

การสังเคราะห์เสียงดนตรีด้วยอิเล็กทรอนิกส์



นางสาว สุภาภรณ์ แก้วศักดิ์

005973

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2523

ELECTRONIC SYNTHESIS OF MUSICAL SOUNDS

Miss Supaporn Kaewsakda

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Physics


Graduate School

Chulalongkorn University

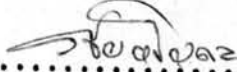
1980

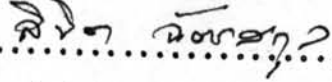
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสังเคราะห์เสียงดนตรีด้วยอิเล็กทรอนิกส์
โดย นางสาวสุภาภรณ์ แก้วศักดิ์
ภาควิชา ศิลปกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภักโย บันยารุณ

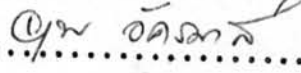
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้มหาวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

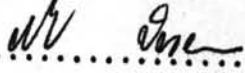

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ รชัช หโยดม)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ลิขิต ฉัตรสกุล)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยุทธ อัครมาส)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภักโย บันยารุณ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสังเคราะห์เสียงดนตรีด้วยอิเล็กทรอนิกส์
ชื่อนิสิต นางสาวสุภาภรณ์ แก้วศักดิ์ดา
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภียโย บันยารชุน
ภาควิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2523



บทคัดย่อ

เครื่องสังเคราะห์เสียงที่สร้างขึ้นประกอบด้วยหน่วยสำคัญโดยเทียบเคียงกับเครื่องดนตรี คือ ออสซิลเลเตอร์ ตัวกรอง และตัวขยาย มีแผงด้านหน้าเพื่อสะดวกในการใช้เครื่อง โดยอาศัยแรงดันควบคุมสำหรับควบคุมความถี่ของออสซิลเลเตอร์และตัวกรอง กับอัตราขยายของตัวขยาย ดังนั้นจึงสามารถสร้างเสียงแบบเสียงเครื่องดนตรีแท้ ๆ หรือที่ผิดแผกไปได้แก่ วา-วา และทรีโมโล หรือเสียงธรรมชาติเช่นเสียงลมเป็นต้น เช่นเดียวกับเครื่องสังเคราะห์เสียงทั้งหลายซึ่งให้ประโยชน์กว้างขวาง สำหรับการเลียนเสียงเครื่องดนตรีแท้ ๆ ให้ได้คล้ายคลึงนั้น ต้องควบคุมให้มืองค์ประกอบฮาร์โมนิคและเอ็นเวลโลพที่เหมาะสมเท่านั้น

Thesis Title Electronic Synthesis of Musical Sounds
Name Miss Supaporn Kaewsakda
Thesis Advisor Assistant Professor Bhiyayo Panyarjun, Ph.D.
Department Physics
Academic year 1980

ABSTRACT

A micro-synthesizer which employs the voltage control techniques that give synthesizers their almost unlimited versatility while featuring controls on the front panel that are simple to operate has been built. With the equivalency between electronic elements and the mechanical counterparts, the synthesizer is composed of an oscillator, a filter, and an amplifier. The synthesizer's oscillator and filter frequencies and amplifier gain are all functions of the control voltages applied. Unusual and special music effects such as waa-waa's and tremolos, natural sounds, and conventional instrumental sounds can be created. But, only when suitable voicing (similarities in harmonics) is combined with a selected envelope does the final musical note result.

กิติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยคำแนะนำ คำสั่งสอน ตลอดจนวิธีแก้ปัญหาลุปสรรค
ต่าง ๆ จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภักโย บันยารชุน ผู้เขียนขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง
กับทั้งขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร เส็งหะพันธุ์ ที่ได้กรุณาให้ยืมเครื่องนับความถี่
และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ เจริญกุล ที่กรุณาให้ยืมกล้องถ่ายภาพ อนึ่งงานวิจัยนี้ไม่อาจ
สำเร็จลงได้ด้วยดีหากขาด พ.จ.อ. พูน อางปรู ซึ่งได้ให้คำแนะนำ และเทคนิคต่าง ๆ
จึงขอขอบ—คุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
รายการตารางประกอบ.....	ณ
รายการรูปประกอบ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. ทฤษฎีเกี่ยวกับเสียงดนตรี.....	4
2.1 เสียงรบกวนและเสียงดนตรี.....	4
2.2 ความเข้มของเสียง.....	4
2.3 ระดับความเข้ม.....	5
2.4 ความดัง.....	6
2.5 เส้นเสมอ ระดับของระดับความดัง.....	7
2.6 ความดังกับโครงสร้างเสียงลำ.....	9
2.7 ระดับเสียง.....	10
2.8 มาตรฐานส่วนดนตรี.....	10
2.9 คุณภาพของเสียง.....	12
2.10 การวิเคราะห์รูปคลื่นด้วยอนุกรมฟูเรียร์.....	14
2.11 ชนิดของเครื่องดนตรี.....	22
2.12 ไดนามิกส์.....	24
3. การสร้างเครื่องสังเคราะห์เสียงดนตรี.....	34
3.1 แหล่งจ่ายไฟ.....	37
3.2 ตัวควบคุมคีย์บอร์ด.....	38



	หน้า	
3.3	ออสซิลเลเตอร์แรงดันควบคุม.....	39
3.4	แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน	43
3.5	ตัวกรองแรงดันควบคุม.....	43
3.6	ตัวขยายแรงดันควบคุม.....	46
3.7	ทริกเกอร์.....	46
3.8	วงจรมอนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์.....	48
3.9	สวิตช์สัมผัส.....	52
4.	ลักษณะของหน่วยต่าง ๆ ในเครื่องสังเคราะห์เสียงดนตรีที่สร้างขึ้น.....	56
4.1	แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน.....	57
4.2	ออสซิลเลเตอร์แรงดันควบคุม.....	58
4.3	ตัวขยายแรงดันควบคุม.....	63
4.4	ตัวกรองแรงดันควบคุม.....	68
4.5	ตัวควบคุมคีย์บอร์ด.....	78
5.	การสังเคราะห์เสียงดนตรี.....	80
5.1	การสร้างเสียงกีตาร์.....	81
5.2	การสร้างเสียงเปียโน.....	83
5.3	การสร้างเสียงไวโอลิน.....	85
5.4	การสร้างเสียงแตรฝรั่ง.....	87
5.5	การสร้างเสียงลมดนตรี.....	89
5.6	การสร้างเอ็นเวลโลพรูปต่าง ๆ.....	89
6.	สรุปและข้อเสนอนะ.....	97
	เอกสารอ้างอิง.....	99
	ประวัติผู้เขียน.....	102

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงอัตราส่วนความถี่ของมาตราส่วนเต็มเปอร์เซ็นต์เท่า	12
2.2	แสดงส่วนประกอบฮาร์โมนิกของคลื่นรูปสามเหลี่ยม , พัลส์เลื่อย , จตุรัส ..	20
4.1	ข้อมูลแสดงความถี่ของคลื่นรูปพัลส์เลื่อย (หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า) ที่แรงดันควบคุม ค่าต่าง ๆ	60
4.2	ข้อมูลแสดงความถี่ของคลื่นรูปสามเหลี่ยม (จตุรัส) ที่แรงดันควบคุมค่าต่าง ๆ	61
4.3	ข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการขึ้นและการสลาย กับความต้านทาน ของตัวควบคุมนั้น ๆ ภายในตัวกำเนิดหน้าที่ของ VCA	65
4.4	ข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการขึ้นและการสลาย กับความต้านทาน ของตัวควบคุมนั้น ๆ ภายในตัวกำเนิดหน้าที่ของ VCF	71
4.5	ความถี่อิมพัลส์ของตัวกรองที่แรงดันควบคุมค่าต่าง ๆ	76
4.6	โน้ตเสียงในช่วง 2 : คู่แปดที่เลือกให้ตัวควบคุมคีย์บอร์ดและออสซิลเลเตอร์ แรงดันควบคุมร่วมกันสร้างขึ้น	79

รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับความดัง	7
2.2 เส้นเลมอระดับมาตรฐานของระดับความดัง	8
2.3 แผนภูมิแสดงการตอบสนองของหูคนปกติต่อเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ	9
2.4 แผนภาพแสดงคู่เปิดเท็มเปอร์ด	11
2.5 (a), (b), (c) แสดงรูปคลื่นของล่อมเสียง, ซี และคอร์เน็ตตามลำดับ ที่ความถี่ 440 เฮิซ ความเข้มเท่ากันหมด	13
2.6 สเปกตรัมของเสียงในรูป 2.5	13
2.7 คลื่นรูปจตุรัสมีอ่าพน A คาบ T	18
2.8 ส่วนประกอบฮาร์โมนิกของคลื่นรูปจตุรัสความถี่ 65 เฮิซ, 60 เดซิเบล.....	21
2.9 ส่วนประกอบฮาร์โมนิกของคลื่นรูปสามเหลี่ยมความถี่ 65 เฮิซ, 60 เดซิเบล..	21
2.10 ส่วนประกอบฮาร์โมนิกของคลื่นรูปฟันเลื่อยความถี่ 65 เฮิซ, 60 เดซิเบล.....	22
2.11 แผนภาพของท้อออร์แกนชนิดรู	23
2.12 แสดงท้อออร์แกนชนิดลิ้นแบบลิ้นอีลระ	23
2.13 ไตนามิคส์ของเครื่องเป่า	25
2.14 ไตนามิคส์ของเครื่องสายหรือเครื่องดี	25
2.15 ไตนามิคส์ตัวอย่างของเครื่องสังเคราะห์เสียง	25
2.16 (a) สเปกตรัม, (b) เอ็นเวลโลพของปัทม์	27
2.17 (a) สเปกตรัม, (b) เอ็นเวลโลพของ เบลัไวโอสัน	27
2.18 (a) สเปกตรัม, (b) เอ็นเวลโลพของซ้อ	28
2.19 (a) สเปกตรัม, (b) เอ็นเวลโลพของปี	28
2.20 (a) สเปกตรัม, (b) เอ็นเวลโลพของแตรอังกฤษ	29
2.21 (a) สเปกตรัม, (b) เอ็นเวลโลพของขลุ่ย	29

รูปที่	หน้า
2.22 (a) สเปกตรัม, (b) เอ็นเวลโลพของแตรฝรั่ง เค็ลล์	30
2.23 (a) สเปกตรัม, (b) เอ็นเวลโลพของปีเลียงแหลม	30
2.24 (a) สเปกตรัม, (b) เอ็นเวลโลพของแตรทอมโบน	31
2.25 (a) สเปกตรัม, (b) เอ็นเวลโลพของแตรทรมเป็ต	31
2.26 (a) สเปกตรัม, (b) เอ็นเวลโลพของทูบ้า	32
2.27 (a) สเปกตรัม, (b) เอ็นเวลโลพของไวโอลา	32
2.28 (a) สเปกตรัม, (b) เอ็นเวลโลพของไวโอลิน	33
3.1 แผนผังของเครื่องสังเคราะห์เสียงที่สร้างขึ้น ซึ่งเป็นเครื่องสังเคราะห์เสียงขนาดจิ๋ว (micro-synthesizer) เรียกว่าโนม	35
3.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟที่ใช้กับโนม	37
3.3 วงจรตัวควบคุมคีย์บอร์ด	38
3.4 แลตงลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรตัวควบคุมคีย์บอร์ด	39
3.5 วงจรออสซิลเลเตอร์แรงดันควบคุม	40
3.6 วงจรแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน	40
3.7 ลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ของวงจร VCO และแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน	41
3.8 ลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟ	41
3.9 วงจรตัวกรองแรงดันควบคุม	44
3.10 ลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรตัวกรองแรงดันควบคุม	44
3.11 วงจรตัวขยายแรงดันควบคุม	47
3.12 วงจรทรานซิสเตอร์	47
3.13 ลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ของวงจร VCA และทรานซิสเตอร์	47
3.14 วงจรโมโนสเตเบิลมิวไอแบริเตอร์ที่ใช้ 74121 และ 555	48
3.15 วงจรขยายใช้ออปแอมป์ต่อแบบไม่กลับ	50

รูปที่		หน้า
3.16	วงจรทั้งหมดของโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ที่ทดลองทำพร้อมค่า อุปกรณ์ที่ใช้	51
3.17	วงจรลัทธิขั้วสัมผัสพร้อมแหล่งจ่ายไฟ	52
3.18	ลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรลัทธิขั้วสัมผัสพร้อมแหล่งจ่ายไฟ	53
3.19	แสดงการต่อส่วนที่เป็นขั้วต่าง ๆ (ดูจากด้านบน)	53
3.20	ขยายให้เห็นด้านล่างของแผ่นขั้วแต่ละแผ่น	53
3.21	แสดงการแบ่งหน้าปัทม์ของตัวควบคุมต่าง ๆ	54
3.22	ภาพถ่ายภายนอกของ เครื่องส่ง เคราะห์เสียงที่สร้างขึ้น	54
3.23	ภาพถ่ายภายในของ เครื่องส่ง เคราะห์เสียงที่สร้างขึ้น	55
3.24	ภาพถ่ายแผงด้านหน้าของ เครื่องส่ง เคราะห์เสียงที่สร้างขึ้น	55
4.1	สัญญาณและ เส้นทางควบคุมในโนม	56
4.2	ผลของการปรับตัวควบคุมการลาดไปที่ตำแหน่งต่าง ๆ	58
4.3	กราฟระหว่างความถี่กับแรงดันตามการทดลองหัวข้อ 4.2.1 และ 4.2.2...	62
4.4	แสดงให้เห็นว่า ไดนามิกส์ของ เครื่องดนตรีสร้างขึ้นจากตัวกำเนิดหน้าที่ และ VCA	63
4.5	ตารางรูปแสดงผลการตอบสนองตามเงื่อนไขต่าง ๆ ของลัทธิ "คงที่" ของ VCA	64
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาการขึ้นกับความต้านทานของตัวที่ควบคุม ภายในตัวกำเนิดหน้าที่ของ VCA	66
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาสลายกับความต้านทานของตัวที่ควบคุม ภายในตัวกำเนิดหน้าที่ของ VCA	67
4.8	ตารางรูปแสดงผลการตอบสนองตามเงื่อนไขต่าง ๆ ของลัทธิ "ช้า" ร่วมกับ ลัทธิ "คงที่"	70

รูปที่	หน้า
4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการขึ้นกับตัวที่ควบคุม ภายในตัวกำเนิดหน้าที่ของ VCF 72
4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาล่าช้าและตัวที่ควบคุม ภายในตัวกำเนิดหน้าที่ของ VCF 73
4.11	กราฟระหว่างแรงดันควบคุมและความถี่ของตัวกรองแรงดันควบคุม 77
5.1	เส้นโค้งการสั่นของลำยลวดเครื่องดีด 81
5.2 (a)	รูปคลื่นของเสียงกีตาร์โน้ต C ₅ จากเทปบันทึกเสียง 82
(b)	" " " " ที่สร้างขึ้น 83
5.3	เอ็นเวลโลพของรูปคลื่นของเสียงเปียโน 84
5.4 (a)	รูปคลื่นของเสียงเปียโนโน้ต C ₄ จากเทปบันทึกเสียง 84
(b)	" " " " ที่สร้างขึ้น 85
5.5	เส้นโค้งการสั่นของลำยลวดเครื่องดีด 85
5.6 (a)	รูปคลื่นของไวโอลินโน้ต E ₅ 86
(b)	รูปคลื่นของเสียงไวโอลินโน้ต E ₅ ที่สร้างขึ้น 87
5.7 (a)	รูปคลื่นของแตรฝรั่ง เค็ล 88
(b)	รูปคลื่นแตรฝรั่ง เค็ลที่สร้างขึ้น 88
5.8	แผนผังการต่อหน่วยต่าง ๆ เพื่อสร้างเสียงลมดนตรี 89
5.9	เอ็นเวลโลพตามเงื่อนไขหัวข้อ 5.6.1 เมื่อตัวควบคุมการขึ้นของ VCF อยู่ที่เลข 0 .91
5.10	" " " " " " " " 1..91
5.11	" " " " " " " " 2..92
5.12	" " " " " " " " 5..92
5.13	เอ็นเวลโลพตามเงื่อนไขหัวข้อ 5.6.2 เมื่อตัวควบคุมการล่าช้าของ VCF อยู่ที่เลข 1..93
5.14	" " " " " " " " 2..93
5.15	" " " " " " " " 5..94

รูปที่	หน้า
5.16	เป็นเวลโลพตามเงื่อนไขหัวข้อ 5.6.4 95
5.17	เป็นเวลโลพของทรีโมโล 95
5.18	เป็นเวลโลพตามเงื่อนไขหัวข้อ 5.6.6 เมื่อตัวควบคุมการขึ้นและสลาย ของ VCA อยู่เลข 0 96
5.19	เป็นเวลโลพตามเงื่อนไขหัวข้อ 5.6.6 เมื่อตัวควบคุมการขึ้นและสลาย ของ VCA อยู่ที่เลข 0.5 และ 1 ตามลำดับ 96
6.1	แสดงส่วนทั้งสองของเป็นเวลโลพ 98