัวต้านทาน 1 k | 6 ตัว |
| - | ตัวต้านทาน 50 | 4 ตัว |
| - | ตัวเก็บประจุ 10 μF | 1 ตัว |
| - | ไอซี LM339 | 2 ตัว |
| - | ไอซี IR2110 | 2 ตัว |
| - | ไอซี CD4001 | 2 ตัว |
| - | ไอซี 74LS32 | 2 ตัว |
| - | ไอซี 74LS86 | 2 ตัว |
| - | ไอซี HEF4538 | 1 ตัว |

# บทที่ 3

## หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

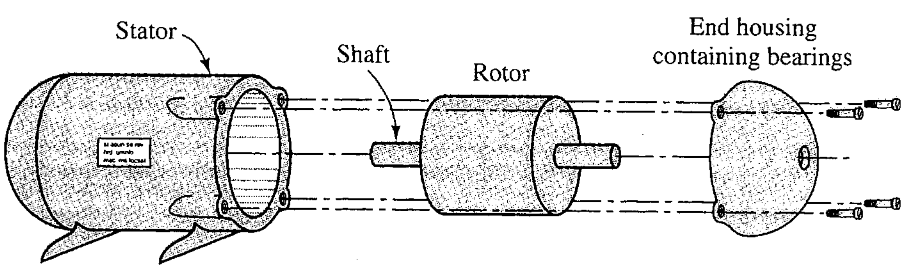
หลักในการสร้างวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีดังนี้

**3.1 มอเตอร์กระแสตรง**

**3.1.1 คุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรง**

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีโครงสร้างและส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) และส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor) ซึ่งส่วนที่เคลื่อนที่นี้เรียกว่า อาร์มาเจอร์ (Armature) โดยจะมีขดลวดที่บรรจุลงในสล็อตของแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ซึ่งด้านปลายของขดลวดจะถูกนำไปต่อเข้ากับ คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ซึ่งเป็นส่วนที่รับกระแสไฟฟ้าจากภายนอกโดยผ่านแปรงถ่าน (Brushes) เข้ามาเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กอยู่กับที่ภายในมอเตอร์ แล้วสนามแม่เหล็กนี้จะกระทำร่วมกันกับกระแสในตัวนำของอาร์มาเจอร์เพื่อสร้างแรงบิดเพื่อไปหมุนอาร์มาเจอร์ เพื่อที่จะรักษาแรงบิดนี้ไว้การกระจายของกระแสในตัวนำของอาร์มาเจอร์จะต้องรักษาให้คงที่และสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องกับการหมุนของอาร์มาเจอร์โดยมีคอมมิวเตเตอร์เป็นตัวกลาง เพื่อที่จะกลับทิศทางของกระแสในตัวนำอามาเจอร์ที่ผ่านจากขั้วแม่เหล็กหนึ่งไปสู่อีกขั้วแม่เหล็กหนึ่ง ขณะที่ตัวนำอาร์มาเจอร์เคลื่อนที่จะสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็ก แล้วจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่อาร์มาเจอร์ ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวจะทำให้เกิดแรงบิดที่อาร์มาเจอร์ได้อย่างต่อเนื่อง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีข้อดีตรงที่สามารถจ่ายแรงบิดที่จะทำให้มอเตอร์หมุนได้มากกว่าแรงบิดขณะใช้งานปกติถึง 3 เท่า หรือมากกว่า และในสถานการณ์ฉุกเฉินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถที่จะจ่ายแรงบิดได้มากกว่าถึง 5 เท่าของแรงบิดใช้งานปกติโดยปราศจากการหยุดกลางคัน (Stalling)




รูปที่ 3.1 รูปโครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรง

### 3.1.2 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

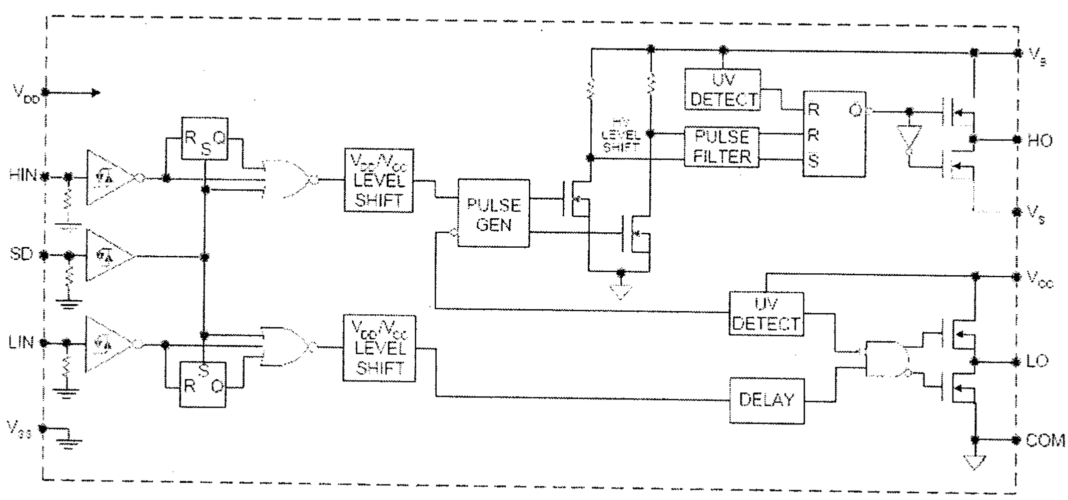
มอเตอร์สามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานทางกลได้โดยผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดซึ่งตัดกับสนามแม่เหล็กในทิศตั้งฉากจะทำให้เกิดแรงบิด ซึ่งมีสัดส่วนขึ้นกับกระแสและความเข้มของสนามแม่เหล็ก โดยแรงจะเกิดขึ้นเป็นมุมฉากกับกระแสและสนามแม่เหล็ก ถ้าหากกระแสในขดลวดไหลย้อนกลับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นผลทำให้ทิศทางของแรงเปลี่ยนเป็นทิศตรงข้าม ด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้มอเตอร์กระแสตรงกลับทิศทางการหมุนได้

## 3.2 วงจรขับมอสเฟตแยกกราวน์

สัญญาณที่ควบคุมมอสเฟตนั้นโดยปกติจะถูกสั่งจากวงจรลอจิกเกตที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ประเภทไอซี หรือไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นต้น สัญญาณที่ได้จากวงจรลอจิกปกตินั้นจะไม่สามารถขับมอสเฟตได้โดยตรง เพราะจะต้องคำนึงถึงขนาดกระแสและการไหลเข้าออกที่ขาเกต

### 3.2.1 ไอซี IR2110

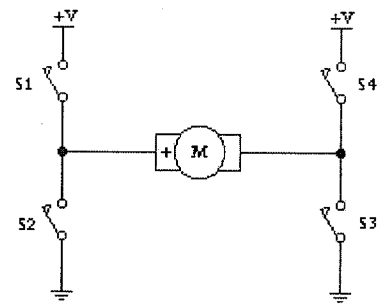
จากบล็อกไดอะแกรมไอซี IR2110 สัญญาณอินพุทจะผ่านไปยังวงจรชมิตทริกเกอร์เพื่อให้สัญญาณมีความแน่นอน ส่วนทางด้านเอาท์พุทจะใช้มอสเฟตที่ต่อใช้งานในลักษณะพุชพูล โดย $H_O$ จะถูกยกระดับแรงดัน (Bootstrap) ด้วยตัวเก็บประจุที่ต่อภายนอกไอซี ระหว่างขา $V_B$ และ $V_S$ จะได้ $H_O$ มีค่าแรงดันเท่ากับไฟเลี้ยงรวมกับแรงดันคร่อมขาเดรนของมอสเฟตตัวล่าง




รูปที่ 3.1 รูปโครงสร้างภายในไอซี IR2110

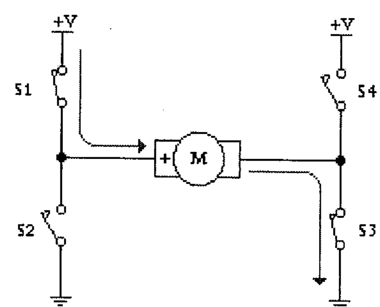
**3.2.2 วงจร H-Bridge**

โดยปกติจะใช้ H-Bridge ในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ โดยประกอบไปด้วยสวิตซ์ 4 ตัว S1, S2, S3 และ S4 ซึ่งมีดีซีมอเตอร์เป็นโหลดของวงจร ซึ่งวงจร H-Bridge นี้ก็คือ DC/DC Converter นั่นเอง



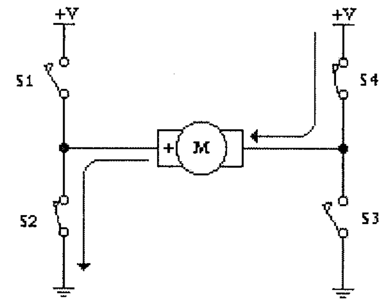

รูปที่ 3.2.1 รูปโครงสร้างของวงจร H-Bridge

ในสภาวะเริ่มต้น สวิทช์ ทุกตัว Off อยู่ ก็จะไม่มีอะไรเกิดขึ้นทั้งสิ้น เพราะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่มอเตอร์ และเมื่อเราทำการ On สวิทช์ S1 และ S3 พร้อมกัน จะเป็นการเชื่อมวงจร ทำให้มีกระแสไฟฟ้า ไหลผ่านมอเตอร์ จากขั้วบวกของมอเตอร์ ไปยังขั้วลบของมอเตอร์ จึงทำให้มอเตอร์ สามารถหมุนได้ ในทิศทาง Forward (จะหมุนแบบตามเข็มนาฬกา หรือทวนเข็มนาฬกานั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะของ การพันขดลวดภายในมอเตอร์)




รูปที่ 3.2.2 รูปแสดงทิศทางการไหลของกระแสในวงจร H-Bridge ในทิศ Forward

และในทางกลับกัน ถ้าหากเราทำการ On สวิทช์ S2 และ S4 พร้อมกัน ก็จะเป็นการเชื่อมวงจร และทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า ไหลผ่านมอเตอร์ จากขั้วลบของมอเตอร์ ไปยังขั้วบวกของมอเตอร์ จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนได้ และเป็นการหมุนในทิศทาง Reverse (กลับทิศทางกับกรณีแรก)




รูปที่ 3.2.3 รูปแสดงทิศทางการไหลของกระแสในวงจร H-Bridge ในทิศ Reverse

สิ่งที่ต้องระวังคือขณะที่สวิตช์ทั้ง 4 ตัวหยุดทำงาน พลังงานที่ถูกเก็บไว้ในขดลวดของมอเตอร์ จะถูกถ่ายออกมา โดยกระแสมีทิศการไหลในทิศเดียวกันกับก่อนหน้าที่สวิตช์หยุดทำงาน แต่กระแสจะไหลขึ้น ซึ่งสวิตช์ที่ใช้จึงควรจะเป็นสวิตช์ที่นำกระแส 2 ทาง ในการต่อวงจรจริงจึงใช้ไดโอดต่อคร่อมมอสเฟตระหว่างขาเดรนและซอร์สในทิศชี้ขึ้น และควรมีไดโอดอีกตัวต่อเพื่อตัดการทำงานความเป็นไดโอดจากค่าพาราซิติกของบริเวณเดรนและซอร์ส

### 3.3 มอสเฟตกำลัง

มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แรงดันในการควบคุมการทำงาน โครงสร้างประกอบด้วย 3 ขั้ว คือ ซอร์ส (Source; S) เดรน (Drain; D) และเกต (Gate; G) แบ่งตามการใช้งานได้ 2 ประเภท คือ แบบดีพลีชัน (Depletion MOSFET) และแบบเอนฮานซ์เมนต์ (Enhancement MOSFET) และแบ่งตามประเภทของสารกึ่งตัวนำได้ 2 ประเภท คือ n แชนแนล และ p แชนแนล

#### 3.3.1 โครงสร้างของดีพลีชันมอสเฟต

โครงสร้างของดีพลีชันมอสเฟต n แชนแนล สร้างขึ้นจากซิลิคอนที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด p เรียกว่าแผ่นผลึกฐาน p (p-type Substrate) โดยขั้วเดรนและขั้วซอร์สต่อเข้ากับบริเวณที่มีการโด๊ปสาร n (n-doped Region) บริเวณสารกึ่งตัวนำ n ทั้งสองส่วนนี้ต่อกับวัสดุผิวนอกที่เป็นโลหะ (Metal) โดยมีซิลิคอนไดออกไซด์ ($SiO_2$) กั้นระหว่างแชนแนล n กับขั้วเกต ทำหน้าที่เป็นฉนวนประเภทไดอิเล็กตริก

ถ้าแรงดันเกต-ซอร์ส ($V_{GS}$) มีค่าเป็นลบ อิเล็กตรอนบางส่วนในแชนแนล n จะสร้างบริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region) ภายในชั้นออกไซด์ทำให้แชนแนลแคบลง ความต้านทานจากขั้วเดรนไปซอร์ส ($R_{DS}$) เริ่มมีค่าสูง เมื่อ $V_{GS}$ มีค่าเป็นลบเพียงพอ แชนแนลจะหายไป ระดับ $V_{GS}$ นี้ เรียกว่า แรงดันพินช์ออฟ (Pinch-off Voltage; $V_p$)

ในทางตรงกันข้าม ถ้า $V_{GS}$ เป็นบวก แชนแนลจะกว้างขึ้นทำให้ $I_{DS}$ มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจาก $R_{DS}$ มีค่าลดลง จากหลักการนี้ใช้ได้กับ p แชนแนล โดยขั้วของ $V_{DS}$, $I_{DS}$ และ $V_{GS}$ เปลี่ยนเป็นขั้วตรงข้ามกับกรณีมอสเฟต n แชนแนล

**3.3.2 เอ็นฮานซ์เมนต์มอสเฟต**

เอ็นฮานซ์เมนต์มอสเฟตแบบ n แชนแนล ไม่มีแชนแนล ถ้า $V_{GS}$ เป็นบวก แรงดันเหนี่ยวนำจะดูดอิเล็กตรอนจากแผ่นผลึกฐาน p และรวบรวมไว้ที่ผิวภายในชั้นออกไซด์ ถ้า $V_{GS}$ มากกว่า หรือเท่ากับค่าแรงดันเทรสโฮลด์ (Treshold Voltage; $V_T$) จึงไม่มีกระแสไหลจากเดรนไปซอร์ส ($I_{DS}$)

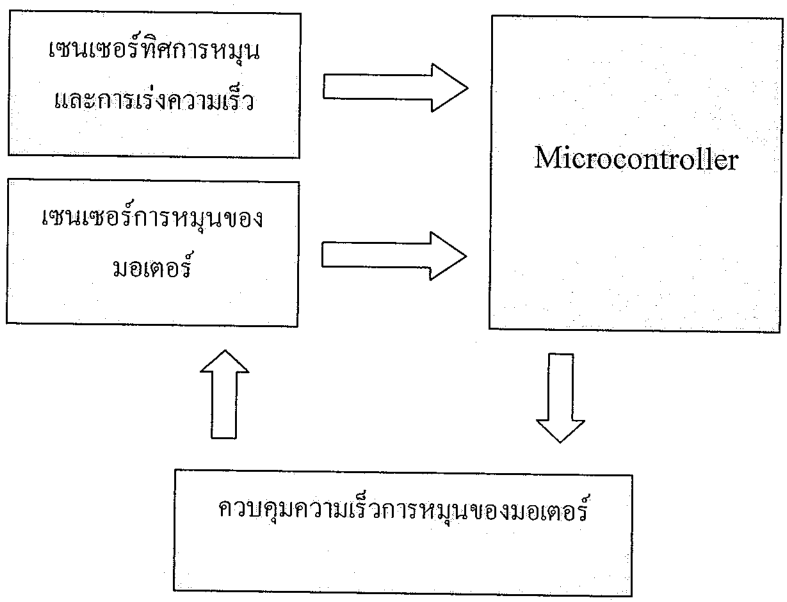
**3.3.3 คุณลักษณะของมอสเฟต (MOSFET Characteristic)**

กราฟแสดงคุณลักษณะเอาท์พุทของมอสเฟต มีบริเวณการทำงาน 3 บริเวณ คือ

1. บริเวณคัทออฟ (Cutoff Region) เกิดขึ้นเมื่อ $V_{GS} \leq V_T$
2. บริเวณพินช์ออฟ หรือบริเวณอิ่มตัว (Pinch-off or Saturation Region) เกิดขึ้นเมื่อ $V_{DS} \leq V_{GS} - V_T$
3. บริเวณเชิงเส้น (Linear Region) เกิดขึ้นเมื่อ $V_{DS} \geq V_{GS} - V_T$

# บทที่ 4

## การออกแบบวงจร




รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมความเร็วการหมุนของดีซีมอเตอร์

### 4.1 ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

การทำงานของโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อ โปรแกรมเริ่มทำงาน program จะเริ่ม check ค่า condition แรก ว่าเป็น start อยู่หรือไม่ คือ pin B0 หาก pin B0 เป็น 1 อยู่ คือ โปรแกรมเริ่มทำงาน และ จะเริ่ม check pin ถัดไปคือ pin B1 และ pin B2 หาก ว่า B1 เป็น 1 และ B2 เป็น 0 จะเป็นการบอกว่า เป็นการหมุนไป ข้างหน้าของมอเตอร์ ซึ่งก็คือ ขา output C0 และ C2 จะ active แต่ถ้าหาก condition เป็นตรงกันข้าม ก็จะเป็นการ หมุนถอยหลัง ซึ่ง output ที่จะ active คือ C1 และ C3 หลังจากนั้น จะมี pin ที่ต้องเช็ค condition อีก 5 pin คือ B3-B7 ซึ่ง ถ้า B3-B6 เป็น 0 และ B7 เป็น 1 จะเป็นการสั่งให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งให้ motor ทำงานที่ duty ratio 20%
โดยเมื่อเริ่มเข้าสู่การทำงานของโปรแกรม โปรแกรมจะเช็ค จากสถานะ motor ว่าวิ่งอยู่ที่ duty ratio เท่าใด หาก เร็วกว่า ก็จะลดลง มาให้ เท่ากับที่ สั่ง หรือ หากช้า กว่า ก็จะ เพิ่มขึ้น โดย ค่อยๆ เพิ่ม หรือ ลด duty ratio ครั้งละ 5% เพื่อป้องกันการกระชากของมอเตอร์ หาก การเปลี่ยนแปลงกระแส ภายในเร็วเกินไป และจะมี duty ratio ทั้งสิ้น 5 ระดับ คือ 20% 40% 60% 80% และ 100%
โดย condition จะค่อยๆ เปลี่ยน ไปเรื่อยๆ จากข้างต้น ที่ B7 เป็น 1 และ อื่นๆ เป็น 0 จะเป็น 20%

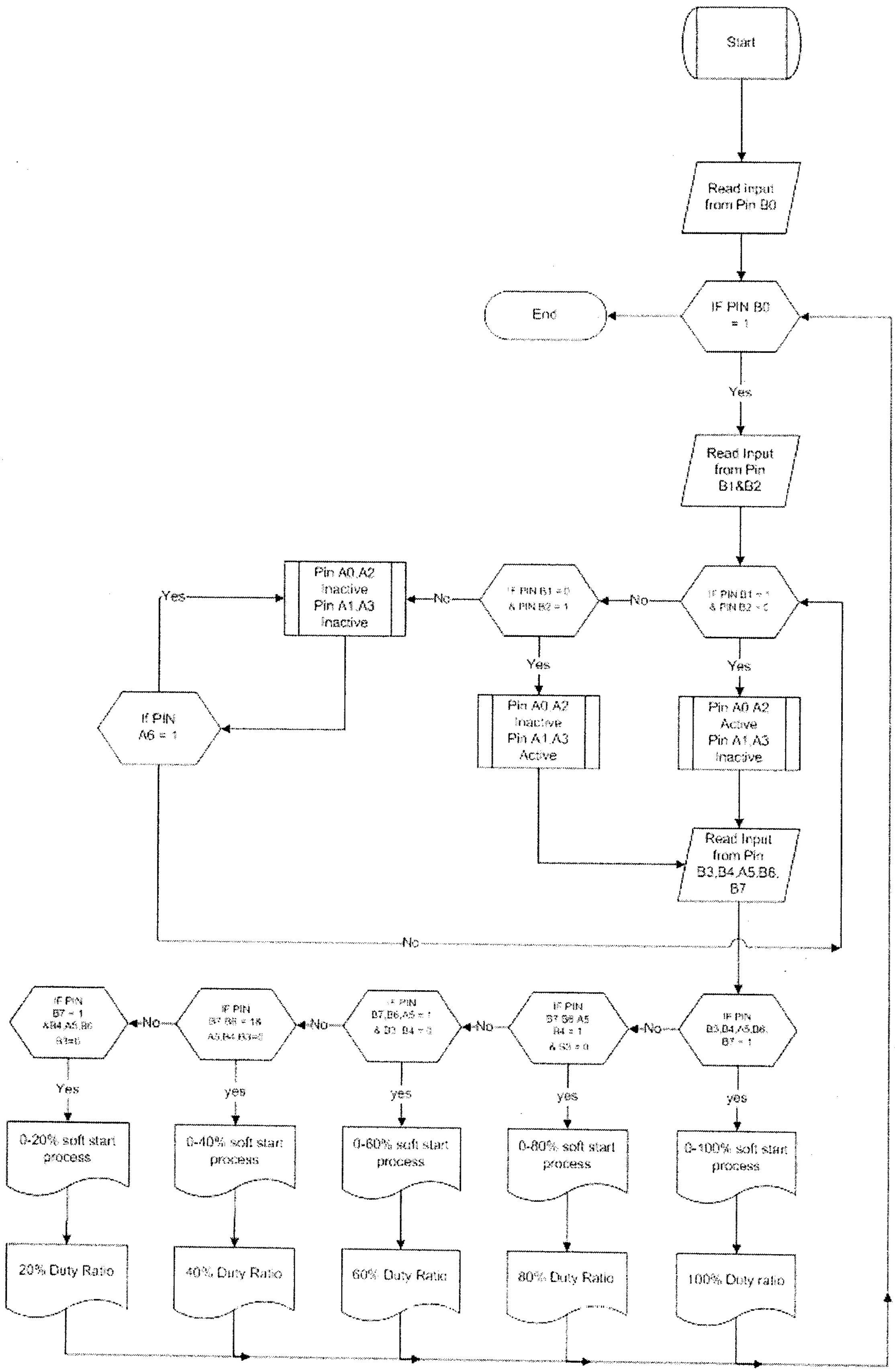
ต่อมา B7 และ B6 จะเป็น 1 และ B3-B5 จะเป็น 0 ซึ่ง จะทำงาน 40%

ต่อมา B7-B5 จะเป็น 1 และ B3,B4 จะเป็น 0 จะได้การทำงานเป็น 60%

ต่อมา B7-B4 จะเป็น 1 และ B3 จะเป็น 0 จะได้การทำงานเป็น 80%

ต่อมา B7-B3  จะเป็น 1 จะได้การทำงานเป็น 100%

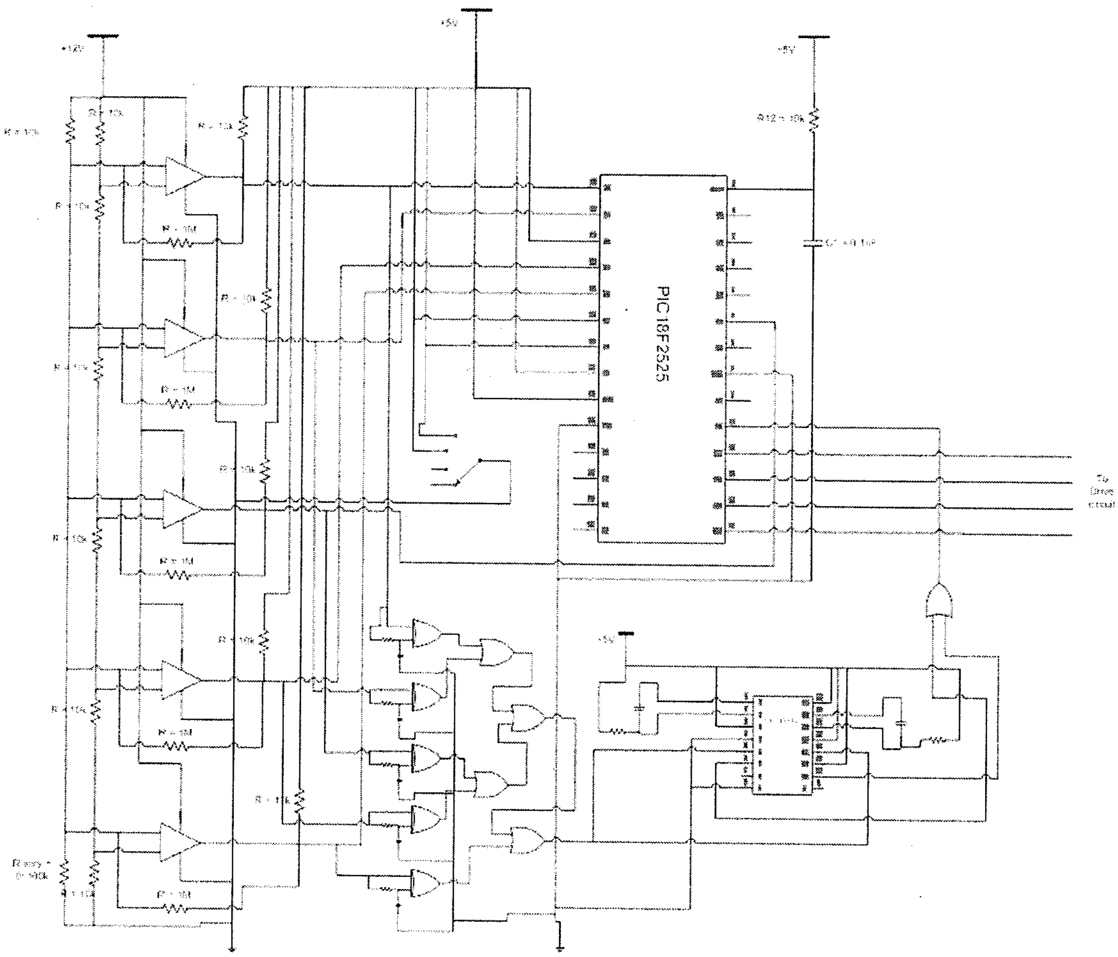
ซึ่งเมื่อมีการ เปลี่ยนแปลงความเร็ว จะมาจากขา A6 ซึ่งขานี้จะมีหน้าทีบอกว่ามีการเปลี่ยนแปลงความเร็วหรือไม่ หากมีการเปลี่ยนแปลง ขานี้จะมีสถานะเป็น 1 ชั่วขณะ หนึ่ง ซึ่ง จะทำให้ จบการวนลูปการทำงานใน แต่ละ duty ratio ที่ค้างอยู่ขณะนั้นๆ และจะกลับมา check condition ใหม่ทั้งหมด




รูปที่ 4.2 Flow Chart การทำงานของโปรแกรม

## 4.2 วงจรรับอินพุท

วงจรอินพุทใช้คอมพาราเตอร์โดยใช้ตัวต้านทานอ้างอิงต่อเป็นแลดเดอร์เปรียบเทียบกับตัวต้านทานปรับค่า สามารถแบ่งกลุ่มเป็น 5 ระดับเพื่อป้อนเป็นอินพุทให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์




รูปที่ 4.2.1 รูปวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการหมุนของมอเตอร์

จาก $V = I\sum R$

ที่ระดับ 20% $V = (12/60k) \times 10k$

$= 2V$

ที่ระดับ 40% $V = (12/60k) \times 20k$

$= 4V$

ที่ระดับ 60% $V = (12/60k) \times 30k$

$= 6V$

ที่ระดับ 80% $\quad V = (12/60k) \times 40k$

$\quad = 8V$

ที่ระดับ 100% $\quad V = (12/60k) \times 50k$

$\quad = 10V$

หลังจากได้เอาท์พุท 5 ระดับ แล้วจะใช้ไอซี Dual precision monostable multivibrator ในการสร้างพัลส์ให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเป็นตัวเช็ค เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าระดับความเร็วเพิ่มขึ้น หรือลดลง ไมโครคอนโทรลเลอร์จะได้รับพัลส์นี้และกลับไปเช็คค่าระดับความเร็วใหม่อีกครั้ง

FUNCTION TABLE

| INPUTS | | | OUTPUTS | |
|---|---|---|---|---|
| $\bar{I}_0$ | $I_1$ | $\bar{C}_D$ | O | $\bar{O}$ |
| ╲ | L | H | ⊓ | ⊔ |
| H | ╱ | H | ⊓ | ⊔ |
| X | X | L | L | H |

Notes

1. H = HIGH state (the more positive voltage)
   L = LOW state (the less positive voltage)
   X = state is immaterial
   ⊓ = positive output pulse
   ⊔ = negative output pulse
   ╱ = positive-going transition
   ╲ = negative-going transition

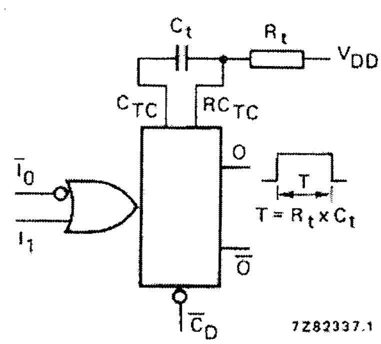



Fig.4 Connection of the external timing components $R_t$ and $C_t$.

รูปที่ 4.2.2 รูปแสดงตารางค่าความจริงของไอซี HEF 4538

จะต้องใช้วงจรนี้ 2 ชุด เพื่อเช็คขอบขาลงและขอบขาขึ้น แล้วรวมผลของเอาท์พุทที่จะนำไปใช้ด้วยลอจิกเกท OR Gate ก่อนที่จะเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์

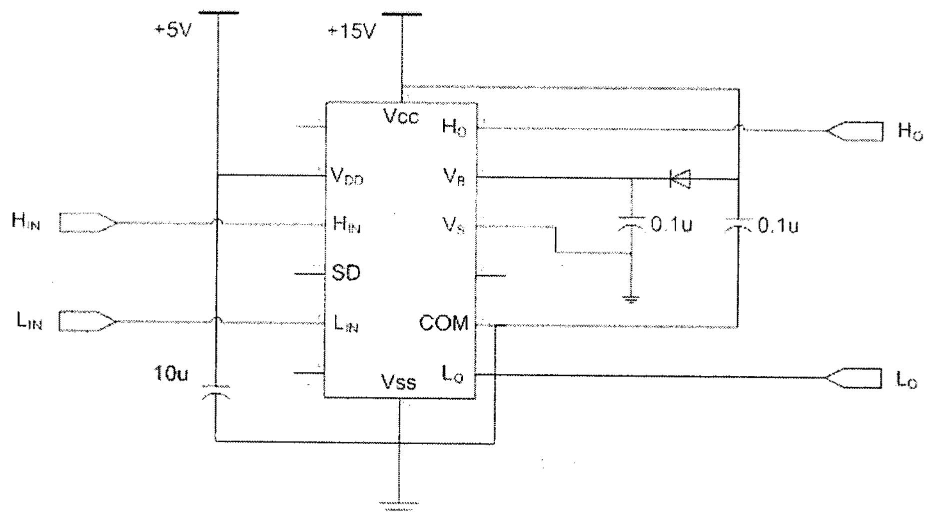
คำนวณค่าดีเลย์จาก Rt และ Ct ด้วย Time Constant

จาก $\quad T = RC$

$\quad = 1k \times 0.1uF \quad = 0.1\ mS$

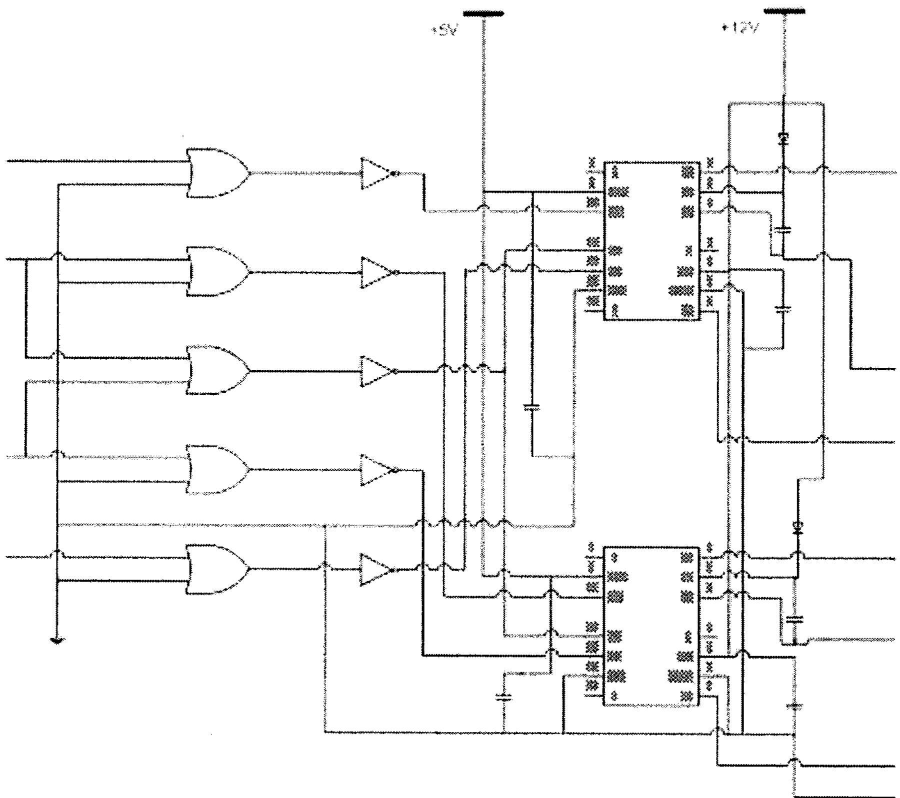
**4.3 วงจรขับเกต**

ใช้ไอซี IR2110 ในการขับเกตของ H-Bridge โดยจะมีเอาท์พุท 2 จุด ที่ $H_O$ และ $L_O$ ซึ่งจะมีการต่อตัวเก็บประจุไว้ระหว่างขา $V_B$ และ $V_S$ เพื่อยกระดับแรงดันของ $H_O$ ขึ้นมาเท่ากับแรงดันไฟเลี้ยงรวมกับแรงดันคร่อมขาเดรนของมอสเฟตตัวล่าง




รูปที่ 4.3.1 รูปวงจร Bootstrap

ในการใช้งานวงจร Bootstrap นี้ เราจะต้องชาร์จตัวเก็บประจุดังกล่าวให้เต็มก่อน โดยจากรูป จะนำขา $V_S$ ต่อลงกราวน์ โดยจะควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้สวิตช์ 2 ตัวล่างทำงานพร้อมกัน ในช่วงเวลาประมาณ 400 ms แรก เพื่อชาร์จตัวเก็บประจุ ให้วงจรพร้อมที่จะทำงาน

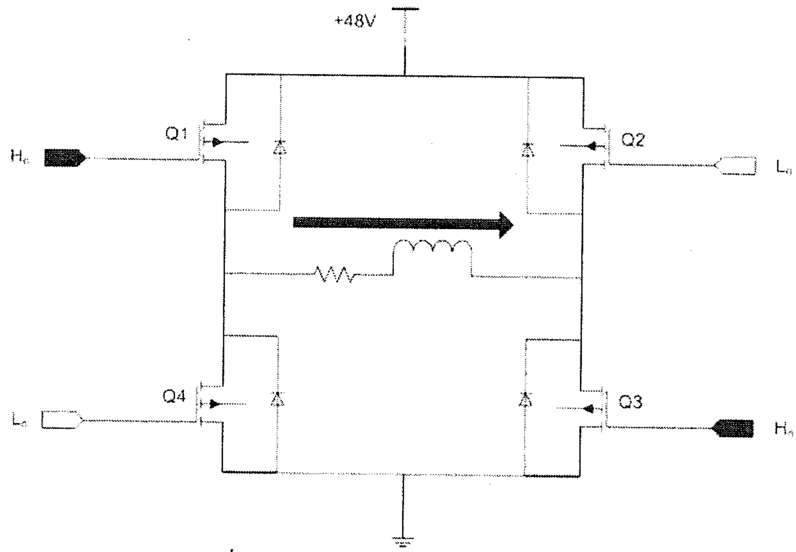



รูปที่ 4.3.2 รูปวงจรขับเกต

ในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์จะใช้ H-Bridge ในการควบคุมการหมุนของดีซีมอเตอร์โดยใช้ N-Channel MOSFET สัญญาณที่ออกจากไอซี IR2110 จะแบ่งเป็น $H_O$ และ $L_O$ ซึ่งจะทำงานต่างเฟสกัน 180° นั่นก็คือ จะต้องไม่มีโอกาสเลยที่สัญญาณจะทำให้มอสเฟตทำงานพร้อมกัน ซึ่งหากเกิดสถานการณ์นี้ขึ้นจะทำให้เกิดการลัดวงจร จะสร้างความเสียหายต่อมอสเฟตและขดลวดในมอเตอร์ได้ จึงใช้ลอจิกเกต NOR Gate ต่อหลังอินเวอร์เตอร์เพื่อป้องกันการลัดวงจรในกิ่ง หากสัญญาณควบคุมให้เกตเส้นนั้นสั่งให้เกตออนพร้อมกัน NOR Gate ก็จะแอคทีฟ ไปชัทดาวน์การทำงานของไอซี IR2110

### 4.4 วงจร H-Bridge

เริ่มด้วยการออนมอสเฟต Q1 และ Q3 กระแสจะไหลจากด้านซ้ายไปด้านขวา โดยโหลดเป็นดีซีมอเตอร์ คอยล์ของมอเตอร์ด้านซ้ายจะมีศักย์เป็นบวก ด้านขวาเป็นลบ

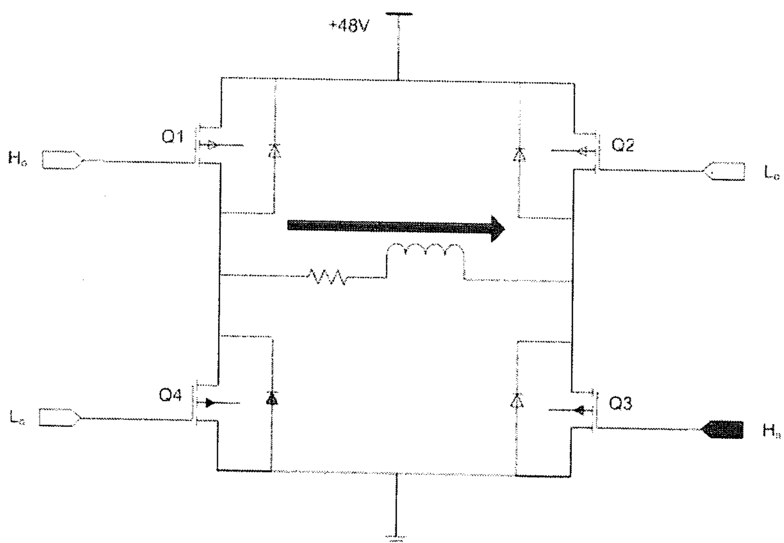



รูปที่ 4.4.1 รูปวงจร H-Bridge Forward

ในกรณีที่เป็น Duty Cycle จะทำการออน Q3 ค้างไว้ แล้วสวิตช์ที่ Q1 ตาม Duty Cycle ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สั่ง ในช่วงที่ Q1 ออน คอยล์ของมอเตอร์ด้านซ้ายจะมีประจุเป็นบวก ด้านขวาเป็นลบ แต่ในช่วงที่ Q1 ออฟ ศักย์ของมอเตอร์จะกลับทิศ เนื่องจากขดลวดเหนี่ยวนำ

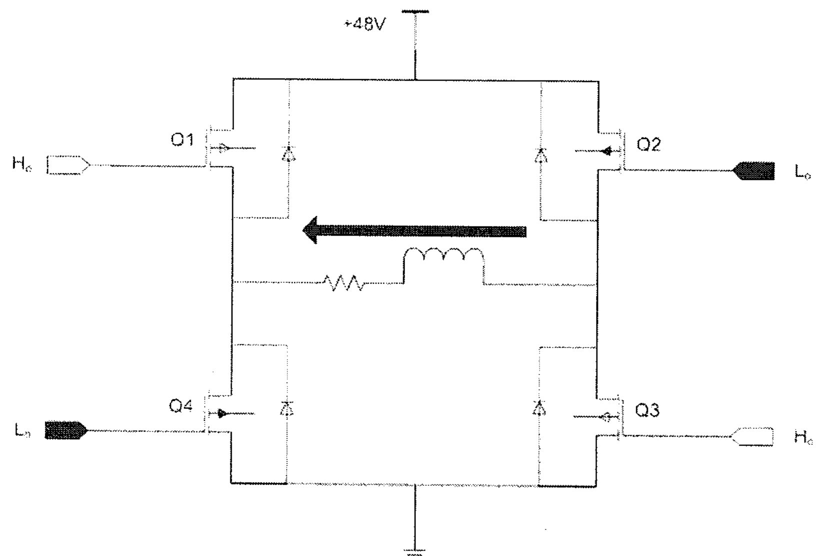
จาก $V = L(di/dt)$

เมื่อกระแสลดลงในช่วงเวลาสั้นๆ จะทำให้แรงดันมีค่าเป็นลบ จึงทำให้มอเตอร์คงค่ากระแสไว้โดยการออน Q3 ค้างไว้ตลอดช่วงการเดินหน้า จะทำให้กระแสมีความต่อเนื่อง โดยไหลผ่านพาราซิติกไดโอดใน Q4

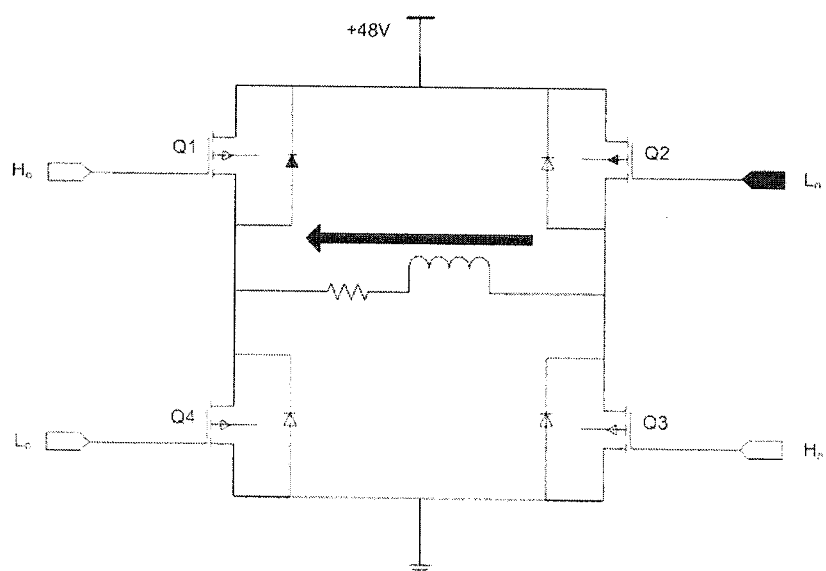



รูปที่ 4.4.2 รูปวงจร H-Bridge Forward off-time

ในลักษณะเดียวกันการหมุนกลับทิศของมอเตอร์ทำได้โดยการออน Q2 และ Q4 ในกรณีที่เป็น Duty Cycle จะทำการออน Q2 ค้างไว้ แล้วสวิตช์ที่ Q4 ตาม Duty Cycle กระแสไหลผ่านมอเตอร์จากด้านขวาไปด้านซ้าย คอยล์ของมอเตอร์ด้านขวามีศักย์เป็นบวก ด้านซ้ายเป็นลบ ในช่วงที่ Q4 ออฟ ศักย์ของมอเตอร์จะกลับทิศ กระแสจะไหลวนผ่านพาราซิติกไดโอดใน Q1




รูปที่ 4.4.3 รูปวงจร H-Bridge Backward



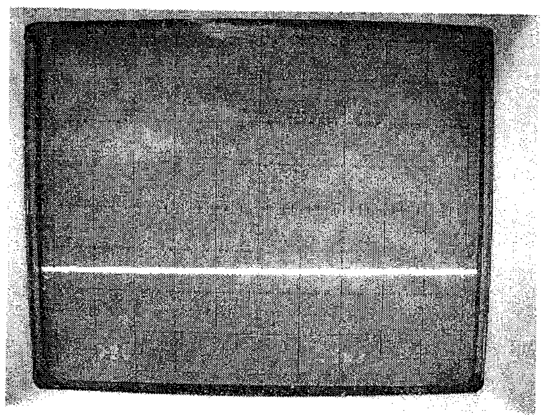

รูปที่ 4.4.4 รูปวงจร H-Bridge Backward off-time

# บทที่ 5

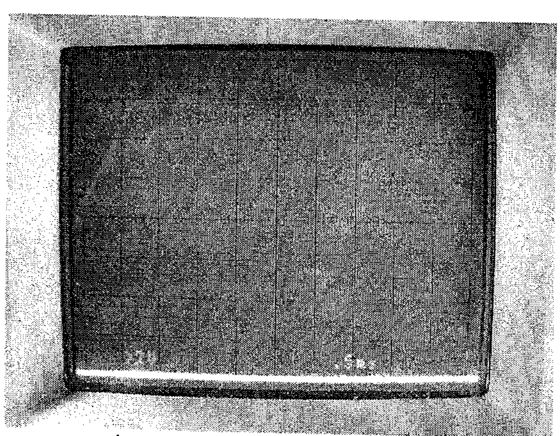
## ผลการทดลอง

**รูป สัญญาณที่ออกจาก micro controller ขณะต่างๆ**

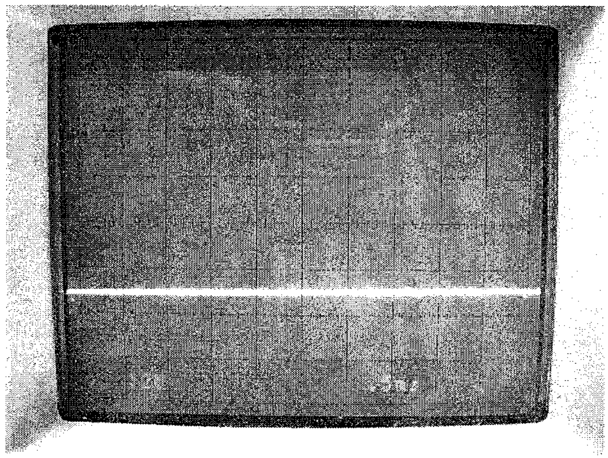
**ขณะ duty ratio 0% (การทำงานของ microcontroller เป็น active low)**



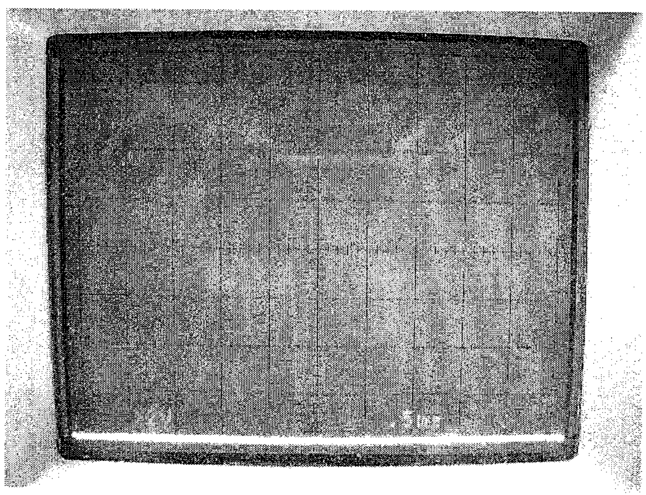
รูปสัญญาณที่ขา C0 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ซ้ายบน)



รูปสัญญาณที่ขา C3 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัวซ้ายล่าง)

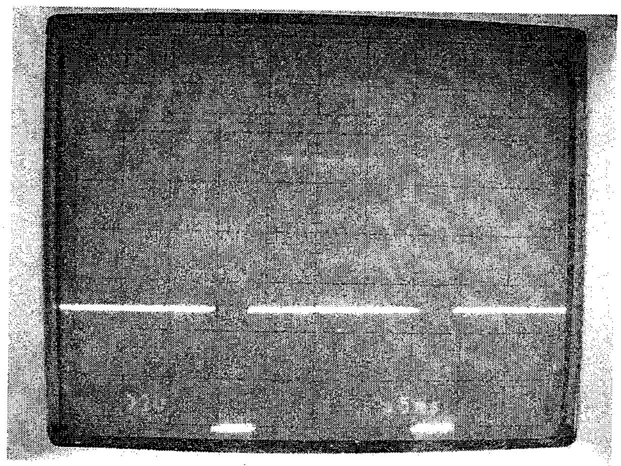


รูปสัญญาณที่ขา C1 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ขวาบน)

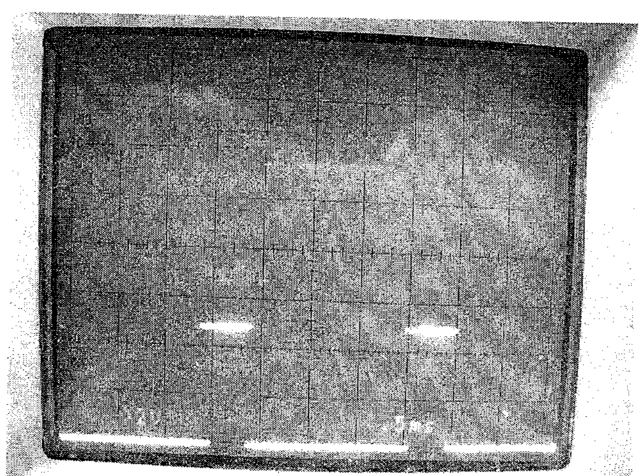


รูปสัญญาณที่ขา C2 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ขวาล่าง)

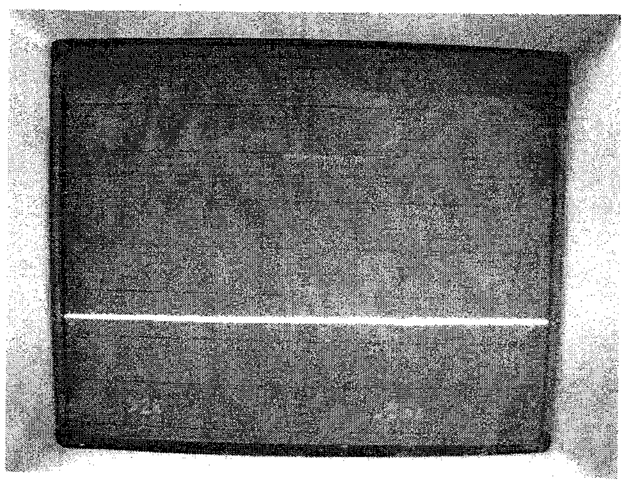
**ขณะ duty ratio 20% (การทำงานของ microcontroller เป็น active low)**



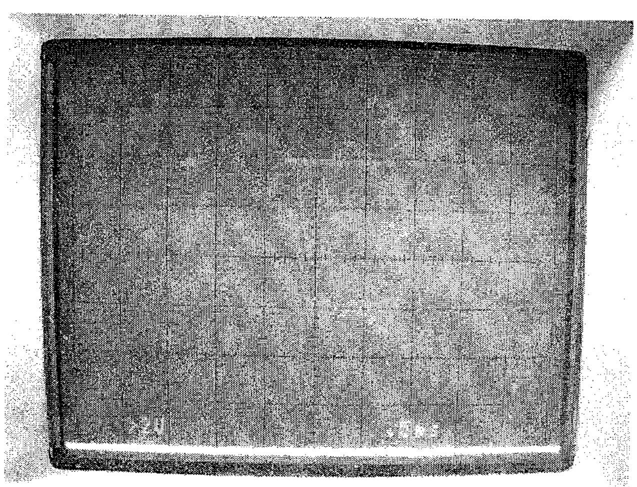
รูปสัญญาณที่ขา C0 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ซ้ายบน)



รูปสัญญาณที่ขา C3 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัวซ้ายล่าง)

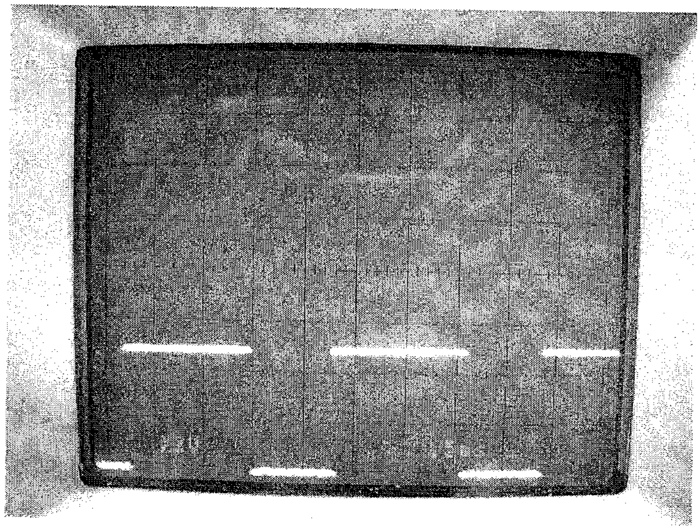


รูปสัญญาณที่ขา C1 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ขวาบน)

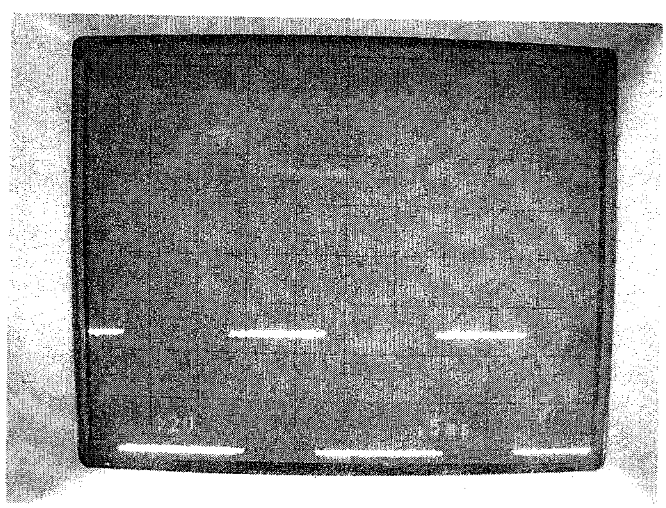


รูปสัญญาณที่ขา C2 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ขวาล่าง)

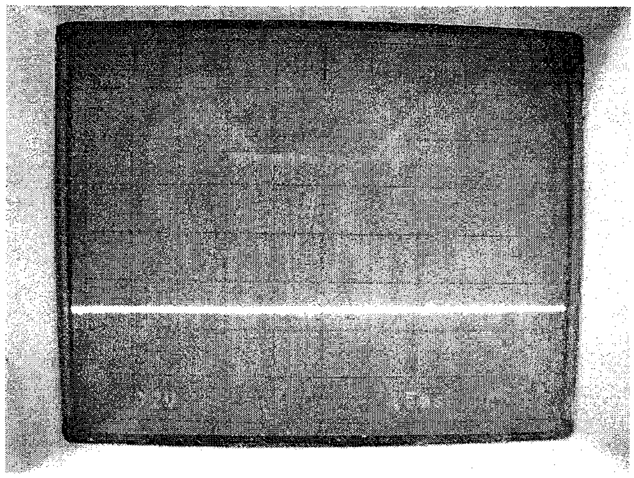
**ขณะ duty ratio 40% (การทำงานของ microcontroller เป็น active low)**



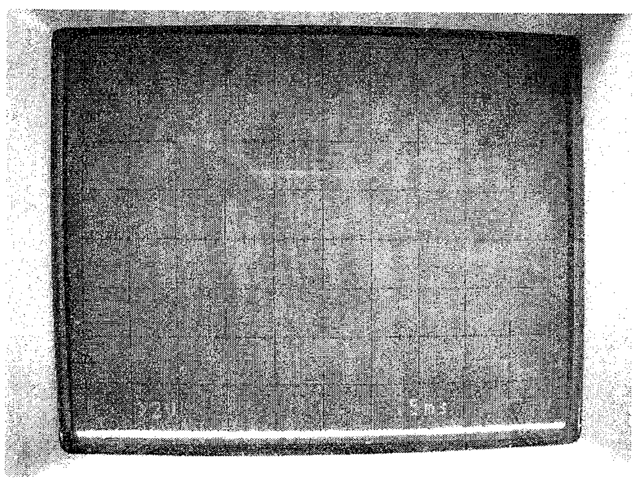
รูปสัญญาณที่ขา C0 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ซ้ายบน)



รูปสัญญาณที่ขา C3 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ซ้ายล่าง)

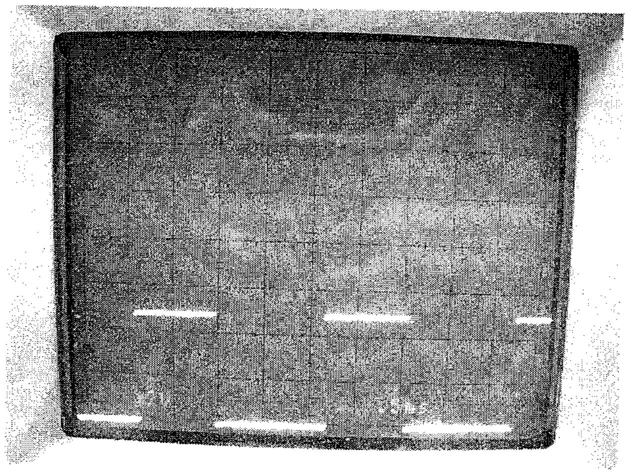


รูปสัญญาณที่ขา C1 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ขวาบน)

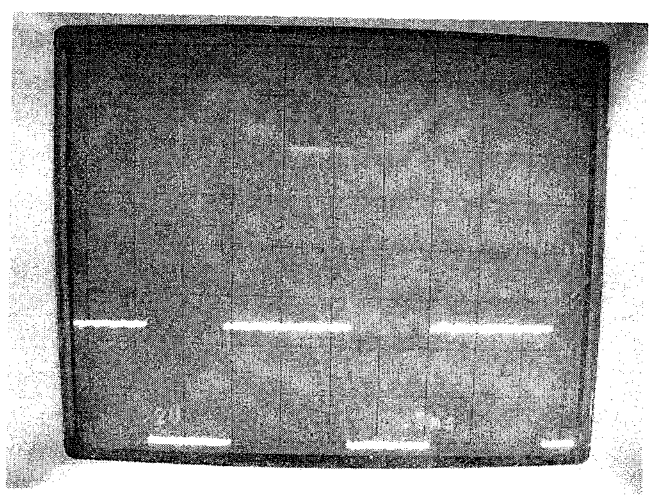


รูปสัญญาณที่ขา C2 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ขวาล่าง)

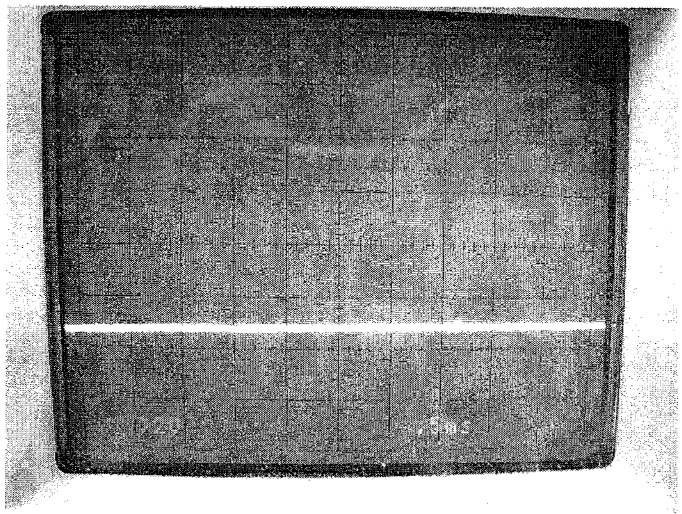
**ขณะ duty ratio 60% (การทำงานของ microcontroller เป็น active low)**



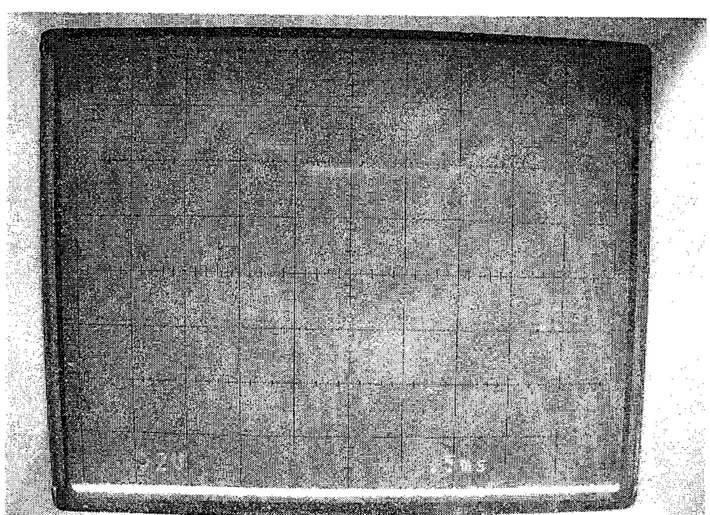
รูปสัญญาณที่ขา C0 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ซ้ายบน)



รูปสัญญาณที่ขา C3 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ซ้ายล่าง)

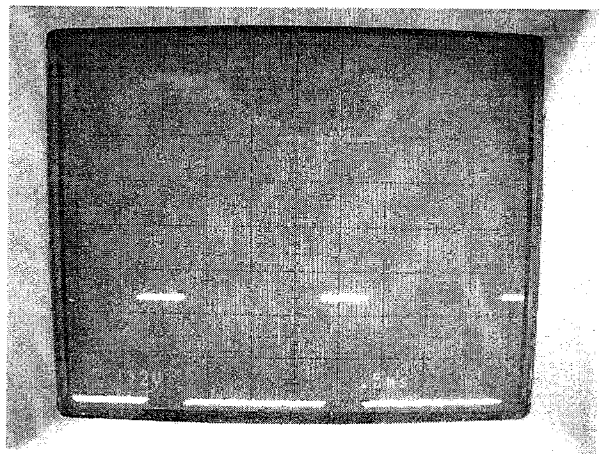


รูปสัญญาณที่ขา C1 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ขวาบน)

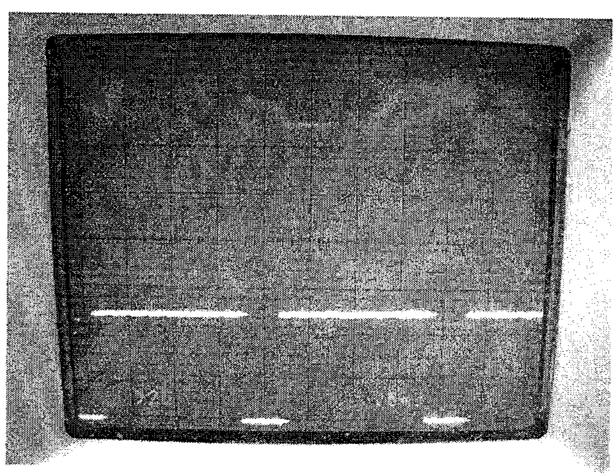


รูปสัญญาณที่ขา C2 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ขวาล่าง)

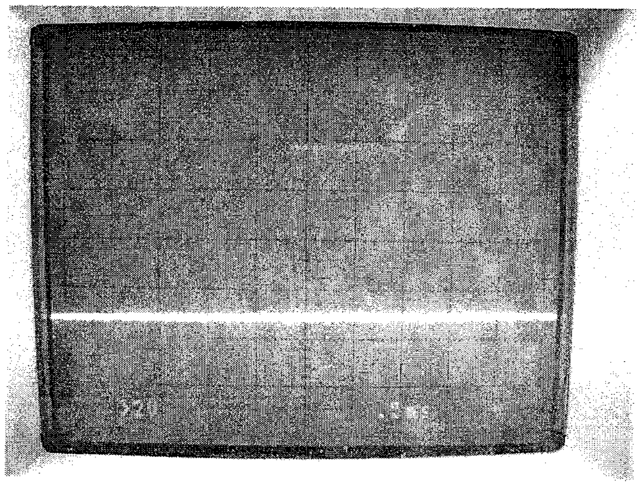
**ขณะ duty ratio 80% (การทำงานของ microcontroller เป็น active low)**



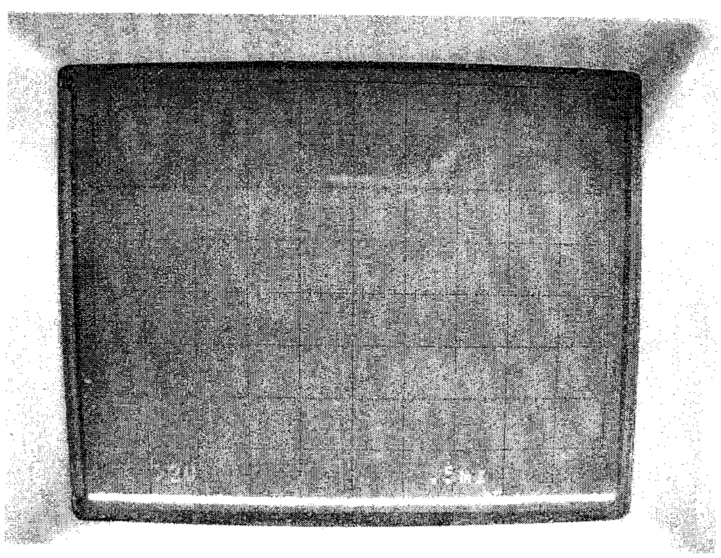
รูปสัญญาณที่ขา C0 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ซ้ายบน)



รูปสัญญาณที่ขา C3 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ซ้ายล่าง)

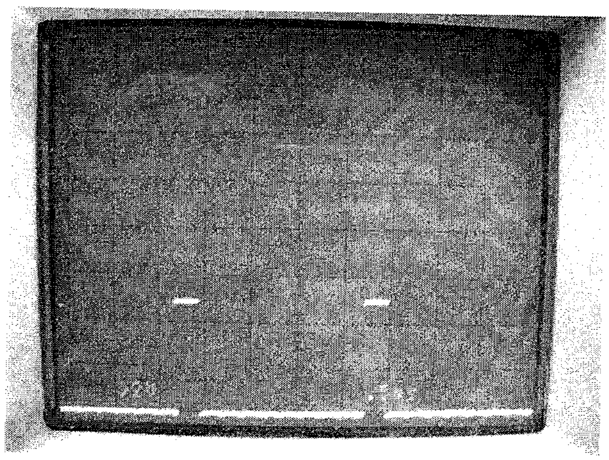


รูปสัญญาณที่ขา C1 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ขวาบน)

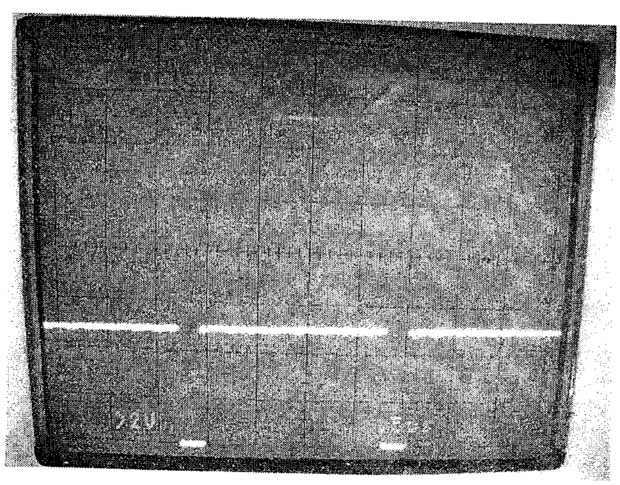


รูปสัญญาณที่ขา C2 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ขวาล่าง

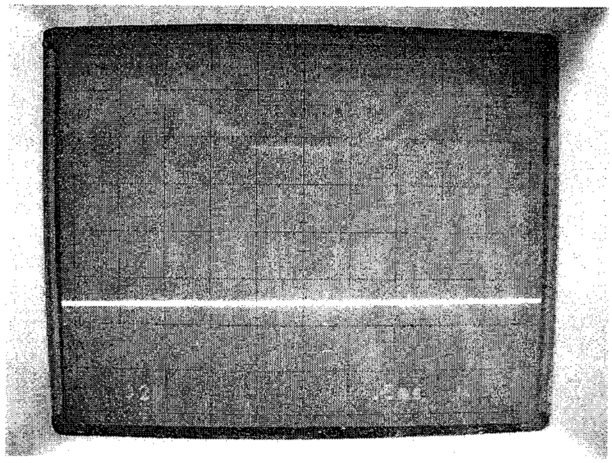
**ขณะ duty ratio 95% (การทำงานของ microcontroller เป็น active low)**



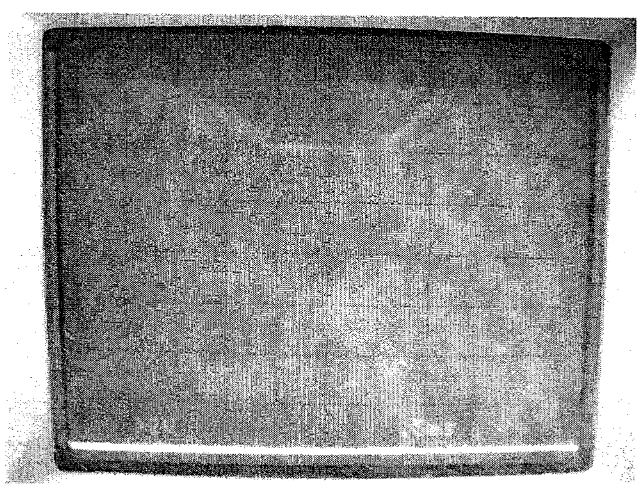
รูปสัญญาณที่ขา C0 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ซ้ายบน)



รูปสัญญาณที่ขา C3 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ซ้ายล่าง)



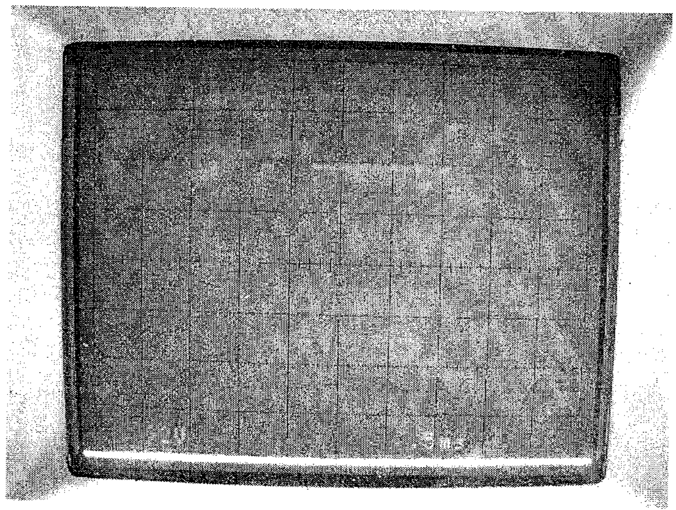
รูปสัญญาณที่ขา C1 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ขวาบน)



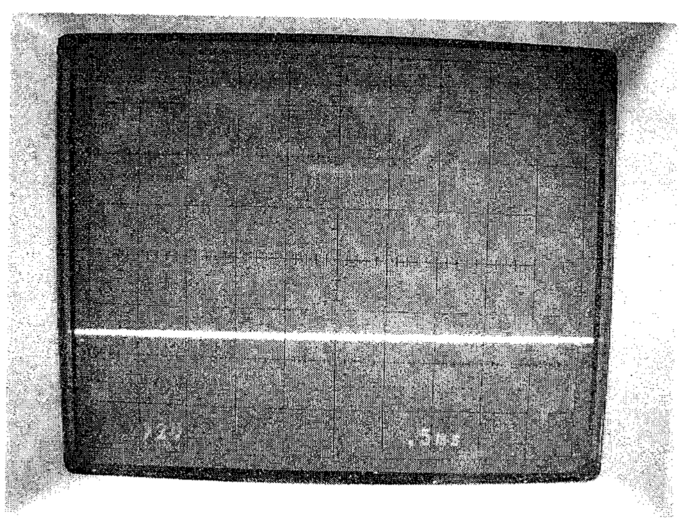
รูปสัญญาณที่ขา C2 (ควบคุมสัญญาณ mos ตัว ขวาล่าง)

## รูป สัญญาณที่ขา input ของ IR2110 ขณะต่างๆ

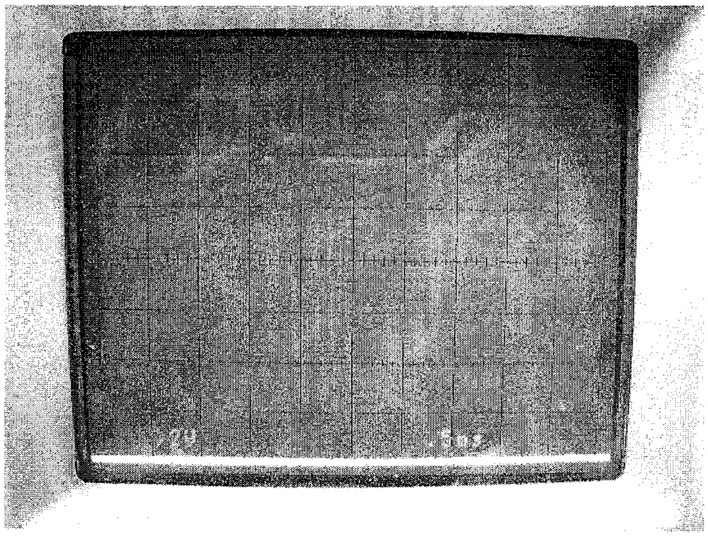
**ขณะ duty ratio 0% (มีการกลับค่าที่ได้จาก microcontroller แล้ว)**



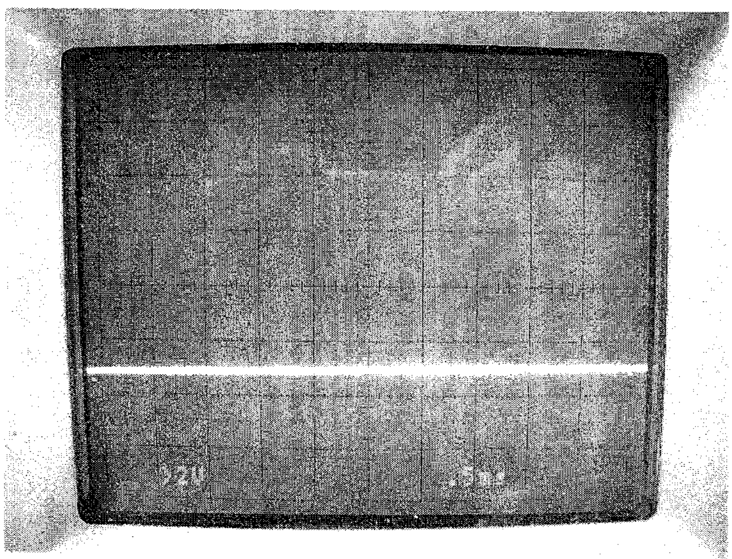
รูปสัญญาณที่ขา Input Ho ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งซ้าย



รูปสัญญาณที่ขา Input Lo ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งซ้าย

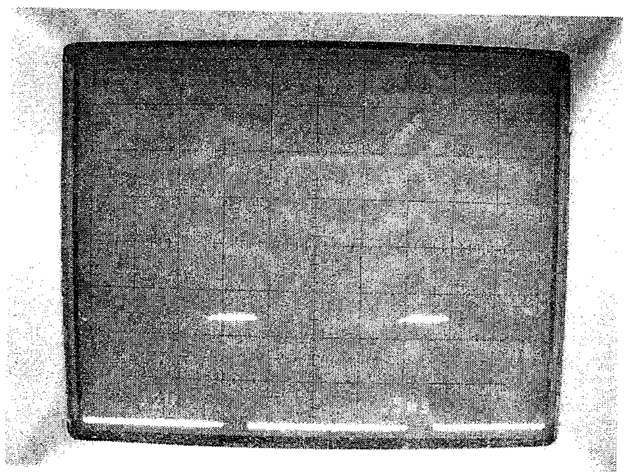



รูปสัญญาณที่ขา Input Ho ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งขวา

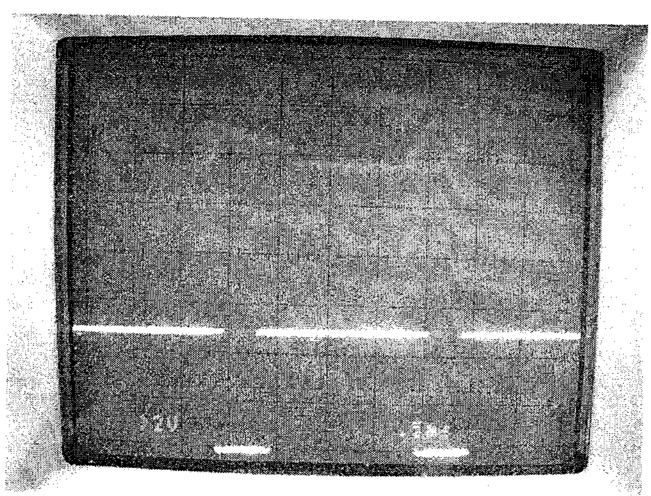



รูปสัญญาณที่ขา Input Lo ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งขวา

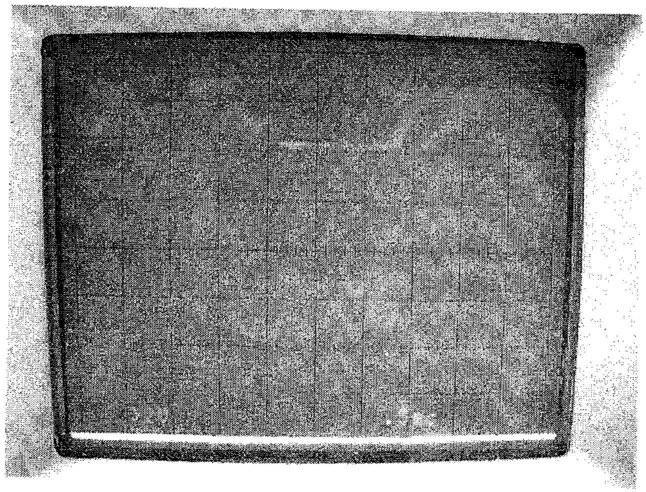
**ขณะ duty ratio 20% (มีการกลับค่าที่ได้จาก microcontroller แล้ว)**



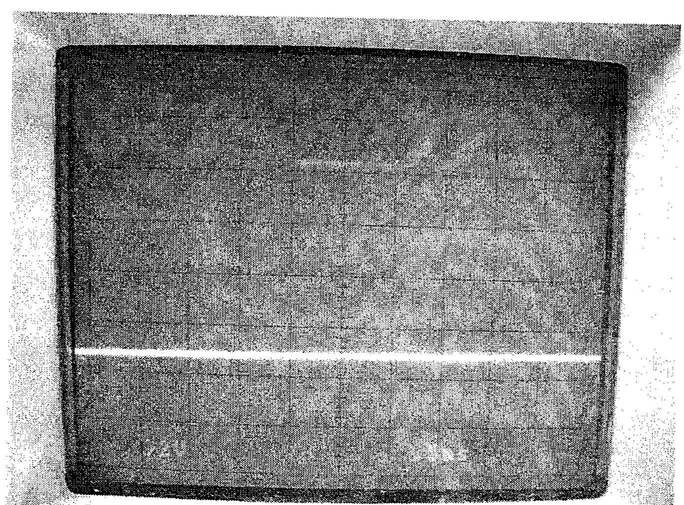
รูปสัญญาณที่ขา Input Ho ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งซ้าย



รูปสัญญาณที่ขา Input Lo ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งซ้าย

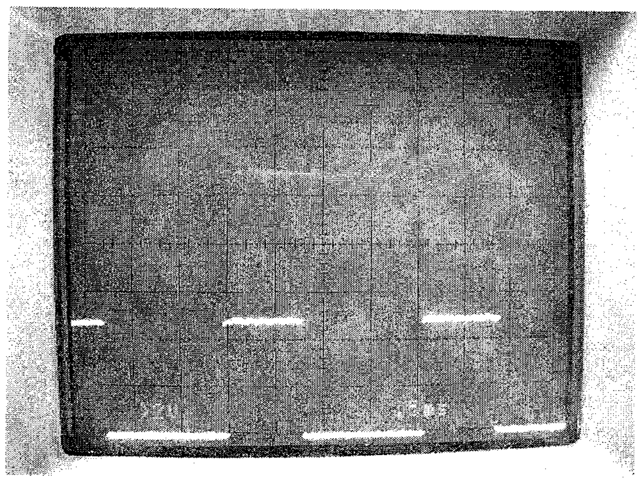


รูปสัญญาณที่ขา Input Ho ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งขวา

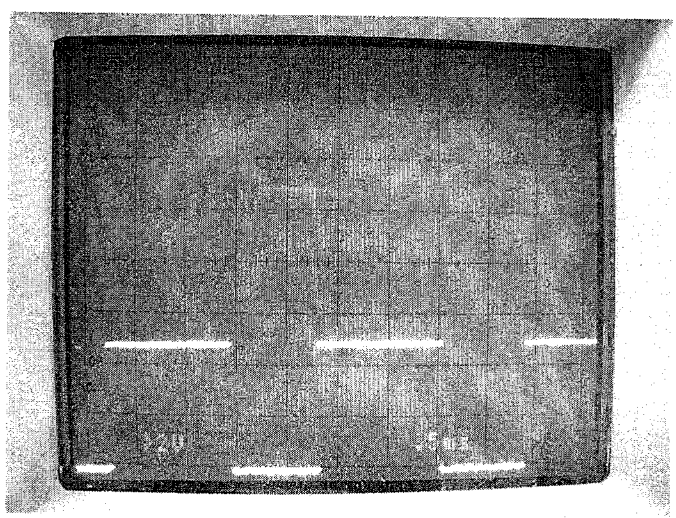


รูปสัญญาณที่ขา Input Lo ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งขวา

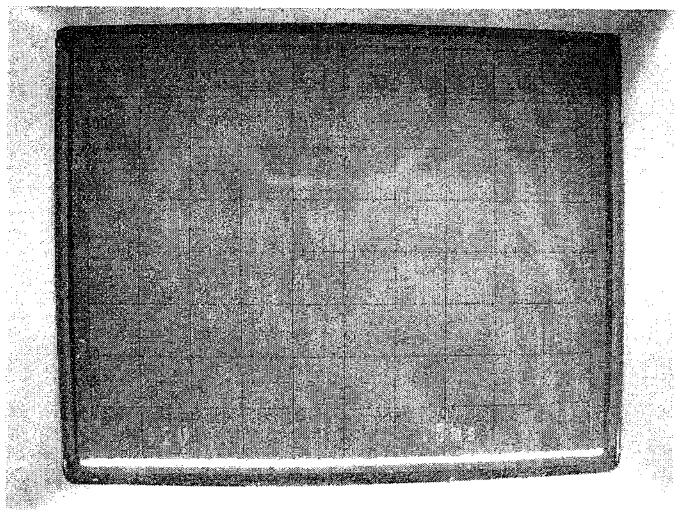
**ขณะ duty ratio 40% (มีการกลับค่าที่ได้จาก microcontroller แล้ว)**



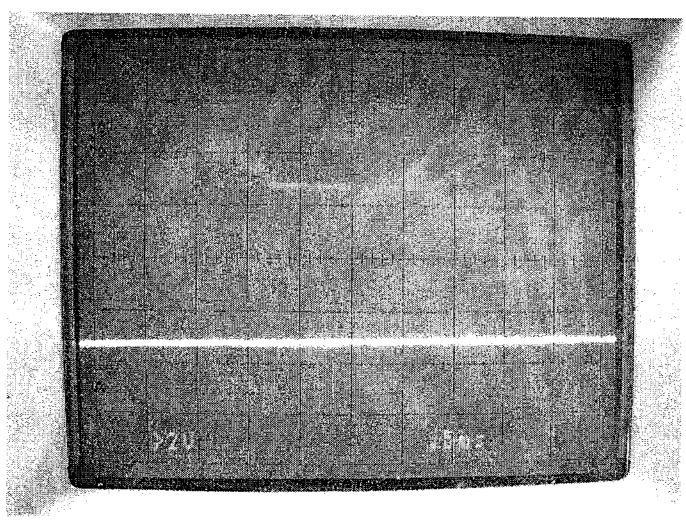
รูปสัญญาณที่ขา Input Ho ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งซ้าย



รูปสัญญาณที่ขา Input Lo ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งซ้าย

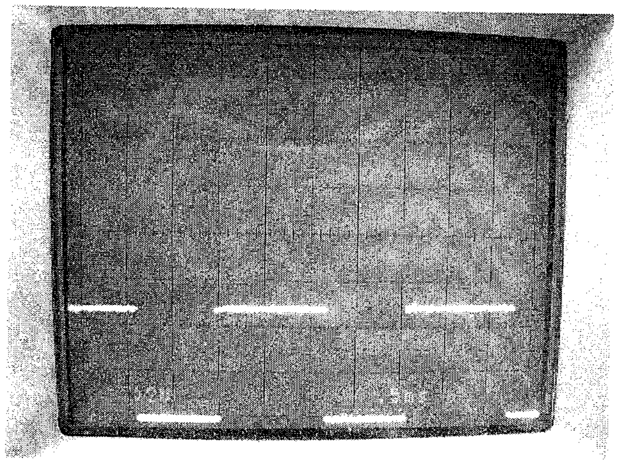


รูปสัญญาณที่ขา Input Ho ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งขวา

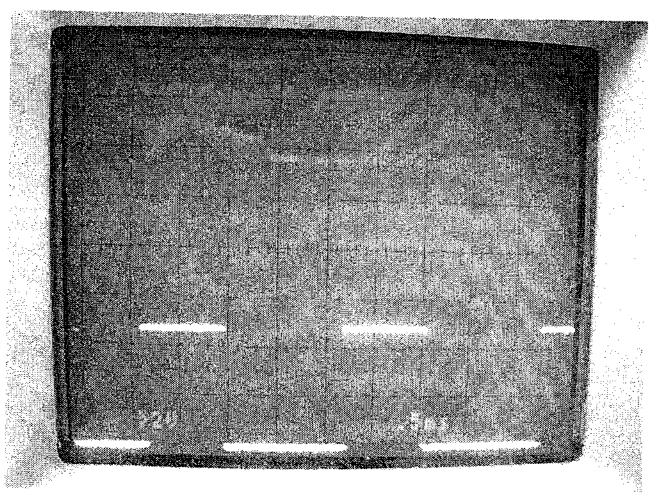


รูปสัญญาณที่ขา Input Lo ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งขวา

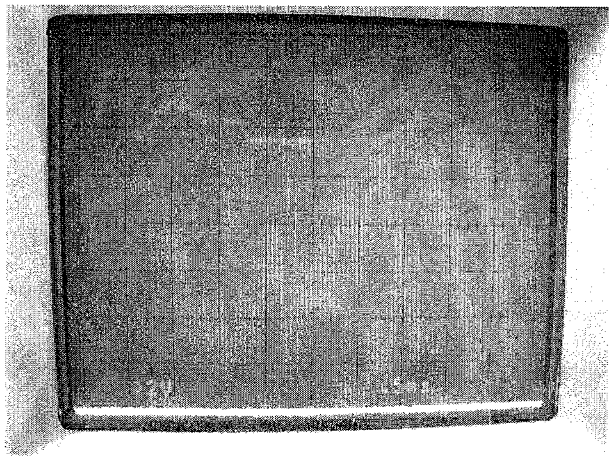
**ขณะ duty ratio 60% (มีการกลับค่าที่ได้จาก microcontroller แล้ว)**



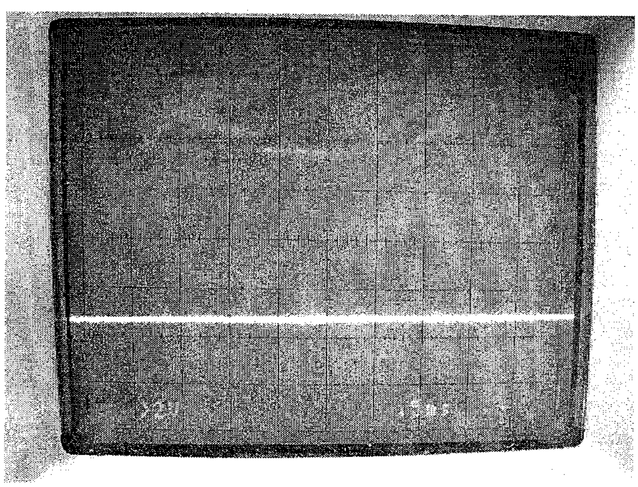
รูปสัญญาณที่ขา Input Ho ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งซ้าย



รูปสัญญาณที่ขา Input Lo ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งซ้าย

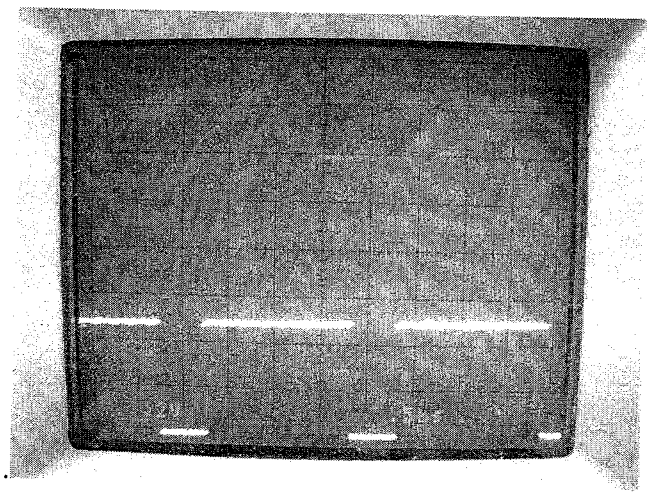


รูปสัญญาณที่ขา Input Ho ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งขวา

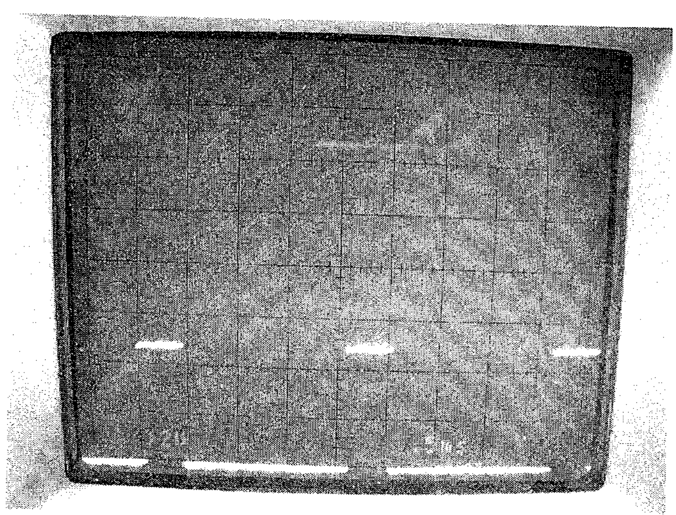


รูปสัญญาณที่ขา Input Lo ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งขวา

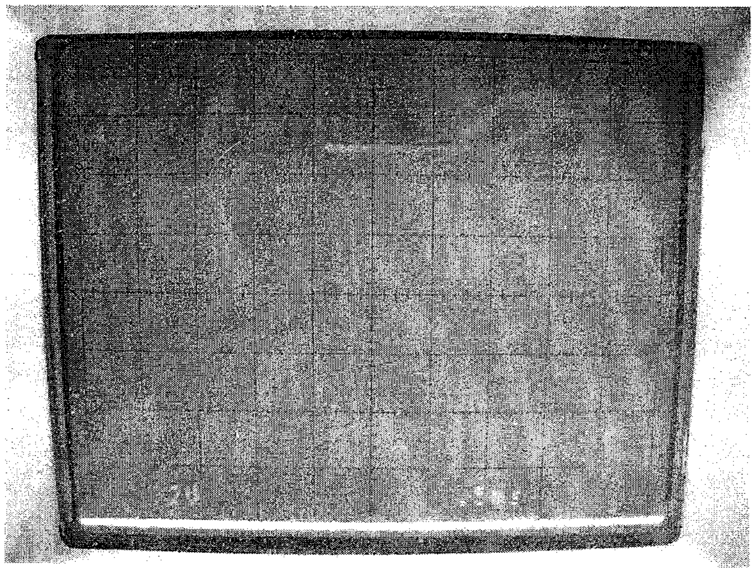
**ขณะ duty ratio 80% (มีการกลับค่าที่ได้จาก microcontroller แล้ว)**



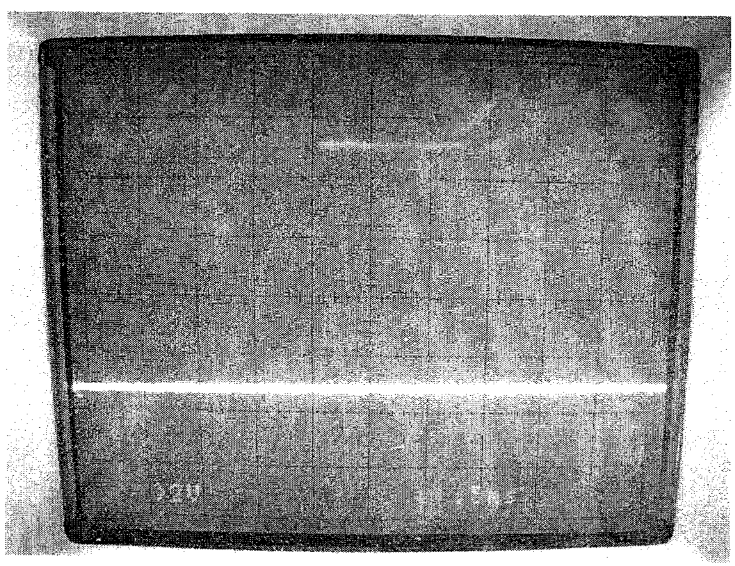
รูปสัญญาณที่ขา Input Ho ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งซ้าย



รูปสัญญาณที่ขา Input Lo ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งซ้าย

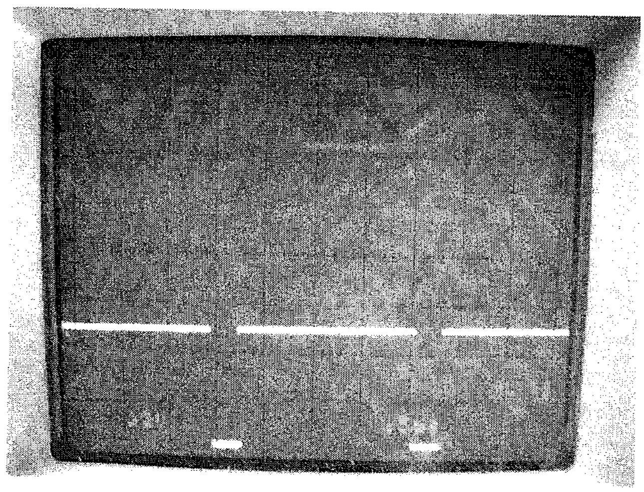


รูปสัญญาณที่ขา Input Ho ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งขวา

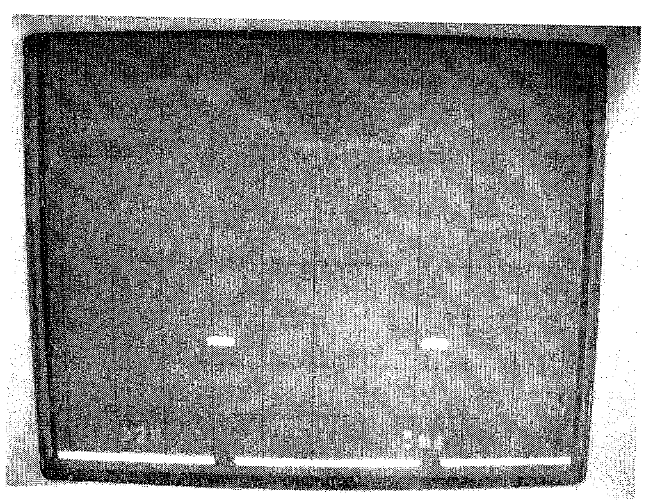


รูปสัญญาณที่ขา Input Lo ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งขวา

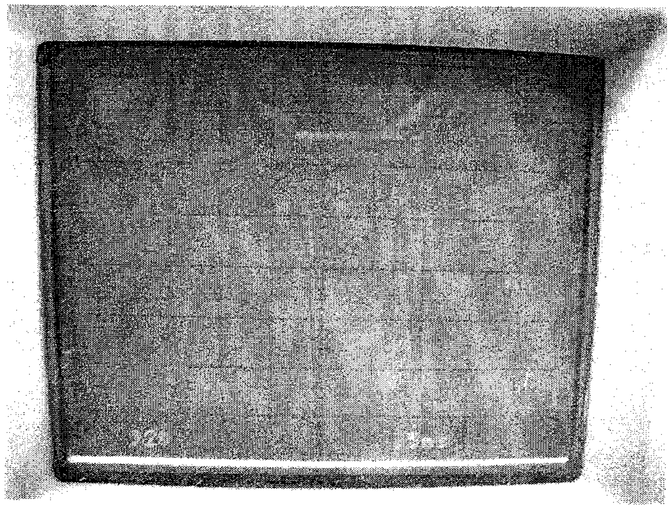
**ขณะ duty ratio 95% (มีการกลับค่าที่ได้จาก microcontroller แล้ว)**



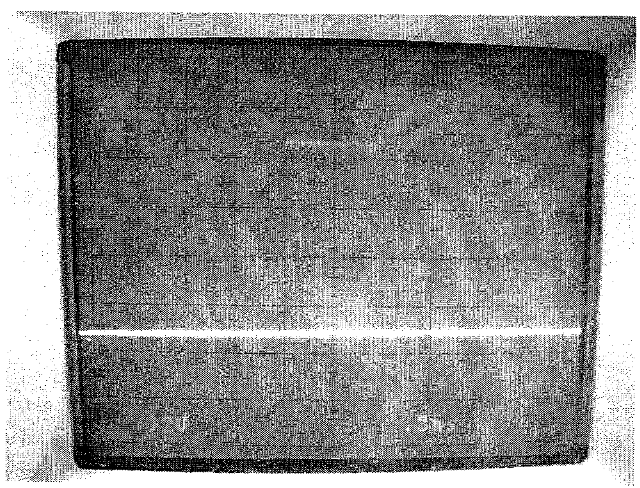
รูปสัญญาณที่ขา Input Ho ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งซ้าย



รูปสัญญาณที่ขา Input Lo ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งซ้าย

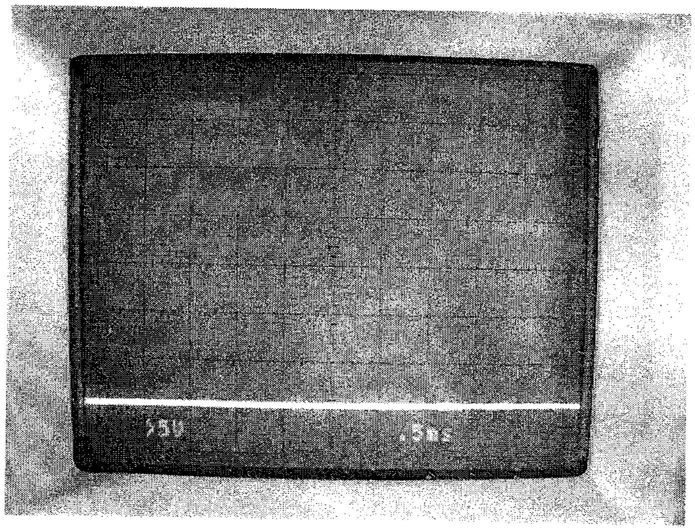


รูปสัญญาณที่ขา Input Ho ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งขวา

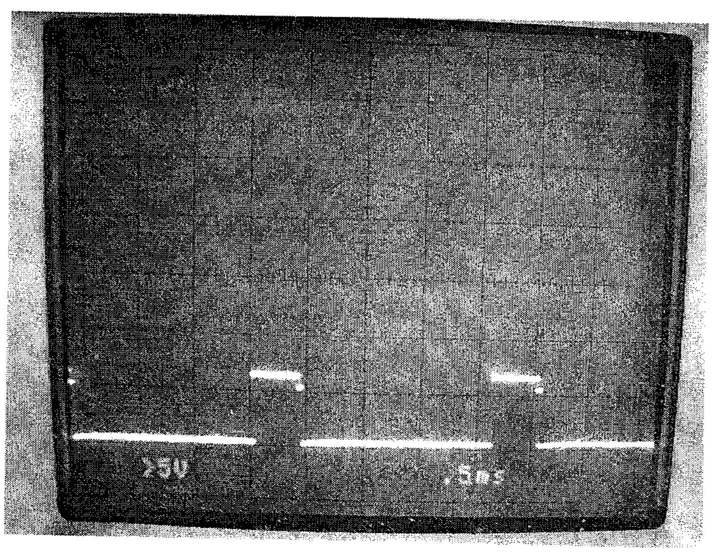


รูปสัญญาณที่ขา Input Lo ของ IR2110 ควบคุม bridge ฝั่งขวา

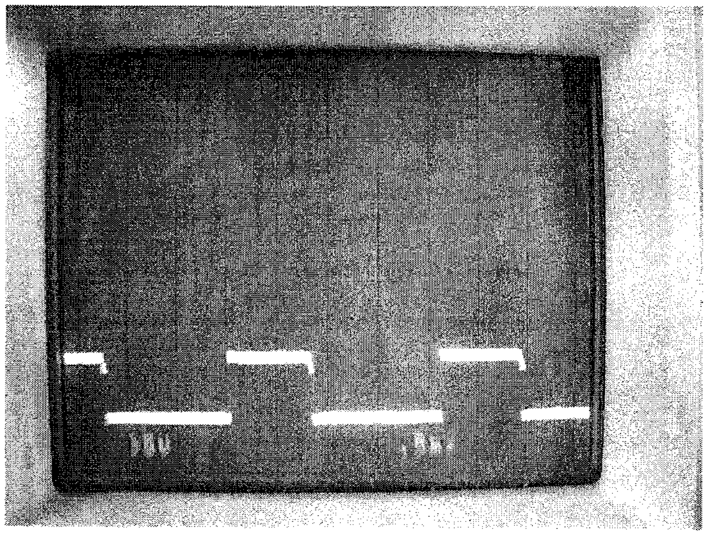
# รูปสัญญาณคร่อม Load ที่ duty ratio ต่างๆ



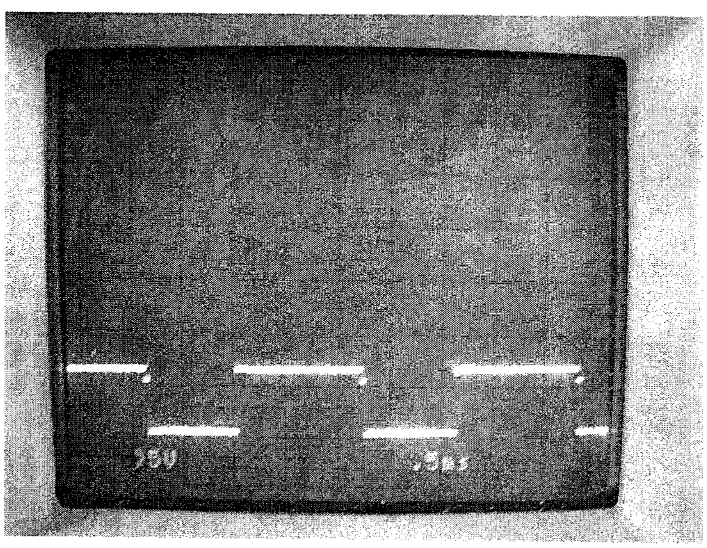

รูปสัญญาณคร่อม Load ขณะ duty ratio 0% (probe x10)



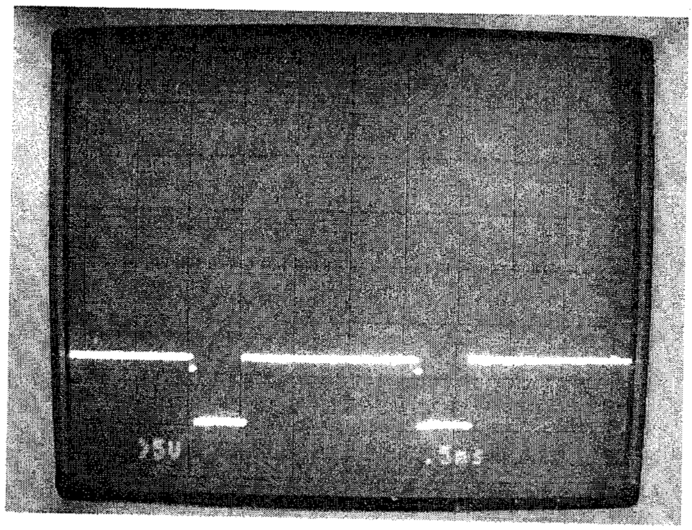

รูปสัญญาณคร่อม Load ขณะ duty ratio 20% (probe x10)



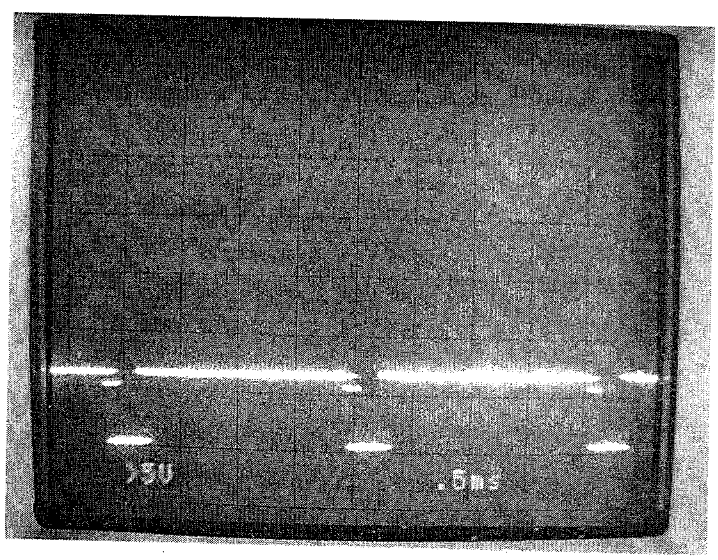
รูปสัญญาณคร่อม Load ขณะ duty ratio 40% (probe x10)



รูปสัญญาณคร่อม Load ขณะ duty ratio 60% (probe x10)

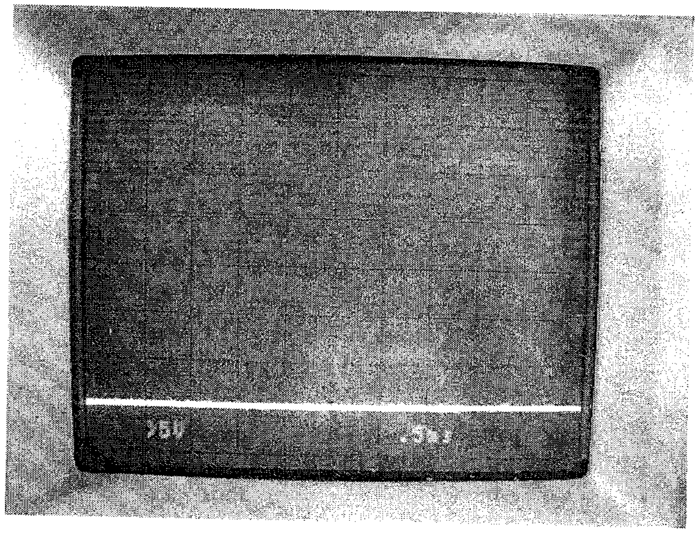


รูปสัญญาณคร่อม Load ขณะ duty ratio 80% (probe x10)

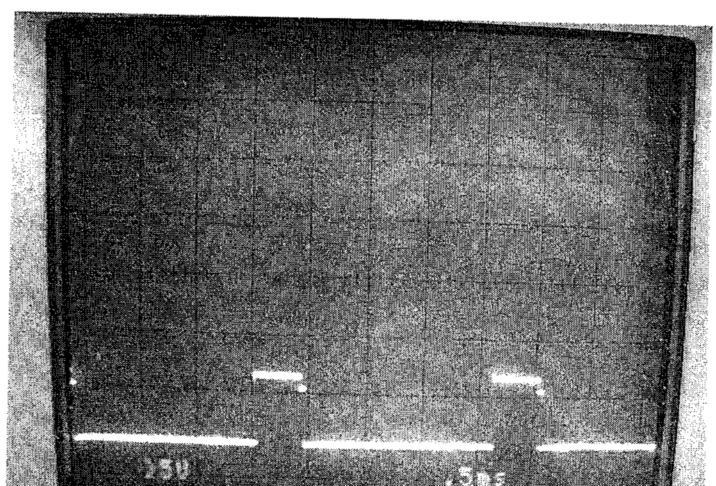


รูปสัญญาณคร่อม Load ขณะ duty ratio 95% (probe x10)

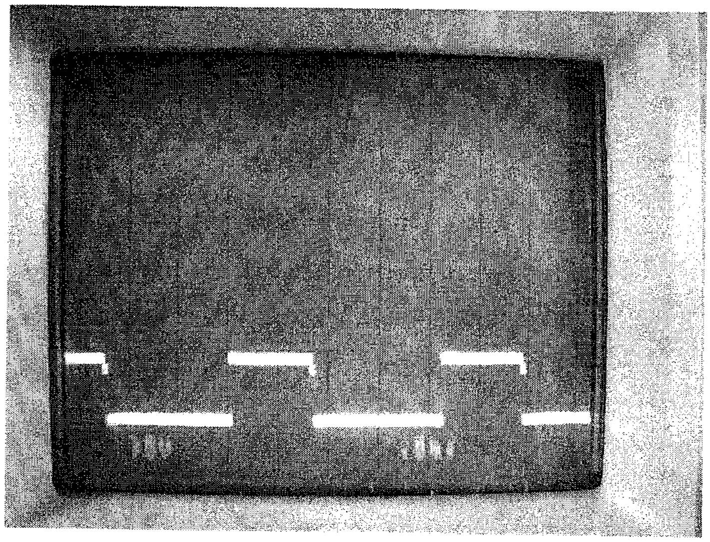
## สัญญาณที่ขา Gate ขณะ Duty ratio ต่างๆ



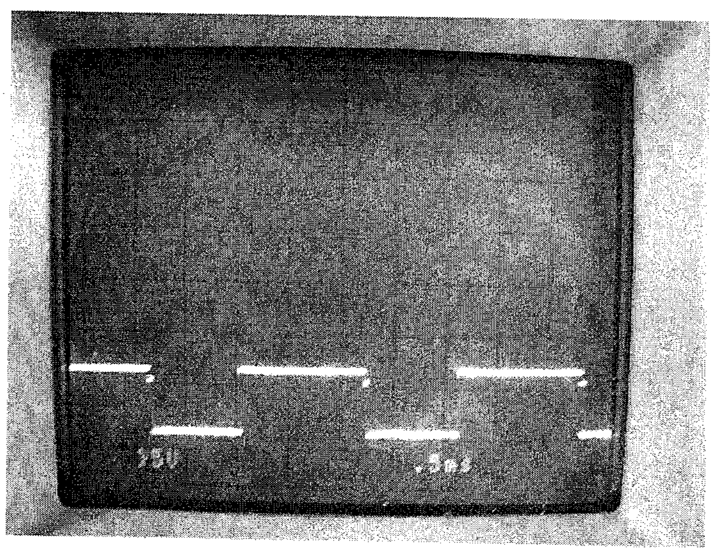
สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวซ้ายบนขณะ duty ratio 0% (probe x10)



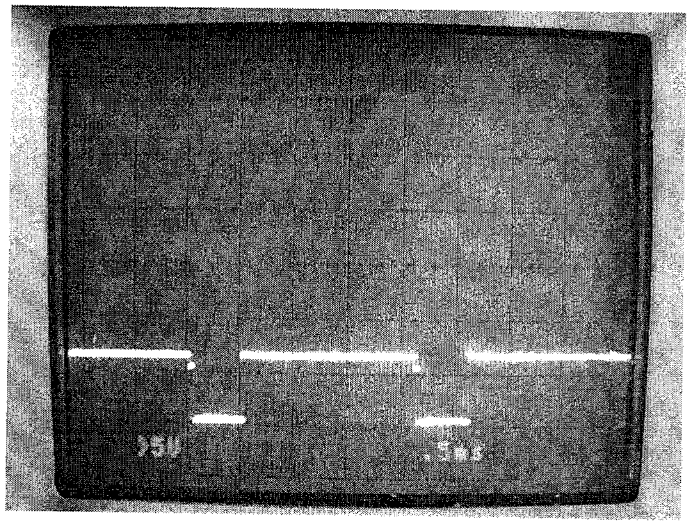
สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวซ้ายบนขณะ duty ratio 20% (probe x10)



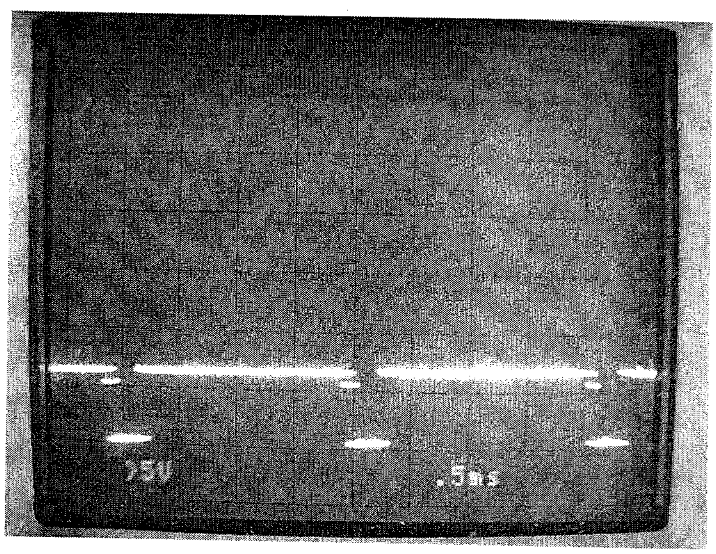
สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวซ้ายบนขณะ duty ratio 40% (probe x10)



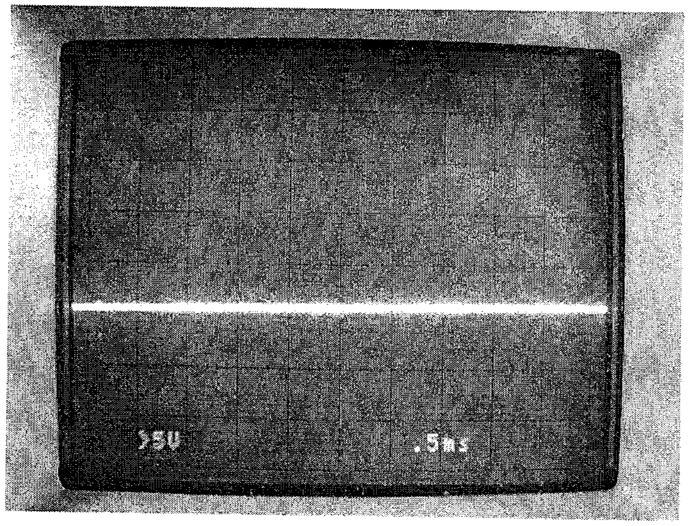
สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวซ้ายบนขณะ duty ratio 60% (probe x10)



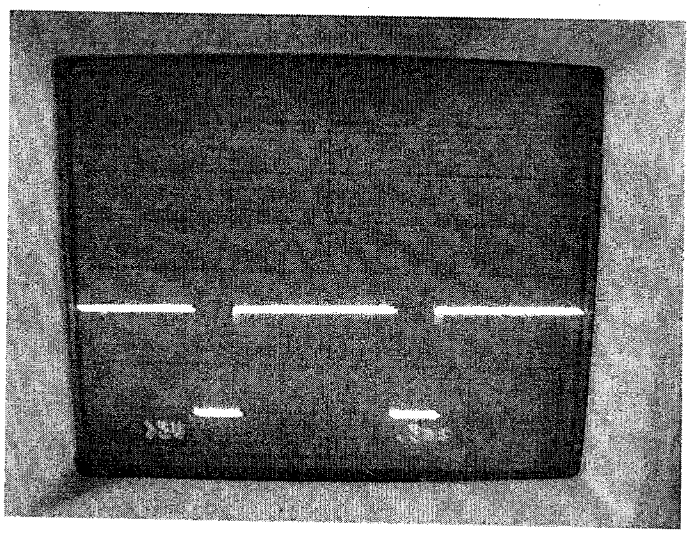

สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวซ้ายบนขณะ duty ratio 80% (probe x10)



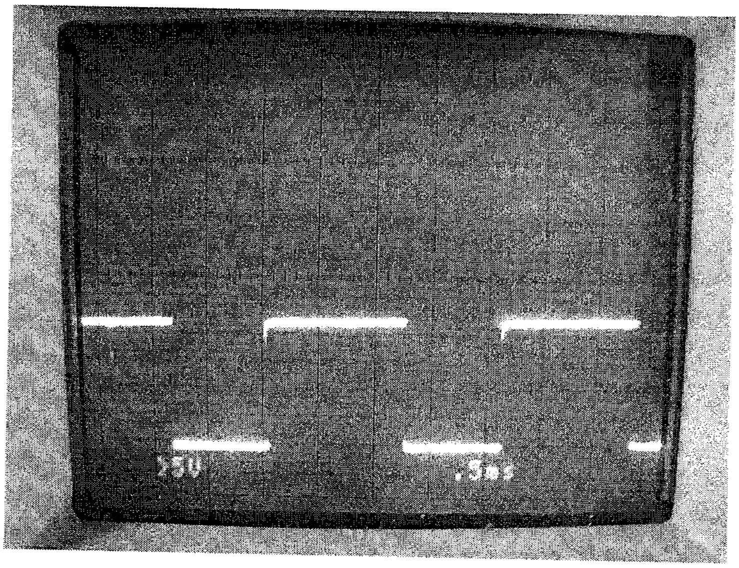

สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวซ้ายบนขณะ duty ratio 95% (probe x10)



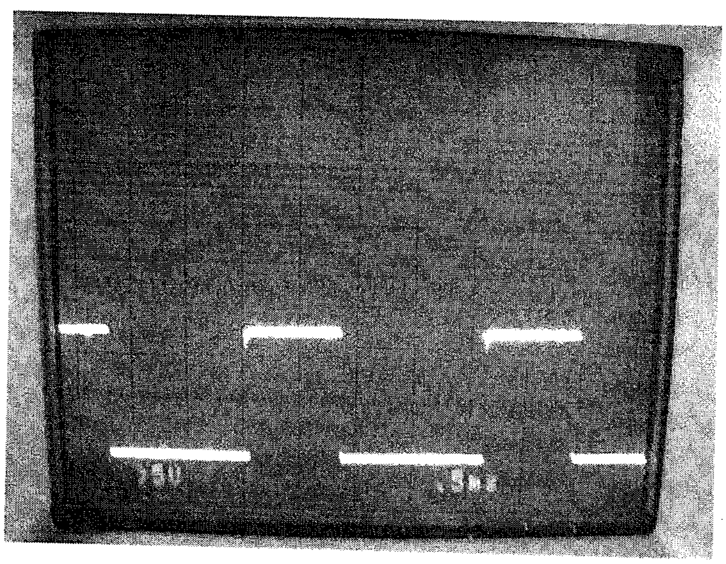

สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวซ้ายล่างขณะ duty ratio 0%



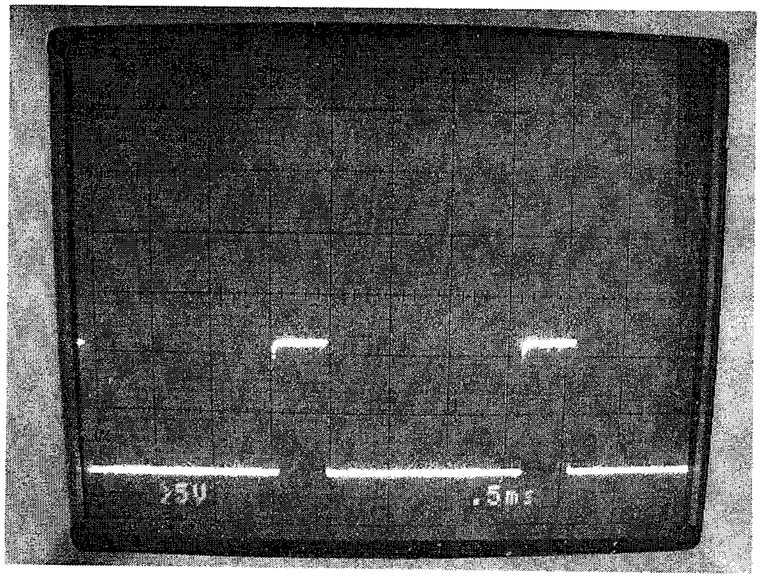

สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวซ้ายล่างขณะ duty ratio 20%



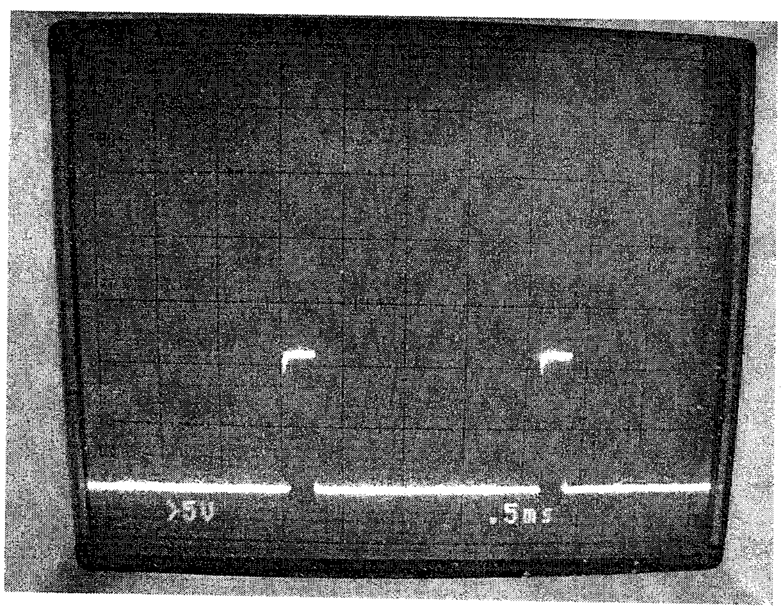

สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวซ้ายล่างขณะ duty ratio 40%



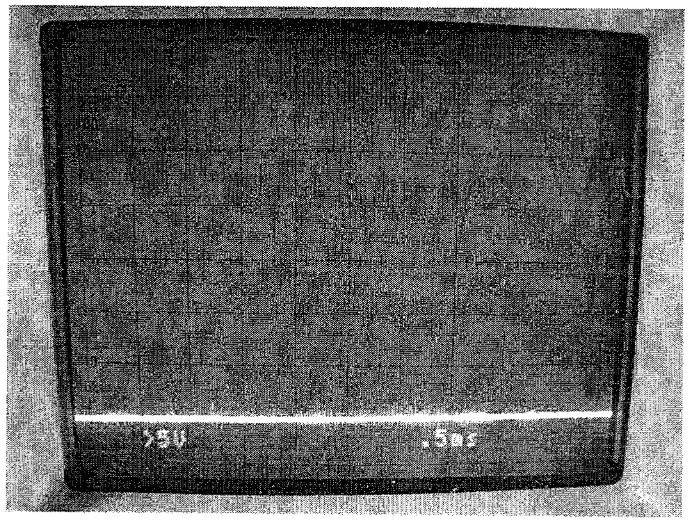

สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวซ้ายล่างขณะ duty ratio 60%



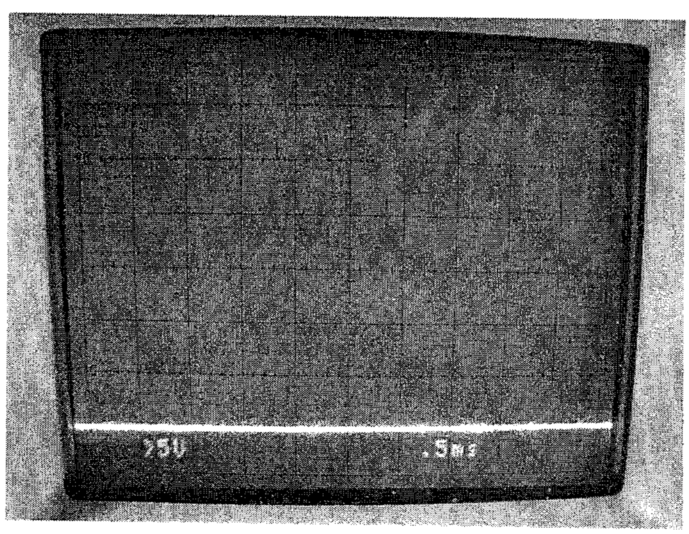

สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวซ้ายล่างขณะ duty ratio 80%



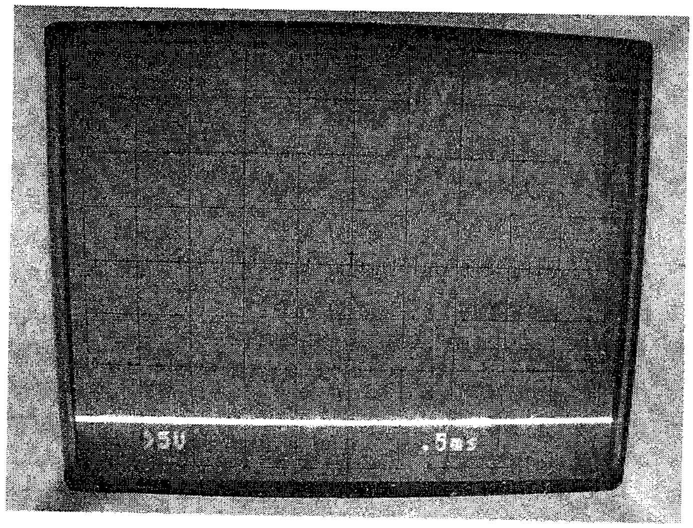

สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวซ้ายล่างขณะ duty ratio 95%



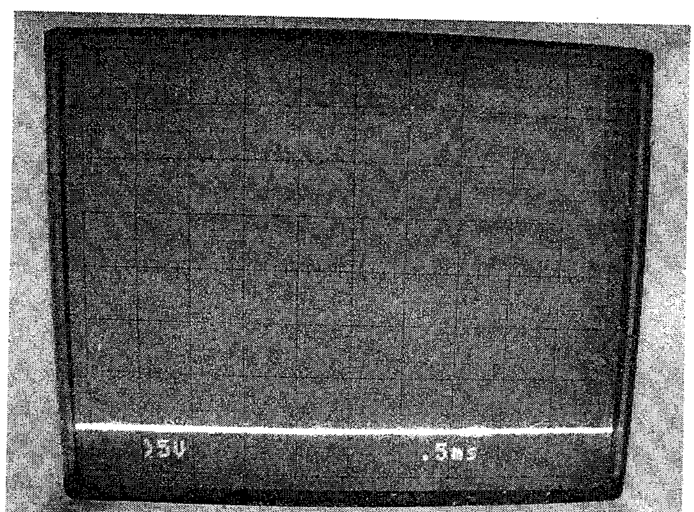

สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวขวาบนขณะ duty ratio 0% (probe x10)



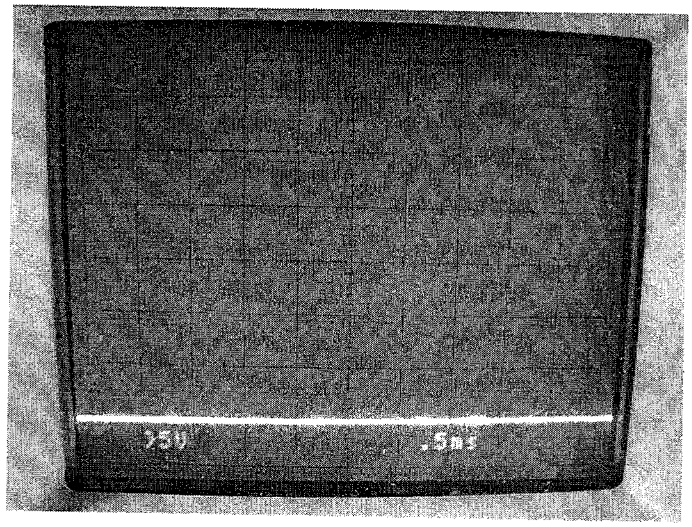

สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวขวาบนขณะ duty ratio 20% (probe x10)



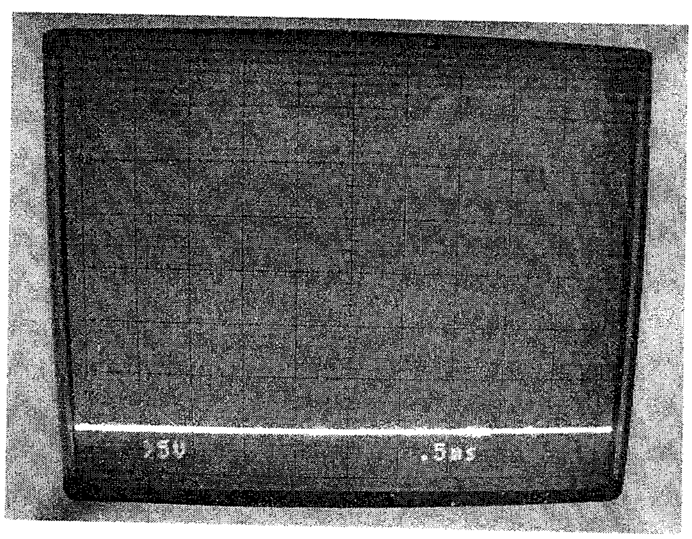

สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวขวาบนขณะ duty ratio 40% (probe x10)



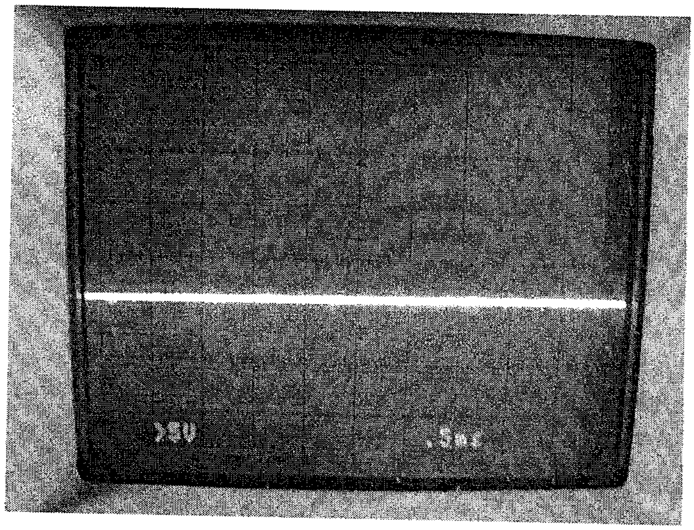

สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวขวาบนขณะ duty ratio 60% (probe x10)



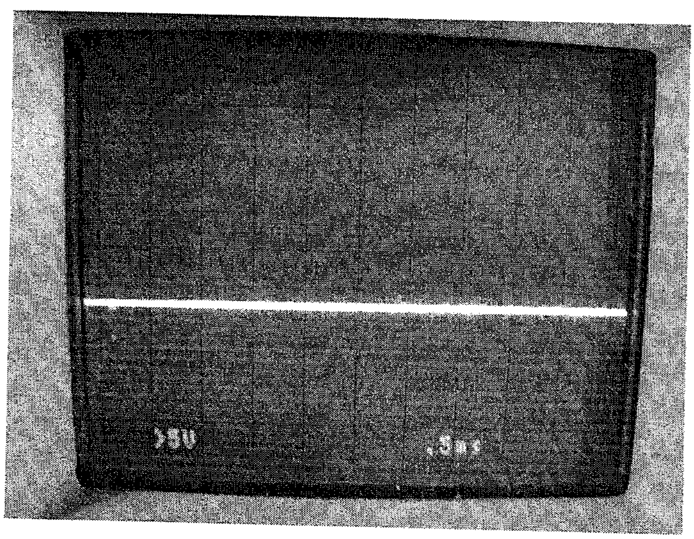

สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวขวาบนขณะ duty ratio 80% (probe x10)



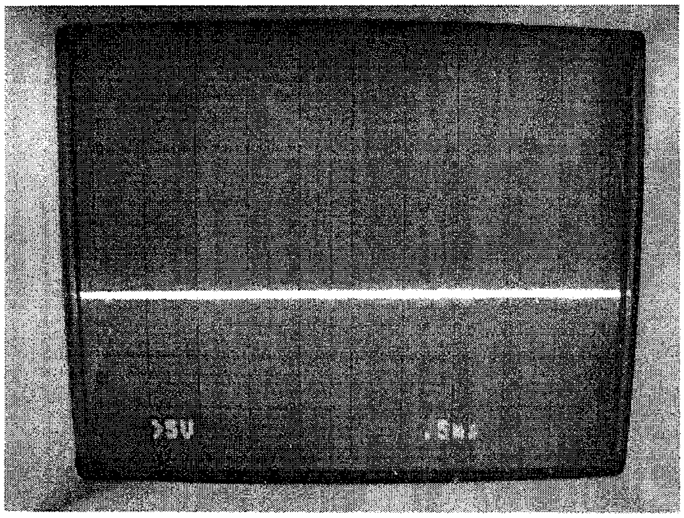

สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวขวาบนขณะ duty ratio 95% (probe x10)



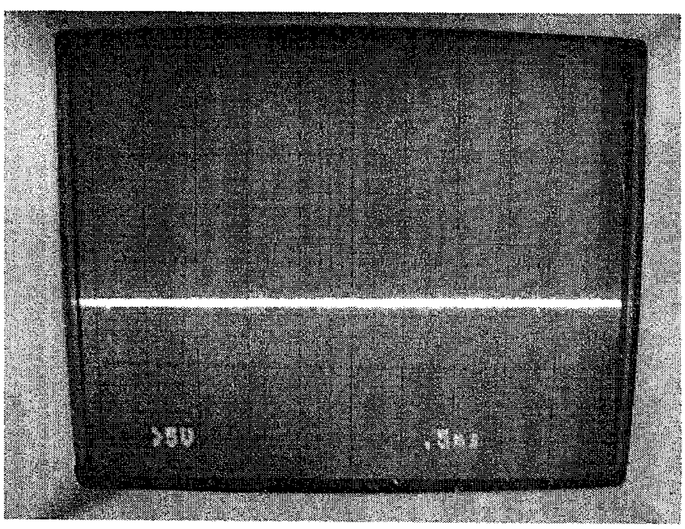

สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวขวาล่างขณะ duty ratio 0%



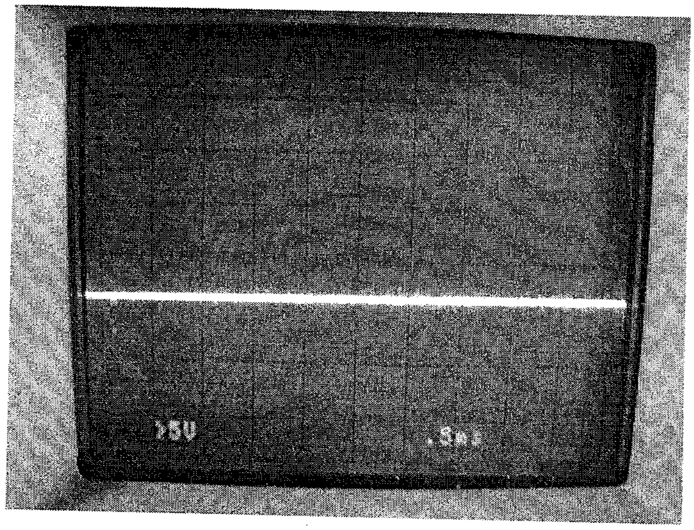

สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวขวาล่างขณะ duty ratio 20%



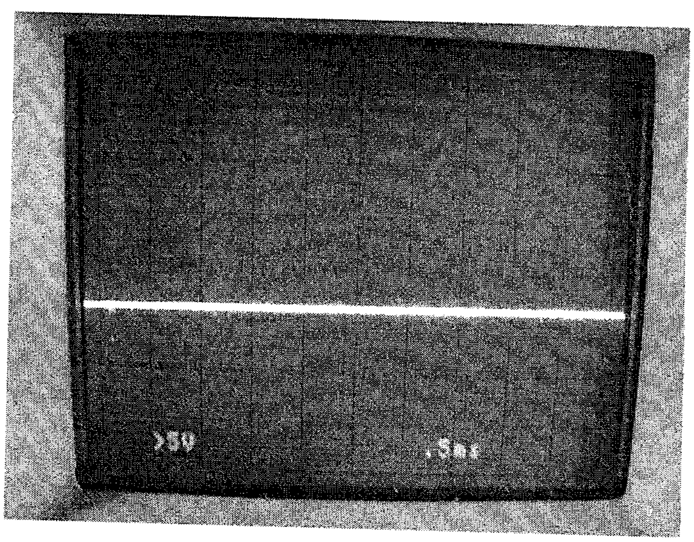
สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวขวาล่างขณะ duty ratio 40%



สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวขวาล่างขณะ duty ratio 60%



สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวขวาล่างขณะ duty ratio 80%



สัญญาณที่ขา Gate ของ mos ตัวขวาล่างขณะ duty ratio 95%

**ค่าเฉลี่ย Voltage คร่อม Load ณ duty ratio ต่างๆ**

| **Duty ratio** | **Voltage คร่อม LOAD** |
|---|---|
| 20% | 8.4 V |
| 40% | 16.9V |
| 60% | 25.7 V |
| 80% | 34.2 V |
| 95% | 40.3 V |

# อธิบายผลการทดลอง

ผลการทดลองในแต่ละส่วนมีลักษณะการทำงานและการควบคุมแบ่งเป็นดังนี้

**1. รูป สัญญาณที่ออกจาก micro controller ขณะต่างๆ**

สัญญาณในชุดนี้ จะ แบ่งเป็น 6 ลักษณะ คือ duty ratio ตั้งแต่ 0 – 100% ซึ่ง ใน ช่วง 0% จะ มีลักษณะการบ่งบอกว่า ไม่มีการทำงานใดๆ เกิดขึ้นใน ชุดตัว switch หรือก็คือ motor ไม่ทำงาน ซึ่ง จะให้ mosfet 2 ตัวล่างทำงาน แต่ 2 ตัวบน ไม่ทำงาน เพื่อการ charge C ของ IR 2110 เพื่อให้ มี ประจุ สามารถ ใช้ ยก ความแตกต่างระหว่างแรงดันทั้ง 2 จุด ขึ้น คือ Vb และ Vs จะ มีค่าต่างกัน 12V แต่สัญญาณที่ micro controller จะออกมาในลักษณะ ตรงกันข้ามกับที่ใช้ เพราะต้องทำในลักษณะ active low เพื่อป้องกันการ hang ของ microcontroller เอง ซึ่งอาจทำให้ ชุด การทำงานทั้งหมด ผิดพลาดและเกิดความเสียหายต่อตัว switch ได้

ต่อมาในช่วง 20% การทำงาน ในชุดนี้จะเป็นการบอกให้ motor ทำงานไปข้างหน้าด้วยอัตรา 20% หรือก็คือ duty ratio 20% โดยให้ mosfet ตัวบนของชุด forward on 20% และ mosfet ตัวล่างของชุด backward on 80% โดยมี dead time ค่าๆ หนึ่ง เพื่อป้องกันการ short กิ่งที่จะเกิดขึ้นและสร้างความเสียหายแก่วงจร H bridge ได้ และ ที่จำเป็นต้องให้ตัวล่างของชุด backward on นั้น ก็เช่นเดียวกับข้างต้นคือต้องการให้ C ตัวบนของ IR 2110 สามารถ charge ประจุเพื่อนำไป drive ขา gate ของ mosfet ได้ เพราะว่า mosfet จะทำงานได้ ค่า Vgs ของ mosfet ต้องมีค่า มากกว่า Vthreshold โดยการทำให้ mosfet ตัวล่างออนนี้จะเป็นการช่วยและตัดปัญหาในเรื่องนี้ และในขณะเดียวกัน mosfet ตัวบนของชุด backward ต้อง off อยู่เพราะไม่จำเป็นต้องใช้งานอะไร โดยห้าม on เด็ดขาด เพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจร และวงจร H-bridge เสียหายได้ แต่ mosfet ตัวล่างของชุด forward ต้อง on ไว้ตลอด เพื่อให้ มีการไหลของกระแสผ่านทางด้านนั้นโดย สัญญาณ o/p ที่ออกมาจาก micro controller จะมีลักษณะกลับกับที่กล่าวมาในส่วนนี้เพราะเป็นไปตามข้างต้นที่ว่าเพื่อป้องกันการ hang ของ microcontroller

ต่อมาในช่วงการทำงาน 40% (duty ratio 40%) การทำงานในช่วงนี้จะเป็นการให้ motor ทำงานเร็วขึ้นกว่าเดิมอีก 20% โดยที่จะให้ mosfet ตัวบนของชุด forward ทำงานเป็น on 40% และ mosfet ตัวล่างของชุด backward on เป็น 60% แต่ส่วนอื่นๆ เป็นดังเดิม

ต่อมาในช่วงการทำงาน 60% (duty ratio 60%) การทำงานในช่วงนี้จะเป็นการให้ motor ทำงานเร็วขึ้นกว่าเดิมอีก 20% โดยที่จะให้ mosfet ตัวบนของชุด forward ทำงานเป็น on 60% และ mosfet ตัวล่างของชุด backward on เป็น 40% แต่ส่วนหลังเป็นดังเดิม

ต่อมาในช่วงการทำงาน 80% (duty ratio 80%) การทำงานในช่วงนี้จะเป็นการให้ motor ทำงานเร็วขึ้นกว่าเดิมอีก 20% โดยที่จะให้ mosfet ตัวบนของชุด forward ทำงานเป็น on 80% และ mosfet ตัวล่างของชุด backward on เป็น 20% แต่ส่วนหลังเป็นดังเดิม

ต่อมาในช่วงการทำงาน 95% (duty ratio 95%) การทำงานในช่วงนี้จะเป็นการให้ motor ทำงานเร็วขึ้นกว่าเดิมอีก 20% โดยที่จะให้ mosfet ตัวบนของชุด forward ทำงานเป็น on 95% และ mosfet ตัวล่างของชุด backward on เป็น 5% แต่ส่วนหลังเป็นดังเดิม

**2.รูป สัญญาณที่ขา Input ของ IR2110 ขณะต่างๆ**

สัญญาณในจุดนี้จะถูกต้องตามลักษณะการทำงานทั้งหมดของ motor ที่กล่าวมาข้างต้นโดยจะนำสัญญาณ ที่ได้มาในชุดแรก มาทำการ invert เพื่อให้ได้สัญญาณควบคุมที่ถูกต้องตามที่กล่าวมาข้างต้นโดยใช้ NOR GATE ในการแปลงค่า

**3.สัญญาณที่ขา Gate ขณะ Duty ratio ต่างๆ**

สัญญาณในจุดนี้ก็คือสัญญาณ O/P ของ IR2110 ซึ่งก็มีการ invert ค่าเป็นค่าที่ถูกต้องแล้วและมีลักษณะเหมือนสัญญาณ I/P ทุกประการแต่ว่าจะมีค่า Voltage O/P ที่สูงกว่าเพราะว่าจะต้องนำไปใช้ในการ drive gate ของ mosfet โดยสัญญาณในชุดนี้ จะแตกต่างจากสัญญาณอื่นๆโดยสัญญาณ ที่ขา gate ของ mosfet ตัว บนทั้ง forward และ backward จะมีขนาด vary ตั้งแต่ 0 – 60 Volt ที่เป็นแบบนี้เพราะว่า เมื่อ C ที่ IR2110 มีการ charge จนเต็มจะทำให้ Voltage ที่ขา gate ของ mosfet ชุดบนนี้มีการ เพิ่มจากไฟเลี้ยงที่จ่ายให้ motor อีก ประมานเท่ากับไฟเลี้ยงที่จ่ายให้กับ O/P ของ IR2110 แต่ส่วนของชุดล่าง จะแตกต่างกันเนื่องจากชุดล่างขา source ของ mosfet จะไม่ได้ float อยู่จึงทำให้ค่าที่ขา gate มีค่าสูงกว่าขา source เสมอจึงทำให้ mosfet ชุดล่างสามารถทำงานได้โดยไม่จำเป็นต้องมีไฟสูงไหลเข้ามา

**4.รูปสัญญาณคร่อม Load ที่ duty ratio ต่างๆ**

สัญญาณในจุดนี้จะมีลักษณะคล้ายกับสัญญาณที่ขา Gate ของ mosfet ตัวบนทุกประการเพราะมันคือการสั่งให้เกิดความเร็วแต่ละระดับขึ้นที่ mosfet ตัวบนนั้นๆแต่ว่า voltage ที่เข้ามาจะแตกต่างกันเล็กน้อยคือ voltage ที่คร่อม load จะมีค่าอยู่ที่ 48V

# สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะประสบปัญหาต่างๆเกี่ยวกับ noise ที่เข้ามาทำให้สัญญาณผิดเพี้ยนไปจากที่คิดไว้ซึ่งอาจทำให้เกิดการลัดวงจรและเกิดความเสียหายต่อส่วนของวงจร H-bridge ได้ โดยในส่วนนี้จำเป็นต้องใส่ C คร่อม ณ จุดต่างๆ ที่มาจากสายไฟเพื่อตัด noise เหล่านั้นทิ้งไป ไม่ให้มารบกวนวงจร

และในเรื่องของอัตรากระแสที่ค่อนข้างมากอาจทำให้อุปกรณ์ในวงจรเกิดการเสียหายได้

จากการทดลองทั้งหมดนั้นพบว่าผลที่ได้ถูกต้องและความเร็วของรถที่ใส่ motor แล้วความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 60km/h ซึ่งในช่วงนี้จะกินกระแสค่อนข้างมากและอาจทำให้ battery หมดได้ค่อนข้างไว

# เอกสารอ้างอิง


1. ประมวล หนูราช. 2534, มอเตอร์กระแสตรง. เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉ.104 (ม.ค. 2534 – ก.พ. 2534): 265-271.
2. ศุภชัย สุรินทร์วงศ์. 2535. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น)
3. โยธิน เปรมปราณีรัชต์. 2526. วิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4. ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง. 2550. PIC Microcontroller Learning-By-Doing ด้วยภาษา C. กรุงเทพฯ : สมาร์ทเลิร์นนิ่ง
5. PWM : http://en.wikipedia.org/wiki/PWM

# กิตติกรรมประกาศ

โครงงานครั้งนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีต้อง ขอขอบพระคุณ
อาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและแก้ปัญหาภายในโครงงาน
พ่อแม่ที่คอยช่วยสนับสนุนทุนสำหรับทำโครงงาน