หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

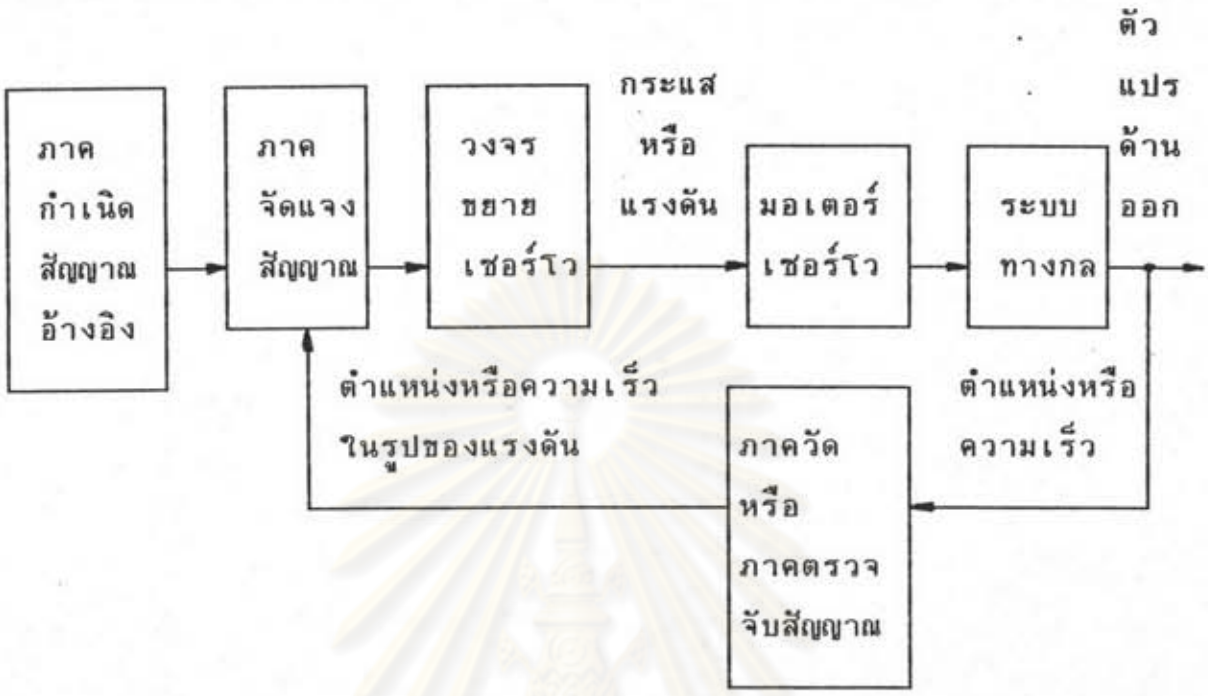
บทนำ

1.1 ความเบื้องต้น

ระบบควบคุมตำแหน่งและความเร็วนับเป็นส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม [Wilson, 1970] เช่น อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์, อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ , อุตสาหกรรมสิ่งทอ ฯลฯ นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ในทางการทหาร เช่น การควบคุมการยิงจรวด, การควบคุมการยิงปืนใหญ่ ทางการสื่อสาร เช่น การควบคุมตำแหน่งของจานสายอากาศ หรือจานเรดาร์ เป็นต้น ในปัจจุบันได้มีการนำหุ่นยนต์มาใช้ในงานต่างๆ เพิ่มขึ้นเป็นอันมาก ระบบหลักในการควบคุมหุ่นยนต์ ก็คือ ระบบควบคุมตำแหน่งและ ความเร็ว ทำให้ระบบควบคุมตำแหน่งและความเร็วมีความสำคัญมากขึ้นเป็นทวีคูณ อันที่จริงแล้วระบบควบคุมตำแหน่งและความเร็วก็คือระบบเซอร์โว (servo system) นั่นเอง โดยพื้นฐานแล้วระบบเซอร์โวก็คือระบบควบคุมที่มีการป้อนกลับของตัวแปรที่ถูกควบคุมซึ่งอาจเป็นตำแหน่งหรือความเร็ว โดยนำมาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงของตัวแปรที่ถูกควบคุมเพื่อรักษาให้ตัวแปรที่ถูกควบคุมมีค่าตามที่กำหนดไว้ [Jacob, 1989] ระบบเซอร์โวที่มีใช้งานในปัจจุบันก็มีหลายแบบด้วยกัน ระบบเซอร์โวทางไฟฟ้านับเป็นระบบเซอร์โวที่นิยมใช้กันมากแบบหนึ่ง รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบเซอร์โวทางไฟฟ้าที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งหรือความเร็ว จากบล็อกไดอะแกรมดังกล่าวจะเห็นได้ว่าระบบเซอร์โวทางไฟฟ้าจะประกอบด้วยส่วนต่างๆที่สำคัญดังนี้คือ

- ภาคกำเนิดสัญญาณอ้างอิง
- ภาคจัดแจงสัญญาณ
- วงจรขยายเซอร์โว
- มอเตอร์เซอร์โว
- ระบบทางกล
- ภาควัด หรือภาคตรวจจับสัญญาณออก

โดยแต่ละส่วนที่ประกอบขึ้นเป็นระบบมีหน้าที่ดังนี้คือ



รูปที่ 1.1
บล็อกไดอะแกรมของระบบเซอร์โวทางไฟฟ้า
ที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งหรือความเร็ว

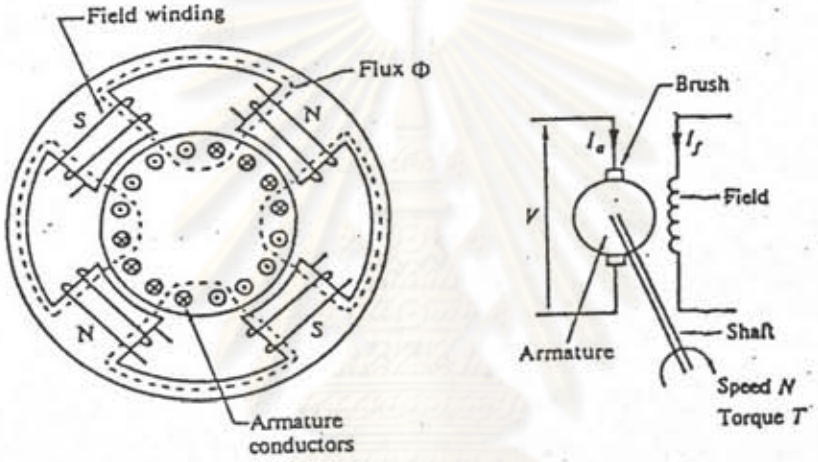
1.1.1 <u>ภาคกำเนิดสัญญาณอ้างอิง</u> ทำหน้าที่ให้กำเนิดสัญญาณอ้างอิงของตัวแปรที่ถูกควบคุม ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของแรงดันระหว่าง 0 - 10 โวลต์ หรือ กระแส 4 - 20 มิลลิแอมแปร์ สัญญาณออกของภาคกำเนิดสัญญาณอ้างอิงจะป้อนให้กับวงจรเปรียบเทียบของภาคจัดแจงสัญญาณ

1.1.2 <u>ภาคจัดแจงสัญญาณ</u> ทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณป้อนกลับจากภาควัดหรือ ภาคตรวจจับสัญญาณของตัวแปรที่ถูกควบคุมกับสัญญาณอ้างอิงจากภาคกำเนิดสัญญาณอ้างอิง และทำหน้าที่จัดแจงสัญญาณความคลาดเคลื่อนให้เหมาะสมและใช้เป็นสัญญาณควบคุมป้อนให้กับภาคขาเข้าของวงจรขยายเซอร์โว เพื่อที่จะทำให้ระบบมีคุณสมบัติที่ดีและมีเสถียรภาพ ภาคจัดแจงสัญญาณอาจเป็นได้ทั้งแบบเชิงเลขและแบบเชิงเส้น [Wilson, 1970] แต่ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะหันมาใช้แบบเชิงเลขกันมากขึ้น

1.1.3 <u>วงจรขยายเซอร์โว</u> ทำหน้าที่ขยายสัญญาณคำสั่งจากภาคจัดแจงสัญญาณเพื่อป้อนกำลังงานแก่มอเตอร์เซอร์โว โดยที่คำสั่งนั้นจะเป็นคำสั่งควบคุมกระแสหรือคำสั่งควบคุมแรงดันก็ได้ ซึ่งจะเป็นผลให้วงจรขยายเซอร์โวทำหน้าที่เป็นวงจรขยายกระแส หรือ วงจรขยายแรงดัน ตามลำดับ วงจรขยายเซอร์โวมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ [Electro-craft corporation, 1977; Leonhard, 1985] เช่น วงจรขยายเซอร์โวแบบสวิตชิง ,วงจรขยายเซอร์โวแบบเชิงเส้น,วงจรขยายเซอร์โวแบบควบคุมเพส วงจรขยายเซอร์โวแบบเชิงเส้นเป็นวงจรขยายที่มีการตอบสนองที่เร็วแต่จะมีข้อเสียที่ประสิทธิภาพต่ำ ส่วนวงจรขยายเซอร์โวแบบควบคุมเพสจะมีประสิทธิภาพสูงแต่มีการตอบสนองที่ช้า [Leonhard, 1985] สำหรับวงจรขยายเซอร์โวแบบสวิตชิงโดยทั่วไปจะมีความเร็วในการตอบสนองที่ช้ากว่าแบบเชิงเส้น (ขึ้นกับความถี่ในการสวิตช์) แต่ก็สามารถทำให้มีความเร็วเพียงพอสำหรับขับนำมอเตอร์เซอร์โว และมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง ถึงแม้ว่าจะต่ำกว่าวงจรขยายเซอร์โวแบบควบคุมเฟส นอกจากนี้วงจรขยายเซอร์โวอาจจะจำแนกออกตามลักษณะของกระแสและแรงดันออกได้ 2 ชนิด คือ วงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงใช้สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรง และวงจรขยายเซอร์โวกระแสสลับ ใช้สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์เซอร์โวกระแสสลับ

1.1.4 <u>มอเตอร์เซอร์โว</u> ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังทางกลเพื่อขับเคลื่อนระบบเชิงกลโดยได้รับกำลังไฟฟ้าจากวงจรขยายเซอร์โว มอเตอร์เซอร์โวจะมีโครงสร้างทางไฟฟ้าเหมือนกับมอเตอร์แบบทั่วไป แต่ในทางกลส่วนที่มีการเคลื่อนไหวของมอเตอร์เซอร์โว จะถูกออกแบบให้มีความเฉื่อย(inertia)น้อยกว่า โดยจะทำให้อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางต่อความยาวของส่วนหมุนน้อยลง [Wilson, 1970] มอเตอร์เซอร์โวที่ใช้กันอาจเป็นทั้งมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงและมอเตอร์เซอร์โวกระแสสลับ มอเตอร์เซอร์โวกระแสสลับจะมีข้อดีในแง่ของความทนทานและบำรุงรักษาน้อย แต่มอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงจะมีข้อดีในแง่ของการควบคุม โดยเฉพาะการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ซึ่งทำได้ง่ายกว่ามอเตอร์เซอร์โวกระแสสลับ เนื่องจากการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงมีลักษณะการควบคุมแบบ Decoupling [Bose, 1986] สำหรับมอเตอร์แบบที่มีแม่เหล็กถาวรหรือมอเตอร์ที่มีการต่อวงจรขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กแบบแยก (seperately excited dc motor) ซึ่งทำให้มอเตอร์

เซอร์โวกระแสตรงมีการตอบสนองที่เร็วกว่า มอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน เช่นเดียวกับ มอเตอร์กระแสตรงทั่วไป กล่าวคือ ประกอบด้วย วงจรสนาม (field circuit)และวงจรอาร์เมเจอร์ (armature circuit) รูปที่ 1.2 ก. แสดงโครงสร้างของมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงแบบที่มีขั้วแม่เหล็ก 4 ขั้ว วงจรสนามจะเป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็กโดยอาศัยไฟฟ้ากระแสตรงที่ไหลผ่านขดลวดสนาม (field winding) ซึ่งตามปกติจะติดตั้งอยู่ที่โครงของตัวมอเตอร์ ขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าของมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงที่มีขนาดเล็กมักจะถูกแทนด้วยแม่เหล็กถาวร



(ก) (ข)

รูปที่ 1.2

(ก) แสดงโครงสร้าง และ (ข)สัญลักษณ์ที่ใช้แทนมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรง

รูปที่ 1.2 ก. แสดงวงจรอาร์เมเจอร์และทิศทางของไฟฟ้ากระแสตรงในขดลวดด้วย เนื่องจากกระแสไฟฟ้าในขดลวดของอาร์เมเจอรจะเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงจิงต้องมีคอมมิวเตเตอร์เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับในตัวนำของวงจรอาร์เมเจอร์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่เข้าออกทางแปรงถ่าน การควบคุมมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

ก. <u>การควบคุมที่วงจรสนาม</u> (field control) วิธีนี้จะทำโดยการควบคุมสนามแม่เหล็กผ่านทางกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า การควบคุมแบบนี้มีข้อดีในแง่การควบคุมง่าย เนื่องจากใช้กำลัง

ไฟฟ้าน้อย แต่ข้อเสียที่สำคัญคือ มีการตอบสนองที่ช้า เนื่องจากตัวเหนี่ยวนำในวงจรสนามมีค่ามากเมื่อเทียบกับวงจรอาร์เมเจอร์ นอกจากนี้ยังไม่สามารถควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ได้โดยตรง บางครั้งเรียกการควบคุมแบบนี้ว่าเป็นการควบคุมแบบกำลังงานสูงสุดคงที่ [Leonhard, 1985] เนื่องจากการควบคุมแบบนี้จะมีค่ากำลังออกสูงสุดของมอเตอร์คงที่

ข. การควบคุมที่วงจรอาร์เมเจอร์ วิธีนี้จะทำโดยการควบคุมกระแสหรือแรงดันของวงจรอาร์เมเจอร์ ถึงแม้จะควบคุมยากกว่าแบบแรกเนื่องจากเป็นส่วนที่ใช้กำลังงานมากกว่า แต่จะให้ผลดีกล่าวคือ จะมีการตอบสนองที่เร็วกว่าและสามารถควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ได้โดยตรงถ้าสามารถควบคุมกระแสอาร์เมเจอร์ได้ บางครั้งเรียกการควบคุมที่วงจรอาร์เมเจอร์ว่าเป็นการควบคุมแบบแรงบิดคงที่ [Leonhard, 1985] เนื่องจากแรงบิดสูงสุดของมอเตอร์จะมีค่าคงที่ เมื่อกระแสสูงสุดในอาร์เมเจอร์มีค่าเท่ากับค่านิกัด

1.1.5 ระบบทางกล คือระบบเชิงกลที่ใช้ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ที่ต้องการควบคุมดังตัวอย่าง เช่น ปืนใหญ่ แขนหุ่นยนต์ เป็นต้น

1.1.6 ภาควัดหรือภาคตรวจจับสัญญาณ ทำหน้าที่เปลี่ยนรูปแบบของตัวแปรที่ถูกควบคุม เช่น ตำแหน่ง ความเร็ว เป็นต้น ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าและจัดแจงให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง ตัวอย่างของภาควัดเช่น tachomoter, angular-motion potentiometer [Lenk, 1980] เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษา วิเคราะห์ และ เลือกรูปแบบของ ภาคกำลัง ภาคควบคุม และ ระบบป้องกัน ของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงแบบสวิตชิง เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรง ซึ่งควบคุมที่วงจรอาร์เมเจอร์

2. ออกแบบและสร้างวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงแบบสวิตชิง

3. ทดสอบคุณสมบัติต่างๆทางไฟฟ้าของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงแบบสวิตชิงที่สร้างขึ้น

4. เปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการวิเคราะห์และคำนวณที่ออกแบบไว้แล้วปรับปรุงให้ดีขึ้น

1.3 ขอบเขตการวิจัย

วงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงที่สร้างขึ้น จะมีคุณสมบัติดังนี้

1. สามารถจ่ายภาระไฟฟ้าชั่วขณะได้สูงสุด 2 กิโลวัตต์ ที่ 100 โวลต์ กระแสออกสูงสุด 20 แอมแปร์ และจ่ายภาระไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องได้สูงสุด 1 กิโลวัตต์ ที่ 100 โวลต์ กระแสออก 10 แอมแปร์

2. สามารถทำหน้าที่เป็นทั้งวงจรขยายกระแสและวงจรขยายแรงดัน

3. พลังงานสามารถไหลได้สองทิศทางและแรงดันออกสามารถกลับทิศทางได้โดยไม่ต้องกลับทิศทางแรงดันของแหล่งจ่ายพลังงาน

4. มีแถบความถี่สำหรับสัญญาณขนาดเล็กเมื่อทำงานเป็นวงจรขยายแรงดันมากกว่า 500 เฮิรตซ์

5. สามารถป้องกันตัวเองโดยป้องกันแรงดันเข้าเกินรวมทั้งวงจรระบายแรงดันที่สูงเกินชั่วขณะเนื่องจากรับพลังงานคืนจากมอเตอร์ ป้องกันแรงดันเข้าต่ำเกินไป ป้องกันกระแสเข้าและกระแสออกมากเกินไป

6. มีการคงค่าแรงดันน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ และมีการคงค่ากระแสน้อยกว่า 0.4 เปอร์เซ็นต์ที่กำลังออก 1 กิโลวัตต์

7. มีประสิทธิภาพมากกว่า 80 % ที่กำลังออก 1 กิโลวัตต์

1.4 ความสำคัญหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยนี้

1. ด้านวิชาการ ได้ประสบการณ์ในการออกแบบและสร้างวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงแบบสวิตชิงทั้งภาคกำลัง ภาคควบคุม และระบบป้องกัน เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามข้อกำหนดตลอดจนวิธีการทดสอบวงจรขยายเซอร์โว

2. ด้านประยุกต์ จะได้เครื่องต้นแบบเพื่อนำไปใช้งานและเป็นแนวทางในการพัฒนาเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมต่อไป

1.5 วิธีการดำเนินงานโดยย่อ

1. ศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบของวงจรกำลัง ตลอดจนวิธีการควบคุมแบบต่างๆ

2. กำหนดโครงสร้างและหาแนวทางในการออกแบบตลอดจนสำรวจอุปกรณ์ที่หาได้ในประเทศ

3. ออกแบบและตรวจสอบระบบที่ออกแบบไว้โดยการจำลองการทำงานบนไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อหาจุดบกพร่องและหาทางแก้ไขให้ดีขึ้น

4. จัดหาอุปกรณ์ และประกอบวงจรที่ออกแบบไว้

5. ทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวงจรที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการออกแบบ

6. แก้ไขจุดบกพร่องต่าง ๆ ที่เห็นสมควร ทดสอบคุณสมบัติเพื่อรวบรวมข้อมูลที่จะใช้ในการจัดทำวิทยานิพนธ์

7. จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย