การปรับปรุงเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคสำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่

Improvement of The Ultrasonic Scaler for Mobile Dental Unit

อนุพงษ์ คงแก้ว

Anupong Kongkeaw

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2563

การปรับปรุงเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคสำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่

Improvement of The Ultrasonic Scaler for Mobile Dental Unit

อนุพงษ์ คงแก้ว

Anupong Kongkeaw

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคสำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่
ชื่อ นามสกุล	อนุพงษ์ คงแก้ว
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้ให้ความเห็นชอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิวัฒน์ คงรัตนประเสริฐ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุนะ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ)

..... กรรมการและเลขานุการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(อาจารย์ ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล)

วันที่ 13 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2563

ชื่อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคสำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่
ชื่อ นามสกุล อนุพงษ์ คงแก้ว
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
สาขาวิชา และคณะ วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคสำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่ การทำงานของเครื่องขูดหินปูนใช้วงจรเฟสล็อกลูปเพื่อสร้างสัญญาณไฟฟ้าความถี่สูง จากนั้นสัญญาณดังกล่าวถูกขยายด้วยวงจรขยายสัญญาณแบบดาร์ลิงตันเพื่อป้อนให้กับขดลวดในแฮนด์พีซ ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์แมกนีโตสตริกชัน ปรากฏการณ์ดังกล่าวทำให้เกิดการยืดและหดตัวของแผ่นโลหะแมกนีโทสทริคทีฟสแต็คด้วยความถี่สูง ซึ่งทำให้ปลายหัวขูดหินปูนเกิดการสั่นมากกว่า 20,000 ครั้ง/วินาที เครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคสำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่ แบบดั้งเดิมนั้นมีปัญหาในด้านความร้อนของวงจรขยายสัญญาณ เนื่องจากใช้ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์สวิตช์เมื่อใช้งานไปได้ช่วงระยะเวลาหนึ่งต้องหยุดพักการทำงาน มีผลทำให้การขูดหินปูนต่อวันทำได้ไม่มากนัก วิทยานิพนธ์นี้จึงแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการเปลี่ยนมาใช้มอสเฟตเป็นอุปกรณ์สวิตช์และเพิ่มระบบระบายความร้อนให้กับวงจรขยายสัญญาณ จากนั้นทำการทดลองใช้งานตามสภาวะจริง โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเครื่องขูดหินปูนที่พัฒนาแล้วนี้ทำให้ระยะเวลาการขูดหินปูนต่อวันทำได้มากขึ้น สามารถกำจัดคราบหินปูนและสิ่งสกปรกในร่องเหงือกบริเวณรอบโคนฟันได้ใกล้เคียงกับเครื่องขูดหินปูนที่ทันตแพทย์ทั่วไปใช้งาน

คำสำคัญ : เครื่องขูดหินปูน, วงจรเฟสล็อกลูป,วงจรขยายสัญญาณแบบดาร์ลิงตัน, มอสเฟต

Thesis title	Improvement of The Ultrasonic Scaler for Mobile Dental Unit
Author	Anupong Kongkeaw
Degree	Master of Engineering (Electrical Engineering)
Major program	Electrical Engineering Faculty of Engineering
Academic Year	2020

ABSTRACT

This research presents the development of ultrasonic scaler for mobile dental unit. The operation of the scaler uses a phase-locked loop circuit to generate high frequency electrical signal. Then, the signal is amplified with a Darlington amplifier circuit to feed to the coil in the Hand Piece, resulting in Magnetostriction. This phenomenon causes the stretching and shrinking of the magneto-strictive stack with high frequency, which causes the tip of the scaling head to vibrate more than 20,000 times/second. Traditional ultrasonic scaler for mobile dental unit has thermal problem of the amplifier circuit due to use of the transistors as the switching devices. When used for a period of time, the scaler is necessary to stop working, resulting in not much scaling per day. This research solved the problem by using MOSFETs as switching devices and adding cooling system to the amplifier circuit. The experiment was carried out using actual conditions. The experimental results show that the developed scaler has increased the number of scaling per day. In addition, it will still remove plaque and dirt in the gumline around the base of the teeth similar to the scaler used by general dentists.

Keywords: Scaler, Phase lock-loop circuit, Darlington amplifier circuit, Mosfet

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และหน่วยทันตกรรมพระราชทานฯ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ รวมถึงวัสดุอุปกรณ์ต่างๆสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ตลอดจนญาติพี่น้องทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนแก่ผู้ทำวิจัยมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา และสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้กำลังใจและร่วมแรงใจในการปฏิบัติงานตลอดมา

อนุพงษ์ คงแก้ว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ข
กิตติกรรมประกาศ ค
สารบัญ ง
สารบัญตาราง ช
สารบัญภาพ ซ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ชนิดของเครื่องขูดหินปูน 4
2.2 หลักการทำงานของเครื่องขูดหินปูนแบบ Ultrasonic 6
2.3 ชนิดของแท่งทรานสดิวเซอร์ 8
2.4 เครื่องขูดหินน้ำลายไฟฟ้า 10
2.5 การเกิดคราบหินปูนหรือหินน้ำลาย 21
2.6 การขูดคราบหินปูนหรือหินน้ำลาย 22
2.7 กลไกการกำจัดสิ่งสะสมบนตัวฟันของเครื่องขูดหินน้ำลาย แบบ Ultrasonic Scaler 22
2.8 คุณสมบัติของคลื่นอัลตราโซนิค 24
2.9 มอสเฟต 27
2.10 วงจรขยายแบบดาริงตัน (Darlington Amplifier) 37
2.11 ผลข้างเคียงในการใช้หัวขูดหินน้ำลายอัลตร้าโซนิค 38
2.12 สรุป 39

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การออกแบบและการดำเนินการสร้าง 40
3.1 แผนผังการดำเนินงาน 40
3.2 การทำงานของภาคควบคุมแรงดันไฟกระแสตรงของเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค 46
3.3 การทำงานของวงจรภาคผลิตความถี่ 25 กิโลเฮิรตซ์(kHz) โดยใช้ไอซีเบอร์ 4046B 46
3.4 ด้ามจับที่ใส่หัวขูดหินน้ำลาย Insert Hand piece sheath 54
3.5 การทำงานของจอแสดงผลปรับระดับด้วย Arduino Nano 55

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการทดสอบ 56
4.1 ส่วนของชุดควบคุมแรงดัน ชุดผลิตความถี่และอุปกรณ์ที่สำคัญต่างๆ ในวงจร 56
4.2 ส่วนของจอแสดงผล 58
4.3 ส่วนของผลการทดลองสัญญาณในวงจรพร้อมทำการเปรียบเทียบในด้านต่างๆ 59
4.4 ส่วนของผลการทดลองและทดสอบใช้งานจริง 66
4.5 สรุปผลการทดลอง 73

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 76
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 76
5.2 สรุปส่วนของผลการทดลองในด้านต่างๆ การนำไปทดสอบใช้งานจริง 77
5.3 ปัญหาและแนวทางแก้ไข 78
5.4 ข้อเสนอแนะ 78

เอกสารอ้างอิง 79

ภาคผนวก 81
ภาคผนวก ก เอกสารที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา 82

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ข วงจรภาคต่างของเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคสำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่ 91
ภาคผนวก ค ตำแหน่งการวางอุปกรณ์และลายทองแดง 94
ภาคผนวก ง ภาพของวิทยานิพนธ์ที่เสร็จสมบูรณ์และกำหนดการเดินทางปฏิบัติงานโครงการศูนย์ทันตกรรมพระราชทานสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้ากรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี 96
ภาคผนวก จ รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ 104

ประวัติการศึกษาและการทำงาน 136

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 ความเร็วคลื่นในการเดินทางแต่ละชนิด 26

4.1 การเปรียบเทียบวัดสัญญาณความถี่และแรงดันที่ขา IC ที่ใช้งาน และปรับความต้านทานในย่านต่างๆ 61

4.2 การเปรียบเทียบสัญญาณความถี่ที่ขา IC ที่ใช้งานและปรับความต้านทานในย่านต่างๆ 62

4.3 ทดสอบเปรียบเทียบสัญญาณความถี่และแรงดันของขา D (V_{DS}) ของเพาเวอร์มอสเฟต IRF3205 (ใหม่) กับขา C (V_{CE}) ของทรานซิสเตอร์ 2N3055 (เก่า) เมื่อปรับความต้านทานที่หน้าเครื่องในย่านต่างๆ 63

4.4 ทดสอบเปรียบเทียบความถี่ของการสั่นสะเทือนของปลายหัวขูด (P 10) เมื่อปรับความต้านทานที่หน้าเครื่องในย่านต่างๆ 64

4.5 ทดสอบกำลังไฟฟ้าของด้ามขูดหินน้ำลายไฟฟ้า (Insert Hand piece Sheath) เมื่อปรับความต้านทานที่หน้าเครื่องในย่านต่างๆ 64

4.6 ทดสอบกำลังไฟฟ้าของชุดวงจรขยายสัญญาณ เมื่อปรับความต้านทานหน้าเครื่องในย่านต่างๆ 65

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่

1.1	ชุดทันตกรรมเคลื่อนที่	1
1.2	เครื่องขูดหินน้ำลาย (หินปูน) ไฟฟ้า	2
2.1	เครื่องขูดหินปูนแบบ Air scalar	4
2.2	เครื่องขูดหินปูนแบบ Ultrasonic scalar	5
2.3	เครื่องขูดหินปูนแบบ Piezo omatic scalar	5
2.4	การเกิดกระบวนการ Magnetoatriction	6
2.5	แมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์ (Magnetostrictive transducer)	7
2.6	โครงสร้างของภายในตัวผลึกพิโซอิเลคตริกทรานสดิวเซอร์	8
2.7	กระบวนการเกิด (Magnetostriction) ที่ตัวแท่งทรานสดิวเซอร์ในสนามไฟฟ้า	8
2.8	การเคลื่อนที่ของแท่งทรานดิวเซอร์ในสนามไฟฟ้า	9
2.9	แผนผังบล็อกไดอะแกรมของเฟสล็อกลูป	10
2.10	แผนผังของหน่วยสังเคราะห์ความถี่	12
2.11	วงจร VCO แบบใช้ FET	14
2.12	คุณลักษณะของการเปลี่ยนแปลงความถี่เฟสล็อกลูป	15
2.13	วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำอันดับต่างๆ และกราฟแสดงอัตราขยายแรงดันเชิงความถี่	17
2.14	การกำหนดอัตราการขยายที่ความถี่ขอบเขตในหน่วยต่างๆ	18
2.15	สวิตช์เท้า (Foot Switch)	19
2.16	ตัวขูดหินน้ำลาย (Interchanged Insert)	20
2.17	ชุดหัวขูดหินน้ำลายไฟฟ้า	21
2.18	ด้ามที่ใส่หัวขูดหินน้ำลายไฟฟ้า (Insert Hand piece Sheath)	21
2.19	Cavitation of liquid by ultrasound	23
2.20	Energy jets by ultrasonic cavitation	23
2.21	โครงสร้าง และสัญลักษณ์ ของ D – Mosfet แบบ N – Channe	27
2.22	โครงสร้าง และสัญลักษณ์ ของ D – Mosfet แบบ P – Channel	28
2.23	โครงสร้าง และสัญลักษณ์ ของ E – Mosfet แบบ N – Channel	29
2.24	โครงสร้าง และสัญลักษณ์ ของ E – Mosfet แบบ P – Channel	29

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่

2.25 การไบแอส D – Mosfet แบบ N - Channel 30

2.26 การไบแอส D – Mosfet แบบ P - Channel 30

2.27 การไบแอส E – Mosfet แบบ N - Channel 32

2.28 การไบแอส E – Mosfet แบบ P - Channe 32

2.29 กราฟการนำกระแสของ D – Mosfet แบบ N – Channel และแบบ P – Channel 33

2.30 กราฟการนำกระแสของ E – Mosfet แบบ N – Channel และแบบ P – Channel 34

2.31 การวัดขา D กับ S ของ D – Mosfet และ E – Mosfet แบบ N – Channel และ P – Channel 35

2.32 การวัดหาขา G ของ D – Mosfet และ E – Mosfet แบบ N –Channel 35

2.33 ทรานซิสเตอร์แบบดาริงตัน 37

2.34 วงจรขยายสัญญาณเสียงแบบดาริงตัน 38

3.1 แผนผังการดำเนินงาน 40

3.2 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของวงจรส่วนต่างๆ 44

3.3 วงจรภาครวมของเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค (Ultrasonic scalar) 45

3.4 บล็อกไดอะแกรมวงจรภายในไอซีเบอร์ 4046B 47

3.5 กราฟแสดงการเลือกค่าของ R1 , R2 และ C1 เพื่อกำหนดย่านความถี่ 48

3.6 การตอบสนองของ เฟส to เอาท์พุต 49

3.7 ลักษณะรูปคลื่นที่เฟสคอมพาราเตอร์ 1 49

3.8 ลักษณะรูปคลื่นที่เฟสคอมพาราเตอร์ 2 53

3.9 การเปลี่ยนแปลงลอจิกที่สัญญาณอินพุท (S) หรืออินพุท (C) เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงขอบขาขึ้นและขอบขาลง ด้วยลูกศรชี้ขึ้นหรือลงตามลำดับ 54

3.10 ด้ามจับหัวขูดหินน้ำลายไฟฟ้า 54

3.11 วงจรจอแสดงผลการปรับระดับด้วย Arduino Nano 55

4.1 PCB ภาควงจรควบคุมแรงดันและวงจรชุดผลิตความถี่ 56

4.2 สวิตช์เท้า (Foot Switch) 57

4.3 Solenoid ควบคุมการปิด-เปิดน้ำและป้องกันการไหลย้อนกลับของน้ำในท่อ 57

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่

4.4 ส่วนประกอบของด้ามจับขูดหินน้ำลาย (หินปูน) และปลายหัวขูด (P 10) 58

4.5 PCB ควบคุมการแสดงผล และจอแสดงผล LCD 58

4.6 สัญญาณวัดที่ขา 14 (Singin) ของไอซีเบอร์ 4046B เทียบกับขา 8 (Vss) 59

4.7 สัญญาณวัดที่ขา 2 ($PC1_{OUT}$) ของไอซีเบอร์ 4046B เทียบกับขา 8 (Vss) 60

4.8 สัญญาณวัดที่ขา 3 , 4 ($COMP_{IN}$, VCO_{OUT}) ของไอซีเบอร์ 4046B เทียบกับขา 8 (Vss) 60

4.9 สัญญาณวัดที่ขา 6 , 7 (AC1 , BC1) ของไอซีเบอร์ 4046B เทียบกับขา 8 (Vss) 61

4.10 สัญญาณที่ขา D (VDS) ของเพาเวอร์มอสเฟตเทียบกับขา 8 (Vss) 62

4.11 การทดสอบความถี่ของปลายหัวขูด (P 10) 63

4.12 การทดสอบอุณหภูมิทรานซิสเตอร์ตำแหน่งที่ 2 ของวงจรขยายสัญญาณ PCB รุ่นเก่าใช้ทรานซิสเตอร์ BUX80 65

4.13 การทดสอบอุณหภูมิเพาเวอร์มอสเฟตตำแหน่งที่ 2 ของวงจรขยายสัญญาณ PCB รุ่นใหม่ใช้เพาเวอร์มอสเฟต IRF3205 66

4.14 กราฟแสดงการทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิวงจรขยายสัญญาณทำงานต่อเนื่อง 1 ชั่วโมง 66

4.15 ทดสอบการงานของปลายหัวขูด (P 10) 67

4.16 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ 67

4.17 สารทดสอบ Basic Fuchsin เพื่อระบุคราบหินปูน 68

4.18 บล็อกจำลองโครงสร้างของฟันที่มีฟันแท้และมีคราบหินปูน 68

4.19 การทดสอบด้วยสาร Basic Fuchsin ของฟันแท้ที่อยู่ในแบบจำลองฟันธรรมชาติ 69

4.20 ขณะทำการขูดหินปูนเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคโดยใช้แบบจำลองฟันธรรมชาติ 70

4.21 การขูดหินปูนด้วยเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคที่ได้จัดสร้าง 71

4.22 การนำเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคใช้งานจริงกับผู้มารับบริการโดยทันตแพทย์ 72

บทที่ 1
บทนำ

บทนำของวิทยานิพนธ์เรื่องเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคสำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่ มีเนื้อหาทั้งหมด 4 ส่วนด้วยกันคือ ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของการศึกษา กรอบแนวความคิด และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ โดยในแต่ละส่วนมีรายละเอียดของเนื้อหาดังนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีในด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronic) มีบทบาทในงานด้านอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างมากซึ่งเป็นผลดีต่อผู้บริโภค หนึ่งในนั้นคือด้านเครื่องมืออุปกรณ์ทางการแพทย์ก็ได้นำเทคโนโลยีในด้านอิเล็กทรอนิกส์มาใช้งานอย่างแพร่หลาย การออกให้บริการรักษาผู้ป่วยทางทันตกรรมของโครงการหน่วยทันตกรรมพระราชทานฯ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตามท้องถิ่นทุรกันดารเป็นไปด้วยความยากลำบาก ไม่ว่าจะในทางด้านการเดินทาง พื้นที่สำหรับการรักษาผู้ป่วย หรือแม้แต่ด้านสาธารณูปโภคต่างๆ และสิ่งสำคัญที่สุดในการให้บริการรักษาผู้ป่วยทางทันตกรรมนั้นคือชุดทันตกรรมเคลื่อนที่ ซึ่งทันตแพทย์มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องมือดังกล่าวในการรักษาผู้ป่วย

โดยชุดทันตกรรมเคลื่อนที่นี้ประกอบไปด้วย ชุดกรอฟัน และชุดขูดหินปูน ซึ่งถือว่าเป็นหัวใจหลักในการรักษาผู้ป่วยทางทันตกรรม โดยต้องสมรรถนะที่ดี และมีความสะดวกในการใช้งาน ซึ่งในการออกหน่วยทันตกรรมพระราชทาน ในแต่ละวันจะต้องรับบริการผู้ป่วยในด้านทันตกรรมเป็นจำนวนมากเฉลี่ย 350 – 400 คนต่อวัน ดังนั้นในส่วนของชุดขูดหินปูนของชุดทัตกรรมเคลื่อนที่ ยังเป็นเทคโนโลยีสมัยเก่าและมีข้อบกพร่องในวงจรขยายสัญญาณ ซึ่งมีความร้อนสะสมที่ในตัวทรานซิสเตอร์ ทำให้ระยะเวลาในการใช้งานต่อเนื่องแต่ละครั้งประมาณ 1 ชั่วโมงเครื่องจะหยุดการทำงาน ซึ่งถือว่ายังสั้นเกินไปกับการให้บริการผู้ป่วย จึงทำให้ยังคงต้องมีการจัดซื้อเครื่องขูดหินปูนมาใช้งานทดแทนอยู่ในปัจจุบัน ดังแสดงในภาพที่ 1.1 และ ภาพที่ 1.2

ภาพที่ 1.1 ชุดทันตกรรมเคลื่อนที่ [1]

ภาพที่ 1.2 เครื่องขูดหินน้ำลาย (หินปูน) ไฟฟ้า [2]

จากปัญหาดังกล่าวจึงมีแนวคิดในการพัฒนาและปรับปรุงชุดขูดหินปูนสำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่ โดยนำเทคโนโลยีสมัยใหม่ในด้านอิเล็กทรอนิกส์ใช้ในการการออกแบบและสร้างชุดขูดหินปูนสำหรับชุดทัตกรรมเคลื่อนที่ เน้นที่ราคาประหยัดและมีประสิทธิภาพที่เทียบเท่ากับเครื่องที่นำเข้าจากต่างประเทศ จึงเป็นทางเลือกในการจัดสร้างหรือสั่งซื้อเพื่อลดต้นทุนของเครื่องมือแพทย์

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าของเครื่องเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค (Ultrasonic Scaler)

1.2.2 เพื่อได้ความรู้และทักษะความชำนาญการในด้านคลื่นเสียงอัลตราโซนิค และประยุกต์ใช้ร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ

1.2.3 เพื่อปรับปรุงเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค สำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่

1.2.4 เพื่อลดต้นทุนการสั่งซื้อเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ปรับปรุงและสร้างชุดผลิตความถี่ขนาด 25 กิโลเฮิรตซ์(kHz) มีความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 5

1.3.2 การทำงานของหัวขูดหินน้ำลายไฟฟ้า ควบคุมโดยใช้สวิตช์เท้า (Foot Switch)

1.3.3 การสั่นของหัวขูดหินปูน (Metal Tip) ทำให้เกิดคลื่นเสียง Ultrasonic Sound

1.3.4 มีจอแสดงระดับการทำงานแบบตัวเลข

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ศึกษาและวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าของเครื่องเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค (Ultrasonic Scaler)

1.4.2 ได้ความรู้และทักษะความชำนาญการในด้านคลื่นเสียงอัลตราโซนิค และประยุกต์ใช้ร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ

1.4.3 ได้ชุดเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง

1.4.4 ได้ลดต้นทุนในการสั่งซื้อเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีเนื้อหาประกอบไปด้วยส่วนหลักๆ ได้แก่หลักการทำงานของเครื่องขูดหินน้ำลาย แบบ Ultrasonic Vibration ส่วนประกอบของเครื่องขูดหินน้ำลายไฟฟ้า แบบ Ultrasonic scalar หลักการของวงจรเฟสล็อคลูปที่มีคุณสมบัติอยู่ในตัวไอซีเบอร์ 4046B เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ 25 กิโลเฮิรตซ์(kHz) มอสเฟต วงจรขยายสัญญาณแบบดาร์ลิงตัน

2.1 ชนิดของเครื่องขูดหินปูน

เครื่องขูดหินปูนที่นิยมใช้ในปัจจุบันมี 3 แบบ ดังนี้ [3]

1. แบบ Air scalar ใช้ความถี่ในการสั่นประมาณ 3,000 – 6,000 ครั้งต่อวินาที ความเร็วในการสั่นจะมีค่าน้อย ทำให้เครื่องแบบนี้มีความคงทนไม่เสียง่าย ลักษณะในการสั่นจะเป็นแบบ Latera ลักษณะการเคลื่อนที่ไปทางซ้าย และขวาสลับกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 เครื่องขูดหินปูนแบบ Air scalar [2]

2. แบบ Ultrasonic scalar ใช้ลักษณะวงจรความถี่ในการสั่นประมาณ 25,000 ครั้งต่อวินาที เวลาสั่นจะได้ยินเสียงโยกตัวของปลายห้วขูด (Metal tip) ที่ติดอยู่กับแกนเหล็กที่เรียกว่า Magnetostrictive Metal ซึ่งทำมาจากเหล็กเหนียวคล้ายแหนบรถยนต์ ซึ่งเป็นตัวทำให้ปลายห้วขูดสั่น โดยจะเสียบอยู่ในกระบอก Handpiece ลักษณะในการสั่นจะเคลื่อนที่เป็นวงรี แรงดันไฟฟ้าที่ด้ามขูดจะเป็นกระแสสลับประมาณ 30-70 โวลต์ ดังแสดงในภาพที่ 2.2

ภาพที่ 2.2 เครื่องขูดหินปูนแบบ Ultrasonic scalar [2]

3. แบบ Piezo omatic scalar ใช้ความถี่ในการสั่นประมาณ 35,000-42,000 ครั้งต่อวินาที เวลาในการสั่นจะไม่มีเสียง จะได้ยินก็ต่อเมื่อปลายหัวขูดสัมผัสกับเนื้อฟัน ลักษณะการสั่นปลายหัวขูดจะเคลื่อนที่พุ่งออก และพุ่งเข้าสลับกัน ตัวด้าม Handpiece จะไม่ค่อยร้อน แรงดันไฟฟ้าที่ด้ามขูดจะเป็นกระแสสลับ ประมาณ 20 – 50 โวลต์ และราคาค่อนข้างสูง ดังแสดงในภาพที่ 2.3

ภาพที่ 2.3 เครื่องขูดหินปูนแบบ Piezo omatic scalar [2]

2.2 หลักการทำงานของเครื่องขูดหินปูนแบบ Ultrasonic

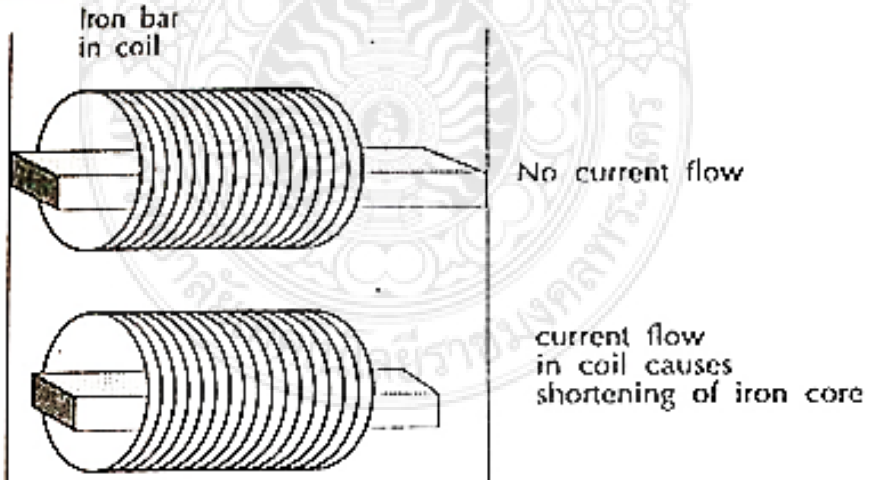
คลื่นสั่นสะเทือนอัลตร้าโซนิค (Ultrasonic vibration) [3] เป็นคลื่นสั่นสะเทือนที่มีความถี่สูงกว่าความถี่ของมนุษย์ที่สามารถรับฟังได้ คือสูงกว่า 25 กิโลเฮิรตซ์(kHz) เครื่องขูดหินปูนที่ใช้กันอยู่จะมีความถี่ในการสั่นอยู่ระหว่าง 25 – 42 กิโลเฮิรตซ์ และแอมปลิจูดในการสั่นอยู่ระหว่าง 0.006 – 0.01 ม.ม.

เครื่องขูดหินปูน จะมีส่วนในประกอบที่สำคัญอยู่ด้วยกัน 2 ส่วน คือ ส่วนกำเนิดสัญญาณความถี่ไฟฟ้า (Signal Generator) และด้ามจับ (Handpiece) โดยมีเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ไฟฟ้า จะทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้า ที่มีใช้อยู่ในบ้านให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่สูงมาก (มากกว่า 20 กิโลเฮิรตซ์) หรือเรียกว่ากระแสไฟฟ้าที่ความถี่อุลตร้าโซนิค และแรงดันที่ลดต่ำลงมาและส่งต่อไปยังด้ามขูด ซึ่งตัวด้ามขูดจะมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ภายในกรวง ทำด้วยวัสดุที่เป็นฉนวน และมีขดลวดฝังอยู่ภายใน

ก. หัวขูดและทรานดิวเซอร์เป็นชิ้นเดียวกัน เวลาเปลี่ยนหัวขูดต้องถอดออกไปทั้งแท่ง

ข. หัวขูดไม่ติดกับทรานดิวเซอร์ ถอดเปลี่ยนเฉพาะหัวขูด

กระแสไฟฟ้าอัลตร้าโซนิคที่ส่งออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มาตามขดลวดดังกล่าว เมื่อแท่งทรานดิวเซอร์ (Transducer) เข้ามาในกระบอกด้ามจับ สนามไฟฟ้าก็จะทำให้แท่งทรานดิวเซอร์มีความยืดและหดด้วยความถี่สูง (Magnetoatriction) จนเกิดเป็นความสั่นสะเทือน เพื่อเพิ่มการยืดหดที่ว่านี้ให้มีมากขึ้นให้อยู่ในยานอัลตร้าโซนิค จึงมีการผ่านกระแสไฟฟ้าชนิดตรงเข้าไปประจำอยู่ขดลวดเกินแรงเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กในกระบอกด้ามจับ ดังแสดงในภาพที่ 2.4

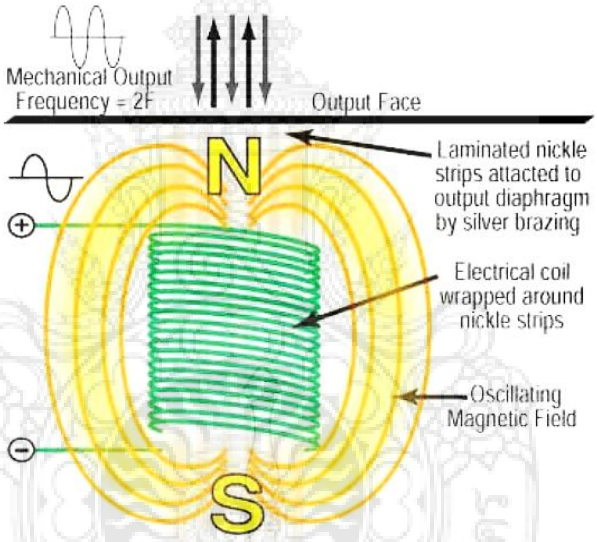


ภาพที่ 2.4 การเกิดกระบวนการ Magnetoatriction [3]

2.2.1 อัลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์

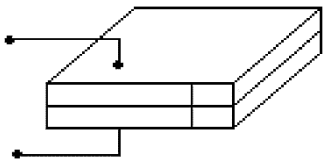
อัลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic transducer) ในปัจจุบันมีหลายแบบขึ้นอยู่กับหลักการที่ใช้ ที่นิยมใช้กันมากมี 2 แบบชนิดได้แก่ แผ่นโลหะแมกนีโทสทริคทีฟ สแต็ค (Magnetostrictive stack) และผลึกพิโซอิเลคตริก (Peizo – Electric crystal)

แบบที่ 1 แผ่นโลหะแมกนีโทสทริคทีฟ สแต็ค ใช้หลักการของ Magnetostriction ที่วัสดุขยายและหดตัวเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กสลับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ไฟฟ้า ซึ่งจะถูกเปลี่ยนในสนามแม่เหล็กสลับผ่านทางการใช้ขดลวด สนามแม่เหล็กถูกนำมาใช้เพื่อก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนทางกลที่ความถี่อัลตร้าโซนิค แต่โดยทั่วไปมักมีประสิธิภาพน้อยแบบผลึกพิโซอิเลคตริก เพราะการแปลง Magnetostriction ต้องแปลงจากพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานสนามแม่เหล็กและจากพลังงานสนามแม่เหล็กเป็นพลังงานกล ซึ่งจะมีประสิทธิภาพบางส่วนจะหายไปในการแปลงแต่ละครั้ง ดังแสดงในภาพที่ 2.5

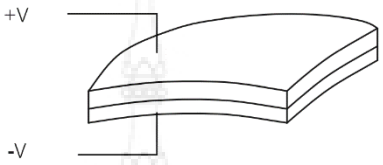


ภาพที่ 2.5 แมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์ (Magnetostrictive transducer) [1]

แบบที่ 2 ผลึกพิโซอิเลคตริก ประกอบด้วยชิ้นสารเซรามิคสี่เหลี่ยมมีผิวโลหะเงินฉาบอยู่ทั้ง 2 หน้าเพื่อให้ต่อสายไฟออกมาเป็นขา 2 ขา ชิ้นสารเซรามิคประกอบขึ้นจากสาร 2 ชิ้น ประกบกันอยู่โดยวางให้ขั้วไดโพลทางไฟฟ้าภายในอะตอมของมันมีทิศทางตรงข้ามกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.6



ก. โครงสร้างผลึกพิโซอิเลคตริกทรานสดิวเซอร์ที่ใช้สารเซรามิค



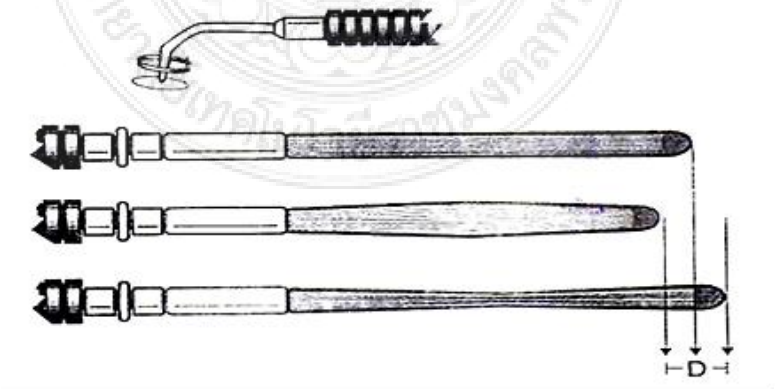
ข. ป้อนแรงดันให้ชิ้นสารเซรามิคเกดการโก่งงอทำให้เกิดคลื่นเสียงอัลตร้าโซนิคกระจายในอากาศ

ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของภายในตัวผลึกพิโซอิเลคตริกทรานสดิวเซอร์ [1]

2.3 ชนิดของแท่งทรานสดิวเซอร์

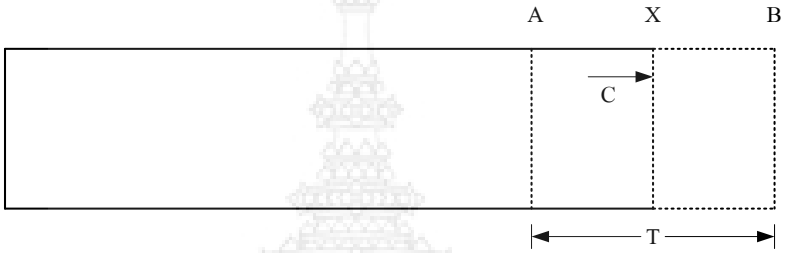
แท่งทรานสดิวเซอร์ที่ใช้สำหรับเครื่องขูดหินน้ำลายไฟฟ้า [3] มีด้วยกัน 2 ชนิด คือ

ชนิดที่หนึ่ง ทำจากแผ่นโลหะแมกนีโทสทริคทีฟ สแต็ค (Magnetostrictive stack) คือแม่เหล็กเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าจะมีสภาพเป็นแม่เหล็ก เป็นผลให้ขนาดเปลี่ยนแปลง เช่นเอาแผ่นแม่เหล็กผสมนิเกิลและโคบอลด์ (Nicle – Cobalt metal strips) มาวางซ้อนกันแล้วบัดกรีหัวท้ายก็กลายเป็นแท่งโลหะที่ก่อให้เกิดกระบวนการ (Magnetostriction) เมื่อสนามไฟฟ้าตัดผ่าน ดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 กระบวนการเกิด (Magnetostriction) ที่ตัวแท่งทรานสดิวเซอร์ในสนามไฟฟ้า [3]

ชนิดที่สอง ทำจากผลึกพิโซอิเลคตริก (Peizo – Electric crystal) คือผลึกเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าสามารถขยายได้หดได้ เช่น ควอทซ์ (Quartz) แบเรียมไทเทเนท (Barium titanate) การเคลื่อนที่ของแท่งทรานสดิวเซอร์ในสนามไฟฟ้า จากจุดตั้งต้นไปจุดที่หดสั้นที่สุดแล้วไปจุดที่ยาวที่สุดแล้วจึงกลับสู่จุดด้านเดิม เรียกว่า 1 รอบ(Cycle) เพราะฉะนั้นเครื่องขูดหินน้ำลายอัลตร้าโซนิคมีความถี่ 25 กิโลเฮิรตซ์ แท่งทรานสดิวเซอร์ก็จะเคลื่อนที่วินาทีละ 25,000 รอบ(T) ระยะทางจากจุดตั้งต้นเดิมไปจุดที่หดสั้นที่สุด หรือระยะทางจากจุดตั้งต้นเดิมไปจุดที่ยืดยาวที่สุด เรียกว่า แอมปลิจูด (Amplitude) ส่วนระยะทางจากจุดที่สั้นที่สุดไปจุดที่ยืดยาวที่สุดเรียกว่า ช่วงการที่เคลื่อนที่ในหนึ่งรอบ (Total travel in one cycle) ดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 การเคลื่อนที่ของแท่งทรานดิวเซอร์ในสนามไฟฟ้า [3]

X = ตำแหน่งของปลายทรานดิวเซอร์ที่จุดตั้งต้น
A = ตำแหน่งของทรานดิวเซอร์ที่หดสั้นที่สุด
B = ตำแหน่งของปลายทรานดิวเซอร์ที่ยืดยาวที่สุด
C = แอมปลิจูด
t = ช่วงการที่เคลื่อนที่ในหนึ่งรอบ

เมื่อทรานดิวเซอร์ยืดหดด้วยความถี่สูงมาก จะมีความร้อนเกิดขึ้นกับ ทรานดิวเซอร์ที่ทำจากโลหะแมกนิโตสตริกตีฟ จึงจำเป็นต้องมีน้ำผ่านเข้าไปในด้ามจับ เพื่อระบายความร้อนให้กับทรานดิวเซอร์ และน้ำดังกล่าวจะถูกส่งต่อไปยังหัวขูด เพื่อลดความร้อนบองการเสียดสีกับหินน้ำลายและผิวมัน เมื่อน้ำดังกล่าวกระทบกับหัวขูดที่มีการสั่นด้วยความถี่สูง ซึ่งอยู่ในย่านอุลตร้าโซนิค ส่งผลให้น้ำแตกตัวออกเป็นละอองน้ำฝอยๆ เป็นวงกว้าง ปรากฏการณ์เช่นนี้ เรียกว่า แควิเตชั่น (Cavitation) หรือ บับบลิงเอฟเฟคท์ (Bubbling effect) ทั้งนี้เพราะละอองน้ำแต่ละอันมีโพรงอากาศอยู่ภายในนั่นเอง

2.4 เครื่องขูดหินน้ำลายไฟฟ้า

ส่วนประกอบของเครื่องขูดหินน้ำลายไฟฟ้า [4] แบบ Ultrasonic scalar มีดังนี้

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ (Signal Generator)
2. สวิตช์เท้า (Foot switch)
3. หัวขูดหินปูน (Interchanged insert)
4. ด้ามใส่หัวขูดหินปูน (Headpiece)

2.4.1 เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่

ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่มีความถี่ โดยสามารถปรับความแรงในการสั่นได้ตามความเหมาะสมกับการใช้งาน ความถี่ในการสั่นมีลักษณะคงที่ประมาณ25,000 รอบต่อวินาที ภายในตัวเครื่องมีหม้อแปลงสำหรับลดแรงดันไฟฟ้าจาก 220 โวลต์หรือ 24 โวลต์ กระแสสลับขึ้นอยู่กับรูปแบบขอวงจร นอกจากนั้นยังจ่ายแรงดันไฟฟ้าขนาด 15 โวลต์กระแสตรงให้กับมอเตอร์ปั๊มน้ำที่ถังน้ำ และมีชุดปรับปริมาณน้ำในการใช้งานตัวเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ ได้สัญญาณความถี่ 25 กิโลเฮิรตซ์ โดยใช้ทฤษฎีหลักๆ ดังนี้

ก) เฟสล็อกลูป

เฟสล็อกลูป [5] เป็นระบบป้อนกลับที่บังคับให้วงจรออสซิลเลเตอร์มีความถี่หรือเฟสเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่หรือเฟสของสัญญาณอ้างอิงภายนอก เฟสล็อกลูปประกอบด้วยภาคสำคัญ 3 ภาค คือ ภาคเทียบเฟสหรือเฟสดีเทกเตอร์ (Phase Detector : PD) ภาคลูปฟิลเตอร์ (Loop Filter : LF) และภาค (Voltage control oscillator : VCO) โดยต่อเอาต์พุตจากวงจร VCO ดังแสดงในภาพที่ 2.9

ภาพที่ 2.9 แผนผังบล็อกไดอะแกรมของเฟสล็อกลูป [5]

สมมติว่ามีสัญญาณความถี่อ้างอิงภายนอกเป็นสัญญาณรายคาบ (Periodic) เข้ามาที่อินพุตภาคเทียบเฟส ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเทียบเฟสระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณจาก VCO เอาต์พุตที่ได้จากภาคเฟสดีเทกเตอร์จะมีแรงดันที่มีแอมปลิจูดเป็นสัดส่วนกับผลต่างในเฟสของสัญญาณทั้งสองที่ทำการเปรียบเทียบ แรงดันผลต่างนี้ป้อนไปให้วงจรลูปฟิลเตอร์ซึ่งเป็นฟิลเตอร์ชนิดโลพาสกรองเอาแต่เฉพาะความถี่ต่างๆ ที่ต้องการ เพื่อส่งไปควบคุมการออสซิลเลตของ VCO ต่อไป

เมื่อลูปอยู่ในสภาพล็อก (Lock) ความถี่ของ VCO จะเท่ากับความถี่ของสัญญาณอินพุตพอดี อาจจะมีเฟสแตกต่างไป แต่ค่าเฟสที่แตกต่างนั้นจะมีค่าคงที่ (Constant Phase Difference) ในกรณีที่มีเฟสไม่ตรงกันภาคเฟสดีเทกเตอร์จะจ่ายแรงดันคลาดเคลื่อน (Error Voltage) ไปควบคุมการทำงานของ VCO เพื่อมิให้เฟสคลาดเคลื่อนจนกว่าจะเข้าสู่สภาพล็อกเอาต์พุตของ VCO จึงมีแอมพลิจูดค่าที่เสมอ แต่ความถี่จะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของสัญญาณอินพุต

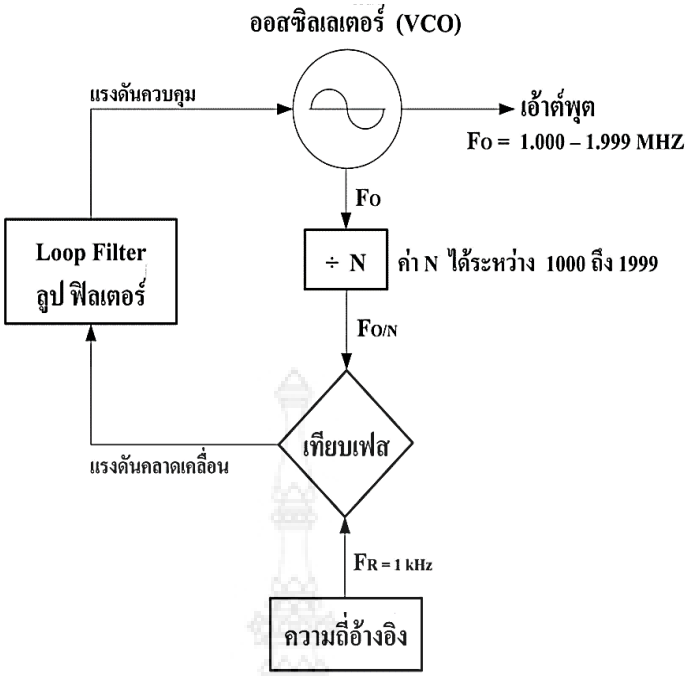
เราสามารถนำเฟสล็อกลูปไปใช้สังเคราะห์ (หรือผลิต) ความถี่ที่มีความเที่ยงตรงและเสถียรภาพเทียบเท่าสัญญาณอ้างอิงได้ วงจรนี้เรียกว่า “ วงจรสังเคราะห์ความถี่ ” จะช่วยให้สามารถสังเคราะห์สัญญาณเอาต์พุต (จาก VCO) ให้มีความถี่ตามต้องการได้หลายความถี่ โดยมีความเที่ยงตรงและเสถียรภาพสูงเทียบเท่าคริสตอลออสซิลเลเตอร์

ความจริงเฟสล็อกลูปยังมีประโยชน์อื่นอีก เช่น ในการดีมอดสัญญาณ FM (หรือ PM) เนื่องจากเอาต์พุตของเฟสดีเทกเตอร์มีค่าสัมพันธ์กับการเปลี่ยนเฟสของคลื่นพาหะ

ข) การใช้เฟสล็อกลูปในการสังเคราะห์ความถี่

ไม่ว่าระบบสังเคราะห์ความถี่จะมีความซับซ้อนเพียงใด เมื่อพิจารณาลึกลงไปแล้วจะพบว่ามีเฟสล็อกลูปเป็นหัวใจในการสังเคราะห์เสมอ เป็นตัวอย่างของระบบสังเคราะห์ความถี่อย่างง่าย ประกอบด้วย 5 ภาค คือภาค VCO เป็นออสซิลเลเตอร์กำเนิดสัญญาณเอาต์พุตของระบบสังเคราะห์ความถี่ภาคหาร N ทำหน้าที่หารความถี่แบบตั้งโปรแกรมให้ หารด้วยค่าตัวเลขตามต้องการได้ (Programmable Divider) ภาคกำเนิดความถี่อ้างอิงคริสตัลออสซิลเลเตอร์ หรือสัญญาณอื่นๆ (Reference Generator) ภาคเทียบเฟสและภาคลูปฟิลเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่กรองเฉพาะความถี่ต่ำไปใช้

จะเห็นว่าสัญญาณอินพุตของภาคเทียบเฟสมาจาก 2 แหล่ง คือจาก VCO มีความถี่เท่ากับ $F_{O/N}$ และสัญญาณอ้างอิงมีความถี่เท่ากับ F_R เอาต์พุตจากการเปรียบเทียบก็คือ ดังแสดงในภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 แผนผังของหน่วยสังเคราะห์ความถี่ [5]

ผลต่างระหว่างสัญญาณ $F_{O/N}$ กับ F_R ซึ่งจะกรองเฉพาะความถี่ต่ำเท่านั้น เพื่อบังคับการออสซิลเลตของวงจร VCO ให้ทำการปรับแก้ความถี่ (หรือเฟส) ให้ตรง จนกว่าสัญญาณความถี่ของสัญญาณทั้งสองจะเท่ากัน

กล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เอาต์พุตจะมีความถี่เป็น N เท่าความถี่อ้างอิง สมมติว่า F_R = 1 kHz N = 1000 จะได้ F_O = 1 MHz ถ้า N เพิ่มขึ้นทีละ 1 เป็น 1.001, 1.002, 1.003..... ค่า F_O จะเพิ่มทีละ 1 kHz ไปเรื่อยๆ เป็น 1.001, 1.002 , 1.003..... MHz ตามลำดับ

สังเกตว่าเฟสล็อกลูปดังกล่าว สามารถผลิตความถี่ได้เฉพาะในช่วงความถี่ของวงจร VCO และวงจรหาร N สามารถทำงานได้เท่านั้น เมื่อตัวเลขในการหารเป็นตัวเลขจำนวนเต็ม

ค) คุณสมบัติของวงจรสังเคราะห์ความถี่

นอกจากการสังเคราะห์ความถี่จะต้องมีคุณสมบัติเกี่ยวกับช่วงความถี่ (Frequency Range) ที่ต้องผลิตและเรโซลูชั่นระหว่างขั้นแล้ว คุณสมบัติอื่นๆ ของวงจรสังเคราะห์ความถี่ยังมีความสำคัญสำหรับเครื่องรับส่งวิทยุอีกด้วย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

โดยปกติวงจรสังเคราะห์ความถี่จะสามารถกำเนิดสัญญาณเพียงสัญญาณเดียวแต่เลือกความถี่ได้หลายค่า (ในช่วงความถี่ใช้งาน) และมีความละเอียดของความถี่ขึ้นอยู่กับ เรโซลูชั่นในกรณีที่เราเปลี่ยนความถี่จากค่าหนึ่งไปยังอีกค่าหนึ่ง วงจรสังเคราะห์ความถี่จะเปลี่ยนตามได้ อย่างทันที กล่าวอีกอย่างหนึ่งคือ ล็อกความถี่ได้ในเวลาอันรวดเร็ว นั่นคือ ช่วงเวลาล็อก (Lock – up Time)

คุณสมบัติการล็อกความถี่ใหม่ได้รวดเร็วนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับเครื่องรับส่งวิทยุ โดยเฉพาะในระหว่างการเปลี่ยนจากสภาวะส่ง (รับ) มาเป็นสภาวะรับ (ส่ง) หรือในกรณีสแกนความถี่

วงจรสังเคราะห์ความถี่ที่ดีจะต้องผลิตสัญญาณความถี่เดียว โดยปราศจากความถี่แปลกปลอมต่างๆ คุณสมบัตินี้เรียกว่า " ความบริสุทธิ์ของสเปกตรัม (Spectrum Purity) " นั่นคือความถี่ฮาร์มอนิกและสปิวเรียสต่างๆ จะต้องถูกกำจัดให้เหลือน้อยที่สุด นอกจากนี้นอยส์ในวงจรออสซิลเลเตอร์จะทำให้วงจรสังเคราะห์ความถี่ที่มีความถี่ไม่บริสุทธิ์ ไม่ใช่เพียงความถี่เดียวในช่วงใกล้เคียงกับความถี่ที่ต้องการ นอยส์ดังกล่าวนี้เรียกว่า " เฟสนอยส์ (Phase Noise) "

ความเที่ยงตรง (Accuracy) และเสถียรภาพ (Stability) ทางความถี่ของวงจรสังเคราะห์ความถี่ขึ้นอยู่กับสัญญาณอ้างอิง โดยทั่วไปสัญญาณอ้างอิงจะเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ชนิดใช้แร่บังคับความถี่ ฉะนั้นวงจรสังเคราะห์ความถี่จะมีเสถียรภาพและความเที่ยงตรงทางความถี่เทียบเท่ากับคริสตอลออสซิลเลเตอร์

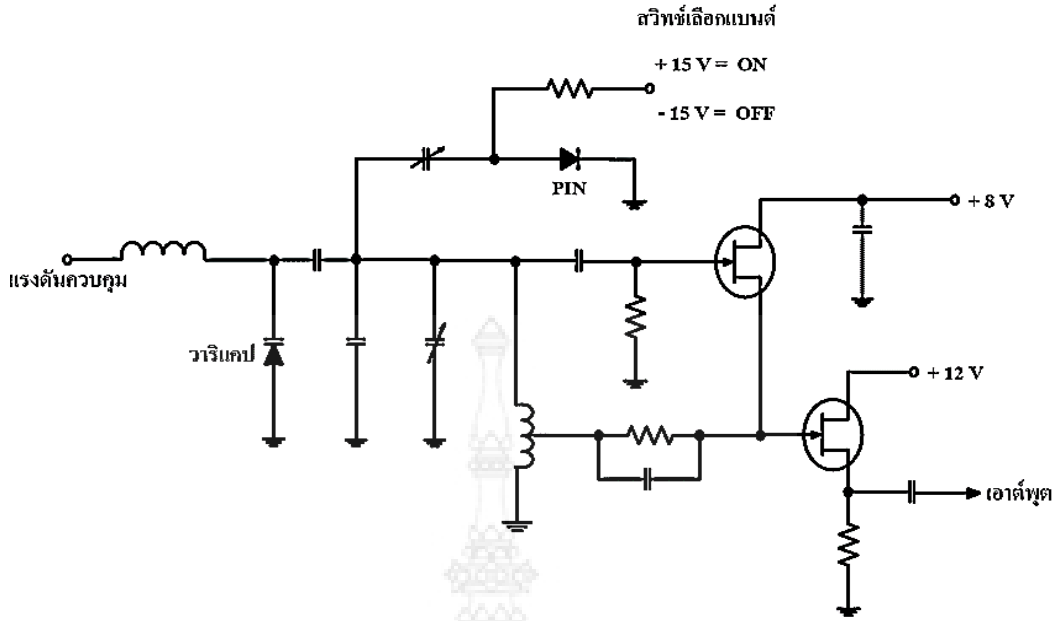
วงจรสังเคราะห์ความถี่ที่ใช้กับเครื่องรับส่งวิทยุย่านความถี่ HF (3 ถึง 30 MHz) ค่อนข้างมีความซับซ้อนเพราะการใช้งานในย่านความถี่เราต้องการเรโซลูชั่นละเอียดถึง 100 เฮิรตซ์ เป็นอย่างน้อย บางเครื่องทำได้ละเอียดถึง 10 Hz นอกจากนี้ช่วงความถี่ 3 ถึง 30 MHz ค่อนข้างกว้างมาก วงจรสังเคราะห์ความถี่ที่คลอบคลุมช่วงความถี่กว้างๆ และมีเรโซลูชั่นละเอียดเช่นนี้จะต้องออกแบบเป็นพิเศษเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ดี และช่วงเวลาล็อกสั้นรวดเร็ว โดยทั่วไปอัตราส่วนความถี่สูงสุดและต่ำสุดระหว่างความถี่ใช้งานจะมีค่าไม่เกิน 2 เท่า ในกรณีที่มีอัตราส่วนเกิน 2 เท่า เราต้องใช้วงจร VCO หลายชุดแล้วมีสวิตช์เลือกเพื่อป้องกันการล็อกความถี่ฮาร์มอนิก และเพื่อให้คุณสมบัตินอยส์ที่ดีสำหรับช่วงเวลาล็อกรวดเร็วนั้น เราทำได้โดยใช้ลูปร่วมกันหลายลูป (Multiple Loop)

ง) วงจรต่างๆ ในเฟสล็อกลูป

วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่เอาต์พุตก็คือ วงจร VCO โดยทั่วไปเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้วาแรกเตอร์หรือวาริแคปเป็นส่วนหนึ่งในวงจรจูน คุณสมบัติที่สำคัญของ VCO ที่ต้องคำนึงถึงคือ เฟสนอยส์ ซึ่งเกิดจากนอยส์ในตัววาแรคเตอร์ ค่า Q เลื่อนไหลของวงจรจูน (Drift) และคุณสมบัติในตัวอุปกรณ์แอกตีฟไม่คงที่

วงจร VCO นิยมใช้ FET เนื่องจากมีนอยส์ต่ำและมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูงแต่บางครั้งอาจใช้ไอซี เช่น เบอร์ MC 1648 เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์แบบ ECL โดยจะให้เอาต์พุตประมาณ 900 มิลลิโวลต์พีคทูพีค (mVp-p) ซึ่งเพียงพอสำหรับเป็นโลคอลออสซิลเลเตอร์ แต่อย่างไรก็ดีคุณสมบัตินอยส์เข้าสู่วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ FET ไม่ได้

สังเกตว่าความถี่ของวงจร VCO ถูกควบคุมด้วยแรงดันควบคุมที่ป้อนมาไบแอส วาริแคปในวงจรจูน ถ้าแรงดันไบแอสแก่วาริแคปเพิ่มขึ้น ส่วนใหญ่ VCO จะมีความถี่สูง แต่มีบางวงจรที่ทำให้ความถี่ VCO ลดลงบ้าง แต่เป็นส่วนน้อย เช่น ในกรณีที่ใช้วงจรขยายอินเวอร์เตอร์มาขยายแรงดันควบคุมก่อน ดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 วงจร VCO แบบใช้ FET [5]

เห็นได้ว่าเราใช้ไดโอด PIN ในการสวิตช์เลือกแบนด์เพื่อเพิ่มความจุไฟฟ้าให้วงจร VCO สามารถทำงานในย่านความถี่กว้างขึ้นได้ภาคความถี่อ้างอิงนิยมใช้คริสตอลออสซิลเลเตอร์ และมีวงจรหารความถี่ตายตัว ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไอซี ตัวอย่างเช่นวงจรออสซิลเลเตอร์ ใช้แร่ความถี่ 2.56 เมกะเฮิรตซ์(MHz) แล้วหารออกมาเป็น 10 กิโลเฮิรตซ์(kHz) ทั้งวงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรหารความถี่จะอยู่ภายในตัวไอซีมี แต่เฉพาะ R และ C เท่านั้นที่ต่อภายนอก เป็นไอซีที่ใช้งานแบบเดียวกัน ความถี่ออสซิลเลเตอร์อ้างอิงนี้เป็นตัวกำหนดเรโซลูชั่นและเสถียรภาพของความถี่อ้างอิงที่ดีจึงทำให้สามารถสังเคราะห์ความถี่ที่มีเสถียรภาพดี

ภาคเทียบเฟสส่วนใหญ่จะเป็นแบบดิจิตอล ซึ่งเปรียบเทียบสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณที่ได้จาก VCO (หลังจากหาร N) เอาต์พุตที่ได้จากการเปรียบเทียบจะเป็นพัลส์ที่มีวัฏจักรหน้าที่ (Duty Cycle) เปลี่ยนแปลง ซึ่งแสดงไอซีที่ทำหน้าที่เป็นวงจรดีเทกเตอร์เฟส วงจรนี้ประกอบด้วยเกตเช่น Exclusive OR , D – Flip flop ปกติจะมีเอาต์พุตพิเศษแสดงสภาวะล็อก หมายถึงสภาวะที่ความถี่หรือเฟสของสัญญาณจาก VCO (หาร N) กับสัญญาณอ้างอิงตรงกันพอดี การล็อกเอาต์พุตนี้มีความสำคัญมาก เพราะจำเป็นต้องใช้หยุดการทำงานของภาคเครื่องส่งของเครื่องรับส่งวิทยุ ในกรณีที่ความถี่ไม่ล็อก

วงจรเทียบเฟสนี้ความจริงแล้วเรียกว่าเทียบเฟสหรือความถี่ก็ได้ เนื่องจากเอาต์พุตของดีเทกเตอร์ขึ้นอยู่กับผลต่างเฟสหรือค่าความถี่ของสัญญาณอินพุต 2 สัญญาณ ผลลัพธ์ที่ได้จากเฟสดีเทกเตอร์จะเป็นพัลส์ มีส่วนผสมของไฟ DC ปนอยู่ ซึ่งส่วนที่เป็นไฟ DC นี้จะนำไปใช้ควบคุมความถี่

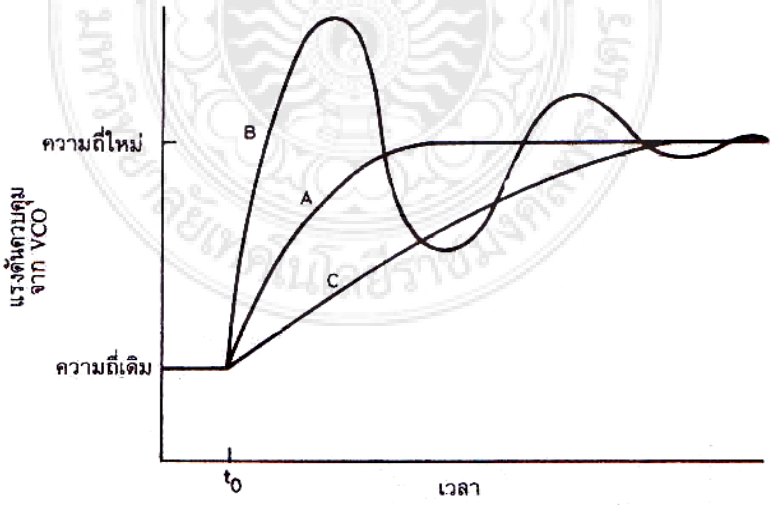
ของ VCO ว่าห่างจากความถี่ที่ต้องการเท่าใด ช่วงความถี่ที่วงจรเฟสล็อกลูปสามารถแก้ไขได้เรียกว่า “ Capture Range ”

ในตัวอย่างวงจรเฟสดีเทกเตอร์ สังเกตว่ามีวงจรขยายอินเวอร์เตอร์อยู่ 1 ตัว ซึ่งเป็นวงจรขยายอเนกประสงค์ เพื่อประโยชน์ในการสลับขั้วแรงดันควบคุมของ VCO ให้อัตราการขยายมีความแรงขึ้น หรือใช้ในการควบคุมอื่นๆ

ลูปฟิลเตอร์ เป็นวงจรฟิลเตอร์ชนิดโลพาสธรรมดา ทำหน้าที่กรองสัญญาณความถี่ต่ำมาควบคุมความถี่ของ VCO โดยทั่วไปมักใช้ลูปฟิลเตอร์ประเภทพาสซีฟ หรืออาจใช้ฟิลเตอร์ชนิดแอกตีฟก็ได้ ลูปฟิลเตอร์นี้เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความถี่ก่อนเข้าสู่สภาพล็อกที่เรียกว่าคุณสมบัติชั่วครู่ (Transient) ถ้าเลือกอัตราการขยายลูป (Loop Gain) และค่าคงตัวเวลาของลูป (Loop Time Constant) ไม่เหมาะสม ความถี่เฟสล็อกลูปจะไม่ล็อกและจะเปลี่ยนไปเปลี่ยนมา

ดังนั้น ค่าของลูปฟิลเตอร์จะต้องไม่มากเกินไป เพื่อว่าทุกครั้งที่เปลี่ยนความถี่เฟส ล็อกลูปจะล็อกได้เร็ว โดยไม่มีการสะบัดโอเวอร์ชูต หรือใช้เวลาเปลี่ยนความถี่อย่างรวดเร็ว แต่ค่าคงตัวเวลาก็ไม่ควรจะน้อยเกินไปจนกระทั่งความถี่สั่นหรือไม่นิ่ง (Jitter) จากภาพที่ 2.9 จะเห็นว่าเส้นทางการเปลี่ยนแปลงแรงดันมี 3 เส้นทางคือ เส้นทาง A เป็นเส้นทาง (Critically Damped) ใช้เวลาในการเปลี่ยนค่าสู่ความถี่ใหม่น้อยที่สุด เส้นทาง B เป็นเส้นทาง (Under damped) มีการสะบัด หรือออสซิลเลตเนื่องจากโอเวอร์ชูต (Overshoot) เส้นทาง C เป็นเส้นทาง (Over damped) ไม่มีโอเวอร์ชูตแต่เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ความถี่ใหม่จะช้า

เส้นทาง A เป็นเส้นทางที่ดีที่สุดในการออกแบบค่าคงตัวเลขของวงจรจรลูปฟิลเตอร์เพราะใช้เวลาเปลี่ยนแปลงความถี่เร็วและไม่โอเวอร์ชูต (Overshoot) ดังแสดงในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 คุณลักษณะของการเปลี่ยนแปลงความถี่เฟสล็อกลูป [5]

ยังมีอีกภาคหนึ่งที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการล็อกความถี่ นั่นคือ ภาคหาร N (หรือ Programmable Divider) เวลาที่ใช้ในการล็อกความถี่ เมื่อ N มีค่าน้อยสุดจะไม่เท่ากับ เมื่อ N มีค่ามากสุด วงจรหาร N เกิดจากวงจรนับฐานสิบ (Decade Counter) หลายๆ ชุดมาต่อรวมกันกับเกตต่างๆ เพื่อให้สามารถเลือกสั่งให้วงจรนับทำหน้าที่หารความถี่ได้ตามตัวเลขที่ตั้งไว้

วงจรหาร N นี้เป็นตัวรับคำสั่งเกี่ยวกับความถี่ไปควบคุม VCO เพื่อให้เกิดสัญญาณตามที่ต้องการ ตัว N จะเป็นตัวที่กำหนดย่านความถี่ แสดงวงจรหารชนิดใช้ ไอซีตระกูล TTL เป็นวงจรหาร N สำเร็จรูปในไอซีตัวเดียว สังเกตว่าลักษณะการป้อนข้อมูล N ให้กับวงจรหาร N เป็นแบบขนาน (Parallel) กล่าวคือข้อมูลแต่ละบิตจะป้อนเข้าพร้อมๆกัน

วงจรหาร N บางชนิดใช้วิธีป้อนข้อมูล N เป็นแบบอนุกรม (Serial) วงจรประเภทนี้มีความซับซ้อน เพราะต้องมีสัญญาณนาฬิกา (Clock) มีวงจรแลตช์ (Latch) ในการป้อนข้อมูล วงจรหาร N ประเภทนี้จะควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

ปัญหาสำคัญของซินธิไซเซอร์อีกอย่างหนึ่งก็คือ วงจรหาร N (หรือวงจรหารที่ตั้งโปรแกรมได้) ไม่สามารถทำงานที่ความถี่สูงกว่า 25 เมกะเฮิรตซ์(MHz) ได้ ฉะนั้นจึงต้องหาทางลดทอนความถี่ที่ป้อนแก่วงจรหาร N ลงเพื่อให้วงจรลอจิกของวงจรหาร N ทำงานได้ วิธีที่นิยมใช้ ได้แก่ ใช้ความถี่จากออสซิลเลเตอร์พิเศษ (บางครั้งเรียกออสซิลเลเตอร์PLL) มามิกซ์กับVCO ให้ความถี่ลดลงก่อนที่จะป้อนให้แก่วงจรหาร อีกวิธีหนึ่งคือใช้วิธีพรีสสเกลแบบสองโมดูลัสหารล่วงหน้าโดยใช้ตัวหาร 2 ค่า

จ) วงจรกรองสัญญาณความถี่แบบพาสซีฟ (Passive Filter)

วงจรกรองสัญญาณความถี่หรือฟิลเตอร์ (Filter) คือวงจรไฟฟ้าที่ยอมให้สัญญาณไฟฟ้าที่ความถี่ใดความถี่หนึ่งหรือช่วงความถี่ใดความถี่หนึ่งเท่านั้นผ่านไปได้ ส่วนความถี่อื่นหรือช่วงความถี่อื่นนอกเหนือจากที่กำหนดจะถูกลดทอนไปซึ่งจะเป็นช่วงความถี่ใดนั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจร

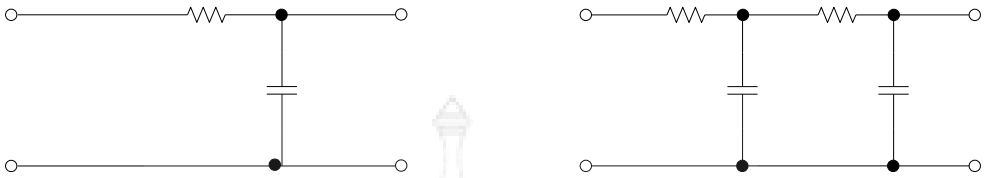
วงจรกรองสัญญาณความถี่ประเภทพาสซีฟ หรือพาสซีฟฟิลเตอร์ (Passive Filter)คือวงจรที่ประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีการกระตุ้นด้วยศักดาไฟฟ้าเพื่อให้ทำงานเสียก่อน หรือที่เรียกกันว่า “ ไบอัส(Bias) ” ซึ่งได้แก่อุปกรณ์ประเภทตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุและขดลวดเหนี่ยวนำ ส่วนอุปกรณ์ประเภทแอคทีฟ ทรานซิสเตอร์ไอซี หรืออินทิเกรตเซอร์กิต (Integrated Circuit) เป็นต้น

วงจรกรองสัญญาณความถี่แบ่งได้เป็นหลายประเภท ดังนี้

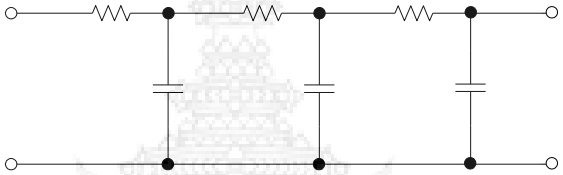
1) วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (LPF : Low Pass Filter)
2) วงจรกรองสัญญาณความถี่สูง (HPF : High Pass Filter)
3) วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ (BPF : Band Pass Filter)
4) วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่ (BRF : Band Reject Filter)

วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (LPF : Low Pass Filter) [6]

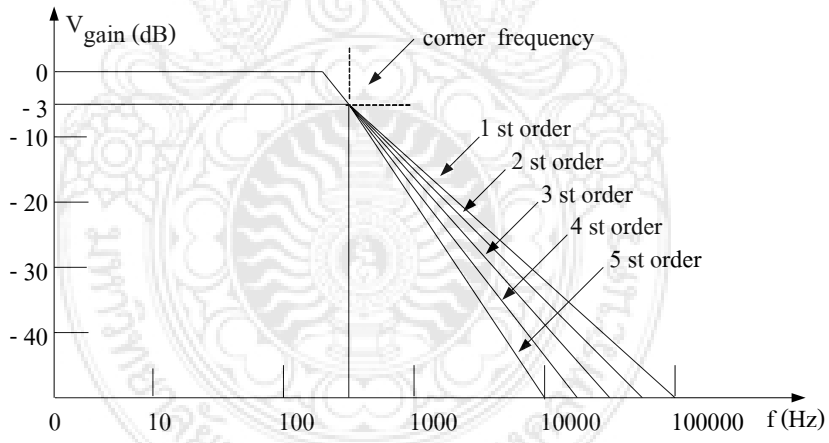
หมายถึง วงจรที่ยอมให้สัญญาณความถี่ตั้งแต่ 0 Hz ถึงความถี่ที่กำหนดผ่านไปได้ ส่วนความถี่ที่สูงกว่ากำหนด จะลดทอนไปตามลำดับ ลักษณะของวงจรมีตั้งแต่อันดับหนึ่งขึ้นไป ดังแสดงในภาพที่ 2.13



(a) วงจรอันดับ 1 (b) วงจรอันดับ 2



(c) วงจรอันดับ 3

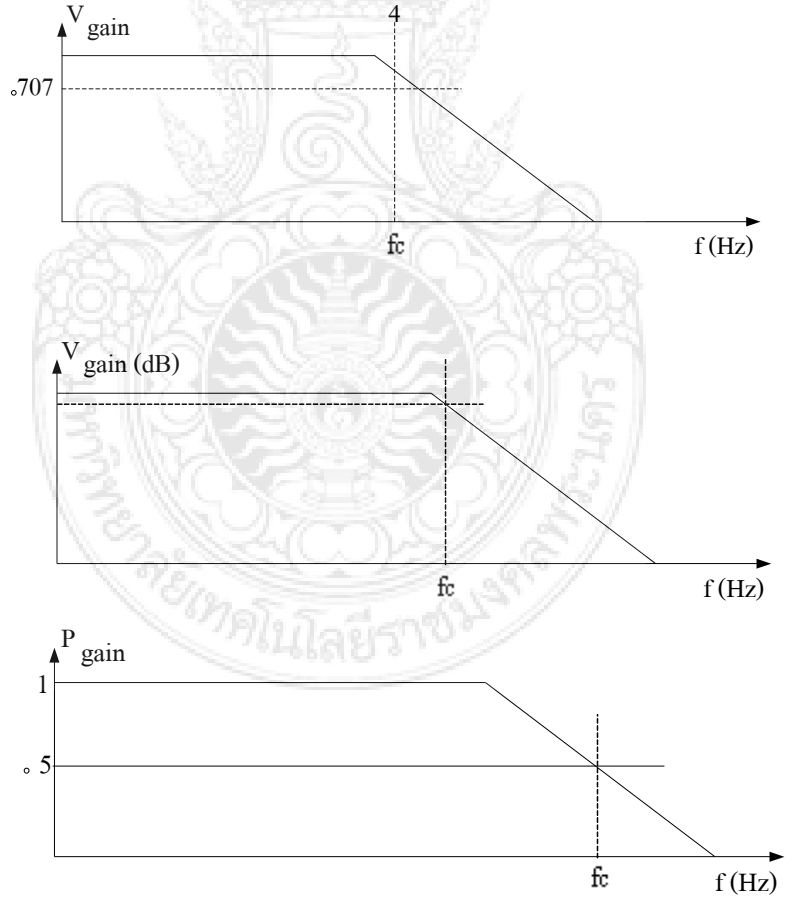


ภาพที่ 2.13 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำอันดับต่างๆ และกราฟแสดงอัตราขยายแรงดันเชิงความถี่ [6]

การแสดงคุณสมบัติหรือขอบเขตการทำงานของวงจรกรองสัญญาณความถี่ชนิดต่างๆ แสดงได้โดยการเขียนเป็นกราฟระหว่างอัตราขยายศักดา (Voltage Gain) เป็นหน่วยเดซิเบล (dB) กับความถี่ของสัญญาณซึ่งเรียกกันว่า “ผลตอบสนองอัตราขยายเชิงความถี่” (Frequency Response) ดูตัวอย่างแสดงผลตอบสนองอัตราขยายแรงดันเชิงความถี่ได้

ในทางทฤษฎีวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำจะยอมให้สัญญาณใดๆ ที่มีความถี่ตั้งแต่ 0 Hz จนถึงความถี่ที่กำหนดเรียกว่า ความถี่คัทออฟ หรือความถี่ขอบเขต (Cutoff Frequency) หรือความถี่หักมุม (Corner Frequency) ผ่านไปได้โดยไม่มีการลดทอน (หมายถึงแรงดันของสัญญาณออกมีค่ามากที่สุดจนเกือบเท่าสัญญาณเข้า) และถ้าความถี่สัญญาณเข้ามีค่าเกินความถี่ขอบเขตสัญญาณออกควรจะมีค่าเป็นศูนย์ตลอด แต่ในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถทำเช่นนั้นได้ เนื่องจากการตอบสนองสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ ของอุปกรณ์ประเภทพาสซีฟจะเป็นแบบเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด คือเมื่อสัญญาณมีความถี่สูงขึ้นวงจรจะลดสัญญาณลงไปเรื่อยๆ จนกระทั่งลดลงในอัตราคงที่ค่าหนึ่ง

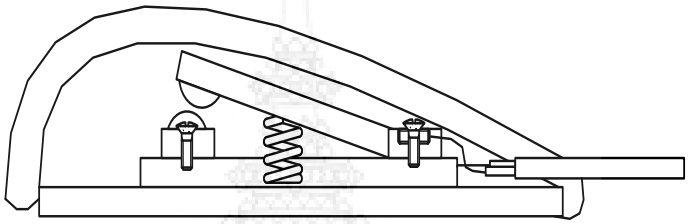
เนื่องจากการลดทอนสัญญาณจะเป็นไปเรื่อยๆ ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงมีการกำหนดขนาดของสัญญาณที่สามารถนำไปใช้งานได้เป็นมาตรฐานคือ สัญญาณที่สามารถนำไปใช้งานได้ คือสัญญาณที่ผ่านการกรองมาแล้ว มีค่าแรงดันเท่ากันกับแรงดันสูงสุด หรืออาจกล่าวได้ว่าที่ความถี่นั้นอัตราขยายเท่ากันกับอัตราขยายสูงสุด ซึ่งเป็นการคำนวณจากกำลังขยายเป็นเดซิเบลนั้นคือกำลังขยายของสัญญาณความถี่ขณะนั้นเป็นครึ่งหนึ่งของกำลังขยายสูงสุด แต่ถ้าเป็นอัตราขยายแรงดันหน่วยเป็นเดซิเบลจะได้ว่าอัตราขยายที่ความถี่ขณะนั้นมีค่าต่ำกว่าอัตราขยายที่ความถี่ขอบเขตในหน่วยต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.14



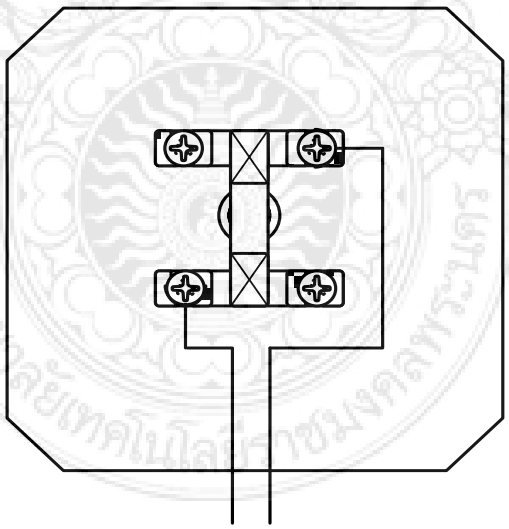
ภาพที่ 2.14 การกำหนดอัตราการขยายที่ความถี่ขอบเขตในหน่วยต่างๆ [6]

2.4.2 สวิตช์เท้า

สวิตช์เท้า (Foot switch) เป็นสวิตช์ควบคุมอุปกรณ์ [3] ที่ทำให้หัวขูดเกิดการสั่นและเปิด – ปิด น้ำให้ไหลไปยังหัวขูด ถึงแม้ว่าเครื่องจะถูกเปิดแล้วก็ตาม แต่จะไม่สั่น ต่อเมื่อทำการเหยียบสวิตช์เท้า หัวขูดจึงจะสั่นพร้อมกับมีน้ำไหลออก ภายในสวิตช์เท้าจะประกอบด้วยสปริงเพื่อให้สวิตช์ที่ติดตั้งอยู่ภายใน ตัดวงจรตลอดเวลา เมื่อเวลาที่เหยียบสวิตช์ก็จะต่อวงจรทันที แรงดันที่ผ่านมายังสวิตช์เท้า จะมีค่าประมาณ 24 โวลต์กระแสตรง โดยที่ปลายของสายสวิตช์เท้าจะมีลักษณะเป็นขั้วต่อแบบเสียบ เพื่อเสียบเข้ากับด้ามหลังตัวเครื่อง ดังแสดงในภาพที่ 2.15



(ก) ภาพภายในของสวิตช์เท้า

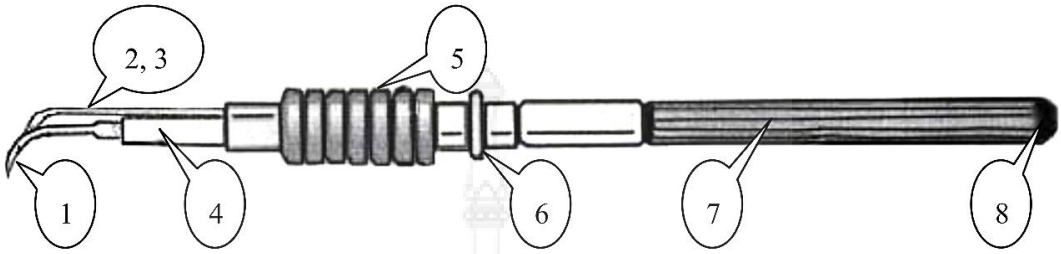


(ข) ภาพด้านล่างของสวิตช์เท้า

ภาพที่ 2.15 สวิตช์เท้า (Foot Switch) [3]

2.4.3 ตัวขูดหินน้ำลาย

ตัวขูดหินน้ำลาย (Interchanged Insert) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการขูดหินน้ำลาย [3] ทำด้วยโลหะที่แข็งไม่เป็นสนิม ที่ปลายจะมีลักษณะโค้ง และมีรูท่อปล่อยน้ำ โดยมีส่วนประกอบดังแสดงในภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 ตัวขูดหินน้ำลาย (Interchanged Insert) [3]

ส่วนที่ 1. คือปลายขูด (Insert Tip) มีลักษณะแหลมแต่ไม่คม เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ขูดคราบหินปูนหรือหรือ น้ำลายออกจากฟัน

ส่วนที่ 2. คือปลายท่อปล่อยน้ำ จะปล่อยน้ำออกมากระทบกับปลายหัวขูดที่สั่นจงเกิดเป็นละอองน้ำอยู่ที่รอบปลายหัวขูด

ส่วนที่ 3. คือตัวปรับตำแหน่งของท่อน้ำให้อยู่ในแนวที่ต้องการ

ส่วนที่ 4. คือที่สำหรับป้องกันของหัวขูด เรียกว่า “ Tip guard ” เป็นส่วนที่ป้องกันการกระแทก และป้องกันไม่ให้ไปถูกเนื้อเยื่อที่เราไม่ต้องการ เช่น เหงือก และกระพุ้งแก้ม

ส่วนที่ 5. คือตัวจับยึดปลายหัวขูด ท่อปล่อยน้ำ และแผ่นเหล็กอ่อน

ส่วนที่ 6. คือยางทำหน้าที่ป้องกันน้ำที่อยู่ในด้ามขูดไม่ให้ไหลออกมา เรียกว่า “ O-ring ”

ส่วนที่ 7. คือแผ่นเหล็กอ่อน “ Magnetostrictive stack ”

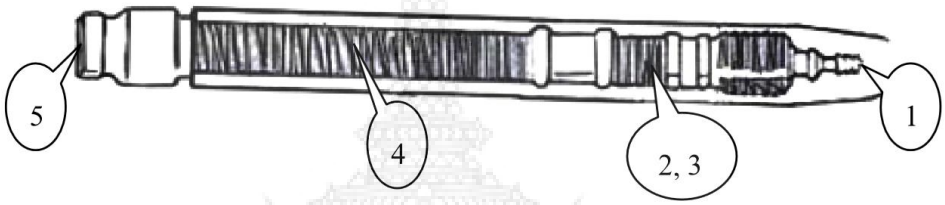
ส่วนที่ 8. คือตัวเชื่อมระหว่างส่วนของแผ่นเหล็กอ่อน

2.4.4 ด้ามที่ใส่หัวขูดหินน้ำลายไฟฟ้า

ด้ามที่ใส่หัวขูดหินน้ำลายไฟฟ้า (Insert Hand piece sheath) จะมีลักษณะเป็นกระบอกพลาสติก [3] โดยมีสายไฟฟ้า และสายน้ำต่อมาจากตัวเครื่อง ภายในกระบอกจะเป็นช่องกลวง สำหรับไว้ใส่หัวขูด โดยที่รอบๆ ของช่องจะมีขดลวดทองแดงพันอยู่โดยรอบ ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก และเกิดการสั่นของปลายหัวขูดหินปูน หากสั่นเป็นเวลานานๆ จะทำให้เกิดความร้อนในส่วนนี้ ดังนั้นเมื่อเวลาเกิดการสั่นจะต้องมีน้ำผ่านตลอดเวลาเพื่อป้องกันการเกิดความร้อน

และไม่ควรมีอากาศอยู่ภายในด้ามขูดหินน้ำลายขณะทำงาน โดยมีส่วนประกอบ ดังแสดงในภาพที่ 2.17 และภาพที่ 2.18

ภาพที่ 2.17 ชุดหัวขูดหินน้ำลายไฟฟ้า [3]



ภาพที่ 2.18 ด้ามขูดหินน้ำลายไฟฟ้า (Insert Hand piece Sheath) [3]

ส่วนประกอบของด้ามขูดหินน้ำลายไฟฟ้า

ส่วนที่ 1 คือ ที่สวมท่อน้ำเข้าด้าม Hand piece

ส่วนที่ 2 คือ ขดลวดทองแดงของขด Drive Hand piece 2

ส่วนที่ 3 คือ ขดลวดทองแดงของขด Feed back

ส่วนที่ 4 คือ ขดลวดทองแดงของขด Drive Hand piece 1

ส่วนที่ 5 คือ ช่องเสียบปลายหัวขูด Insert Port

2.5 การเกิดคราบหินปูนหรือหินน้ำลาย

หินปูนหรือหินน้ำลาย [1] คือ แผ่นคราบจุลินทรีย์ที่แข็งตัวเนื่องจากมีธาตุแคลเซียมจากน้ำลายเข้าไปตกตะกอน ซึ่งแผ่นคราบจุลินทรีย์คือ คราบสีขาวขุ่นนิ่มที่ประกอบด้วยเชื้อโรค ที่ติดอยู่รอบ ตัวฟัน แม้ว่าจะบ้วนปากด้วยน้ำก็ไม่สามารถหลุดออกได้ ขบวนการเกิดคราบจุลินทรีย์เริ่มต้นหลังจากที่แปรงฟันแล้วเพียง 2-3 นาที โดยจะมีเมือกใสของน้ำลายมาเกาะที่ตัวฟัน จากนั้นเชื้อโรคที่มีอยู่มาก ในปากจะมาเกาะทับถมกันมากๆ จนเกิดเป็นคราบจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคฟันผุและโรคปริทันต์

เมื่อรับประทานอาหารเข้าไปคราบจุลินทรีย์นี้จะใช้น้ำตาลจากเศษอาหารสร้างกรดและสารพิษ โดยกรดจะทำลายผิวเคลือบฟันทำให้ฟันผุ สารพิษจะทำให้เหงือกอักเสบ และทำให้เกิดโรคปริทันต์ ถ้าไม่กำจัดคราบจุลินทรีย์โดยการทำความสะอาดฟันและเหงือกอย่างดีทุกวันคราบนี้จะเพิ่มมากขึ้นและทำอันตรายต่อฟันและเหงือก มักพบคราบจุลินทรีย์มากโดยเฉพาะที่คอฟันบริเวณขอบเหงือกและซอกฟัน สามารถใช้สีย้อมให้เห็นคราบได้ชัดเจน แต่ในรายที่คราบหนามากๆ สามารถเห็นและรู้สึกได้เมื่อใช้ลิ้นสัมผัสไปตามฟันความสำคัญและความจำเป็นในการขูดหินปูนบนพื้นผิวหินน้ำลายจะมีคราบจุลินทรีย์ปกคลุม หินน้ำลายที่โผล่พ้นขอบเหงือกจะมองเห็นได้ แต่ส่วนที่อยู่ใต้เหงือกจะมองไม่เห็น หินปูนหรือคราบจุลินทรีย์ที่ยึดติดอยู่ใต้เหงือกไม่สามารถกำจัดออกได้โดยวิธีการทำความสะอาดฟันด้วยตัวเองต้องอาศัยทันตแพทย์ช่วยกำจัดหินปูนให้ ทันตแพทย์จะขูดหินปูนออกทั้งบริเวณเหนือเหงือกและบริเวณใต้เหงือก จากนั้นทำรากฟันให้เรียบปราศจากสารพิษใดๆ เพื่อให้เหงือกยึดแน่นรอบตัวฟันเหมือนเดิม

2.6 การขูดคราบหินปูนหรือหินน้ำลาย

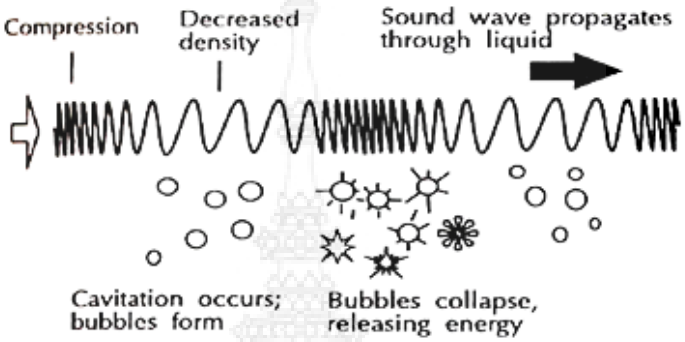
การขูดคราบหินปูนหรือหินน้ำลาย [1] (Cleaner Scaling) เป็นการกำจัดคราบจุลินทรีย์ที่ก่อตัวเป็นหินปูนและสิ่งสกปรกในร่องเหงือก ร่องลึกปริทันต์ (ร่องเหงือกที่ลึกกว่า 3 มิลลิเมตร) นั่นคือ ต้องขูดหินปูนออกทั้งบริเวณเหนือเหงือกและใต้เหงือก จากนั้นทำรากฟันให้เรียบ (Root Planing)ปราศจากสารพิษใดๆ เพื่อให้เส้นใยเหงือกและเอ็นยึดปริทันต์กลับไปยึดแน่นรอบตัวฟันเหมือนเดิม

ดังนั้น การขูดหินปูนหรือหินน้ำลายให้หมดจริงๆ จึงต้องใช้เวลาพอสมควร อาจต้องนัดครั้งละ 30 - 45 นาที เป็นเวลา 2 - 4 ครั้ง หรือมากกว่านั้นขึ้นอยู่กับความมากน้อยของหินปูน ความลึกของร่องลึกปริทันต์และความแข็งแรงของหินปูน เป็นต้น หลังจากนั้นประมาณ 4 - 6 อาทิตย์ ทันตแพทย์จะประเมินผลว่าผู้ป่วยหายจากโรคปริทันต์หรือไม่ โดยดูลักษณะเหงือกว่ากลับสู่สภาพปกติหรือยังมีเลือดออกเวลาแปรงฟัน และใช้เครื่องมือวัดร่องลึกปริทันต์ ว่าความลึกของร่องลึกปริทันต์ตื้นขึ้นหรือเข้าสู่สภาวะปกติหรือไม่ ถ้ายังมีความลึกของร่องลึกปริทันต์อยู่ ทันตแพทย์จะพิจารณาว่าควรจะทำการผ่าตัดหรือไม่ ทั้งนี้ขึ้นกับความร่วมมือของผู้ป่วยในการทำความสะอาดด้วย แม้ว่าเหงือกจะกลับคืนสู่สภาวะปกติแล้ว แต่ถ้าผู้ป่วยละเลยไม่ทำความสะอาดอย่างถูกต้อง และสม่ำเสมอ ก็สามารถกลับเป็นโรคปริทันต์ได้อีก

2.7 กลไกการกำจัดสิ่งสะสมบนตัวฟันของเครื่องขูดหินน้ำลาย แบบ Ultrasonic Scaler

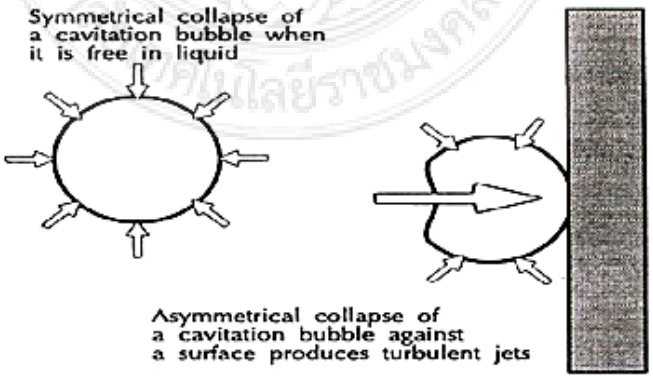
เมื่อปล่อยความถี่ 25 กิโลเฮิรตซ์(kHz) ที่อยู่ในย่านความถี่อัลตร้าโซนิค [3] เข้าไปยังด้ามขูดจะทำให้เกิดการสั่นของปลาย (Metal Tip) เมื่อปล่อยน้ำมาสัมผัสที่ปลายหัวขูดก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยา (Sound wave propagates through liquid) คือผลของการสั่นนี้ก่อให้เกิดคลื่นเสียงที่แพร่กระจายภายในของเหลวหรือน้ำ คลื่นเสียงที่แพร่กระจายอยู่ภายในน้ำ จะมีจังหวะที่เรียกว่า

“ Compression ” ซึ่งก่อให้เกิดการอัดตัวของโมเลกุลภายในน้ำจนแตกออกกลายเป็นละอองน้ำที่กระจายอยู่รอบปลายหัวขูด เรียกกระบวนการนี้ว่า “ Bubble collapse releasing energy ” และในขณะเดียวกันจะมีจังหวะที่เรียกว่า “ Decreased density ” ทำให้ความหนาแน่นของน้ำที่อัดตัวอยู่ลดลง แต่ช่วงจังหวะนี้โมเลกุลภายในน้ำจะเกิดเป็นฟอง เรียกกระบวนการนี้ว่า “ Cavitation occurs ; bubbles form ” จังหวะและกระบวนการทั้งสองนี้จะทำงานสลับกัน ส่งผลให้เกิดละอองน้ำ และการกระจายของละอองน้ำตามความแรงในการสั่นของปลายหัวขูด ดังแสดงในภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 Cavitation of liquid by ultrasound [3]

ละอองน้ำ (Micro-Streaming) ที่เกิดจากการ Cavitations จะพุ่งออกจากปลายหัวขูด มีลักษณะเหมือนเจ๊ท (Jets) ที่มีความเร็วสูงในละอองแต่ละอันที่มีลักษณะเหมือนฟองที่มีอากาศอยู่ภายใน และมีพลังงานอยู่ในตัวเอง เมื่อละอองเหล่านี้ไปกระทบกับผิวฟันก็จะมีผลต่อการอ่อนตัวให้กับคราบหินปูนบนผิวฟัน เมื่อนำปลายหัวขูดที่มีการสั่นด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิคที่มี 25 กิโลเฮิรตซ์ (kHz) ไปสัมผัสกับน้ำบริเวณผิวฟันจะทำให้น้ำเกิดการสั่นเป็นคลื่น ทำให้เกิดการหลุดร่อนของคราบหินปูนหรือหินน้ำลายออกได้โดยง่าย ดังนั้นน้ำในเครื่องขูดหินน้ำลาย จึงมีประโยชน์อย่างมาก คือ ระบายความร้อนให้แก่ด้ามขูด ทำให้เกิดการอ่อนตัวของหินปูน ช่วยชะล้างคราบหินน้ำลายและลดอาการเสียวฟัน ดังแสดงในภาพที่ 2.20



ภาพที่ 2.20 Energy jets by ultrasonic cavitation [3]

2.8 คุณสมบัติของคลื่นอัลตราโซนิค

ในระบบทางกลที่ประกอบด้วยมวลและความยืดหยุ่นนั้น [1] เราสามารถที่จะทำให้เกิดคลื่นความสั่นสะเทือนขึ้นโดยการขับเคลื่อนด้วยแรงขับเคลื่อน ซึ่งมีลักษณะเป็นคลื่นของแรงอัดส่งถ่ายให้แก่เนื้อวัตถุทำให้เกิดชั้นอัดและชั้นขยายสลับกันไปตลอดความยาวของเนื้อวัตถุในทิศ ทางการเคลื่อนที่ของคลื่นการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในเนื้อวัตถุตามวิธีดังกล่าวจะมี 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเกิดจากผลของแรงขับเคลื่อนโดยตรงเรียกว่า การสั่นสะเทือนบังคับ (Forced Vibration) ส่วนที่สอง เกิดจากการที่อนุภาคของวัตถุถูกรบกวนออกจากตำแหน่งสมดุล เรียกว่าการสั่นสะเทือนธรรมชาติ (Natural Vibration) หรือการสั่นสะเทือนอิสระ (Free Vibration) การสั่นสะเทือนทางกลมีค่าพารามิเตอร์หลายตัวคือ ค่าแอมปลิจูด Y (Amplitude Y) ซึ่งหมายถึงระยะทางที่ไกลที่สุดที่อนุภาคของวัตถุเคลื่อนที่ออกจากจุดสมดุลค่า Y นี้เป็นฟังก์ชั่นไซน์ของเวลาในส่วนของความสั่นสะเทือนธรรมชาติ ค่าความถี่ f มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Herze) คือจำนวนรอบของการสั่น ต่อวินาที คาบ T คือระยะเวลาของการสั่น 1 รอบ

ความถี่และคาบมีความสัมพันธ์ต่อกันแบบผกผัน กล่าวคือ

$$f = 1/T \tag{2.1}$$

แอมปลิจูดของการสั่นมีสมการดังนี้

$$Y = Y_0 \cos \omega t \tag{2.2}$$

โดยที่ Y_0 เป็นค่าแอมปลิจูดสูงสุดของการสั่นนั้น และ ω เป็นความเร็วเชิงมุมมีหน่วยเป็น เรเดียน/วินาที ซึ่งมีค่าเท่ากับ $2\pi/T$ ในกรณีอุดมคติ Y_0 จะมีค่าคงที่แต่ในระบบกลจริงมีการสูญเสียพลังงานในรูปของแรงเสียดทานในเนื้อวัตถุและมีการส่งถ่ายพลังงานออกภายนอก การสั่นสะเทือนจะมีแอมปลิจูดที่ลดลงตามลำดับ จนในที่สุดจะหยุดลงโดยสิ้นเชิง หากว่ามีการสูญเสียพลังงานน้อย การสั่นสะเทือนก็สามารถจะดำเนินต่อไปได้นานแรงขับเคลื่อนแบบมีคาบที่แน่นอนจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนบังคับขึ้นในเนื้อวัตถุ ในขณะเดียวกันก็จะมีการสั่นสะเทือน ธรรมชาติเกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคของวัตถุถูกรบกวนไปจากตำแหน่งสมดุล ถ้าการสั่นสะเทือนทั้งสองแบบนี้เกิดขึ้นโดยมีความถี่ที่เท่ากัน จะเกิดปรากฏการณ์ที่คลื่นทั้งสองเสริมกำลังกัน ทำให้แอมปลิจูดเพิ่มขึ้นมาก โดยเราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าความถี่กำทอน (Resonance) ถ้าระบบมีการสูญเสียกำลังน้อยมาก แอมปลิจูดอาจจะมีขนาดใหญ่มาก จนทำให้เกิดความเสียหายแก่ระบบได้ แต่ในระบบโดยทั่วๆไปมีการสูญเสียกำลังมากพอสมควร การสั่นสะเทือนจะถูกลดทอนและแอมปลิจูดจะเพิ่มขึ้นได้จนถึงขีดจำกัดของมัน ถ้าต้องการความสั่นสะเทือนที่มีแอมปลิจูดขนาดใหญ่พอ แรงขับเคลื่อนจะต้องให้มีความถี่เท่ากับความถี่กำทอนพอดี ตามความจริงแล้วคลื่นการสั่นสะเทือนแบ่งได้ 3 ประเภท คือ

1. ช่วงความถี่ใต้เสียง (Sub-audio Frequency)
2. ช่วงความถี่เสียง (Audio Frequency)
3. ช่วงความถี่เหนือเสียง (Ultrasonic Frequency)

คลื่นความสั่นสะเทือนในช่วงความถี่ต่ำกว่า 15-20 เฮิรตซ์ หูของคนเราไม่สามารถได้ยิน โดยเราเรียกคลื่นความถี่ในช่วงนี้ว่าช่วงความถี่ใต้เสียง (Sub-Audio Frequency)

คลื่นความสั่นสะเทือนในช่วงความถี่ตั้งแต่ 20 เฮิรตซ์ จนถึง 20 กิโลเฮิรตซ์ เป็นช่วงที่หูของคนเราสามารถได้ยิน เรียกคลื่นความถี่ในช่วงนี้ว่าช่วงความถี่เสียง (Audio Frequency)

คลื่นที่มีความถี่สูงกว่า 20 กิโลเฮิรตซ์ ขึ้นไปหูของคนเราไม่สามารถได้ยิน เราเรียกคลื่นความถี่ในช่วงนี้ว่าช่วงความถี่เหนือเสียง (Ultrasonic Frequency)

คลื่นอัลตราโซนิคแบ่งออกเป็นช่วงต่างๆ ดังนี้คือ ช่วง 20 - 300 กิโลเฮิรตซ์ เรียกว่าช่วงอัลตราโซนิคความถี่ต่ำ ช่วง 300 – 3,000 กิโลเฮิรตซ์ เรียกว่าช่วงอัลตราโซนิคความถี่สูง และที่ช่วงความถี่สูงกว่า 3,000 กิโลเฮิรตซ์ เราเรียกว่าช่วงอัลตราโซนิคความถี่สูงมาก

คลื่นอัลตราโซนิค เป็นสื่อของการถ่ายทอดพลังงาน พร้อมกับการแพร่ของคลื่นจะมีการเปลี่ยนพลังงานศักย์เป็นพลังงานจลน์ พลังงานของการสั่นสะเทือนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของระบบมีสมการดังนี้

$$E = 0.5(\rho\,\omega^2 A^2) = 2\,\pi\rho f^2\,A^2 \qquad (2.3)$$

โดยในที่นี้จะใช้หน่วยในระบบ C.G.S.

จากในสูตร ρ เป็นความหนาแน่นของตัวกลาง (gm/Cm^3)

ω เป็นความเร็วเชิงมุม (rad/s)

A เป็นแอมปลิจูดของการสั่น (Cm)

f เป็นความถี่ (Hz)

ค่าของสนามคลื่น หรืออีกนัยหนึ่งคือค่าความเข้ม หมายถึง ปริมาณพลังงานที่ส่งผ่านพื้นที่หนึ่งตารางหน่วยต่อวินาที

ดังนั้น $$I = 0.5\rho\,\omega^2 A^2 C \qquad (2.4)$$

เมื่อ C เป็นค่าความเร็วคลื่นในตัวกลางนั้นๆ (Cm/s)

ค่าความเข้มของคลื่นมีหน่วยเป็น erg/Cm^2 หรือ W/Cm^2

โดยค่าความเร็วคลื่นในตัวกลางต่างๆ แสดงดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความเร็วคลื่นในการเดินทางแต่ละชนิด

ตัวกลาง	ความเร็วคลื่น (m/s)
อากาศ	344-359
น้ำที่ 20 ℃	1496
อลูมิเนียม	5200
เหล็ก	5850
ไม้	2000-3000
Polystyrene 2	2500

ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน α (Coefficient of Attenuation) คือค่าล็อกธรรมชาติ (Natural log) ของอัตราส่วนระหว่างค่าแอมปลิจูดของลูกคลื่นที่ต่อเนื่องกัน 2 ลูก ของการสั่นสะเทือนอิสระ นั่นคือ

$$\alpha = \ln\ (\mathrm{A_n}/A_{n-1}) \qquad (2.5)$$

เมื่อ $\mathrm{A_n}$ เป็นแอมปลิจูดของคลื่นลูกที่ n และ $\mathrm{A_{n-1}}$ เป็นแอมปลิจูดของคลื่นลูกที่ $\mathrm{n-1}$ ทำให้ค่า α ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของระบบ และสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความดัน เป็นต้น คลื่นความสั่นสะเทือนในระบบที่มีความยืดหยุ่นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางรูปร่างในลักษณะต่อไปนี้ อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างผสมกันคือ การเปลี่ยนแปลงความยาว การโค้งงอ และการบิดคลื่นเหล่านี้ สามารถสะท้อนจากผิวต่างๆ และสามารถหักเหได้ โดยเฉพาะคลื่นอัลตราโซนิค

2.8.1 การกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิค

คลื่นอัลตราโซนิคกำเนิดขึ้นได้โดยวิธีการต่างๆ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการ คือ

1. กระบวนการทางกล (Mechanical) มีที่ใช้ไม่มากนัก มักใช้เฉพาะในกรณีที่ต้องการ สั่นสะเทือนอย่างแรงของอากาศ เช่น ในกรณี Gas-Jet Generators, Sirens เป็นต้น

2. กระบวนการเพียโซอิเล็คทริค (Piezoelectric) วิธีนี้ใช้ผลึกที่มีคุณสมบัติเพียโซอิเล็คทริค กล่าวคือ มีความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียด (Strain) ของชิ้นผลึก กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของชิ้นผลึกนั้น ตัวอย่างเช่น Barrium และ Ead Zirconate ซึ่งใช้ใน เครื่องตรวจหาร้อยร้าว (Flaw detector) และเครื่องทำความสะอาด (Cleaners)

3. กระบวนการแม็คนีโตรสตริกตีฟ (Magnetostrictive) วิธีนี้อาศัยคุณสมบัติของสาร แม่เหล็กบางชนิด ที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กที่มีค่าเปลี่ยนแปลง สารแม่เหล็กที่มีคุณสมบัติดังกล่าว ได้แก่ Nickel, Alfer, Permalloys และ Ferrites มีข้อดีคือสามารถ

ทำให้ Transducer มีขนาดเล็ก และสามารถรักษาคุณสมบัติแม็คนีโตรสตริกตีฟได้ที่อุณหภูมิสูง (ถึงประมาณ 500 ℃) แต่มันก็มีข้อเสียคือมีความแข็งแกร่งทางกลน้อย ทำให้ไม่สามารถใช้งานในสภาวะที่ต้องการความเข้มของคลื่นสูงได้

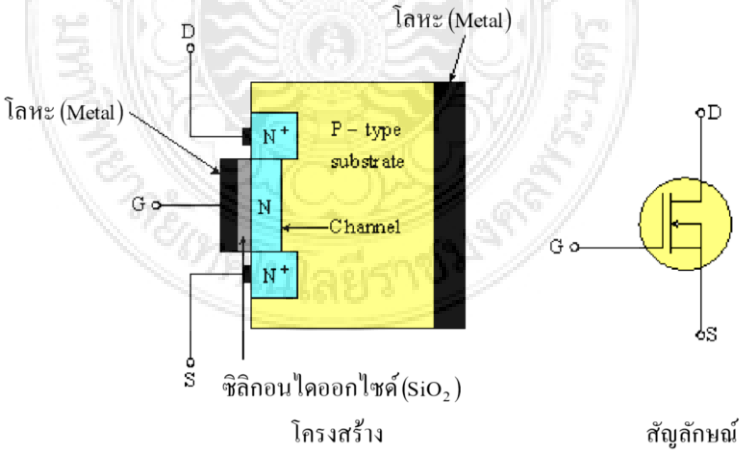
2.9 มอสเฟต

มอสเฟต (Mosfet) [7] มีชื่อเต็มว่า “MetaL oxide semiconductor field effect transistor” จัดเป็นจำพวกเฟตกำลัง มีขา 3 ขา คือ ขาซอร์ส ขาเดรน และขาเกต มีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับเจเฟต แตกต่างกันตรงที่ขั้วเกตจะมีฉนวนกั้นไว้เพื่อไม่ให้ไปสัมผัสกับสารกึ่งตัวนำหลักโดยตรง มอสเฟตมี 2 ชนิด คือ D – Mosfet และ E – Mosfet มอสเฟตหรือเฟตชนิดออกไซดข์อบโลหะ จัดเป็นอุปกรณ์จำพวกกำลัง คือ มีอัตราทนต่อกำลังสูง แตกต่างจากเจเฟต ตรงที่ขั้วเกตจะมีฉนวนกั้นไม่ให้สัมผัสกับสารกึ่งตัวนำหลักโดยตรง แต่การทำงานยังคงใช้หลักการเหมือนกับเจเฟต

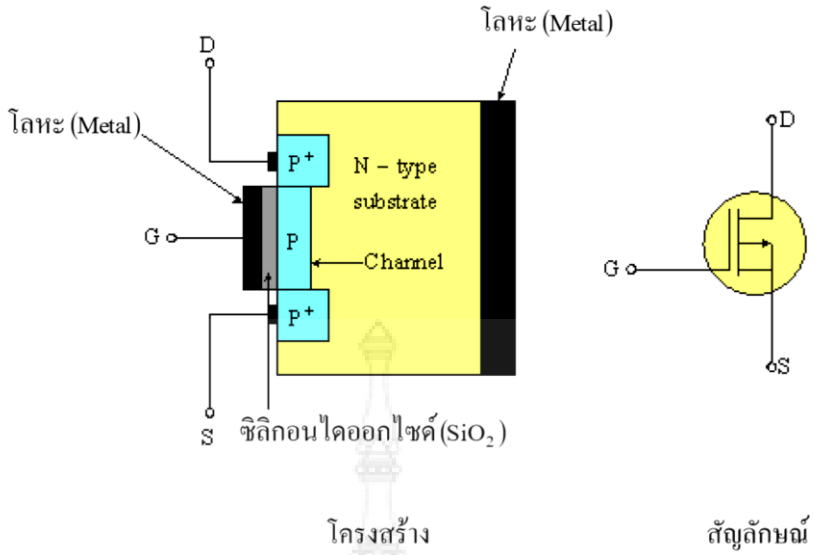
2.9.1 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของมอสเฟต

มอสเฟต แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ D – Mosfet และ E – Mosfet ซึ่งในแต่ละชนิดยัง ถูกแบ่งออกเป็นชนิด N – Channel และ P – Channel

1. มอสเฟตแบบดีพลีชั่น Depletion (type mosfet ; D–MOSFET) โครงสร้างของดีมอสเฟต ประกอบด้วยขาหรือขั้วที่ต่อใช้งาน 3 ขา เช่นเดียวกับเจเฟต คือขาเดรน (D,Drain) ขาซอร์ส (S,Source) และ ขาเกต (G,Gate) ดังแสดงในภาพที่ 2.21 และภาพที่ 2.22



ภาพที่ 2.21 โครงสร้าง และสัญลักษณ์ ของ D – Mosfet แบบ N – Channe [7]

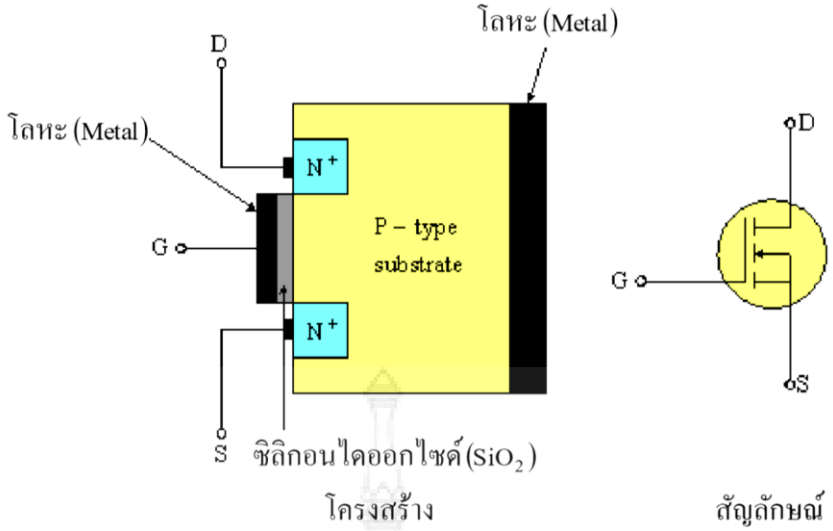


ภาพที่ 2.22 โครงสร้าง และสัญลักษณ์ ของ D – Mosfet แบบ P – Channel [7]

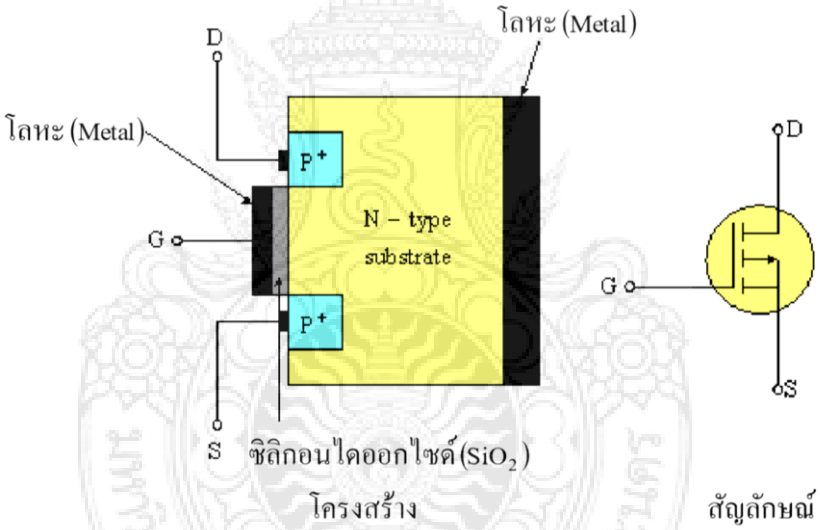
จากภาพที่ 2.19 เป็นโครงสร้างของ D – Mosfet แบบ N – Channel จะมีสารกึ่งตัวนำหลัก คือสารชนิด P (P - type substrate) ส่วนในจากภาพที่ 2.20 จะเป็นลักษณะโครงสร้างของ D – Mosfet แบบ P – Channel ซึ่งจะมีสารกึ่งตัวนำหลัก คือ สารชนิด N (N – type substrate) Channel N หรือ P จะกว้างมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการไบแอสที่เกต บริเวณ Channel จะมีฉนวนซิลิกอนไดออกไซด์ (sio_2) กั้นไว้ ไม่ให้สัมผัสกับขาเกตโดยตรงและที่ขาเกตจะมีแผ่นโลหะที่จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้า เพื่อควบคุมความแคบหรือกว้างของ Channel

D – Mosfet แบบ N – Channel จะทำการเติมสารเจือปน (Dope) บนสารกึ่งตัวนำหลักชนิด P ให้กลายเป็นสารกึ่งตัวนำ N^+ (N^+) เพื่อให้เกิดเป็นขั้วเดรน (D) กับ ขั้วซอร์ส (S) และถ้าเป็นใน D – Mosfet แบบ P – Channel ก็จะมีลักษณะตรงกันข้ามคือ จะทำการเติมสารเจือปนบนสารกึ่งตัวนำหลักชนิด N ให้กลายเป็นสารกึ่งตัวนำ P (P^+) เพื่อให้เกิดเป็นขั้วเดรน (D) กับขั้วซอร์ส (S) เช่นกัน

2) เอนฮานซ์เมนต์ หรือ อีมอสเฟต (Enhancement type mosfet ; E – Mosfet) จะแตกต่างกับ ดีมอสเฟต ตรงที่ไม่มี Channel แต่สามารถทำให้เกิด Channel ได้โดยวิธีการไบแอส ซึ่งจะกล่าวถึง ต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 2.23 และภาพที่ 2.24



ภาพที่ 2.23 โครงสร้าง และสัญลักษณ์ ของ E – Mosfet แบบ N – Channel [7]



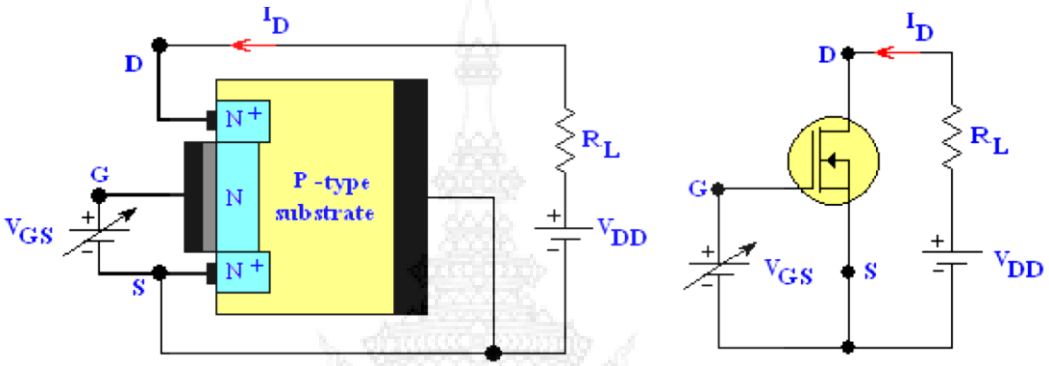
ภาพที่ 2.24 โครงสร้าง และสัญลักษณ์ ของ E – Mosfet แบบ P – Channel [7]

โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ E – Mosfet แบบ N – Channel จะเห็นได้ว่า โครงสร้างบริเวณขั้วหรือขาเกต มีซิลิกอนไดออกไซด์ทำ หน้าที่เป็นฉนวนกั้นส่วนที่เป็นโลหะไม่ให้สัมผัสกับเนื้อสารหลัก (P - type substrate) จะเห็นได้ว่าบริเวณเนื้อสารหลักจะยังไม่มี Channel แต่มีขั้วเดรนกับขั้วซอร์สอยู่ส่วนหัวท้าย ส่วนสัญลักษณ์มีลักษณะเป็นเส้นปะอยู่กึ่งกลางมีหัวลูกศรชี้เข้าหา และลักษณะโครงสร้างและสัญลักษณ์ของ E – Mosfet แบบ P – Channel เห็นได้ว่าโครงสร้างบริเวณขั้วหรือขาเกตมีซิลิกอนไดออกไซด์เป็นฉนวนกั้นส่วนที่เป็นโลหะ

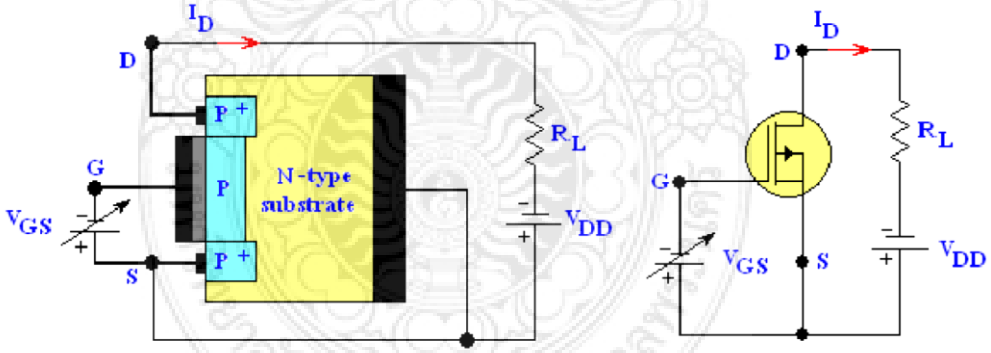
ไม่ให้สัมผัสกับเนื้อสารหลัก (N - type substrate) เช่นเดียวกันและก็จะเห็นว่าบริเวณเนื้อสารหลักจะยังไม่มี Channel แต่มีขั้วเดรนกับขั้วซอร์สอยู่ที่ส่วนหัวท้ายเช่นเดียวกับ E – Mosfet แบบ N – Channel ในส่วน สัญลักษณ์มีลักษณะเป็นเส้นปะอยู่ที่กึ่งกลางจะมีหัวลูกศรชี้ออกด้านนอก

2.9.2 การไบแอสและคุณลักษณะทางไฟฟ้าของมอสเฟต

2.9.2.1 การไบแอส D – Mosfet ดังแสดงในภาพที่ 2.25 และภาพที่ 2.26



ภาพที่ 2.25 การไบแอส D – Mosfet แบบ N – Channel [7]



ภาพที่ 2.26 การไบแอส D – Mosfet แบบ P – Channel [7]

การไบแอส D – Mosfet ในกรณีที่ทำการจ่ายค่าแรงดัน (V_{DD}) ที่ค่า ๆ หนึ่งแล้วให้ (V_{GS}) = 0 ขณะนี้จะมีกระแสเดรน (I_D) ไหลผ่านจาก D ไป S ได้ เนื่องจากขั้ว D และขั้ว S ต่างเป็นสารชนิด N ทั้งหมดจึงเสมือนเป็นตัวต้านทานตัวหนึ่งกระแสจึงไหลจาก D ไป S ได้

ถ้าปรับเพิ่ม (V_{GS}) ให้มีค่าเป็นบวกมากกว่าศูนย์ Channel N จะขยายกว้างมากขึ้นเนื่องจากสนามไฟฟ้าบวกที่แผ่นโลหะ (Metal) มีจำนวนมากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดแรงดึงดูดกับอิเล็กตรอนที่กระจัดกระจายอยู่ใน P - type substrate ให้เคลื่อนที่มารวมตัวกันที่ Channel ดังนั้น Channel จึงกว้างขึ้น ทำให้กระแสไฟฟ้า (I_D) ไหลได้สะดวกและมีประมาณเพิ่มมากขึ้น

ถ้าปรับ (V_{GS}) ให้เป็นลบเพิ่มมากขึ้น Channel N จะแคบลงจนถึงขั้นไม่มี Channel เลยเนื่องจากสนามไฟฟ้าลบที่แผ่นโลหะ มีอำนาจในการผลักดันกับอิเล็กตรอนตรงบริเวณ Channel ทำ ให้ Channel เกิดเป็นพื้นที่ว่างไว้ Channel จึงแปรสภาพเข้าสู่ลักษณะของสารชนิด P และไปขวางทางเดินของกระแส (I_D)

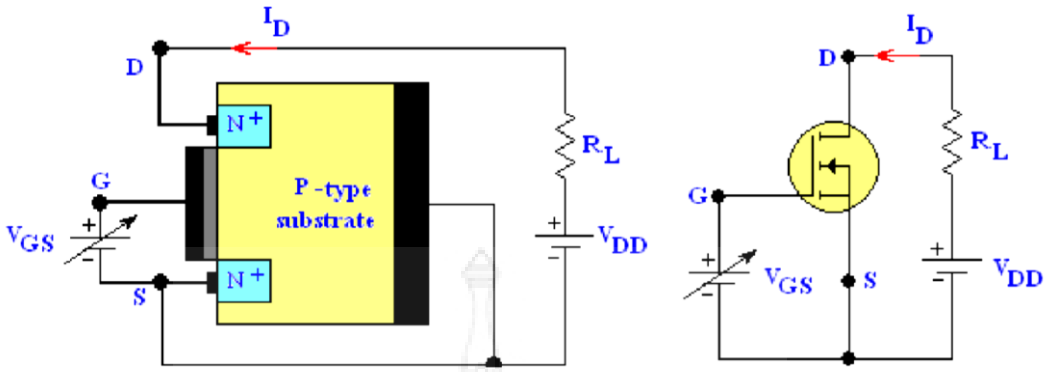
การไบแอส D – Mosfet ในกรณีที่ทำการจ่ายค่าแรงดัน (V_{DD}) ที่ค่า ๆ หนึ่งแล้วให้ (V_{GS}) = 0 ขณะมีกระแสเดรน (I_D) ไหลผ่านจาก S ไป D ได้เนื่องจากขั้ว D , Channel และขั้ว S ต่างเป็นสารชนิด P ทั้งหมดจึงเสมือนเป็นตัวต้านทานตัวหนึ่ง กระแสจึงไหลจาก S ไป D ได้

ถ้าปรับเพิ่ม (V_{GS}) ให้มีค่าเป็นลบเพิ่มมากขึ้น Channel P จะขยายกว้างมากขึ้นทั้งสนามไฟฟ้าลบที่แผ่นโลหะ (Metal) มีจำนวนมากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดแรงผลักดันกับ อิเล็กตรอนที่กระจัดกระจายอยู่ใน N - type substrate ให้เคลื่อนที่ห่างออกจาก Channel ดังนั้น Channel P จึงกว้างขึ้นทำให้กระแสไฟฟ้า (I_D) ไหลได้สะดวกและมีประมาณเพิ่มมากขึ้น

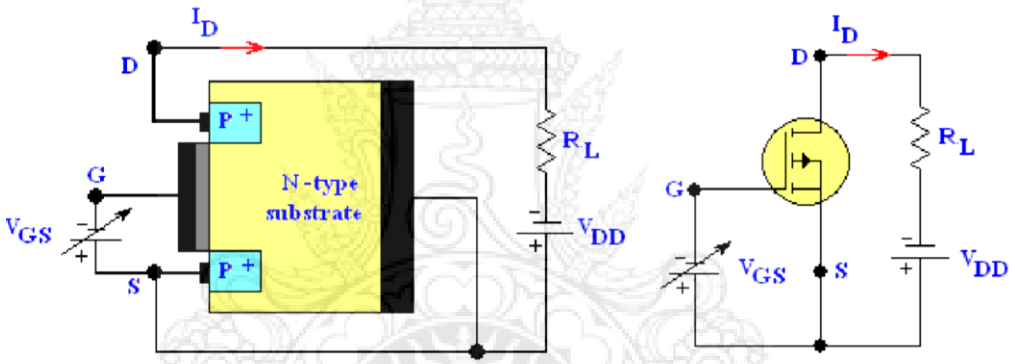
ถ้าปรับ (V_{GS}) ให้มีค่าเป็นบวกเพิ่มมากขึ้น Channel P จะแคบลงจนถึงขั้นไม่มี Channel เลยเนื่องจากสนามไฟฟ้าบวกที่แผ่นโลหะ มีการดึงดูดกับอิเล็กตรอนตรงบริเวณ Channel ทำให้ Channel เกิดอิเล็กตรอนเป็นจำนวนมาก จึงแปรสภาพลักษณะของสารชนิด N และไปขวางทางเดินของกระแส (I_D)

สรุปได้ว่า D – Mosfet สามารถนำกระแสได้โดยการควบคุมการไบแอสที่ขาเกตและแรงดันที่ขาเกตที่ทำให้เกิดการไหลของกระแส (I_D) สามารถเป็นได้ทั้งแรงดันบวกและลบ ในส่วนของ D – Mosfet แบบ P – Channel ก็จะมีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกันกับแบบ N – Channel ต่างกันเพียงขั้วของแหล่งจ่าย (V_{GS}) จะมีลักษณะตรงข้ามกัน

2.9.2.2 การไบแอส E – Mosfet ดังแสดงในภาพที่ 2.27 และภาพที่ 2.28



ภาพที่ 2.27 การไบแอส E – Mosfet แบบ N – Channel [7]

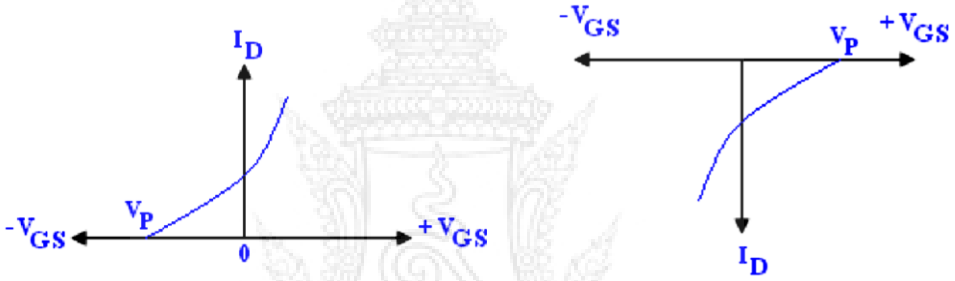


ภาพที่ 2.28 การไบแอส E – Mosfet แบบ P – Channe [7]

การไบแอส E – Mosfet จ่ายแรงดันไฟฟ้า (V_{GS}) ที่ค่าๆ หนึ่งแล้วให้ (V_{GS}) = 0 ขณะนี้จะไม่มีกระแส (I_D) ไหลผ่านจากขา D ไปยัง S เนื่องจากบริเวณ Channel ยังเป็นสารชนิด P อยู่ จึงเสมือนรอยต่อได้รับไบแอสกลับ และทำการปรับเพิ่มค่า (V_{GS}) ให้มีค่าเป็นบวกมากขึ้น จะเห็นว่าสนามไฟฟ้าบวกที่แผ่น โลหะจะมีอำนาจดึงดูดอิเล็กตรอนที่กระจัดกระจายอยู่ในสารกึ่งตัวนำหลัก (P - type substrate) ให้มารวมตัวกันอยู่บริเวณติดกับฉนวนซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) กลายเป็นสะพานเชื่อมทางเดิน ให้กับกระแส (I_D) ไหลผ่านจากขา D ไปยัง S ได้ คือบริเวณติดกับฉนวนจะเกิด Channel N ขึ้น จากการไบแอสที่เกตยิ่งเพิ่ม (V_{GS}) ให้เป็นบวกมากๆ ก็จะทำให้ Channel มีพื้นที่มากขึ้น (I_D) ก็มากตามไปด้วยแต่ถ้าปรับ (V_{GS}) ให้เป็นลบจะไม่เกิด Channel เลยเพราะอิเล็กตรอนบริเวณที่ติดกับ ฉนวนจะยิ่งถูกผลักให้ห่างออกไป จึงกล่าวได้ว่า E – MOSFET แบบ N – Channel จะเกิดการไหลของ (I_D) ได้ก็ต่อเมื่อทำการไบแอสเกตด้วยไฟบวก และ

ในทำนองเดียวกัน ถ้าพิจารณา E – Mosfet แบบ P – Channel จะมีหลักการเช่นเดียวกับ E – Mosfet แบบ N – Channel เพียงแต่ต้องไบแอสเกตด้วยแรงดันไฟลบ จึงจะทำให้เกิดกระแสไหลผ่านวงจรได้ เพราะอำนาจไฟฟ้าลบจากขั้วแหล่งจ่ายจะไปผลักนำอิเล็กตรอนที่อยู่ใกล้กับขั้วเกตให้ห่างออกไป ทำให้มีพื้นที่ว่างมากขึ้นเสมือนเป็นพื้นที่ของ P จึงเกิดเป็น Channel P ขึ้นมาเชื่อมต่อทางเดินของกระแส (I_D) ให้สามารถไหลผ่านในวงจรได้

เมื่อนำการไบแอส D – Mosfet แบบ N – Channel มาทำการเขียนกราฟจะเห็นได้ว่าจุดเริ่มนำกระแสของ D – Mosfet แบบ N – Channel จะเริ่มต้นที่ค่าแรงดัน (V_{GS}) เป็นลบ แต่เมื่อทำการลดค่าแรงดันเป็นลบของ (V_{GS}) ให้น้อยลงและเพิ่มค่าแรงดัน (V_{GS}) ให้เป็นบวกมากขึ้น การไหลกระแสเดรน (I_D) ก็จะมีค่ามากขึ้นไปเรื่อยๆ จนถึงจุดพิกัดที่มันทนได้ จึงกล่าวได้ว่า D – Mosfet แบบ N – Channel สามรถนำกระแสได้ตั้งแต่ค่าแรงดัน (V_{GS}) เป็นลบไปจนถึงค่าแรงดัน (V_{GS}) เป็นบวก ดังแสดงในภาพที่ 2.29



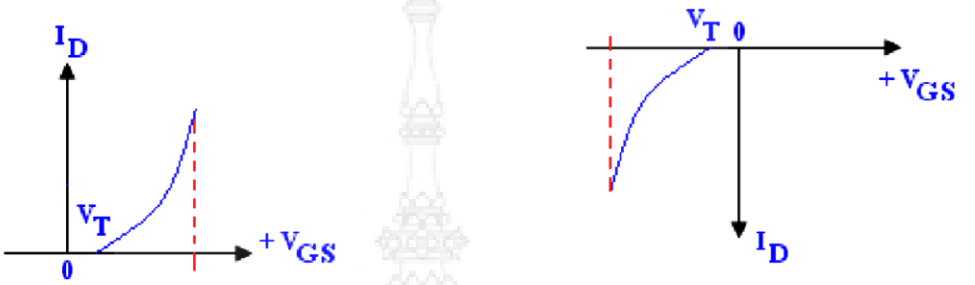
ก. N – Channel ข. P - Channel

ภาพที่ 2.29 กราฟการนำกระแสแบบ D – Mosfet แบบ N – Channel และแบบ P – Channel [7]

เมื่อนำการไบแอส D – Mosfet แบบ P – Channel มาทำการ เขียนกราฟก็จะเห็นได้ว่าจุดเริ่มนำกระแสของ D – Mosfet แบบ P – Channel จะเริ่มต้นที่ค่าแรงดัน (V_{GS}) เป็นบวกแต่เมื่อทำการลดค่าแรงดันเป็นบวกของ (V_{GS}) ให้น้อยลงและเพิ่มค่าแรงดัน (V_{GS}) ให้เป็นลบมากขึ้นการไหลกระแสเดรน (I_D) ก็จะมีค่ามากขึ้นไปเรื่อย ๆ จนถึงจุดพิกัดที่มันทนได้ที่ค่าหนึ่งเช่นเดียวกันดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า D – Mosfet แบบ P – Channel สามรถนำกระแสได้ตั้งแต่ค่าแรงดัน (V_{GS}) เป็นบวก ไปจนถึงค่าแรงดัน (V_{GS}) เป็นลบ

หมายเหตุ V_P : Pinch off voltage ที่ทา ให้ $I_D = 0$

เมื่อนำการไบแอส E – Mosfet แบบ N – Channel มาทำการเขียน กราฟจะเห็นได้ว่าจุดเริ่มนำกระแสของ E – Mosfet แบบ N–Channel จะเริ่มต้นที่ค่าแรงดัน (V_{GS}) เป็นบวกเพียงอย่างเดียว และเมื่อทำการเพิ่มค่าของแรงดัน (V_{GS}) ให้เป็นบวกมากขึ้น การไหลกระแส เดรน (I_D) ก็จะมีค่ามากขึ้นไปเรื่อยๆ จนถึงจุดพิกัดที่มันทนได้ ดังนั้น เราจึงอาจกล่าวได้ว่า E – Mosfet แบบ N – Channel สามรถนำกระแสได้ที่ค่าแรงดัน (V_{GS}) เป็นบวกเท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 2.30



ก. N – Channel ข. P - Channel

ภาพที่ 2.30 กราฟการนำกระแสของ E – Mosfet แบบ N – Channel และแบบ P – Channel [7]

เมื่อทำการพิจารณาการไบแอส E – Mosfet แบบ P – Channel มาทำการเขียนกราฟเห็นได้ว่าจุดเริ่มนำกระแสของ E– Mosfet แบบ P –Channel จะเริ่มต้นที่ค่าแรงดัน (V_{GS}) เป็นลบเพียงอย่างเดียวและเมื่อทำการเพิ่มค่าของแรงดัน (V_{GS}) ให้เป็นลบมากขึ้นการไหลกระแส (I_D) ก็จะมีค่ามากขึ้นไปเรื่อยๆ จนถึงจุดพิกัดที่ทนได้ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า E – Mosfet แบบ P – Channel นำกระแสได้ที่ค่าแรงดัน (V_{GS}) เป็นลบเท่านั้น

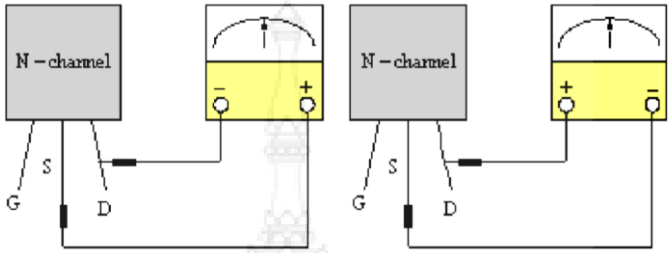
หมายเหตุ VT : Threshold voltage คือค่าแรงดันที่ทา ให้ E – Mosfet เริ่มนำกระแส โดยทั่วไปมีค่าที่ประมาณ +3.6 V สา หรับ E – Mosfet แบบ N – Channel และ -3.6 V สำหรับ E – Mosfet แบบ P - Channel

2.9.2 การตรวจสอบมอสเฟต

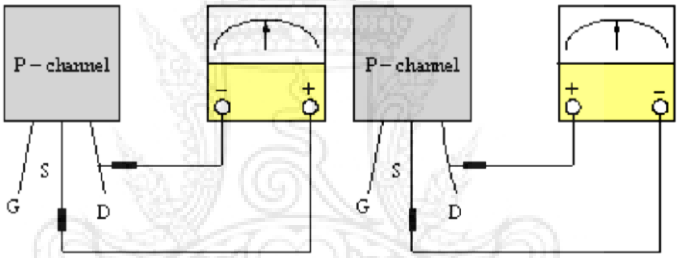
การตรวจสอบหาขาต่าง ๆ ของมอสเฟต (กรณีรู้ตำแหน่งขาและไม่รู้ตำแหน่ง)

1) ตั้งมิเตอร์ที่ย่าน R X 10

2) วัดความต้านทานระว่าง D กับ S โดยสลับขั้วของมิเตอร์ 2 ครั้ง จะได้ค่าความต้านทานเท่ากันทั้ง 2 ครั้ง ดังแสดงในภาพที่ 2.31



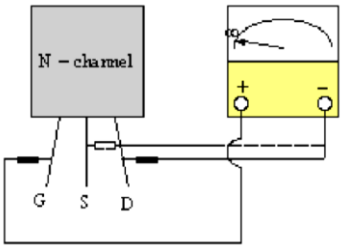
ก. กรณีวัดความต้านทานระว่าง D กับ S ของ D – Mosfet และE – Mosfet แบบ N – Channe



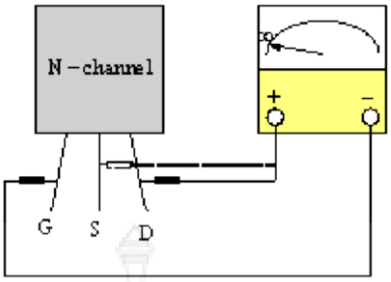
ข. กรณีวัดความต้านทานระว่าง D กับ S ของ D – Mosfet และE – Mosfet แบบ P – Channel

ภาพที่ 2.31 การวัดขา D กับ S ของ D – Mosfet และ E – Mosfet แบบ N – Channel และ P – Channel [7]

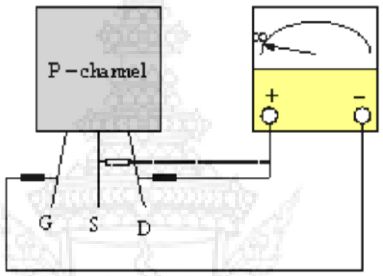
3) วัดหาขา G โดยถ้าทำการวัดความต้านทานที่ G กับ S และ G กับ D อย่างละ 2 ครั้ง โดยสลับขั้วของมิเตอร์ จะได้ค่าความต้านทานสูงและเท่ากันทุกครั้ง ดังแสดงในภาพที่ 2.32



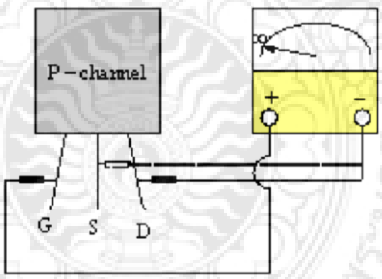
ก. กรณี N – Channel ขั้วบวกอยู่ที่ขา G และขั้วลบอยู่ที่ขา D กับขา S ได้ค่าความต้านทานสูง



ข. กรณี N – Channel ขั้วลบอยู่ที่ขา G และขั้วบวกอยู่ที่ขา D กับขา S ได้ค่าความต้านทานสูง



ค. กรณี P – Channel ขั้วลบอยู่ที่ขา G และขั้วบวกอยู่ที่ขา D กับขา S ได้ค่าความต้านทานสูง



ง. กรณี P – Channel ขั้วบวกอยู่ที่ขา G และขั้วลบอยู่ที่ขา D กับขา S ได้ค่าความต้านทานสูง

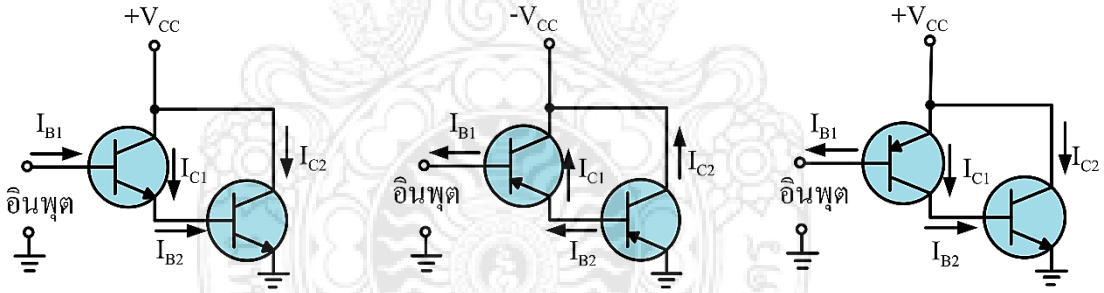
ภาพที่ 2.32 การวัดหาขา G ของ D – Mosfet และ E – Mosfet แบบ N – Channel และ P – Channel [7]

จากการวัดหาตำแหน่งขั้วหรือขาต่าง ๆ ของมอสเฟตทั้งชนิด D – Mosfet และE – Mosfet ที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่า ขั้วหรือขาคู่ใดก็ตามที่ทำการวัดค่าความต้านทานและสามารถอ่านค่าความต้านทานได้ค่าหนึ่ง เมื่อทำการสลับปลายสายวัดยังคงอ่านค่าความต้านทานได้เท่ากัน ถ้าทำการวัดเทียบขั่วขา D กับ S แล้วอ่านได้ค่าของความต้านทานสูงตลอดนั้น คือขา G นั่นเอง

หมายเหตุ ขั่วขา D กับ S อาจจำเป็นต้องทำการเปิดคู่มือ Mosfet เพื่อดูว่ามีขาต่างๆ อยู่ในที่ตำแหน่งใดบ้าง และเป็นชนิด D – Mosfet หรือ E – Mosfet เนื่องจากว่าขา D กับ S จะวัดความต้านทานได้เท่ากัน 2 ครั้ง ดังนั้นมอสเฟตบางเบอร์จะใช้ขา D กับ S สลับแทนกันได้แต่สำหรับมอสเฟตบางเบอร์ ไม่สามารถใช้แทนกันได้ตามลักษณะโครงสร้างของ Mosfet

2.10 วงจรขยายแบบดาริงตัน

วงจรขยายแบบดาริงตัน (Darlington Amplifier) การใช้ทรานซิสเตอร์จำนวน 2 ตัว [8] โดยการนำขาคอลเลคเตอร์ (C) แต่ละตัวต่อเข้าด้วยกัน และใช้ขาอีมิตเตอร์ (E) ของทรานซิสเตอร์ตัวแรกต่อไปเข้าที่ขาเบส (B) ของทรานซิสเตอร์ตัวหลัง ส่งผลให้การทำงานทางเอาต์พุตอยู่ที่ทรานซิสเตอร์ตัวหลัง ส่วนสัญญาณทางอินพุตถูกส่งเข้าทางขาเบส (B) ของทรานซิสเตอร์ตัวแรก ดังแสดงในภาพที่ 2.33

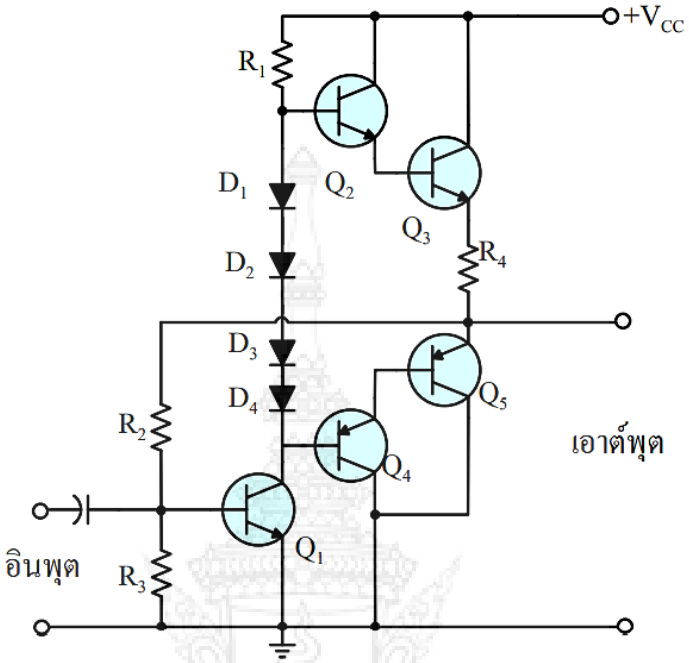


ก. NPN – NPN ดาร์ลิงตัน ข. PNP – PNP ดาร์ลิงตัน ค. PNP – NPN ดาร์ลิงตัน

ภาพที่ 2.33 ทรานซิสเตอร์แบบดาริงตัน [8]

การทำงานของทรานซิสเตอร์แบบดาริงตัน กระแสของทรานซิสเตอร์ Q1 จะส่งเป็นกระแสเบสของทรานซิสเตอร์ Q2 จึงทำให้มีอัตราการขยายสูงหรือเท่ากับอัตราการขยายกระแสของ Q1 กับอัตราการขยายกระแสของ Q2 เข้าด้วยกันทำให้มีอัตราการขยายของ กระแสสูงมาก ส่วนค่าอินพุตอิมพีแดนซ์จะมีค่าสูงและค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์จะมีค่าต่ำ

จากความสามารถในการให้อัตราขยายของกระแสสูง ของวงจรทรานซิสเตอร์แบบดาริงตัน จึงถูกนำมาใช้ในการเพิ่มกำลังการขยายของวงจรขยายสัญญาณเสียง ที่ถูกจัดวงจรทรานซิสเตอร์ดาริงตันแบบคอมพลีเมนทารี่ ดังแสดงในภาพที่ 2.34



ภาพที่ 2.34 วงจรขยายสัญญาณเสียงแบบดาริงตัน [8]

วงจรขยายสัญญาณเสียงแบบดาริงตัน ที่ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ Q2 กับ Q3 ต่อแบบดาริงตันชนิด NPN และทรานซิสเตอร์ Q4 กับ Q5 ต่อแบบดาริงตันชนิด PNP โดยทรานซิสเตอร์ทั้งสองชุด (Q2 , Q3) และ (Q4 , Q5) จัดเป็นทรานซิสเตอร์เอาต์พุตคู่แมทช์แพร์ (Match Pair) ที่ประกอบกันเป็นวงจรขยายสัญญาณเสียงแบบดาริงตันคอมพลีเมนทารี่ ที่ให้กำลัง การขยายสูง ส่วนในวงจรทางด้านอินพุตที่ประกอบด้วยไดโอดจำนวน 4 ตัวทำหน้าที่กำหนดไบแอสให้กับทรานซิสเตอร์คู่แมทช์แพร์ และต่อร่วมกับตัวต้านทาน R1 เพื่อทำหน้าที่กำหนด ไบแอสและชดเชยอุณหภูมิให้กับทรานซิสเตอร์คู่แมทช์แพร์ของวงจรให้มีความเหมาะสม ส่วนตัวต้านทาน R2 และ R3 ทำหน้าที่จัดไบแอสให้กับทรานซิสเตอร์ Q1 โดยที่ทรานซิสเตอร์ Q1 จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณทางด้านอินพุตที่เข้ามาทางคาปาซิเตอร์ C1

2.11 ผลข้างเคียงในการใช้หัวขูดหินน้ำลายอัลตร้าโซนิค

2.11.1 การเกิดรอยขรุขระหรือขีดข่วนที่ผิวฟัน [3]

ก) เกิดจากการใช้แรงขูดมากเกินไป ทำให้ผิวฟันที่มีความเรียบเกิดเป็นรอยขรุขระและยังเพิ่มความเสียวของฟันมากขึ้น

ข) เกิดจากการตั้งกำลัง (Power Setting) สูงเกินไปก็ก่อให้เกิดเป็นรอยขรุขระมากขึ้น

ค) เกิดจากการขูด ที่ไม่ถูกต้อง ส่งผลให้แทนที่จะนำหัวขูดไปกะเทาะหินน้ำลายกลับไปกระแทกผิวฟันทำให้เกิดรอยขรุขระหรือขีดข่วน

2.11.2 ผลต่ออวัยวะปริทันต์ข้างเคียง

เวลาใช้เครื่องขูดหินปูนอัลตร้าโซนิค ถ้านำไปบริเวณใต้เหงือกเยื่อบุพ๊อกเก็ตบางส่วนจะถูกขูดออกโดยไม่ได้ตั้งใจ และหากใช้เครื่องขูดหินน้ำลายใต้เหงือกโดยน้ำหล่อเลี้ยงไม่พอก็อาจทำให้เนื้อเยื่อยึดต่อที่ปราศจากเยื่อผิวปกปิดนั้นเกิดเป็นแผล แต่ถ้าน้ำหล่อเลี้ยงกันความร้อนเพียงพอ ก็จะไม่เกิดเหตุการณ์เช่นนี้

2.11.3 อุบัติเหตุของการเกิดภาวะมีเชื้อภายในเลือด The Incidence Of Bacteremia

ทุกครั้งที่เครื่อง ขูดเหงือก ตัดเหงือก ผ่าตัดเปิดเหงือก ฯลฯ ก็จะเกิดภาวะในเชื้อในเลือดเป็นการชั่วคราวแล้วในที่สุด ร่างกายก็จะกำจัดแบคทีเรียที่อยู่ในกระแสโลหิตให้หมดไปโดยสิ้นเชิง ผลต่อการกระจายแบคทีเรียในอากาศ ขณะที่ใช้เครื่องขูดหินน้ำลายอัลตร้าโซนิคนั้นจะมีเชื้อพุ่งกระจายในอากาศเพิ่มขึ้นจากปกติถึง 30 เท่า

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ละอองน้ำแควิเตชั่น ที่พุ่งกระจายนั้นอาจจะมีเชื้อบางอย่างที่อาจทำให้เกิดโรคได้แฝงอยู่ ซึ่งหากเข้าไปในร่างกายอาจเกิดผลเสียต่อสุขภาพได้

2.11.4 ผลต่อเครื่องคุมจังหวะหัวใจ The Effect On Cardiac Pacemaker

ผู้ป่วยโรคบางรายที่มีความจำเป็นต้องติดเครื่องมือคุมจังหวะของหัวใจเพื่อควบคุมจังหวะการเต้นให้ถูกต้องเครื่องดังกล่าว จะทำงานทันทีในขณะการเต้นของหัวใจขัดข้อง เครื่องขูดหินน้ำลายอัลตร้าโซนิคชนิดที่แท่งทรานสดิวเซอร์ทำด้วยแผ่นโลหะ (Magnetostrictive stack) มีผลไปกระตุ้นให้เครื่องคุมจังหวะหัวใจทำงานก่อนเวลาอันสมควร เป็นเหตุให้การเต้นของหัวใจผิดพลาดอาจเป็นอันตรายถึงชีวิต ส่วนเครื่องขูดหินปูนที่แท่งทรานสดิวเซอร์เป็นแบบ (Piezos-Electric Crystal) จะมีผลน้อยกว่า

2.12 สรุป

บทนี้ได้นำเสนอในส่วนของเนื้อหาต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้องของเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค ทั้งเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยมีเนื้อหาประกอบไปด้วยส่วนหลักๆได้แก่ หลักการทำงานของเครื่องขูดหินน้ำลายแบบ Ultrasonic Vibration ส่วนประกอบของเครื่องขูดหินน้ำลายไฟฟ้า แบบ Ultrasonic scalar หลักการของวงจรเฟสล็อคลูปที่มีอยู่ในตัวไอซีเบอร์ 4046B เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ 25 กิโลเฮิรตซ์(kHz) มอสเฟต (Mosfet) วงจรขยายสัญญาณแบบดาร์ลิงตัน (Darlington) ซึ่งได้นำมาใช้เป็นแนวทางในขั้นตอนออกแบบสร้างเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคสำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่

บทที่ 3
การออกแบบและการดำเนินการสร้าง

ในบทนี้นำเสนอการดำเนินการ และขั้นตอนออกแบบสร้างเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค สำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่ โดยทำการศึกษาทฤษฎีที่สำคัญต่างๆ มาแล้วในบทที่ 2 ให้เป็นไปตามแผนการทำงานและวัตถุประสงค์ที่วางไว้มีขั้นตอนดังนี้

3.1 แผนผังการดำเนินงาน

3.2 การทำงานของภาคควบคุมแรงดันไฟกระแสตรงของเครื่องขูดหินน้ำลายไฟฟ้า

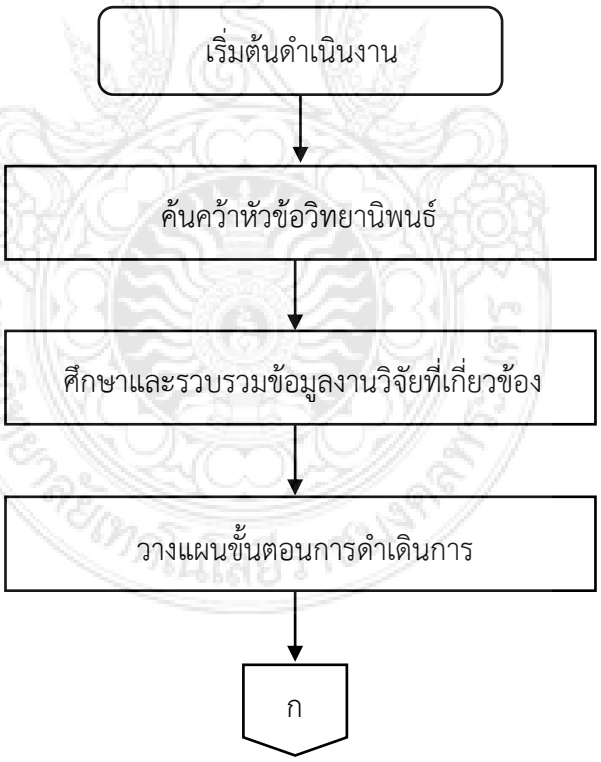
3.3 การทำงานของวงจรภาคผลิตความถี่ 25 กิโลเฮิรตซ์(kHz) โดยใช้ไอซีเบอร์ 4046B

3.4 ด้ามจับที่ใส่หัวขูดหินน้ำลาย

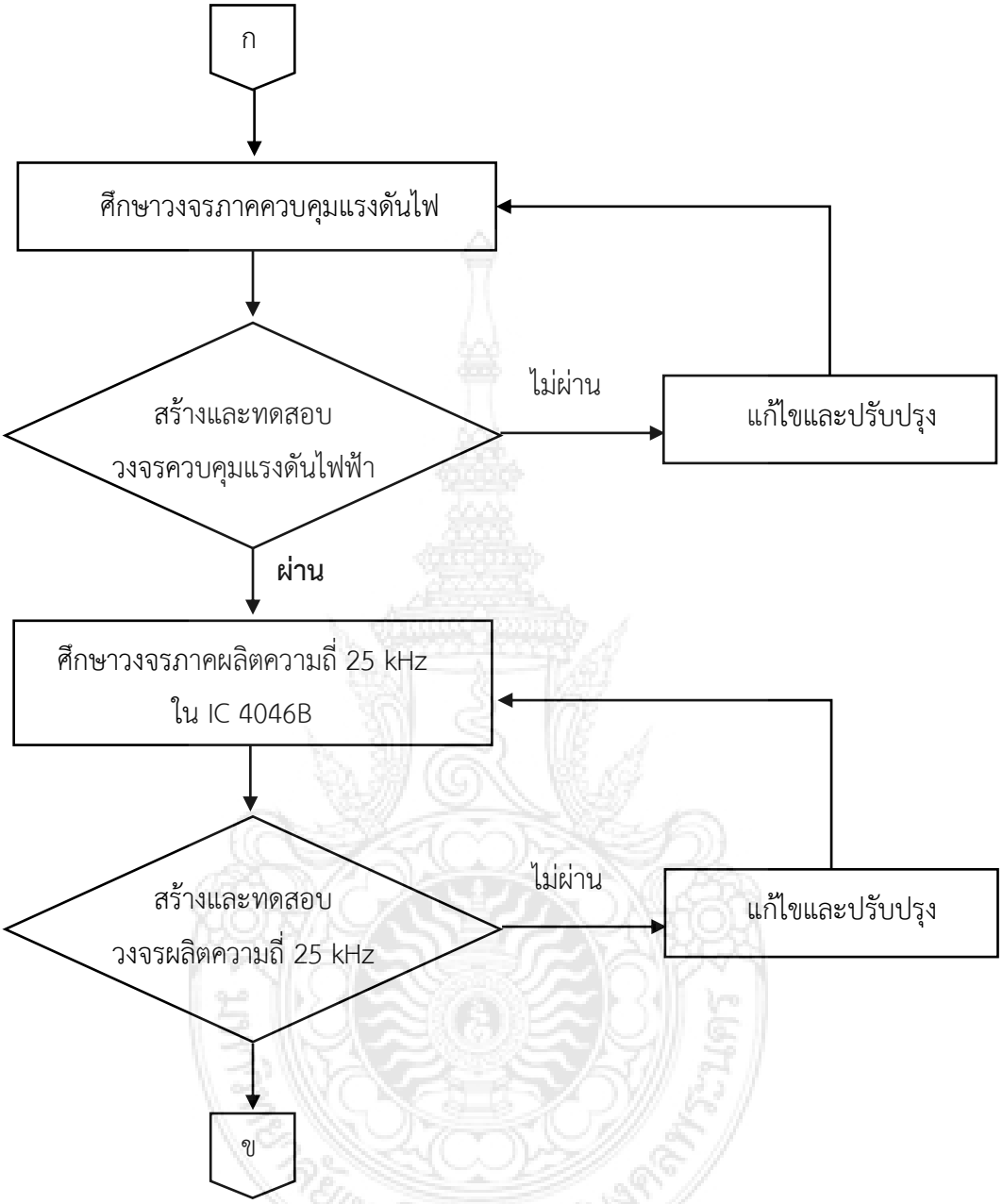
3.5 การทำงานของจอแสดงผล

3.1 แผนผังการดำเนินงาน

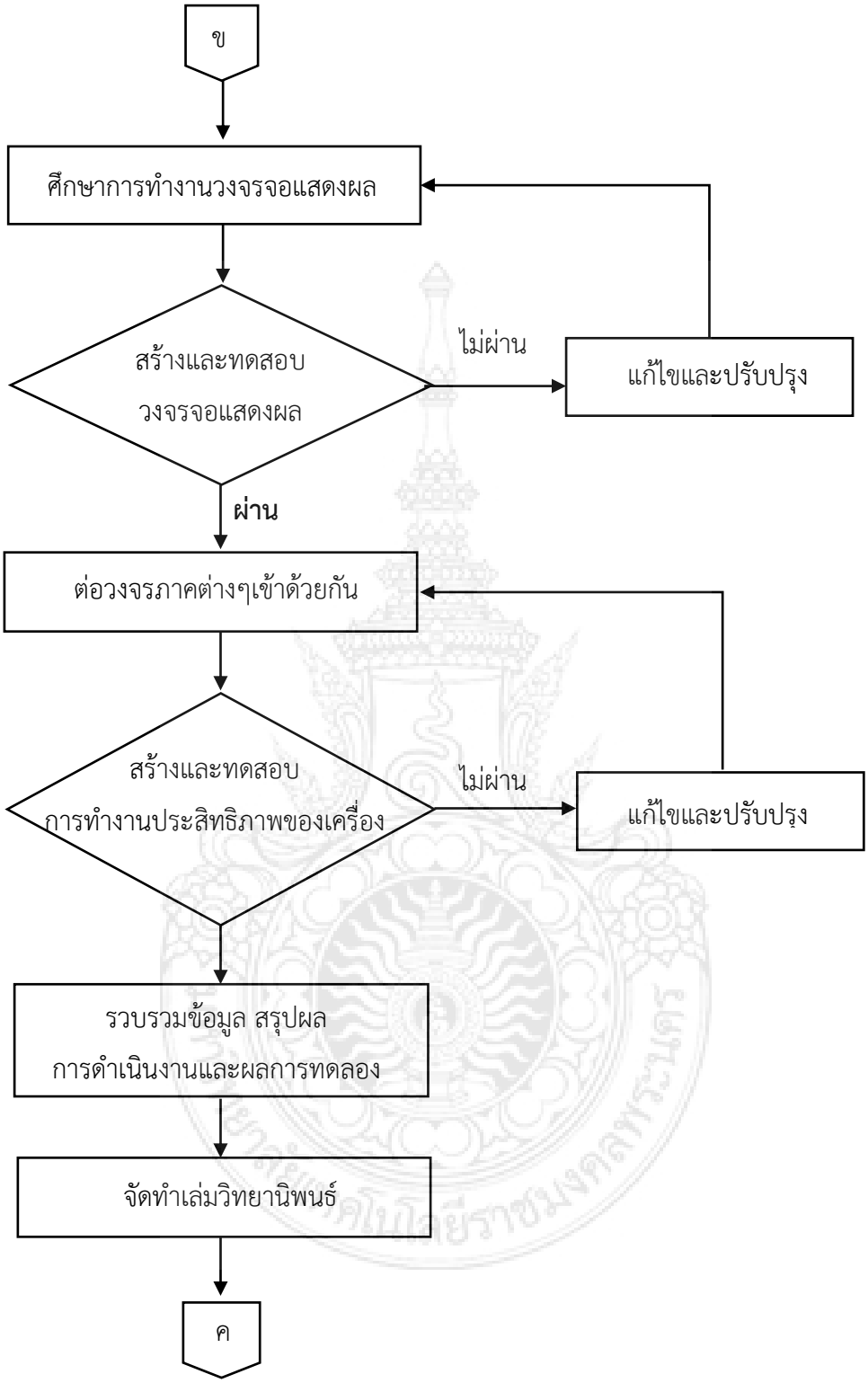
ดังแสดงในภาพที่ 3.1



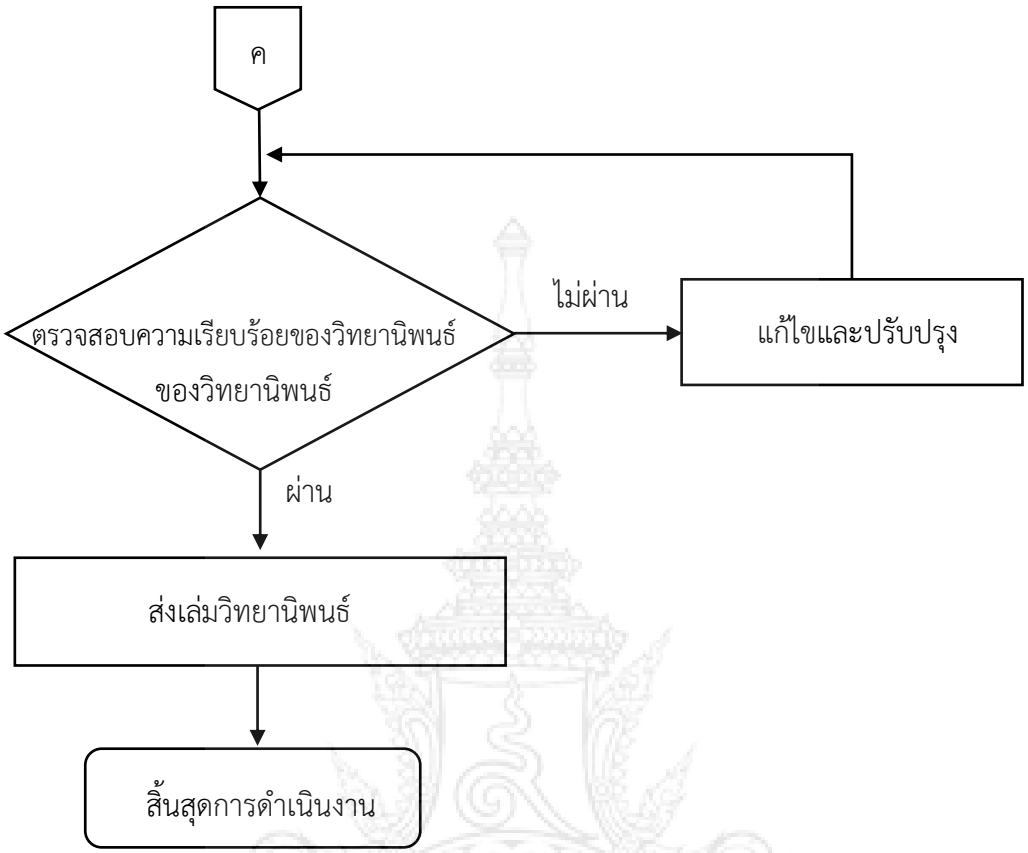
ภาพที่ 3.1 แสดงแผนผังการดำเนินงาน



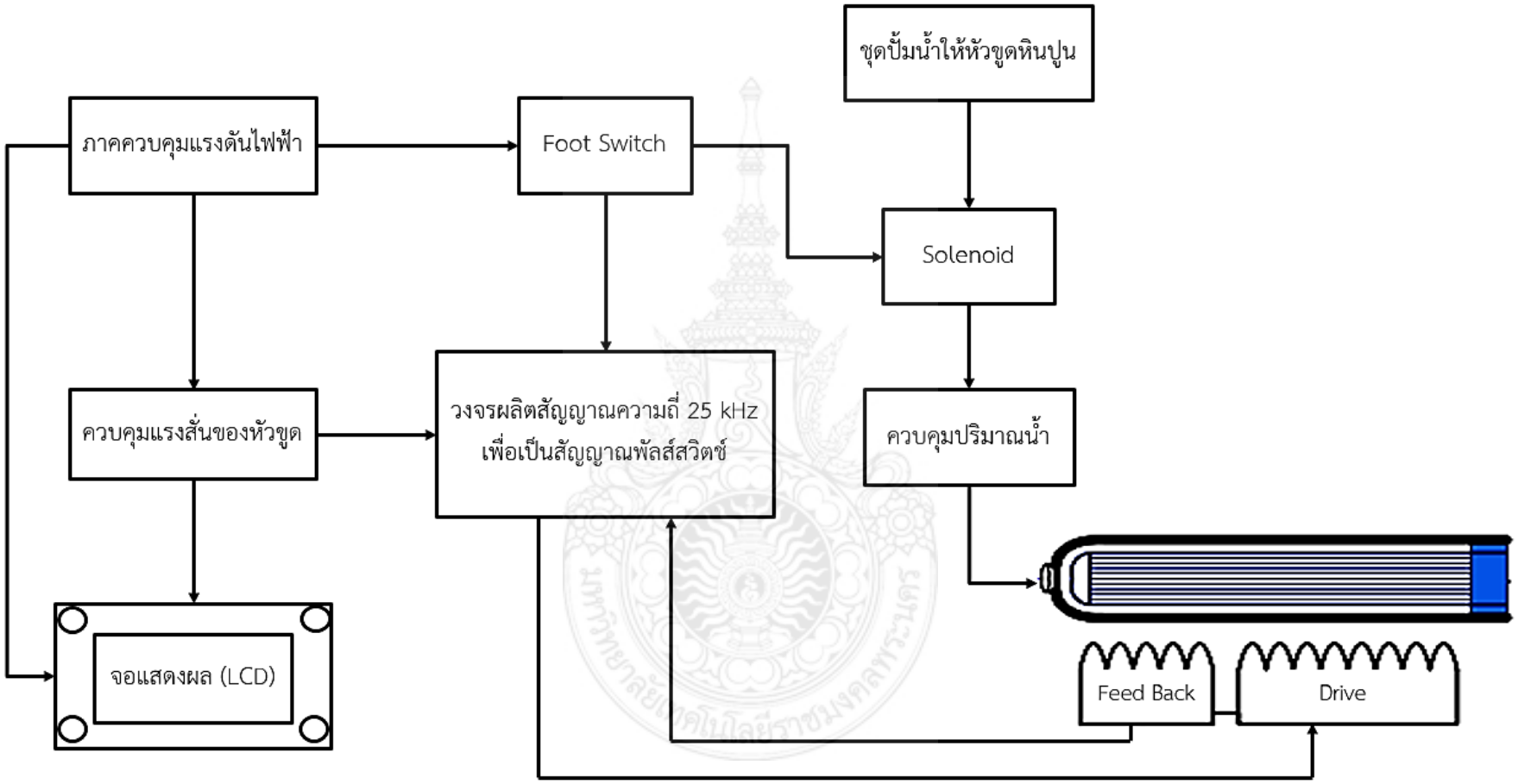
ภาพที่ 3.1 แสดงแผนผังการดำเนินงาน (ต่อ)



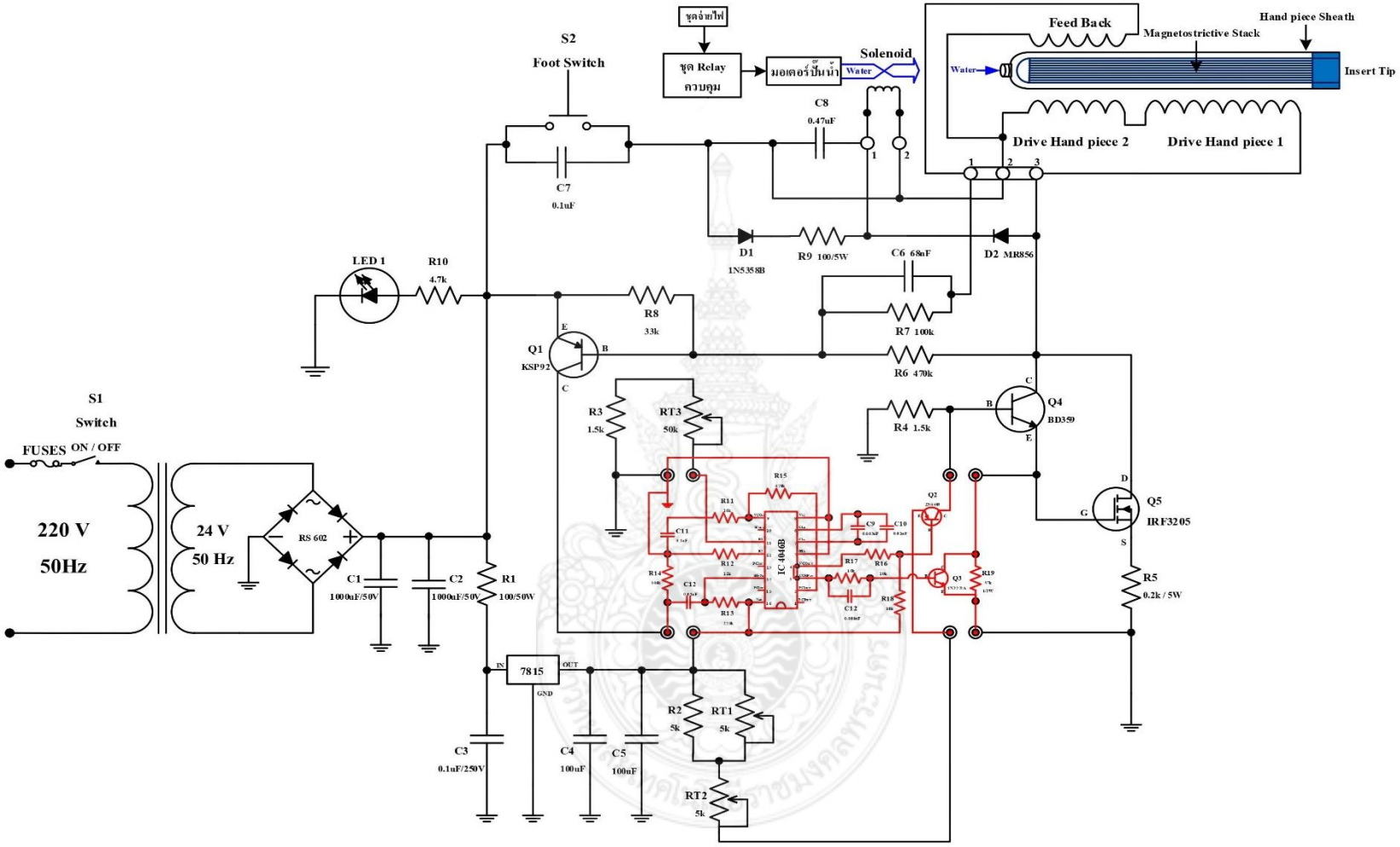
ภาพที่ 3.1 แสดงแผนผังการดำเนินงาน (ตอ)



ภาพที่ 3.1 แสดงแผนผังการดำเนินงาน (ต่อ)



ภาพที่ 3.2 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของวงจรส่วนต่างๆ



ภาพที่ 3.3 วงจรภาครวมของเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค (Ultrasonic scalar)

3.2 การทำงานของภาคควบคุมแรงดันไฟกระแสตรงของเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค

ควบคุมแรงดันไฟให้กับวงจรภาคผลิตความถี่ 25 กิโลเฮิรตซ์ (kHz) วงจรควบคุมแรงดันนี้ต้องการแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 24 โวลต์ ต่อผ่านวงจรบริดจ์เรกติฟาย เพื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีตัวเก็บประจุ 2200 ไมโครฟารัด (μF) ต่อขนานเพื่อช่วยกรองแรงดันให้เรียบยิ่งขึ้น และส่วนของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ส่งแรงดันออกไปเป็น 3 ส่วน คือ

3.2.1 จ่ายไปยัง Foot Switch หรือ S_2 เพื่อรอต่อวงจรให้ Solenoid Valve น้ำ และหัวขูดทำงาน

3.2.2 จ่ายเข้าไปยังไอซี Regulate เบอร์ 7815 เพื่อ Regulate ให้เป็นไฟ +15 โวลต์ (V_{DC}) สาเหตุที่ต้องผ่านไอซี (Regulate) เพราะว่ามีขนาดการใช้พลังงานจากหม้อแปลงไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงมีค่าไม่คงที่ ไม่สามารถนำมาจ่ายวงจรขยายความถี่ได้โดยตรง ส่วนตัวเก็บประจุ 1000 ไมโครฟารัด (μF) และ 100 ไมโครฟารัด (μF) ใส่ไว้เพื่อกรองแรงดันให้เรียบยิ่งขึ้น และตัวเก็บประจุ 0.1 ไมโครฟารัด(μF)นั้นช่วยลดการเหนี่ยวนำในตัวไอซี เมื่อได้แรงดัน 15 โวลต์ (V) แล้วนำไฟไปเลี้ยงให้กับไอซีเบอร์ 4046B ซึ่งวงจรนี้สามารถจ่ายกระแสได้ถึง 1 แอมป์ (A)

3.2.3 จ่ายเข้าไปยังขาอิมิเตอร์ (E) ของทรานซิสเตอร์ที่ Q_1 เพื่อรอกระแสทริกที่ขาเบส (B) เมื่อขาเบส (B) ได้รับกระแสทริกทรานซิสเตอร์ Q_1 เกิดการนำกระแสไฟฟ้าที่ขาอิมิเตอร์ (E) ไปยังขาคอมมอน (C) แล้วนำสัญญาณไปจ่ายให้กับขา 14 (Signal Input : Sign $_{in}$) กับขา 9 (VCO Input : VCO $_{in}$) ของไอซี 4046B

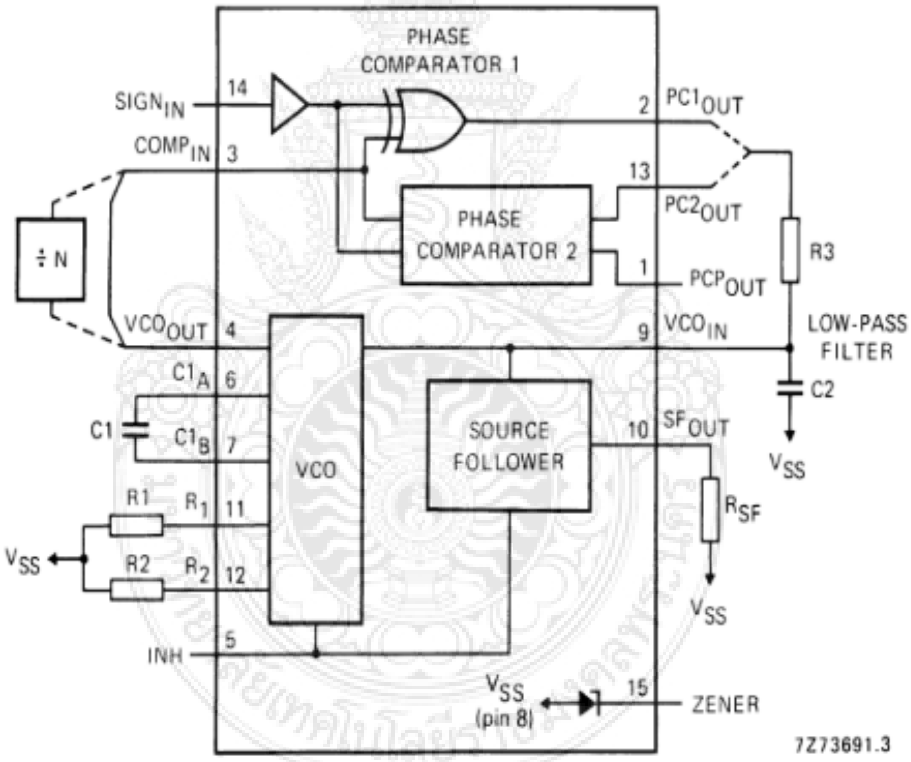
3.3 การทำงานของวงจรภาคผลิตความถี่ 25 กิโลเฮิรตซ์ โดยใช้ไอซีเบอร์ 4046B

การทำงานของวงจรภาคผลิตความถี่ เพื่อให้ได้ความถี่ 25 กิโลเฮิรตซ์(kHz) คงที่ และแก้ปัญหาในการอิ่มตัวทางความถี่ระหว่างขดลวดกับแผ่นโลหะอ่อน (Magnetostrictive stack) ในตัวด้ามจับ (Hand piece) ส่วนของภาควงจรนี้ใช้ไอซีเบอร์ 4046B ผลิตความถี่เพื่อให้วงจรง่ายและประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องขูดหินน้ำลาย โดยไอซีเบอร์ 4046B นี้เป็นไอซีที่มีคุณสมบัติหลักการทำงานของวงจรเฟสล็อกลูป (Phase Locked Loop) ในภาคต่างๆ

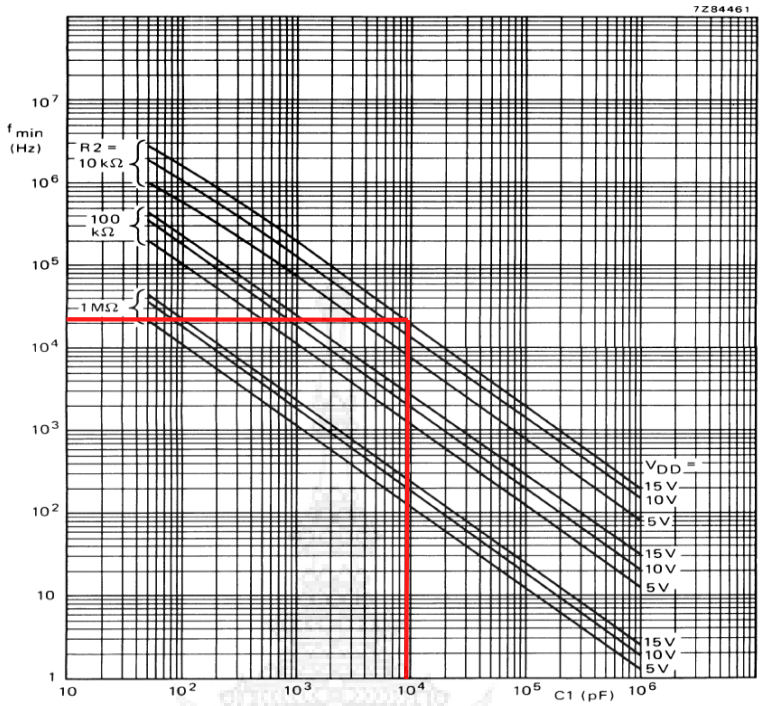
ไอซีเบอร์ 4046B เป็นวงจรเฟสล็อกลูป ประกอบด้วย VCO และเฟสเปรียบเทียบ 2 เฟส กับส่วนขยายสัญญาณอินพุทและส่วนเปรียบเทียบอินพุท

3.3.1 ความถี่ที่ควบคุมด้วยแรงดัน

ความถี่ที่ควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Control Oscillator) ต้องการคาปาซิสเตอร์ (C_1) ต่อภายนอกระหว่างขา 6 กับขา 7 หนึ่งตัว และ R ต่อภายนอก 1 หรือ 2 ตัว (R_1 หรือ R_1 และ R_2) R_1 และ C_1 จะเป็นตัวกำหนด ย่านความถี่ของ VCO R_2 ช่วยให้ VCO มีความถี่ Off-Set การที่ VCOมีความต้านทานอินพุตสูงทำให้ง่ายต่อการออกแบบ (Low-Pass Filter) ที่ขา 9 (VCO Input) ง่ายต่อการเลือกค่าของ R_1 และ C_1 ในคำสั่งไม่มีโหลด (Low-Pass Filter) แหล่งกำเนิดเอาท์พุตของ VCOจะจ่ายแรงดันเอาท์พุตให้ที่ขา 10 (Source – Follower : SF_{OUT}) ถ้าขานี้ถูกใช้ โหลด R (R_{SF}) จะต่อจากขานี้ไปยังขา 8 (V_{SS}) ถ้าไม่ใช้ขานี้จะเปิดไว้ VCO เอาท์พุทขา 4 (VCO Output) สามารถใช้ได้ทั้งต่อโดยตรงไปยังขา 3 (Comparator : $COMP_{IN}$) หรือโดยการจำแนกความถี่ ระดับต่ำที่ขา 5 (Inhibit Input : INH_{IN}) ช่วยให้วงจร VCO และแหล่งจ่ายในช่วงเวลาที่ความถี่มีระดับสูงจะ Off ทั้งคู่ เพื่อลดขนาดความถี่จนมีค่าที่ต้องการใช้ ดังแสดงในภาพที่ 3.4 และภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมวงจรภายในไอซีเบอร์ 4046B [9]



ภาพที่ 3.5 กราฟการเลือกค่าของ R1 , R2 และ C1 เพื่อกำหนดย่านความถี่ [9]

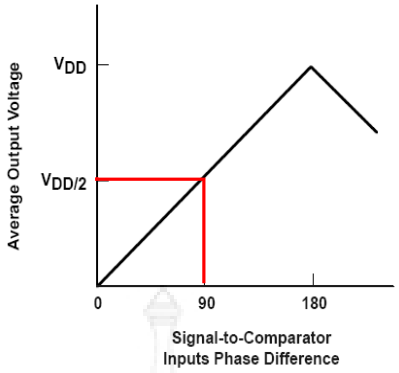
3.3.2 Phase Comparator

เฟสเปรียบสัญญาณอินพุตขา 4 (VCO Output) สามารถต่อได้โดยตรงแต่มีสัญญาณที่แกว่งระหว่างระดับลอจิกอินพุตมาตรฐานในตระกูล HE4000B ในกรณีที่มีการแกว่งเล็กน้อยสัญญาณจะเป็นประจุต่อเพื่อขยาย Self-Bias ที่สัญญาณอินพุต

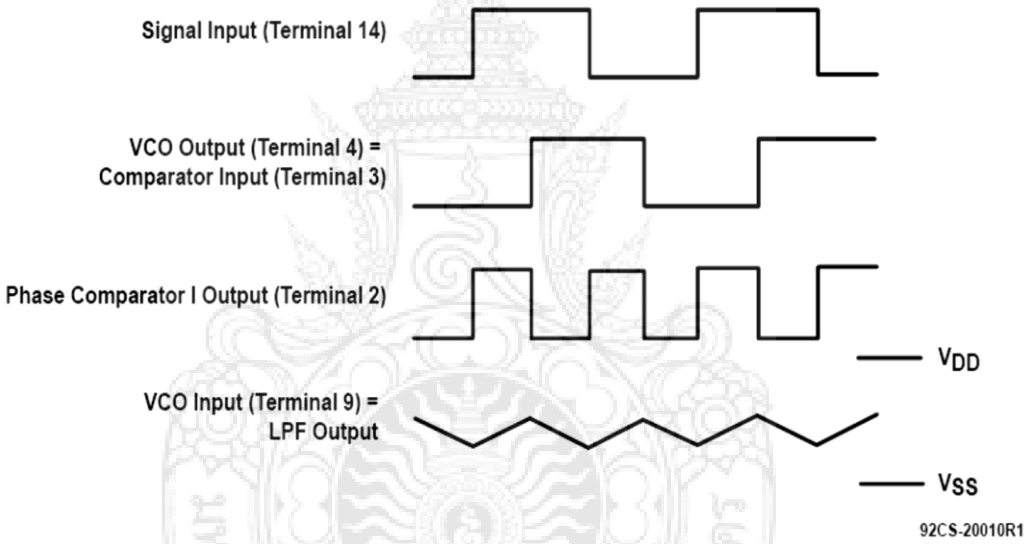
ช่วงความถี่ตรวจจับ Capture Range คือระยะที่เฟสล็อคลูปสามารถตรวจจับความถี่ที่เข้ามาได้พิจารณาเมื่อระบบมีสภาวะเดิมไม่ล็อคกับสัญญาณอินพุต

Locked Range คือ ระยะที่ (Phases locked loop) สามารถล็อคความถี่ได้ คือความถี่เอาท์พุตของ VCO เท่ากับความถี่ของสัญญาณอ้างอิงที่ป้อนให้ระบบ ในการพิจารณาค่า Locked Range สภาวะที่ล็อกแล้วคือความถี่ของสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ Capture Range มีขนาดเล็กหรือย่านที่แคบกว่าหรือเท่ากับ Lock Range เฟส

Comparator 1 ย่านของความถี่ซึ่งสูงกว่า Phase locked loop : PLL สามารถจะล็อกได้ค่าเฟส Comparator 1 ทำให้ระบบ Phase locked loop : PLL คงสภาวะล็อกเมื่อผลรวมของสัญญาณรบกวนในสัญญาณอินพุตมีค่าสูง พฤติกรรมแบบนี้ของเฟสเปรียบเทียบอาจจะล็อกค่าความถี่อินพุตนั้นเป็นการปิดกั้นฮาร์มอนิคของความถี่ศูนย์กลาง VCO มุมของเฟสระหว่างสัญญาณและอินพุตเปรียบเทียบต่างๆ จะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 180 องศา และวงจร Comparator 1 ที่นำมุม 90 องศาที่ศูนย์กลางความถี่ ดังแสดงในภาพที่ 3.6 และภาพที่ 3.7



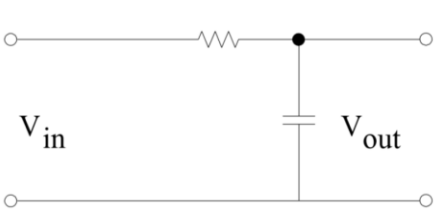
ภาพที่ 3.6 การตอบสนองของ เฟส to เอาท์พุต [9]



ภาพที่ 3.7 ลักษณะรูปคลื่นที่เฟสคอมพาราเตอร์ 1 [9]

3.3.3 ขั้นตอนการคำนวณวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ

ก) วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำอันดับ 1 (First – Order Low Pass Filter) [6]



ถ้า $Xc = \frac{1}{SC}$; $S = j(2\pi \cdot f)$ (3.1)

$$V_{in} = I \cdot (R + Xc) \quad (3.2)$$

$$V_{out} = I \cdot Xc \quad (3.3)$$

$$\text{อัตราขยายแรงดัน} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{I \cdot Xc}{I \cdot (R + Xc)} \quad (3.4)$$

$$= \frac{Xc}{R + Xc} \quad (3.5)$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}}(S) = \frac{1/SC}{R + 1/SC} \quad (3.6)$$

$$= \frac{1}{R \cdot SC + 1} \quad (3.7)$$

สถานะที่มีกำลังขยายสูงสุดสำหรับวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำคือ ที่ $\omega = 0$

$$\therefore \left|\frac{V_{out}}{V_{in}}(j\omega)\right|_{max} = 1 \quad (3.8)$$

ที่ความถี่ขอบเขตกำลังขยายจะเท่ากับ 1/2 ของกำลังสูงสุด

$$\therefore \left|\frac{V_{out}}{V_{in}}(j\omega)\right|_{Cout\ off} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left|\frac{V_{out}}{V_{in}}(j\omega)\right|_{max} \quad (3.9)$$

$$\therefore \frac{1}{\sqrt{1 + j\omega \cdot RC}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (3.10)$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{(j\omega \cdot RC)^2 + 1}} \quad (3.11)$$

$$\sqrt{(j\omega \cdot RC)^2 + 1} = \sqrt{2} \quad (3.12)$$

$$(j\omega \cdot RC)^2 + 1 = 2 \quad (3.13)$$

$$(\omega RC)^2 = 1 \quad (3.14)$$

$$\omega = \pm\frac{1}{SC} \quad (3.15)$$

$$RC = \frac{1}{2\pi \cdot f_c} \quad (3.16)$$

ในทางปฏิบัตจะใช้ความถี่ที่เป็นบวกเพียงค่าเดียวดังนั้น $RC = \frac{1}{2\pi \cdot f_c}$ ในการคำนวณสามารถกำหนดค่าความถี่และหาค่าที่ต้องการแล้วหาค่า R โดยกำหนดค่า C ขึ้นมาก่อนจึงคำนวณหาค่า R ทีหลัง เนื่องจาก C ที่ผลิตออกมาจำหน่ายนั้นมีค่าจำกัดอยู่ช่วงหนึ่ง การกำหนดค่า R แล้วคำนวณหาค่า C จะทำให้ค่าที่ได้ไม่สามารถมาประกอบได้จริงดังตัวอย่างการคำนวณดังนี้

ต้องการวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำที่มีความถี่ขอบเขตเท่ากับ 100 kHz

อัตราขยายแรงดัน $= \frac{1}{2\pi \cdot f}$ (3.17)

จาก $RC = \frac{1}{2\pi \times 100 \times 10^3}$ (3.18)

ให้ $C = 0.01\ \mu F$

ดังนั้น $R = \frac{1}{2\pi \times 100 \times 10^3 x 0.01 \times 10^{-6}} = 152.15\ \Omega$

สามารถหาค่า R ได้ใกล้เคียงคือ 150 ค่าความผิดพลาดเพียง 6% เท่านั้น ซึ่งในทางปฏิบัติยอมรับได้

ข) วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำอันดับ 2

อัตราขยายแรงดัน $= \frac{V_{out}}{V_{in}}(S) = \frac{1}{(S \cdot CR)^2 + 3 \cdot S \cdot CR + 1}$ (3.19)

ในลักษณะเดียวกัน $\left|\frac{V_{out}}{V_{in}}(j\omega)\right|_{max} = 1$ (3.20)

$$\left|\frac{V_{out}}{V_{in}}(j\omega)\right|_{Coutoff} = \frac{1}{2}\left|\frac{V_{out}}{V_{in}}(j\omega)\right|_{max} \quad (3.21)$$

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{1 - (\omega \cdot RC)^2 + 3j \cdot \omega \cdot RC} \quad (3.22)$$

$$\left|\frac{1}{2}\right| = \frac{1}{\sqrt{1-(\omega \cdot CR)^2 + (3j \cdot \omega \cdot CR)^2}} \quad (3.23)$$

$$(\omega \cdot RC)^2 = \frac{-7 \pm \sqrt{53}}{2} \quad (3.24)$$

ซึ่งค่าที่ได้ ได้จากการถอดสมการกำลังสอง

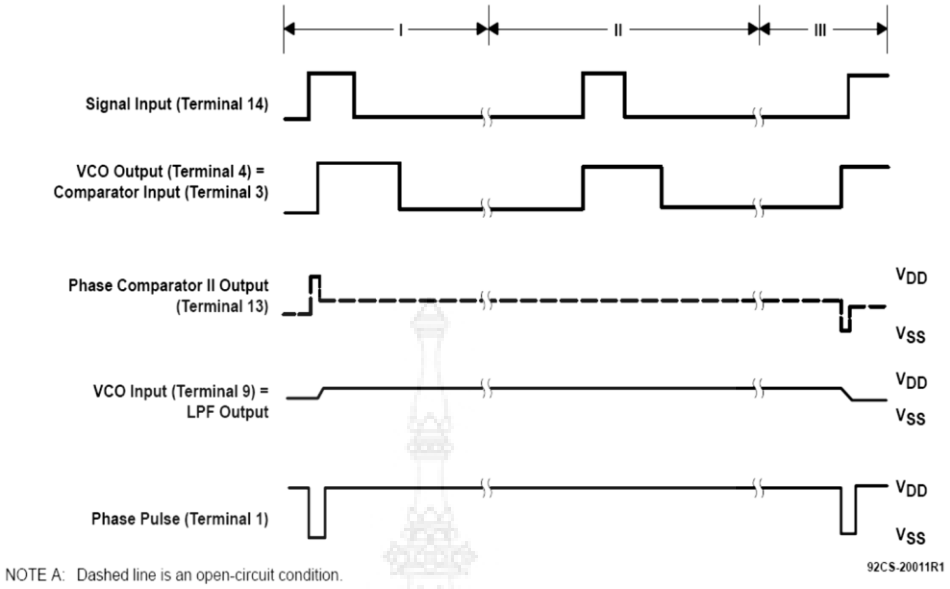
ใช้ค่าที่บวกจริงค่าเดียวจะได้ $(\omega \cdot RC) = \sqrt{\frac{-7 \pm \sqrt{53}}{2}}$ (3.25)

$$(\omega \cdot RC) = \sqrt{\frac{-7 + \sqrt{53}}{2}} \quad (3.26)$$

$$(\omega \cdot RC) = \frac{1}{2\pi f} = \sqrt{\frac{-7 + \sqrt{53}}{2}} \quad (3.27)$$

เฟสเปรียบเทียบ Comparator 2 เป็นเครือข่ายหน่วยความจำดิจิตอล (Edge-Controlled) ประกอบด้วย Flip-flop 4 ตัว ควบคุม Gating และวงจร Output 3-State ประกอบด้วยไดร์ฟแบบ p และ n เปิดดึงเอาท์พุตขึ้นถึงค่าของ V_{DD} หรือลดลง ถึงค่าของ V_{SS} ตามลำดับ เฟสเปรียบเทียบแบบนี้มีลักษณะเดียวคือ ขอบขาขึ้นของสัญญาณที่ขา $Sign_{in}$ และ $Comp_{in}$ เพราะฉะนั้น Factor ของสัญญาณนี้ไม่มีความสำคัญถ้าสัญญาณความถี่อินพุตมีขนาดใหญ่กว่าความถี่อินพุตเปรียบเทียบ ไดร์ฟเอาต์พุต p คงสภาวะ ON ใช้ช่วง เวลาหนึ่งและไดร์ฟทั้งแบบ n และ p จะ Off 3-State ในช่วงเวลาเหลืออยู่ ถ้าสัญญาณอินพุตและความถี่อินพุตเปรียบเทียบเท่ากัน สัญญาณอินพุตล้าหลังอินพุทเปรียบเทียบในเฟส เวลาที่ไดร์ฟเอาท์พุตแบบ n อยู่ในสภาวะ ON สอดคล้องกับความแตกต่างของเฟส ถ้าอินพุทเปรียบล้าหลังสัญญาณอินพุตในเฟส สำหรับเวลาที่ไดร์ฟเอาท์พุทแบบ p อยู่ในสภาวะ ON สอดคล้องกับความแตกต่างของเฟส ต่อมาแรงดันที่คาปาซิสเตอร์ของ (Low-pass filter) ต่อกับเฟสเปรียบเทียบปรับค่าสัญญาณ และอินพุตเปรียบเทียบจนกระทั่งสองเฟสความถี่ที่จุดเสถียรไดร์ฟทั้งแบบ p และ n ยังคง OFF และด้วยเหตุนี้เฟสเอาท์พุทเปรียบเทียบได้เปิดวงจรและให้แรงดันที่คาปาซิสเตอร์ของ Low-Pass Filter คงที่

สัญญาณที่เฟสเปรียบเทียบพัลส์เอาท์พุต Phase Comparator Pulse : PCP_{out} ระดับสูงสามารถใช้แสดงให้รู้สภาวะในการล็อกด้วยเหตุนี้สำหรับเฟสเปรียบเทียบ 2 ไม่มีเฟสแตกต่างระหว่างสัญญาณและอินพุตเปรียบเทียบสูงกว่าย่านความถี่ VCO จะปรับความถี่ของมันให้ต่ำสำหรับเฟสเปรียบเทียบ 2 ดังแสดงในภาพที่ 3.8

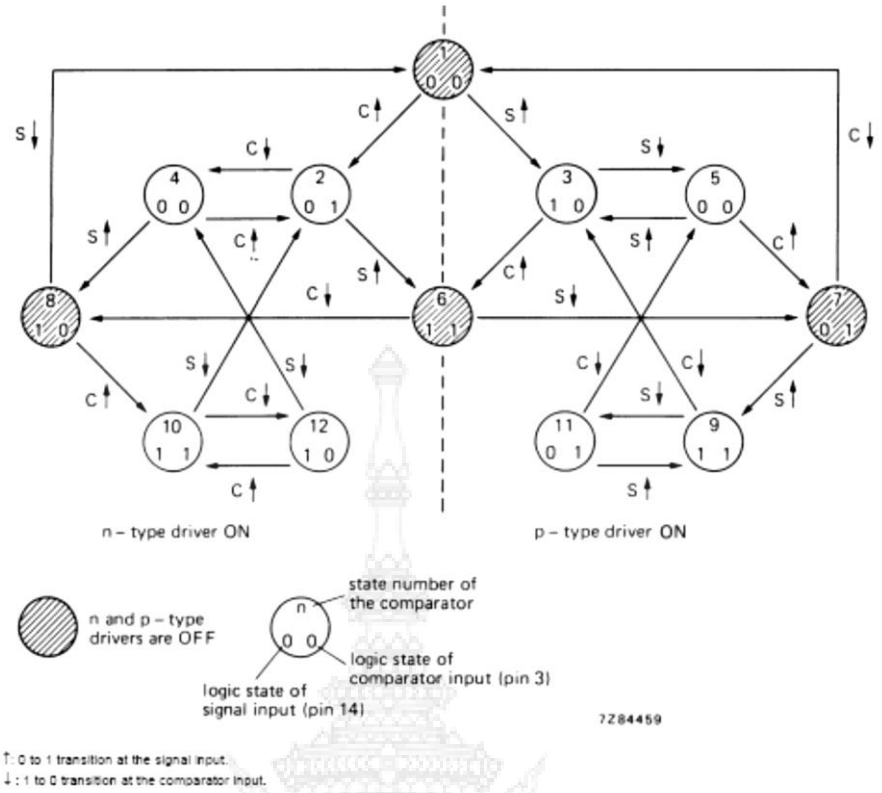


ภาพที่ 3.8 ลักษณะรูปคลื่นที่เฟสคอมพาราเตอร์ 2 [9]

วงกลมแต่ละตัวแสดงสภาวะเทียบของการเปรียบ. หมายเลขด้านบนในวงกลมแต่ละอันแสดงสภาพการเปรียบเทียบ ขณะที่สภาวะลอจิกของสัญญาณที่ขา 14 ($Sign_{in}$) และอินพุตที่ขา 1 (Phase Comparator Pulse : PCP_{out}) เปรียบเทียบแสดงด้วย 0 สำหรับ ลอจิกต่ำ หรือ 1 สำหรับลอจิกสูง ดังแสดงในด้านซ้ายและขวาของวงกลมแต่ละอัน

การเปลี่ยนแปลงลอจิกที่สัญญาณอินพุท (S) หรืออินพุทเปรียบเทียบ (C) การเปลี่ยน แปลงขอบขาขึ้น และขอบขาลง แสดงด้วยลูกศรชี้ขึ้นหรือลงตามลำดับ

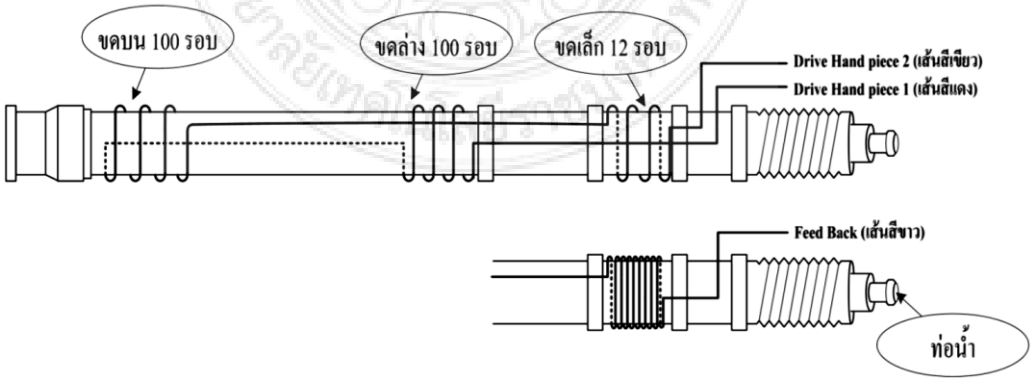
สันนิษฐานตามสภาพไดอะแกรม การเปลี่ยนแปลงของทั้งสัญญาณอินพุตเปรียบเทียบปรากฏที่ช่วงใด สภาวะ 3,5,9 และ 11 แสดงสภาวะที่เอาท์พุท เมื่อไดร์ฟแบบ p อยู่ในสภาวะ ON ช่วงสภาวะ 2,4,10 และ 12 กำหนดสภาวะเมื่อไดร์ฟแบบ n อยู่ในสภาวะ ON สภาวะ 1,6,7 และ 8 แสดงสภาวะเมื่อเอาท์พุตมีค่าอิมพีแดนซ์สูงในสภาวะ OFF ไดร์ฟทั้งแบบ p และ n อยู่ในสภาวะ OFF และ PCP_{out} เอาท์พุตเป็น HIGH สภาวะที่เอาท์พุต PCP_{out} สำหรับสภาวะอื่นๆ เป็น LOW ดังแสดงในภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 การเปลี่ยนแปลงลอจิกที่สัญญาณอินพุท (S) หรืออินพุท (C) เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงขอบขาขึ้นและขอบขาลง แสดงด้วยลูกศรชี้ขึ้นหรือลงตามลำดับ [9]

3.4 ด้ามจับที่ใส่หัวขูดหินน้ำลาย

ลักษณะของด้ามจับใส่หัวขูดหินน้ำลาย (Insert Hand piece sheath) เป็นกระบอกพลาสติกภายในกระบอกด้วย 3 ส่วนหลักๆ ดังแสดงในภาพที่ 3.10

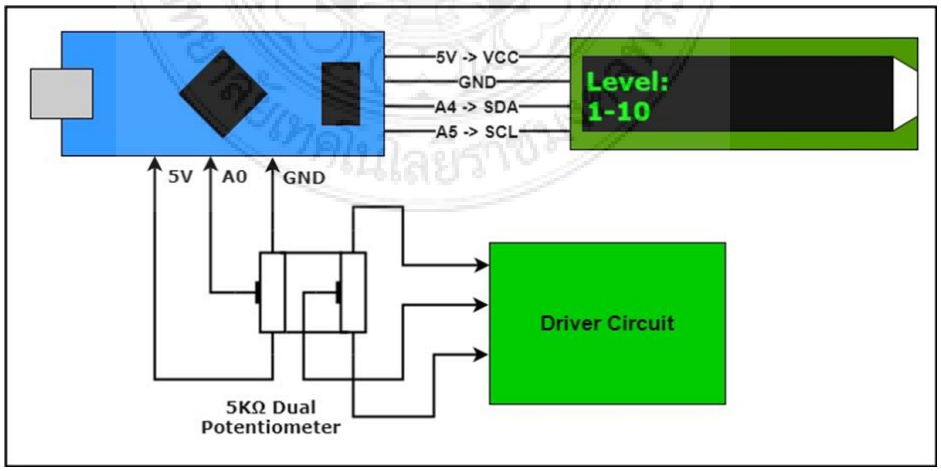


ภาพที่ 3.10 ด้ามจับหัวขูดหินน้ำลายไฟฟ้า [3]

ส่วนแรกเป็นช่องกลวงสำหรับไว้ใส่หัวขูด (P 10) หรือเรียกว่าช่อง “ Insert Port ” ส่วนที่สอง คือ ส่วนที่ทำให้เกิดกระบวนการ (Magnetostriction) ในแผ่นโลหะแมกนีโทสทริคทีฟ สแต็ค (Magnetosstrictive stack) ที่ตอบสนองความถี่ 25 กิโลเฮิรตซ์(kHz) โดยรอบๆ ของกระบอกพลาสติกจะมีขดลวดทองแดงพันอยู่โดยรอบ ขดลวดทองแดงชุดแรกที่ พันรอบๆ กระบอกพลาสติกในช่วงที่กว้างที่สุดมี 2 ชั้น ชั้นละ 100 รอบ รวมเป็น 200 รอบ จะเป็นขดลวด (Drive Hand piece 1เส้นสีแดง) ขดลวดทองแดงชุดที่สองจะพันกระบอกพลาสติกในช่วง ที่แคบที่สุดมี 12 รอบ จะเป็นขดลวด (Drive Hand piece 2 เส้นสีเขียว) ขดลวดในส่วนนี้จะพันอยู่บนขดลวด (Feed Back) ขดลวดทองแดงทั้งสองจะเป็นขดลวดทองแดงตามมาตรฐานของ (American wire gauge : AWG) ที่พันอยู่จะเป็น เบอร์ 23 AWG มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(Diameter) อยู่ที่ 0.66 มิลลิเมตร(mm.) ขดลวดทองแดงชุดที่สามเป็นขดลวด (เส้นสีขาว Feed Back)เบอร์ 32 AWG มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter) อยู่ที่ 0.22 มิลลิเมตร(mm.) มีจุดต่อร่วม (Common) กับ (Drive Hand piece 2เส้นสีเขียว) ส่วนที่สามของด้ามใส่หัวขูดหินน้ำลายคือช่องสวมรับท่อน้ำเข้าจากตัวปรับปริมาณน้ำ(Variable Water) เพื่อลดความร้อนในตัวแผ่นโลหะแมกนีโทสทริคทีฟ สแต็ค (Magnetostrictive stack) และไหลออกไปยังปลายท่อปล่อยน้ำ

3.5 การทำงานของจอแสดงผลปรับระดับด้วย Arduino Nano

เป็นวงจรปรับระดับสัญญาณ ด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเชิงเส้นแบบคู่ (Linear Dual Potentiometer : POT) มีค่าความต้านทาน 5k โอห์ม 2 ชุดในตัวเดียว เชื่อมต่อกับ Arduino โดยใช้การวัดผ่าน Analog to digital Converter Module บน IC ATMega328P บนบอร์ด ซึ่งมีความละเอียดในการแปลงระดับสัญญาณ Analog 8 บิตและรับระดับสัญญาณ Analog ได้สูงสุด 5VDC ดังแสดงในภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 วงจรจอแสดงผลการปรับระดับด้วย Arduino Nano

เมื่อทำการปรับ Pot แรงดันไฟฟ้า 5VDC จะได้รับการแบ่งแรงดันโดยค่าความต้านทานภายใน Pot และส่งสัญญาณไปยังขา A0 โปรแกรมภายในบอร์ด Arduino จะทำการถอดรหัสระดับสัญญาณไฟฟ้าเป็นตัวเลข ตั้งแต่ 0 ถึง 1024 จากช่วงตัวเลขที่ได้ จะสอดคล้องกับระดับการขยายสัญญาณ และทำการโปรแกรมให้แสดงผลผ่านหน้าจอ LCD ด้วยอินเตอร์เฟสแบบ I2C Bus โดยเชื่อมต่อผ่านขาข้อมูล (Serial Data :SDA) และขาสัญญาณนาฬิกา (Serial Clock :SCL) ซึ่งหน้าจอ LCD ได้รับคำสั่งจากบอร์ด Arduino ให้แสดงผลตัวเลข 0 – 10 ซึ่ง 0 หมายถึงระดับสัญญาณที่ได้รับการขยายต่ำที่สุด และระดับสัญญาณ 10 หมายถึงระดับสัญญาณที่ได้รับการขยายสูงสุด สอดคล้องกับระดับการขยายสัญญาณเมื่อปรับความต้านทานที่หน้าเครื่องขุดหินปูนในย่านต่างๆ

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานและการทดสอบ

ในบทที่ 3 อธิบายถึงขั้นตอนการดำเนินงานและในส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค เมื่อนำมาประกอบแต่ละส่วนเข้าด้วยกันตามขั้นตอนการดำเนินงานต่างๆ จะได้เครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค ซึ่งในบทนี้เป็นการทดลองของระบบการทำงานเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค และบันทึกผลการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง รวมทั้งตรวจสอบข้อผิดพลาดต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ในขณะทำการทดลอง โดยแบ่งการทดสอบประสิทธิภาพเป็น 5 ส่วน ดังนี้

4.1 ส่วนของชุดควบคุมแรงดัน ชุดผลิตความถี่และอุปกรณ์ที่สำคัญต่างๆ ในวงจร

4.2 ส่วนของจอแสดงผล

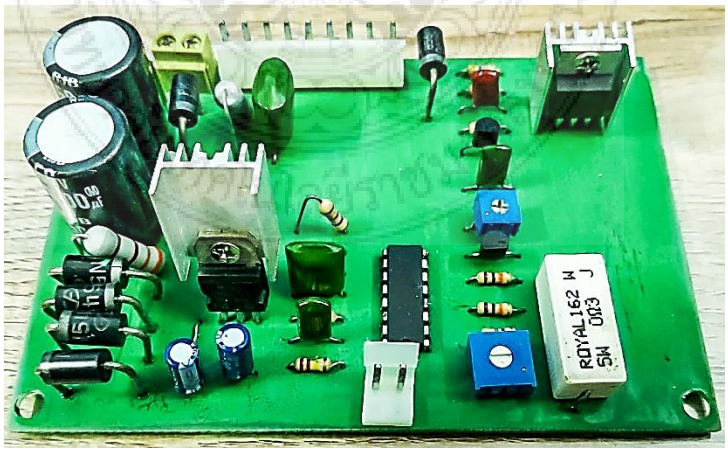
4.3 ส่วนของผลการทดลองสัญญาณและแรงดันในวงจรพร้อมทำการทดสอบเปรียบเทียบในด้านต่างๆ

4.4 ส่วนของผลการทดลองและการทดสอบใช้งานจริง

4.5 สรุปผลการทดลอง

4.1 ส่วนของชุดควบคุมแรงดัน ชุดผลิตความถี่และอุปกรณ์ที่สำคัญต่างๆ ในวงจร

ในส่วนภาควงจรควบคุมแรงดันและวงจรชุดผลิตสัญญาณความถี่นั้น วงจรควบคุมแรงดันต้องการแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 24 โวลต์ ต่อผ่านวงจรบริดจ์เรกติฟายเพื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และจ่ายแรงดันออกไปเป็น 3 ส่วน ดังแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 PCB ภาควงจรควบคุมแรงดันและวงจรชุดผลิตความถี่

ส่วนแรกจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปยัง Foot Switch เพื่อรอต่อวงจรให้ Solenoid Valve น้ำและหัวขูด (Insert Tip) ทำงาน ส่วนที่สองจ่ายเข้าไปยังไอซี Regulate เบอร์ MC 7815 เพื่อ Regulate ให้เป็นไฟบวกกระแสตรง 15 โวลต์ ไปเลี้ยงให้กับไอซี 4046B ในวงจรผลิตสัญญาณความถี่ ส่วนที่สามจ่ายเข้าไปยังขาอิมิเตอร์ (E) ของทรานซิสเตอร์ที่ Q1 วงจรผลิตความถี่โดยใช้ไอซี 4046B ซึ่งเป็นไอซีเฟสล็อกลูปตัวต้านทานที่ขา 11 (R_1) และ 12 (R_2) และตัวเก็บประจุที่ขา 6 (C_A) และขา 7 (C_B) เป็นตัวกำหนดย่านความถี่ของวงจร มีค่า 25 กิโลเฮิรตซ์(kHz) ในกรณีวงจรคูณสวิตช์ซิเล็กเตอร์จะต่อสัญญาณโดยตรงกับไอซี 4046B ในตอนแรกบล็อกวงจร VCO จะผลิตความถี่อิสระ (Free Running) สัญญาณความถี่ที่ถูกผลิตขึ้นมาที่ขา 3-4 (VCO_{Output} : VCO_{Out}) ของไอซี 4046B

อุปกรณ์ที่ควบคุมการทำงานเครื่องขูดหินปูนคือสวิตช์เท้า (Foot switch) เป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมการให้หัวขูดเกิดการสั่นและการเปิด – ปิด น้ำให้ไหลไปยังหัวขูด ถึงแม้ว่าเครื่องจะถูกเปิดแล้วก็ตามแต่หัวขูดจะไม่เกิดการสั่น อุปกรณ์ Solenoid จะทำหน้าที่ควบคุมการปิด-เปิดน้ำหรือไม่ไหลออกและย้อนกลับของน้ำในท่อ ดังแสดงในภาพที่ 4.2 และภาพที่ 4.3

ภาพที่ 4.2 สวิตช์เท้า (Foot Switch)

ภาพที่ 4.3 Solenoid ควบคุมการปิด-เปิดน้ำและป้องกันการไหลย้อนกลับของน้ำในท่อ

ด้ามจับที่ใส่หัวขูดหินปูน (Hand piece) ส่วนนี้จะมีลักษณะเป็นกระบอกพลาสติก โดยมีสายไฟฟ้าและสายน้ำต่อมาจากตัวเครื่อง ภายในกระบอกจะเป็นช่องกลวงสำหรับไว้ใส่หัวขูด รอบๆ ของกระบอกจะมีขดลวดทองแดงพันอยู่โดยรอบเป็นตัวทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก เมื่อเกิดการสั่นเป็นเวลานานๆ ทำให้เกิดความร้อนในส่วนนี้ ดังแสดงในภาพที่ 4.4

(ก) ภาพชุดด้ามจับขูดน้ำลาย (หินปูน)

(ข) ภายในของด้ามขูดหินน้ำลาย (หินปูน) และปลายหัวขูด (P 10)

ภาพที่ 4.4 ภาพส่วนประกอบของด้ามจับขูดหินน้ำลาย (หินปูน) และปลายหัวขูด (P 10)

4.2 ส่วนของจอแสดงผล

จอแสดงผล LCD แสดงผลของระดับความแรงของหัวขูดหินปูน ซึ่งแสดงระดับความแรงจาก 0 จนถึง 10 โดยปรับค่า Power ของด้านหน้าเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค ดังแสดงในภาพที่ 4.5

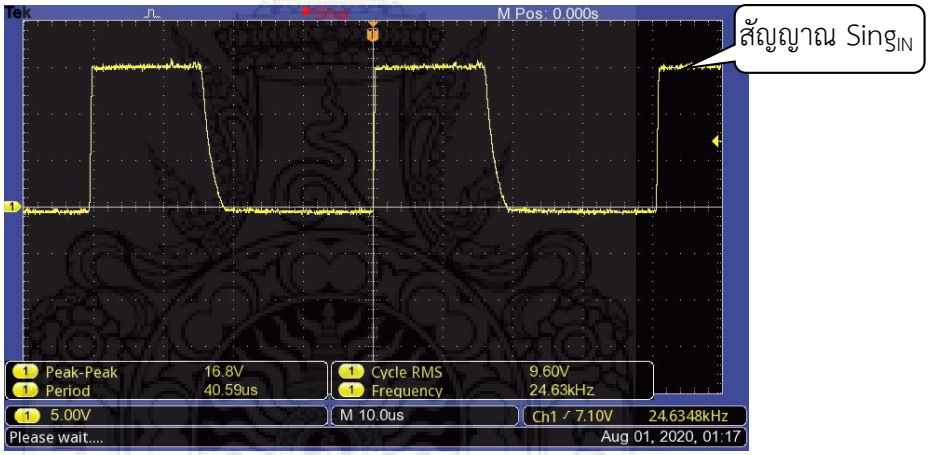
ภาพที่ 4.5 PCB ควบคุมการแสดงผล และจอแสดงผล LCD

4.3 ส่วนของผลการทดลองสัญญาณในวงจรพร้อมทำการเปรียบเทียบในด้านต่างๆ

หลังจากออกแบบโครงสร้างของเครื่องขูดหินปูน และทำการจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์ต่างๆ แล้ว ส่วนนี้เป็นการทดลองระบบการทำงานในส่วนต่างๆ ของเครื่องขูดหินปูน และเก็บผลการทดลองเพื่อดูประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของเครื่องขูดหินปูน รวมทั้งตรวจสอบข้อผิดพลาดต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ในขณะทำการทดลองและทำการแก้ไขในระบบต่างๆ เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่เสถียรภาพในการทำงานมากที่สุด

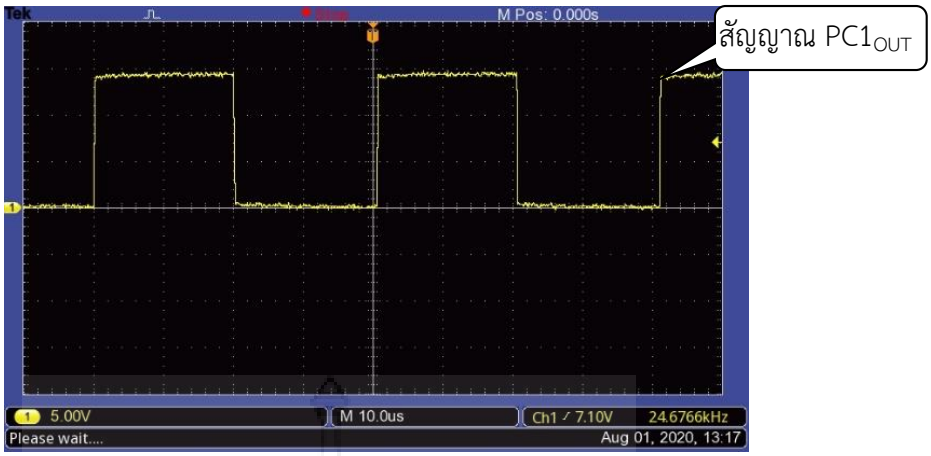
4.3.1 การเปรียบเทียบวัดสัญญาณความถี่และแรงดันที่ขา IC ที่ใช้งาน และปรับความต้านทานในย่านต่างๆ

สัญญาณที่ออกมาจากขา 14 ($Sing_{IN}$) ของไอซี 4046B โดยวัดเทียบกับขา 8 (Vss) กราวด์ ซึ่งทำการปรับความแรงของหัวขูดหินน้ำลาย (Hand piece) ไปที่ต่ำสุดถึงสูงสุด (Min ถึง Max) โดยสัญญาณที่วัดได้มีความถี่ระหว่าง 24.59 kHz ถึง 24.66 kHz ดังแสดงในภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 สัญญาณวัดที่ขา 14 (Singin) ของไอซีเบอร์ 4046B เทียบกับขา 8 (V_{ss})

สัญญาณที่ออกมาจากขา 2 ($PC1_{OUT}$) ของไอซี 4046B โดยวัดเทียบกับขา 8 (Vss) กราวด์ ซึ่งทำการปรับความแรงของหัวขูดหินน้ำลาย (Hand piece) ไปที่ต่ำสุดถึงสูงสุด (Min ถึง Max) โดยสัญญาณที่วัดได้มีความถี่ระหว่าง 24.62 kHz ถึง 24.67 kHz ดังแสดงในภาพที่ 4.7

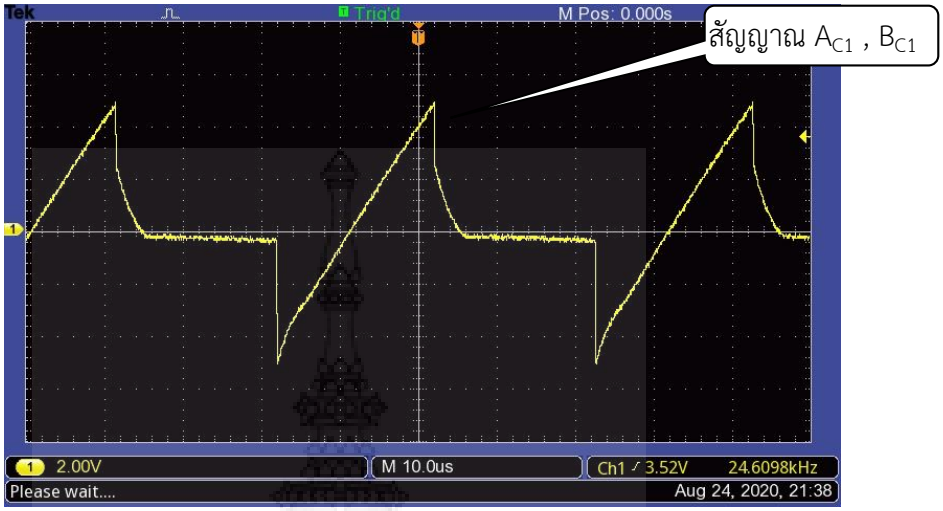


ภาพที่ 4.7 สัญญาณวัดที่ขา 2 ($PC1_{OUT}$) ของไอซีเบอร์ 4046B เทียบกับขา 8 (V_{ss})

สัญญาณที่ออกมาจากขา 3 , 4 ($COMP_{IN}$, VCO_{OUT}) ของไอซี 4046B เทียบกับขา 8 (Vss) กราวด์ ซึ่งทำการปรับความแรงของหัวขูดหินน้ำลาย (Hand piece) ไปที่ต่ำสุดถึงสูงสุด (Min ถึง Max) โดยสัญญาณที่วัดได้มีความถี่ระหว่าง 24.55 kHz ถึง 24.70 kHz ดังแสดงในภาพที่ 4.8

ภาพที่ 4.8 สัญญาณวัดที่ขา 3 , 4 ($COMP_{IN}$, VCO_{OUT}) ของไอซีเบอร์ 4046B เทียบกับขา 8 (V_{ss})

สัญญาณที่ออกมาจากขา 6 , 7 (A_{C1} , B_{C1}) ของไอซี 4046B เทียบกับขา 8 (Vss) กราวด์ ซึ่งทำการปรับความแรงของหัวขูดหินน้ำลาย (Hand piece) ไปที่ต่ำสุดถึงสูงสุด (Min ถึง Max) โดยสัญญาณที่วัดได้มีความถี่ระหว่าง 24.14 kHz ถึง 24.48 kHz ดังแสดงในภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 สัญญาณวัดที่ขา 6 , 7 (A_{C1} , B_{C1}) ของไอซีเบอร์ 4046B เทียบกับขา 8 (V_{ss})

จากการวัดสัญญาณความถี่และแรงดันที่ขา IC ที่ใช้งาน และปรับความต้านทานเครื่องขูดหินปูนในย่านต่างๆ ผลเปรียบเทียบ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบวัดค่าแรงดันที่ขา IC ที่ใช้งาน เมื่อปรับความต้านทานในย่านต่างๆ

VR / Ω	2 PC1 out		3 – 4 Comp in VCO out		6 – 7 AC1 , BC1		9 VCO in		14 Sign in		หน่วย
	PCB รุ่นเก่า	PCB รุ่นใหม่	PCB รุ่นเก่า	PCB รุ่นใหม่	PCB รุ่นเก่า	PCB รุ่นใหม่	PCB รุ่นเก่า	PCB รุ่นใหม่	PCB รุ่นเก่า	PCB รุ่นใหม่	
0 kΩ	5.08	6.68	6.96	6.92	2.46	1.42	4.97	6.07	9.19	7.05	VDC
1 kΩ	5.11	6.67	6.95	6.91	2.40	1.41	5.01	5.97	7.98	7.02	VDC
2 kΩ	5.28	6.62	6.95	6.90	2.33	1.41	5.11	5.87	8.52	6.92	VDC
3 kΩ	5.31	6.61	6.95	6.90	2.31	1.40	5.13	5.80	8.40	6.82	VDC
4 kΩ	5.47	6.58	6.95	6.88	2.30	1.38	5.14	5.7	7.95	6.72	VDC
5 kΩ	5.37	6.30	6.95	6.85	2.30	1.26	5.17	5.66	8.24	6.62	VDC

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบสัญญาณความถี่ที่ขา IC ที่ใช้งาน เมื่อปรับความต้านทานในย่านต่างๆ

VR / Ω	2 PC1 out		3 – 4 Comp in VCO out		6 – 7 AC1 , BC1		14 Sign in		หน่วย
	PCB รุ่นเก่า	PCB รุ่นใหม่	PCB รุ่นเก่า	PCB รุ่นใหม่	PCB รุ่นเก่า	PCB รุ่นใหม่	PCB รุ่นเก่า	PCB รุ่นใหม่	
0 kΩ	23.79	24.67	23.81	24.70	23.92	24.48	23.81	24.66	kHZ
1 kΩ	23.75	24.66	23.78	24.66	23.90	24.45	23.73	24.65	kHZ
2 kΩ	23.71	24.66	23.78	24.63	23.89	24.38	23.77	24.63	kHZ
3 kΩ	23.69	24.65	23.74	24.60	23.85	24.25	23.74	24.61	kHZ
4 kΩ	23.58	24.64	23.68	24.57	23.85	24.20	23.65	24.60	kHZ
5 kΩ	23.58	24.62	23.63	24.55	23.81	24.14	23.74	24.59	kHZ
ค่าเฉลี่ย	23.68	24.65	23.73	24.61	23.87	24.31	23.73	24.62	kHZ
% ค่าความผิดพลาด	5.26	1.40	5.05	1.52	4.52	2.73	5.05	1.50	%

4.3.2 ทดสอบเปรียบเทียบสัญญาณความถี่และแรงดันที่ขา D (V_{DS}) ของเพาเวอร์มอสเฟตใหม่ กับขา C (V_{CE}) ของทรานซิสเตอร์เก่า ตำแหน่งที่ 2 ในวงจรขยายสัญญาณ เมื่อปรับความต้านทานที่หน้าเครื่องในย่านต่างๆ

เปรียบเทียบสัญญาณความถี่ที่ขา D (V_{DS}) ของเพาเวอร์มอสเฟตเทียบกับขา 8 (V_{ss}) ซึ่งทำการปรับความแรงของหัวขูดหินน้ำลาย (Hand piece) ไปที่ต่ำสุดถึงสูงสุด (Min ถึง Max) โดยสัญญาณที่วัดได้มีความถี่ระหว่าง 24.66 kHz ถึง 24.70 kHz ดังแสดงในภาพที่ 4.10

ภาพที่ 4.10 สัญญาณที่ขา D (V_{DS}) ของเพาเวอร์มอสเฟตเทียบกับขา 8 (V_{ss})

จากการทดสอบเปรียบเทียบสัญญาณความถี่และแรงดันของขา D (V_{DS}) ของเพาเวอร์มอสเฟต IRF3205 (ใหม่) กับขา C (V_{CE}) ของทรานซิสเตอร์ BUX80 (เก่า) และปรับความต้านทานที่หน้าเครื่องในย่านต่างๆ ผลเปรียบเทียบ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ทดสอบเปรียบเทียบสัญญาณความถี่และแรงดันของขา D (V_{DS}) ของเพาเวอร์มอสเฟต IRF3205 (ใหม่) กับขา C (V_{CE}) ของทรานซิสเตอร์ BUX80 (เก่า) เมื่อปรับความต้านทานที่หน้าเครื่องในย่านต่างๆ

VR / Ω	ค่าแรงดัน PCBรุ่นเก่า	ความถี่ PCB รุ่นเก่า	% ค่าความผิดพลาด PCB รุ่นเก่า	ค่าแรงดัน PCBรุ่นใหม่	ความถี่ PCB รุ่นใหม่	% ค่าความผิดพลาดPCB รุ่นใหม่
5 kΩ	**33.98** VDC	23.87 kHZ	4.52**%**	**39.30** VDC	24.70 kHZ	1.20**%**
4 kΩ	**33.54 VDC**	23.85 kHZ	4.60**%**	**38.60 VDC**	24.70 kHZ	1.20**%**
3 kΩ	**32.57VDC**	23.81 kHZ	4.76**%**	**38.20 VDC**	24.69 kHZ	1.24**%**
2 kΩ	**32.10 VDC**	23.76 kHZ	4.96**%**	**37.40 VDC**	24.68 kHZ	1.24**%**
1 kΩ	**31.75 VDC**	23.71 kHZ	5.16**%**	**36.90 VDC**	24.67 kHZ	1.32**%**
0 kΩ	**30.48 VDC**	23.68 kHZ	5.28**%**	**35.50 VDC**	24.66 kHZ	1.36**%**
ค่าเฉลี่ย	**32.40 VDC**	23.78 kHZ	4.88%	37.65 **VDC**	24.68 kHZ	1.28%

4.3.3 ทดสอบเปรียบเทียบความถี่ของการสั่นสะเทือนของปลายหัวขูด (P 10) เมื่อปรับความต้านทานที่หน้าเครื่องในย่านต่างๆ

การทดสอบประสิทธิภาพของชุดหัวขูดหินปูน (handpieces scalers) ทันตกรรม โดยใช้เครื่องวัดความถี่ของการสั่นสะเทือนแบบอัลตราโซนิก ทางทันตกรรมโดยเฉพาะ (HPW-2 Handpiece Speedometer) สามารถวัดได้ตั้งแต่ 1 ถึง 200 kHz ดังแสดงในภาพที่ 4.11

ภาพที่ 4.11 การทดสอบความถี่ของปลายหัวขูด (P 10)

จากการทดสอบเปรียบเทียบความถี่ของการสั่นสะเทือนของปลายหัวขูด (P 10) และปรับความต้านทานที่หน้าเครื่องในย่านต่างๆ ผลเปรียบเทียบ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ทดสอบเปรียบเทียบความถี่ของการสั่นสะเทือนของปลายหัวขูด (P 10) เมื่อปรับความต้านทานที่หน้าเครื่องในย่านต่างๆ

VR / Ω	ความถี่ PCB รุ่นเก่า	% ค่าความผิดพลาด PCB รุ่นเก่า	ความถี่ PCB รุ่นใหม่	% ค่าความผิดพลาด PCB รุ่นใหม่
5 kΩ	23.81 kHZ	4.76%	24.69 kHZ	1.24%
4 kΩ	23.78 kHZ	4.88%	24.68 kHZ	1.28%
3 kΩ	23.78 kHZ	4.88%	24.66 kHZ	1.36%
2 kΩ	23.76 kHZ	4.88%	24.65 kHZ	1.40%
1 kΩ	23.70 kHZ	4.96%	24.63 kHZ	1.48%
0 kΩ	23.66 kHZ	5.36%	24.63 kHZ	1.48%
ค่าเฉลี่ย	23.74 kHZ	5.04%	24.65 kHZ	1.37%

จากการการปรับปรุงเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคสำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่นี้ ได้ทำการทดสอบกำลังไฟฟ้าของด้ามขูดหินน้ำลายไฟฟ้า และชุดวงจรขยายสัญญาณ เพื่อนำมาวิเคราะการเกิดความร้อนสะสมในชุดวงจรขยายสัญญาณ ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ทดสอบกำลังไฟฟ้าของด้ามขูดหินน้ำลายไฟฟ้า (Insert Hand piece Sheath) เมื่อปรับความต้านทานที่หน้าเครื่องในย่านต่างๆ

VR / Ω	ค่าความต้านทาน(Ω) Hand piece	ค่ากระแส(I) Hand piece	กำลังไฟฟ้า(P) No load	กำลังไฟฟ้า(P) On load
5 kΩ	16.30 Ω	0.12 A	0.234 W	0.234 W
4 kΩ	16.30 Ω	0.10 A	0.163 W	0.163 W
3 kΩ	16.30 Ω	0.08 A	0.104 W	0.104 W
2 kΩ	16.30 Ω	0.07 A	0.079 W	0.079 W
1 kΩ	16.30 Ω	0.07 A	0.079 W	0.079 W
0 kΩ	16.30 Ω	0.06 A	0.058 W	0.058 W

ตารางที่ 4.6 ทดสอบกำลังไฟฟ้าของชุดวงจรขยายสัญญาณ เมื่อปรับความต้านทานที่หน้าเครื่องในย่านต่างๆ

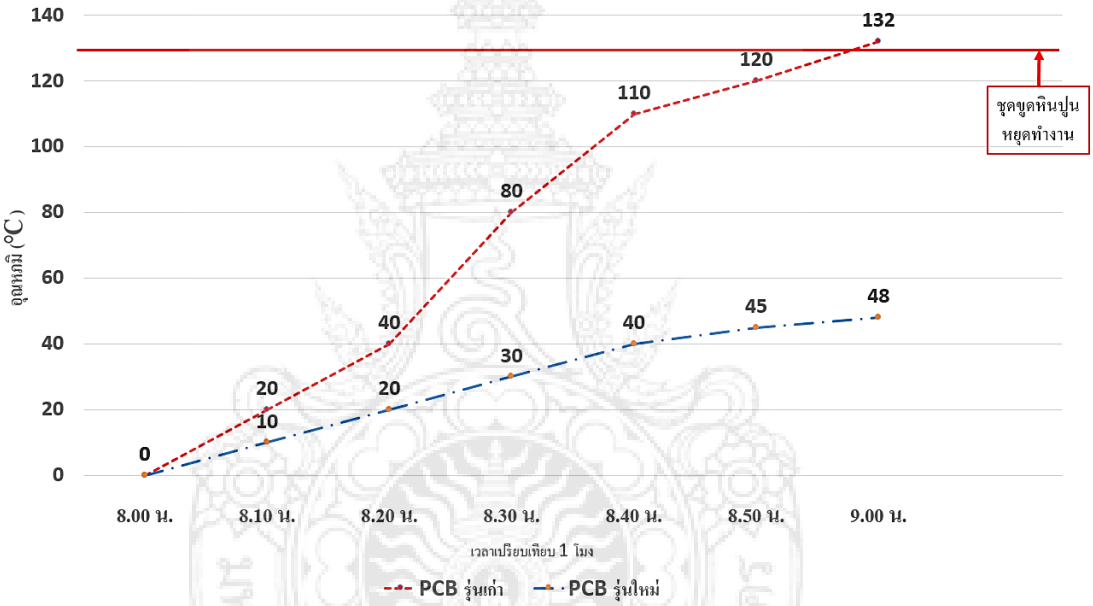
VR / Ω	ค่าแรงดันไฟฟ้า (VDC) วงจรขยายสัญญาณ	ค่ากระแส(I) วงจรขยายสัญญาณ	กำลังไฟฟ้า(P) No load	กำลังไฟฟ้า(P) On load
5 kΩ	39.30 VDC	0.12 A	4.716 W	4.716 W
4 kΩ	38.60 VDC	0.10 A	3.860 W	3.860 W
3 kΩ	38.20 VDC	0.08 A	3.056 W	3.056 W
2 kΩ	37.40 VDC	0.07 A	2.618 W	2.618 W
1 kΩ	36.90 VDC	0.07 A	2.583 W	2.583 W
0 kΩ	35.50 VDC	0.06 A	2.130 W	2.130 W

4.3.4 การทดสอบเปรียบเทียบด้านอุณหภูมิในชุดวงจรขยายสัญญาณ

การทดสอบเปรียบเทียบด้านอุณหภูมิในชุดวงจรขยายสัญญาณ ซึ่งภายในวงจรขยายสัญญาณ PCB รุ่นเก่า มีทรานซิสเตอร์จำนวนสองตัวต่อกันแบบดาร์ลิงตันเพื่อขยายสัญญาณแรงดันและกระแสที่สุงเพื่อป้อนให้กับหัวขูดหินปูน ดังนั้นทำให้เกิดความร้อนสะสมสูงขึ้นมาก มีอุณหภูมิเฉลี่ยโดยประมาณ 130 ℃ เมื่อเครื่องขูดหินปูนทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานาน ดังแสดงในภาพที่ 4.11 และภาพที่ 4.12

ภาพที่ 4.12 การทดสอบอุณหภูมิทรานซิสเตอร์ตำแหน่งที่ 2 ของวงจรขยายสัญญาณ PCB รุ่นเก่าใช้ทรานซิสเตอร์ BUX80 [10]

ภาพที่ 4.13 การทดสอบอุณหภูมิเพาเวอร์มอสเฟตตำแหน่งที่ 2 ของวงจรขยายสัญญาณ PCB รุ่นใหม่ใช้เพาเวอร์มอสเฟต IRF3205 [11]



ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงการทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิวงจรขยายสัญญาณทำงานต่อเนื่อง 1 ชั่วโมง

4.4 ส่วนของผลการทดลองและทดสอบใช้งานจริง

ส่วนของการทดสอบได้นำเครื่องขุดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค ทดลองในห้องปฏิบัติการเครื่องมือและอุปกรณ์ทางทันตกรรมคณะทันตแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล และส่วนของการนำไปใช้งานจริงได้นำไปปฏิบัติงาน โครงการศูนย์ทันตกรรมพระราชทาน สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้ากรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี โดยมีทันตแพทย์หญิง ฉัตฑริกา ฉัตรณรงค์ชัย เป็นผู้ทดลองและใช้งานจริง ซึ่งได้ให้ความเห็นเกี่ยวกับเครื่องขุดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคที่จัดสร้าง

ขึ้นหลายด้าน และสรุปการทำงานของเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคการทำงานอยู่ในระดับปานกลาง – ดีมาก

การทดสอบ หัวขูดหินปูน ในสภาพก่อนการปฏิบัติงาน จะสังเกตเห็นว่า เมื่อน้ำไหลออกมาจากปลายท่อปล่อยน้ำ น้ำจะไหลลงกระทบปลายหัวขูด ที่สั่นอย่างต่อเนื่องตามการปรับระดับการทำงานแรงดันควบคุมที่หน้าเครื่อง ซึ่งความแรงสามารถดูด้วยตาเปล่า สังเกตที่ปลายหัวขูดหินปูนมีน้ำที่มากระทบปลายหัวขูดจะกระจายเป็นละอองรอบปลายหัวขูด ดังแสดงในภาพที่ 4.15

ภาพที่ 4.15 ทดสอบการงานของปลายหัวขูด (P 10)

แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการขูดหินปูน จะประกอบด้วยแบบจำลองฟันธรรมชาติ 4 ซี่ และสารที่ทดสอบ Basic Fuchsin ดังแสดงในภาพที่ 4.16

ภาพที่ 4.16 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

สารทดสอบ Basic Fuchsin เป็นสารที่ทางการแพทย์ใช้ในการทดสอบจุลินทรีย์หรือคราบหินปูนที่สะสมอยู่บริเวณผิวของฟัน ซึ่งคราบหินปูนที่สะสมอยู่ที่ผิวฟันทำให้ผู้ปฏิบัติงานทางด้านทันตกรรมรู้ว่าบริเวณส่วนใดของฟันที่มีหินปูนเกาะติดอยู่บาง เพราะสารตัวนี้ทำให้เห็นคราบหินปูนได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ทำให้ทันตแพทย์ใช้เวลาน้อยลงในการขูดหินปูนเพราะคุณสมบัติของสาร Basic Fuchsin คือ จุดใดที่มีคราบหินปูนจะมีสีชมพูจับอยู่ที่ผิวของหินปูน ดังแสดงในภาพที่ 4.19

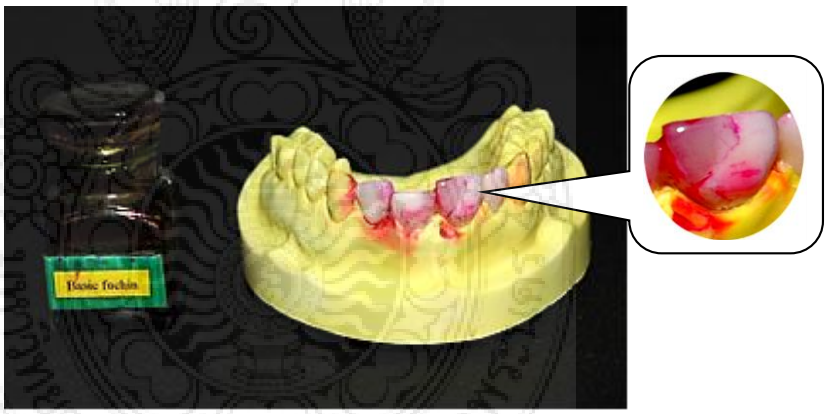
ภาพที่ 4.17 สารทดสอบ Basic Fuchsin เพื่อระบุคราบหินปูน

แบบจำลองฟันธรรมชาติมีฟันแท้ 4 ซี่ ของฟันด้านหน้าสำหรับในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องขูดหินปูน ดังแสดงในภาพที่ 4.18

ภาพที่ 4.18 แบบจำลองฟันธรรมชาติและมีคราบหินปูนเกาะติด

การทาสารเบสิคฟุชชิน (Basic Fuchsin) เพื่อทดสอบหินปูนที่เกาะติดที่ผิวฟัน โดยสารตัวนี้จะไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย และการทาต้องทาให้ทั่วตัวซี่ฟัน แล้วนำไปล้างออกด้วยน้ำสะอาด ถ้ามีสีชมพูติดอยู่ ในบริเวณส่วนใดของฟัน แสดงว่ามีคราบหินปูนเกาะติดอยู่ และเมื่อล้างออกแล้วไม่มีคราบสีชมพูติดอยู่แสดงว่าไม่มีหินปูน ดังแสดงในภาพที่ 4.19

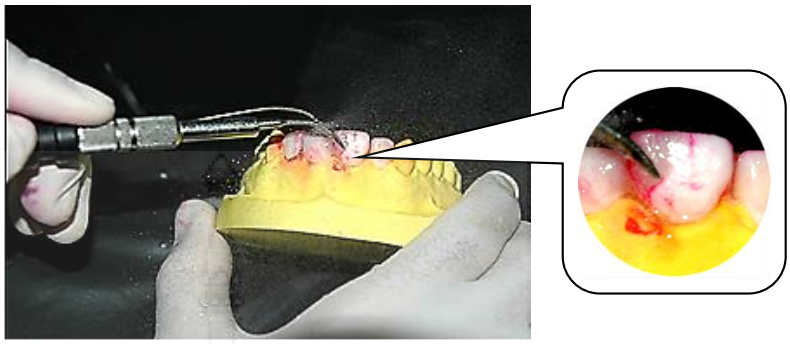
(ก) การทดสอบด้วยสาร Basic Fuchsin ของฟันแท้ที่อยู่ในแบบจำลองฟันธรรมชาติ



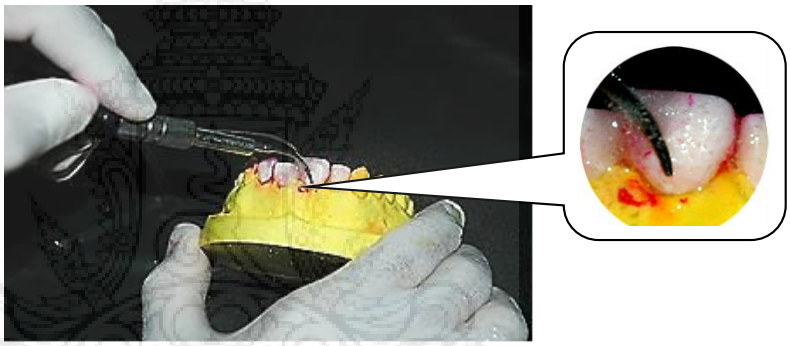
(ข) ภาพของสาร Basic Fuchsin ที่แสดงถึงความหนาแน่นของคราบหินปูน

ภาพที่ 4.19 การทดสอบด้วยสาร Basic Fuchsin ของฟันแท้ที่อยู่ในแบบจำลองฟันธรรมชาติ

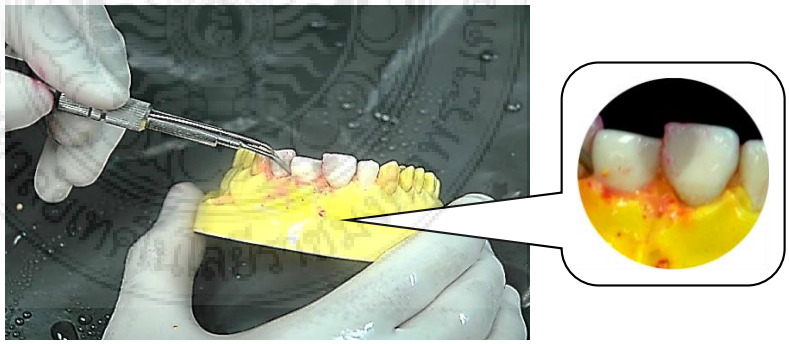
การขูดหินปูนหลังจากที่ทำการทดสอบความหนาแน่นของคราบหินปูน โดยทำการขูดบริเวณที่มีสาร Basic Fuchsin ติดอยู่ที่ผิวของฟัน สังเกตได้ว่ามีลักษณะเป็นสีชมพูที่มีความเข้มมากเข้มน้อยอยู่ที่ความความหนาแน่นของคราบหินปูนที่สะสมอยู่ที่ผิวของฟัน ดังแสดงในภาพที่ 4.20



(ก) ภาพขณะทำการขูดหินปูนภาพที่ 1



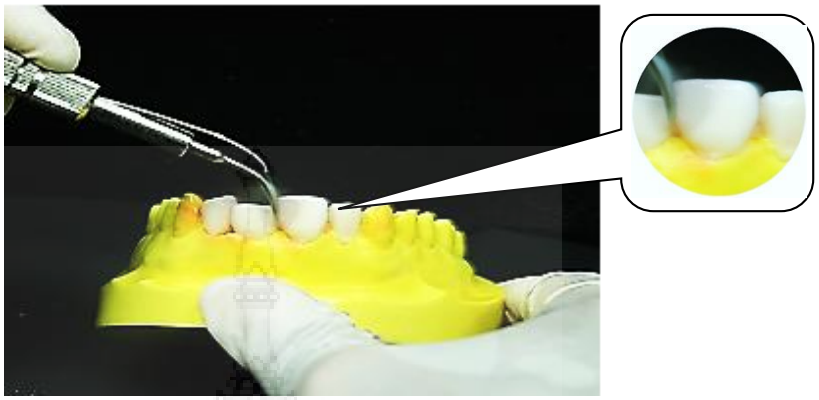
(ข) ภาพขณะทำการขูดหินปูนภาพที่ 2



(ค) ภาพขณะทำการขูดหินปูนภาพที่ 3

ภาพที่ 4.20 ขณะทำการขูดหินปูนเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคโดยใช้แบบจำลองฟันธรรมชาติ

แบบจำลองฟันธรรมชาติที่ได้ทำการทดสอบคราบหินปูนด้วยสารเบสิคฟุชชินแล้ว ทำการขูดหินปูนด้วยเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคที่ได้จัดสร้าง เห็นได้ว่าเครื่องที่ได้จัดสร้างขึ้นสามารถขจัดคราบหินปูนที่เกาะติดผิวฟันแท้ในแบบจำลองฟันธรรมชาติออกได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.21



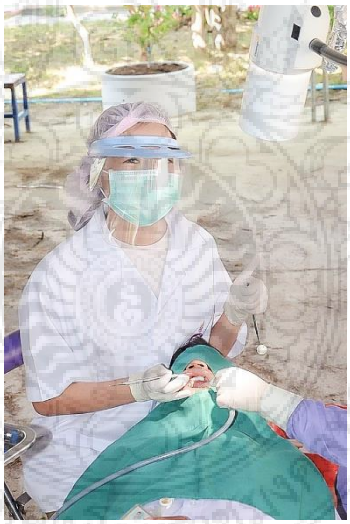
(ก) ภาพของหลังการขูดสาร Basic Fuchsin ที่เคลือบติดกับหินปูน

(ข) ภาพการกำจัดคราบหินปูนในแบบจำลองฟันธรรมชาติที่เสร็จแล้ว

ภาพที่ 4.21 การขูดหินปูนด้วยเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคที่ได้จัดสร้าง

ทดลองปฏิบัติงานจริงกับผู้มารับบริการขูดหินปูนโดยใช้เครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค สำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่ ทันตแพทย์ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับเครื่องขูดหินปูนน้ำลายไฟฟ้า และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องขูดหินน้ำลายในแต่ละวัน ดังแสดงในภาพที่ 4.22 (ซึ่งคำแนะนำแสดงอยู่ในภาค ผนวก ง.)

(ก) ภาพขณะทันตแพทย์ใช้งานกับผู้มารับการขูดหินปูนด้วยเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค



(ข) ภาพขณะทันตแพทย์ให้ข้อแนะนำในประสิทธิภาพของเครื่องที่จัดสร้าง

ภาพที่ 4.22 การนำเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคใช้งานจริงกับผู้มารับบริการโดยทันตแพทย์

4.5 สรุปผลการทดลอง

4.5.1 ส่วนของผลการทดลองสัญญาณและแรงดันในวงจรและเปรียบเทียบในด้านต่างๆ

4.5.1.1 สรุปผลการเปรียบเทียบวัดค่าความถี่และแรงดันที่ขา IC ที่ใช้งานและปรับความต้านทานในย่านต่างๆ

จากการทดสอบเปรียบเทียบวัดค่าแรงดันที่ขาไอซี 4046B เมื่อปรับความต้านทานที่หน้าเครื่องในย่านต่างๆ ผลจากการทดสอบเห็นได้ว่าค่าแรงดันที่ออกจากขาไอซี PCB รุ่นเก่าและใหม่ไม่ค่อยแตกต่างกัน แต่ค่าแรงดันวัดที่ขา 14 ($Sing_{IN}$) คือ Drive Feed Back แรงดันที่ด้ามใส่หัวขูด (Hand piece) PCB รุ่นเก่าแรงดันและสัญญาณความถี่ที่ออกมาจะไม่เรียบเกิดการสะบัดของสัญญาณเล็กน้อย เนื่องจากจังหวะการ No และ Off ตามสัญญาณพัลส์ของทรานซิสเตอร์ BUX80 ของ PCB รุ่นเก่า ผลจากตารางที่ 4.2 จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ย 5.05% ความถี่ที่เฉลี่ย 23.73 กิโลเฮิรตซ์(kHz) และ PCB รุ่นใหม่แรงดันและสัญญาณความถี่ที่ออกมาจะเรียบและเกิดการสะบัดของสัญญาณน้อยกว่าเนื่องจากจังหวะการ No และ Off ตามสัญญาณพัลส์ของ PCB รุ่นใหม่ที่ใช้เพาเวอร์มอสเฟต IRF3205 นั้นทำได้ดีกว่าส่งผลให้เกิดค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ย 1.50% ช่วงความถี่เฉลี่ย 24.62 กิโลเฮิรตซ์(kHz)

การทดสอบสัญญาณความถี่ที่ออกมาจากขา 3 , 4 ($COMP_{IN}$, VCO_{OUT}) ของไอซีคือขาที่ส่งสัญญาณความถี่ที่ออกไปใช้งานต่อร่วมกับวงจรขยายสัญญาณแบบดาร์ลิงตัน เพื่อป้อนให้กับขดลวดภายในแฮนด์พีซ PCB รุ่นเก่าจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ย 5.05% ความถี่ที่เฉลี่ย 23.73 กิโลเฮิรตซ์(kHz) และ PCB รุ่นใหม่จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ย 1.52% ความถี่ที่เฉลี่ย 24.61กิโลเฮิรตซ์(kHz) ดังนั้นจากผลจากตารางที่ 4.2 PCB รุ่นใหม่แรงดันและสัญญาณความถี่ที่ออกมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่น้อยกว่า 3.53% ส่งผลให้ด้ามหัวขูด (Hand piece) ทำงานได้มีประสิทธิภาพ ในการขูดหินน้ำลาย (หินปูน) ดีกว่า PCB รุ่นเก่า

4.5.1.2 ทดสอบเปรียบเทียบความถี่และแรงดันที่ขา D (V_{DS}) ของเพาเวอร์มอสเฟตใหม่ กับขา C (V_{CE}) ของทรานซิสเตอร์เก่า ตำแหน่งที่ 2 ในวงจรขยายสัญญาณ เมื่อปรับความต้านทานที่หน้าเครื่องในย่านต่างๆ

จากการทดสอบเปรียบเทียบสัญญาณความถี่และแรงดันชุดวงจรขยายสัญญาณที่ขา D (V_{DS}) ของเพาเวอร์มอสเฟตใหม่ กับขา C (V_{CE}) ของทรานซิสเตอร์เก่า จะเห็นได้ว่า PCB รุ่นเก่าจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ย 4.88% ความถี่ที่เฉลี่ย 23.78 กิโลเฮิรตซ์(kHz) และ PCB รุ่นใหม่จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ย 1.28% ความถี่ที่เฉลี่ย 24.68 กิโลเฮิรตซ์(kHz) ดังนั้นจากผลจากตาราง PCB รุ่นใหม่แรงดันและสัญญาณที่ออกมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่น้อยกว่า 3.60%

4.5.1.3 ทดสอบเปรียบเทียบความถี่ของการสั่นสะเทือนของปลายหัวขูด (P 10) เมื่อปรับความต้านทานที่หน้าเครื่องในย่านต่างๆ

การทดสอบเปรียบเทียบความถี่ของการสั่นสะเทือนของปลายหัวขูด (P 10) โดยใช้เครื่องวัดความถี่ของการสั่นสะเทือนแบบอัลตราโซนิคทางทันตกรรมโดยเฉพาะ ซึ่งค่าความผิดพลาด

เฉลี่ยของ PCB รุ่นเก่าอยู่ที่ 5.04% ความถี่ที่เฉลี่ย 23.74 กิโลเฮิรตซ์(kHz) และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของ PCB รุ่นใหม่อยู่ที 1.37% ความถี่เฉลี่ย 24.65 กิโลเฮิรตซ์(kHz) จึงสรุปผลการทดสอบได้ว่าค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของ PCB รุ่นใหม่น้อยกว่า 3.67% และมีความเปลี่ยนแปลงของย่านความถี่น้อยกว่า ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสั่นของปลายหัวขูด (P 10) ทำงานได้ดีและแรงกว่า PCB รุ่นเก่า

4.5.1.4 การทดสอบเปรียบเทียบด้านอุณหภูมิในชุดวงจรขยายสัญญาณ

จากกราฟแสดงการทดสอบเปรียบเทียบด้านอุณหภูมิชุดวงจรขยายสัญญาณ ทำการทดสอบใช้เครื่องขูดหินปูนต่อเนื่อง 1 ชั่วโมง ผลการทดสอบ PCB รุ่นเก่าใช้ทรานซิสเตอร์จำนวนสองตัวต่อกันแบบดาร์ลิงตัน มีอุณหภูมิสะสมที่สูงโดยประมาณ 130 ℃ ส่งผลให้เครื่องขูดหินปูนหยุดการทำงาน แต่ PCB รุ่นใหม่ใช้มอสเฟส (Mosfet) ที่ตำแหน่ง Q5 ภายในวงวจรโดยใช้ขา E ของทรานซิสเตอร์ตัวที่ 1 ต่อเข้ากับขา G ของมอสเฟส แบบวงจรขยายดาร์ลิงตันเช่นกันมีอุณหภูมิสะสมโดยประมาณ 48 ℃ เครื่องขูดหินปูนสามารถทำงานได้ต่อเนื่องไม่หยุดการทำงาน ดังนั้นสรุปได้ว่า PCB รุ่นใหม่ใช้มอสเฟสมีอุณหภูมิสะสมน้อยกว่าถึง 84 ℃ และเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคสามารถทำงานได้ต่อเนื่องทั้งวันโดยไม่หยุดการทำงาน

4.5.2 ส่วนของผลการทดลองและการไปทดสอบใช้งานจริง

4.5.2.1 ผลการทดลองจากแบบจำลองฟันธรรมชาติที่มีคราบหินปูนเกาะติดอยู่

จากการนำเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค ทดลองในห้องปฏิบัติการเครื่องมือและอุปกรณ์ทางทันตกรรม โดยมีทันตแพทย์หญิง ฉัตฑริกา ฉัตรณรงค์ชัย เป็นผู้ทดสอบ กับผลการทดลองจากแบบจำลองฟันธรรมชาติที่มีคราบหินปูนเกาะติดอยู่เห็นได้ว่าปลายของหัวขูด (P 10) จะกระจายละอองน้ำได้ดีและเมื่อนำไปขูดกับฟันแท้ของบล็อกจำลองตรงบริเวณส่วนที่ทดสอบด้วยสารเบสิคฟุชชิน (Basic Fuchsin) จะเห็นได้ว่าคราบของหินน้ำลาย (หินปูน) ที่โดนสารทดสอบเคลือบไว้จะหลุดร่อนออกได้โดยง่ายและละอองน้ำที่กระจายตัวบริเวณรอบๆ ปลายหัวขูดกับละอองน้ำจะเป็นตัวชะล้างหินปูนส่วนที่หลุดร่อนออกมาแล้วได้ดี

4.5.2.1 ส่วนของผลการนำไปทดสอบใช้งานจริง

ส่วนผลของการนำเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคสำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่ทดลองปฏิบัติงานจริงกับผู้มารับบริการโครงการศูนย์ทันตกรรมพระราชทาน สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ณ โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านคลองน้อย อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งทันตแพทย์หญิง ฉัตฑริกา ฉัตรณรงค์ชัย เป็นผู้ทดสอบใช้งานจริง ท่านเป็นทันตแพทย์ศูนย์ทันตกรรมพระราชทาน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยได้ให้คำแนะนำและความเห็นเกี่ยวกับเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคที่จัดสร้างขึ้น ไว้ดังนี้

ก) เครื่องขูดหินปูนการสั่นของปลายหัวขูด (P 10) อยู่ในเกณฑ์ที่ปานกลาง - ดีมาก

ข) ความแรงสั่นของปลายหัวขูด (P 10) ที่ Maximum แรงขณะขูดบริเวณหินน้ำลาย (หินปูน) ที่มีแข็งและเหนียวมากๆ ใช้เวลานานไม่นานมาก แต่จะต้องใช้เครื่องมือขูดช่วย

ค) เครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคจัดสร้างนี้ ไม่ค่อยมีความร้อนที่ตัวด้ามขูดหินปูน (Hand piece) และตัวเครื่อง

ง) เครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคจัดสร้างนี้ อยู่ในเกณฑ์ปกติ ใช้งานดีพอสมควร

จ) น้ำที่ออกมาจากปลายหัวขูด (P 10) มีปริมาณเหมาะสมทำให้เครื่องและด้ามจับที่ใส่หัวขูดหินปูน (Hand piece) ไม่ร้อนจนเกินไป แต่ถ้าใช้เป็นเวลานานเกินไปในกรณีที่หินน้ำลาย (หินปูน) เยอะมากๆ อาจเกิดความร้อนขึ้นบ้างเล็กน้อย

ฉ) โดยรวมประสิทธิภาพของเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคจัดสร้างนี้ค่อนข้างดีสำหรับการใช้ออกหน่วยทัตกรรม ที่มีข้อจำกัดหลายๆ ด้านเช่น ระบบน้ำและระบบไฟฟ้า (ซึ่งคำแนะนำแสดงอยู่ในภาค ผนวก ง.)

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินงานของการจัดทำวิทยานิพนธ์ และผลการดำเนินงานที่ผ่านมาในบทที่ 3 ผลการทดสอบเปรียบเทียบเชิงคุณภาพระหว่างเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคสำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่ ผลการทดลองและนำไปทดสอบใช้งานจริง ปัญหาที่เกิดขึ้น และข้อเสนอแนะต่างๆ ในบทที่ 4 สรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

5.2 สรุปส่วนของผลการทดลองในด้านต่างๆ การนำไปทดสอบใช้งานจริง

5.3 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการปรับปรุงเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคสำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่นี้เป็นไปตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษาที่ตั้งไว้ เพื่อขูดหินปูนที่เกาะติดกับตัวผิวฟันของผู้ป่วย จำเป็นต้องสร้างวงจรผลิตความถี่สัญญาณ 25 กิโลเฮิรตซ์(kHz) ที่อยู่ในย่านความถี่ (Ultrasonic Scaler) ตามทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจากบทที่ 2 เพื่อสร้างความถี่นั้นให้อยู่ในเกณฑ์การตอบสนองของแผ่นโลหะแมกนีโทสทริคทีฟสแต็ค (Magnetostrictive stack) ของปลายหัวขูด (P 10) จึงนำเอาไอซีเบอร์ 4046B ที่เป็นหัวใจในการผลิตสัญญาณความถี่ 25 กิโลเฮิรตซ์(kHz) จะต้องอาศัยหลักการของวงจร (Phase – Locked Loop : PLL) ที่มีคุณสมบัติอยู่ภายในไอซีตัวนี้สามารถทำการล็อกความถี่โดยการเปรียบเทียบค่าความต่างระหว่างสัญญาณ Signal Input กับสัญญาณ (Voltage Controlled Oscillator : VCO_{OUT}) ที่เป็นความถี่อ้างอิงภายในตัวไอซีเบอร์ 4046B จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ทำงานร่วมกันชุดวงจรขยายสัญญาณที่ปรับปรุงใหม่ โดยใช้มอสเฟต ที่ขยายกระแสและแรงดันป้อนให้กับขดลวด เพื่อเกิดแรงเหนี่ยวนำในตัวด้ามขูดหินปูน (Hand piece) ส่งผลทำให้เกิดกระบวนการ Magnetostriction ที่ตอบสนองกับตัวแผ่นโลหะของหัวขูดหินปูนเกิดการยืดและหดตัวตามสัญญาณความถี่สูงในระดับ Ultrasonic

5.2 สรุปส่วนของผลการทดลองในด้านต่างๆ การนำไปทดสอบใช้งานจริง

จากการปรับปรุงชุดวงจรขยายเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค ได้ทดสอบเปรียบเทียบความถี่และแรงดันที่ขา D (V_{DS}) ของเพาเวอร์มอสเฟตใหม่ กับขา C (V_{CE}) ของทรานซิสเตอร์เก่า ตำแหน่งที่ 2 ในวงจรขยายสัญญาณ จากตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบ PCB รุ่นใหม่สัญญาณความถี่ที่ออกมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่น้อยกว่า 3.60% และสัญญาณความถี่ที่สูงกว่าซึ่งเฉลี่ยอยู่ที่ 24.68 กิโลเฮิรตซ์(kHz) และผลการทดสอบเปรียบเทียบความถี่ของการสั่นสะเทือนของปลายหัวขูดหินปูน (P 10) โดยใช้เครื่องวัดความถี่ของการสั่นสะเทือนแบบอัลตราโซนิคทางทันตกรรมโดยเฉพาะ ผลการทดสอบ PCB รุ่นใหม่สัญญาณความถี่ของปลายหัวขูดหินปูน (P 10) ที่ออกมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่น้อยกว่า 3.67% และสัญญาณความถี่ที่สูงกว่าซึ่งเฉลี่ยอยู่ที่ 24.65 กิโลเฮิรตซ์(kHz) จึงทำให้ประสิทธิภาพของปลายหัวขูดหินปูนทำงานได้ดีและการสั่นสะเทือนแรงกว่า PCB รุ่นเก่า

การทดสอบเปรียบเทียบด้านอุณหภูมิในชุดวงจรขยายสัญญาณ จากกราฟผลการทดสอบเปรียบเทียบด้านอุณหภูมิชุดวงจรขยายสัญญาณ ทำการทดสอบใช้เครื่องขูดหินปูนต่อเนื่อง 1 ชั่วโมง คือ PCB รุ่นใหม่ใช้มอสเฟต (Mosfet) ตำแหน่งที่ Q5 ภายในวงวจรสามารถลดอุณหภูมิสะสมลงได้ถึง 84 ℃ และจะเห็นได้ว่าเครื่องขูดหินปูนก่อนปรับปรุงจะใช้งานได้เฉลี่ยเพียง 4 ชั่วโมงต่อวันและไม่ต่อเนื่อง แต่เมื่อปรับปรุงแล้วสามารถใช้งานต่อเนื่องได้ประมาณ 8 ชั่วโมงต่อวัน โดยที่สัญญาณเอาต์พุตและค่าความถี่ที่จ่ายให้หัวขูดหินปูนยังคงเหมือนเดิม

จากการนำเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค ทดสอบประสิทธิภาพการขูดหินปูนจากแบบจำลองฟันธรรมชาติ ที่ติดคราบหินปูนเกาะติดอยู่นำไปทดสอบใช้งานจริง โดยมีทันตแพทย์หญิง ฉัตฑริกา ฉัตรณรงค์ชัย เป็นผู้ทดสอบ ผลคือปลายของหัวขูดหินปูน (P 10) จะกระจายของละอองน้ำได้ดีและเมื่อนำไปขูดหินปูนที่ฟันแท้ของแบบจำลองฟันธรรมชาติ ตรงส่วนที่ทดสอบด้วยสารเบสิคฟุชชิน (Basic Fuchsin) คราบของหินปูนที่โดนสารทดสอบเคลือบไว้จะหลุดร่อนออกได้ง่ายและละอองน้ำที่กระจายตัวบริเวณรอบๆ เป็นตัวชะล้างหินปูนส่วนที่หลุดร่อนออกมาแล้วได้ดี และนำไปทดลองปฏิบัติงานจริงโครงการศูนย์ทันตกรรมพระราชทาน สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้ากรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ณ โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านคลองน้อย อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยมีทันตแพทย์หญิง ฉัตฑริกา ฉัตรณรงค์ชัย เป็นผู้ทดสอบใช้งานจริง ได้ให้คำแนะนำและความเห็นเกี่ยวกับเครื่องขูดหินปูนคือการสั่นของปลายหัวขูด (P 10) อยู่ในเกณฑ์ที่ปานกลาง – ดีมาก มีน้ำที่ออกมาจากปลายหัวขูด อยู่ในปริมาณเหมาะสมทำให้เครื่องและด้ามจับที่ใส่หัวขูดหินปูน (Hand piece) ไม่ร้อนจนเกินไป แต่ถ้าใช้เป็นเวลานานเกินไปในกรณีที่หินน้ำลาย(หินปูน) เยอะมากๆ อาจเกิดความร้อนขึ้นบ้างเล็กน้อย โดยรวมประสิทธิภาพของเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคจัดสร้างนี้ค่อนข้างดีสำหรับการใช้ออกหน่วยทันตกรรมที่มีข้อจำกัดหลายๆ ด้านเช่น ระบบด้านน้ำ และระบบไฟฟ้า

5.3 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

5.3.1 วงจรผลิตความถี่ 25 กิโลเฮิรตซ์(kHz) โดยใช้ไอซีเบอร์ 4046B มียุ่งยากในการปรับสัญญาณความถี่เพื่อให้ตรงต่อการตอบสนองกับแผ่นโลหะของปลายหัวขูด (P 10) ถ้าไม่มีเครื่องออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) จะปรับสัญญาณความถี่ได้ยาก

5.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคทำได้ยากหากไม่ได้รับความอนุเคราะห์จากทันตแพทย์หญิง ฉัตฑริกา ฉัตรณรงค์ชัย ผู้ทดสอบใช้งานจริง ซึ่งท่านเป็นทันตแพทย์ศูนย์ทันตกรรมพระราชทาน คณะทันตแพทยศาสตร์ และหัวหน้าหน่วยวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล ที่อนุเคราะห์ให้ใช้ห้องปฏิบัติการเครื่องมือและอุปกรณ์ทางทันตกรรม ในการทดสอบต่างๆ

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 วงจรผลิตความถี่ 25 กิโลเฮิรตซ์(kHz) โดยใช้ไอซีเบอร์ 4046B มียุ่งยากในการปรับสัญญาณความถี่เพื่อให้ตรงต่อการตอบสนองกับแผ่นโลหะของปลายหัวขูด (P 10) ควรใช้ไอซีไมโครโปรเซสเซอร์ที่ควบคุมการผลิตความถี่โดยการเขียนโปรแกรมควบคุมย่านผลิตสัญญาณความถี่ได้ละเอียดกว่าไอซีเบอร์ 4046B

5.4.2 หากควรใช้ไอซีไมโครโปรเซสเซอร์ที่ควบคุมการผลิตความถี่โดยการเขียนโปรแกรมควบคุมย่านผลิตสัญญาณความถี่ จะสามารถสร้างสัญญาณความถี่ได้หลายย่าน ซึ่งอาจทำให้เครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคมีด้ามขูดหินปูน (Hand piece) ได้มากกว่าหนึ่งชุด เช่น ปลายหัว Insert (P5) , (P9) , (EWP-10(R&L)) , (P11(R&L)) , (P12) และ(EWP 12(R&L)

5.4.3 เอกสารรับรองเครื่องมืออุปกรณ์ทางการแพทย์ ของเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคสำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่นี้ อยู่ในขั้นตอนการยื่นขอเอกสารรับรองดังกล่าว

เอกสารอ้างอิง

[1] จาตุรนต์ ธรรมลิขิต, ธรรมรัตน์ สุวรรณแพทย์ และเรวัตร มากนาสัก, “เครื่องทันตกรรมเคลื่อนที่,” ปริญญานิพนธ์คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2549.

[2] Dentsply/Equipment Division., “Dentsply Bobcat Ultrasonic Scaler,” New York : Dentsply International, lnc 1993.

[3] สันติ ทองช้อย, ธรรมรัตน์ สุวรรณแพทย์ม, “คู่มือการดูแลบำรุงรักษายูนิตทำฟันเบื้องต้น,” คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2548.

[4] ชุมพล พุฒิทอง, ธรรมรัตน์ สุวรรณแพทย์, ไพรัตน์ กรีถาวร, พนา ดุสิตกร, “เครื่องขูดหินน้ำลายความถี่ 25 kHz”, วารสารนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร (2555)

[5] สุชาติ กังวารจิตต์. “หลักการทำงานเครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร.” กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2541.

[6] ชูชัย ธนสารตั้งเจริญ และ Advanced Engineering Group. “ทฤษฎีวงจรอิเล็กทรอนิกส์.” หจก. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2537.

[7] E-book-pubhtml5. (2017). ใบความรู้ที่ 14 มอสเฟต, Retrieved (2019, December 13) from: https://pubhtml5.com/ugnh/ablz/basic

[8] E-book-pubhtml5. (2017). ใบความรู้หน่วยที่ 11 วงจรขยายแบบต่างๆ, Retrieved (2019, December 13) from: https://pubhtml5.com/ugnh/voyd/basic

[9] Electronic Components Datasheet. (1995). HEF4046B, MSI Phase-Locked Loop, Retrieved (2019, September 12) from: https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/17713/PHILIPS/HEF4046B.html

[10] Electronic Components Datasheet. (1998). BUX80, High voltage silicon power transistor,Retrieved (2020, January 14) from: https://alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Bux80&gclid=CjwKCAjwm_P5BRAhEiwAwRzSO_I5ApM6P6sL8z_9VDt4PvautFA6spzfJYaMcWmvJWB9edjj8wwHfxoC0fMQAvD_BwE

[11] Electronic Components Datasheet. (2001). IRF3205, HEXFET® Power MOSFET,Retrieved (2020, January 14) from: https:// https://alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/68131/IRF/IRF3205.html

[13] ธนกร อยู่โต, “ออกแบบและสร้างเครื่องขูดหินปูนในช่องปากด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค”, ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยรังสิต, วันที่ ๒๘ เมษายน ๒๕๖๐, ณ มหาวิทยาลัยรังสิต จังหวัดปทุมธานี

[14] A. D. Walmsley. (2015) . Ultrasonics in dentistry, Retrieved (2016, February 25) from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389215001042

[15] Jun Xu., Helai Li and Bo You. (2009 Seplember 8) Design of Ultrasonic Scaler Based on Embedded Microcontroller. IEEE, Proceeding of APSCOM, 2009.

[16] Yutaka Maruyama., Masaya Takasaki., Tomonori Kutami and Takeshi Mizuno. (2007, July 1) Application of Ultrasonic Dental Scaler for Diagnosis. IEEE, Proceeding of APSCOM, 2007.

[17] วรทรรศ ฮวดค่วน, สิริพร สมุทรใหญ่, สุพัตรา กิจแสวง, “เครื่องล้างบัตรด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค”, (ปริญญานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2557)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
เอกสารที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
Conference Proceedings

ECTI-CARD 2018

การประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 10

ณ ศูนย์วัฒนธรรมภาคเหนือตอนล่าง วังจันทน์ ริเวอร์วิว จ.พิษณุโลก

26 - 29 มิถุนายน 2561

ECTI Association

NIMT

ECTI-CARD 2018

การประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 10

การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีเพื่อตอบสนองนโยบายประเทศไทย 4.0

วันที่ 26-29 มิถุนายน 2561
ณ ศูนย์วัฒนธรรมภาคเหนือตอนล่าง วังจันทน์ริเวอร์วิว
จังหวัดพิษณุโลก

จัดโดย

สมาคมวิชาการไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคม และสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยนเรศวร
สถาบันมาตรวิทยาแห่งประเทศไทย

วันศุกร์ที่ 29 มิถุนายน 2561 เวลา 9.00 – 11.00 น.

Section 31-A	ห้องปางอุบล	(Special Session) นวัตกรรมทางเทคโนโลยีในเชิงไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (1)						
	ประธาน	รศ.ดร. อภินันท์ อุรโสภณ (ม.มหาสารคาม)						
	รองประธาน	ผศ.ดร.ชัยวัฒน์ สากุล (มทร.ศรีวิชัย)						
	บทความ	1227	1228	1229	1230	1232	1233	1234	1235

Section 31-B	ห้องนิลบล	(Special Session) นวัตกรรมทางเทคโนโลยีในเชิงไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (2)						
	ประธาน	ผศ.ดร.ศิริวัฒน์ วสุนธราเจริญ (มทร.อีสาน)						
	รองประธาน	ผศ. ปองพล แสนสอน (มรภ.อุดรธานี)						
	บทความ	1236	1238	1240	1242	1243	1245	1246	1247

Section 31-C	ห้องกรณิกา 1	(Special Session) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้ากับภาคอุตสาหกรรม						
	ประธาน	ผศ.ดร.ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว (มทร.พระนคร)						
	รองประธาน	ผศ.ดร.พีรวัฒน์ วัฒนพงศ์ (มก.)						
	บทความ	1115	1062	1067	1077	1078	1148	1273	

Section 31-D	ห้องกรณิกา 2	(Special Session) การประยุกต์วิทยาการหุ่นยนต์และปัญญาประดิษฐ์						
	ประธาน	รศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล (สจล.)						
	รองประธาน	รศ.ดร.สุชาติ แย้มเม่น (ม.นเรศวร)						
	บทความ	1155	1258	1259	1260	1261	1262	1264	

Section 31-E	ห้องกรณิกา 3	(Special Session) การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเชิงประยุกต์						
	ประธาน	เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร (การทางพิเศษแห่งประเทศไทย)						
	รองประธาน	เอกรินทร์ เหลืองวิลัย (การทางพิเศษแห่งประเทศไทย)						
	บทความ	1266	1267	1268	1269	1271			

PID	เรื่อง/ผู้แต่ง	หน้า
1122	การศึกษาความชื้นสัมพัทธ์ที่มีผลกระทบต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	331
1123	การประยุกต์แนวคิดการจัดการศึกษาแบบ STEAM สำหรับนักศึกษาสายวิชาชีพครูสาขาอุตสาหกรรมศึกษา	335
1124	พัฒนาระบบควบคุมอปุกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคารด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย	339
1125	การสังเคราะห์วงจรกรองผ่านทุกความถี่อันดับหนึ่งสองโหมดด้วย CCCCTA	343
1126	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคการดึงความรู้จากข้อมูลที่เกิดจากการบันทึกไม่แน่นอน	347
1127	การพัฒนาระบบสอบเทียบอาร์เอฟเพาเวอร์มิเตอร์โดยใช้โปรแกรม LabVIEW	351
1130	ระบบอาร์เอฟไอดีต้นทุนต่ำโดยอาศัยอินเตอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งสำหรับการแข่งวิ่งมินิมาราธอน	355
1131	การออกแบบสื่อประกอบการเรียนการสอนบทกลอนในรายวิชาภาษาไทยสำหรับเด็กระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 4	359
1132	การออกแบบ และพัฒนาเครื่องอัดถ่านชีวมวลในรูปแบบเกลียวอัดเย็นจากเศษวัสดุเหลือใช้ ในกระบวนการผลิตกาแฟ	363
1133	การพัฒนาชุดฝึกการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ด้วยบอร์ดไมโครบิต	367
1134	การพัฒนาการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โดยใช้สะเต็มศึกษา	371
1135	บ้านอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยี IoT และ Amazon Cloud	375
1141	The Automatic Control system for Plant nursery under LED Light Using Microcontroller	379
1142	การแบ่งชั้นในภาพชั้นวางหนังสือด้วยทิศทางของเกรเดียนต์	383
1148	การปรับปรุงเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคสำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่	387
1149	แบบจำลองโมบายแอพพลิเคชันแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวด้วยรหัสคิวอาร์ กรณีศึกษา สถานที่ท่องเที่ยวใน อำเภอเมือง จังหวัดน่าน	391
1151	การปรับปรุงประสิทธิภาพกรผลิตการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตในกระบวนการผลิตทองคำเปลวในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก	395
1152	การสื่อสารด้วยบีม อนาคตแห่งการสื่อสารไร้สายในยุกที่ 5 (5G) (Invited)	399
1153	เครื่องถ่ายภาพยาในสภาวะแวดล้อมแบบปิดเพื่อเก็บคุณลักษณะเฉพาะของยาปฏิชีวนะ	403
1154	ระบบวัดและจัดกลุ่มขนาดปลาช่อนอัตโนมัติโดยอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลภาพจากกล้องวีดีทัศน์สำหรับอุตสาหกรรมการประมงน้ำจืดขนาดเล็ก	407
1155	การศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องชั่งน้ำหนักพร้อมวัดส่วนสูงดิจิตอลไร้สาย	411
1156	ระบบควบคุมการเข้าออกสำหรับองค์กรด้วยบอร์ดราสเบอรี่พาย	415
1157	ระบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ โรงเรือนเพาะเห็ดขอนขาวผ่านเว็บบราวเซอร์	419
1158	Conthea: ระบบช่วยสื่อสารในทีมงานละครเวที	423
1159	ระบบจัดตารางสอนบนเว็บไซต์สำหรับโรงเรียน	427
1160	กลยุทธ์การอ่านข้อมูลหลายแทร็กด้วยหัวอ่านเดียวในระบบการบันทึก ข้อมูลเชิงแม่เหล็กบิตแพทเทิร์นมีเดีย	431
1161	การจำแนกเสียงวรรณยุกต์ด้วยสัมประสิทธิ์พหุนามของคาบเวลาพิตช์	435

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 10

10th ECTI-CARD 2018, Phitsanulok Thailand

การปรับปรุงเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคสำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่

Improvement of the Ultrasonic Scaler for Mobile Dental Unit

อนุพงษ์ คงแก้ว นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ และสาคร วุฒิพัฒนพันธุ์

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

เลขที่ 1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800 โทรศัพท์ 02-836300 E-mail: nattachotc.r@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการแก้ไขปัญหาความร้อนของวงจรในเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคสำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่ การทำงานของวงจรเครื่องขูดหินปูนจะใช้วงจรกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าความถี่ 25 kHz นำมาขยายสัญญาณแรงดันและกระแสเพื่อป้อนให้กับหัวขูดหินปูน ซึ่งวงจรที่ใช้เกิดจากนำเอาหลักการของวงจรเฟสล็อกลูป เป็นตัวผลิตความถี่ของสัญญาณให้ทำงานร่วมกับวงจรขยายสัญญาณแบบดาร์ลิงตันที่ใช้ทรานซิสเตอร์ โดยเลือกแก้ปัญหาด้านความร้อนของทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวด้วยการใช้ตัวระบายความร้อนแบบอลูมิเนียมและชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ เพื่อพิสูจน์ผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาเรื่องความร้อนที่นำเสนอ จึงทำการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิของทรานซิสเตอร์และระยะเวลาทำงานได้แต่ละครั้ง ทั้งของเครื่องขูดหินปูนเดิมและเครื่องขูดหินปูนที่ปรับปรุงแล้ว

คำสำคัญ: เครื่องขูดหินปูน, วงจรกำเนิดสัญญาณ, ทรานซิสเตอร์

Abstract

This paper presents the thermal solution of the Ultrasonic scaler circuit in mobile dental unit. The operation of the scaler circuit uses a 25 kHz signal generator, which amplifies the voltage and current signals for feed to the head of scaler. This circuit is based on the use of a phase-locked loop circuit as a signal-frequency generator to work with Darlington-based transistors. Choosing the two transistor thermal solutions with the use of a aluminum heat sink and a water cooling set. Transistor's temperature / working-time of the traditional scaler and improved scaler are compared in to prove the results of the proposed heat solution.

Keyword: scaler, signal generator, transistor

1. บทนำ

ปัจจุบันการออกให้บริการรักษาผู้ป่วยทางทันตกรรมของโครงการหน่วยทันตกรรมพระราชทานฯ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลตามท้องถิ่นทุรกันดารเป็นไปด้วยความยากลำบาก ไม่ว่าจะในทางด้านการเดินทาง ด้านสาธารณูปโภคต่างๆ หรือแม้แต่พื้นที่สำหรับการรักษาผู้ป่วย ซึ่งสิ่งสำคัญที่สุดในการให้บริการรักษาผู้ป่วยทางทันตกรรมนั้นคือชุดทันตกรรมเคลื่อนที่ และทันตแพทย์มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องมือดังกล่าวในการรักษาผู้ป่วย โดยชุดทันตกรรมเคลื่อนที่นี้ประกอบไปด้วย ชุดกรอฟัน และชุดขูดหินปูน ซึ่งถือว่าเป็นหัวใจหลักในการรักษาผู้ป่วยทางทันตกรรม โดยต้องสมรรถนะที่ดี และมีความสะดวกในการใช้งาน

โดยในส่วนของชุดขูดหินปูนของชุดทัตกรรมเคลื่อนที่ [1] ยังมีข้อบกพร่องในเรื่องความร้อนสะสมที่ตัวทรานซิสเตอร์ของวงจรขยายสัญญาณ ทำให้ระยะเวลาในการใช้งานแต่ละครั้งได้ประมาณ 1 ชั่วโมง ซึ่งถือว่ายังสั้นเกินไป

จากปัญหาดังกล่าวจึงมีแนวคิดในการแก้ไขเรื่องความร้อนสะสมของตัวทรานซิสเตอร์สองตัวในวงจรเครื่องขูดหินปูน โดยทรานซิสเตอร์ตัวแรกแก้ปัญหาด้วยตัวระบายความร้อนแบบอลูมิเนียม ส่วนทรานซิสเตอร์ตัวที่สองใช้ชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ ซึ่งจะช่วยให้ระยะเวลาการทำงานในแต่ละครั้งของเครื่องขูดหินปูนนานขึ้นกว่าเดิม

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการทำงานของเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค

เครื่องขูดหินปูนชนิดนี้จะอาศัยคลื่นสั่นสะเทือนอัลตร้าโซนิค (Ultrasonic Vibration) [2] ซึ่งเป็นคลื่นสั่นสะเทือนที่มีความถี่สูงกว่าความถี่ของมนุษย์ที่สามารถรับฟังได้ คือสูงกว่า 25 kHz เครื่องขูดหินปูนที่ใช้กันอยู่จะมีความถี่ในการสั่นที่ปลายหัวขูดอยู่ระหว่าง 25 – 42 kHz และแอมพลิจูดในการสั่นอยู่ระหว่าง 0.006 – 0.01 มิลลิเมตร เครื่องขูดหินปูนดังกล่าวมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ด้วยกันสองส่วนคือ

1. ส่วนของตัวเครื่องผลิตความถี่ไฟฟ้า (Generator)
2. ด้ามจับ (Hand piece)

โดยตัวเครื่องผลิตความถี่ไฟฟ้าจะทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าที่มีใช้อยู่ในบ้านที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับให้มีความถี่สูงมาก (มากกว่า 20000 เฮิรตซ์) หรือเรียกว่ากระแสไฟฟ้าที่ความถี่อัลตร้าโซนิค และแรงดันที่ลดต่ำลงมาจากนั้นจึงส่งต่อไปยังด้ามขูดซึ่งตัวด้ามขูดจะมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ทำด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนและมีขดลวดฝังอยู่ภายในแบ่งได้เป็นสองแบบ คือ

แบบที่ 1 หัวขูดและแท่งทรานสดิวเซอร์เป็นชิ้นเดียวกัน เวลาเปลี่ยนหัวขูดต้องถอดออกไปทั้งแท่ง

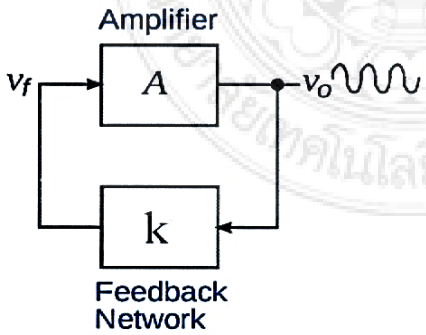
แบบที่ 2 หัวขูดไม่ติดกับแท่งทรานสดิวเซอร์สามารถถอดเปลี่ยนเฉพาะหัวขูด กระแสไฟฟ้าจะถูกส่งออกมาจากเครื่องผลิตความถี่อัลตร้าโซนิคไปยังขดลวดที่อยู่ภายในด้ามขูด เมื่อแท่งทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ได้รับความถี่อัลตร้าโซนิคก็จะทำให้แท่งทรานสดิวเซอร์เกิดการยืดและหดตามความถี่นั้นจึงทำให้เกิดการสั่นสะเทือนนั่นเอง

เพื่อเพิ่มการยืดหดที่ว่านี้ให้มีมากขึ้น จึงมีการผ่านกระแสไฟฟ้าชนิดตรงเข้าไปประจำอยู่ขดลวดก่อนหน้าที่กระแสไฟฟ้าอัลตร้าโซนิคจะผ่านเข้าไป

2.2 วงจรกำเนิดสัญญาณ

ด้านระบบสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ หรือในการทดลองต่างๆ นิยมใช้สัญญาณไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณซายน์ [3] การผลิตสัญญาณซายน์เพื่อใช้งานเราจะใช้วงจรผลิตสัญญาณซายน์ ซึ่งเรียกว่า วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) วงจรนี้จะผลิตสัญญาณซายน์ได้โดยไม่ต้องใช้สัญญาณอินพุตจากภายนอก แต่จะใช้สัญญาณเริ่มต้นในการกำเนิดสัญญาณจากแหล่งจากไฟเลี้ยงของวงจร โดยสัญญาณซายน์ที่กำหนดนี้ความถี่และแอมปลิจูดของสัญญาณสามารถกำหนดได้จากความต้องการของผู้ใช้

วงจรออสซิลเลเตอร์จะประกอบด้วยสองส่วนหลักๆคือส่วนวงจรขยาย (Amplifier) และส่วนโครงข่ายป้อนกลับ (Feedback Network) ดังบล็อกไดอะแกรมที่แสดงในรูปที่ 1

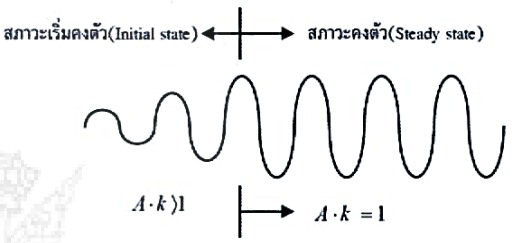


รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรออสซิลเลเตอร์

เมื่อเริ่มจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงให้กับวงจรออสซิลเลเตอร์จะมีสัญญาณป้อนเข้าที่อินพุตของโครงข่ายป้อนกลับ วงจรนี้ทำหน้าที่เลือกความถี่จากสัญญาณไฟฟ้าที่มีส่วนประกอบความถี่อยู่มากมาย ออกมาที่เอาต์พุต สัญญาณนี้จะถูกขยายด้วยวงจรขยายจนมีแอมปลิจูดสูงขึ้น และสัญญาณนี้จะถูกขยายไปเรื่อยๆจนแอมปลิจูดคงที่ที่ค่าๆหนึ่งที่จุดนี้เราเรียกว่า สภาวะคงตัว (Steady state) โดยมีเงื่อนไข ตามสมการ (1)

$$A \cdot k = 1 \qquad (1)$$

เงื่อนไขตามสมการ (1) เรียกว่า Barkhausen Criterion ซึ่งเป็นเงื่อนไขของวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ต้องกำหนดให้เป็นไปตามนั้น เพื่อให้ได้การกำเนิดสัญญาณที่มีแอมพลิจูดคงที่ตามรูปที่ 2

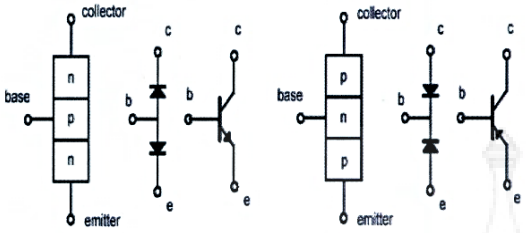


รูปที่ 2 แอมพลิจูดของสัญญาณที่ได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์

ในทางปฏิบัติเราจะมองไม่เห็นสัญญาณเริ่มต้นโดยมองเห็นเฉพาะช่วงสภาวะคงตัว ($A \cdot k = 1$) เท่านั้น นอกจากจะใช้เครื่องมือพิเศษในการวัด ดังนั้นเมื่อเปิดไฟเลี้ยงให้วงจรแล้วใช้ออสซิลโลสโคปวัด ที่เอาต์พุต จึงเห็นเฉพาะสัญญาณรูปคลื่นซายน์ที่สภาวะคงตัวเอาต์พุตดังรูปที่ 2 เท่านั้น ดังนั้นจะเห็นว่าโครงข่ายป้อนกลับจะเป็นตัวเลือกความถี่ของรูปคลื่นซายน์ในทางปฏิบัติแล้ว วงจรส่วนนี้คือตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่กำหนดค่าเพื่อเลือกความถี่ได้ ส่วนวงจรขยายนั้น อาจจะสร้างจากทรานซิสเตอร์หรือออปแอมป์ก็ได้ แต่ในการทดลองนี้เป็นการใช้ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์หลักในการทดลอง ดังนั้นจึงขอกล่าวเฉพาะวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ออปแอมป์เท่านั้น ซึ่งโดยทั่วไปมีอยู่สามชนิดคือ เลื่อนเฟส ทวินที และทวินบริดจ์

2.3 ลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์

ทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์ (Bipolar Junction Transistor: BJT) [4] เป็นอุปกร์สารกึ่งตัวนำที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำซิลิกอน (Si) หรือเจอร์มาเนียม(Ge) โดยประกอบด้วยชั้น (Layer) ของสารกึ่งตัวนำที่โดปแล้ว ชนิด –P สองชั้น และชนิด –N หนึ่งชั้น หรือสารกึ่งตัวนำ ชนิด –P หนึ่งชั้น และชนิด –N สองชั้น ซึ่งจะเรียกว่า ทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์แบบ PNP หรือ NPN ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 3



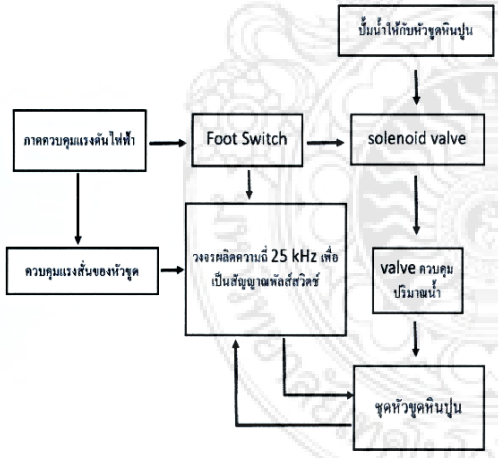
รูปที่ 3 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์

การทำงานของทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์ขึ้นอยู่กับการไบแอสรอยต่อ P-N ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างขา B และ E ทำให้มีลักษณะเหมือนกับการไบแอสไดโอดที่จะมีกระแสไหลต่อเมื่อได้รับไบแอสตรง และไม่มีกระแสไหลต่อเมื่อได้รับไบแอสกลับ

3. การออกแบบ

3.1 รูปแบบการทำงานของเครื่องขูดหินปูน

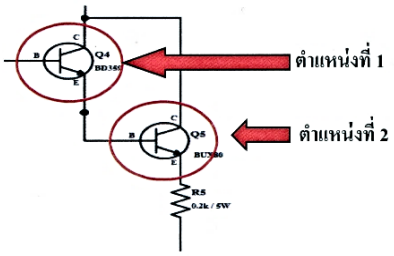
รูปแบบการทำงานของเครื่องขูดหินแบบอัลตร้าโซนิค สามารถอธิบายได้ด้วยผังการทำงานดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมการทำงานเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค

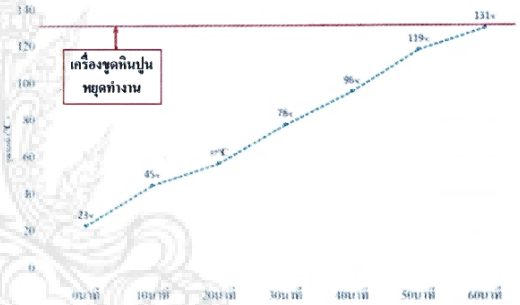
3.2 วงจรขยายสัญญาณ

ภายในวงจรขยายสัญญาณจะทรานซิสเตอร์จำนวนสองตัวต่อกันแบบดาร์ลิงตันเพื่อขยายสัญญาณแรงดันและกระแสสำหรับป้อนให้กับหัวขูดหินปูนซึ่งทำให้เกิดความร้อนขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตำแหน่งความร้อนที่เกิดขึ้นกับทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัว

ขณะที่เปิดใช้งานเครื่องขูดหินปูนเป็นเวลา 60 นาที พบว่าทรานซิสเตอร์ตำแหน่งที่ 1 มีอุณหภูมิประมาณ 60°C ตัวมันจึงอุ่นๆและยังคงทำงานได้ตามปกติ ส่วนตัวทรานซิสเตอร์ตำแหน่งที่ 2 เกิดความร้อนสะสมสูงขึ้นมากโดยมีอุณหภูมิประมาณ 130°C ดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 6 ทำให้เครื่องขูดหินปูนจำเป็นต้องหยุดการทำงาน

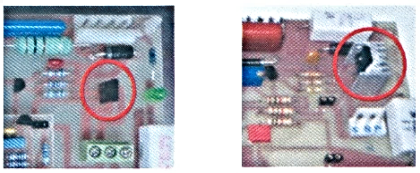


รูปที่ 6 อุณหภูมิทรานซิสเตอร์ตำแหน่งที่ 2 ของวงจรขยายสัญญาณ

4. รูปแบบการปรับปรุงและผลการทดสอบ

4.1 รูปแบบการปรับปรุงด้านการระบายความร้อน

เมื่อใช้งานไป 1 ชั่วโมง ทรานซิสเตอร์ตำแหน่งที่ 1 มีอุณหภูมิไม่สูงมากและมีพื้นที่จำกัด จึงเลือกระบายความร้อนด้วยตัวระบายความร้อนแบบอลูมิเนียมดังแสดงในรูปที่ 7 ส่วนทรานซิสเตอร์ตำแหน่งที่ 2 มีอุณหภูมิสูงมากและมีพื้นที่เหลือจึงเลือกระบายความร้อนด้วยชุดระบายความร้อนด้วยน้ำดังแสดงในรูปที่ 8



ก่อนปรับปรุง **หลังปรับปรุง**

รูปที่ 7 ระบายความร้อนด้วยตัวระบายความร้อนแบบอลูมิเนียม

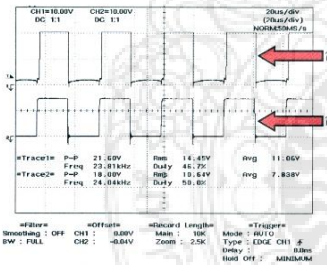
รูปที่ 8 ระบายความร้อนด้วยชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ

4.2 ผลการทดสอบ

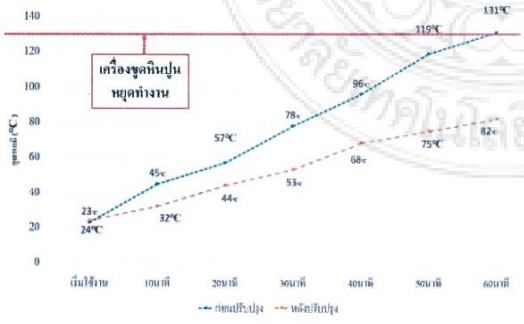
ค่าความถี่ของวงจรออสซิลเลเตอร์ที่วัดได้ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงการระบายความร้อนของทรานซิสเตอร์ในวงจรขยายสัญญาณไม่มีผลต่างจากเดิมได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 รูปคลื่นสัญญาณอ้างอิงและสัญญาณเอาต์พุตของวงจรชุดขุดหินปูนเมื่อปรับปรุงด้านการระบายความร้อนแล้วยังคงเดิมได้แสดงไว้ในรูปที่ 9 อุณหภูมิของทรานซิสเตอร์ตำแหน่งที่ 2 เมื่อเทียบกับเวลาใช้งานทั้งก่อนและหลังปรับปรุงได้แสดงไว้ดังกราฟในรูปที่ 10 ส่วนระยะเวลาที่เครื่องขุดหินปูนสามารถทำงานได้ต่อเนื่องทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงได้แสดงไว้ดังกราฟในรูปที่ 11

ตารางที่ 1 ความถี่ออสซิลเลเตอร์ก่อนและหลังปรับปรุงเรื่องความร้อน

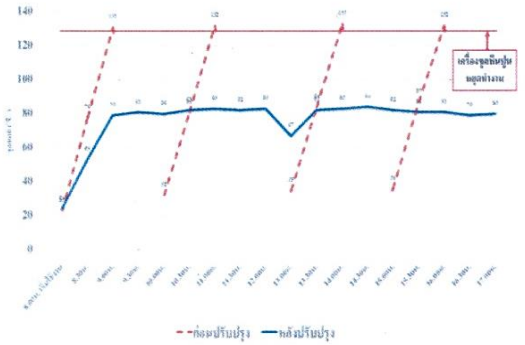
ความต้านทาน	ความถี่ก่อนปรับปรุง	ความถี่หลังปรับปรุง
5 K Ω	24.05 kHZ	24.08 kHZ
4 K Ω	24.01 kHZ	24.04 kHZ
3 K Ω	23.97 kHZ	24.02 kHZ



รูปที่ 9 สัญญาณที่ออกจากวงจรชุดหัวขุดหินปูนหลังปรับปรุง



รูปที่ 10 อุณหภูมิของทรานซิสเตอร์ตำแหน่งที่ 2 ก่อนและหลังปรับปรุง



รูปที่ 11 ระยะเวลาที่เครื่องขุดหินปูนทำงานได้ก่อนและหลังการปรับปรุง

5. สรุป

เครื่องขุดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคสำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่ ที่ปรับปรุงด้วยการแก้ปัญหาเรื่องความร้อนของทรานซิสเตอร์สองตัวที่ต่อแบบดาร์ลิงตันในวงจรขยายสัญญาณตามที่เสนอในบทความนี้ทำให้เกิดผลดี คือทรานซิสเตอร์ตำแหน่งที่ 2 สามารถลดอุณหภูมิลงได้ถึง 50°C และจะเห็นได้ว่าเครื่องขุดหินปูนก่อนปรับปรุงจะใช้งานต่อเนื่องได้เพียง 4 ชั่วโมงต่อวัน แต่เมื่อปรับปรุงแล้วสามารถใช้งานต่อเนื่องได้ประมาณ 8 ชั่วโมงต่อวัน โดยที่สัญญาณเอาต์พุตและค่าความถี่ที่จ่ายให้หัวขุดหินปูนยังคงเหมือนเดิม

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนการวิจัย และ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่เอื้อเฟื้อด้านห้องปฏิบัติการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] จาตุรนต์ธรรมลิขิต, ธรรมรัตน์ สุวรรณแพทย์ และ เรวัตร มากนาสัก, "เครื่องทันตกรรมเคลื่อนที่," ปริญญานิพนธ์คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2549.

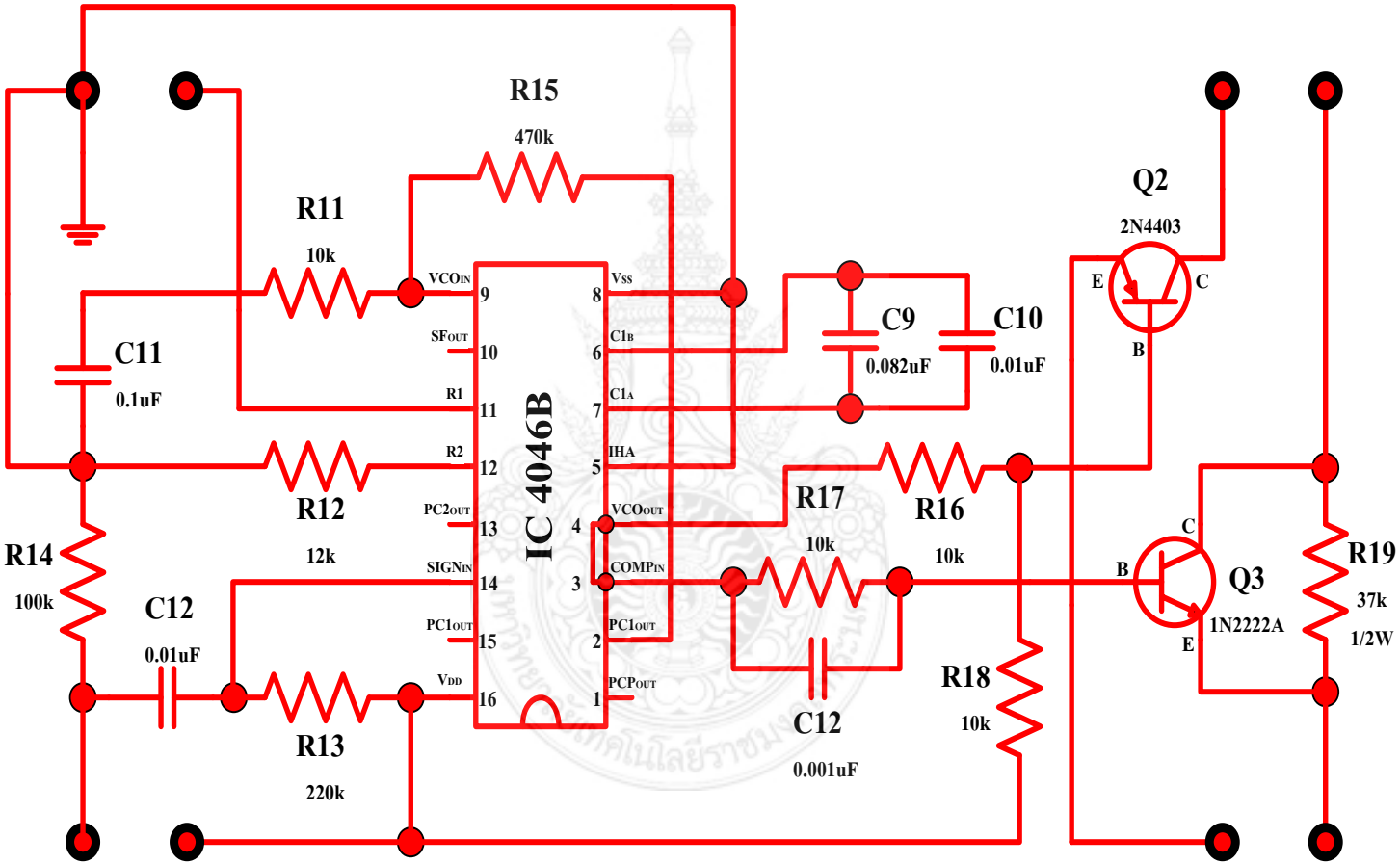
[2] สันติ ทองช้อย และ ธรรมรัตน์ สุวรรณแพทย์ม, "คู่มือการดูแลบำรุงรักษา ยูนิตทำฟันเบื้องต้นม," คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, หน้าที่ 33, 2548.

[3] มนตรี ศิริปรัชญานันท์ม, "ปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์วิศวกรรม 2," ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2555.

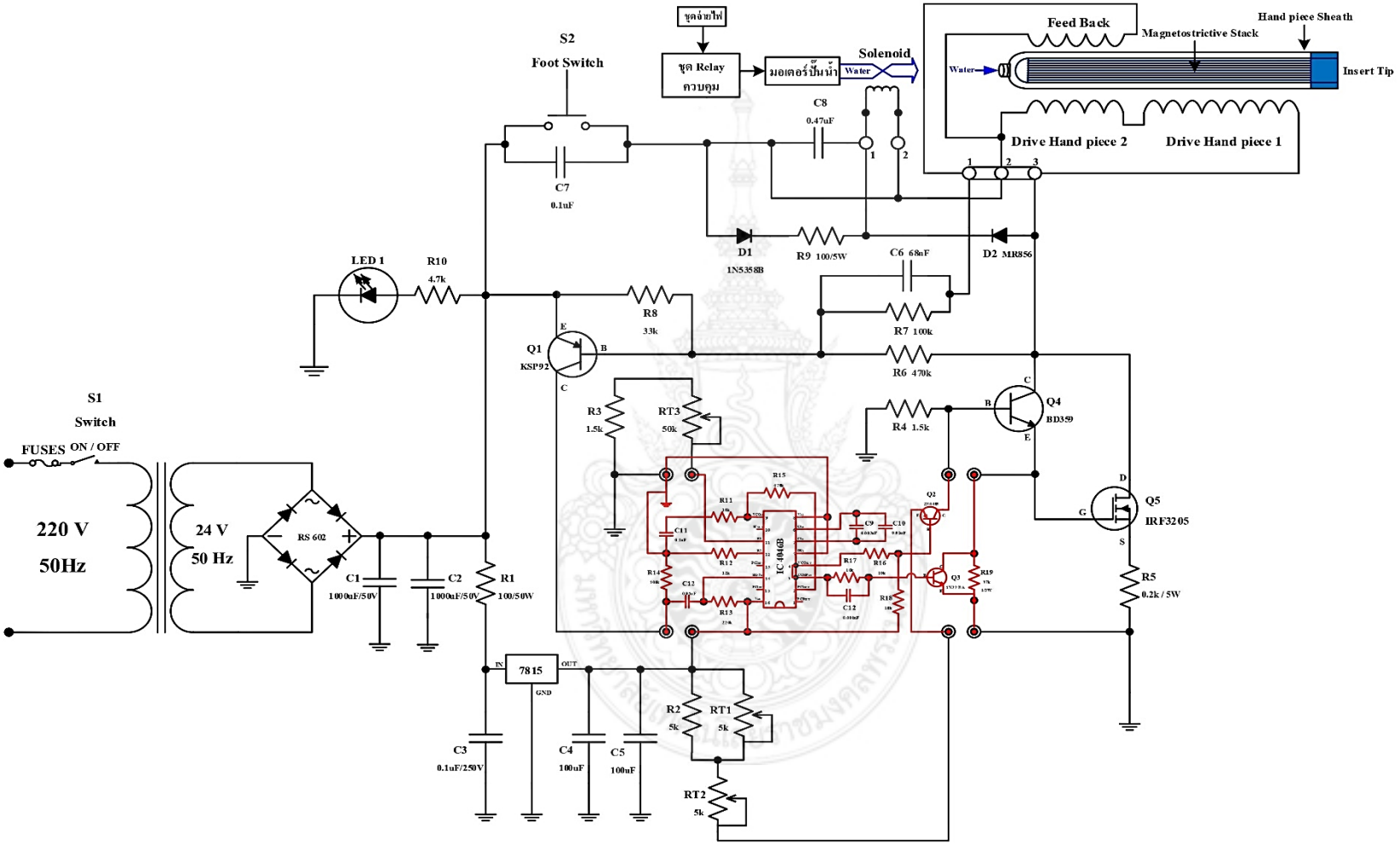
[4] มนตรี ศิริปรัชญานันท์ม, "ปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์วิศวกรรม 1," ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2554.

ภาคผนวก ข.

วงจรภาคต่างของเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคสำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่

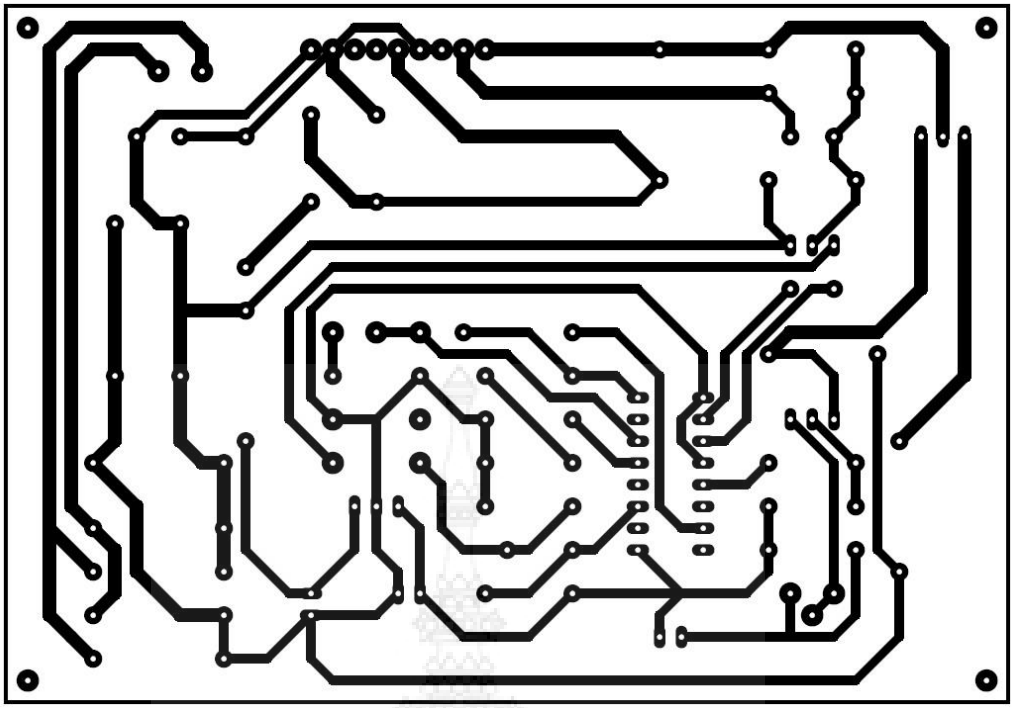


ภาพที่ ข-1 วงจรภาคผลิตความถี่ 25 กิโลเฮิรตซ์(kHz) โดยใช้ไอซีเบอร์ 4046B

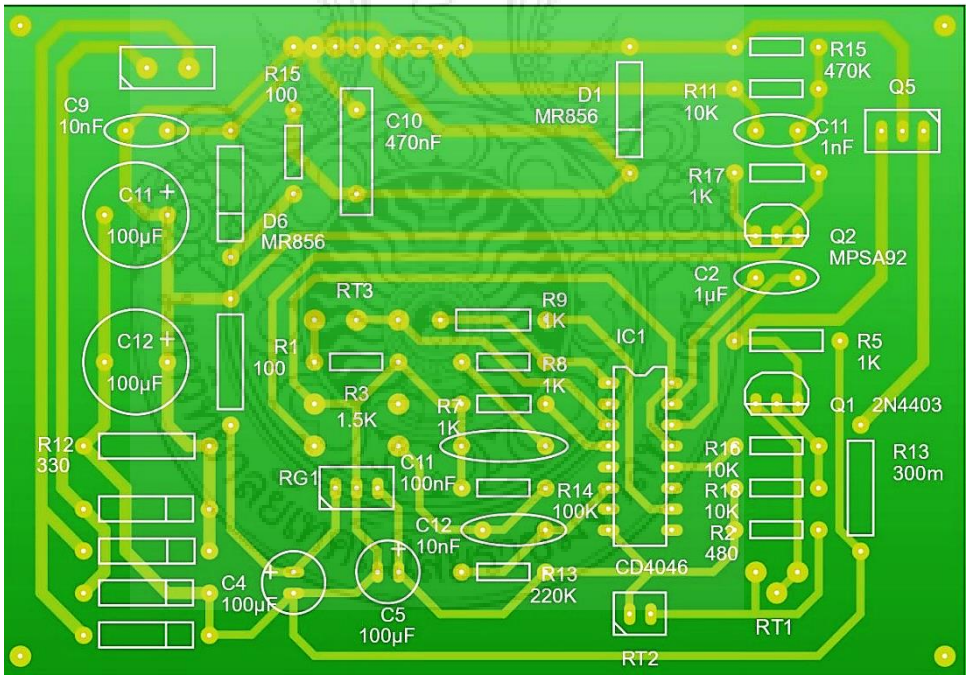


ภาพที่ ข-2 วงจรภาครวมของเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค (ULTASONIC SCALER)

ภาคผนวก ค.
ตำแหน่งการวางอุปกรณ์และลายทองแดง



ภาพที่ ค-1 ลายวงจรทองแดงบอร์ดภาคแรงดันควบคุมสัญญาณความถี่ 25 กิโลเฮิรตซ์(kHz)

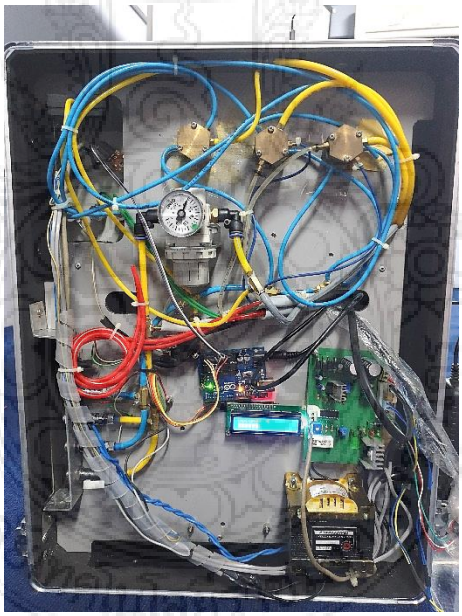


ภาพที่ ค-2 การวางอุปกรณ์บนบอร์ดวงจรแรงดันควบคุมสัญญาณความถี่ 25 กิโลเฮิรตซ์(kHz)

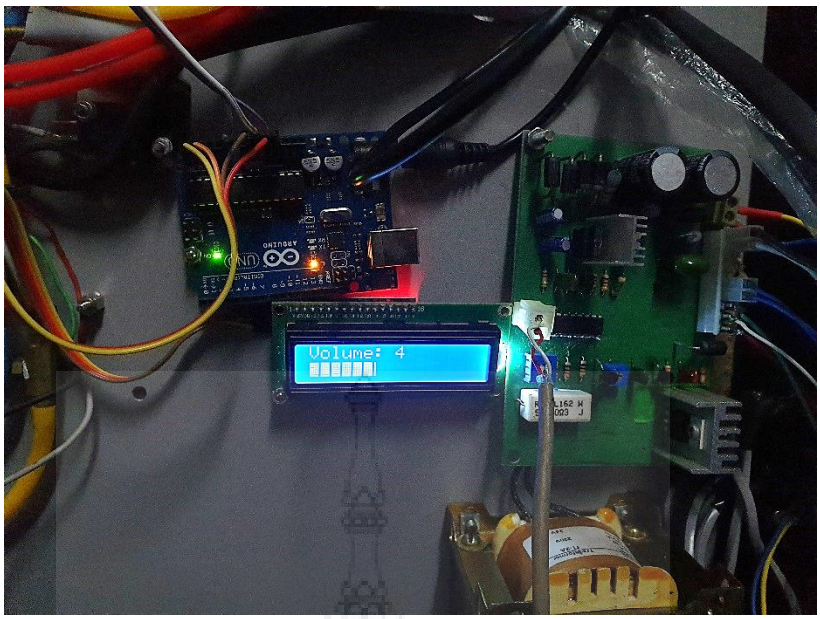
ภาคผนวก ง.

ภาพของวิทยานิพนธ์ที่เสร็จสมบูรณ์และกำหนดการเดินทางปฏิบัติงานโครงการศูนย์ทันตกรรมพระราชทานสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

ภาพที่ ง-1 แสดงเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคติดตั้งในชุดทันตกรรมเคลื่อนที่



ภาพที่ ง-2 แสดงเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคติดตั้งในชุดทันตกรรมเคลื่อนที่



ภาพที่ ง-3 แสดงเครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิคติดตั้งในชุดทันตกรรมเคลื่อนที่

กำหนดการเดินทางและปฏิบัติงาน
โครงการศูนย์ทันตกรรมพระราชทานสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ
สยามบรมราชกุมารี
ครั้งที่ ๑๒/๒๕๖๒
ระหว่างวันที่ ๑๕ – ๑๗ มกราคม ๒๕๖๓ ณ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

.....

วันพุธที่ ๑๕ มกราคม พ.ศ.๒๕๖๓

อาสาสมัครเจ้าหน้าที่

๐๖.๐๐ น. เดินทางจากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยรถยนต์หน่วยทันตกรรมพระราชทานฯ

๑๐.๐๐ น. เดินทางถึงโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านคลองน้อย อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เพื่อจัดเตรียมสถานที่ ติดตั้งอุปกรณ์และเตรียมความพร้อมในการรักษาทางทันตกรรม

อาสาสมัครทันตแพทย์

๐๗.๐๐ น. เดินทางจากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยรถยนต์หน่วยทันตกรรมพระราชทานฯ

๑๑.๐๐ น. เดินทางถึงโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านคลองน้อย อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

อาสาสมัครทันตแพทย์และอาสาสมัครเจ้าหน้าที่

๑๓.๐๐ น. ปฏิบัติงานรักษาทางทันตกรรม ณ โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านคลองน้อย อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

๑๖.๓๐ น. เสร็จสิ้นการปฏิบัติงานบริการทันตกรรม

๑๘.๐๐ น. เข้าที่พัก ณ ไร่ทวีกาญจน์

วันพฤหัสบดีที่ ๑๖ มกราคม พ.ศ.๒๕๖๓ (รับเสด็จฯ)

อาสาสมัครเจ้าหน้าที่

๐๖.๓๐ น. เดินทางจากที่พักเพื่อจัดเตรียมสถานที่ และเตรียมความพร้อมในการรักษาทางทันตกรรม ณ โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านคลองน้อย อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

อาสาสมัครทันตแพทย์

๐๗.๐๐ น. เดินทางจากที่พักไปโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านคลองน้อย อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ภาพที่ ง-4 แสดงกำหนดการเดินทางและปฏิบัติงานโครงการศูนย์ทันตกรรมพระราชทานสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

อาสาสมัครทันตแพทย์และอาสาสมัครเจ้าหน้าที่

๐๘.๐๐ น. ปฏิบัติงานรักษาทางทันตกรรม ณ โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านคลองน้อย อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

๑๓.๐๐ น. ร่วมรับเสด็จฯ สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี ในการเสด็จพระราชดำเนินติดตามความก้าวหน้าของโครงการตามแนวพระราชดำริฯ ณ โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านคลองน้อย อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

๑๘.๐๐ น. เข้าที่พัก ณ ไร่ทวีกาญจน์

วันศุกรที่ ๑๗ ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๖๒

อาสาสมัครเจ้าหน้าที่

๐๗.๐๐ น. เดินทางจากที่พักเพื่อจัดเตรียมสถานที่ และเตรียมความพร้อมในการรักษาทางทันตกรรม ณ โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านคลองน้อย อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

อาสาสมัครทันตแพทย์

๐๗.๓๐ น. เดินทางจากที่พักไปโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านคลองน้อย อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

อาสาสมัครทันตแพทย์และอาสาสมัครเจ้าหน้าที่

๐๘.๐๐ น. ปฏิบัติงานรักษาทางทันตกรรม ณ โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านคลองน้อย อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

๑๑.๓๐ น. เสร็จสิ้นการปฏิบัติงานบริการทันตกรรม

๑๓.๓๐ น. เดินทางกลับคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

****

ภาพที่ ง-5 แสดงกำหนดการเดินทางและปฏิบัติงานโครงการศูนย์ทันตกรรมพระราชทานสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

ภาพที่ ง-6 แสดงปฏิบัติงานโครงการศูนย์ทันตกรรมพระราชทานสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

ภาพที่ ง-7 แสดงปฏิบัติงานโครงการศูนย์ทันตกรรมพระราชทานสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

ภาพที่ ง-8 แสดงปฏิบัติงานโครงการศูนย์ทันตกรรมพระราชทานสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

ภาพที่ ง-9 แสดงปฏิบัติงานโครงการศูนย์ทันตกรรมพระราชทานสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

ใบบันทึกผลการทดลองใช้ เครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค สำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่

วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ลำดับ	วัน/เดือน/ปี	ผลการใช้งาน	ทันตแพทย์	หมายเ
1	15-1-63	- เครื่องมีแรงในการขูด ปานกลาง - ถึงมาก ~~ขึ้นปานนี้~~ หัวน้ำสายสามารถล็อกได้ง่าย ขึ้นเมื่อขูด	ฉัตทริก	
2	16-1-63	แต่ถ้าหินกรณีที่หินน้ำลายที่เหนียวมาก อาจจะต้องใช้ เครื่องมือที่ใช้สำหรับขูดง่าย - หัวท่อออกมีปริมาณเหมาะสม ทำให้เครื่องไม่	ฉัตทริก	
3	17-1-63	ร้อนจนเกินไป (แต่ถ้าใช้เป็นเวลานานเกินไป (ในกรณีที่หินน้ำลายเยอะมาก) อาจจะเกิดเครื่องร้อน ขึ้นมาได้บ้างค่ะ	ฉัตทริก.	
4				
5				
6				
7				

สรุปผล

โดยรวม พบว่าประสิทธิภาพด้านต่างๆ สำหรับ การใช้ออกหน่วยทันตกรรม ที่มีความจำกัดในหลายๆด้าน เช่น ห้าม ไฟฟ้า ค่ะ

ลงชื่อ ฉัตทริก ฉัตรณรงค์ชัย

(ทพญ.ฉัตทริกา ฉัตรณรงค์ชัย ท.16393)

โทร 095-773-3180

ภาพที่ ง-10 แสดงใบบันทึกผลการทดลองใช้ เครื่องขูดหินปูนแบบอัลตร้าโซนิค สำหรับชุดทันตกรรมเคลื่อนที่

ภาคผนวก จ.
รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

```
#include<LiquidCrystal_I2C.h> //นำเข้าชุดคำสั่ง LCD
#include <LcdBarGraphRobojax.h> //นำเข้าชุดคำสั่งแสดงผลบาร์กราฟ
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); //เรียกใช้ lcd กำหนดให้ตำแหน่ง Register 0x27 16 คอลัมน์
2 แถว
LcdBarGraphRobojax lbg(&lcd, 16, 0, 1); //กำหนดตัวแปรเรียกใช้งานบาร์กราฟ

void setup() {
  Serial.begin(9600); //สั่งให้เชื่อมต่อผ่าน USART
  lcd.begin(); //เริ่มเชื่อมต่อจอ lcd
  lcd.clear(); //ล้างหน้าจอ lcd
  lcd.print("Volume: "); //แสดงคำว่า Volume และ :
}

void loop() {
  int val = analogRead(A0); //อ่านค่าอนาล็อกจาก POT เก็บไว้ในตัวแปร val
  lbg.drawValue(val, 705); //กำหนดการแสดงผลบาร์กราฟ ให้อ่านค่า val สูงสุด 705 ->
ค่าสูงสุดที่อ่านได้
  int display_val = map(val,0,705,1,10); //map ค่า POT กับ 1 ถึง 10
  lcd.setCursor(8,0); //กำหนดเคอเซอร์จอที่ ตำแหน่ง อักษร 9 แถวที่ 1
  lcd.print("        "); แสดงผลค่าว่าง
  lcd.setCursor(8,0); //กำหนดเคอเซอร์จอที่ ตำแหน่ง อักษร 9 แถวที่ 1
  lcd.print(display_val); //แสดง display_val (1 ถึง 10)
  delay(500); //หน่วงเวลา 500 ms
}
```

INTEGRATED CIRCUITS

DATA SHEET

For a complete data sheet, please also download:

- The IC04 LOCMOS HE4000B Logic Family Specifications HEF, HEC
- The IC04 LOCMOS HE4000B Logic Package Outlines/Information HEF, HEC

HEF4046B
MSI
Phase-locked loop

Product specification
File under Integrated Circuits, IC04

January 1995

Philips Semiconductors

PHILIPS

DESCRIPTION

The HEF4046B is a phase-locked loop circuit that consists of a linear voltage controlled oscillator (VCO) and two different phase comparators with a common signal input amplifier and a common comparator input. A 7 V regulator (zener) diode is provided for supply voltage regulation if necessary. For functional description see further on in this data.

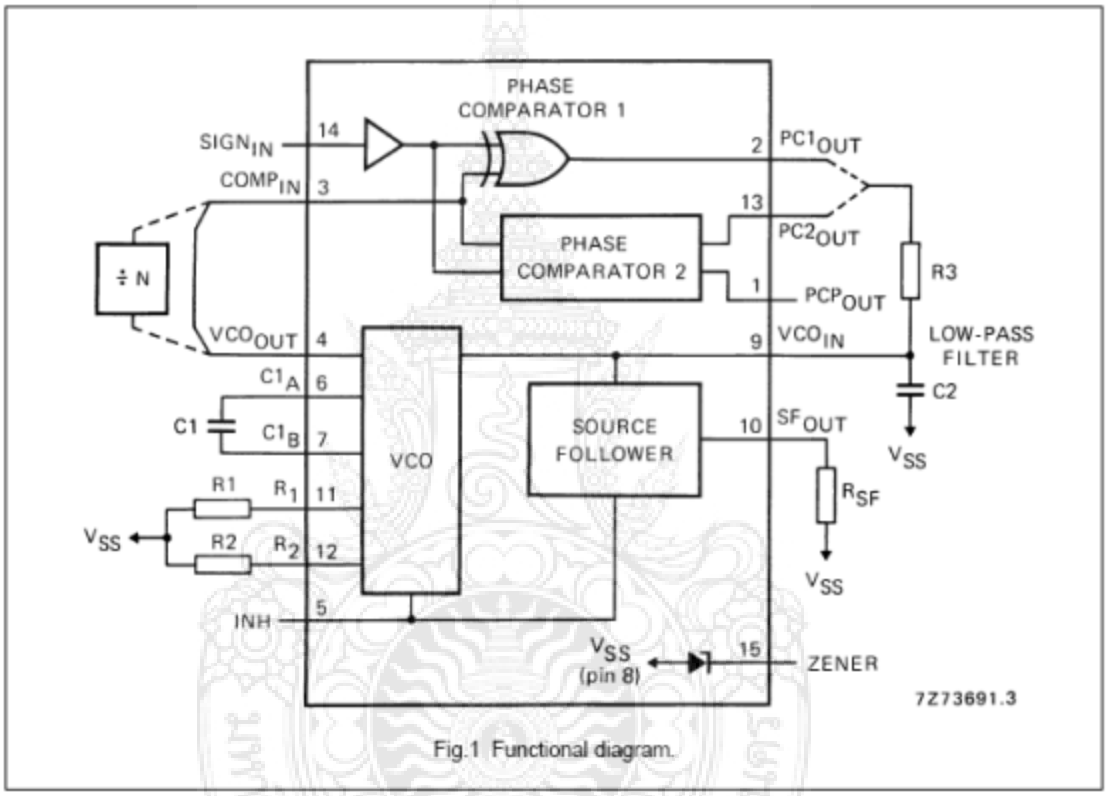


Fig.1 Functional diagram.

HEF4046BP(N):	16-lead DIL; plastic (SOT38-1)
HEF4046BD(F):	16-lead DIL; ceramic (cerdip) (SOT74)
HEF4046BT(D):	16-lead SO; plastic (SOT109-1)

( ): Package Designator North America

FAMILY DATA

See Family Specifications

I_{DD} LIMITS category MSI

See further on in this data.

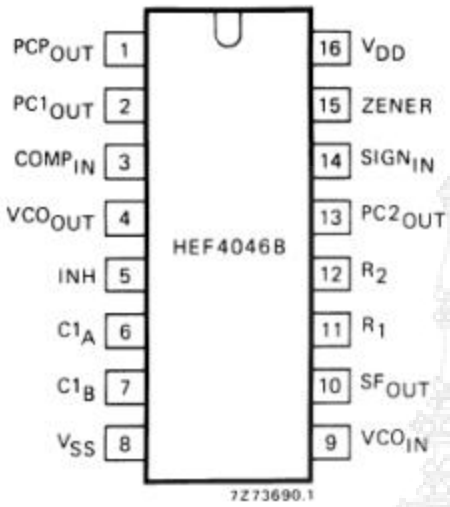


Fig.2 Pinning diagram.

PINNING

1. Phase comparator pulse output
2. Phase comparator 1 output
3. Comparator input
4. VCO output
5. Inhibit input
6. Capacitor C1 connection A
7. Capacitor C1 connection B
8. V_{SS}
9. VCO input
10. Source-follower output
11. Resistor R1 connection
12. Resistor R2 connection
13. Phase comparator 2 output
14. Signal input
15. Zener diode input for regulated supply.

FUNCTIONAL DESCRIPTION

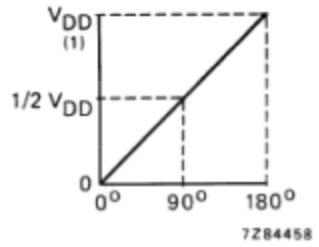
VCO part

The VCO requires one external capacitor (C1) and one or two external resistors (R1 or R1 and R2). Resistor R1 and capacitor C1 determine the frequency range of the VCO. Resistor R2 enables the VCO to have a frequency off-set if required. The high input impedance of the VCO simplifies the design of low-pass filters; it permits the designer a wide choice of resistor/capacitor ranges. In order not to load the low-pass filter, a source-follower output of the VCO input voltage is provided at pin 10. If this pin (SF_{OUT}) is used, a load resistor (R_{SF}) should be connected from this pin to V_{SS}; if unused, this pin should be left open. The VCO output (pin 4) can either be connected directly to the comparator input (pin 3) or via a frequency divider. A LOW level at the inhibit input (pin 5) enables the VCO and the source follower, while a HIGH level turns off both to minimize stand-by power consumption.

Phase comparators

The phase-comparator signal input (pin 14) can be direct-coupled, provided the signal swing is between the standard HE4000B family input logic levels. The signal must be capacitively coupled to the self-biasing amplifier at the signal input in case of smaller swings. Phase comparator 1 is an EXCLUSIVE-OR network. The signal and comparator input frequencies must have a 50% duty factor to obtain the maximum lock range. The average output voltage of the phase comparator is equal to $\frac{1}{2} V_{DD}$ when there is no signal or noise at the signal input. The average voltage to the VCO input is supplied by the low-pass filter connected to the output of phase comparator 1. This also causes the VCO to oscillate at the centre frequency (f_o). The frequency capture range ($2 f_c$) is defined as the frequency range of input signals on which the PLL will lock if it was initially out of lock. The frequency lock range ($2 f_L$) is defined as the frequency range of input signals on which the loop will stay locked if it was initially in lock. The capture range is smaller or equal to the lock range.

With phase comparator 1, the range of frequencies over which the PLL can acquire lock (capture range) depends on the low-pass filter characteristics and this range can be made as large as the lock range. Phase comparator 1 enables the PLL system to remain in lock in spite of high amounts of noise in the input signal. A typical behaviour of this type of phase comparator is that it may lock onto input frequencies that are close to harmonics of the VCO centre frequency. Another typical behaviour is, that the phase angle between the signal and comparator input varies between 0° and 180° and is 90° at the centre frequency. Figure 3 shows the typical phase-to-output response characteristic.



(1) Average output voltage.

Fig.3 Signal-to-comparator inputs phase difference for comparator 1.

Figure 4 shows the typical waveforms for a PLL employing phase comparator 1 in locked condition of f_o.

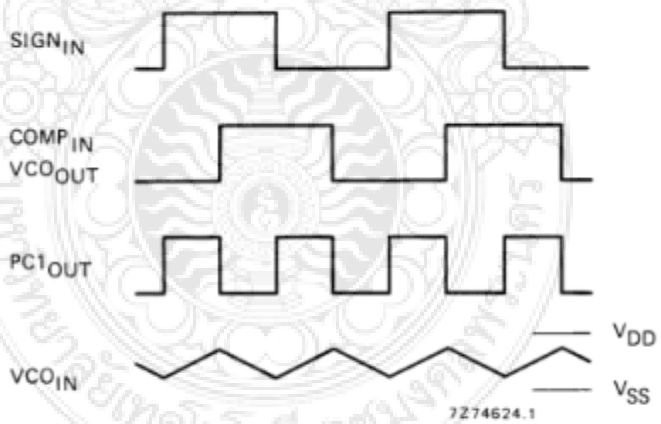


Fig.4 Typical waveforms for phase-locked loop employing phase comparator 1 in locked condition of f_o.

Phase comparator 2 is an edge-controlled digital memory network. It consists of four flip-flops, control gating and a 3-state output circuit comprising p and n-type drivers having a common output node. When the p-type or n-type drivers are ON, they pull the output up to V_{DD} or down to V_{SS} respectively. This type of phase comparator only acts on the positive-going edges of the signals at $SIGN_{IN}$ and $COMP_{IN}$. Therefore, the duty factors of these signals are not of importance.

If the signal input frequency is higher than the comparator input frequency, the p-type output driver is maintained ON most of the time, and both the n and p-type drivers are OFF (3-state) the remainder of the time. If the signal input frequency is lower than the comparator input frequency, the n-type output driver is maintained ON most of the time, and both the n and p-type drivers are OFF the remainder of the time. If the signal input and comparator input frequencies are equal, but the signal input lags the comparator input in phase, the n-type output driver is maintained ON for a time corresponding to the phase difference. If the comparator input lags the signal input in phase, the p-type output driver is maintained ON for a time corresponding to the phase difference. Subsequently, the voltage at the capacitor of the low-pass filter connected to this phase comparator is adjusted until the signal and comparator inputs are equal in both phase and frequency. At this stable point, both p and n-type drivers remain OFF and thus the phase comparator output becomes an open circuit and keeps the voltage at the capacitor of the low-pass filter constant.

Moreover, the signal at the phase comparator pulse output (PCP_{OUT}) is a HIGH level which can be used for indicating a locked condition. Thus, for phase comparator 2 no phase difference exists between the signal and comparator inputs over the full VCO frequency range. Moreover, the power dissipation due to the low-pass filter is reduced when this type of phase comparator is used because both p and n-type output drivers are OFF for most of the signal input cycle. It should be noted that the PLL lock range for this type of phase comparator is equal to the capture range, independent of the low-pass filter. With no signal present at the signal input, the VCO is adjusted to its lowest frequency for phase comparator 2 . Figure 5 shows typical waveforms for a PLL employing this type of phase comparator in locked condition.

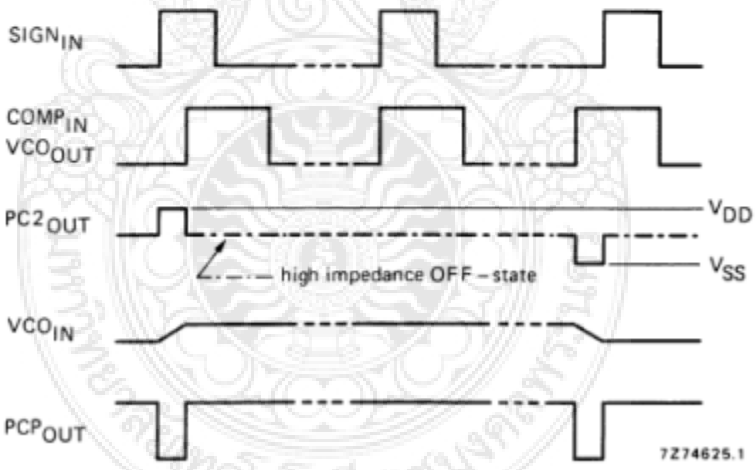


Fig.5 Typical waveforms for phase-locked loop employing phase comparator 2 in locked condition.

Figure 6 shows the state diagram for phase comparator 2. Each circle represents a state of the comparator. The number at the top, inside each circle, represents the state of the comparator, while the logic state of the signal and comparator inputs are represented by a '0' for a logic LOW or a '1' for a logic HIGH, and they are shown in the left and right bottom of each circle.

The transitions from one to another result from either a logic change at the signal input (S) or the comparator input (C). A positive-going and a negative-going transition are shown by an arrow pointing up or down respectively.

The state diagram assumes, that only one transition on either the signal input or comparator input occurs at any instant. States 3, 5, 9 and 11 represent the condition at the output when the p-type driver is ON, while states 2, 4, 10 and 12 determine the condition when the n-type driver is ON. States 1, 6, 7 and 8 represent the condition when the output is in its high impedance OFF state; i.e. both p and n-type drivers are OFF, and the PCP_{OUT} output is HIGH. The condition at output PCP_{OUT} for all other states is LOW.

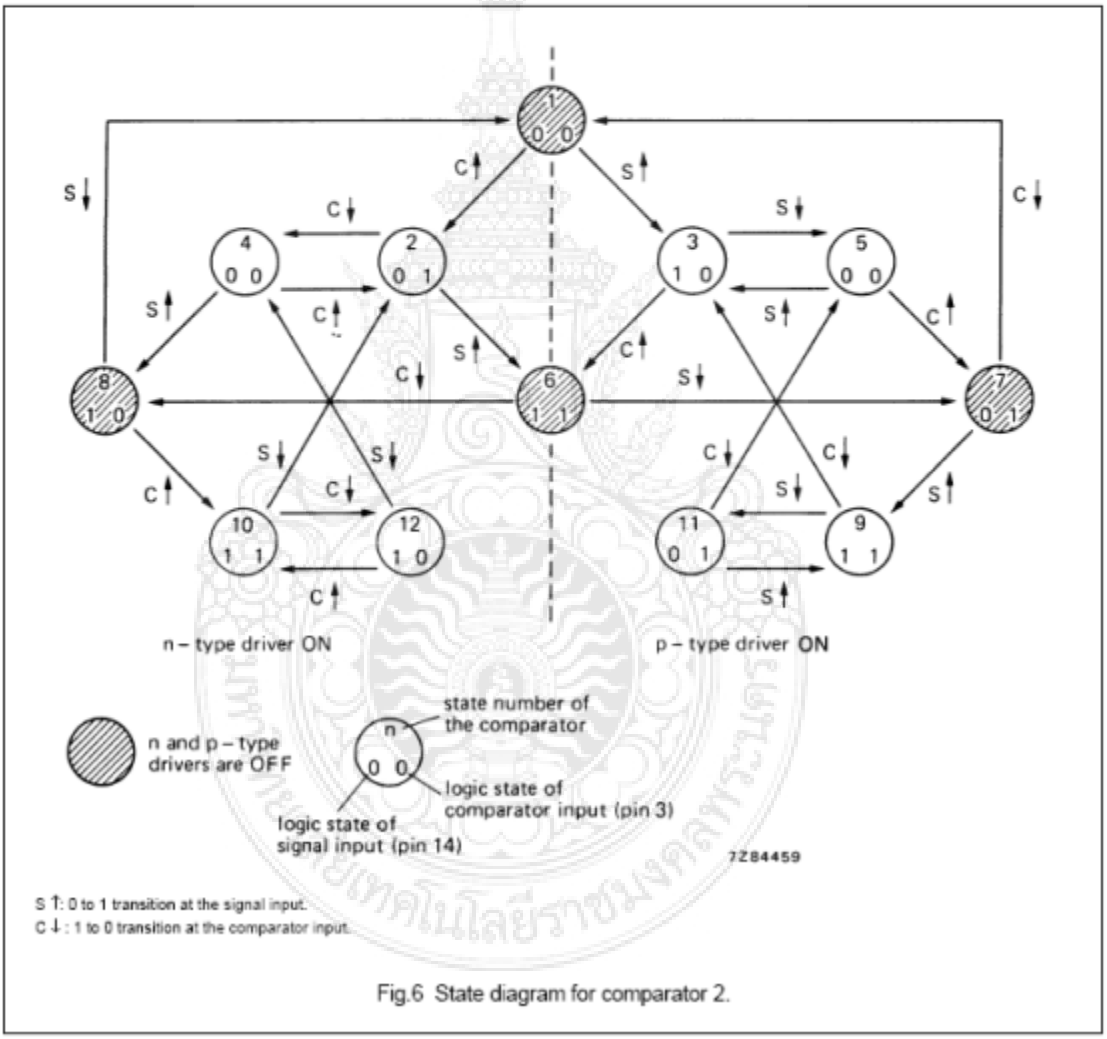


Fig.6 State diagram for comparator 2.

DC CHARACTERISTICS

V_{SS} = 0 V

	V_{DD} V	SYMBOL	T_{amb} (°C)						
			−40		+25		+85		
			TYP.	MAX.	TYP.	MAX.	TYP.	MAX.	
Supply current (note 1)	5	I_D	–	–	20	–	–	–	µA
	10		–	–	300	–	–	–	µA
	15		–	–	750	–	–	–	µA
Quiescent device current (note 2)	5	I_{DD}	–	20	–	20	–	150	µA
	10		–	40	–	40	–	300	µA
	15		–	80	–	80	–	600	µA

Notes

1. Pin 15 open; pin 5 at V_{DD}; pins 3 and 9 at V_{SS}; pin 14 open.
2. Pin 15 open; pin 5 at V_{DD}; pins 3 and 9 at V_{SS}; pin 14 at V_{DD}; input current pin 14 not included.

AC CHARACTERISTICS

V_{SS} = 0 V; T_{amb} = 25 °C; C_L = 50 pF; input transition times ≤ 20 ns

	V_{DD} V	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.		
Phase comparators							
Operating supply voltage		V_{DD}	3		15	V	
Input resistance at $SIGN_{IN}$	5	R_{IN}		750		kΩ	at self-bias operating point
	10			220		kΩ	
	15			140		kΩ	
A.C. coupled input sensitivity at $SIGN_{IN}$	5	V_{IN}		150		mV	peak-to-peak values; R1 = 10 kΩ; R2 = ∞; C1 = 100 pF; independent of the lock range
	10			150		mV	
	15			200		mV	
D.C. coupled input sensitivity at $SIGN_{IN}$; $COMP_{IN}$ LOW level	5	V_{IL}			1,5	V	full temperature range
	10				3,0	V	
	15				4,0	V	
HIGH level	5	V_{IH}	3,5			V	
	10		7,0			V	
	15		11,0			V	
Input current at $SIGN_{IN}$	5	$+I_{IN}$		7		µA	$SIGN_{IN}$ at V_{DD}
	10			30		µA	
	15			70		µA	
	5	$-I_{IN}$		3		µA	$SIGN_{IN}$ at V_{SS}
	10			18		µA	
	15			45		µA	

	V_{DD} V	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.		
VCO							
Operating supply voltage		V_{DD}	3		15	V	as fixed oscillator only
			5		15	V	phase-locked loop operation
Power dissipation	5	P		150		µW	f_o = 10 kHz; R1 = 1 MΩ; R2 = ∞; VCO_{IN} at ½ V_{DD}; see also Figs 10 and 11
	10			2500		µW	
	15			9000		µW	
Maximum operating frequency	5	f_{max}	0,5	1,0		MHz	VCO_{IN} at V_{DD}; R1 = 10 kΩ; R2 = ∞; C1 = 50 pF
	10		1,0	2,0		MHz	
	15		1,3	2,7		MHz	
Temperature/ frequency stability	5			0,22—0,30		%/°C	no frequency offset (f_{min} = 0); see also note 1
	10			0,04—0,05		%/°C	
	15			0,01—0,05		%/°C	
	5			0—0,22		%/°C	with frequency offset (f_{min} > 0); see also note 1
	10			0—0,04		%/°C	
	15			0—0,01		%/°C	
Linearity	5			0,50		%	R1 > 10 kΩ; see Fig.13 and Figs 14 15 and 16
	10			0,25		%	R1 > 400 kΩ
	15			0,25		%	R1 = 1 MΩ
Duty factor at VCO_{OUT}	5	δ		50		%	
	10			50		%	
	15			50		%	
Input resistance at VCO_{IN}	5	R_{IN}		10^6		MΩ	
	10			10^6		MΩ	
	15			10^6		MΩ	
Source follower							
Offset voltage VCO_{IN} minus SF_{OUT}	5			1,7		V	R_{SF} = 10 kΩ; VCO_{IN} at ½ V_{DD}
	10			2,0		V	
	15			2,1		V	
	5			1,5		V	R_{SF} = 50 kΩ; VCO_{IN} at ½ V_{DD}
	10			1,7		V	
	15			1,8		V	
Linearity	5			0,3		%	R_{SF} > 50 kΩ; see Fig.13
	10			1,0		%	
	15			1,3		%	
Zener diode							
Zener voltage		V_Z		7,3		V	I_Z = 50 µA
Dynamic resistance		R_Z		25		Ω	I_Z = 1 mA

Notes

1. Over the recommended component range.

DESIGN INFORMATION

CHARACTERISTIC	USING PHASE COMPARATOR 1	USING PHASE COMPARATOR 2
No signal on $SIGN_{IN}$	VCO in PLL system adjusts to centre frequency (f_o)	VCO in PLL system adjusts to min. frequency (f_{min})
Phase angle between $SIGN_{IN}$ and $COMP_{IN}$	90° at centre frequency (f_o), approaching 0° and 180° at ends of lock range (2 f_L)	always 0° in lock (positive-going edges)
Locks on harmonics of centre frequency	yes	no
Signal input noise rejection	high	low
Lock frequency range (2 f_L)	the frequency range of the input signal on which the loop will stay locked if it was initially in lock; 2 f_L = full VCO frequency range = $f_{max} - f_{min}$	
Capture frequency range (2 f_C)	the frequency range of the input signal on which the loop will lock if it was initially out of lock	
	depends on low-pass filter characteristics; $f_C < f_L$	$f_C = f_L$
Centre frequency (f_o)	the frequency of the VCO when VCO_{IN} at $\frac{1}{2}V_{DD}$	

VCO component selection

Recommended range for R1 and R2: 10 kΩ to 1 MΩ; for C1: 50 pF to any practical value.

1. VCO without frequency offset (R2 = ∞).
   a) Given f_o: use f_o with Fig.7 to determine R1 and C1.
   b) Given f_{max}: calculate f_o from $f_o = \frac{1}{2} f_{max}$; use f_o with Fig.7 to determine R1 and C1.
2. VCO with frequency offset.
   a) Given f_o and f_L : calculate f_{min} from the equation $f_{min} = f_o - f_L$; use f_{min} with Fig.8 to determine R2 and C1; calculate $\frac{f_{max}}{f_{min}}$ from the equation $\frac{f_{max}}{f_{min}} = \frac{f_o + f_L}{f_o - f_L}$; use $\frac{f_{max}}{f_{min}}$ with Fig. 9 to determine the ratio R2/R1 to obtain R1.
   b) Given f_{min} and f_{max}: use f_{min} with Fig.8 to determine R2 and C1; calculate $\frac{f_{max}}{f_{min}}$; use $\frac{f_{max}}{f_{min}}$ with Fig.9 to determine R2/R1 to obtain R1.

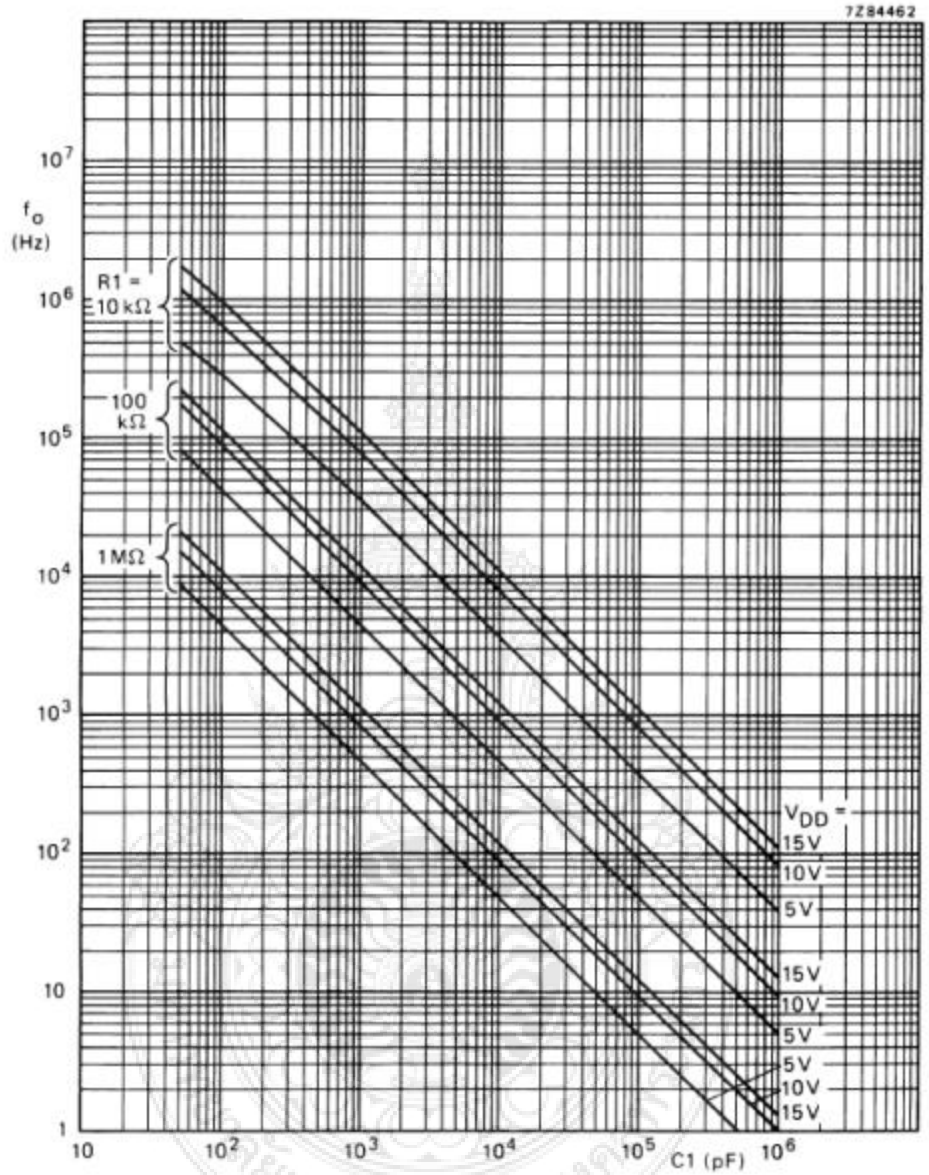


Fig.7 Typical centre frequency as a function of capacitor C1; T_{amb} = 25 °C; VCO_{IN} at ½ V_{DD}; INH at V_{SS}; R_2 = ∞.

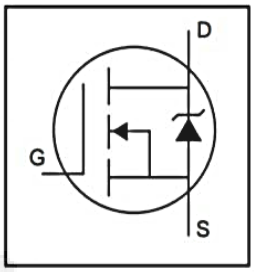
International
IOR Rectifier

PD-91279E

IRF3205

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



V_{DSS} = 55V

$R_{DS(on)}$ = 8.0mΩ

I_D = 110A⑤

Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.

TO-220AB

Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
I_D @ T_C = 25°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10V	110 ⑤	A
I_D @ T_C = 100°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10V	80	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	390	
P_D @T_C = 25°C	Power Dissipation	200	W
	Linear Derating Factor	1.3	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
I_{AR}	Avalanche Current①	62	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy①	20	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	5.0	V/ns
T_J T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to + 175	°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 srew	10 lbf•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.75	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

IRF3205

International
IOR Rectifier

Electrical Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	55	—	—	V	V_{GS} = 0V, I_D = 250μA
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.057	—	V/°C	Reference to 25°C, I_D = 1mA
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	8.0	mΩ	V_{GS} = 10V, I_D = 62A ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250μA
g_{fs}	Forward Transconductance	44	—	—	S	V_{DS} = 25V, I_D = 62A④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	V_{DS} = 55V, V_{GS} = 0V
		—	—	250		V_{DS} = 44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150°C
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V_{GS} = 20V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		V_{GS} = -20V
Q_g	Total Gate Charge	—	—	146	nC	I_D = 62A
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	35		V_{DS} = 44V
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	54		V_{GS} = 10V, See Fig. 6 and 13
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	14	—	ns	V_{DD} = 28V
t_r	Rise Time	—	101	—		I_D = 62A
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	50	—		R_G = 4.5Ω
t_f	Fall Time	—	65	—		V_{GS} = 10V, See Fig. 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	3247	—	pF	V_{GS} = 0V
C_{oss}	Output Capacitance	—	781	—		V_{DS} = 25V
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	211	—		f = 1.0MHz, See Fig. 5
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy②	—	1050⑥	264⑦	mJ	I_{AS} = 62A, L = 138μH

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	110	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode)①	—	—	390		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	T_J = 25°C, I_S = 62A, V_{GS} = 0V ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	69	104	ns	T_J = 25°C, I_F = 62A
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	143	215	nC	di/dt = 100A/μs ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)

② Starting T_J = 25°C, L = 138μH
R_G = 25Ω, I_{AS} = 62A. (See Figure 12)

③ I_{SD} ≤ 62A, di/dt ≤ 207A/μs, V_{DD} ≤ $V_{(BR)DSS}$, T_J ≤ 175°C

④ Pulse width ≤ 400μs; duty cycle ≤ 2%.

⑤ Calculated continuous current based on maximum allowable junction temperature. Package limitation current is 75A.

⑥ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.

⑦ This is a calculated value limited to T_J = 175°C.

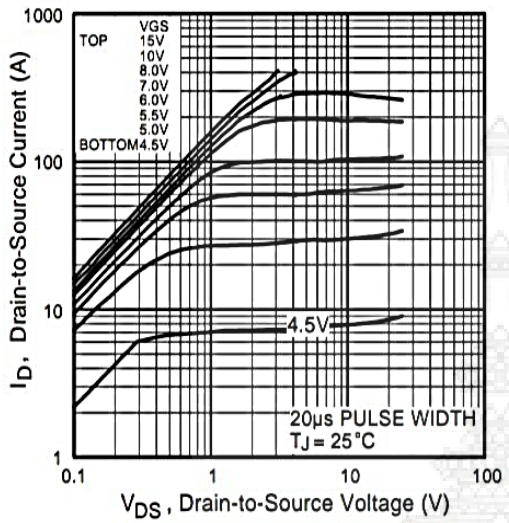


Fig 1. Typical Output Characteristics

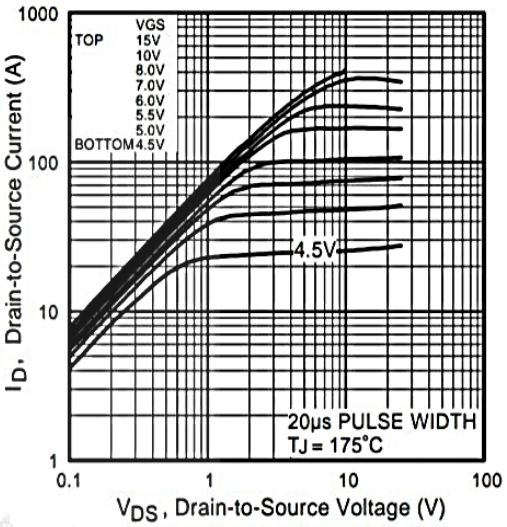


Fig 2. Typical Output Characteristics

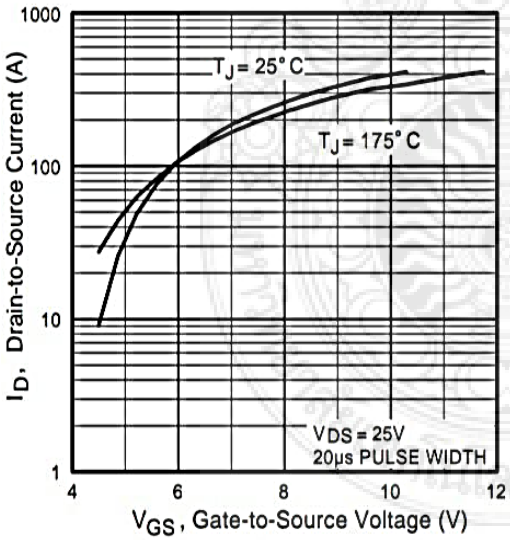


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

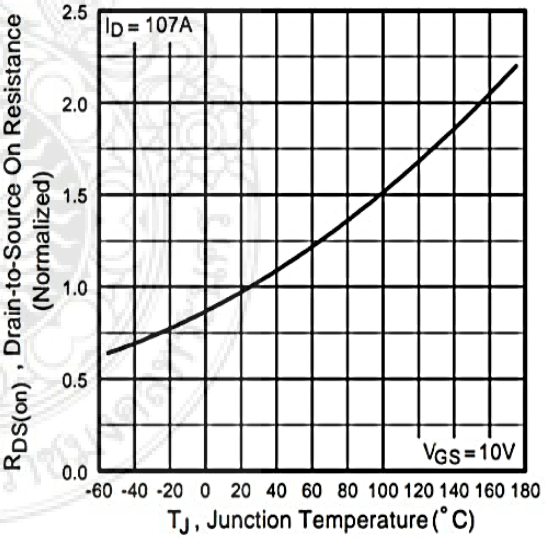


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

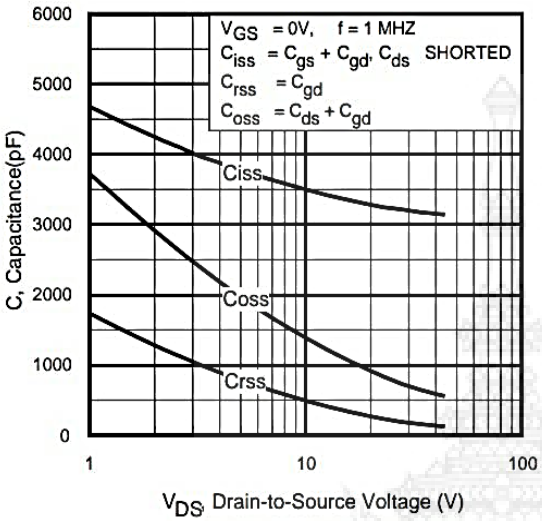


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

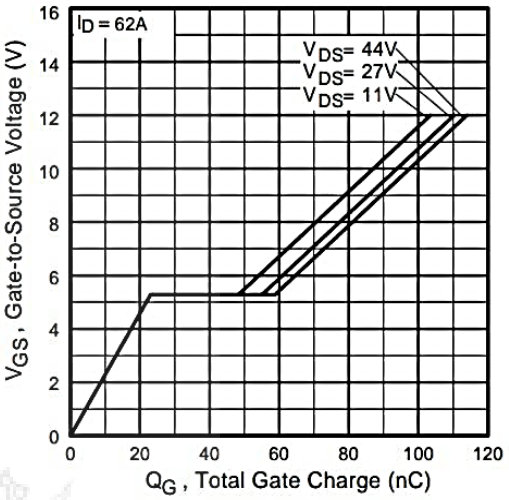


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

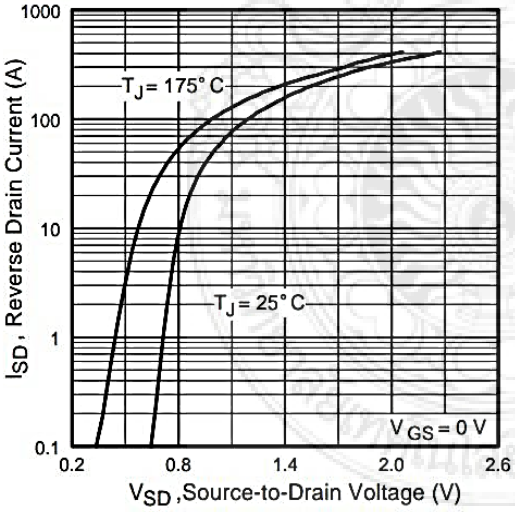


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

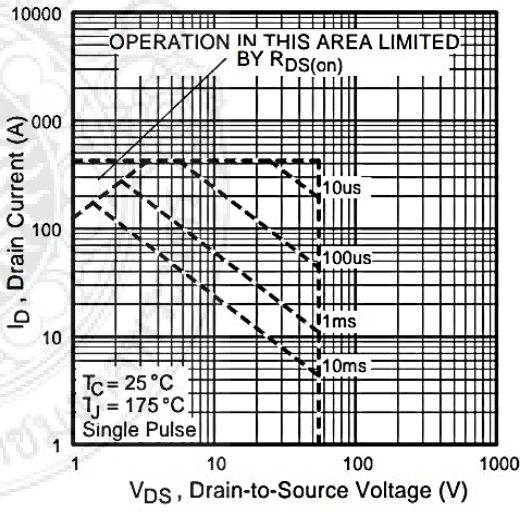


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

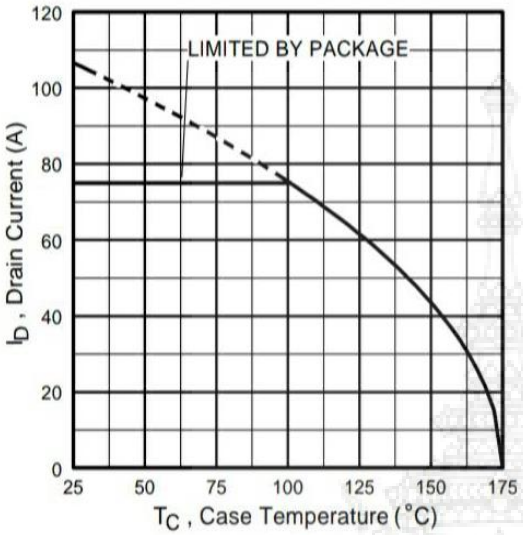


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

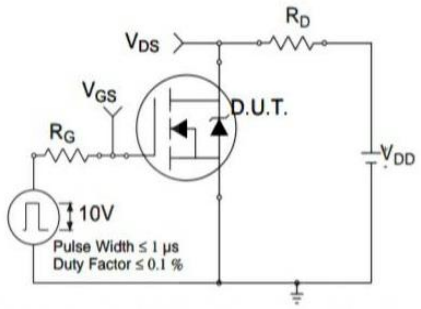


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

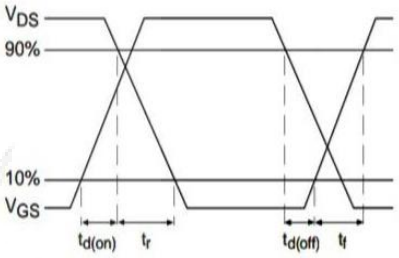


Fig 10b. Switching Time Waveforms

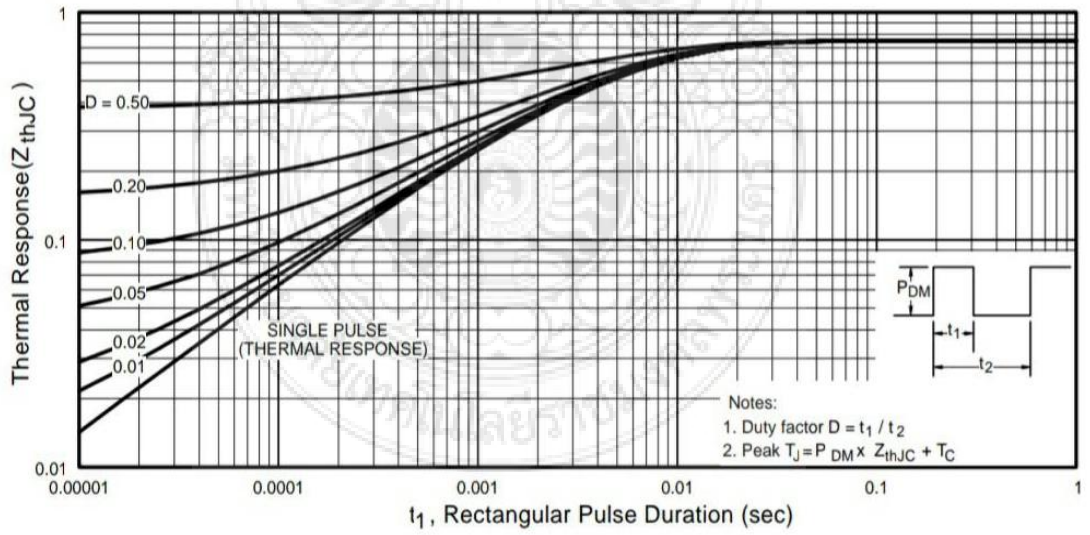


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

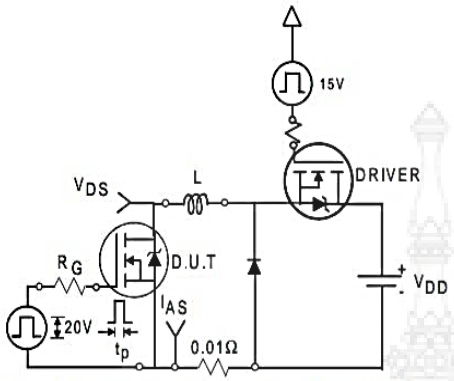


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

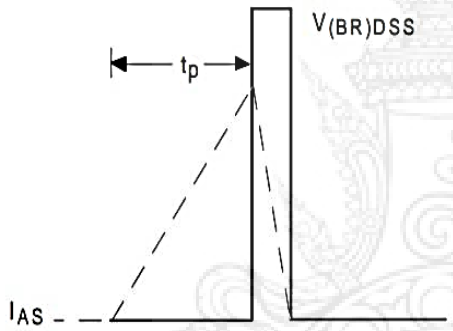


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

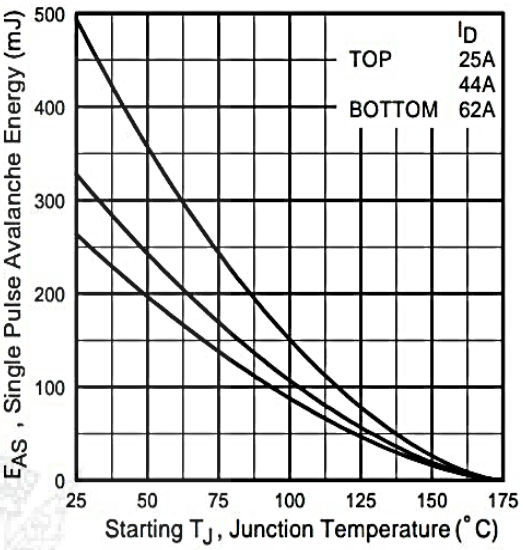


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

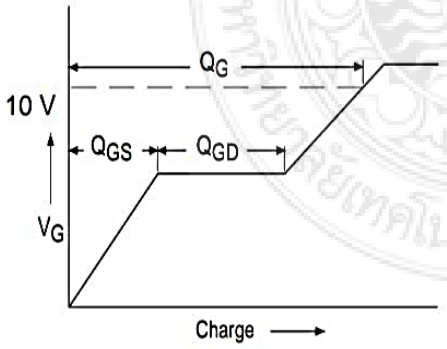


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

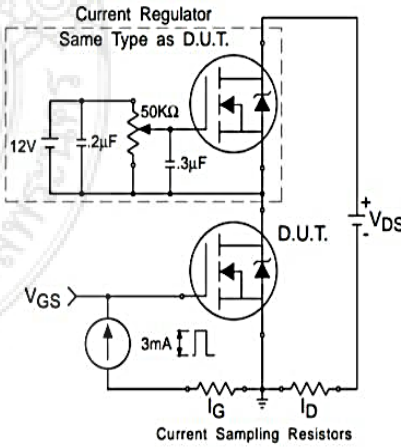


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

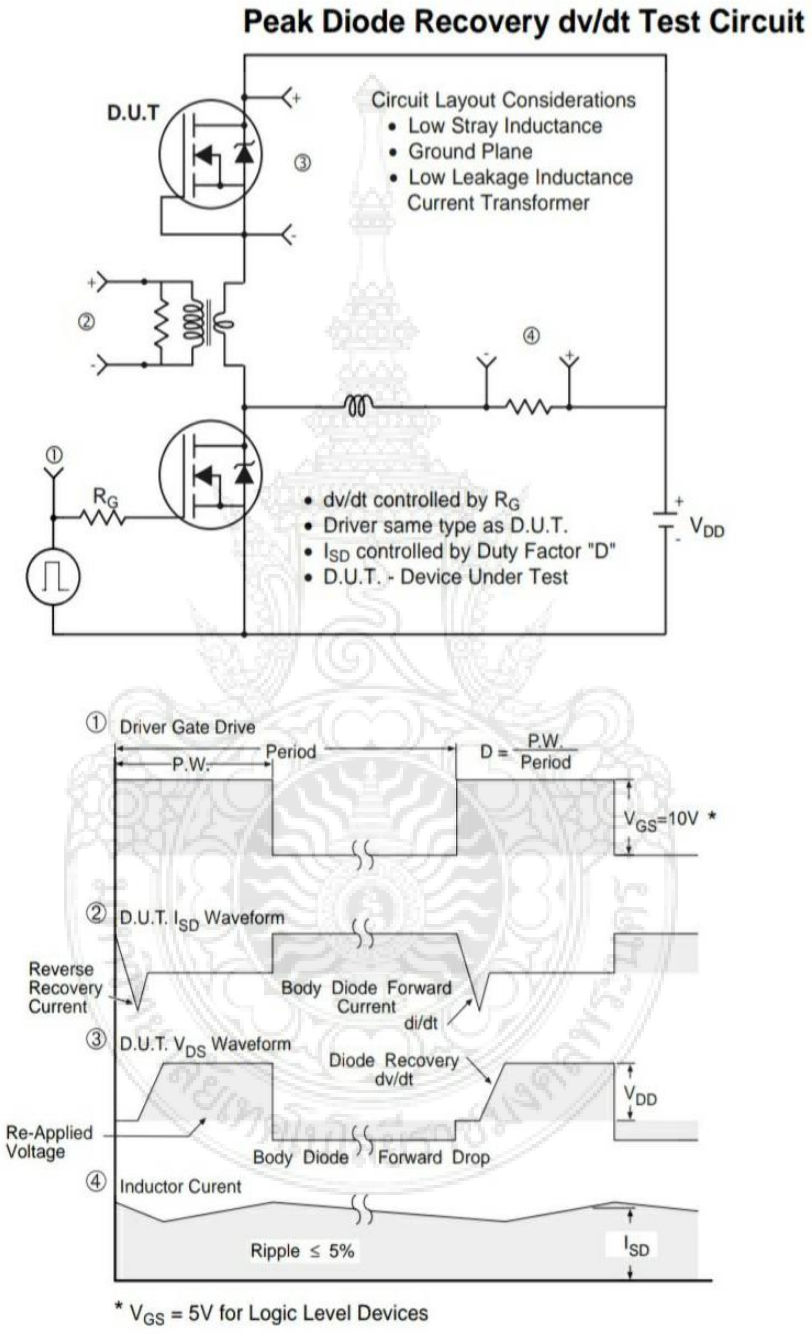


Fig 14. For N-Channel HEXFETS

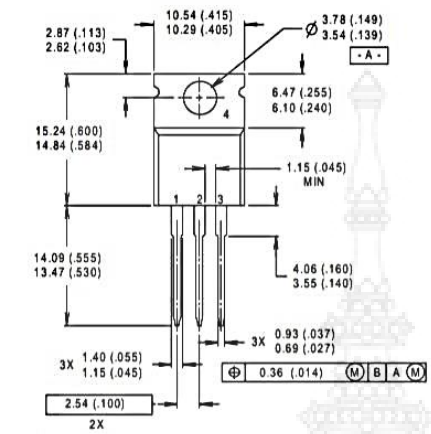
IRF3205

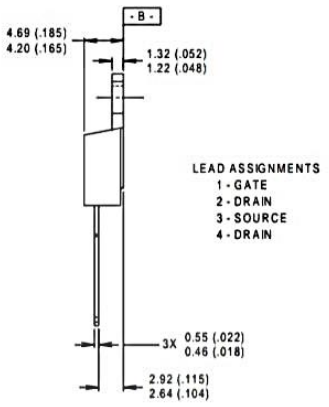
International
IOR Rectifier

Package Outline

TO-220AB Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)



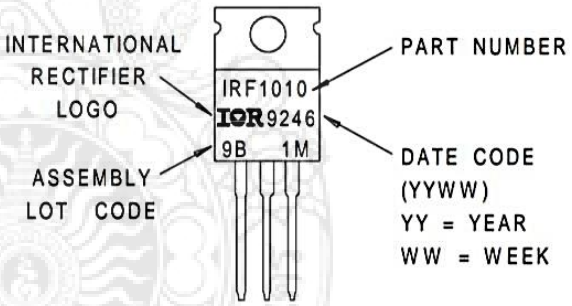


NOTES:
1 DIMENSIONING & TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2 CONTROLLING DIMENSION : INCH
3 OUTLINE CONFORMS TO JEDEC OUTLINE TO-220AB.
4 HEATSINK & LEAD MEASUREMENTS DO NOT INCLUDE BURRS.

Part Marking Information

TO-220AB

EXAMPLE : THIS IS AN IRF1010
WITH ASSEMBLY
LOT CODE 9B1M



Data and specifications subject to change without notice.
This product has been designed and qualified for the automotive [Q101] market.
Qualification Standards can be found on IR's Web site.

International
IOR Rectifier

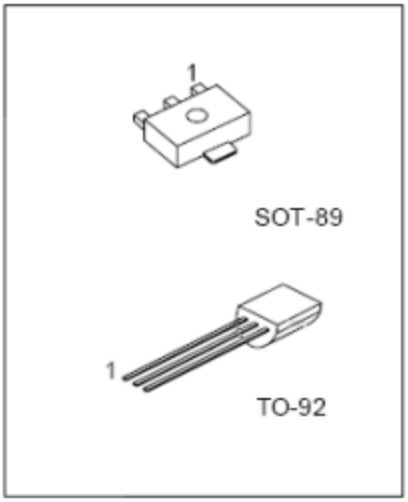
IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105
TAC Fax: (310) 252-7903
Visit us at www.irf.com for sales contact information.01/01

Note: For the most current drawings please refer to the IR website at:
http://www.irf.com/package/

UTC UNISONIC TECHNOLOGIES CO., LTD

PN2222A *NPN SILICON TRANSISTOR*

NPN GENERAL PURPOSE AMPLIFIER



*Pb-free plating product number: PN2222AL

■ FEATURES

* This device is for use as a medium power amplifier and switch requiring collector currents up to 500mA.

■ ORDERING INFORMATION

Order Number		Package	Pin Assignment			Packing
Normal	Lead Free Plating		1	2	3	
PN2222A-AB3-R	PN2222AL-AB3-R	SOT-89	B	C	E	Tape Reel
PN2222A-AB3-T	PN2222AL-AB3-T	SOT-89	B	C	E	Tube
PN2222A-T92-B	PN2222AL-T92-B	TO-92	E	B	C	Tape Box
PN2222A-T92-K	PN2222AL-T92-K	TO-92	E	B	C	Bulk

■ ORDERING INFORMATION

Order Number		Package	Pin Assignment			Packing
Normal	Lead Free Plating		1	2	3	
PN2222A-AB3-R	PN2222AL-AB3-R	SOT-89	B	C	E	Tape Reel
PN2222A-AB3-T	PN2222AL-AB3-T	SOT-89	B	C	E	Tube
PN2222A-T92-B	PN2222AL-T92-B	TO-92	E	B	C	Tape Box
PN2222A-T92-K	PN2222AL-T92-K	TO-92	E	B	C	Bulk

PN2222AL-AB3-R

(1)Packing Type
(2)Package Type
(3)Lead Plating

(1) B: Tape Box, K: Bulk, R: Tape Reel, T: Tube
(2) AB3: SOT-89, T92: TO-92
(3) L: Lead Free Plating, Blank: Pb/Sn

PN2222A

NPN SILICON TRANSISTOR

■ ABSOLUTE MAXIMUM RATING (Ta=25℃, unless otherwise specified)

PARAMETER		SYMBOL	RATINGS	UNIT
Collector-Base Voltage		V_{CBO}	75	V
Collector-Emitter Voltage		V_{CEO}	40	V
Emitter-Base Voltage		V_{EBO}	6	V
Collector Current		I_C	0.6	A
Total Device Dissipation	SOT-89	P_C	1.2	W
	TO-92		625	mW
Junction Temperature		T_J	+150	℃
Storage Temperature		T_{STG}	-55 ~ +150	℃

Note 1. Absolute maximum ratings are those values beyond which the device could be permanently damaged. Absolute maximum ratings are stress ratings only and functional device operation is not implied.
2. These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

■ THERMAL DATA (Ta=25℃, unless otherwise noted)

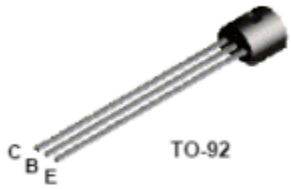
PARAMETER		SYMBOL	RATINGS	UNIT
Thermal resistance, junction to Ambient	SOT-89	θ_{JA}	104	℃/W
	TO-92		200	℃/W

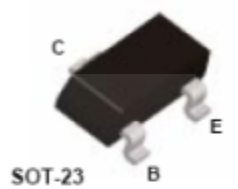
■ ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta=25℃, unless otherwise specified)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
OFF CHARACTERISTICS						
Collector-Base Breakdown Voltage	BV_{CBO}	I_C=10μA, I_E=0	75			V
Collector-Emitter Breakdown Voltage	BV_{CEO}	I_C=10mA, I_B=0	40			V
Emitter-Base Breakdown Voltage	BV_{EBO}	I_E=10μA, I_C=0	6			V
Collector Cut-off Current	I_{CEO}	V_{CE}=60V, $V_{EB(OFF)}$=3.0V			10	nA
Collector Cut-Off Current	I_{CBO}	V_{CB}=60V, I_E=0 V_{CB}=60V, I_E=0, Ta=150℃			0.01 10	μA μA
Emitter Cut-Off Current	I_{EBO}	V_{EB}=3.0V, I_C=0			10	nA
Base Cut-Off Current	I_{BL}	V_{CE}=60V, $V_{EB(OFF)}$=3.0V			20	nA
ON CHARACTERISTICS						
DC Current Gain	h_{FE}	I_C=0.1mA, V_{CE}=10V I_C=1.0mA, V_{CE}=10V I_C=10mA, V_{CE}=10V I_C=10mA, V_{CE}=10V, Ta=-55℃ I_C=150mA, V_{CE}=10V* I_C=150mA, V_{CE}=1.0V* I_C=500mA, V_{CE}=10V*	35 50 75 35 100 50 40		 300 	
Collector-Emitter Saturation Voltage*	$V_{CE(SAT)}$	I_C=150mA, I_B=15mA I_C=500mA, I_B=50mA			0.3 1.0	V V
Base-Emitter Saturation Voltage*	$V_{BE(SAT)}$	I_C=150mA, I_B=15mA I_C=500mA, I_B=50mA	0.6		1.2 2.0	V V
SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS						
Transition Frequency	f_T	I_C=20mA, V_{CE}=20V, f=100MHz	300			MHz
Output Capacitance	Cobo	V_{CB}=10V, I_E=0, f=100kHz			8.0	pF
Input Capacitance	Cibo	V_{EB}=0.5V, I_C=0, f=100kHz			25	pF
Collector Base Time Constant	rb'Cc	I_C=20mA, V_{CB}=20V, f=31.8MHz			150	pS
Noise Figure	NF	I_C=100μA, V_{CE}=10V, R_S=1.0kΩ, f=1.0kHz			4.0	dB
Real Part of Common-Emitter High Frequency Input Impedance	Re(hje)	I_C=20mA, V_{CB}=20V, f=300MHz			60	Ω

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR TM

2N4403 MMBT4403





PNP General Purpose Amplifier

This device is designed for use as a general purpose amplifier and switch requiring collector currents to 500 mA.

Absolute Maximum Ratings*

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	40	V
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	40	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5.0	V
I_C	Collector Current - Continuous	600	mA
T_J, T_{stg}	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	°C

*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

NOTES:
1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

Thermal Characteristics

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Characteristic	Max		Units
		2N4403	*MMBT4403	
P_D	Total Device Dissipation Derate above 25°C	625 5.0	350 2.8	mW mW/°C
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3		°C/W
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	357	°C/W

*Device mounted on FR-4 PCB 1.6" X 1.6" X 0.06."

© 2001 Fairchild Semiconductor Corporation

LCD 16x2 I2C

คุณสมบัติทางเทคนิค

- LCD แบบตัวอักษรขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด พื้นสีน้ำเงิน ตัวอักษรสีขาว (STN Negative Blue)
- การเชื่อมต่อแบบ I2C-bus ทำให้สามารถต่อร่วมกันได้ 8 ตัวบนบัสเดียวกัน (เลือก Address ต่างกัน)
- ใช้ไอซีขยายพอร์ตเบอร์ PCF8574A ในการเชื่อมต่อกับจอ LCD
- ใช้แรงดันไฟเลี้ยง 5 VDC

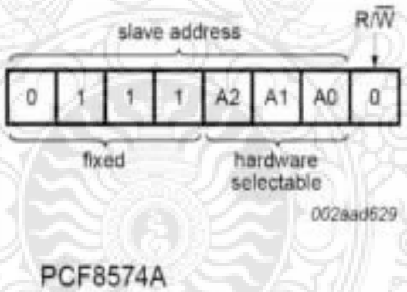
ส่วนประกอบของ LCD 16x2 I2C

1. ขาต่อใช้งานมี 4 ขา มีดังนี้
    1. ขา GND ขากราวด์
    2. ขา VCC ขาไฟเลี้ยงใช้แรงดัน 5 VDC
    3. ขา SDA ขาสัญญาณ DATA ของระบบ I2C-bus
    4. ขา SCL ขาสัญญาณ CLOCK ของระบบ I2C-bus

2. ตัวต้านทานปรับค่าได้ สำหรับปรับความเข้มของจอ LCD
3. จั้มเปอร์เลือก Address (A0-A2) ของจอ LCD โดยจั้มเปอร์นี้ถ้าไม่เชื่อมต่อจะได้ค่าลอจิก 1 และถ้าเชื่อมต่อจะได้ค่าลอจิก 0 ซึ่งปกติจะไม่ได้บัดกรีไว้ทำให้ Address เริ่มต้นคือ 0x3F (A2=1 , A1=1 , A0=1) แต่ถ้าผู้ใช้ต้องการเปลี่ยน Address ก็สามารถเปลี่ยนได้ 8 ค่า คือ 0x38-0x3F ดังตาราง

PCF8574A address map

Pin connectivity			Address of PCF8574A								Address byte value		7-bit hexadecimal address without R/W
A2	A1	A0	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	R/W	Write	Read	
V_{SS}	V_{SS}	V_{SS}	0	1	1	1	0	0	0	-	70h	71h	38h
V_{SS}	V_{SS}	V_{DD}	0	1	1	1	0	0	1	-	72h	73h	39h
V_{SS}	V_{DD}	V_{SS}	0	1	1	1	0	1	0	-	74h	75h	3Ah
V_{SS}	V_{DD}	V_{DD}	0	1	1	1	0	1	1	-	76h	77h	3Bh
V_{DD}	V_{SS}	V_{SS}	0	1	1	1	1	0	0	-	78h	79h	3Ch
V_{DD}	V_{SS}	V_{DD}	0	1	1	1	1	0	1	-	7Ah	7Bh	3Dh
V_{DD}	V_{DD}	V_{SS}	0	1	1	1	1	1	0	-	7Ch	7Dh	3Eh
V_{DD}	V_{DD}	V_{DD}	0	1	1	1	1	1	1	-	7Eh	7Fh	3Fh

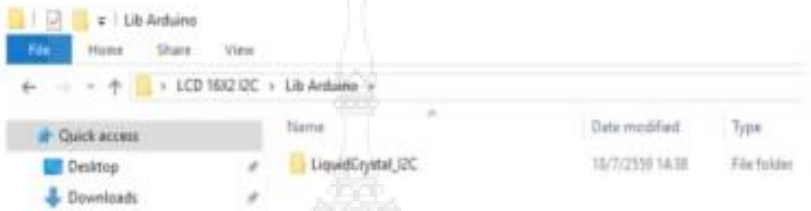


PCF8574A

4. ไอซีขยายพอร์ตเบอร์ PCF8574A
5. LED POWER แสดงการจ่ายไฟเลี้ยงของจอ LCD
6. จั้มเปอร์สำหรับปิดการจ่ายไฟ ของไฟส่องสว่างด้านหลังจอ LCD ถ้าต่อไว้จะเป็นการเปิดไฟเลี้ยงไฟส่องสว่างด้านหลังจอ LCD

ตัวอย่างการใช้งาน LCD 16x2 I2C

1. ในตัวอย่างนี้จะใช้ Arduino ในการใช้งาน ซึ่งก่อนใช้งานนั้นต้องติดตั้งไลบรารี่ของจอ LCD 16X2 I2C ก่อน โดยการคัดลอกโฟลเดอร์ LiquidCrystal_I2C ซึ่งอยู่ในซีดี ไปวางที่โฟลเดอร์ libraries ของโปรแกรม Arduino ก่อน ซึ่งตัวอย่างนี้ได้ติดตั้งไว้ที่ C:\Program Files (x86)\Arduino\libraries ดังรูป

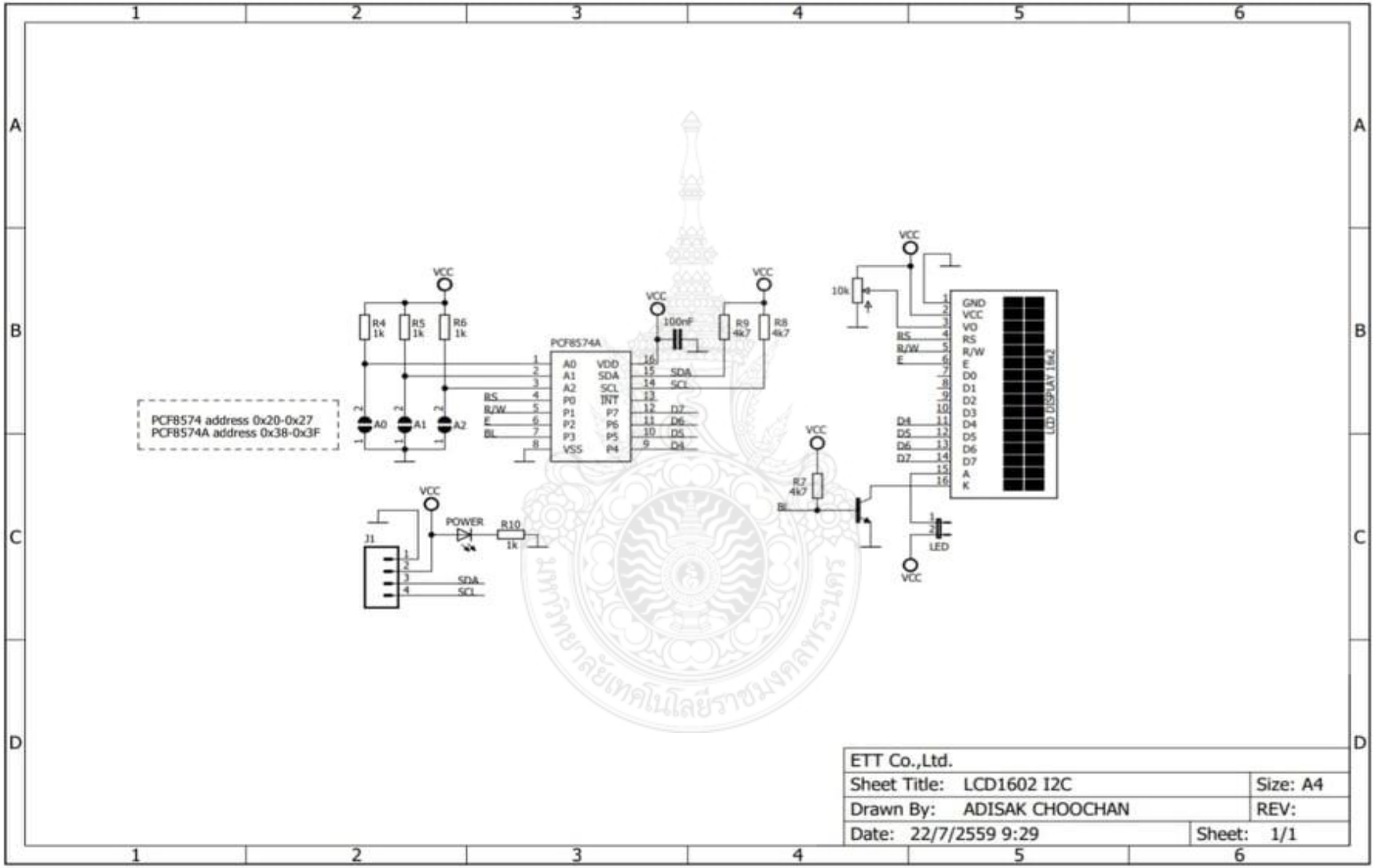


2. จากนั้นให้ทำการเชื่อมต่อขา GND , VCC , SDA , SCL ของ LCD เข้ากับบอร์ด Arduino และเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการเปิดโปรแกรม Arduino ทำการเลือกบอร์ดที่ใช้งานและพอร์ตเชื่อมต่อให้เรียบร้อย

4. จากนั้นให้เลือกที่เมนู File---Examples จะเห็นว่ามีตัวอย่าง LiquidCrystal_I2C เพิ่มขึ้นมาดังรูป ให้ทดลองเลือกตัวอย่าง HelloWorld

5. จากนั้นให้ทำการ upload โปรแกรมเข้าสู่บอร์ด Arduino เมื่อทำการ upload เสร็จเรียบร้อยจะเห็นข้อความปรากฏที่ LCD

หมายเหตุ ในกรณีที่ต่อจอ LCD 16x2 I2C หลายตัว บางครั้งอาจจะไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้เนื่องจากขา SCL และ SDA ของจอ LCD มีตัวต้านทาน pull-up (R8 , R9) ค่า 4.7 k ต่ออยู่ทุกตัว ให้ทำการถอดตัวต้านทาน R8 และ R9 ให้ต่ออยู่เพียงบอร์ดเดียวก็พอ


PCF8574 address 0x20-0x27
PCF8574A address 0x38-0x3F
PCF8574A
LCD DISPLAY 1602
ETT Co.,Ltd.
Sheet Title: LCD1602 I2C
Size: A4
Drawn By: ADISAK CHOOCHAN
REV:
Date: 22/7/2559 9:29
Sheet: 1/1

1 Arduino Uno

Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 (datasheet). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the index of Arduino boards.

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-9V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) (0.5 KB used by bootloader)
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

2 Arduino Uno

Schematic & Reference Design

EAGLE files: arduino-uno-reference-design.zip

Schematic: arduino-uno-schematic.pdf

Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm centre-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega328 has 32 KB (with 0.5 KB used for the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the EEPROM library).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using pinMode(), digitalWrite(), and digitalRead() functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the attachInterrupt() function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the analogWrite() function.
- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication using the SPI library.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

3 Arduino Uno

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though is it possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the analogReference() function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **I^2C: 4 (SDA) and 5 (SCL).** Support I^2C (TWI) communication using the Wire library.

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with analogReference().
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the mapping between Arduino pins and ATmega328 ports?

Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega8U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '8U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, on Windows, a .inf file is required. The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A SoftwareSerial library allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the documentation for details. For SPI communication, use the SPI library.

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software (download). Select "Arduino Uno from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the reference and tutorials.

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a bootloader that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol (reference, C header files).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see these instructions for details.

The ATmega8U2 firmware source code is available . The ATmega8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2. You can then use Atmel's FLIP software (Windows) or the DFU programmer (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See this user-contributed tutorial for more information.

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see this forum thread for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Four screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นายอนุพงษ์ คงแก้ว
วัน เดือน ปี ที่เกิด	29 มกราคม 2529
สถานที่เกิด	จังหวัดเชียงราย
ที่อยู่ปัจจุบัน	25/160 พฤกษาวิลล์ 63/1 ต.บางไผ่ อ.เมืองนนทบุรี จ.นนทบุรี 11000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2548	ระดับ ปวช. สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี
พ.ศ.2550	ระดับ ปวส. สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
พ.ศ.2553	ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
พ.ศ.2563	ระดับปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประวัติการทำงาน

สถานที่ทำงานปัจจุบัน	คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกรไฟฟ้า