

การวิจัยและพัฒนาเครื่องวัดความเร็วต้นกระสุนปืนใหญ่
THE RESEARCH AND DEVELOPMENT
OF MUZZLE VELOCITY MEASURING EQUIPMENT



วิทยาลัยเทคนิควิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2531

สารบัญ

		หน้า
	บทคัดย่อ	I
	Abstract	II
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	วัตถุประสงค์และแนวความคิดในการทำวิทยานิพนธ์	2
	2.1 ที่มาและสาเหตุ	2
	2.1.1 ที่มา	2
	2.1.2 สาเหตุ	2
	2.2 วัตถุประสงค์	2
	2.3 แนวความคิดในการทำวิทยานิพนธ์	3
	2.3.1 การศึกษาระบบการวัดที่ผ่านมา	3
	2.3.2 แนวความคิดในการทำวิทยานิพนธ์	3
บทที่ 3	ทฤษฎี และ หลักการวัด	6
	3.1 ทฤษฎีและหลักการวัดปรากฏการณ์คอปเปิลเลอร์	6
	3.2 สมการเรดาร์	9
บทที่ 4	ข้อพิจารณา และ ระบบการวัด	12
	4.1 สิ่งที่ต้องการ	12
	4.2 ขอบเขตการวัด	12
	4.3 ข้อกำหนดในการวัด	12
	4.3.1 ชนิดและขนาดเป้าหมาย	12
	4.3.2 ระยะในการวัด	13
	4.3.3 ตำแหน่งการวางสายอากาศ กับ ปืน	14
	4.4 ระบบและส่วนประกอบของการวัด	16
บทที่ 5	ระบบรับส่งสัญญาณไมโครเวฟ	17
	5.1 ส่วนประกอบของระบบ	17
	5.2 งานสายอากาศแบบสะท้อนรูปพาราโบลา	17
	5.2.1 ทฤษฎีและรูปทรงทางเรขาคณิต	17
	5.2.2 เงื่อนไขการออกแบบ	20
	5.2.3 การออกแบบงานสายอากาศพาราโบลา	20
	5.2.4 ขั้นตอนการออกแบบ	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	5.2.5 การทดสอบงานสายอากาศพาราโบลา	23
	5.3 งานสายอากาศรูปปิรามิด	25
	5.3.1 หลักการออกแบบ	26
	5.3.2 ขั้นตอนการออกแบบ	27
	5.3.3 การทดสอบงานสายอากาศรูปปิรามิด	29
	5.4 การทดสอบระบบงานสายอากาศ	29
	5.5 กัมม่อสซิลเลเตอร์ทรานซิมเวอร์	32
	5.5.1 ลักษณะทั่วไป	32
	5.5.2 ส่วนประกอบและการทำงาน	32
	5.5.3 คุณลักษณะ	34
	5.6 การทดสอบระบบรับส่งสัญญาณไมโครเวฟรวม	35
บทที่ 6	ระบบขยายสัญญาณความถี่ดอปเปลอร์	37
	6.1 การออกแบบ	37
	6.2 ผลการทดสอบ	43
บทที่ 7	ระบบสร้างสัญญาณเริ่มทำงาน	44
	7.1 การออกแบบ	44
	7.2 ผลการทดลอง	46
บทที่ 8	ระบบคำนวณ และ แสดงผล	49
	8.1 ย่านความถี่ดอปเปลอร์ในการวัด	49
	8.2 ค่า resolution ของระบบคำนวณ	49
	8.3 การออกแบบระบบคำนวณและแสดงผล	50
	8.3.1 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา	51
	8.3.2 วงจรเลือกกระชกการวัด	51
	8.3.3 วงจรนับและวงจรผลตซ์	55
	8.3.4 วงจรแสดงผล	57
	8.3.5 วงจรรับสัญญาณเริ่มการทำงาน	62
	8.3.6 วงจรความถี่ทดสอบ	63
	8.4 ตัวอย่างการทำงานของระบบคำนวณและแสดงผล	64
บทที่ 9	ระบบไฟฟ้าและคุณลักษณะทั่วไป	67
	9.1 ระบบไฟฟ้า	67
	9.2 คุณลักษณะทั่วไป	69

บทที่ 10	ผลการทดสอบ และ การวิเคราะห์	72
10.1	ขั้นตอนการทดสอบ	72
10.2	ผลการทดสอบ	74
10.2.1	ผลการทดสอบครั้งที่ 1	74
10.2.2	ผลการทดสอบครั้งที่ 2	75
10.2.3	ผลการทดสอบครั้งที่ 3	76
10.2.4	ผลการทดสอบครั้งที่ 4	77
10.3	สรุปผลการทดสอบ	78
10.4	การวิเคราะห์ผลการทดสอบ	78
10.4.1	สาเหตุและปัญหาที่จะมีผลทำให้การวัดผิดพลาด	79
10.4.2	วิธีการแก้ไข	80
บทที่ 11	บทสรุป	81
11.1	สรุปผลการวิจัย	81
11.2	ข้อเสนอแนะ	81
ภาคผนวก 1	ตัวอย่างค่าความเร็วต้น ปืนใหญ่ 105 มิลลิเมตร	82
ภาคผนวก 2	ตารางผลของอุณหภูมิแสงต่อความเร็วต้น	83
ภาคผนวก 3	NOMOGRAM OF FREE-SPACE ATTENUATION	84
ภาคผนวก 4	รายละเอียดอุปกรณ์บางตัว	85
4.1	LF353	85
4.2	LM319	89
4.3	74LS393	92
4.4	TMM2764D	95
ภาคผนวก 5	โปรแกรมแสดงตำแหน่งข้อมูล ข้อมูล(ความเร็ว) ความถี่	102
ภาคผนวก 6	6.1 ตัวอย่างข้อมูลใน IC18 2764D	
	แสดงหลักหน่วยและทศนิยมตำแหน่งที่ 1	104
	6.2 ตัวอย่างข้อมูลใน IC19 2764D	
	แสดงหลักพันและหลักร้อย	105
	เอกสารอ้างอิง	106
	กิตติกรรมประกาศ	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่	2.1 ตัวอย่างระบบตรวจจับความเร็วต้นจากคลื่นแสง	4
รูปที่	2.2 แผนผังระบบการวัด	5
รูปที่	3.1 แสดงความถี่ที่ส่งและที่สะท้อนกลับ	6
รูปที่	3.2 แสดงทิศทางของเป้าหมายและแนวเส้นระหว่างจานสายอากาศกับเป้าหมาย	9
รูปที่	4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งสายอากาศ ปืนและลูกกระสุน	13
รูปที่	5.1ก รูปทรงทางเรขาคณิตของจานพาราโบลาในระบบพิกัด	18
รูปที่	5.1ข หลักการสะท้อนสัญญาณของจานพาราโบลา	18
รูปที่	5.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $2\psi_0$ กับ f/D ของจานพาราโบลา	19
รูปที่	5.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ψ_0 กับค่า GAIN FACTOR, α	20
รูปที่	5.4 การคำนวณค่าความโค้งของจานพาราโบลา	22
รูปที่	5.5 ภาพจานสายอากาศที่สร้างขึ้น	23
รูปที่	5.6 ผลการทดสอบจานสายอากาศพาราโบลา	24
รูปที่	5.7ก ภาพจานสายอากาศรูปปริมาตร	25
รูปที่	5.7ข ภาพระนาบ E	25
รูปที่	5.7ค ภาพระนาบ H	25
รูปที่	5.8 ภาพแพทเทิร์นระดับสัญญาณของจานสายอากาศรูปปริมาตร	26
รูปที่	5.9 จานสายอากาศรูปปริมาตรที่สร้างขึ้น	29
รูปที่	5.10 ผลการทดสอบหา BEAM WIDTH ของจานสายอากาศรูปปริมาตร	30
รูปที่	5.11 ผลการทดสอบหา BEAM WIDTH ของจานสายอากาศรวม	31
รูปที่	5.12 แผนผังการทำงานของกัมม่ออสซิลเลเตอร์ทรานซิฟเวอร์	32
รูปที่	5.13ก โครงสร้างและขนาด	33
รูปที่	5.13ข ภาพถ่ายกัมม่ออสซิลเลเตอร์ทรานซิฟเวอร์	33
รูปที่	5.14 ภาพระบบรับส่งสัญญาณไมโครเวฟ	36
รูปที่	5.15 ภาพการทดสอบวัดขนาดสัญญาณความถี่ดอปเปลอร์	36
รูปที่	6.1 แผนผังการทำงานของวงจรรขยายความถี่ดอปเปลอร์	37
รูปที่	6.2 วงจรรขยายสัญญาณความถี่ดอปเปลอร์	38
รูปที่	6.3 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัทเทอร์เวิร์ท ออร์เตอร์ที่สี่	40
รูปที่	6.4 ความถี่ตอบสนองของวงจรมัลติเพล็กซ์	42
รูปที่	6.5 ภาพวงจรรขยายสัญญาณความถี่ดอปเปลอร์	43

รูปที่	7.1	แผนผังการทำงานของระบบสร้างสัญญาณ เริ่มทำงาน	44
รูปที่	7.2	วงจรระบบสร้างสัญญาณ เริ่มทำงาน	45
รูปที่	7.3ก	เวลาเริ่มทำงานหลังจากสัญญาณทริกเกอร์ 50 มิลลิวินาที	47
รูปที่	7.3ข	เวลาเริ่มทำงานหลังจากสัญญาณทริกเกอร์ 31.25 มิลลิวินาที	47
รูปที่	8.1	แผนผังระบบคำนวณและแสดงผล	50
รูปที่	8.2	วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา	51
รูปที่	8.3	วงจรเลือกระยะเวลาวัด	51
รูปที่	8.4ก	คาบเวลาของการวัด ที่ $n = 2$ หลังสัญญาณเริ่มทำงาน	54
รูปที่	8.4ข	คาบเวลาของการวัด ที่ $n = 9$ หลังสัญญาณเริ่มทำงาน	54
รูปที่	8.5	วงจรมับและวงจรมลต์ซ์	55
รูปที่	8.6	สถานะการทำงานของวงจรมับและวงจรมลต์ซ์	56
รูปที่	8.7	แผนผังและวงจรแสดงผล	58
รูปที่	8.8	วงจรรับสัญญาณ เริ่มการทำงาน	60
รูปที่	8.9	วงจรสร้างความถี่ทดสอบ	61
รูปที่	8.10	ระยะเทียบกับตำแหน่งสายอากาศกับสัญญาณต่าง ๆ	63
รูปที่	8.11	ภาพเครื่องวัดภายในบั้งเกอร์ทดสอบ แสดงค่าความเร็ว 332.2 เมตรต่อวินาที	64
รูปที่	8.12	วงจรรวมการคำนวณและแสดงผล	65
รูปที่	8.13	วงจรภาพถ่ายวงจรการคำนวณและแสดงผล	66
รูปที่	9.1	แผนผังการทำงานของระบบไฟฟ้า	67
รูปที่	9.2	ภาพหน้าปัทม์ของเครื่องวัด	68
รูปที่	9.3	ภาพแสดงอุปกรณ์รวมของเครื่องวัด	68
รูปที่	10ก	ภาพการทดสอบที่สนามทดสอบ เขาฟู โลงน ลพบุรี	73
รูปที่	10ข	ภาพการทดสอบที่สนามทดสอบ เขาฟู โลงน ลพบุรี	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 4.1	ตัวอย่างเป้าหมายที่ใช้พิจารณา	13
ตารางที่ 4.2	ขนาดกระสุนกับช่วงระยะในอาวุธไกลสุด	14
ตารางที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งสายอากาศและกับค่า $\cos \theta$	15
ตารางที่ 5.1	ผลการทดสอบวัดระดับสัญญาณความถี่คอปเปิลอร์	18
ตารางที่ 6.1	ตารางการออกแบบวงจรความถี่ต่ำแบบกับเทอร์เวอร์ท ออร์เคอร์ทิส	40
ตารางที่ 7.1	ตารางความสัมพันธ์ระหว่างย่านความเร็วกับเวลาไมโครสเตเบิล	44
ตารางที่ 8.1	ตารางสภาวะการทำงานของ 74LS 151	52
ตารางที่ 8.2	ตารางจำนวนสัญญาณนาฬิกาเกี่ยวกับค่าความเร็ว	53
ตารางที่ 8.3	ตัวอย่างการส่งข้อมูลตำแหน่งข้อมูลต่าง ๆ ของ EPROM 2764	59
ตารางที่ 8.4	ตารางย่านความเร็วกับความถี่ทดสอบ	63
ตารางที่ 10.1	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 1	74
ตารางที่ 10.2	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 2	75
ตารางที่ 10.3	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 3	76
ตารางที่ 10.4	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 4	77

สัญลักษณ์

R	: ระยะจากสายอากาศถึงเป้าหมาย	หน่วย	เมตร
V	: ความเร็วของเป้าหมาย	หน่วย	เมตร/วินาที
V_r	: ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างเป้าหมายกับแนวสายอากาศ	หน่วย	เมตร/วินาที
f_r	: ความถี่ที่ส่งออกไป	หน่วย	เฮิรตซ์ (Hz)
f_c	: ความถี่คัทออฟ (CUT OFF)	หน่วย	เฮิรตซ์ (Hz)
f_d	: ความถี่ดอปเปลอร์	หน่วย	เฮิรตซ์ (Hz)
λ	: ความยาวคลื่นของสัญญาณที่ส่งออกไป	หน่วย	เมตร
σ	: ค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่เชิงมุมรวม	หน่วย	เรเดียน
C	: ค่าความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	หน่วย	เรเดียน/วินาที
ω_d	: ความถี่เชิงมุมดอปเปลอร์	หน่วย	เรเดียน/วินาที
θ	: มุมระหว่างแนวเส้นของเป้าหมายกับแนวเส้นสายอากาศ	หน่วย	องศา
P_t	: กำลังเครื่องส่ง	หน่วย	วัตต์
G	: อัตราขยายของสายอากาศ (GAIN)		
σ	: พื้นที่หน้าตัดของเป้าหมาย	หน่วย	เมตร ²
A_e	: EFFECTIVE AREA ของจานสายอากาศ		
P_r	: กำลังที่รับได้ของเรดาร์	หน่วย	วัตต์
S_{min}	: กำลังต่ำสุดที่สามารถตรวจจับได้	หน่วย	วัตต์
d	: เส้นผ่าศูนย์กลางของเป้าหมาย	หน่วย	เมตร
X	: ระยะระหว่างแนวเป้าหมายกับจุดศูนย์กลางสายอากาศ	หน่วย	เมตร
L	: ระยะระหว่างสายอากาศถึงเป้าหมายตามแนวเป้าหมาย	หน่วย	เมตร
f	: ระยะโฟกัสของรูปหาวาโบราณ	หน่วย	เมตร
ψ_0	: HALF ANGULAR APERTURE	หน่วย	องศา
D	: ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของจานสายอากาศหาวาโบราณ	หน่วย	เมตร
α	: GAIN FACTOR ของสายอากาศ		
Y	: ระยะทางแกน Y ของจานสายอากาศ	หน่วย	เมตร
X1	: ระยะทางแกน X ของจานสายอากาศ	หน่วย	เมตร
ϵ_{np}	: ประสิทธิภาพทางอเพอเจอร์		
A_p	: พื้นที่หน้าตัดของจานสายอากาศ	หน่วย	เมตร ²
R_n	: ค่าความต้านทานของตัวที่ n	หน่วย	โอห์ม (Ω)
C_n	: ค่าคาปาซิแตนซ์ของตัวที่ n	หน่วย	ฟารัด (F)

K : ค่าตัวคูณคงที่ของวงจรมัลติเพล็กซ์

T : ค่าคาบเวลาโมโนสเตเบิล

หน่วย วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิจัยและพัฒนาเครื่องวัดความเร็วต้นกระสุนปืนใหญ่		
นักศึกษา	ร.อ. วีระเชษฐ์	ทันเงิน	26.0015
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. นีรศักดิ์ วรสุนทรโรสถ		
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตทางวิศวกรรมไฟฟ้า		
ปีการศึกษา	2531		

บทคัดย่อ

การวิจัยและพัฒนาต้นแบบของเครื่องวัดความเร็วต้นกระสุนปืนใหญ่ โดยอาศัยหลักการของปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ คือ การตรวจจับสัญญาณจากเป้าหมายที่มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงด้วยระบบความถี่ไมโครเวฟ แล้วนำผลแตกต่างด้านความถี่ที่ได้จากการส่งและรับสัญญาณ ทำการขยายสัญญาณที่ได้ให้ได้นขนาดตามต้องการ ก่อนที่จะนำความถี่ที่ได้ไปคำนวณและแสดงผลเป็นหน่วยความเร็วเมตรต่อวินาที ซึ่งการวิจัยนี้จะกล่าวถึงการศึกษาออกแบบ ทดสอบและแก้ปัญหา ตามแนวความคิดในการวิจัยพัฒนาประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับคือ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและมาตรฐานยุทธโศภภัณฑ์ของเหล่าทัพ.

Thesis Title THE RESEARCH AND DEVELOPMENT OF MUZZLE VELOCITY MEASURING EQUIPMENT

Name CAPT. WERACHET KHAN-NGERN

Thesis Advisor ASSOC. PROF. DR. BIRASAK VARASUNDHAROSOTH

Level of Study MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

Academic Year 1988

Abstract

This thesis presents the research and development of a prototype of an instrument which measures the muzzle velocity of the projectile using the Doppler effect. The difference in frequency between the transmitted and reflected microwave signals are utilized after amplification to show the magnitude of the velocity. The study, design, testing and problem solving of the instrument are presented with the hope to improve the efficiency and ability of the armed forces.

บทที่ 1

บทนำ

ปัญหาในการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะเฉพาะของอาวุธ ทำให้ความถูกต้อง แม่นยำ และ ความปลอดภัยลดลง วิธีการแก้ปัญหา ก็คือ การตรวจสอบค่าคุณลักษณะเฉพาะนั้นว่า มีความผิดพลาด จากมาตรฐานไปเท่าไร แล้วทำการชดเชยผลจากคุณลักษณะที่เปลี่ยนไป ก่อนนำไปใช้งาน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เสนอ การวิจัยและพัฒนาเครื่องต้นแบบของเครื่องวัดความ เร็วต้นกระสุนปืนใหญ่ โดยจะกล่าวถึง ทฤษฎี การออกแบบ และ ผลการทดลองของส่วนต่าง ๆ ใน ระบบการวัด ซึ่งเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 11 บท โดยแต่ละบทจะกล่าวถึงเนื้อหา ต่าง ๆ ดังนี้ คือ

- บทที่ 2 กล่าวถึง ที่มา และ สาเหตุ รวมถึงวัตถุประสงค์และแนวความคิดในการทำ วิทยานิพนธ์
- บทที่ 3 กล่าวถึง ทฤษฎี และ หลักการวัดด้วยปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ และ ทฤษฎี เรดาร์
- บทที่ 4 กล่าวถึง ขอบนิยามและระบบการวัด อันจะเป็นองค์ประกอบที่ใช้กำหนด ระบบและส่วนประกอบของการวัด
- บทที่ 5 กล่าวถึง การออกแบบระบบรับส่งสัญญาณไมโครเวฟ ทฤษฎีจากเสาอากาศ รายละเอียดขั้นตอนการออกแบบ และผลการทดลอง
- บทที่ 6 กล่าวถึง หลักเกณฑ์และการออกแบบระบบขยายสัญญาณความถี่ดอปเปลอร์ และผลการทดลอง
- บทที่ 7 กล่าวถึง ระบบสร้างสัญญาณเริ่มทำงาน การออกแบบและผลการทดลอง
- บทที่ 8 กล่าวถึง การออกแบบระบบการคำนวณและแสดงผล ซึ่งจะมีขอบนิยามการ วัด การเลือกกระยะทางของการวัด และวงจรการวัด คือ วงจรสร้าง สัญญาณนาฬิกา วงจรหารความถี่และเลือกกระยะการวัด วงจรนับและวงจร แลตซ์ วงจรแสดงผล วงจรรับสัญญาณเริ่มการทำงาน วงจรสร้างความถี่ ตรวจสอบ และผลการทดลองระบบการวัด
- บทที่ 9 กล่าวถึง ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าแก่ส่วนต่าง ๆ และคุณลักษณะของเครื่อง
- บทที่ 10 กล่าวถึง ผลการทดสอบ การวัดในภาคสนาม และวิจารณ์ถึงผลการทดสอบ
- บทที่ 11 กล่าวถึง การสรุปผลของวิทยานิพนธ์ทั้งหมด

ในตอนท้ายของวิทยานิพนธ์จะเป็นภาคผนวก และ เอกสารอ้างอิง ซึ่งจะระบุถึงรายละเอียดและข้อมูลที่สำคัญ ที่ใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการนิยามของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วัตถุประสงค์และแนวความคิดในการทำวิทยานิพนธ์

การพัฒนาชุดโพรแกรมในเหล่านี้ เพื่อให้กองทัพได้ใช้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นมาตรฐานของชุดโพรแกรมให้มีความน่าเชื่อถือ ถูกต้อง ประหยัดและเหมาะสมกับการพัฒนาที่ใช้หลักการพึ่งตนเอง ด้วยเทคโนโลยีภายในประเทศ เป็นการเพิ่มศักยภาพของเหล่านี้ด้วย

2.1 ที่มาและสาเหตุ

2.1.1 ที่มา

ในปัจจุบันการพัฒนาระบบอย่างหนึ่ง ก็คือ การนำอาวุธใช้งานให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ระบบปืนใหญ่เป็นระบบอาวุธที่มีความสำคัญในการรุกรบ การยิงปืนใหญ่ได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ และปลอดภัย เป็นสิ่งที่ต้องการในสนามรบ สภาพของปืนใหญ่ที่มีการใช้งานมานานจะมีคุณลักษณะเฉพาะเปลี่ยนไป ปัจจัยสำคัญ อันหนึ่งที่จะเป็นข้อชี้บอกถึงสภาพภายในลำกล้องปืน ก็คือ ค่าความเร็วของกระสุนปืนใหญ่ช่วงปากลำกล้อง ซึ่งจะเรียกว่า ค่าความเร็วต้น

2.1.2 สาเหตุ

มาตรฐานอาวุธปืนใหญ่ ข้อหนึ่งที่จะเป็นข้อมูลเฉพาะของปืนใหญ่ คือ ความเร็วต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ คือ

1. น้ำหนักของลูกกระสุน
2. ปริมาณดินขับหรือดินส่ง
3. อุณหภูมิดินขับ
4. ปริมาตรภายในรังเพลิง

จะเห็นได้ว่า ปืนใหญ่เมื่อมีการใช้งานมากขึ้น การเผาไหม้ในรังเพลิงอย่างรุนแรง และรวดเร็ว ทำให้เกิดการสึกกร่อนและมีปริมาตรภายในมากขึ้น

ค่าความเร็วต้นก็จะลดต่ำลง เพราะความดันที่เกิดจากการเผาไหม้ของดินขับต่ำลง แม้ว่าจะควบคุมสามปัจจัยแรกไว้ได้ ข้อที่น่าจะพิจารณาคือ ค่าความเร็วต้นจะลดลงจากมาตรฐานเดิมเท่าไร มีอายุการใช้งานอีกเท่าไร มีความปลอดภัยแค่ไหน และจะทราบได้อย่างไร

2.2 วัตถุประสงค์

จากที่มาและสาเหตุข้างต้น ทำให้เราอยากทราบว่าเมื่อปืนใหญ่มีการใช้งานมากขึ้น ค่าความเร็วต้นของปืนแต่ละกระบอกแตกต่างจากค่ามาตรฐานเดิมเท่าไร ค่านี้มีความจำเป็นมาก เพราะจะบอกให้ทราบถึงสภาพภายในลำกล้อง การชดเชยค่ามุงยิง เนื่องจากความเร็วที่เปลี่ยน ทำให้เกิดข้อผิดพลาดของระยะยิงลงได้ นอกจากนี้ยังจะบอกถึงอายุการใช้งาน ซึ่งมีผลรวมถึงความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิพนธ์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเชื้อถื้อและปลอดภัยแก่ผู้ใช้

ที่ผ่านมาวิธีการวัดความเร็วต้นด้วยวิธีการวัดระยะชิงจริง เปรียบเทียบกับระยะชิงมาตรฐาน ซึ่งวิธีการนี้จะมึปัญหา คือ สิ้นเปลืองลูกกระสุนในการทดสอบมากมีการคำนวณที่ซับซ้อน เนื่องจากมีปัจจัยภายนอกคือสภาพภูมิอากาศ ใช้กำลังคนมาก ใช้บริเวณทดสอบกว้างและใช้เวลามาก จากเหตุผลดังกล่าว จึงได้เสนอวิทยานิพนธ์เพื่อวิจัยและพัฒนา เครื่องวัดความเร็วต้น กระสุนปืนใหญ่ขึ้นมา เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการข้างต้นและเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีภายในประเทศ ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และช่วยกระตุ้นงานพัฒนาด้านนี้แก่เหล่าทัพ และสุดท้ายคือทดแทนการซื้อเทคโนโลยีราคาแพงจากต่างประเทศ

2.3 แนวความคิดในการทำวิทยานิพนธ์

2.3.1 การศึกษาระบบการวัดที่ผ่านมา

ระบบการวัดความเร็วที่ผ่านมามีหลักการและวิธีการหลายอย่างต่าง ๆ กัน แบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ ตามวิธีการตรวจจับสัญญาณจากเป้าหมาย

1. ระบบตรวจจับจากการเหนี่ยวนำ
2. ระบบตรวจจับจากคลื่นแสง
3. ระบบตรวจจับจากคลื่นวิทยุ

2.3.1.1 ระบบตรวจจับจากการเหนี่ยวนำ

ใช้หลักการเมื่อโลหะเคลื่อนที่ผ่านขดลวดตัวนำจะเหนี่ยวนำทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้า เมื่อกำหนดระยะห่างระหว่างขดลวด 2 ขด สัญญาณไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำทั้งสองขดจะใช้เวลาที่ต่างกัน นำค่าระยะทางและเวลาไปหาความเร็วได้

2.3.1.2 ระบบตรวจจับจากคลื่นแสง

หลักการคล้ายกับแบบแรก คือ เมื่อโลหะผ่านลำแสง 2 ลำที่ระยะห่างหนึ่งๆ สัญญาณไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ต่างกันจะนำไปคำนวณหาความเร็วได้ แหล่งพลังงานแสงอาจเป็นได้ทั้งเลเซอร์หรืออินฟราเรด เช่นในรูปที่ 2.1 แสดงการวัดความเร็วต้นจากคลื่นแสงด้วย baselength

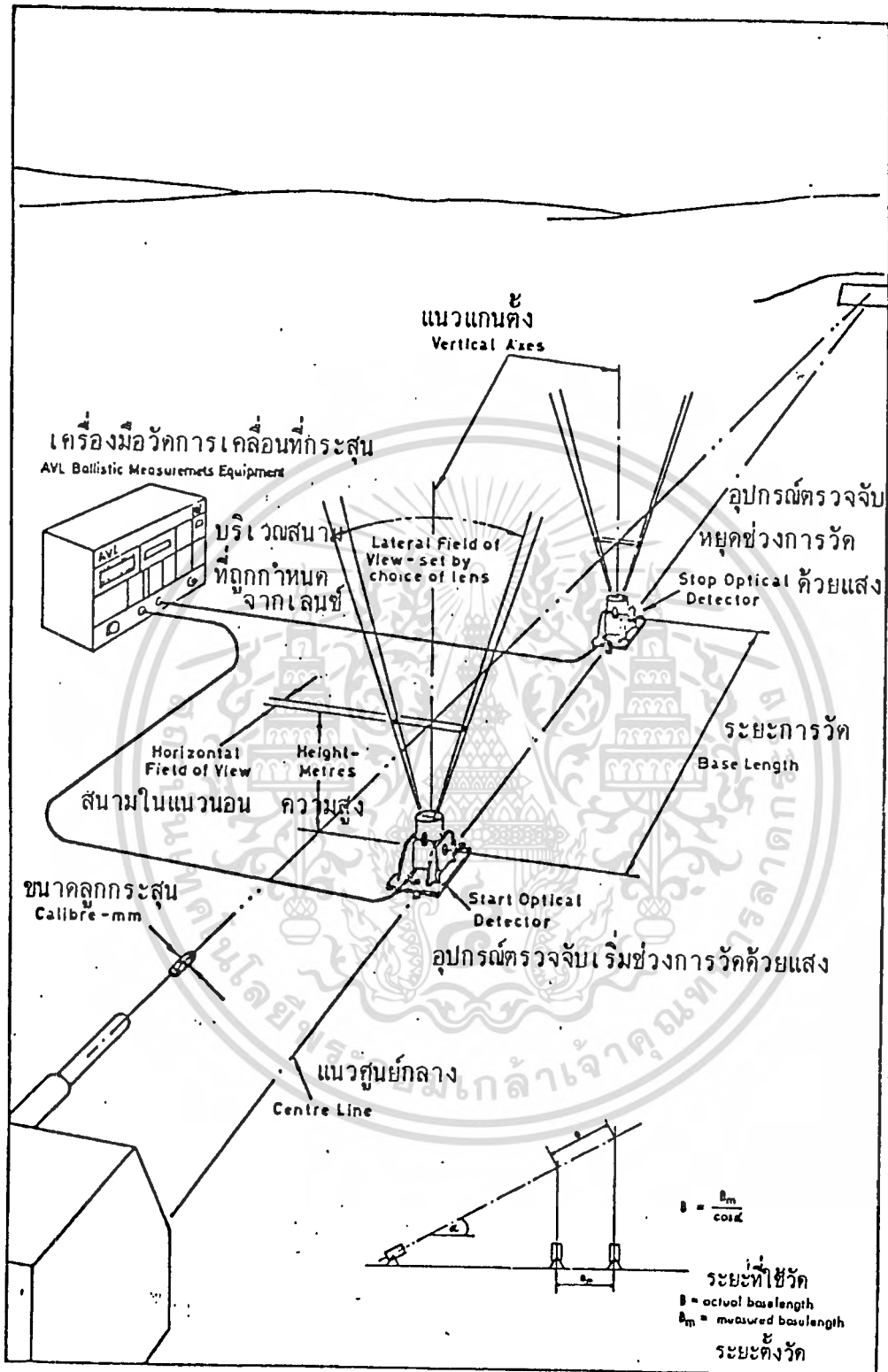
2.3.1.3 ระบบตรวจจับจากคลื่นวิทยุ

ใช้หลักการของดอปเปลอร์ เพื่อหาความแตกต่างของความถี่ที่ส่งออกไปหาเป้าหมายและรับเข้ามา ค่าความแตกต่างความถี่นี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของวัตถุนั้น

เมื่อนิยามถึงระบบการวัดที่ผ่านมาและสภาพการวัดความเร็วต้นในสนาม ซึ่งพิจารณาถึงผลของสภาพในภูมิประเทศ ความสะดวกแก่ผู้ใช้ ความยากง่ายในการติดตั้ง รวมถึงแหล่งอุปกรณ์ที่หาได้ จึงได้พิจารณาใช้ระบบคลื่นวิทยุ เป็นหลักเกณฑ์ในการวิจัยและพัฒนา

2.3.2 แนวความคิดในการทำวิทยานิพนธ์

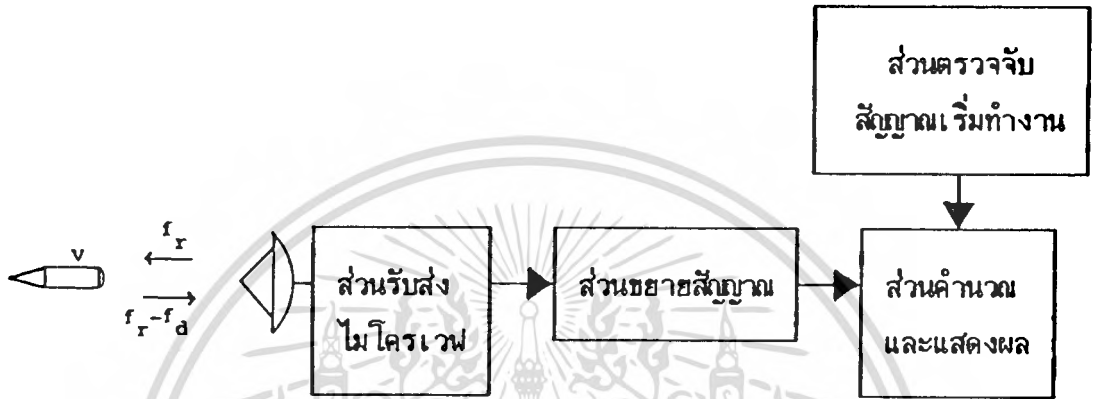
ระบบการวัดความเร็วต้นกระสุนปืนใหญ่ อาศัยหลักการของดอปเปลอร์หรือ



รูปที่ 2.1
ระบบตรวจจับความเร็วจากคลื่นแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอปเปอร์เรดาร์ ซึ่งเมื่อส่งสัญญาณความถี่สูงต่อเนื่อง (CONTINUOUS WAVE, CW) ไปยังเป้าหมายที่จะทำการวัด สัญญาณจะเดินทางไปยังเป้าหมายด้วยความเร็วเท่ากับแสง แล้วสัญญาณจะสะท้อนกลับมาเข้าสู่สายอากาศรับ วงจรในภาครับจะรับสัญญาณจากความถี่ที่ส่งออกไปและความถี่ที่สะท้อนกลับมาโดยผ่านเซอร์คูเลเตอร์แล้วเข้าวงจรมิกเซอร์ ทำให้ได้ความถี่คอปเปอร์ (f_d) ซึ่งเป็นความถี่ที่แปรตรงกับความเร็วยของเป้าหมายพิจารณาจากส่วนประกอบในรูปที่ 2.2

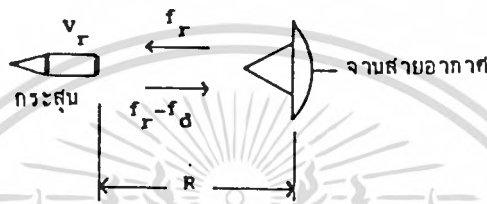


รูปที่ 2.2
แผนผังระบบการวัด

นำสัญญาณความถี่ f_d มาขยายสัญญาณ แล้วสร้างสัญญาณเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมส่งเข้าส่วนคำนวณผล ซึ่งจะเริ่มทำการคำนวณค่าที่ได้จากสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม เมื่อส่วนตรวจจับสัญญาณเริ่มทำงานส่งสัญญาณเข้ามา ส่วนคำนวณผลก็จะเริ่มทำการนับ แล้วแสดงผลเป็นตัวเลขในส่วนสุดท้ายของส่วนรายละเอียดของหลักการทำงาน การออกแบบ และ การทดลองจะ ได้กล่าวถึงในบทต่อไป

3.1 ทฤษฎี และ หลักการวัดปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ (DOPPLER EFFECT)

ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์เป็นปรากฏการณ์ที่ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างเป้าหมายที่เคลื่อนที่กับจุดสังเกต มีผลทำให้เกิดความแตกต่างความถี่ระหว่าง ความถี่ที่ส่งออกไปและความถี่สะท้อนกลับ มา พิจารณาจากรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงถึงความถี่ที่ส่งและที่สะท้อนกลับ

กำหนดให้	R	คือ ระยะจากสายอากาศถึงเป้าหมาย	หน่วย	เมตร
	v_r	คือ ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างเป้าหมายกับสายอากาศ	หน่วย	เมตร/วินาที
	f_r	คือ ความถี่ที่ส่งออกไป ในที่นี้ใช้ค่า 10.525 GHz	หน่วย	เฮิรตซ์ (Hz)
	f_d	คือ ความถี่ดอปเปลอร์	หน่วย	เฮิรตซ์ (Hz)
	λ	คือ ความยาวคลื่นของสัญญาณที่ส่งออกไป	หน่วย	เมตร
	θ	คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่เชิงมุมรวม	หน่วย	เรเดียน
	C	คือ ค่าความเร็วคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ $2.9979 * 10^8$ เมตร/วินาที	หน่วย	เมตร/วินาที

เมื่อส่งสัญญาณแบบต่อเนื่อง (CW) โดยมีระยะห่างระหว่างเรดาร์ถึงเป้าหมาย คือ R จำนวนความยาวคลื่นไปกลับระหว่างเรดาร์กับเป้าหมาย คือ $2R/\lambda$ เมื่อ 1 ความยาวคลื่นเทียบได้กับค่าเชิงมุม 2π เรเดียน

จำนวนค่าความถี่เชิงมุมที่เปลี่ยนแปลงระหว่างส่งออกไปและสะท้อนจากเป้าหมาย คือ

$$\theta = 2\pi * 2R/\lambda$$

$$\theta = 4\pi R/\lambda$$

(3.1)

เมื่อเป้าหมายมีการเคลื่อนที่ ค่า R และ θ จะเปลี่ยนไปอย่างต่อเนื่อง การเปลี่ยนแปลง θ ต่อเวลา จะได้เป็นความถี่เชิงมุมดอปเปลอร์ (DOPPLER ANGULAR FREQUENCY, ω_d)

$$\omega_d = 2\pi f_d$$

$$= \frac{d\theta}{dt}$$

$$= \frac{4\pi \cdot dR}{\lambda dt}$$

$$= \frac{4\pi \cdot v_r}{\lambda}$$

$$2\pi f_d = \frac{4\pi \cdot v_r}{\lambda}$$

$$f_d = \frac{2v_r}{\lambda}$$

$$f_d = \frac{2v_r * f_r}{C}$$

(3.2)

หรือ

$$v_r = \frac{C * f_d}{2 * f_r}$$

(3.3)

จากสมการที่ 3.3 เป็นสมการพื้นฐานเกี่ยวกับปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ ในขั้นต่อไป จะนิยามมากขึ้นทั่วไป เช่น กรณีที่มีค่ามุม θ ระหว่างแนวเส้นเรดาร์กับแนวการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย ดังในรูปที่ 3.2 และจากสภาวะฟังก์ชันเปลี่ยนไปจะทำการดิฟเฟอเรนทิเอชัน (DIFFERENTIATION) ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$V(f_d, f_r, \theta) = \frac{C}{2} \times \frac{f_d}{f_r} \times \frac{1}{\cos \theta} \quad C = \text{ความเร็วแสง(คงที่)}$$

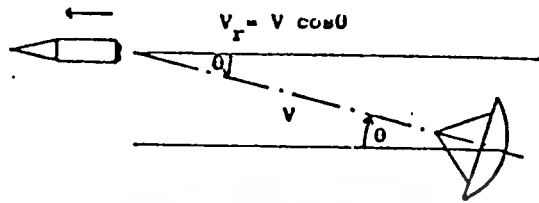
differentiation

$$\begin{aligned} \partial V(f_d, f_r, \theta) &= \frac{\partial V(f_d, f_r, \theta)}{\partial f_d} df_d + \frac{\partial V(f_d, f_r, \theta)}{\partial f_r} df_r + \frac{\partial V(f_d, f_r, \theta)}{\partial \theta} d\theta \\ &= \frac{\partial}{\partial f_d} \left(\frac{C \cdot f_d}{2 f_r} \cdot \frac{1}{\cos \theta} \right) df_d + \frac{\partial}{\partial f_r} \left(\frac{C \cdot f_d}{2 f_r} \cdot \frac{1}{\cos \theta} \right) df_r + \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{C \cdot f_d}{2 f_r} \cdot \frac{1}{\cos \theta} \right) d\theta \\ &= \left(\frac{C \cdot 1}{2 f_r \cos \theta} \right) df_d + \left(\frac{C \cdot f_d \cdot (-1) \cdot 1}{2 \cos \theta \cdot f_r^2} \right) df_r + \left(\frac{C \cdot \sec \theta \cdot \tan \theta}{2} \right) d\theta \\ &= \left(\frac{C \cdot 1}{2 f_r \cos \theta} \right) df_d - \left(\frac{C \cdot f_d}{2 f_r^2 \cos \theta} \right) df_r + \left(\frac{C \cdot f_d \cdot \sec \theta \cdot \tan \theta}{2} \right) d\theta \\ \Delta V(f_d, f_r, \theta) &= \left(\frac{C \cdot 1}{2 f_r \cos \theta} \right) \Delta f_d - \left(\frac{C \cdot f_d}{2 f_r^2 \cos \theta} \right) \Delta f_r + \left(\frac{C \cdot f_d \cdot \sec \theta \cdot \tan \theta}{2} \right) \Delta \theta \quad (3.4) \\ \Delta f_r &= -350 \text{ KHz}/^\circ\text{C} \end{aligned}$$

จากความสัมพันธ์ที่ 3.4 จะเห็นว่าเทอมที่ 2 และเทอมที่ 3 คือผลของการเปลี่ยนแปลง f_r และ θ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความเร็วน้อยกว่า ดังนั้นในที่นี้จะประมาณว่า 2 เทอมหลังนี้ตัดทิ้งได้ และเพื่อความสะดวกในการออกแบบจึงได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$V \cos \theta = \frac{C}{2} \cdot \frac{f_d}{f_r}$$

แทนค่า C และ f_r จะได้ว่า $V \cos \theta = 0.014242 f_d$



รูปที่ 3.2

แสดงทิศทางของเป้าหมายและแนวเส้นระหว่างเรดาร์กับเป้าหมาย

จะเห็นว่า ความเร็วสัมพัทธ์จะเป็น $V_r = V \cos \theta$ โดย v เป็นความเร็วของเป้าหมาย นั่นคือเมื่อ $\theta = 0$ องศา ความถี่ดอปเปลอร์จะมีค่าสูงสุด และเมื่อ $\theta = 90$ องศา ความถี่ดอปเปลอร์จะเป็นศูนย์ โดยพิจารณาจาก

$$f_d = 70.21524 V_r$$

$$f_d = 70.21524 V \cos \theta \tag{3.5}$$

จากสมการที่ 3.4 และ 3.5 เราจะสรุปว่าเราจะวัดความเร็วของลูกกระสุน ได้จากการวัดค่าความถี่ดอปเปลอร์ คูณกับค่าคงที่ค่าหนึ่ง อันเป็นหลักการที่จะนำไปออกแบบระบบการวัด

3.2 สมการเรดาร์ (RADAR EQUATION)

สมการเรดาร์จะเกี่ยวข้องกับระยะเรดาร์กับคุณลักษณะของ เครื่องรับ เครื่องส่ง สายอากาศ เป้าหมาย และสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะ ได้กล่าวเป็นแนวทางในารออกแบบ คือ กำหนดให้

P_t	คือ กำลังเครื่องส่ง	หน่วย	วัตต์
G	คือ อัตราขยายของสายอากาศ (GAIN)		
R	คือ ระยะจากสายอากาศถึงเป้าหมาย	หน่วย	เมตร
σ	คือ พื้นที่หน้าตัดของเป้าหมาย	หน่วย	เมตร ²
A_e	คือ EFFECTIVE AREA ของจานสายอากาศ		
P_r	คือ กำลังที่รับได้ของเรดาร์	หน่วย	วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S_{min} คือ กำลังต่ำสุดที่สามารถตรวจจับได้ หน่วย วัตต์
 λ คือ ความยาวคลื่นของสัญญาณที่ส่งออกไป หน่วย เมตร

$$\text{POWER DENSITY ที่เป้าหมายจากสายอากาศชนิด DIRECTIVE} = \frac{P_t G}{4\pi R^2} \quad (3.6)$$

เมื่อทำการวัดกำลังที่ถูกสะท้อนด้วยเป้าหมาย กลับมาในทิศทางสายอากาศ จะได้รับความสัมพันธ์ของกำลังที่รับได้ที่ตำแหน่งสายอากาศ

$$\text{POWER DENSITY ที่ตำแหน่งเรดาร์} = \frac{P_r G}{4\pi R^2} \cdot \frac{\delta}{4\pi R^2} \quad (3.7)$$

เมื่อคิด EFFECTIVE AREA ของจานสายอากาศ จะได้

$$P_r = \frac{p_t G}{4\pi R^2} \cdot \frac{\delta}{4\pi R^2} \cdot A_e = \frac{P_t G A_e \delta}{(4\pi)^2 R^4} \quad (3.8)$$

$$R_{max} = \left[\frac{[P_t G A_e \delta]}{(4\pi)^2 S_{min}} \right]^{1/4} \quad (3.9)$$

สมการที่ 3.9 เป็นสมการหลักของเรดาร์ จะเห็นว่ามีพารามิเตอร์ที่สำคัญคือ GAIN และ A_e และจากทฤษฎีสายอากาศ จะมีความสัมพันธ์ระหว่าง G และ A_e คือ

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad (3.10)$$

เมื่อใช้จานสายอากาศส่งและรับอันเดียวกัน แทนค่าสมการที่ 3.10 ลงในสมการ 3.9 ในรูปของ G และ A_e จะมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 3.11 และ 3.12 ตามลำดับ

$$R_{max} = \left[\frac{[P_t G^2 \lambda \delta]}{(4\pi)^3 S_{min}} \right]^{1/4} \quad (3.11)$$

$$R_{max} = \left[\frac{[P_t A_e^2 \delta]}{4\pi \lambda^2 S_{min}} \right]^{1/4} \quad (3.12)$$

สมการของ R_{max} ทั้งสามคือ สมการ 3.9 , 3.11 และ 3.12 ค่าความสัมพันธ์ของ λ จะพิจารณาที่ G คงที่ หรือ A_e คงที่ จึงจะใช้วิเคราะห์ถึง R_{max} ได้ ซึ่งในทางปฏิบัติยังมีผลจากสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อ R_{max}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ที่สำคัญและเกี่ยวเนื่องอีกค่าหนึ่ง คือ การลดทอนของระดับสัญญาณไปยัง
เป้าหมาย(FREE-SPACE ATTENUATION) ซึ่ง
การลดทอนของระดับสัญญาณขึ้นอยู่กับค่า R และ λ ดังสมการที่ 3.13

$$\text{FREE SPACE ATTENUATION} = -20 \log 4\pi R / \lambda \text{ dB} \quad (3.13)$$

ตัวอย่างเช่น ระยะห่างระหว่างลูกกระสุนกับงานสายอากาศที่ $\lambda = 2.848 \times 10^{-2}$ เมตร

$R = 21$ เมตร การลดทอนของสัญญาณเท่ากับ -79.33 dB

$R = 9$ เมตร การลดทอนของสัญญาณเท่ากับ -71.98 dB

สำหรับค่าอื่น ๆ เทียบได้จากโมโนแกรม(MONOGRAM) ในภาคผนวก 3
ทฤษฎีและหลักการวัดในบทนี้จะนำไปพิจารณาประกอบในการออกแบบต่อไป



บทที่ 4

ข้อกำหนดและระบบการวัด

4.1 สิ่งที่ต้องการ

สิ่งที่ต้องการในการวัด คือ ต้องการวัดความเร็วของลูกกระสุนปืนใหญ่ ในช่วงที่กระสุนเคลื่อนที่พ้นปากลำกล้องออกไปในระยะเวลาสั้นๆ จนค่าความเร็วช่วงนี้ถือได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกับความเร็วที่ปากลำกล้อง จนถึงได้ว่าเป็นความเร็วต้นกระสุนปืนใหญ่ได้ นั่นคือ เราจะต้องการวัดความเร็วของกระสุนในช่วงระยะนี้

4.2 ขอบเขตการวัด

ปืนใหญ่และอาวุธ ที่มีขนาดปากลำกล้องใหญ่ มีหลายขนาด หลายชนิด ซึ่งมีคุณลักษณะเฉพาะแตกต่างกันไป จากข้อมูลในภาคผนวก 1 จะเลือกกำหนดย่านความเร็วที่จะทำการวัด ตั้งแต่ความเร็ว 125 จนถึง 1,000 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นย่านความเร็วที่ครอบคลุมย่านความเร็วปืนใหญ่ในปัจจุบัน จึงได้กำหนดเป้าหมายให้มีขอบเขตการวัดดังนี้คือ

1. วัดความเร็วตั้งแต่ 125 ถึง 1,000 เมตรต่อวินาที
2. ขนาดของลูกกระสุน มีขนาดตั้งแต่ 81 มิลลิเมตร ขึ้นไป
3. วัดความเร็วช่วงแรกจากปากกระบอกลำกล้อง

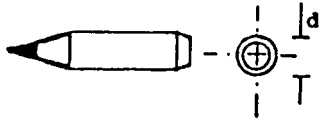
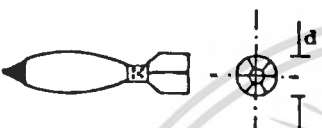
4.3 ข้อกำหนดในการวัด

จากการศึกษาวิธีและระบบการวัด จึงได้สรุปถึงข้อกำหนดในการวัด ซึ่งจะนำมาใช้ในการออกแบบระบบรับส่ง ไมโครเวฟในบทต่อไป โดยข้อกำหนดนี้จะพิจารณาถึง

1. ชนิดและขนาดของเป้าหมาย
2. ระยะในการวัด
3. ตำแหน่งของการวางสายอากาศกับตัวปืน

4.3.1 ชนิดและขนาดของเป้าหมาย

เป้าหมายในที่นี้ หมายถึง ลูกกระสุนปืนใหญ่และลูกระเบิดยิง(ลูก ค.) ทำด้วยโลหะผสมที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 0.3% ขึ้นไป ซึ่งมีขนาดและรูปร่างดังในตารางที่ 3.1

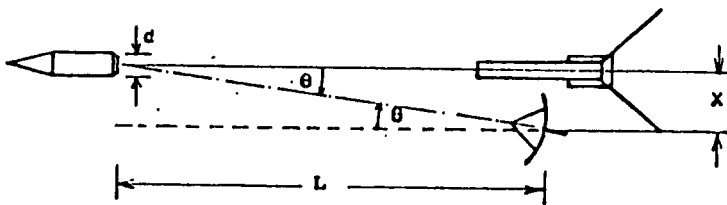
กระสุนปืนใหญ่	เส้นผ่าศูนย์กลาง d (มม)	พื้นที่หน้าตัด (มม ²)
	105	$8.66 \cdot 10^3$
	130	$1.33 \cdot 10^4$
	155	$1.88 \cdot 10^4$
ลูกระเบิดยิง	เส้นผ่าศูนย์กลาง d (มม)	พื้นที่หน้าตัด (มม ²)
	60	$2.83 \cdot 10^3$
	81	$5.15 \cdot 10^3$
	120	$1.13 \cdot 10^4$

ตารางที่ 4.1
ตัวอย่างเป้าหมายที่นิจารณา

จากตารางที่ 4.1 จะนิจารณาขนาดเป้าหมายที่เล็กที่สุดที่จะวัดได้ คือ ลูกระเบิดยิง ซึ่งมีขนาดพื้นที่หน้าตัด $2.83 \cdot 10^3$ มม² หรือ $2.83 \cdot 10^{-3}$ ม²

4.3.2 ระยะในการวัด

นิจารณาเลือกช่วงระยะในการวัด จะอยู่ในช่วงเริ่มต้นของกระสุนออกจากปากลำกล้อง ถึงที่ระยะ 200 เท่า ของขนาดกว้างปากลำกล้อง (200 CALIBRES) หรือช่วงเริ่มแรกของวิถีกระสุน (INTERMEDIATE BALLISTICS) ดังนั้นระยะในการวัดหวังผลไกลสุด จะขึ้นขนาดของลูกระสุน นิจารณาจากรูปที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.1

ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจากนสายอากาศ ปืน และกระสุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของลูกกระสุน	เส้นผ่าศูนย์กลาง d (มม)	ช่วงระยะการวัด L = 200d	
		(มม)	(ม)
	60 (ค)	1200	12.00
	81 (ค)	1620	16.20
	105	2100	21.00
	120 (ค)	2400	24.00
	130	2600	26.00
	155	3100	31.00

ตารางที่ 4.2
ขนาดกระสุนกับช่วงระยะ ในการวัด ไกลสุด
(ค) หมายถึง ลูกกระเบิดยิง

4.3.3 ตำแหน่งการวางสายอากาศ กับ เป็น

ตำแหน่งที่มีความสำคัญ คือ จะช่วยลดผลการสั่นสะเทือน เนื่องจากแรงระเบิดใน
วังเพลิง โดยทำให้ผลของมุม $\cos \theta$ กล่าวคือจากตำแหน่งของสายอากาศกับตัวปืน มีผลต่อ
การวัดน้อยที่สุด พิจารณาจากรูปที่ 4.1

$$\begin{aligned} \tan \theta &= X/L \\ \theta &= \tan^{-1} (X/L) \\ \cos \theta &= \cos [\tan^{-1} (X/L)] \end{aligned} \tag{4.1}$$

สมการที่ 4.1 จะถูกนำมาคำนวณ ค่าที่ระยะ $x = 0.8 \quad 1.0$ และ 1.2 เมตร
ตามลำดับ ที่ค่า L ต่าง ๆ จาก 5-30 เมตร ผลของ $\cos \theta$ เปลี่ยนไปอย่างไร ดังผลใน
ตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาถึงค่า $\cos \theta$ ที่มีค่าตั้งแต่ 0.9990 ขึ้นไป คือ

ที่	X(ม)	L(ม)
	0.8	18
	1.0	22
	1.2	27

หมายถึง ตั้งแต่ระยะ L ขึ้นไปในค่าข้างต้น $\cos \theta$ จะมีผลในการวัดผิดไปไม่เกิน $1/1,000$ โดยมีตำแหน่งการวางสายอากาศกับเป็นตามค่า X ข้างต้น

L	X = 0.8 ม.		X = 1.00 ม.		X = 1.2 ม.	
	θ	$\cos \theta$	θ	$\cos \theta$	θ	$\cos \theta$
5	9.0902	0.9874	11.3099	0.9806	13.4957	0.9724
6	7.5946	0.9912	9.4623	0.9864	11.3099	0.9806
7	6.5198	0.9935	8.1301	0.9899	9.7276	0.9869
8	5.7106	0.9950	7.1250	0.9923	8.5808	0.9889
9	5.0796	0.9960	6.3402	0.9939	7.5946	0.9912
10	4.5739	0.9968	5.7106	0.9950	6.8428	0.9929
11	4.1596	0.9974	5.1944	0.9959	6.2258	0.9941
12	3.8141	0.9978	4.7636	0.9965	5.7106	0.9950
13	3.5215	0.9981	4.3987	0.9971	5.2739	0.9958
14	3.2705	0.9984	4.0856	0.9975	4.8991	0.9963
15	3.0528	0.9986	3.8141	0.9978	4.5739	0.9968
16	2.8624	0.9988	3.5763	0.9981	4.2892	0.9972
17	2.6942	0.9989	3.3635	0.9983	4.0377	0.9975
18	2.5448	0.9990	3.1798	0.9985	3.8141	0.9978
19	2.4110	0.9991	3.0128	0.9986	3.6139	0.9980
20	2.2906	0.9992	2.8624	0.9988	3.4336	0.9982
21	2.1816	0.9993	2.7263	0.9989	3.2705	0.9984
22	2.0826	0.9993	2.6026	0.9990	3.1221	0.9985
23	1.9921	0.9994	2.4896	0.9991	3.9866	0.9986
24	1.9092	0.9994	2.3859	0.9991	3.8624	0.9988
25	1.8328	0.9995	2.2906	0.9992	2.7481	0.9988
26	1.7624	0.9995	2.2026	0.9993	2.6425	0.9989
27	1.6972	0.9996	2.1211	0.9993	2.5448	0.9990
28	1.6360	0.9996	2.0454	0.9994	2.4540	0.9991
29	1.5802	0.9996	1.9749	0.9994	2.3695	0.9991
30	1.5271	0.9996	1.9092	0.9994	2.2906	0.9992

ตารางที่ 4.3

4.4 ระบบและส่วนประกอบของการวัด

จากการพิจารณาทฤษฎีและหลักการวัด ตามสิ่งที่ต้องการ ขอบเขตและข้อกำหนดในการวัด จึงได้กำหนดและออกแบบระบบการวัด ซึ่งมีส่วนประกอบ ตามแผนผังระบบการวัด ดังรูปที่ 2.2 โดยแบ่งตามหน้าที่การทำงานได้ ดังนี้

1. ระบบรับส่งสัญญาณไมโครเวฟ
2. ระบบขยายสัญญาณความถี่คออปเปลอร์
3. ระบบสร้างสัญญาณเริ่มทำงาน
4. ระบบคำนวณผล และ แสดงผล
5. ระบบไฟฟ้า

ระบบดังกล่าวจะได้กล่าวถึงการออกแบบและรายละเอียดต่าง ๆ ในบทต่อไป





ระบบรับส่งสัญญาณไมโครเวฟ มีหน้าที่ในการสร้างสัญญาณความถี่ผ่านไมโครเวฟแล้วส่งออกสายอากาศ นำสัญญาณที่ได้จากการสะท้อนของเป่าพามาขยับเข้ามาผ่านสายอากาศชุดเดียวกัน เข้ามายังส่วนเซอคิเลเตอร์และภาคมิกเซอร์ตามลำดับ ทำให้สัญญาณความถี่คอปเปลอร์แปรตามความเร็วของการเคลื่อนที่ของเป่าพามา

5.1 ส่วนประกอบของระบบ

ระบบนี้จะประกอบได้ด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. จานสายอากาศแบบสะท้อนรูปพาราโบลา (PARABOLA REFLECTOR ANTENNA)
2. จานสายอากาศรูปปิรามิด (PYRAMIDAL HORN ANTENNA)
3. กั้นน์ ออสซิลเลเตอร์ ทรานซ์มิเตอร์ (GUNN OSCILLATOR TRANSCEIVERS)

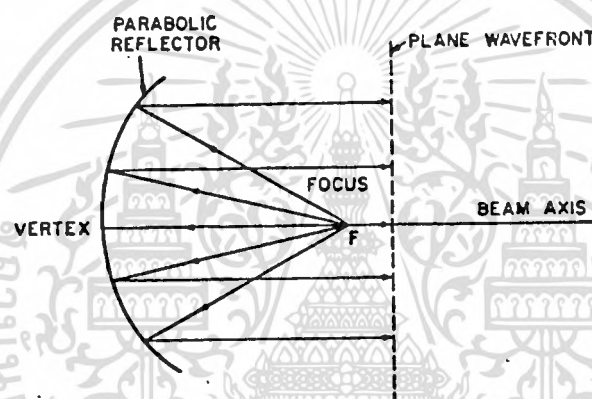
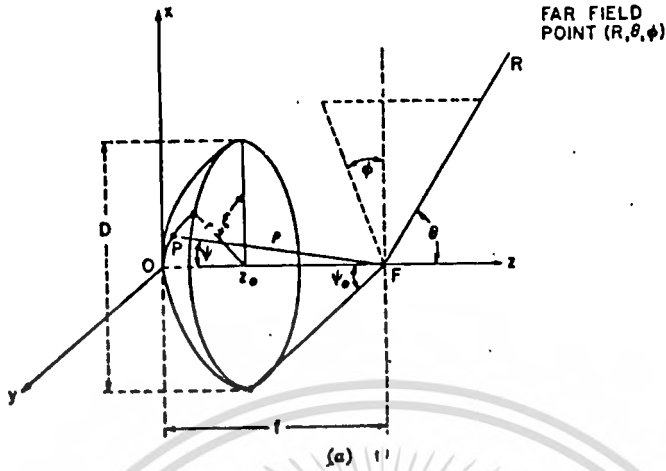
ส่วนประกอบเหล่านี้จะ ได้กล่าวถึง ทฤษฎี การออกแบบ และการทดลองต่อไป

5.2 จานสายอากาศแบบสะท้อนรูปพาราโบลา

จานสายอากาศแบบนี้ เป็นที่นิยมกันแพร่หลายในการประยุกต์ใช้งานด้านเรดาร์ ทั้งนี้เพราะสามารถจะกำหนดการป้อนสัญญาณ การกระจายหรือทิศทางของสัญญาณที่ส่งออกไป ด้วยหลักการสะท้อนของผิวรูปพาราโบลา สายอากาศนี้จึงทำหน้าที่สะท้อนสัญญาณ จากจุดป้อนสัญญาณไปในทิศทางที่ต้องการ

5.2.1 ทฤษฎีและรูปทรงทางเรขาคณิต

จานสายอากาศพาราโบลา มีรูปทรงทางเรขาคณิต ดังรูปที่ 5.1ก ในทางอุดมคติแล้วผิวของจานจะมีคุณสมบัติที่เป็นตัวนำและสะท้อนสัญญาณอย่างสมบูรณ์ และมีจุดป้อนสัญญาณวางอยู่ที่ตำแหน่งโฟกัสของจาน ซึ่งเมื่อดูจากรูปที่ 5.1ข คลื่นที่ออกจากจุด F จะตกกระทบบนจานพาราโบลา แล้วสะท้อนกลับไปเป็นทิศทางของแกนรูปพาราโบลา (BEAM AXIS)



รูปที่ 5.1

รูปที่ 5.1ก รูปทรงทางเรขาคณิตของจานพาราโบลาในระนาบเกิด

รูปที่ 5.1ข หลักการสะท้อนสัญญาณของจานพาราโบลา

สมการผิวโค้งของรูปพาราโบลา คือ

$$X^2 + Y^2 = 4fz \tag{5.1}$$

เมื่อ $f = OF$ เป็นระยะความยาวโฟกัสของรูปพาราโบลาซึ่งมีจุดกำเนิดของโคออร์

ดิเนตที่จุด O

สมการผิวโค้งของรูปพาราโบลาในระนาบเกิดรูปทรงกลม (ρ, ψ, ϵ) ซึ่งมีจุดกำเนิดที่

จุด F คือ

$$\rho = f \sec^2 \left[\frac{\psi}{2} \right] \tag{5.2}$$

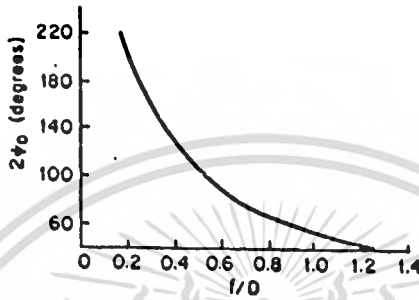
เมื่อพิจารณาถึงสนามที่อยู่ไกลของระบบโคออร์ดิเนต ที่ระนาบ $Z = Z_0$ จะถูกกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นระนาบเอพเพเจอร์ (APERTURE) ในบางครั้งจะถูกกำหนดเป็น $Z = f$ จะได้ความสัมพันธ์ของ ANGULAR APERTURE ($2\psi_0$) กับเส้นผ่าศูนย์กลางของจาน (D) ดังนี้

$$f = \frac{D}{4} \cot \left[\frac{\psi_0}{2} \right] \tag{5.3}$$

ซึ่งมุมเอพเพเจอร์ ($2\psi_0$) จะเป็นฟังก์ชันกับค่า f/D ดังในรูปที่ 5.2

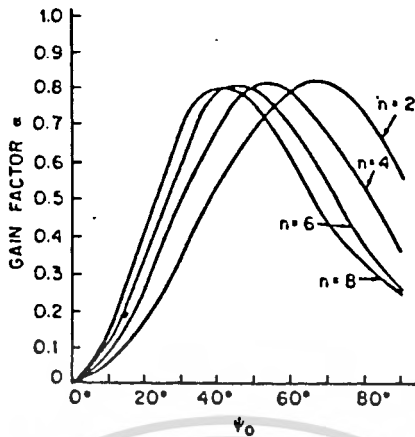


รูปที่ 5.2

ความสัมพันธ์ระหว่าง $2\psi_0$ กับ f/D ของจานพาราโบลา

การออกแบบจานพาราโบลาคำนึงถึงพารามิเตอร์หลัก คือ f, D และ ψ_0 ในการคำนวณเกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของการส่งกระจายคลื่น ถูกสมมติว่า จานพาราโบลาคจะถูกป้อนสัญญาณจากจุดที่ตั้งฉากกับจาน โดยจะมีการคำนวณอยู่ 2 วิธี คือ CURRENT-DISTRIBUTION METHOD และ APERTURE-FIELD METHOD ซึ่งทั้งสองวิธีจะให้ผลเหมือนกัน โดยมีเงื่อนไข λ/D เข้าใกล้ศูนย์ โดยวิธีแรกจะสามารถอธิบายถึงระดับของสัญญาณข้างเคียง (SIDE LOBE) ได้ แต่จะไม่บอกกล่าวในรายละเอียด

นอกจากนี้ ค่าแกลตเตอร์อัตราขยาย (GAIN FACTOR, α) คือ ค่าที่วัดจากประสิทธิภาพทางเอพเพเจอร์ของสายอากาศ ในทางปฏิบัติ ค่า α ที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับค่า ψ_0 ตามลำดับ (n) ของแพทเทิร์นของการป้อนสัญญาณ ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ψ_0 กับค่า GAIN FACTOR, α

5.2.2 เงื่อนไขการออกแบบ

เพื่อต้องการ GAIN (G_D) ด้วยการกำหนดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) จะได้ว่าความสัมพันธ์

สัมพันธ์

$$D = \sqrt{\frac{G_D}{\alpha_{max} \psi}} \cdot \lambda \tag{5.4}$$

โดยมีค่าในทางปฏิบัติ คือ

- α_{max} มีค่าระหว่าง 0.6 ถึง 0.75
- ψ_0 มีค่าระหว่าง 50 องศา ถึง 70 องศา ที่ $n = 2$
- f/D มีค่าระหว่าง 0.3 ถึง 0.5

โดยจะพิจารณาถึงชนิดของการป้อนสัญญาณประกอบ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

5.2.3 การออกแบบจานเสาอากาศพาราโบลา

จากทฤษฎีของจานเสาอากาศพาราโบลา ในหัวข้อที่ 5.2.1 ได้ทำการออกแบบจานตามเงื่อนไขการออกแบบ ซึ่งมีพารามิเตอร์เกี่ยวข้อง ดังนี้

D	คือ	เส้นผ่าศูนย์กลางของจานเสาอากาศ	หน่วย	เมตร
f	คือ	ระยะโฟกัส ของจานเสาอากาศ	หน่วย	เมตร
ψ_0	คือ	HALF ANGULAR APERTURE	หน่วย	องศา
G	คือ	อัตราขยายของจานเสาอากาศ		
Y	คือ	ระยะทางแกน Y ของจานเสาอากาศ	หน่วย	เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X_D คือ ระยะทางแกน X ของจานเสาอากาศ หน่วย เมตร

f/D คือ อัตราส่วนระยะโฟกัสกับขนาดจานเสาอากาศ

α_{\max} คือ ค่าสูงสุดของ GAIN FACTOR

f_o คือ ค่าความถี่ส่งออก ในที่นี้คือ 10.525 GHz

λ คือ ค่าความยาวคลื่น ในที่นี้คือ $2.848 * 10^{-2}$ เมตร

โดยใช้ความสัมพันธ์

$$\text{จากสมการที่ 5.4} \quad D = \sqrt{\frac{G_D}{\alpha_{\max} \pi}} \cdot \lambda$$

$$\text{จากสมการที่ 5.3} \quad f = \frac{D}{4} \cot \left[\frac{\psi_o}{2} \right]$$

$$\text{และจากสมการที่ 5.1} \quad \text{เขียนใหม่ได้เป็น} \quad X = \frac{Y^2 * 1}{4D \cdot f/D} \quad (5.5)$$

5.2.4 ขั้นตอนการออกแบบ

1. กำหนดให้ G ประมาณ 27 dB หรือ 501 เท่า

$$\alpha_{\max} \text{ เท่ากับ } 0.75$$

2. หาค่า ψ_o จากกราฟในรูปที่ 5.3

$$\text{ที่ } \alpha_{\max} = 0.75$$

$$\text{ที่ } n = 2$$

ได้ ψ_o ประมาณ 55 องศา

3. หาค่า f/D จากกราฟรูปที่ 5.2

$$\text{ที่ } 2\psi_o = 110 \text{ องศา}$$

$$\text{ได้ } f/D = 0.5$$

4. คำนวณหาค่า D จากสมการที่ 5.4

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{\frac{G}{\alpha_{\max} \pi}} \cdot \lambda \\ &= \frac{501}{0.75\pi} * 2.848 * 10^{-2} \\ &= 0.41 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

5. คำนวณหาค่าระยะโฟกัส f จาก

$$f = \frac{D}{2} = \frac{0.41}{2} = 0.205 \text{ เมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้พารามิเตอร์ที่สำคัญ คือ ψ_0, D, f จะออกแบบโครงสร้างงานสายอากาศตามสมการที่ 5.5 โดยกำหนดให้ $D = 0.40$ เมตร และ $f = 0.20$ เมตร ซึ่งมีผลการคำนวณดังรูปที่ 5.4

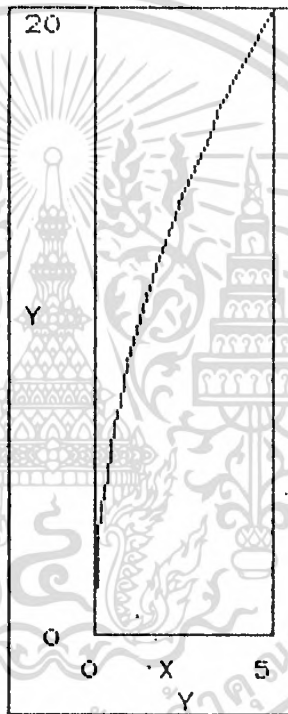
FD := 0.5
D := 40

FARABOLIC CURVE CALCULATION

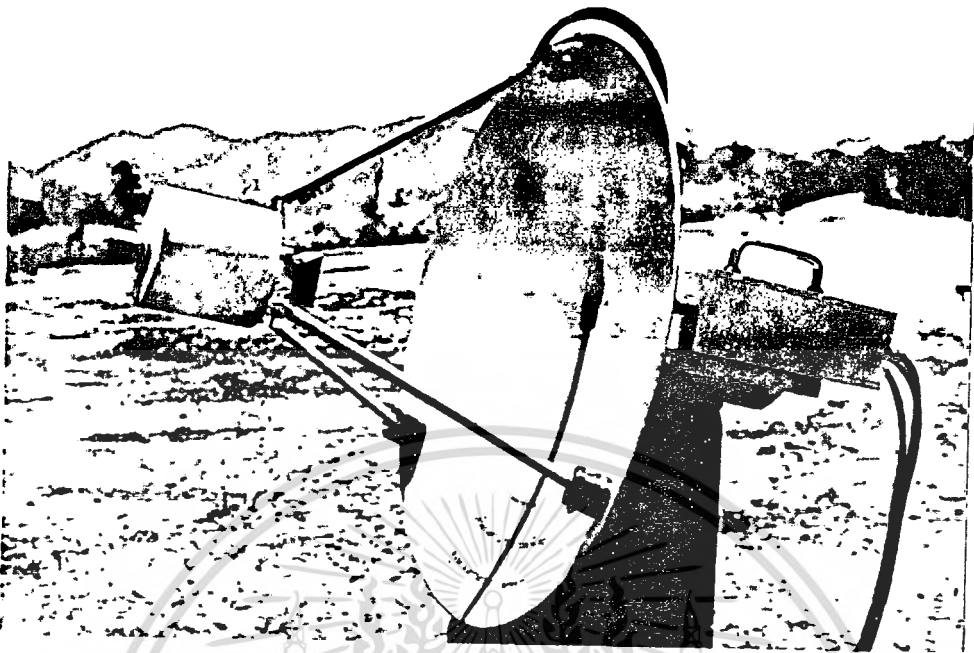
Y := 0 .. 20

$$X := \frac{Y^2}{4 \cdot D \cdot FD}$$

X =	0
	0.013
	0.05
	0.113
	0.2
	0.313
	0.45
	0.613
	0.8
	1.013
	1.25
	1.513
	1.8
	2.113
	2.45
	2.813
	3.2
	3.613
	4.05
	4.513
	5



รูปที่ 5.4
การคำนวณค่าความโค้งของงานพาราโบลา



รูปที่ 5.5

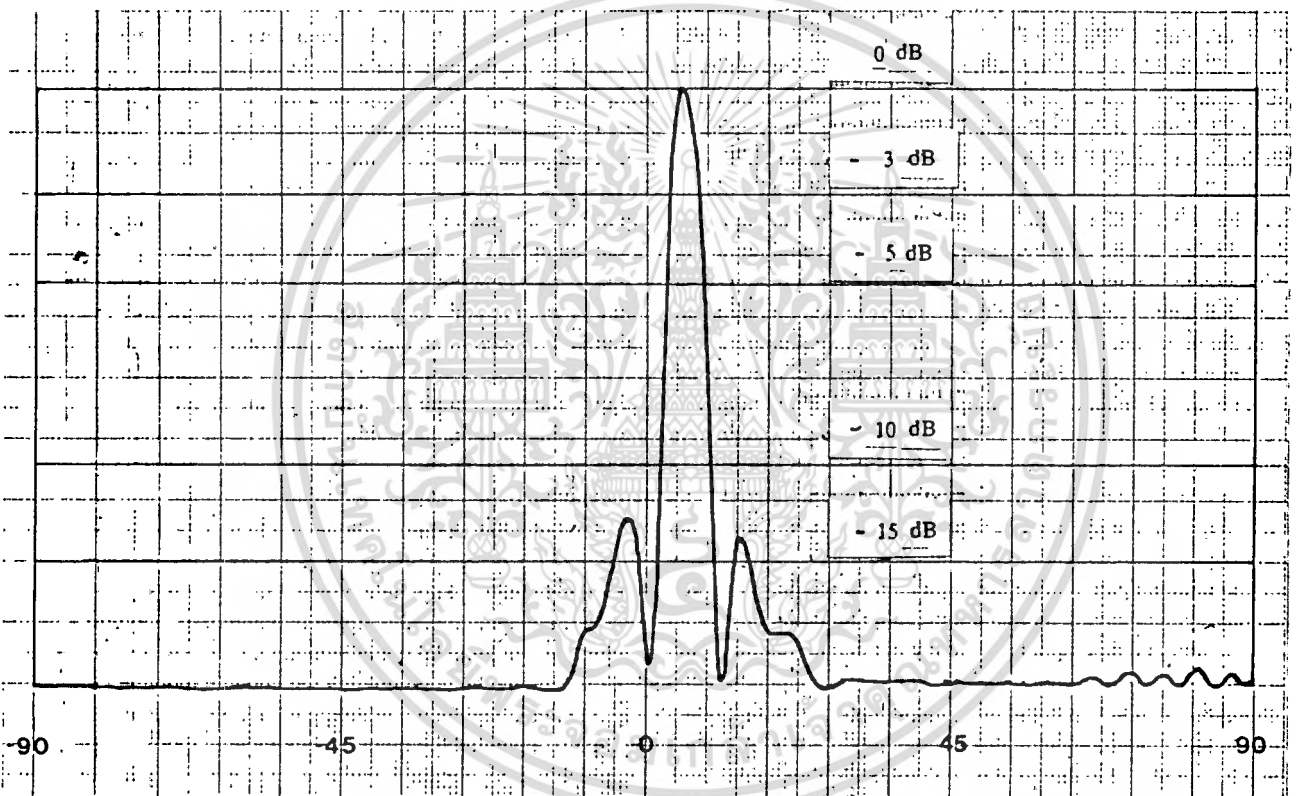
ภาพงานสายอากาศที่สร้างขึ้น

งานสายอากาศหาวาโบล่าสร้างจากวัสดุอะลูมิเนียม ดังรูปที่ 5.5

5.2.5 การทดสอบงานสายอากาศหาวาโบล่า

ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ คือ ค่าแอมวิท(BEAM WIDTH)ของงาน ด้วยสเปคตรัมอะนาไลเซอร์(SPECTRUM ANALYSER) วัดระดับสัญญาณที่ความถี่ 10.5 GHz ผลจากระดับสัญญาณที่ระดับ -3 เดซิเบล(dB) ในรูปที่ 5.6 ได้ค่า BEAM WIDTH 4.5 องศา และมีระดับสัญญาณข้างเคียงที่ระดับ - 13 และ -14 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



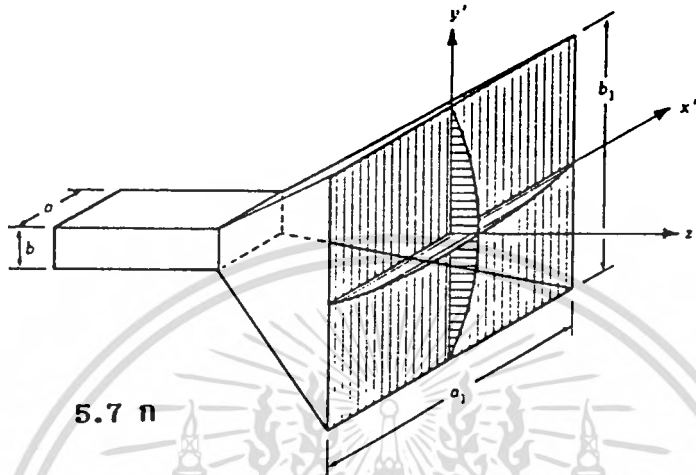
รูปที่ 5.6

ผลการทดสอบงานสายอากาศพาราโบลา

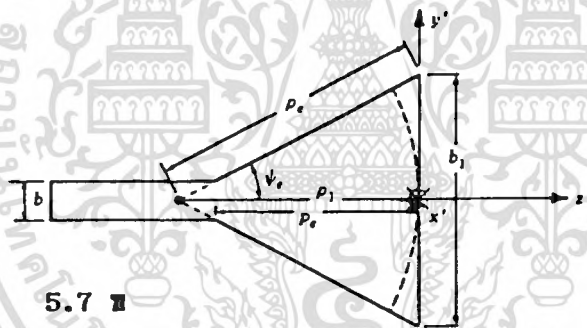
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 งานสายอากาศรูปปิรามิด

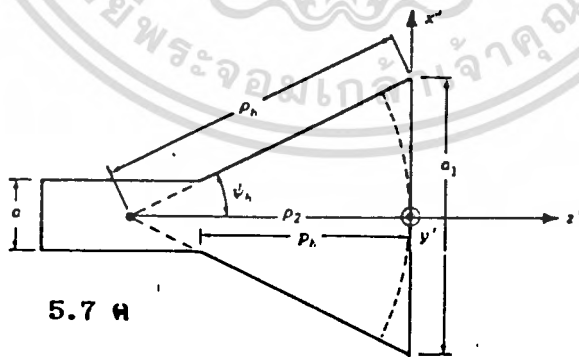
งานสายอากาศนี้ทำหน้าที่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดสัญญาณออกมาซึ่งสามารถกำหนดให้ระนาบ E หรือ ระนาบ H ค่อย ๆ กว้างออกเป็นสัดส่วนต่อกันมี BEAM WIDTH ในระนาบทั้งสองไม่เท่ากัน ซึ่งจะแสดงไว้ที่รูป 5.7 ก ข และ ค ตามลำดับ



5.7 ก



5.7 ข



5.7 ค

รูปที่ 5.7

5.7 ก รูปงานสายอากาศรูปปิรามิดและขนาดสัมพันธ์กันที่เกี่ยวข้อง

5.7 ข ภาพ ระนาบ E

5.7 ค ภาพ ระนาบ H

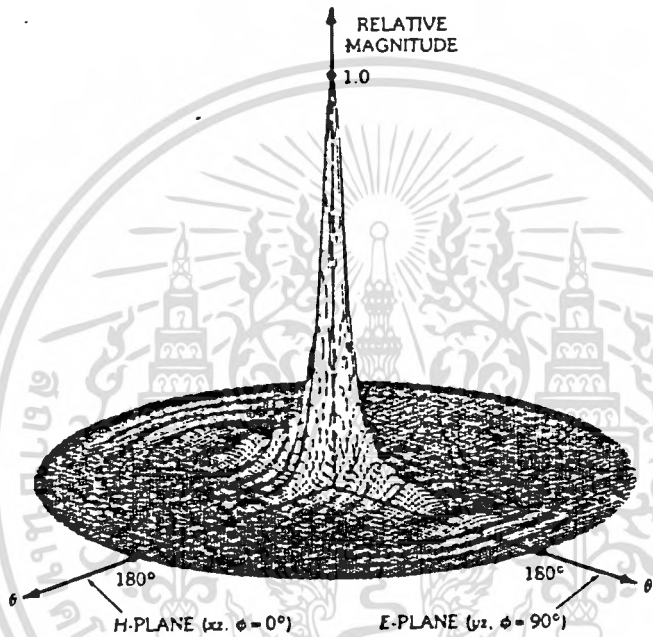
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของสายอากาศมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$p_c = (b_1 - b) \left[\left(\frac{p_c}{b_1} \right)^2 - \frac{1}{4} \right]^{1/2} \quad (5.6)$$

$$p_h = (a_1 - a) \left[\left(\frac{p_h}{a_1} \right)^2 - \frac{1}{4} \right]^{1/2} \quad (5.7)$$

การกระจายของคลื่นจะขึ้นอยู่กับมุมที่สังเกต เช่น รูปการกระจายในระนาบ E ที่มี $\theta = \pi/2$ เช่นเดียวกับระนาบ H ที่มี $\theta = 0$ เช่น รูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8

ภาพแนวทอว์นระดับสัญญาณของจานสายอากาศรูปปริมาตร

5.3.1 หลักการออกแบบ

การออกแบบจะใช้ความสัมพันธ์ โดยกำหนดให้

- G_0 คือ GAIN ที่ต้องการ
- ϵ_{sp} คือ ประสิทธิภาพทางอเพอเจอร์ ในที่นี้คือ 50%
- A_p คือ พื้นที่หน้าตัดของจานสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 G_0 &= \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{em} = r_{sp} \frac{4\pi}{\lambda^2} A_p \cong \frac{1}{2} \frac{4\pi}{\lambda^2} (a_1 b_1) \\
 &= \frac{2\pi}{\lambda^2} \sqrt{3\lambda_1 \rho_1} \sqrt{2\lambda_2 \rho_2} = \frac{2\pi}{\lambda^2} \sqrt{3\lambda_1 \rho_h} \sqrt{2\lambda_1 \rho_c}
 \end{aligned} \tag{5.8}$$

จากสมการที่ 5.8 สำหรับฮอร์นที่มีความยาวมาก นั่นคือ $\rho_2 \approx P_h$, $\rho_1 \approx P_c$ และ $P_c = P_h$ เมื่อแทนค่าสมการที่ 5.6 และ 5.7 ลงในสมการที่ 5.8 จะได้

$$(\sqrt{2\chi} - b/\lambda)^2 (2\chi - 1) = \left(\frac{G_0}{2\pi} \sqrt{\frac{3}{2\pi}} \frac{1}{\sqrt{\chi}} - \frac{a}{\lambda} \right)^2 \left(\frac{G_0^2}{6\pi^3} \frac{1}{\chi} - 1 \right) \tag{5.9}$$

เมื่อ $\frac{\rho_c}{\lambda} = \chi$ (5.10)

$$\frac{\rho_h}{\lambda} = \frac{G_0^2}{8\pi^3} \left(\frac{1}{\chi} \right) \tag{5.11}$$

และ $\chi(\text{trial}) = \chi_1 = \frac{G_0}{2\pi\sqrt{2\pi}}$ (5.12)

$$a_1 = \sqrt{3\lambda_1 \rho_1} \cong \sqrt{3\lambda_1 \rho_h} = \frac{G_0}{2\pi} \sqrt{\frac{3}{2\pi\chi}} \lambda \tag{5.13}$$

$$b_1 = \sqrt{2\lambda_1 \rho_1} \cong \sqrt{2\lambda_1 \rho_c} = \sqrt{2\chi} \lambda \tag{5.14}$$

สมการที่ 5.9 จะเป็นสมการหลักในการออกแบบเสาอากาศรูปปิรามิด โดยมีเงื่อนไขตามสมการที่ 5.10 ถึง 5.14

5.3.2 ขั้นตอนการออกแบบ

ต้องการออกแบบเสาอากาศรูปปิรามิดที่มี GAIN 11 dB ที่ความถี่ 10.5 GHz ฮอร์นถูกป้อนสัญญาณด้วยท่อนำคลื่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งมีขนาดภายใน $a = 2.286 \times 10^{-2}$ เมตร และ $b = 1.106 \times 10^{-2}$ เมตร

ลำดับการคำนวณ

$$\begin{aligned}
 G_0 \text{ (dB)} &= 11 &= 10 \log_{10} G_0 \\
 G_0 &= 10^{1.1} &= 12.589
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$f = 10.525 \text{ GHz}$$

$$\lambda = 2.8484 * 10^{-2} \text{ เมตร}$$

$$a = 2.286 * 10^{-2} \text{ เมตร} = 0.8026\lambda$$

$$b = 1.016 * 10^{-2} \text{ เมตร} = 0.3567\lambda$$

1. หาค่า x_1 จากสมการที่ 5.12

$$x_1 = \frac{12.589}{2\pi / 2\pi} = 0.799$$

2. หาค่า ρ_o และ ρ_h จากสมการที่ 5.10 และ 5.11

$$\rho_o = 0.799\lambda = 2.276 * 10^{-2} \text{ เมตร}$$

$$\rho_h = \frac{(12.589)^2 * 1 * \lambda}{8\pi^3 * 0.799}$$

$$= 0.7992\lambda = 2.278 * 10^{-2} \text{ เมตร}$$

3. หาค่า a_1 และ b_1 จากสมการที่ 5.13 และ 5.14

$$a_1 = \frac{12.589}{2\pi} \sqrt{\frac{3}{2\pi * 0.799} * 2.8484} = 4.41 * 10^{-2} \text{ เมตร}$$

$$b_1 = \sqrt{2 * 0.799 * 2.8484 * 10^{-2}} = 3.60 * 10^{-2} \text{ เมตร}$$

4. หาค่า P_o และ P_h จากสมการที่ 5.7 ซึ่ง P_o จะเท่ากับ P_h

$$P_o = P_h = \frac{(3.60 - 1.016)\lambda}{\sqrt{\left[\frac{2.276}{3.6}\right]^2 - 1}} = 1.00\lambda = 2.848 * 10^{-2} \text{ เมตร}$$

5. ทดสอบหาค่า G_o จากสมการที่ 5.8

$$G_o = \frac{1}{2} * \frac{4\pi}{(2.8484)^2} * (4.41 * 3.60)$$

$$= 12.295 \text{ หรือ } 10.9 \text{ dB}$$

ค่า G_o นี้มีค่าใกล้เคียงกับที่ต้องการ คือ 11.0 dB จึงได้ทำการสร้างสายอากาศรูปปริมาตรที่มีขนาดภายใน

$$a = 2.286 * 10^{-2} \text{ เมตร}$$

$$b = 1.016 * 10^{-2} \text{ เมตร}$$

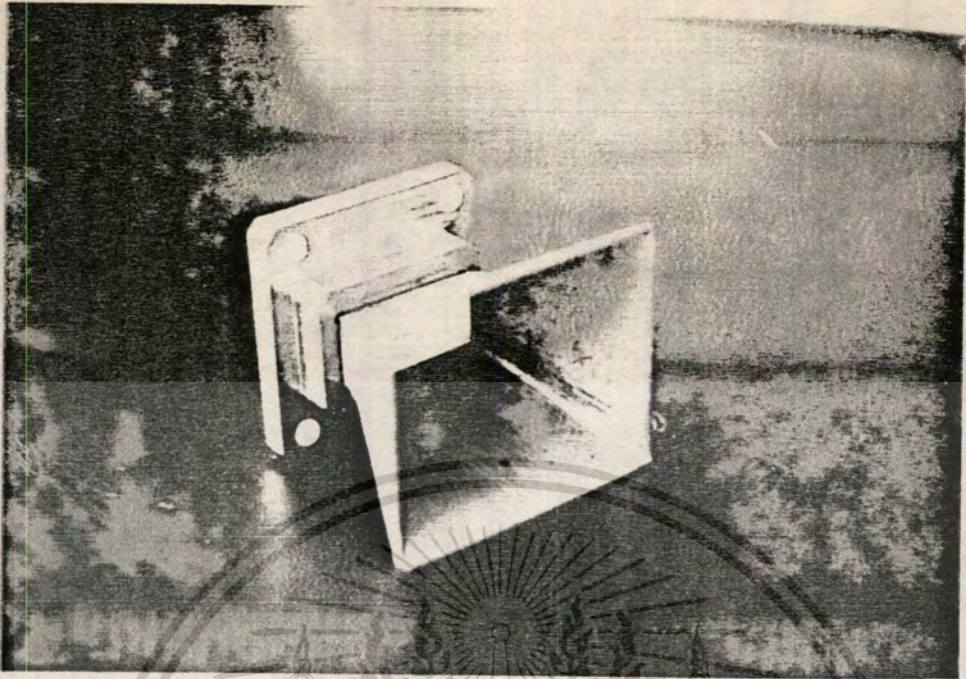
$$a_1 = 4.41 * 10^{-2} \text{ เมตร}$$

$$b_1 = 3.60 * 10^{-2} \text{ เมตร}$$

$$P_o = P_h = 2.848 * 10^{-2} \text{ เมตร}$$

ซึ่งทำจากแผ่นทองเหลือง ดังรูปที่ 5.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9

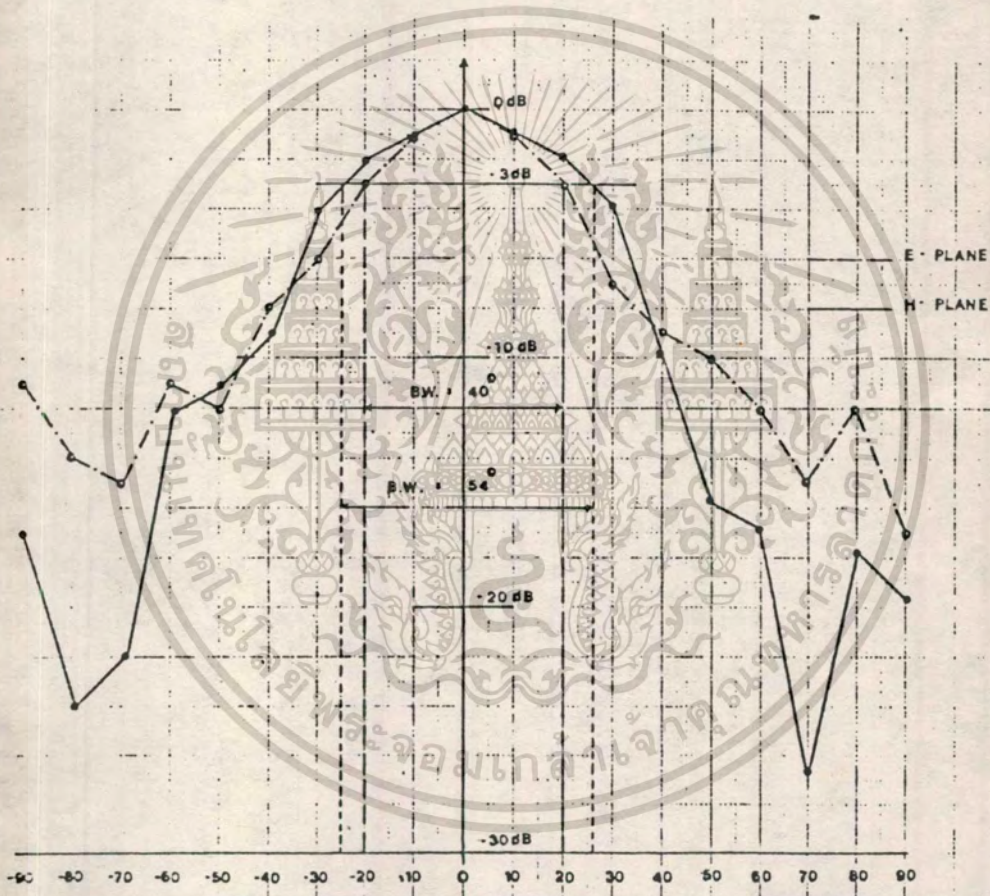
สายอากาศรูปปิรามิดที่สร้างขึ้น

5.3.3 การทดสอบจันสายอากาศรูปปิรามิด

ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของจันสายอากาศรูปปิรามิด เช่นเดียวกับการทดสอบจันสายอากาศพาราโบลา วัดระดับสัญญาณที่ความถี่ 10.5 GHz ที่ระดับ -3 dB ในรูปที่ 5.10 ได้ค่า BEAM WIDTH ของ E-PLANE = 40° และ H-PLANE = 54°

5.4 การทดสอบระบบจันสายอากาศ

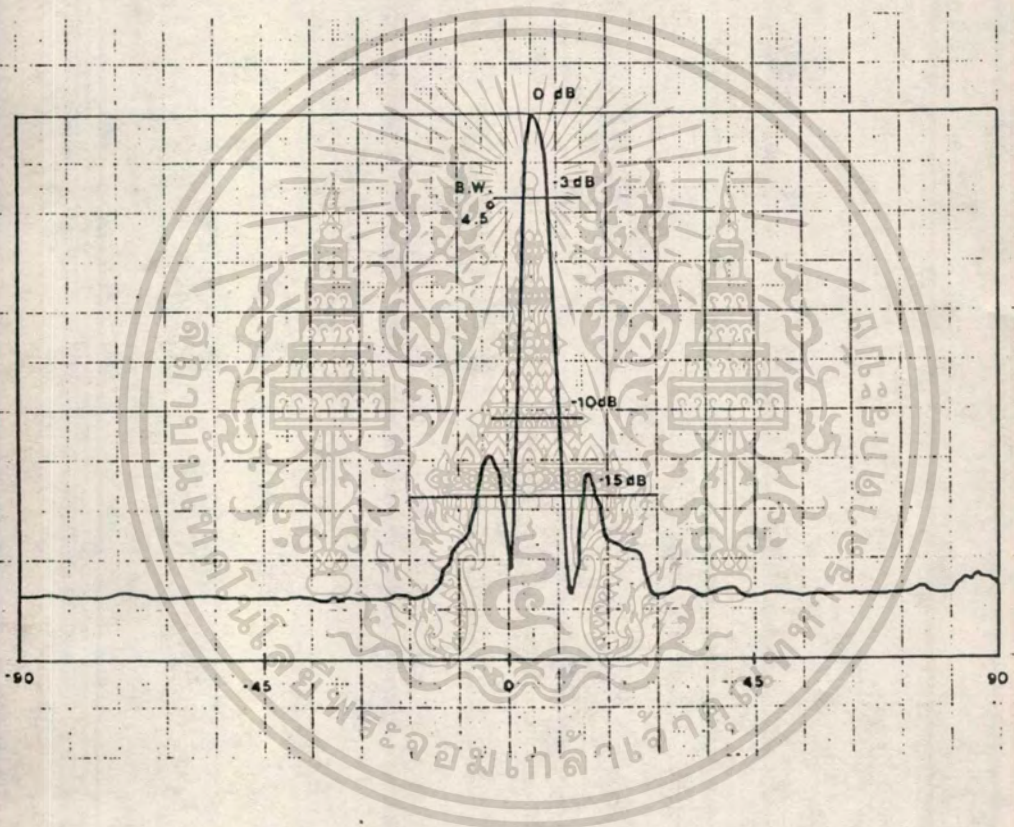
เป็นการทดสอบจันสายอากาศที่เป็นปรุขุม (รูปปิรามิด) และ ทูตขุม (รูปพาราโบลา) แล้วทำการวัด โดยมีตำแหน่งของจันสายอากาศรูปปิรามิดที่มี เป็นตัวป้อนสัญญาณอยู่ในตำแหน่ง โฟกัสของจันสายอากาศพาราโบลา ผลการทดสอบหา BEAM WIDTH ของ สายอากาศในรูปที่ 5.11 ได้ค่า BEAM WIDTH 4.5° โดยมีค่ามุมวิทิศของการป้อนสัญญาณที่เหมาะสม (OPTIMUM-FEED BEAM WIDTH) ที่ -10 dB มีค่า 110°



รูปที่ 5.10

ผลการทดสอบหา BEAM WIDTH ของงานสายอากาศรูปปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11

ผลการทดสอบหา BEAM WIDTH ของจานเสาอากาศรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

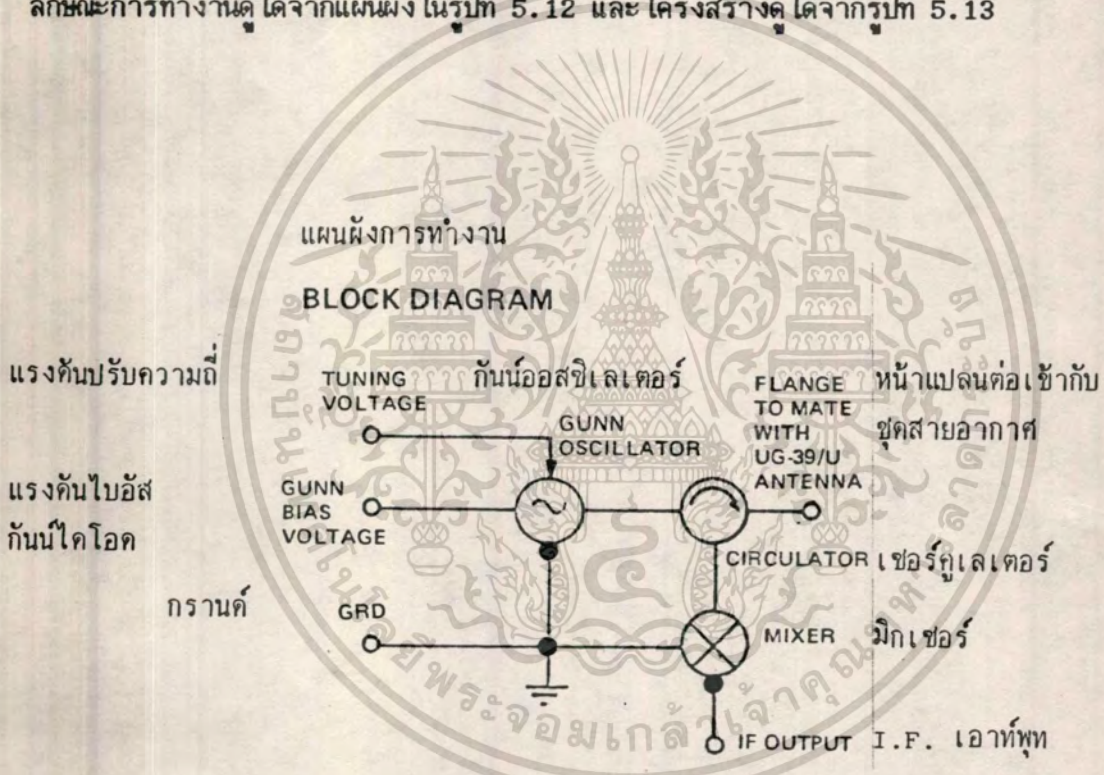
5.5 กัมน์ ออสซิลเลเตอร์ ทรานซีฟเวอร์ (GUNN OSCILLATOR TRANSCEIVER)

5.5.1 ลักษณะทั่วไป

ทำหน้าที่ส่งและรับสัญญาณ และให้สัญญาณออกมาตามความสัมพันธ์ของคอปเปอเรเตอร์ เรดาร์ โดยวาแรคเตอร์จะถูกปรับให้ได้ความถี่ช่วงใช้งานในย่าน X แบนด์ ตามต้องการ

5.5.2 ส่วนประกอบและการทำงาน

ส่วนประกอบภายในจะมีวาแรคเตอร์เป็นตัวปรับความถี่ได้ โดยการป้อนศักดาไฟฟ้า ความถี่ที่ปรับได้อย่างน้อย 60 MHz มีเซอร์คูเลเตอร์ที่ทำจากแกนเฟอไรต์ทำหน้าที่ผ่านสัญญาณออกสู่ สายอากาศและนำสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเข้าสู่ส่วนมิกเซอร์ ซึ่งมีมิกเซอร์ไดโอดติดอยู่ในท่อนำคลื่น ลักษณะการทำงานดูได้จากแผนผังในรูปที่ 5.12 และโครงสร้างดูได้จากรูปที่ 5.13



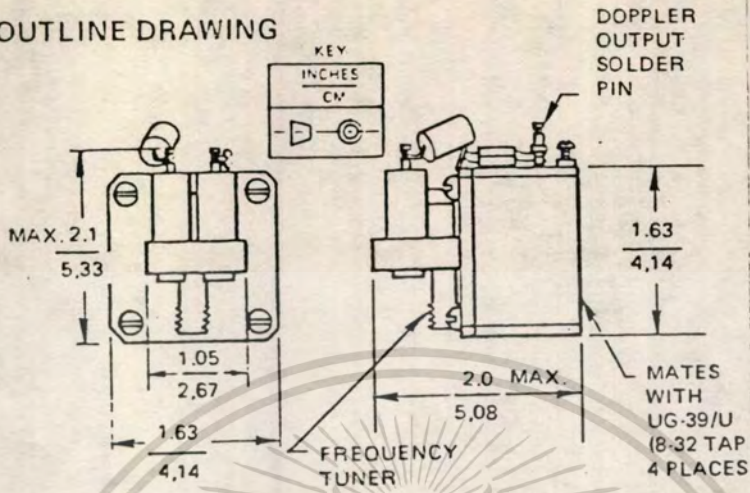
รูปที่ 5.12
แผนผังการทำงานของกัมน์ออสซิลเลเตอร์ทรานซีฟเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างและขนาด

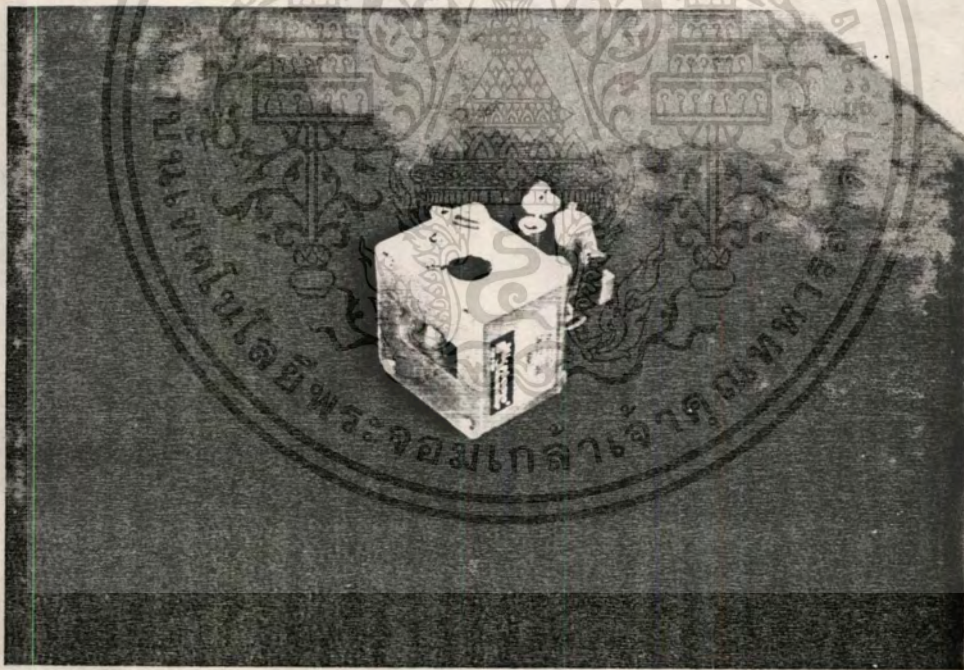
ขาสัญญาณออก

OUTLINE DRAWING



ปรับความถี่

ต่อเข้าหน้าแปลนสายอากาศ



รูปที่ 5.13

รูปที่ 5.13ก โครงสร้างและขนาด

รูปที่ 5.13ข ภาพถ่ายกัมน์ออกสปีเลเตอร์ทรานซิวเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.3 คุณสมบัติ

การใช้งานของกัมมันตออสซิลเลเตอร์ทรานซิวเวอร์ มีคุณลักษณะและขอบเขตการใช้

งาน ดังนี้

โมเดล (MODEL)	MA-87125
กำลัง RF ส่งออกต่ำสุด (MINIMUM RF OUTPUT POWER)	50 mW
กระแสขณะทำงานสูงสุด (MAXIMUM OPERATING CURRENT)	650 mA
ความไวของการตรวจจับ (DETECTOR SENSITIVITY)	- 120 dBc

คุณสมบัติเฉพาะ (SPECIFICATION)

ลักษณะทางไฟฟ้า (ELECTRICAL CHARACTERISTIC)

ความถี่ RF (RF CENTER FREQUENCY)	10.525 GHz
ปรับความถี่ทางกล (MECHANICAL TUNING)	± 100 MHz
ปรับความถี่ทางอิเล็กทรอนิกส์ (ELECTRONICS TUNING)	60 MHz MIN
เสถียรภาพทางความถี่ (FREQUENCY STABILITY)	- 350 kHz/ $^{\circ}$ C MAX
แรงดันจ่ายกันันไดโอด (DC GUNN VOLTAGE)	10.0 V TYP.
แรงดันปรับความถี่ (TUNING VOLTAGE)	+ 1 ถึง + 20 V

ลักษณะทางกล (MECHANICAL CHARACTERISTIC)

ขนาด (SIZE)	ตามรูปที่ 5.13
ข้อจำกัดของสิ่งแวดล้อม (ENVIRONMENTAL RATING)	
อุณหภูมิขณะทำงาน (OPERATING TEMPERATURE)	- 30 $^{\circ}$ ถึง 70 $^{\circ}$ C

5.6 การทดสอบระบบรับส่งสัญญาณไมโครเวฟรวม

ได้ทำการประกอบงานสายอากาศพาราโบลา งานสายอากาศรูปปริมาตร และตัวป้อนสัญญาณ ทั้งออสซิลเลเตอร์ ทราานซ์เวอร์ แล้วทำการทดลองวัดหา BEAM WIDTH ดังเช่นการทดลองที่ผ่านมา ได้ค่า 4.5° และได้ทำการทดสอบการตรวจจับการเคลื่อนที่ของเป้าหมายขนาดต่าง ๆ คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 60 81 105 120 และ 155 มม. ตามลำดับ โดยมีตำแหน่งและระยะการวัดดังผลในตารางที่ 5.1 V_{in} จะวัดจาก I.F. เอ๊าท์พุท ของกัณฑ์ออสซิลเลเตอร์ ทราานซ์เวอร์

	X ม	L ม	d 40มม	d 60มม	d 81มม	d 105มม	d 120มม	d 155มม
V_{in} (mV)	0.80	50	2.5	3.5	5	6	7	8
V_{in} (mV)	1.00	50	1.5	3.2	4.8	5.8	6.5	8
V_{in} (mV)	1.20	50	วัดไม่ได้	2.8	4.5	5.4	6	7.5

	X ม	L ม	d 40มม	d 60มม	d 81มม	d 105มม	d 120มม	d 155มม
V_{in} (mV)	0.80	25	6	8	10.5	13	16	20
V_{in} (mV)	1.00	25	4	6.5	9	12.5	14.5	17
V_{in} (mV)	1.20	25	2	4.5	7	9	11.5	14

ตารางที่ 5.1

ผลการทดสอบวัดระดับสัญญาณความถี่คอปีเปลอร์

ผลจากการทดสอบการตรวจจับขนาดเป้าหมายตามระยะที่ต้องการที่ระยะ $X=0.80$ เมตร สามารถตรวจจับเป้าหมายขนาดตั้งแต่ 60 มิลลิเมตร ขึ้นไป เช่น กระสุนขนาด d 60 มิลลิเมตร จะมีระดับสัญญาณ 8 มิลลิโวลต์ ที่ $L=25$ เมตร และ 3.5 มิลลิโวลต์ ที่ระยะ $L=50$ เมตร นั่นคือ ในช่วงระยะ 25-50 เมตร สามารถตรวจจับระดับสัญญาณจาก I.F. เอาท์พุท ได้โดยตรง ซึ่งสัญญาณนี้จะส่งผ่านเข้าวงจรขยายและกรองความถี่ต่อไป



รูปที่ 5.14 ภาพระบบรับส่งสัญญาณไมโครเวฟ



รูปที่ 5.15 ภาพการทดสอบวัดขนาดสัญญาณความถี่ออปเพลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ระบบขยายสัญญาณความถี่คอปเปอเรอร์

ระบบนี้จะทำหน้าที่ขยายความถี่คอปเปอเรอร์ที่ได้จาก กั้นน้อสซิลเลเตอร์ทรานซิวเวอร์ใน ย่านความถี่ที่ต้องการวัด

6.1 การออกแบบ

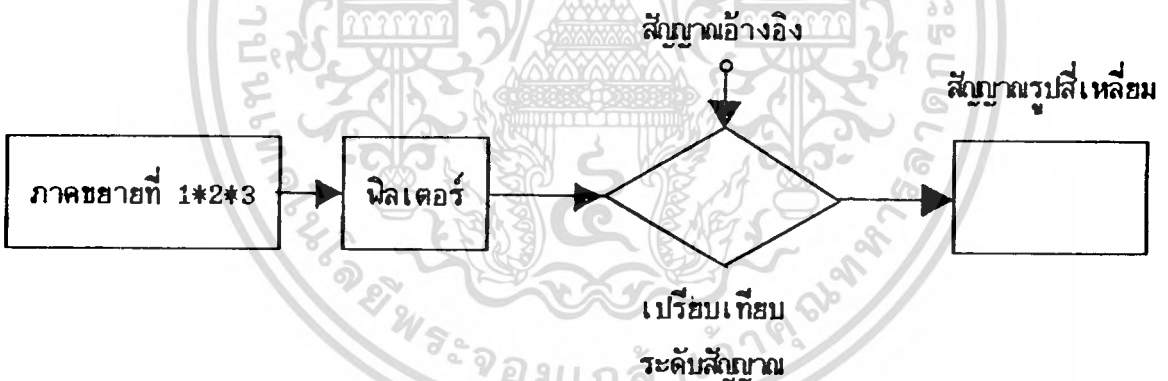
ต้องการขยายสัญญาณในย่านความถี่ที่ได้จากการคำนวณจากสมการที่ 3.5 คือ

$$f_d = 70.21524 * V$$

ที่ความเร็วสูงสุด 999.9 เมตร/วินาที จะได้ $f_d = 70.208$ kHz

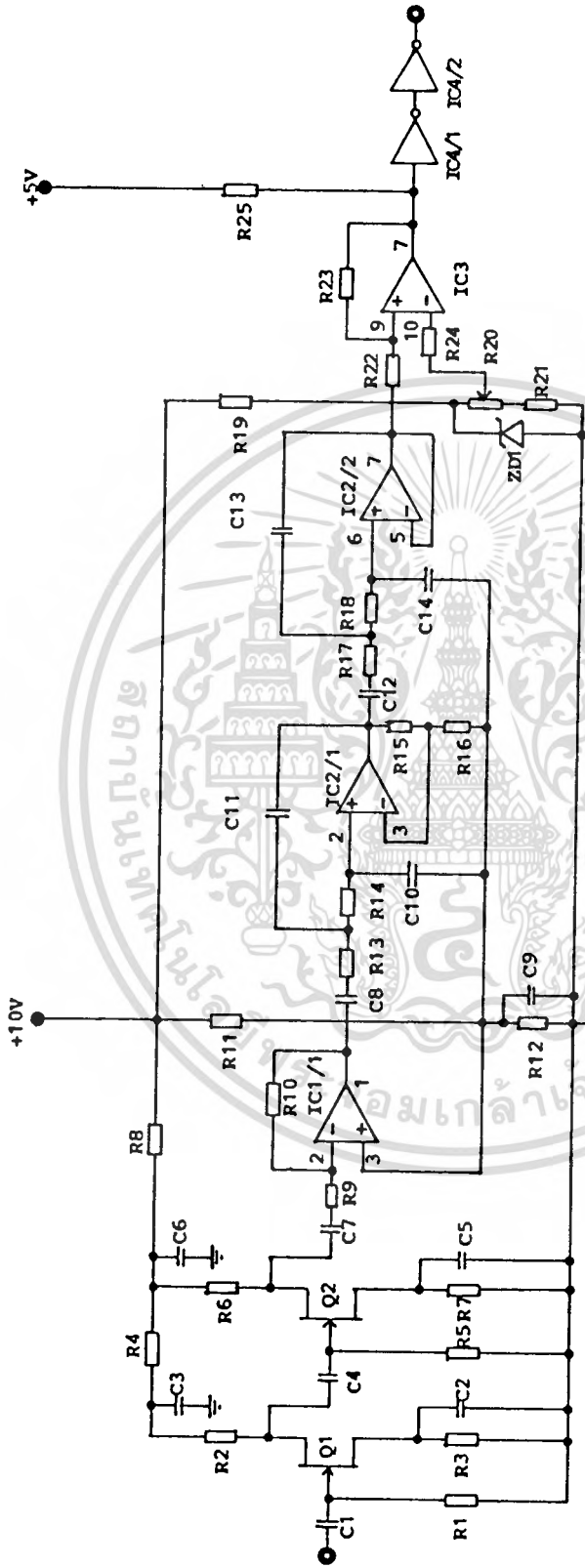
ที่ความเร็วต่ำสุด 125.0 เมตร/วินาที จะได้ $f_d = 8.777$ kHz

ความถี่สูงสุดที่ต้องการขยาย คือ 70 kHz ส่วนย่านความถี่ต่ำสุดในที่นี้จะขยายจากความถี่ต่ำสุด เพื่อใช้ทดสอบกับเป้าหมายที่ความเร็วต่ำ โดยมีอัตราขยายไม่น้อยกว่า 80 dB มีแผนผังการทำงาน ดังรูปที่ 6.1 และวงจรในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.1

แผนผังการทำงานของวงจรขยายความถี่คอปเปอเรอร์



รูปที่ 6.2
วงจรมหาสายสัญญาณความถี่ยกเบลอว์

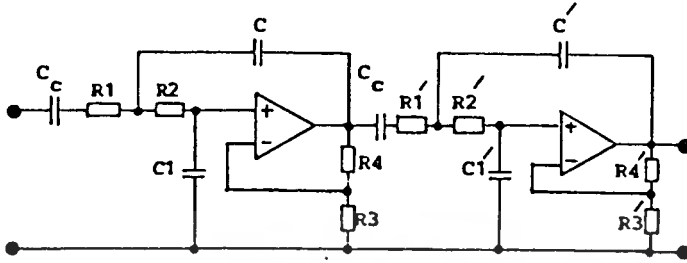
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ของวงจรรูปที่ 6.2

R1 = 1.2 M Ω	R14 = 1.8 k Ω	C1 = 2 μ F	Q1 = JFET J241
R2 = 4.3 k Ω	R15 = 9.1 k Ω	C2 = 1 μ F	Q2 = JFET J241
R3 = 820 Ω	R16 = 9.1 k Ω	C3 = 0.1 μ F	IC1 = LF 353
R4 = 300 Ω	R17 = 1.5 k Ω	C4 = 2 μ F	IC2 = LF 353
R5 = 1.2 M Ω	R18 = 6.8 k Ω	C5 = 1 μ F	IC3 = LM 319
R6 = 4.3 k Ω	R19 = 2.0 k Ω	C6 = 0.1 μ F	IC4 = 74LS04
R7 = 820 Ω	R20 = VR 20 k Ω	C7 = 2 μ F	ZD = ZENER 7.5V
R8 = 300 Ω	R21 = 10 k Ω	C8 = 2 μ F	
R9 = 3.0 k Ω	R22 = 43 k Ω	C9 = 1 μ F	
R10 = 82 k Ω	R23 = 1.5 M Ω	C10 = 1 μ F	
R11 = 4.3 k Ω	R24 = 10 k Ω	C11 = 1 μ F	
R12 = 4.3 k Ω	R25 = 500 Ω	C12 = 2 μ F	
R13 = 3.0 k Ω		C13 = 1 μ F	
		C14 = 0.5 μ F	

ในวงจรรูปที่ 6.2 สัญญาณความถี่ดอปเปลอร์ f_d จะผ่านเข้ามาที่จุดอินพุต ผ่าน C1 และ FET Q1 ทำการขยายสัญญาณ f_d ซึ่งมีอัตราขยาย(GAIN) ประมาณ 20 โดยมีอินพุตอิมพีแดนซ์ (INPUT IMPEDANCE) 1.2 M Ω กระแสเดรน (I_D) 1mA กำหนดโดย R2 เช่นเดียวกับ Q2 ทำหน้าที่ขยายในภาค(STAGE) ที่ 2 ด้วย อัตราขยายประมาณ 20 ส่วนภาค ที่ 3 IC1 LF353 เป็น JFET OP AMP ทำหน้าที่เป็นส่วนขยายกลับเฟส(INVERTING AMPLIFIER) มีอัตราขยายประมาณ $-R_{10}/R_9$ หรือ 27 เท่า IC1 ในที่นี้จะต่อไฟเลี้ยงแบบ SINGLE SUPPLY โดยมี R11 และ R12 ทำการแบ่งครึ่งระดับไฟเลี้ยง 10V

IC2/1 และ IC2/2 ทำหน้าที่เป็น วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบกัทเทอร์เวอร์ท ออร์เดอร์ที่สี่(FOURTH-ORDER VCVS LOW-PASS BUTTER WORTH FILTER) โดยมีความถี่คัทออฟ (CUT OFF) ที่ 70 kHz 0.5 dB ริปเปิล(RIPPLE) เล็ก อัตราขยาย = 2 โดย IC2/1 มี อัตราขยาย = 2 และ IC2/1 มี อัตราขยาย = 1 IC2 ใช้ LF353 ในที่นี้จะต่อไฟเลี้ยงเช่นเดียวกับ IC1 การเลือกค่าของอุปกรณ์ในวงจร นิยามารูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3

วงจรกรองความถี่ต่ำแบบกึ่งเทอร์เวอร์ก สอว์เตอร์ที่สี่

ในรูปที่ 6.3 ความถี่คutoff 70 kHz เลือก $C = 1\mu\text{F}$ เพื่อหาค่าจากความ

สัมพัทธ์

$$K = 100 / (f_c C)$$

เมื่อ f_c หน่วย Hz และ C หน่วย μF

$$K = 1.4286$$

ทำการหาค่า R, C ตามตารางที่ 6.1

อัตราขยาย (GAIN)	ค่า α ของวงจร (CIRCUIT ELEMENT VALUES, α)						ภาคที่ (STAGE)
	1	2	6	10	36	100	
R1	2.661	2.079	1.095	0.738	0.738	0.521	1
R2	9.521	1.218	2.313	3.432	1.716	2.43	
R3	OPEN	6.595	5.112	5.213	2.945	3.281	
R4	0	6.595	10.225	20.851	14.725	29.527	
C1	0.1C	C	C	C	2C	2C	
R1'	1.048	1.048	0.861	0.861	0.551	0.427	2
R2'	4.833	4.833	2.941	2.941	2.297	2.965	
R3'	OPEN	OPEN	7.604	7.604	3.418	3.769	
R4'	0	0	7.604	7.604	17.092	33.924	
C1'	0.5C	0.5C	C	C	2C	2C	

α ค่าความต้านทานเป็นจำนวนเท่าของพารามิเตอร์ K หน่วยเป็น กิโลโอห์ม

ตารางที่ 6.1

ตารางการออกแบบวงจรความถี่ต่ำผ่านแบบกัทเทอร์เวิร์ท ออร์เดอร์ที่สี่
(FOURTH-ORDER LOW-PASS BUTTERWORTH CASCADED VCVS FILTER DESIGNS)

การคำนวณ

ภาคที่ 1 อัตราขยาย = 2

$$R1 = 2.079 * 1.4286 = 2.97 \text{ k}\Omega$$

$$R2 = 1.218 * 1.4286 = 1.74 \text{ k}\Omega$$

$$R3 = 6.595 * 1.4286 = 9.42 \text{ k}\Omega$$

$$R4 = 6.595 * 1.4286 = 9.42 \text{ k}\Omega$$

$$C1 = C$$

ค่าที่ใช้ในวงจรรูปที่ 6.2

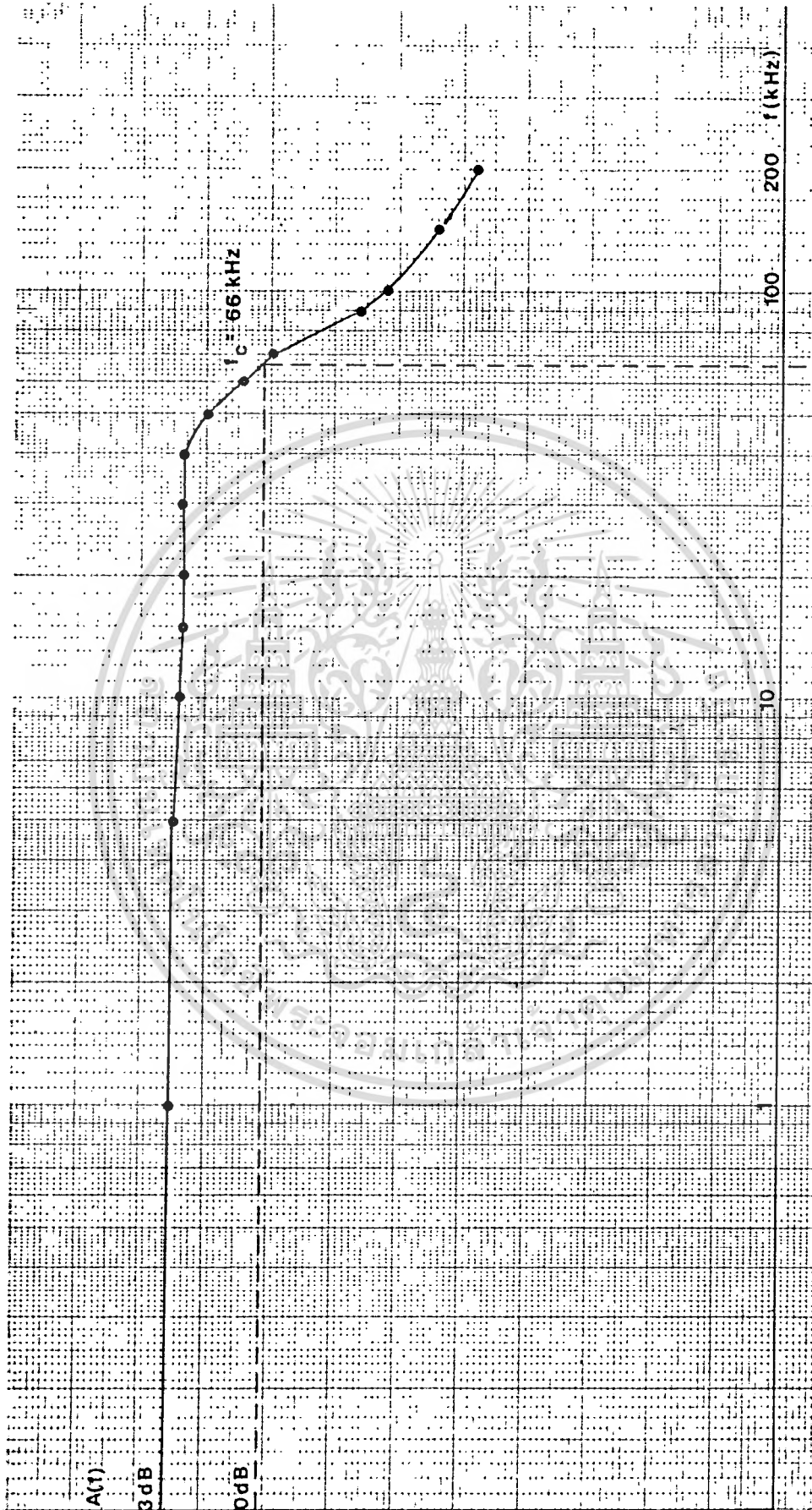
$$R13 = 3.0 \text{ k}\Omega$$

$$R14 = 1.8 \text{ k}\Omega$$

$$R15 = 9.1 \text{ k}\Omega$$

$$R16 = 9.1 \text{ k}\Omega$$

$$C11 = 1 \text{ }\mu\text{F}$$



รูปที่ 6.4
ความถี่คutoffของวงจรมัลติเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคที่ 2 อัตราขยาย = 1

$$R1' = 1.048 * 1.4286 = 1.49 \text{ kn}$$

$$R2' = 4.833 * 1.4286 = 6.9 \text{ kn}$$

$$R3' = \text{OPEN} * 1.4286 = \text{OPEN}$$

$$R4' = 0 * 1.4286 = 0$$

$$C = 0.5C$$

ค่าที่ใช้ในวงจรรูปที่ 6.2

$$R17 = 1.5 \text{ kn}$$

$$R18 = 6.8 \text{ kn}$$

OPEN

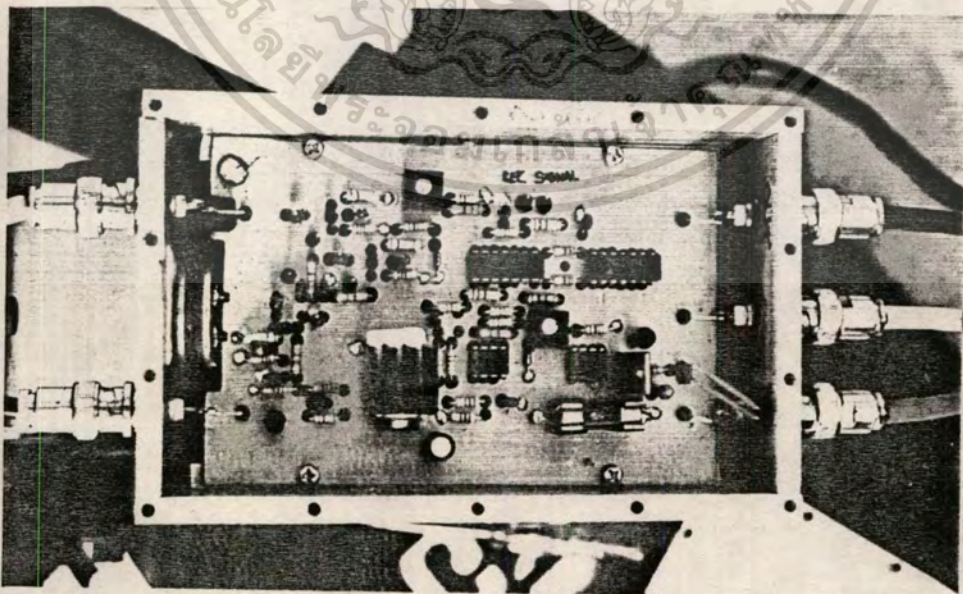
$$0$$

$$C13 = 0.5\mu\text{F}$$

ภาคหลังวงจรมัลติเพล็กซ์ จะเป็นวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดันด้วย IC3 LM319 ต่อแบบไม่กลับเฟส (NON-INVERTING COMPARATOR) โดยมี R19 R21 และ R20 ที่เพิ่มความต้านทานปรับค่าได้ (VR) สำหรับปรับค่าแรงดันอ้างอิง ที่มีซีเนอร์ไดโอดทำให้เสถียรยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังกำหนดช่วงฮิสเทอรีซิส (HYSTERESIS) ด้วย R22 และ R23 ภาคนี้มีความสำคัญมากในการที่จะปรับแต่งให้ระดับสัญญาณอินพุต ผ่านเข้ามาวงจรเปรียบเทียบจะให้ระดับสัญญาณเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่ถูกพูลอัพ (PULL UP) ด้วย R25 และผ่านเข้าสู่อุปกรณ์ (BUFFER) IC4 ซึ่งเป็นเอาต์พุตของวงจรมัลติเพล็กซ์

6.2 ผลการทดลอง

จากการทดลอง การปรับแต่งระดับแรงดันของ IC3 ที่มีระดับแรงดันขาบวกปกติ 5V ควรจะปรับ VR 20 ให้ขาลมมีค่าระดับแรงดัน 6V จะลดผลสัญญาณรบกวนที่มีขนาดไม่เกิน 0.5 mV ผลการตอบสนองของวงจรเป็นดังรูปที่ 6.4 จะได้ความถี่คัทออฟ ของวงจรมัลติเพล็กซ์ ที่ -0.3 dB จากค่าสูงสุด $f_c = 66 \text{ kHz}$ เมื่อผ่านวงจรมัลติเพล็กซ์ระดับแรงดันที่ได้ปรับแต่งให้สัญญาณขนาดตั้งแต่ 6V ซึ่งเป็นระดับ DC 5V บวกกับระดับสัญญาณที่ขยายผ่านไปได้ นั่นคือ วงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณความถี่คัทออฟเอาต์พุตที่ได้จะถูกกำหนดจากความถี่และขนาดของสัญญาณที่อินพุต ซึ่งทั้งสองค่าก็มีความสัมพันธ์กัน โดยเฉพาะ ในย่านความถี่คัทออฟ



รูปที่ 6.5

วงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณความถี่คัทออฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

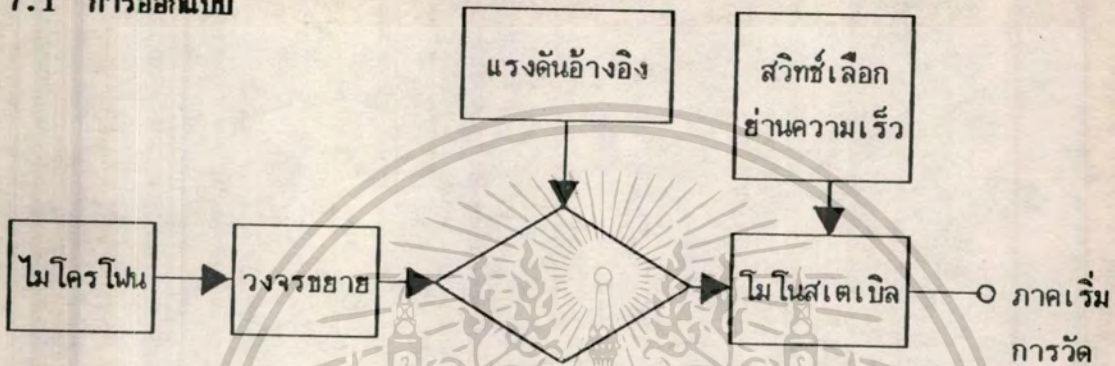
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

ระบบสร้างสัญญาณเริ่มทำงาน

เป็นการกำหนดจุดเริ่มต้นการทำงาน ด้วยสัญญาณเสียงที่ได้จากการเผาไหม้ของคินสงภายในริงเพลิง ตามระดับความเข้มของสัญญาณเสียงที่แปลงเป็นระดับแรงดันไฟฟ้า แล้วทำการหน่วงเวลาด้วยโมโนสเตเบิล (MONOSTABLE) เพื่อเลือกช่วงเริ่มการวัดต่อไป

7.1 การออกแบบ



เปรียบเทียบแรงดัน

รูปที่ 7.1

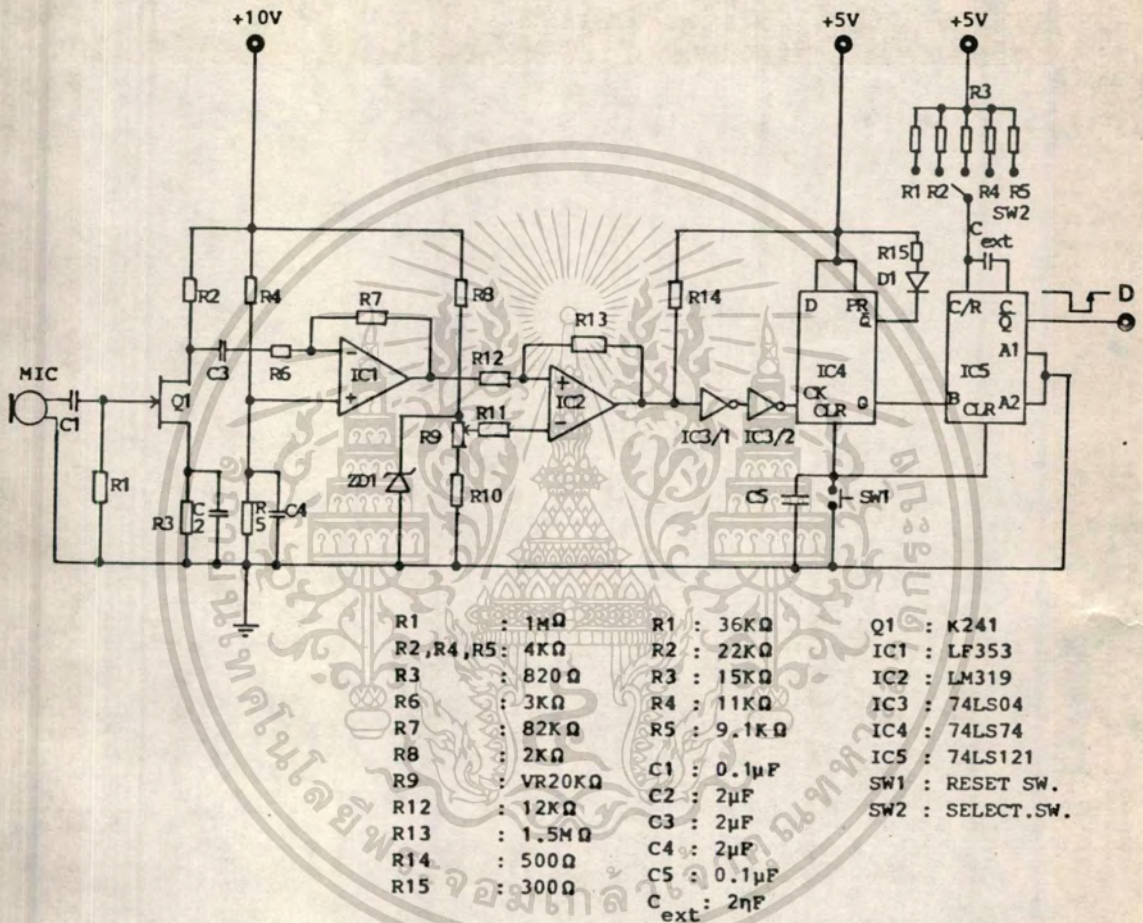
แผนผังการทำงานของระบบสร้างสัญญาณเริ่มทำงาน

ระบบต้องการระยะทางที่ห่างจากรังเพลิง เป็นระยะที่เริ่มการทำงานของระบบ เริ่มจากไดนามิกไมโครโฟน (DYNAMIC MICROPHONE) จะแปลงระดับความเข้มของเสียงเป็นระดับแรงดันไฟฟ้าแล้วขยายเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบแรงดัน ระดับสัญญาณจะถูกรีเซ็ตสถานะและรีเซต (RESET) ด้วย ดี ฟลิป-ฟล็อป ก่อนที่จะนำไปสร้างช่วงโมโนสเตเบิล ตามย่านความเร็วที่เลือกโดยสวิตช์ ซึ่งจะสัมพันธ์กับช่วงระยะทางที่ตั้งไว้ ตามตารางที่ 7.1 ก่อนที่จะส่งเข้าสู่ช่วงเริ่มการวัดในภาคต่อไป

ตำแหน่งสวิตช์	ย่านความเร็ว (m/s)	ระยะทางเริ่มการทำงาน (m)	เวลาโมโนสเตเบิล (ms)
1	125 - 250	6.25 - 12.5	50
2	200 - 400	6.25 - 12.5	31.25
3	300 - 600	6.25 - 12.5	20.83
4	400 - 800	6.25 - 12.5	15.63
5	600 - 1000	7.5 - 12.5	12.5

ตารางที่ 7.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างย่านความเร็วกับเวลาโมโนสเตเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.2
วงจรระบบสร้างสัญญาณเริ่มทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีสัญญาณเสียงเข้ามาไดนามิกไมโครโฟนจะแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และขยายแรงดันในภาคแรกด้วย Q_1 ที่เป็น JFET K241 และถูกคัปปลิง (COUPLING) แล้วขยายด้วย IC2 LF353 โดยมีอัตราขยาย $-R_7/R_6$ จากวงจรรูปที่ 7.2 $= -82k/3k = 27$ เท่า จากนั้นจะเข้าวงจรเปรียบเทียบแรงดันด้วย IC2 LM319 แบบไม่กลับเฟส (NON-INVERTING COMPARATOR) โดยมี R_8 R_{10} และ R_9 ที่เป็น VR ปรับค่าแรงดันอ้างอิงที่ซีเนอร์ไดโอดต่อคร่อมอยู่ มีช่วงฮิสเตอรีซิสด้วยค่า R_{11} และ R_{12} ส่วน R_{13} จะพลั๊วสัญญาณ 5V ต่อเข้ากับขา CLOCK ของ IC4 74LS74 ซึ่งเป็น ดี ฟลิป ฟลอป ขาอินพุต PRESET และ DATA เป็นลอจิก (LOGIC) "1" ช่วงขาขึ้นของสัญญาณ CLOCK จะทำให้ Q เปลี่ยนจากลอจิก "1" เป็นลอจิก "0" D1 ก็จะมี ON แสดงสัญญาณทริกเกอร์ทำงาน ส่วนขา Q ลอจิกจะเปลี่ยนจาก "0" เป็น "1" โดยจะต่อเข้าขาอินพุต B ของ IC4 74LS121 ไมโนสเทเบิล ซึ่งเลือกการทำงานในช่วงขาขึ้นที่ขา B โดยมีอินพุต A1 และ A2 มีลอจิกเป็น "0" ช่วงกว้างของไมโนสเทเบิลได้จากเวลาในตารางที่ 7.1 คือ 50 31.25 20.83 15.63 และ 12.5 มิลลิวินาที ตามย่านความเร็วของกระแส ค่าเวลาไมโนสเทเบิลได้จากความสัมพันธ์

$$T_w = C_{ext} R_{ext} \ln 2$$

หรือ

$$T_w = 0.693 C_{ext} R_{ext} \quad (7.1)$$

ในกรณีที่ค่า R_{ext} ควรอยู่ระหว่าง 2k ถึง 40 kΩ ดังนั้นเลือก $C_{ext} = 2\mu F$

ที่เวลา

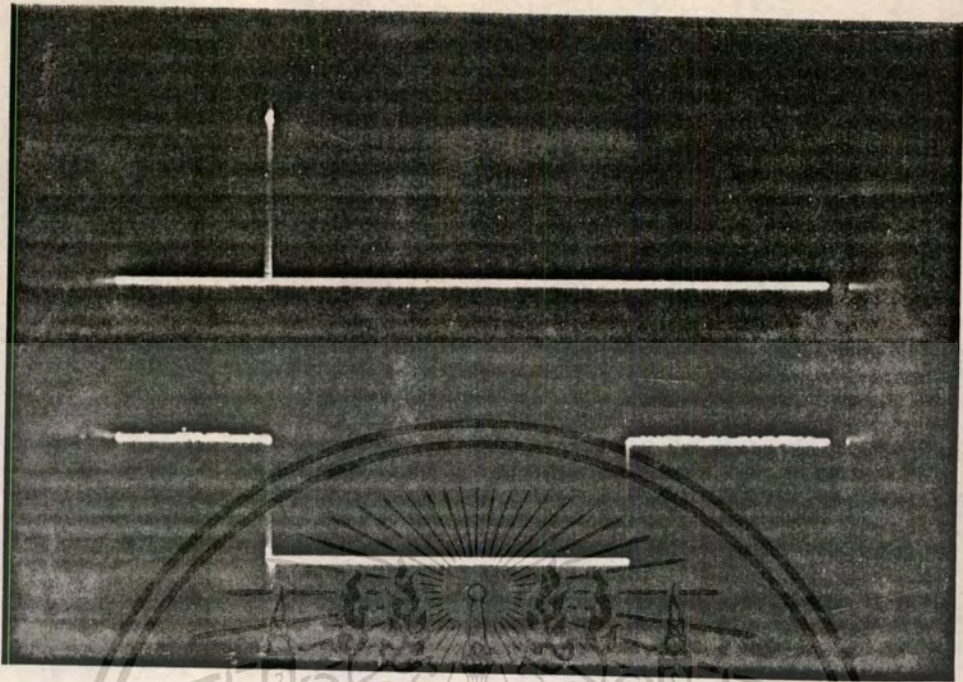
$T_w = 50 \text{ ms}$	$R_1 = 36.1 \text{ K}\Omega$	เลือกใช้ 36 K Ω
$T_w = 31.25 \text{ ms}$	$R_2 = 22.5 \text{ K}\Omega$	เลือกใช้ 22 K Ω
$T_w = 20.83 \text{ ms}$	$R_3 = 15 \text{ K}\Omega$	เลือกใช้ 15 K Ω
$T_w = 15.63 \text{ ms}$	$R_4 = 11.3 \text{ K}\Omega$	เลือกใช้ 11 K Ω
$T_w = 12.5 \text{ ms}$	$R_5 = 9 \text{ K}\Omega$	เลือกใช้ 9.1 K Ω

Q ของ 74LS121 จะเป็นลอจิก "0" ในช่วงเวลาไมโนสเทเบิล สัญญาณช่วงขาขึ้นจะถูกต่อเข้ากับ ดี ฟลิป ฟลอป เพื่อเริ่มการวัดในภาคต่อไปหลังจากยิงปืนและทำการวัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว กดสวิตช์ SW1 จะรีเซ็ตค่า Q และ Q เป็นลอจิก "1" และ "0" ตามลำดับ สัญญาณ D1 ก็จะมีดับ ระบบก็พร้อมที่จะทำงานในการยิงครั้งต่อไป

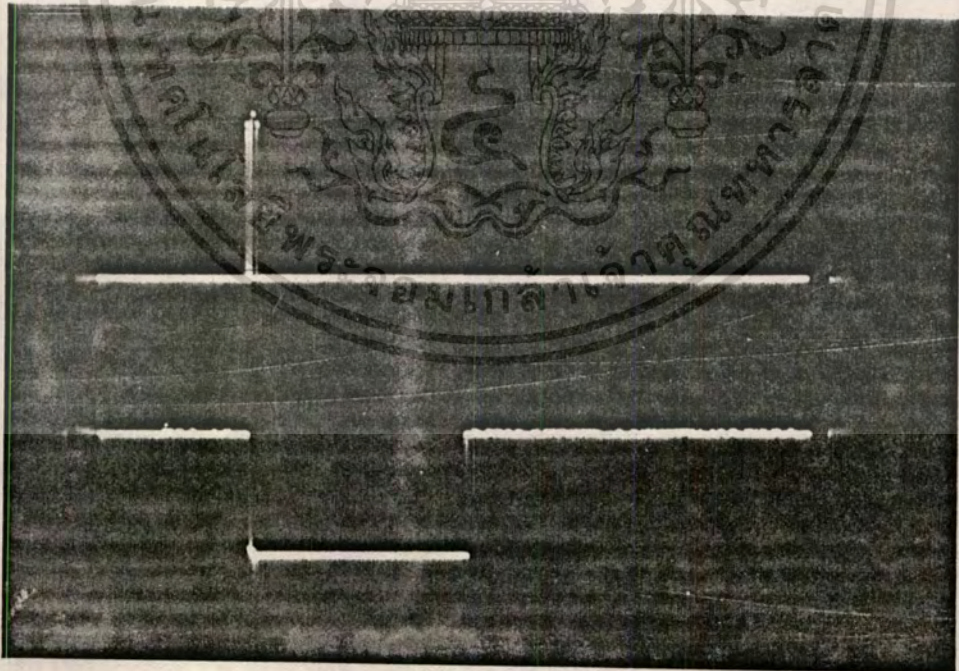
7.2 ผลการทดลอง

เนื่องจากไมมีอุปกรณ์วัดความเข้มของสัญญาณเสียง จึงกำหนดการทำงานด้วยระดับแรงดันไฟฟ้าวงจรจะถูกปรับแต่งที่ R_9 ให้ระบบทำงานเมื่อแรงดันที่ไมโครโฟนตั้งแต่ 20 mV ขึ้นไป เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากสัญญาณเสียงอื่น ๆ สัญญาณ Q ที่จะถูกส่งเข้าภาคการวัดเช่นในรูปที่

7.3 ก และ ข



รูปที่ 7.3 ก
สัญญาณเริ่มทำงานที่เวลา 50 มิลลิวินาที



รูปที่ 7.3 ข
สัญญาณเริ่มทำงานที่เวลา 12.5 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองในภาคสนามระดับความเข้มของเสียงจากอาวุธเครื่องยิงลูกระเบิดขนาด 60 81 และ 120 มิลลิเมตร และอาวุธปืนใหญ่ขนาด 105 และ 155 มิลลิเมตร ที่ทุกส่วนบรรจุของดินสั่่ง ที่ระยะห่างจากตัวปืน 1 เมตร ระบบจะทำงานทุกครั้ง แต่จะเริ่มการทำงานหน่วงเวลาไปอีกประมาณ 3 มิลลิวินาที เนื่องจากเวลาการเดินทางของเสียง ส่วนผลของอุณหภูมิในสนาม เช่น ที่อุณหภูมิ 40°C ค่าพารามิเตอร์ R_{out} และ C_{out} ที่เกี่ยวกับไมโนสเตเบิล จะทำให้เวลาเปลี่ยนแปลงไปบ้าง แต่เมื่อวิเคราะห์แล้ว ระบบสร้างสัญญาณเริ่มการทำงานด้วยเสียงยังมีความเหมาะสมกว่าระบบที่ทำงานด้วยแสงหลายประการ เช่น ความสะดวกในการติดตั้ง ไม่มีผลจากเขม่าควันของปืนและมีผลต่อการสิ้นเปลืองของพื้นดินน้อยกว่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

ระบบคำนวณ และ แสดงผล

จากขอบเขตและข้อกำหนดในการวัดของบทที่ 4 ค่าความเร็วต้นอยู่ในช่วง 125 ถึง 1,000 เมตร/วินาที และบทที่ 7 การวัดจะเริ่มที่ระยะ 6.25 ถึง 12.5 เมตร ค่าความเร็วต้นนี้จะได้กล่าวถึงการคำนวณและแสดงผล คือ

8.1 ย่านความถี่คอปเปอเรทีฟในการวัด (f_d)

ความถี่นี้จะได้จากการคำนวณในสมการ 3.5 โดยกำหนดให้ค่า $\cos \theta$ เข้าใกล้ 1

$$\text{นั่นคือ} \quad f_d = 70.21524 * V$$

ที่ความเร็วสูงสุด 999.9 เมตร/วินาที จะได้ $f_d = 70.208 \text{ kHz}$

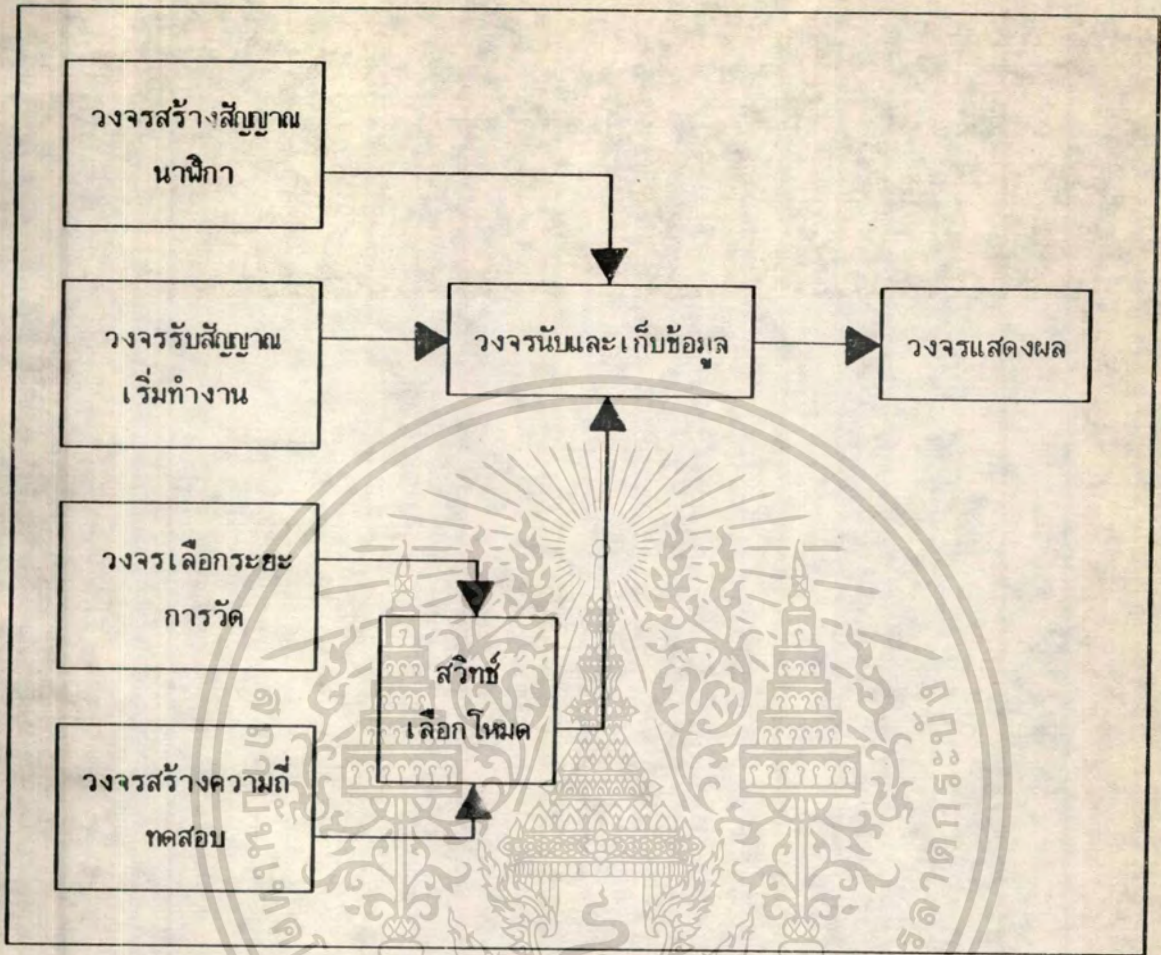
ที่ความเร็วต่ำสุด 125.0 เมตร/วินาที จะได้ $f_d = 8.777 \text{ kHz}$

8.2 ค่าความละเอียด (RESOLUTION) ของระบบคำนวณ

ต้องการค่าความละเอียด 1/1000 หรือ 0.1% ค่าความเร็วที่แสดงผลออกมาในแต่ละช่วงไม่ควรเกิน 1/1000 เช่น ที่ความเร็วสูงสุด 999.9 เมตร/วินาที ค่าความเร็วถัดลงมาก็คือ 998.9 เมตร/วินาที หรือที่ความเร็วต่ำสุด 125.0 เมตร/วินาที ค่าความเร็วสูงขึ้นไปก็ควรจะเป็น 125.1 เมตร/วินาที จะเห็นว่าที่ความเร็วสูงสุดจะมีความละเอียดเป็น 1 เมตร/วินาที และที่ความเร็วต่ำสุดจะมีความละเอียด 0.1 เมตร/วินาที

8.3 การออกแบบระบบคำนวณและแสดงผล

ระบบจะประกอบด้วยแผนผังดังในรูปที่ 8.1



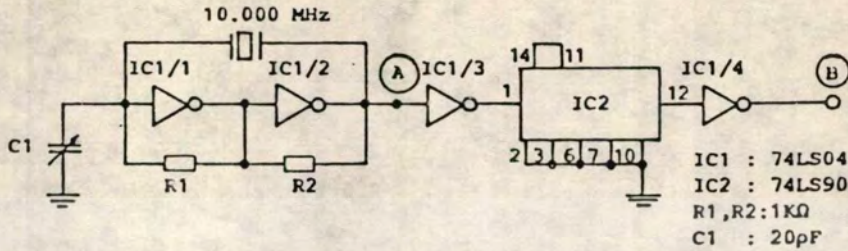
รูปที่ 8.1

แผนผังระบบคำนวณและแสดงผล

หลักการคือเป็นการนับสัญญาณนาฬิกา ในคาบเวลาที่ได้จากความถี่ของเพอริโอด โดยมีระยะฐานในการวัด (BASE LENGTH) คงที่ ที่ทุก ๆ ย่านความเร็ว เมื่อให้แน่ใจว่าระบบจะได้สัญญาณมาจากระยะที่กำหนดไว้เท่านั้น และสามารถเลือกระยะที่เหมาะสมในการวัดได้ ระบบคำนวณจะมีโหมดการทำงานอยู่ 2 โหมด คือ โหมดการวัดและโหมดการทดสอบ ซึ่งจะเป็นการเลือกความถี่ของเพอริโอด เพื่อทำการวัดหรือเลือกความถี่มาตรฐานเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของระบบการคำนวณและแสดงผล วงจรมับและเก็บข้อมูลจะรับค่าตำแหน่งของข้อมูลในหน่วยความจำ ให้แสดงผลในวงจรถ่ายผลออกมา รายละเอียดของแต่ละวงจรจะได้กล่าวต่อไป

8.3.1 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา (CLOCK GENERATOR)

ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณนาฬิกา ที่ความถี่ 1 MHz เพื่อเป็นความถี่อ้างอิงที่จะถูกนับเปรียบเทียบกับคาบเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากความถี่ตอบเปอร์

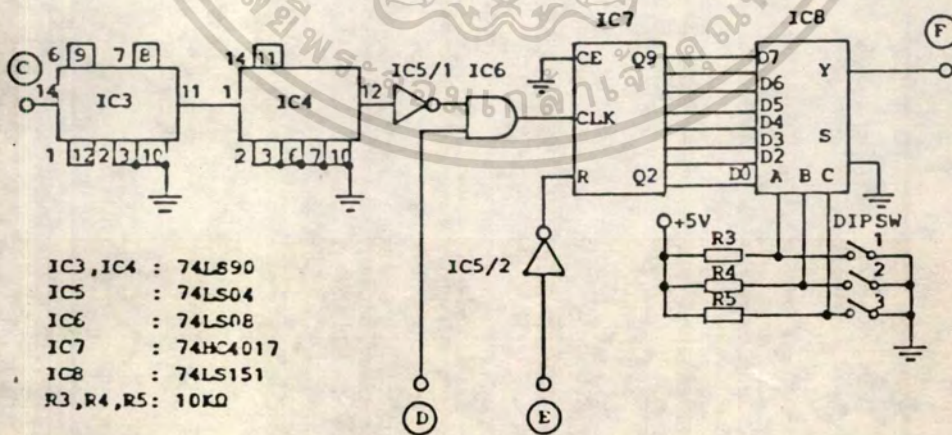


รูปที่ 8.2
 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา

วงจรมีจำเป็นต้องมีประสิทธิภาพและความแม่นยำสูงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ น้อย จึงเลือกใช้วงจรออสซิลเลเตอร์แบบผลึกควอตซ์ ความถี่ที่จุด A 10 MHz ผ่านบัฟเฟอร์เข้าสู่วงจรหาร 10 ด้วย 74LS90 และมี IC1/4 เป็นบัฟเฟอร์ ได้ความถี่ที่จุด B มีค่า 1 MHz ตามต้องการ

8.3.2 วงจรเลือกกระแษการวัด

ทำหน้าที่แปลงความถี่ f_u ให้มีคาบเวลาที่เหมาะสมกับจำนวนสัญญาณนาฬิกา แล้วเลือกกระแษการวัดตามที่ต้องการได้ ดังรูปที่ 8.3



รูปที่ 8.3
 วงจรเลือกกระแษการวัด

สัญญาณ f_d จากวงจรขยายในบทที่ 6 ที่จุด C IC3 จะเป็นวงจรถ่ายเฟส และ IC4 เป็นวงจรถ่ายเฟสและสอง ทำให้สัญญาณที่เข้าบัฟเฟอร์ เป็น $f_d/70$ สัญญาณที่จุด D เป็นสัญญาณเริ่มทำงานที่ได้จากการหน่วงเวลาตามย่านความเร็วในบทที่ 7 และที่วงจรรับสัญญาณเริ่มทำงาน หัวข้อ 8.3.5 รูปที่ 8.10 ที่จุด D มีลอจิก "1" IC6 74LS08 ออร์เกตก็จะผ่าน $f_d/70$ เข้าขา CLOCK (CLK) ของ IC7 74HC4017 DECADE COUNTER ที่ต่อขา CE ลอจิก "0" ขา "R" มีลอจิก "0" ทำให้ได้สัญญาณขาออก ที่ Q_2 ถึง Q_0 การทำงานช่วงขาขึ้นของ $f_d/70$ ทำให้ความกว้างของสัญญาณมีค่าเป็น 2 เท่าของสัญญาณที่เข้าหรือมีช่วงเวลาบวก (ON) เท่ากับคาบเวลาของ $f_d/70$ สัญญาณนี้จะถูกเลือก Q_2 ถึง Q_0 ด้วยกำหนดลอจิก A B C ของ IC8 74LS151 DATA SELECTOR ด้วย ดินสวิตช์ (DIP SWITCH, DIP SW1) ตามตารางที่ 8.1 ทำให้ได้เอาต์พุต Y ที่จุด F

ตารางการทำงาน (FUNCTION TABLE)

INPUTS			OUTPUTS	
SELECT			STROBE	
C	B	A	S	Y W
X	X	X	H	L H
L	L	L	L	D0 D0
L	L	H	L	D1 D1
L	H	L	L	D2 D2
L	H	H	L	D3 D3
H	L	L	L	D4 D4
H	L	H	L	D5 D5
H	H	L	L	D6 D6
H	H	H	L	D7 D7

ตารางที่ 8.1

ตารางการทำงานของ 74LS151

H : HIGH หรือ ลอจิก "1"

L : LOW หรือ ลอจิก "0"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือเป็น D0 ถึง D7 ตามระยะที่ต้องการ และที่จุด E เมื่อต้องการรีเซ็ต ก็จะเปลี่ยนจากลอจิก "1" เป็น "0"

ที่ความเร็วสูงสุด $f_d = 70.208 \text{ kHz}$ นั่นคือ $f_d/70 = 1,002.97 \text{ Hz}$ หรือคาบเวลา 0.997 มิลลิวินาที ทำให้ได้ช่วงเวลาด้านบวกของสัญญาณเอาต์พุตของ 74HC4017 มีค่า 0.997 มิลลิวินาทีด้วย และจะถูกเลือกผ่านไปที่จุด F คาบเวลานี้ก็จะนับสัญญาณนาฬิกา 1MHz ได้ 997 CLOCK หรือมีความละเอียด 1/997 และที่ความเร็วต่ำ 125.0 เมตร/วินาที $f_d = 8.777 \text{ kHz}$ เช่นเดียวกันจะได้ช่วงเวลาด้านบวกของเอาต์พุต 74HC4017 มีค่า 7.975 มิลลิวินาที หรือคาบเวลานี้จะนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาได้ 7975 CLOCK

V(m/s)	f_d (kHz)	$f_d/70$ (Hz)	ช่วงเวลาด้านบวก (มิลลิวินาที)	จำนวนสัญญาณนาฬิกา (CLOCK)	
125.0	8.777	125.4	7.975	7975	$\Delta\text{CLOCK} = 7$
125.1	8.784	125.5	7.968	7968	$\Delta\text{CLOCK} = 6$
125.2	8.791	125.6	7.962	7962	$\Delta\text{CLOCK} = 6$
125.3	8.797	125.7	7.956	7956	
:	:	:	:	:	:
996.9	69.997	999.96	1.000	1000	$\Delta\text{CLOCK} = 1$
997.9	70.067	1000.97	0.999	999	$\Delta\text{CLOCK} = 1$
998.9	70.138	1001.97	0.998	998	$\Delta\text{CLOCK} = 1$
999.9	70.208	1002.97	0.997	997	

ตารางที่ 8.2

ตารางจำนวนสัญญาณนาฬิกาที่ค่าความเร็ว

จากตารางที่ 8.2 จะเห็นว่าที่ความเร็วสูง ค่าความละเอียดของการคำนวณ มีค่า 1/997 และที่ความเร็วต่ำค่าความละเอียดจะสูงขึ้น 6 ถึง 7 เท่า ซึ่งดูได้จาก ΔCLOCK ของแต่ละความเร็ว

การออกแบบนี้เป็นารวัดที่ระยะคงที่ทุกย่านความเร็ว

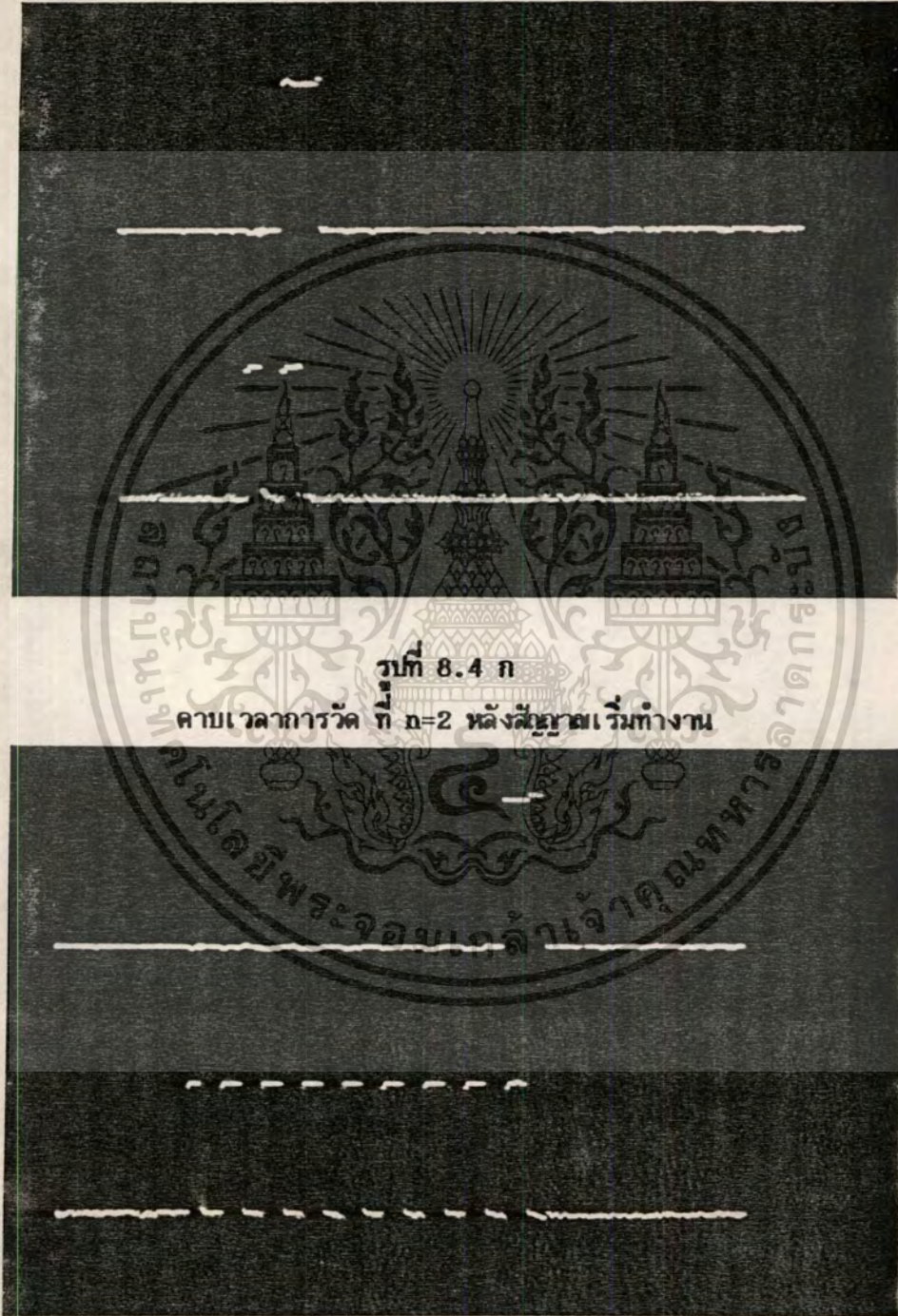
$$\text{โดยมีฐานเวลาในการวัด } t = 70/f_d$$

$$\text{ความเร็วของเป้าหมาย } V = 0.014242 f_d$$

$$\text{ระยะฐานของการวัด} = Vt = 0.997 \text{ เมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือ หลังจากสัญญาณเริ่มทำงานในช่วง 6.25-12.5 เมตร แล้ว ก็จะเป็นระยะฐานของการวัดที่มีค่าเท่ากับ 0.997 เมตร โดยจะเลือกการวัดได้ n เท่าของระยะฐาน $n=2$ ถึง 9 ซึ่งจะมีระยะตั้งแต่ 1.994 เมตร ถึง 8.973 เมตร สรุปคือช่วงการวัดจะมีระยะต่ำสุด 8.244 เมตร และระยะไกลสุด 21.473 เมตร ดังเช่นรูปที่ 8.4ก และ ข



รูปที่ 8.4 ก

คาบเวลาการวัด ที่ $n=2$ หลังสัญญาณเริ่มทำงาน

รูปที่ 8.4 ข

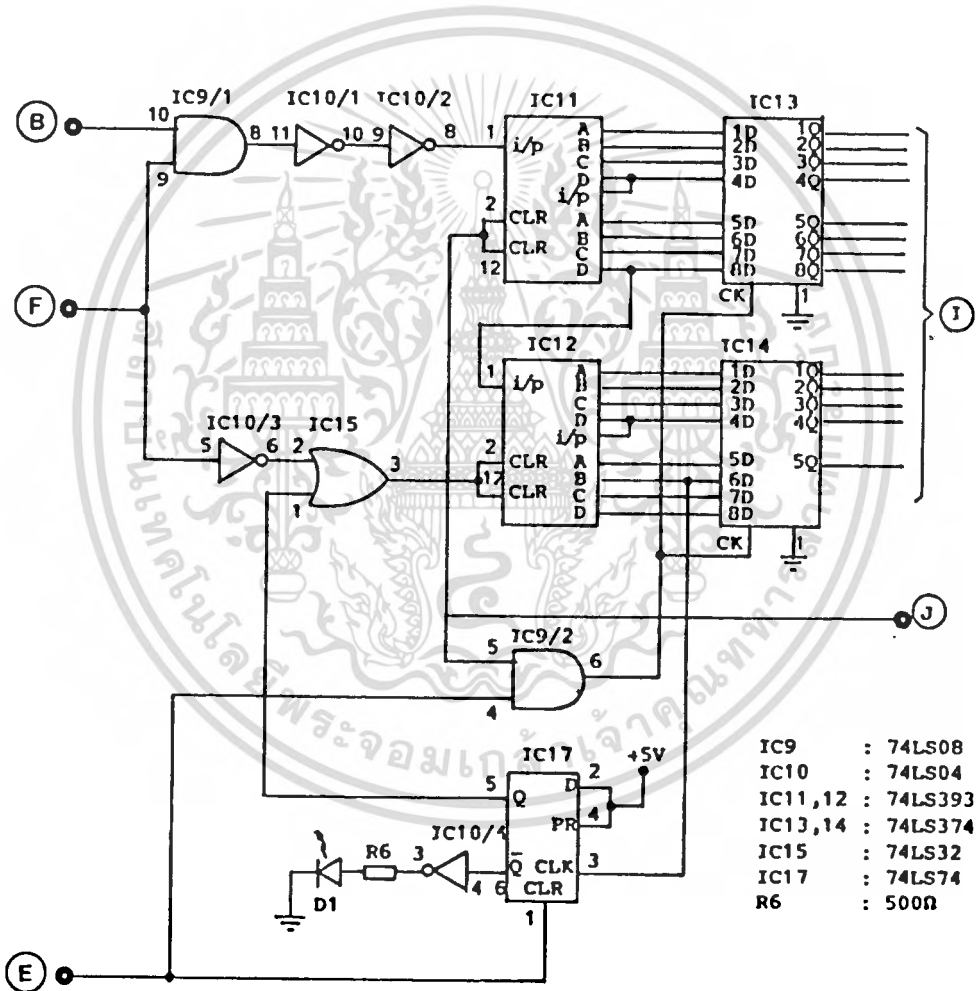
คาบเวลาการวัด ที่ $n=9$ หลังสัญญาณเริ่มทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหตุผลที่ต้องเลือก $n=2$ ถึง 9 เพื่อต้องการลดผลการรบกวนเนื่องจากการสั่นสะเทือน และการกระจายของก๊าซ นอกจากนั้นค่าของ $\cos \theta$ ก็จะมีค่าเข้าใกล้ 1 ได้มากขึ้น แต่ต้องคำนึงถึงขนาดกระสุนประกอบด้วย ในที่นี้ขนาดกระสุนขนาด 81 มม. สามารถวัดที่ $n=9$ ได้

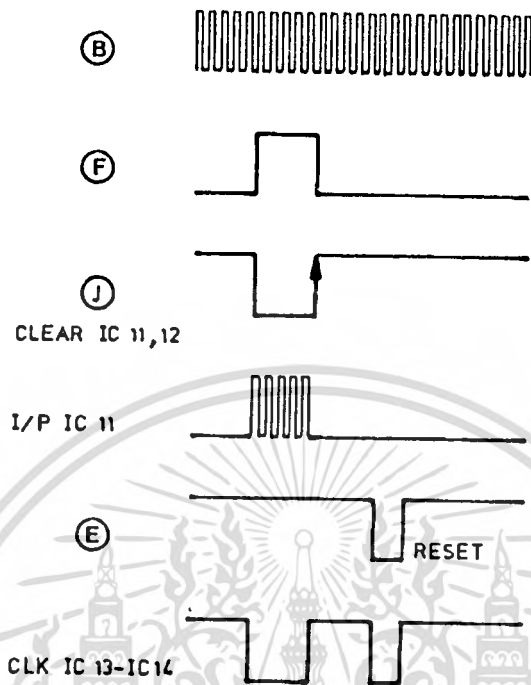
8.3.3 วงจรนับและวงจรแลตซ์

หลังจากที่ได้สัญญาณช่วงบวกจากวงจรเลือกระยะวัดในหัวข้อที่ 8.3.2 เพื่อจะป้อนจำนวน CLOCK ในหัวข้อที่ 8.3.1 ก่อนจะไปชี้ตำแหน่งของข้อมูลที่ได้บันทึกไว้ ตามวงจรในรูปที่ 8.5



รูปที่ 8.5
วงจรถับและวงจรถ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.6

สถานะการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์และวงจรถ่ายกลับ

ที่จุด B ความถี่ 1MHz จะผ่านเข้าสู่วงจรมัลติเพล็กซ์ ตามช่วงกว้างสัญญาณด้านบวก ที่จุด F ที่จะเปิดให้แอนด์เกตของ IC9 ทำงานผ่านอินเวอร์เตอร์ IC10 เข้าอินพุตของ IC11 74LS393 ซึ่งเป็น 4 บิตไบนารีเคาน์เตอร์ 2 ชุด Q_0 ของชุดแรกจะต่อเข้าขาอินพุตของชุดที่สอง Q_0 ของชุดที่สองก็จะต่อเข้าขาอินพุตของ IC12 74LS393 ซึ่งจะต่อภายในเหมือนกับ IC11 การทำงานเป็นลอจิกบวกช่วงการนับโดยการนำสัญญาณจากจุด F ผ่านอินเวอร์เตอร์ IC10 ก่อนจะผ่านเข้า IC15 74LS32 ซึ่งเป็นออร์เกต เอาท์พุท ของ IC15 ก็จะเข้าขา CLEAR (CLR) ของเคาน์เตอร์ (COUNTER) IC11 และ 12 และอีกส่วนหนึ่งจะต่อเข้าที่จุด J เพื่อให้ช่วงขาขึ้นไปหยุดการรับความถี่ต่อปเปอร์เข้ามาด้วย ดี ฟลิป ฟลอป นิยามสถานะการทำงานจากรูปที่ 8.6

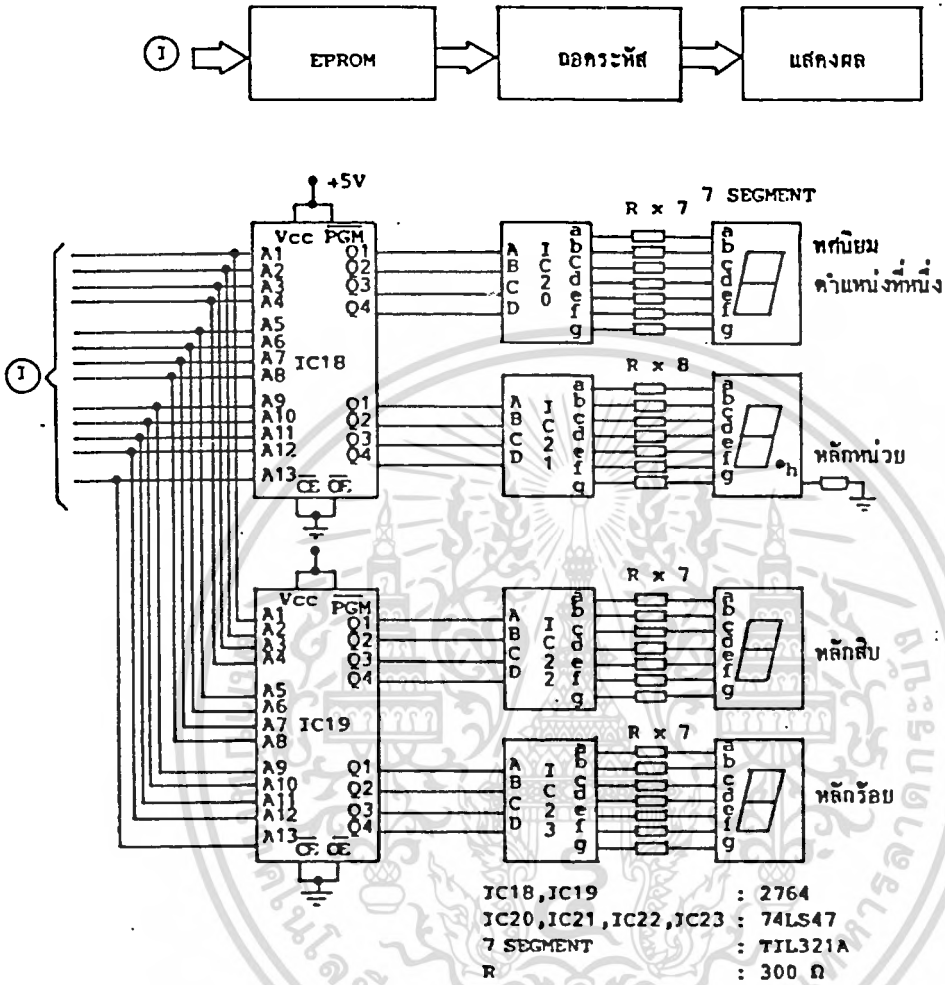
ช่วงการนับของ 74LS393 จะสิ้นสุดเมื่อสัญญาณ CLEAR เป็นลอจิก "1" เอาท์พุทของเคาน์เตอร์ 4 บิตไบนารี 4 ชุด จะถูกส่งเข้าขา D ของ IC13 และ IC14 74LS374 ซึ่งทำหน้าที่แลตช์ (LATCH) ด้วยการทำงานช่วงขาขึ้นของฟลิป-ฟลอป (POSITIVE-EDGE-TRIGGERED FILP-FLOPS) สัญญาณที่ขา CLOCK ช่วงขาขึ้นจะเป็นช่วงที่การนับสมบูรณ์ วงจรแลตช์ก็จะทำการ

คงสถานะ 4 บิต (BIT) 4 ชุดไว้ จนกว่าสัญญาณที่ขา CLOCK ถูกรีเซ็ตอีกครั้งหนึ่ง ช่วงเวลาที่รีเซ็ตสัญญาณอินพุตของ IC11 และสัญญาณที่ขา CLOCK ของ IC13 IC14 ก็จะเป็นศูนย์และถูกเก็บข้อมูลศูนย์ไว้ที่ IC13 และ 14 การควบคุมการนับนอกจากควบคุมที่ขา CLEAR ยังควบคุมได้ถึง 1FFF เมื่อรหัส BCD เปลี่ยนเป็น 2000 ตัวเลขชุดที่ 4 ค่าของ 2 ขนาด 4 บิต คือ 0010 เราใช้ D, C, B และ A แทนตำแหน่งของบิต โดย D เป็นตำแหน่งบิตสูงสุด (MSB) และ A เป็นตำแหน่งบิตต่ำสุด (LSB) ลอจิก B เป็น "1" และต่อเข้ากับ CLK ของ IC17 74LS74 ทำให้ Q เปลี่ยนลอจิกจาก "0" เป็น "1" IC15 ก็จะได้เอาท์พุทเป็น "1" ทำให้หยุดการนับของเคาน์เตอร์วงจรรเลตซ์จะคงสถานะเอาท์พุทที่จุด I พร้อมทั้งจะส่งเป็นข้อมูลเข้าในส่วนแสดงผลต่อไป

8.3.4 วงจรแสดงผล

ทำหน้าที่นำสัญญาณที่ได้จากวงจรรเลตซ์มาชี้ตำแหน่งข้อมูลใน EPROM เพื่อแสดงข้อมูลที่ถูกรูปโปรแกรมไว้ (LOOK UP TABLE) และจะถูกเรียกออกมาทำการถอดรหัส และแสดงผลของความเร็วออกมา ตามแผนผังและวงจรรูปที่ 8.7





รูปที่ 8.7
แผนผังและวงจรแสดงผล

ที่จุด I รหัสที่ได้จากวงจรแลตซ์จะเข้าตำแหน่งข้อมูลของ IC17 และ 18 EPROM 2764 8 บิต ทั้งสองตัวที่ขนานกัน EPROM ทั้งคู่จะถูก READ DATA ออกมาเมื่อ CE และ OE เป็นลอจิก "0" และ PGM เป็นลอจิก "1" ข้อมูลของ EPROM ทั้งสองตัวก็จะถูก READ ออกมาทำการถอดรหัส BCD-TO-SEVEN-SEGMENT ด้วย IC20 ถึง 23 74LS47 ซึ่งเป็น OPEN COLLECTOR ทำงานช่วงลอจิก "0" และขับ 7-SEGMENT LED COMMON ANODE ด้วย $R_1 - R_7$ ทั้ง 4 ชุด ยกเว้นที่หลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยจะมี R_0 ค่า 330 Ω ต่อลงกราวด์ เพื่อแสดงถึงค่าจตุภาคนิยมต่อท้ายหลักหน่วย

IC18 EPROM 2764 จะแสดงถึงข้อมูลหลักหน่วยและทศนิยมตำแหน่งที่หนึ่ง

IC19 EPROM 2764 จะแสดงถึงข้อมูลหลักร้อยและหลักสิบ

EPROM 2764 นี้จะบรรจข้อมูลได้ลงได้ 8192 ตำแหน่ง หรือ 0000 ถึง 1FFF

ข้อมูลของ IC18 และ 19 จะแสดงถึงรายละเอียดในภาคผนวก 6

ตัวอย่างการแสดงผล ดังในตารางที่ 8.3

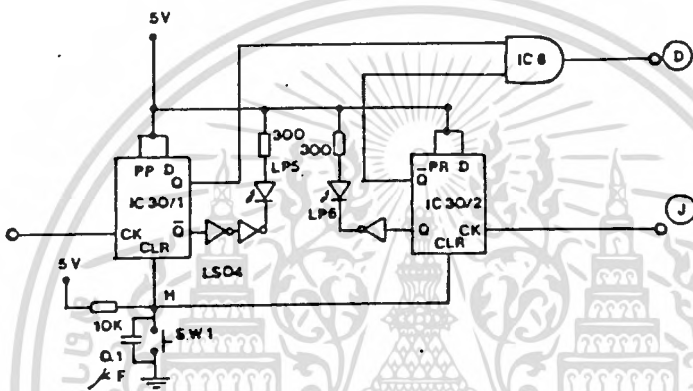
ตำแหน่งข้อมูล I (ADDRESS)		ข้อมูลใน IC19 (DATA)	ข้อมูลใน IC18 (DATA)	แสดงผล ความเร็ว (เมตร/วินาที)
DEC	HEX			
0000	0000	EE	EE	EEE.E (เกินช่วง)
0001	0001	EE	EE	EEE.E (เกินช่วง)
:	:	:	:	:
0996	03E4	EE	EE	EEE.E (เกินช่วง)
0997	03E5	99	99	999.9
0998	03E6	99	89	998.9
0999	03E7	99	79	997.9
1000	03E8	99	69	996.9
:	:	:	:	:
3001	0BB9	33	22	332.2
:	:	:	:	:
8190	1FFF	12	17	121.7
8191	1FFF	12	17	121.7
8192	2000	00	00	000.0 (ต่ำ)
8193	2001	00	00	000.0 (ต่ำ)

ตารางที่ 8.3

ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลที่ตำแหน่งข้อมูลต่าง ๆ ของ EPROM 2764

8.3.5 วงจรรับสัญญาณเริ่มทำงาน

เป็นส่วนที่ต่อจากระบบสร้างสัญญาณเริ่มทำงานในบทที่ 7 ทำหน้าที่แสดงสถานะของ ทริกเกอร์และการนับ รวมถึงควบคุมการนับความถี่ต่อปัลเสอร์ ดังวงจรในรูปที่ 8.10



รูปที่ 8.8

วงจรรับสัญญาณเริ่มการทำงาน

สัญญาณโมโนสเตเบิลจากบทที่ 7 จะถูกรักษาระดับเป็นลอจิก "1" ตาม IC30/1 74LS74 ดี ฟลิป ฟลอป ที่ต่อขา D และ PR เป็น "1" LP5 ซึ่งเป็นสัญญาณทริกเกอร์ก็จะเปลี่ยนจาก OFF เป็น ON ส่วนที่ขา Q ก็จะต่อเข้าอินพุต IC6 ซึ่งเป็นแอนด์เกต และผ่านไปจุด D เพื่อเปิดสัญญาณของวงจรเลือกระยะในรูปที่ 8.3

สัญญาณที่จุด I ของวงจรมับและวงจรถัดๆ ขั้วขาที่หนึ่งซึ่งเป็นขั้วที่วงจรมับและแอสต์ทำงานสมบูรณ์แล้วก็จะป้อนเข้าขา CLOCK ของ IC30/2 ซึ่ง Q ก็จะเปลี่ยนจากลอจิก "1" เป็น "0" และสัญญาณ LP6 ก็จะเปลี่ยนจากลอจิก "0" เป็น "1" หมายถึงว่า สัญญาณแสดงการนับและแอสต์สมบูรณ์ เมื่อต้องการรีเซ็ตก็กด SW1 จะพร้อมรับสัญญาณเริ่มทำงานในครั้งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.6 วงจรสร้างความถี่ทดสอบ

วงจรนี้ทำหน้าที่สร้างความถี่มาตรฐานต่าง ๆ เพื่อทดสอบการทำงานของระบบคำนวณและแสดงผลความถี่ที่สร้างขึ้นมีหลายย่านครอบคลุมถึงความถี่ต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้น ตามตารางที่

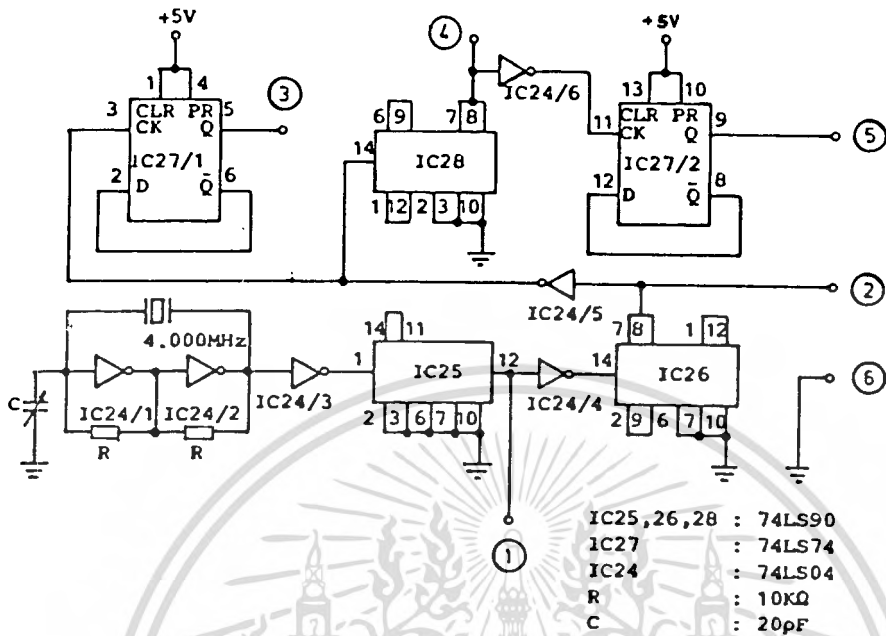
8.4

ตำแหน่งสวิตช์เลือก	ย่านความถี่	การแสดงผล(m/s)	ความถี่มาตรฐาน(kHz)
1	สูงเกิน 999.9	EEE.E	400
2	สูง	949.4	66.67
3	ปานกลาง	474.7	33.33
4	ค่อนข้างต่ำ	135.6	9.521
5	ต่ำกว่า 125	000.0	4.761
6	0	000.0	0

ตารางที่ 8.4

ตารางย่านความถี่กับความถี่มาตรฐาน

ตามตารางที่ 8.4 สัญญาณไฟที่หน้าปัทม์ คือ ไฟสัญญาณตรีกเกอร์และไฟสัญญาณทำงาน จะ ON ยกเว้นที่ย่านความถี่สูง ที่ไม่มีความถี่เข้ามาทับ ไฟสัญญาณทำงานจะ OFF ค่าตัวเลขที่แสดงผลก็จะเป็น 000.0 เมตร/วินาที



รูปที่ 8.9
วงจรสร้างความถี่ทดสอบ

วงจรในรูปที่ 8 สร้างความถี่ 4 MHz ด้วยวงจรออสซิลเลเตอร์แบบผลึกควอตซ์ ผ่านการหาร 10 ด้วย IC25 74LS90 จะได้ความถี่ 400 kHz ที่จุด 1 แล้วหาร 6 ด้วย IC26 74LS90 จะได้ความถี่ 66.67 kHz ที่จุด 2 หาร 2 ด้วย IC28/1 74LS74 จะได้ความถี่ 33.33 kHz ที่จุด 3

จากที่จุด 2 หาร 7 ด้วย IC29 74LS90 ก็จะได้ความถี่ 9.521 ที่จุด 4 แล้วทำการหาร 2 ด้วย IC28/2 74LS74 ก็จะได้ความถี่ 4.761 kHz ที่จุด 5 ตามต้องการ และที่จุด 6 ความถี่เป็นศูนย์โดยต่อลงกราวด์

8.4 ตัวอย่างการทำงานของระบบคำนวณและแสดงผล

ตัวอย่างการทำงานของเม็วัดความเร็วได้ 332.2 เมตร/วินาที จะตรวจสอบและอธิบายการทำงานได้ดังนี้

1. สัญญาณความถี่คอปเปลอร์เข้ามาสู่วงจรขยาย $f_{\text{อ}}$ จากคำนวณ = 23.3255 kHz
2. วงจรเลือกกระยะวัดจะทำการหารความถี่ $f_{\text{อ}}$ ด้วย 70 ได้ความถี่ = 333.2 Hz
3. คาบเวลาที่จุด F ของรูปที่ 8.3 มีค่า 3.001 มิลลิวินาที

4. จำนวน CLOCK ที่เข้าขาอินพุทของวงจรเคาน์เตอร์ 3001 CLOCK
5. เอาท์พุทของวงจรมีค่าในระบบ BCD เป็น BB9
6. ที่จุด I สัญญาณลอจิก ตัวเลขด้านซ้ายมือเป็น MSB คือ 0 1011 1011 1001
7. ลอจิกในข้อ 6 จะชี้ตำแหน่งข้อมูล EPROM IC18 ซึ่งมีข้อมูล 22 และ IC19 ซึ่งมีข้อมูล 33 บรรจุอยู่ ตามตัวอย่างการคำนวณด้านล่าง

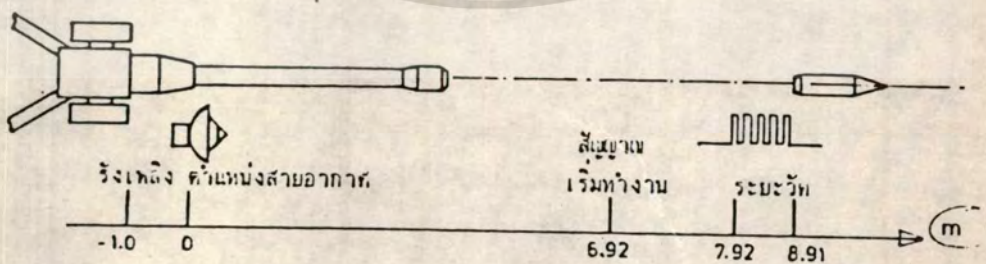
ตัวอย่างข้อมูลใน IC19 2764D
แสดงหลักหน่วยและหลักร้อย

ตัวอย่างข้อมูลใน IC18 2764D
แสดงหลักหน่วยและทศนิยมตำแหน่งที่ 1

0EA0	33	33	33	33
0EA4	33	33	33	33
0EA8	33	33	33	33
0EAC	33	33	33	33
0EE0	33	33	33	33
0EE4	33	33	33	33
0EE8	33	33	33	33
0EEC	33	33	33	33
0EC0	33	33	33	33
0EC4	33	33	33	33
0EC8	33	33	33	33
0ECC	33	33	32	32
0ED0	32	32	32	32
0ED4	32	32	32	32

0EA0	49	48	47	46
0EA4	45	44	43	42
0EA8	40	39	38	37
0EAC	36	35	34	33
0EE0	32	30	29	28
0EE4	27	26	25	24
0EE8	23	22	20	19
0EEC	18	17	16	15
0EC0	14	13	12	10
0EC4	09	08	07	06
0EC8	05	04	03	02
0ECC	01	00	98	97
0ED0	96	95	94	93
0ED4	92	91	90	89

8. เอาท์พุทของ IC18 ก็จะถูกถอดรหัสเพื่อแล้วแสดงค่าหลักหน่วยและทศนิยมตำแหน่งที่ 1 เป็น 2.2 และ IC19 จะถูกถอดรหัสแล้วแสดงค่าหลักร้อยและหลักสิบ เป็น 33 ดังนั้นค่าความเร็วก็จะเป็น 332.2 เมตร/วินาที
9. เมื่อต้องการวัดถัดต่อไป ก็รีเซ็ตค่า ค่าความเร็วก็จะเป็น 000.0 และสัญญาณไทรกเกอร์และสัญญาณไฟทำงานก็จะ OFF พร้อมทั้งทำการวัดต่อไป
10. ระยะของการวัดเป็น เช่น รูปที่ 8.10



รูปที่ 8.10
ระยะเทียบกับตำแหน่งสายอากาศกับสัญญาณต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 10.1 ระยะ -1.0 ถึง 0 เป็นระยะที่เกิดจากการหน่วงเวลาเสียงจากรังเพลิงไปยัง
ที่ $X=1.00$ เมตร ได้เวลาเดินทาง $1/330$ วินาที
ระยะ = $1/330 * 332.2 \approx 1.0$ เมตร
- 10.2 ระยะ 0 ถึง + 6.92 เป็นระยะที่ได้จากการเลือกย่านความเร็ว 300-600 เมตร/วินาที
ซึ่งมีเวลาโมโนสเตเบิล 20.83 วินาที
ระยะ = $20.83 * 332.2 = 6.92$ เมตร
- 10.3 ระยะ + 7.92 ถึง 8.91 เป็นระยะที่ใกล้ที่สุด คือ 2 เท่าของระยะฐานของการวัด
หรือ $n = 2$ คือ $6.92 + 2(0.997) = 8.91$ เมตร

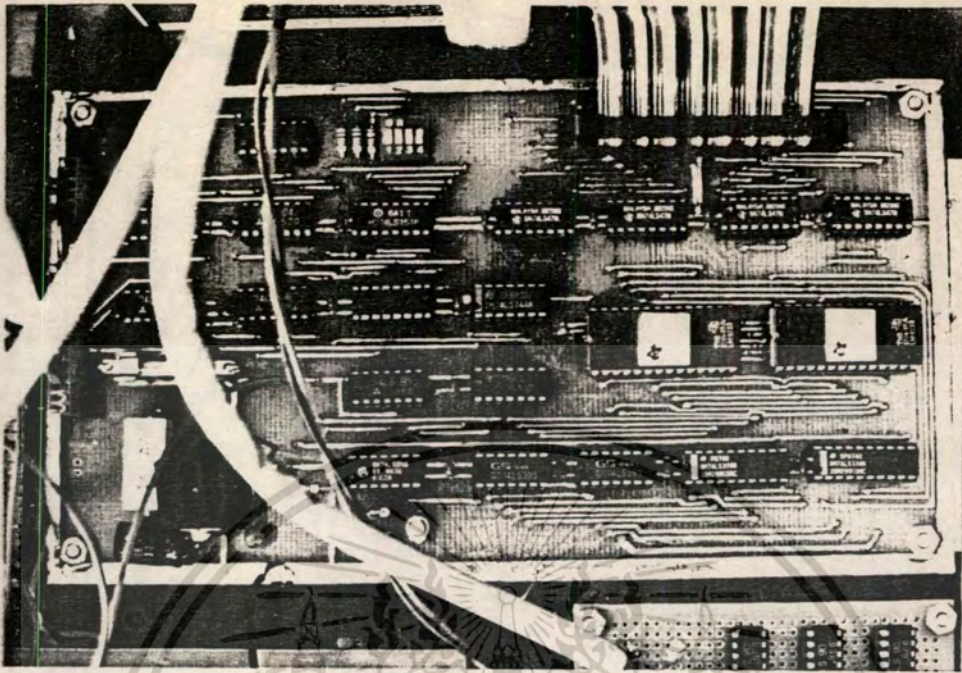
ส่วนผลจากการคำนวณและแสดงผลในโหมดการทดสอบ ที่สนามทดสอบอุณหภูมิ 41°C
ยังคงให้ผลการคำนวณและแสดงผลถูกต้องเช่นเดิม



รูปที่ 8.11

ภาพเครื่องวัดภายในบังเกอร์ทดสอบ แสดงค่าความเร็ว 332.2 เมตรต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.13

ภาพถ่ายวงจรคำนวณและแสดงผล

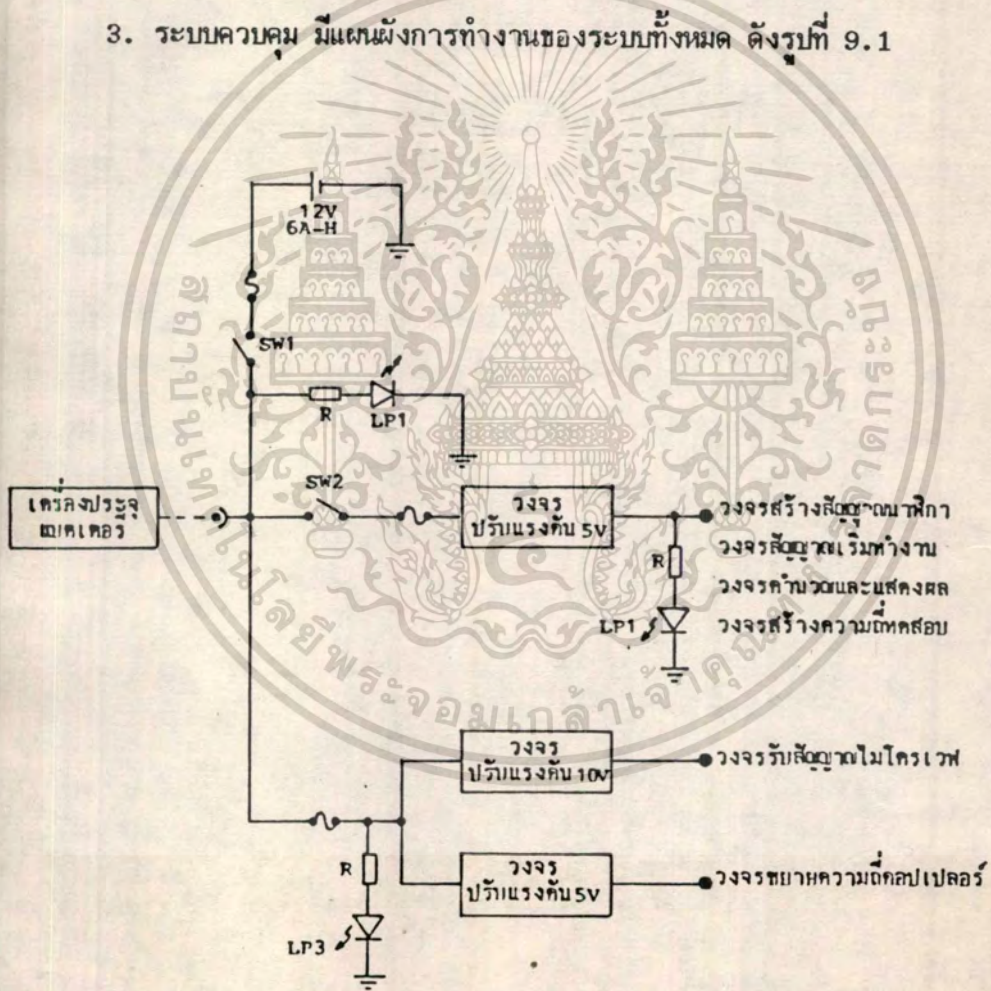
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9 ระบบไฟฟ้าและคุณลักษณะทั่วไป

9.1 ระบบไฟฟ้า

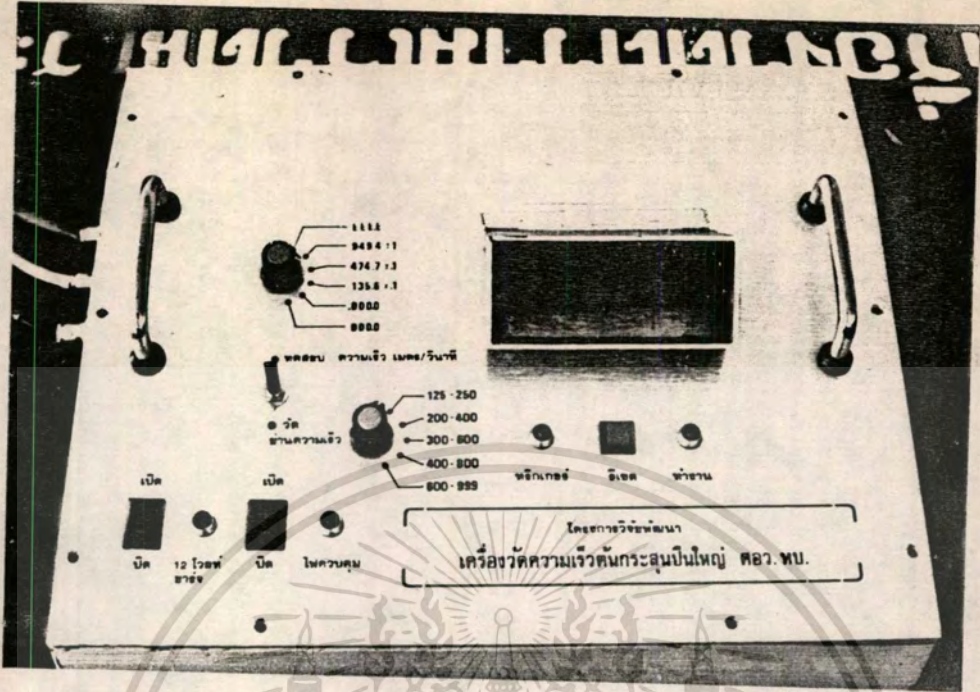
ระบบไฟฟ้า จะทำหน้าที่กำหนดการจ่ายพลังงานให้กับทุกส่วนของวงจร และทำหน้าที่ประจุพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ ระบบจะประกอบด้วย

1. แบตเตอรี่ 12V 2A-H นิเกิลแคดเมียม 3 ตัวขนานกัน พร้อมกับเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่
2. ระบบสายส่ง ทำหน้าที่เชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างระบบส่งสัญญาณไมโครโวลท์ และส่วนวงจรรวม กับ แบตเตอรี่
3. ระบบควบคุม มีแผนผังการทำงานของระบบทั้งหมด ดังรูปที่ 9.1

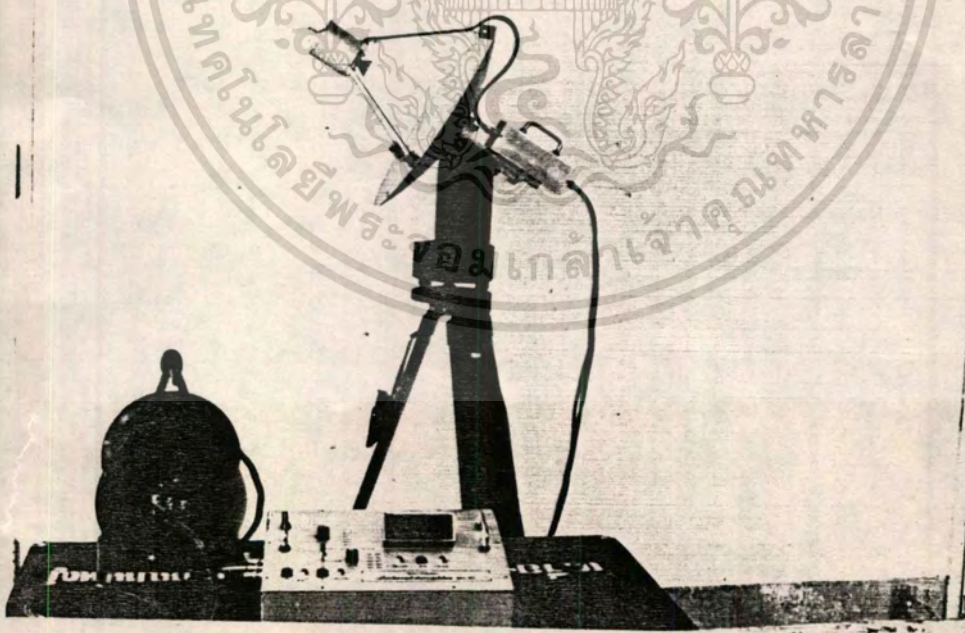


รูปที่ 9.1
แผนผังการทำงานของระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.2
ภาพหน้าปัดของเครื่องวัด



รูปที่ 9.3
ภาพแสดงอุปกรณ์พร้อมของเครื่องวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนผังในรูปที่ 9.1 อธิบายได้ 2 ลักษณะ คือ

1. เมื่อระบบจ่ายพลังงาน

เมื่อ SW1 ON สัญญาณ LP1 และ LP3 ON แสดงว่าระบบไฟจากแบตเตอรี่และระบบไฟที่ต่อผ่านสายส่งไปยังจานสายอากาศพร้อม วงจรปรับแรงดันไฟฟ้า 10V สำหรับวงจรรับส่งสัญญาณไมโครเวฟ และ 5V สำหรับวงจรขยายสัญญาณความถี่คอปเปอเรอร์ ก็จะทำงาน

เมื่อ SW2 ON วงจรปรับแรงดันไฟฟ้า 5V ก็จะทำงาน LP2 จะ ON พร้อมทั้งจะจ่ายให้กับวงจรสัญญาณเริ่มทำงาน วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา วงจรคำนวณและแสดงผล และวงจรสร้างความถี่ทดสอบ

2. เมื่อประจุไฟฟ้าแก่แบตเตอรี่

ถอดระบบสายส่งที่เชื่อมต่อไปยังสายอากาศออก SW2 OFF ต่อสายต่อ BNC CONNECTOR เข้าไป เปิดเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ 12V 1.4A LP1 จะ ON เมื่อ SW1 ON การประจุไฟฟ้าที่จะเริ่มขึ้น และรอจนกว่าจะประจุได้เต็ม ตามสัญญาณไฟของเครื่องอัดประจุ

จากการใช้งานในภาคสนามระบบจะใช้กระแสรวมประมาณ 1.2A พิจารณาคณสมบัติของแบตเตอรี่ จะจ่ายพลังงานได้ 12V 6 A-H ระบบควรจะใช้งานต่อเนื่องได้ประมาณ 4 ชั่วโมง แต่การใช้งานที่โหลดดังกล่าวมีการปิดเปิดประมาณ 80 ครั้ง ๆ ละ 2 นาที หรือประมาณ 160 นาที ก็ควรจะถูกนำไปประจุใหม่หรือ เปลี่ยนแบตเตอรี่ใหม่

สำหรับระบบสายของระบบภายนอกจำเป็นต้องใช้ COAXIAL RG-58A/U AMPHENOL เช่น จากวงจรขยายความถี่คอปเปอเรอร์ และวงจรเริ่มทำงานมายังส่วนคำนวณและแสดงผล สายยาว 33 เมตร ขั้วต่อเป็นแบบ BNC เพื่อป้องกันการรบกวนจากภายนอก ซึ่งก็ได้ผลในทางปฏิบัติได้ดี

9.2 คุณลักษณะทั่วไป

9.2.1 คุณลักษณะทางกายภาพ

1. ระบบสายอากาศ

1.1 สายอากาศ

ขนาด	ยาว	0.60	เมตร
	กว้าง	0.40	เมตร
	สูง	0.48	เมตร
	น้ำหนัก	20	กิโลกรัม

1.2 ขาตั้ง

ขนาด	ยาว	1.00	เมตร
	น้ำหนัก	6	กิโลกรัม

2. ระบบคำนวณและแสดงผล

ขนาด	ยาว	0.35	เมตร
	กว้าง	0.30	เมตร
	สูง	0.12	เมตร
น้ำหนัก		5.5	กิโลกรัม

3. ระบบสายเคเบิล

ขนาด	สูง	0.30	เมตร
	กว้าง	0.23	เมตร
ความยาวสายเคเบิล		33.00	เมตร
น้ำหนัก		9	กิโลกรัม
ความยาวสายเคเบิลย่อย		6.00	เมตร

4. ลังบรรจุ

ขนาด	ยาว	1.00	เมตร
	กว้าง	0.66	เมตร
	สูง	0.45	เมตร
น้ำหนักเปล่า		12	กิโลกรัม
น้ำหนักรวม		52.5	กิโลกรัม

9.2.2 ลักษณะการทำงาน

แหล่งพลังงาน	12VDC	6A-H
การใช้กำลังงานรวม	18	วัตต์
ระยะวัดไกลสุด	21.4	เมตร
ระยะวัดใกล้สุด	8.9	เมตร
ความถี่ที่ส่งออก	X-BAND	10.525 GHz ที่ 20°C
กำลังส่ง	50	มิลลิวัตต์
BEAM WIDTH สายอากาศ	4.5°	
DOPPLER BASE LENGTH	0.99	เมตร

9.2.3 สมรรถนะ

ขนาดเป้าหมาย	
เล็กที่สุด	ตั้งแต่ 60 มิลลิเมตร
ใหญ่ที่สุด	ไม่จำกัด
ย่านความเร็ว	125.0 ถึง 999.9 เมตร/วินาที แบ่งเป็น 5 ย่าน
การแสดงผลความเร็ว	4 หลัก ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

ความละเอียดในการวัด
ความถูกต้องในการวัด
อุณหภูมิการใช้งาน

ตั้งแต่ 1/997
ตั้งแต่ 1/992
ไม่เกิน 40° C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

การทดสอบนี้เป็นภารวัดความเร็วต้นจากการยิงปืนใหญ่และเครื่องยิงลูกระเบิด โดยมีหลักการและขั้นตอนของการทดสอบเหมือนกัน

10.1 ขั้นตอนการทดสอบ

มีขั้นตอนการวัดดังนี้

ฝ่ายอำนวยการและเจ้าหน้าที่หมู่บ้าน	ขั้นตอนการวัด
<ol style="list-style-type: none"> 1. นำปืนเข้าที่ตั้งยิง ตั้งมุมยิงตามฝ่ายอำนวยการยิง 2. เตรียมกระสุน 3. เตรียมขนำวน 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ตั้งสายอากาศห่างจากล้ากลองปืนไม่เกิน 0.8 เมตร ปรับระดับสายอากาศ ทำการเล็ง ปรับมุมตามปืน 2. ต่อสายไฟจากชุดสายอากาศมาที่เครื่องวัดในบังเกอร์ สายไฟต่อตามโค๊ดสี คือ สีแดง ไฟ 12 V สีเหลือง สัญญาณความถี่คอปเปลอร์ สีน้ำเงิน สัญญาณทริกเกอร์ 3. ตรวจสอบเครื่อง เปิด SW1 ไฟ LP1 จะติด ไฟที่ชุดสายอากาศจะติด เปิด SW2 ไฟ LP2 จะติด กด รีเซต แล้วทำการตรวจสอบระบบการวัด เลือกสวิทช์ไปที่โหมดทดสอบ ทดสอบทุกย่านความเร็ว โดยการทริกเกอร์จากสัญญาณเสียงที่ชุดสายอากาศ ค่าความเร็วจะต้องได้ตามที่ระบุที่หน้าปัทม์ สัญญาณไฟ ทริกเกอร์และการทำงานจะติด
<ol style="list-style-type: none"> 4. สั่งเตรียมยิง ในที่นี้จะแจ้ง ปริมาณดินส่่งที่จะใช้ยิง 5. สั่งบรรจุ 6. สั่งยิง 	<ol style="list-style-type: none"> 4. เลือกสวิทช์ไปที่โหมดการวัด เลือกย่านความเร็ว ตามปริมาณดินส่่งและชนิดปืน 5. กดสวิทช์รีเซต ก่อนสั่งยิงประมาณ 10 วินาที 6. ระบบการวัดจะทำงานและปรากฏความเร็วบนหน้าปัทม์ บันทึกข้อมูลที่ได้ กดรีเซตหรือปิดเครื่องและตรวจสอบมุมของสายอากาศ ก่อนที่จะวัดในนัดต่อไป



รูปที่ 10ก
 ภาพการทดสอบอาวุธสนามทดสอบ เขาฟูโลน ลพบุรี



รูปที่ 10ข
 ภาพการทดสอบที่สนามทดสอบ เขาฟูโลน ลพบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.2 ผลการทดสอบ

ได้รวบรวมผลการทดสอบในภาคสนาม ได้ผลดังนี้

10.2.1 ผลการทดสอบครั้งที่ 1

อาวุธ เครื่องยิงลูกระเบิด ขนาด 120 มม. ลูก ค. ล้ำกล้อง ศอว.ทบ

ผู้ทดสอบ รง. กสย. ศอว. ทบ.

วันเวลา 27 เมษายน 2532 เวลา 09.30 น.

สถานที่ สนามทดสอบอาวุธหนัก เขาฟูโลน ศูนย์การทหารปืนใหญ่ ลพบุรี
สภาพสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิ 38°C อากาศโปร่ง ลมสงบ

นัดที่	ดินสั่	อุณหภูมิดินสั่ (°C)	ความเร็วต้น (เมตร/วินาที)	ความเร็วต้น MIRADOPE II (เมตร/วินาที)	แตกต่างความเร็ว	
					(เมตร/วินาที)	%
1	1 ถุง	21	122.2	123.2	-1.0	-0.81
2	1 ถุง	21	123.2	108.0	+15.3	+14.07
3	1 ถุง	21	122.0	122.3	-0.3	-0.25
4	2 ถุง	21	161.5	162.7	-1.2	-0.74
5	2 ถุง	21	วัดไม่ได้	162.2	-	-
6	2 ถุง	21	วัดไม่ได้	161.9	-	-
7	3 ถุง	21	194.2	วัดไม่ได้	-	-
8	3 ถุง	21	วัดไม่ได้	195.3	-	-
9	3 ถุง	21	วัดไม่ได้	วัดไม่ได้	-	-

ตารางที่ 10.1

ผลการทดสอบความเร็วต้นเครื่องยิงลูกระเบิด ขนาด 120 มิลลิเมตร

หมายเหตุ

- ระยะ X ระหว่าง ค. กับสายอากาศห่างมากคือ 1.20 เมตร
- ไม่ได้ตรวจสอบมุมยิงทุกนัด
- ศอว.ทบ. : ศูนย์อำนวยการสร้างอาวุธ กองทัพบก
- รง. กสย. : โรงงานผลิตกระสุนปืนใหญ่และลูกระเบิดยิง
- MIRADOPE II : เครื่องวัดความเร็วต้น ประเทศฝรั่งเศส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.2.2 ผลการทดสอบครั้งที่ 2

อาวุธ ปบค. ขนาด 105 มม. M425 ทดสอบเครื่องรับแรง

ผู้ทดสอบ รง. ปค. ศอว.ทบ.

วันเวลา 27 เมษายน 2532 เวลา 13.30 น.

สถานที่ สนามทดสอบอาวุธหนัก เขาฟูโลน ศูนย์การทหารปืนใหญ่ ลพบุรี
สภาพสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิ 40°C ลมแปรปรวน เมฆมาก มีฝนตกเล็กน้อย

นัดที่	ดินสั่่ง (บจ)	มมยิง (ม)	ความเร็วต้น (เมตร/วินาที)				หมายเหตุ
			กระบอกที่				
			9	10	11	12	
1	5	305	-	354.1	352.7	353.1	353.3
2	6	200	-	428.7	-	428.2	428.5
3	7	1100	-	วัดไม่ได้	-	542.7	542.7
4	8	130	682.4	วัดไม่ได้	686.5	651.4	674.4
5	8	130	วัดไม่ได้	วัดไม่ได้	694.7	วัดไม่ได้	694.7

ตารางที่ 10.2

ผลการทดสอบความเร็วต้นปืนใหญ่ 105 มิลลิเมตร

หมายเหตุ

1. - ไม่ได้ทำการวัด
2. มมยิง 1 องศา เท่ากับ 17.78 ม , มิลลิเมตร
3. ตั้งสายอากาศค่อนข้างเอียงไปข้างหน้าที่มมยิงสูง ทำให้ระยะห่างกับสายอากาศ (X) ประมาณ 1.50 เมตร ซึ่งปกติมมยิงต่ำระหว่าง 0.80 เมตร กระบอกที่ 12
4. ที่ บจ.8 นัดที่ 5 จะไม่ได้ตรวจสอบมมยิงใหม่
5. ไม่มีเครื่องวัดอ้างอิง
6. ไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิดินสั่่ง
7. ปบค. : ปืนใหญ่เบาวิถีโค้ง
8. รง.ปค. : โรงงานสร้างปืนใหญ่และเครื่องยิงลูกระเบิด

10.2.3 ผลการทดสอบครั้งที่ 3

อาคาร ปบค. 95 M 101 A5 ขนาด 105 มม. ทดสอบเครื่องรับแรง

ผู้ทดสอบ รง. ตวพ. ศอว. ทบ.

วันเวลา 3 พฤษภาคม 2532 เวลา 09.30 น.

สถานสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิ 39°C อากาศโปร่ง มีลมเล็กน้อย

นัดที่	ดินสั้ง(บจ.)	มมุ่ยง(ม)	ความเร็วต้น(เมตร/วินาที)		หมายเหตุ
			กระบอกที่ 4	กระบอกที่ 5	
1	3	600	-	220.3	X = 1.0 เมตร
2	3	600	-	222.0	X = 1.0 เมตร
3	5	350	-	308.4	
4	5	350	309.5	-	
5	7	195	480.4	478.3	

ตารางที่ 10.3

ผลการทดสอบความเร็วต้นปืนใหญ่ 105 มิลลิเมตร

หมายเหตุ

1. ไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิดินสั้ง ดินสั้งตั้งอยู่กลางแจ้ง
2. ไม่มีเครื่องวัดอ้างอิง
3. ระยะ X ประมาณ 0.7 - 1.0 เมตร
4. รง.ตวพ. : โรงงานต้นแบบวิจัยพัฒนาอาวุธ

10.2.4 ผลการทดสอบครั้งที่ 4

อาวุธ เครื่องยิงลูกระเบิด ขนาด 120 มิลลิเมตร กระสุน ค.สปจ.,
ลำกล้อง ศอว.ทบ.

ผู้ทดสอบ รง. ปค. ศอว.ทบ.

วันเวลา 3 พฤษภาคม 2532 เวลา 13.30 น.

สถานที่ สนามทดสอบอาวุธหนัก เขาฟูลอน ศูนย์การทหารปืนใหญ่ ลพบุรี
สภาพสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิ 41°C อากาศโปร่ง ลมสงบ

นัดที่	ดินสั้	อุณหภูมิดินสั้ (°C)	ความเร็วต้น (เมตร/วินาที)		แตกต่างความเร็ว		หมายเหตุ
			ศอว.ทบ.	MIRADOPE II	เมตร/วินาที	%	
1	1 ถุง	ไม่ได้ควบคุม	124.4	125.2	-0.8	-0.64	กระสุน สปจ.
2	4 ถุง	ไม่ได้ควบคุม	วัดไม่ได้	229.3	-	-	กระสุน สปจ.
3	4 ถุง	ไม่ได้ควบคุม	227.9	วัดไม่ได้	-	-	กระสุน สปจ.
4	บจ.8	21	323.6	323.9	-0.3	-0.09	กระสุน กสย.
5	บจ.8	21	330.0	330.7	-0.7	-0.21	กระสุน กสย.
6	บจ.8	21	332.2	332.0	+0.2	+0.06	กระสุน กสย.

ตารางที่ 10.4

ผลการทดสอบความเร็วต้นเครื่องยิงลูกระเบิด 120 มิลลิเมตร

หมายเหตุ

1. ไม่ได้บันทึกมุมมอง
2. เครื่อง MIRADOPE II วัดไม่ได้เมื่ออุณหภูมิที่สายอากาศเกินกว่า 41°C
3. ระยะ X ประมาณ 0.7 เมตร
4. สปจ. : สาธารณรัฐประชาชนจีน

10.3 ส่วนผลการทดสอบ

ครั้งที่ 1 ค่าความเร็วต้น น้ดที่ 1 ถึง 3 มีค่าความเร็วต้นเฉลี่ย (\bar{X}) 122.5 เมตร/วินาที มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.64 ส่วนที่วัดได้จากเครื่อง MIRADOPE II ความเร็วของน้ดที่ 2 ออกนอกกลุ่มตัดออกไปได้ คัดเฉพาะน้ดที่ 1 กับ 3 จะได้ \bar{X} 122.8 เมตร/วินาที ในน้ดที่ 4 ค่าแตกต่างความเร็วคิดเป็น 0.74 % ส่วนน้ดที่ 5 และ 6 วัดไม่ได้ เครื่อง MIRADOPE II ที่ใช้อ้างอิงวัด ความเร็วเฉลี่ยทั้งสามน้ดได้ 162.3 เมตร/วินาที ส่วนน้ดที่ 7, 8 และ 9 วัดได้เพียงน้ดที่ 7 เท่านั้น ส่วนเครื่อง MIRADOPE II วัดได้เฉพาะน้ดที่ 8 ค่าที่วัดได้ที่ไม่ใช่น้ดเดียวกันไม่สามารถเปรียบเทียบได้ แต่ก็มีค่าอยู่ในกลุ่มเดียวกัน เมื่อถือว่างวดงานภาระสูงเดียวกัน ค่าความเร็วต้นที่ได้ก็ใกล้เคียงกัน

ครั้งที่ 2 ภารกิจยังไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิดินส่ ซึ่งส่งผลต่อความเร็วต้น ตามแนวทผลค่าความเร็วต้นเฉลี่ยใกล้เคียงกับสมุดตารางมมยงบใหญ่ ค่ามยงสูง เช่น น้ดที่ 3 กระบอกที่ 9, 10, 11 ตำแหน่งมยงสูง ทำให้ระยะ $X = 1.50$ เมตร ซึ่งมีค่าสูงไม่ได้รับตำแหน่งใหม่เนื่องจากจะทำให้ภารกิจช้าลง แต่ที่ บจ. 8 ทั้ง 4 น้ดที่วัดได้ \bar{X} 678.8 เมตร/วินาที ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงถึง 18.9 และจากการยง 15 น้ด วัดไม่ได้ถึง 5 น้ด การทดสอบครั้งนี้ไม่สามารถจะวิเคราะห์ค่าความเร็วที่วัดได้ เนื่องจากไม่ได้ควบคุมสภาวะต่าง ๆ

ครั้งที่ 3 การทดสอบนี้ควบคุมให้ระยะ X ไม่เกิน 1.00 เมตร ทุกมยงวัดได้ 6 น้ด จากผลการยง 7 น้ด ไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิดินส่และไม่มีเครื่องวัดอ้างอิง และข้อมูลทดสอบน้อยเกินไป ค่าความเร็วต้นที่ได้ยังไม่สามารถวิเคราะห์ถึงคุณลักษณะต่าง ๆ ได้ เพียงแต่ค่าความเร็วที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับส่วนบรรจุดินส่ที่เพิ่มขึ้น

ครั้งที่ 4 มีข้อมูลเพียง 3 ข้อมูลได้ควบคุมอุณหภูมิดินส่ คือ ในน้ดที่ 4, 5 และ 6 ค่าแตกต่างความเร็วที่ได้มีค่าน้อยมาก แต่ในน้ดที่ 1, 2 และ 3 ไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิดินส่ แต่ค่าแตกต่างความเร็วยังคงมีค่าน้อย ในน้ดที่ 2 และ 3 ต่างวัดได้เครื่องละครั้งเปรียบเทียบกันไม่ได้ โดยทั้งสองค่าใกล้เคียงกัน

10.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบทั้ง 4 ครั้ง มีเพียงครั้งที่ 1 และ 4 เท่านั้น ที่มีการควบคุมอุณหภูมิดินส่ที่ 21°C และมีการวัดเปรียบเทียบกับค่าความเร็วต้นของเครื่อง MIRADOPE II ซึ่งผลแตกต่างความเร็วไม่เกิน 1% และอาจทดสอบก็เป็นเครื่องยงลูกระเบิด ส่วนในครั้งที่ 2 และ 3 ไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิดินส่และดินส่ได้ตั้งไว้วางกลางแดดเป็นเวลานาน อีกทั้งไม่มีเครื่องวัดเปรียบเทียบหรือหลักฐานความเร็วอ้างอิง เพราะไม่ได้ยงในเงื่อนไซที่กำหนด ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบครั้งที่ 2 และ 3 ได้ นอกจากสรุปว่าความเร็วต้นเพิ่มขึ้น ตามส่วนบรรจุดินส่ที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่ทราบค่าที่ถูกต้อง ส่วนค่าความผิดพลาดหรือการวัดที่วัดไม่ได้มีสาเหตุและปัญหาในการทดสอบรวมถึงวิธีการแก้ไข ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.4.1 สาเหตุและปัญหาที่จะมีผลทำให้การวัดผิดพลาด

1. การกักขัง ไม่ได้ควบคุมตามเงื่อนไขการวัด เช่น ในครั้งที่ 2 และ 3 เป็นการทดสอบระบบรับแรงสะท้อนถอยหลัง ไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิดินส่ง ซึ่งมีผลกับความเร็วมาก เช่น ความเร็วต้นเพิ่มขึ้นถึง 2.8 เมตร/วินาทีต่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 22°C และการยิงต่อเนื่อง ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบมยิงได้ทุก ๆ นัด
 2. ผลของอุณหภูมิภายนอก มีผลทำให้ความถี่ของกันชนออสซิลเลเตอร์ทรานซิวเวอร์ เปลี่ยนไป $350 \text{ kHz}/^{\circ}\text{C}$ เช่นที่ อุณหภูมิ 40°C ทำให้ f_{r} เปลี่ยนจาก 10.525 GHz เป็น 10.532 GHz หรือเพิ่มขึ้น 0.067% สมการ $V = C * f_{\text{d}} / (2f_{\text{r}})$ ที่ความถี่ f_{d} เดียวกันค่าความเร็วต้นก็จะเพิ่มขึ้น 0.067% ด้วย ความเร็วที่เปลี่ยนไปนี้ไม่ได้ชดเชยความเร็วอันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป นอกจากนี้ยังมีผลทำให้ระยะเริ่มการทำงานผิดพลาดไป ตามคาบเวลาไมโนสเทเบิลที่คอนสแตนต์ RC เปลี่ยนไป
 3. การตั้งมุมและตำแหน่งสายอากาศ มีความสำคัญและต้องการความถูกต้องมาก โดยมีหลักการให้ตำแหน่งของจาน ใกล้เคียงกับลำกล้องปืนมากที่สุด โดยมีผลต่อการสะท้อนน้อยที่สุด และค่าของช่วงการวัดที่ค่า $\cos \theta$ เข้าใกล้ 1 ที่สุด BEAM WIDTH ที่ 4.5° ของสายอากาศ ระยะห่าง X น้อยกว่า 0.8 เมตร ระยะการวัดไกลที่สุด 8.24 เมตร และไกลสุด 21.47 เมตร ที่ระยะไกลสุด $\cos \theta = 0.9953$ และระยะ ไกลสุด $\cos \theta = 0.9993$ นั่นคือผลความผิดพลาดเนื่องจาก $\cos \theta$ ที่จะเกิดขึ้นไม่เกิน 0.47% ส่วนความถูกต้องทิศทางและมุมสายอากาศ มีโอกาสคลาดเคลื่อนได้ง่าย เนื่องจาก BEAM WIDTH ที่แคบมาก ในกรณีที่ ไม่ได้ตรวจสอบทุกนัด ที่บรรจุสูง ๆ ปืนอาจจะมีการคลาดเคลื่อนจนสายอากาศจับสัญญาณไม่ได้ทำให้วัดไม่ได้
 4. ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ เป็น IONIZED GAS ซึ่งตอบสนองต่อสัญญาณไมโครเวฟ ทำให้ต้องกำหนดระยะเริ่มทำงาน ไกลขึ้นและในกรณีของลูกระเบิดยิงที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ถ้ายังคงมีการเผาไหม้ในช่วงระยะวัดมีผลทำให้ความถี่ f_{d} ผิดไป
 5. การสิ้นสะท้อนขณะทำการยิง มีผลต่อระบบสายอากาศ นั่นคือ จานสายอากาศควรอยู่ใกล้ลำกล้องและควรห่างจากรังเพลิง แต่มีข้อเสียคือเมื่อมยิงเปลี่ยนไป ระยะ X จะไม่คงที่ นอกจากตั้งปรับสายอากาศใหม่ การสิ้นสะท้อนของเครื่องยิงลูกระเบิด มีผลมากกว่าปืนใหญ่ เนื่องจากแรงสะท้อนถอยหลังถูกถ่ายลงพื้นดินโดยตรง ไม่มีระบบรับแรงสะท้อน ถ้าสายอากาศสิ้นสะท้อนมากสัญญาณ f_{d} อาจจะมีผิดไป
- ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อความเร็วที่ไม่เกี่ยวข้องกับระบบการวัด คือ น้ำหนักลูกระสุน ปริมาณดินส่ง และสภาพภายในรังเพลิง ส่วนความถูกต้องในระบบการวัดเนื่องจาก ของระบบคำนวณผล 0.9971 ค่า $\cos \theta$ ที่มีผลผิดพลาดสูงสุด คือ 0.9953 และผลจากความถี่ที่เปลี่ยนไปจากอุณหภูมิภายนอกที่ 40°C 0.9993 ดังนั้นความถูกต้องไม่น้อยกว่า $0.9971 * 0.9953 * 0.9993 = 0.9917$ หรือผิดพลาดไม่เกิน 0.8 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.4.2 วิธีการแก้ไข

เพื่อเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์หรือนำผลความเร็วต้นไปใช้งาน ควรแก้ไขดังนี้

1. ทำการควบคุมอุณหภูมิดินส่ง ที่ 21°C ตามเงื่อนไขการทดสอบ
2. ตรวจสอบมุมยิงและตำแหน่งของจานสายอากาศเทียบกับปืนทุกนัด
3. ลดการสั่นสะเทือน โดยการปรับระยะการวัดให้เหมาะสมกับย่านความเร็ว
4. ควรมีเครื่องวัดความเร็วเปรียบเทียบกับมีสมุดตารางมุมยิงประกอบ
5. ลดอุณหภูมิที่บริเวณก้านเออสซิลเลเตอร์ทรานซิวเวอร์



11.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยและพัฒนานี้ ได้เครื่องต้นแบบที่สามารถทำการวัดความเร็วต้นของอาวุธขนาดหนัก โดยอาศัยหลักการวัดด้วยดอปเพลอร์เรดาร์ขณะกระสุนอยู่ในช่วง INTERMEDIATE ซึ่งเป็นค่าที่มีความเร็วเป็นเชิงเส้นระบบการวัดรวม จะให้ค่าความถูกต้องตั้งแต่ 99.2% ขึ้นไป โดยแยกเป็นค่าความถูกต้อง ระบบคำนวณ ไม่น้อยกว่า 99.71% ค่า $\cos \theta$ ในระยะการวัดใกล้สุด ให้ความถูกต้อง 99.53% และผลจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงถึง 40°C จะให้ความถูกต้อง 99.93% ขนาดของกระสุนของปืนใหญ่และเครื่องยิงลูกระเบิดตั้งแต่ 60 มิลลิเมตร ขึ้นไป โดยมีย่านความเร็วของการวัดตั้งแต่ 125.0 ถึง 999.9 เมตร/วินาที การวัดบางครั้งที่วัดไม่ได้ เนื่องจากการต้องวางตำแหน่งสายอากาศให้มีความเหมาะสมและถูกต้อง ปัญหาของการตรวจจับสัญญาณมักจะมีเกิดขึ้นในกรณีมีการเปลี่ยนแปลงมุมยิงบ่อย หรือมุมยิงสูงมาก ๆ การทดสอบแต่ละครั้งจำเป็นต้องตรวจสอบแนวลำกล้องกับสายอากาศ ให้ขนานกันตลอดเวลาเพราะการยิงในส่วนบรรจุสูงหรือที่มีความเร็วสูงแนวของลำกล้องอาจเบี่ยงเบนไปได้มาก

ผลการวิจัยเครื่องต้นแบบนี้ได้ผลตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ยกเว้นในส่วนความถูกต้องที่แตกต่างจากเป้าหมายเดิมเล็กน้อย แต่ค่าความเร็วที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐานและสมุดตารางมุมยิง ก็ใช้เป็นข้อมูลทางขีปนาวุธได้ เช่น ใช้วิเคราะห์ถึงสมรรถนะของอาวุธเป็นต้น เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 อันจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาชุดโปรแกรมแก้เหล่าทัพ

11.2 ข้อเสนอแนะ

ผลจากการวิจัย ระบบยังมีข้อบกพร่องที่ควรจะแก้ไขให้ถูกต้องและเหมาะสมยิ่งขึ้น คือ ควรจะนำข้อมูลดิบของความถี่ดอปเพลอร์มาประมวลผลด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งจะสามารถพัฒนาขั้นตอนวิธีให้ความละเอียดและถูกต้องได้ดีกว่า เช่น การคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความเร็วเฉลี่ยของแต่ละส่วนบรรจุหรือช่วยในการชดเชยผลจากอุณหภูมิ ในส่วนของสายอากาศควรแก้ไขให้มีความ BEAM WIDTH มากขึ้น เพื่อจะให้ง่ายและสะดวกในการตั้งสายอากาศ และควรมีราโดม (RADOME) เพื่อลดผลจากอุณหภูมิ ฝุ่นละออง ความชื้น และ เพิ่มความแข็งแรงยิ่งขึ้น

จากการทดสอบในภาคสนาม ได้มีข้อเสนอแนะของเจ้าหน้าที่ว่าควรจะวัดในช่วงความเร็วต่ำมากด้วยตามอาวุธใหม่ หรือ อาวุธที่ได้พัฒนาของเขตการใช้ตนเอง เพื่อจะใช้วัดความเร็วต้นทำสมุดตารางยิงมาตรฐานขึ้นใช้เอง ข้อนี้เป็นความต้องการของผู้ใช้ที่มีประโยชน์ และควรขยายย่านความเร็วให้คลุมตั้งแต่ 60 เมตร/วินาที จึงเห็นควรเสนอให้มีการพัฒนาในขั้นต่อไป

นอกจากนี้การพัฒนาของเครื่องนี้ยังสามารถดัดแปลงประยุกต์ใช้ในงานทหารอื่น ๆ และทางอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง เช่น งานด้านรักษาความปลอดภัย การตรวจจับเป้าหมายที่มีการเคลื่อนที่ การตรวจจับความเร็วยานยนต์บนท้องถนน เป็นต้น อันจะเป็นประโยชน์ได้กว้างขวางยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในกองทัพอากาศเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก 1

ตัวอย่างค่าความเร็วต้นกระสุนปืนใหญ่ 105 มิลลิเมตร

PART 1

CHARGE	MUZZLE VELOCITY	PROPELLING CHARGE M67
	M/S	
1	195.1	BASE SECTION 1
2	211.8	BASE AND INCREMENT 2
3	233.2	BASE AND INCREMENTS 2 AND 3
4	262.1	BASE AND INCREMENTS 2, 3 AND 4
5	301.8	BASE AND INCREMENTS 2, 3, 4 AND 5
6	365.8	BASE AND INCREMENTS 2, 3, 4, 5 AND 6
7	464.8	BASE AND INCREMENTS 2, 3, 4, 5, 6 AND 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก 2

ตารางผลของอุณหภูมิดินปืนต่อความเร็วต้น

TABLE E
PROPELLANT TEMPERATURE
EFFECTS ON MUZZLE VELOCITY DUE TO PROPELLANT TEMPERATURE

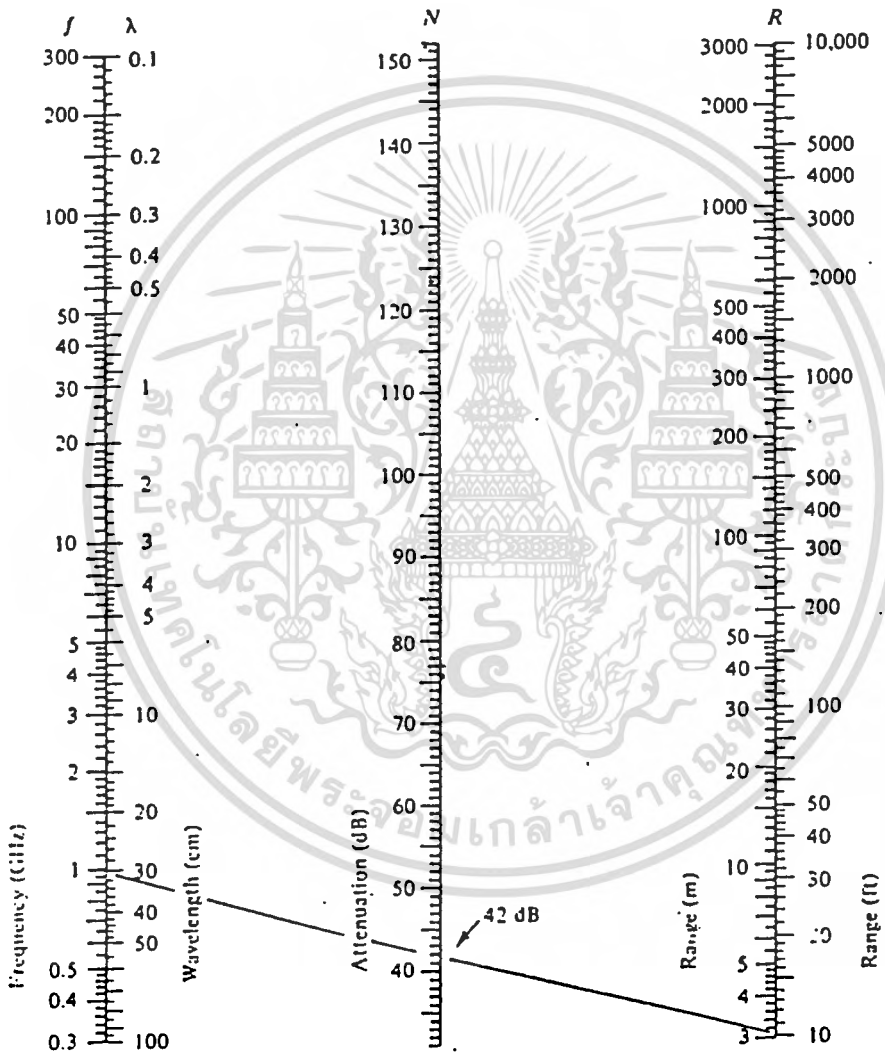
TEMPERATURE OF PROPELLANT DEGREES F	EFFECT ON VELOCITY M/S	TEMPERATURE OF PROPELLANT DEGREES C
-40	-4.0	-40.0
-30	-3.8	-34.4
-20	-3.6	-28.9
-10	-3.3	-23.3
0	-3.0	-17.8
10	-2.7	-12.2
20	-2.3	-6.7
30	-1.9	-1.1
40	-1.5	4.4
50	-1.0	10.0
60	-0.5	15.6
70	0.0	21.1
80	0.6	26.7
90	1.2	32.2
100	1.8	37.8
110	2.5	43.3
120	3.2	48.9
130	4.0	54.4

ภาคผนวก 3

NOMOGRAM OF FREE-SPACE ATTENUATION

476

Measurements and Computations of Microwave Electric Field / Ch. 10



Nomogram of free-space attenuation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก 4
รายละเอียดอุปกรณ์ทางตัว

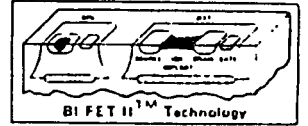
ภาคผนวก 4.1 LF 353

LF353



Operational Amplifiers/Buffers

LF353 Wide Bandwidth Dual JFET Input Operational Amplifier



General Description

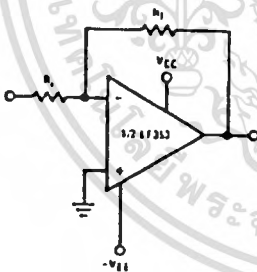
These devices are low cost, high speed, dual JFET input operational amplifiers with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET II™ technology). They require low supply current yet maintain a large gain bandwidth product and fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The LF353 is pin compatible with the standard LM1558 allowing designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM1558 and LM358 designs.

These amplifiers may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample and hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The devices also exhibit low noise and offset voltage drift.

Features

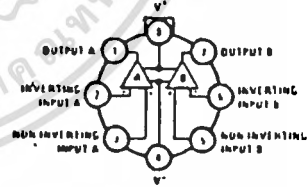
- Internally trimmed offset voltage 10 mV
- Low input bias current 50 pA
- Low input noise voltage 16 nV/√Hz
- Low input noise current 0.01 pA/√Hz
- Wide gain bandwidth 4 MHz
- High slew rate 13 V/μs
- Low supply current 3.6 mA
- High input impedance 10¹² Ω
- Low total harmonic distortion $A_V = 10$, $R_L = 10k$, $V_O = 20V_p - p$, $BW = 20Hz - 20kHz$ <0.02%
- Low 1/f noise corner 50 Hz
- Fast settling time to 0.01% 2 μs

Typical Connection



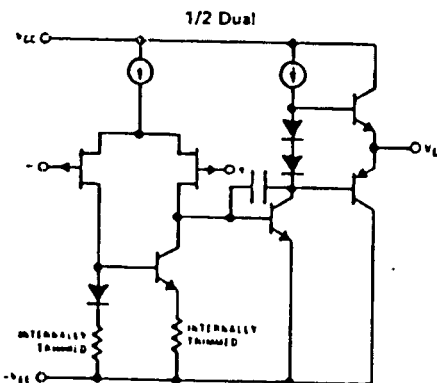
Connection Diagrams

LF353H Metal Can Package (Top View)

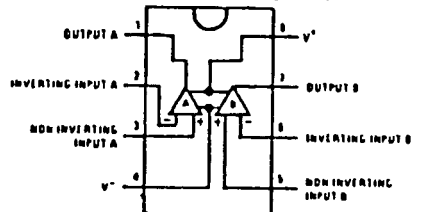


Order Number LF353H
See NS Package H08C

Simplified Schematic



LF353N Dual-In-Line Package (Top View)



Order Number LF353N
See NS Package N08A

Absolute Maximum Ratings

Input Voltage	± 18V	Input Voltage Range (Note 2)	± 15V
Power Dissipation (Note 1)	500mW	Output Short Circuit Duration	Continuous
Operating Temperature Range	0°C to +70°C	Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Maximum Junction Temperature	115°C	Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C
Maximum Input Voltage	± 30V		

Electrical Characteristics (Note 4)

PARAMETER	CONDITIONS	LF353			UNITS
		MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	$R_S = 10k\Omega, T_A = 25^\circ C$ Over Temperature		5	10 13	mV mV
Average TC of Input Offset Voltage	$R_S = 10k\Omega$		-10		$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	$T_j = 25^\circ C, (Notes 4, 5)$ $T_j < 70^\circ C$		25	100 4	pA nA
Input Bias Current	$T_j = 25^\circ C, (Notes 4, 5)$ $T_j < 70^\circ C$		50	200 8	pA nA
Input Resistance	$T_j = 25^\circ C$		10^{12}		Ω
Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$ $V_O = \pm 10V, R_L = 2k\Omega$ Over Temperature	25	100		V/mV V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15V, R_L = 10k\Omega$	± 12	± 13.5		V
Input Common-Mode Voltage Range	$V_S = \pm 15V$	± 11	+15 -12		V V
Common-Mode Rejection Ratio	$R_S < 10k\Omega$	70	100		dB
Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 6)	70	100		dB
Supply Current			3.6	6.5	mA

Electrical Characteristics (Note 4)

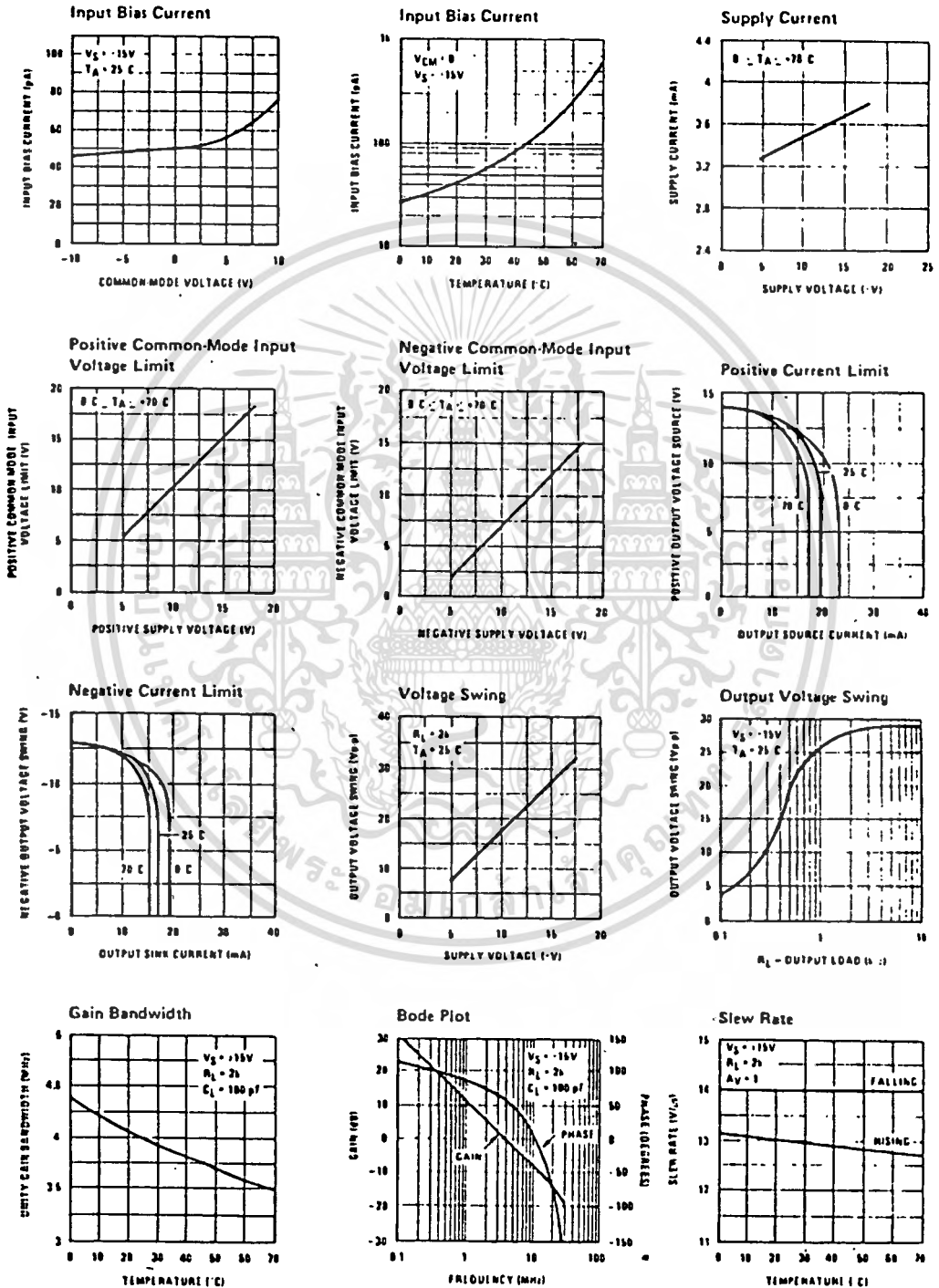
PARAMETER	CONDITIONS	LF353			UNITS
		MIN	TYP	MAX	
Amplifier to Amplifier Coupling	$T_A = 25^\circ C, f = 1Hz - 20kHz$ (Input Referred)		-120		dB
Slew Rate	$V_S = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$		13		V/ μs
Gain Bandwidth Product	$V_S = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$		4		MHz
Equivalent Input Noise Voltage	$T_A = 25^\circ C, R_S = 100\Omega,$ $f = 1000Hz$		16		nV/ \sqrt{Hz}
Equivalent Input Noise Current	$T_j = 25^\circ C, f = 1000Hz$		0.01		pA/ \sqrt{Hz}

For operating at elevated temperature, the device must be derated based on a thermal resistance of 160°C/W junction to ambient for the H package, and 150°C/W junction to ambient for the M package.
 Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage; the power dissipation limit, however, cannot be exceeded.
 These specifications apply for $V_S = \pm 15V$ and $0^\circ C < T_A < +70^\circ C$. V_{OS}, I_B and I_{OS} are measured at $V_{CM} = 0$.
 The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature. Due to the limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal use the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation, $P_D, T_j = T_A + \theta_{JA} P_D$ where θ_{JA} is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.
 Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with good practice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

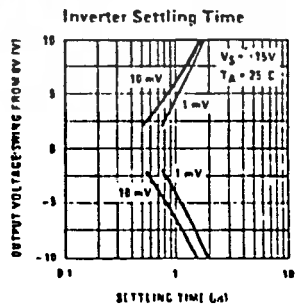
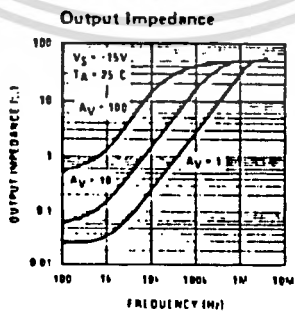
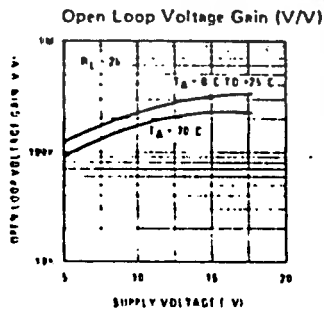
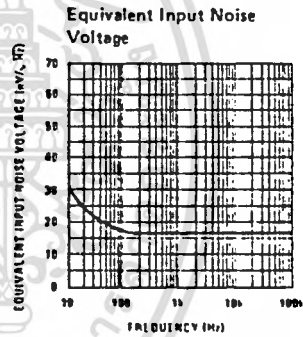
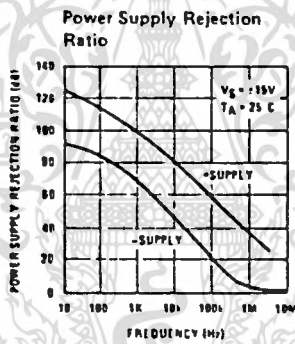
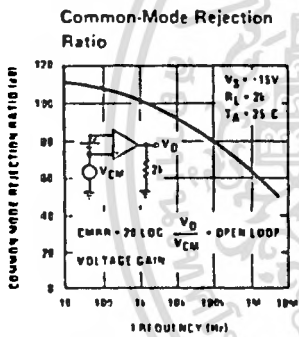
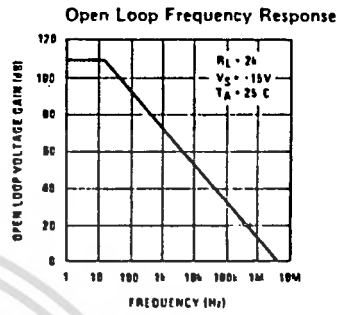
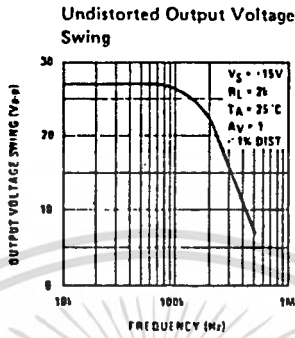
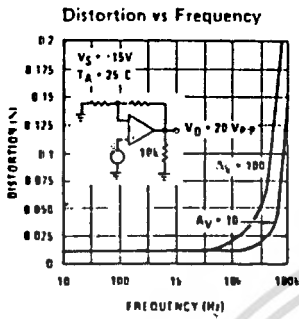
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM119/LM219/LM319



Voltage Comparators

LM119/LM219/LM319 High Speed Dual Comparator

General Description

The LM119 series are precision high speed dual comparators fabricated on a single monolithic chip. They are designed to operate over a wide range of supply voltages down to a single 5V logic supply and ground. Further, they have higher gain and lower input currents than devices like the LM710. The uncommitted collector of the output stage makes the LM119 compatible with RTL, DTL and TTL as well as capable of driving lamps and relays at currents up to 25 mA. Outstanding features include:

- Maximum input current of 1 μ A over temperature
- Inputs and outputs can be isolated from system ground
- High common mode slow rate

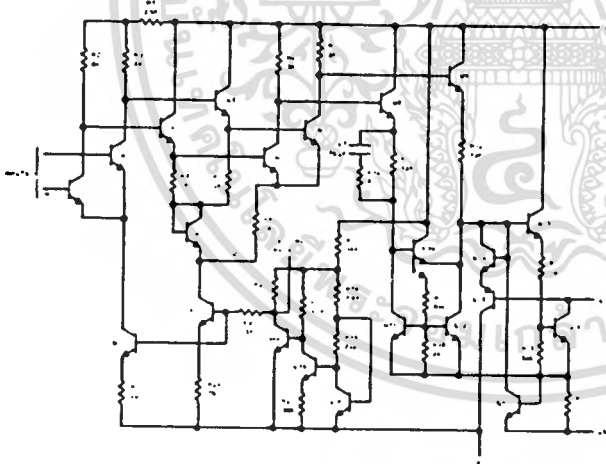
Although designed primarily for applications requiring operation from digital logic supplies, the LM119 series are fully specified for power supplies up to ± 15 V. It features faster response than the LM111 at the expense of higher power dissipation. However, the high speed, wide operating voltage range and low package count make the LM119 much more versatile than older devices like the LM711.

The LM119 is specified from -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$, the LM219 is specified from -25°C to $+85^{\circ}\text{C}$, and the LM319 is specified from 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$.

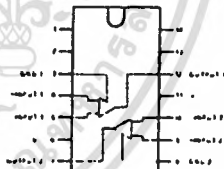
Features

- Two independent comparators
- Operates from a single 5V supply
- Typically 80 ns response time at ± 15 V
- Minimum fan-out of 2 each side

Schematic and Connection Diagrams



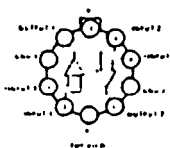
Dual In-Line Package



Order Number LM319N
See NS Package N14A

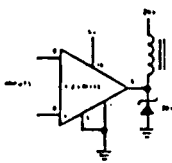
Order Number LM119J, LM219J
or LM319J
See NS Package J14A

Metal Can Package

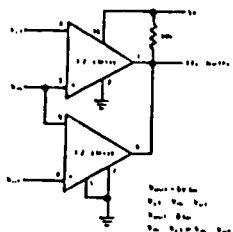


Order Number LM119H, LM219H
or LM319H
See NS Package H1DC

Typical Applications



Relay Driver



Window Detector

Absolute Maximum Ratings LM319

Total Supply Voltage	36V	Power Dissipation (Note 2)	500 mW
Output to Negative Supply Voltage	36V	Output Short Circuit Duration	10 ms
Ground to Negative Supply Voltage	25V	Operating Temperature Range (LM319)	0°C to 70°C
Ground to Positive Supply Voltage	18V	Storage Temperature Range	-65°C to 150°C
Differential Input Voltage	±5V	Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	300°C
Input Voltage (Note 1)	±15V		

Electrical Characteristics (Note 3)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Offset Voltage (Note 4)	$T_A = 25^\circ\text{C}, R_S < 5k$		2.0	8.0	mV
Input Offset Current (Note 4)	$T_A = 25^\circ\text{C}$		80	200	nA
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		250	1000	nA
Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$	8	40		V/mV
Response Time (Note 5)	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 15\text{V}$		80		ns
Saturation Voltage	$V_{IN} < -10\text{ mV}, I_{OUT} = 25\text{ mA}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.5	V
Output Leakage Current	$V_{IN} > 10\text{ mV}, V_{OUT} = 35\text{V}$ $V = V_{CM}, 0V, T_A = 25^\circ\text{C}$		0.2	10	μA
Input Offset Voltage (Note 4)	$R_S < 5k$			10	mV
Input Offset Current (Note 4)				300	nA
Input Bias Current				1200	nA
Input Voltage Range	$V_S = \pm 15\text{V}$ $V^+ = 5\text{V}, V^- = 0$	1	±13		V
Saturation Voltage	$V^+ > 4.5\text{V}, V^- = 0$ $V_{IN} < -10\text{ mV}, I_{SINE} < 3.2\text{ mA}$		0.3	0.4	V
Differential Input Voltage				±5	V
Positive Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}, V^+ = 5\text{V}, V^- = 0$		4.3		mA
Positive Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 15\text{V}$		8	12.5	mA
Negative Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 15\text{V}$		3	5	mA

Note 1: For supply voltages less than $\pm 15\text{V}$ the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

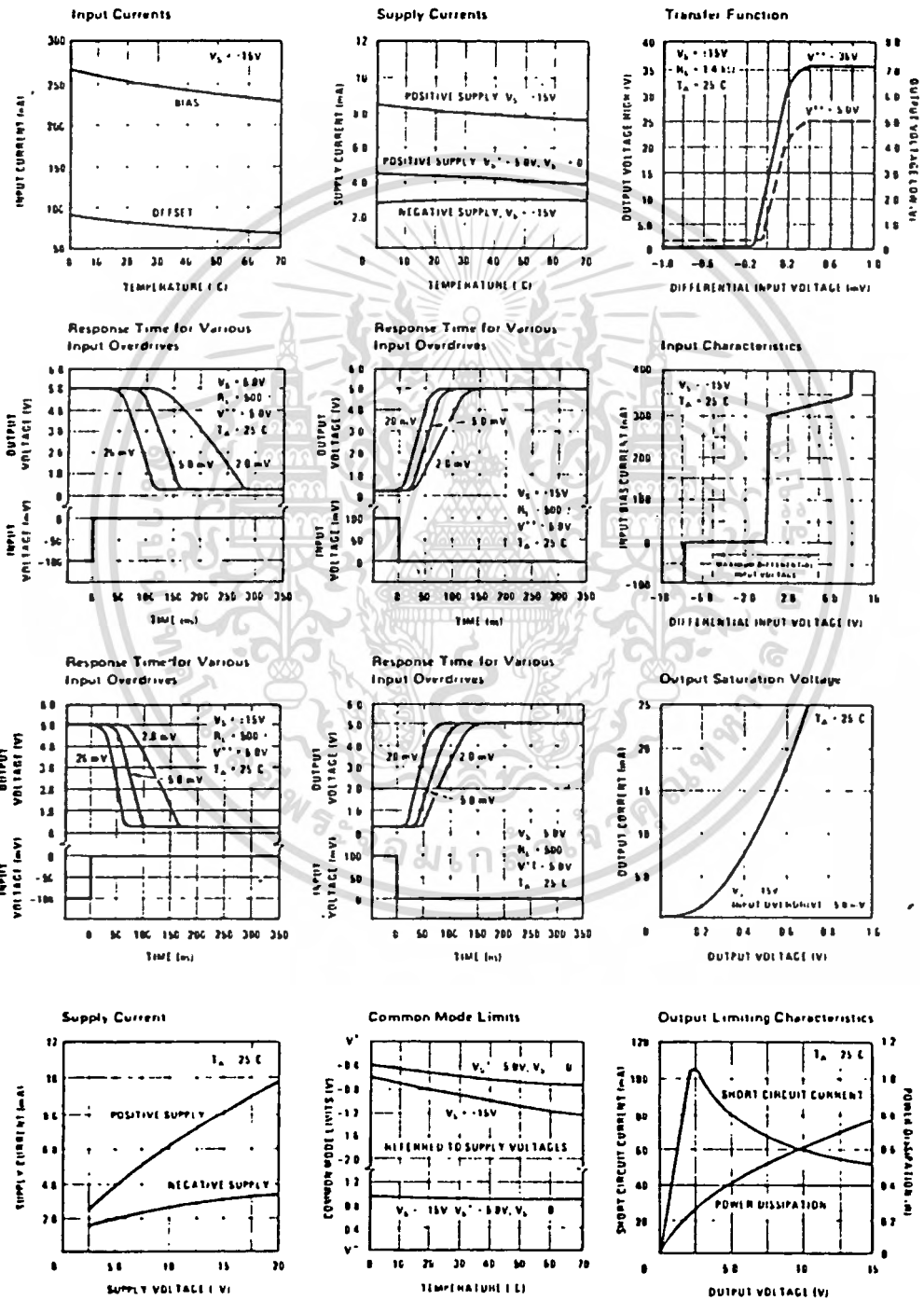
Note 2: The maximum junction temperature of the LM319 is 85°C . For operating at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W , junction to ambient, or 45°C/W , junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W , junction to ambient.

Note 3: These specifications apply for $V_S = \pm 15\text{V}$ and $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$, unless otherwise stated. The offset voltage, offset current and bias current specifications apply for any supply voltage from a single 5V supply up to $\pm 15\text{V}$ supplies.

Note 4: The offset voltages and offset currents given are the maximum values required to drive the output within a volt of either supply with a 1 mA load. Thus, these parameters define an error band and take into account the worst case effects of voltage gain and input impedance.

Note 5: The response time specified is for a 100 mV input step with 5 mV overdrive.

Typical Performance Characteristics LM319



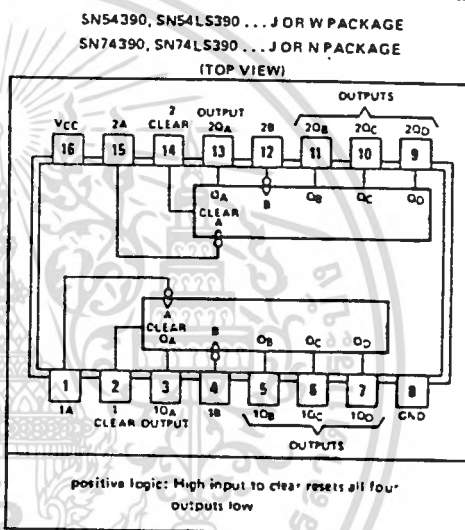
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TTL

TYPES SN54390, SN54LS390, SN54393, SN54LS393, SN74390, SN74LS390, SN74393, SN74LS393 DUAL 4-BIT DECADE AND BINARY COUNTERS

BULLETIN NO. DL 5 7612099, OCTOBER 1976

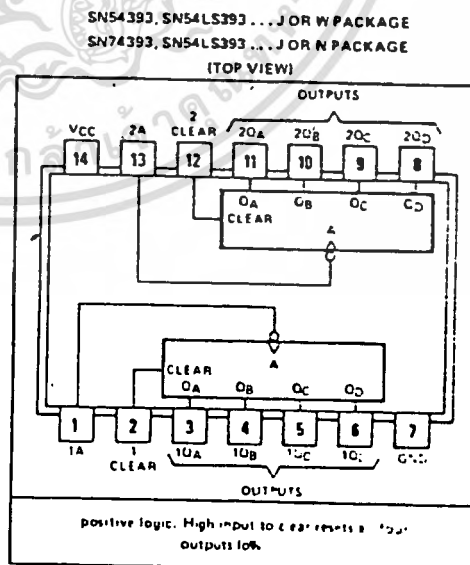
- Dual Versions of the Popular '90A, 'LS90 and '93A, 'LS93
- '390, 'LS390... Individual Clocks for A and B Flip-Flops Provide Dual $\div 2$ and $\div 5$ Counters
- '393, 'LS393... Dual 4-Bit Binary Counter with Individual Clocks
- All Have Direct Clear for Each 4-Bit Counter
- Dual 4-Bit Versions Can Significantly Improve System Densities by Reducing Counter Package Count by 50%
- Typical Maximum Count Frequency... 35 MHz
- Buffered Outputs Reduce Possibility of Collector Commutation



description

Each of these monolithic circuits contains eight master-slave flip-flops and additional gating to implement two individual four-bit counters in a single package. The '390 and 'LS390 incorporate dual divide-by-two and divide-by-five counters, which can be used to implement cycle lengths equal to any whole and/or cumulative multiples of 2 and/or 5 up to divide-by-100. When connected as a bi-quinary counter, the separate divide-by-two circuit can be used to provide symmetry (a square wave) at the final output stage. The '393 and 'LS393 each comprise two independent four-bit binary counters each having a clear and a clock input. N-bit binary counters can be implemented with each package providing the capability of divide-by-256. The '390, 'LS390, '393, and 'LS393 have parallel outputs from each counter stage so that any submultiple of the input count frequency is available for system-timing signals.

Series 5- and Series 54LS circuits are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C ; Series 74 and Series 74LS circuits are characterized for operation from 0°C to 70°C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TYPES SN54390, SN54LS390, SN54393, SN54LS393,
SN74390, SN74LS390, SN74393, SN74LS393
DUAL 4-BIT DECADE AND BINARY COUNTERS**

**'390, 'LS390
BCD COUNT SEQUENCE
(EACH COUNTER)
(See Note A)**

COUNT	OUTPUT			
	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A
0	L	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	L	H	L	H
6	L	H	H	L
7	L	H	H	H
8	H	L	L	L
9	H	L	L	H

**FUNCTION TABLES
'390, 'LS390
BI-QUINARY (5-2)
(EACH COUNTER)
(See Note B)**

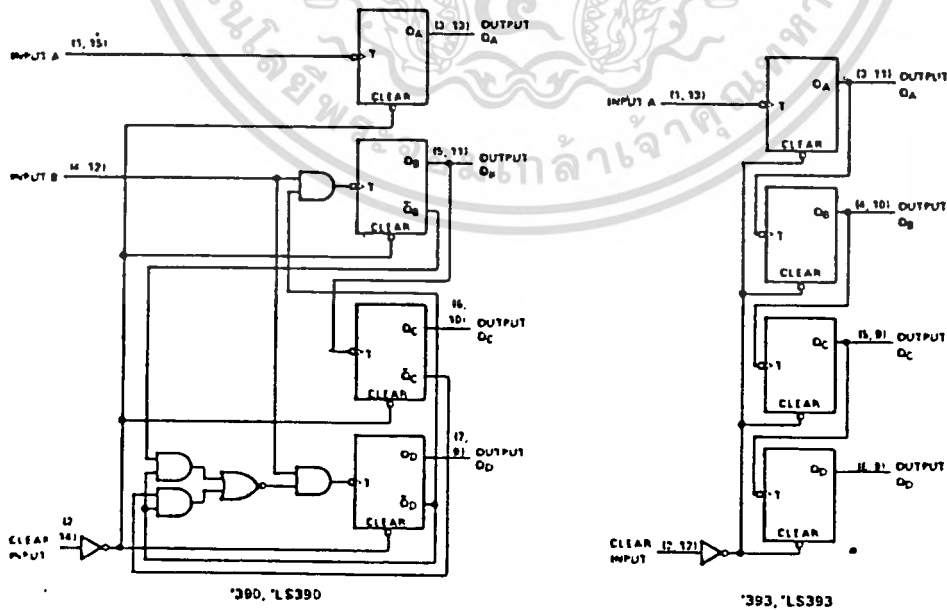
COUNT	OUTPUT			
	Q _A	Q _D	Q _C	Q _B
0	L	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	H	L	L	L
6	H	L	L	H
7	H	L	H	L
8	H	L	H	H
9	H	H	L	L

**'393, 'LS393
COUNT SEQUENCE
(EACH COUNTER)**

COUNT	OUTPUT			
	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A
0	L	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	L	H	L	H
6	L	H	H	L
7	L	H	H	H
8	H	L	L	L
9	H	L	L	H
10	H	L	H	L
11	H	L	H	H
12	H	H	L	L
13	H	H	L	H
14	H	H	H	L
15	H	H	H	H

NOTES: A. Output Q_A is connected to Input B for BCD count.
B. Output Q_D is connected to Input A for bi-quinary count.
C. H = high level, L = low level.

functional block diagrams :



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPES SN54LS390, SN54LS393, SN74LS390, SN74LS393 DUAL 4-BIT DECADE AND BINARY COUNTERS

REVISED DECEMBER 1980

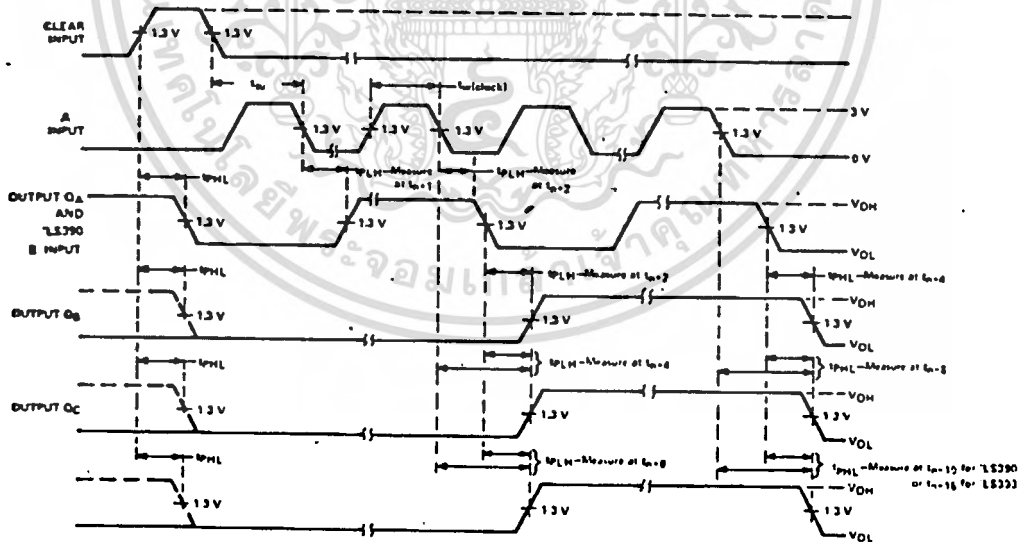
switching characteristics, $V_{CC} = 5V$, $T_A = 25^\circ C$

PARAMETER †	FROM (INPUT)	TO (OUTPUT)	TEST CONDITIONS	'LS390			'LS393			UNIT
				MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
f_{max}	A	Q_A	$C_L = 15 pF$, $R_L = 2 k\Omega$, See Note 4 and Figure 2	25	35		25	35		MHz
	B	Q_B		12.5	20					
t_{PLH}	A	Q_A		12	20		12	20		ns
t_{PHL}	A	Q_A		13	20		13	20		
t_{PLH}	A	Q_C of 'LS390		37	60		40	60		ns
t_{PHL}		Q_D of 'LS393		39	60		40	60		
t_{PLH}	B	Q_B		13	21					ns
t_{PHL}	B	Q_B		14	21					
t_{PLH}	B	Q_C		24	39					ns
t_{PHL}		Q_C		26	39					
t_{PLH}	B	Q_D	13	21					ns	
t_{PHL}		Q_D	14	21						
t_{PHL}	Clear	Any	24	39		24	39		ns	

† f_{max} = maximum count frequency
 t_{PLH} = propagation delay time, low-to-high-level output
 t_{PHL} = propagation delay time, high-to-low-level output

NOTE 4: Load circuit is shown on page 3-11.

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



VOLTAGE WAVEFORMS

NOTE A Input pulses are supplied by a generator having the following characteristics: $t_r \leq 15 ns$, $t_f \leq 6 ns$, PRR = 1 MHz, duty cycle = 50%, $Z_{out} = 50 ohms$.

TOSHIBA

8,192 WORD x 8 BIT UV ERASABLE AND ELECTRICALLY PROGRAMMABLE READ ONLY MEMORY

N-CHANNEL SILICON STACKED GATE MOS

TMM2764D
TMM2764D-2

DESCRIPTION

The TMM2764D is a 8192 word x 8 bit ultraviolet light erasable and electrically programmable read only memory. For read operation, the TMM2764D's access time is 200 ns, and the TMM2764D operates from a single 5-volt power supply and has low power standby mode which reduces the power dissipation without increasing access time. The standby mode is achieved by applying a TTL-high level signal to the CE input. The maximum active current is 120mA

and the maximum standby current is 35mA.

For program operation, the programming is achieved by applying a 50ms active TTL low program pulse to the PGM input, and it is possible to program sequentially individually, or at random.

The TMM2764D is fabricated with the N-channel silicon double layer gate MOS technology and is packaged in a standard 28 pin dual in line cerdip package.

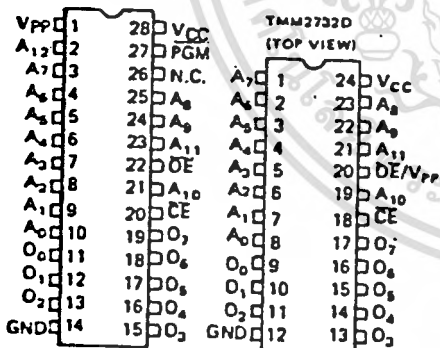
FEATURES

- Single 5-volt power supply
- Fast access time : TMM2764D 250 ns
TMM2764D-2 200 ns
- Power dissipation :
120 mA (active current) Max.
35 mA (standby current) Max.
- Low power standby mode : CE

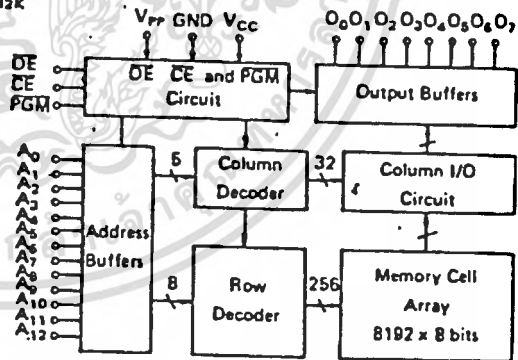
- Output buffer control : OE
- Fully static operation
- Programs with one 50 ms pulse
- Single location programming
- Three state outputs
- Inputs and outputs TTL compatible
- Pin compatible with i2764 and ROM TMM2364P

PIN CONNECTION

(TOP VIEW) Lower 24 pins compatible with 32K bit EPROM TMM2732D



BLOCK DIAGRAM



PIN NAMES

A ₀ - A ₁₂	Address Inputs
O ₀ - O ₇	Outputs (Inputs).
CE	Chip Enable Input
OE	Output Enable Input
PGM	Program Control Input
N.C.	No Connection
V _{PP}	Program Supply Voltage
V _{CC}	V _{CC} Supply Voltage (+5V)
GND	Ground

MODE SELECTION

Mode	Pin	PGM (27)	CE (20)	OE (22)	V _{PP} (11)	V _{CC} (28)	O ₀ - O ₇ (11-13, 15-19)	Power
Read		H	L	L		5V	Data Out	
Output Deselect		.	.	H		5V	High Impedance	Active
Standby		.	H	.	5V	5V	High Impedance	Standby
Program		L	L	.		5V	Data in	
Program Inhibit		.	H	.		5V	High Impedance	Active
		H	L	H	21V	5V	High Impedance	
Program Verify		H	L	L		5V	Data Out	

Note: .: H or L

MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	ITEM	RATING	UNIT
V_{CC}	V_{CC} Power Supply Voltage	-0.6 ~ 7.0	V
V_{PP}	Program Supply Voltage	-0.6 ~ 22.0	V
V_{IN}	Input Voltage	-0.6 ~ 7.0	V
V_{OUT}	Output Voltage	-0.6 ~ 7.0	V
P_D	Power Dissipation	1.5	W
T_{SOLDER}	Soldering Temperature - Time	260 · 10	°C · sec
$T_{STAG.}$	Storage Temperature	-65 ~ 125	°C
$T_{OPR.}$	Operating Temperature	0 ~ 70	°C

READ OPERATION

D.C. RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
V_{IH}	Input High Voltage	2.0	-	$V_{CC} + 1.0$	V
V_{IL}	Input Low Voltage	-0.3	-	0.8	V
V_{CC}	V_{CC} Power Supply Voltage	4.75	-	5.25	V
V_{PP}	V_{PP} Power Supply Voltage	2.0	V_{CC}	$V_{CC} + 0.6$	V

D.C. and OPERATING CHARACTERISTICS

(Ta = 0 ~ 70°C, VCC = 5V ± 5% Unless otherwise noted)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I_{LI}	Input Current	$V_{IN} = 0 \sim V_{CC}$	-	-	± 10	μA
I_{CC1}	Supply Current (Standby)	$CE = V_{IH}$	-	-	35	mA
I_{CC3}	Supply Current (Active)	$CE = V_{IL}$	-	-	120	mA
V_{OH}	Output High Voltage	$I_{OH} = -400\mu A$	2.4	-	-	V
V_{OL}	Output Low Voltage	$I_{OL} = 2.1mA$	-	-	0.4	V
I_{PP1}	V_{PP} Current	$V_{PP} = 0 \sim V_{CC} + 0.6$	-	-	± 10	μA
I_{LO}	Output Leakage Current	$V_{OUT} = 0.4 \sim V_{CC}$	-	-	± 10	μA

A.C. CHARACTERISTICS

($T_a = 0 \sim 70^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 5V \pm 5\%$, $V_{PP} = 2.0V \sim V_{CC} + 0.6V$, Unless otherwise noted)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TMM2764D-2		TMM2764D		UNIT
			MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	
t_{ACC}	Address Access Time	$\overline{CE} = \overline{OE} = V_{IL}$, $\overline{PGM} = V_{IH}$	—	200	—	250	ns
t_{CE}	\overline{CE} to Output Valid	$\overline{OE} = V_{IL}$, $\overline{PGM} = V_{IH}$	—	200	—	250	ns
t_{OE}	\overline{OE} to Output Valid	$\overline{CE} = V_{IL}$, $\overline{PGM} = V_{IH}$	—	70	—	100	ns
t_{PGM}	\overline{PGM} to Output Valid	$\overline{OE} = \overline{CE} = V_{IL}$	—	70	—	100	ns
t_{DF1}	\overline{CE} to Output in High-Z	$\overline{OE} = V_{IL}$, $\overline{PGM} = V_{IH}$	0	60	0	90	ns
t_{DF2}	\overline{OE} to Output in High-Z	$\overline{CE} = V_{IL}$, $\overline{PGM} = V_{IH}$	0	60	0	90	ns
t_{DF3}	\overline{PGM} to Output in High-Z	$\overline{OE} = \overline{CE} = V_{IL}$	0	60	0	90	ns
t_{OH}	Output Data Hold Time	$\overline{CE} = \overline{OE} = V_{IL}$, $\overline{PGM} = V_{IH}$	0	—	—	—	ns

A.C. Test Conditions

- Output Load : 1 TTL Gate and $C_L = 100\text{pF}$
- Input Pulse Rise and Fall Times : 10ns Max.
- Input Pulse Levels : 0.8V to 2.2V
- Timing Measurement Reference Level : Inputs 1V and 2V, Outputs 0.8V and 2.0V

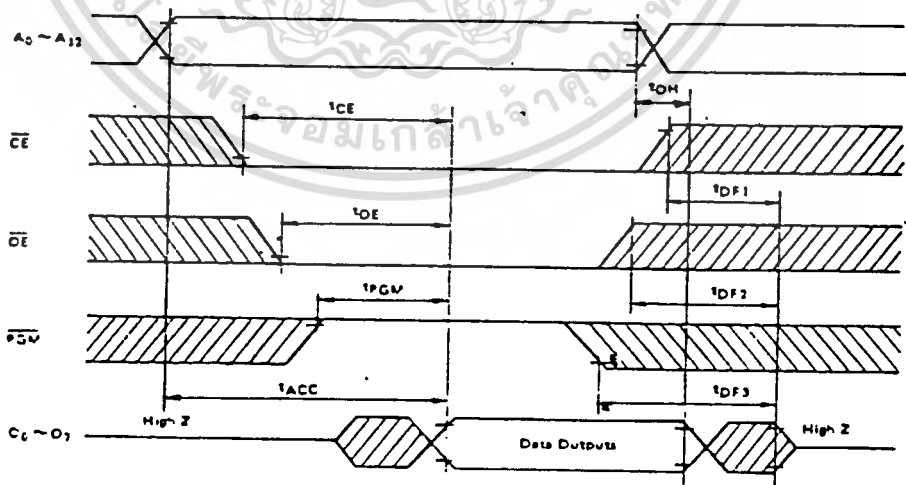
CAPACITANCE

($T_a = 25^\circ\text{C}$, $f = 1\text{MHz}$)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
C_{IN}	Input Capacitance	$V_{IN} = 0V$	—	4	6	pF
C_{OUT}	Output Capacitance	$V_{OUT} = 0V$	—	8	12	pF

• This parameter is periodically sampled and is not 100% tested.

TIMING WAVEFORMS (READ)



PROGRAM OPERATION

D.C. RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
V_{IH}	Input High Voltage	2.0	—	$V_{CC} + 1.0$	V
V_{IL}	Input Low Voltage	-0.3	—	0.8	V
V_{CC}	V_{CC} Power Supply Voltage	4.75	5.0	5.25	V
V_{PP}	V_{PP} Power Supply Voltage	20.5	21.0	21.5	V

D.C. and OPERATING CHARACTERISTICS $(T_a = 25 \pm 5^\circ\text{C}, V_{CC} = 5V \pm 5\%, V_{PP} = 21V \pm 0.5V)$

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I_{LI}	Input Current	$V_{IN} = 0 \sim V_{CC}$	—	—	± 10	μA
V_{OH}	Output High Voltage	$I_{OH} = -400\mu\text{A}$	2.4	—	—	V
V_{OL}	Output Low Voltage	$I_{OL} = 2.1\text{mA}$	—	—	0.4	V
I_{CC}	V_{CC} Supply Current	—	—	—	120	mA
I_{PP}	V_{PP} Supply Current	$V_{PP} = 21.5V$	—	—	30	mA

A.C. PROGRAMMING CHARACTERISTICS $(T_a = 25 \pm 5^\circ\text{C}, V_{CC} = 5V \pm 5\%, V_{PP} = 21V \pm 0.5V)$

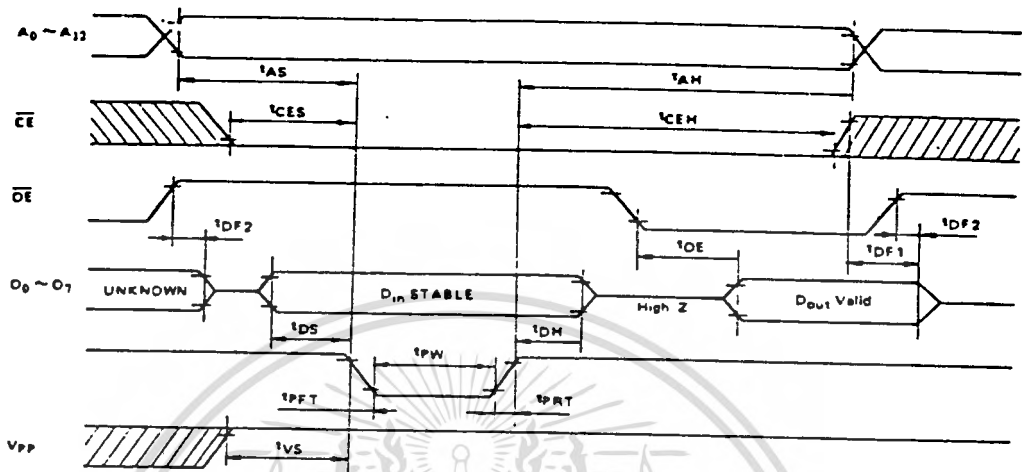
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
t_{AS}	Address Setup Time	—	2	—	—	μs
t_{AH}	Address Hold Time	—	2	—	—	μs
t_{CES}	CE Setup Time	—	2	—	—	μs
t_{CEH}	CE Hold Time	—	2	—	—	μs
t_{DS}	Data Setup Time	—	2	—	—	μs
t_{DH}	Data Hold Time	—	2	—	—	μs
t_{PS}	PGM Setup Time	—	2	—	—	μs
t_{PH}	PGM Hold Time	—	2	—	—	μs
t_{OES}	OE Setup Time	—	2	—	—	μs
t_{VS}	V_{PP} Setup Time	—	2	—	—	μs
t_{PW}	Program Pulse Width	$\overline{\text{PGM}} = \overline{\text{CE}} = V_{IL}$	45	50	55	ms
t_{CP}	Program Recovery Time	—	0	—	—	μs
t_{PFT}	Program Pulse Rise Time	—	5	—	—	ns
t_{PFT}	Program Pulse Fall Time	—	5	—	—	ns
t_{CE}	$\overline{\text{CE}}$ to Output Valid	—	—	—	250	ns
t_{OE}	$\overline{\text{OE}}$ to Output Valid	—	—	—	100	ns
t_{DF1}	$\overline{\text{CE}}$ to Output in High Z	$\overline{\text{OE}} = V_{IL}$	—	—	90	ns
t_{DF2}	$\overline{\text{OE}}$ to Output in High Z	$\overline{\text{CE}} = V_{IL}$	—	—	90	ns

A.C. Test Conditions

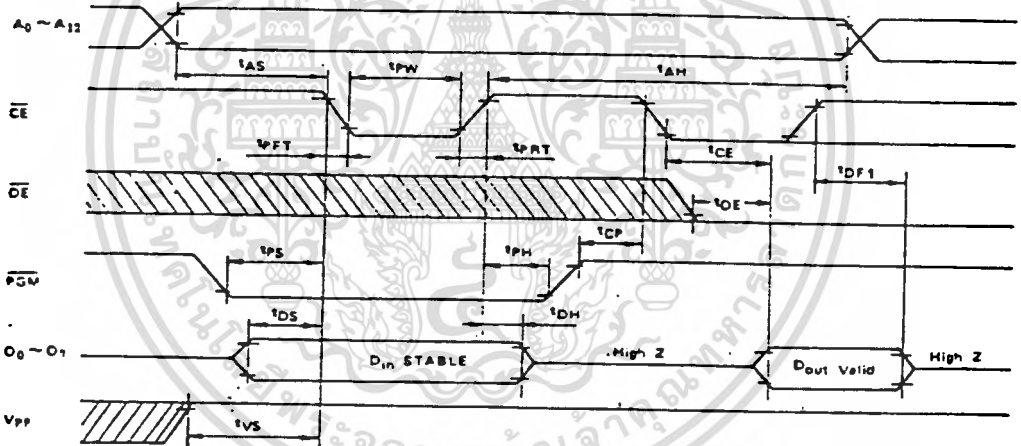
- Output Load : 1TTL Gate and C_L (100 pF)
- Input Pulse Rise and Fall Times : 10ns Max.
- Input Pulse Levels : 0.8 ~ 2.2V
- Timing Measurement Reference Level : Input 1V and 2V ; Output 0.5V and 2.0V

TIMING WAVEFORMS (PROGRAM)

PROGRAM OPERATION 1. ($V_{pp} = 21V \pm 0.5V$)



PROGRAM OPERATION 2. ($V_{pp} = 21V \pm 0.5V$)



- Note
1. V_{CC} must be applied simultaneously or before V_{pp} and cut off simultaneously or after V_{pp} .
 2. Removing the device from socket and setting the device in socket with $V_{pp} = 21V$ may cause permanent damage to the device.
 3. The V_{pp} supply voltage is permitted up to 22V for program operation, so the voltage over 22V should not be applied to the V_{pp} terminal.
When the switching pulse voltage is applied to the V_{pp} terminal, the overshoot voltage of its pulse should not be exceeded 22V.

ERASURE CHARACTERISTICS

The TMM2764D's erasure is achieved by applying shortwave ultraviolet light which has a wavelength of 2537Å (Angstroms) to the chip through the transparent window. Then integrated dose (Ultraviolet light intensity [W/cm^2] x exposure time [sec.]) for erasure should be a minimum of 15 [$\text{W. sec}/\text{cm}^2$].

When the Toshiba sterilizing lamp GL-15 is used and the device is exposed at a distance of 1 cm from the lamp surface, the erasure will be achieved within 60 minutes. And using commercial lamps whose ultraviolet light intensity is a 12000 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$] will

reduce the exposure time to about 20 minutes. (In this case, the integrated dose is 12000 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$] x (20 x 60) [sec] \approx 15 [$\text{W. sec}/\text{cm}^2$].)

The TMM2764D's erasure begins to occur when exposed to light with wavelength shorter than 4000 Å. The sunlight and the fluorescent lamps will include 3000 ~ 4000 Å wavelength components. Therefore when used under such lighting for extended periods of time, the opaque seals - Toshiba EPROM Protect Seal AC901 - are available.

OPERATION INFORMATION

The TMM2764D's six operation modes are listed in the following table. Mode selection can be achieved by applying TTL level signal to all inputs. In the read

operation mode, a single 5V power supply is required and the levels required for all inputs are TTL.

		PGM (27)	$\overline{\text{CE}}$ (20)	$\overline{\text{OE}}$ (22)	V_{PP} (1)	V_{CC} (28)	$O_0 \sim O_7$ (11 ~ 13, 15 ~ 19)	Power
READ OPERATION ($T_a = 0 \sim 70^\circ\text{C}$)	Read	H	L	L	5V	5V	Data Out	Active
	Output Deselect	•	•	H			High Impedance	Active
	Standby	•	H	•			High Impedance	Standby
PROGRAM OPERATION ($T_a = 25 \pm 5^\circ\text{C}$)	Program	L	L	•	21V	5V	Data In	Active
	Program	•	H	•			High Impedance	Active
	Inhibit	H	L	H			High Impedance	Active
	Program Verify	H	L	L			Data Out	Active

Note: H, V_{IH} ; L, V_{IL} . •: V_{IH} or V_{IL}

READ MODE

The TMM2764D has three control functions. The chip enable ($\overline{\text{CE}}$) controls the operation power and should be used for device selection.

The output enable ($\overline{\text{OE}}$) and the program control (PGM) control the output buffers, independent of device selection.

Assuming that $\overline{\text{CE}} = \overline{\text{OE}} = V_{IL}$ and $\overline{\text{PGM}} = V_{IH}$, the output data is valid at the outputs after address access time from stabilizing of all addresses.

The $\overline{\text{CE}}$ to output valid (t_{CE}) is equal to the address access time (t_{ACC}).

Assuming that $\overline{\text{CE}} = V_{IL}$, $\overline{\text{PGM}} = V_{IH}$ and all addresses are valid, the output data is valid at the outputs after t_{OE} from the falling edge of $\overline{\text{OE}}$.

And assuming that $\overline{\text{CE}} = \overline{\text{OE}} = V_{IL}$ and all addresses are valid, the output data is valid at the outputs after t_{PGM} from the rising edge of $\overline{\text{PGM}}$.

OUTPUT DESELECT MODE

Assuming that $\overline{CE} = V_{IH}$ or $\overline{OE} = V_{IH}$, the outputs will be in a high impedance state. So two or more TMM2764D can be connected together on a common

bus line. When \overline{CE} is decoded for device selection, all deselected devices are in low power standby mode.

STANDBY MODE

The TMM2764D has a low power standby mode controlled by the \overline{CE} signal. By applying a TTL high level to the \overline{CE} input, the TMM2764D is placed in the standby mode which reduce the operating current

from 120mA to 35mA, and then the outputs are in a high impedance state, independent of the \overline{OE} and the PGM inputs.

PROGRAM MODE

Initially, when received by customers, all bits of the TMM2764D are in the "1" state which is erased state.

Therefore the program operation is to introduce "0s" data into the desired bit locations by electrically programming.

The TMM2764D is set up in the program operation mode when applied the program voltage (+21V) to the V_{PP} terminal under $\overline{CE} = \overline{PGM} = \overline{OE} = V_{IH}$.

The program operation occurs during the overlap of the \overline{CE} low and the \overline{PGM} low. Then the programming is achieved by applying a 50ms (t_{PW}) active low

program pulse to the \overline{CE} or the \overline{PGM} input after the addresses and data are stable.

This program pulse should be a single pulse with 50ms pulse width per address word, and its maximum value is 55ms.

The levels required for all inputs are TTL.

The TMM2764D can be programmed any location at anytime — either individually, sequentially, or at random.

The TMM2764D should not be programmed with D.C. signal applied to both \overline{CE} and \overline{PGM} inputs.

PROGRAM VERIFY MODE

The verify mode is to check that the desired data is correctly programmed on the programmed bits.

The verify is accomplished with \overline{OE} and \overline{CE} at V_{IL} and \overline{PGM} at V_{IH} .

PROGRAM INHIBIT MODE

Under the condition that the program voltage (+21V) is applied to V_{PP} terminal, a high level \overline{CE} or \overline{PGM} input inhibits the TMM2764D from being programmed. Programming of two or more TMM2764Ds in parallel with different data is easily accomplished.

That is, all inputs except for \overline{CE} or \overline{PGM} may be commonly connected, and a TTL low level program pulse is applied to the \overline{CE} and \overline{PGM} of the desired device only and TTL high level signal is applied to the other devices.

ภาคผนวก 5

โปรแกรมแสดงตำแหน่งข้อมูล ข้อมูล(ความเร็ว) ความถี่

```

1000          0 3 EN10 FOR J=997 TO 10000
1010 V=(10000000)*.014242*14)/J
1020 LPRINT J,;GOSUB 1000;:PRINT TAB(30);V,V/.014242/1000
1030 NEXT
1040 A=1/4096:LPRINT INT(A);
1050 B=(A-INT(A))*4096/256 :X=INT(B)
1060 GOSUB 2000
1070 C=(B-INT(B))*256/16 :X=INT(C)
1080 GOSUB 3000
1090 D=(C-INT(C))*16/4 :X=INT(D)
1100 GOSUB 4000
1110 RETURN
2000 IF X=10 THEN LPRINT "A";:RETURN
2010 IF X=11 THEN LPRINT "B";:RETURN
2020 IF X=12 THEN LPRINT "C";:RETURN
2030 IF X=13 THEN LPRINT "D";:RETURN
2040 IF X=14 THEN LPRINT "E";:RETURN
2050 IF X=15 THEN LPRINT "F";:RETURN
2060 LPRINT X;:RETURN

```

997	0	3	E	5	999.9398	70.21063
998	0	3	E	6	998.9379	70.14028
999	0	3	E	7	997.9379	70.07007
1000	0	3	E	8	996.94	70
1001	0	3	E	9	995.944	69.93007
1002	0	3	E	A	994.9501	69.86028
1003	0	3	E	R	993.9581	69.79063
1004	0	3	E	T	992.9681	69.72111
1005	0	3	E	D	991.9801	69.65175
1006	0	3	E	E	990.994	69.5825
1007	0	3	E	F	990.0099	69.51341
1008	0	3	F	0	989.0278	69.44445
1009	0	3	F	1	988.0476	69.37562
1010	0	3	F	2	987.0693	69.30693
1011	0	3	F	3	986.0929	69.23838
1012	0	3	F	4	985.1186	69.16996
1013	0	3	F	5	984.1461	69.10168
1014	0	3	F	6	983.1756	69.03353
1015	0	3	F	7	982.2069	68.96551
1016	0	3	F	8	981.2402	68.89765
1017	0	3	F	9	980.2753	68.82989

2983	0 BA 7	334.2072	23.46961
2984	0 BA 8	334.0752	23.46174
2985	0 BA 9	333.9833	23.45388
2986	0 BAA	333.8714	23.44603
2987	0 BAB	333.7596	23.43817
2988	0 BAC	333.6479	23.43033
2989	0 BAD	333.5363	23.42249
2990	0 BAE	333.4248	23.41466
2991	0 BAF	333.3133	23.40683
2992	0 BB 0	333.2019	23.39901
2993	0 BB 1	333.0906	23.39119
2994	0 BB 2	332.9793	23.38338
2995	0 BB 3	332.8681	23.37557
2996	0 BB 4	332.757	23.36777
2997	0 BB 5	332.646	23.35997
2998	0 BB 6	332.535	23.35218
2999	0 BB 7	332.4241	23.34439
3000	0 BB 8	332.3133	23.33661
3001	0 BB 9	332.2026	23.32884
3002	0 BEA	332.092	23.32106
3003	0 BEB	331.9814	23.3133
3004	0 BEC	331.8709	23.30554
3005	0 BED	331.7604	23.29778
3006	0 BEE	331.65	23.29003
3007	0 BEF	331.5397	23.28229
3008	0 BC 0	331.4295	23.27455
3009	0 BC 1	331.3194	23.26681
3010	0 BC 2	331.2093	23.25908
3011	0 BC 3	331.0993	23.25136
3012	0 BC 4	330.9894	23.24364
3013	0 BC 5	330.8795	23.23592
3014	0 BC 6	330.7698	23.22821
3015	0 BC 7	330.66	23.22051
3016	0 BC 8	330.5504	23.21281
3017	0 BC 9	330.4408	23.20511
3018	0 BCB	330.3314	23.19743
3019	0 BCB	330.2219	23.18974
3020	0 BCC	330.1126	23.18206
3021	0 BCD	330.0033	23.17439
3022	0 BCE	329.8941	23.16672
3023	0 BCF	329.785	23.15906
3024	0 BD 0	329.6759	23.1514
3025	0 BD 1	329.567	23.14375
3026	0 BD 2	329.4581	23.1361
3027	0 BD 3	329.3492	23.12845
3028	0 BD 4	329.2404	23.12082
3029	0 BD 5	329.1317	23.11318
3030	0 BD 6	329.0231	23.10556
3031	0 BD 7	328.9146	23.09793
3032	0 BD 8	328.8061	23.09031
3033	0 BD 9	328.6977	23.0827
3034	0 BDB	328.5893	23.07509

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก 6

ภาคผนวก 6.1

ตัวอย่างข้อมูลใน IC 18 TMM2764D

แสดงหลักหน่วยและทศนิยมตำแหน่งที่ 1

<M>=D800.D828.000

0000	00	EE	EE	EE	0BA0	49	48	47	46
0004	EE	EE	EE	EE	0BA4	45	44	43	42
0008	EE	EE	EE	EE	0BA8	40	39	38	37
000C	EE	EE	EE	EE	0BAC	36	35	34	33
0010	EE	EE	EE	EE	0BB0	32	30	29	28
0014	EE	EE	EE	EE	0BB4	27	26	25	24
0018	EE	EE	EE	EE	0BB8	23	22	20	19
001C	EE	EE	EE	EE	0BBC	18	17	16	15
0020	EE	EE	EE	EE	0BC0	14	13	12	10
0024	EE	EE	EE	EE	0BC4	09	08	07	06
0028	EE				0BC8	05			

<M>=E3A0.E3C8.BA0

<M>=DBE0.DC08.3E0

03E0	EE	EE	EE	EE	1FD7	23	22	22	22
03E4	EE	99	89	79	1FDB	22	22	22	22
03E8	69	59	49	39	1FDF	21	21	21	21
03EC	29	19	09	00	1FE3	21	21	20	20
03F0	90	80	70	60	1FE7	20	20	20	20
03F4	51	41	31	22	1FEB	20	19	19	19
03F8	12	02	93	83	1FEF	19	19	19	19
03FC	73	64	54	45	1FF3	18	18	18	18
0400	35	26	16	07	1FF7	18	18	18	17
0404	97	88	79	69	1FFB	17	17	17	17
0408	60				1FFF	17			

<M>=F7D7.F7FF.1FD7

ภาคผนวก 6.2

ตัวอย่างข้อมูลใน IC 19 TMM2764D

แสดงหลักพันและหลักร้อย

<
 <M>=D800.D828.000 <M>=E3A0.E3C8.BA0

0000	00	EE	EE	EE	0EA0	33	33	33	33
0004	EE	EE	EE	EE	0EA4	33	33	33	33
0008	EE	EE	EE	EE	0EA8	33	33	33	33
000C	EE	EE	EE	EE	0EAC	33	33	33	33
0010	EE	EE	EE	EE	0EB0	33	33	33	33
0014	EE	EE	EE	EE	0EB4	33	33	33	33
0018	EE	EE	EE	EE	0EB8	33	33	33	33
001C	EE	EE	EE	EE	0EBC	33	33	33	33
0020	EE	EE	EE	EE	0EC0	33	33	33	33
0024	EE	EE	EE	EE	0EC4	33	33	33	33
0028	EE				0EC8	33			

<
 <M>=DBE0.DC08.3E0 <M>=F7D7.F7FF.1FD7

03E0	EE	EE	EE	EE	1FD7	12	12	12	12
03E4	EE	99	99	99	1FDB	12	12	12	12
03E8	99	99	99	99	1FDF	12	12	12	12
03EC	99	99	99	99	1FE3	12	12	12	12
03F0	98	98	98	98	1FE7	12	12	12	12
03F4	98	98	98	98	1FEB	12	12	12	12
03F8	98	98	97	97	1FEF	12	12	12	12
03FC	97	97	97	97	1FF3	12	12	12	12
0400	97	97	97	97	1FF7	12	12	12	12
0404	96	96	96	96	1FFB	12	12	12	12
0408	96				1FFF	12			

เอกสารอ้างอิง

1. Seidman, A.R. : Integrated circuit applications handbook , John Wiley and Sons , 1983
2. Stolnik, M.I. : Radar handbook , McGraw-Hill book company , NEW YORK , 1970.
3. Elliot, R.S. : Antenna Theory and Design , Prentice-Hall , NEW JERSEY, 1981.
4. Blake, L.V. : Antennas , John Wiley and Sons , NEW YORK , 1966.
5. Richardson, R.M. : The Gunnplexer cookbook , H.R.P.Group , NEW YORK , 1981.
6. Rodger, A.L. : Surveillance and target acquisition system , Brassey D.P. 1983.
7. Lance, A.L. : Introduction to Microwave Theory and Measurements , McGraw Hill I.E.S., NEW YORK , 1964.
8. Bao-Yen Tsui, J. : Microwave Receiver with Electronic warfare application , John Wiley and Sons , NEW YORK , 1986.
9. The TTL databook , 2nd Edition , Texas instrument incorporated , TEXAS , 1981.
10. Linear databook , National semiconductor corporation , CALIFORNIA , 1982.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

กราบขอพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ที่ได้สร้างเจตนารมณ์และกำลังใจ รวมถึง ครู อาจารย์
ที่ได้ประสทาวิชา

ขอขอบคุณ ผู้ที่ตระหนักเห็นความสำคัญและสนับสนุนงานวิจัยนี้จากกองทัพภาค และ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ พระจอมเกล้า ลาดกระบัง คือ

พลตรี	ไพบุลย์	เอมพันธ์
รศ.ดร.	นิรศักดิ์	วรสนทโรสถ
พันเอก	ศักดิ์สิทธิ์	พลพันธ์
พันเอก	นิคม	อดิสาณท์
พันเอก	สงคราม	เอมพันธ์
พันเอก	เข้ม	กรมสุวิทย์ศักดิ์
พันเอก	สำเนียง	เสลาหอม
ดร.	ดาเนียร	บริน
อ.	สมผล	โกศลวิตร
อ.	ทองทศ	วานิชศรี
อ.	ชัยชา	ตันติสุขารมย์

และเจ้าหน้าที่ที่ช่วยเหลืร่วมมือและประสานงานทั้งเบื้องหน้าและเบื้องหลัง
ขอบคุณ คุณวราภิกา ฉัตรอุทัย ที่ได้ช่วยพิมพ์ และขอบคุณกำลังใจจากคุณเมธวี ไต่ะสวัสดิสุข