

เครื่องแสดงกลิ่นโดยใช้ FPGA
OLFACTORY DISPLAY USING FPGA



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2557

เครื่องแสดงกลิ่นโดยใช้ FPGA

OLFACTORY DISPLAY USING FPGA



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ พ.ศ.2557
สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
หัวข้อปริญญาานิพนธ์ เครื่องแสดงกลิ่นโดยใช้ FPGA
OLFACTORY DISPLAY USING FPGA
นักศึกษา นางสาวกมลวรรณ ศรีพุทธิรัตน์
รหัสประจำตัว 54010015

รายงานนี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(ดร.ยศศิริ อาริยะกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์	เครื่องแสดงกลิ่นโดยใช้ FPGA
นักศึกษา	นางสาวกมลวรรณ ศรีพุทธิรัตน์
รหัสประจำตัว	54010015
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2557
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์	ดร.ยศศิริ อาริยะกุล

บทคัดย่อ

การรับรู้กลิ่นเป็นประสาทสัมผัสที่สำคัญอย่างหนึ่งของสิ่งมีชีวิต สำหรับในมนุษย์ การรับรู้กลิ่นทำให้เราทราบข้อมูลเฉพาะที่ไม่สามารถรับรู้ได้ผ่านทางประสาทสัมผัสอื่น และยังมีผลกระทบต่ออารมณ์และความรู้สึก เช่น การได้กลิ่นหอมของผลไม้ที่กำลังสุก การได้กลิ่นหอมของข้าวที่เพิ่งหุงเสร็จใหม่ๆ หรือการได้กลิ่นหอมของดอกไม้ในสวนที่ลอยมาตามลม ส่งผลให้เกิดความรู้สึกว่าสิ่งนั้นๆ รับประทานได้ ความรู้สึกอยากอาหาร หรือความรู้สึกปลอดภัยผ่อนคลายตามลำดับ ด้วยเหตุนี้เครื่องแสดงกลิ่น (Olfactory display) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถสร้างและส่งกลิ่นที่ต้องการไปยังผู้ใช้ จึงถูกพัฒนาขึ้น สำหรับโครงการนี้ จะทำการออกแบบวงจร Pulse Width Modulation (PWM) ซึ่งเป็นวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องแสดงกลิ่นแบบใช้โซลินอยด์วาล์ว ซึ่งเป็นเครื่องแสดงกลิ่นที่สามารถปล่อยกลิ่นได้รวดเร็ว ปรับระดับความเข้มข้นของกลิ่นได้ และสามารถผสมกลิ่นหลายกลิ่นเข้าด้วยกันได้ โดยวงจรดังกล่าวถูกพัฒนาลงบนบอร์ด FPGA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และกึ่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Olfactory Display Using FPGA
Student	Miss Kamonwan Sriphutthirat
Student ID	54010015
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2014
Thesis Advisor	Dr.Yossiri Ariyakul

ABSTRACT

Olfaction is one of the essential sensations in creatures. In case of human, sensing of odors inform us specific information that cannot be recognized by other sensation and affect our feeling. For example, smell of a ripe fruit, smell of steamed rice, and the sweet scent of flowers in the garden blown by the wind implies us that it is eatable, stimulates appetite, and make us feel relax, accordingly. Therefore, the olfactory display which can generate and deliver odors to users have been develop. In this project, a pulse width modulation (PWM) circuit which is a control part of the operation of the olfactory display using solenoid valves was implemented onto an FPGA.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์ยศศิริ อาริยะกุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ซึ่งอาจารย์ได้สอน ให้คำแนะนำ และให้ข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งทั้งในการทดลองและการจัดทำรูปเล่ม อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อนภาคอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในการทำโปรเจกต์ครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณบิดามารดา และครอบครัว ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมา

กมลวรรณ ศรีพุทธิรัตน์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญตาราง.....	vi
สารบัญรูป.....	viii
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์และความมุ่งหมายของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับกลืน.....	3
2.2 การรับรู้กลิ่นในมนุษย์.....	9
2.3 การประยุกต์ใช้กลิ่นในงานต่างๆ.....	12
2.4 เครื่องแสดงกลิ่น.....	14
2.5 วงจร PWM.....	16
2.6 วงจร Phase lock loop.....	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง.....	18
3.1 วงจรควบคุมของเครื่องแสดงกลิ่นแบบโซลินอยด์วาล์ว.....	18
3.2 การโปรแกรมฮาร์ดแวร์ของวงจรควบคุมเครื่องแสดงกลิ่นแบบโซลินอยด์วาล์ว	
ลงบน FPGA.....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบ Nios II CPU ของวงจรถอบคุมเครื่องแสดงกลืนแบบโซลินอยด์วาล์วบน FPGA.....	21
3.4 โครงสร้างของวงจร FPGA-Computer interface.....	25
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	29
4.1 การทดลอง.....	26
4.1 ผลการโปรแกรมวงจรถอบคุมเครื่องแสดงกลืนแบบโซลินอยด์วาล์วบน FPGA.....	27
4.2 ผลการทดลองจากการทดลองป้อนค่าความเข้มข้นที่ค่าต่างๆ.....	27
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	33
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่น.....	8
4.1 ระยะเวลา T_{ON} และ T_{OFF} ณ แชนแนลต่างๆ เมื่อสั่งให้ปล่อยกลืนที่ร้อยละ ของความเข้มข้นต่างๆกัน.....	28
4.2 ระยะเวลา T_{ON} และ T_{OFF} ณ แชนแนล 10 เมื่อสั่งให้ปล่อยกลืนที่ร้อยละ ของความเข้มข้นต่างๆกัน.....	29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวรับกลิ่นของมนุษย์ซึ่งมีลักษณะสอดคล้องกับแม่กลิ่นทั้งเจ็ดกลิ่น.....	5
2.2 แบบจำลองรูปแบบการเกิดการกระตุ้นในออลแฟกทอรีบัลล์ ด้วยกลไกต่างๆที่กระทำต่อ ตัวรับกลิ่น.....	8
2.3 กระบวนการรับกลิ่น.....	10
2.4 ภาพตัดแนวขวางของเซลล์รับกลิ่น (Odorant receptor).....	11
2.5 กระบวนการการส่งข้อมูลกลิ่น.....	11
2.6 หลักการทั่วไปของเครื่องแสดงกลิ่น.....	14
2.7 หลักการของการปล่อยกลิ่นแบบควบคุมด้วยโซลินอยด์วาล์ว.....	15
2.8 สัญญาณพัลส์.....	16
2.9 สัญญาณพัลส์ที่มีค่า Duty cycle ค่าต่าง.....	17
3.1 โครงสร้างของเครื่องแสดงกลิ่นแบบใช้โซลินอยด์วาล์ว.....	18
3.2 บอร์ด Altera DE0 Nano.....	19
3.3 โครงสร้างฮาร์ดแวร์ของวงจรควบคุมเครื่องแสดงกลิ่นแบบใช้โซลินอยด์วาล์ว.....	20
3.4 โครงสร้าง Nios II CPU ที่ออกแบบขึ้น.....	22
3.5 ขั้นตอนการทำงานของโค้ดภาษา C ที่พัฒนาขึ้นสำหรับทำงานบน Nios II.....	23
3.6 ขั้นตอนการทำงานของโค้ดภาษา C ที่พัฒนาขึ้นสำหรับทำงานบน Nios II.....	24
3.7 วงจร FPGA-Computer interface.....	25
4.1 ขั้นตอนการส่งข้อมูลที่ใช้ควบคุมโซลินอยด์วาล์ว.....	26
4.2 ผลการโปรแกรมวงจรควบคุมเครื่องแสดงกลิ่นแบบโซลินอยด์วาล์วบน FPGA.....	27
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ความเข้มข้นของกลิ่นที่สั่งให้ปล่อยที่เซนแนล 10 กับ T_{ON} ของสัญญาณ PWM ที่เซนแนล 10.....	30

4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ความเข้มข้นของกลิ่นที่สั่งให้ปล่อยที่แขนแนล 10 กับ T_{ON} ของสัญญาณ PWM ที่แขนแนล 10 ที่ค่าความเข้มข้นระหว่าง 0-10 % (เป็นรูปขยายในช่วง 0 ถึง 10 % ของรูปที่ 4.3).....	30
4.5 ตัวอย่างสัญญาณที่แขนแนล 10 ที่ค่าความเข้มข้นของกลิ่น 1 %.....	31
4.6 ตัวอย่างสัญญาณที่แขนแนล 10 ที่ค่าความเข้มข้นของกลิ่น 50 %.....	31
4.7 ตัวอย่างสัญญาณที่แขนแนล 10 ที่ค่าความเข้มข้นของกลิ่น 80 %.....	32



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

นานเท่าอารยธรรมของมนุษย์ ประสาทสัมผัสทั้งห้าคือ การเห็น การได้ยิน การลิ้มรส การได้กลิ่น การสัมผัส ถูกใช้เพื่อความอยู่รอด ดำรงไว้ซึ่งเผ่าพันธุ์ และก่อให้เกิดการรังสรรค์อารยธรรมปรากฏขึ้นทั่วทุกมุมโลก สำหรับในมนุษยการได้กลิ่น ทำให้มนุษย์สามารถระบุวัตถุใดๆได้ อีกทั้งยังมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งทางอารมณ์และสังคม

ในอดีตกาล กลิ่นถูกใช้ในลักษณะของการติดต่อสื่อสารกับเทพเจ้า [1] จนกลายมาเป็นที่นิยมในด้านความสวยงามของบรรดาสตรีชาวอียิปต์ [2] และเมื่อมาถึงยุคปัจจุบัน การใช้ประโยชน์จากกลิ่นได้เปลี่ยนแปลงไปตามยุคสมัย การใช้กลิ่นจากรูป กลิ่นจากกายานและเครื่องหอมยังคงถูกใช้ในการบูชาสิ่งศักดิ์สิทธิ์ในศาสนาต่างๆ นอกจากนี้ กลิ่นยังเป็นส่วนหนึ่งในวิถีชีวิตของมนุษย์ในเชิงวัฒนธรรมอีกด้วยเช่นกัน อาทิ ในศิลปะชั้นสูงของญี่ปุ่น ศาสตร์โคโด (วิถีแห่งกลิ่นหอม) เป็นศิลปะของการปรุงกลิ่นเครื่องหอม [3] ที่ทำให้เกิดการละเล่นคുമิโกะ หรือการฟังกลิ่น ซึ่งเป็นการละเล่นทายชนิดของไม้ที่เผาไฟจากกลิ่นที่ได้รับรู้ ไม่เพียงเท่านั้น กลิ่นยังถูกพัฒนากลายมาเป็นความบันเทิงรูปแบบใหม่ ที่ทำให้ประสบการณ์ในการรับชมสื่อไม่ได้จำกัดอยู่เพียงแค่ภาพและเสียง (Audio Visual : AV) จึงเป็นที่คาดหมายว่ากลิ่นจะเป็นสิ่งที่สามารถเพิ่มความสมจริง (Reality) ของคอนเทนท์ที่นำเสนอได้ [4]

เครื่องแสดงกลิ่น (Olfactory display) ถูกพัฒนาขึ้นมาในหลายรูปแบบ เช่น เครื่องแสดงกลิ่นโดยใช้เครื่องควบคุมอัตราการไหล (Mass flow controllers : MFC) [4], เครื่องแสดงกลิ่นโดยใช้เครื่องฉีดสารตัวอย่างอัตโนมัติ (Autosampler) [4], เครื่องแสดงกลิ่นโดยใช้อุปกรณ์อิงค์เจ็ท (Inkjet device) [5] เป็นต้น จะเห็นได้ว่าเครื่องแสดงกลิ่นได้ถูกพัฒนาขึ้นมาหลายรูปแบบ ซึ่งมีคุณสมบัติในการใช้งานต่างๆกัน อย่างไรก็ตามในมุมมองของเรา เครื่องแสดงกลิ่นที่ดีควรมีคุณสมบัติดังนี้ [6] 1) ทำงานได้รวดเร็ว 2) ควบคุมความเข้มข้นกลิ่นที่ปล่อยได้ 3) สามารถผสมกลิ่นได้ และ 4) มีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งเครื่องแสดงกลิ่นที่มีคุณสมบัติดังกล่าวมานี้จะสามารถถูกนำไปใช้ในงานประยุกต์ได้มากมาย ไม่ว่าจะเป็นในทางการแพทย์ [7] การศึกษา [7] อุตสาหกรรม [8] และความบันเทิง [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์และความมุ่งหมายของการศึกษา

ในโครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องแสดงคลื่นที่สามารถ 1) ทำงานได้รวดเร็ว 2) ควบคุมความเข้มข้นคลื่นที่ปล่อยได้ 3) ผสมคลื่นได้ และ 4) มีขนาดเล็ก เพื่อเป็นต้นแบบของงานวิจัยทางด้านเครื่องแสดงคลื่นในประเทศไทย

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เพื่อที่จะทำให้เครื่องแสดงคลื่นที่จะพัฒนาขึ้นสามารถปล่อยคลื่นได้รวดเร็ว ในโครงการนี้ จะใช้ปัลลิมเป็นตัวแปรต้นกำเนิดคลื่นที่อยู่ในรูปของของเหลวไหลกลายเป็นไอออกไปยังโซลินอยด์วาล์ว ที่ถูกควบคุมการปิด-เปิด โดยวงจร PWM โดยการปรับค่า Duty cycle ของแรงดันไฟฟ้าที่ถูกป้อนไปควบคุมอัตราการปิด-เปิด ของโซลินอยด์วาล์วนี้ จะทำให้สามารถควบคุมความเข้มข้นของคลื่นที่ต้องการปล่อยได้ โดยการปล่อยคลื่นจำนวนมากในเวลาเดียวกันด้วยโซลินอยด์วาล์ว ก็จะทำให้สามารถผสมคลื่นได้ นอกจากนี้การออกแบบวงจร Pulse Width Modulation (PWM) ลงบน FPGA ก็จะสามารถลดขนาดของระบบให้มีขนาดเล็กได้

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

พัฒนางจร PWM ซึ่งเป็นวงจรควบคุมหลักในเครื่องแสดงคลื่นแบบใช้โซลินอยด์วาล์ว จากนั้นทำการประเมินวงจรที่สร้างขึ้นโดยวัดสัญญาณเอาต์พุทของวงจรด้วยออสซิลโลสโคป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถพัฒนาเครื่องแสดงคลื่นที่สามารถปล่อยคลื่นได้รวดเร็ว ควบคุมความเข้มข้นของคลื่นที่ปล่อยได้ สามารถผสมคลื่นได้ และมีขนาดเล็ก เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นของงานวิจัยทางด้านเครื่องแสดงคลื่นในประเทศไทย

บทที่ 2

ทฤษฎีเกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับกลิ่น

ถึงแม้ว่าการรับรู้กลิ่นจะเป็นประสาทสัมผัสที่มนุษย์มีมาติดตัวแต่กำเนิด แต่มนุษย์ก็ยังมี ความเข้าใจในกลไกของกลิ่นน้อยที่สุดในบรรดาประสาทสัมผัสอื่นๆ ทฤษฎีแรกเกี่ยวกับปฏิกิริยาที่มีต่อ โมเลกุลของกลิ่น เกิดขึ้นมากกว่า 2,000 ปีแล้ว แต่ถึงกระนั้น ในปัจจุบัน กลิ่นก็ยังไม่เป็นที่เข้าใจมากนัก แบบจำลองหลายรูปแบบถูกพัฒนาขึ้นเพื่อมาอธิบายทฤษฎี ดังจะอธิบายในหัวข้อที่ 2.1.1 ถึง 2.1.4

2.1.1 ปรัชญาของลูครีเตียส (Lucretius's philosophy)

ความพยายามแรกในการอธิบายธรรมชาติของกลิ่นเกิดขึ้นเมื่อ 2,000 ปีที่แล้ว โดย ดิดีส ลูครีเตียส คาร์ส นักกวีและนักปราชญ์ชาวโรมัน ในเล่มที่ 4 ของชุดหนังสือที่มีชื่อว่า “De rerum natura” (ในธรรมชาติของทุกสิ่ง) [10] เขาเขียนใจความสำคัญเกี่ยวกับกลิ่น เอาไว้ว่า “มีกลิ่นอยู่มากมาย เคลื่อนที่และม้วนตัวไปพร้อมๆกัน วัตถุเหล่านี้จะถูกปล่อย เคลื่อนที่ และกระจายทุกทิศทางไปกับสายลม กลิ่นมีหลายรูปร่าง กลิ่นบางกลิ่นสามารถรับรู้ ได้ง่ายโดยสัตว์บางชนิด เช่น ผึ้งมีการรับรู้กลิ่นที่ไวต่อน้ำผึ้ง, สุนัขที่ออกล่าเหยื่อจะไวต่อกลิ่น ของสัตว์ที่เป็นเหยื่อ กลิ่นบางกลิ่นสามารถเดินทางไปได้ไกลกว่ากลิ่นอื่น อย่างไรก็ตาม ไม่มี กลิ่นใดๆที่สามารถเดินทางไปได้ไกลเท่าเสียง”

ถึงแม้ว่าคำอธิบายของลูครีเตียสจะดูง่าย และไม่มีใจความอธิบายว่า มนุษย์รับรู้กลิ่น ผ่านทางจมูกได้อย่างไร และอนุภาคของกลิ่นเป็นอย่างไร แต่นี่ก็เป็นความพยายามแรกของ มนุษย์ในการอธิบายธรรมชาติของกลิ่น [11]

2.1.2 ทฤษฎีการสั่นของไรท์ (Wright's vibrational theory)

สมมติฐานทางเคมีของกลิ่นถูกเสนอโดยไรท์ [12] เขาอ้างว่าชนิดของกลิ่นจะขึ้นอยู่กับ การสั่นสะเทือนของโมเลกุลกลิ่นเป็นหลัก โดยมีผลเล็กน้อยจากความสามารถในการ ระเหย และความสามารถในการละลายในน้ำหรือน้ำมัน ไรท์คาดว่า การสั่นโมเลกุลมีความถี่ ของการสั่นต่ำประมาณ $300-400\text{ cm}^{-1}$ แต่ไม่ต่ำกว่า $50-60\text{ cm}^{-1}$ และแบ่งกลิ่นได้เป็น 25 กลิ่นหลัก ที่สามารถรวมตัวกันได้เป็นอีกหลายกลิ่น สารมีกลิ่นส่วนใหญ่เป็นเชิงซ้อน และ ไม่ได้มีเพียงกลิ่นหลักเพียงกลิ่นเดียว ไรท์ได้ทำการทดลองโดยใช้น้ำหอมที่ใส่มัสค์ และ ไม่ใส่มัสค์เป็นส่วนผสม เพื่อที่จะพิสูจน์สมมติฐานของเขา (มัสค์ : เป็นสารหอมชนิดหนึ่ง สามารถสกัดได้จากต่อมเพศบริเวณเหนืออวัยวะเพศของกวางเพศผู้ มีคุณสมบัติอีกประการ คือทำให้กลิ่นติดทนขึ้น) [13] เขาใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Infrared spectrophotometer) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์โครงสร้างสาร ในการทดลอง ผลการทดลองปรากฏว่า น้ำหอมที่ใส่มัสค์ มีโครงสร้างทางเคมีเป็นวงปิดของ $-\text{CH}_2-$ ซึ่งไม่พบ ในน้ำหอมที่ไม่มีมัสค์ อย่างไรก็ตามการทดลองนี้ก็ยังไม่สามารถยืนยันทฤษฎีการสั่นของไรท์ ได้อย่างชัดเจน ถึงแม้ว่าสมมติฐานนี้จะอธิบายว่าทำไมโมเลกุลที่มีโครงสร้างโมเลกุลไม่ เหมือนกัน กลับมีกลิ่นที่คล้ายกัน แต่ไรท์ก็ไม่ได้อธิบายกลไกของเซลล์รับกลิ่นที่สามารถ ตรวจจับการสั่นของโมเลกุลกลิ่นได้

2.1.3 ทฤษฎีสเตอริโอเคมีของอมัวร์ (Amoore's stereochemical theory)

ทฤษฎีนี้ถูกเสนอโดยอมัวร์ มีเนื้อหา คือ ชนิดของกลิ่นถูกกำหนดโดยขนาดของ โมเลกุล [14] ดังนั้นกลิ่นที่คล้ายกันก็จะมีขนาดและรูปร่างของโมเลกุลที่ใกล้เคียงกัน ใน ทำนองเดียวกัน กลิ่นที่แตกต่างกันก็มีขนาดและรูปร่างของโมเลกุลที่แตกต่างกัน โดยโมเลกุล กลิ่นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ โมเลกุลที่ตายตัว (Rigid) และโมเลกุลที่ดัดแปลงได้ (Flexible) อมัวร์ยังกล่าวอีกว่า รูปร่างของโมเลกุลกลิ่นไม่ น่าจะมีรูปร่างพอดีกับตัวรับกลิ่นใน จมูกมนุษย์มากกว่า 1 ชนิด แต่ทว่า ในภายหลังโมเลกุลกลิ่นจะสามารถดัดแปลงรูปร่างของ มันเองให้พอดีกับตัวรับกลิ่นได้หลายชนิดได้ สำหรับในเรื่องของแม่กลิ่นนั้น สามารถแบ่งแม่ กลิ่นออกมาได้ 7 กลิ่น นั่นคือ อากาศ (Ethereal), กลิ่นการบูร-สมุนไพรมัน (Camphoraceous), กลิ่นหอม (Musky), กลิ่นดอกไม้ (Floral), กลิ่นมัน (Minty), กลิ่นฉุน (Pungent) และกลิ่นเหม็น (Putrid) กลิ่นเหล่านี้มีผลต่อตัวรับกลิ่นโดยตรง จึงถูกเรียกว่า กลไก “Lock and Key” ซึ่งก็คือ โมเลกุลกลิ่นเหล่านี้มีขนาดพอดีกับตัวรับกลิ่นในเยื่อบุโพรงจมูก

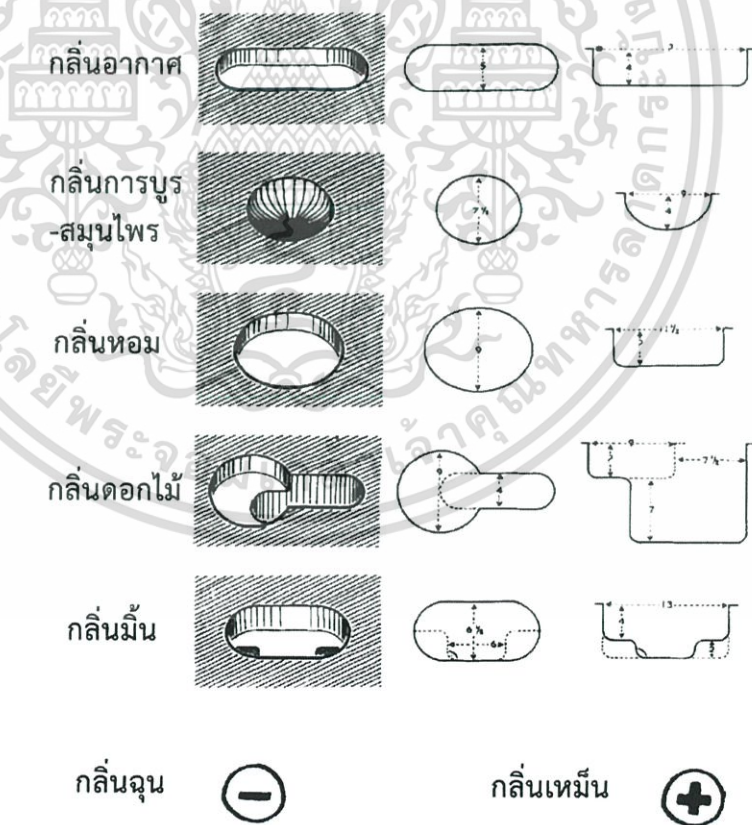
ช่องตัวรับกลิ่นของอากาศ กลิ่นการบูร-สมุนไพรมัน และกลิ่นหอม จะเน้นรับกลิ่นโดย ขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลกลิ่น ตัวรับอากาศ มีรูปร่างเป็นช่องแคบ ซึ่งจะยอมรับเฉพาะโมเลกุล เล็กหรือบาง ตัวรับกลิ่นการบูร-สมุนไพรมันมีลักษณะเป็นหลุมเรียบรูปครึ่งทรงกลม ตัวรับกลิ่น

หอมจะมีขนาดใหญ่กว่าตัวรับกลิ่นทั้งสอง มีลักษณะเป็นรูปไข่ และเป็นแอ่งบางๆ ซึ่งโมเลกุลที่จะเข้ามาเติมเต็มต้องมีขนาดใหญ่ตามไปด้วย

ช่องตัวรับกลิ่นของกลิ่นมันต์และกลิ่นดอกไม้ จะรับกลิ่นโดยขึ้นอยู่กับรูปร่างมากกว่าขนาดเหมือนตัวรับกลิ่นสามตัวแรก ตัวรับกลิ่นดอกไม้ไม่มีรูปร่างเป็นรูปกุกุญแจ ตัวรับกลิ่นมันต์จะพอดีกับโมเลกุลที่มีรูปร่างเป็นลิ้ม

ช่องตัวรับกลิ่นของกลิ่นฉุนและกลิ่นเหม็น จะไม่ขึ้นอยู่กับทั้งขนาดและรูปร่างของโมเลกุล แต่จะขึ้นอยู่กับสถานะทางไฟฟ้าของโมเลกุลกลิ่น กลิ่นฉุนเป็นโมเลกุลที่สามารถรับอิเล็กตรอนได้มากอีกมาก (ประจุเป็นบวก) และกลิ่นเหม็นเป็นกลิ่นที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูง (ประจุเป็นลบ) เพราะฉะนั้น ช่องของตัวรับกลิ่นจะสวนทางกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของกลิ่น

ลักษณะของตัวรับกลิ่นของแม่กลิ่นทั้ง 7 กลิ่น แสดงดังรูปที่ 2.1 ด้านซ้ายของภาพแสดงมุมมองด้านเฉียง ตรงกลางของภาพแสดงมุมมองด้านบน และด้านขวาแสดงมุมมองด้านหน้าของตัวรับกลิ่น [15]



รูปที่ 2.1 ตัวรับกลิ่นของมนุษย์ซึ่งมีลักษณะสอดคล้องกับแม่กลิ่นทั้งเจ็ดกลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีของอัมวาร์เป็นประโยชน์อย่างมาก มันสามารถอธิบายเกี่ยวกับกลืนและกลไกการรับกลืนของจุ่มกมนุษย์ได้ แต่อย่างไรก็ตาม จำนวนกลืนหลักในทฤษฎีนี้ยังไม่เพียงพอเพราะจำนวนกลืนหลักที่อัมวาร์กล่าวมานั้น ยังไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์เกี่ยวกับกลืนบางปรากฏการณ์ได้ ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป ปัจจุบันแม่กลืนที่ถูกต้องยังไม่ถูกค้นพบหรืออาจจะไม่มีแม่กลืนอยู่เลยก็เป็นได้ [16]

2.1.4 ทฤษฎีสเปกโทรสโกปิกของตูริน (Turin's spectroscopic theory)

ในปี 1985 ทฤษฎีของไรท์ [17] ถูกเพิ่มเติมโดยตูริน ทฤษฎีของตูรินอธิบายว่าตัวรับกลืนไม่ได้ตอบสนองต่อรูปร่างของโมเลกุลแต่ตอบสนองต่อการสั่น เช่นเดียวกันกับการมองเห็นซึ่งมีโคนส์ (Cones) ที่ไวต่อสีแดง เขียว น้ำเงิน และแท่งรับสีเทา (Gray scale rods) ในดวงตา ซึ่งสามารถตรวจจับความถี่ของการสั่นของแม่เหล็กไฟฟ้า และในการได้ยิน จะมีอวัยวะภายในหูไวตรวจจับความถี่ของคลื่นเสียง [18] อย่างไรก็ตามการคาดคะเนความถี่ของการสั่นของโมเลกุลก็เป็นเรื่องยากและซับซ้อน

ทฤษฎีของตูรินแตกต่างกับทฤษฎีของไรท์ในเรื่องรายละเอียดและกลไกที่เป็นไปได้ของพลังงานทางชีวภาพของการสั่นของโมเลกุล จำนวนชนิดของตัวรับกลืนจะขึ้นอยู่กับช่วงความแตกต่างของการสั่นของโมเลกุล ในการมองเห็น มนุษย์มองเห็นเฉดสีว่าล้านเฉดได้เพียงมีแค่ตัวรับสีสามชนิดในดวงตา แต่ในจุ่มก อาจจะมีมากกว่านั้น ซึ่งในส่วนของกลืนนั้น อาจจะมีตัวรับกลืนมีช่วงที่คาบเกี่ยวกัน และมีบางช่วงของการสั่นของโมเลกุลที่ทำให้ไม่มีกลืน ทฤษฎีการสั่นของกลืนของตูรินแสดงหลักฐานที่น่าสนใจสองอย่างที่ทฤษฎีของอัมวาร์ไม่ได้อธิบายไว้ ดังต่อไปนี้

(1) โมเลกุลของสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยไฮโดรเจนและคาร์บอนอะตอมไฮโดรเจนจะอยู่ในรูปลูกบาศก์ มี 3 ไอโซโทป อะตอมไฮโดรเจน มีอีกชื่อว่าโปรเทียม ประกอบด้วยนิวเคลียส ซึ่งมีเพียงโปรตอน 1 ตัว และมีอิเล็กตรอน 1 ตัวอยู่ในชั้นพลังงานรอบนิวเคลียส โปรตอนมีมวลมากกว่าอิเล็กตรอนประมาณ 1800 เท่า โดยที่ส่วนใหญ่จะอยู่ในนิวเคลียสนั่นเอง อย่างไรก็ตาม ขนาดของอะตอมไฮโดรเจนถูกกำหนดโดยชั้นอิเล็กตรอน ไอโซโทปแบบที่สองของอะตอมไฮโดรเจน เรียกว่าดิวเทอเรียม มีนิวตรอนซึ่งมีประจุเป็นกลาง 1 ตัว อยู่ร่วมกับโปรตอนในนิวเคลียสของอะตอม ขนาดและรูปร่างของดิวเทอเรียมแทบจะเหมือนรูปร่างปกติของอะตอมไฮโดรเจน แต่มวลของดิวเทอเรียมจะมีขนาดเป็นสองเท่าของอะตอมไฮโดรเจนปกติ ถ้าอะตอมไฮโดรเจนปกติที่อยู่ในโมเลกุลถูกแทนที่ด้วยอะตอมดิวเทอเรียมแล้ว รูปร่างของโมเลกุลจะยังคงเดิม แต่ความถี่ของการสั่นจะมีค่าลดลง ในกรณีนี้ กลืนที่สังเคราะห์ได้จากโมเลกุลที่มีดิวเทอเรียมจะแตกต่างไปจากกลืนเดิม ซึ่งทฤษฎีของอัมวาร์ไม่สามารถอธิบายกลไกนี้ได้

(2) หลักฐานอีกหนึ่งในเรื่องทฤษฎีการสั่นของตุริน เขาได้ค้นพบโมเลกุลสองโมเลกุลที่มีการสั่นที่เหมือนกัน ตัวโมเลกุลมีรูปร่างแตกต่างกัน แต่มีกลิ่นเดียวกัน ตุรินได้กล่าวไว้ว่า เขาเชื่อว่า สารประกอบของซิลเฟอร์ ซึ่งมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ มีคุณสมบัติที่มาจากพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างซิลเฟอร์และไฮโดรเจน ทำให้มีเลขคลื่นอยู่ที่ 2500 cm^{-1} และได้พบว่าสารประกอบของโบรอน มีการสั่นและกลิ่นแบบเดียวกันกับสารประกอบของซิลเฟอร์ แม้ว่าสารประกอบโบรอนจะมีรูปร่างที่แตกต่างสารประกอบซิลเฟอร์โดยสิ้นเชิง และนี่ก็เป็นอีกหลักฐานหนึ่งที่ยากเกินกว่าจะอธิบายได้ด้วยทฤษฎีของอมัวร์

และแม้ว่าทฤษฎีของตุรินจะสามารถอธิบายถึงโครงสร้างของโมเลกุลและกลไกของกลิ่นได้ แต่ทฤษฎีของเขาก็เป็นที่วิพากษ์วิจารณ์ของนักวิทยาศาสตร์บางกลุ่ม ที่ทำงานการทดลองแบบเดียวกัน ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันกับตุริน แม้ว่านักวิทยาศาสตร์กลุ่มนี้จะทำการทดลองถึงสองครั้ง [19] แต่ก็ไม่ได้ผลการทดลองเดียวกันกับตุริน ทำให้จนทุกวันนี้ คำอธิบายจากทฤษฎีของอมัวร์ ยังคงเป็นที่ยอมรับว่าเป็นทฤษฎีเบื้องต้น แม้ว่ามันจะไม่สามารถอธิบายกลไกบางกลไกที่เกี่ยวกับกลิ่นได้ก็ตาม [20]

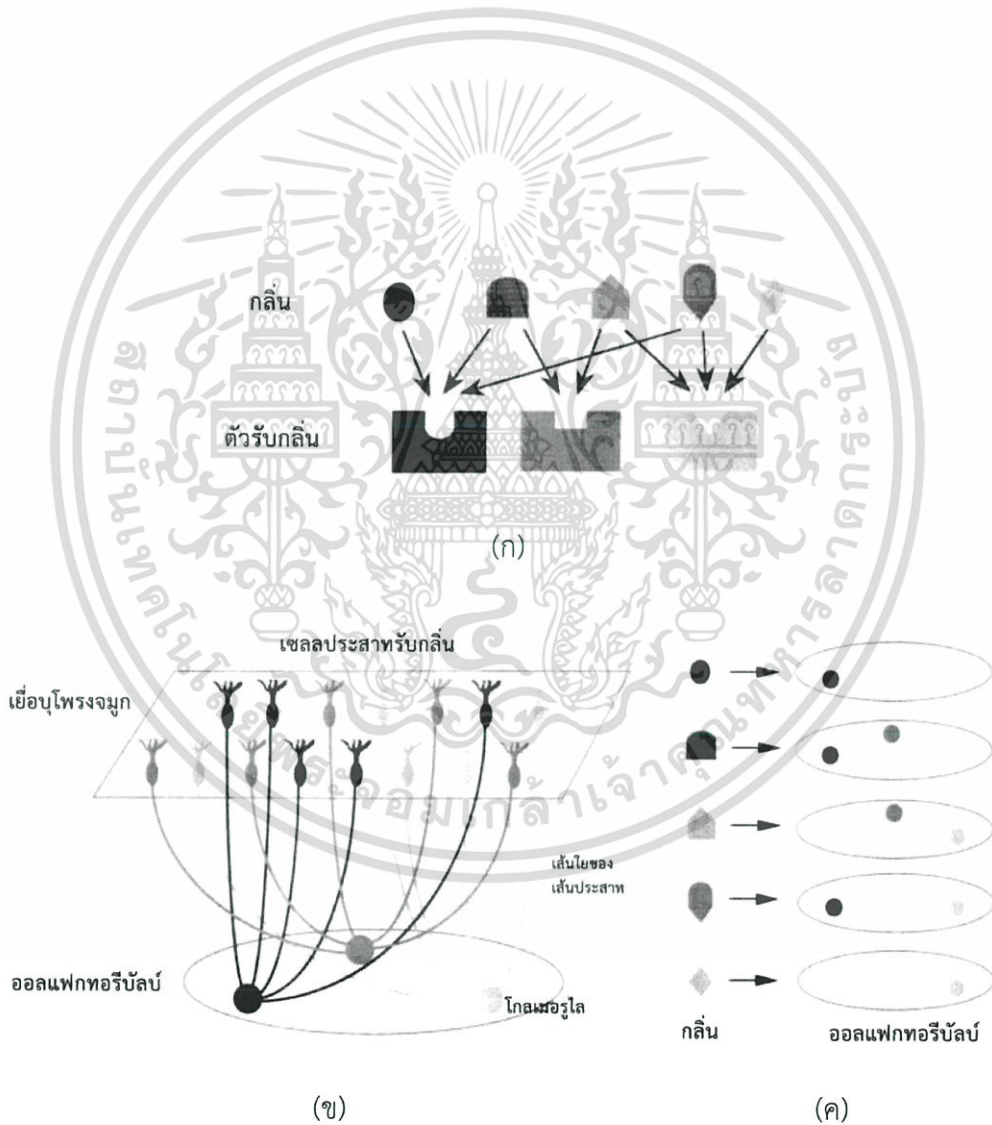
2.1.5 ทฤษฎีนำเสนอเกี่ยวกับแม่กลิ่น

ระบบการรับรู้กลิ่นสามารถแยกแยะตัวกระตุ้นทางเคมีส่วนใหญ่ซึ่งต้องใช้ตัวรับกลิ่นที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันกว่าสามร้อยชนิดได้ ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงการประมวลกลิ่นของระบบการรับรู้กลิ่น แบบจำลองของการเกิดลักษณะการเคลื่อนไหวในสมองส่วนหน้าบริเวณที่เรียกว่า ออลแฟกทอรีบัลล์ (Olfactory bulb) ด้วยกลไกของตัวรับกลิ่นถูกนำเสนอโดยโทฮาระและคณะ [21] ดังรูปที่ 2.2 โมเลกุลของกลิ่นส่วนใหญ่จะถูกจดจำโดยตัวรับกลิ่นมากกว่าหนึ่งตัว และตัวรับกลิ่นส่วนใหญ่จะจดจำกลิ่นได้กลายเป็น ดังรูปที่ 2.2 (ก) แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างย่อยๆของโมเลกุลกลิ่นจะถูกจดจำโดยตัวรับกลิ่น เซลล์ประสาทรับกลิ่นซึ่งเป็นตัวเชื่อมต่อกับตัวรับกลิ่นกับโกลเมอรูไลในออลแฟกทอรีบัลล์ ดังรูปที่ 2.2 (ข) จากนั้น การกระตุ้นที่เกิดกับตัวรับกลิ่นโดยแต่ละโมเลกุลจะทำให้ออลแฟกทอรีบัลล์ประมวลผลรูปแบบของการกระตุ้นที่แตกต่างกันในตัวรับกลิ่นไว้ ดังรูปที่ 2.2 (ค)

แม้ว่าความเข้าใจกลไกการตรวจจับกลิ่นของระบบรับรู้กลิ่นจะมีเพิ่มมากขึ้น แต่ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่ส่งจากตัวรับกลิ่นหลายตัวและคุณสมบัติของโมเลกุลกลิ่นยังคงเป็นสิ่งที่ยังไม่ได้สามารถเข้าใจได้ ฉะนั้นการจัดกลุ่มของแม่กลิ่น ซึ่งหลายๆกลิ่นถูกนำมาเป็นกลิ่นพื้นฐานในการผสมขึ้นมาเป็นกลิ่นใหม่ ยังคงไม่เป็นที่แน่ชัด มีการนำเสนอหลากหลายทฤษฎีเกี่ยวกับผลของกลไกระหว่างตัวรับกลิ่นและกลิ่นที่ไปกระตุ้นดังตารางที่ 2.1

นักวิจัย	ทฤษฎี	อ้างอิง
จี. เอ็ม. ไตสัน และคณะ	การสั้นของโมเลกุล	[22]
เจ. อี. อมัวร์ และคณะ	รูปร่างของโมเลกุล	[23]
เจ. ที. เดวีส์ และคณะ	ช่องว่างในการแพร่	[24]
บี. โรเซนเบิร์ก และคณะ	ปรากฏการณ์เพียโซ	[25]
แอล. ตูริน และคณะ	จุมุกเป็นสเปกโตรสโคป	[18]

ตารางที่ 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับกลิ่น



รูปที่ 2.2 แบบจำลองรูปแบบการเกิดการกระตุ้นในออลแฟกทอรีบัลล์

ด้วยกลไกต่างๆที่กระทำต่อตัวรับกลิ่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ว่าบางครั้งดูเหมือนจะเป็นไปไม่ได้ที่จะนำวิธีการที่ถูกนำเสนอต่างๆ เหล่านี้ไปใช้ในการซื้อสรุปความสัมพันธ์ระหว่างกลิ่นและรูปแบบการสนองของเซลล์กลิ่น แต่ทฤษฎีเหล่านี้ก็ยังคงเป็นทฤษฎีเบื้องต้นที่มีความถูกต้องน้อยมาก ฉะนั้น การจัดกลุ่มแม่กลิ่นก็ยังคงเป็นเรื่องที่ยังไม่แน่ชัดต่อไป

2.2 การรับรู้กลิ่นในมนุษย์

การรับรู้กลิ่น เป็นหนึ่งในห้าของประสาทสัมผัสของมนุษย์ทุกคนนอกเหนือไปจากการมองเห็น การได้ยิน การรู่รส และการสัมผัสทางผิวหนัง กลิ่นส่งผลต่อพฤติกรรมหลายๆ อย่างของสิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็น อากาศน้ำลายไหลเมื่อได้กลิ่นอาหารที่ชอบ การต้องอุดจมูก หรือเป็นอหิวาต์เมื่อได้กลิ่นเหม็นรุนแรง จมูกของมนุษย์เป็นอวัยวะที่เกี่ยวกับประสาทที่ซับซ้อนและไวต่อสิ่งกระตุ้นเป็นอย่างมาก

การรับรู้กลิ่นเกิดจากการทำงานที่สัมพันธ์กันระหว่างจมูกกับสมองส่วนหน้าบริเวณที่เรียกว่า ออลแฟกทอรีบัลล์ (Olfactory bulb) ที่จะคอยส่งต่อสัญญาณไปยังสมองส่วนซีรีบริม ให้แปลข้อมูลว่ากลิ่นที่เข้ามากระทบกับจมูกนั้นเป็นกลิ่นอะไร ปัจจุบันเป็นที่แน่ชัดแล้วว่า ระบบการดมกลิ่นในมนุษย์ ขึ้นอยู่กับเซลล์ประสาทรับกลิ่นจำนวนหลายร้อยเซลล์ที่แตกต่างกัน โดยแต่ละเซลล์มีคุณสมบัติในการรับรู้กลิ่นได้แตกต่างกันอีกด้วย

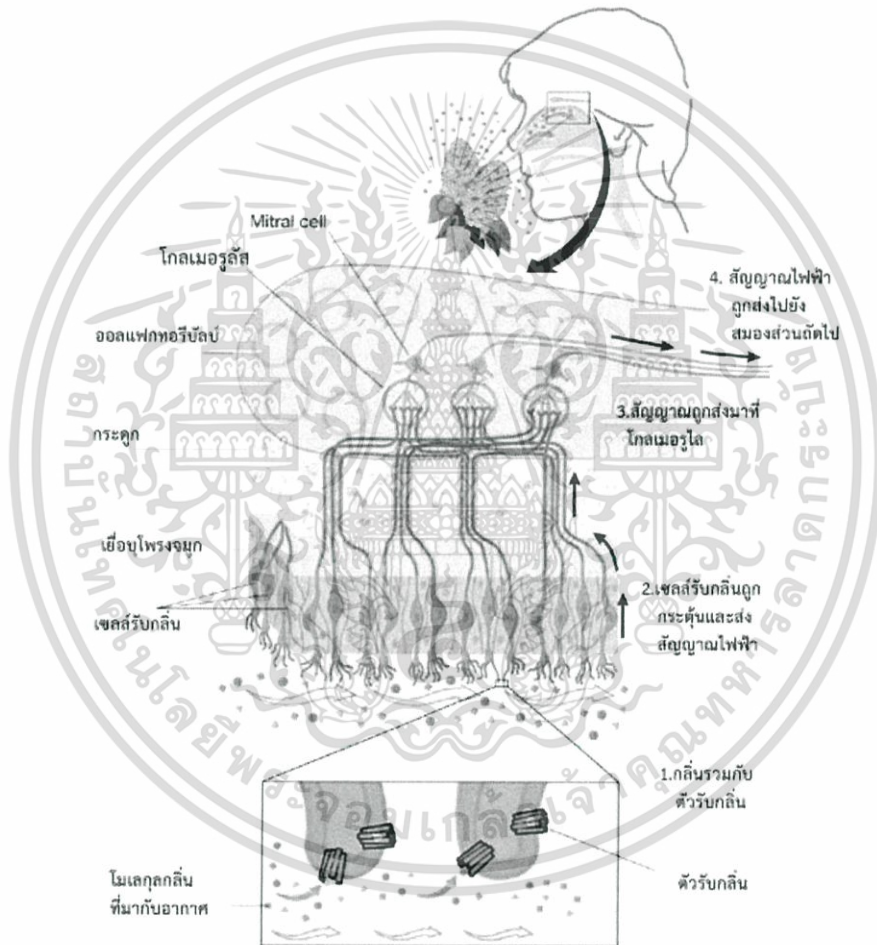
พื้นที่ผิวด้านบนของโพรงจมูกขนาดประมาณ 2.5 ตารางเซนติเมตรคือเยื่อโพรงจมูก (Olfactory epithelium) เมื่อมีอากาศที่หายใจเข้าไปแม้เพียงนิดเดียวก็สามารถกระตุ้นเยื่อโพรงจมูกได้ ชั้นเยื่อโพรงจมูก จะประกอบด้วยเซลล์ 3 ประเภท ได้แก่ เซลล์ประสาทรับกลิ่น (Olfactory sensory neurons) เซลล์ค้ำจุน (Supporting cells) และเซลล์พื้นฐาน (Basal cells)

ปลายเซลล์ประสาทรับกลิ่นจะมีลักษณะเป็นขน (Cilia) ปลายของเส้นประสาทรับกลิ่นจะอยู่ในซีเรีย ซึ่งยื่นออกมาในอากาศภายในโพรงจมูก เซลล์ประสาทรับกลิ่นหนึ่งเซลล์จะมีซีเรียประมาณ 6-12 เส้น และถูกปกคลุมด้วยชั้นเมือก (Mucus) โดยกลิ่นที่จะกระตุ้นเซลล์รับกลิ่นได้ดั้นั้น ควรมีคุณสมบัติดังนี้ คือ

1. ระเหยได้ในอากาศ เพื่อสูดผ่านเข้าจมูกได้
2. ละลายน้ำได้ดีเพื่อผ่านเยื่อจมูกไปสู่เซลล์รับกลิ่นได้
3. ละลายได้ดีในไขมัน เนื่องจากเซลล์รับกลิ่นมีสารไขมันเป็นองค์ประกอบ

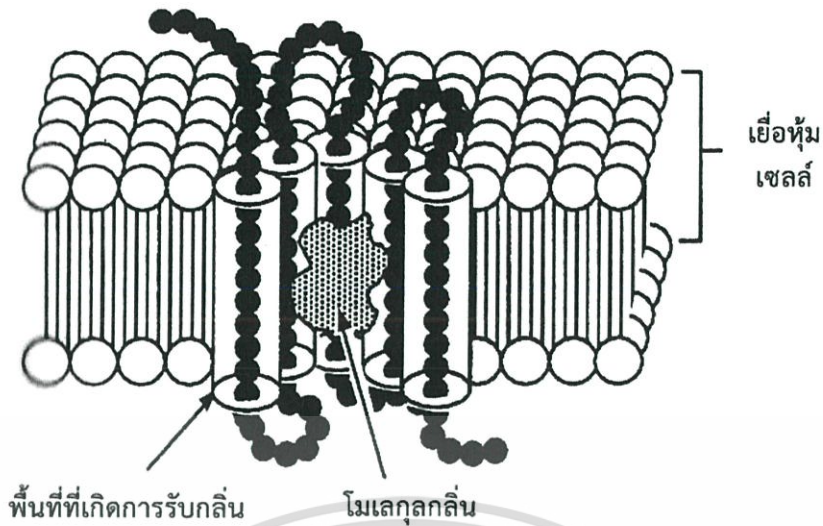
โมเลกุลของกลิ่นจะผ่านชั้นเมือกไปที่พื้นผิวของซีเรียที่มีเซลล์รับกลิ่น (Odorant receptor) โดยเยื่อเมือกที่มีโปรตีนซึ่งรวมตัวกับกลิ่นแล้วเรียกว่า Odorant binding protein จะไปจับกับเซลล์รับกลิ่น และไปกระตุ้นอะดีนัยไซคลาส (Adenyl cyclase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ฝังตัวอยู่ในเยื่อของซีเรีย เพื่อกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาที่ทำให้ช่องโซเดียม (Sodium channels) เปิด เป็นผลให้โซเดียมเข้าสู่เซลล์ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ เป็นกระแสประสาท ส่งจากเส้นประสาทที่อยู่ในเซลล์ประสาทรับกลิ่น ไปสู่ออลแฟกทอรีบัลล์ (Olfactory bulb) ซึ่งมีลักษณะเป็นโกลเมอรูล (Glomeruli) ที่หมายถึงบริเวณที่มีขนาดเล็กมาก (เซลล์รับกลิ่นจะนำสัญญาณจากเซลล์รับกลิ่น ประเภทเดียวกัน ไปสู่โกลเมอรูลอันเดียวกัน) และส่งต่อสัญญาณไปยังสมองส่วนซีรีบริม ให้แปลข้อมูลว่ากลิ่นที่เข้ามากระทบกับจมูกนั้นเป็นกลิ่นอะไร การที่มนุษย์สามารถแยกแยะกลิ่นได้อย่างแม่นยำนั้นก็เพราะใน

ระบบรับกลิ่นของมนุษย์ มีเซลล์รับกลิ่นที่มียืนกว่า 1,000 ชนิดที่แตกต่างกัน เซลล์รับกลิ่นหนึ่งเซลล์ จะมียืนรับกลิ่นเพียงหนึ่งยืนเท่านั้น ซึ่งตอบสนองต่อโมเลกุลกลิ่นที่เฉพาะเจาะจง หรือส่วนหนึ่งของ โมเลกุลกลิ่น เป็นจำนวนกว่า 10 ล้านเซลล์ จะเห็นได้ว่าเซลล์รับกลิ่นอาจจะตอบสนองได้หลายกลิ่น เพราะมันตอบสนองต่อโมเลกุลของกลิ่นหนึ่งกลิ่น ซึ่งอาจจะเป็นเพียงแค่ส่วนหนึ่งของกลิ่น ที่ ภายในอาจมีหลายโมเลกุลกลิ่นประกอบกัน ซึ่งสมองของมนุษย์สามารถแยกแยะได้กว่า 10,000 กลิ่น เลยทีเดียว [26]

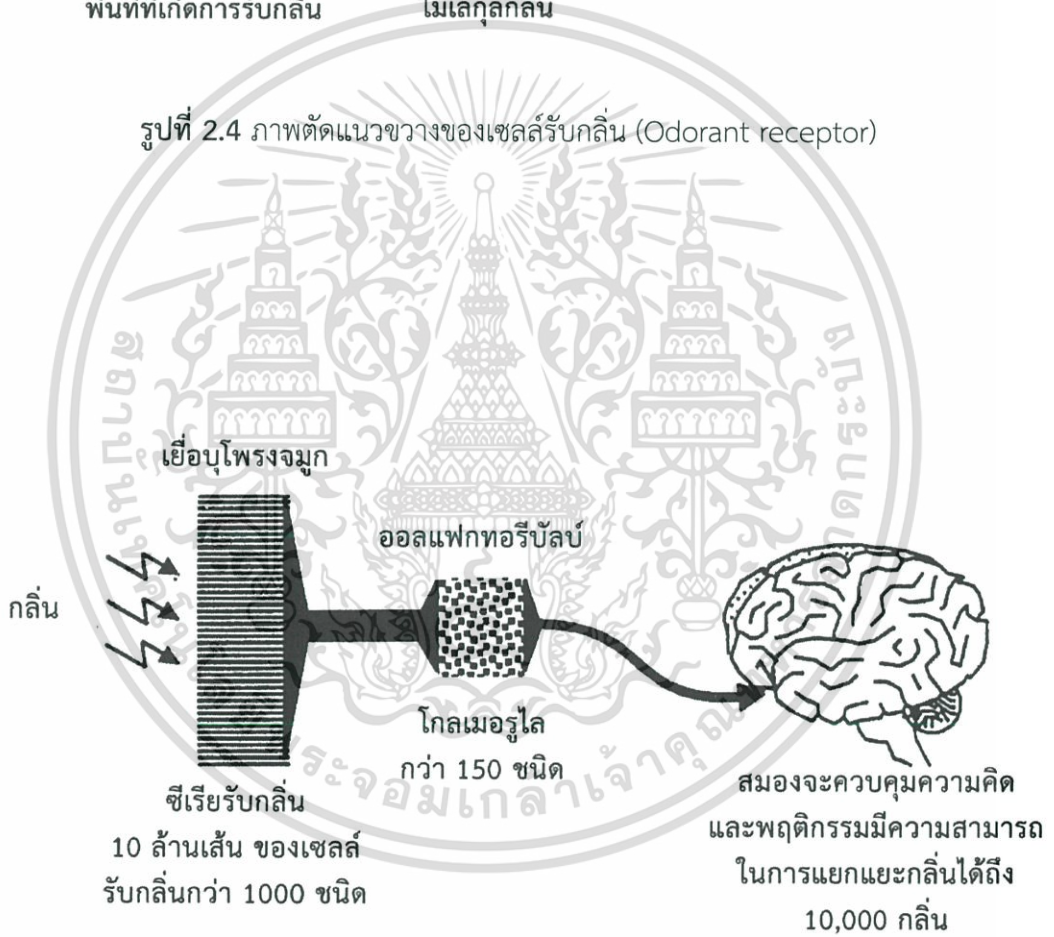


รูปที่ 2.3 กระบวนการรับกลิ่น [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ 10 ้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ภาพตัดแนวขวางของเซลล์รับกลิ่น (Odorant receptor)



รูปที่ 2.5 กระบวนการการส่งข้อมูลกลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และนำอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การประยุกต์ใช้กลิ่นในงานต่างๆ

2.3.1 ด้านประเพณีและวัฒนธรรม

การใช้กลิ่นจากรูป กลิ่นจากกายานและอีกสารพันเครื่องหอม ถูกใช้ในการบูชากราบไหว้ในศาสนาต่างๆ นอกจากนี้ กลิ่นยังเป็นส่วนหนึ่งในวิถีชีวิตของมนุษย์ในวัฒนธรรมอื่นๆ ด้วยเช่นกัน อาทิ ในศิลปะชั้นสูงของญี่ปุ่น ศาสตร์โคโด (โคโด : วิถีแห่งกลิ่นหอม) [3] เป็นศิลปะของการปรุงกลิ่นเครื่องหอม กลิ่นหอมที่ได้นั้นมาจากการเผาไม้หอมต่างๆ ศาสตร์โคโดทำให้เกิดการละเล่นคัมภีระ หรือการฟังกลิ่น ผู้เข้าร่วมจะการละเล่นนี้จะทายชนิดของไม้ที่เผาไฟจากกลิ่นที่ได้ดม เพื่อฝึกสมาธิและฝึกการแยกประสาทการดมกลิ่น

2.3.2 ด้านความบันเทิง

กลิ่นถูกพัฒนากลายเป็นความบันเทิงรูปแบบใหม่ ที่ทำให้ประสบการณ์ในการรับชมสื่อไม่ได้จำกัดอยู่เพียงแค่ภาพและเสียง (Audio Visual : AV) การปล่อยกลิ่นควบคู่ไปกับภาพและเสียงที่มีเนื้อหาสัมพันธ์กัน เช่น กลิ่นหอมของอาหารในฉากโต๊ะอาหาร สามารถเพิ่มความสมจริง (Reality) ของคอนเทนต์ที่ถ่ายทอดได้มากขึ้น [4]

2.3.3 ด้านความปลอดภัย

ในประเทศญี่ปุ่น ได้มีการออกแบบระบบเตือนการเกิดอัคคีภัยโดยการใช้กลิ่นวาซาบิ กลิ่นวาซาบิจะถูกปล่อยออกมาปลุกมนุษย์ที่กำลังนอนหลับพักผ่อน ให้รับรู้ที่เกิดเหตุอัคคีภัย [27]

2.3.4 ด้านการแพทย์และบำบัด

2.3.4.1 Aroma Therapy

การบำบัดโรคด้วยกลิ่นหอม หรือ Aroma Therapy เป็นที่รู้จักกันมานานกว่า 6,000 ปี เป็นการนำประโยชน์ของน้ำมันหอมระเหย ทำให้ร่างกาย จิตใจ อารมณ์เกิดความสมดุล หลักการนี้ถูกนำมาศึกษา โดยใช้หลักทางสรีรศาสตร์ที่มนุษย์สามารถสัมผัสรับกลิ่น (OLFACTORY NERVES) ซึ่งอยู่เหนือโพรงจมูก (NASAL CAVITY) เมื่อกลิ่นต่างๆ จากโมเลกุลของละอองเกสรดอกไม้ ผ่านกระเปาะรับกลิ่น (OLFACTORY BULBS) ที่ต่อกับลิมบิก ซีสเต็ม (LIMBIC SYSTEM) ซึ่งเป็นสมองส่วนควบคุมอารมณ์และความทรงจำ ด้วยหลักการเดียวกันนี้เอง น้ำมันหอมระเหยที่ถูกสกัดจากพืชสมุนไพรหลากหลายชนิดจึงถูกค้นคว้าวิจัยเพื่อนำมา

บำบัดรักษาโรคต่างๆ เพราะคุณสมบัติที่แตกต่างกันของพืชสมุนไพร ซึ่งผ่านการค้นคว้ามาแล้วจากหลายสถาบัน หลายอารยธรรม หลายช่วงเวลาเวลาถูกสังเคราะห์คุณค่าของความรู้ทางด้านน้ำมันหอมระเหยมีประสิทธิภาพสูงขึ้น คุณสมบัติในน้ำมันระเหยนี้ สามารถนำมาใช้โดยการนวด ให้ซึมผ่านผิวหนัง บางชนิดก็เป็นสารสกัดที่กำจัดแบคทีเรียได้ บ้างก็ช่วยแก้ภูมิแพ้ ที่ผิวหนัง ช่วยกระชับผิวให้เต่งตึง ส่วนกลิ่นที่ได้จากสารสกัดสมุนไพรนี้จะช่วยกระตุ้นเปลี่ยนสภาพอารมณ์และจิตใจเมื่อกลิ่นผ่านระบบประสาทลิมบิก ซีสเต็ม เช่น ช่วยให้สงบ ช่วยให้ผ่อนคลาย ช่วยให้กระปรี้กระเปร่า ช่วยคลายเครียด ช่วยลดความกระวนกระวายใจ ฯลฯ จนทำให้ Aroma Therapy เป็นที่นิยมไปทั่วโลก จนถึงทุกวันนี้ [28]

2.3.4.2 การตรวจหาโรคโดยการให้สัตว์ดมกลิ่น

สุนัขมีความสามารถในการรับกลิ่นได้ดีกว่ามนุษย์หลายเท่า จึงได้มีการนำสุนัขมาช่วยดมกลิ่นของมะเร็งในผู้ป่วย พบว่าสุนัขสามารถดมกลิ่นของมะเร็งได้หลายชนิด เช่น มะเร็งปอด มะเร็งในช่องท้อง เป็นต้น จึงนับเป็นความก้าวหน้าในการนำสัตว์มาช่วยทางการแพทย์ในปัจจุบัน [29]

2.3.5 ด้านเครื่องอุปโภคและบริโภค

2.3.5.1 ด้านอาหารและเครื่องดื่ม

อุตสาหกรรมอาหารใช้สารเติมแต่งอาหาร เพื่อแต่งกลิ่นอาหารให้มีกลิ่นอันน่าพึงปรารถนาในอาหารชนิดต่าง ๆ กลิ่นในสารเติมแต่งอาหารมี 3 ประเภท ได้แก่ กลิ่นผลไม้ถูกใช้ในผลไม้กระป๋องและของหวาน กลิ่นอาหารถูกใช้ในการทำอาหารต่าง ๆ เพื่อความหอมหรือกลิ่นเฉพาะของอาหารทั่วไป และกลิ่นหลากหลายประเภทใช้สำหรับแต่งกลิ่นเฉพาะของผลิตภัณฑ์ เช่น กลิ่นไวน์ กลิ่นถั่ว กลิ่นของพืชหอมต่าง ๆ เป็นต้น

2.3.5.2 ด้านเครื่องอุปโภค

1. กลิ่นหอมของสมุนไพรและพืชพรรณนานาชนิดถูกผสมลงในน้ำหอม เพื่อให้เกิดความผ่อนคลายให้แก่ผู้รับกลิ่น เช่น กลิ่นลาเวนเดอร์ กลิ่นโรสแมรี่ กลิ่นคาโมมายด์ เป็นต้น

2. ฐูปและกำยานถูกผสมกลิ่นหอม สำหรับใช้ในการกราบไหว้บูชาในศาสนาและความเชื่อต่างๆ

2.4 เครื่องแสดงกลิ่น

2.4.1 หลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องแสดงกลิ่น

เครื่องแสดงกลิ่นคืออุปกรณ์สำหรับปล่อยกลิ่นไปยังผู้รับได้ คำว่า “แสดงกลิ่น” นั้นเมื่อเปรียบเทียบกับ การแสดงภาพ ซึ่งส่งข้อมูลในรูปแบบที่มองเห็น เช่น ข้อความ ภาพ ไปยังผู้รับ เช่นเดียวกันนั้น เครื่องแสดงกลิ่นจะส่งข้อมูลในรูปแบบของกลิ่นไปยังผู้รับ ทั้งนี้ เครื่องแสดงกลิ่นอาจถูกควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์หรืออาจถูกประกอบรวมอยู่ในระบบอื่นๆก็ได้ หลักการทั่วไปของเครื่องแสดงกลิ่นแสดงดังรูปที่ 2.6

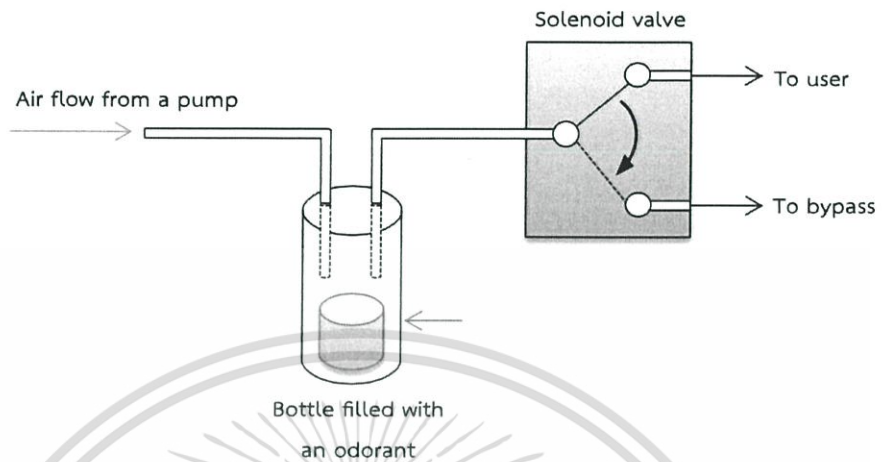
ทั้งนี้ ในมุมมองของเรา [30] เครื่องแสดงกลิ่นควรมีคุณสมบัติดังนี้

- 1) สามารถปล่อยกลิ่นได้รวดเร็วและมีความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility) สูง
- 2) สามารถควบคุมความเข้มข้นของกลิ่นที่ปล่อยได้
- 3) สามารถผสมกลิ่นได้
- 4) มีขนาดเล็ก พกพาได้ หรือสามารถประกอบเข้ากับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆได้
- 5) ทำงานโดยปราศจากการปล่อยสัญญาณรบกวน ทั้งในรูปของสัญญาณไฟฟ้า เสียง หรือความร้อน



รูปที่ 2.6 หลักการทั่วไปของเครื่องแสดงกลิ่น

2.4.2 เครื่องแสดงกลิ่นแบบใช้โซลินอยด์วาล์ว



รูปที่ 2.7 หลักการของการปล่อยกลิ่นแบบควบคุมด้วยโซลินอยด์วาล์ว [31]

เครื่องแสดงกลิ่นแบบใช้โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid valve) จะใช้โซลินอยด์วาล์วเป็นอุปกรณ์หลักในการควบคุมการปล่อยกลิ่น เนื่องจากโซลินอยด์วาล์วมีสองสถานะคือ เปิด และปิด ดังนั้นการใช้โซลินอยด์วาล์วที่มีความเร็วในการสับเปลี่ยนสถานะสูงจะช่วยให้การควบคุมความเข้มข้นของกลิ่นให้เป็นไปตามที่ต้องการได้ ดังรูปที่ 2.7

2.4.3 การประยุกต์ใช้เครื่องแสดงกลิ่น

2.4.2.1 การใช้เครื่องแสดงกลิ่นกับระบบภาพและเสียงหรือแอปพลิเคชัน

การใช้เครื่องแสดงกลิ่นกับจอภาพ เครื่องแสดงกลิ่นจะถูกติดตั้งเข้ากับระบบจอภาพ เช่น ทีวี จอภาพภาพยนตร์ หรือจอโปรเจกเตอร์ กลิ่นจะถูกปล่อยออกมาจากเครื่องแสดงกลิ่น ตามที่ผู้พัฒนาได้ตั้งค่าไว้ให้สัมพันธ์กับภาพและเสียง

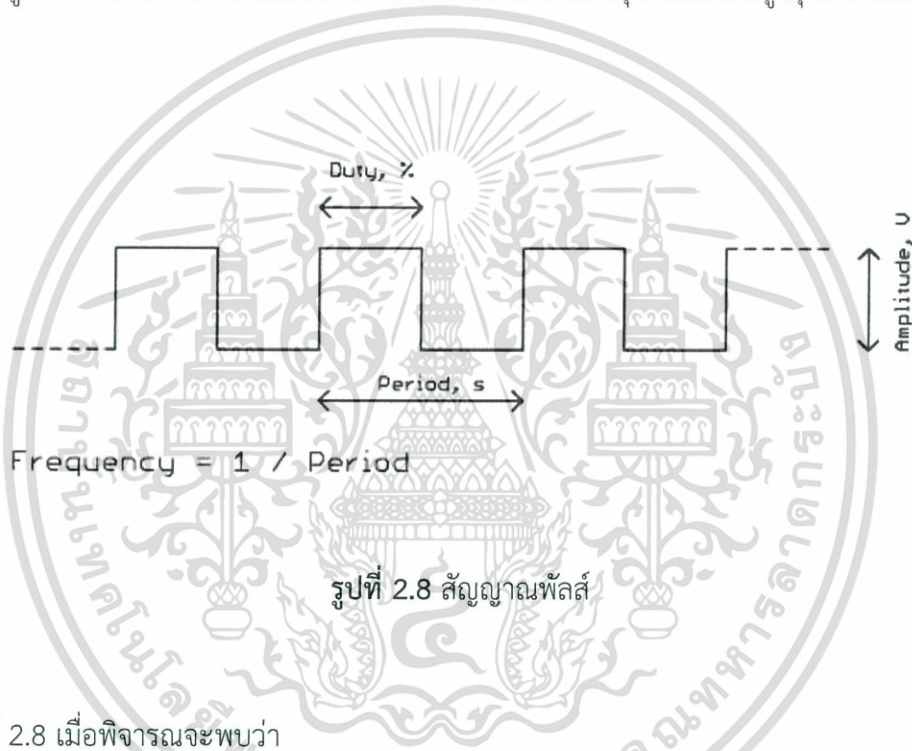
แอปพลิเคชันที่ถูกติดตั้งในคอมพิวเตอร์ หรือจอภาพ เมื่อผู้ใช้มีการใช้งานแอปพลิเคชัน เช่น เกม โปรแกรมซื้อของผ่านทางอินเทอร์เน็ต หรือโปรแกรมทางการศึกษา กลิ่นก็จะถูกปล่อยออกมาจากเครื่องแสดงกลิ่นตามที่ถูกตั้งค่า เช่น เกมทำอาหาร กลิ่นจะถูกปล่อยออกมาตามอาหารที่เราทำ, โปรแกรมซื้อของผ่านทางอินเทอร์เน็ต เมื่อกดซื้อเนื้อหมูผ่านทางโปรแกรม ผู้ใช้ก็จะได้กลิ่นเนื้อหมู เป็นต้น [25]

2.4.2.2 การใช้เครื่องแสดงกลืนกับระบบความปลอดภัย

ในประเทศญี่ปุ่น ได้มีการออกแบบระบบเตือนการเกิดอัคคีภัยโดยการใช้กลืนวาซาบิ เครื่องแสดงกลืนจะปล่อยกลืนวาซาบิออกมาเพื่อปลุกผู้ที่กำลังนอนหลับพักผ่อน ให้รับรู้ที่เกิดเหตุอัคคีภัย [27]

2.5 วงจร PWM

พัลส์ (Pulse) คือสัญญาณที่เกิดจากระดับของสัญญาณไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงจากระดับหนึ่ง ไปสู่อีกระดับหนึ่ง ที่มีความแตกต่างกัน ระหว่างแรงดันต่ำสุดกับแรงดันสูงสุดอย่างรวดเร็ว



จากรูปที่ 2.8 เมื่อพิจารณาจะพบว่า

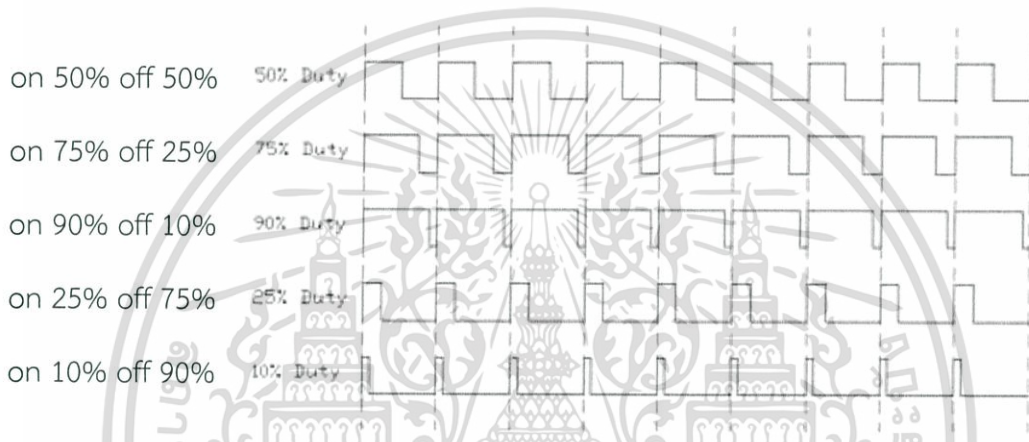
- ขนาดของพัลส์ (Pulse amplitude) คือค่าที่วัดจากระดับแรงดันต่ำสุดไปถึงค่าสูงสุด (Peak value)
- คาบเวลาของพัลส์ (Time period : T) คือระยะเวลาที่วัดจากขอบหน้าของพัลส์ที่เวลา $t = 0$ จนถึงขอบหน้าของพัลส์รูปคลื่นต่อไป
- ความถี่ของพัลส์ (Pulse repetition frequency : PRF) คือค่าส่วนกลับของคาบเวลา
- ความกว้างของพัลส์ (Pulse width : PW) คือช่วงเวลาที่วัดจากขอบหน้าของพัลส์จนถึงขอบหลังของพัลส์
- Duty cycle คือร้อยละของอัตราส่วนระหว่างความกว้างของพัลส์ กับคาบเวลาของพัลส์ โดย

$$\text{Duty cycle} = \frac{\text{PW}}{\text{T}} \times 100\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงในการทำงาน ระยะเวลาที่อุปกรณ์จะเปิด/ปิด (On/Off) จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่อุปกรณ์ได้รับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเป็นระยะเวลาเท่ากับความกว้างของพัลส์ หากต้องการให้อุปกรณ์เปิด ก็ต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้าบวกให้กับอุปกรณ์ เช่น ถ้าไฟคริสต์มาสมีคาบเวลาในการทำงานเป็น 1 วินาที และต้องการให้ใน 1 วินาที ไฟคริสต์มาสติดเป็นเวลา 0.3 วินาที ในทุกๆ 1 วินาที เราจะต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้าบวกให้อุปกรณ์เป็นเวลา 0.3 วินาที

เรียกการปรับระยะเวลาที่ต้องการให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานหรือการปรับความกว้างของพัลส์ ว่า การมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse width modulation : PWM) ตัวอย่างดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 สัญญาณพัลส์ที่ค่า Duty cycle ค่าต่างๆ

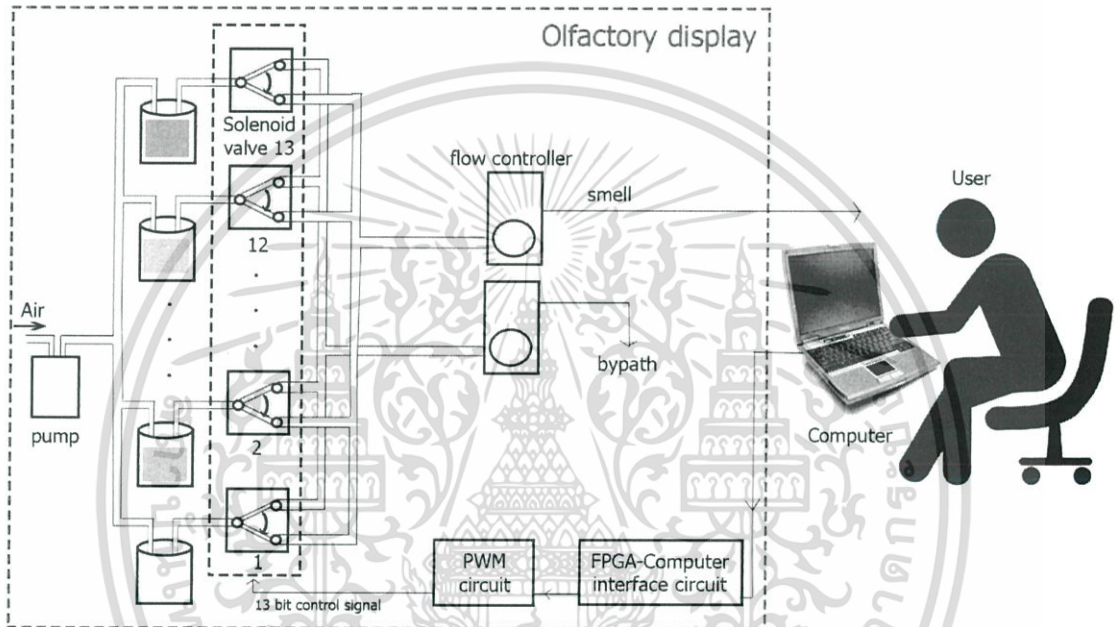
2.6 วงจร Phase lock loop

ในทางดิจิทัล เฟสล็อกถูกใช้เป็นวงจรที่สามารถปรับเฟสของสัญญาณ ล็อคความถี่ของสัญญาณ คุณหรือหารความถี่ของสัญญาณได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 วงจรควบคุมของเครื่องแสดงกลิ่นแบบใช้โซลินอยด์วาล์ว

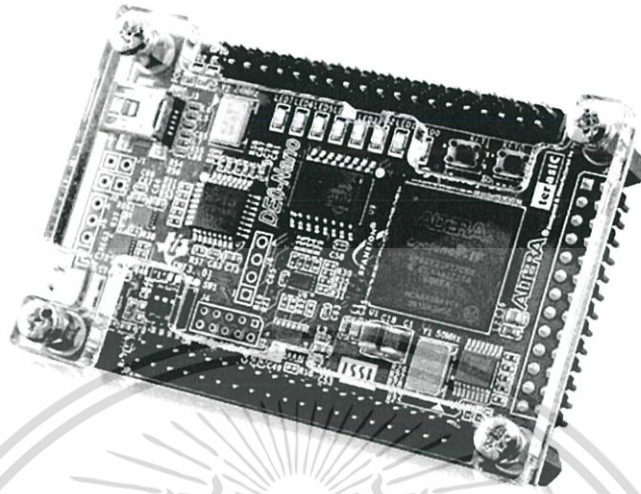


รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องแสดงกลิ่นแบบใช้โซลินอยด์วาล์ว

ดังแสดงในรูปที่ 3.1 วงจรควบคุมเครื่องแสดงกลิ่นที่ออกแบบในโครงงานนี้ จะใช้เป็นวงจร PWM ซึ่งจะรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ซึ่งผู้ใช้ป้อนค่าผ่านโปรแกรม GUI (Graphic User Interface) ว่าต้องการให้ปล่อยกลิ่นชนิดใด ความเข้มข้นเท่าใด จากนั้นวงจรจะสร้างสัญญาณ PWM ไปควบคุมการปิดเปิดของโซลินอยด์วาล์ว โดยขอบเขตของโครงงานนี้จะเป็นการพัฒนาส่วนวงจร PWM และวงจรสำหรับอินเตอร์เฟซวงจร PWM เข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยการเชื่อมต่อแบบอนุกรม (Serial communication) โดยวงจร PWM จะถูกสร้างลงบน FPGA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การโปรแกรมฮาร์ดแวร์ของวงจรควบคุมเครื่องแสดงกลืนแบบใช้โซลินอยด์ วาล์วลงบน FPGA

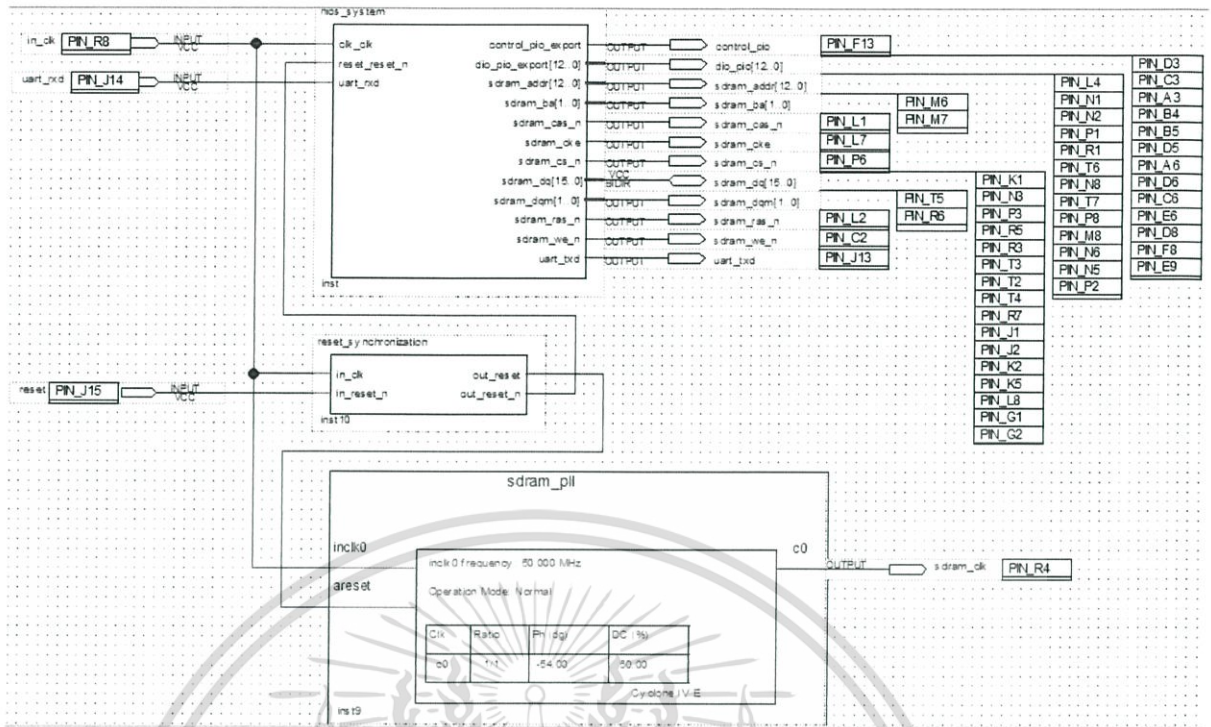


รูปที่ 3.2 บอร์ด Altera DEO Nano

ในการโปรแกรมฮาร์ดแวร์ของวงจรควบคุมเครื่องแสดงกลืนแบบใช้โซลินอยด์วาล์ว เราจะทำการโปรแกรมลงบนบอร์ด DEO_Nano

- ประกอบด้วยชิป FPGA รุ่น Cyclone® IV EP4CE22F17C6N ซึ่งมี Logic element ภายในจำนวน 22,320 ตัว มีหน่วยความจำภายใน (Onchip memory) ขนาด 594 Kb
- ประกอบด้วยชิป SDRAM ขนาด 32 Mb
- วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาภายในความถี่ 50 MHz

โปรแกรมที่ใช้สร้างวงจร PWM ลงบน FPGA ในโครงงานนี้คือ โปรแกรม Quartus II 14.1.190 ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows 8 PRO 64 บิต โดยวงจร PWM ที่ออกแบบลงใน FPGA มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 โครงสร้างฮาร์ดแวร์ของวงจรควบคุมเครื่องแสดงกลืนแบบใช้โซลินอยด์วาล์ว

จะเห็นว่าวงจรควบคุมเครื่องแสดงกลืนแบบใช้โซลินอยด์วาล์วประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

1. Nios II CPU

เป็น CPU แบบ Soft core ภายใน FPGA ซึ่งจะรับค่าอินพุตจากคอมพิวเตอร์ผ่านทางวงจรรีจิสเตอร์เฟชแบบอนุกรม ทำการประมวลผลข้อมูลดังกล่าวและส่งออกพุทไปควบคุมโซลินอยด์วาล์ว ซึ่ง Nios II CPU นี้จะทำงานด้วยภาษา C สำหรับโค้ดภาษา C ที่เขียนขึ้นจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

โดยข้อมูลที่ส่งมาจากคอมพิวเตอร์จะเป็นข้อมูลประเภท Character ที่อยู่ในรูปแบบ $C_1 * C_2 * C_3 * C_4 * C_5 * C_6 * C_7 * C_8 * C_9 * C_{10} * C_{11} * C_{12} * \text{Carriage return}$ โดย

$$\sum_{i=1}^{13} C_i = 100$$

โดยค่า C_i คือร้อยละของความเข้มข้นของกลืนที่ต้องการปล่อย ที่ตำแหน่งเซนแนล i โดย Carriage return จะเป็นตัวที่บอกว่าจบชุดข้อมูลหนึ่งชุดแล้ว ดังนั้นเครื่องแสดงกลืนที่เชิงจร PWM ที่สร้างขึ้นนี้ จะสามารถปล่อยกลืนได้มากที่สุดถึง 13 กลืนพร้อมกัน

2. Sdram_pll

เนื่องจากหน่วยความจำภายในชิป FPGA มีขนาดไม่เพียงพอที่จะโปรแกรม Nios II CPU และโค้ดภาษา C ในโครงการนี้ลงไปได้ จึงจะทำการโปรแกรมฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ดังกล่าวลงบนชิป SDRAM ซึ่งชิป SDRAM นั้นต้องการสัญญาณนาฬิกาที่มีเฟสนำสัญญาณนาฬิกาของส่วนอื่นๆในระบบ (ในที่นี้คือตัว NIOS II) อยู่ -3ns จึงใช้เฟสล็อกในการปรับสัญญาณนาฬิกาดังกล่าวก่อนป้อนเข้าไปยังชิป SDRAM

3. วงจร Reset synchronization

เนื่องจากขาริเซตของ Nios II จะทำงานที่สถานะลอจิก 1 ในขณะที่ขาริเซตของชิป SDRAM จะทำงานที่สถานะลอจิก 0 จึงสร้างวงจร Reset synchronization เพื่อให้สัญญาณรีเซ็ตสัญญาณเดียว สามารถรีเซ็ตทั้ง Nios II และ SDRAM ได้พร้อมกัน

3.3 การออกแบบ Nios II CPU ของวงจรควบคุมเครื่องแสดงกลืนแบบใช้โซลินอยด์ วาล์วบน FPGA

ในงานนี้จะออกแบบ Nios II CPU โดยใช้ Qsys tool ซึ่งเป็นเครื่องมือตัวหนึ่งในโปรแกรม Quartus

โดย Nios II CPU ที่สร้างขึ้นประกอบด้วยส่วนต่างๆดังแสดงในรูปที่ 3.4 ดังนี้

1. clk : ทำหน้าที่รับสัญญาณนาฬิกาความถี่ 50MHz เข้ามา และส่งสัญญาณนาฬิกาดังกล่าวไปควบคุมส่วนต่างๆใน Nios II
2. Nios II processor : ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง
3. SDRAM controller : ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการติดต่อระหว่าง CPU กับชิป SDRAM
4. JTAG to Avalon Master Bridge : ทำหน้าที่ในการอ่านและเขียนค่ารีจิสเตอร์
5. On-Chip Memory : ทำหน้าที่เป็นแรม
6. JTAG UART : ทำหน้าที่เป็นตัวกลางการติดต่อระหว่าง CPU กับ สาย JTAG ซึ่งเป็นช่องทางการสื่อสารที่ใช้โปรแกรมฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่สร้างขึ้นลงบน FPGA
7. UART : ทำหน้าที่เป็นตัวกลางการติดต่อระหว่าง CPU กับพอร์ตอนุกรม RS232
8. System ID Peripheral : ทำหน้าที่เป็นตรวจสอบการตั้งค่าของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ว่าถูกต้องตรงกันหรือไม่
9. PIO : ทำหน้าที่เป็นอินพุท/เอาต์พุท

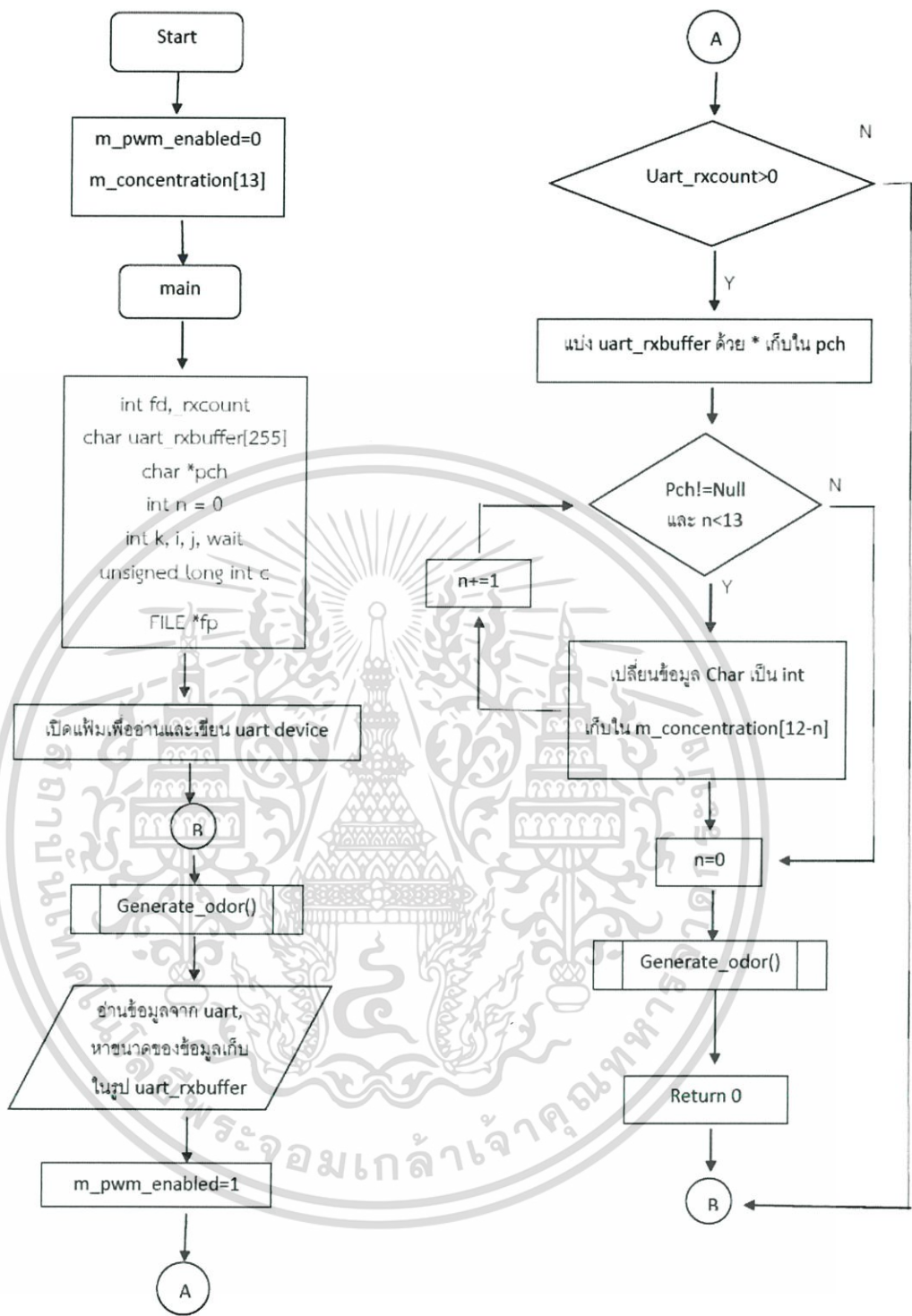
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connections	Name	Description	Export	Clock	Base	End	IRQ
	clk	Clock Source					
	clk_in	Clock Input	clk	exported			
	clk_in_reset	Reset Input	reset				
	clk	Clock Output		clk			
	clk_reset	Reset Output					
	cpu	Nios II (Classic) Processor					
	clk	Clock Input		clk			
	reset_n	Reset Input		[clk]			
	data_master	Avalon Memory Mapped Master		[clk]			
	instruction_master	Avalon Memory Mapped Master		[clk]			
	d_irq	Interrupt Receiver					IRQ 0
	jtag_debug_module_reset	Reset Output		[clk]			IRQ 31
	jtag_debug_module	Avalon Memory Mapped Slave		[clk]	0x0a00_0000	0x0a00_07ff	
	custom_instruction_master	Custom Instruction Master					
	sdram	SDRAM Controller					
	clk	Clock Input		clk			
	reset	Reset Input		[clk]			
	s1	Avalon Memory Mapped Slave		[clk]	0x0000_0000	0x01ff_ffff	
	wire	Conduit	sdram				
	jtag_to_fpga_bridge	JTAG to Avalon Master Bridge					
	clk	Clock Input		clk			
	clk_reset	Reset Input					
	master	Avalon Memory Mapped Master		[clk]			
	master_reset	Reset Output					
	onchip_sram	On-Chip Memory (RAM or ROM)					
	clk1	Clock Input		clk			
	s1	Avalon Memory Mapped Slave		[clk1]	0x0800_0000	0x0800_1fff	
	reset1	Reset Input		[clk1]			
	s2	Avalon Memory Mapped Slave		[clk2]	0x0800_0000	0x0800_1fff	
	clk2	Clock Input		clk			
	reset2	Reset Input		[clk2]			
	onchip_sram_2	On-Chip Memory (RAM or ROM)					
	s1	Avalon Memory Mapped Slave		[clk1]	0x0900_0000	0x0900_1fff	
	s2	Avalon Memory Mapped Slave		[clk1]	0x0900_0000	0x0900_1fff	
	clk1	Clock Input		clk			
	reset1	Reset Input		[clk1]			
	jtaguart_0	JTAG UART					
	clk	Clock Input		clk			
	reset	Reset Input		[clk]			
	avalon_jtag_slave	Avalon Memory Mapped Slave		[clk]	0x1000_1000	0x1000_1007	
	irq	Interrupt Sender		[clk]			
	uart	UART (RS-232 Serial Port)					
	clk	Clock Input		clk			
	reset	Reset Input		[clk]			
	s1	Avalon Memory Mapped Slave		[clk]	0x0200_0000	0x0200_001f	
	external_connection	Conduit	uart				
	irq	Interrupt Sender		[clk]			
	sysid	System ID Peripheral					
	clk	Clock Input		clk			
	reset	Reset Input		[clk]			
	control_slave	Avalon Memory Mapped Slave		[clk]	0x1000_2020	0x1000_2027	
	control_pio	PIO (Parallel I/O)					
	clk	Clock Input		clk			
	reset	Reset Input		[clk]			
	s1	Avalon Memory Mapped Slave		[clk]	0x0200_0030	0x0200_003f	
	external_connection	Conduit	control_pio				
	dio_pio	PIO (Parallel I/O)					
	clk	Clock Input		clk			
	reset	Reset Input		[clk]			
	s1	Avalon Memory Mapped Slave		[clk]	0x0200_0020	0x0200_002f	
	external_connection	Conduit	dio_pio				

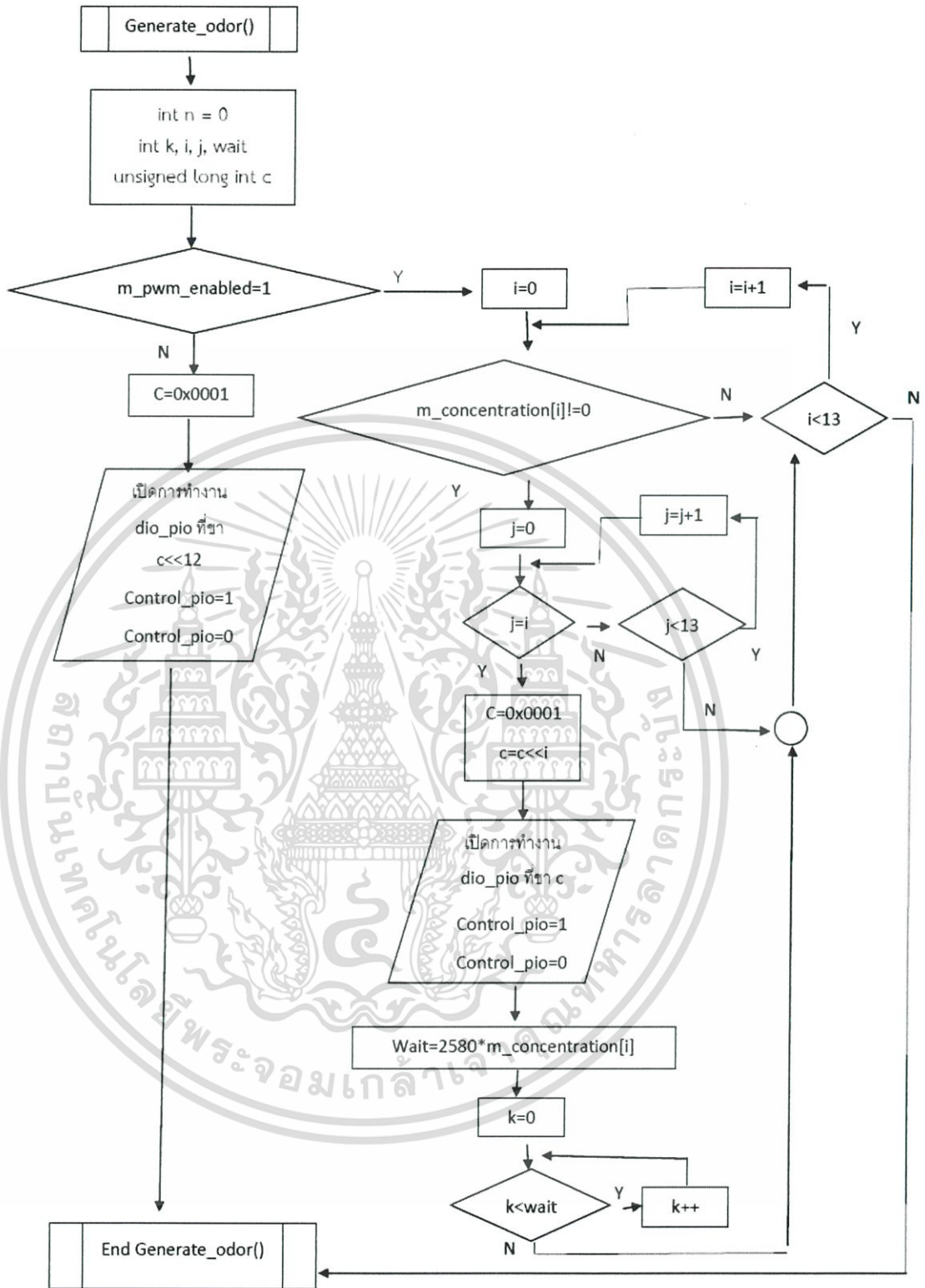
รูปที่ 3.4 โครงสร้างของ Nios II CPU ที่ออกแบบขึ้น

โดยโค้ดภาษาซี ที่พัฒนาขึ้นเพื่อทำงานบน Nios II CPU นั้นมีขั้นตอนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.5 และ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการทำงานของโค้ดภาษา C ที่พัฒนาขึ้นสำหรับทำงานบน Nios II



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการทำงานของโค้ดภาษา C ที่พัฒนาขึ้นสำหรับทำงานบน Nios II

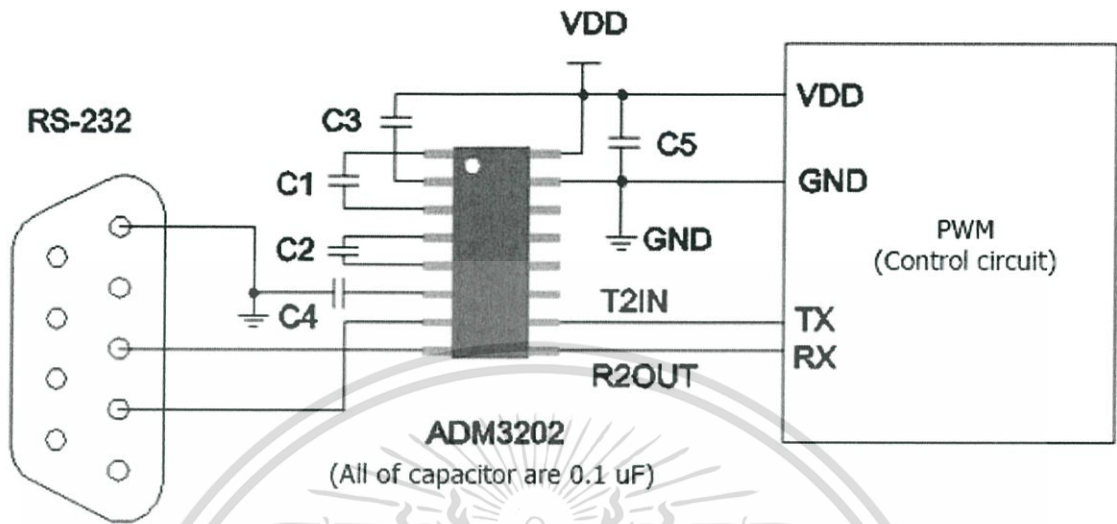
CPU ถูกโปรแกรมให้เปิดโซลินอยด์วาล์วแขนแนล 13 ไว้ตลอดเวลาหากไม่มีการรับอินพุตเข้ามา

ในวงจร และมีโค้ดภาษาซีดังแสดงในภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 โครงสร้างของวงจร FPGA-Computer interface



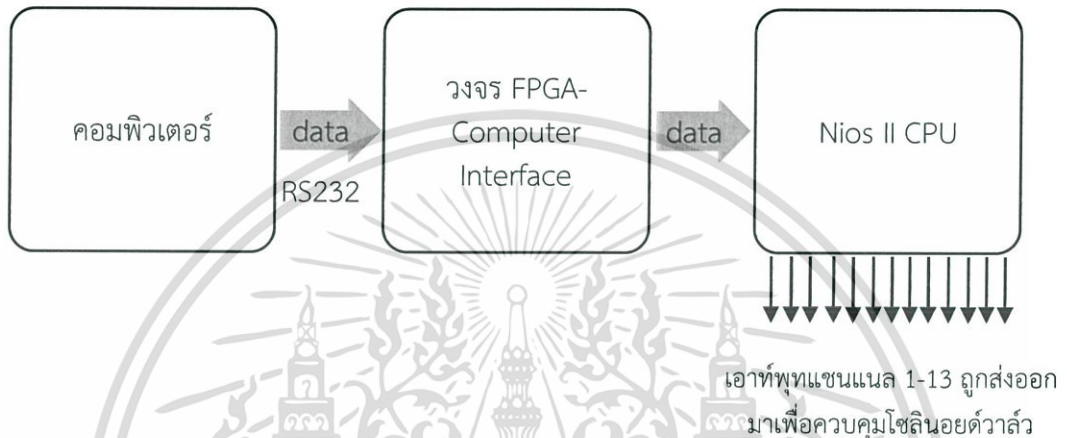
รูปที่ 3.7 วงจร FPGA-Computer interface

การสื่อสารระหว่าง UART ใน Nios II กับคอมพิวเตอร์จะใช้สาย RS232 ในการรับ-ส่งข้อมูล จึงใช้ไอซีเบอร์ ADM3202 เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อ UART กับคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.6

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลอง



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการส่งข้อมูลที่ใช้ควบคุมโซลินอยด์วาล์ว

ในการทดลองจะใช้คอมพิวเตอร์ส่งข้อมูลแชนแนลที่ต้องการปล่อยกลืน และร้อยละของความเข้มข้นที่ต้องการปล่อยไปยัง NiosII CPU ผ่านสาย RS232 จากนั้นทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตของ Nios II CPU ที่จะส่งต่อไปควบคุมโซลินอยด์วาล์วโดยใช้ออสซิลโลสโคป

ทั้งนี้บนคอมพิวเตอร์จะใช้โปรแกรม Ezblender13 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วย Visual Basic 6 ซึ่งจะส่งข้อมูลแชนแนลที่ต้องการปล่อยกลืน และร้อยละของความเข้มข้นที่ต้องการปล่อยทุกๆ 1 วินาที โดยข้อมูลที่ส่งจะอยู่ในรูป

$$C_1 * C_2 * C_3 * C_4 * C_5 * C_6 * C_7 * C_8 * C_9 * C_{10} * C_{11} * C_{12} * \text{Carriage return}$$

โดย

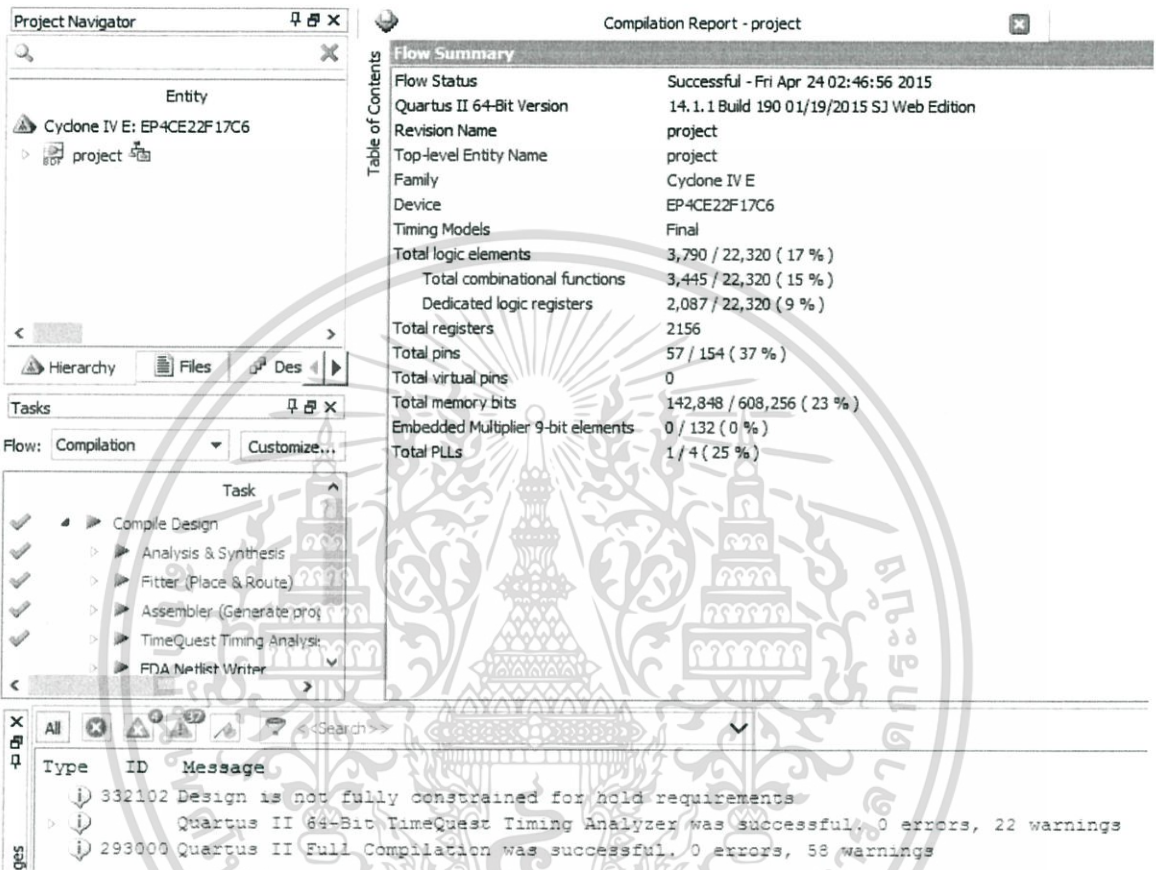
$$\sum_{i=1}^{13} C_i = 100$$

โดยค่า C_i คือร้อยละของความเข้มข้นของกลืนที่ต้องการปล่อย ที่ตำแหน่งแชนแนล i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการโปรแกรมวงจรควบคุมเครื่องแสดงกลืนแบบโซลินอยด์วาล์วบน FPGA

ทำการโปรแกรมวงจร PWM ลงบน FPGA ด้วยโปรแกรม Quartus II 14.1.1.190 บนระบบปฏิบัติการ Window 8 Pro 64 บิต เป็นผลสำเร็จ และใช้ทรัพยากรดังนี้



รูปที่ 4.2 ผลการโปรแกรมวงจรควบคุมเครื่องแสดงกลืนแบบโซลินอยด์วาล์วบน FPGA

4.3 ผลการทดลองจากการทดลองป้อนค่าความเข้มข้นที่ค่าต่างๆ

ทำการทดลองนำบอร์ด DE0_Nano ที่ได้โปรแกรมฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของวงจรควบคุมเครื่องแสดงกลืนแบบโซลินอยด์วาล์วเรียบร้อยแล้ว ต่อเข้ากับ RS232 และรับข้อมูลจากโปรแกรม Ezblender13 บนคอมพิวเตอร์ จากนั้นทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตของ Nios II ที่จะส่งไปควบคุมโซลินอยด์วาล์วโดยใช้ออสซิลโลสโคปรุ่น DSO-X 2022A ของบริษัท Agilent

ทำการทดลองปรับค่าความเข้มข้นของกลืนที่ส่งให้ปล่อยผ่านโปรแกรม Ezblender13 ณ แชนแนลต่างๆ จากนั้นบันทึกผล แสดงดังตารางที่ 4.1

จากนั้นทดลองปรับค่าความเข้มข้นของกลืนที่ส่งให้ปล่อยผ่านโปรแกรม Ezblender13 โดย

พิจารณาที่แชนแนล 10 จากนั้นบันทึกผลแสดงดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

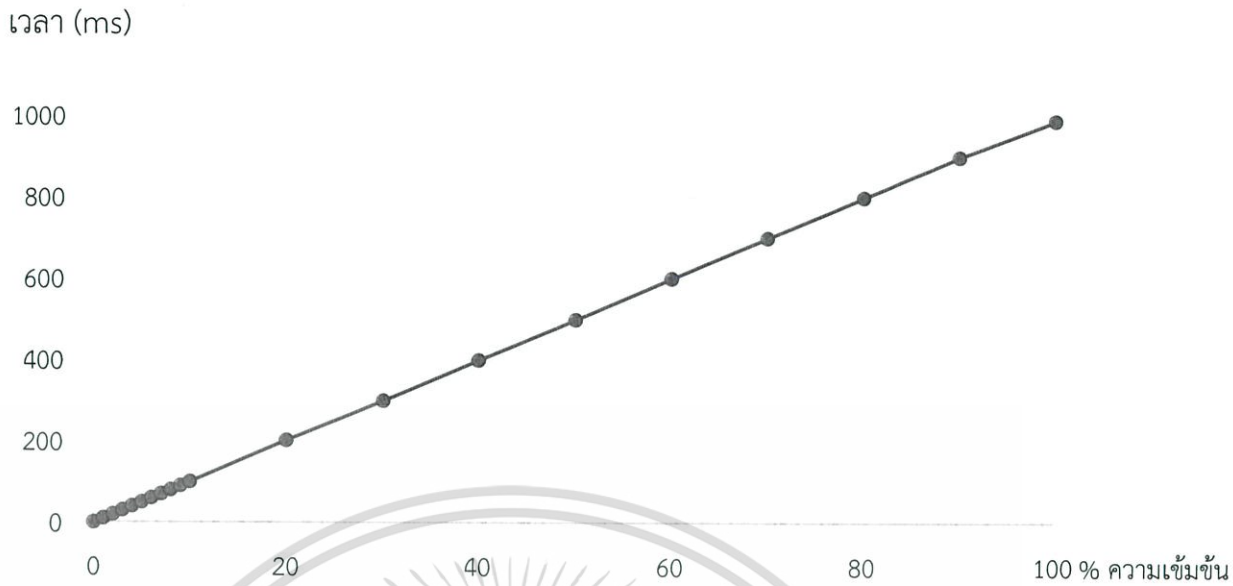
ตารางที่ 4.1 ระยะเวลา T_{ON} และ T_{OFF} ณ แชนแนลต่างๆ เมื่อสั่งให้ปล่อยคลื่นที่ร้อยละของความเข้มข้นต่างๆกัน

ค่าความเข้มข้นของคลื่นที่สั่งให้ปล่อยผ่านโปรแกรม Ezblender13 ณ แชนแนลต่างๆ (%)													แชนแนล ที่วัด	T_{ON} (ms)	T_{OFF} (ms)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
1	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	19.88	988.96
50	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	510.12	498
50	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	510.64	498.32
0	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9.92	999.04
80	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	809.56	199.36
0	0	0	0	0	0	50	0	0	50	0	0	0	5	0	0
0	0	0	0	50	0	0	0	0	50	0	0	0	5	500.8	508.16
0	0	0	0	80	0	0	0	0	20	0	0	0	5	799.68	209.28
0	0	0	0	50	0	0	0	0	20	0	0	300	5	500.92	508.24
0	0	0	0	1	0	0	0	99	0	0	0	0	5	10.04	998.44

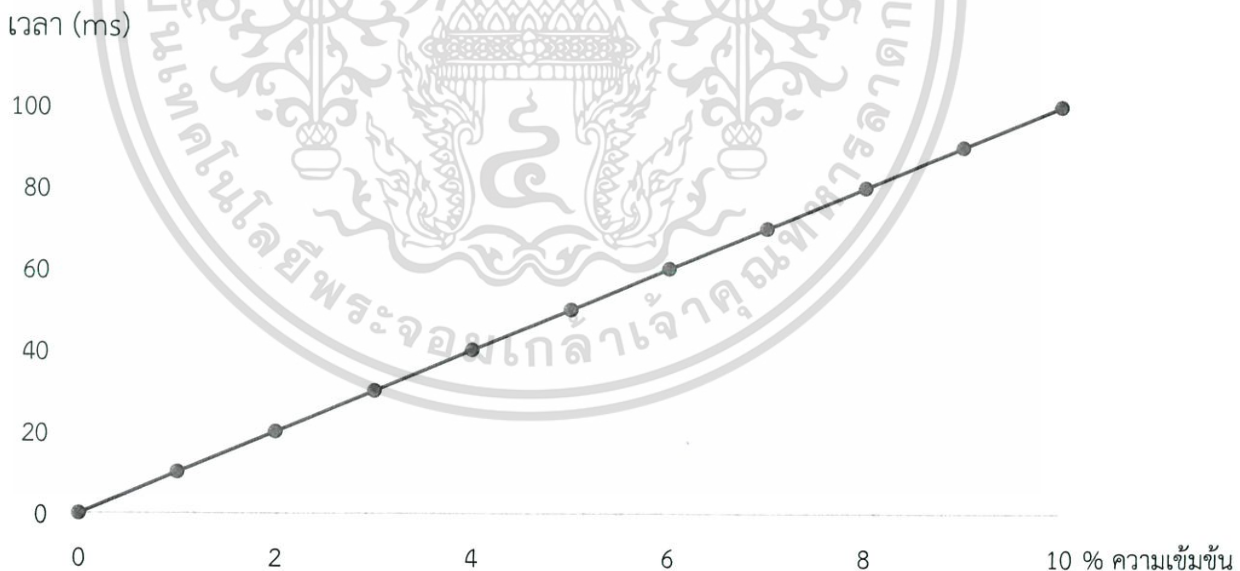
ตารางที่ 4.2 ระยะเวลา T_{ON} และ T_{OFF} ณ แชนแนล 10 เมื่อสั่งให้ปล่อยกลืนที่ร้อยละของความเข้มข้นต่างๆกัน

ค่าความเข้มข้นของกลืนที่สั่งให้ปล่อยผ่านโปรแกรม Ezblender13 ณ แชนแนลต่างๆ (%)		แชนแนลที่วัด	T_{ON} (ms)	T_{OFF} (ms)	T_{ON} ที่ต้องการ (ms)	ค่าความผิดพลาด (%)
10	12					
1	99	10	9.88	999.08	10.0	1.2
2	98	10	20.04	998.40	20.0	0.2
3	97	10	30.04	978.4	39.0	0.13
4	96	10	40.10	968.48	40.0	0.25
5	95	10	49.96	958.64	50.0	0.08
6	94	10	60.04	940.0	60.0	0.07
7	93	10	69.88	938.68	70.0	0.17
8	92	10	79.88	928.72	80.0	0.15
9	91	10	89.84	918.76	90.0	0.18
10	90	10	99.76	908.96	100.0	0.24
20	80	10	202.0	806.80	200.0	1.0
30	70	10	299.04	709.76	300.0	0.32
40	60	10	398.64	610.16	400.0	0.34
50	50	10	500.76	508.16	500.0	0.15
60	40	10	600.48	408.32	600.0	0.08
70	30	10	700.12	308.64	700.0	0.02
80	20	10	799.68	209.24	800.0	0.04
90	10	10	899.36	109.40	900.0	0.07
100	0	10	989.0	19.76	1000.0	1.1

ผลการทดลองในตารางที่ 4.2 สามารถนำไปสรุปเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ความเข้มข้นของคลื่นที่สั่งให้ปล่อยที่แชนแนล 10 กับ T_{ON} ของสัญญาณ PWM ที่แชนแนล 10

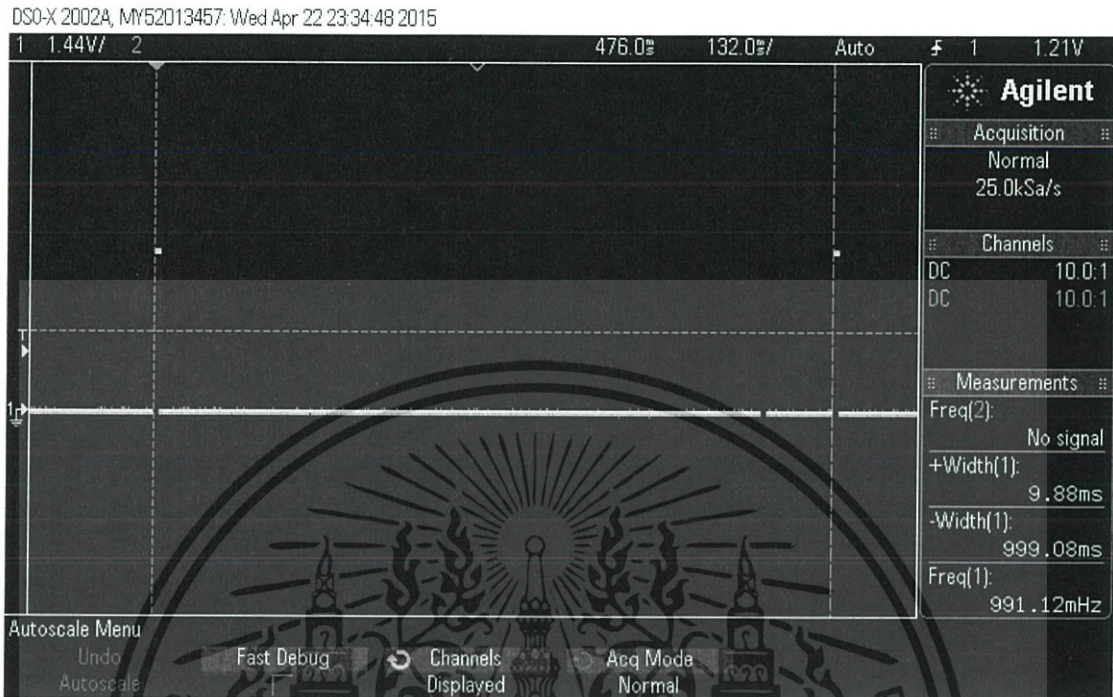


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ความเข้มข้นของคลื่นที่สั่งให้ปล่อยที่แชนแนล 10

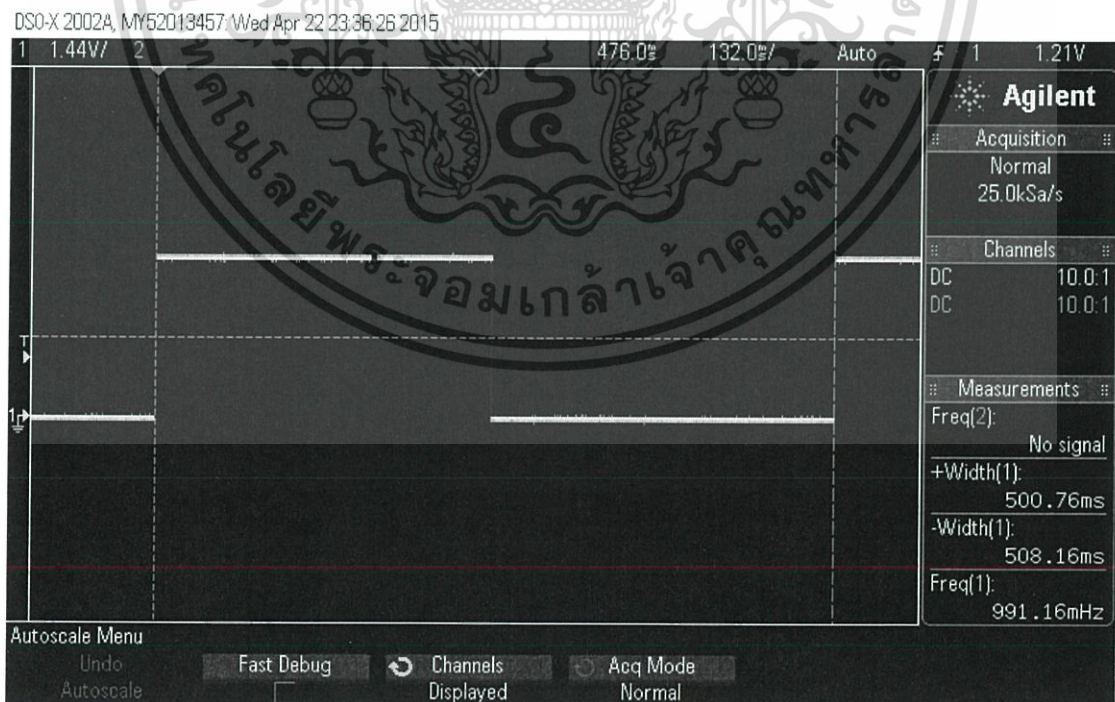
กับ T_{ON} ของสัญญาณ PWM ที่แชนแนล 10 ที่ค่าความเข้มข้นระหว่าง 0-10 % (เป็นรูปขยายในช่วง 0 ถึง 10 % ของรูปที่ 4.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสัญญาณที่วัดจากออสซิลโลสโคปมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.5 ถึง 4.7

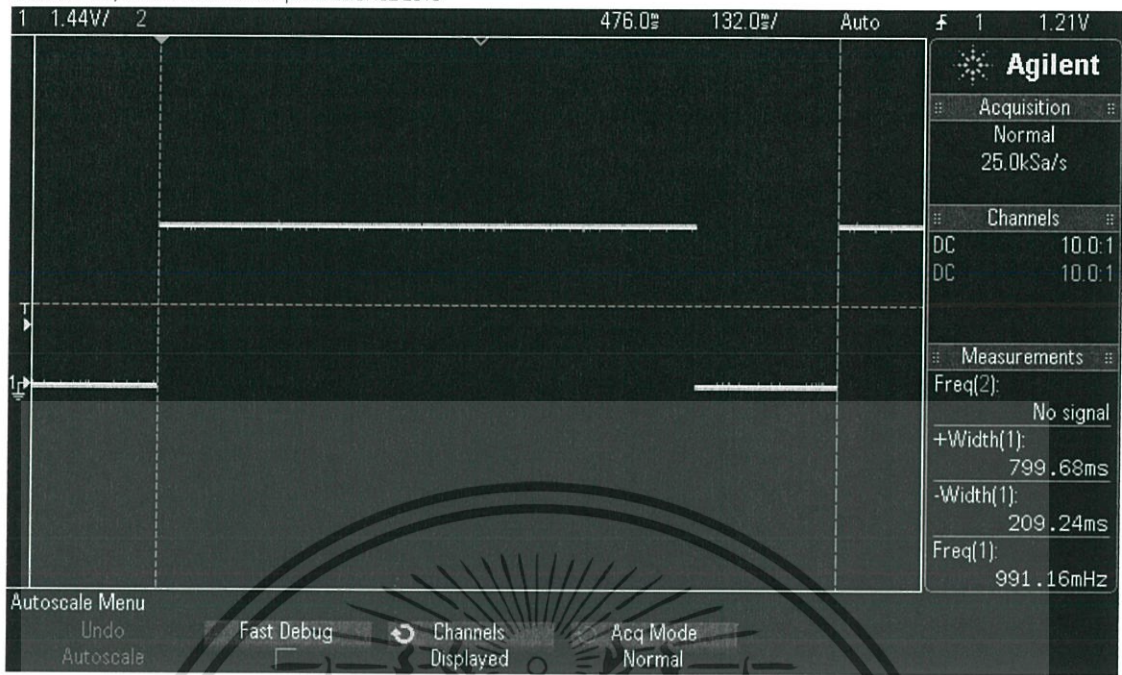


รูปที่ 4.5 ตัวอย่างสัญญาณที่แชนแนล 10 ที่ค่าความเข้มข้นของกลืน 1 %



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างสัญญาณที่แชนแนล 10 ที่ค่าความเข้มข้นของกลืน 50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ 31 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างสัญญาณที่แกนแนล 10 ที่ค่าความเข้มข้นของกลืน 80 %

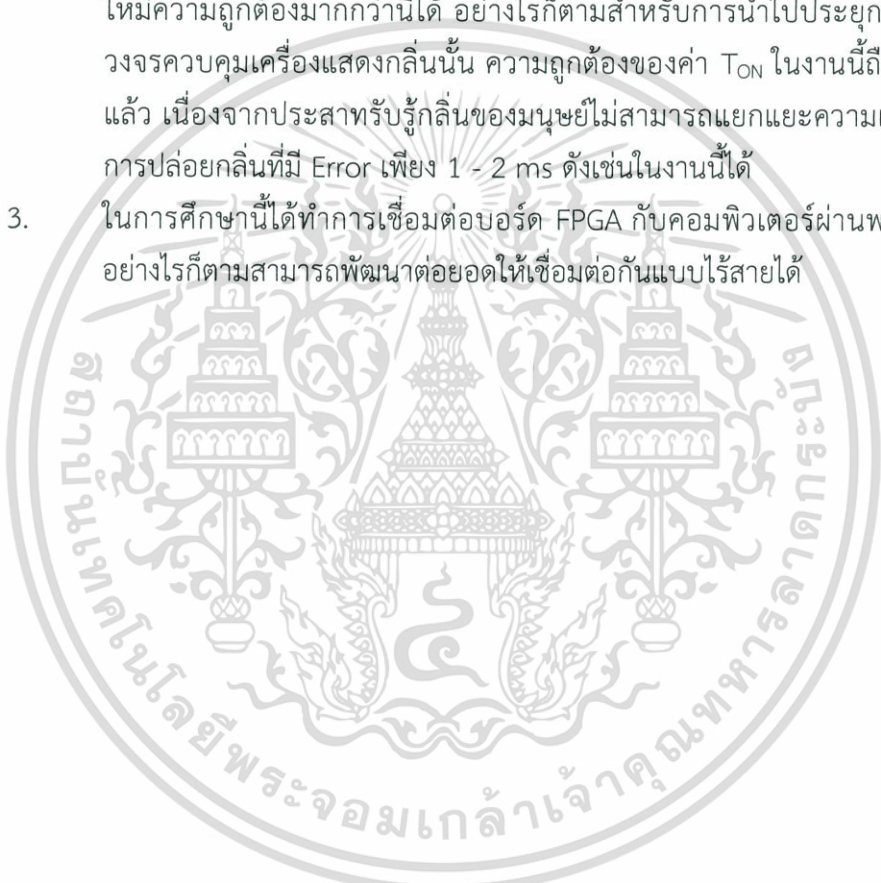


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 32 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. ทำการพัฒนาวงจร PWM สำหรับควบคุมเครื่องแสดงคลื่นแบบใช้โซลินอยด์วาล์วลงบนบอร์ด FPGA เป็นผลสำเร็จ
2. จากผลการวัดสัญญาณ จะเห็นได้ว่าค่า T_{ON} ของสัญญาณ PWM มีความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย คาดว่าเป็นผลมาจากการเขียนโค้ดภาษา C ซึ่งสามารถพัฒนาให้มีความถูกต้องมากกว่านี้ได้ อย่างไรก็ตามสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรควบคุมเครื่องแสดงคลื่นนั้น ความถูกต้องของค่า T_{ON} ในงานนี้ถือว่าเพียงพอแล้ว เนื่องจากประสาทรู้คลื่นของมนุษย์ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของการปล่อยคลื่นที่มี Error เพียง 1 - 2 ms ดังเช่นในงานนี้ได้
3. ในการศึกษานี้ได้ทำการเชื่อมต่อบอร์ด FPGA กับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม อย่างไรก็ตามสามารถพัฒนาต่อยอดให้เชื่อมต่อกันแบบไร้สายได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. Ariyakul, T. Nakamoto, Improvement of Olfactory Display Using Electroosmotic Pumps, The 21st International Conference on Artificial Reality and Telexistence, November 28-30, 2011, Osaka, Japan.
- [2] Lucas A. Cosmetics, Perfumes and Incense in Ancient Egypt, The Journal of Egyptian Archaeology, Vol.16, No.1/2, pp. 41-53, May, 1930.
- [3] Morita, Kiyoko. The Book of Incense: Enjoying the Traditional Art of Japanese Scents. Kodansha International, 2007.
- [4] T. Nakamoto and H. Minh, Improvement of olfactory display using solenoid valves, IEEE Virtual Reality Conference 2007, March 10 - 14, Charlotte, North Carolina, USA.
- [5] Junta Sato, Kaori Ohtsu, Yuichi Bannai, Ken-ichi Okada, Pulse Ejection Technique of Scent to Create Dynamic Perspective, ICAT2008, ISSN:1345-1278,167-174.
- [6] Y. Ariyakul, T. Nakamoto, Improvement of odor blender using electroosmotic pumps and SAW atomizer for low-volatile scents, IEEE SENSORS Journal, Vol.13, No.12, pp.4918-4923, 2013.
- [7] Myron W. Krueger, Addition of Olfactory Stimuli to Virtual Reality Simulations for Medical Training Applications, 1996.
- [8] Monica Bordegoni, A study on the influence of odors on the users' evaluation of industrial products in a VR multisensory environment, Politecnico di Milano, Italy, 2nd World Congress of Digital Olfaction Society 2014, December 8-9, 2014 – Tokyo Institute of Technology, Japan.
- [9] Masaaki Iseki & Takamichi Nakamoto , Cross Modal effect on scent and music, Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology, Japan, 2nd World Congress of Digital Olfaction Society 2014, December 8-9, 2014 – Tokyo Institute of Technology, Japan.
- [10] Titus Lucretius Carus, De rerun natura (On the Nature of Things), 47 BC.

[11] Philip de May, Lucretius: Poet and Epicurean, Cambridge University Press, 2009.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] Robert Hamilton Wright, Odor and Molecular Vibration: The Far Infrared Spectra of Some Perfume Chemicals, *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol.116, pp.552-558, 1964.
- [13] Rimkus, Gerhard G. (Ed.), Cornelia Sommer (2004). "The Role of Musk and Musk Compounds in the Fragrance Industry". *Synthetic Musk Fragrances in the Environment (Handbook of Environmental Chemistry)*.
- [14] John E. Amoore, Stereochemical theory of olfaction". *Nature* 198 (4877), pp.271-272, 1963.
- [15] John E. Amoore, Current Status of the Steric Theory of Odor, *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol.116, pp.475-476, 1964.
- [16] Benjamin Auffarth, Understanding smell—The olfactory stimulus problem, *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, Vol.37, Issue 8, September 2013, pp.1667-1679.
- [17] Robert Hamilton Wright, Odor and molecular vibration: neural coding of olfactory information, *Journal of Theoretical Biology*, Vol.64, pp.473-502, 1977.
- [18] L. Turin, A spectroscopic mechanism for primary olfactory reception. *Chemical Senses*, 21, pp.779-791.
- [19] Andreas Keller and Leslie B. Vosshall, Testing a radical theory, *NATURE NEUROSCIENCE*, Vol.7, Num.4, pp.337, 2004.
- [20] Joseph Nathaniel Kaye, Symbolic Olfactory Display, Master Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2001.
- [21] K. Touhara, Functional cloning and reconstitution of vertebrate odorant receptors. *Life Science*, 68, pp.2199-2206.
- [22] Dyson, G. M., *Scientific Basis of Odour*, Chem. Ind., 1938.
- [23] Amoore, J.E.. *The Stereochemical Specifications of Olfactory Receptors. Perfume Essential Oil Rec.*, 43. 1952.
- [24] Davies, J.T., and F.H. Taylor. *The Role of Adsorption and Molecular Morphology in Olfaction: The Calculation of Olfactory Thresholds. Biology Bulletin*, 1959.
- [25] Rosenberg, B., T.N. Misra, and R. Switzer. *Mechanism of Olfactory Transduction, Nature*, 217. 1968.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [26] Andrea Rinaldi, "The scent of life. The exquisite complexity of the sense of smell in animals and humans". EMBO Rep. Jul 2007; 8(7): 629–633.
- [27] Hideaki Goto, Tomo Sakai, Koichiro Mizoguchi, Yukinobu Tajima, Makoto Imai, Odor generation alarm and method for informing unusual situation, Published by Patent Application Publication, United States, December 9 , 2010
- [28] Tisserand, Robert B. The Art of Aromatherapy. Rochester, VT: Healing Arts Press, 1977.
- [29] "Dogs Smell Cancer in Patients' Breath, Study Shows". National Geographic News. 12 January 2006. Retrieved 31 August 2011.
- [30] Y. Ariyakul, T. Nakamoto, Improvement of odor blender using electroosmotic pumps and SAW atomizer for low-volatile scents, IEEE SENSORS Journal, Vol.13, No.12, pp.4918-4923, 2013.
- [31] Y. Ariyakul, Research on olfactory display using extremely small liquid pump and SAW atomizer (Master thesis), Tokyo Institute of Technology, 2010.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ขาที่ใช้ในการตั้งค่า ในโปรแกรม Quartus

Node Name	Location	Node Name	Location
control_pio	PIN_F13	sdram_cas_n	PIN_L1
dio_pio[12]	PIN_D3	sdram_cke	PIN_L7
dio_pio[11]	PIN_C3	sdram_clk	PIN_R4
dio_pio[10]	PIN_A3	sdram_cs_n	PIN_P6
dio_pio[9]	PIN_B4	sdram_dq[15]	PIN_K1
dio_pio[8]	PIN_B5	sdram_dq[14]	PIN_N3
dio_pio[7]	PIN_D5	sdram_dq[13]	PIN_P3
dio_pio[6]	PIN_A6	sdram_dq[12]	PIN_R5
dio_pio[5]	PIN_D6	sdram_dq[11]	PIN_R3
dio_pio[4]	PIN_C6	sdram_dq[10]	PIN_T3
dio_pio[3]	PIN_E6	sdram_dq[9]	PIN_T2
dio_pio[2]	PIN_D8	sdram_dq[8]	PIN_T4
dio_pio[1]	PIN_F8	sdram_dq[7]	PIN_R7
dio_pio[0]	PIN_E9	sdram_dq[6]	PIN_J1
in_clk	PIN_R8	sdram_dq[5]	PIN_J2
reset	PIN_J15	sdram_dq[4]	PIN_K2
sdram_addr[12]	PIN_L4	sdram_dq[3]	PIN_K5
sdram_addr[11]	PIN_N1	sdram_dq[2]	PIN_L8
sdram_addr[10]	PIN_N2	sdram_dq[1]	PIN_G1
sdram_addr[9]	PIN_P1	sdram_dq[0]	PIN_G2
sdram_addr[8]	PIN_R1	sdram_dqm[1]	PIN_T5
sdram_addr[7]	PIN_T6	sdram_dqm[0]	PIN_R6
sdram_addr[6]	PIN_N8	sdram_ras_n	PIN_L2
sdram_addr[5]	PIN_T7	sdram_we_n	PIN_C2
sdram_addr[4]	PIN_P8	uart_rxd	PIN_T15
sdram_addr[3]	PIN_M8	uart_txd	PIN_T13
sdram_addr[2]	PIN_N6		
sdram_addr[1]	PIN_N5		
sdram_addr[0]	PIN_P2		
sdram_ba[1]	PIN_M6		
sdram_ba[0]	PIN_M7		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โค้ดของวงจร Reset synchronization

```
library ieee;use
ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.numeric_std.all;

entity reset_synchronization is
  port
  (
    in_clk    : in std_logic;
    in_reset_n : in std_logic;
    out_reset  : out std_logic;
    out_reset_n : out std_logic
  );
end entity;

architecture arch_reset_synchronization of reset_synchronization is

  signal rst_reg: std_logic;
  signal reset : std_logic;

begin
  proc_reset:process(in_clk,in_reset_n)
  begin
    if (in_reset_n = '0') then
      rst_reg <= '1';
      reset <= '1';
    elsif (rising_edge(in_clk)) then
      rst_reg <= '0';
      reset <= rst_reg;
    end if;
  end process;

  out_reset  <= reset;
  out_reset_n <= not reset;

end architecture;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โค้ดภาษาซี

```
#include <stdio.h>
#include <stddef.h>
#include <string.h>
#include <fcntl.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
#include "system.h"
#include "sys/alt_alarm.h"
#include "altera_avalon_pio_regs.h"
#include "alt_types.h"
#include "altera_avalon_uart.h"
#include "sys/alt_irq.h"

int m_concentration[13];
int m_pwm_enabled = 0;

int main()
{
    int fd;
    FILE *fp;

    int uart_rxcount;
    char uart_rxbuffer[255];

    char *pch;
    int n = 0;
    int k;
    int i;
    int j;
    int wait;
    unsigned long int c;

    fd = open("/dev/uart", O_RDWR | O_NONBLOCK | O_NOCTTY);
    fp = fdopen(fd, "rw+");

    fprintf(fp, "Hello from Nios III!\n");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

while(1)
{
    m_pwm_enabled = 0;
    //generate_odor();

    c = 0x0001;

    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(DIO_PIO_BASE, c << 12);
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(CONTROL_PIO_BASE, 1);
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(CONTROL_PIO_BASE, 0);

    uart_rxcount = read(fd, &uart_rxbuffer, sizeof(uart_rxbuffer));

    m_pwm_enabled = 1;
    if(uart_rxcount > 0)
    {
        pch = strtok (uart_rxbuffer, "*");
        while (pch != NULL && n < 13)
        {
            m_concentration[12-n] = atoi(pch);
            pch = strtok (NULL, "*");

            n += 1;
        }
        n = 0;
        //generate_odor();
        if(m_pwm_enabled == 1)
        {
            for(i=0; i<13; i++)
            {
                if(m_concentration[i] != 0)
                {
                    for(j=0; j<13; j++)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    {
        if(j==i)
        {
            c = 0x0001;

            c = c << i;

            IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(DIO_PIO_BASE, c);
            IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(CONTROL_PIO_BASE, 1);
            IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(CONTROL_PIO_BASE, 0);
        }
    }

    k = 0;
    wait = (2580)*m_concentration[i];
    while (k<wait)
    {
        k++;
    }
}
}
else
{
    c = 0x0001;

    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(DIO_PIO_BASE, c << 12);
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(CONTROL_PIO_BASE, 1);
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(CONTROL_PIO_BASE, 0);
}
}
}

return 0;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void generate_odor(void)
{
    int i;
        int k;
    int j;
    int wait;

    unsigned long int c;

    if(m_pwm_enabled == 1)
    {
        for(i=0; i<13; i++)
        {
            if(m_concentration[i] != 0)
            {
                for(j=0; j<13; j++)
                {
                    if(j==i)
                    {
                        c = 0x0001;
                        c = c << i;

                        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(DIO_PIO_BASE, c);
                        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(CONTROL_PIO_BASE, 1);
                        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(CONTROL_PIO_BASE, 0);
                    }
                }
            }

            k = 0;
            wait = (2580)*m_concentration[i];
            while (k<wait)
            {
                k++;
            }
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}  
else  
{  
    c = 0x0001;  
  
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(DIO_PIO_BASE, c << 12);  
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(CONTROL_PIO_BASE, 1);  
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(CONTROL_PIO_BASE, 0);  
}  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้