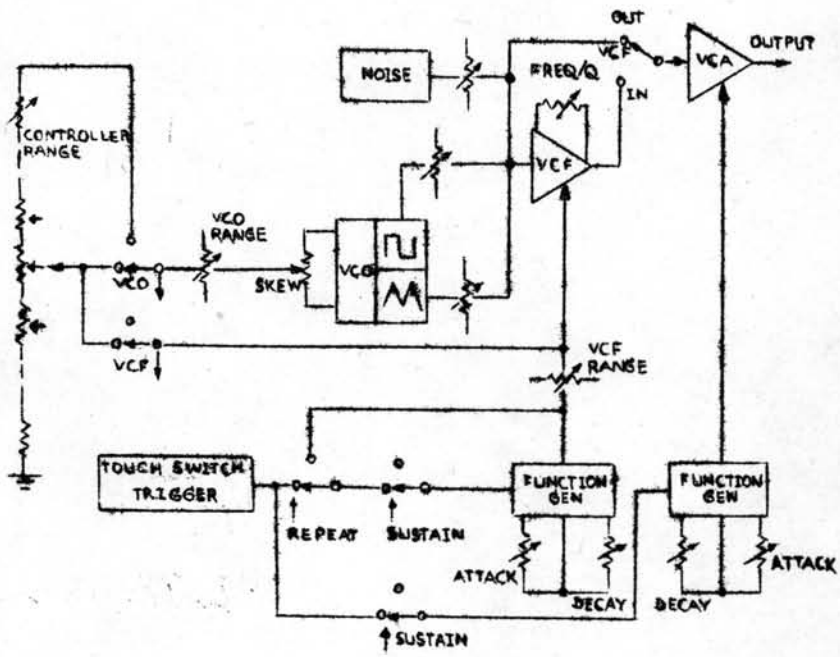
บทที่ 4

ลักษณะของหน่วยต่าง ๆ ในเครื่องสังเคราะห์เสียงดนตรีที่สร้างขึ้น

สัญญาณและเส้นทางควบคุมในเครื่องสังเคราะห์เสียงดนตรีที่สร้างขึ้น (โนม) เป็นไปตามรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 สัญญาณและเส้นทางควบคุมในโนม[19]

จากรูปจะเห็นว่า VCO จะป้อนเข้าสู่ตัวป้อนของ VCF เสมอ และ VCA อาจเอาสัญญาณป้อนจาก VCO โดยตรง หรือจากตัวคายของ VCF ก็ได้ แรงดันควบคุมสำหรับ VCO อาจมาจากตัวควบคุมคีย์บอร์ดหรือแหล่งจ่ายไฟโดยตรง แล้วจึงมาปรับแต่งโดยตัวควบคุมพิสัยของ VCO (VCO RANGE control, R 15) แรงดันควบคุมสำหรับ VCF อาจมาจากตัวควบคุม

คีย์บอร์ด หรือตัวกำเนิดหน้าที่หรือทั้งสองอย่าง และสำหรับ VCA นั้น แรงดันควบคุมมาจากตัวกำเนิดหน้าที่เท่านั้น

แผงด้านหน้าของเครื่องสังเคราะห์เสียงที่สร้างขึ้นได้จัดวางปุ่มควบคุมต่าง ๆ แบ่งเป็น 6 ส่วน ตามหน่วยต่าง ๆ ที่ประกอบอยู่ภายในเครื่องคือ

1. แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน
2. ออสซิลเลเตอร์แรงดันควบคุม
3. ตัวขยายแรงดันควบคุม
4. ตัวกรองแรงดันควบคุม
5. ตัวควบคุมคีย์บอร์ด (ซึ่งมีตัวควบคุมพิสัยอยู่ที่แผงด้านหน้าส่วนล่าง และมีทริกเกอร์กับล่วิทช์สัมผัสต่อร่วมออกมาสำหรับเล่นคีย์ต่าง ๆ)
6. แหล่งจ่ายไฟ

เราจะกล่าวถึงลักษณะของ 5 หน่วยแรกตามลำดับดังต่อไปนี้

4.1 <u>แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน</u>

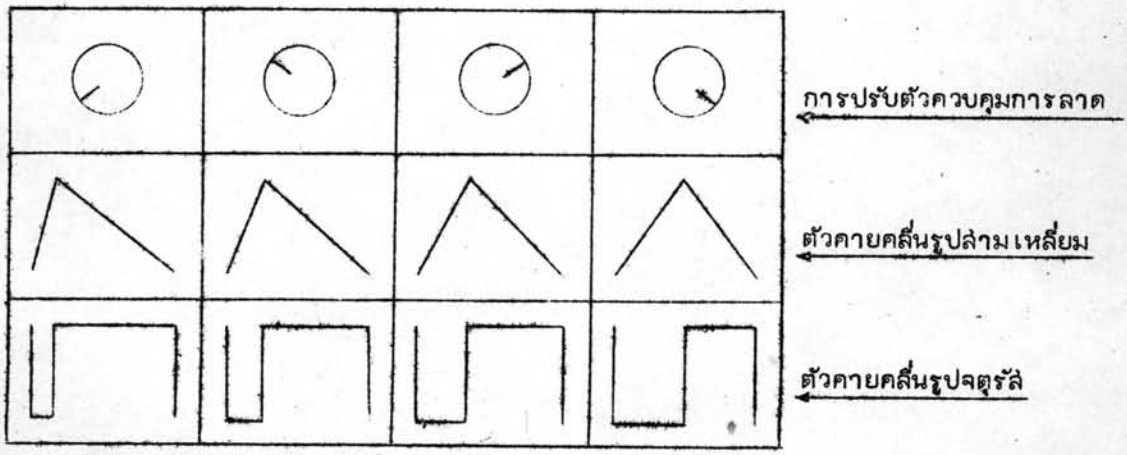
สัญญาณรบกวนจัดเป็นเสียงที่ไม่มีระดับเสียง (unpitched) จะได้ยินซ่า ๆ เหมือนเสียงจากวิทยุเอ็ฟ เอ็ม (FM) เมื่ออยู่ระหว่างสถานี ซึ่งเรียกว่าสัญญาณรบกวนสีขาว (white noise) ทั้งนี้เป็นผลจากการรวมอำพนค่าต่าง ๆ ที่ทุก ๆ ความถี่ (19)

สัญญาณรบกวนสีขาวกำเนิดจากระบบเชิงกลแบบไม่อภินาท เช่น ลม, คลื่นกระทบฝั่งเป็นแนวยาว, ระเบิด, ฟ้าลั่น เป็นต้น แต่เมื่อป้อนเสียงรบกวนนี้เข้าสู่ระบบอภินาท ผลที่ได้คือ สัญญาณรบกวนสีชมพู (pink noise) คือมีความกว้างแถบ (bandwidth) จำกัด กล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าสัญญาณรบกวนสีขาวเป็นการแจกแจงความถี่ทั้งหมดของความน่าจะเป็นที่เท่ากัน (equal probability distribution of all frequencies) แต่สัญญาณรบกวนสีชมพูเป็นการแจกแจงความถี่แบบเกาส์เซียน (Gaussian frequency distribution) (8)

แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนในเครื่องสังเคราะห์เสียง มีประโยชน์สำหรับใช้เลียนเสียงดังเช่นกลองแตรก และฉิ่งฉาบ (cymbal) หรือพวกเสียงธรรมชาติดังกล่าวแล้วข้างต้น

4.2 <u>ออส์ซิลเลเตอร์แรงดันควบคุม</u>

ตัวควบคุมการลาดของออส์ซิลเลเตอร์ (SKEW control, R 16) จะหมุนปรับให้ตัวคายมีรูปพื้นฐานถึง 4 แบบ คือ สามเหลี่ยม, ลาด (หรือฟันเลื่อย), จตุรัส และตลแคบ (สี่เหลี่ยมผืนผ้า) รูปที่ 4.2 แสดงถึงผลของตัวควบคุมนี้



รูปที่ 4.2 ผลของการปรับตัวควบคุมการลาดไปที่ตำแหน่งต่าง ๆ

เมื่อหมุนตัวควบคุมการลาดไปตามเข็มนาฬิกาจะเป็นการเปลี่ยนคลื่นรูปลาดไปเป็นคลื่นรูปสามเหลี่ยม และเปลี่ยนคลื่นรูปตลแคบไปเป็นคลื่นรูปจตุรัส เสียงที่ได้จากคลื่นรูปลาดจะแหลมกว่าเสียงจากคลื่นรูปสามเหลี่ยมซึ่งให้เสียงทึ่มกว่า และเสียงของคลื่นรูปตลแคบจะแหลมกว่าจตุรัส และแหลมที่สุดในบรรดาเสียงจากคลื่นรูปพื้นฐานทั้งสี่ ในการหมุนตัวควบคุมนี้ จะมีการเลื่อนของระดับเสียงของคลื่นรูปต่าง ๆ ด้วย ซึ่งจะเห็นได้จากข้อมูลของการทดลองในตอนต่อไป

สำหรับตัวควบคุมระดับของคลื่นรูปสามเหลี่ยมนั้น เป็นตัวกำหนดความสูงของรูปคลื่นสามเหลี่ยมหรือลาด ในทำนองเดียวกันตัวควบคุมระดับของคลื่นรูปจตุรัสก็เป็นตัวกำหนดความสูงสำหรับคลื่นรูปจตุรัสหรือตลแคบที่ป้อนสู่เส้นทางร่วมของสัญญาณเสียง โดยจะสูงมากขึ้นเมื่อหมุนตัวควบคุมนี้ไปตามเข็มนาฬิกามากขึ้น ซึ่งจะให้ความสูงมากที่สุด 2 โวลต์ จากยอดถึงยอด (peak to peak) เมื่อเป็นคลื่นรูปจตุรัส และ 1 โวลต์ จากยอดถึงยอดเมื่อเป็นคลื่นรูปสามเหลี่ยม

ในเครื่องสังเคราะห์เสียง ขนาดของแรงดันควบคุมจะกำหนดระดับเสียง (ความถี่) ของออสซิลเลเตอร์

ตัวควบคุมพิสัยภายใน VCO อยู่ที่แผงด้านหน้า เป็นตัวลดแรงดันควบคุมซึ่งให้แก่ VCO เมื่อสวิทช์ "ไปสู่ VCO (TO VCO) S1" ของวงจรตัวควบคุมคีย์บอร์ดอยู่ตำแหน่งป้อนแรงดัน + 18 โวลต์คงที่แก่ VCO แรงดันนี้ก็จะเข้าสู่ VCO ทางตัวควบคุมพิสัยของ VCO ทำให้ออสซิลเลเตอร์สร้างความถี่ค่าคงที่ซึ่งไม่ขึ้นกับคีย์บอร์ด เมื่อสวิทช์ S1 นี้ เลื่อนไปที่ตำแหน่งป้อนแรงดันที่เป็นสัดส่วนกับตำแหน่งของตัวต้านทานเกือกม้า (เรียกว่า S1 อยู่ ณ ตำแหน่ง "ปิด") ตัวควบคุมพิสัยของ VCO และของวงจรตัวควบคุมคีย์บอร์ดจะร่วมกันควบคุมให้เกิดความถี่สูงสุดและต่ำสุดตามต้องการได้ จากการทดลองพบว่าเมื่อหมุนตัวควบคุมพิสัยของวงจรตัวควบคุมคีย์-บอร์ดไปที่ตำแหน่งน้อยที่สุด (ทวนเข็มนาฬิกาจนสุด) และตัวควบคุมพิสัยของ VCO ไปที่ตำแหน่งมากที่สุด ตัวต้านทานเกือกม้าของวงจรคีย์บอร์ดสามารถให้พิสัยจาก 88 ถึง 188 เฮิทซ์ เมื่อเป็นคลื่นรูปฟันเลื่อย (หรือรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า) และจาก 78 ถึง 154 เฮิทซ์ เมื่อเป็นคลื่นรูปสามเหลี่ยม (หรือจตุรัส) ดังนั้นโดยการปรับตัวควบคุมพิสัยของ VCO ไปที่ตำแหน่งต่าง ๆ ก็จะทำให้ออสซิลเลเตอร์แปรเปลี่ยนความถี่ไป แต่เมื่อตัวควบคุมนี้อยู่ที่ตำแหน่งน้อยที่สุด ออสซิเลเตอร์จะหยุดสร้างรูปคลื่น ไม่ว่าตัวควบคุมคีย์บอร์ดกำลังอยู่ ณ สภาพเงื่อนไขใดก็ตาม

4.2.1 <u>การทดลองนับความถี่ของคลื่นรูปฟันเลื่อย (หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า)</u> เมื่อหมุนตัวควบคุมพิสัยของวงจรคีย์บอร์ด และของ VCO ไปที่ตำแหน่งมากที่สุด โดยใช้เครื่องนับความถี่ (Electronic Counter) แบบ 5216A 12.5 MHz Hewlett Packard สำหรับนับความถี่ ปรากฏว่าตัวต้านทานเกือกม้าสามารถให้พิสัยจาก 174 ถึง 2114 เฮิทซ์ และมีรายละเอียดการแปรผันความถี่กับแรงดัน ดังตารางที่ 4.1

แรงดันควบคุม (โวลต์)	ความถี่ (เฮิทซ์)	แรงดันควบคุม (โวลต์)	ความถี่ (เฮิทซ์)	แรงดันควบคุม (โวลต์)	ความถี่ (เฮิทซ์)
2.0	174	2.2	203	2.4	234
2.6	265	2.8	300	3.0	334
3.2	366	3.4	395	3.6	425
3.8	458	4.0	494	4.2	528
4.4	555	4.6	586	4.8	616
5.0	644	5.2	675	5.4	704
5.6	736	5.8	761	6.0	787
6.4	837	6.8	893	7.2	940
7.6	992	8.0	1043	8.4	1098
8.8	1144	9.2	1192	9.6	1241
10.0	1290	10.4	1336	10.8	1376
11.2	1425	11.6	1468	12.0	1520
12.5	1564	13.0	1628	13.5	1670
14.0	1720	14.5	1770	15.0	1820
15.5	1875	16.0	1930	16.5	1980
17.0	2024	17.5	2058	18.0	2114

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลแสดงความถี่ของคลื่นรูปฟันเลื่อย (หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า) ที่แรงดันควบคุมค่าต่าง ๆ

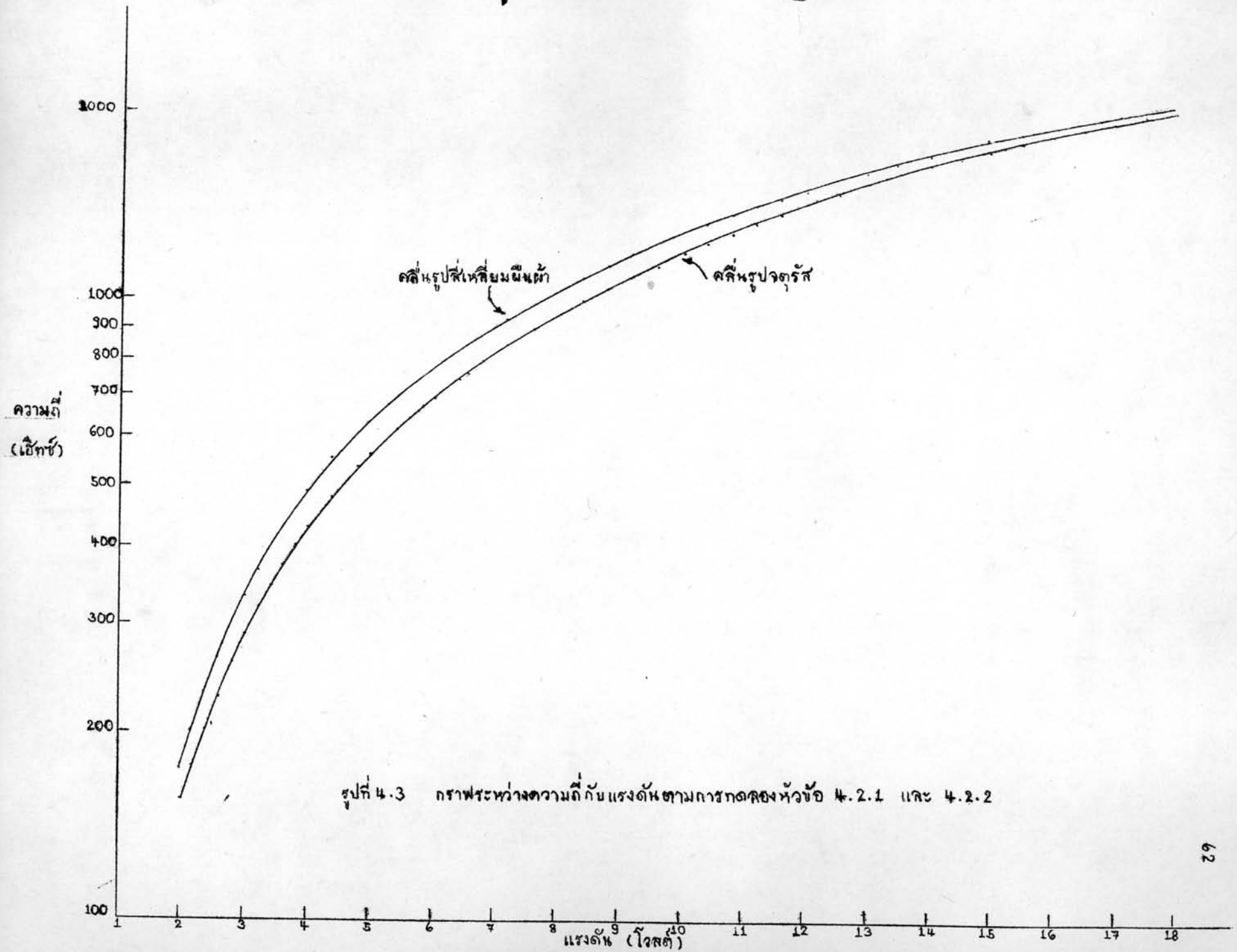
4.2.2 การทดลองนับความถี่ของคลื่นรูปสามเหลี่ยม (หรือจตุรัส)

เมื่อหมุนตัวควบคุมพิสัยของวงจรคีย์บอร์ด และของ VCO ไปที่ตำแหน่งมากที่สุด โดยใช้เครื่องนับความถี่เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.2.1 ปรากฏว่าตัวต้านทานเกือกม้าสามารถให้พิสัยจาก 152 ถึง 2088 เฮิทซ์ และมีรายละเอียดการแปรผันความถี่กับแรงดันดังตารางที่ 4.2

แรงดันควบคุม (โวลต์)	ความถี่ (เฮิทซ์)	แรงดันควบคุม (โวลต์)	ความถี่ (เฮิทซ์)	แรงดันควบคุม (โวลต์)	ความถี่ (เฮิทซ์)
2.0	152	2.2	175	2.4	202
2.6	230	2.8	260	3.0	289
3.2	320	3.4	344	3.6	372
3.8	402	4.0	430	4.2	457
4.4	485	4.6	514	4.8	541
5.0	566	5.2	594	5.4	621
5.6	652	5.8	681	6.0	699
6.4	753	6.8	802	7.2	854
7.6	909	8.0	947	8.4	1000
8.8	1050	9.2	1090	9.6	1142
10.0	1192	10.4	1238	10.8	1288
11.2	1338	11.6	1386	12.0	1447
12.5	1508	13.0	1560	13.5	1612
14.0	1671	14.5	1708	15.0	1755
15.5	1812	16.0	1873	16.5	1918
17.0	1980	17.5	2033	18.0	2088

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลแสดงความถี่ของคลื่นรูปสามเหลี่ยม (จตุรัส) ที่แรงดันควบคุมค่าต่าง ๆ

ถ้านำผลที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 4.2.1 และ 4.2.2 มาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.3

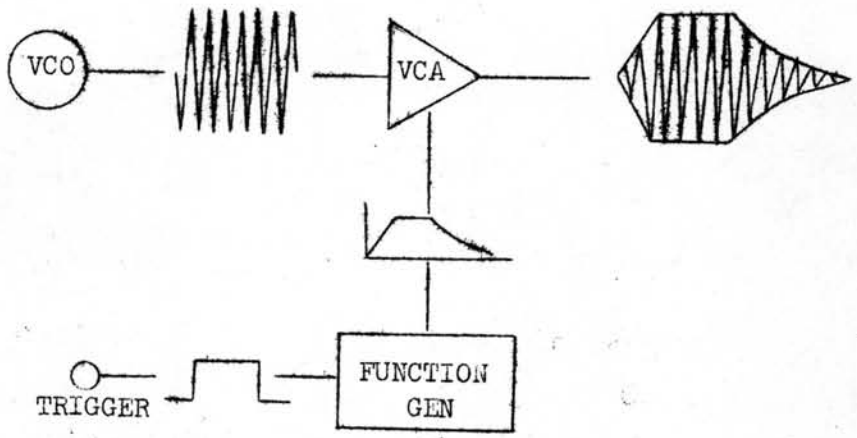


รูปที่ 4.3 กราฟระหว่างความถี่กับแรงดันตามการทดลองหัวข้อ 4.2.1 และ 4.2.2

4.3 ตัวขยายแรงดันควบคุม

อัตราขยายของตัวขยายในเครื่องสังเคราะห์เสียงนั้นเป็นสัดส่วนกับขนาดของแรงดันควบคุม ซึ่งโดยมากสร้างขึ้นมาจากตัวกำเนิดหน้าที่

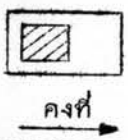
ตัวกำเนิดหน้าที่เป็นวงจรอิเลคทรอนิคส์ซึ่งจะให้ผลตอบสนองต่อเมื่อมีสัญญาณทริกเกอร์เข้าไป วงจรดังกล่าวจะสร้างแรงดันซึ่งขึ้นสู่ระดับที่ตั้งไว้ก่อนแล้ว ด้วยเวลาการขึ้นกำหนดโดยปุ่มควบคุม (ATTACK control) และตกลงสู่ศูนย์ด้วยเวลากำหนด โดยปุ่มควบคุมอีกปุ่มหนึ่ง (DECAY control) สำหรับช่วงการคงที่โดยปกติจะยาวหรือสั้นขึ้นกับระยะเวลาของการป้อนสัญญาณทริกเกอร์เข้าไป รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างการป้อนออสซิลเลเตอร์สู่ VCA ซึ่งควบคุมโดยตัวกำเนิดหน้าที่ เพื่อสร้างเอ็นเวลโลพที่ต้องการ



รูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าไดนามิคส์ของเครื่องดนตรีสร้างขึ้นจากตัวกำเนิดหน้าที่และ VCA

สวิทช์ "คงที่ (SUSTAIN)" ภายใน VCA ทำหน้าที่เช่นเดียวกับสวิทช์ "คงที่" ของ VCF ถ้าสวิทช์นี้อยู่ในตำแหน่ง "เปิด" เมื่อป้อนสัญญาณทริกเกอร์เข้าไป ตัวกำเนิดหน้าที่ของ VCA มีการขึ้นและแล้วก็สลายทันที เวลาการขึ้นและสลายกำหนดโดยตัวควบคุมทั้งสอง นานเท่านานที่สัญญาณทริกเกอร์ป้อนเข้าไป แต่เมื่อเอาสัญญาณนี้ออกจะเกิดหน้าที่ "ใบ้ (muting)" ขึ้นทันที ดังนั้นจึงเป็นผลให้ VCA หยุดทำงาน

ถ้าสวิทช์ "คงที่" อยู่ ณ ตำแหน่ง "ปิด" ตัวกำเนิดหน้าที่จะขึ้นสู่ระดับยอดนานเท่าที่ป้อนสัญญาณทริกเกอร์ ครั้นพอหยุดป้อนก็จะเป็นเฮ็นเวลโลพย่วงการสลาย และเช่นเดียวกันเวลาการขึ้นและสลายก็กำหนดโดยตัวควบคุมทั้งสอง ผลตอบสนองดังกล่าวทั้งหมดนี้สรุปได้ดังรูปที่ 4.5

เงื่อนไข	ผลตอบสนอง	หมายเหตุ
	เครื่องสายหรือเครื่องตี	เมื่อมีสัญญาณทริกเกอร์ จะให้เฮ็นเวลโลพแบบเครื่องสายหรือเครื่องตี
	ใบ้	ให้เฮ็นเวลโลพพร้อมด้วยการใบ้เมื่อเอาทริกเกอร์ออกไป เช่นนี้การขึ้นไม่จำต้องสิ้นสุดก่อนเกิดสภาวะใบ้
	คงที่	ให้ผลเป็นเฮ็นเวลโลพที่มีย่วงคงที่อยู่ด้วย เช่นนี้การขึ้นต้องสิ้นสุดก่อนเกิดการสลายเสมอ

รูปที่ 4.5 ตารางรูปแสดงผลการตอบสนองตามเงื่อนไขต่าง ๆ ของสวิสช์ "คงที่" ของ VCA

เฮ็นเวลโลพที่ได้ตามเงื่อนไขดังรูปที่ 4.5 จะสูงประมาณ 2 โวลต์ เมื่อเวลาการขึ้นน้อยที่สุด และจะลดลงเมื่อเวลาการขึ้นเพิ่มขึ้น

ตัวควบคุมการขึ้นนั้นเป็นตัวพิจารณาปริมาณเวลาที่ใช้สำหรับตัวคายของตัวขยายในการขึ้นสู่ยอด และตัวควบคุมการสลายเป็นตัวพิจารณาปริมาณเวลาสำหรับตัวขยายที่จะหยุดทำงาน

4.3.1 <u>การทดลองดูความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการขึ้นและการสลาย กับความต้านทานของตัวควบคุมนั้น ๆ ภายในตัวกำเนิดหน้าที่ของ VCA</u>

โดยใช้ออสซิลโลสโคปแบบ D 61a Telequipment ดูเฮ็นเวลโลพที่ขาเบสของ Q3 ในวงจร VCA การทดลองนี้ใช้กรณีเมื่อสวิทช์ "คงที่" อยู่ ณ ตำแหน่ง "เปิด (NON-SUSTAIN)" ที่ความต้านทานค่าต่าง ๆ ของตัวควบคุมการขึ้นและการสลาย จะสามารถอ่านเวลาการขึ้นสู่ยอด

และเวลาการล่ายลู่คู่นย้ยองเฮ็นเวลโลพจากล่โคปดังตารางที่ 4.3 ซึ่งถ้าเขียนกราฟจะได้ตามรูปที่ 4.6 และ 4.7

ความต้านทานของตัวควบคุมการยั้นหรือการล่ลาย (KΩ)	เวลาการยั้น (sec)	เวลาการล่ลาย (sec)
0	0.006	0.148
50	0.180	0.880
100	0.365	1.600
150	0.600	2.250
200	0.800	2.500
250	1.020	3.250
300	1.280	3.700
350	1.520	4.100
400	1.750	4.500
450	2.000	5.000
500	2.200	5.500

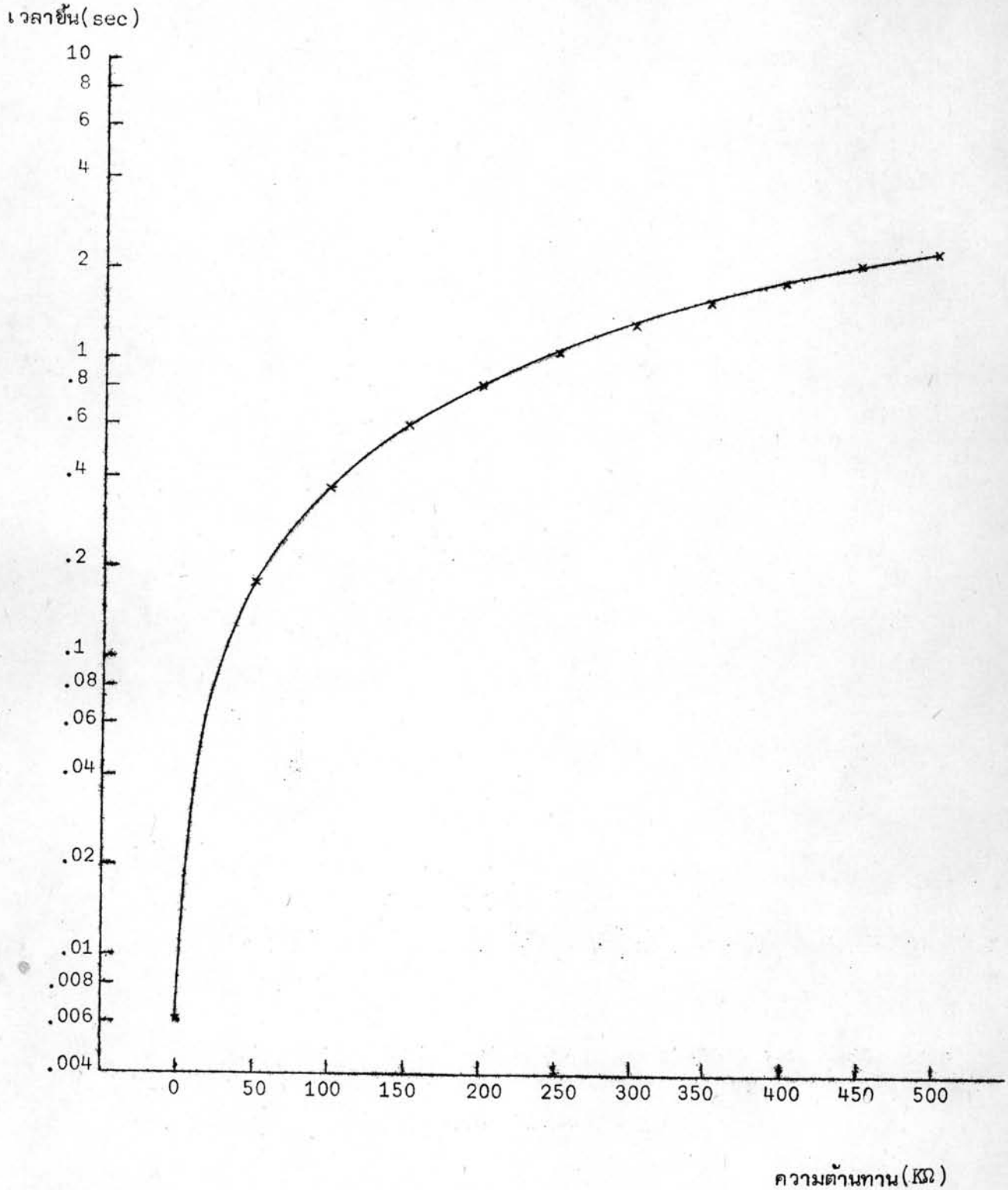
ตารางที่ 4.3 ข้อมูลแล่ดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการยั้นและการล่ลาย กับความต้านทานของตัวควบคุมนั้น ๆ ภายในตัวกำเนิดหน้าที่ยอง VCA

4.3.2 <u>การทำให้ตัวยยายล่มดุลย์</u>

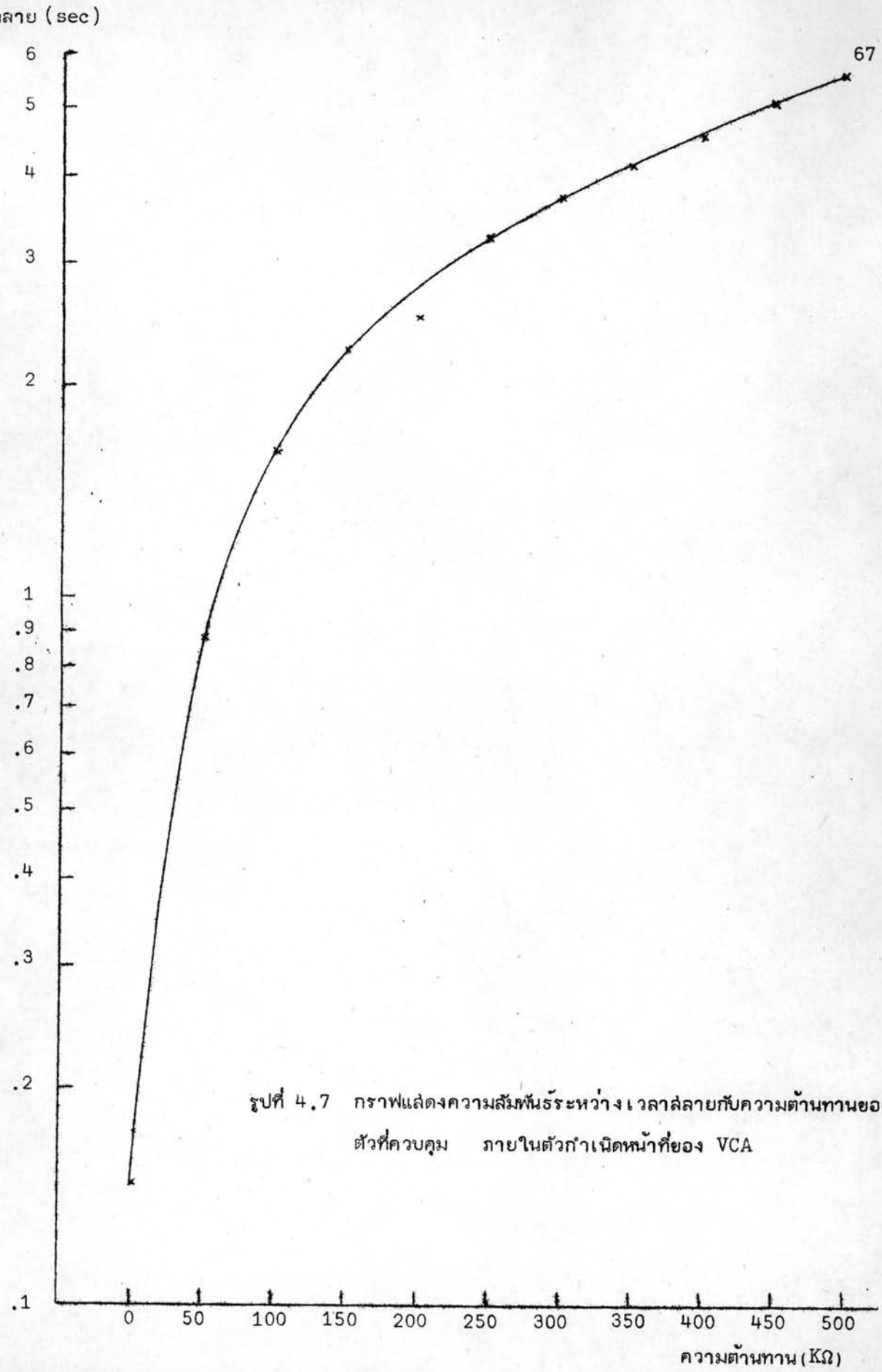
ก่อนอื่นให้หมุนปุ่มควบคุมของหน่วยต่าง ๆ ดังนี้

ตัวควบคุมคียบอร์ด :- หมุนตัวควบคุมพิสัยทานเข็มนาฬิกาจนสุดไปอยู่ ณ ตำแหน่งน้อยที่สุด

แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน :- หมุนตัวควบคุมระดับ (LEVEL control) ไปที่ตำแหน่งน้อยที่สุด



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการยื้นกับความต้านทานของตัวที่ควบคุมภายในตัวกำเนิดหน้าที่ยอง VCA



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาล่ลายกับความต้านทานของตัวที่ควบคุม ภายในตัวกำเนิดหน้าที่ของ VCA

VCO :- หมุนตัวควบคุมพิสัยไปที่ตำแหน่งน้อยที่สุด

VCF :- เลื่อนสวิทช์ "เข้า-ออก (VCF IN-OUT)" ไปที่ "ออก"

หมุนตัวควบคุมพิสัยไปที่ตำแหน่งน้อยที่สุด

VCA :- เลื่อนสวิทช์ "คงที่" ไปที่ตำแหน่ง "เปิด"

หมุนตัวควบคุมการยื้นไปที่ตำแหน่งน้อยที่สุด

" " การสลาย " " "

จากนั้นจึงใช้นิ้วมือแตะแผ่นสัมผัสของสวิทช์สัมผัสเร็ว ๆ หลาย ๆ ครั้งเพื่อทริกเกอร์ VCA จะได้ยินเสียงตุ๊บ ๆ จากเครื่องขยายกำลังที่ใช้กับโนม แสดงว่า VCA ของเราทำงานแล้วแต่ต้องการ การปรับแต่งให้สมดุลย์ ดังนั้นเราก็ทริกเกอร์ VCA ซ้ำ ๆ กันหลาย ๆ ครั้งแบบเดิมอีก พร้อมกันกับหมุนปรับตัวทริม VCA (VCA TRIM control, R 27) ไปด้วย ณ บางตำแหน่งของการหมุนตัวทริมนี้ไป เสียงตุ๊บ ๆ จะค่อยที่สุด ณ ที่นั้นจะเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมนี้

ต่อไปให้เลื่อนสวิทช์ "คงที่" ของ VCA ไปยังตำแหน่ง "ปิด" และหมุนตัวควบคุมระดับของสัญญาณรบกวนไปที่ตำแหน่งมากที่สุด แล้วจึงทริกเกอร์ VCA จะได้ยินเสียงดังซ่า ๆ เหมือนเสียงที่ได้ยินจากวิทยุเอ็ฟเอ็มขณะอยู่ระหว่างสถานี นี่คือเสียงของสัญญาณรบกวนสีขาวนั่นเอง ปรากฏการณ์เช่นนี้ยี้แสดงว่า VCA ของเราทำงานได้อย่างถูกต้องเหมาะสมแล้ว

4.4 ตัวกรองแรงดันควบคุม

ตัวกรองที่ใช้ในโนมเป็นชนิดตัวกรองแถบผ่าน (bandpass filter) ถ้าป้อนคลื่นรูปซายน์เข้าไป คลื่นนั้นจะผ่านออกมาโดยไม่เปลี่ยนแปลงหากว่ามีความถี่ตรงกับ ความถี่ศูนย์-กลาง (center frequency) ของตัวกรอง แต่จะถูกลด (attenuated) ถ้ามีความถี่อื่นในทำนองเดียวกันคลื่นรูปซายน์ซึ่งเป็นองค์ประกอบของสัญญาณเชิงซ้อนถ้าหากอยู่ภายในแถบผ่านของตัวกรองแล้วก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ขณะเดียวกันองค์ประกอบที่อยู่ภายนอกแถบผ่านจะถูกลด ดังนั้นผลที่ได้จะเป็นรูปคลื่นเชิงซ้อนที่การเพี้ยน (distortion) ได้คาดคะเนและควบคุมไว้ก่อนแล้ว

เครื่องดนตรีในธรรมชาติ ล่ามารถให้เสียงต่าง ๆ กันด้วยลักษณะของตัวอภินาทที่เปลี่ยนแปลงไปของเครื่องนั้น ๆ ในเครื่องสังเคราะห์เสียงก็เช่นเดียวกัน จะต้องมีวิธีการควบคุมความถี่ศูนย์กลางของตัวกรอง ซึ่งก็กระทำได้โดยใช้แรงดันควบคุมนั่นเอง

เราอาจใช้แหล่งกำเนิดแรงดันควบคุมแหล่งเดียวกับที่ใช้ควบคุมออส์ซิลเลเตอร์ก็ได้ ถ้าความถี่ศูนย์กลางของตัวกรองเปลี่ยนไปกับการเปลี่ยนระดับเสียงของออส์ซิลเลเตอร์แล้ว แรงดันควบคุมที่เข้าสู่ตัวกรองจะเป็นแรงดันเดียวกับที่ควบคุมออส์ซิลเลเตอร์ แต่ถ้าต้องการให้เกิด "วา-วา (waa-waa's)" แล้วต้องใช้แรงดันควบคุมที่มาจากตัวกำเนิดหน้าที่

"วา-วา" ซึ่งตั้งชื่อตามเสียงที่ได้ยินนั้นเป็นลักษณะของดนตรีอิเลคทรอนิคส์ และเป็นสิ่งที่นักเล่นเบียโนไฟฟ้า และกีตาร์ไฟฟ้าล่นใจนำไปปรุงแต่งเครื่องดนตรีของตน เช่นเดียวกับพวกที่เล่นเครื่องสังเคราะห์เสียงทั้งหลาย "วา-วา" เกิดได้โดยการกวาดความถี่ศูนย์กลางของตัวกรองแถบผ่านในขณะที่ป้อนสัญญาณคายจากเครื่องดนตรีเข้าไป แรงดันที่ใช้ควบคุมตัวกรองเพื่อให้เกิดผลเช่นนี้อาจมาจากตัวกำเนิดหน้าที่ดังกล่าวข้างต้น หรือโดยแผ่นเท้าเหยียบ (foot pedal)[20]

สวิทช์ "ซ้ำ (REPEAT)" ร่วมกับสวิทช์ "คงที่" ของตัวกำเนิดหน้าที่ของ VCF จะสามารถให้เงื่อนไขที่เป็นไปได้ 4 กรณี เมื่อเลื่อนสวิทช์ทั้งสองแบบต่าง ๆ กัน และกรณีทั้งสี่นี้จะให้ผลตอบสนองแตกต่างกันไป ซึ่งจะเห็นได้ง่ายจากรูปที่ 4.8

หอสมุดกลาง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เงื่อนไข	ผลตอบสนอง	หมายเหตุ
ซ้ำ คงที่	เครื่องสายหรือเครื่องตี	ให้ผลเป็นเอ็นเวลโลพแบบเครื่องสายหรือเครื่องตี เวลาการขึ้นและสลายตั้งโดยตัวควบคุมทั้งสอง
ซ้ำ คงที่	คงที่	ให้ผลเป็นเอ็นเวลโลพที่มีช่วงคงที่อยู่ด้วย โดยช่วงคงที่ขึ้นกับระยะเวลาการทริกเกอร์ เวลาขึ้นและสลายตั้งโดยตัวควบคุมทั้งสอง
ซ้ำ คงที่	ใบ้	ให้ผลคล้ายกับแบบเครื่องสายหรือเครื่องตี เวลาขึ้นและสลายตั้งโดยตัวควบคุมทั้งสอง เว้นแต่เมื่อเอาทริกเกอร์ออกก็จะทำให้เกิดการลัดเวลาสลายไปและตั้งใหม่สู่ศูนย์
ซ้ำ คงที่	ซ้ำ	ตัวกำเนิดหน้าที่ประพฤติตังหนึ่ง เป็นแหล่งให้ทริกเกอร์เอง ดังนั้นตัวคายจะออสซิลเลทจากระดับต่ำสู่ระดับสูง เวลาขึ้นและสลายตั้งโดยตัวควบคุมทั้งสอง

รูปที่ 4.8 ตารางรูปแสดงผลการตอบสนองตามเงื่อนไขต่าง ๆ ของสวิทช์ "ซ้ำ" ร่วมกับสวิทช์ "คงที่"

ความสูงของเอ็นเวลโลพที่ได้จากแบบต่าง ๆ ของการเลื่อนสวิทช์ทั้งสองจะไม่เท่ากัน เมื่อตั้งตัวควบคุมการขึ้นไป ณ ตำแหน่งต่าง ๆ กัน ถ้าเวลาการขึ้นน้อยเอ็นเวลโลพจะสูง แต่ถ้าเวลาการขึ้นมากเอ็นเวลโลพจะลดลง เมื่อเวลาการขึ้นน้อยที่สุดจะให้เอ็นเวลโลพสูงสุด ซึ่งใน 3 กรณีแรก จะได้เอ็นเวลโลพสูงประมาณ 10 โวลต์ และในกรณีที่ 4 เอ็นเวลโลพจะสูงประมาณ 2 โวลต์

ตัวควบคุมพิสัย (RANGE control, R 31) ภายใน VCF เป็นตัวลดตัวคายของตัวกำเนิดหน้าที่ของ VCF กล่าวคือจะแปรเปลี่ยนแรงดันควบคุมซึ่งสร้างจากตัวกำเนิดหน้าที่ป้อนสู่ VCF สำหรับแรงดันควบคุมที่มาจากวงจรตัวควบคุมคีย์บอร์ด เมื่อสวิทช์ "ไปสู่ VCF (TO VCF) S2" อยู่ในตำแหน่ง "ปิด" นั้น มิได้ต่อกับตัวควบคุมพิสัยนี้

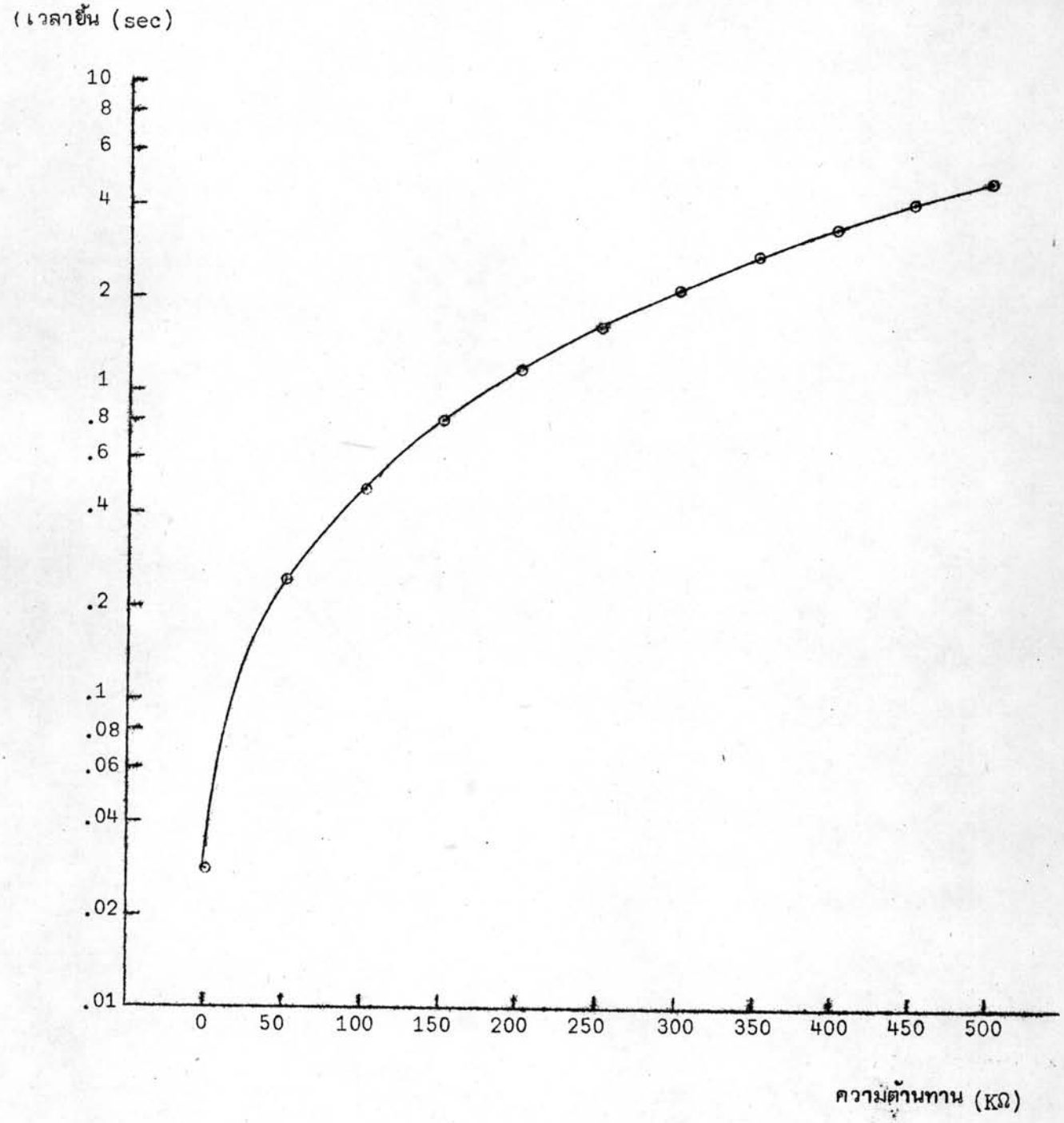
ตัวควบคุมการขึ้นภายใน VCF จะกำหนดเวลาที่ใช้ในการขึ้นสู่ยอดของอาพนของเอ็นเวลโลพ ที่สร้างโดยตัวกำเนิดหน้าที่ของ VCF ในทำนองเดียวกันตัวควบคุมการสลายภายใน VCF ก็กำหนดเวลาที่ใช้ในการตกจากยอดของเอ็นเวลโลพสู่ศูนย์

4.4.1 <u>การทดลองดูความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการขึ้นและการสลายกับความต้านทานของตัวควบคุมนั้น ๆ ภายในตัวกำเนิดหน้าที่ของ VCF</u>

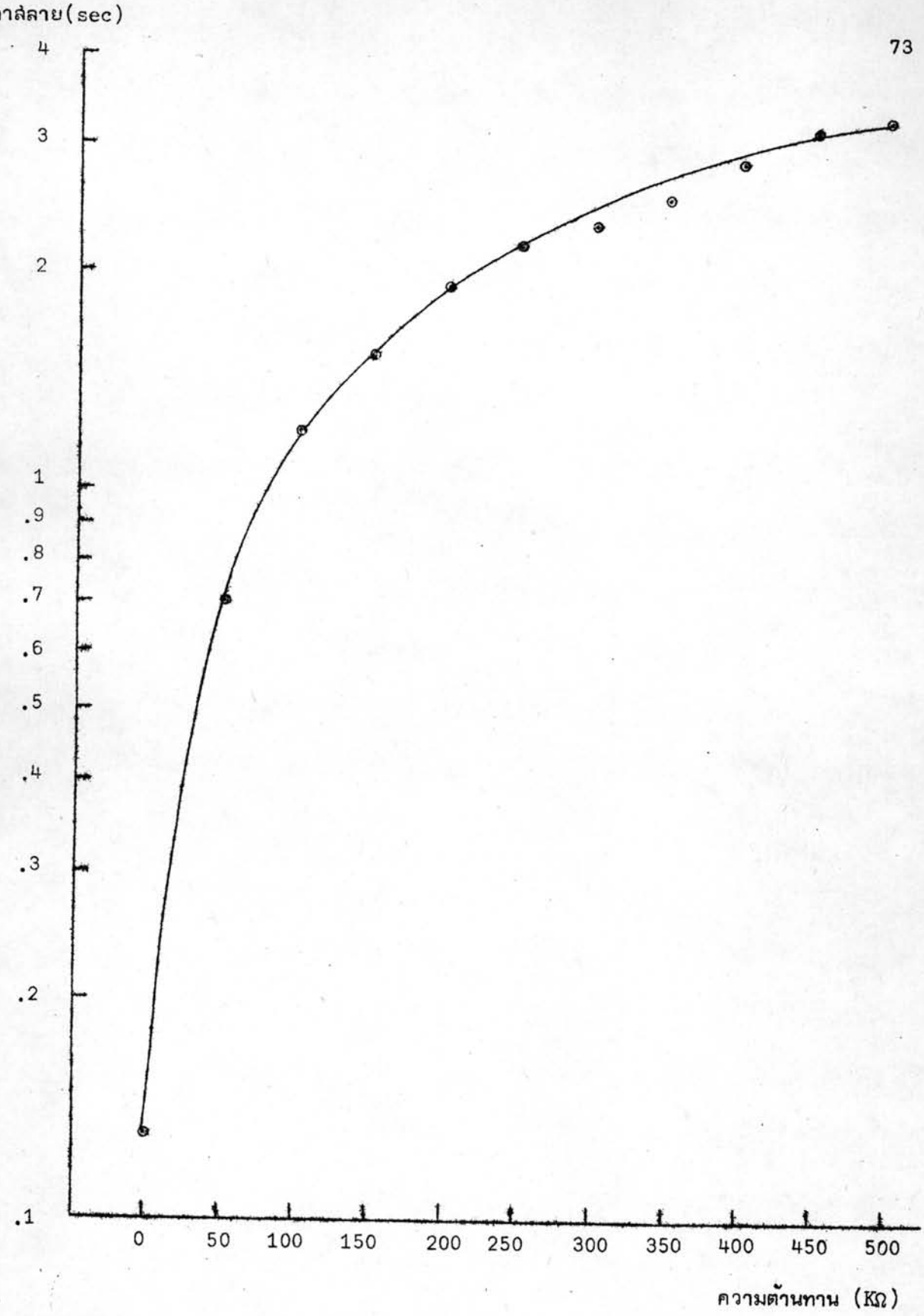
โดยใช้ออสซิลโลสโคปแบบ D 61a Telequipment ดูเอ็นเวลโลพที่ยากลางของตัวควบคุมพิสัยเมื่อหมุนไปที่ตำแหน่งมากที่สุด การทดลองนี้ใช้กรณีเมื่อสวิทช์ "คงที่" อยู่ ณ ตำแหน่ง "เปิด" และสวิทช์ "ซ้ำ" อยู่ ณ ตำแหน่ง "เปิด (NON-REPEAT)" ที่ความต้านทานค่าต่าง ๆ ของตัวควบคุมการขึ้นและการสลาย จะสามารถวัดเวลาการขึ้นสู่ยอด และเวลาการสลายสู่ศูนย์ของเอ็นเวลโลพได้ดังตารางที่ 4.4 และถ้านำข้อมูลนี้มาเขียนกราฟก็จะได้ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10

ความต้านทานของตัวควบคุมการขึ้นหรือการสลาย (KΩ)	เวลาการขึ้น (sec)	เวลาการสลาย (sec)
0	0.028	0.132
50	0.240	0.700
100	0.470	1.200
150	0.800	1.520
200	1.160	1.900
250	1.580	2.150
300	2.100	2.300
350	2.700	2.500
400	3.300	2.800
450	4.000	3.100
500	4.700	3.200

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการขึ้นและการสลาย กับความต้านทานของตัวควบคุมนั้น ๆ ภายในตัวกำเนิดหน้าที่ของ VCF



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการยั้นกับตัวที่ควบคุม ภายในตัวกำเนิดหน้าที่ของ VCF



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสลายและตัวที่ควบคุม ภายในตัวกำเนิดหน้าที่ของ VCF

4.4.2 การไบอัสและทริมตัวกรอง

ก่อนอื่นให้หมุนปุ่มควบคุมของหน่วยต่าง ๆ ดังนี้

ตัวควบคุมคียับอรัด :- หมุนตัวควบคุมพิสัยทวนเข็มนาฬิกาจนสุดไปยังตำแหน่งน้อยที่สุด เลื่อนสวิทช์ "ไปสู่ VCO" และ "ไปสู่ VCF" ไป ณ ตำแหน่ง "เปิด"

แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน :- หมุนตัวควบคุมระดับไปที่ตำแหน่งมากที่สุด

VCO :- หมุนตัวควบคุมพิสัยไป ณ ตำแหน่งน้อยที่สุด

VCA :- หมุนสวิทช์ "คงที่" ไป ณ ตำแหน่ง "ปิด"
หมุนตัวควบคุมการยื้นและการสลายไปที่น้อยที่สุด

VCF :- เลื่อนสวิทช์ "เข้า-ออก" ไปที่ "เข้า"
" "ซ้ำ" " "เปิด"
" "คงที่" " "ปิด"
หมุนตัวควบคุมพิสัยไป ณ ตำแหน่งน้อยที่สุด
หมุนตัวควบคุมการยื้นและสลายไป ณ ตำแหน่งน้อยที่สุด
หมุนตัวควบคุมการกรองความถี่ (FREQ/Q) R 28 ไปทวนเข็มนาฬิกาจนสุด
ตั้งตัวไบอัสตัวกรอง (VCF BIAS) R 27 และตัวทริมตัวกรอง (VCF TRIM) R 32 ไปตามเข็มนาฬิกาจนสุด

เมื่อหมุนปุ่มควบคุมต่าง ๆ ดังกล่าวแล้ว จึงแตะสวิทช์สัมผัสให้วงจรทริกเกอร์ทำงาน ขณะที่ฟังเสียงของสัญญาณรบกวน ให้หมุนตัวทริมตัวกรองไปทวนเข็มนาฬิกา จะได้ยินเสียงของสัญญาณรบกวนมีระดับเสียงสูงขึ้นในขณะที่แถบผ่านของตัวกรองกวาดไปสู่ความถี่ที่สูงขึ้น ตั้งตัวทริมนี้ไป ณ ตำแหน่งที่ระดับเสียงของสัญญาณรบกวนเริ่มขึ้นสูง

หมุนตัวควบคุมพิสัยของ VCF ไปที่ตำแหน่งมากที่สุด จะสังเกตได้ว่า ระดับเสียงของสัญญาณรบกวนขึ้นสูงอีกครั้ง จากนั้นจึงหมุนตัวไบอัสตัวกรองทวนเข็มนาฬิกาและสังเกตจะพบว่าที่บางตำแหน่งระดับเสียงของสัญญาณรบกวนจะลดลง ตั้งตัวไบอัสนี้ ณ ตำแหน่งที่ระดับเสียงเริ่มลดลง

หมุนตัวควบคุมพิสัยกลับไปสู่ตำแหน่งน้อยที่สุด แล้วหมุนตัวทริมตัวกรองต่อไปจากข้างต้นจนถึงตำแหน่งที่ระดับเสียงของสัญญาณรบกวนเริ่มสูงขึ้น

จากการทดลองตามขั้นตอนดังกล่าว จะตั้งตำแหน่งของตัวไบอัสตัวกรองได้ที่เลข 8 และตัวทริมตัวกรองอยู่ที่เลขประมาณ 4.25 ตามหน้าปัทม์

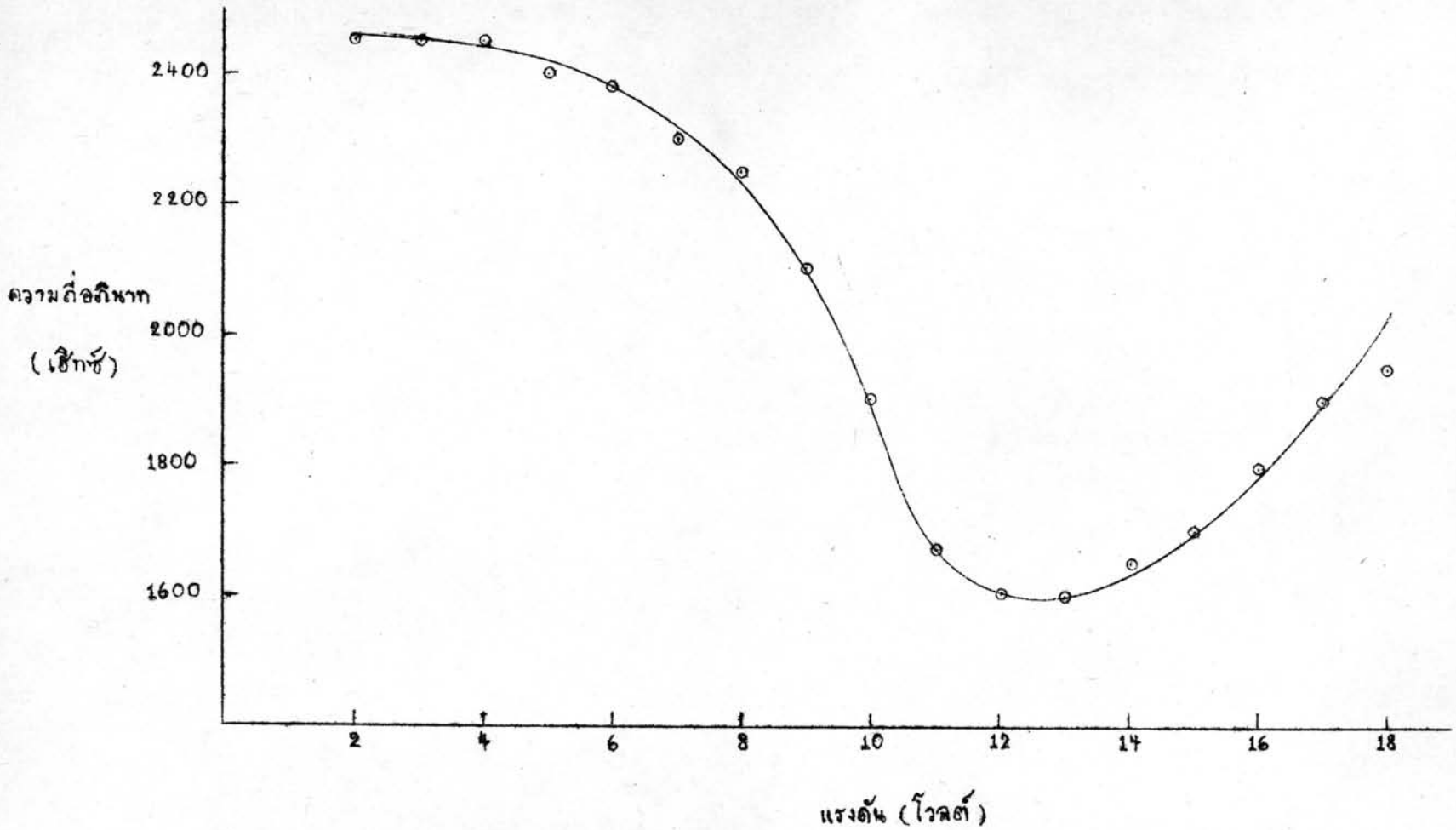
4.4.3 <u>การทดลองดูการตอบสนองของตัวกรองที่แรงดันควบคุมค่าต่าง ๆ</u>

โดยป้อนแรงดันจากตัวควบคุมคียับอรัดเมื่อเลื่อนสวิทช์ "ไปสู่ VCF" ไป ณ ตำแหน่ง "ปิด" หมุนตัวควบคุมการกรองความถี่ไปทวนเข็มนาฬิกาจนสุด ตัวควบคุมพิสัยของ VCF หมุนไปที่น้อยที่สุด ใส่สัญญาณคลื่นรูปฟันจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ (signal generator) แปรเปลี่ยนแรงดันควบคุมที่ป้อนเข้า VCF ทีละค่าจาก 2 ถึง 18 โวลต์ จากนั้นจึงเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณคลื่นรูปฟันไป ใช้ออสซิลโลสโคปจับดูที่ตำแหน่ง "เข้า" ของสวิทช์ "เข้า-ออก" ว่าความถี่ใดที่ทำให้ได้ตัวคายจากตัวกรองมีอำพนสูงสุด ที่ความถี่นั้นจะเป็นความถี่อภินาท สำหรับแรงดันควบคุมค่านั้น ๆ

แรงดันควบคุม (โวลต์)	ความถี่อภินาท (เฮิทซ์)
2	2450
3	2450
4	2450
5	2400
6	2380
7	2300
8	2250
9	2100
10	1900
11	1670
12	1600
13	1600
14	1650
15	1700
16	1800
17	1900
18	1950

ตารางที่ 4.5 ความถี่อภินาทของตัวกรองที่แรงดันควบคุมค่าต่าง ๆ

การเปลี่ยนแปลงของตัวกรองมีตัวควบคุมการกรองความถี่เท่านั้นที่ควบคุมอยู่ เมื่อหมุนไปตามเข็มนาฬิกาจะทำให้ความถี่ของตัวกรองสูงขึ้น ขณะเดียวกันก็ทำให้ Q (ความสามารถของตัวกรองในการลดสัญญาณนอกแถบผ่าน[8]) ลดลง และเพิ่มการสูญเสีย (loss) ของตัวกรอง เสียงที่ออกมาจะลดความดังลงเมื่อหมุนตัวควบคุมนี้ไปตามเข็มนาฬิกา



รูปที่ 4.11 กราฟระหว่างแรงดันควบคุมและความถี่อิมพาทของตัวกรองแรงดันควบคุม

ถ้าไม่ต้องการให้ตัวกรองแรงดันควบคุมทำหน้าที่ ก็เลื่อนสวิทช์ "เข้า-ออก" ไปที่ตำแหน่ง "ออก"

4.5 ตัวควบคุมคีย์บอร์ด

ในการสร้างได้เลือกสร้างให้ VCO ผลิตรูปคลื่นคายแบบฟันเลื่อย (หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า) ในช่วง 2 คู่แปด คือจาก C_4 (ความถี่ 262 เฮิทซ์) ถึง C_6 (ความถี่ 1047 เฮิทซ์) ทั้งนี้โดยหมุนตัวควบคุมการลาดทวนเข็มนาฬิกาไปสู่ตำแหน่งน้อยที่สุด และเลือกตั้งให้ตัวควบคุมพิสัยของ VCO อยู่ ณ ตำแหน่งมากที่สุด หมุนตัวต้านทานเกือกม้าทุกตัวของวงจรตัวควบคุมคีย์บอร์ดไปที่ตำแหน่งมากที่สุด ป้อนแรงดันจากยากลางของตัวต้านทานเกือกม้าตัวบนสุด (ซึ่งต่ออยู่กับตัวควบคุมพิสัย) เข้าที่ตำแหน่ง "ตัวป้อนแรงดันควบคุม (C.V. INPUT)" ของวงจรออสซิลเลเตอร์ จากนั้นจึงป้อนไฟเลี้ยงวงจรคีย์บอร์ด 18 โวลต์ แล้วหมุนปรับตัวควบคุมพิสัยของคีย์บอร์ดไปจนกระทั่งวัดแรงดันที่ "ตัวป้อนแรงดันควบคุม" ได้เป็น 8.1 โวลต์ ดังนั้นที่ตัวต้านทานเกือกม้าต่าง ๆ เราสามารถหมุนปรับให้ป้อนแรงดันควบคุมแก่ออสซิลเลเตอร์เพื่อสร้างรูปคลื่นคายมีความถี่ตามโน้ตต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.6

โน้ต	ความถี่ (เฮิทซ์)	โน้ต	ความถี่ (เฮิทซ์)
C_4	262	C_5	523
$C_4^{\#}$	277	$C_5^{\#}$	554
D_4	294	D_5	587
$D_4^{\#}$	311	$D_5^{\#}$	622
E_4	330	E_5	659
F_4	349	F_5	698
$F_4^{\#}$	370	$F_5^{\#}$	740
G_4	392	G_5	784
$G_4^{\#}$	415	$G_5^{\#}$	831
A_4	440	A_5	880
$A_4^{\#}$	466	$A_5^{\#}$	932
B_4	494	B_5	988
		C_6	1047

ตารางที่ 4.6 โน้ตเสียงในช่วง 2 คู่แปดที่เลือกให้ตัวควบคุมคีย์บอร์ดและออสซิลเลเตอร์แรงดันควบคุมร่วมกันสร้างขึ้น