

การออกแบบการ์ด IEEE-488 สำหรับไมโครคอมพิวเตอร์

มนัส สังวรศิลป์¹ สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์² นพดล มณีรัตน์³ และ สหัท พิภอ่อน³
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้เสนอการออกแบบและสร้างการ์ดอินเตอร์เฟซสำหรับเครื่องมือวัดที่ใช้มาตรฐานของ IEEE-488 เนื่องจากว่าในระบบของ IEEE-488 นั้นจำเป็นต้องใช้การ์ดอินเตอร์เฟซเพื่อทำการเชื่อมต่อเครื่องมือวัดต่างๆ เข้ากับตัวควบคุมระบบ ซึ่งได้แก่ไมโครคอมพิวเตอร์ แต่การ์ดดังกล่าวนั้นมีราคาแพง จึงได้ทำการสร้างขึ้นเอง ทำให้ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้เป็นอันมากและสามารถที่จะนำไปใช้เพื่อพัฒนาระบบเครื่องมือวัดได้ต่อไป

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

² อาจารย์ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

³ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

Design of Interface Card Using IEEE-488 Standard for Microcomputer

Manas Sangworasil¹ Surapan Airphaiboon²

Noppadol Maneerat³ and Sahat Fuk-on⁴

King mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This paper presents the design and construction of an interface card for measuring equipments using IEEE-488 standard bus. In the system, a microcomputer with interface card is used as system controller interface to IEEE-488 bus and connect to all equipments. The interface card available in the market is very expensiv, so the developed card will decrease the expense and can be used to develop measuring equipment system.

¹ *Associate Professor, Department of Electronics*

² *Lecturer, Department of Electronics*

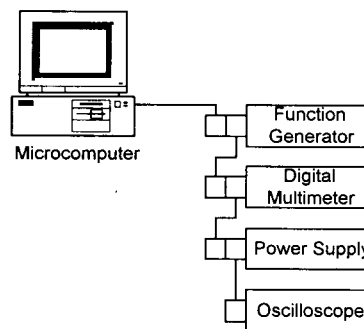
³ *Graduate Student, Department of Electronics*

บทนำ

การควบคุมเครื่องมือวัดต่างๆ ในทางอุตสาหกรรมนั้น สามารถที่จะทำการควบคุมได้โดยผ่านทางสายข้อมูลหรือบัส ซึ่งบัสที่ใช้ควบคุมนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ แต่ระบบบัสแบบ IEEE-488 นั้นเป็นระบบบัสมาตรฐานที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมปัจจุบัน เนื่องจากระบบบัสดังกล่าวนี้เป็นระบบบัสที่เกิดขึ้นจากความร่วมมือของบริษัทผู้ผลิตเครื่องมือวัดในประเทศอเมริกาในการที่จะคิดค้นหาระบบบัสที่เป็นมาตรฐาน เพื่อที่จะสามารถใช้เชื่อมต่อเครื่องมือวัดที่ต่างบริษัทกันให้สามารถใช้งานร่วมกันได้ในระบบเครื่องมือวัด โดยในปี ค.ศ. 1972 สถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของอเมริกา (Institute of Electrical and Electronics Engineers : IEEE) ได้จัดประชุมเพื่อวางแผนหาระบบบัสมาตรฐานขึ้น ซึ่งบริษัท Hewlett Packard ผู้ผลิตเครื่องมือวัดรายใหญ่รายหนึ่งของอเมริกาที่ได้ทำการพัฒนาระบบบัสมาตรฐานเครื่องมือวัดของตนอยู่ก่อนแล้วชื่อว่า HPIB (Hewlett Packard Interface Bus) ได้เสนอระบบบัสดังกล่าวให้ IEEE พิจารณา และได้รับการยอมรับในปี ค.ศ.1975 และเรียกบัสดังกล่าวว่า มาตรฐาน IEEE Std 488-1975 และมีการปรับปรุงต่อมาเป็น IEEE Std 488-1978 ซึ่งก็คือระบบบัสแบบ IEEE-488 หรือ GPIB (General Purpose Interface Bus) นั่นเอง การเชื่อมต่อเครื่องมือวัดเข้ากับตัวควบคุมระบบซึ่งในที่นี้ได้ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมเนื่องจากสามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวกในการอินเตอร์เฟสกับอุปกรณ์ต่างๆ การอินเตอร์เฟสเครื่องมือวัดต่างๆ เข้ากับตัวควบคุมนั้นจะต้องมีการ์ดอินเตอร์เฟสสำหรับใช้เป็นตัวเชื่อมต่อ แต่เนื่องจากการ์ดอินเตอร์เฟสดังกล่าวที่มีขายอยู่ทั่วไปในท้องตลาดมีราคาแพงมาก การศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการสร้างการ์ดนี้ขึ้นเองเพื่อใช้ในการเชื่อมต่อเครื่องมือวัดเข้ากับตัวควบคุม สำหรับเครื่องมือวัดที่ทำการควบคุมผ่านระบบบัสแบบ IEEE-488 ในระบบที่ทำการศึกษานี้ประกอบด้วย

1. Programmable Function Generator รุ่น HM8130 ของบริษัท HAMEG
2. Programmable Multimeter รุ่น HM8112-2 ของบริษัท HAMEG
3. Programmable Power Supply รุ่น HM8142 ของบริษัท HAMEG
4. 100MHz Analog / Digital Oscilloscope รุ่น HM1007 ของบริษัท HAMEG

ซึ่งเครื่องมือเหล่านี้เป็นเครื่องมือที่ได้มาตรฐานและใช้กันเป็นส่วนใหญ่ในวงการอุตสาหกรรมปัจจุบัน



รูปที่ 1 ระบบเครื่องมือวัดที่ใช้ทดสอบ

2 การออกแบบการ์ดอินเตอร์เฟส IEEE-488 และการเขียนโปรแกรมควบคุม

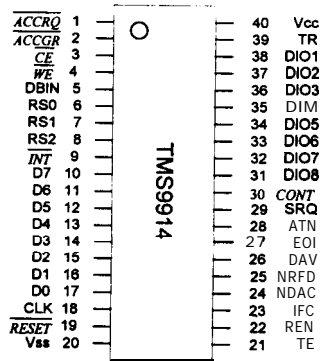
2.1 การออกแบบการ์ดอินเตอร์เฟส

ระบบมาตรฐาน IEEE-488 จำเป็นต้องมีไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อทำการควบคุมระบบดังกล่าว ซึ่ง IC ที่สามารถใช้เป็น CPU เพื่อควบคุมระบบนั้นมีด้วยกันหลายเบอร์และหลายบริษัท เช่น NEC D7210C, NAT 4882, TMS 9914, MC 68488 เป็นต้น สำหรับการ์ดอินเตอร์เฟสที่ทำการสร้างนี้ได้เลือกใช้ IC เบอร์ TMS 9914 ของบริษัท Texas Instrument ทำหน้าที่เป็น CPU ของระบบ เนื่องจากมีราคาถูกและสามารถหาซื้อได้ง่าย ซึ่ง IC ดังกล่าวนี้ได้ออกแบบมาเพื่อใช้ทำหน้าที่เป็น CPU สำหรับใช้กับฟังก์ชันมาตรฐานของระบบแบบ IEEE-488 ทำให้เหมาะที่จะประยุกต์ใช้งานกับระบบบัสดังกล่าวได้เป็นอย่างดี ลักษณะการจัดขาสัญญาณต่างๆ ของ IC TMS 9914 และความหมายของสัญญาณต่างๆ ได้จัดแสดงไว้ดังตารางที่ 1 และรูปที่ 2

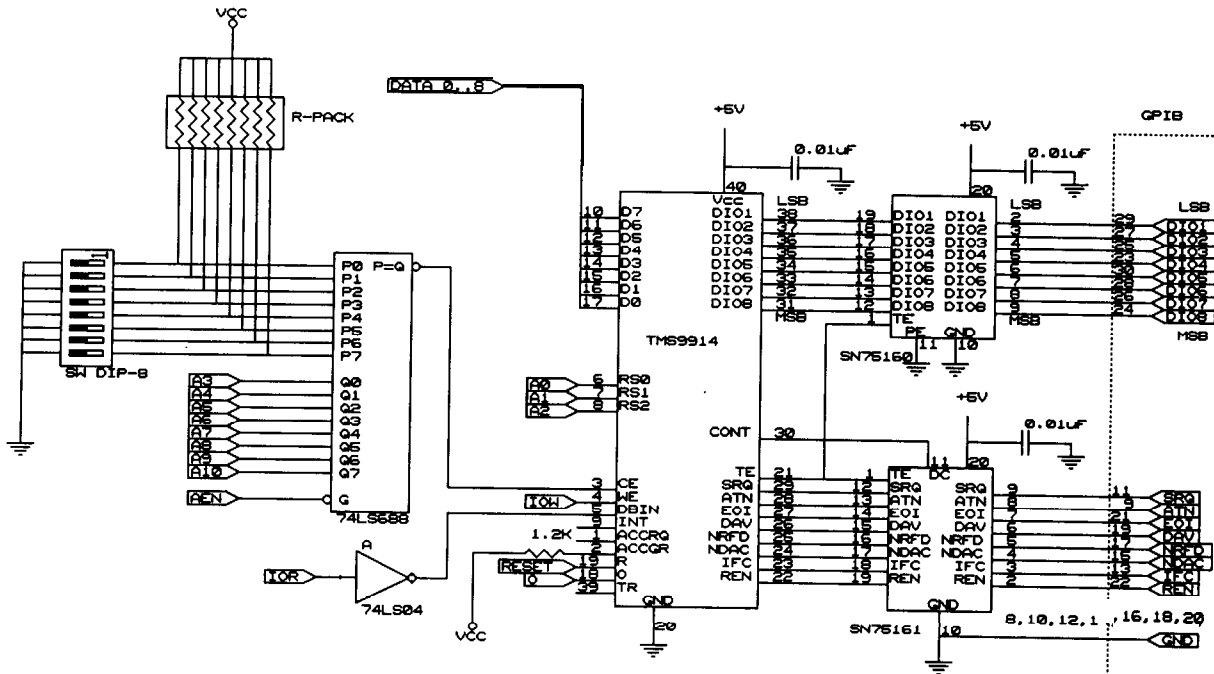
จากคุณสมบัติของ IC TMS 9914 สามารถที่จะนำมาออกแบบส่วนที่เป็นการอินเตอร์เฟสระบบบัส IEEE-488 เข้ากับตัวควบคุมซึ่งเป็นไมโครคอมพิวเตอร์ได้เป็นอย่างดี วงจรของการ์ดอินเตอร์เฟสนั้นแสดงดังรูปที่ 3 และสามารถแยกอธิบายวงจรได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นการอินเตอร์เฟสกับอุปกรณ์เครื่องมือวัด และวงจรเข้ารหัสแอดเดรสจากไมโครคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 1 ความหมายของขาสัญญาณต่างๆ ของ IC TMS9914

SIGNAL NAME	PIN NO.	I/O TYPE	SIGNAL DEFINITION
DIO8 (MSB)	31	I/O	I/O DATA 6
DIO7	32	I/O	I/O DATA7
DIO6	33	I/O	I/O DATA6
DIO5	34	I/O	I/O DATA5
DIO4	35	I/O	I/O DATA4
DIO3	36	I/O	I/O DATA3
DIO2	37	I/O	I/O DATA2
DIO1 (LSB)	36	I/O	I/O DATA1
DAV	26	I/O	DATA VALID
NFRD	24	I/O	NOT READY FOR DATA
NDAC	25	I/O	NOT DATA ACCEPTED
ATN	28	I/O	ATTENTION
REN	22	I/O	REMOTE ENABLE
IFC	23	I/O	INTERFACE CLEAR
SRQ	29	I/O	SERVICE REQUEST
E01	27	I/O	END OR IDENTIFY
CONT	30	0	
TE	21	0	TALK ENABLE
DO (MSB)	17	I/O	DATA 0
D1	16	I/O	DATA 1
D2	15	I/O	DATA 2
D3	14	I/O	DATA 3
D4	13	I/O	DATA 4
D5	12	I/O	DATA 5
D6	11	I/O	DATA 6
D7	10	I/O	DATA 7
RS0	6		REGISTER SELECT LINE
RS1	7		REGISTER SELECT LINE
RS2	8		REGISTER SELECT LINE
CE	3		CHIP ENABLE
WE	4		WRITE ENABLE
DBIN	5		DATA BUS IN
INT	9	0	INTERRUPT
ACCRO	1	0	ACCESS REQUEST : DMA
ACCGR	2		ACCESS GRANTED
RESET	19		RESET
I R	39	0	TRIGGER GPIB
ϕ	18		CLOCK : 500KHz - 5MHz
V _{ss}	20		o v
VCC	40		+5 V



รูปที่ 2 การจัดขาสัญญาณของ IC TMS9914



2.1.1 วงจรส่วนการอินเตอร์เฟสกับเครื่องมือวัด

จากรูปที่ 3 วงจรส่วนที่เป็นการอินเตอร์เฟสกับเครื่องมือวัดจะประกอบด้วย IC TMS 9914 ซึ่งทำหน้าที่เป็น CPU ในส่วนของการอินเตอร์เฟส และ IC เบอร์ SN 75160, SN 75161 จะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบ โดย IC เบอร์ SN 75160 จะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้กับกลุ่มสายสัญญาณข้อมูล ส่วน IC เบอร์ SN 75161 จะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้กับกลุ่มสายสัญญาณควบคุมและสายสัญญาณการแฮนด์เชค และจะต่อเอาท์พุทของบัฟเฟอร์ทั้งสองเข้ากับคอนเนคเตอร์ เพื่อต่อออกสู่ระบบบัส IEEE-488

2.1.2 วงจรถอดรหัสแอดเดรสจากไมโครคอมพิวเตอร์

วงจรประกอบด้วย IC เบอร์ 74LS688, DIP SWITCH แบบ 8 บิตและตัวต้านทานขนาด 10K เป็นวงจรที่ทำการถอดรหัสกลุ่มแอดเดรสขนาด 8 แอดเดรส ซึ่งการเลือกกลุ่มแอดเดรสที่จะทำการถอดรหัสนี้ทำได้โดยการเช็ท DIP SWITCH ที่ขา P_0-P_7 ของ IC 74LS688 หน้าที่ของ IC ตัวนี้จะทำการเปรียบเทียบค่าของอินพุตสองชุดที่ส่งเข้ามาทางขา P_0-P_7 และขา Q_0-Q_7 ถ้าอินพุตทั้งสองชุดเท่ากัน เอาท์พุทที่ขา $P = Q$ จะเป็นลอจิก 0 จากวงจรขา Q_0-Q_7 จะต่อเข้ากับแอดเดรสบิต A_3-A_{10} ในขณะที่ขา P_0-P_7 ต่อเข้ากับตัวต้านทานที่ทำหน้าที่ Pull up (รักษาระดับแรงดันให้เป็นลอจิก 1 ในกรณีที่ไม่มีอินพุตเข้ามา) และขา P_0-P_7 จะต่อเข้ากับปลายข้างหนึ่งของ DIP SWITCH ด้วย ส่วนปลายอีกข้างของ DIP SWITCH ที่ต่อกับขาใด ขานั้นก็จะได้รับลอจิก 0 ในขณะที่ถ้า DIP SWITCH ที่ต่อกับขาใดที่ถูก OFF ขานั้นก็จะได้รับลอจิก 1 และเนื่องจากอินพุทที่ขา Q_0-Q_3 (แอดเดรส A_3-A_{10}) ต้องเท่ากับอินพุทที่ขา P_0-P_7 ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงการเช็ท DIP SWITCH จะทำให้แอดเดรสบิต A_3-A_{10} ที่ต่อกับขา Q_0-Q_7 นั้นต้องเปลี่ยนแปลงค่าแอดเดรสที่ต้องการถอดรหัสได้ง่ายกว่าการถอดรหัสแบบกำหนดค่าแอดเดรส

วงจรในลักษณะนี้สามารถนำไปใช้ทำการถอดรหัสแบบกำหนดค่าแอดเดรสได้โดยนำเอา DIP SWITCH ออก และถ้าต้องการให้อินพุทมีค่าลอจิกเป็น 0 ก็ให้นำตัวนำมาเชื่อมต่อระหว่างขั้วทั้งสองแทนการเช็ท DIP SWITCH ให้ ON ไว้ แต่ถ้าอินพุทใดต้องการลอจิก 1 ก็ให้ปล่อยขั้วทั้งสองนี้ไว้

2.2 โครงสร้างของ GPIB

ส่วนประกอบพื้นฐานของ GPIB ประกอบด้วยผู้ส่ง (Talker), ผู้รับ (Listener) และผู้ควบคุม (Controller)

ตัวส่ง (Talker) ทำหน้าที่ส่งข้อมูล โดยในระบบสามารถมีตัวส่งได้หลายตัว แต่ไม่สามารถทำงานพร้อมกันได้ จะมีตัวส่งเพียงแค่ตัวเดียวเท่านั้นที่กำลังทำงานอยู่ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่ง เช่น เครื่องมือวัดต่างๆ เป็นต้น

ตัวรับ (Listener) ทำหน้าที่รับข้อมูลในระบบนั้น สามารถมีอุปกรณ์ที่เป็นตัวรับพร้อมๆ กันได้หลายตัว และสามารถทำงานพร้อมกันได้ในเวลาเดียวกัน อุปกรณ์ที่เป็นตัวรับ เช่น Printer, Plotter เป็นต้น

ตัวควบคุม (Controller) ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมสัญญาณต่างๆ บนบัส โดยรับความต้องการของอุปกรณ์ที่จะส่งข้อมูลหรือควบคุมให้ตัวส่งทำการส่งข้อมูล หรือสั่งให้ตัวรับทำการรับข้อมูล อุปกรณ์ดังกล่าว เช่น ไมโครคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

ในอุปกรณ์บางอย่างสามารถทำหน้าที่เป็นได้ทั้งตัวส่งและตัวรับภายในตัวมันเอง เช่น ไมโครคอมพิวเตอร์, Programmable Function Generator เป็นต้น

2.3 การเขียนโปรแกรมควบคุม IEEE-488 (GPIB) โดยใช้ IC TMS 9914

การเขียนโปรแกรมควบคุมระบบ GPIB โดยใช้ IC TMS9914 เป็นตัวควบคุมระบบนั้น สามารถทำได้โดยง่าย เพราะว่า IC ดังกล่าวมีรีจิสเตอร์ภายในสำหรับการเขียนและการอ่านข้อมูลหรือคำสั่งอย่างละ 8 ตัว และยังมีคำสั่งซึ่งเป็นฟังก์ชันมาตรฐานของ IEEE-488 อีกด้วย ปกติการเขียนโปรแกรมควบคุมตามมาตรฐาน IEEE-488 นั้น จะมีขบวนการติดต่อกับอุปกรณ์ทั้งที่เป็น Talker และ Listener รวมทั้งขบวนการแฮนด์เชคในการรับส่งข้อมูลบนระบบบัส เนื่องจาก IC TMS9914 มีโครงสร้างภายในที่เหมาะสมสำหรับการจัดการกับขบวนการเหล่านั้น จึงช่วยให้สะดวกต่อการเขียนโปรแกรมควบคุมระบบสำหรับรีจิสเตอร์การอ่านและการเขียนข้อมูล รวมทั้งฟังก์ชันมาตรฐาน IEEE-488 ของ IC TMS9914 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2, 3 และ 4

ตารางที่ 2 รีจิสเตอร์การอ่าน

REGISTER SELECT LINE			STATUS OF DATA PIN							
RS2	RS1	RS0	DO	DI	D2	D3	D4	D5	D6	D7
0	0	0	INTO	INT1	BI	BO	END	SPAS	RLC	MAC
0	0	1	GET	ERR	UNC	APT	DCAS	MA	SRQ	IFC
0	1	0	REM	LLO	ATN	LPAS	TPAS	LADS	TADS	ulpa
0	1	1	ATN	DAV	NDAC	NRFD	EOI	SRQ	IFC	REN
1	0	0	NOT USE							
1	0	1	NOT USE							
1	1	0	D108	DIO7	D106	DIO5	D104	D103	D102	DIO1
1	1	1	DIO8	D107	DIO6	D105	DIO4	D103	D102	DIO1

ตารางที่ 3 รีจิสเตอร์การเขียน

REGISTER SELECT LINE			STATUS OF DATA PIN							
RS2	RS1	RS0	DO	DI	D2	D3	D4	D5	D6	D7
0	0	0	X	X	BI	BO	END	SPAS	RLC	MAC
0	0	1	GET	ERR	UNC	APT	DCAS	MA	SRQ	IFC
0	1	0	NOT USE							
0	1	1	C/S	X	X	F4	F3	F2	F1	F0
1	0	0	edpa	dal	dat	A5	A4	A3	A2	A1
1	0	1	S8	RSV	S6	S5	S4	S3	S2	S1
1	1	0	PP8	PP7	PP6	PP5	PP4	PP3	PP2	PP1
1	1	1	D108	D107	D106	DIO5	D104	D103	D102	DIO1

ตารางที่ 4 ฟังก์ชันมาตรฐานของ IC TMS9914

C/S	F4	F3	F2	F1	FO	MNEMONIC	FUNCTION
0/1	0	0	0	0	0	swrt	Chip reset
0/1	0	0	0	1		dacr	Release ACDS holdoff
na	0	0	0	1	0	rhdf	Release RFD holdoff
0/1	0	0	0	1	1	hdfa	Holdoff on all data
0/1	0	0	1	0	0	hdre	Holdoff on EOI ONLY
na	0	0	1	1	1	nbaif	Set new byte available false
0/1	0	0	1	1	0	fget	Force group execute trigger
0/1	0	0	1	1	1	rtf	Return to local
na	0	10		0	0	feoi	Send EOI with next byte
0/1	0	1	0	0	1	lon	Listen only
0/1	0	1	0	1	0	ton	Talk only
na	0	10		11		gts	Go to standby
na	0	11		0	0	tca	Take control asynchronously
na	0	1	1	0	1	tcs	Take control synchronously
0/1	0	1	1	1	0	rpp	Request parallel poll
0/1	0	1	1	1	1	sic	Send interface clear
0/1	1	0	0	0	0	sre	Send remote enable
na	10		0	0	1	rqc	Request control
na	10		0		10	rlc	Release control
0/1	1	0	0	1	1	dai	Disable all interrupts
na	10		10		0	pts	Pass through next secondary
0/1	1	0	1	0	1	stdl	Set T1 delay
0/1	1	0	1	1	0	shdw	Shadow handshake

สภาวะการอ่านและเขียนข้อมูลจากรีจิสเตอร์ภายใน IC TMS9914 สามารถตรวจสอบสภาวะของระบบได้ตลอดเวลา ทำให้ขบวนการต่างๆ ในการติดต่อสื่อสารผ่านระบบ IEEE-488 มีความสะดวกมากขึ้น รีจิสเตอร์ที่จำเป็นในการใช้งานคือ

1. รีจิสเตอร์การอ่านข้อมูลตัวที่ 1 (RS2 RS1 RS0 = 0 0 0) มีขนาด 8 บิต ประกอบด้วยบิตต่างๆ คือ

DO	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
INT0	INT1	BI	BO	END	SPAS	RLC	MAC

รูปที่ 4 รีจิสเตอร์การอ่านข้อมูลตัวที่ 1

ซึ่งบิต D2 และ D3 เป็นบิตที่จำเป็นต้องใช้ในการแฮนด์เชค โดยบิต D2-BI ใช้ในการตรวจสอบการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ที่เป็นตัวส่ง โดยเมื่อตัวควบคุมทำการอ่านข้อมูลเรียบร้อยแล้วก็จะเช็คค่าบิตนี้ให้เป็น 1 ส่วนบิต D3-BO ใช้ตรวจสอบการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ที่เป็นตัวรับ เมื่อมีการส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้วจะมีการเช็คค่าบิตนี้ให้เป็น 1 เช่นกัน

2. รีจิสเตอร์การอ่านข้อมูลตัวที่ 8 (RS2 RS1 RS0 = 1 1 1) มีขนาด 8 บิต ประกอบด้วยบิตข้อมูล DIO1 - DIO8 ใช้ในการอ่านข้อมูลจากบัสข้อมูลตามต้องการ
3. รีจิสเตอร์การเขียนข้อมูลตัวที่ 4 (RS2 RS1 RS0 = 0 1 1) มีขนาด 8 บิต แต่บิต D1 และ D2 ไม่ได้ใช้

DO	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
C/S	x	X	f4	f3	f2	f1	f0

รูปที่ 5 รีจิสเตอร์การเขียนข้อมูลตัวที่ 4

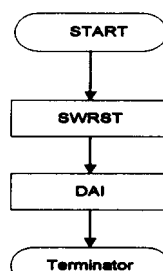
รีจิสเตอร์ตัวนี้มีความจำเป็นในการเขียนโปรแกรมควบคุมระบบ GPIB เป็นอย่างมาก ทำหน้าที่ส่งคำสั่งที่เป็นฟังก์ชันมาตรฐาน โดยการส่งค่าที่เป็นรหัสคำสั่งลงไปทีรีจิสเตอร์ตัวนี้ตามค่าของรหัสคำสั่งในตารางที่ 4 ซึ่ง IC TMS9914 จะทำงานตามฟังก์ชันนั้น

4. รีจิสเตอร์การเขียนข้อมูลตัวที่ 8 (RS2 RS1 RS0 = 1 1 1) มีขนาด 8 บิต ประกอบด้วยบิตข้อมูล DIO1-DIO8 ใช้ในการเขียนข้อมูลที่ต้องการส่งลงบนบัสข้อมูลตามต้องการ

ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมเพื่อทำการควบคุมอุปกรณ์เครื่องมือวัดในระบบสามารถแสดงฟังก์ชันต่างๆ ที่ใช้งานได้ด้วยแผนผังรูปภาพดังต่อไปนี้

1. Initial Controller Card

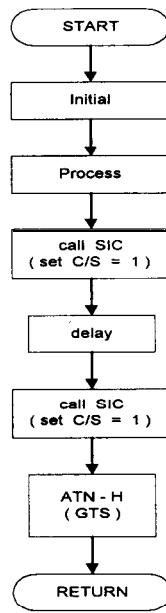
เป็นการ initial card โดยการรีเซ็ต IC TMS 9914 ด้วยการเรียกคำสั่ง SWRST (Software Reset) หลังจากนั้นทำการเรียกคำสั่ง DAI (Disable All Interrupt) ดังแสดงในรูปที่ 6 ในการ initial card นั้นสามารถที่จะเรียกใช้คำสั่งอื่นเพิ่มเติมอีกก็ได้



รูปที่ 6 แผนผังแสดงขั้นตอนการเริ่มต้นการทำงานของการ์ด

2. SIC (Send Interface Clear)

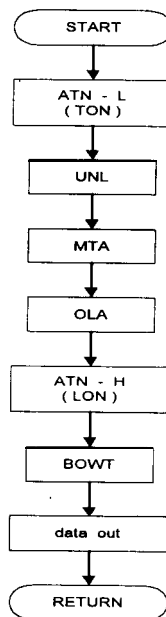
การเรียกใช้ฟังก์ชันนี้จะต้องเริ่มด้วยการ Initial Card เสียก่อน แล้วจึงใช้คำสั่ง SIC เพื่อทำการเคลียร์อุปกรณ์ทุกตัวออกจากระบบ เมื่อใช้คำสั่งนี้แล้วก็จะทำการสั่งให้ระบบกลับไปสู่สถานะการเตรียมพร้อมด้วยคำสั่ง GTS (Go To Standby) ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนผังแสดงขั้นตอนการเคลียร์อินเตอร์เฟส

3. การส่งข้อมูลจากตัวควบคุมไปยังอุปกรณ์ที่เป็นตัวรับ

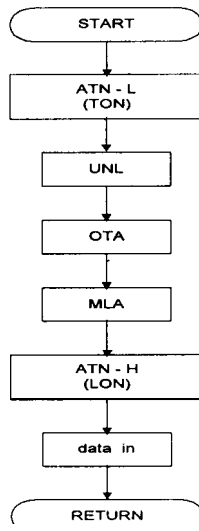
การส่งข้อมูลจากตัวควบคุมไปยังอุปกรณ์ที่เป็นตัวรับ จะต้องผ่านขั้นตอนการติดต่อเสียก่อน เพื่อเป็นการแจ้งแอดเดรสของตัวควบคุมและอุปกรณ์ที่เป็นตัวรับ แล้วทำการตรวจสอบสถานะของรีจิสเตอร์ตัวที่ 1 (RS2 RS1 RS0 = 0 0 0) ด้วยฟังก์ชัน BOWT ว่าพร้อมที่จะทำการส่งข้อมูลแล้วหรือยัง โดยการตรวจสอบว่าถ้าบิต D4 มีค่าเป็น 1 แสดงว่าตัวรับพร้อมที่จะรับข้อมูลแล้ว สามารถที่จะส่งข้อมูลลงไปได้เลย แต่ถ้าบิตดังกล่าวยังเป็น 0 ก็ให้ทำการตรวจสอบสถานะบิตดังกล่าวต่อไป สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนผังแสดงขั้นตอนการส่งข้อมูลจากตัวควบคุมไปยังอุปกรณ์ที่เป็นตัวรับ

4. การส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ที่เป็นตัวส่งไปยังตัวควบคุม

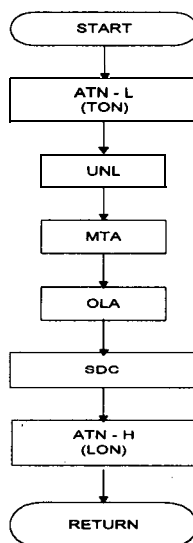
การส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ที่เป็นตัวส่งไปยังตัวควบคุมก็จำเป็นจะต้องมีขั้นตอนการติดต่อระหว่างอุปกรณ์กับตัวควบคุมก่อนเช่นกัน และเมื่อผ่านขั้นตอนดังกล่าวแล้วจึงจะสามารถทำการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ได้ ขั้นตอนดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แผนผังแสดงขั้นตอนการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ที่เป็นตัวส่งไปยังตัวควบคุม

5. SDC (Select Device Clear)

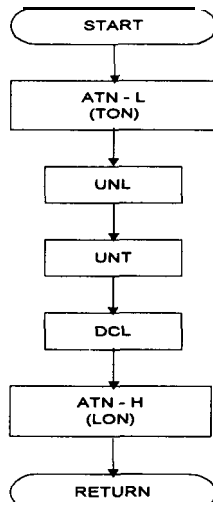
คำสั่งนี้จะทำการเคลียร์อุปกรณ์ออกจากระบบโดยการกำหนดตัวอุปกรณ์ที่จะทำการเคลียร์ มีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 แผนผังแสดงการเคลียร์อุปกรณ์บางตัวที่ถูกเลือก

6. DCL (Device Clear)

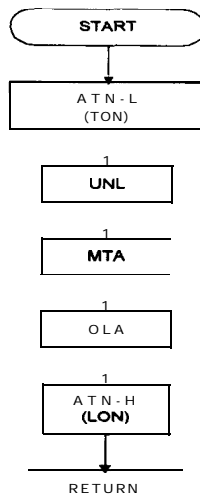
คำสั่งนี้จะทำการเคลียร์อุปกรณ์ทุกตัวออกจากระบบ มีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 แผนผังแสดงขั้นตอนการเคลียร์อุปกรณ์ทุกตัวออกจากระบบ

7. SRE (Send Remote Enable)

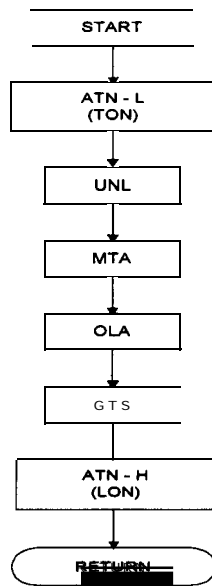
เป็นการสั่งให้อุปกรณ์ที่ถูกเรียก โดยการกำหนดแอดเดรสถูกควบคุมโดยตัวควบคุม มีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 แผนผังแสดงขั้นตอนการควบคุมอุปกรณ์โดยตัวควบคุม

8. GTL (Go To Local)

เป็นการเคลียร์อุปกรณ์ตัวรับทุกตัวออกจากระบบ มีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 13



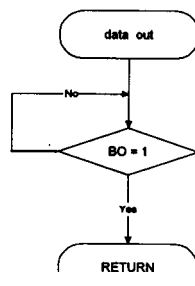
รูปที่ 13 แผนผังแสดงขั้นตอนการเคลียร์อุปกรณ์ตัวรับทุกตัวออกจากระบบ

ในการส่งคำสั่งในการติดต่อกับอุปกรณ์นั้นสามารถใช้คำสั่งมาตรฐานของระบบ IEEE-488 หรือจะใช้คำสั่งที่เป็นฟังก์ชันที่มีมาให้ของ IC TMS 9914 ก็ได้ สำหรับคำสั่งอื่น ๆ ก็สามารถใช้งานได้ในลักษณะเดียวกันนี้เช่นกัน

แต่ในการส่งข้อมูลออกไปยังตัวรับหรือการรับข้อมูลเข้ามายังตัวควบคุมนั้น จำเป็นต้องทำการตรวจสอบว่าการเขียนข้อมูลที่ตัวควบคุมเสร็จเรียบร้อยแล้วหรือยัง ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ที่รีจิสเตอร์ตัวที่ 1 (RS2 RS1 RS0 = 0 0 0) คือเมื่อทำการเขียนหรืออ่านข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จะเซตบิต BO หรือ BI ให้เป็น 1

9. การตรวจสอบการส่งข้อมูล

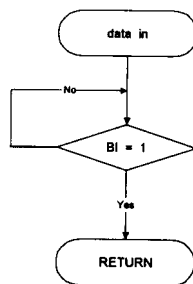
การตรวจสอบการส่งข้อมูลของตัวควบคุม เพื่อป้องกันการผิดพลาดในการส่งข้อมูลของตัวควบคุม โดยบิตที่ 4 ของรีจิสเตอร์การอ่านตัวที่ 1 (RS2 RS1 RS0 = 0 0 0) จะมีค่าเป็น 1 เมื่อข้อมูลถูกส่งเรียบร้อยแล้ว และจะเปลี่ยนเป็น 0 หรือรีเซ็ตเมื่อได้กระทำขั้นตอนอื่นต่อไป จนกระทั่งระบบอยู่ในสภาวะเริ่มต้น (ATN - H) ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 แผนผังแสดงขั้นตอนการตรวจสอบการส่งข้อมูล

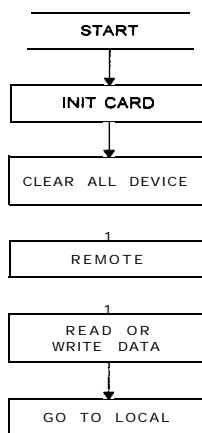
10. การตรวจสอบการรับข้อมูล

การรับข้อมูลของตัวควบคุมนั้นหลังจากที่ได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว บิตที่ 3 ของรีจิสเตอร์การอ่านตัวที่ 1 (RS2 RS1 RS0 = 0 0 0) จะมีค่าเป็น 1 หลังจากนั้นตัวควบคุมก็จะทำการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์การอ่านตัวที่ 7 (RS2 RS1 RS0 = 1 1 1) ดังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 15 แผนผังแสดงขั้นตอนการตรวจสอบการรับข้อมูล

การเขียนโปรแกรมเพื่อทำการติดต่อกับอุปกรณ์เครื่องมือวัด สามารถแสดงขั้นตอนการเขียนโปรแกรมได้ดังรูปที่ 16

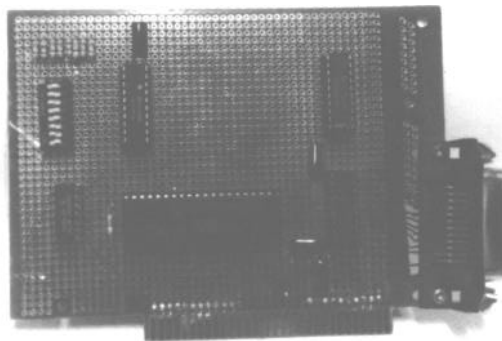


รูปที่ 16 แผนผังแสดงขั้นตอนการติดต่อกับอุปกรณ์เครื่องมือวัด

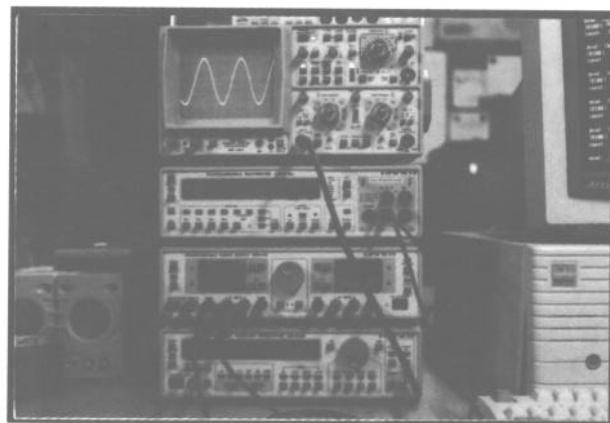
3. ผลการทดลองและสรุป

การศึกษาครั้งนี้สามารถสร้างการ์ดอินเตอร์เฟสเพื่อใช้เชื่อมต่อระบบเครื่องมือวัดเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมระบบได้ โดยการนำการ์ดที่สร้างขึ้นไปใช้งานนั้นสามารถใช้งานในการควบคุมเครื่องมือวัดต่างๆ บนระบบมาตรฐาน IEEE-488 (GPIB) ได้ ดังจะเห็นได้ดังรูปที่ 17 ซึ่งแสดงการ์ดอินเตอร์เฟสที่สร้างขึ้น และรูปที่ 18 แสดงเครื่องมือวัดในห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการทดสอบการติดตั้งกล่าว โดยโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมระบบได้พัฒนาขึ้นจากโปรแกรมภาษา C ซึ่งง่ายและเหมาะต่อการโปรแกรมเพื่อ

ทำการควบคุม ในการทดสอบในการควบคุมเครื่องมือวัดต่างๆ ได้ควบคุมอุปกรณ์ทุกตัวที่ต่ออยู่ในระบบให้อยู่ในสถานะรีโมต สั่งเกตได้จากปุ่มแสดงสถานะรีโมตด้านซ้ายมือที่หน้าปัทม์ของเครื่องมือวัดต่างๆ ในการทดลองส่งคำสั่งควบคุม ได้ทดลองส่งคำสั่งควบคุมไปยัง Function Generator ให้ส่งสัญญาณ Sine ไปให้แก่ Oscilloscope ดัดรูปที่ 18 สำหรับ Response Time นั้นขึ้นอยู่กับความเร็วในการตอบสนองของอุปกรณ์ที่นำมาต่อและยังขึ้นอยู่กับโปรแกรมที่เขียนอีกด้วย แต่สำหรับสัญญาณนาฬิกาของ IC TMS9914 จะอยู่ในช่วง 500 KHz - 5 MHz การ์ดอินเตอร์เฟสที่ทำการสร้างขึ้นนั้น สามารถใช้งานได้ผลดีเหมือนกับการ์ด IEEE-488 ที่มีขายอยู่ทั่วไป แต่เสียค่าใช้จ่ายในการสร้างถูกกว่ามาก ทำให้ช่วยประหยัดและยังทำให้เข้าใจถึงมาตรฐานของระบบ IEEE-488 รวมถึงการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบนี้ได้ดีขึ้นอีกด้วย นอกจากนั้นยังสามารถนำเอาระบบเครื่องมือวัดนี้ไปใช้ในการควบคุมหรือวัดสัญญาณทางไฟฟ้าที่ต้องการได้ ซึ่งปัจจุบันได้ใช้การ์ดนี้สำหรับการศึกษาการควบคุมเครื่องมือวัดผ่านระบบบัสดังกล่าว ที่ห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ 17 การ์ดอินเตอร์เฟสระบบบัสแบบ IEEE-488 ที่สร้างขึ้น



รูปที่ 18 เครื่องมือวัดในห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการทดสอบการ์ด

เอกสารอ้างอิง

1. Willis J. Tompkins, John G. Webster, 1988, Interfacing Sensors to the IBM PC, Prentice-Hall International, Inc., pp. 12-361-372.
2. Eugene Fisher, C.W. Jensen, 1982, **PET/CBM** and the IEEE 488 Bus (GPIB), McGraw-Hill, Inc., Osborne, Berkely, C.A., pp. **9-11**.
3. Texas Instruments Incorporated, Engineering Staff, Semiconductor Group, 1979, TMS9914 GPIB Adapter Preliminary Data Manual, pp. **8-288-295**.