

การออกแบบสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์
ON DESIGN OF ELECTROCARDIOGRAPH WAVEFORM
BY MATHEMATICAL EQUATIONS



T 0 8 6 8 7 1

นาย ธานี พงษ์หัตถาศิลป์
นาย สามารถ แสงทอง
นาย สุชาติ อ่อนเรียบร้อย

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... 86871
วัน,เดือน,ปี... 1.6.พ.ศ. 2552

b. 10893878
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2541

หัวข้อปริญญาโท การออกแบบสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์
On design of electrocardiograph waveform by mathematical equations

ชื่อนักศึกษา นาย ธนัน พงษ์หัตถาศิลป์

นาย สามารถ แสงทอง

นาย สุชาติ อ่อนเรียบร้อย

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.กนก เจนจิระพงศ์เวช

ภาควิชา เทคนิคอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2541

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
นับปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญาโท

.....ประธานกรรมการ

()

.....กรรมการ

()

.....กรรมการ

()

.....กรรมการ

()

.....กรรมการ

()

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์

โดย	นาย ธนัน	พงษ์หัตถาศิลป์
	นาย สามารถ	แสงทอง
	นาย สุชาติ	อ่อนเรียบริ้อย
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.กนก	เจนจิระพงศ์เวช
ปีการศึกษา	2541	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอวิธีการออกแบบสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ โดยได้จำลองสัญญาณนี้จากสัญญาณจริงในช่วงจังหวะการเต้นของหัวใจ ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณ 3 ส่วน คือ สัญญาณ P สัญญาณรวม QRS และสัญญาณ T ด้วยฟังก์ชันเกาส์เซียน และ ฟังก์ชัน ดิฟเฟอเรนเชียล ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมหลายประการโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของคลื่นไฟฟ้าหัวใจจริงรูปแบบที่ได้จากการจำลองนี้สามารถสังเกตได้จริงโดยใช้ DSP จากการทดลองให้ลักษณะของสัญญาณที่ใกล้เคียง

**ON DESIGN OF ELECTROCARDIOGRAPH WAVEFORM
BY MATHEMATICAL EQUATIONS**

By	Mr. Thanan Ponghuttasilp
	Mr. Sarmart Sangthong
	Mr. Suchart Onriabroy
Advisor	Associate.Prof.Dr.Kanok Janchitrapongvej
Year	1998

ABSTRACT

This project describes the method of design an electrocardiograph waveform by mathematical equations. The actual electrocardiograph (hereinafter called ECG) signal is modeled for an instantenous of ECG time. The normal cycle for one heartbeat consists of a P wave , QRS complex and T wave. The representation of the read ECG waveforms are derived by the use of the basic Gaussian function and Differential function. Therefore this mathematical model is easily simulated and its has the waveshape close to the actual ECG waveform. Herein, the experimental ECG waveform can be observed by of digital signal processing board (DSP).

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ก็เนื่องจากได้รับคำแนะนำ และการช่วยเหลือ ด้านข้อมูลต่าง ๆ เป็นอย่างดียิ่งจาก รศ.ดร.กนก เจนจิระพงศ์เวช อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ให้คำแนะนำปรึกษา และ ขอบขอบพระคุณคณาจารย์ทุก ๆ ท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาโดยเฉพาะอย่างยิ่ง คณาจารย์ในภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรมทุกท่าน จึงขอบขอบพระคุณไว้ ณ . ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา เป็นอย่างสูงที่ให้การสนับสนุนด้านทุนทรัพย์และให้กำลังใจที่ตีเสมอมาในทุกๆเรื่อง



นาย ธนัน

นาย สามารถ

นาย สุชาติ

พงษ์หัตถาศิลป์

แสงทอง

อ่อนเรียบร้อย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	A
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	B
กิตติกรรมประกาศ	C
บทที่ 1 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าในร่างกาย	1
1.1 ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของเซลล์	1
1.2 การทำงานของหัวใจ	5
1.3 ระบบนำไฟฟ้าของหัวใจ	6
1.4 สัญญาณไฟฟ้าหัวใจ	7
บทที่ 2 การสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	16
2.1 รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	16
2.2 ช่วงเวลาของสัญญาณ P	18
2.3 ช่วงเวลาของสัญญาณ T	18
2.4 ช่วงเวลาของสัญญาณ QRS	19
2.5 สัญญาณที่ได้จากรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่จำลองขึ้น	19
2.6 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณสัมประสิทธิ์ของสัญญาณ P	21
2.7 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณสัมประสิทธิ์ของสัญญาณ QRS	27
2.8 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณสัมประสิทธิ์ของสัญญาณ T	38
บทที่ 3 การจำลองสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจด้วยโปรแกรม MATLAB	46
3.1 โปรแกรมจำลองคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ได้จากการสุ่ม	46
3.2 โปรแกรมจำลองคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ได้จากรูปแบบทางคณิตศาสตร์	48
3.3 โปรแกรมที่ใช้ในการแปลงรูปสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เป็นข้อมูลที่ใช้กับ TMS 320 C5X	50
บทที่ 4 การแสดงผลด้วยบอร์ด DSP	
4.1 บอร์ด DSP Starter Kit	51
4.2 ระบบที่ต้องการ	51
4.3 รายละเอียดของบอร์ด DSP	52
4.4 วงจรสมบูรณ	54
4.5 เกี่ยวกับชิพ TMS 320C26	55

4.6 การต่อใช้งานบอร์ด DSK	55
4.7 ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรม	56
4.8 ตัวแอสเซมเบลอร์	56
4.9 ดีบั๊กเกอร์	56
4.10 ติดตั้งซอฟต์แวร์	57
4.11 เริ่มต้นใช้งาน	57
4.12 โปรแกรมที่ใช้ในการแสดงรูปสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	58
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	85
บรรณานุกรม	H
ภาคผนวก	I



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
บทที่ 1	
รูปที่ 1.1	3
รูปที่ 1.2	4
รูปที่ 1.3	5
รูปที่ 1.4	6
รูปที่ 1.5	7
รูปที่ 1.6	8
รูปที่ 1.7	9
รูปที่ 1.8	10
รูปที่ 1.9(ก)	12
รูปที่ 1.9(ข)	12
รูปที่ 1.9(ค)	13
รูปที่ 1.9(ง)	13

รูปที่ 1.9(จ)	เมื่อหัวใจทั้งหมดเกิดรีโพลทาไรเซชันแล้วจะ ไม่มีการกระทำทางไฟฟ้า เกิดขึ้นชั่วขณะหนึ่งในช่วงเวลา ST แล้ว รีโพลทาไรเซชันก็จะเริ่มเกิดขึ้น จากผนังด้านในสู่ผนังด้านนอกของกล้ามเนื้อหัวใจทำให้เกิดไฟฟ้าที่ส ลดลงเฉียงไปทางซ้ายเป็นเหตุให้เข็มของเครื่องบันทึกเบี่ยงเบนขึ้นบน ทั้งใน lead I และ aVF ได้คลื่น T ต่อมาจะมีการกระทำทางไฟฟ้าเกิดขึ้น ได้เป็นเส้นตรงในการบันทึกคลื่นจนกว่าจะเกิดอิมพัลส์ที่ SA node อีกครั้ง	14
รูปที่ 1.9(ฉ)	การกระทำทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทั้งหมด	15
บทที่ 2		
รูปที่ 2.1	ลักษณะส่วนต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	17
รูปที่ 2.2	ลักษณะของฟังก์ชันเกาส์เซียน	17
บทที่ 3		
รูปที่ 3.1	สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ได้จากการสุ่ม	47
รูปที่ 3.2	สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ได้จากรูปแบบทางคณิตศาสตร์	49
บทที่ 4		
รูปที่ 4.1	ทั้งหมดที่เห็นในภาพคือสิ่งที่มีทั้งหมดในชุด TMS 320C26 DSP Starter Kit	51
รูปที่ 4.2	หน้าตาและขนาดของบอร์ด DSP	52
รูปที่ 4.3	วงจรสมบูรณของบอร์ด DSP	53
รูปที่ 4.4	การต่อใช้งานบอร์ด DSP	54
รูปที่ 4.5	ขั้นตอนการพัฒนาซอฟต์แวร์	56
รูปที่ 4.6	เมนูที่แสดงบนหน้าจอเมื่อใช้งานบอร์ด DSP	57
รูปที่ 4.7	รูปร่างสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ได้จากการสุ่ม	83
รูปที่ 4.8	รูปสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ได้จากรูปแบบทางคณิตศาสตร์	83
รูปที่ 4.9	รูปสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจริง	84

บทที่ 1

แหล่งกำเนิดไฟฟ้าในร่างกาย

(Sources of Bioelectric potentials)

ในปี พ.ศ. 2334 นักวิทยาศาสตร์ชาวอิตาลีชื่อ Luigi Galvani เป็นผู้ค้นพบว่ามีไฟฟ้าในร่างกาย โดยการทดลองใช้โลหะสองชนิดไปแตะกล้ามเนื้อขาของคน ทำให้กระดูกได้ และต่อมาในปีพ.ศ. 2430 นักฟิสิกส์ชาวเนเธอร์แลนด์ชื่อ William Einthoven เป็นครั้งแรกที่แสดงว่ามีไฟฟ้าในหัวใจ

การวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจในสมัยก่อนทำได้ลำบากมาก เพราะการที่วงจรจะสามารถขยายได้จำเป็นต้องมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง การออกแบบวงจรโดยใช้หลอดสุญญากาศให้มีคุณสมบัติของวงจรตามที่กล่าวไว้ข้างต้นจึงทำได้ยากต่อมาเทคโนโลยีเจริญขึ้นเรื่อยๆ มีการนำเอาทรานซิสเตอร์ และ เฟท (field effect transistor) เข้ามาใช้ซึ่งทำให้การทำงานของวงจรมีขึ้นในปัจจุบันเทคโนโลยีทำให้เกิดวงจรไอซี (Integrated Circuit) ซึ่งมีขนาดเล็กมาก การทำงานของวงจรภายใน เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพอินพุตอิมพีแดนซ์สูงกว่าเดิมหลายร้อยเท่า แต่ความเจริญทางเทคโนโลยีนี้ต้องอาศัยการค้นคว้าทางด้านสรีรวิทยาค้ำย ดังนั้นเรื่องที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นเพียงการอธิบายเพื่อให้ทราบเป็นพื้นฐานของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าในร่างกายอย่างย่อ ๆ เท่านั้น

1.1 ปรัชญาการณไฟฟ้าของเซลล์

การทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกายของมนุษย์อยู่ภายใต้การควบคุมของระบบประสาท โดยคำสั่งจากระบบประสาทจะถูกส่งไปตามเส้นประสาทต่าง ๆ เข้าสู่เซลล์ของกล้ามเนื้อ หรือจากอวัยวะรับความรู้สึกซึ่งถูกกระตุ้นจากภายนอกผ่านเส้นประสาทกลับเข้าสู่ระบบประสาท การส่งข้อมูลของคำสั่งจากระบบประสาทไปยังกล้ามเนื้อหรือจากอวัยวะรับความรู้สึกกลับเข้าสู่ระบบประสาทนี้เป็นการส่งในรูปของสัญญาณไฟฟ้าและเคมี โดยข้อมูลที่ส่งผ่านเซลล์จะเป็นการส่งผ่านด้วยไฟฟ้า และที่จุดต่อระหว่างเซลล์จะเป็นการส่งผ่านแบบเคมี สัญญาณไฟฟ้าในการส่งผ่านข้อมูลนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงศักดาไฟฟ้าภายในเซลล์ ดังนั้นศักดาไฟฟ้าของสิ่งมีชีวิต (Bioelectric Potentials) จึงถือกำเนิดมาจากเซลล์ หรืออาจกล่าวได้ว่า เซลล์เป็นเสมือนจุดกำเนิดของศักดาไฟฟ้าทั้งหมดภายในร่างกาย

การเกิดศักดาไฟฟ้าขึ้นภายในเซลล์เนื่องจากบริเวณรอบ ๆ เซลล์ประกอบด้วยของเหลว ซึ่งมีไอออนต่าง ๆ ปะปนอยู่ ไอออนที่มีบทบาทสำคัญต่อกลไกการเกิดศักดาในเซลล์ ก็คือ โซเดียมไอออน (Na^+) โพแทสเซียมไอออน (K^+) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) โดยแต่ละเซลล์จะมีผนังเซลล์หรือเซลล์เมมเบรน (Cell Membrane) ซึ่งมีคุณสมบัติต่อไอออนเป็นแบบ Semipermeable คือ จะยอมให้อนุภาคหรือไอออนบางชนิดผ่านผนังเซลล์ได้ ในขณะที่ไอออนอีกส่วนหนึ่งไม่สามารถผ่านไปได้ โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติแล้วผนังเซลล์จะยอมให้เฉพาะโปรตีนไอออนและคลอไรด์ไอออนผ่านไปได้ ส่วนโซเดียมไอออนจะไม่สามารถผ่านผนังเซลล์ได้

เมื่อความเข้มข้นของไอออนที่รอยต่อของผนังเซลล์เกิดความลาดเอียงของความเข้มข้น (Concentration gradient) คือ ไอออนบริเวณด้านใดด้านหนึ่งของผนังเซลล์มีความเข้มข้นมากกว่าอีกด้านหนึ่งก็จะมีการแพร่ของไอออนจากด้านที่มีความเข้มข้นมากกว่าไปยังด้านที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า เมื่อไอออนผ่านผนังเซลล์ไปแล้ว ก็จะทำให้เกิดความไม่สมดุลย์ของประจุไฟฟ้า เป็นผลให้เกิดสนามไฟฟ้าด้านการแพร่ของไอออน ทำให้ไอออนเคลื่อนผ่านผนังเซลล์ลดลง จนกระทั่งถึงสภาวะสมดุลย์ (Equilibrium) เมื่อแรงด้านการเคลื่อนที่ของไอออนเนื่องจากสนามไฟฟ้า และแรงที่เกิดจากความแตกต่างของปริมาณความเข้มข้นของไอออนมีค่าเท่ากัน ก็จะทำให้ไอออนหยุดการแพร่ผ่านผนังเซลล์

ในเซลล์ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม นั้น ปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนไอออนภายในเซลล์จะมีค่ามากกว่าความเข้มข้นของไอออนภายนอกเซลล์อยู่ประมาณ 30 เท่า และความเข้มข้นของโซเดียมไอออนภายนอกเซลล์ จะมีค่ามากกว่าความเข้มข้นภายในเซลล์อยู่ประมาณ 10 เท่า เนื่องจากคุณสมบัติของผนังเซลล์ที่ยอมให้โปรตีนไอออนผ่านไปได้ จึงทำให้เกิดการแพร่ของโปรตีนไอออนจากภายในออกสู่ภายนอกเซลล์ ส่วนคลอไรด์ไอออนจะมีอัตราการแพร่น้อยกว่าโปรตีนไอออน เนื่องจากแรงดึงดูดของประจุไฟฟ้าภายในเซลล์ ทำให้เกิดการสูญเสียประจุบวกขึ้นภายในเซลล์ เป็นผลให้ศักดาไฟฟ้าภายในเซลล์มีค่าเป็นลบ เมื่อเทียบกับภายนอกเซลล์ เมื่อสภาวะสมดุลย์มาถึงความต่างศักย์ระหว่างภายในเซลล์กับภายนอกเซลล์ มีค่าระหว่าง -50 มิลลิโวลต์ ถึง -100 มิลลิโวลต์ โดยขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์ ค่าของความต่างศักย์นี้ เรียกว่า ศักดาไฟฟ้าขณะอยู่นิ่ง (Resting Potential) ซึ่งศักดาไฟฟ้านี้จะมีค่าคงที่ที่อยู่เสมอตราบที่เซลล์นั้นยังไม่ถูกกระตุ้น เซลล์ที่อยู่ในขณะนี้เรียกว่า เซลล์อยู่ในสภาวะโพลาไรซ์ (polarized) และการสูญเสียสภาวะของศักดาไฟฟ้าขณะอยู่นิ่ง เรียกว่า ปรากฏการณ์นี้ว่า ดีโพลาไรซ์ (Depolarization) ที่สภาวะสมดุลย์นี้ ค่าของศักดาไฟฟ้าขณะอยู่นิ่งสามารถประมาณค่าได้ตามสมการของเนิร์สต์ (Nernst Equation) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความเข้มข้น ไอออนในแต่ละด้านของเซลล์ได้ดังนี้

$$E = (RT/ZF) \ln (C_0/C_1) \quad 1.1$$

โดยที่ E คือ ค่าความแตกต่างศักย์ของเซลล์ (หน่วยเป็นโวลต์)

R คือ ค่าที่ของแก๊ส (เท่ากับ 8.314 จูล / โมล - เคลวิน)

T คือ ค่าของอุณหภูมิสัมบูรณ์ (หน่วยเป็นองศาเคลวิน)

Z คือ ค่าวาเลนซ์ของไอออน

F คือ ค่าคงที่ของฟาราเดย์ (เท่ากับ 1 ฟาราเดย์ หรือ 96.500 คู

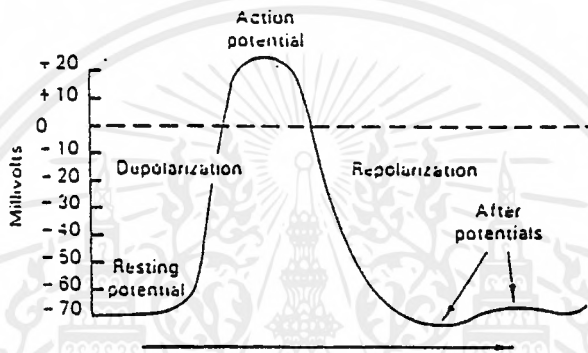
ลอมน์ / โมล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_0, C_1 คือค่าความเข้มข้นของไอออนภายนอกและภายในเซลล์ ตามลำดับ (หน่วยเป็นโมล)

เซลล์ที่อยู่ในสถานะโพลาไรซ์สามารถถูกกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าหลายประเภท ขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์นั้น เช่น ความร้อน แสง และรูปแบบอื่นๆ ซึ่งการกระตุ้นของสิ่งเร้าอย่างน้อยต้องมีแรงกระตุ้นเพียงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงศักย์ค่าไฟฟ้าภายในเซลล์ โดยไม่คำนึงถึงระยะเวลาของการกระตุ้นว่านานเพียงใด คุณสมบัติของเซลล์ในลักษณะนี้เป็นไปตามกฎการเกิดขึ้นหรือไม่เกิดขึ้น (All-or-Nothing Law) ค่าของแรงกระตุ้นน้อยที่สุดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ เรียกว่า ค่าวิกฤตของการกระตุ้น (Threshold Value)

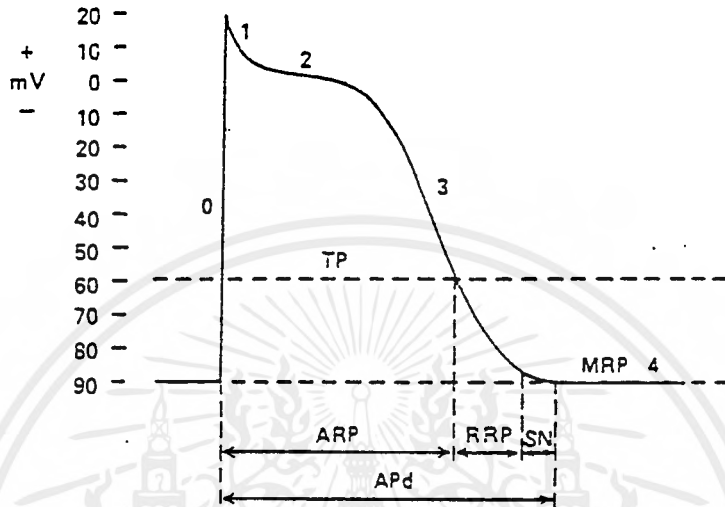


รูปที่ 1.1 ศักย์ไฟฟ้าทำงาน

เมื่อเซลล์ถูกกระตุ้น คุณสมบัติของผนังเซลล์จะเปลี่ยนแปลงไปชั่วขณะ โดยจะยอมให้โซเดียมไอออนผ่านเข้าภายในเซลล์อย่างรวดเร็ว ทำให้ความต่างศักย์ระหว่างภายในเซลล์กับภายนอกเซลล์มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าประมาณ +20 มิลลิโวลต์ ศักย์ไฟฟ้าขณะนี้ เรียกว่า ศักย์ทำงาน (Action Potential) และจะกลับคืนสู่ศักย์ไฟฟ้าขณะอยู่นิ่ง ดังรูปที่ 1.1 ขณะที่เกิดศักย์ไฟฟ้าทำงานนี้ เซลล์จะอยู่ในสภาวะดีโพลาไรซ์ (Depolarized) และการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าขณะอยู่นิ่ง ไปเป็นศักย์ไฟฟ้าทำงาน เรียกว่า ดีโพลาไรเซชัน (Depolarization) หลังจากนั้นคุณสมบัติของผนังเซลล์จะกลับคืนสู่สภาวะเดิม คือ ยอมให้โปรตีนโซเดียมไอออนก็จะถูกขบวนการที่เรียกว่า โซเดียมปั๊ม (Sodium Pump) นำออกจากเซลล์อย่างช้าๆ ซึ่งขบวนการนี้จะใช้พลังงานจากการสลายตัวของเซลล์ (Metabolism) เพื่อนำโซเดียมไอออนจากเซลล์ ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ก็จะคืนสู่ศักย์ไฟฟ้าขณะอยู่นิ่งตามเดิม ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า รีโพลาไรเซชัน (Repolarization) เซลล์ก็จะกลับสู่สภาวะปกติจนกว่าจะมีการกระตุ้นใหม่ ช่วงเวลาที่ศักย์ไฟฟ้าของเวลาเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าขณะอยู่นิ่ง ไปเป็นศักย์ไฟฟ้าทำงาน แล้วกลับมาสู่ศักย์ไฟฟ้าขณะอยู่นิ่งตามเดิมนั้นจะมีระยะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์ ดังรูปที่ 1.2 แสดงช่วงเวลาต่างๆ ของการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ตามเนื้อหัวใจเมื่อถูกกระตุ้น โดยที่แนวแกนตั้งเป็นขนาดของศักย์ไฟฟ้า และแกนนอนเป็นเวลาตัว

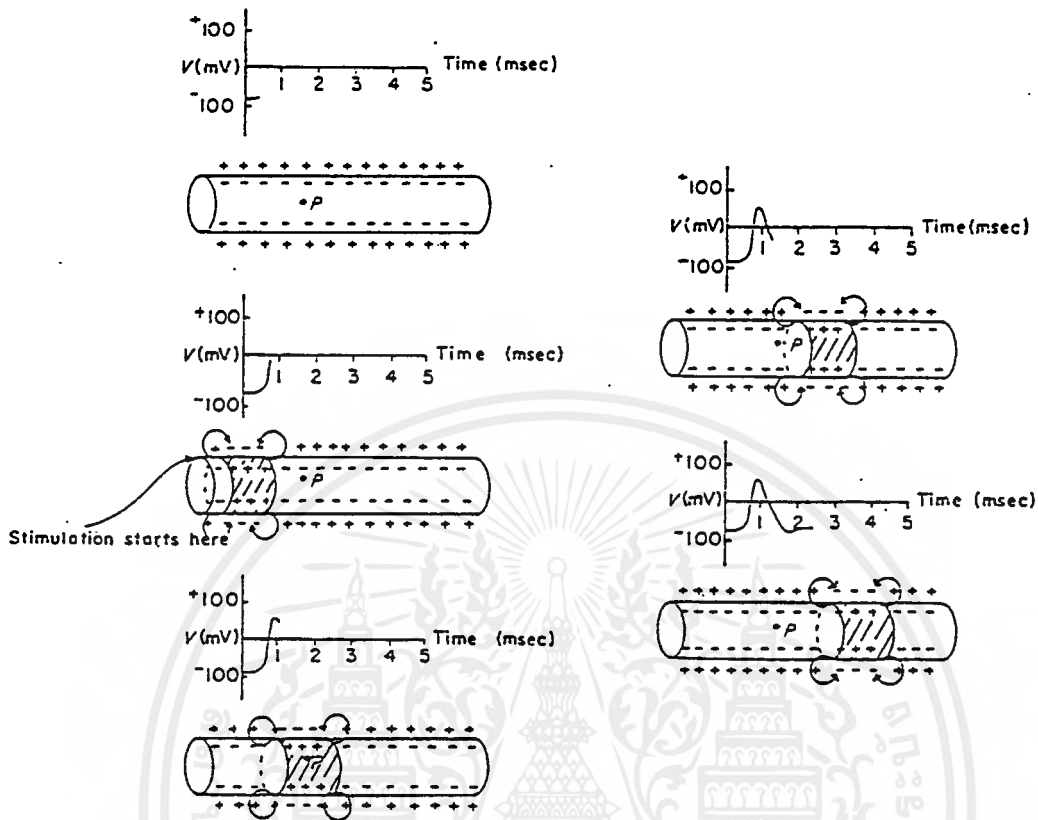
อักษรย่อต่าง ๆ ที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้นดังนี้ คือ 0 = Depolarization : การค่า
ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2, 3 = Phases of repolarization ; 4 = Diastolic phases = MRP ; MRP = Membrane Resting Potential ; Apd = Duration of action potential ; TP = Threshold Potential ; ARP = Absolute refractory period ; RRP = relative refractory period ; SN = Supernormal period.



รูปที่ 1.2 ช่วงเวลาต่างๆ ของการเปลี่ยนแปลงศักดาไฟฟ้าของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจเมื่อถูกกระตุ้น

ศักดาไฟฟ้าทำงานของเซลล์ที่ถูกกระตุ้น ทำให้เกิดความลาดเอียงของศักย์ไฟฟ้า (Potential gradient) เป็นผลให้เกิดกระแสไหลไปกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ อยู่ใกล้เคียง ซึ่งถ้าการกระตุ้นเป็นไปตามกฎการเกิดขึ้นและไม่เกิดขึ้นของเซลล์ ก็จะทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าทำงานต่อไปเรื่อย ๆ ลักษณะเช่นนี้เป็นการนำไฟฟ้าของศักดาไฟฟ้าทำงาน ดังรูป 1.3 ซึ่งแสดงการนำไฟฟ้าภายในเซลล์ประสาทและกราฟของศักดาไฟฟ้าที่จุด P ตามเวลาที่เกิดขึ้น ถ้าการนำไฟฟ้านี้เกิดขึ้นที่เซลล์ประสาท ศักดาไฟฟ้าทำงานของเซลล์ประสาท ก็คือ กำแพงของระบบประสาทต่อเซลล์กล้ามเนื้อ ซึ่งศักดาไฟฟ้าทำงานนี้จะส่งจากเซลล์ประสาทเซลล์หนึ่งไปยังเซลล์ที่อยู่ถัดไปเรื่อย ๆ ตามเส้นประสาทจนถึงเซลล์กล้ามเนื้อ ซึ่งเซลล์ของอวัยวะรับความรู้สึกถูกกระตุ้นจากพลังงานภายนอก จะเกิดไฟฟ้าทำงานขึ้น แล้วส่งผ่านเส้นประสาทกลับไปยังระบบประสาท



รูปที่ 1.3 การนำไฟฟ้าของศักดาไฟฟ้าทำงานภายในเซลล์

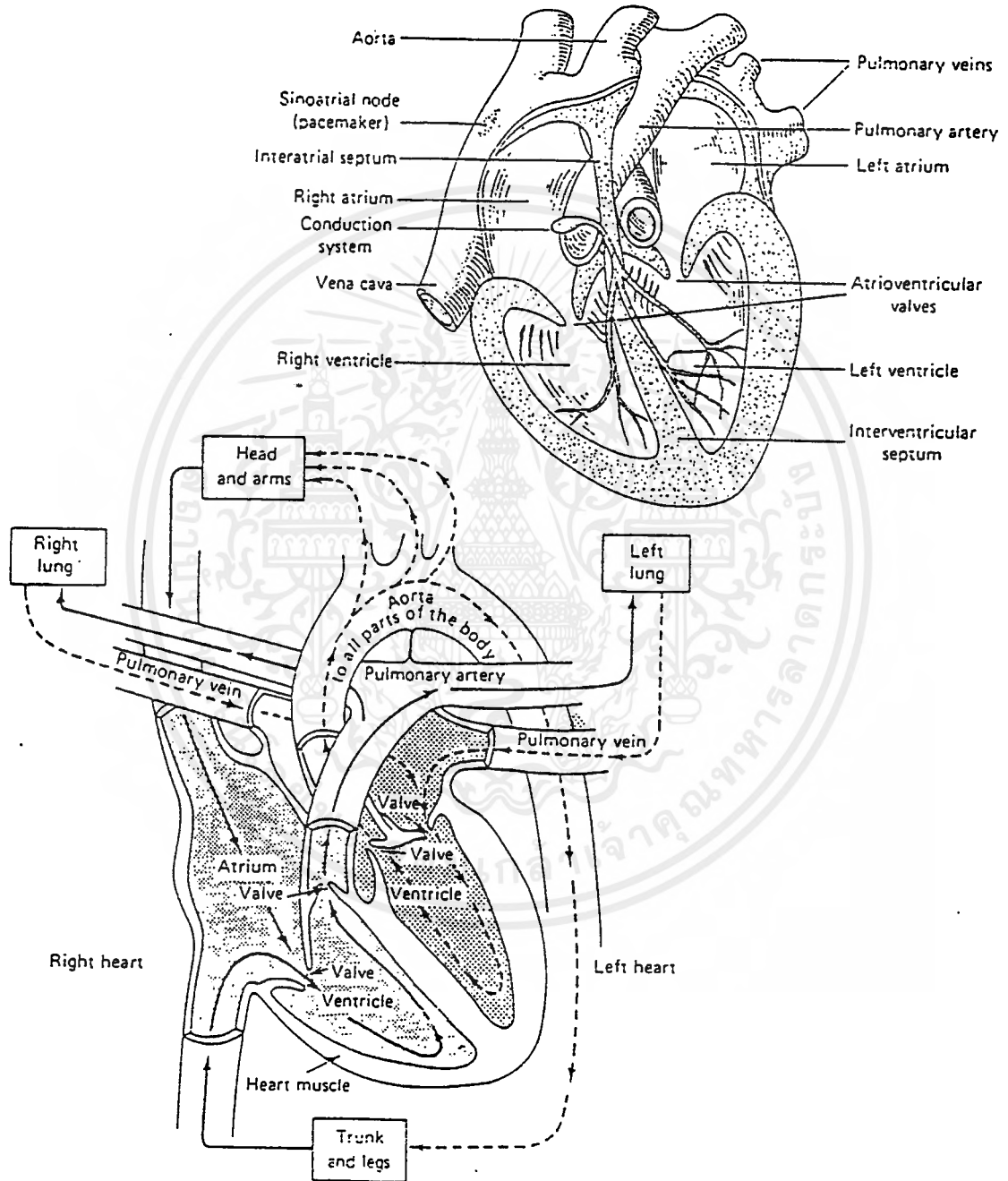
1.2 การทำงานของหัวใจ

หัวใจทำหน้าที่เสมือนลูกสูบที่จะสูบจ่ายโลหิตไปเลี้ยงเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกายรวมทั้งเซลล์ของกล้ามเนื้อหัวใจเอง หัวใจตั้งอยู่ในทรวงอกเหนือกระบังลมค่อนข้างมาทางด้านซ้าย ภายในหัวใจแบ่งเป็น 4 ห้องมีผนังกันระหว่างซีกซ้ายและซีกขวา เรียกว่า เซปตัม (Septum) โดยห้องหัวใจที่อยู่ทางด้านขวาจะทำหน้าที่รับโลหิตดำจากส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย การบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจเพื่อส่งโลหิตออกไป จะกระทำพร้อมกันทั้งทางซีกซ้ายและซีกขวา ห้องหัวใจที่อยู่ด้านบน เรียกว่า หัวใจห้องบน (Atrium) และห้องหัวใจที่อยู่ด้านล่าง เรียกว่า หัวใจห้องล่าง (Ventricle) โลหิตดำจากร่างกายจะไหลกลับเข้าสู่หัวใจทางหลอดเลือดโลหิตดำใหญ่ซุพีเรียเวนาคาวา (Superior vena cava) และอินฟีเรียเวนาคาวา (Inferior vena cava) เข้าสู่ห้องหัวใจบนขวา โลหิตแดงที่ได้รับออกซิเจนจากปอดจะเข้าสู่หัวใจทางหลอดเลือดแดงพัลโมนารีเวน (Pulmonary veins) เข้าสู่ห้องหัวใจบนซ้าย หัวใจบนทั้งขวาและซ้ายจะบีบตัวส่งโลหิตไปยังหัวใจห้องล่างซึ่งมีลิ้นหัวใจกั้นอยู่ หลังจากห้องหัวใจห้องบนหดตัวส่งโลหิตมายังหัวใจห้องล่างชั่วคราว หัวใจห้องล่างจะหดตัวส่งโลหิตออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังเว็บไซต์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พร้อมกันทั้งซ้ายและขวา หัวใจห้องล่างขวาจะส่งโลหิตดำไปยังปอดเพื่อรับออกซิเจน โดยผ่านหลอดเลือดดำใหญ่พัลโมนารีอาเตอรี (Pulmonary Artery) และห้องล่างซ้ายจะส่งโลหิตไปเลี้ยงร่างกาย โดยผ่านหลอดเลือดแดงใหญ่เออร์টার (Aorta) ซึ่งการทำงานทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้แสดงในรูปที่

1.4

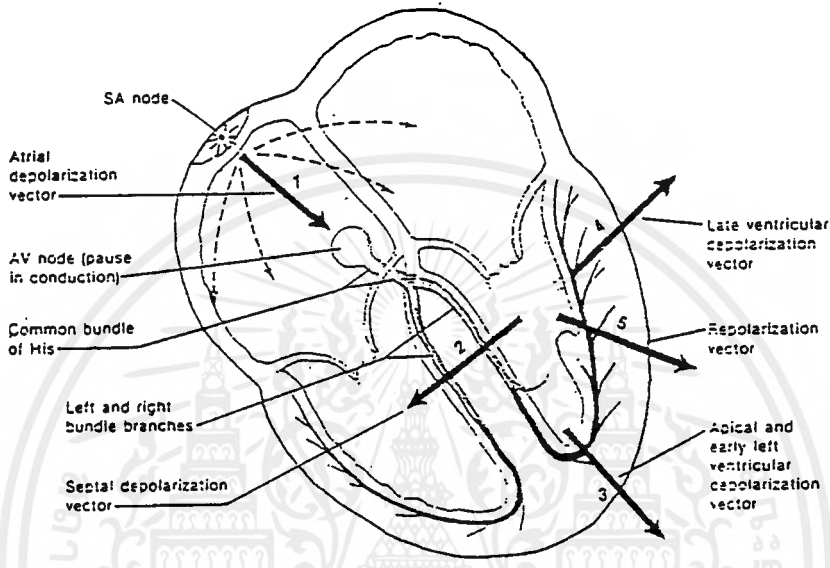


รูปที่ 1.4 แผนผังของหัวใจและระบบการสูบฉีดโลหิตของหัวใจ

1.3 ระบบนำไฟฟ้าของหัวใจ

การทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจก็จะเป็นไปในลักษณะเดียวกับกล้ามเนื้ออื่น ๆ คือ จะถูกกระตุ้นด้วยศักดาไฟฟ้าทำงานแต่การกระตุ้นนี้มีได้มาจากระบบประสาทส่วนกลางหรือสมอง เป็นการกระตุ้นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

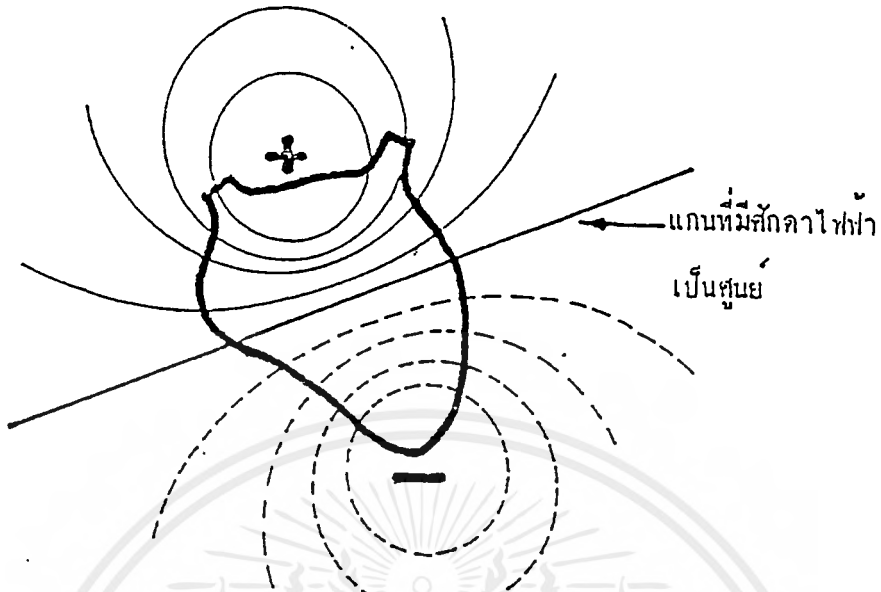
ต่อเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจที่เกิดขึ้นจากภายในหัวใจเอง โดยประกอบด้วยกลุ่มเซลล์กลุ่มหนึ่งที่ทำหน้าที่ทำหน้าที่ผลิตพัลส์ไฟฟ้า เพื่อกระตุ้นกล้ามเนื้อหัวใจ และระบบนำไฟฟ้า (Conduction System) ของหัวใจเองซึ่งทำหน้าที่คล้ายกับเส้นประสาท โดยระบบนำไฟฟ้านี้จะนำพัลส์ไฟฟ้าไปกระตุ้นต่อเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ ดังรูปที่ 1.5



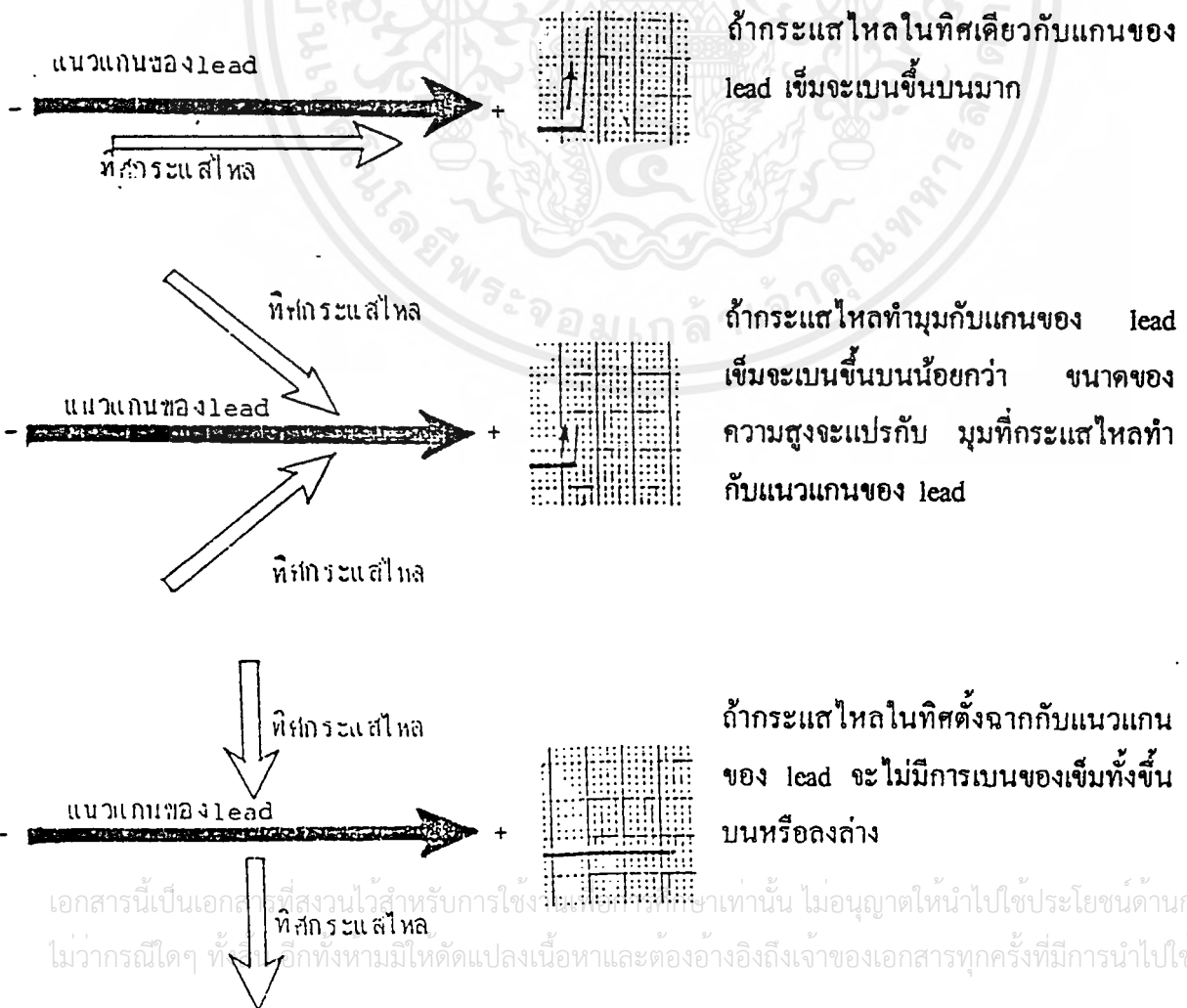
รูปที่ 1.5 การนำไฟฟ้าภายในหัวใจ

1.4 สัญญาณไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiograph)

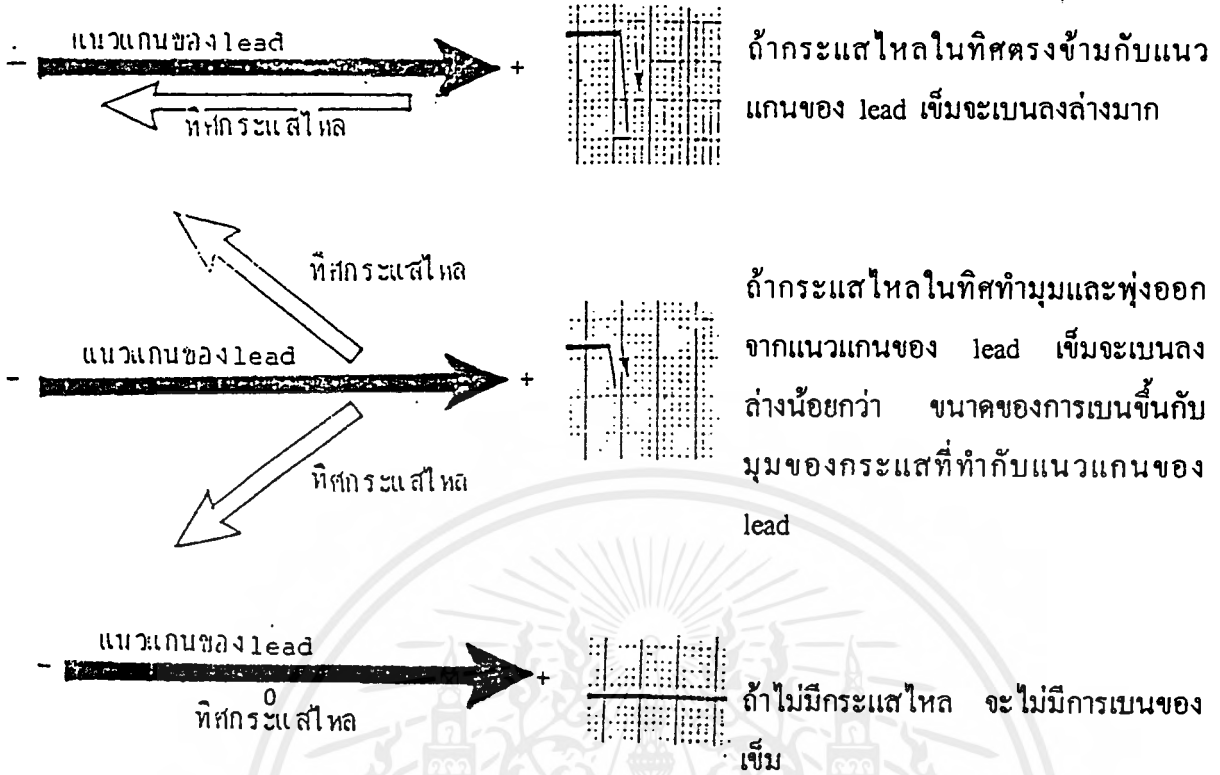
สัญญาณไฟฟ้าหัวใจเกิดจากการทำงานของหัวใจ ซึ่งหัวใจมีเซลล์ประสาทและเซลล์กล้ามเนื้ออยู่ พิจารณาหัวใจเป็นเสมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งบรรจุอยู่ภายในก้อนตัวนำร่างกาย ศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะกระจายออกจากขั้วบวกและขั้วลบไปตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย สามารถวัดศักดาไฟฟ้าตกรวมระหว่างจุดใด ๆ ที่อยู่บนผิวหนังของร่างกายได้ ดังแสดงในรูปที่ 1.6 ศักดาไฟฟ้าจากหัวใจที่วัดได้ระหว่างจุดต่าง ๆ จะไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับมุมและระยะทางของตำแหน่งที่วัดกระทำต่อแกนหัวใจ ศักดาไฟฟ้าที่วัดได้นี้ เรียกว่า สัญญาณไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiograph) เรียกย่อว่า ECG



รูปที่ 1.6 แสดงการกระจายของศักดาไฟฟ้าบนผิวหนึ่ง มีลักษณะเหมือนอิเล็กทริกไดโพล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



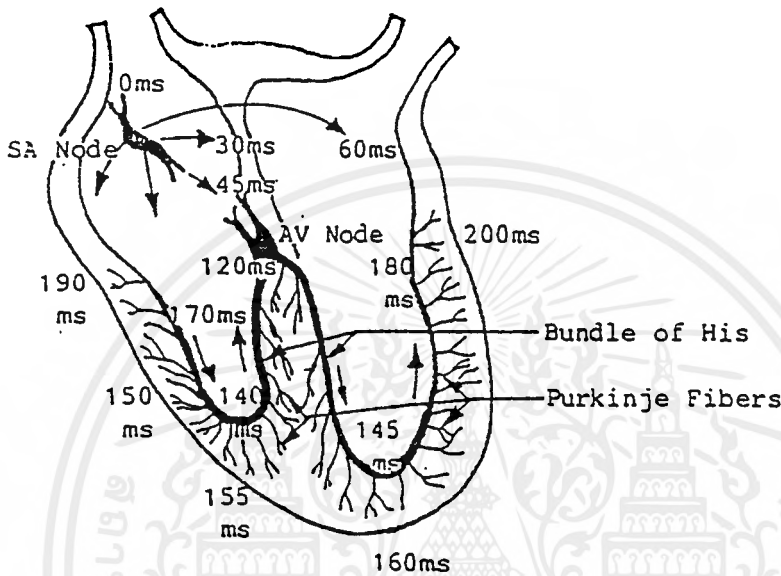
รูปที่ 1.7 แสดงให้เห็นการเบี่ยงเบนที่ปรากฏบนเครื่องบันทึกหรือจอภาพของเครื่องวัด ซึ่งเกิดจากการไหลของกระแสบริเวณผิวหนัง ในทิศทางที่ทำมุมต่าง ๆ กับแนวของ lead

พิจารณาค่าแห่งที่วัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจกับทิศทางของกระแสคลื่นไฟฟ้าหัวใจเพื่อที่จะให้ได้รับสัญญาณไฟฟ้าใจผ่านเข้าไปที่อิเล็กโทรดของเครื่องมอนิเตอร์ได้ดังนี้ ถ้าวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจโดยใช้อิเล็กโทรดแบบไบโพลาร์ (bipolar electrode) โดยกำหนดเป็นขั้วบวก (+) และขั้วลบ (-) ถ้าทิศทางกระแสที่ไหลบนผิวหนังพุ่งเข้าสู่ขั้วบวกของอิเล็กโทรดจะทำให้ได้รับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจมีค่าของสัญญาณเบี่ยงเบนขึ้นบน แต่ถ้ากระแสที่ไหลบนผิวหนังมีทิศทางพุ่งออกจากขั้วบวกแล้วพุ่งเข้าสู่ขั้วลบ จะทำให้ได้รับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจมีค่าของสัญญาณเบี่ยงเบนลงล่าง ถ้าทิศทางของกระแสที่ไหลบนผิวหนังมีทิศทางทำมุมกับแนวของอิเล็กโทรดทำให้ได้รับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจมีค่าของสัญญาณเบี่ยงเบนน้อยลง และถ้าทิศทางของกระแสที่ไหลบนผิวหนังทำมุม 90 องศา กับแนวอิเล็กโทรดจะทำให้ได้รับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่ไม่มีค่าเบี่ยงเบนปรากฏ แสดงทิศทางได้ดังรูปที่ 1.7

พิจารณาการเกิดคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจได้ดังรูปที่ 1.8 เริ่มจาก SA node (Sinoatrial node) มีตำแหน่งอยู่บริเวณส่วนบนของหัวใจห้องบนขวา SA node นี้เป็นเสมือนวงจรสร้างสัญญาณไฟฟ้าในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ คือ จะกำเนิดคลื่นไฟฟ้าออกมาอย่างต่อเนื่อง สำหรับผู้ใหญ่ในขณะที่พักผ่อนจะให้อัตราประมาณ 70 ครั้งต่อนาที คลื่นไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจาก SA node จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามสิ่งเร้าภายนอก เช่นถ้ามีการตกใจ SA node ก็จะทำให้อัตราของคลื่นสัญญาณไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็นต้น คลื่นไฟฟ้าที่เกิดจาก SA node นี้จะกระจายผ่านเส้นประสาทของหัวใจจากส่วนบนลงไปยังส่วนล่าง เมื่อคลื่นไฟฟ้ากระจายออกรอบ ๆ SA node ผ่านกล้ามเนื้อหัวใจห้องบนก็จะทำให้เกิดการบีบตัวของหัวใจ

ไม่ทราบกรณิใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวใจส่วนบน และคลื่นไฟฟ้าที่จะส่งมาที่ AV node (Atrioventricular node) แล้วส่งผ่านไปตาม Bundle of His, Perkinje Fibers และในที่สุดมาถึงกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างทำให้หัวใจห้องล่างบีบตัว ช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งผ่านคลื่นจาก SA node ถึง AV node เรียกว่า Atrioventricular conduction time โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 0.12 - 0.22 วินาที



รูปที่ 1.8 แสดงช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งผ่านคลื่นไฟฟ้าจาก SA node ไปยังส่วนต่างๆ ของหัวใจ (เมื่อ SA node ให้กำเนิดคลื่นไฟฟ้า เริ่มนับเวลาเป็นศูนย์)

เนื่องจาก SA node อยู่ที่บริเวณสูงสุดทางขวาของหัวใจ การกระตุ้นหัวใจบนของ SA node จึงกระจายลงสู่ข้างล่างและบางส่วนกระจายไปทางซ้าย หัวใจห้องบนมีโครงสร้างของผนังที่บางกว่า และมีมวลของกล้ามเนื้อน้อย จึงทำให้การกระจายทางไฟฟ้าที่เกิดจากดีโพลาไรเซชันของมันปรากฏเพียงเล็กน้อย ทิศทางการกระจายทางไฟฟ้าของกล้ามเนื้อหัวใจห้องบนทั้งหมดจะพุ่งลงล่างเฉียงไปทางซ้าย โดยปกติจะมีทิศทางเข้าสู่ขั้วบวกของอิเล็กโทรดทั้ง Lead I และ aVF แต่ปริมาณทางไฟฟ้าทั้งหมดจะมีค่าไม่มากนัก เพราะวากล้ามเนื้อหัวใจห้องบนมีมวลน้อย ดังนั้นคลื่นไฟฟ้าที่ได้รับจะมีการเบี่ยงเบนขึ้นบนเพียงเล็กน้อย ซึ่งได้รูปคลื่นไฟฟ้าเรียกว่าคลื่น P (P wave) ดังรูปที่ 1.9 ก.

ต่อมาเมื่อคลื่นของดีโพลาไรเซชันมาถึง AV node จะมีการหน่วงเวลา ระหว่างช่วงเวลานี้ปรากฏการทางไฟฟ้าจากหัวใจห้องบนเคลื่อนผ่าน AV node ช้ามาก และจากนั้นจะเข้าสู่ระบบสื่อนำของหัวใจห้องล่าง (Ventricular conduction system) ได้แก่ Common bundle of His และ bundles branches ตามลำดับ เนื่องจากโครงสร้างของ Common bundle of His มีขนาดเล็กจึงไม่สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าได้

เมื่อคลื่นไฟฟ้าของดีโพลาไรเซชันผ่าน AV node, His bundle และช่วงต้น ๆ ของ bundle branches ไปแล้ว ช่วงแรกของดีโพลาไรเซชันของหัวใจห้องล่างเกิดขึ้นที่กล้ามเนื้อหัวใจที่เป็นผนังไม่วาร์ณิใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่วมของหัวใจห้องล่างซ้ายและขวาซึ่งอยู่ภายในหัวใจ ทิศทางของไฟฟ้ามีทิศจากซ้ายไปขวาและมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับคลื่นโพลาไรเซชันที่เกิดจากกล้ามเนื้อหัวใจส่วนที่เป็นผนังอิสระด้านนอก จากการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ผิวหนังปรากฏว่าที่ Lead I คลื่นไฟฟ้ามีการเบี่ยงเบนลงล่างเล็กน้อย ได้รูปคลื่นไฟฟ้าเรียกว่า คลื่น Q(Q wave) ส่วนที่ Lead aVF มีการเบี่ยงเบนขึ้นบนเล็กน้อย ดังรูปที่ 1.9 ข.

จากนั้นคลื่นโพลาไรเซชันจะกระจายไปตามระบบสื่อนำของหัวใจและในที่สุดก็ถึงกล้ามเนื้อหัวใจที่เป็นผนังอิสระทั้งห้องซ้ายและขวา โดยทั่วไปคลื่นโพลาไรเซชันของกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างทั้งสองจะเกิดขึ้นพร้อมกัน หัวใจห้องล่างซ้ายซึ่งมีมวลมากกว่าจึงมีการกระทำทางไฟฟ้ามากกว่า ดังนั้นผลรวมทางไฟฟ้าจึงมีทิศทางลงล่างเฉียงไปทางซ้าย และเนื่องจากกล้ามเนื้อหัวใจส่วนนี้มีมวลมากทำให้ได้รับคลื่นไฟฟ้าเบี่ยงเบนขึ้นบนได้มากทั้งใน Lead I และ aVF ได้รูปคลื่นไฟฟ้าเรียกว่า คลื่น R(R wave) ดังรูปที่ 1.9 ค.

คลื่นโพลาไรเซชันยังคงผ่านต่อไปยังส่วนที่เหลือของหัวใจห้องล่างทั้งสองข้างบริเวณสุดท้ายที่จะมีปฏิริยาที่คือ ตำแหน่งสูงสุดของผนังหัวใจอิสระห้องล่างซ้ายหรือบริเวณที่โลหิตไหลจากหัวใจห้องล่างขวา ในช่วงเวลานี้การกระจายทางไฟฟ้าเกิดขึ้นในทิศทางตรงข้ามกับเท่าคั้งนั้นที่ Lead aVF คลื่นไฟฟ้าที่ได้จะเบี่ยงเบนลงล่าง ได้รูปคลื่นไฟฟ้าเรียกว่า คลื่น S(S wave) ดังรูปที่ 1.9 ง.

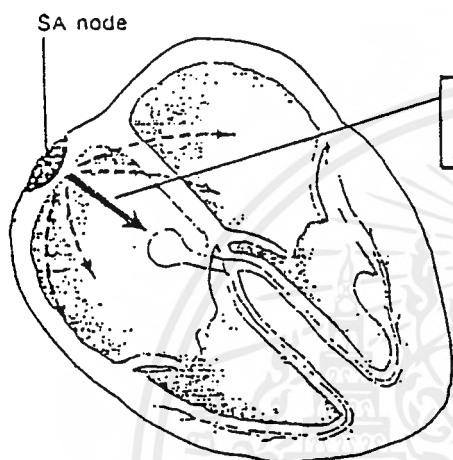
หลังจากหัวใจห้องล่างทั้งหมดเกิดคลื่นโพลาไรเซชันไปแล้ว จะมีการกระทำเกิดขึ้นน้อยมาจนกระทั่งเกิดรีโพลาไรเซชัน (Repolarization) คั้งนั้นคลื่นไฟฟ้าหัวใจในช่วง ST จึงมีค่าศักดาไฟฟ้าเป็นศูนย์ รีโพลาไรเซชันก็คือการกลับอยู่ในสภาวะอยู่นิ่งของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจซึ่งมีค่าศักดาไฟฟ้าเป็นลบเนื่องจากกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างซ้ายมีมวลมากกว่ากล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างขวา และกล้ามเนื้อหัวใจห้องบนจึงมีอิทธิพลต่อทิศทางไฟฟ้าที่เกิดจากรีโพลาไรเซชัน ในหัวใจปกติจึงมีทิศทางไปทางซ้ายเฉียงลงล่างในทิศทางเดียวกับมวลกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างซ้าย รีโพลาไรเซชันของหัวใจห้องล่างทำให้ได้รับรูปคลื่นไฟฟ้าเรียกว่า คลื่น T(T wave) ดังรูปที่ 1.9 จ.

หลังจากสิ้นสุดรีโพลาไรเซชันก็จะ ไม่มีการกระทำทางไฟฟ้าเกิดขึ้นอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง จะทำให้ไม่ได้รับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจเบี่ยงเบน ศักดาไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ จนกระทั่งมีคลื่นไฟฟ้าลูกใหม่เกิดขึ้นที่ SA node ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าของหัวใจก็จะเกิดขึ้นตามลำดับ ได้เป็นคลื่น P - QRS - T อีก ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าของหัวใจที่เกิดขึ้นตามลำดับรวบรวมไว้ ดังรูปที่ 1.9 ฉ.

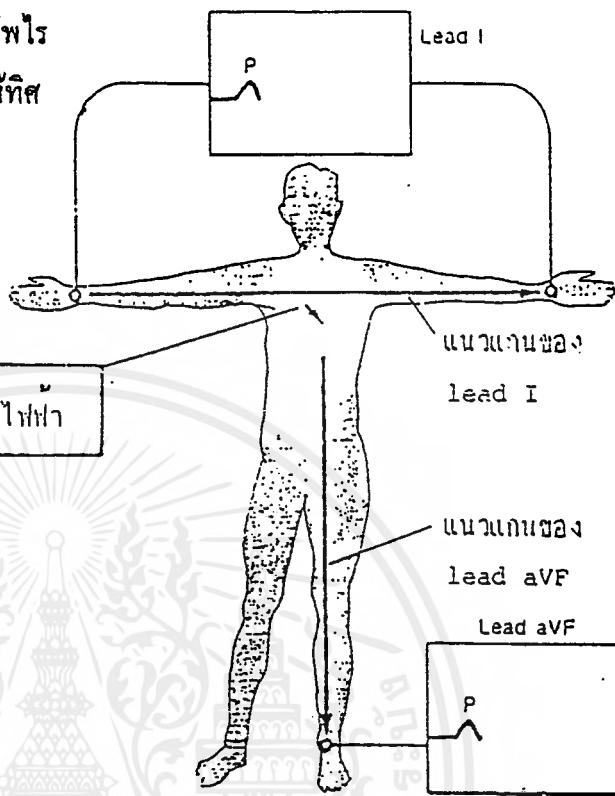
จากที่กล่าวมาทั้งหมดสรุปได้ว่าเมื่อวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยติดอิเล็กโทรดที่แขนขวา แขนซ้าย แล้วเท่าตาม Lead I คลื่นไฟฟ้าหัวใจที่วัดได้จะมีลักษณะดังรูปที่ 1.10 แต่ละส่วนของคลื่นจะถูกกำหนดด้วยตัวอักษร และจะสัมพันธ์กับการทำงานในช่วงต่าง ๆ ของหัวใจใน 1 รอบการทำงาน เช่น คลื่น P เกิดจากคลื่นโพลาไรเซชันของหัวใจห้องบนบีบตัว โดยทั่วไปในคนที่หัวใจปกติความสูงของคลื่น R จะมีค่าประมาณ 1 mV ความสูงของคลื่น T ประมาณ 1/3 ของความสูงของคลื่น R

รูปที่ 1.9

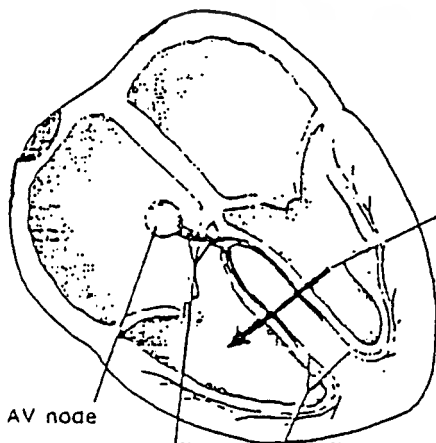
ก. อิมพัลส์กำเนิดที่ SA node และคลื่นของดีโพไรเซชัน กระจายไปทั่วหัวใจห้องบนเป็นผลให้ทิศไฟฟ้าซึ่งลงล่างเฉียงไปทางซ้ายทำให้เข็มของเครื่องบันทึก ECG เบี่ยงเบนขึ้นบนทั้งใน lead I และ aVF ได้เป็นคลื่น P



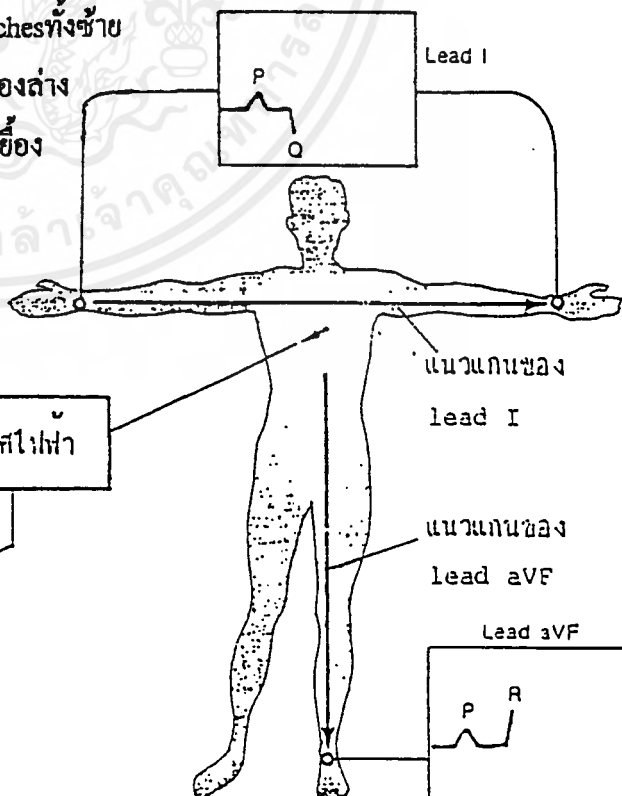
ทิศไฟฟ้า



ข. หลังจากถูกหน่วงเวลาที่ AV node ช่วงขณะอิมพัลส์จะเดินทางไปตาม common bundle of His และ bundle branches ทั้งซ้ายและขวาแล้วจึงเข้าสู่ผนังร่วมของกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างทำให้เกิดดีโพลาไรเซชันซึ่งมีทิศไฟฟ้าไปทางซ้ายเฉียงลงล่างทำให้เข็มของเครื่องบันทึกเบนลงล่างเล็กน้อยใน lead I ได้คลื่น Q และเบนขึ้นบนเล็กน้อยใน lead aVF ได้คลื่น R

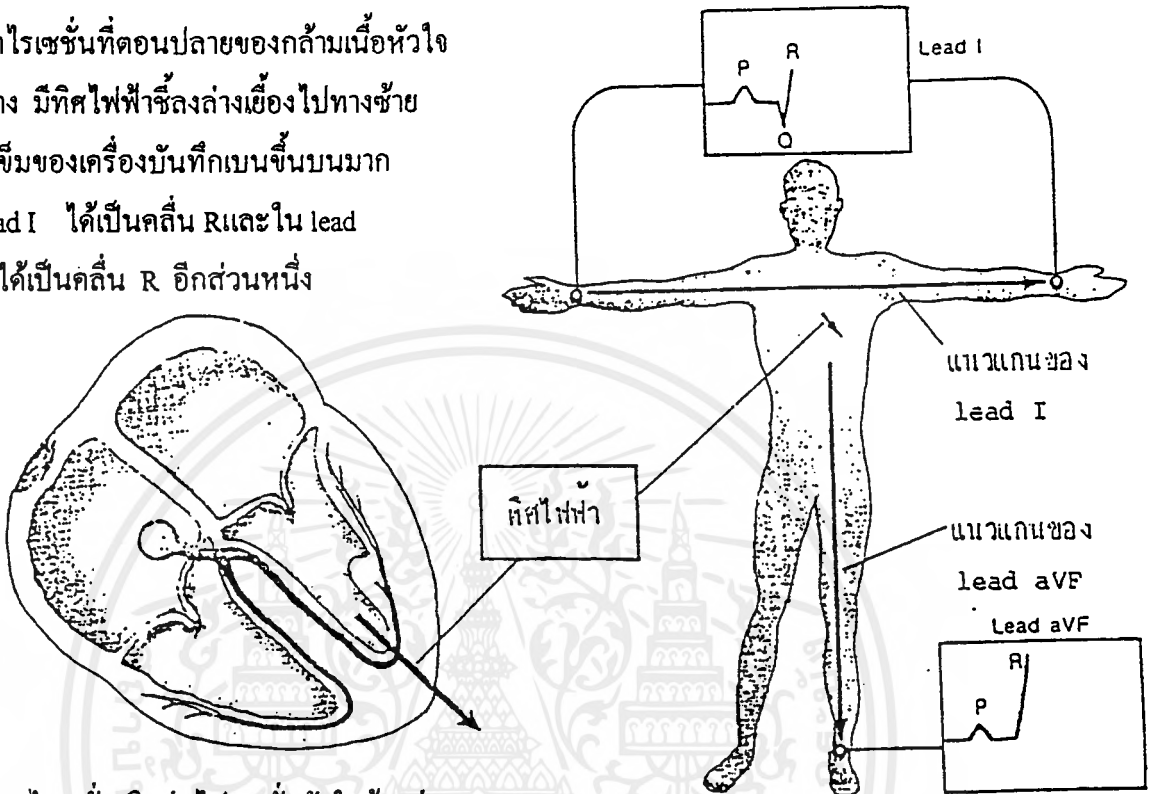


ทิศไฟฟ้า

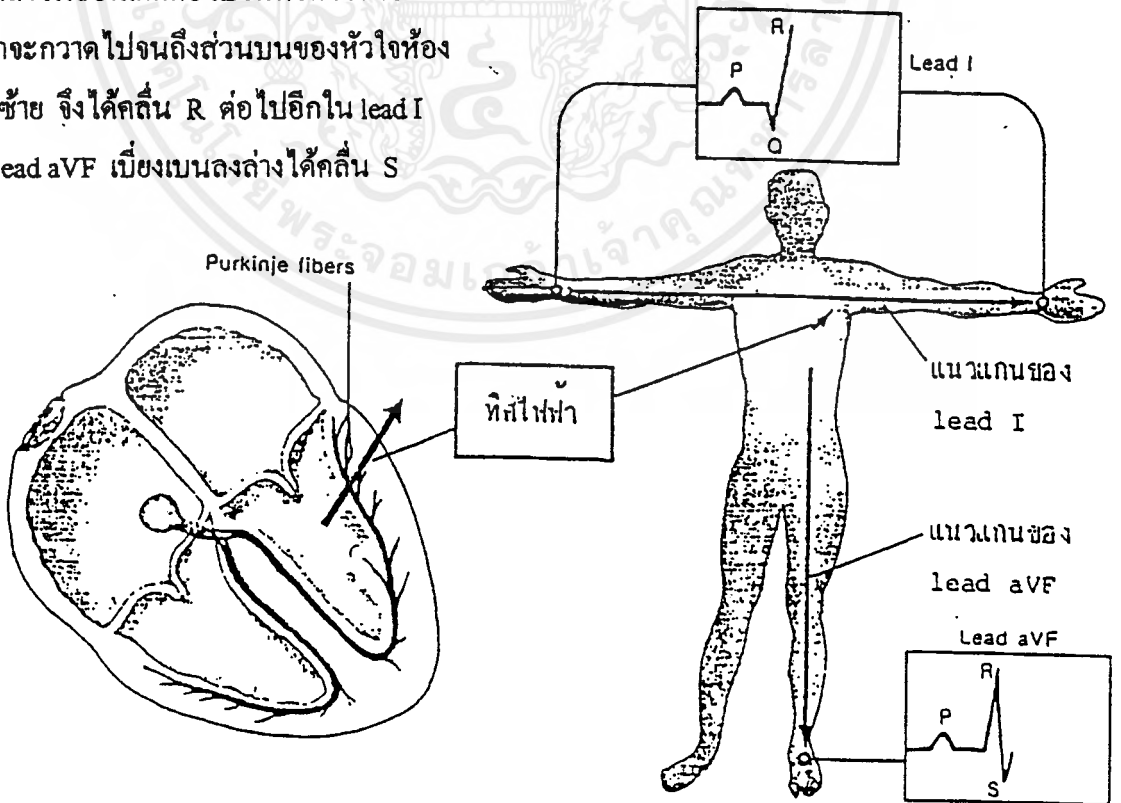


รูปที่ 1.9 (ต่อ)

ค. อิมพัลส์เดินทางต่อไปตามระบบสื่อนำทำให้เกิด
 ศีโฟลาไรเซชันที่ตอนปลายของกล้ามเนื้อหัวใจ
 ห้องล่าง มีทิศไฟฟ้าซึ่งลงข้างเบื้องไปทางซ้าย
 ทำให้เข็มของเครื่องบันทึกเบนขึ้นบนมาก
 ใน lead I ได้เป็นคลื่น R และใน lead
 aVF ได้เป็นคลื่น R อีกส่วนหนึ่ง

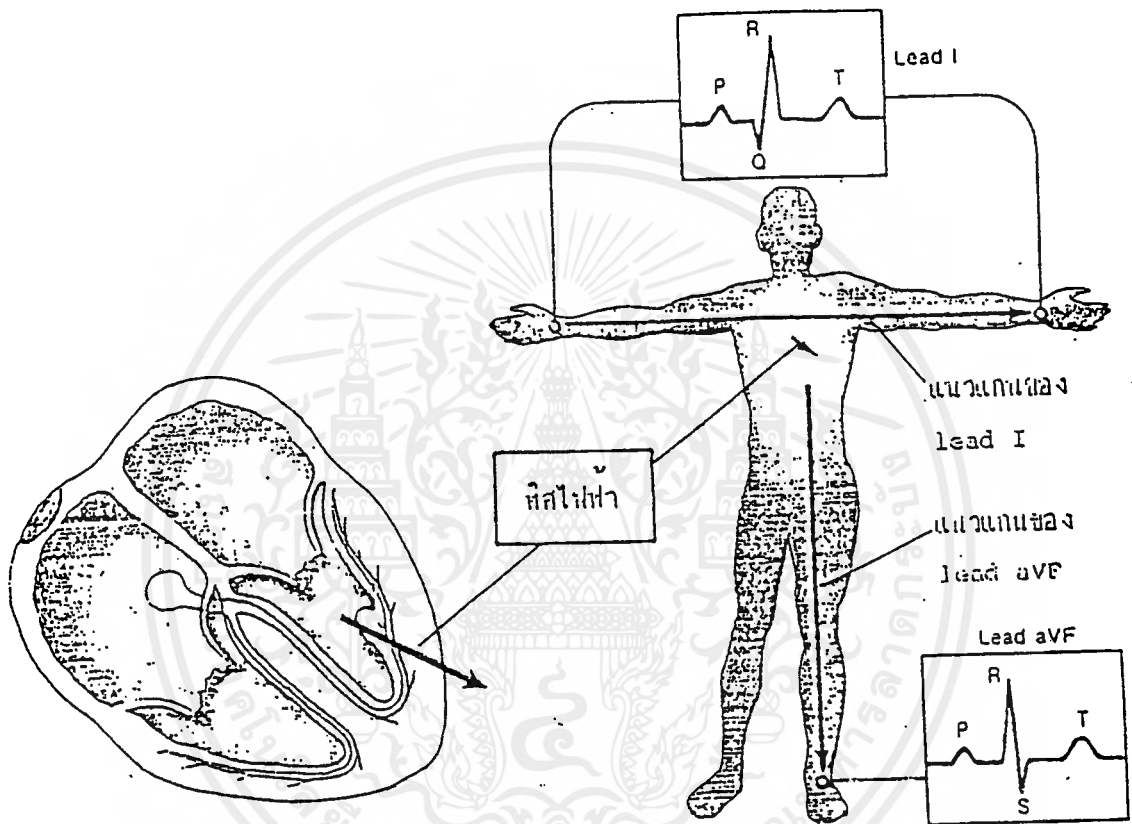


ง. เมื่อศีโฟลาไรเซชันเกิดต่อไปจนทั่วหัวใจห้องล่าง
 ทิศไฟฟ้าจะกวาดไปจนถึงส่วนบนของหัวใจห้อง
 ล่างด้านซ้าย จึงได้คลื่น R ต่อไปอีกใน lead I
 และใน lead aVF เบียงเบนลงล่างได้คลื่น S



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

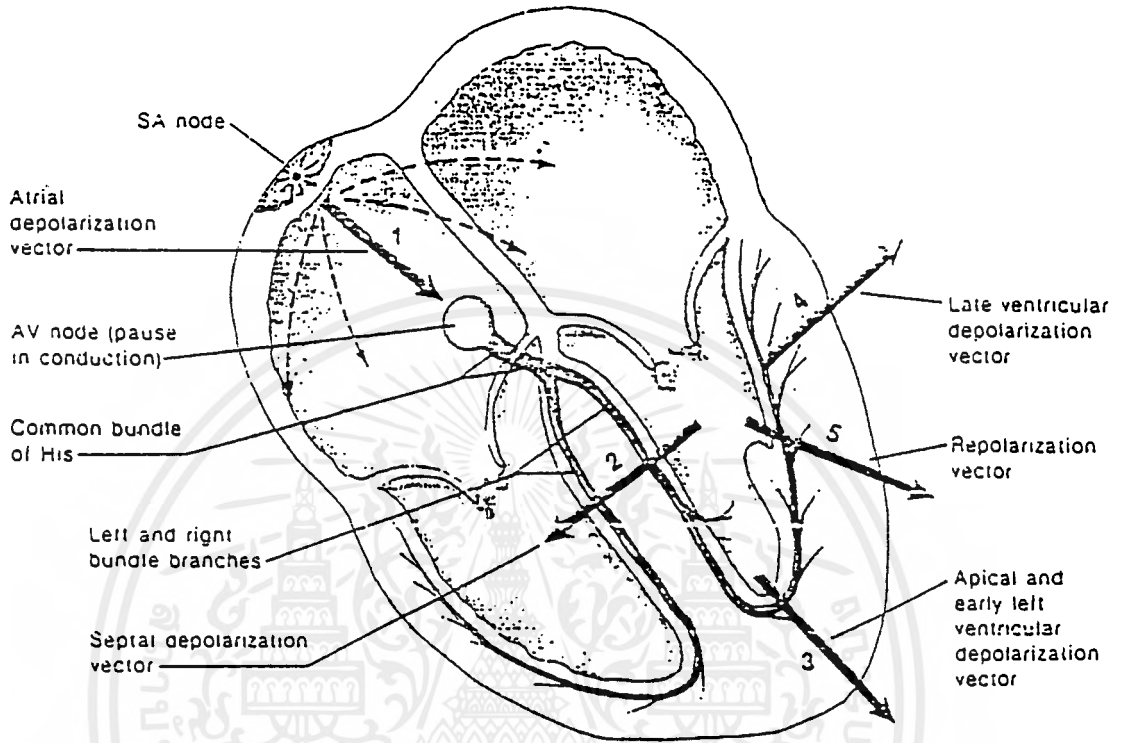
รูปที่ 1.9 (ต่อ)



- จ. เมื่อหัวใจทั้งหมดเกิดดีโพลาไรเซชันแล้วจะ ไม่มีการกระทำทางไฟฟ้าเกิดขึ้นชั่วขณะหนึ่งในช่วงเวลา ST แล้ว รีโพลาไรเซชันก็จะเริ่มเกิดขึ้นจากผนังด้านในสู่ผนังด้านนอกของกล้ามเนื้อหัวใจ ทำให้เกิดไฟฟ้าที่ลดลงข้างไปทางซ้ายเป็นเหตุให้เข็มของเครื่องบันทึกเบี่ยงเบนขึ้นบนทั้งใน lead III และ aVF ได้คลื่น T ต่อมาจะมีการกระทำทางไฟฟ้าเกิดขึ้นได้เป็นเส้นตรงในการบันทึกคลื่นจนกว่าจะเกิดอิมพัลส์ที่ SA node อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.9 (ต่อ)



ฉ. การกระทำทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

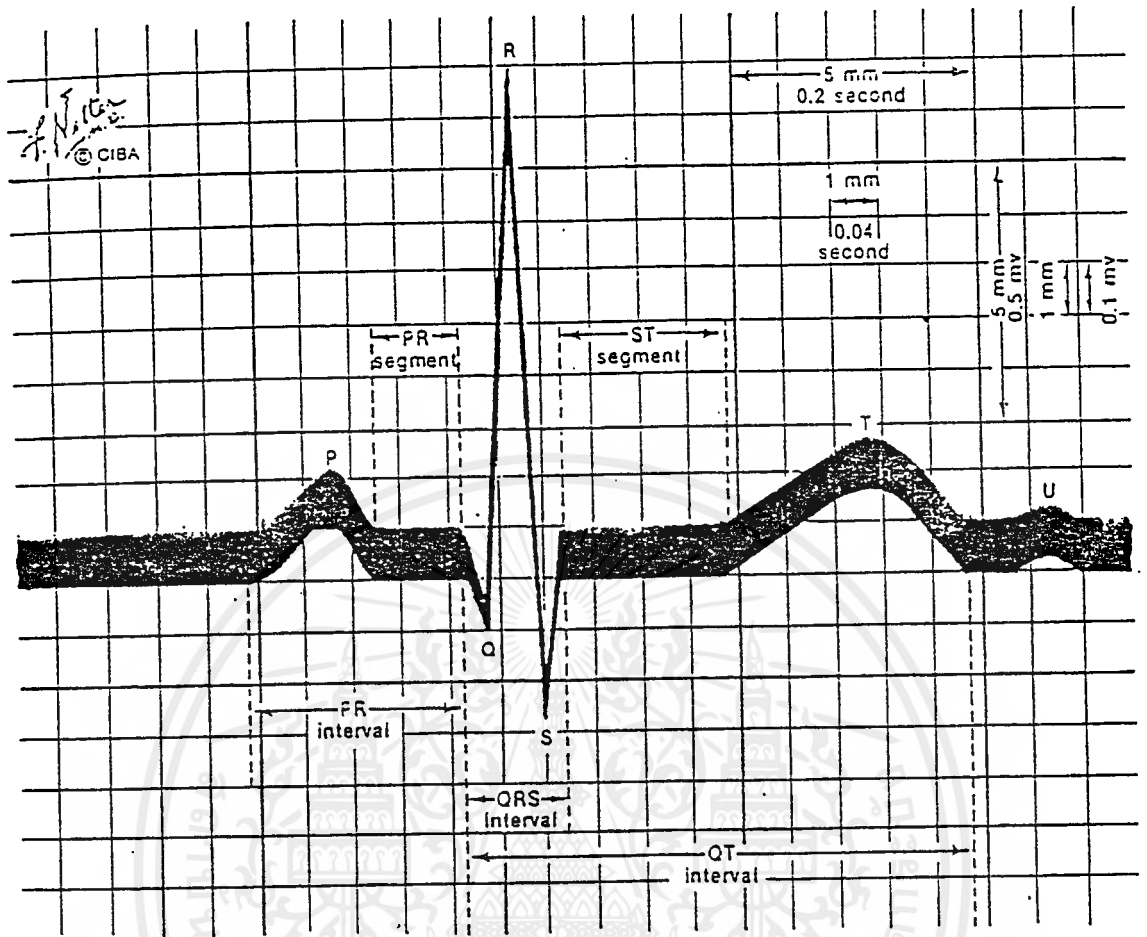
ในบทนี้กล่าวถึงการสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยได้จำลองสัญญาณนี้จากสัญญาณจริงในหนึ่งช่วงจังหวะการเต้นของหัวใจ เราสามารถที่จะสร้างสัญญาณของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจในลักษณะของสมการทางคณิตศาสตร์ได้โดยในที่นี้ เราทำการสร้างสัญญาณคลื่นไฟฟ้าจากรูปสัญญาณเกาส์เซียน(Gaussian)ซึ่งมีความเหมาะสมหลายประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องลักษณะของแถบความถี่ ซึ่งรูปแบบที่ได้จากการจำลองชิ้นนี้ ยังคงให้ลักษณะของสัญญาณที่ถูกต้อง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานอื่น ๆ ได้อีกมาก

สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นสัญญาณที่เกิดจากการทำงานของหัวใจ โดยรูปร่างลักษณะของสัญญาณจะแสดงถึงการบีบและคลายตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ ซึ่งเมื่อหัวใจทำงานเป็นปกติสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจนั้น สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ใช้นี้เป็นสัญญาณที่ได้จากการสุ่ม ซึ่งเป็นข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่องเป็นจำนวนมาก ถ้าเราสามารถนำข้อมูลเหล่านี้และจำแนกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เนื่องจากสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจนั้น มีองค์ประกอบเป็นสัญญาณย่อยๆ 5 สัญญาณ คือ สัญญาณ P , QRS และ T เมื่อพิจารณาสัญญาณนี้เป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ โดยการจำลองสัญญาณย่อย ๆ เหล่านี้ด้วยฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่มีลักษณะง่ายๆ ในโครงงานนี้ เราใช้ฟังก์ชัน เกาส์เซียน ที่มีอยู่ในเทอมของ $a \cdot \exp[-(t-T)/b^2]$ ซึ่งมีลักษณะของฟังก์ชันเป็นรูปสัญญาณ ซายน์(sine) จะเห็นได้ว่าลักษณะของฟังก์ชันคล้ายคลึงกับสัญญาณย่อยของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ อีกทั้งยังสามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือค่าของขนาด a ตำแหน่งกึ่งกลาง T และ ช่วงกว้างของรูปร่างฟังก์ชัน b เพื่อให้ได้ลักษณะสัญญาณตามต้องการ ด้วยเหตุนี้ รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่จำลองจากฟังก์ชันเกาส์เซียน จึงมีค่าพารามิเตอร์ที่ต้องปรับค่าอยู่ทั้งหมด 11 ค่า โดยการแบ่งสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจในหนึ่งช่วงจังหวะการเต้นของหัวใจ เป็น 3 ส่วน คือ สัญญาณ P สัญญาณรวม QRS และสัญญาณ T จากนั้นจึงหาค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณย่อยในแต่ละส่วนออกมา ก็จะได้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจตามต้องการ

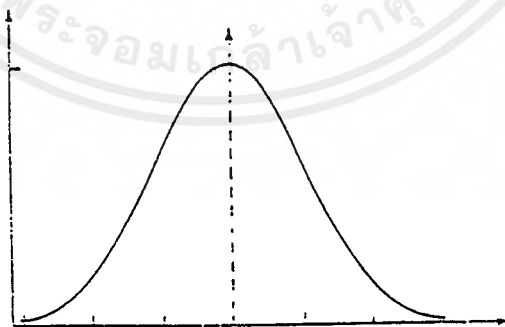
2.1 รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

พิจารณาสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นสัญญาณย่อย ๆ 3 ส่วนที่ไม่ซ้อนทับกัน คือ สัญญาณ P สัญญาณรวม QRS และสัญญาณ T แล้วแทนสัญญาณย่อยเหล่านี้ด้วยฟังก์ชัน เกาส์เซียน ได้ดังนี้

คำนำทบทวนกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.1 ลักษณะส่วนต่างๆ ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ



รูปที่ 2.2 ลักษณะของฟังก์ชันแก๊สเซียน

$$P : P(t) = a_p \exp[-(t-\tau_p)^2/2b_p^2]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$QRS : R(t) = (a_{r0} + a_{r1}d/dt + a_{r2} d^2/dt^2) \exp[-(t-\tau_r)/2b_r]$$

$$T : T(t) = a_t \exp[-(t-\tau_t)^2/2b_t^2]$$

โดย

$a_p, a_{r0}, a_{r1}, a_{r2}, a_t$ เป็นสัมประสิทธิ์ของขนาด (amplitude coefficient) มีค่าเป็นจำนวนจริงที่เป็นไปได้ทั้งบวกและลบ

b_p, b_r, b_t เป็นพารามิเตอร์ของความกว้าง (width parameter) มีค่าเป็นจำนวนจริงบวกเท่านั้น

τ_p, τ_r, τ_t เป็นตำแหน่งเวลาที่อยู่ที่กึ่งกลางของสัญญาณย่อย

ดังนั้นสมการของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่สมบูรณ์ทางอุดมคติ สามารถเขียนจากผลรวมของสมการดังนี้

$$V(t) = P(t) + QRS(t) + T(t)$$

การหาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในรูปแบบของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจใน สมการของ $V(t)$ สามารถหารูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมทั้ง 11 ค่า คือ $a_p, a_{r0}, a_{r1}, a_{r2}, b_p, b_r, b_t, \tau_p, \tau_r, \tau_t$ เพื่อให้มีค่าความผิดพลาด (ei) จากสัญญาณจริงน้อยที่สุด

$$ei = Vi - Pi(t) - Ri(t) - Ti(t)$$

Vi เป็นข้อมูลของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจริง และ N เป็นจำนวนข้อมูลที่สุ่มได้

แต่เราก็สามารถพิจารณาสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นช่วง ๆ ได้ โดยแบ่งสัญญาณเป็นช่วงเวลาดังนี้ คือ ช่วงสัญญาณ P ระหว่างเวลา $[t1, t_{npr}]$ ช่วงสัญญาณรวม QRS ระหว่างเวลา $[t_{nqr}, t_{nn}]$ และช่วงสัญญาณ T ระหว่างเวลา $[t_{nt}, t_n]$ ซึ่งการแบ่งเช่นนี้ยังทำให้ค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นในแต่ละช่วงน้อยที่สุดเช่นเดิม

2.1.1 ช่วงเวลาของสัญญาณ P ระหว่างเวลา $t1$ ถึง t_{npr} จะได้

$$\begin{aligned} e_{pi} &= \ln Vi - \ln P(t_i) \\ &= \ln Vi - A_p - B_p t_i - C_p t_i^2 \quad ; i=1, \dots, N_{pr} \end{aligned} \quad (1)$$

โดย $A_p = \ln a_p - \tau_p^2/2b_p^2$

$$B_p = \tau_p / b_p^2$$

$$C_p = -1 / 2b_p^2$$

จากสมการ (1) เราประมาณค่าความผิดพลาดในช่วงเวลานี้มีค่าเข้าใกล้ 0 แล้วใช้วิธีการ Least Square Approximation เพื่อหาค่า A_p, B_p และ C_p จากนั้นก็จะนำไปแก้สมการ เพื่อให้ได้ค่า a_p, τ_p และ b_p

2.1.2 ช่วงเวลาของสัญญาณ T ระหว่างเวลา t_{nt} ถึง t_n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่ามีลักษณะการกำหนดฟังก์ชันของสัญญาณ P และสัญญาณ T เหมือนกัน เพราะฉะนั้นวิธีแก้ปัญหา เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสัญญาณ จึงเป็นเช่นเดียวกัน ดังต่อไปนี้

$$eTi = \ln Vi - \ln T(ti) \\ = \ln Vi - A_T - B_T ti - C_T ti^2 \quad ; I = Nrt, \dots, N$$

โดย $A_T = \ln a_T - \tau_T^2 / 2b_T^2$

$$B_T = \tau_T / b_T^2$$

$$C_T = -1 / 2b_T^2$$

2.1.3 ช่วงเวลาของสัญญาณรวม QRS ระหว่างเวลา t_{np} ถึง t_{opt}

พิจารณาสมการ ถ้ากำหนดให้ $xi = ti - \tau_T$ จะได้

$$R(x+\tau_T) = (a_0 + a_1 d/dx + a_2 d^2/dx^2) \exp(-x^2/2b_T^2) \\ = (\alpha_0 + \alpha_1 x + \alpha_2 x^2) \exp(-x^2/2b_T^2)$$

โดย $\alpha_0 = a_0 - a_2/b_T^2$

$$\alpha_1 = -a_1/b_T^2$$

$$\alpha_2 = a_2/b_T^4$$

จากสมการข้างต้น ถ้าใช้วิธี Least Square Approximation เราจำเป็นต้องทราบค่า τ_T และ b_T เสียก่อน โดยจะสามารถหาค่าทั้งสองนี้ได้จากลักษณะของสัญญาณรวม QRS คือค่า τ_T เป็นค่าตำแหน่งเวลาที่กึ่งกลางของสัญญาณ ซึ่งกำหนดได้ว่าเป็นเวลาที่สัญญาณ R มีค่ามากที่สุด ส่วนค่า b_T เป็นค่าความกว้างของสัญญาณ R ที่ค่าที่เป็นครึ่งหนึ่งของค่ามากที่สุด ค่าสัมประสิทธิ์คงที่ 0.423 เป็นค่าปรับที่ได้จากการทดลองสัมพันธ์สัญญาณจริง เนื่องจากคิดเป็นสัญญาณรวม QRS จึงจำเป็นต้องมีค่านีมาคูณด้วยจากนั้นแล้วเราสามารถหาค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณด้วยวิธี Least Square Approximation โดยให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดได้ว่า

$$eti = vi - (a_0 + a_1 xi + a_2 xi^2) \exp(-x^2/2b_T^2)$$

$$xi = ti - \tau_T$$

ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะนำกลับไปหาค่า a_0 , a_1 และ a_2 ในสมการข้างต้น

โดยในตอนนี้ เราจะได้พารามิเตอร์ทั้ง 11 ค่าของสมการของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ซึ่งจะนำไปสู่รูปแบบของคณิตศาสตร์ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจตามต้องการ

2.2 สัญญาณที่ได้จากรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่จำลองขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ทั้ง 11 ค่า จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจริงตามวิธีการที่
ได้แสดงไว้ โดยข้อมูลของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจได้จากการสุ่มด้วยอัตราสุ่ม ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้

P : 48 48 48 48 48 48 48 48 48 48 48 49 49 49 50 52 54 56 58 60 62 64 65 65 66 66 65 65
63 62 61 59 58 56 55 54 53 52 52 51 51 50 50 49 49 49 49 49 49 48 48 49 49

QRS: 48 48 46 42 38 34 31 29 27 28 31 37 48 65 88 108 135 146 152 154 145 137 128 117 107
96 84 70 54 34 26 22 22 24 26 30 33 36 38 40 42 43 44 45 46 46 47 47 47 47 47 48 48 48

T: 48 48 48 48 48 48 48 49 49 49 49 49 50 51 52 53 55 57 59 62 64 66 68 71 73 75 77 78 80
81 83 84 84 84 83 81 78 75 72 69 65 63 60 58 55 53 52 51 51 50 50 50 49 49 49 49 49 49 49 49
49 49 49 49 49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณสัมประสิทธิ์ของสัญญาณ P

	t_i	t_i^2	t_i^3	t_i^4	v_i	$\ln v_i$	$t_i \ln v_i$	$t_i^2 \ln v_i$
1	1	1	1	1	48	3.871201011	3.871201011	3.87120101
2	2	4	8	16	48	3.871201011	7.742402021	15.4848040
3	3	9	27	81	48	3.871201011	11.61360303	34.8408091
4	4	16	64	256	48	3.871201011	15.48480404	61.9392161
5	5	25	125	625	48	3.871201011	19.35600505	96.7800252
6	6	36	216	1296	48	3.871201011	23.22720606	139.363364
7	7	49	343	2401	48	3.871201011	27.09840707	189.688849
8	8	64	512	4096	48	3.871201011	30.96960809	247.756864
9	9	81	729	6561	48	3.871201011	34.8408091	313.567281
10	10	100	1000	10000	48	3.871201011	38.71201011	387.120101
11	11	121	1331	14641	48	3.871201011	42.58321112	468.415322
12	12	144	1728	20736	48	3.871201011	46.45441213	557.452945
13	13	169	2197	28561	49	3.891820298	50.59366387	657.717630
14	14	196	2744	38416	49	3.891820298	54.48548417	62.796778
15	15	225	3375	50625	49	3.891820298	58.37730447	875.659567
16	16	256	4096	65536	50	3.912023005	62.59236808	1001.47788
17	17	289	4913	83521	52	3.951243719	67.17114321	1141.90943
18	18	324	5832	104976	54	3.988984047	71.80171284	1292.43083
19	19	361	6859	130321	56	4.025351691	76.48168212	1453.15196
20	20	400	8000	160000	58	4.06044301	81.20886021	1624.17720
21	21	441	9261	194481	60	4.094344652	85.9812358	1805.60595
22	22	484	10648	234256	62	4.127134385	90.79695647	1997.53304
23	23	529	12167	279841	64	4.158883083	95.65431091	2200.04915
24	24	567	13824	331776	65	4.17438727	100.1852945	2404.44706
25	25	625	15625	390625	65	4.17438727	104.3593817	2608.99204

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้เฉพาะในโครงการวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่วารณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

26	26	676	17576	456976	66	4.189654742	108.9310233	2832.20665
27	27	729	19683	531441	66	4.189654742	113.120678	3054.25830
28	28	784	21952	614656	65	4.17438727	116.8828436	3272.71961
29	29	841	24389	707281	65	4.17438727	121.0572308	3510.65969
30	30	900	27000	810000	63	4.143134726	124.2940418	3728.82125
31	31	961	29791	923521	62	4.127134385	127.9411659	3966.17614
32	32	1024	32768	1048576	61	4.110873864	131.5479637	4209.53483
33	33	1089	35937	1185921	59	4.077537444	134.5587356	4440.43827
34	34	1156	39304	1336336	58	4.06044301	138.0550624	4693.87212
35	35	1225	42875	1500625	56	4.025351691	140.8873092	4931.05582
36	36	1296	46656	1679616	55	4.007333185	144.2639947	5193.50380
37	37	1369	50653	1874161	54	3.988984047	147.5924097	5460.91916
38	38	1444	54872	2085136	53	3.970291914	150.8710927	5733.10152
39	39	1521	59319	2313441	52	3.951243719	154.098505	6009.84169
40	40	1600	64000	2560000	52	3.951243719	158.0497487	6321.98995
41	41	1681	68921	2825761	51	3.931825633	161.2048509	6609.39888
42	42	1764	74088	3111696	51	3.931825633	165.1366766	6935.74041
43	43	1849	79507	3418801	50	3.912023005	168.2169892	7233.33053
44	44	1936	85184	3748096	50	3.912023005	172.1290122	7573.67653
45	45	2025	91125	4100625	49	3.891820298	175.1319134	7880.93610
46	46	2116	97336	4477456	49	3.891820298	179.0237337	8235.09175
47	47	2209	103823	4879681	49	3.891820298	182.915554	8597.03103
48	48	2304	110592	5308416	49	3.891820298	186.8073743	8966.75396
49	49	2401	117649	5764801	49	3.891820298	190.6991946	9344.26053
50	50	2500	125000	6250000	49	3.891820298	194.5910149	9729.55074
51	51	2601	132651	6765201	48	3.871201011	197.4312515	10068.9938
52	52	2704	140608	7311616	48	3.871201011	201.3024526	10467.7275
53	53	2809	148877	7890481	49	3.891820298	206.2664758	10932.1232
54	54	2916	157464	8503056	49	3.891820298	210.1582961	11348.5479
	1485	53955	220522	96137019	2886	214.5033723	5904.809972	213624.491

เอกสาร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P(t) = ap \exp \frac{-(t - \tau p)^2}{2bp^2}$$

$$v_i = p(t) + e_{pi}$$

พิจารณา เฉพาะ $P(t)$ $e_{pi} = v_i - p(t)_i$

$$\text{take ln ; } \ln e_{pi} = \ln v_i - \ln P(t_i) ; \ln e_{pi} = \eta_{pi}$$

$$\eta_{pi} = \ln v_i - \ln P(t_i)$$

1

พิจารณา $\ln P(t_i)$

$$\ln P(t_i) = \ln ap - \frac{(t - \tau p)^2}{2bp^2}$$

$$= \ln ap - \frac{(t^2 - 2t\tau p + \tau p^2)}{2bp^2}$$

$$\ln P(t_i) = \ln ap - \frac{\tau p^2}{2bp} + \frac{t\tau p}{bp^2} - \frac{t^2}{2bp^2}$$

เพื่อให้ง่ายแก่การหาค่า ap , τp , bp

$$\text{ให้ } A_p = \ln ap - \frac{\tau p^2}{2bp^2}$$

2

$$B_p = + \frac{\tau p}{bp^2}$$

3

$$C_p = - \frac{1}{2bp^2}$$

4

จากสมการ 1 พิจารณา ได้ เป็น

$$\eta_{pi} = \ln v_i - A_p - B_{pti} - C_{pti}^2 ; i = 1, \dots, N_{pr}$$

หาค่า A_p , B_p , C_p โดยประมาณ $\eta_{pi} = 0$ แล้วใช้วิธีการ Least Square

Approximation

$$S_r = \sum_{i=1}^{54} \eta_{pi}^2 = \sum_{i=1}^{54} (\ln v_i - A_p - B_{pti} - C_{pti}^2)^2$$

5

$$\frac{\partial S_r}{\partial A_p} = -2 \sum_{i=1}^{54} (\ln v_i - A_p - B_{pti} - C_{pti}^2)$$

6

$$\frac{\partial S_r}{\partial B_p} = -2 \sum_{i=1}^{54} t_i^2 (\ln v_i - A_p - B_{pti} - C_{pti}^2)$$

7

$$\frac{\partial S_r}{\partial C_p} = -2 \sum_{i=1}^{54} t_i^2 (\ln v_i - A_p - B_{pti} - C_{pti}^2)$$

8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ $\frac{\partial Sr}{\partial Ap}, \frac{\partial Sr}{\partial Bp}, \frac{\partial Sr}{\partial Cp} = 0$, และ $\sum_{i=1}^{54} Ap = nAp$

ดังนั้นสมการที่ 6 จะได้

$$\sum_{i=1}^{54} (\ln vi - Ap - Bpti - Cpti^2) = 0$$

$$\sum \ln vi - \sum Ap - \sum Bpti - \sum Cpti^2 = 0$$

$$nAp + \sum_{i=1}^{54} Bpti + \sum_{i=1}^{54} Cpti^2 = \sum_{i=1}^{54} \ln vi$$

$$nAp + Bp \sum_{i=1}^{54} ti + Cp \sum_{i=1}^{54} ti^2 = \sum_{i=1}^{54} \ln vi \quad 9$$

จาก 7 จะได้ $Ap \sum_{i=1}^{54} ti + Bp \sum_{i=1}^{54} ti^2 + Cp \sum_{i=1}^{54} ti^3 = \sum_{i=1}^{54} ti \ln vi \quad 10$

จาก 8 จะได้ $Ap \sum_{i=1}^{54} ti + Bp \sum_{i=1}^{54} ti^2 + Cp \sum_{i=1}^{54} ti^3 = \sum_{i=1}^{54} ti^2 \ln vi \quad 11$

$$54Ap + 1485Bp + 53955Cp = 214.5033723$$

$$1485Ap + 53955Bp + 2205225Cp = 5904.809972$$

$$53955Ap + 2205225Bp + 96137019Cp = 213624.4912$$

$$\begin{array}{cccccc} 54 & 1485 & 53955 & Ap & & 214.5033723 \\ 1485 & 53955 & 2205225 & Bp & = & 5904.809972 \\ & & & Cp & & 213624.4912 \\ 53955 & 2205225 & 96137019 & & & \end{array}$$

$$\Delta = \begin{array}{ccc} 54 & 1485 & 53955 \\ 1485 & 53955 & 2205225 \\ 53955 & 2205225 & 96137019 \end{array}$$

$$\begin{aligned} &= (2.801019344 \cdot 10^{14}) + (1.766896286 \cdot 10^{14}) + (1.766896286 \cdot 10^{14}) \\ &\quad - (1.57070668 \cdot 10^{14}) - (2.626029342 \cdot 10^{14}) - (2.120037577 \cdot 10^{14}) \\ &= 1.8038317 \cdot 10^{12} \end{aligned}$$

$$Ap = \frac{\begin{array}{ccc} 214.5033723 & 1485 & 53955 \\ 5904.809972 & 53955 & 2205225 \\ 213624.4912 & 2205225 & 96137019 \end{array}}{1.8038317 \cdot 10^{12}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{6.768851 * 10^{12}}{1.8038317 * 10^{12}}$$

$$A_p = 3.75248478$$

$$B_p = \frac{\begin{array}{ccc} 54 & 214.5033723 & 53955 \\ 1485 & 5904.809972 & 2205225 \\ 53955 & 213624.4912 & 96137019 \end{array}}{1.8038317 * 10^{12}}$$

$$= \frac{4.088311 * 10^{10}}{1.8038317 * 10^{12}}$$

$$B_p = 0.022664592$$

$$C_p = \frac{\begin{array}{ccc} 54 & 1485 & 214.5033723 \\ 1485 & 53955 & 5904.809972 \\ 53955 & 2205225 & 213624.4912 \end{array}}{1.8038317 * 10^{12}}$$

$$= - \frac{728409700}{1.8038317 * 10^{12}}$$

$$C_p = - 4.03812451 * 10^{-4}$$

$$\therefore C_p = \frac{-1}{2bp^2}$$

$$bp^2 = \frac{-1}{2C_p} = \frac{-1}{2(-4.03812451 * 10^{-4})}$$

$$\therefore bp^2 = 1238.198572$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B_p = \frac{\tau p}{b p^2}$$

$$\tau p = B_p b p^2$$

$$= (.022664592)(1238.198572)$$

$$\tau p = 28.06326544$$

$$A_p = \ln a_p - \frac{\tau p^2}{2 b p^2}$$

$$\ln a_p = A_p + \frac{\tau p^2}{2 b p^2}$$

$$= 3.75248478 + \frac{(28.06326544)^2}{2(1238.198572)}$$

$$= 3.75248478 + .31802123$$

$$\ln a_p = 4.070506011$$

$$a_p = \exp(4.070506011)$$

$$a_p = 58.58660053$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของสัญญาณ QRS

	t_i	A_i	A_i^2	A_i^3	A_i^4	B_i	$A_i B_i$
1	55	-19	361	-6859	130321	$3.384650424 \cdot 10^{-5}$	$-6.4308358 \cdot 10^{-4}$
2	56	-18	324	-5832	104976	$9.720927286 \cdot 10^{-5}$	$-1.74976691 \cdot 10^{-3}$
3	57	-17	289	-4913	83521	$2.637146961 \cdot 10^{-4}$	$-4.48314983 \cdot 10^{-3}$
4	58	-16	256	-4096	65536	$6.757619493 \cdot 10^{-4}$	-0.01081219
5	59	-15	225	-3375	50625	$1.635633131 \cdot 10^{-3}$	-0.02453449
6	60	-14	196	-2744	38416	$3.739476666 \cdot 10^{-3}$	-0.05235267
7	61	-13	169	-2197	28561	$8.075483232 \cdot 10^{-3}$	-0.10498128
8	62	-12	144	-1728	20736	0.016472479	-0.19766975
9	63	-11	121	-1331	14641	0.031738192	-0.34912012
10	64	-10	100	-1000	10000	0.057761462	-0.57761462
11	65	-9	81	-729	6561	0.099294895	-0.89365406
12	66	-8	64	-512	4096	0.161230957	-1.28984766
13	67	-7	49	-343	2401	0.247287809	-1.73101466
14	68	-6	36	-261	1296	0.358252924	-2.14951754
15	69	-5	25	-125	625	0.490240903	-2.45120451
16	70	-4	16	-64	256	0.633668485	-2.53467394
17	71	-3	9	-27	81	0.773655177	-2.32096553
18	72	-2	4	-8	16	0.892206796	-1.78441359
19	73	-1	1	-1	1	0.971888362	-0.971888362
20	74	0	0	0	0	0	0
21	75	1	1	1	1	0.971888362	0.971888362
22	76	2	4	8	16	0.892206796	1.784413593
23	77	3	9	27	81	0.773655177	2.320965531
24	78	4	16	64	256	0.633668485	2.53467394
25	79	5	25	125	625	0.490240903	2.451204519

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

26	80	6	36	216	1296	0.358252824	2.149517545
27	81	7	49	343	2401	0.247287809	1.731014664
28	82	8	64	512	4096	0.161230957	1.289847661
29	83	9	81	729	6561	0.099294895	0.89365406
30	84	10	100	1000	10000	0.057761462	0.57761462
31	85	11	121	1331	14641	0.031738192	0.349120121
32	86	12	144	1728	20736	0.016472479	0.197669753
33	87	13	169	2197	28561	$8.075483232*10^{-3}$	0.104981282
34	88	14	196	2744	38416	$3.739476666*10^{-3}$	0.052352673
35	89	15	225	3375	50625	$1.635633131*10^{-3}$	0.024534496
36	90	16	256	4096	65536	$1.757619493*10^{-4}$	0.010812191
37	91	17	289	4913	83521	$2.637146961*10^{-4}$	$4.483149833*10^{-3}$
38	92	18	324	5832	104976	$9.720927286*10^{-5}$	$1.749766911*10^{-3}$
39	93	19	361	6859	130321	$3.384650424*10^{-5}$	$6.430835806*10^{-4}$
40	94	20	400	8000	160000	$1.113147485*10^{-5}$	$2.22629497*10^{-4}$
41	95	21	441	9261	194481	$3.457995009*10^{-6}$	$7.261789519*10^{-5}$
42	96	22	484	10648	234256	$1.014679255*10^{-6}$	$2.232294362*10^{-5}$
43	97	23	529	12167	279841	$2.812327918*10^{-7}$	$6.468354211*10^{-6}$
44	98	24	576	13824	331776	$7.362679596*10^{-8}$	$1.767043103*10^{-6}$
45	99	25	625	15625	390625	$1.820700908*10^{-8}$	$4.551752269*10^{-7}$
46	100	26	676	17565	456976	$4.252791377*10^{-9}$	$1.105725758*10^{-7}$
47	101	27	729	19683	531441	$9.383012889*10^{-10}$	$2.53341348*10^{-8}$
48	102	28	784	21952	614656	$1.955434667*10^{-10}$	$5.475217068*10^{-9}$
49	103	29	841	24389	707281	$3.849258449*10^{-11}$	$1.11628495*10^{-9}$
50	104	30	900	27000	810000	$7.1572073*10^{-12}$	$2.14716219*10^{-10}$
51	105	31	961	29791	923521	$1.257022016*10^{-12}$	$3.896768249*10^{-11}$
52	106	32	1024	32768	1048576	$2.085330696*10^{-13}$	$6.673058228*10^{-12}$
53	107	33	1089	35937	1185921	$3.267681741*10^{-14}$	$1.078334975*10^{-12}$
54	108	34	1156	39304	1336336	$4.836568356*10^{-15}$	$1.644433241*10^{-13}$
	4401	405	16155	317925	10331019	10.49645511	$3.265221872*10^{-4}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	$Ai^2 Bi$	$Ai^3 Bi$	$Ai^4 Bi$	vi
1	0.012218588	-0.23215317	4.410910279	48
2	0.031495804	-0.56692447	10.20464063	48
3	0.076213547	-1.2956303	22.02571513	46
4	0.172995059	-2.76792094	44.28673511	42
5	0368017454	-5.52026181	82.80392726	38
6	0.732937426	-10.2611239	143.6557356	34
7	1.364756666	-17.7418366	230.6438766	31
8	2.372037047	-28.4644445	341.5733348	29
9	3.840321334	-42.2435346	464.6788814	27
10	5.776146203	-57.761462	577.6146203	28
11	8.042886546	-72.3859789	651.4738103	31
12	10.31878129	-82.5502503	660.4020024	37
13	12.11710265	-84.8197185	593.7380297	48
14	12.89710527	-77.3826316	464.2957896	65
15	12.2560226	-61.2801129	306.4005649	88
16	10.13869576	-40.554783	162.2191322	108
17	6.962896592	-20.8886897	62.66606933	135
18	3.528827185	-7.13765437	14.27530874	146
19	0.971888362	-0.971888362	0.971888362	152
20	0	0	0	154
21	0.971888362	0.971888362	0.971888362	145
22	3.528827185	7.13765437	14.27530874	137
23	6.962896592	20.88868978	62.66606933	128
24	10.13869576	40.55478304	162.2191322	117
25	12.2560226	61.28011299	306.4005649	107
26	12.89710527	77.38263161	464.2957896	96
27	12.11710265	84.81971853	593.7390297	84
28	10.31878129	82.5502503	660.4020024	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

29	8.042886546	72.38597892	651.4738103	54
30	5.776146203	57.76146203	577.6146203	34
31	3.840321334	42.24353467	464.6788814	26
32	2.372037047	28.46444456	341.5733348	22
33	1.364756666	17.74183666	230.6438766	22
34	0.732937426	10.26112397	143.6557356	24
35	0.368017454	5.520261817	82.80392726	26
36	0.172995059	2.767920944	44.28673511	30
37	0.076213547	1.295630302	22.02571513	33
38	0.031495804	0.566924479	10.20464063	36
39	0.012218588	0.232153172	4.410910279	38
40	$4.452589941 \cdot 10^{-3}$	0.089051798	1.781035976	40
41	$1.524975799 \cdot 10^{-3}$	0.032024491	0.672514327	42
42	$4.911047596 \cdot 10^{-4}$	0.010804304	0.237694703	43
43	$1.487721469 \cdot 10^{-4}$	$3.421759378 \cdot 10^{-3}$	0.078700465	44
44	$4.240903447 \cdot 10^{-5}$	$1.017816827 \cdot 10^{-3}$	0.024427603	45
45	$1.137938067 \cdot 10^{-5}$	$2.844845168 \cdot 10^{-4}$	$7.112112919 \cdot 10^{-3}$	46
46	$2.874886971 \cdot 10^{-6}$	$7.474706124 \cdot 10^{-5}$	$1.943423592 \cdot 10^{-3}$	46
47	$6.840216396 \cdot 10^{-7}$	$1.846858427 \cdot 10^{-5}$	$4.986517753 \cdot 10^{-4}$	47
48	$1.533060779 \cdot 10^{-7}$	$4.292570181 \cdot 10^{-6}$	$1.201919651 \cdot 10^{-4}$	47
49	$3.237226355 \cdot 10^{-8}$	$9.38795643 \cdot 10^{-7}$	$2.722507365 \cdot 10^{-5}$	47
50	$6.44148657 \cdot 10^{-9}$	$1.932445971 \cdot 10^{-7}$	$5.797337913 \cdot 10^{-6}$	47
51	$1.207998157 \cdot 10^{-9}$	$3.744794287 \cdot 10^{-8}$	$1.160886229 \cdot 10^{-6}$	47
52	$2.135378633 \cdot 10^{-10}$	$6.833211625 \cdot 10^{-9}$	$2.18662772 \cdot 10^{-7}$	48
53	$3.558505416 \cdot 10^{-11}$	$1.174306787 \cdot 10^{-9}$	$3.875212398 \cdot 10^{-8}$	48
54	$5.591073019 \cdot 10^{-12}$	$1.900964827 \cdot 10^{-10}$	$6.46328041 \cdot 10^{-9}$	48
	184.049365	0.136704238	$6.532909164 \cdot 10^{-4}$	3249

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	C_i	$V_i C_i$	$V_i A_i C_i$	$V_i A_i^2 C_i$
1	$5.817774853 \cdot 10^{-3}$	0.279253192	-5.30581066	100.8104026
2	$9.859476299 \cdot 10^{-3}$	0.473254862	-8.51858752	153.3345754
3	0.016239294	0.747007561	-12.6991285	215.8851853
4	0.025995421	1.091807711	-17.4689233	279.5027741
5	0.040442961	1.536832535	-23.052488	345.7873204
6	0.06115126	2.079142859	-29.108	407.5120003
7	0.089863692	2.785774468	-36.215068	470.7958851
8	0.128345157	3.722009572	-44.6641148	535.9693784
9	0.178152162	4.810108375	-52.9111921	582.0231134
10	0.240336143	6.729412027	-67.2941202	672.9412027
11	0.315110925	9.768438704	-87.9159483	791.0243535
12	0.401535748	14.85682271	-118.854581	950.8366535
13	0.497280413	23.86945982	-167.086218	1169.603531
14	0.598542332	38.90525163	-233.431509	1400.589059
15	0.700172053	61.61514067	-308.075703	1540.378517
16	0.796032967	85.97156047	-343.886241	1375.544967
17	0.879576703	11807428549	-356.228564	1068.685694
18	0.944566988	137.906804	-275.81356	551.6271214
19	0.985843984	149.8482857	-149.848285	149.8489285
20	1	154	0	0
21	0.985843984	142.9473778	142.9473778	142.9473778
22	0.944566988	129.4056775	258.8113549	517.6227098
23	0.879576703	112.585818	337.7574541	1013.272362
24	0.796032967	93.13585717	372.5434287	1490.173715
25	0.700172053	74.91840968	374.5920484	1872.960242
26	0.598542332	57.46006394	344.7603837	2068.562302

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

27	0.497280413	41.77155469	292.4008828	2046.806180
28	0.401535748	28.10750242	224.8600194	1798.880155
29	0.315110925	17.0159900	153.143910	1378.29519
30	0.240336143	8.17142889	81.7142889	817.142889
31	0.178152162	4.631956213	50.95151835	560.4667018
32	0.128345157	2.823593469	33.88312162	406.5974595
33	0.089863692	1.977001235	25.70101606	334.1132088
34	0.06115126	1.467630253	20.54682354	287.6555296
35	0.040442961	1.051516998	15.77275497	236.5913245
36	0.025995421	0.779862651	12.47780242	119.6448387
37	0.016239294	0.535896728	9.110244391	154.8741546
38	$9.859476299 \times 10^{-3}$	0.354941146	6.388940641	115.0009315
39	$5.817774853 \times 10^{-3}$	0.221075444	4.200433443	790.80823542
40	$3.336386496 \times 10^{-3}$	0.133455459	2.669109196	53.38218393
41	$1.85956885 \times 10^{-3}$	0.078101877	1.640139417	34.44292776
42	$1.007312885 \times 10^{-3}$	0.043314454	0.952917988	20.96419576
43	$5.303138616 \times 10^{-4}$	0.023333809	0.536677627	12.34358544
44	$2.713425804 \times 10^{-4}$	0.012210416	0.293049986	7.033199684
45	$1.349333504 \times 10^{-4}$	$6.20693412 \times 10^{-3}$	0.155173353	3.87933825
46	$6.521342942 \times 10^{-5}$	$2.999817754 \times 10^{-3}$	0.077995261	2.027876801
47	$3.063170421 \times 10^{-5}$	$1.439690098 \times 10^{-3}$	0.038871632	1.049534081
48	$1.398368574 \times 10^{-5}$	$6.572332299 \times 10^{-4}$	0.01840253	0.515270852
49	$6.204239235 \times 10^{-6}$	$2.915992441 \times 10^{-4}$	$8.456378077 \times 10^{-3}$	0.245234964
50	$2.675295742 \times 10^{-6}$	$1.25738899 \times 10^{-4}$	$3.772166996 \times 10^{-3}$	0.113165009
51	$1.121169932 \times 10^{-6}$	$5.269498679 \times 10^{-5}$	$1.63354459 \times 10^{-3}$	0.050639882
52	$4.566542125 \times 10^{-7}$	$2.19194022 \times 10^{-5}$	$7.014208704 \times 10^{-4}$	0.022445467
53	$1.807673018 \times 10^{-7}$	$8.676830488 \times 10^{-6}$	$2.863354061 \times 10^{-4}$	$9.449068402 \times 10^{-3}$
54	$6.954544098 \times 10^{-8}$	$3.338181167 \times 10^{-6}$	$1.134981597 \times 10^{-4}$	$3.858937429 \times 10^{-3}$
	14.8369913	1539.404575	430.5830665	28420.4176

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R(t) = (a_{R0} + a_{R1} \frac{d}{dt} + a_{R2} \frac{d^2}{dt^2}) \exp \frac{-(t-\tau R)^2}{2b^2}$$

$$R(t) = a_{R0} \exp \frac{-(t-\tau R)^2}{2bR^2} + a_{R1} \frac{d}{dt} \exp \frac{-(t-\tau R)^2}{2bR^2} + a_{R2} \frac{d^2}{dt^2} \exp \frac{-(t-\tau R)^2}{2bR^2}$$

กำหนดให้ $X_i = t_i - \tau R \quad \therefore d_{X_i} = d_t$

$$R(t) = a_{R0} \exp \frac{-X_i^2}{2bR^2} + a_{R1} \frac{d}{dX} \exp \frac{-X_i^2}{2bR^2} + a_{R2} \exp \frac{-X_i^2}{2bR^2}$$

พิจารณา $- a_{R1} \frac{d}{dX} \exp \frac{-X_i^2}{2bR^2} = a_{R1} \exp \frac{-X_i^2}{2bR^2} \frac{d}{dX} - \frac{X_i^2}{2bR^2}$

$$= \frac{-a_{R1}}{2bR^2} e^{\frac{-X_i^2}{2bR^2}} \frac{dX_i^2}{dX} = -\frac{a_{R1}}{bR^2} X_i$$

$$- a_{R2} \frac{d^2}{dX^2} \exp \frac{-X_i^2}{2bR^2} = a_{R2} \frac{d}{dX} \left[\frac{d}{dX} \exp \frac{-X_i^2}{2bR^2} \right]$$

$$= a_{R2} \frac{d}{dX} \left[\exp \frac{-X_i^2}{2bR^2} \left(\frac{-X_i}{bR^2} \right) \right]$$

$$= -\frac{a_{R2}}{bR^2} \left[X_i \frac{d}{dX} \exp \frac{-X_i^2}{2bR^2} + \exp \frac{-X_i^2}{2bR^2} \frac{d}{dX} X_i \right]$$

$$= -\frac{a_{R2}}{bR^2} \left[\frac{-X_i^2}{bR^2} \exp \frac{-X_i^2}{2bR^2} + \exp \frac{-X_i^2}{2bR^2} \right]$$

$$= -\frac{a_{R2}}{bR^2} \left[1 - \frac{X_i^2}{bR^2} \right] \exp \frac{-X_i^2}{2bR^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R(t) = \left[a_{R0} - \frac{a_{R1}}{b_{R^2}} Xi - \frac{a_{R2}}{b_{R^2}} \left(1 - \frac{Xi^2}{b_{R^2}} \right) \right] \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}}$$

$$R(t) = \left[a_{R0} - \frac{a_{R2}}{b_{R^2}} - \frac{a_{R1}}{b_{R^2}} Xi + \frac{a_{R2}}{b_{R^4}} Xi^2 \right] \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}}$$

$$\alpha_0 = a_{R0} - \frac{a_{R2}}{b_{R^2}}$$

$$\alpha_1 = -\frac{a_{R1}}{b_{R^2}}$$

$$\alpha_2 = \frac{a_{R2}}{b_{R^4}}$$

$$R(t) = (\alpha_0 + \alpha_1 Xi + \alpha_2 Xi^2) \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}}$$

$$Vi = R(t) + eRi$$

$$eRi = Vi - R(t) = Vi - (\alpha_0 + \alpha_1 Xi + \alpha_2 Xi^2) \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}}$$

$$Sr = \sum_{i=55}^{108} eRi^2 = \sum_{i=55}^{108} (Vi - (\alpha_0 + \alpha_1 Xi + \alpha_2 Xi^2) \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}})^2$$

$$Sr = \sum_{i=55}^{108} (Vi - \alpha_0 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} - \alpha_1 Xi \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} - \alpha_2 Xi^2 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}})^2$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial \alpha_0} = 2 \sum_{i=55}^{108} \left[Vi - \alpha_0 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} - \alpha_1 Xi \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} - \alpha_2 Xi^2 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} \right] \frac{d}{d\alpha_0} (-\alpha_0 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}})$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial \alpha_0} = -2 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} \sum_{i=55}^{108} \left[Vi - \alpha_0 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} - \alpha_1 Xi \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} - \alpha_2 Xi^2 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} \right]$$

$$\text{กำหนดให้ } \frac{\partial Sr}{\partial \alpha_0} = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \sum_{i=55}^{108} \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} \left[Vi - \alpha 0 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} - \alpha 1 Xi \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} - \alpha 2 Xi^2 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} \right]$$

$$\sum_{i=55}^{108} \alpha 0 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} + \sum_{i=55}^{108} \alpha 1 Xi \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} + \sum_{i=55}^{108} \alpha 2 Xi^2 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} = \sum_{i=55}^{108} Vi \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}}$$

$$\frac{\partial r}{\partial \alpha 1} = 2 \sum_{i=55}^{108} \left[Vi - \alpha 0 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} - \alpha 1 Xi \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} - \alpha 2 Xi^2 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} \right] \frac{\partial}{\partial \alpha 1} (\alpha 1 Xi \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}})$$

$$\frac{\partial r}{\partial \alpha 1} = -2 \sum_{i=55}^{108} Xi \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} \sum_{i=55}^{108} \left[Vi - \alpha 0 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} - \alpha 1 Xi \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} - \alpha 2 Xi^2 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} \right]$$

กำหนดให้ $\frac{\partial r}{\partial \alpha 1} = 0$

$$\sum_{i=55}^{108} Vi Xi \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} = \sum_{i=55}^{108} \alpha 0 Xi \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} + \sum_{i=55}^{108} \alpha 1 Xi^2 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} + \sum_{i=55}^{108} \alpha 2 Xi^3 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}}$$

$$\frac{\partial r}{\partial \alpha 2} = 2 \sum_{i=55}^{108} \left[Vi - \alpha 0 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} - \alpha 1 Xi \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} - \alpha 2 Xi^2 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} \right] \frac{\partial}{\partial \alpha 2} (-\alpha 2 Xi^2 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}})$$

$$\frac{\partial r}{\partial \alpha 2} = -2 \sum_{i=55}^{108} Xi \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} \sum_{i=55}^{108} \left[Vi - \alpha 0 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} - \alpha 1 Xi \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} - \alpha 2 Xi^2 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} \right]$$

กำหนดให้ $\frac{\partial r}{\partial \alpha 2} = 0$

$$\sum_{i=55}^{108} Vi Xi \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} = \sum_{i=55}^{108} \alpha 0 Xi^2 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} + \sum_{i=55}^{108} \alpha 1 Xi^3 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} + \sum_{i=55}^{108} \alpha 2 Xi^4 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}}$$

$$\sum_{i=55}^{108} \alpha 0 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} + \sum_{i=55}^{108} \alpha 1 Xi \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} + \sum_{i=55}^{108} \alpha 2 Xi^2 \exp^{\frac{-Xi^2}{2bR^2}} = \sum_{i=55}^{108} Vi$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sum_{i=55}^{108} \alpha_0 X_i \exp^{\frac{-X_i^2}{2bR^2}} + \sum_{i=55}^{108} \alpha_1 X_i^2 \exp^{\frac{-X_i^2}{2bR^2}} + \sum_{i=55}^{108} \alpha_2 X_i^3 \exp^{\frac{-X_i^2}{2bR^2}} = \sum_{i=55}^{108} V_i X_i$$

$$\sum_{i=55}^{108} \alpha_0 X_i^2 \exp^{\frac{-X_i^2}{2bR^2}} + \sum_{i=55}^{108} \alpha_1 X_i^3 \exp^{\frac{-X_i^2}{2bR^2}} + \sum_{i=55}^{108} \alpha_2 X_i^4 \exp^{\frac{-X_i^2}{2bR^2}} = \sum_{i=55}^{108} V_u X_i^2$$

$$\begin{bmatrix} 10.50381468 & 3.26442911 * 10^{-4} & 184.0493896 \\ 3.26442911 * 10^{-4} & 184.0493896 & 0.1367033936 \\ 184.0493896 & 0.1367033936 & 9679.486027 \end{bmatrix}$$

$$= 18712582.56 + 8.213363158 * 10^{-3} + 8.213363158 * 10^{-3} - 6234521.749 -$$

$$0.1962933752 - 1.031494684 * 10^{-3}$$

$$= 12478060.63$$

$$\begin{bmatrix} 1543.26547 & 3.26442911 * 10^{-4} & 184.0493836 \\ 430.5830625 & 184.0493836 & 0.1367033936 \\ 26620.42303 & 0.1367033936 & 9679.486027 \end{bmatrix}$$

$$= 2749332828 + 1.187959396 + 10833.5457 - 901744943.2 - 28.84026395 -$$

$$1360.556521$$

$$= 1847597330$$

$$\alpha_0 = \frac{1847597330}{12478060.63} = 148.0676673$$

$$\begin{bmatrix} 10.50381468 & 1543.26547 & 184.0493896 \\ 3.26442911 * 10^{-4} & 430.5830625 & 0.1367033936 \\ 184.0493896 & 26620.42303 & 9679.486027 \end{bmatrix}$$

$$= 43778037.65 + 3.8828.83107 + 1599.398493 - 14585647.31 - 38224.45544$$

$$- 4876.410805$$

$$= 29189717.7$$

$$\alpha_1 = \frac{29189717.7}{12478060.63} = 2.339283208$$

$$\begin{bmatrix} 10.50381468 & 3.26442911 * 10^{-4} & 1543.26547 \\ 3.26442911 * 10^{-4} & 184.0493896 & 430.5830625 \\ 184.0493896 & 0.1367033936 & 26620.42303 \end{bmatrix}$$

$$= 51463152.32 + 25.87013365 + 0.068869556 - 52276848.94 - 618.277282$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 & -2.836806084 \cdot 10^{-3} \\
 & = -814288.961 \\
 \alpha_2 & = -\frac{814288.961}{12478060.63} = -0.065257653
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_{R2} & = \alpha_2 \cdot b_{R^2} = -0.065257653 \cdot (35.07008)^2 \\
 & = -80.26107336
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_{R1} & = -\alpha_1 \cdot b_{R^2} = -2.339283208 \cdot 35.07008 \\
 & = -82.03884925
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_0 & = \alpha_0 - \frac{a_{R2}}{b_{R^2}} = 148.067667 - \left(-\frac{80.26107336}{35.07008} \right) \\
 & = 150.3562584
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของสัญญาณ T

	t_i	t_i^2	t_i^3	t_i^4	v_i	$\ln v_i$	$t_i \ln v_i$	$t_i^2 \ln v_i$
1	109	11881	1295029	141158161	48	3.87120101	421.960910	45993.73921
2	110	12100	1331000	146410000	48	3.87120101	425.832111	46841.53223
3	111	12321	1367631	151807041	48	3.87120101	429.703312	47697.06765
4	112	12769	1404928	157351936	48	3.87120101	433.574513	49431.3657
5	113	12769	1442897	163047361	48	3.87120101	437.445714	49431.3657
6	114	12996	1481544	168896016	48	3.87120101	441.316915	50310.12833
7	115	13225	1520875	174900625	48	3.87120101	445.188116	51196.6337
8	116	13456	1560896	181063936	49	3.89182029	451.451154	52368.33393
9	117	13689	1601613	187388721	49	3.98182029	455.342974	53275.12806
10	118	13924	1643032	193877776	49	3.98182029	459.234795	54189.70583
11	119	14161	1685159	200533921	49	3.98182029	463.126615	55112.06724
12	120	14400	1728000	207360000	49	3.98182029	467.018435	56042.21229
13	121	14641	1771561	214358881	50	3.91202300	473.354783	57275.92882
14	122	14884	1815848	221533456	51	3.93182563	479.682727	58521.29271
15	123	15376	1860867	228886641	52	3.95124371	486.002977	59778.36622
16	124	15376	1906624	236421376	53	3.97029191	492.316197	61047.20846
17	125	15625	1953125	244140625	55	4.00733318	500.916648	62614.58102
18	126	15876	2000376	252047376	57	4.04305126	509.244597	64187.48192
19	127	16129	2048383	260144641	59	4.07753744	517.847254	65766.60143
20	128	16384	2097125	268435456	62	4.12713438	528.273201	67618.96976
21	129	16641	2146689	276922881	64	4.1588308	536.495917	69207.97338
22	130	16900	2197000	285610000	66	4.18965474	544.655116	70805.16514
23	131	17161	2248091	294499921	67	4.21950770	532.755509	72410.97173
24	132	17424	2299968	303595776	71	4.26267987	562.673743	74272.93418
25	133	17689	2352637	312900721	73	4.29045944	570.631105	75893.93705
26	134	17956	2406104	322417936	75	4.31748811	578.543407	77524.81656
27	135	18225	2460375	332150625	77	4.34380542	586.413731	79165.85381

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

28	136	18496	2515456	342102016	78	4.35670882	592.512400	80581.68645
29	137	18769	2571353	352275361	80	4.38202663	600.337648	82246.2579
30	138	19044	2628072	362673936	81	4.39444915	606.433983	83687.8897
31	139	19321	2685619	373301041	83	4.41884060	614.218844	85376.41938
32	140	19600	2744000	384160000	84	4.43081679	620.314351	86844.00925
33	141	19881	2803221	395254161	84	4.43081679	624.745168	88089.06877
34	142	20164	2863288	406586896	84	4.43081679	629.175985	89342.98993
35	143	20449	2924207	418161601	83	4.41884060	631.894206	90360.87158
36	144	20736	2985984	429981696	81	4.39444915	632.800678	91123.29767
37	145	21025	3048625	442050625	78	4.35670882	631.722779	91599.80308
38	146	21316	3112136	454371856	75	4.31748811	630.353264	92031.57662
39	147	21609	3176523	466948881	72	4.27666611	628.669919	92414.47816
40	148	21904	3241792	479785216	69	4.23410650	626.647762	92743.86887
41	149	22201	3307949	492884401	65	4.17438727	621.983703	92675.57178
42	150	22500	3375000	506250000	63	4.14313476	621.470209	93220.53134
43	151	22801	3442951	519885601	60	4.09434456	618.246028	93355.15036
44	152	23104	3511808	533794816	58	4.06044301	617.187337	93812.47531
45	153	23409	3581577	547981281	55	4.00733315	613.121977	93807.66253
46	154	23716	3652264	562448656	53	3.97029191	611.424954	94159.44302
47	155	24025	3723875	577200625	52	3.95124371	612.442776	94928.63034
48	156	24336	3796416	592240896	51	3.93182563	613.364798	95684.90859
49	157	24649	3869893	607573201	51	3.93182563	617.296624	96915.57002
50	158	24964	3944312	623201296	50	3.91202300	618.099634	97659.7423
51	159	25281	4019679	639128961	50	3.91202300	622.011657	98899.8536
52	160	25600	4096000	655360000	50	3.91202300	625.923680	100147.7889
53	161	25921	4173281	671898241	49	3.89182029	626.583068	100879.8739
54	162	26244	4251528	688747536	49	3.89182029	630.474888	102136.9319
55	163	26569	4330747	705911761	49	3.98182029	634.366708	103401.7735
56	164	26896	4410944	723394816	49	3.89182029	638.258528	104674.3987
57	165	27225	4492125	741200625	49	3.89182029	642.150349	105954.8076

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

58	166	27556	4574296	759333136	49	3.98182029	646.042169	107243.0001
59	167	27889	4657463	777796321	49	3.98182029	649.933989	108538.9763
60	168	28224	4741632	796594176	49	3.98182029	653.82581	109842.7361
61	169	28561	4826809	815730721	49	3.98182029	657.717634	111154.2795
62	170	28900	4913000	835210000	49	3.98182029	661.609450	112473.6066
63	171	29241	5000211	855036081	49	3.98182029	665.501271	113800.7173
64	172	29584	5088448	875213056	49	3.98182029	669.393091	115135.6117
65	173	29929	5177717	895745041	49	3.98182029	673.284911	116478.2897
66	174	30276	5268024	916636176	49	3.98182029	677.176731	117828.7513
	9339	1345421	197155629	2.93519125*10	3890	267.689545	37859.9013	5448363.641



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T(t) = a_T \exp - \frac{(t - \tau_T)^2}{2b_T^2}$$

พิจารณา เฉพาะ $P(t) \Rightarrow \ln e_{T_i} = V_i - T(t)$

take \ln ; $\ln e_{T_i} = \ln v_i - \ln T(t); \ln l_{T_i} = \eta_{T_i}$

$$\eta_{T_i} = \ln v_i - \ln T(t)$$

1

พิจารณา $\ln T(t)$

$$\begin{aligned} \ln T(t) &= \ln a_T - \frac{(t - \tau_T)^2}{2b_T^2} \\ &= \ln a_T - \frac{(t^2 - 2t\tau_T + \tau_T^2)}{2b_T^2} \end{aligned}$$

$$\ln T(t) = \ln a_T - \frac{\tau_T^2}{2b_T^2} + \frac{t\tau_T}{b_T^2} - \frac{t^2}{2b_T^2}$$

เพื่อง่าย แก่การหาค่า a_T, τ_T, b_T

$$\text{ให้ } A_T = \ln a_T - \frac{\tau_T^2}{2b_T^2}$$

2

$$B_T = \frac{\tau_T}{b_T^2}$$

3

$$C_T = -\frac{1}{2b_T^2}$$

4

จากสมการ 1 พิจารณา ได้เป็น

$$\begin{aligned}\eta_n &= \ln v_i - (A_T + B_T ti + C_T ti^2)^2 \\ &= \ln v_i - A_T - B_T ti - C_T ti^2; i = 1 \dots N_{TR}\end{aligned}$$

หาค่า A_T, B_T, C_T ให้วิธีการ Least Square Approximation

$$Sr = \sum_{i=1}^{66} n_{\eta}^2 = \sum_{i=1}^{66} (\ln v_i - A_T - B_T ti - C_T ti^2)^2 \quad 5$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial A_T} = -2 \sum_{i=1}^{66} (\ln v_i - A_T - B_T ti - C_T ti^2) \quad 6$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial B_T} = -2 \sum_{i=1}^{66} ti (\ln v_i - A_T - B_T ti - C_T ti^2) \quad 7$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial C_T} = -2 \sum_{i=1}^{66} ti^2 (\ln v_i - A_T - B_T ti - C_T ti^2) \quad 8$$

กำหนดให้ $\frac{\partial Sr}{\partial A_T}, \frac{\partial Sr}{\partial B_T}, \frac{\partial Sr}{\partial C_T} = 0$ และ $\sum_{i=1}^{66} A_T = nA_T$

ดังนั้น $6 \Rightarrow \sum_{i=1}^{66} (\ln v_i - A_T - B_T ti - C_T ti^2) = 0$

$$nA_T + \sum_{i=1}^{66} B_T ti + \sum_{i=1}^{66} C_T ti^2 = \sum_{i=1}^{66} \ln v_i$$

$$nA_T + B_T \sum_{i=1}^{66} ti + C_T \sum_{i=1}^{66} ti^2 = \sum_{i=1}^{66} \ln v_i \quad 9$$

จาก 7 จะได้ $A_T \sum_{i=1}^{66} ti + B_T \sum_{i=1}^{66} ti^2 + C_T \sum_{i=1}^{66} ti^3 = \sum_{i=1}^{66} ti \ln v_i \quad 10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก 8 จะได้ว่า
$$A_T \sum_{i=1}^{66} ti^2 + B_T \sum_{i=1}^{66} ti^3 + C_T \sum_{i=1}^{66} ti^4 = \sum_{i=1}^{66} ti^2 \ln vi$$
 11

$$66A_T + 9339B_T + 1345421C_T = 267.6895453$$

$$9339A_T + 1345421B_T + 197155629C_T = 37859.90132$$

$$1345421A_T + 197155629B_T + 2.935191252 * 10^{10} C_T = 5448363.641$$

$$\begin{array}{ccccccc} 66 & 9339 & 1345421 & A_T & 267.6895453 & & \\ 9339 & 1345421 & 197155629 & B_T & = & 37859.90132 & \\ 1345421 & 197155629 & 2.935191252 * 10^{10} & C_T & & 5448363.641 & \end{array}$$

$$\Delta = \begin{array}{ccc} 66 & 9339 & 1345421 \\ 9339 & 1345421 & 197155629 \\ 1345421 & 197155629 & 2.935191252 * 10^{10} \end{array}$$

$$\begin{aligned} &= (2.606384847 * 10^{18}) + (2.477238144 * 10^{18}) + (2.477238144 * 10^{18}) \\ &- (2.435424139 * 10^{18}) - (2.565442575 * 10^{18}) - (2.559983435 * 10^{18}) \\ &= 1.0986 * 10^{13} \end{aligned}$$

$$A_T = \frac{\begin{array}{ccc} 267.6895453 & 9339 & 1345421 \\ 37859.90132 & 1345421 & 197155629 \\ 5448363.641 & 197155629 & 2.935191252 * 10^{10} \end{array}}{1.0986 * 10^{13}}$$

$$= \frac{-5.9639 * 10^{13}}{1.0986 * 10^{13}}$$

$$= -5.42863644$$

$$A_T = -5.42863644$$

#

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{array}{r}
 66 \quad 267.6895453 \quad 1345421 \\
 9339 \quad 37859.90132 \quad 197155629 \\
 B_T = \frac{1345421 \quad 5448363.641 \quad 2.935191252 * 10^{10}}{1.0986 * 10^{13}} \\
 = \frac{1.5085 * 10^{12}}{1.0986 * 10^{13}}
 \end{array}$$

$$B_T = 0.137311123$$

#

$$\begin{array}{r}
 66 \quad 9339 \quad 267.6895453 \\
 9339 \quad 1345421 \quad 37859.90132 \\
 C_T = \frac{1345421 \quad 197155629 \quad 5448363.641}{1.0986 * 10^{13}} \\
 = \frac{-5.3599 * 10^9}{1.0986 * 10^{13}}
 \end{array}$$

$$C_T = -4.8788458 * 10^{-4}$$

#

$$C_T = \frac{-1}{2b_T^2}$$

$$b_T^2 = \frac{-1}{2b_T}$$

$$b_T = \sqrt{\frac{-1}{2C_T}}$$

$$b_T = \sqrt{\frac{-1}{2 * (-4.8788458 * 10^{-4})}}$$

$$b_T = 32.013006$$

$$b_T^2 = 1024.832553$$

#

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B_T = \tau_T / b_T^2$$

$$\tau_T = B_T \cdot b_T^2 = 0.137311123 \cdot 1024.832553$$

$$\tau_T = 140.7209088$$

#

$$A_T = \ln a_T - \frac{\tau_T^2}{2b_T^2}$$

$$\ln a_T = A_T + \frac{\tau_T^2}{2b_T^2}$$

$$= -5.42863644 + \frac{(140.7209088)^2}{2 \cdot (1024.832553)}$$

$$= -5.42863644 + 9.661273012$$

$$\ln a_T = 4.232636572$$

$$a_T = \exp(4.232636572)$$

$$a_T = 68.89764718$$

#

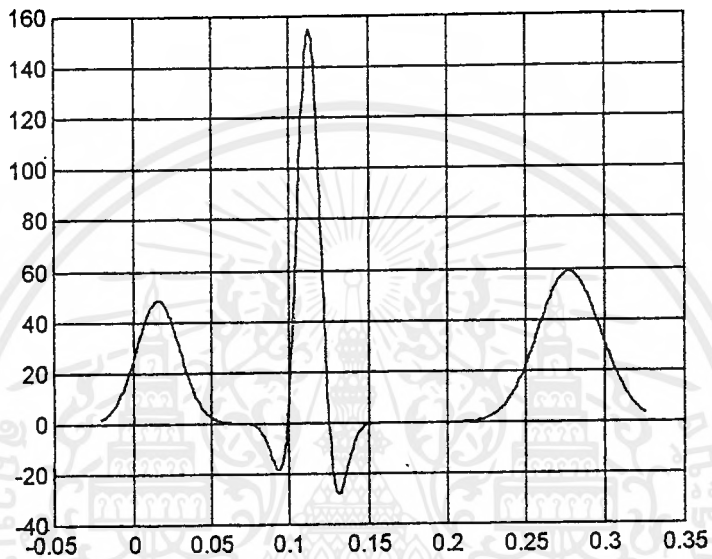
บทที่ 3

การจำลองสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจด้วยโปรแกรม MATLAB

ในการจำลองสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเราจะใช้โปรแกรม MATLAB โดยจะนำเอาสมการของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ซึ่งมีการแทนค่าสัมประสิทธิ์ในสมการของคลื่นไฟฟ้าหัวใจเสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในการจำลองสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจมีรูปแบบดังนี้และจะได้สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจตามแต่ละโปรแกรมดังนี้

3.1 โปรแกรมจำลองคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ได้จากการสุ่ม

```
clear ;
t1 = 0.02:1/2000:0.325
t = t1*1800
p = 48.58660053*exp(-(t-28.06326544).^2./1238.1985);
r=(150*exp(-0.0016752*(t-200.02395).^2))+(2.238*...
(t-200.02395)).*exp(-0.0016752*(t-200.02395).^2)...
+(2.28-0.256489791*(t-200.02395).^2).*exp(-0.0016752...
*(t-203.2252395).^2);
u=58.89647*exp(-(t-500).^2./2524.8325);
Np=length(p);
Nr=length(r);
Nu=length(u);
N=Np+Nr+Nu;
ecgn=p+r+u;
plot(t1,ecgn);
grid;
```



รูปที่ 3.1 สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ได้จากการสุ่ม

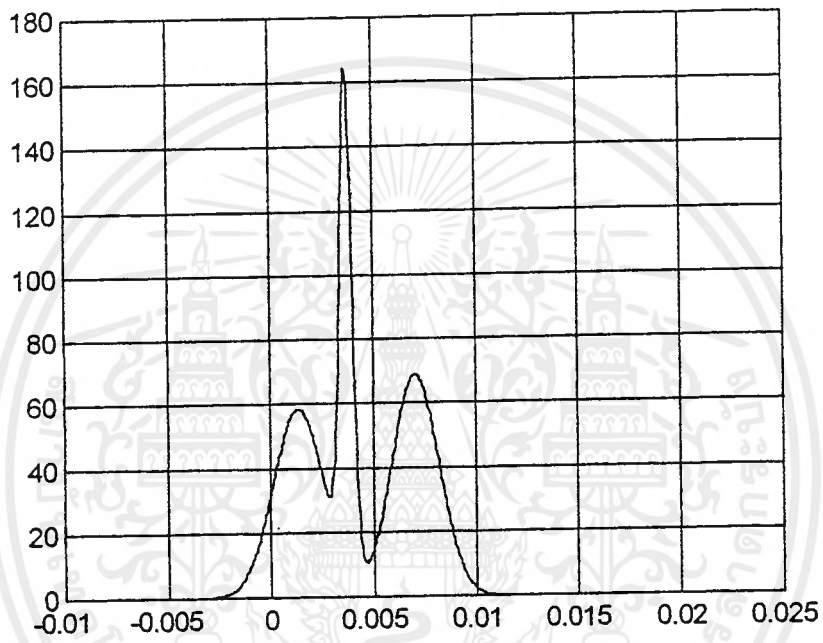
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 โปรแกรมจำลองสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ได้จากรูปแบบทางคณิตศาสตร์

```

clear ;
t1=-0.01:1/20000:0.2;
t=t1*20000
p=58.58660053*exp(-(t-28.06326544).^2./1238.1985);
r=(150.3562584*exp(-0.01425716736320*(t-
200.02395).^2))+2.33928320807937*(t-74)).*exp(-0.01425716736320*(t-74).^2)
+(2.28859111128346-0.0652576529*(t-74).^2).*exp(-
0.01425716736320*(t-74).^2);
u=68.89864718*exp(-(t-140.7209088).^2./1024.832553);
Np= length(p);
Nr= length(r);
Nu=length(u);
N=Np+Nr+Nu;
ecgn=p+r+u;
plot(t1,ecgn);
grid;

```



รูปที่ 3.2 สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ได้จากรูปแบบทางคณิตศาสตร์

3.3 โปรแกรมที่ใช้ในการแปลงรูปสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นข้อมูลที่ใช้กับ TMS 320 C5x

```

ecgn=ecgn/max(ecgn);
y=round(2^15*ecgn);
N=length(y);
    fprintf('TAB .WORD ');
    fprintf('%3.0f\n',y(1));
for ti =2:N
    fprintf(' .WORD ');
    fprintf('%3.0f\n',y(ti));
end;

```



บทที่ 4

การแสดงผลด้วยบอร์ด DSP

4.1 บอร์ด DSP Starter Kit

ในปัจจุบันที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่มักจะมีอุปกรณ์ Digital Signal Processing (DSP) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ เช่น การ์ด FAX/MODEM ของเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือโมเด็ม ความเร็วสูงรุ่นใหม่ ที่เมื่อเปิดดูภายในก็มีแค่ชิพ DSP และอุปกรณ์เชื่อมต่อกับสัญญาณโทรศัพท์เท่านั้น นอกจากนี้แล้วยังพบอีกมากในการ์ดเสียง, การ์ดวิดีโอคอมพิวเตอร์/ดีคอมพิวเตอร์, ดิจิตอลคอนโทรลเลอร์, ดิจิตอลออสซิลโลสโคป, สเปกตรัมอะนาไลเซอร์, อุปกรณ์coder (coder decoder) ของโทรศัพท์ภาพหรือระบบการประชุมผ่านจอภาพ, เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม DTH, โทรศัพท์มือถือแบบดิจิตอลทั้ง PCN1800 และ GSM900

ในอดีการศึกษาเรื่องของ DSP จะเป็นเรื่องที่ยากมาก เนื่องจากต้องหาตัวชิพ DSP, คู่มือ, ซอฟต์แวร์แอสเซมบลอร์และดีบั๊กเกอร์ ฯลฯ แต่ในปัจจุบันไม่เป็นเรื่องยากอีกแล้ว เมื่อทางเท็กซัส อินสตรูเมนต์ เจ้าของชิพ DSP ตระกูลTMS320CXX ได้จัดทำชุดพัฒนาที่สมบูรณ์แบบ มีตัวชิพ, คู่มือแต่ละอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นทั้งหมด พร้อมทั้งซอฟต์แวร์ และ โปรแกรมตัวอย่างจัดจำหน่ายในราคาถูก เพื่อต้องการให้มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย

ในปัจจุบันได้มีผู้นำเข้า TMS320C26 DSP Start Kit (เรียกล่อว่า DSK) ของเท็กซัส อินสตรูเมนต์เข้ามาจำหน่าย เพื่อให้ นักศึกษา นักออกแบบได้ทดลองศึกษาใช้งาน เป็นการพัฒนางาน DSP ของบ้านเรา

ในรูปที่4.1 แสดงส่วนประกอบทั้งหมดของชุด DSP Start Kit ประกอบด้วย บอร์ด DSK, คู่มือใช้งาน, แผ่นดิสก์โปรแกรม 2แผ่น และคู่มือชิพ TMS320C26



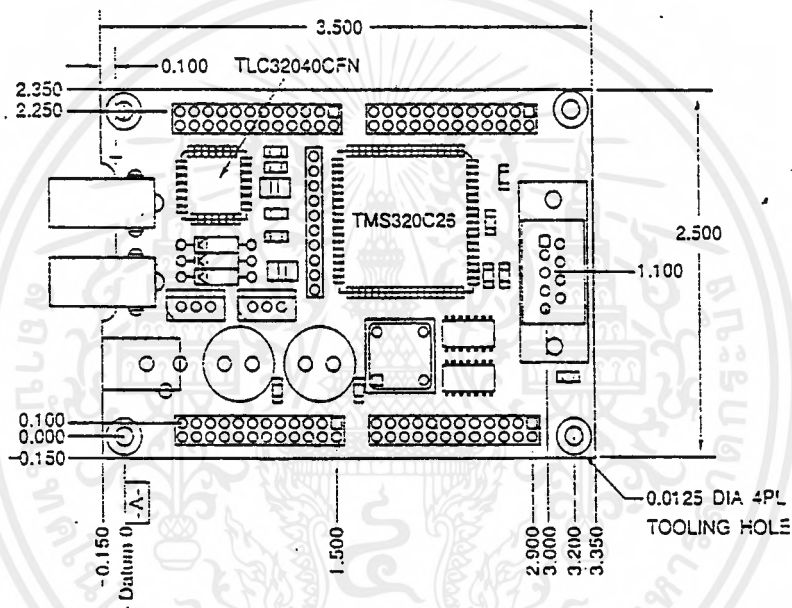
รูปที่4.1 ทั้งหมดที่เห็นในภาพคือ สิ่งที่มีทั้งหมดในชุด TMS320C26 DSP Starter Kit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ถือว่าผิดกฎหมาย

4.2 ระบบที่ต้องการ

ระบบเครื่องคอมพิวเตอร์ที่จะใช้กับชุด DSK นี้จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้เป็นเครื่อง IBM PC/AT หรือเทียบเท่า 100% หน่วยความจำ RAM น้อยที่สุด 640 กิโลไบต์ มีฟล็อปปี้ดิสค์ขนาด 3.5 และฮาร์ดดิสค์

ตัว DSP บอร์ดต้องการไฟเลี้ยง 9 Vac (กระแสขั้วต่ำ 250 มิลลิแอมป์) พร้อมแจ็กต่อขนาด 3.1 มิลลิเมตรและสายเชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต RS232

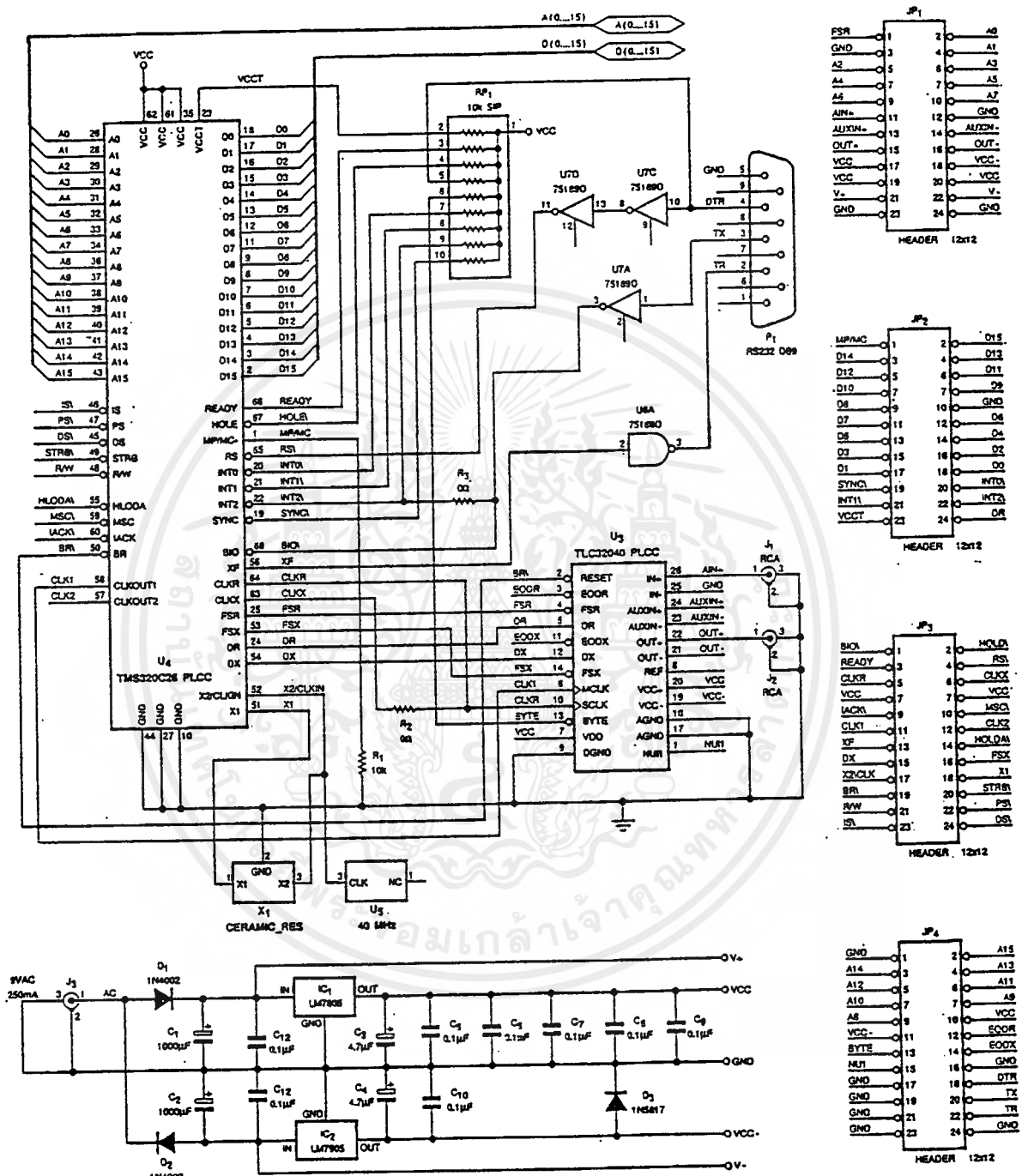


รูปที่ 4.2 หน้าตาและขนาดของบอร์ด DSK

4.3 รายละเอียดของบอร์ด DSK

รูปร่างภายนอกของบอร์ด DSK แสดงดังในรูปที่ 4.2 อุปกรณ์โดยส่วนใหญ่เป็นแบบติดตั้งบนผิวหน้าลงแผ่นวงจรพิมพ์ จะมีเพียงตัวเก็บประจุค่าสูงและไอซีเรกูเลเตอร์ที่เป็นแบบธรรมดา บนบอร์ด DSK จะมีชิพที่เป็นหัวใจหลักๆ อยู่ 2 อย่างคือ TMS320C26 ซึ่งเป็น DSP โปรเซสเซอร์ และชิพแปลงสัญญาณอะนาลอก เมอร์ TLC32040CFN

ขนาดของบอร์ดอยู่ที่ 2.5x3.5" มีคอนเน็คเตอร์ชนิด D ตัวเมียเพื่อใช้ในการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางบอร์ดอนุกรม RS-232C 1ชุด มีแจ็ก RCA สำหรับรับและส่งสัญญาณอะนาลอก



รูปที่ 4.3 วงจรสมบูรณ์ของบอร์ด DSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 วงจรสมบูรณ

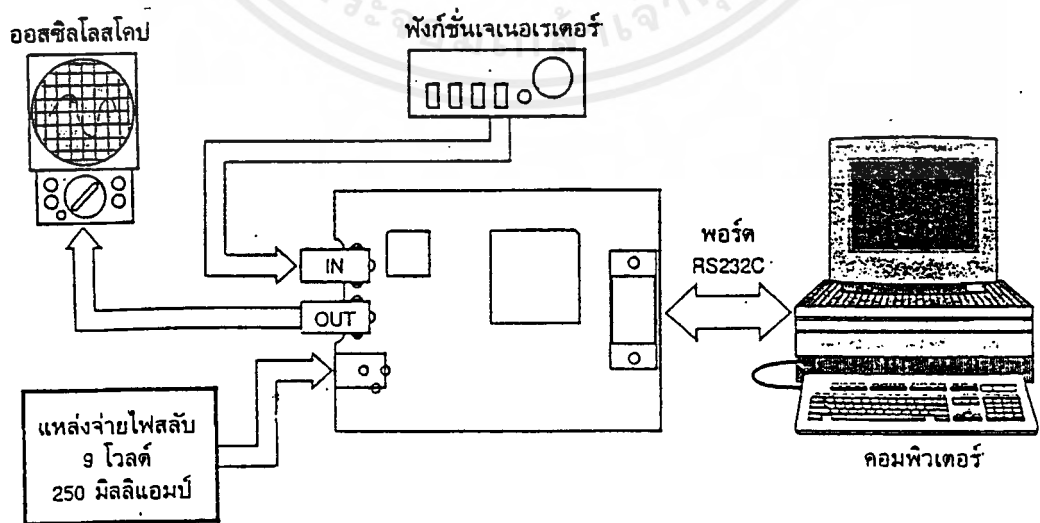
บอร์ด DSK มีวงจรสมบูรณแสดงในรูปที่ 3 ในส่วนบนเป็นวงจรของการเชื่อมต่อระหว่างชิพ DSP กับอุปกรณ์ต่อรวมอื่นๆ ในส่วนล่างเป็นภาคจ่ายไฟของบอร์ด DSK หัวใจสำคัญของบอร์ดอยู่ที่ U4 ชิพ DSP เบอร์ TMS320C26 เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ตัวหนึ่งที่ใช้งานด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลโดยเฉพาะ ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลทั้งหมดบนบอร์ด DSK นี้ โดยต้องทำงานร่วมกับซอฟต์แวร์ซึ่งจะกล่าวถึงภายหลัง

U4 ทำงานได้โดยอาศัยสัญญาณนาฬิกาจากโมดูลกำเนิดสัญญาณนาฬิกา 40 เมกกะเฮิร์ตซ์ U5 โดยมี X1 เซรามิกเรโซเนเตอร์ช่วยควบคุมความถี่ของสัญญาณนาฬิกาให้มีความเที่ยงตรงอีกชั้นหนึ่ง

U3 ชิพ ADC/DAC เบอร์ TLC32040 ของเท็กซัสอินสตรูเมนต์ ทำหน้าที่รับสัญญาณอะนาล็อกทางอินพุตที่จ่ายเข้ามาทาง J1 แล้วแปลงเป็นข้อมูลทางดิจิทัลส่งไปประมวลผลต่อที่ U4 และเมื่อต้องการส่งสัญญาณออก U4 จะส่งข้อมูลดิจิทัลมายัง U3 เพื่อทำการแปลงเป็นสัญญาณอะนาล็อกจ่ายออกไปทาง J2 ความละเอียดของการแปลงสัญญาณดิจิทัลจะมีขนาด 14 บิต สามารถกำหนดอัตราแซมปลิงได้สูงสุด 19200 แซมปลิงใน 1 วินาที

สำหรับการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232C นั้น จะเป็นหน้าที่ของ U6a เบอร์ 75188D และ U7a, U7c, U7d เบอร์ 75189D โดย U6 ทำหน้าที่ส่งข้อมูลจากบอร์ด DSK ออกไปทาง P1 คอนเน็คเตอร์ชนิด D 9 ขา ที่ต่อเข้ากับพอร์ตอนุกรม RS-232C ส่วน U7 ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์กำหนดข้อมูลจากคอมพิวเตอร์

ส่วนภาคจ่ายไฟบอร์ด DSK ต้องการไฟสลับ 9 โวลท์จากภายนอกจ่ายเข้ามาทาง J3 D1, D7, C1 และ C2 ทำหน้าที่เป็นวงจรทวิคูณแรงดันแล้วแบ่งแรงดันเป็นแรงดันบวกและลบจ่ายให้แก่ไอซีเรกูเลเตอร์ U1 และ U2 ได้เป็นแรงดัน ± 5 โวลท์ไปเลี้ยงบอร์ด DSK



รูปที่ 4.4 การต่อใช้งานบอร์ด DSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 เกี่ยวกับชิพ TMS320C26

TMS320C26 ที่เป็นหัวใจหลักของบอร์ด DSK เป็นผลงานของเท็กซัสอินสตรูเมนต์ เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ตัวหนึ่งที่ถูกออกแบบมาให้ใช้งานด้าน DSP โดยเฉพาะ มีคาบเวลาของไซเคิลของคำสั่งเป็น 100 นาโนวินาที ในการทำงานคำสั่งแต่ละตัวจะใช้เวลาหนึ่งไซเคิล ทำให้สามารถประมวลผลได้ถึง 10 ล้านคำสั่งต่อวินาที จึงส่งผลให้ชิพนี้สามารถทำการประมวลผลแบบเวลาจริง (real time) ได้ทันที

ในตัว TMS320C26 มีหน่วยความจำความเร็วสูงขนาด 1568 เวิร์ด โดยที่แต่ละเวิร์ดจะมีขนาด 16 บิต และมีรวมภายในขนาด 256 เวิร์ด สามารถอ้างอิงหน่วยความจำภายนอกได้ถึง 128 กิโลเวิร์ด แบ่งเป็นหน่วยความจำข้อมูลและหน่วยความจำโปรแกรมอย่างละ 64 กิโลเวิร์ด ALU (Arithmetic Logic Unit) และ แอ็คคิวเมเตเตอร์ ขนาด 32 บิต ได้ภายใน 1 แมกซีนไซเคิลทั้งนี้เนื่องจากตัว ALU มีวงจรถูกแบบ 16×16 บิตฮาร์ดไวร์ นอกจากนี้ยังมีตัวตั้งเวลาและส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกาอยู่ภายในชิพ ส่วนของการอินเตอร์เฟสเป็นแบบขนาน 16 บิต แบ่งเป็นอินพุต 16 แชนแนล เอาต์พุต 16 แชนแนล, วงจรติดต่อหน่วยความจำร่วม (global data memory interface)

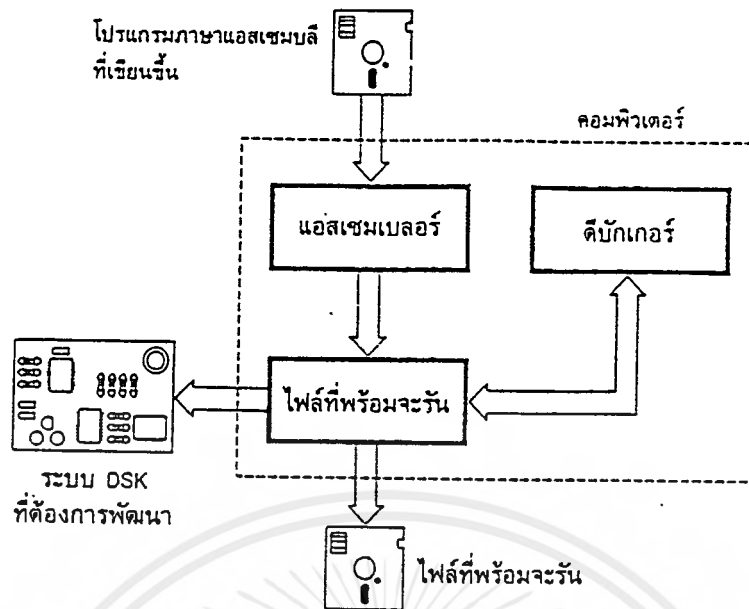
ตัว TMS320C26 สามารถต่อใช้งานเพียงตัวเดียวหรือจะต่อใช้งานขนานกันหลายตัวที่เรียกว่าเป็นระบบ multi-processor system ก็ได้

ในการใช้งานกับหน่วยความจำภายนอกไม่ว่าจะเป็นอีพรอมหรือรอมตัวชิพจะทำงานได้ช้ามาก จึงได้เน้นให้ใช้หน่วยความจำแบบภายในชิพเป็นที่เก็บโปรแกรมแทน ในการใช้งานให้ดาวน์โหลดโปรแกรมจากหน่วยความจำภายนอกมาเก็บในชิพแล้วจึงรันโปรแกรมทำงาน โดย TMS320C26 ได้เพิ่มคำสั่ง "block transfer" ที่ใช้ในการโหลดข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอกมาที่ละบิตต่อกัน แล้วมาเก็บไว้ในแรมของชิพเอง ด้วยวิธีการนี้จะช่วยให้การทำงานเร็วมากยิ่งขึ้น

การอ้างแอดเดรสของ TMS320C26 มีด้วยกัน 3 โหมดคือ โดยตรง (direct), ทางอ้อม (indirect) และทันทีทันใด (immediate) นอกจากนี้มีรีจิสเตอร์เสริมอีก 8 ตัว

4.6 การต่อใช้งานบอร์ด DSK

การต่อใช้งานบอร์ด DSK ทำได้ไม่ยาก อุปกรณ์ที่ต้องหาเพิ่มเติมคือ สายสัญญาณที่ใช้ต่อระหว่างบอร์ดกับคอมพิวเตอร์อาจใช้สายโมเด็มมาตรฐานก็ได้ โดยมีเงื่อนไขว่า ปลายด้านที่ต่อกับบอร์ด DSK ต้องเป็นคอนเนกเตอร์ชนิด D 9 ขา ตัวผู้การต่อใช้งานแสดงดังในรูปที่ 4 สายสัญญาณที่ใช้มีด้วยกัน 4 เส้น คือ TX, RX, DTR และ GND ผู้ใช้งานอาจต่อเองก็ได้



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการพัฒนาซอฟต์แวร์

4.7 ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรม

ขั้นตอนต่างๆ แสดงได้ในรูปที่ 5 จุดประสงค์ของการพัฒนาคือ ต้องการสร้างซอฟต์แวร์ที่สามารถใช้งานกับบอร์ด DSK เป้าหมายได้โดยตรง ในชุด DSK จะมาพร้อมกับโปรแกรมแอสเซมเบลอร์และดีบักเกอร์ที่ใช้ในการเขียน แก้ไขทดสอบและปรับปรุงซอฟต์แวร์ให้ได้ผลตามที่ต้องการ

4.8 ตัวแอสเซมเบลอร์

แอสเซมเบลอร์มีหน้าที่ในการแปลไฟล์ข้อมูลภาษาแอสเซมบลีให้เป็นไฟล์ภาษาเครื่องหรือที่มีชื่ออีกอย่างว่า object code ที่ทำให้ชิพสามารถนำข้อมูลรหัส ไปปฏิบัติงานได้โดยตรง ตัวแอสเซมเบลอร์ของ DSK เป็นแบบที่สามารถกำหนด "directive" ก่อนที่จะทำการแอสเซมบลีได้ ทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งแอดเดรสของ โปรแกรมเป็นแบบสัมพัทธ์ (คือเป็นแอดเดรสค่าลอยๆ ที่สามารถกำหนดตำแหน่งที่แน่นอนได้ในภายหลัง) ทำให้ไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนของการ linker

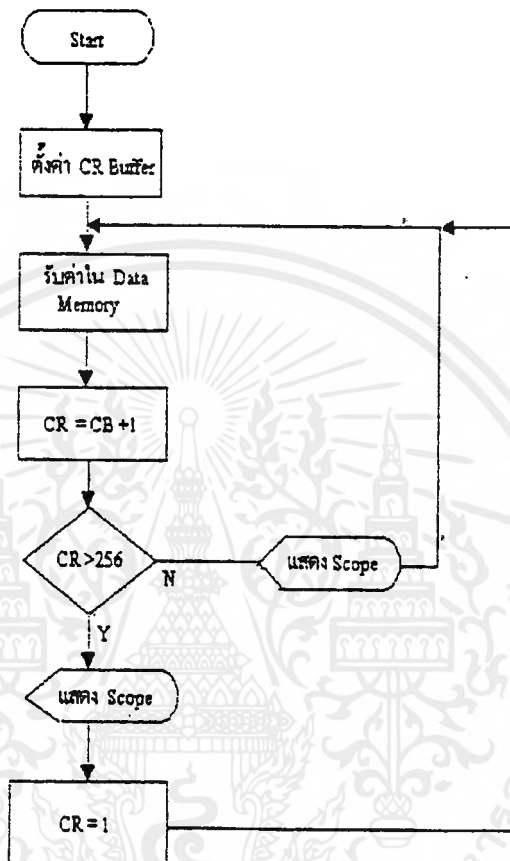
4.9 ดีบักเกอร์

ดีบักเกอร์มีหน้าที่ใช้ช่วยในการหาตำแหน่งและแก้ไขข้อผิดพลาด (error หรือ bug) ต่างๆ ที่อาจเกิดในตัวโปรแกรม การทำงานของโปรแกรมจะแบ่งการทำงานในส่วนต่างๆ แยกเป็นคนละหน้าต่างที่ง่ายต่อการ ใช้ ถึงแม้จะเป็นมือใหม่ก็ตาม ตัวดีบักเกอร์จะมีหน้าที่พื้นฐานที่สำคัญ ได้แก่ singlestep execution, breakpoint setting และ runtime execution halt เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.12 โปรแกรมที่ใช้ในการแสดงรูปสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

โปรแกรมมีการทำงานซึ่งแสดงด้วย Flow chart ดังนี้



4.12.1 โปรแกรมแสดงรูปสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ได้จากการสุ่ม

```
.mmregs
```

```
-----
```

```
AIC_CTR .set 9h
```

```
-----
```

```
; LOOK UP TABLE OF sine;::::;
```

```
.ps 2B00h
```

```
TAB .WORD 0
```

```
.WORD 0
```

```
.WORD 0
```

```
.WORD 0
```

```
.WORD 0
```

```
.WORD 0
```

```
.WORD 0
```

```
.WORD 0
```

```
.WORD 0
```

```
.WORD 0
```

```
.WORD 0
```

```
.WORD 0
```

```
.WORD 0
```

```
.WORD 0
```

```
.WORD 0
```

```
.WORD 0
```

```
.WORD 0
```

```
.WORD 0
```

```
.WORD 0
```

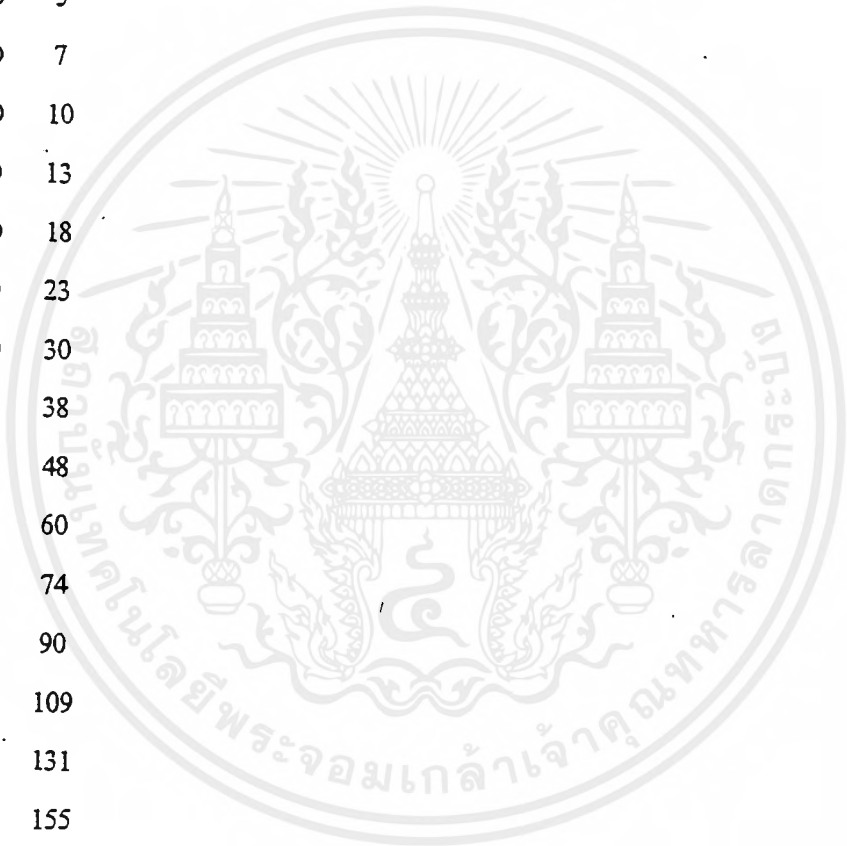
```
.WORD 0
```

```
.WORD 0
```

```
.WORD 0
```

```
.WORD 0
```


.WORD	0
.WORD	0
.WORD	1
.WORD	1
.WORD	2
.WORD	3
.WORD	4
.WORD	5
.WORD	7
.WORD	10
.WORD	13
.WORD	18
.WORD	23
.WORD	30
.WORD	38
.WORD	48
.WORD	60
.WORD	74
.WORD	90
.WORD	109
.WORD	131
.WORD	155
.WORD	181
.WORD	210
.WORD	242
.WORD	275
.WORD	310
.WORD	345
.WORD	381
.WORD	416
.WORD	450



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.WORD 481
 .WORD 510
 .WORD 535
 .WORD 555
 .WORD 571
 .WORD 581
 .WORD 585
 .WORD 584
 .WORD 576
 .WORD 563
 .WORD 545
 .WORD 522
 .WORD 495
 .WORD 464
 .WORD 431
 .WORD 397
 .WORD 363
 .WORD 331
 .WORD 311
 .WORD 323
 .WORD 404
 .WORD 595
 .WORD 907
 .WORD 1279
 .WORD 1569
 .WORD 1636
 .WORD 1439
 .WORD 1068
 .WORD 677
 .WORD 379
 .WORD 205



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.WORD 127
 .WORD 104
 .WORD 108
 .WORD 123
 .WORD 145
 .WORD 172
 .WORD 203
 .WORD 238
 .WORD 276
 .WORD 318
 .WORD 362
 .WORD 408
 .WORD 453
 .WORD 498
 .WORD 541
 .WORD 581
 .WORD 616
 .WORD 645
 .WORD 667
 .WORD 682
 .WORD 688
 .WORD 686
 .WORD 676
 .WORD 658
 .WORD 633
 .WORD 601
 .WORD 564
 .WORD 523
 .WORD 479
 .WORD 433
 .WORD 387



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

LDP DXR
LAMM IMR
OR #10h
SAMM IMR
LACC #300h
SAMM CBSR1
SAMM AR7
ADD #255
SAMM CBER1
SPLK #0Fh,CBCR

```

```

LOOP: SETC SXM

```

```

LDP #0
MAR *,AR7
LACC *+
SFL
SFL
SFL
SAMM DXR
IDLE
B LOOP

```

```

RINT: LAMM DRR

```

```

RETE ;return and enable interrupts INTM=0

```

```

* AIC and Serial Port initialization data

```

```

*

```

```

AICINIT:

```

```

SPLK #012h, IMR ;0001.0010 set Interrupt Mask Reg (RINT, INT2)

```

```

SPLK #20h, TCR ;reload timer period (TRB bit =1)

```

```

SPLK #01h,PRD ;set Timer Control Reg (PRD=1) for TINT=10Mhz

```

```

MAR *,AR0 ;load Aux Reg Pointer with 0

```

```

LACC #0008h ;Set Serial Port Control Reg for noncontinuous

```

```

SACL SPC      :mode (frame sync) and 16 bit data. RRST.XRST=0
LACC #00c8h   :load ACC to write RRST=1 and XRST=1
SACL SPC      :and load SPC to take serial port out of reset.
LACC #080h    ;Load ACC to initialize the GREG value
SACH DXR
SACL GREG     :Init GREG to 32K global memory.
LAR AR0,#0FFFh ;Access global mem and RPT (BR goes low for .5ms)
RPT #10000    ;BR pin connects to AIC RESET.
LACC *,0,AR0  ;load data at FFFF into ACC (0000h)
SACH GREG     ;Reset GREG for 65K local memory
;-----
LDP #AIC_CTR
LACC AIC_CTR,2 ; Initialized control register
ADD #13h      ;
CALL AIC_2ND  ;
CLRC INTM
RET
;
AIC_2ND:
LDP #0
SACH DXR      ;
CLRC INTM
IDLE
ADD #6h,15    ; 0000 0000 0000 0011 XXXX XXXX XXXX XXXX b
SACH DXR      ;
IDLE
SACL DXR      ;
IDLE
LACL #0       ;
SACL DXR      : make sure the word got sent
IDLE

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SETC INTM

RET

.end



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.12.2 โปรแกรมแสดงรูปสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์

```
.mmregs
```

```
-----  
AIC_CTR .set 9h  
-----
```

```
; LOOK UP TABLE OF sine;::::
```

```
.ps 2B00h
```

```
TAB .WORD 17
```

```
.WORD 22
```

```
.WORD 29
```

```
.WORD 37
```

```
.WORD 47
```

```
.WORD 58
```

```
.WORD 71
```

```
.WORD 87
```

```
.WORD 105
```

```
.WORD 125
```

```
.WORD 148
```

```
.WORD 172
```

```
.WORD 199
```

```
.WORD 227
```

```
.WORD 257
```

```
.WORD 287
```

```
.WORD 317
```

```
.WORD 347
```

```
.WORD 376
```

```
.WORD 403
```

```
.WORD 427
```

```
.WORD 447
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.WORD	464
.WORD	476
.WORD	483
.WORD	485
.WORD	482
.WORD	474
.WORD	461
.WORD	444
.WORD	423
.WORD	398
.WORD	371
.WORD	342
.WORD	312
.WORD	282
.WORD	252
.WORD	222
.WORD	194
.WORD	168
.WORD	144
.WORD	121
.WORD	102
.WORD	84
.WORD	69
.WORD	56
.WORD	45
.WORD	35
.WORD	28
.WORD	21
.WORD	16
.WORD	12
.WORD	9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.WORD 7
 .WORD 5
 .WORD 3
 .WORD 2
 .WORD 1
 .WORD 1
 .WORD 0
 .WORD 0
 .WORD 0
 .WORD 0
 .WORD 0
 .WORD -1
 .WORD -1
 .WORD -3
 .WORD -5
 .WORD -8
 .WORD -14
 .WORD -21
 .WORD -31
 .WORD -44
 .WORD -61
 .WORD -82
 .WORD -106
 .WORD -131
 .WORD -156
 .WORD -175
 .WORD -185
 .WORD -179
 .WORD -150
 .WORD -91
 .WORD 0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.WORD 129
 .WORD 294
 .WORD 490
 .WORD 705
 .WORD 927
 .WORD 1138
 .WORD 1320
 .WORD 1456
 .WORD 1533
 .WORD 1542
 .WORD 1481
 .WORD 1356
 .WORD 1179
 .WORD 964
 .WORD 730
 .WORD 496
 .WORD 279
 .WORD 91
 .WORD -58
 .WORD -168
 .WORD -239
 .WORD -274
 .WORD -280
 .WORD -266
 .WORD -238
 .WORD -203
 .WORD -166
 .WORD -130
 .WORD -99
 .WORD -73
 .WORD -52



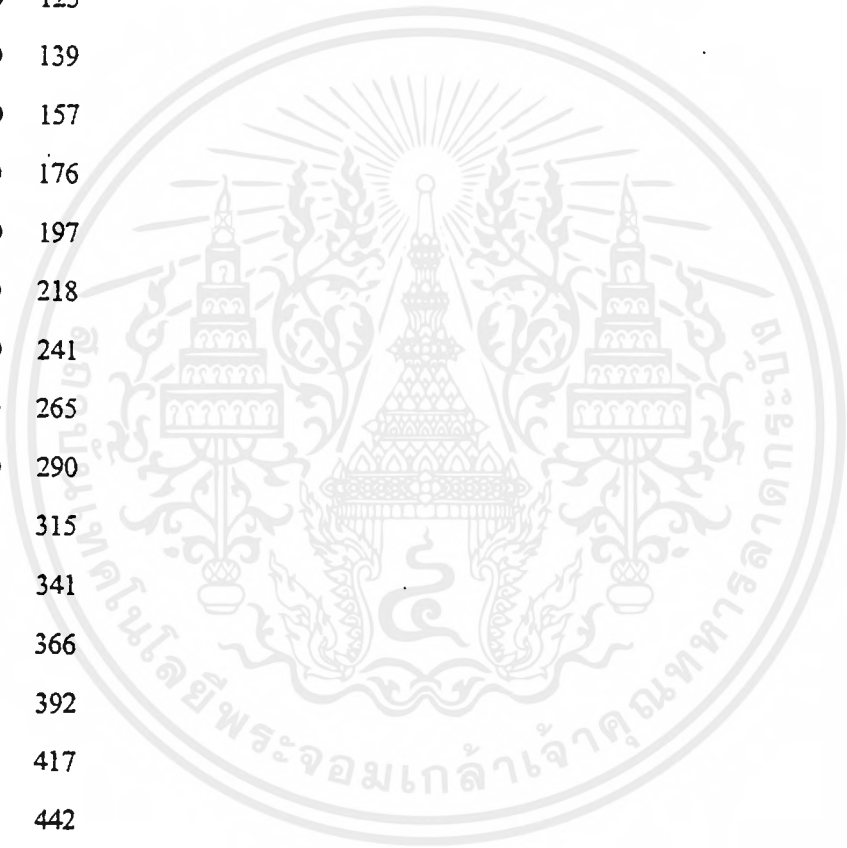
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- .WORD 0
- .WORD 0
- .WORD 0
- .WORD 0
- .WORD 0
- .WORD 0
- .WORD 0
- .WORD 0
- .WORD 0
- .WORD 0
- .WORD 0
- .WORD 0
- .WORD 0
- .WORD 0
- .WORD 1
- .WORD 1
- .WORD 2
- .WORD 2
- .WORD 3
- .WORD 4
- .WORD 5
- .WORD 6
- .WORD 8
- .WORD 10
- .WORD 12
- .WORD 14
- .WORD 18
- .WORD 21
- .WORD 26
- .WORD 31
- .WORD 37

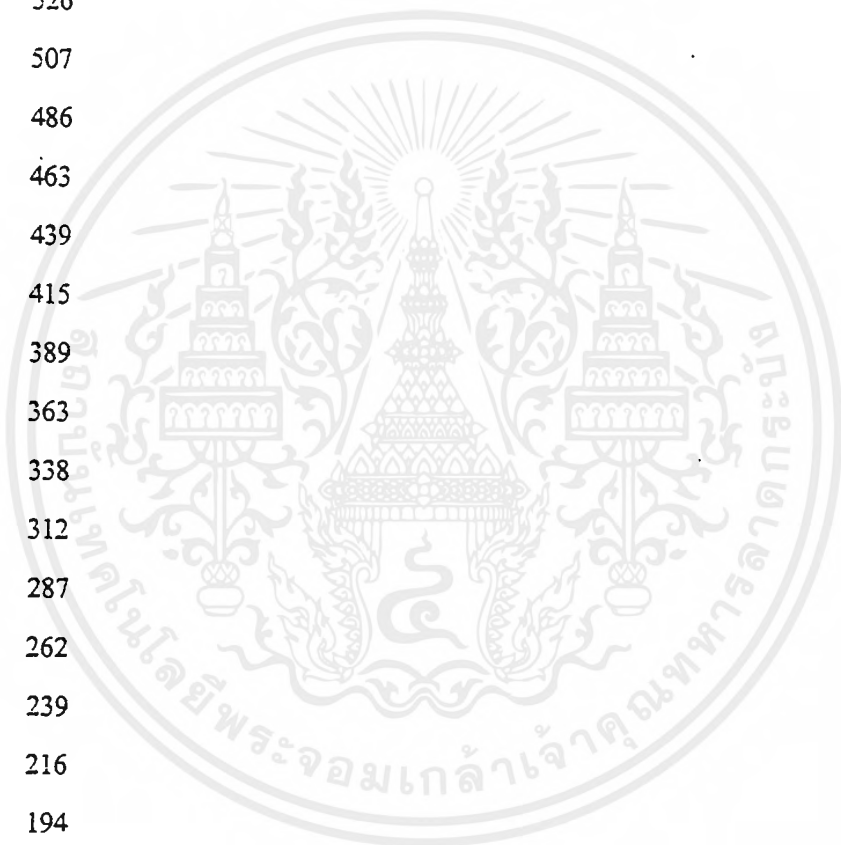


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.WORD	44
.WORD	51
.WORD	60
.WORD	70
.WORD	81
.WORD	94
.WORD	108
.WORD	123
.WORD	139
.WORD	157
.WORD	176
.WORD	197
.WORD	218
.WORD	241
.WORD	265
.WORD	290
.WORD	315
.WORD	341
.WORD	366
.WORD	392
.WORD	417
.WORD	442
.WORD	466
.WORD	488
.WORD	509
.WORD	528
.WORD	544
.WORD	559
.WORD	570
.WORD	579
.WORD	585



.WORD	588
.WORD	588
.WORD	585
.WORD	578
.WORD	569
.WORD	557
.WORD	543
.WORD	526
.WORD	507
.WORD	486
.WORD	463
.WORD	439
.WORD	415
.WORD	389
.WORD	363
.WORD	338
.WORD	312
.WORD	287
.WORD	262
.WORD	239
.WORD	216
.WORD	194
.WORD	174
.WORD	155
.WORD	137
.WORD	121
.WORD	106
.WORD	92
.WORD	80
.WORD	69
.WORD	59



```

.WORD 51
.WORD 43
.WORD 36
.WORD 30
.WORD 25
.WORD 21
.WORD 17
.WORD 14
.WORD 12
.WORD 9
.WORD 7
.WORD 6
.WORD 5
.WORD 4
.WORD 3
.WORD 2
.WORD 2
.ps 0080ah
B RINT ;branch to enable interrupts
.ps 0a00h ;progam starts at 0xa00
.entry ;set entry point
LDP #0
LAR AR0,#300h
MAR *,AR0
LACC #TAB
SAMM BMAR
RPT #255
BLPD BMAR,*+
LACC #0

```

CALL AICINIT

LDP DXR

LAMM IMR

OR #10h

SAMM IMR

LACC #300h

SAMM CBSR1

SAMM AR7

ADD #255

SAMM CBER1

SPLK #0Fh,CBCR

LOOP: SETC SXM

LDP #0

MAR *,AR7

LACC *+

SFL

SFL

SFL

SAMM DXR

IDLE

B LOOP

RINT: LAMM DRR

RETE ;return and enable interrupts INTM=0

* AIC and Serial Port initialization data

*

AICINIT:

SPLK #012h,IMR ;0001.0010 set Interrupt Mask Reg (RINT, INT2)

SPLK #2fh,TCR ;reload timer period (TRB bit =1)

SPLK #04h,PRD ;set Timer Control Reg (PRD=1) for TINT=10Mhz

MAR *,AR0 ;load Aux Reg Pointer with 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LACC #0008h ;Set Serial Port Control Reg for noncontinuous
SACL SPC ;mode (frame sync) and 16 bit data. RRST,XRST=0
LACC #00c8h ;load ACC to write RRST=1 and XRST=1
SACL SPC ;and load SPC to take serial port out of reset.
LACC #080h ;Load ACC to initialize the GREG value
SACH DXR
SACL GREG ;Init GREG to 32K global memory.
LAR AR0,#0FFFFh ;Access global mem and RPT (BR goes low for .5ms)
RPT #10000 ;BR pin connects to AIC RESET.
LACC *,0,AR0 ;load data at FFFF into ACC (0000h)
SACH GREG ;Reset GREG for 65K local memory
;-----
LDP #AIC_CTR
LACC AIC_CTR,2 ; Initialized control register
ADD #13h ;
CALL AIC_2ND ;
CLRC INTM
RET ;

AIC_2ND:
LDP #0
SACH DXR ;
CLRC INTM
IDLE
ADD #6h,15 ; 0000 0000 0000 0011 XXXX XXXX XXXX XXXX b
SACH DXR ;
IDLE
SACL DXR ;
IDLE
LACL #0 ;
SACL DXR ; make sure the word got sent

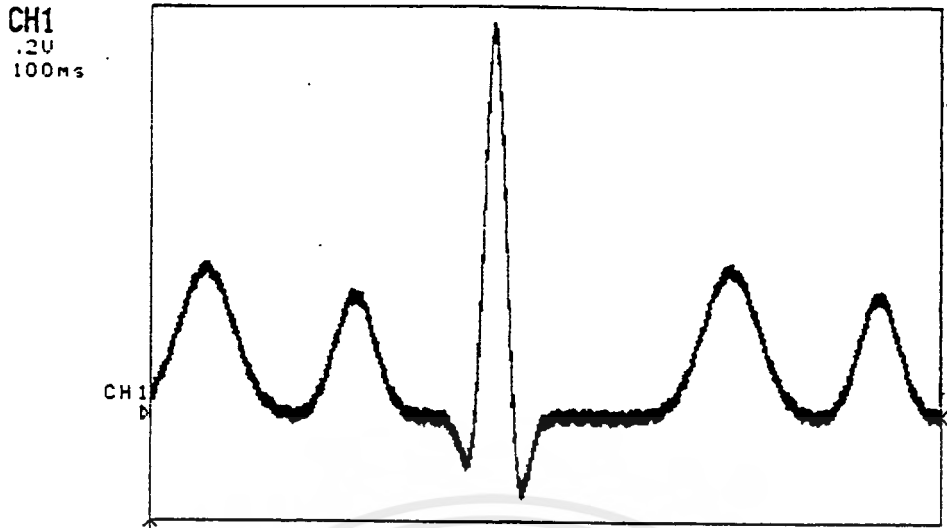
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IDLE
SETC INTM
RET
.end



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



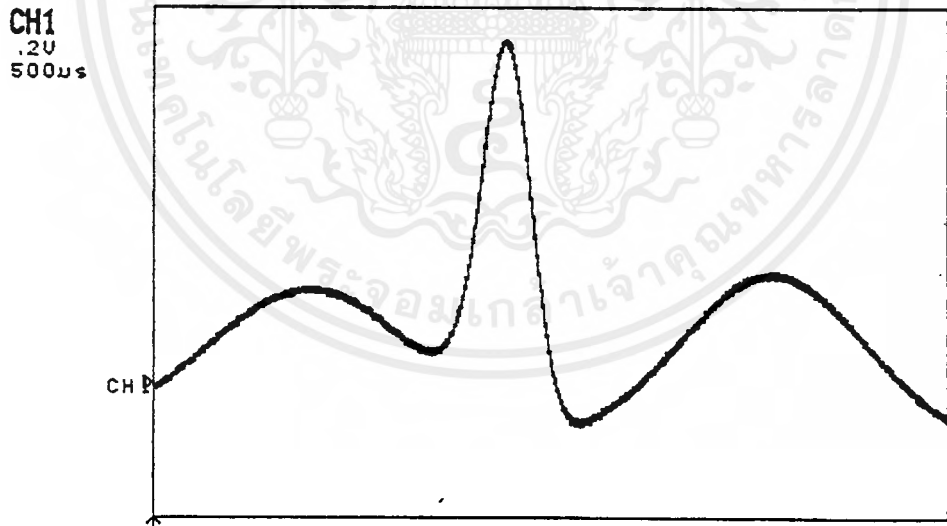
Smart Probe on CH1
2: RUN/STOP
CURSORS on CH4

TRIGGER on CH1
0.0V DC

CH1 MEASUREMENTS

rise	17.8ms	rise	17.8ms
rms	261.1mV	duty	--?--
pkpk	1.485V		

รูปที่ 4.7 รูปสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ได้การดุ่ม



Smart Probe on CH1
2: RUN/STOP
CURSORS on CH4

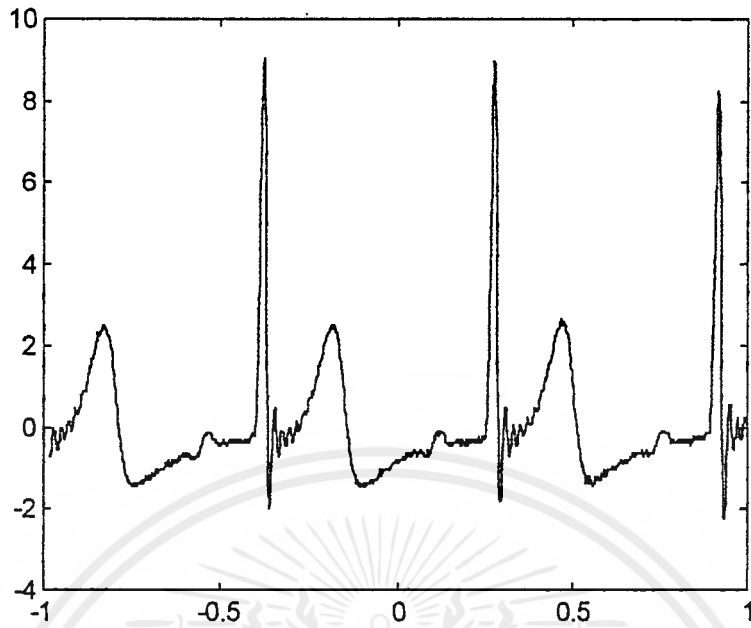
TRIGGER on CH1
70mV DC

CH1 MEASUREMENTS

rise	2.109ms	rise	2.109ms
rms	354.6mV	duty	--?--
pkpk	1.222V		

รูปที่ 4.8 รูปสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ได้จากรูปแบบทางคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 รูปสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากข้อมูลที่ได้จากการสุ่มสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจริง เมื่อนำมาจำลองโดยใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ด้วยฟังก์ชันเกาส์เซียนและฟังก์ชันดิฟเฟอเรนเชียล ตามวิธีการในหัวข้อที่ 2 จะได้สัญญาณที่จำลองขึ้นมีลักษณะคล้ายคลึงกับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจริงของคนปกติ แต่จะมีลักษณะผิดเพี้ยนไปบ้าง เนื่องจากการที่เราใช้ตัวแปรเพียง 11 ค่าและการใช้การประมาณค่าด้วย ฟังก์ชันเกาส์เซียน และ ฟังก์ชันดิฟเฟอเรนเชียล

ในโครงการนี้เราจะใช้การแสดงผลของรูปคลื่นหัวใจโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการแสดงผลรูปคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ได้จากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ แล้วจากสมการและอีกส่วนเราได้ทำการส่งผ่านคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่เราสร้างนั้นผ่านบอร์ด DSP แล้วใช้ดิจิทัลสโคปจับสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่เราสร้างขึ้นผลที่ได้ใกล้เคียงกับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่เราใช้แสดงผลที่คอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB

สัญญาณที่จำลองขึ้นมาี้มีความใกล้เคียงกับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจริงของคนปกติ อีกทั้งยังสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ให้สัญญาณเปลี่ยนแปลงไปตามต้องการ เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ผิดปกติเทียบกับคลื่นไฟฟ้าหัวใจของคนปกติทำให้แพทย์ทำการวิเคราะห์ความผิดปกติของการทำงานของหัวใจคนไข้ได้อย่างถูกต้องหรือเป็นประโยชน์ในการใช้สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจในงานทางด้านวิศวกรรมต่าง ๆ

บรรณานุกรม

1. Mervin J. Goldman , " Principles of Clinicle Electrocardipgraphy " , Maruzen Asia Edition , Lange Medical Publicarions , maruzen Company Limited , 1976.
2. Stephen Scheidt , " Basic Electrocardiography : Lead . Axes , Arrhythmias " , Clinical Symposia , Volume 35 , Number 2 , 1983.
3. Harry E. Thomas , " Handbook of Biomedical Instrumentation and Measure - ment " , Prentice - Hall , 1974.
4. Willis J. Tompkins and John G. Webster , " Design of Microcomputer - Based Medical Instrumentation " , Prentice - Hall , 1981.
1. John R. Cameron and James G. Skofronick , " Medical Physics " , Jphn Wiley & Sons , 1978.
6. Barry N. Feinberg , " Applied Clinical Engineering " , Prentice - Hall , 1986.
7. S. J. Cahill and G. McClure , " A Microcomputer - Based Heart - Rate Variability Monitor " , IEEE Transaction on Biomedical Engineering , Vol. BME - 30 , No. 2 , pp. 87 - 92 , February 1983.
8. Technical Education Research Centers , " Operation & Measurement Series , Electrocardiography " , Cat. No. SW - 8259 , P.8 , 1985.
9. Howard M. Yanof , " Biomedical Electronics " , Davis , Philadelphia , 291 - 335 , 432 - 437 , 1972.
10. Chapra Steven C. and Canale Raymond P. , " Numerical Methods for Engineers " , McGraw - Hill Book Company.
11. Young T. Y. and Huggins W. H. , " On the representation of electrocardiographs " IEEE Trans. Bio - Med. Electrn , July 1963.
12. นาย พิชัย คูศิริวานิชกร , " การใช้ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ในเครื่องไอ.ซี.ยู.มอนิเตอร์ " วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2529
13. นาย เรืองชัย วีระพงษ์ . " ระบบแสดงสัญญาณจากร่างกายผู้ป่วยหนัก " , วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2531

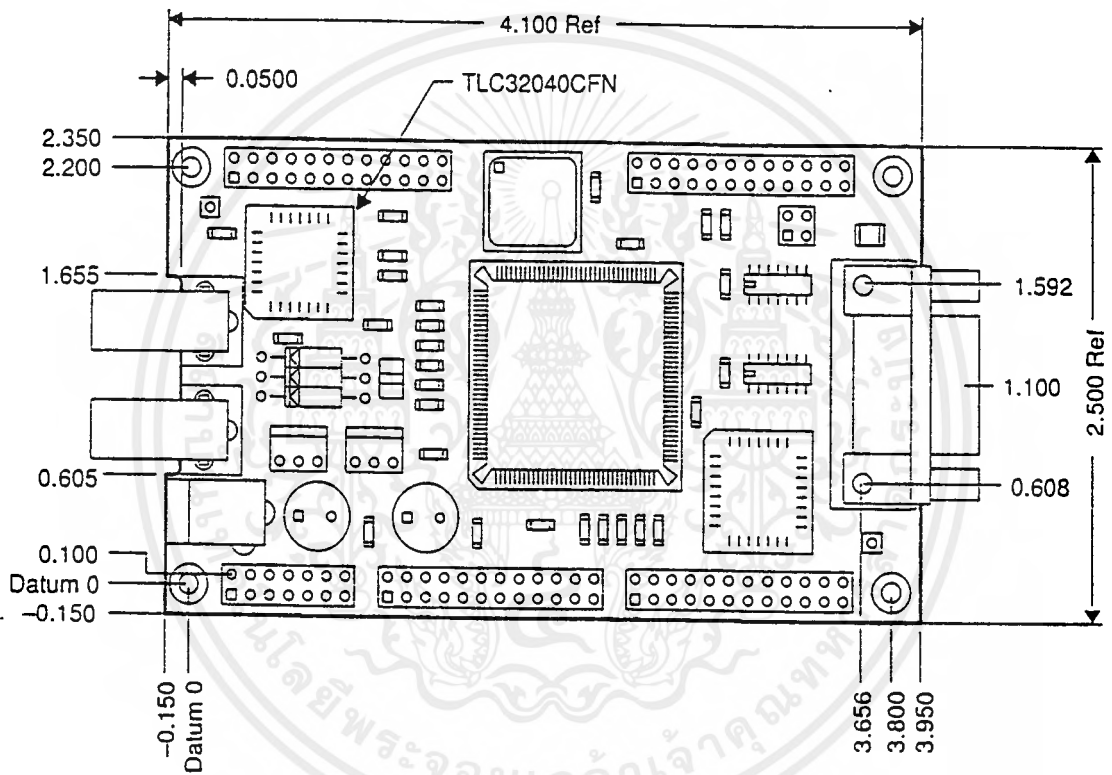
14. ร.ศ. มนต์ สัจวรศิลป์ . ร.ศ. นพ สมบูรณ์ บุญเกษม . นาย ประภากร สุวรรณะ . นาย เรืองชัย วีระพงษ์ . นาย ยุทธนา คิดใจเดียว . นาย วิสุทธิ์ พิบูลวรางกูร , นาย พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ . “ สร้างเครื่องต้นแบบเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และ อัตราการหายใจแบบ แสดงบนจอภาพใช้ในสนาม ” , รายงานวิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปีงบประมาณ 2529 และ 2530 โดยห้อง วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ทางการแพทย์ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2530
15. เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 148 พ.ศ. 2538
16. คู่มือ DSP Starter Kit TMS 320C5x ของ Texas Instruments , 1994





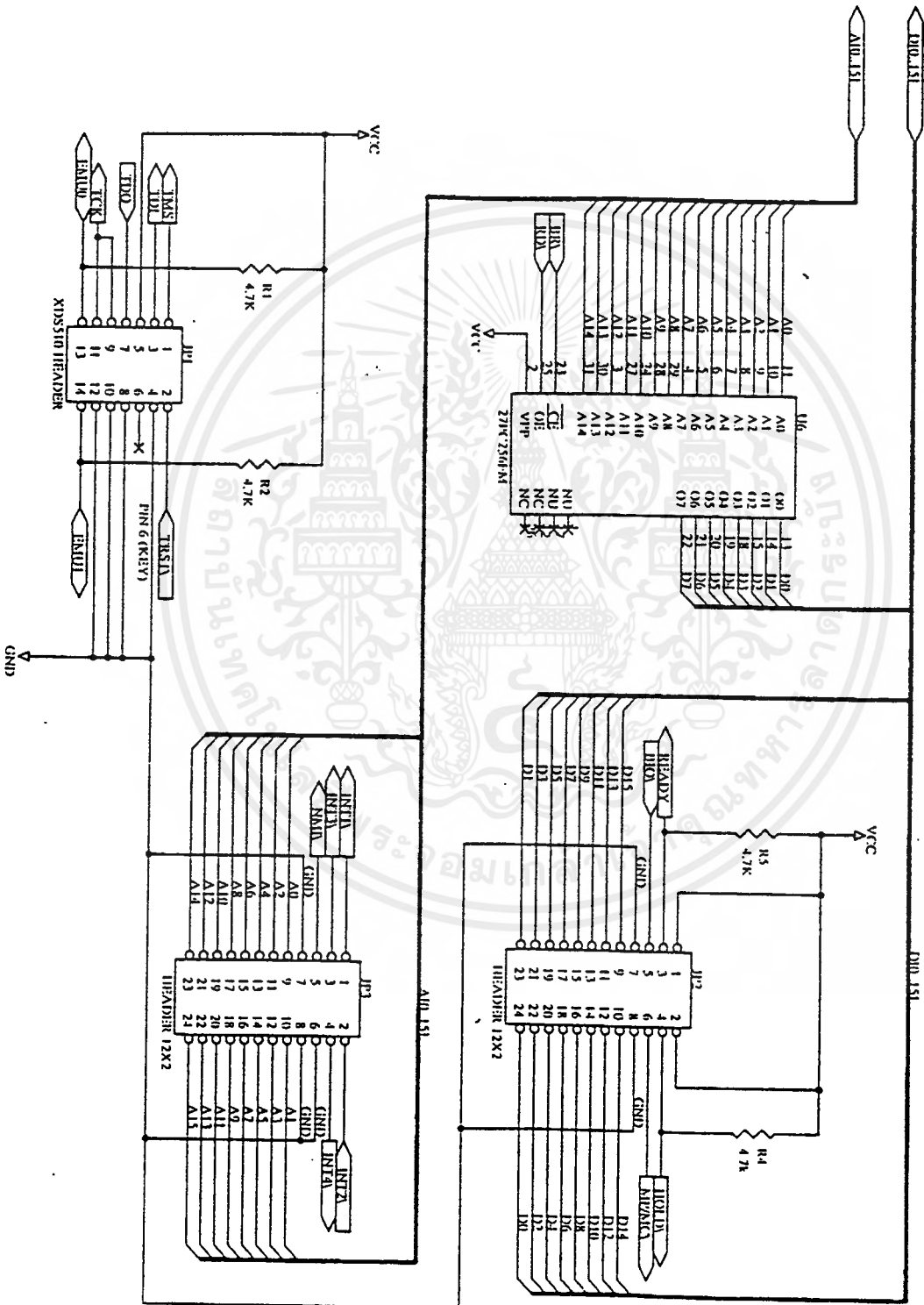
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure A-1. TMS320C5x DSP Starter Kit (DSK) Circuit Board Dimensions

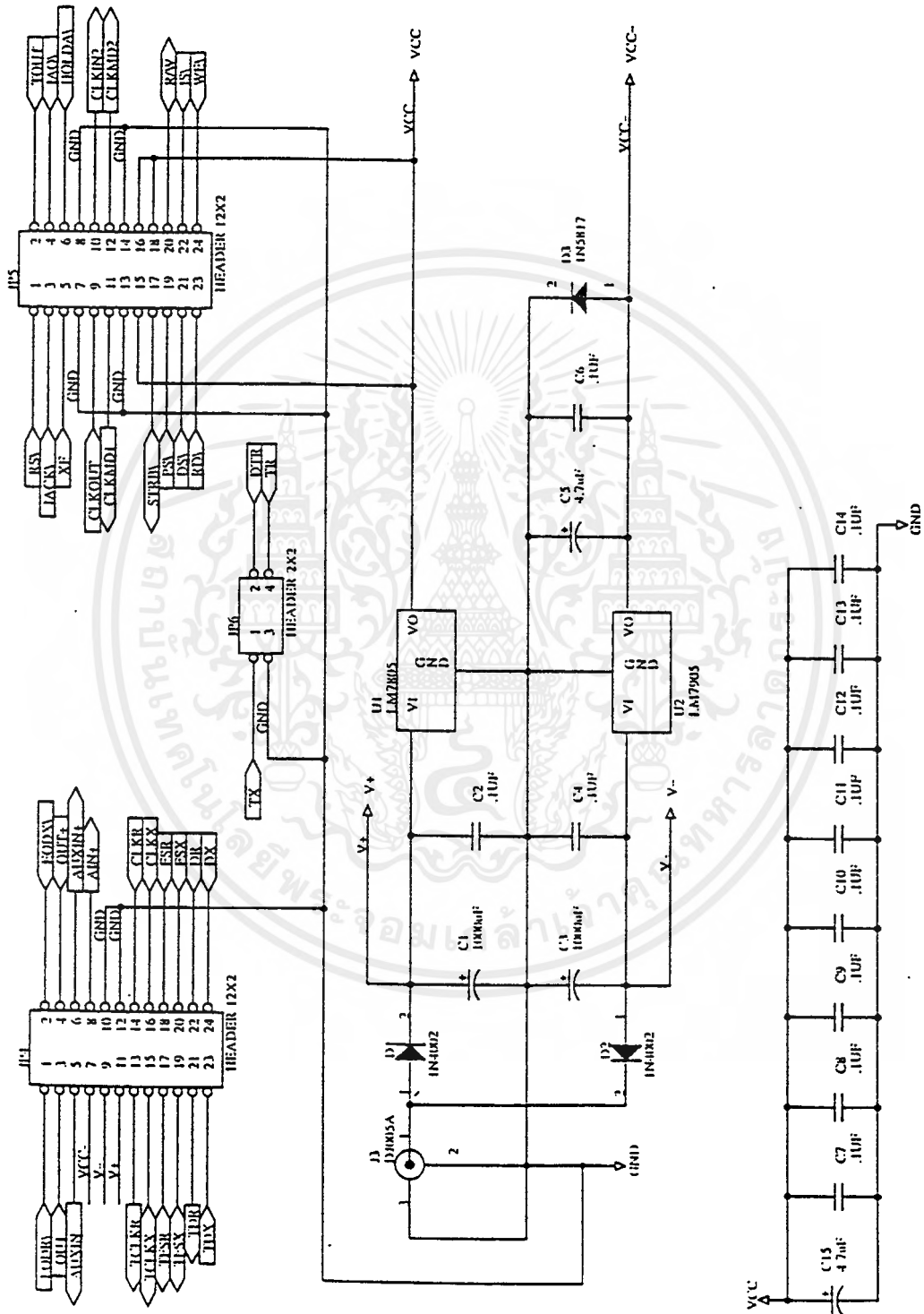


Note: Dimensions are in inches.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLC32040C, TLC32040I, TLC32041C, TLC32041I
 TLC32042C, TLC32042I
 ANALOG INTERFACE CIRCUITS

SLAS014D - D2964, SEPTEMBER 1987 - REVISED MAY 1991

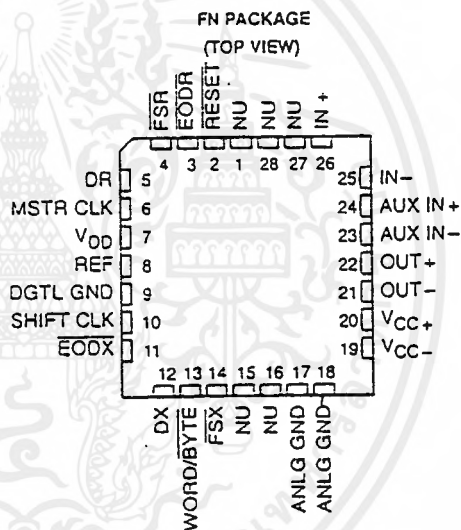
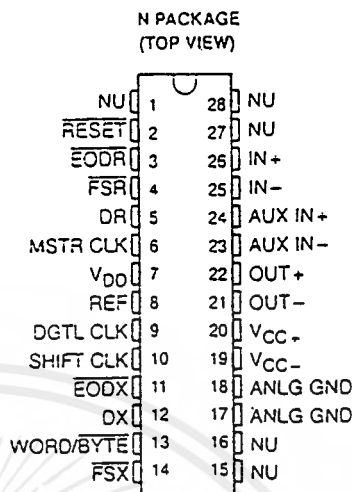
- Advanced LinCMOS™ Silicon-Gate Process Technology
- 14-Bit Dynamic Range ADC and DAC
- Variable ADC and DAC Sampling Rate Up to 19,200 Samples per Second
- Switched-Capacitor Antialiasing Input Filter and Output-Reconstruction Filter
- Serial Port for Direct Interface to TMS32011, TMS320C17, TMS32020, and TMS320C25 Digital Signal Process
- Synchronous or Asynchronous ADC and DAC Conversion Rate With Programmable Incremental ADC and DAC Conversion Timing Adjustments
- Serial Port Interface to SN74299 Serial-to-Parallel Shift Register for Parallel Interface to TMS32010, TMS320C15, or Other Digital Processors
- 600-Mil Wide N Package (C_L to C_L)

PART NUMBER	DESCRIPTION
TLC32040	Analog interface circuit with internal reference. Also a plug-in replacement for TLC32041.
TLC32041	Analog interface circuit without internal reference
TLC32042	Identical to TLC32040, but has a slightly wider bandpass filter bandwidth

description

The TLC32040, TLC32041, and TLC32042 are complete analog-to-digital and digital-to-analog input/output systems, each on a single monolithic CMOS chip. This device integrates a bandpass switched-capacitor antialiasing input filter, a 14-bit-resolution A/D converter, four microprocessor-compatible serial port modes, a 14-bit-resolution D/A converter, and a low-pass switched-capacitor output-reconstruction filter. The device offers numerous combinations of master clock input frequencies and conversion/sampling rates, which can be changed via digital processor control.

Typical applications for this integrated circuit include modems (7.2-, 8-, 9.6-, 14.4-, and 19.2-kHz sampling rate), analog interface for digital signal processors (DSPs), speech recognition/storage systems, industrial process control, biomedical instrumentation, acoustical signal processing, spectral analysis, data acquisition, and instrumentation recorders. Four serial modes, which allow direct interface to the TMS32011, TMS320C17, TMS32020, and TMS320C25 digital signal processors, are provided. Also, when the transmit and receive



NU - Nonusable; no external connection should be made to these pins.

TLC32040C, TLC32040I, TLC32041C, TLC32041I
TLC32042C, TLC32042I
ANALOG INTERFACE CIRCUITS

SLAS014D - D2964, SEPTEMBER 1987 - REVISED MAY 1991

description (continued)

sections of the analog interface circuit (AIC) are operating synchronously, it will interface to two SN74299 serial-to-parallel shift registers. These serial-to-parallel shift registers can then interface in parallel to the TMS32010, TMS320C15, other digital signal processors, or external FIFO circuitry. Output data pulses are emitted to inform the processor that data transmission is complete or to allow the DSP to differentiate between two transmitted bytes. A flexible control scheme is provided so that the functions of this integrated circuit can be selected and adjusted coincidentally with signal processing via software control.

The antialiasing input filter comprises seventh-order and fourth-order CC-type (Chebyshev/elliptic transitional) low-pass and high-pass filters, respectively and a fourth-order equalizer. The input filter is implemented in switched-capacitor technology and is preceded by a continuous time filter to eliminate any possibility of aliasing caused by sampled data filtering. When no filtering is desired, the entire composite filter can be switched out of the signal path. A selectable, auxiliary, differential analog input is provided for applications where more than one analog input is required.

The A/D and D/A converters each have 14 bits of resolution. The A/D and D/A architectures ensure no missing codes and monotonic operation. An internal voltage reference is provided on the TLC32040 and TLC32042 to ease the design task and to provide complete control over the performance of this integrated circuit. The internal voltage reference is brought out to a pin and is available to the designer. Separate analog and digital voltage supplies and grounds are provided to minimize noise and ensure a wide dynamic range. Also, the analog circuit path contains only differential circuitry to keep noise to an absolute minimum. The only exception is the DAC sample and hold, which utilizes pseudo-differential circuitry.

The output-reconstruction filter is a seventh-order CC-type (Chebyshev/elliptic transitional low-pass filter followed by a fourth-order equalizer) and is implemented in switched-capacitor technology. This filter is followed by a continuous-time filter to eliminate images of the digitally encoded signal.

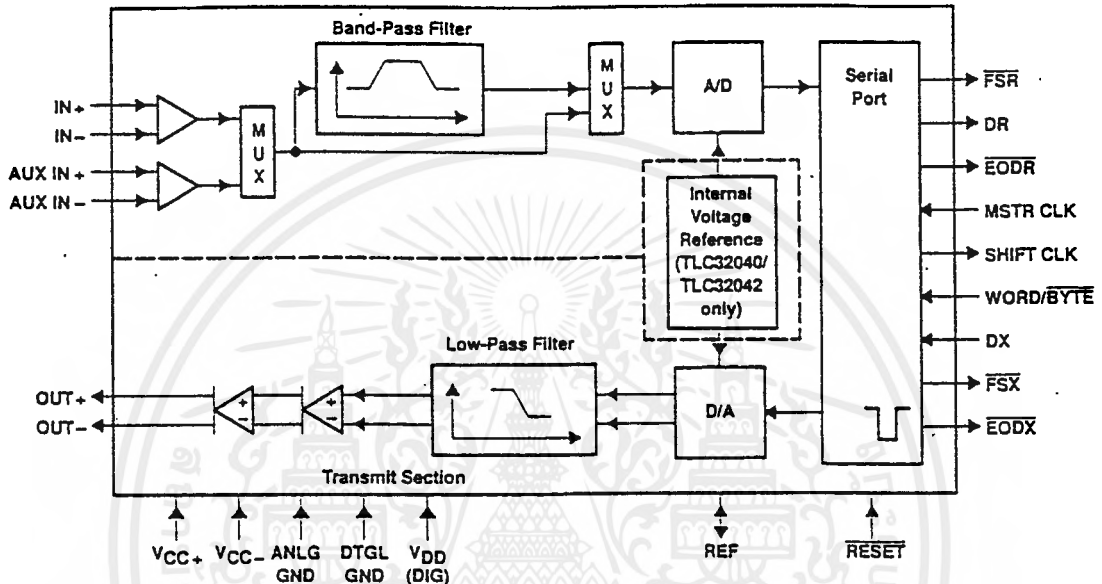
The TLC32040C, TLC32041C, and TLC32042C are characterized for operation from 0°C to 70°C, and the TLC32040I, TLC32041I and TLC32042I are characterized for operation from -40°C to 85°C.

TLC32040C, TLC32040I, TLC32041C, TLC32041I
TLC32042C, TLC32042I

ANALOG INTERFACE CIRCUITS

SLAS0140 - D2964, SEPTEMBER 1987 - REVISED MAY 1991

functional block diagram



analog input

Two sets of analog inputs are provided. Normally, the IN+ and IN- input set is used; however, the auxiliary input set, AUX IN+ and AUX IN-, can be used if a second input is required. Each input set can be operated in either differential or single-ended modes, since sufficient common-mode range and rejection are provided. The gain for the IN+, IN-, AUX IN+, and AUX IN- inputs can be programmed to be either 1, 2, or 4 (see Table 2). Either input circuit can be selected via software control. It is important to note that a wide dynamic range is assured by the differential internal analog architecture and by the separate analog and digital voltage supplies and grounds.

A/D bandpass filter, A/D bandpass filter clocking, and A/D conversion timing

The A/D bandpass filter can be selected or bypassed via software control. The frequency response of this filter is presented in the following pages. This response results when the switched-capacitor filter clock frequency is 288 kHz. Several possible options can be used to attain a 288-kHz switched-capacitor filter clock. When the filter clock frequency is not 288 kHz, the filter transfer function is frequency scaled by the ratio of the actual clock frequency to 288 kHz. The low-frequency roll-off of the high-pass section is 300 Hz. However, the high-pass section low-frequency roll-off is less steep for the TLC32042 than for the TLC32040 and TLC32041.

The internal timing configuration and AIC DX data word format sections of this data sheet indicate the many options for attaining a 288-kHz bandpass switched-capacitor filter clock. These sections indicate that the RX Counter A can be programmed to give a 288-kHz bandpass switched-capacitor filter clock for several master clock input frequencies.

The A/D conversion rate is then attained by frequency dividing the 288-kHz bandpass switched-capacitor filter clock with the RX Counter B. Thus, unwanted aliasing is prevented because the A/D conversion rate is an integral submultiple of the bandpass switched-capacitor filter sampling rate, and the two rates are synchronously locked.

TLC32040C, TLC32040I, TLC32041C, TLC32041I
TLC32042C, TLC32042I
ANALOG INTERFACE CIRCUITS

SLAS0140 - D2964, SEPTEMBER 1987 - REVISED MAY 1991

A/D converter performance specifications

Fundamental performance specifications for the A/D converter circuitry are presented in the A/D converter operating characteristics section of this data sheet. The realization of the A/D converter circuitry with switched-capacitor techniques provides an inherent sample-and-hold.

analog output

The analog output circuitry is an analog output power amplifier. Both noninverting and inverting amplifier outputs are brought out of this integrated circuit. This amplifier can drive transformer hybrids or low-impedance loads directly in either a differential or single-ended configuration.

D/A low-pass filter, D/A low-pass filter clocking, and D/A conversion timing

The frequency response of this filter is presented in the following pages. This response results when the low-pass switched-capacitor filter clock frequency is 288 kHz. Like the A/D filter, the transfer function of this filter is frequency scaled when the clock frequency is not 288 kHz. A continuous-time filter is provided on the output of the D/A low-pass filter to greatly attenuate any switched-capacitor clock feedthrough.

The D/A conversion rate is then attained by frequency dividing the 288-kHz switched-capacitor filter clock with TX Counter B. Thus, unwanted aliasing is prevented because the D/A conversion rate is an integral submultiple of the switched-capacitor low-pass filter sampling rate, and the two rates are synchronously locked.

PRINCIPLES OF OPERATION

asynchronous versus synchronous operation

If the transmit section of the AIC (low-pass filter and DAC) and receive section (bandpass filter and ADC) are operated asynchronously, the low-pass and band-pass filter clocks are independently generated from the master clock signal. Also, the D/A and A/D conversion rates are independently determined. If the transmit and receive sections are operated synchronously, the low-pass filter clock drives both low-pass and bandpass filters. In synchronous operation, the A/D conversion timing is derived from, and is equal to, the D/A conversion timing. (See description of the WORD/BYTE pin in the Terminal Functions table.)

D/A converter performance specifications

Fundamental performance specifications for the D/A converter circuitry are presented in the D/A converter operating characteristics section of the data sheet. The D/A converter has a sample-and-hold that is realized with a switched-capacitor ladder.

system frequency response correction

The sin x/x correction circuitry is performed in the digital processor software. The system frequency response can be corrected via DSP software to ± 0.1 -dB accuracy to band edge of 3000 Hz for all sampling rates. This correction is accomplished with a first-order digital correction filter, which requires only seven TMS320 instruction cycles. With a 200-ns instruction cycle, seven instructions represent an overhead factor of only 1.1% and 1.3% for sampling rates of 8 and 9.6 kHz, respectively (see the sin x/x correction section for more details).

serial port

The serial port has four possible modes that are described in detail in the Terminal Functions table. These modes are briefly described below and in the description for pin 13, WORD/BYTE.

1. The transmit and receive sections are operated asynchronously, and the serial port interfaces directly with the TMS32011 and TMS320C17.
2. The transmit and receive sections are operated asynchronously, and the serial port interfaces directly with the TMS32020 and the TMS320C25.
3. The transmit and receive sections are operated synchronously, and the serial port interfaces directly with the TMS32011 and TMS320C17.
4. The transmit and receive sections are operated synchronously, and the serial port interfaces directly with the TMS32020, TMS320C25, or two SN74299 serial-to-parallel shift registers, which can then interface in parallel to the TMS320C10, TMS32015, to any other digital signal processor, or to external FIFO circuitry.

operation of TLC32040 or TLC32042 with internal voltage reference

The internal reference of the TLC32040 and TLC32042 eliminates the need for an external voltage reference and provides overall circuit cost reduction. Thus, the internal reference eases the design task and provides complete control over the performance of this integrated circuit. The internal reference is brought out to a pin and is available to the designer. To keep the amount of noise on the reference signal to a minimum, an external capacitor may be connected between REF and ANALG GND.