หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การวัดและบันทึกผลการทดสอบ BIL ด้วยระบบดิจิตอล

ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดสอบ BIL ด้วยระบบดิจิตอล ทางภาควงจรทดสอบและลำดับขั้นตอนการทดสอบจะเหมือนกับระบบวิเคราะห์ผลแบบแอนะล็อก เพียงแต่แตกต่างกันในเรื่องการจัดการสัญญาณทางภาคแรงต่ำ โดยที่ระบบดิจิตอลเริ่มจากตำแหน่งปลายสายเคเบิลที่นำสัญญาณมาจากโวลเตจดิไวเดอร์ และชันต์ความต้านทาน ผ่านอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณให้มีขนาดเล็กลง เพื่อป้อนให้กับดิจิตอลออสซิลโลสโคปทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลขนาด 8 บิต สัญญาณที่ได้จะส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์โดยผ่านระบบการเชื่อมโยงแบบขนาน GPIB

การส่งผ่านข้อมูลสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ภายในห้องปฏิบัติการ มีทั้งระบบการส่งผ่านสัญญาณแบบแอนะล็อกและแบบดิจิตอล ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ใช้นั้นมีส่วนของวงจรที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแบบแอนะล็อกไปเป็นสัญญาณแบบดิจิตอลหรือไม่ โดยทั่วไปเทคนิคการส่งผ่านสัญญาณแบบดิจิตอลจะเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลดิจิตอลที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณ แล้วจึงส่งผ่านทางสายนำสัญญาณไปยังอุปกรณ์ที่ต้องการเช่น เครื่องพิมพ์ หรือเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เป็นต้น

เทคนิคการส่งสัญญาณทางดิจิตอลโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1) ระบบรับและส่งสัญญาณแบบขนาน (Parallel input/output) ในเทคนิคการรับและส่งสัญญาณแบบขนาน จะทำการส่งผ่านหรือรับจำนวนข้อมูลหลาย ๆ บิตในเวลาเดียวกัน ซึ่งอาจจะเป็นแบบ 8 หรือ 16 บิต และเพื่อที่จะส่งข้อมูลจำนวนดังกล่าวได้ จึงจำเป็นต้องมีสายสัญญาณจำนวนมากพอกับจำนวนบิตที่จะส่งผ่านสัญญาณ ต่อเชื่อมระหว่างอุปกรณ์ที่ต้องการใช้ร่วมกันเช่น ระบบ IEEE-488

2) ระบบรับและส่งสัญญาณแบบอนุกรม (Serial input/output) ในเทคนิคการรับและส่งสัญญาณแบบอนุกรม ข้อมูลทีละบิตจะส่งหรือรับผ่านสายนำสัญญาณต่อหนึ่งหน่วยเวลา ดังนั้นสายที่ใช้ในการนำสัญญาณจึงสามารถใช้สายเพียงเส้นเดียวต่อเชื่อมระหว่างอุปกรณ์ที่ต้องการใช้งานร่วมกันเช่น ระบบ RS-232C , หรือ RS-422

3.1 ระบบการรับและส่งสัญญาณโดยใช้ IEEE-488 (GPIB)

วิธีที่นิยมมากวิธีหนึ่งสำหรับเทคนิคการส่งผ่านข้อมูลที่ต้องการความเร็วสูงภายในห้องปฏิบัติการคือ การใช้ระบบเชื่อมโยงแบบขนาน ซึ่งในระบบนี้บริษัท Hewlett-Packard เป็นผู้เริ่มคิดขึ้นเพื่อใช้กับอุปกรณ์ของทางบริษัท และได้รับการยอมรับจากสถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (IEEE) ดังมีมาตรฐานกำหนดออกมาในปี คศ. 1975, 1978. และ 1987 โดยจะเรียกชื่อระบบดังกล่าวว่า IEEE-488 นอกจากนี้ยังมีการอ้างชื่อเป็นอย่างอื่นอีกเช่น HP-IB (Hewlett-Packard Interface Bus) และ GPIB (General Purpose Interface Bus) และมาตรฐานสากล IEC ได้ออกมาตรฐานรับรองในฉบับเลขที่ IEC Publ.625 [19]

ข้อดีของระบบมาตรฐาน GPIB คือ มีข้อบังคับที่เข้มงวดทำให้อุปกรณ์ต่างๆ ไม่ว่าจะผลิตจากที่ใดจะสามารถนำมาต่อเชื่อมโยงกันได้ทั้งหมด ซึ่งแตกต่างจากระบบอนุกรม RS-232C ที่มักจะมีปัญหาในการต่อเชื่อมโยงระหว่างอุปกรณ์ ในระบบ GPIB ยังยอมให้สามารถต่อพ่วงอุปกรณ์ได้มากกว่า 1 อุปกรณ์เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำการควบคุม ทำให้ราคาของระบบโดยรวมถูกลง นอกจากนี้ในระบบดังกล่าวยังมีหัวต่อเพียงแบบเดียวทำให้การต่อเชื่อมระหว่างอุปกรณ์จึงไม่มีปัญหาเรื่องหัวต่อผิดทาง และสุดท้ายความเร็วในระบบควบคุม โดยที่ในระบบนี้สามารถส่งผ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 1 เมกะไบต์ต่อวินาที ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์และสายนำสัญญาณที่นำมาใช้

ข้อเสียของระบบมาตรฐาน GPIB คือ ในอุปกรณ์ที่มีการติดตั้งระบบดังกล่าวจะมีราคาที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจึงมักจะไม่พบในอุปกรณ์ดิจิตอลที่มีราคาต่ำ ความสามารถในการส่งข้อมูลที่มีอัตราสูงนั้นบางครั้งจะไม่จำเป็นในอุปกรณ์ที่มีฟังก์ชันการทำงานง่ายๆ เช่น มิเตอร์วัดแรงดันแบบดิจิตอล

ข้อกำหนดที่สำคัญของการใช้อุปกรณ์มาตรฐาน IEEE-488 มีดังนี้

1) สามารถนำอุปกรณ์มาต่อพ่วงภายในระบบเดียวได้จำนวนมากถึง 15 อุปกรณ์
2) ความยาวของสายนำสัญญาณทั้งหมดที่ใช้ในการต่อพ่วงอุปกรณ์จะต้องน้อยกว่า 20 เมตร (ถ้าไม่มีหน่วยความจำสำรอง (buffer) เพิ่มเติม) และความยาวของสายนำสัญญาณระหว่างอุปกรณ์แต่ละตัวจะมีความยาวเพียง 2 เมตร
3) จำนวนของสายไฟในเคเบิลหนึ่งเส้นจะมีจำนวนทั้งสิ้น 24 สาย ซึ่งมีฟังก์ชันการ

ทำงานที่กำหนดไว้แน่นอนดังนี้

จำนวนสายไฟที่ใช้ในการส่งถ่ายข้อมูล 8 บิตมีจำนวน 8 เส้น

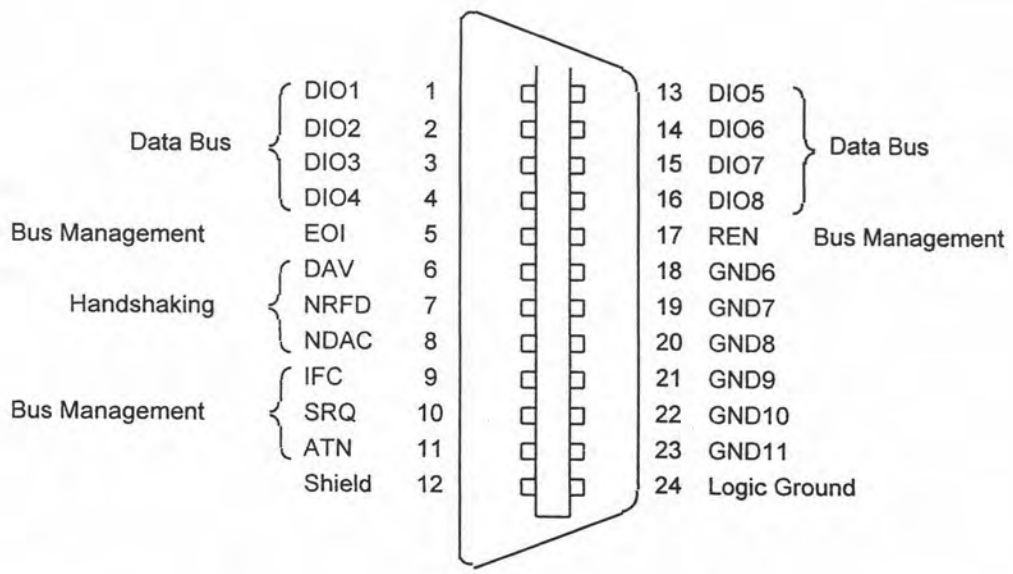
จำนวนสายไฟที่ใช้ในการควบคุมการส่งถ่ายข้อมูลจำนวน 8 เส้น

จำนวนสายไฟที่ใช้สำหรับกราวด์ และซีลด์ จำนวน 8 เส้น

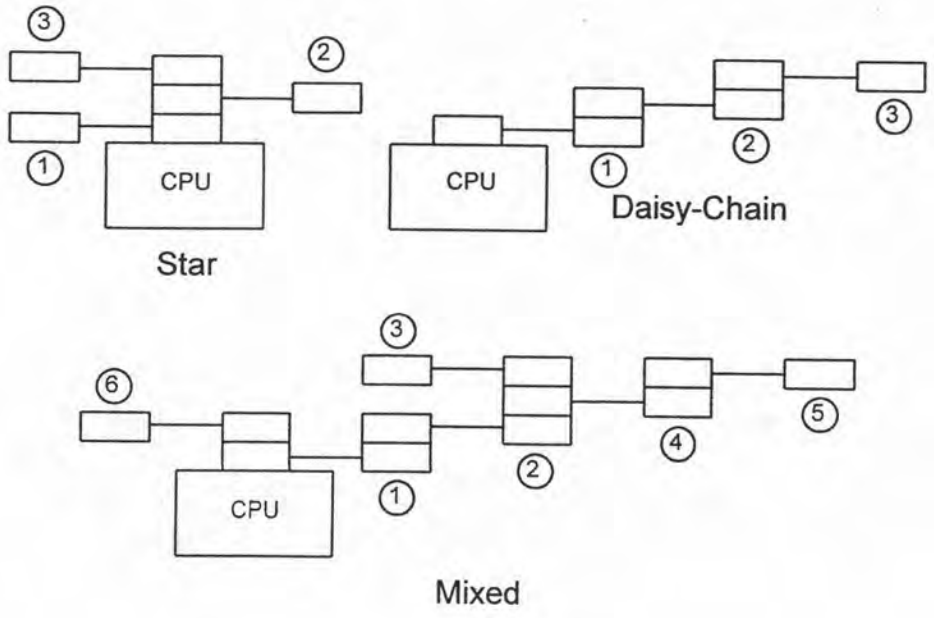
โดยสามารถดูตำแหน่งของสายไฟแต่ละเส้น ที่ตำแหน่งเต้ารับตัวเมียของระบบมาตรฐาน GPIB ได้ดังรูปที่ 3.1 จำนวนสายไฟ 16 เส้นของสายข้อมูลและสายควบคุมจะรวมและเรียกชื่อเป็น บัส (bus) ของระบบมาตรฐาน GPIB

4) อุปกรณ์ที่ใช้สามารถจัดวางได้ตามความสะดวกของผู้ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 3.2

5) อัตราการส่งข้อมูลสูงสุดคือ 1 เมกะไบต์/วินาที



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งของสายไฟแต่ละเส้นที่ตำแหน่งเต้ารับตัวเมียของระบบมาตรฐาน GPIB



1,2,3,4,5 และ 6 หมายถึงอุปกรณ์ดิจิตอลต่าง ๆ ที่ต่ออยู่บนระบบมาตรฐาน GPIB

รูปที่ 3.2 การจัดวางอุปกรณ์ในระบบ GPIB

3.2 หลักการทำงานของระบบมาตรฐาน GPIB

เนื่องจากระบบมาตรฐาน IEEE-488 สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ได้หลายอุปกรณ์บนระบบเครือข่ายเดียวกัน การควบคุมระบบการทำงานของอุปกรณ์เหล่านั้นจึงกลายเป็นสิ่งที่จำเป็นเปรียบเสมือนความสามารถในการจัดระบบจราจร ให้กับการส่งข้อมูลและรับข้อมูลซึ่งกันและกัน ดังนั้นในระบบมาตรฐาน IEEE-488 จึงจำเป็นต้องมีหน่วยควบคุมที่เรียกว่าผู้ควบคุม อยู่เพียงตัวเดียวตลอดเวลาซึ่งก็คือเครื่องคอมพิวเตอร์นั่นเอง ผู้ควบคุมนี้จะทำการจัดวางการทำงานทั้งหมดของอุปกรณ์ต่าง ๆ บนระบบโดยการจัดลำดับการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์กับผู้ควบคุม

ในมาตรฐานยังกำหนดว่าในการส่งถ่ายข้อมูลกันนั้น จะทำได้เพียงอุปกรณ์เดียวเท่านั้นในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ๆ เพื่อป้องกันปัญหาการรบกวนทางข้อมูลของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จัดส่งพร้อมกันในเวลานั้น อุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลตามมาตรฐานจะเรียกว่า ผู้พูด ฟังก์ชันการทำงานของผู้ควบคุมจะสามารถสั่งให้อุปกรณ์ใดก็ได้เพียงอุปกรณ์เดียวในระบบเป็นผู้พูด และบางครั้งผู้ควบคุมเองสามารถที่จะเป็นผู้พูดได้เหมือนกัน ในทำนองเดียวกันในมาตรฐานยังได้กำหนดให้อุปกรณ์ใด ๆ หรือทั้งหมดที่ต่ออยู่บนระบบเดียวกัน (รวมทั้งผู้ควบคุม) เป็นตัวรับข้อมูลหรือที่เรียกว่าผู้ฟัง

ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะมีอุปกรณ์หลายตัวที่สามารถรับคำสั่งหรือข้อมูลในเวลาเดียวกัน และอุปกรณ์ที่จะเป็นผู้ฟังได้นั้น ผู้ควบคุมจะเป็นผู้สั่งโดยใช้ฟังก์ชันคำสั่งของระบบ

ผู้ควบคุมจะทำการกำหนดที่อยู่ของแต่ละอุปกรณ์ หรือแม้แต่บางครั้งอาจจะกำหนดให้กับส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์เดียวกันโดยกำหนดตำแหน่งที่อยู่เป็นเฉพาะก็ได้ ซึ่งจะมีที่อยู่เป็นหมายเลขตั้งแต่ 0 จนถึง 31 โดยที่อยู่เหล่านี้สามารถเปลี่ยนได้ด้วยสวิตซ์ตัวเลือกที่อยู่ของอุปกรณ์นั้น ๆ

ตัวอย่างการทำงานของระบบ GPIB กับเครื่องออสซิลโลสโคปแบบดิจิตอล (DSO) โดยการสมมุติให้ DSO มีที่อยู่เป็น 7 และผู้ใช้ต้องเสียบการ์ด GPIB ลงในสล็อตที่ว่างของเครื่องคอมพิวเตอร์และใช้สายเคเบิล GPIB สำเร็จรูป ต่อเชื่อมระหว่างคอมพิวเตอร์กับ DSO จากนั้นจึงใช้โปรแกรมทำการควบคุมการทำงานโดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดให้ตัวคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ควบคุม (ตำแหน่งที่อยู่จะเป็น 0 เสมอ)
2) ผู้ควบคุมส่งคำสั่งไปที่ DSO เพื่อบอกให้เป็นผู้ฟัง
3) ผู้ควบคุมสั่งตัวเองให้เป็นผู้พูด และส่งคำสั่งไปที่ DSO เพื่อสั่งให้เตรียมพร้อมที่จะทำงานในการรับข้อมูลสัญญาณที่ต้องการวัด
4) ผู้ควบคุมส่งคำสั่งไปที่ DSO เพื่อจะเริ่มต้นอ่านข้อมูล
5) ผู้ควบคุมสั่งให้ DSO เป็นผู้พูดและตัวเองเป็นผู้ฟัง
6) ผู้ควบคุมจะรอรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DSO
7) เก็บข้อมูล

การทำระบบควบคุมดังกล่าวเป็นไปได้ที่จะส่งคำสั่งจากผู้ควบคุมไปยังอุปกรณ์ DSOที่มากกว่า 1 เครื่องเพื่อให้พร้อมที่จะบันทึกสัญญาณ แต่อย่างไรก็ตามจะมีผู้พูดเพียงอุปกรณ์เดียวเท่านั้นในเวลาหนึ่ง ๆ ดังนั้นจึงต้องมีสายสัญญาณควบคุมหนึ่งสายที่จะรายงานให้ผู้ควบคุมทราบเมื่อเครื่อง DSO เครื่องใดเครื่องหนึ่งพร้อมที่จะส่งข้อมูล สายสัญญาณเส้นนี้ในมาตรฐาน GPIB เรียกว่า service request (SRQ) ซึ่งเป็นหนึ่งใน 16 สายสัญญาณ สัญญาณ service request นี้จะส่งมาจาก DSO ที่พร้อมจะส่งข้อมูลให้กับผู้ควบคุมทราบ เพื่อให้ผู้ควบคุมทำการสั่งให้เครื่อง DSO ดังกล่าวเป็นผู้พูด และเครื่องคอมพิวเตอร์จะเป็นผู้ฟัง จากนั้นข้อมูลที่เก็บไว้ใน DSO จะส่งมายังคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป และจะมีสายนำสัญญาณอีกเส้นที่ทำหน้าที่บอกผู้ควบคุมเมื่อ DSO ได้ส่งข้อมูลเสร็จเรียบร้อย โดยสายนำสัญญาณดังกล่าวเรียกว่า end of identify

(EOI) ซึ่งจะส่งสัญญาณมาที่ผู้ควบคุมพร้อมกับชุดข้อมูลสุดท้าย

3.3 ระบบบัสมาตรฐาน GPIB

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าบัสสัญญาณมีทั้งหมด 16 เส้น และมีสายกราวด์และชีลด์ 8 เส้น จัดแบ่งออกเป็น 3 หมวดใหญ่ๆ ได้แก่

1) บัสข้อมูล เป็นบัสที่ใช้ในการส่งข้อมูลและข่าวสาร มีจำนวนทั้งหมด 8 เส้น ใช้สำหรับส่งข้อมูลคราวละ 8 บิตขนานกัน เป็นบัสชนิดสองทิศทาง

2) บัสแสดงสภาวะของอุปกรณ์ (Handshake) มาตรฐาน IEEE-488 ได้กำหนดหน้าที่ของสายสัญญาณทั้ง 3 เส้นดังต่อไปนี้

ก. ข้อมูลพร้อม (Data Valid "DAV") สายสัญญาณนี้จะตอบสนองจากอุปกรณ์ที่พร้อมส่งข้อมูล

ข. ข้อมูลไม่พร้อม (Not Ready for Data "NRFD") สายสัญญาณเส้นนี้จะตอบสนองจากอุปกรณ์จนกระทั่งพร้อมที่จะรับข้อมูล

ค. ไม่ได้รับข้อมูล (Not Data Accepted "NDAC") สายสัญญาณเส้นนี้จะตอบสนองจากอุปกรณ์จนกระทั่งได้รับชุดข้อมูลเรียบร้อยแล้ว

3) บัสจัดการ (Bus management) เป็นสายสัญญาณที่ใช้ในการจัดการการจราจรบนบัสข้อมูล มีจำนวนทั้งหมด 5 เส้นประกอบด้วย

ก. ATN (Attention) ถ้าสายสัญญาณเส้นนี้ตอบสนองโดยผู้ควบคุมคือคอมพิวเตอร์หมายถึง ผู้ควบคุมมีคำสั่งไปให้กับอุปกรณ์บนบัสข้อมูลและถ้าไม่มีสัญญาณตอบสนองหมายถึงผู้ควบคุมกำลังทำการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์

ข. IFC (Interface Clear) สายสัญญาณนี้จะมีเพียงผู้ควบคุมที่สามารถใช้งานได้และใช้สำหรับการ "clear" อุปกรณ์ ให้อยู่ในสภาวะเหมือนกับตอนเปิดเครื่อง

ค. SRQ (Service Request) สายสัญญาณเส้นนี้ใช้โดยอุปกรณ์เพื่อร้องขอการบริการจากผู้ควบคุม จากจุดนี้จะสังเกตได้ว่าเป็นการร้องขอ ไม่ใช่คำสั่งดังนั้นผู้ควบคุมสามารถทำโปรแกรมเพื่อตอบรับหรือปฏิเสธก็ได้

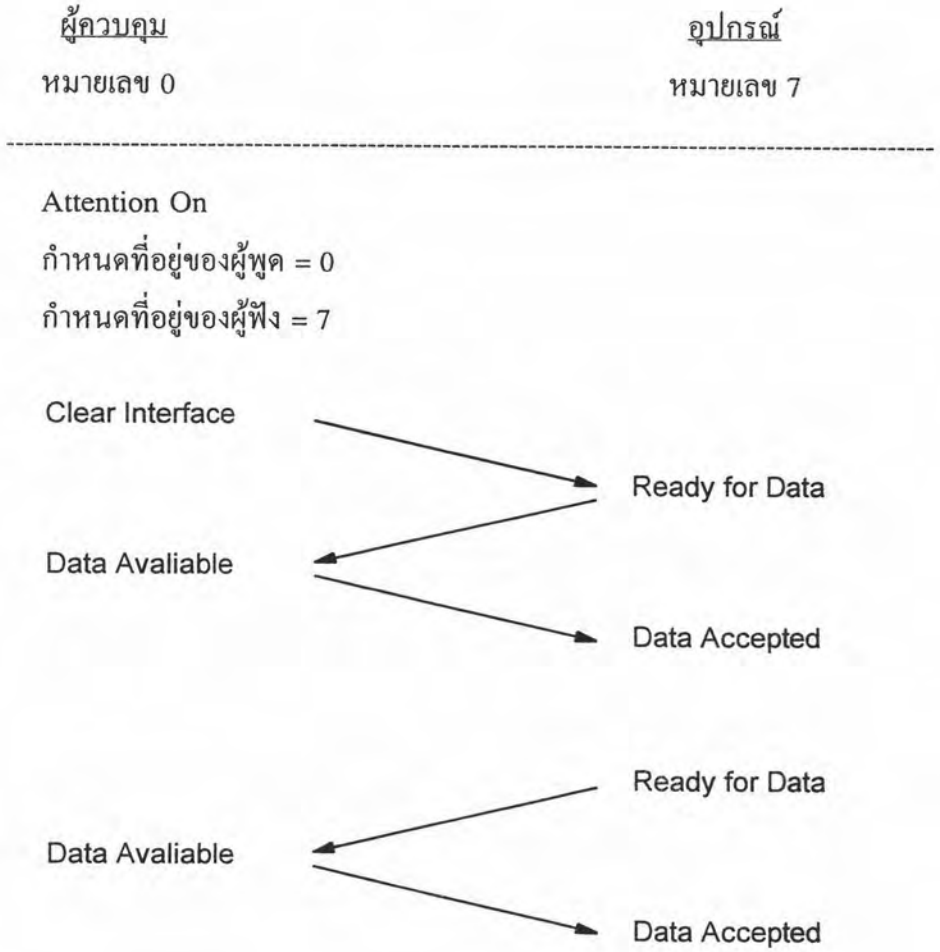
ง. REN (Remote Enable) สายสัญญาณเส้นนี้ใช้โดยผู้ควบคุมเพื่อกำหนดสภาพ

TH143988

การทำงานของอุปกรณ์ให้อยู่ในสภาวะพร้อมที่จะทำงานบนอุปกรณ์ (on-line) หรือ ทำงานโดยการควบคุมของผู้ควบคุม เมื่ออุปกรณ์ได้รับการควบคุมจากผู้ควบคุมแล้วจะไม่สามารถรับคำสั่งผ่านทางแผงควบคุมบนหน้าปัทม์ของอุปกรณ์ได้ ดังนั้นสายสัญญาณเส้นนี้จะใช้ เพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่จะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงการทำงานบนแผงควบคุมของอุปกรณ์จากผู้ใช้ โดยการเปลี่ยนฟังก์ชันการทำงาน

จ. EOI (End of Identify) สายสัญญาณเส้นนี้จะใช้โดยผู้พูด เพื่อแสดงให้รู้ว่าอุปกรณ์ได้จัดส่งข้อมูลในชุดสุดท้ายเรียบร้อยแล้ว

ลำดับขั้นตอนของการควบคุมระบบมาตรฐานนั้นสามารถดูได้ดังรูปที่ 3.3 เมื่อผู้ควบคุม (คอมพิวเตอร์มีเลขที่อยู่ประจำอุปกรณ์เป็น 0) กับตัวอุปกรณ์ (DSO มีเลขที่อยู่ประจำอุปกรณ์เป็น 7)



รูป 3.3 ลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบ GPIB ระหว่างผู้ควบคุมและอุปกรณ์

3.4 การส่งสัญญาณแบบหลายสาย (multiwire transmission)

การส่งสัญญาณแบบหลายสายทั้งหมดจะใช้บัสข้อมูล 8 เส้น โดยทั่วไปสัญญาณที่ส่งโดยผ่านบัสข้อมูลนี้ได้แก่ กลุ่มคำสั่งควบคุมและข้อมูลที่จัดส่งโดยผู้พูด

ผู้ควบคุมจะเป็นผู้จัดส่งคำสั่งโดยการให้สายสัญญาณ ATN ตอบสนอง โดยทั่วไปคำสั่งควบคุมเป็นรหัสแอสกี้ 7 บิต รูปแบบของคำสั่งเหล่านี้แสดงดังตารางที่ 3.1 แบ่งออกเป็น

1) คำสั่งจักรวาล (Universal commands) จัดเป็นคำสั่งควบคุมที่ส่งให้กับอุปกรณ์ทุกตัวที่อยู่บนระบบเดียวกัน
2) คำสั่งระบุที่อยู่ (Addressed commands) จัดเป็นคำสั่งที่ส่งให้กับอุปกรณ์ตามที่อยู่เฉพาะที่ปรากฏบนคำสั่ง อาจมีมากกว่า 1 ตัวก็ได้
3) คำสั่งที่ไม่ระบุที่อยู่ (Unaddress commands) ใช้สำหรับลบล้าง บัสของผู้พูดและผู้ฟัง

ตัวอย่างเช่น สมมุติว่าต้องการทำการตั้งค่าของอุปกรณ์ที่เลือกไว้ให้อยู่ในสภาวะคล้ายกับตอนเปิดเครื่อง ซึ่งสามารถทำได้โดยส่งคำสั่งจักรวาล DCL (Device Clear) ตัวคำสั่งจะทำการจัดตั้งค่าอุปกรณ์ทั้งหมดใหม่ที่ต่ออยู่บนระบบ หรือในบางกรณีถ้าต้องการเลือกเฉพาะบางอุปกรณ์ก็ทำการส่งคำสั่งยกเลิกที่อยู่ของผู้ฟัง UNL (Unlisten) กับอุปกรณ์ทั้งหมด จากนั้นเลือกอุปกรณ์ที่ต้องการตั้งค่าอุปกรณ์ใหม่ให้เป็นผู้ฟังเช่น อุปกรณ์ที่ต้องการอยู่ที่หมายเลข 6 ให้เป็นผู้ฟัง โดยที่คำสั่งที่ส่งไปคือ 00100110 (38 สำหรับเลขฐานสิบ) แล้วส่งคำสั่ง SDC (selective device clear) ซึ่งระบบจะทำการตั้งค่าอุปกรณ์ใหม่เฉพาะอุปกรณ์ที่ได้เลือกไว้ให้เป็นผู้ฟัง (หมายเลข 6)

ตารางที่ 3.1 รูปแบบคำสั่งควบคุม GPIB [19]

บัส							คำสั่ง
6	5	4	3	2	1	0	
0	0	D_4	D_3	D_2	D_1	D_0	คำสั่งจักรวาล
0	1	D_4	D_3 ยกเว้น	D_2	D_1	D_0	คำสั่งให้เป็นผู้ฟัง
0	1	1	1	1	1	1	คำสั่งไม่ให้เป็นผู้ฟัง
1	0	D_4	D_3 ยกเว้น	D_2	D_1	D_0	คำสั่งให้เป็นผู้พูด
1	0	1	1	1	1	1	คำสั่งไม่ให้เป็นผ้พูด
1	1	D_4	D_3 ยกเว้น	D_2	D_1	D_0	คำสั่งลำดับสอง
1	1	1	1	1	1	1	ไม่กำหนด

3.5 การใช้งานซอฟท์แวร์บนระบบมาตรฐาน GPIB

ตามมาตรฐานระบบ GPIB เพื่อให้การควบคุมโดยการพัฒนาซอฟท์แวร์ด้วยภาษาสูงที่ใช้เช่น Qbasic, C, หรือ Pascal สามารถทำได้ด้วยวิธีที่ง่ายจึงจำเป็นต้องสร้างโปรแกรมโดยการใช้งานร่วมกันระหว่าง ตัวขับอุปกรณ์ (device driver) และไฟล์ควบคุมตามภาษาสูงที่ใช้ ไฟล์ที่ใช้เป็นตัวขับอุปกรณ์จำเป็นต้องเรียกเก็บในหน่วยความจำในขณะเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ ก่อนที่จะมีการใช้งานและจะค้างอยู่ในหน่วยความจำจนกระทั่งปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ ในกรณีนี้ตัวขับอุปกรณ์จะมีชื่อว่า GPIB216.COM และจากที่ไฟล์ตัวขับอุปกรณ์นี้จำเป็นต้องอยู่ในหน่วยความจำจึงต้องใส่ไฟล์นี้ลงใน CONFIG.SYS ซึ่งเป็นไฟล์ที่ใช้ในตอนเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อกำหนดหรือแจ้งให้กับหน่วยประมวลผล CPU ทราบว่ามีอุปกรณ์อะไรบ้างที่ต่ออยู่ในระบบการทำงาน โดยที่ประโยคคำสั่งนี้สามารถเขียนได้ดังนี้

Device = \GPIB-AT\GPIB216.COM

โดยที่สมมุติว่าไฟล์ GPIB216.COM เก็บอยู่ในรากย่อย (subdirectory) ของ GPIB-AT เนื่องจากไฟล์ตัวขับอุปกรณ์นี้นามสกุลของไฟล์เป็น .COM ซึ่งหมายถึงว่า ไฟล์ดังกล่าว

สามารถทำงานได้บนระบบการทำงานของคอมพิวเตอร์ (DOS) แต่เนื่องจากว่าเมื่อเรียกไฟล์ดังกล่าวบน DOS แล้วระบบการทำงานจะไม่สามารถทำงานต่อได้ และจำเป็นต้องทำการบูต (boot) เครื่องใหม่ ดังนั้นจึงควรจะทำการเปลี่ยนนามสกุลของไฟล์ตัวขับอุปกรณ์ GPIB216.COM ให้เป็นนามสกุลใหม่คือ GPIB216.SYS ซึ่งจะทำให้คำสั่งในไฟล์ CONFIG.SYS เปลี่ยนไปดังนี้

DEVICE = \GPIB-AT\GPIB216.SYS

ไฟล์ตัวขับอุปกรณ์นี้มีหน้าที่การทำงานอยู่ 2 ประการกล่าวคือ ประการแรกเป็นไฟล์ที่บรรจุไปด้วยซอฟท์แวร์ที่จำเป็นทั้งหมดที่ทำให้ การ์ดอุปกรณ์มาตรฐาน GPIB และอุปกรณ์ที่จะทำการควบคุมสามารถทำงานบนคำสั่งต่างๆ จากซอฟท์แวร์ที่พัฒนาขึ้นได้ ประการที่สองเป็นไฟล์ที่ประกอบด้วยตารางที่สามารถกำหนดได้โดยผู้ใช้ว่ามีอุปกรณ์ต่างๆ ติดตั้งอยู่ที่ตำแหน่งที่อยู่ใดบ้าง ซึ่งการที่จะเปลี่ยนหรือแก้ไขตารางดังกล่าวต้องทำการแก้ไขโดยการผ่านทางไฟล์ IBCONF.COM โดยที่ตารางดังกล่าวจะมีพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

1) ตำแหน่งที่อยู่ของแต่ละอุปกรณ์ ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นอุปกรณ์แต่ละตัวที่ติดตั้งอยู่บนระบบมาตรฐาน GPIB จะมีที่อยู่เพียงที่อยู่เดียว โดยอยู่ระหว่าง 0 ถึง 31
2) ตำแหน่งที่อยู่ระดับสอง (secondary address) ถ้าอุปกรณ์ใช้ที่อยู่ระดับสองเพื่อทำงานตามฟังก์ชันที่กำหนดแน่นอน (specific function) ต้องระบุด้วย
3) เวลาสิ้นสุดการทำงาน (time out limit) เพื่อป้องกันปัญหาซอฟท์แวร์สามารถทำงานต่อได้เช่น ทำการสั่งอุปกรณ์ที่ยังไม่ได้เปิดเครื่อง การทำงานที่ผิดปกติ หรือปัญหาอื่น ๆ เป็นต้น เวลาสิ้นสุดการทำงานนี้จะมีประโยชน์มากถ้าระบบควบคุมไม่ได้รับการตอบสนอง จากอุปกรณ์ที่กำลังควบคุมอยู่ ภายในเวลาที่กำหนดการรายงานความผิดปกติจะเกิดขึ้นทันที ซึ่งจะทำให้ตัวซอฟท์แวร์สามารถทำงานต่อได้
4) การลงท้ายชุดข้อความ (message termination) ขึ้นอยู่กับทางบริษัทผู้ผลิต ซึ่งอาจใช้เทคนิคเช่น การลงท้ายชุดข้อความแต่ละชุดด้วยอักขระ (character) ที่กำหนดด้วยการใช้สายสัญญาณ EOI เมื่อการส่งข้อความนั้นสิ้นสุดลง หรือการลงท้ายข้อความที่ส่งด้วยการนับจำนวนไบต์ที่จัดส่ง

3.6 การเขียนโปรแกรมควบคุมระบบการทำงาน GPIB ในงานวิจัย

การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ GPIB ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้ภาษา Cซึ่งเป็นภาษาที่นิยมในการเขียนโปรแกรมที่มีฟังก์ชันการทำงานที่ต้องการความเร็วสูง และในซอฟท์แวร์ที่ทางบริษัทผู้ผลิตการ์ด GPIB จำหน่ายมีโปรแกรม Driver สำหรับภาษา C ให้ด้วย ทำให้การพัฒนาโปรแกรมสามารถทำได้โดยไม่ต้องไปเขียนภาษาเครื่อง เพื่อควบคุมการทำงานของระบบ GPIB

โครงสร้างของโปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบ GPIB นั้นประกอบด้วยชุดคำสั่งที่จะต้องทำงานตามลำดับดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับในงานวิจัยนี้จะทำการควบคุม DSO เพื่อทำการกำหนดค่าตั้งต้นสำหรับการรอรับข้อมูลแรงดันและกระแสที่ได้จากการทดสอบ BIL โดยแยกการควบคุมออกเป็น 2 ระบบ กล่าวคือระบบแรกจะทำการรับข้อมูลของแรงดันเพื่อทำการตรวจสอบลักษณะรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์มาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 3.3 และระบบที่สองจะทำการรับข้อมูลของการทดสอบ เพื่อทำการเก็บข้อมูลของแรงดันและกระแสตามลำดับขั้นการทดสอบที่แสดงในตารางที่ 2.2 ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ลำดับขั้นการทำงานของโปรแกรมระบบควบคุมสามารถสรุปได้ดังนี้

1) จัดสภาวะเริ่มต้นของระบบ
2) กำจัดข้อมูลที่ตกค้างบนอุปกรณ์ DSO
3) กำหนดหน้าที่การทำงานให้กับอุปกรณ์ DSO เพื่อที่จะทำการติดต่อด้วยในเรื่องการตั้งค่าต่าง ๆ บนหน้าจอภาพของ DSO เช่น ขนาดของแรงดันต่อช่อง ช่วงเวลาตลอดจนตำแหน่งและขนาดของสัญญาณที่จะทำให้ DSO เริ่มต้นเก็บข้อมูล เป็นต้น
4) ให้สัญญาณเพื่อให้อุปกรณ์ DSO พร้อมที่จะรับข้อมูล (triggering)
5) ทำการอ่านข้อมูลที่เก็บได้จากอุปกรณ์ DSO
6) วิเคราะห์และแสดงผลให้กับรูปคลื่นที่อ่านได้ เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปเป็นข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่องเหมือนแบบแอนะล็อก และมีการเข้ารหัสสัญญาณทางดิจิตอลซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นวิธีการในการวิเคราะห์ผลจึงจำเป็น ต้องใช้วิธีการประมาณเชิงเส้น ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในเทคนิคการประมาณเชิงเส้นในบทที่ 4 ต่อไป

ตารางที่ 3.2 คำสั่งควบคุมบนระบบมาตรฐาน GPIB [19]

คำสั่ง		รหัส[4]	ความหมาย
LLO	(local lockout)[1]	17	ทำให้อุปกรณ์ไม่สามารถควบคุมจากแผงควบคุมหน้าเครื่อง
DCL	(device clear)[1]	20	ตั้งค่าอุปกรณ์ทั้งหมดตามสภาวะเริ่มต้น
PPU	(parallel poll unconfigure)[1]	21	ตั้งค่าอุปกรณ์ทั้งหมดให้ปฏิเสธการสั่งงานแบบขนาน
SPE	(serial poll enable)[1]	24	สามารถทำงานในภาวะสั่งงานเป็นลำดับแบบอนุกรม
SPD	(serial poll disable)[1]	25	ไม่สามารถทำงานในภาวะสั่งงานเป็นลำดับแบบอนุกรม
SDC	(selective device clear)[2]	4	ตั้งค่าอุปกรณ์ใหม่ตามที่อยู่ที่ระบุ
GTL	(go to local)[2]	2	ให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้โดยการควบคุมจากหน้าเครื่อง
GET	(group execute trigger)[2]	8	การเริ่มต้นก่อนโปรแกรมทำงาน
PPC	(parallel poll configure)[2]	5	กำหนดสายสำหรับการสั่งงานแบบขนาน
TCT	(take control)[2]	9	ให้อุปกรณ์ที่เลือกไว้ทำงาน
UNL	(unlisten)[3]	63	ไม่ระบุที่อยู่การเป็นผู้ฟังทั้งหมด
UNT	(untalk)[3]	95	ไม่ระบุที่อยู่การเป็นผู้พูดทั้งหมด

[1] คำสั่งจักรวาล (universal command)

[2] คำสั่งพร้อมระบุที่อยู่ (addressed command)

[3] คำสั่งที่ไม่ระบุที่อยู่ (unaddressed command)

[4] ค่าตัวเลขฐานสิบ

ชุดคำสั่งพร้อมรูปแบบของคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมระบบ GPIB สามารถดูได้จากภาคผนวก ก. [20]

ค่าตั้งต้นเริ่มแรกหลังจากคำสั่งตั้งค่าใหม่ (reset) และคุณสมบัติของออสซิลโลสโคปแบบดิจิตอล ที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถดูได้จากภาคผนวก ข. 21]

ตารางที่ 3.3 ชุดคำสั่งควบคุม DSO บนระบบการวัดแรงดันอิมพัลส์เพื่อวิเคราะห์ลักษณะรูปคลื่นแรงดันที่ได้

ลำดับขั้นตอนที่	ชุดคำสั่งพร้อมคำอธิบาย
1	Send(0,gould,"**:*rst;**",6L,NLend); ความหมาย คำสั่งให้ DSO (gould) ตั้งค่าเริ่มต้นเหมือนตอนเปิดเครื่อง
2	DevClear(0,gould); ความหมาย คำสั่งให้ DSO ลบข้อมูลตกค้างทั้งหมด
3	Send(0,gould,"**:sense:voltage*:offset 2;**",25L,NLend); ความหมาย คำสั่งให้ DSO ตั้งค่าระดับแรงดันตั้งต้นของทั้งสองช่องสัญญาณให้มีค่าเริ่มต้นที่ช่องที่ 2 เหนือเส้นกลางจอเพื่อพร้อมรับข้อมูลที่เป็นทางลบ Send(0,gould,"**:sense:voltage1:ptp 40;**",23L,NLend); ความหมาย ให้ค่าแรงดันของช่องสัญญาณที่ 1 มีขนาดแรงดัน 5 โวลต์/ช่อง (8 ช่อง = 40 โวลต์) Send(0,gould,"**:input*:coupling DC;**",20L,NLend); ความหมาย ให้ DSO ทำการประมวลผลสัญญาณทั้งสองช่องให้เป็น DC โดยกรองส่วนที่เป็น AC ออกไป Send(0,gould,"**:trigger:mode NORMAL;**",21L,NLend); ความหมาย ให้สัญญาณทั้งสองช่องรับสัญญาณตามจังหวะที่กำหนด โดยขึ้นอยู่กับระดับของสัญญาณ Send(0,gould,"**:trigger:slope NEG;**",19L,NLend); ความหมาย ให้ DSO รับสัญญาณทั้งสองเมื่อมีค่าความชันเป็นลบ

ตารางที่ 3.3(ต่อ) ชุดคำสั่งควบคุม DSO บนระบบการวัดแรงดันอิมพัลส์เพื่อวิเคราะห์ลักษณะรูปคลื่นแรงดันที่ได้

ลำดับขั้นตอนที่	ชุดคำสั่งพร้อมคำอธิบาย
3 (ต่อ)	Send(0,gould,":trigger:coupling DC;",21L,NLend); ความหมาย ให้สัญญาณกระตุ้นทำงานเมื่อมีสัญญาณเข้ามาทุกความถี่ Send(0,gould,":trigger:level -0.1;",20L,NLend); ความหมาย ให้ระดับสัญญาณที่มากระตุ้น DSO ให้เริ่มทำการเก็บสัญญาณเมื่อมีขนาดเป็น -0.1 ช่องของสัญญาณที่เลือกให้เป็นสัญญาณกระตุ้น Send(0,gould,":sense:sweep 50E-6;",19L,NLend); ความหมาย ให้ DSO ตั้งค่าเวลาในการกวาดภาพเต็มหน้าจอเท่ากับ 50 ไมโครวินาที หรือ 5 ไมโครวินาทีต่อช่อง
4	Send(0,gould,":init;",6L,NLend); ความหมาย ให้ DSO พร้อมที่จะรับข้อมูล (initial oscilloscope) Send(0,gould,":*wai;",6L,NLend); ความหมาย ให้ระบบการทำงานของ GPIB รอคอยสัญญาณขอบริการจาก DSO เมื่อพร้อมที่จะส่งข้อมูล
5	Send(0,gould,":trace:start 0;",15L,NLend); ความหมาย เป็นการกำหนดข้อมูลเริ่มต้นที่ต้องการอ่านจาก DSO Send(0,gould,":trace:stop 500;",16L,NLend); ความหมาย เป็นการกำหนดข้อมูลสิ้นสุดที่ต้องการอ่านจาก DSO Send(0,gould,":trace?:trace1;",15L,NLend); ความหมายเป็นการบอกให้ DSO ทราบว่า ต้องการข้อมูลสัญญาณที่แสดงผลไว้ในช่องสัญญาณที่ 1 บนจอภาพของ DSO ReceiveSetup(0,gould); ความหมายเป็นการกำหนดให้ผู้ควบคุม (0) เป็นผู้ฟัง และอุปกรณ์ (gould) เป็นผู้พูด

ตารางที่ 3.3(ต่อ) ชุดคำสั่งควบคุม DSO บนระบบการวัดแรงดันอิมพัลส์เพื่อวิเคราะห์ลักษณะรูปคลื่นแรงดันที่ได้

ลำดับขั้นตอนที่	ชุดคำสั่งพร้อมคำอธิบาย
5 (ต่อ)	Receive(0,gould,buffer,2521,STOPend); ความหมาย ให้ผู้ควบคุมทำการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ โดยข้อมูลรหัสแอสกี้ที่ได้ให้เก็บในตัวแปรชื่อ buffer ขนาด 2521 ไบต์ (ความยาวข้อมูลสูงสุดที่อาจมีได้ของ DSO) และตามด้วยตัวลงท้าย (STOPend)
6	เนื่องจากข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลรหัสแอสกี้คั่นด้วยจุลภาค (,) จึงจำเป็นต้องแปลงรหัสแอสกี้ดังกล่าวเป็นเลขฐานสิบ เพื่อใช้ในการคำนวณลักษณะสมบัติของรูปคลื่น ตามที่แสดงไว้ในภาคผนวก ง. และการวิเคราะห์เพื่อหาค่าคงตัวทางเวลาแสดงในหัวข้อ 4.2

ตารางที่ 3.4 ชุดคำสั่งควบคุม DSO บนระบบการวัดแรงดันและกระแสที่ได้จากวงจรทดสอบเพื่อวิเคราะห์ผลที่ได้

ลำดับขั้นตอนที่	ชุดคำสั่งพร้อมคำอธิบาย
1	Send(0,gould,“:*rst;”,6L,NLend); ความหมาย เหมือนในตารางที่ 3.3
2	DevClear(0,gould); ความหมาย เหมือนในตารางที่ 3.3
3	Send(0,gould,“:sense:voltage*:offset 2;”,25L,NLend); Send(0,gould,“:sense:voltage1:ptp 40;”,23L,NLend); Send(0,gould,“:sense:voltage2:ptp 16;”,23L,NLend); Send(0,gould,“:input*:coupling DC;”,20L,NLend); Send(0,gould,“:trigger:mode NORMAL;”,21L,NLend); Send(0,gould,“:trigger:slope NEG;”,19L,NLend); Send(0,gould,“:trigger:coupling DC;”,21L,NLend);

ตารางที่ 3.4(ต่อ) ชุดคำสั่งควบคุม DSO บนระบบการวัดแรงดันและกระแสที่ได้จากวงจรทดสอบเพื่อวิเคราะห์ผลที่ได้

ลำดับขั้นตอนที่	ชุดคำสั่งพร้อมคำอธิบาย
3 (ต่อ)	Send(0,gould," :trigger:level -0.1;",20L,NLend); ความหมายเหมือนในตารางที่ 3.3 Send(0,gould,":sense:sweep 500E-6;",19L,NLend); ความหมาย ให้ DSO ตั้งค่าเวลาในการกวาดภาพเต็มหน้าจอเท่ากับ 500 ไมโครวินาที หรือ 50 ไมโครวินาทีต่อช่อง
4	Send(0,gould,":init;",6L,NLend); Send(0,gould,":*wai;",6L,NLend); ความหมายเหมือนในตารางที่ 3.3
5	Send(0,gould,":trace:start 0;",15L,NLend); Send(0,gould,":trace:stop 500;",16L,NLend); Send(0,gould,":trace?:trace1;",15L,NLend); ReceiveSetup(0,gould); Receive(0,gould,buffer1,2521,STOPend); ความหมายเหมือนในตารางที่ 3.3 แต่เก็บข้อมูลในตัวแปร buffer1 Send(0,gould,":trace?:trace2;",15L,NLend); ความหมายเหมือนในตารางที่ 3.3 แต่ต้องการถามข้อมูลที่แสดงผลในช่องสัญญาณที่สอง Receive(0,gould,buffer2,2521,STOPend); ความหมายเหมือนในตารางที่ 3.3 แต่เก็บข้อมูลในตัวแปร buffer2
6	เนื่องจากข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลรหัสแอสกี้คั่นด้วยจุลภาค (,) จึงจำเป็นต้องแปลงรหัสแอสกี้ดังกล่าวเป็นเลขฐานสิบ เพื่อใช้ในการคำนวณลักษณะสมบัติของรูปคลื่น ตามที่แสดงไว้ในภาคผนวก ง.