หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การทดสอบวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรง

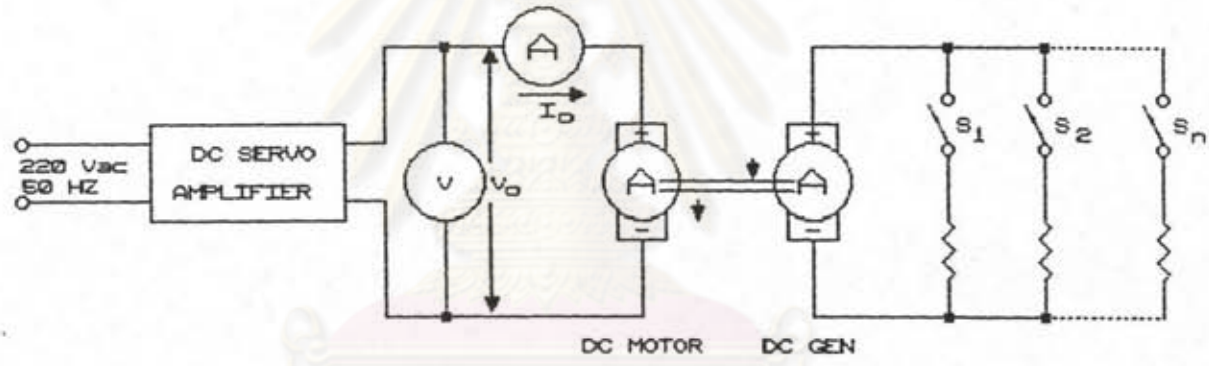
จากข้อกำหนดของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงตามขอบเขตการวิจัยดังได้กล่าวมาแล้ว จึงได้ออกแบบและสร้างวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงตามรายละเอียดในบทที่ 3 และ 4 เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงที่สร้างขึ้น จึงได้มีการทดสอบและวัดคุณสมบัติของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงที่สร้างขึ้น และนำผลไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการออกแบบและคำนวณตลอดจนการจำลองการทำงานของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์ โดยมีการแบ่งการทดสอบออกเป็น 4 กลุ่มดังต่อไปนี้คือ

- การทดสอบคุณสมบัติในสถานะอยู่ตัว (steady state characteristics)
- การทดสอบคุณสมบัติเชิงความถี่ (freqency responses)
- การทดสอบคุณสมบัติเชิงพลวัต (dynamic characteristers)
- การวัดสัญญาณภายในของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรง

5.1 การทดสอบคุณสมบัติในสถานะอยู่ตัว (steady state characteristics)

เป็นการทดสอบหาคุณสมบัติของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรง ที่เงื่อนไขต่างๆในสถานะอยู่ตัว ได้แก่ การทดสอบหาประสิทธิภาพ,การทดสอบหาความเป็นเชิงเส้นของอัตราขยาย,การคงค่าแรงดันและกระแสออก ตลอดจนการกระเพื่อมของกระแสออกและแรงดันออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรง โดยในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบโดยมีค่าพิกัดสูงสุดของ แรงดันออกเท่ากับ 100 โวลต์ และพิกัดสูงสุดของกระแสออก เท่ากับ 10 แอมแปร์ ซึ่งเป็นค่าพิกัดสูงสุดในสถานะอยู่ตัว สำหรับโหลดของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงได้แก่ มอเตอร์กระแสตรงขนาด 3.5 แรงม้า ซึ่งมีตัวแปร (parameters) ทางไฟฟ้าและเชิงกลตามที่ได้ใช้ในการออกแบบและจำลองการทำงานของวงจรขยาย

เซอร์โวกระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลการทดลองกับค่าที่ได้ออกแบบและค่าที่ได้จากการจำลองการทำงานของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรง แกนหมุนของมอเตอร์ตัวนี้ถูกต่อเข้ากับแกนหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่เป็นภาระของมอเตอร์กระแสตรง เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงนี้จะมีโหลดตัวต้านทานดังแสดงในรูปที่ 5.1 การปรับโหลดของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงทำโดยการเพิ่มหรือลดตัวต้านทานที่เป็นโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนวงจรสนามของทั้งมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะทำการกระตุ้นแบบแยกโดยใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงคงที่ขนาด 220 โวลต์ จากวงจรภายนอก มอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังกล่าวเป็นชุดทดลองที่ติดตั้งอยู่ในห้องปฏิบัติการเครื่องจักรกลไฟฟ้า (ตึกเกเวิตช์) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.1 วงจรที่ใช้ในการทดสอบ

การปรับค่าของแรงดันออกหรือกระแสออก เมื่อวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงทำงานในภาคแรงดันหรือภาคกระแส สามารถทำได้โดยการปรับค่าตั้งของวงจรตั้งค่าซึ่งอยู่ภายในวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรง

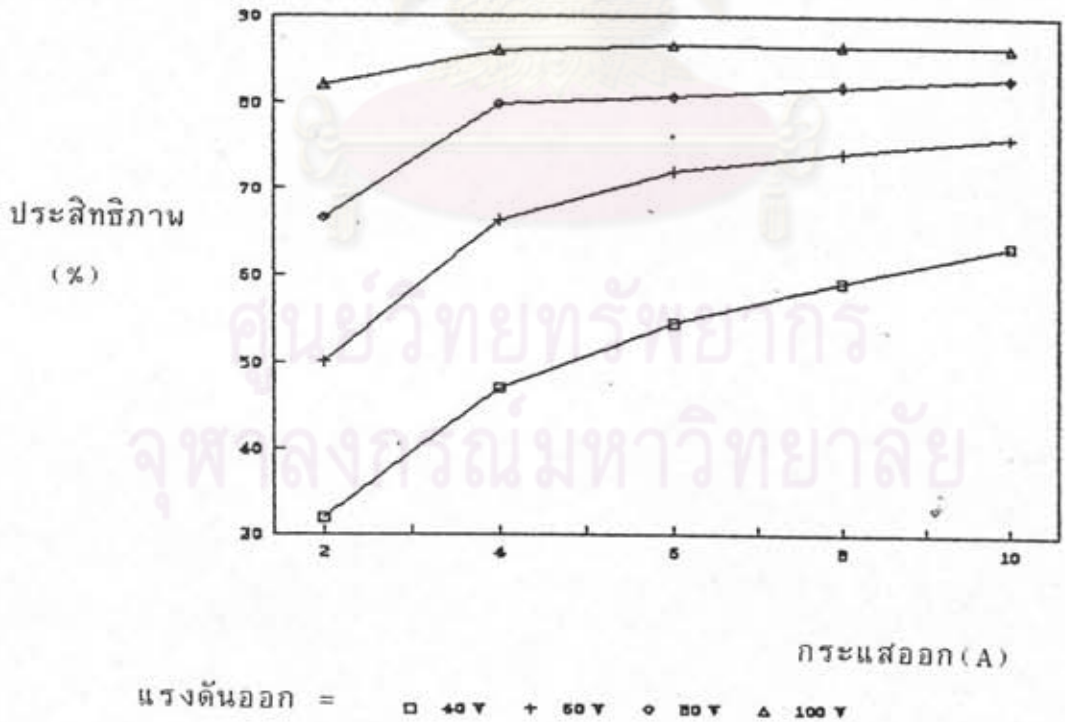
5.1.1 <u>การทดสอบประสิทธิภาพ (η)</u> เป็นการทดสอบหาอัตราส่วนระหว่างกำลังงานออก (P_o) ต่อกำลังงานเข้า (P_{in}) ของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรง ตามสมการที่ 5.1

$$\eta = (P_o/P_{in})\times 100 \qquad (5.1)$$

การวัดกำลังงานออกทำโดยการวัดกระแสออกและแรงดันออกของวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรงโดยใช้แอมป์มิเตอร์และโวลต์มิเตอร์กระแสตรง กำลังออกของวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรง(P_o) จะมีค่าเท่ากับผลคูณของกระแสและแรงดันออกตามสมการที่ 5.2

$$P_o = I_o \times V_o \qquad (5.2)$$

ส่วนการวัดกำลังงานเข้ารวมจำเป็นต้องใช้ True rms Wattmeter ในการวัด เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟตรงของวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรงมีวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ ทำหน้าที่แปลงไฟสลับให้เป็นไฟตรง และมีวงจรกรองเป็นตัวเก็บประจุ ทำให้กระแสด้านเข้าของวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรงมีลักษณะรูปคลื่นที่ไม่ใช่ไซน์ เนื่องจากประสิทธิภาพของวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรงจะขึ้นอยู่กับค่าของกระแสและแรงดันออกของวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรง ดังนั้นจึงได้มีการทดสอบหาประสิทธิภาพของวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรง ที่กระแสและแรงดันออกค่าต่าง ๆ กันดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพของวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรง

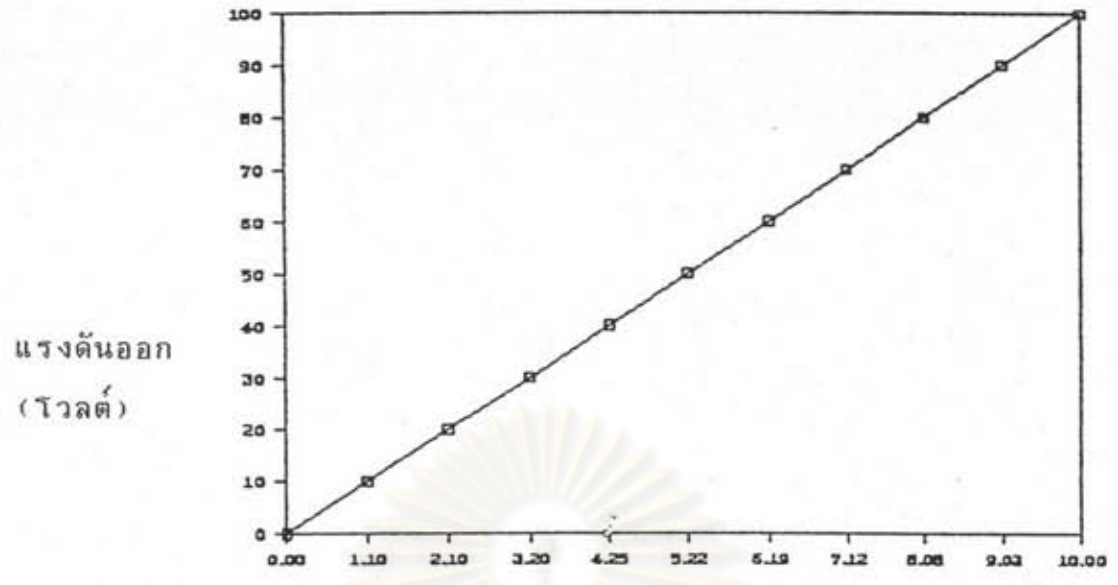
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดลองให้รูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรงจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกำลังออกเพิ่มขึ้น โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 86.4 เปอร์เซ็นต์ ที่กำลังงานขาออกสูงสุด (100 โวลต์ 10 แอมแปร์) กรณีที่กำลังงานออกมีค่าเท่ากันสำหรับแรงดันและกระแสออกที่แตกต่างกันจะพบว่าที่แรงดันออกสูง กระแสออกต่ำ ประสิทธิภาพของวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรงจะมีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพที่แรงดันออกต่ำกระแสออกสูง เนื่องจากกำลังงานสูญเสียภายในวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรงขึ้นกับกระแสออกค่อนข้างมาก เมื่อใช้กระแสออกมากกว่าจึงมีกำลังงานสูญเสียมากกว่า ทำให้ประสิทธิภาพต่ำกว่านั่นเอง

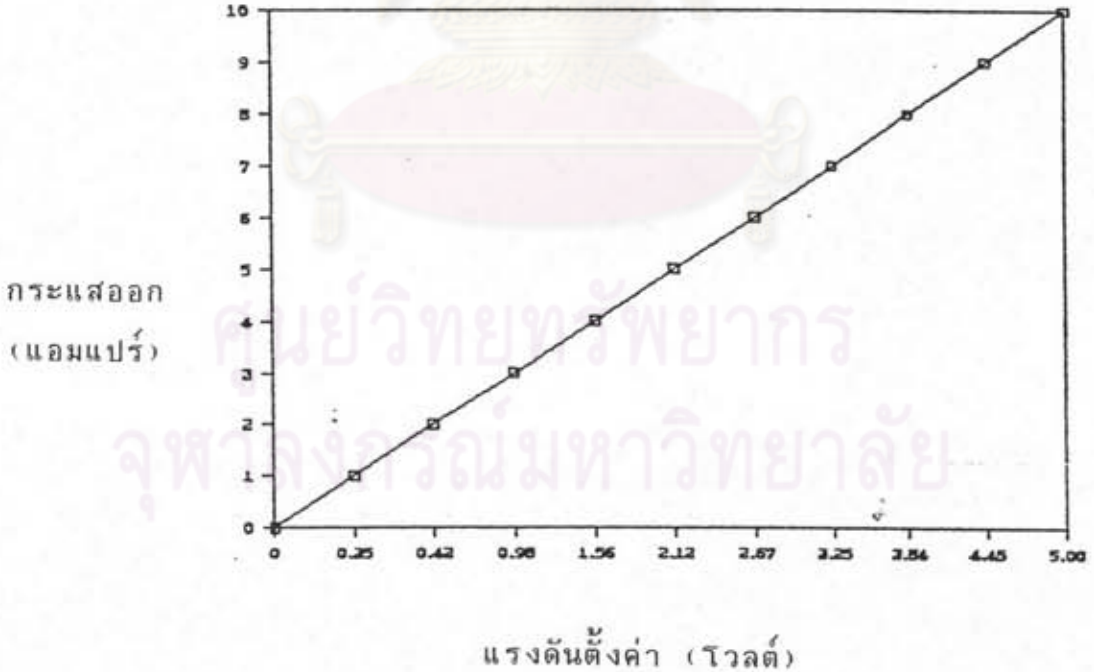
5.1.2 การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอัตราขยาย (linearity) เนื่องจากวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรงสามารถทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานที่สามารถควบคุมกระแสออกหรือแรงดันออกก็ได้ โดยที่การกำหนดค่ากระแสออกหรือแรงดันออกจะทำโดยการใช้แรงดัน ซึ่งมีค่า 0-10 โวลต์ในการตั้งค่า กระแสออกจาก 0-20 แอมแปร์หรือแรงดันออกจาก 0-100 โวลต์ เพื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้นของความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตั้งค่ากับกระแสออกหรือแรงดันออกของวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรงที่สร้างขึ้น จึงได้ทำการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสออก (I_o) กับ แรงดันตั้งค่า (V_r) เมื่อทำงานในภาคกระแส และความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันออก (V_o) กับ แรงดันตั้งค่า (V_r) เมื่อทำงานในภาคแรงดัน

วงจรที่ใช้ในการทดสอบแสดงอยู่ในรูปที่ 5.1 โดยแรงดันตั้งค่าจะได้จากวงจรตั้งค่าภายในวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรง การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันออก (V_o) กับ แรงดันตั้งค่า (V_r) เมื่อวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรงทำงานในภาคแรงดันจะทดสอบที่กระแสออก 2 แอมแปร์ ยกเว้นที่แรงดันออกเป็นศูนย์จะมีกระแสออกมีค่าเป็นศูนย์ ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันออกกับแรงดันตั้งค่าของวงจรขยายเชอร์โวเป็นดังในรูปที่ 5.3

ส่วนการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสออก (I_o) กับแรงดันตั้งค่า (V_r) เมื่อวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรงทำงานในภาคกระแสจะทำการทดสอบที่แรงดันออก 100 โวลต์ ยกเว้นที่กระแสขาออกมีค่าเป็นศูนย์จะมีแรงดันขาออกเป็นศูนย์ ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสออกกับแรงดันตั้งค่าของวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรงเป็นดังในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันออก (V_o) กับแรงดันตั้งค่า (V_r)



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสออก (I_o) กับแรงดันตั้งค่า (V_r)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันออก (V_o) กับแรงดันตั้งค่า (V_r) จะมีลักษณะเป็นแบบเชิงเส้นโดยมีความลาดชันของกราฟซึ่งเป็นอัตราขยายแรงดันของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงเท่ากับ 10 โดยประมาณและจากรูปที่ 5.3 จะเห็นได้ว่ากระแสออก (I_o) และแรงดันตั้งค่า (V_r) จะมีลักษณะเป็นแบบเชิงเส้นโดยมีความลาดชันของกราฟซึ่งเป็นอัตราขยายกระแสควบคุมด้วยแรงดันของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงเท่ากับ 2 แอมแปร์ ต่อ โวลต์ โดยประมาณ

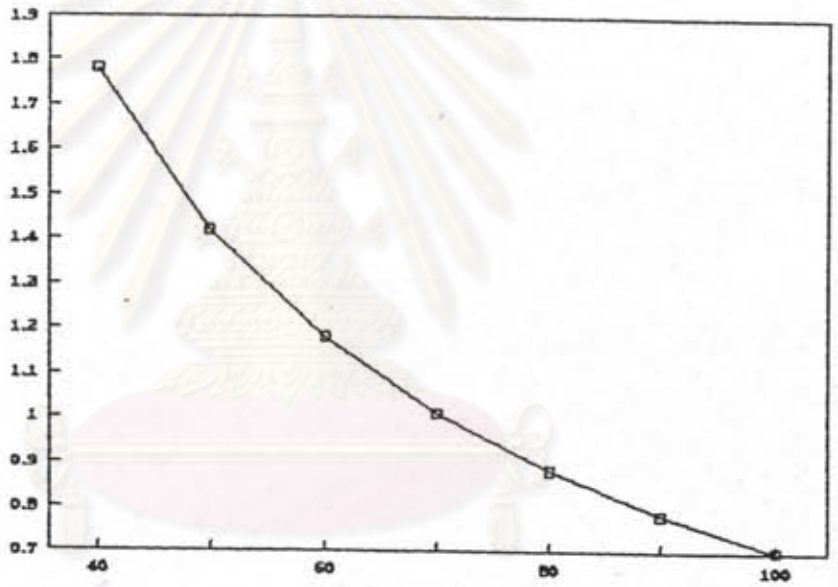
5.1.3 <u>การทดสอบหาการคงค่า (regulation)</u> การคงค่า (regulation) เป็นปริมาณที่บอกให้ทราบถึงเสถียรภาพของตัวแปรด้านออกที่ต้องการควบคุมซึ่งได้แก่แรงดันออก (V_o) หรือ กระแสออก (I_o) เมื่อมีการเปลี่ยนของโหลดหรือแรงดันด้านเข้า โหลดของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงเมื่อทำงานในภาคแรงดัน ก็คือกระแสออก แต่เมื่อวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงทำงานในภาคกระแสโหลดจะเป็นแรงดันออก จากเงื่อนไขที่แตกต่างกันดังกล่าวจึงต้องทดสอบหาการคงค่าสำหรับเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยจะทำการวัดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันออกเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงกระแสออก วัดการเปลี่ยนแปลงของกระแสออกเนื่องจากแรงดันออกและวัดการเปลี่ยนแปลงของกระแสออกและแรงดันออกเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเข้า

5.1.3.1 <u>การทดสอบหาการคงค่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเข้า (line regulation)</u> เป็นการทดสอบหาการเปลี่ยนแปลงของกระแสออกหรือแรงดันออกเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเข้าสำหรับโหลดที่มีค่าคงที่ การทดสอบจะทำโดยการรักษาโหลดของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงซึ่งได้แก่ ชุดมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงให้คงที่แล้วทำการปรับแรงดันเข้าให้เปลี่ยนแปลงในช่วง +/- 10% ของแรงดันปกติ (220 โวลต์) และวัดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันออกเมื่อวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงทำงานในภาคแรงดัน หรือวัดการเปลี่ยนแปลงของกระแสออกเมื่อวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงทำงานในภาคกระแส ในการทดสอบหาการคงค่าแรงดันจะทดสอบในช่วงแรงดันออกระหว่าง 0-100 โวลต์ และทดสอบหาการคงค่ากระแสออกจะทดสอบในช่วงกระแสออกระหว่าง 0-10 แอมแปร์ จากการทดสอบพบว่าไม่สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันออกด้วยโวลต์มิเตอร์ที่มีความละเอียดถึง 0.01 โวลต์และไม่สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงของกระแสออก

ด้วยแอมป์มิเตอร์ที่มีความละเอียดถึง 0.1 แอมแปร์

5.1.3.2 <u>การทดสอบหาการคงค่าแรงดันออกเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสออก (load voltage regulation)</u> การคงค่าแรงดันออกคือเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของแรงดันออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงที่ทำงานในภาคแรงดันเมื่อกระแสออกเพิ่มจาก 0 ถึงกระแสพิกัด (10 แอมแปร์) โดยมีการรักษาแรงดันเข้าให้คงที่

การทดสอบการคงค่าแรงดันออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงเมื่อกระแสออกเพิ่มจาก 0 แอมแปร์เป็น 10 แอมแปร์ จะมีการทดสอบสำหรับการตั้งค่าแรงดันออกต่างๆ กันระหว่าง 40-100 โวลต์ รูปที่ 5.5 เป็นกราฟที่แสดงค่าการคงค่าของแรงดันออกสำหรับแรงดันออกค่าต่าง ๆ กัน



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง load voltage regulation กับแรงดันออก (V_o)

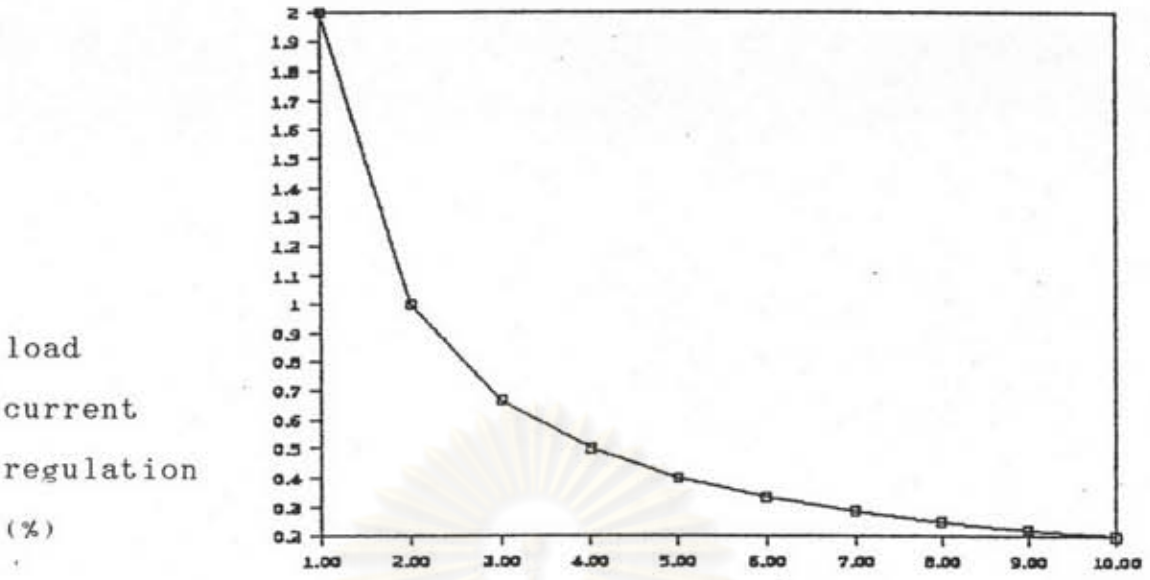
จากกราฟในรูปที่ 5.5 จะเห็นได้ว่า load voltage regulation ของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงจะมีค่าต่ำสุดเมื่อแรงดันออกมีค่าสูงสุดกล่าวคือที่แรงดันออก 100 โวลต์ การคงค่าแรงดันเท่ากับ 0.7 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดันออกลดลง จากการทดลองพบว่าการลดลงของแรงดันออกจะมี

ค่าคงที่เท่ากับ 0.7 โวลต์สำหรับทุกค่าของแรงดันออก ซึ่งลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าความต้านทานขาออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับแรงดันออก เนื่องจากการเปลี่ยนค่าของแรงดันออกไม่มีผลต่ออัตราขยายวงรอบและการที่ความต้านทานขาออกมีค่าค่อนข้างคงที่ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงของวัฏจักรงานในวงกว้าง แสดงให้เห็นว่าความต้านทานขาออกของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงที่เปลี่ยนแปลงกับวัฏจักรงานน่าจะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความต้านทานที่มีค่าคงที่เช่นความต้านทานในตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรอง, ความต้านทานของตัววัดกระแส เป็นต้น

5.1.3.3 <u>การทดสอบหาการคงค่ากระแสออกเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันออก (load current regulation)</u> การคงค่ากระแสออกคือเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของกระแสออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงที่ทำงานในภาคกระแสเมื่อแรงดันออกเพิ่มจาก 0 โวลต์ขึ้นไปสู่ค่าพิกัด (100 โวลต์) โดยมีการรักษาแรงดันเข้าให้คงที่

การทดสอบการคงค่ากระแสออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงนั้นจะทำโดยการวัดการลดลงของกระแสออกเมื่อแรงดันออกเพิ่มจาก 40 โวลต์เป็น 100 โวลต์ จากนั้นก็ใช้วิธีการคำนวณหาการลดลงของกระแสออกเมื่อแรงดันเพิ่มจาก 0 เป็น 100 โวลต์โดยการ extrapolate ไปสู่ค่าแรงดันศูนย์ ในการทดสอบการคงค่าของกระแสออกนี้ได้มีการทดสอบสำหรับการตั้งค่ากระแสออกต่างๆ กันระหว่าง 1 ถึง 10 แอมแปร์ รูปที่ 5.6 เป็นกราฟที่แสดงค่าการคงค่ากระแสออกสำหรับกระแสออกค่าต่าง ๆ กัน

จากกราฟในรูปที่ 5.6 จะเห็นได้ว่า load current regulation ของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงจะมีค่าต่ำสุดเมื่อกระแสออกมีค่าสูงสุดกล่าวคือที่กระแสออก 10 แอมแปร์ การคงค่ากระแสมีค่าเท่ากับ 0.2 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสออกลดลง จากการทดสอบพบว่าการลดลงของกระแสออกจะมีค่าคงที่เท่ากับ 0.02 แอมแปร์ สำหรับทุกค่าของกระแสออก การลดลงของกระแสออกเมื่อแรงดันออกเพิ่มขึ้นนั้นเป็นเพราะ เมื่อแรงดันออกเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ทั้งวัฏจักรงานและความลาดชันของสัญญาณฟันเลื่อยชดเชยเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของทั้งวัฏจักรงานและความลาดชันของสัญญาณฟันเลื่อยชดเชยจะทำให้กระแสออกมีค่าลดลงซึ่งลักษณะดังกล่าวอาจจะแทนได้ด้วย ความนำที่ต่อขนานอยู่ทางด้านออกของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง เนื่องจากการเปลี่ยนค่าของกระแสออก

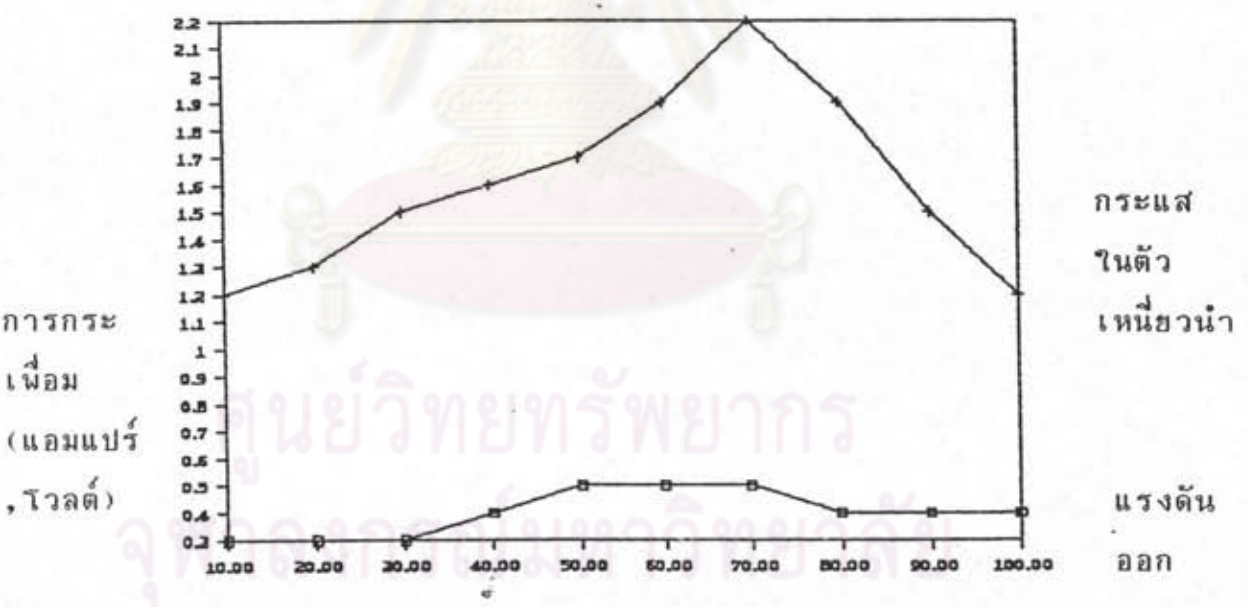


รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง load current regulation กับกระแสออก (I_o)

ไม่มีผลต่ออัตราขยายวงรอบ และการที่ค่ากระแสออกที่ลดลงไม่เปลี่ยนตามค่าของกระแสออกที่กำหนดแต่เปลี่ยนแปลงกับขนาดของแรงดันออกเท่านั้น แสดงให้เห็นว่าความนำค้านออกจะเป็นผลเนื่องมาจากค่าของวัฏจักรงานและความลาดชันของสัญญาณฟันเลื่อยชดเชยเป็นส่วนใหญ่

5.1.4 <u>การกระเพื่อมของกระแสในตัวเหนี่ยวนำและการกระเพื่อมของแรงดันออก</u> เนื่องจากการกระเพื่อมของกระแสในตัวเหนียวขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันออก เมื่อแรงดันเข้าและความถี่ในการทำงานของสวิตช์คงที่ และการกระเพื่อมของแรงดันออกจะขึ้นอยู่กับการกระเพื่อมของกระแสในตัวเหนี่ยวนำและขนาดของตัวเก็บประจุที่ใช้ เป็นผลให้การกระเพื่อมของแรงดันออกจะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันออกเช่นเดียวกันกับกระแสในตัวเหนี่ยวนำ ดังนั้นจะทำการวัดการกระเพื่อมของกระแสในตัวเหนี่ยวนำและการกระเพื่อมของแรงดันออกที่ค่าแรงดันออกต่างๆกันระหว่าง 10 ถึง 100 โวลต์ สำหรับผลของกระแสออกต่อการกระเพื่อมของกระแสในตัวเหนี่ยวนำและแรงดันออกนั้นจะเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของวัฏจักรงานเพื่อชดเชยการเปลี่ยนแปลงของแรงดันออกเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดซึ่งน่าจะมีค่าน้อย และจากการทดสอบพบว่า

ไม่สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงของการกระเพื่อมของทั้งกระแสในตัวเหนี่ยวนำ และการกระเพื่อมของแรงดันออกเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสออกได้ รูปที่ 5.7 เป็นกราฟที่แสดงค่าการกระเพื่อมของกระแสในตัวเหนี่ยวนำและแรงดันออกสำหรับค่าแรงดันออกต่างๆกัน จะเห็นได้ว่าการกระเพื่อมของแรงดันออกและการกระเพื่อมของกระแสออกมีลักษณะคล้ายกัน คือมีการกระเพื่อมน้อยที่แรงดันออกต่ำและแรงดันออกสูงโดยมีค่าการกระเพื่อมสูงสุดที่แรงดันออกประมาณ 70 โวลต์ แรงดันไฟตรงด้านเข้า 140 โวลต์ และวัฏจักรการทำงานของสวิตช์มีค่าประมาณ 0.5 ซึ่งเป็นค่าวัฏจักรงานที่ทำให้การกระเพื่อมของกระแสในตัวเหนี่ยวนำมีค่าสูงสุดตามผลการคำนวนทางทฤษฎี สำหรับการกระเพื่อมของกระแสออกนั้นจะขึ้นอยู่กับการกระเพื่อมของ แรงดันออกและลักษณะของโหลดเนื่องจากการกระเพื่อมของแรงดันออกมีค่าน้อย และในกรณีที่โหลดเป็นมอเตอร์กระแสตรงซึ่งค่า inductive reactance ที่ความถี่ 20 กิโลเฮิรตซ์ สูง ดังนั้นการกระเพื่อมของกระแสออกจะมีค่าน้อยมาก คือมีค่าน้อยกว่า 0.01 แอมแปร์



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงการกระเพื่อมของกระแสในตัวเหนี่ยวนำและการกระเพื่อมของแรงดันออก ที่แรงดันออกค่าต่าง ๆ

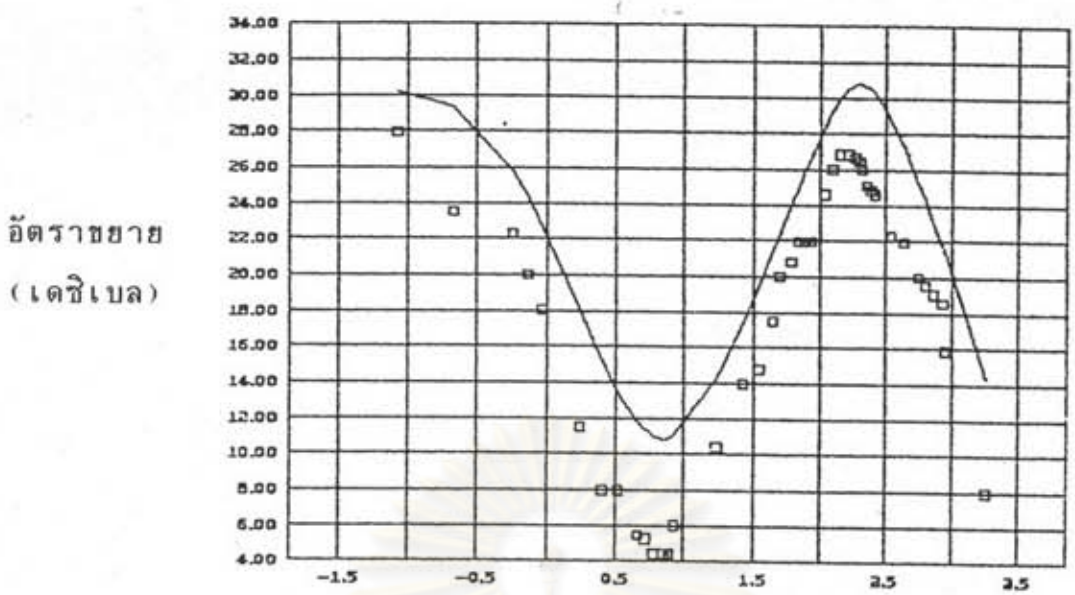
5.2 การทดสอบคุณสมบัติเชิงความถี่ (frequency response)

การทดสอบคุณสมบัติเชิงความถี่เป็นการทดสอบเพื่อหาผลตอบทางความถี่ของฟังก์ชันโอนย้ายสำหรับสัญญาณขนาดเล็กระหว่างสัญญาณควบคุมกระแส ($\hat{v}_c$) กับสัญญาณออก ($\hat{v}_o$ หรือ $\hat{i}_o$) เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้กับการคำนวณหาผลตอบดังกล่าวทางทฤษฎีดังในหัวข้อที่ 3.3.1 นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบหาผลตอบทางความถี่สำหรับสัญญาณขนาดเล็กของอัตราขยายวงรอบปิดแรงดัน ($\hat{v}_o/\hat{v}_r$) และอัตราขยายวงรอบปิดกระแส ($\hat{i}_o/\hat{v}_r$)

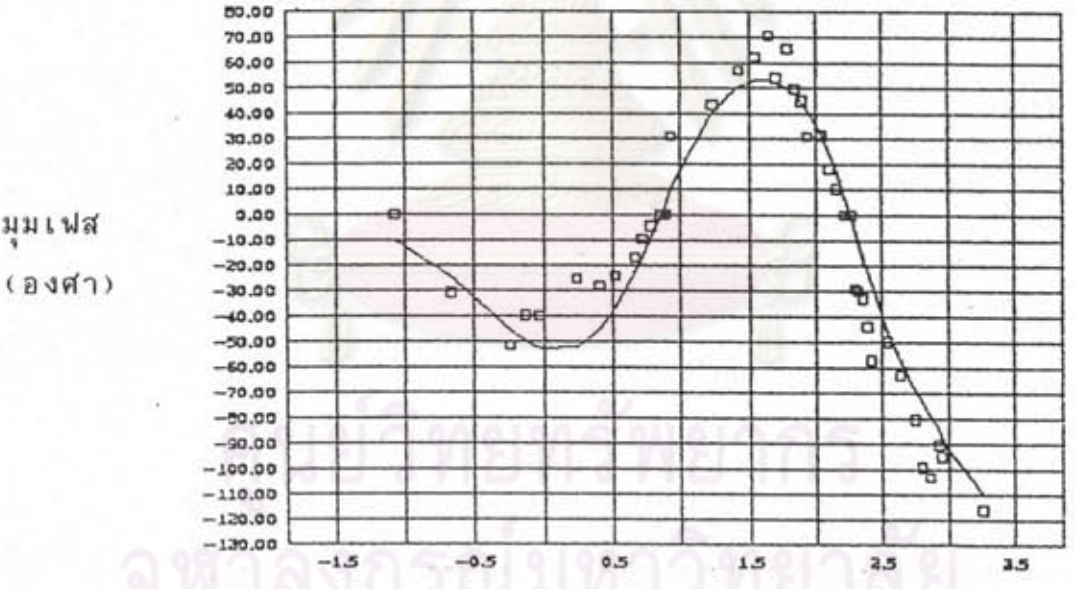
5.2.1 ผลตอบทางความถี่ของฟังก์ชันโอนย้ายสำหรับสัญญาณขนาดเล็กระหว่างสัญญาณควบคุมกระแส ($\hat{v}_c$) กับสัญญาณออก ($\hat{v}_o$ หรือ $\hat{i}_o$) ทำการทดสอบหาได้โดยป้อนสัญญาณควบคุมกระแส (v_c) จากวงจรภายนอก โดยสัญญาณนี้จะเป็นสัญญาณที่มีสัญญาณไซน์ผสมอยู่บนแรงดันไฟตรง โดยที่สัญญาณไซน์นี้สามารถแปลงเปลี่ยนความถี่และขนาดได้ ในการทดสอบได้ทำการทดสอบที่แรงดันออก 100 โวลต์ กระแสออก 10 แอมแปร์ ซึ่งจะมีวัฏจักรงานประมาณ 0.8 ส่วนสัญญาณควบคุมกระแส (v_c) วงจรภายนอกใช้ขนาดแรงดันไฟตรง 5.5 โวลต์ ขนาดสัญญาณไซน์ประมาณ 0.4โวลต์(ยอดถึงยอด) ได้ทำการวัดเปรียบเทียบขนาดและเฟสของสัญญาณไซน์ของสัญญาณควบคุมกระแส ($\hat{v}_c$) กับปริมาณไฟสลับของแรงดันออก ($\hat{v}_o$) และปริมาณไฟสลับของกระแสออก ($\hat{i}_o$) ที่ความถี่ต่างๆได้ผลแสดงดังในรูปที่ 5.8 และ 5.9 ตามลำดับโดยได้แสดงเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณด้วย

จากรูปที่ 5.8 และ 5.9 จะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากการคำนวณและการทดสอบมีลักษณะที่เหมือนกันมากแต่จะมีขนาดที่แตกต่างกันบ้าง ก็เนื่องจากในการคำนวณได้ละเลยผลของการสูญเสียบางอย่าง, ผลจากการกระเพื่อมของแรงดันเข้ารวมทั้งความไม่เป็นเชิงเส้นของการกระเพื่อมในตัวเหนี่ยวนำ

5.2.2 ผลตอบทางความถี่สำหรับสัญญาณขนาดเล็กของอัตราขยายวงรอบปิดแรงดัน ($\hat{v}_o/\hat{v}_r$) และอัตราขยายวงรอบปิดกระแส ($\hat{i}_o/\hat{v}_r$) ทำการทดสอบหาได้โดยป้อนแรงดันตั้งค่า (v_r) จากวงจรภายนอก โดยสัญญาณนี้จะเป็นสัญญาณที่มีสัญญาณไซน์ผสมอยู่บนแรงดันไฟตรง โดยที่สัญญาณไซน์นี้สามารถแปลงเปลี่ยนความถี่และขนาดได้ ในการทดสอบได้ทำการทดสอบที่แรงดันออก 100 โวลต์ กระแสออก 10 แอมแปร์ ซึ่งจะมีวัฏจักรงานประมาณ 0.8 ส่วน

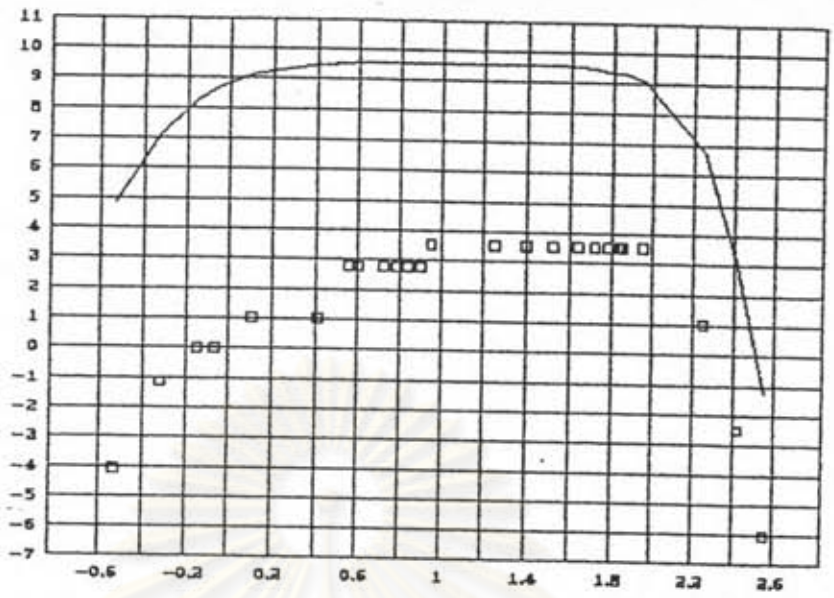


ก. อัตราขยาย

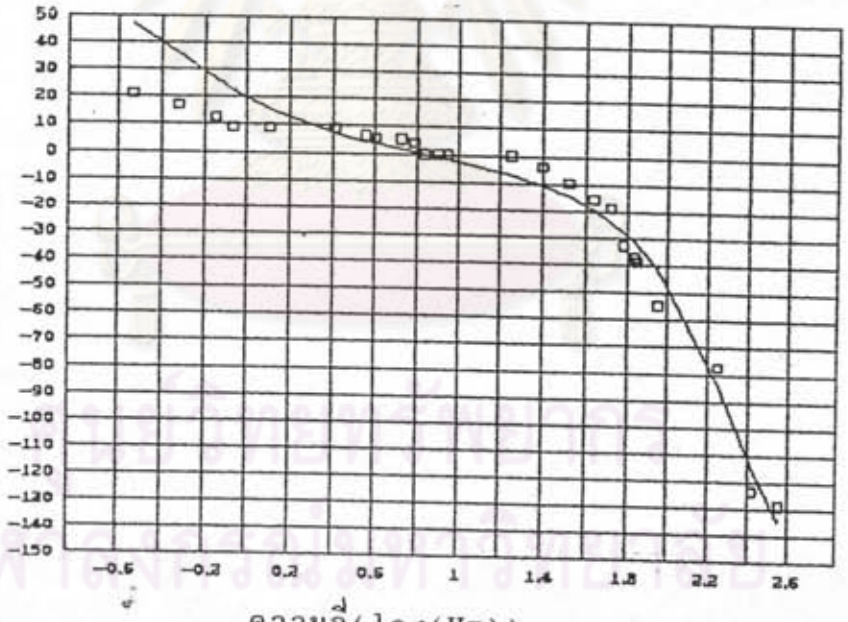


ข. มุมเฟส

รูปที่ 5.8 ผลการทดสอบหาผลตอบทางความถี่ของ $\hat{v}_o/\hat{v}_c$
ที่วัฏจักรงาน 0.8 เปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณทางทฤษฎี



ก. อัตราขยาย



ข. มุมเฟส

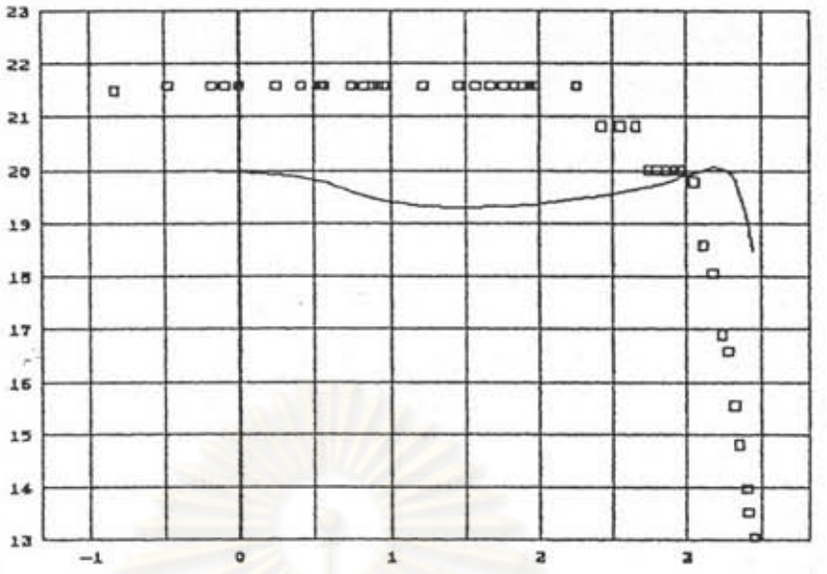
รูปที่ 5.9 ผลการทดสอบหาผลตอบทางความถี่ของ $\hat{i}_o/\hat{v}_c$
ที่วัฏจักรงาน 0.8เปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณทางทฤษฎี

แรงดันตั้งค่า(v_r)จากวงจรภายนอกใช้ขนาดแรงดันไฟตรง 10 โวลต์ ขนาดสัญญาณไซน์ประมาณ 0.4โวลต์(ยอดถึงยอด)ในกรณีทดสอบหา($\hat{v}_o/\hat{v}_r$) และใช้ขนาดแรงดันไฟตรง 5 โวลต์ ขนาดสัญญาณไซน์ประมาณ 0.4 โวลต์(ยอดถึงยอด)ในกรณีทดสอบหา($\hat{i}_o/\hat{v}_r$) ได้ทำการวัดเปรียบเทียบขนาดและเฟสของสัญญาณไซน์ของแรงดันตั้งค่า($\hat{v}_r$)กับปริมาณไฟสลับของแรงดันออก($\hat{v}_o$)และปริมาณไฟสลับของกระแสออก ($\hat{i}_o$) ที่ความถี่ต่างๆได้ผลแสดงดังในรูปที่ 5.10 และ 5.11 ตามลำดับโดยได้แสดงผลที่ได้จากการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบด้วย

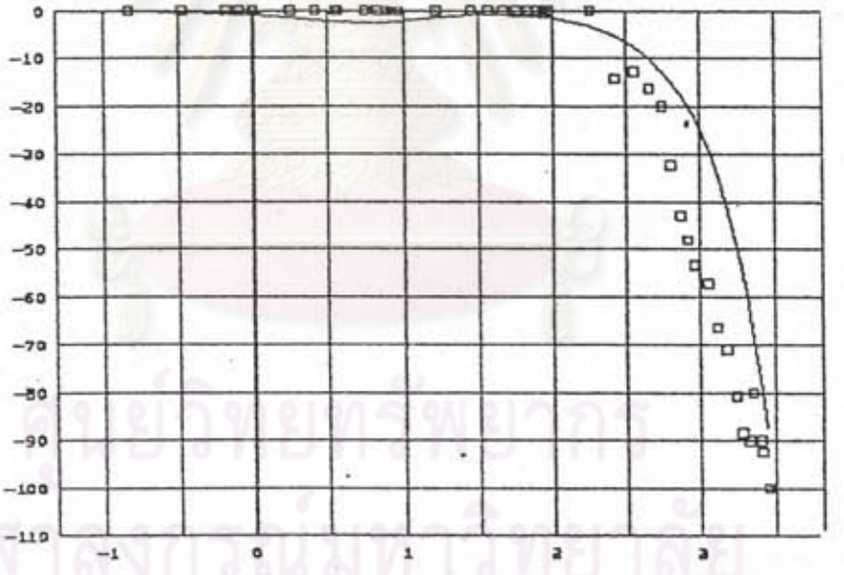
จากรูปที่ 5.10 และ 5.11 จะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากการคำนวณและการทดสอบมีลักษณะที่เหมือนกันแต่จะมีขนาดที่แตกต่างกันบ้างเช่นกัน

5.3 การทดสอบคุณสมบัติพลวัต (dynamic characteristics)

การทดสอบคุณสมบัติพลวัตจะบอกให้ทราบถึงความเร็วและลักษณะของการตอบสนองของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบได้แก่ การเปลี่ยนแปลงค่าตั้งและการเปลี่ยนแปลงของโหลด การทดสอบคุณสมบัติพลวัตเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าตั้งใช้สัญญาณแบบขั้น (unit step function) ในการทดสอบ ส่วนการทดสอบคุณสมบัติพลวัตเนื่องจากการเปลี่ยนโหลดจะทำโดยการเปลี่ยนโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อให้กำลังด้านออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงเปลี่ยนจากศูนย์เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ และ ลดจาก 100 เปอร์เซ็นต์เป็นศูนย์โดยแรงดันตั้งค่ามีค่าคงที่ เนื่องจากวงจรคุมค่ากระแสออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงเมื่อทำงานในภาคกระแสมีความแตกต่างจากวงจรคุมค่าแรงดันออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงเมื่อทำงานในภาคแรงดัน ดังนั้นการทดสอบคุณสมบัติพลวัตของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรง จะมีการทดสอบทั้งในกรณีที่วงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงทำงานในภาคกระแสและภาคแรงดัน ในการทดสอบคุณสมบัติพลวัตของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรง จะทำการบันทึกรูปคลื่นของแรงดันออก กระแสออก กระแสในตัวเหนี่ยวนำ เนื่องจากแรงดันเหนี่ยวนำของมอเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นโหลดของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรง ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของมอเตอร์ มีผลอย่างมากต่อรูปคลื่นของตัวแปรต่างๆดังได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจึงต้องทำการบันทึกรูปคลื่นของความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วย เพื่อใช้

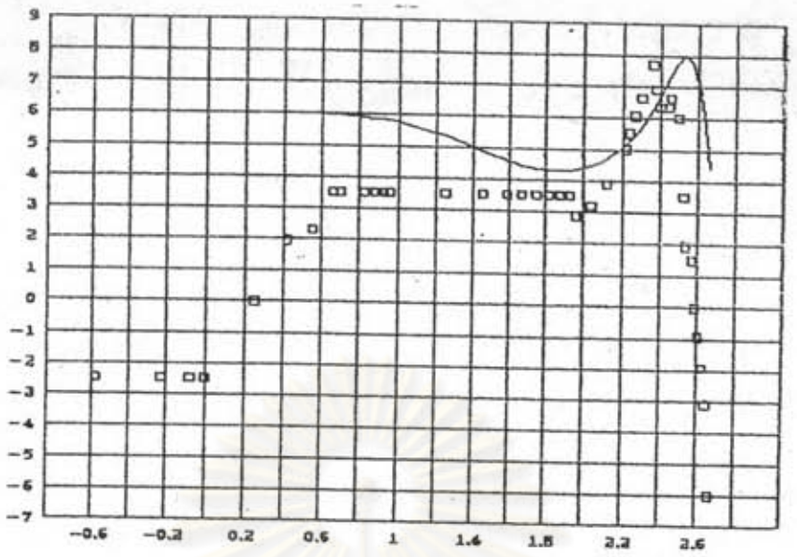


ก.อัตราขยาย

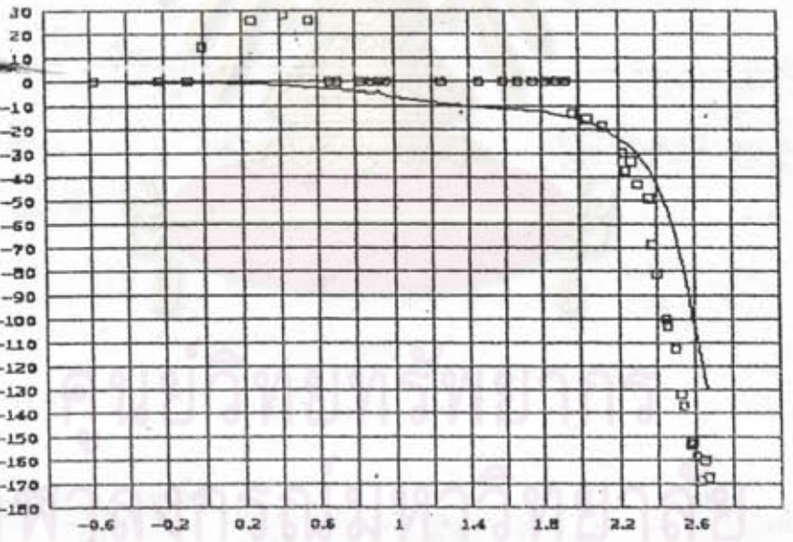


ข.มุมเฟส

รูปที่ 5.10 ผลการทดสอบหาผลตอบทางความถี่ของ $\hat{V}_o/\hat{V}_r$
ที่วัฏจักรงาน 0.8เปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณทางทฤษฎี



ก. อัตราขยาย



ข. มุมเฟส

รูปที่ 5.11 ผลการทดสอบหาผลตอบทางความถี่ของ $\hat{i}_o/\hat{v}_r$
ที่วัฏจักรงาน 0.8เปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณทางทฤษฎี

ประกอบการพิจารณารูปคลื่นของ แรงดันออก กระแสออกและกระแสในตัวเหนี่ยวนำของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรง สัญญาณของความเร็วรอบของมอเตอร์จะใช้แรงดันออกของ generator ซึ่งจะให้ค่าใกล้เคียงกับความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยจะมีความผิดพลาดเนื่องจากผลของ voltage regulation ของ generator อย่างไรก็ดี สัญญาณความเร็วรอบของมอเตอร์เป็นเพียงสัญญาณที่ใช้ประกอบการพิจารณาลักษณะของสัญญาณอื่น ๆ เท่านั้น ดังนั้นความคลาดเคลื่อนดังกล่าวจึงน่าจะยอมรับได้

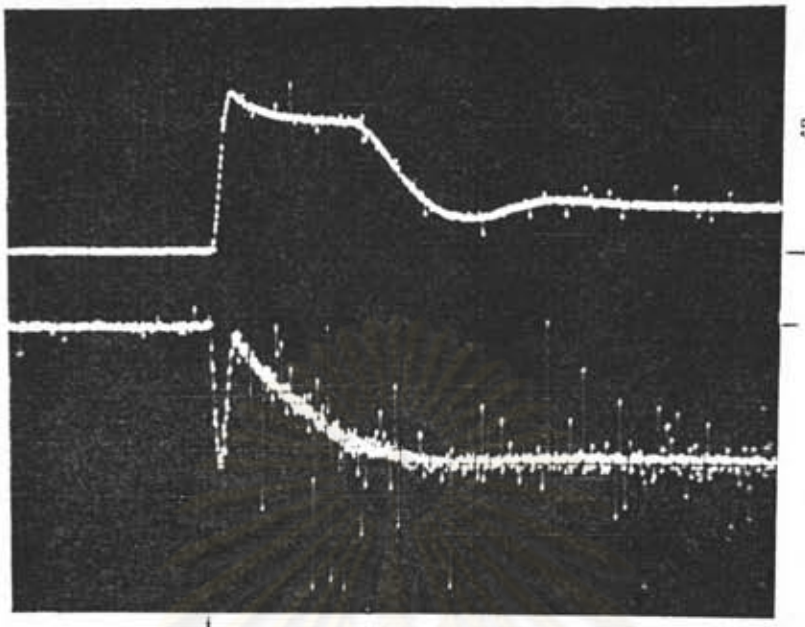
5.3.1 <u>การทดสอบการทำงานในภาคแรงดัน</u> เมื่อวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงทำงานในภาคแรงดัน วงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงจะทำหน้าที่เป็นวงจรขยายแรงดันกล่าวคือแรงดันออกจะถูกควบคุมด้วยแรงดันตั้งค่า ส่วนกระแสออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงจะเปลี่ยนตามโหลด การทดสอบคุณสมบัติพลวัตของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงที่ทำงานในภาคแรงดันจะประกอบด้วยการทดสอบหาผลตอบของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงต่อสัญญาณตั้งค่าแบบขั้นและหาผลตอบของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงเมื่อมีการเปลี่ยนโหลดเป็นแบบขั้น

5.3.1.1 <u>เมื่อแรงดันตั้งค่าเป็นแบบขั้น (step function)</u> การทดสอบหาผลตอบของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงต่อสัญญาณตั้งค่าแบบขั้นประกอบด้วย การป้อนแรงดันตั้งค่าแบบขั้นจาก 0 โวลต์ เป็น -10 โวลต์และการป้อนแรงดันแบบขั้นจาก -10 โวลต์ เป็น 0 โวลต์ แล้วบันทึกรูปคลื่นของแรงดันออก ,กระแสในตัวเหนี่ยวนำ,กระแสออกและความเร็วรอบของมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 5.12 ในรูปที่ 5.12ก แสดงรูปคลื่นของแรงดันออกและกระแสในตัวเหนี่ยวนำ จะเห็นได้เมื่อค่าตั้งเปลี่ยนจาก 0 โวลต์เป็น -10 โวลต์ ซึ่งเป็นกรณีที่ต้องการเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์จากสถานะหยุดนิ่ง ขณะที่แรงดันออกยังมีค่าเป็นศูนย์จะทำให้ค่าอ้างอิงของกระแสในตัวเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นสู่ค่าที่จำกัดไว้ ทำให้กระแสในตัวเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นสู่ค่าจำกัดเท่ากับ -20 แอมแปร์ โดยมีค่าเวลาขึ้น (rise time) ประมาณ 0.3 มิลลิวินาที ดังแสดงในรูปที่ 5.12ก แรงดันออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงซึ่งมีตัวเก็บประจุของวงจรกรองต่อขนานอยู่จะมีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อตัวเก็บประจุถูกประจุด้วยกระแสซึ่งเป็นผลต่างของกระแสในตัวเหนี่ยวนำและกระแสออก ซึ่งในช่วงแรกกระแสออกจะยังคงมีค่าต่ำและเพิ่มขึ้นช้ากว่ากระแสในตัวเหนี่ยวนำทั้งนี้เพราะค่าความเหนี่ยวนำภายในตัวมอเตอร์กระแสตรงมีค่ามากกว่าค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำของวงจร

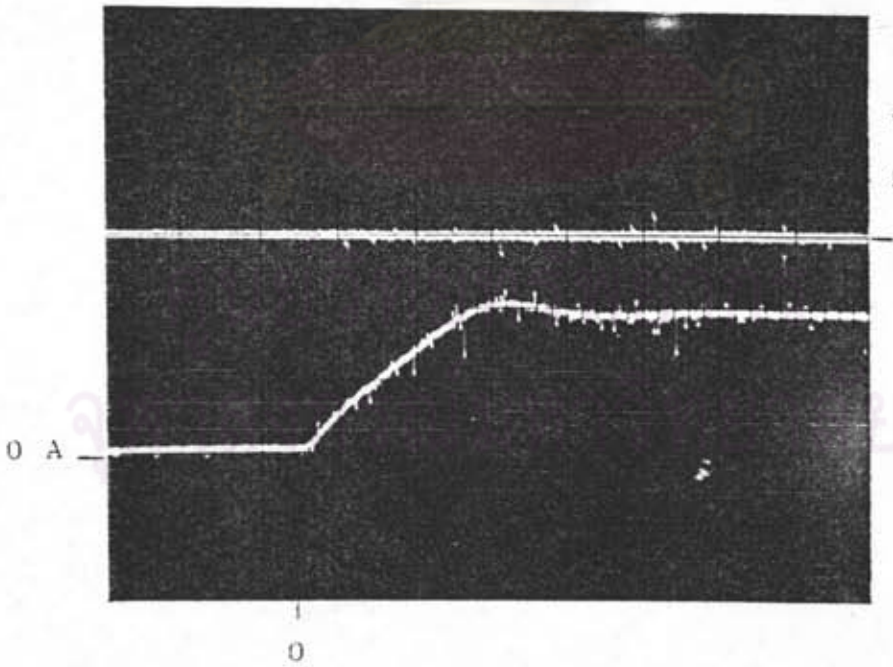
กรองคือมีเวลาขึ้น (rise time) ประมาณ 5 มิลลิวินาที เมื่อแรงดันออกเพิ่มขึ้นจนถึงค่าที่กำหนดโดยแรงดันตั้งค่าโดยมีค่าของเวลาขึ้น (rise time) ประมาณ 0.04 มิลลิวินาที วงจรคุมค่าจะสั่งให้ลดค่าของกระแสในตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองลงจนมีค่าใกล้เคียงกับกระแสออกของวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรง ซึ่งจะมีขนาดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากค่าคงตัวเวลาเชิงกลของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีค่าใหญ่กว่าค่าคงตัวเวลาของวงจรไฟฟ้ามาก ดังนั้นในช่วงแรกของการทำงานจึงทำให้ความเร็วของมอเตอร์มีค่าต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็นในสถานะอยู่ตัวมาก แรงดันเหนี่ยวนำของมอเตอร์จึงยังคงมีค่าต่ำทำให้กระแสออกจะเพิ่มขึ้นสู่ค่าในสถานะอยู่ตัวซึ่งมีค่าเท่ากับผลต่าง ระหว่างแรงดันออกของวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรงกับแรงดันเหนี่ยวนำของมอเตอร์หารด้วยความต้านทานของมอเตอร์ ค่ากระแสดังกล่าวจะมีค่าใหญ่กว่าค่าจำกัดของกระแสออกมาก ดังนั้นเมื่อกระแสออกและกระแสในตัวเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นมาถึงค่าที่จำกัดไว้ กระแสในตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองจะถูกจำกัดไว้ที่ประมาณ 20 แอมแปร์ ในขณะที่กระแสออกยังคงเพิ่มขึ้นต่อไป เมื่อกระแสออกมีค่ามากกว่ากระแสในตัวเหนี่ยวนำตัวเก็บประจุของวงจรกรองด้านออกจะคายประจุออกทำให้แรงดันออกลดลงมาใกล้เคียงกับแรงดันเหนี่ยวนำของมอเตอร์ โดยจะมีค่าสูงกว่าแรงดันเหนี่ยวนำของมอเตอร์เท่ากับแรงดันตกคร่อมความต้านทานของมอเตอร์เนื่องจากกระแสที่มีค่าเท่ากับกระแสที่จำกัด ดังนั้นทั้งกระแสในตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองและกระแสออกของวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรงจะถูกจำกัดไว้ที่ค่าจำกัด ในขณะที่แรงดันออกจะเพิ่มขึ้นตามแรงดันเหนี่ยวนำของมอเตอร์ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของความเร็วรอบของมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 5.12ก และ 5.12ข การเพิ่มของแรงดันออกจะทำให้ค่ากระแสจำกัดลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของวัฏจักรงานและความลาดชันของสัญญาณฟันเลื่อยชดเชย ดังแสดงในรูปที่ 5.12ค เมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มขึ้นสู่ค่าในสถานะอยู่ตัวแรงดันออกจะเพิ่มค่าขึ้นสู่ค่าที่กำหนดด้วยแรงดันตั้งค่า ส่วนกระแสในตัวเหนี่ยวนำและกระแสออกจะปรับค่าลดลงสู่ค่าในสถานะอยู่ตัวดังแสดงในรูปที่ 5.12ค และ 5.12ง โดยค่าในสถานะอยู่ตัวของกระแสออกจะขึ้นอยู่กับโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งทำหน้าที่เป็นโหลดของมอเตอร์ แรงดันออกในสถานะอยู่ตัวจะมีค่าที่กำหนดโดยแรงดันตั้งค่า ส่วนความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่าที่ทำให้ผลต่างของแรงดันออกของวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรงกับแรงดันเหนี่ยวนำของมอเตอร์มีค่าเท่ากับแรงดัน

ตกคร่อมความต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์เนื่องจากกระแสออกที่ทำให้เกิดแรงบิดตามที่กำหนดโดยโหลด

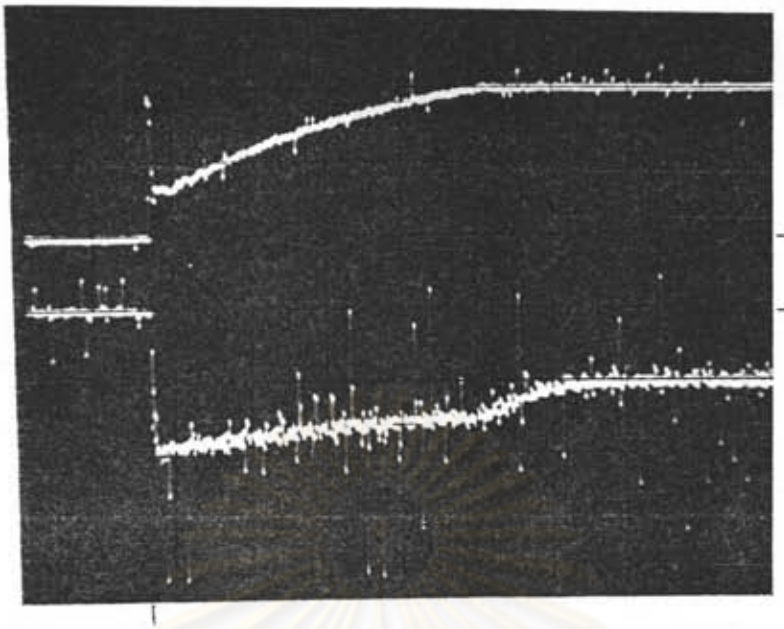
กรณีให้แรงดันตั้งค่าเปลี่ยนจาก -10 โวลต์เป็น 0 โวลต์ ซึ่งเป็นกรณีที่ต้องการหยุดหมุนมอเตอร์ เมื่อแรงดันตั้งค่าลดลงเป็นศูนย์ ในขณะที่แรงดันออกยังมีค่าเป็น +100 โวลต์ จะทำให้ค่าอ้างอิงกระแสในตัวเหนี่ยวนำมีค่าลดลงและกลับขั้วเพิ่มค่าสู่ค่าจำกัดทางบวก ซึ่งจะทำให้กระแสในตัวเหนี่ยวนำมีค่าลดลงเป็นศูนย์แล้วเพิ่มค่าสู่ค่าจำกัดเท่ากับ+20 แอมแปร์ โดยมีเวลาขึ้นน้อยกว่า 0.4 มิลลิวินาที ดังแสดงในรูปที่ 5.13ก. ในขณะที่กระแสออกจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้ากว่ากระแสในตัวเหนี่ยวนำ เนื่องจากความเหนี่ยวนำของวงจรอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์มีค่ามากกว่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรอง เมื่อขนาดกระแสออกมีค่ามากกว่ากระแสในตัวเหนี่ยวนำตัวเก็บประจุของวงจรกรองด้านออกจะคายประจุทำให้แรงดันออกลดลงจนเป็นศูนย์ ในขณะที่กระแสออกและกระแสในตัวเหนี่ยวนำมีค่าลดลงเป็นศูนย์ก่อน และมีค่าเปลี่ยนไปสู่ค่าจำกัดในทางตรงข้าม โดยที่ความเร็วรอบของมอเตอร์มีค่าลดลงแต่ยังไม่เป็นศูนย์ ทำให้มีการป้อนพลังงานกลับคืนจากมอเตอร์ ซึ่งในขณะนั้นแรงดันออกมีค่าเป็นศูนย์ จึงทำให้มีกระแสไหลป้อนกลับจากมอเตอร์เท่ากับแรงดันเหนี่ยวนำของมอเตอร์ หารด้วยความต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ ซึ่งกระแสค่านี้จะมีค่ามากกว่าค่าจำกัดกระแส (20 แอมแปร์) มาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องจำกัดกระแสป้อนกลับจากมอเตอร์นี้ด้วยการเพิ่มแรงดันออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงเป็นบวกอีกเพื่อทำให้แรงดันออกมีค่าน้อยกว่าแรงดันเหนี่ยวนำของมอเตอร์เท่ากับแรงดันตกคร่อมความต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์ที่เกิดเนื่องจากกระแสที่ป้อนกลับจากมอเตอร์ ที่ค่าพิกัด (20 แอมแปร์) การจะทำเช่นนี้ก็ทำโดยการเปลี่ยนรูปแบบการทำงานเป็นแบบสองขั้วนั่นเอง ทำให้สังเกตุเห็นได้ว่าการกระเพื่อมของกระแสในตัวเหนี่ยวนำมีค่าเพิ่มเป็นประมาณ 2 เท่า ของสภาวะปกติ แรงดันออกจะมีค่าลดลงตามแรงดันเหนี่ยวนำของมอเตอร์ ซึ่งจะมีค่าลดลงตามการลดลงของความเร็วรอบของมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 5.13 โดยแรงดันออกจะมีค่าลดลงเป็นศูนย์ก่อนความเร็วรอบของมอเตอร์ จากจุดนี้กระแสออกและกระแสในตัวเหนี่ยวนำเริ่มมีค่าลดลงจนเป็นศูนย์พร้อมๆกับความเร็วรอบของมอเตอร์ เวลาที่ใช้ในการหยุดมอเตอร์นี้จะใช้เวลาทั้งสิ้น 300 มิลลิวินาที เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้กับผลการจำลองการทำงานที่ได้ในรูปที่ 3.24 จะได้



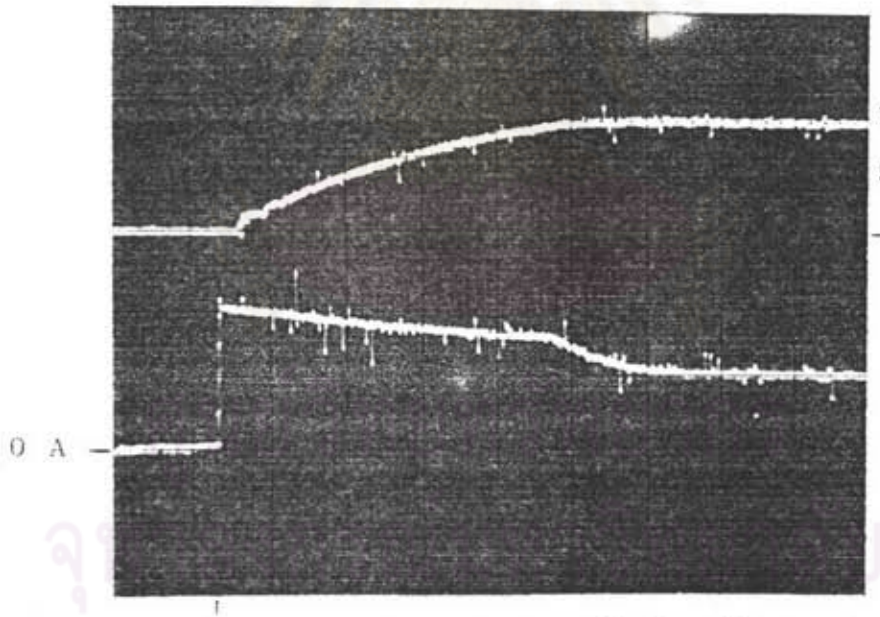
ก. แรงดันออก(V_o)กับกระแสในตัวเหนี่ยว(i_L)



ง. กระแสออก(i_o)กับความเร็วรอบของมอเตอร์(w)

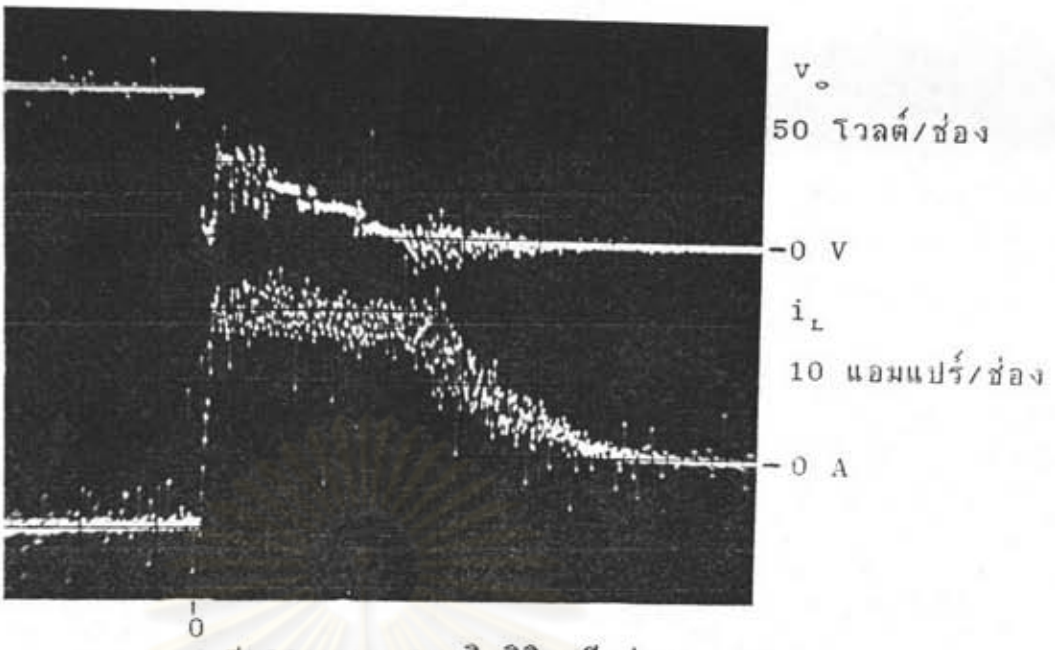


ค.แรงดันออก(V_o)กับกระแสในตัวเหนี่ยว(i_L)

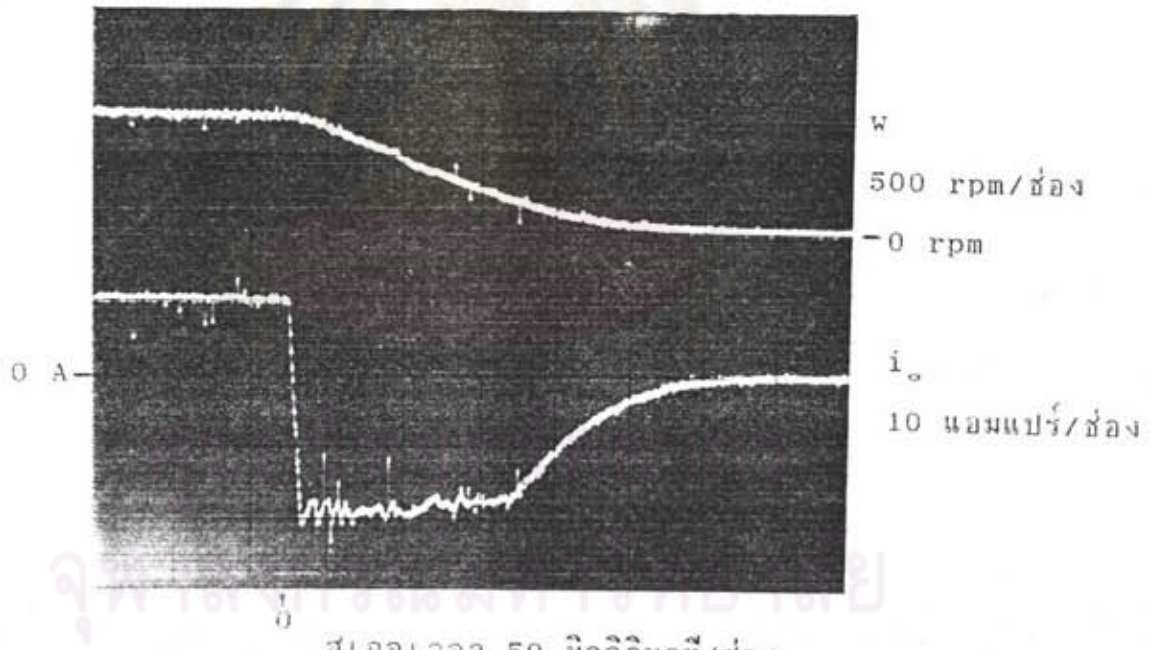


ง.กระแสออก(i_o)กับความเร็วรอบของมอเตอร์(w)

รูปที่ 5.12 รูปคลื่นต่างๆเมื่อวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงทำงานในภาคแรงดัน และได้รับแรงดันตั้งค่าแบบขั้นจาก 0 โวลต์ เป็น -10 โวลต์



ก.แรงดันออก(v_o)กับกระแสในตัวเหนี่ยว(i_L)



ข.กระแสออก(i_o)กับความเร็วรอบของมอเตอร์(w)

รูปที่ 5.13 รูปคลื่นต่างๆเมื่อวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงทำงานในภาคแรงดัน และได้รับแรงดันตั้งค่าแบบขั้นจาก -10 โวลต์ เป็น 0 โวลต์

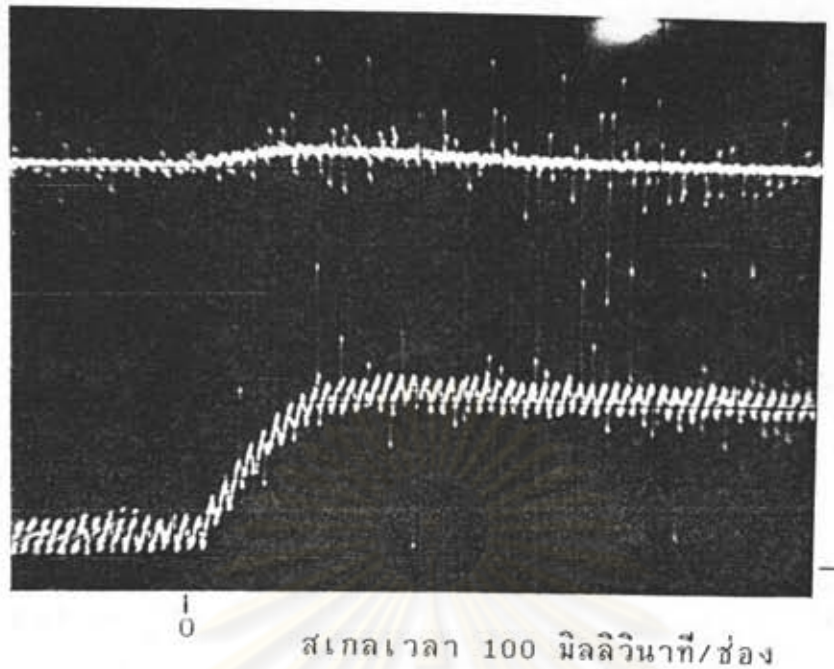
ว่ามีลักษณะรูปสัญญาณที่เหมือนกันแต่จะมีความแตกต่างในส่วนของเวลา โดยในตอนเริ่มหมุนมอเตอร์จะเข้าสู่สถานะคงตัวที่เวลาประมาณ 850 มิลลิวินาทีแต่ในการจำลองการทำงานจะใช้เวลาประมาณ 600 มิลลิวินาที ส่วนในตอนหยุดหมุนมอเตอร์จะใช้เวลาประมาณ 270 มิลลิวินาที แต่ในการจำลองการทำงานจะใช้เวลาประมาณ 150 มิลลิวินาทีทั้งนี้เป็นเพราะในการทดลองจริงค่าคงตัวต่างๆ มีการแปรเปลี่ยนค่าไปบ้างตามจุดทำงานเช่นค่าความเหนี่ยวนำเป็นต้น

5.3.1.2 <u>เมื่อมีการเปลี่ยนโหลดแบบขั้น (step load)</u>

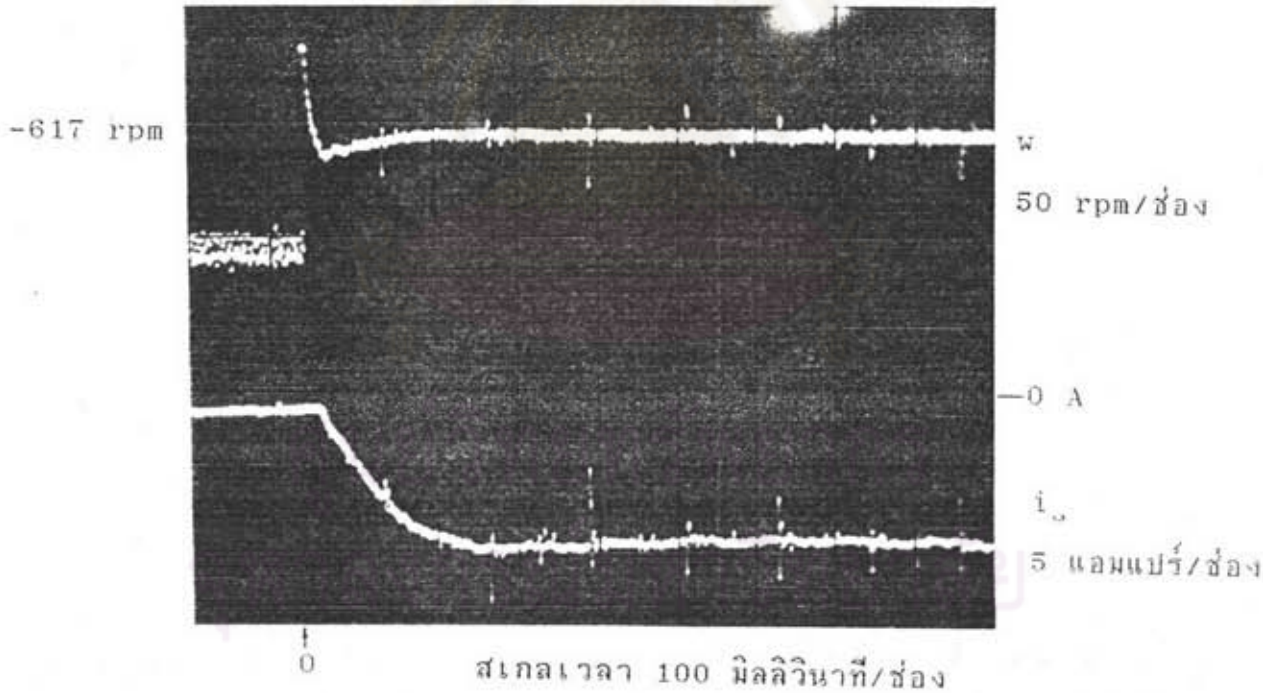
การทดสอบหาผลตอบของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงต่อการเพิ่มโหลดแบบขั้นทำโดยการเริ่มต้นให้มอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงทำงานในภาวะไม่มีโหลด โดยแรงดันออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงมีค่าเท่ากับค่าพิกัด 100 โวลต์ ส่วนกระแสออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงจะมีค่าน้อยเนื่องจากเป็นภาวะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงไม่มีโหลด จากนั้นจะต่อโหลดเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อทำให้กระแสออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงนสถานะอยู่ตัวเท่ากับกระแสพิกัด 10 แอมแปร์ เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงถูกโหลดมากขึ้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะโหลดมอเตอร์มากขึ้น ทำให้แรงบิดของโหลดของมอเตอร์เพิ่มขึ้นจากค่าสมดุลย์ ซึ่งเป็นแรงบิดที่เกิดจากกระแสอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์หรือกระแสออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรง เมื่อแรงบิดของโหลดมีค่ามากกว่าแรงบิดของมอเตอร์จะทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์และแรงดันเหนี่ยวนำของมอเตอร์ลดลง เป็นผลให้ผลต่างของแรงดันออกของวงจรจขยายเซอร์โวกระแสตรงและแรงดันเหนี่ยวนำของมอเตอร์เพิ่มขึ้น กระแสและแรงบิดของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นไปสู่จุดสมดุลย์ใหม่ โดยอาจจะมี overshoot หรือไม่ก็ได้ขึ้นอยู่กับ damping factor ของระบบเชิงกล สำหรับกรณีที่ทดสอบจะไม่มี overshoot เนื่องจากค่าคงที่เวลาของระบบเชิงกลมีค่ามาก (5 วินาที) ดังนั้นกระแสในตัวเหนี่ยวนำและกระแสของมอเตอร์จะมีค่าประมาณเท่ากันตลอดเวลา จากรูปที่ 5.14 ก,ข จะเห็นได้ว่าเวลาขึ้น(rise time) ของกระแสออกและกระแสในตัวเหนี่ยวนำมีค่าประมาณ 130 มิลลิวินาทีซึ่งมีค่าใกล้เคียงเวลาลง (fall time) ของความเร็วรอบของมอเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองการทำงานของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงจะเห็นได้ว่ามีลักษณะรูปสัญญาณที่เหมือนกัน แต่จะมีความแตกต่างในส่วนของเวลาโดยในการจำลองการทำงานของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรง

เวลาขึ้น(rise time) ของกระแสออกและกระแสในตัวเหนี่ยวนำมีค่าประมาณ 80 มิลลิวินาที ดังในรูปที่ 3.26 จากรูปที่ 5.14 ก,ข จะเห็นได้ว่า ในช่วงแรกของการเปลี่ยนโหลดสัญญาณแทนความเร็วรอบของมอเตอร์ซึ่งใช้แรงดันออกของ generator จะมี spike voltage เกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลจาก induced voltage ในตัวเหนี่ยวนำของ generator จากการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด สำหรับการทดสอบหาผลตอบของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงต่อการลดโหลดแบบขั้น ทำโดยการโหลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้แรงดันและกระแสออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงมีค่า 100 โวลต์ 10 แอมแปร์ จากนั้นจะทำการตัดโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออก เมื่อโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลดลงโหลดของมอเตอร์จะลดลงด้วยในขณะที่กระแสอาร์เมเจอร์และแรงบิดของมอเตอร์ยังคงมีค่าคงที่ เมื่อแรงบิดของมอเตอร์มีค่ามากกว่าแรงบิดของโหลด มอเตอร์จะเร่งความเร็วขึ้นทำให้ความเร็วและแรงดันเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้ผลต่างของแรงดันออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงและแรงดันเหนี่ยวนำของมอเตอร์ลดลงกระแสและแรงบิดของมอเตอร์จะลดลงสู่จุดสมดุลย์ใหม่โดยอาจจะมี overshoot หรือไม่ก็ได้ขึ้นอยู่กับ damping factor ของระบบเชิงกล สำหรับกรณีที่ทดสอบจะไม่มี overshoot และในทำนองเดียวกันกับกรณีที่เพิ่มโหลด กระแสในตัวเหนี่ยวนำและกระแสของมอเตอร์จะมีค่าประมาณเท่ากันตลอดเวลา จากรูปที่ 5.15 ก,ข จะเห็นได้ว่าเวลาลง (fall time) ของกระแสออกและกระแสในตัวเหนี่ยวนำมีค่าประมาณ 130 มิลลิวินาที ซึ่งใกล้เคียงกับเวลาขึ้น (rise time) ของความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองการทำงานของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงจะเห็นได้ว่ามีลักษณะรูปสัญญาณที่เหมือนกัน แต่จะมีความแตกต่างในส่วนของเวลาโดยในการจำลองการทำงานของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงเวลาลง(fall time) ของกระแสออกและกระแสในตัวเหนี่ยวนำมีค่าประมาณ 80 มิลลิวินาทีดังในรูปที่ 3.27

5.2.2 <u>การทดสอบการทำงานในภาคกระแส</u> เมื่อวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงทำงานในภาคกระแส วงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงจะทำหน้าที่เป็นวงจรขยายกระแสควบคุมด้วยแรงดันกล่าวคือกระแสออกจะถูกควบคุมด้วยแรงดันตั้งค่า ส่วนแรงดันออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงจะเปลี่ยนตามโหลด การทดสอบคุณสมบัติพลวัตของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงที่ทำงาน

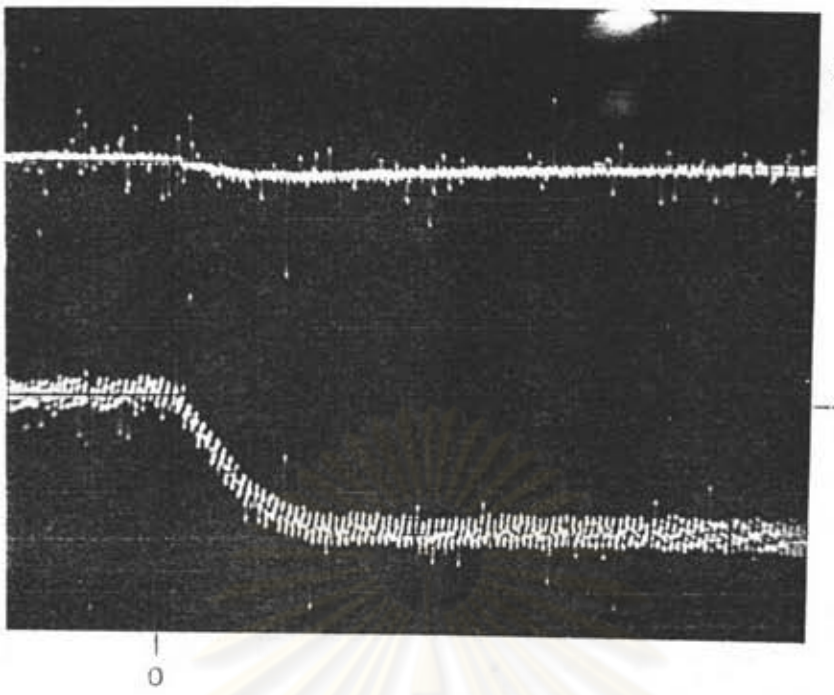


ก.แรงดันออก(V_o)กับกระแสในตัวเหนี่ยว(i_L)



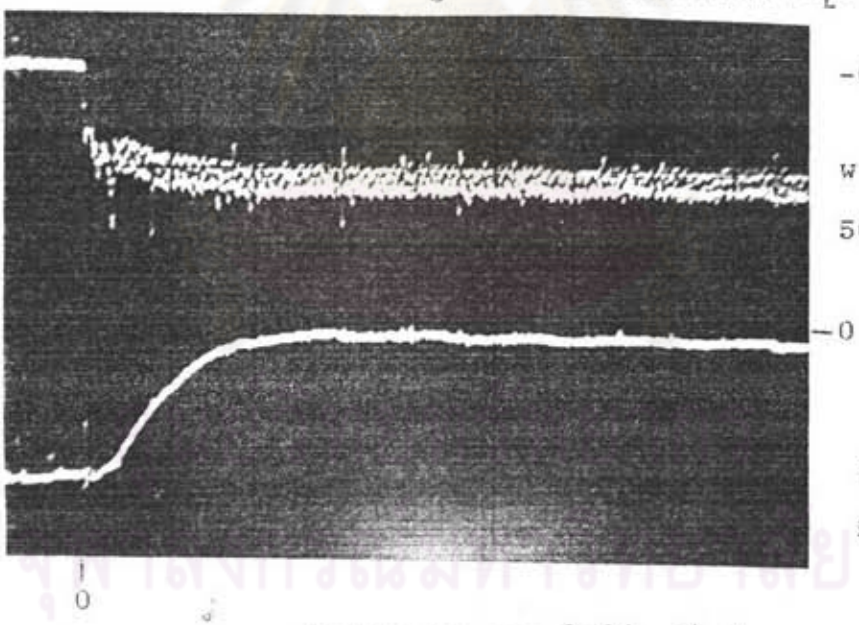
ข.กระแสออก(i_o)กับความเร็วรอบของมอเตอร์(w)

รูปที่ 5.14 รูปคลื่นต่างๆเมื่อวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงทำงานในภาคแรงดัน และมีการเพิ่มโหลดแบบขั้นจาก -1 แอมแปร์ เป็น -10 แอมแปร์



สเกลเวลา 100 มิลลิวินาที/ช่อง

ก. แรงดันออก (v_o) กับกระแสในตัวเหนี่ยวนำ (i_L)



สเกลเวลา 100 มิลลิวินาที/ช่อง

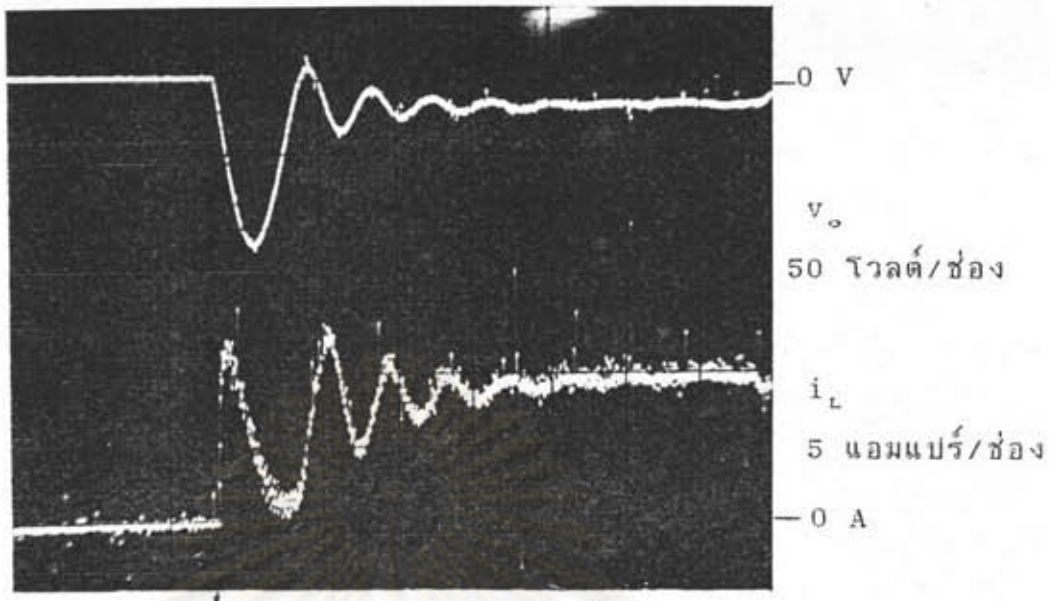
ข. กระแสออก (i_o) กับความเร็วรอบของมอเตอร์ (w)

รูปที่ 5.15 รูปคลื่นต่างๆ เมื่อวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงทำงานในภาคแรงดัน และมีการลดโหลดแบบขั้นจาก -10 แอมแปร์ เป็น -1 แอมแปร์

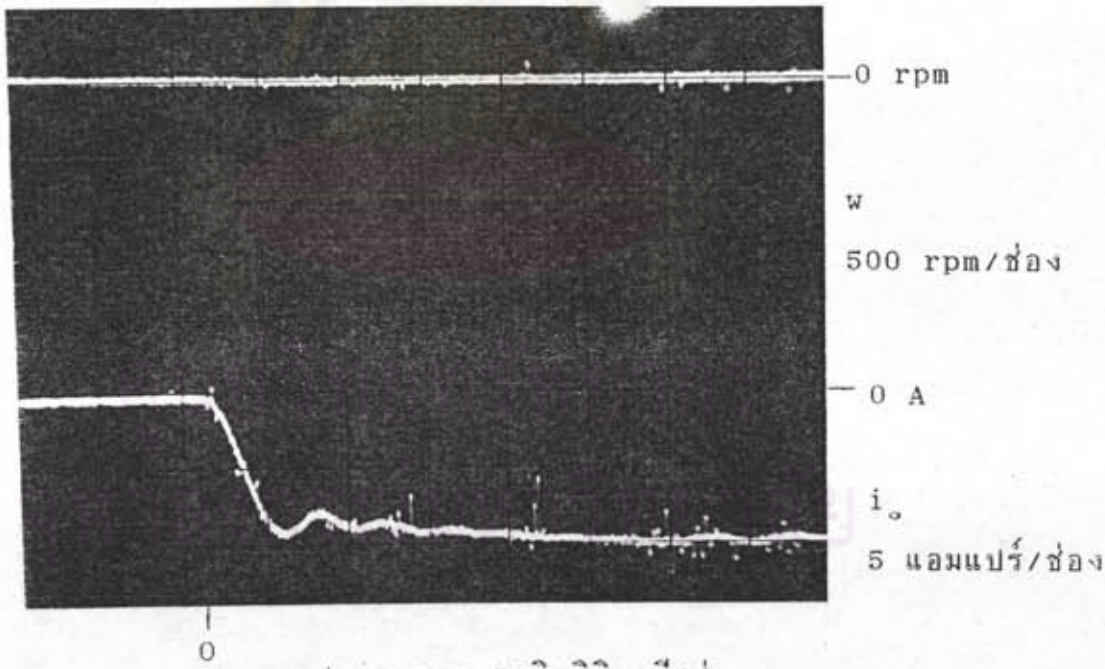
ในภาคกระแสจะประกอบด้วยการทดสอบหาผลตอบของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงต่อสัญญาณตั้งค่าแบบขั้นและหาผลตอบของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงเมื่อมีการเปลี่ยนโหลดเป็นแบบขั้น

5.2.2.1 เมื่อแรงดันตั้งค่าเป็นแบบขั้น (step function)

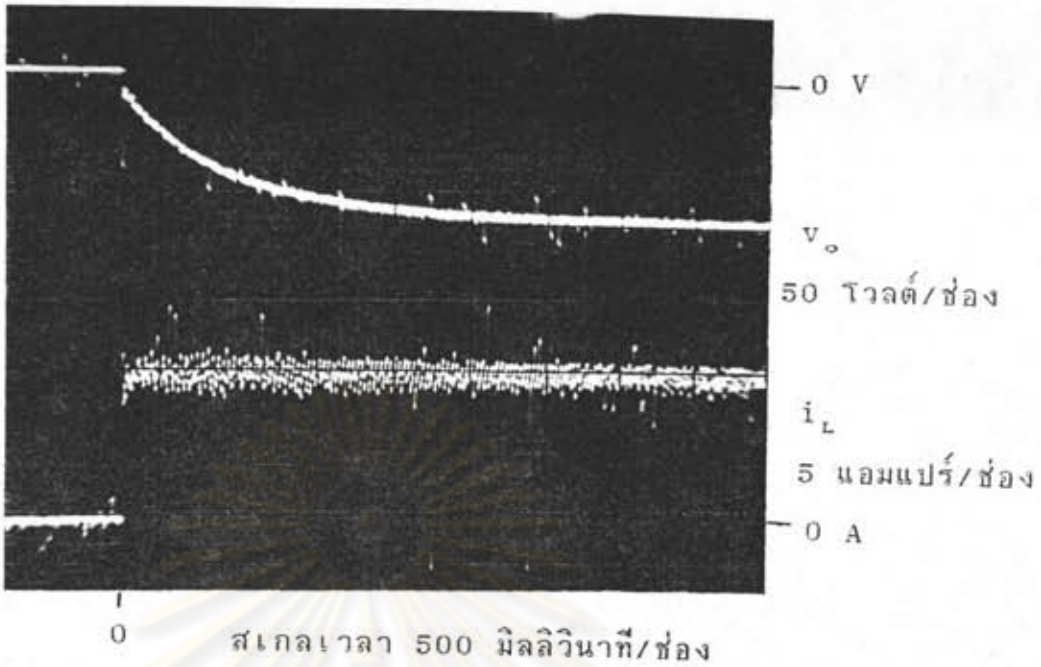
การทดสอบหาผลตอบของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงต่อแรงดันตั้งค่าแบบขั้นประกอบด้วย การป้อนแรงดันตั้งค่าแบบขั้นจาก 0 โวลต์เป็น + 5 โวลต์ และการป้อนแรงดันแบบขั้นจาก +5 โวลต์เป็น 0 โวลต์ แล้วบันทึกรูปคลื่นของแรงดันออก, กระแสในตัวเหนี่ยวนำ, กระแสออกและความเร็วรอบของมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 5.16 ในรูปที่ 5.16 ก. แสดงรูปคลื่นของแรงดันออกและกระแสในตัวเหนี่ยวนำจะเห็นได้ว่าเมื่อค่าตั้งเปลี่ยนจาก 0 โวลต์ เป็น +5 โวลต์ ซึ่งเป็นกรณีที่ต้องการเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์จากภาวะหยุดนิ่ง ในขณะที่กระแสออกแรงดันออกยังมีค่าเป็นศูนย์ แรงดันออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงซึ่งมีตัวเก็บประจุของวงจรกรองต่อขนานอยู่จะมีขนาดเพิ่มขึ้น เมื่อตัวเก็บประจุถูกประจุด้วยกระแสซึ่งเป็นผลต่างของกระแสในตัวเหนี่ยวนำและกระแสออก ซึ่งในช่วงแรกกระแสออกจะยังคงมีค่าต่ำและเพิ่มขึ้นช้ากว่ากระแสในตัวเหนี่ยวนำทั้งนี้เพราะค่าความเหนี่ยวนำของวงจรอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์มีค่ามากกว่าค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองคือมีเวลาขึ้น (rise time) ประมาณ 5 มิลลิวินาที แรงดันออกจะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดที่กำหนดโดยวงจรกำหนดวัฏจักรงานสูงสุดและขนาดของกระแสออกขณะนั้นและมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามลักษณะการตอบสนองของวงจร เมื่อกระแสออกมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าที่กำหนดโดยวงจรคุมค่าและแรงดันตั้งค่า ก็จะทำให้กระแสออกมีค่าเท่ากับค่าที่กำหนดโดยแรงดันตั้งค่า วงจรคุมค่าจะลดค่าอ้างอิงของกระแสในมีตัวเหนี่ยวนำลงทำให้กระแสในตัวเหนี่ยวนำและแรงดันออกมีขนาดลดลงมาจนมีขนาดมากกว่า แรงดันเหนี่ยวนำของมอเตอร์เท่ากับแรงดันตกคร่อมความต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์เนื่องจากกระแสออก จากรูปที่ 5.16 ก. จะเห็นได้ว่าทั้งกระแสออกและกระแสในตัวเหนี่ยวนำมีค่าเพิ่มเป็น 10 แอมแปร์ภายในเวลาประมาณ 10 มิลลิวินาที กระแสออกและกระแสในตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเป็น 10 แอมแปร์ในสถานะคงตัวตามที่กำหนดโดยแรงดันตั้งค่า ส่วนแรงดันออกก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงดันเหนี่ยวนำของมอเตอร์ ซึ่งมีค่าขึ้นกับความเร็วรอบของมอเตอร์ ที่มีค่าเพิ่มขึ้นสู่สถานะคงที่ที่ความเร็วรอบ 617 รอบต่อนาทีภายในเวลาประมาณ 2.5 วินาที แรงดันออกก็จะมีขนาด 100 โวลต์ ตามโหลดที่ได้ตั้งไว้จะมีค่าถึง 100 โวลต์ภายในเวลา



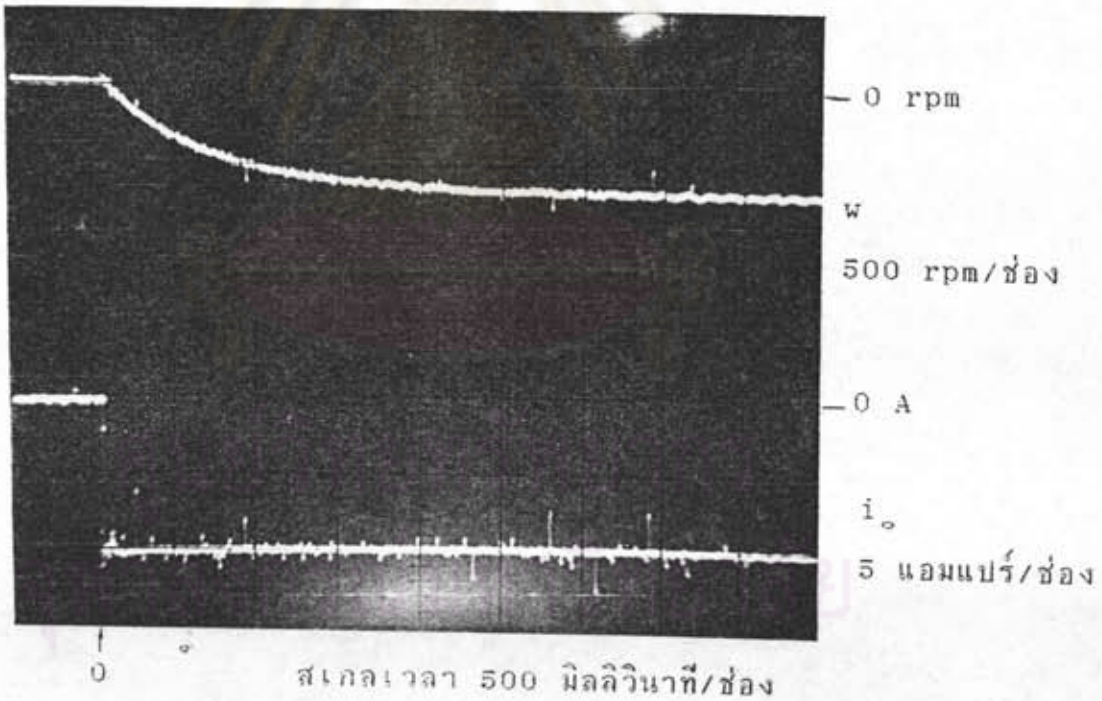
ก. แรงดันออก(V_o)กับกระแสในตัวเหนี่ยว(i_L)



ข. กระแสออก(i_o)กับความเร็วรอบของมอเตอร์(w)



ค.แรงดันออก(V_o)กับกระแสในตัวเหนี่ยว(i_L)



ง.กระแสออก(i_o)กับความเร็วรอบของมอเตอร์(w)

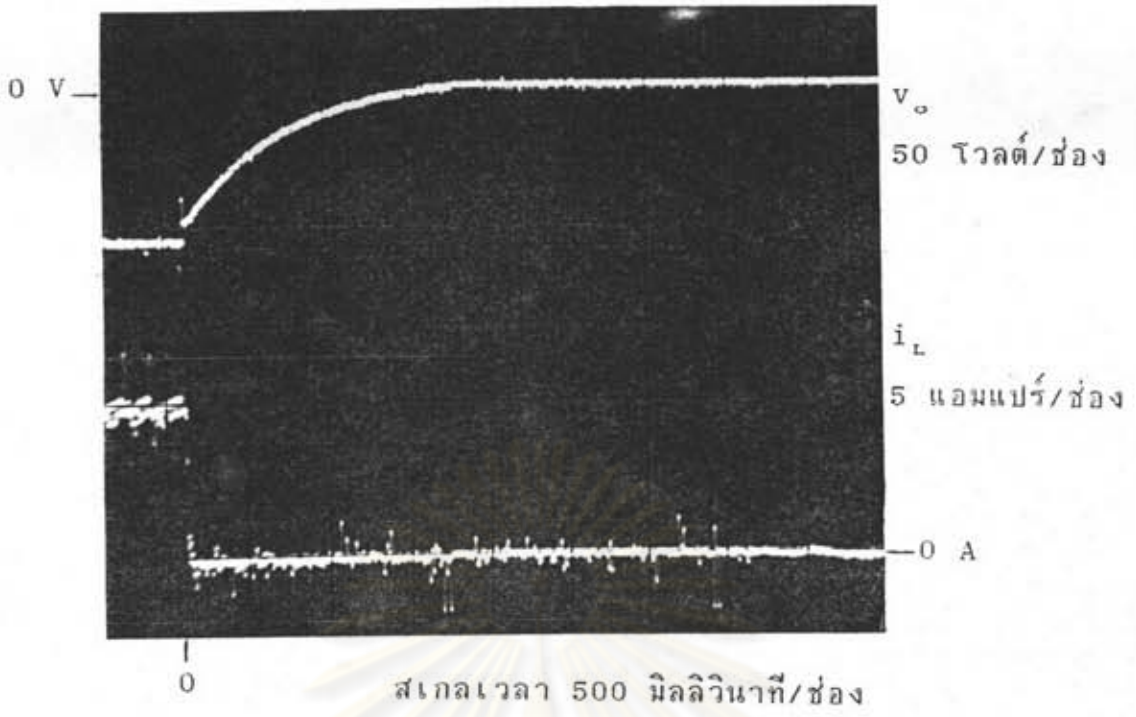
รูปที่ 5.16 รูปคลื่นต่างๆเมื่อวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงทำงานในภาคกระแส และได้รับแรงดันตั้งค่าแบบขั้นจาก 0 โวลต์ เป็น +5 โวลต์

2.5 วินาที เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้กับผลการจำลองในรูปที่ 3.27, 3.28 จะเห็นได้ว่าจากผลการจำลองการทำงานของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์จะได้สัญญาณต่าง ๆ มีรูปลักษณะเหมือนกัน กระแสออกและกระแสในเหนี่ยวนำจะมีค่าจาก 0 ถึง 10 แอมแปร์ ภายในเวลาประมาณ 8 มิลลิวินาที ส่วนแรงดันออกและความเร็วรอบของมอเตอร์จะเข้าสู่สถานะอยู่ตัวภายใน 1.5 วินาที

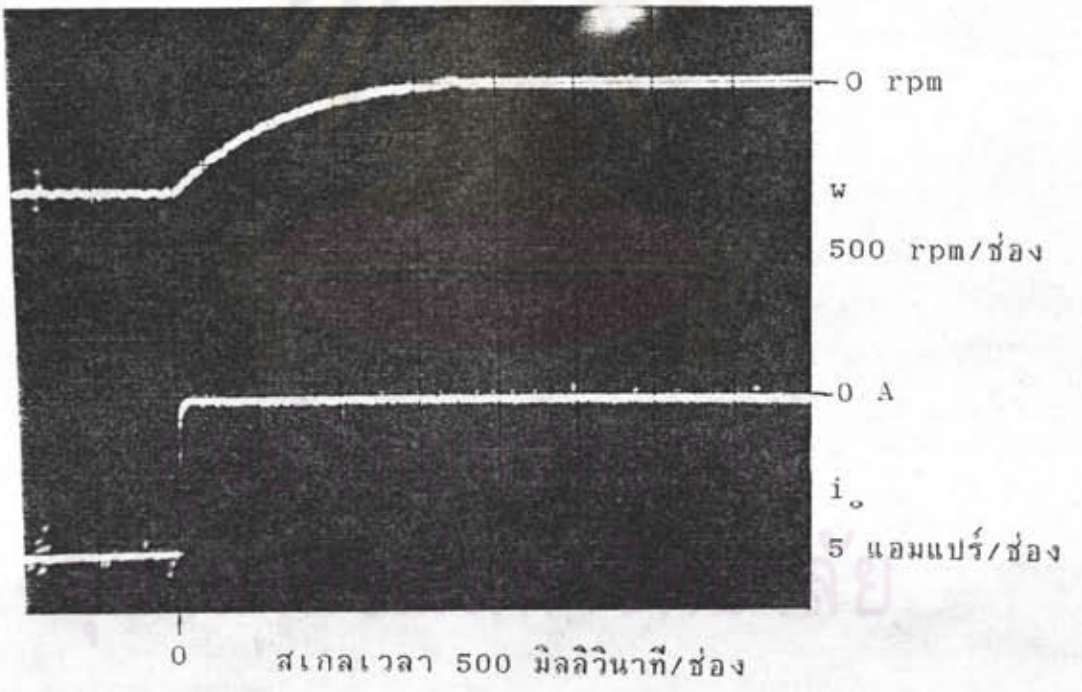
กรณีให้แรงดันตั้งค่าเปลี่ยนจาก +5 โวลต์เป็น 0 โวลต์ ซึ่งเป็นกรณีที่ต้องการหยุดมอเตอร์ เมื่อแรงดันตั้งค่าลดลงเป็นศูนย์กระแสออกและกระแสในตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าลดลงจาก 10 แอมแปร์เป็นศูนย์ภายในเวลาประมาณ 50 มิลลิวินาที ส่วนแรงดันออกและความเร็วรอบของมอเตอร์มีเวลาลง(fall time) เท่ากับ 1.3 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 5.17 เมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองการทำงานของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.29 จะเห็นได้ว่ากระแสออกและกระแสในตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าลดลงจาก 10 แอมแปร์เป็น 0 แอมแปร์ ภายในเวลาประมาณ 20 มิลลิวินาที ส่วนแรงดันออกและความเร็วรอบมอเตอร์จะมีเวลาลงประมาณ 0.7 วินาที

5.2.2.2 <u>เมื่อมีการเปลี่ยนโหลดแบบขั้น (step load)</u>

การทดสอบหาผลตอบของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงต่อการเปลี่ยนโหลดแบบขั้นทำโดยการเริ่มต้นให้มอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงทำงานในภาวะที่มีโหลดต่ำสุดโดยกระแสออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงมีค่าเท่ากับ 10 แอมแปร์ ส่วนแรงดันออกของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงจะถูกปรับให้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยปรับให้มีแรงดันออกประมาณ 40 โวลต์ จากนี้จะเพิ่มความต้านทานของโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อที่จะทำให้แรงดันออกในสถานะอยู่ตัวเท่ากับพิกัด 100 โวลต์ ความเร็วรอบของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นซึ่งจะทำให้กำลังออกของมอเตอร์มากขึ้น จากรูปที่ 5.18 แรงดันออกจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 40 โวลต์เป็น 100 โวลต์โดยมีเวลาขึ้น (rise time) 1.8 วินาที ไม่สามารถสรุปผลการเปลี่ยนแปลงของกระแสในตัวเหนี่ยวนำและกระแสออกได้ ส่วนความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นโดยมีเวลาขึ้น(rise time) 1.8 วินาทีเช่นกัน จากรูปที่ 5.18 จะเห็นได้ว่าแรงดันออกไม่ได้เปลี่ยนแปลงเป็นแบบขั้น ทั้งที่มีการเปลี่ยนโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขั้น ทั้งนี้เป็นเพราะความเฉื่อยของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงนั่นเอง จาก

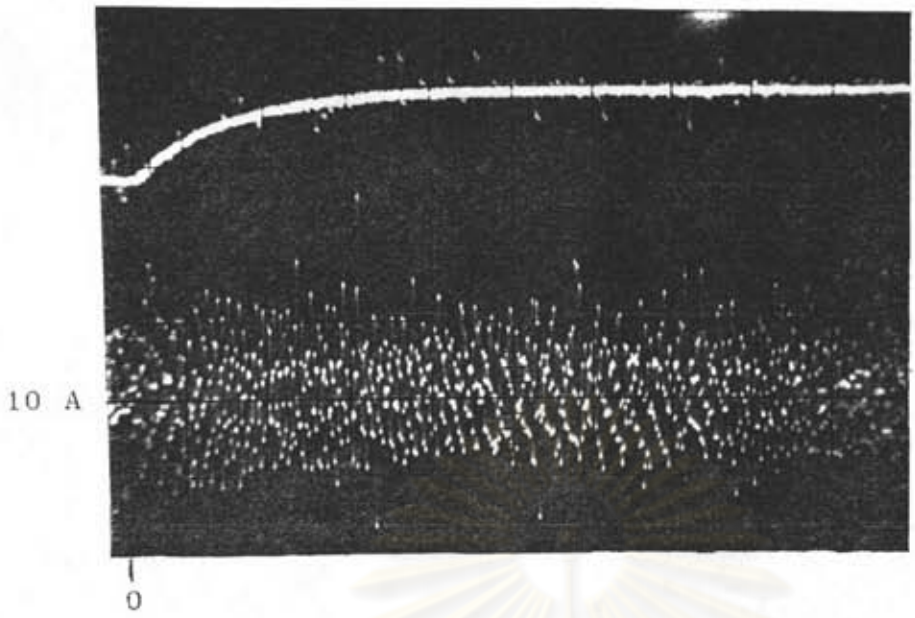


ก. แรงดันออก(V_o)กับกระแสในตัวเหนี่ยว(i_L)



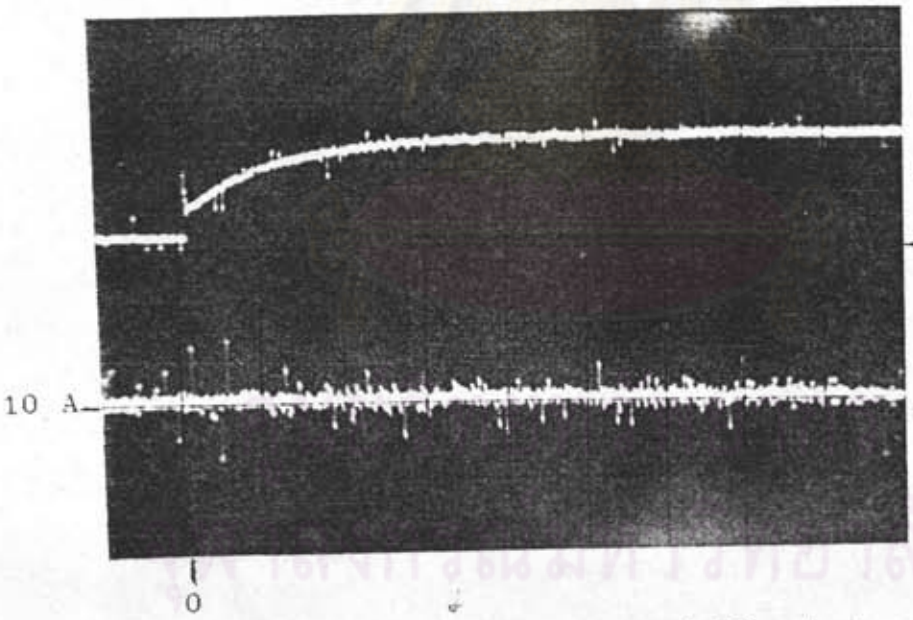
ข. กระแสออก(i_o)กับความเร็วรอบของมอเตอร์(w)

รูปที่ 5.17 รูปคลื่นต่างๆเมื่อวงจรอยายเชอร์โวกระแสตรงทำงานในภาคกระแส และได้รับแรงดันตั้งค่าแบบขั้นจาก +5 โวลต์ เป็น 0 โวลต์



สเกลเวลา 500 มิลลิวินาที/ช่อง

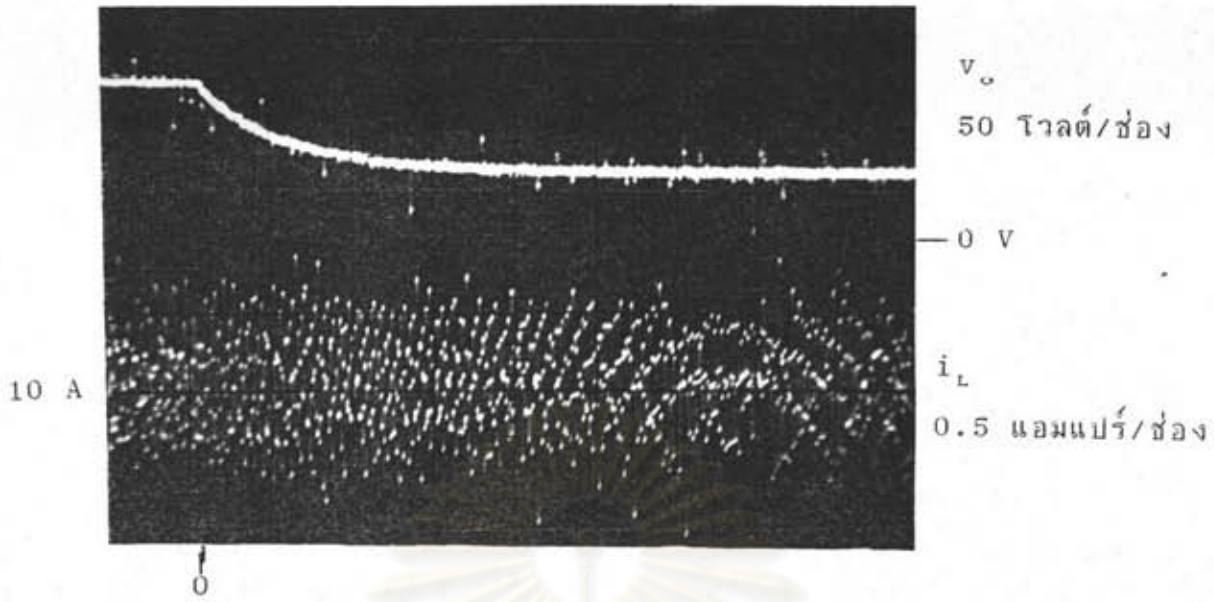
ก.แรงดันออก(v_o)กับกระแสในตัวเหนี่ยว(i_L)



สเกลเวลา 500 มิลลิวินาที/ช่อง

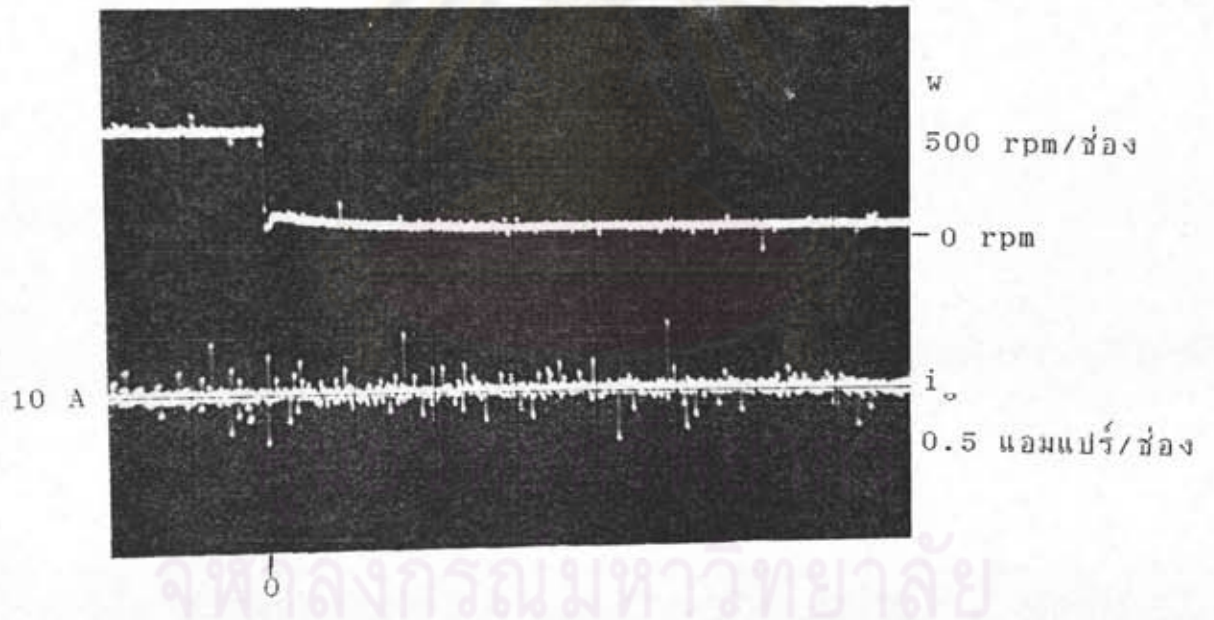
ข.กระแสออก(i_o)กับความเร็วรอบของมอเตอร์(w)

รูปที่ 5.18 รูปคลื่นต่างๆเมื่อวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงทำงานในภาคกระแส และได้มีการเพิ่มโหลดแบบขั้นจาก 40 โวลต์ เป็น 100 โวลต์



สเกลเวลา 500 มิลลิวินาที/ช่อง

ก. แรงดันออก (V_o) กับกระแสในตัวเหนี่ยวนำ (i_L)



สเกลเวลา 500 มิลลิวินาที/ช่อง

ข. กระแสออก (i_o) กับความเร็วรอบของมอเตอร์ (w)

รูปที่ 5.19 รูปคลื่นต่างๆ เมื่อวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงทำงานในภาคกระแส และได้มีการลดโหลดแบบขั้นจาก 100 โวลต์ เป็น 40 โวลต์

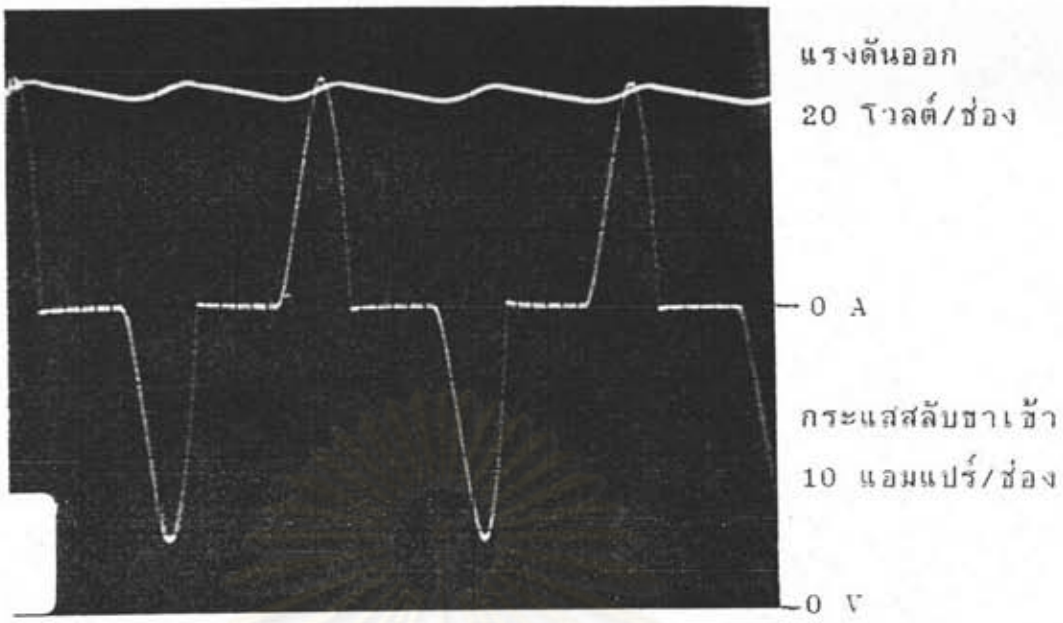
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการจำลองการทำงานในรูปที่ 3.30เวลาขึ้นของแรงดันออกและความเร็วรอบของมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 1.5 วินาที

สำหรับการทดสอบหาผลตอบของวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรงต่อการลดโหลดแบบขั้น ทำโดยการโหลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้กระแสและแรงดันออกของวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรงมีค่า 10 แอมแปร์ 100 โวลต์ จากนั้นจะทำการลดค่าความต้านทานที่เป็นโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อที่จะทำให้แรงดันออกในสถานะอยู่ตัวของวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรงลดลงมาเป็น 40 โวลต์ ทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ลดลง ซึ่งเป็นการลดกำลังออกของมอเตอร์ จากรูปที่ 5.19 เวลาลง (fall time) ของแรงดันออกและความเร็วรอบของมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 1.3 วินาที ส่วนผลการจำลองการทำงานวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรงในรูปที่ 3.31 เวลาลง (fall time) ของแรงดันออกและความเร็วรอบของมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 0.7 วินาที

5.4 การวัดสัญญาณภายในของวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรง

การทดสอบนี้จะทำเพื่อแสดงลักษณะของสัญญาณที่จุดต่างๆ ภายในวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรง ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกันไปแล้วแต่หน้าที่และลักษณะของวงจร รูปที่ 5.20 แสดงรูปสัญญาณของกระแสสลับขาเข้าและแรงดันออกของแหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับภาคกำลัง เมื่อวงจรขยายเชอร์โวกระแสตรงจ่ายกำลังออก 100 โวลต์ 10 แอมแปร์ กระแสสลับด้านเข้ามีลักษณะเป็นพัลส์ มีค่าสูงสุด 30 แอมแปร์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ มีค่าประสิทธิผลประมาณ 15 แอมแปร์ ส่วนแรงดันจะมีการกระเพื่อมประมาณ 6 โวลต์จากยอดถึงยอดและมีค่าเฉลี่ยประมาณ 135 โวลต์

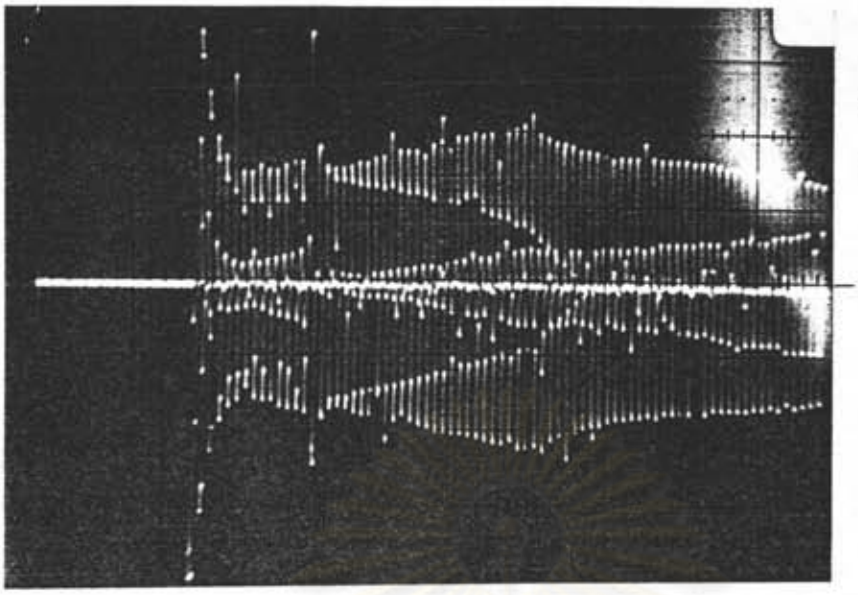


สเกลเวลา 200 มิลลิวินาที/ช่อง

รูปที่ 5.20 กระแสสลับด้านเข้าและแรงดันออกของแหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับภาคกำลังเมื่อวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงจ่ายกำลังออก 100 โวลต์ 10 แอมแปร์

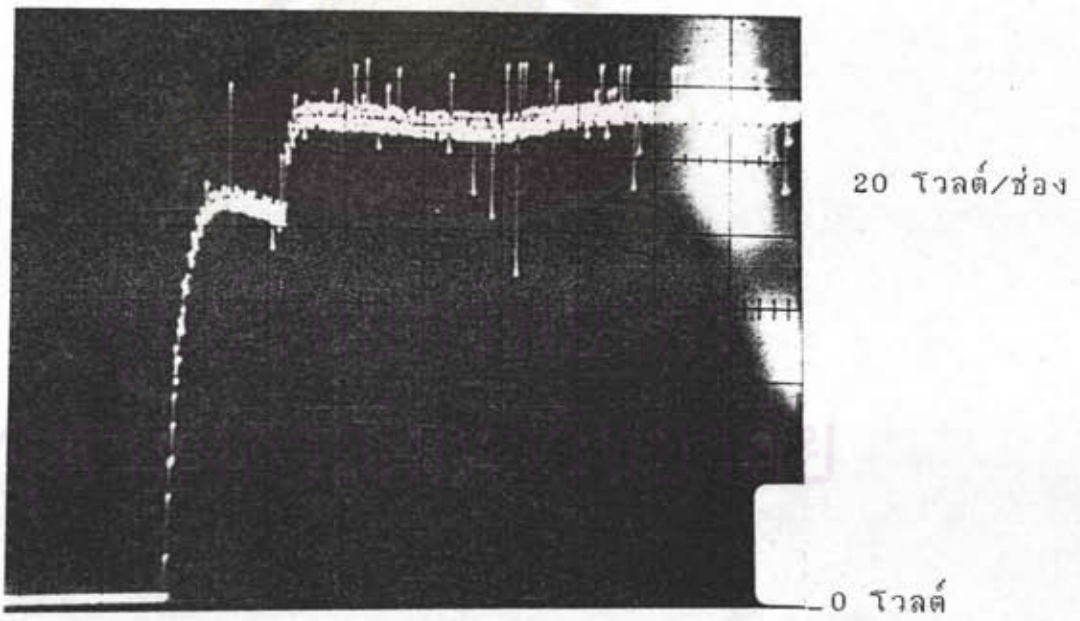
รูปที่ 5.21 เป็นรูปคลื่นของกระแสสลับขาเข้า ในตอนเปิดเครื่องซึ่งเป็นการต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเข้ากับแหล่งจ่ายไฟตรงภาคกำลังโดยที่แรงดันที่ตัวเก็บประจุของวงจรกรองของแหล่งจ่ายไฟตรงมีค่าเป็นศูนย์จะเห็นได้ว่ากระแสสลับด้านเข้าจะมีสูงถึง 80 แอมแปร์ หลังจากสวิตช์ S1 ปิดวงจร และจะมีค่าสูงถึง 64 แอมแปร์ เมื่อสวิตช์ S2 ปิดวงจรหลังจากนั้นกระแสสลับด้านเข้าก็จะมีค่าลดลงค่าในสถานะอยู่ตัวอย่างไรก็ดีหลังจากสวิตช์ S2 ปิดวงจรและกระแสได้ลดลงมาแล้วจะมีการเพิ่มขึ้นอีกเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของกระแสในมอเตอร์ในระหว่างการเร่งความเร็วเข้าสู่สถานะอยู่ตัว

รูปที่ 5.22 เป็นแรงดันออกของแหล่งจ่ายไฟตรงกำลังในต่อเปิดเครื่อง เช่นเดียวกับรูปที่ 5.20 เมื่อสวิตช์ S1 ปิดวงจร แรงดันออกจะมีค่าสูงถึงประมาณ 104 โวลต์ โดยมีเวลาขึ้น 80 มิลลิวินาที และจะมีแรงดันเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 130 โวลต์ หลังจากสวิตช์ S2 ปิดวงจรซึ่งจะปิดวงจรช้ากว่าสวิตช์ S1 เป็นเวลาประมาณ 280 มิลลิวินาที ส่วนการที่แรงดันมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 135



สเกลเวลา 200 มิลลิวินาที/ช่อง

รูปที่ 5.21 กระแสสลับขาเข้าแหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับภาคกำลัง ในช่วงหลังจากปิดวงจรสวิตช์ ON/OFF โดยที่มีสถานะอยู่ตัวเช่นเดียวกับในรูปที่ 5.20

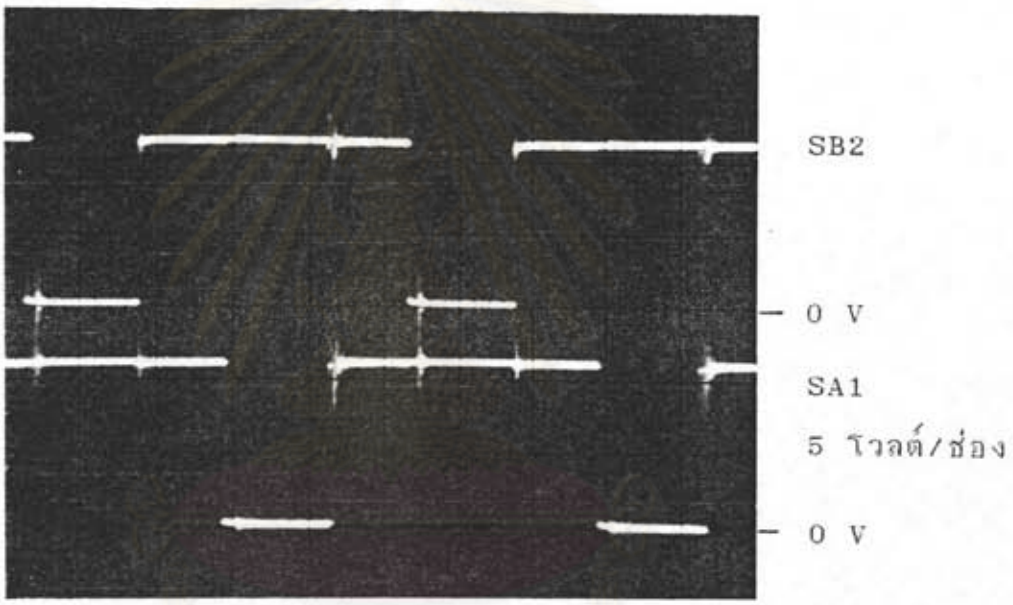


สเกลเวลา 200 มิลลิวินาที/ช่อง

รูปที่ 5.22 แรงดันออกของแหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับภาคกำลัง ในช่วงหลังจากปิดวงจรสวิตช์ ON/OFF โดยที่มีสถานะอยู่ตัวเช่นเดียวกับในรูปที่ 5.20

โวลต์ เมื่อเวลาผ่านไปอีกประมาณ 520 มิลลิวินาที ก็เนื่องจากในช่วงแรกเป็นช่วงที่มอเตอร์เริ่มหมุนแหล่งจ่ายไฟตรงกำลังต้องจ่ายกระแสให้แก่วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง มากกว่าในสถานะอยู่ตัวนั่นเอง

รูปที่ 5.23 เป็นสัญญาณควบคุมการขับนำเกตของ POWER MOSFET ที่เป็นสวิตช์ SA1, SB2 ขณะที่สัญญาณมีค่าเท่ากับ 11 โวลต์ หมายถึงการสั่งให้สวิตช์นำกระแส จะเห็นได้ว่าสวิตช์แต่ละตัวจะมีการสวิตช์ที่ความถี่ประมาณ 10 กิโลเฮริตช์ ทั้งนี้เป็นเพราะมีการสลับกันนำกระแสของสวิตช์ที่ถูกเลือกให้ทำงาน ในช่วงของเวลา D'Ts ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3

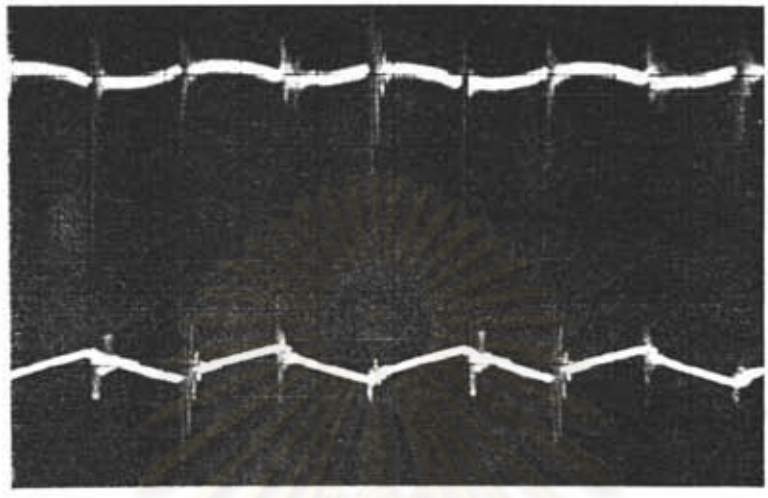


สเกลเวลา 20 ไมโครวินาที/ช่อง

รูปที่ 5.23 สัญญาณสั่งวงจรขับนำเกต SA1,SB2

รูปที่ 5.24 เป็นการแสดงการกระเพื่อมของแรงดันออกของวงจรอยายเซอร์โวกระแสตรงและการกระเพื่อมของกระแสในตัวเหนี่ยวนำเมื่อแรงดันออกมีค่า 70 โวลต์ กระแสออก 10 แอมแปร์ ซึ่งเป็นค่าที่กระแสในตัวเหนี่ยวนำมีการกระเพื่อมสูงสุด การกระเพื่อมของกระแสในตัวเหนี่ยวนำจะมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมโดยมีการต่อยอดถึงยอดของการกระเพื่อมประมาณ 2.5 แอมแปร์ ส่วนการกระเพื่อมของแรงดันออกจะมีลักษณะคล้ายไซน์และมีลักษณะการกระเพื่อม

ตามการกระเพื่อมของกระแสในตัวเหนี่ยวนำ โดยมีค่ายอดถึงยอดของการกระเพื่อม 0.25 โวลต์

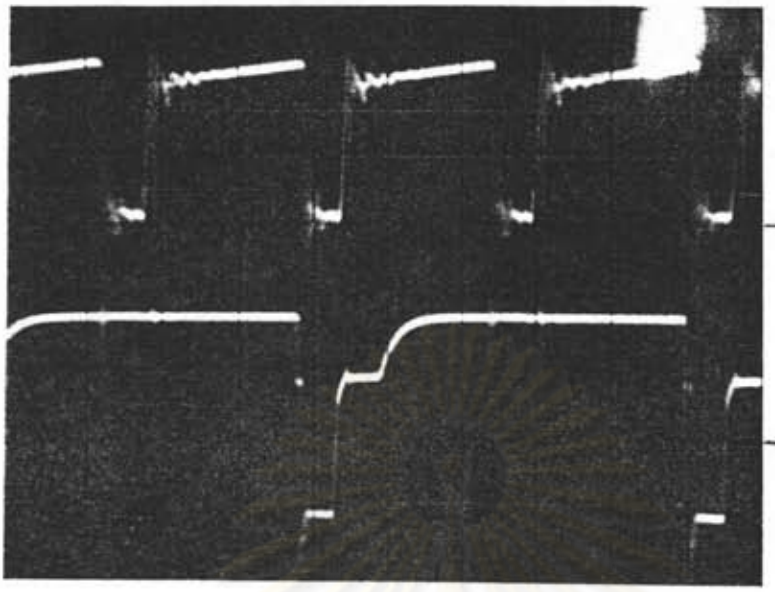


สเกลเวลา 20 ไมโครวินาที

รูปที่ 5.24 การกระเพื่อมของแรงดันออก(ΔV_o)และการกระเพื่อมของกระแสในตัวเหนี่ยวนำ(Δi_L) ที่วัฏจักรงานเท่ากับ 0.5

รูปที่ 5.25 แสดงรูปคลื่นของแรงดันระหว่างเกตกับซอร์สของสวิตช์ SA1 และกระแสผ่านสวิตช์ของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ในช่วงแรกของการเริ่มขึ้นของอาเกตกับซอร์สแรงดันจะมีค่าสูงขึ้นและคงที่อยู่ระยะหนึ่ง จากนั้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจากระหว่างเกตกับซอร์สของ MOSFET มีลักษณะเป็นตัวเก็บประจุที่แปลงเปลี่ยนค่าตามแรงดันระหว่างเกตกับเดรนนั่นเอง ในช่วงต้นของการสวิตช์ จะเห็นได้ว่ากระแสเดรนมีค่าสูงขึ้นเป็นพัลส์อันเนื่องมาจากกระแสอิ่มตัวย้อนกลับของไดโอดในช่วงที่เปลี่ยนการนำกระแสจากไดโอดของ SA2 หรือ SB1 เป็น MOSFET SA1 หรือ SB2 ตามลำดับ และมีค่ายอดสูงประมาณ 12 แอมแปร์

รูปที่ 5.26 แสดงลักษณะของกระแสในสวิตช์ SA_1 กับแรงดันคร่อมเดรนและซอร์สของ SA1 จะเห็นได้ แรงดันระหว่างเดรนกับซอร์สจะมีค่ายอดในช่วงการหยุดนำกระแสประมาณ 210 โวลต์ ส่วนสถานะอยู่ตัวจะมีค่าประมาณ 140

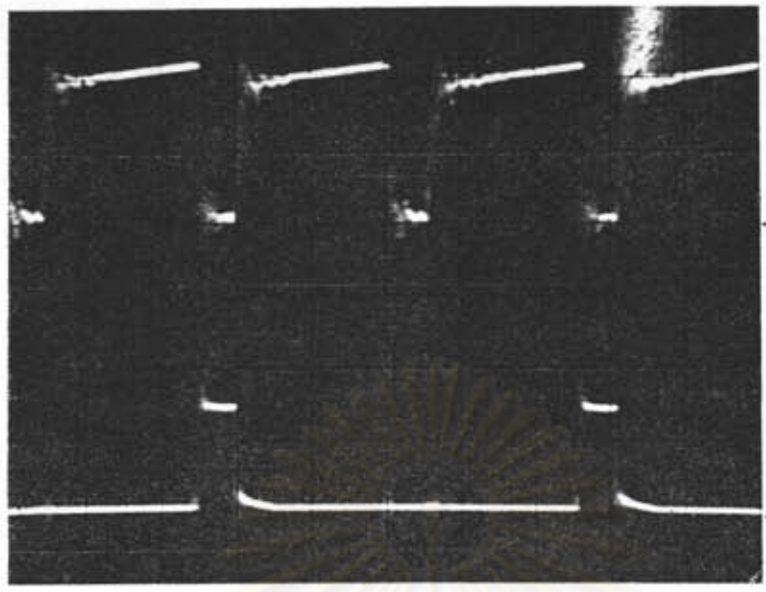


สเกลเวลา 20 ไมโครวินาที

รูปที่ 5.25 สัญญาณขับนำเกต(V_{gs})และกระแสเดรน(I_d) ที่วัฏจักรงานเท่ากับ 0.8 แรงดันออก เท่ากับ 100 โวลต์ กระแสออก 10 แอมแปร์

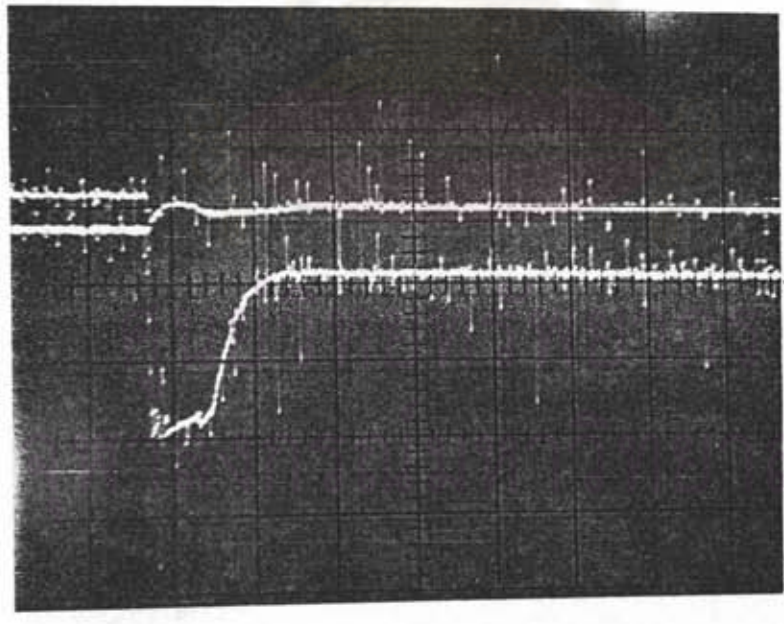
โวลต์ แรงดันคร่อมเดรนและซอร์สที่สูงขึ้นนี้เกิดเนื่องจากแรงดันเหนี่ยวนำ เนื่องจากความเหนี่ยวนำของสายต่อและตัวเหนี่ยวนำของสนับเบอร์กระแส LRD

รูปที่ 5.27 แสดงการเพิ่มขึ้นของแรงดันออกของแหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับภาคกำลัง อันเนื่องมาจากการคืนพลังงานจากมอเตอร์ในช่วงที่มอเตอร์ลดความเร็วลงเมื่อแรงดันตั้งค่ามีค่าเปลี่ยนแบบขั้นจาก -10 โวลต์เป็น 0 โวลต์ สำหรับกรณีที่วงจรอยายเซอร์โวกระแสตรงทำงานในภาคแรงดัน จากรูปเมื่อกระแสของวงจรอยายเซอร์โวกระแสตรงลดลงจากประมาณ 10 แอมแปร์ เป็น -20 แอมแปร์ แรงดันออกของแหล่งจ่ายไฟตรงด้านเข้ามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 135 โวลต์ เป็น 152 โวลต์ เนื่องจากมีการรับพลังงานคืนจากมอเตอร์ แล้วจะเข้าสู่สถานะดงตัวที่ 150 โวลต์ ในกรณีที่วงจรอยายเซอร์โวทำงานในภาคกระแส การเปลี่ยนแรงดันตั้งค่าจาก -5 โวลต์ เป็น 0 จะทำให้แรงดันออกของแหล่งจ่ายไฟทางภาคกำลังเพิ่มขึ้นน้อยเนื่องจากอัตราการคืนพลังงานจะน้อยกว่า



สเกลเวลา 20 ไมโครวินาที

รูปที่ 5.26 กระแสเดรน(I_d)และแรงดันเดรนซอร์ส(V_{dc})
ที่สภาวะเดียวกับรูปที่ 5.25



สเกลเวลา 200 มิลลิวินาที

รูปที่ 5.27 แสดงการเพิ่มขึ้นของแรงดันออกของแหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับภาคกำลัง
จากการหยุดมอเตอร์ในสภาวะเดียวกับรูปที่ 5.13