621.3819593

การออกแบบสร้างจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์

ปริญญานิพนธ์

ของ

วิสูตร กัลย์จารึก

2535

เสนอ...มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา...
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
มีนาคม 2528

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

17771

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิสิตและคณะกรรมการสอบได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิตของมหาวิทยาลัยหรินครินทรวิโรฒได้

คณะกรรมการที่ปรึกษา

..... ประธาน

..... กรรมการ

คณะกรรมการสอบ

..... ประธาน

..... กรรมการ

..... กรรมการ

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้โดยได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ.ปรีดา เพชรมีศรี ผศ.ฉวี ชัยมงคล ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.โชติ สาลีฉัน ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขปริญญานิพนธ์จนเป็นฉบับที่สมบูรณ์

ขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยด้วยดีมาตั้งแต่เริ่มจนสำเร็จ

วิสูตร กัลย์จารึก

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	คำนำ	1
	ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า	2
	ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า	2
	นิยามศัพท์เฉพาะ	2
2	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาค้นคว้า	3
3	หลักการและการออกแบบจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์	7
	หลักการทำงานของจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์	7
	การออกแบบวงจรจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์	17
4	การสร้างจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง	42
	ลักษณะของจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์	42
	แผ่นวงจรพิมพ์	47
	การทดสอบวงจรและการปรับแต่งจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์..	48
	การคิดราคาและเปรียบเทียบกับท้องตลาด	49
4	บทสรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	64
	บทสรุป	64
	ผลของการศึกษาค้นคว้า	64
	อภิปรายผล	65
	ข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม		67

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1	ส่วนประกอบที่สำคัญของหลอดจอภาพ	7
2	สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการเบนอิเลคตรอน ..	9
3	จุดสว่างที่เกิดจากอิเลคตรอนเคลื่อนที่	9
4	ก. ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวดกับทิศของสนามแม่เหล็ก	10
	ข. ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวดสองขด ..	10
5	การเบนของลำอิเลคตรอนในสนามแม่เหล็ก	10
6	ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้ารูปฟันเลื่อยกับตำแหน่งของจุดสว่างบนหลอดจอภาพ	11
7	เส้นสว่างที่ปรากฏบนหน้าหลอดจอภาพ	12
8	กระแสไฟฟ้ารูปฟันเลื่อยในขดลวดแนวนอนและแนวตั้ง ..	13
9	แสดงการกวาดของอิเลคตรอนบนหน้าจอ	13
10	ลักษณะของสัญญาณภาพรวม	15
11	แผนผังการทำงานของจอแสดงผล	16
12	สัญญาณภาพแบบดิจิตอล	18
13	สัญญาณภาพและภาพที่ได้จากคอมพิวเตอร์	19
14	วงจรขยายสัญญาณภาพรวม	20
15	วงจรพื้นฐานที่ใช้ควบคุมหลอดจอภาพ	22
16	วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า	23
17	วงจรขยายสัญญาณภาพ	24
18	การสูญเสียทางความถี่สูงของภาคขยาย	25
19	วงจรพื้นฐานในการแยกสัญญาณซิงโครไนซ์ออกจากสัญญาณ	27

ภาพประกอบ หน้า

20 รูปคลื่นของสัญญาณก่อนและหลังผ่านวงจรแยกสัญญาณซิงโครไนซ์.. 28
21 วงจรแยกสัญญาณซิงโครไนซ์ 28
22 การทำงานของวงจรอินทิเกรต 29
23 การทำงานของวงจรดิฟเฟอเรนเชี่ยล 30
24 รูปคลื่นของสัญญาณซิงโครไนซ์ 31
25 วงจร อาร์-ซี อย่างง่าย 32
26 วงจรก่อเกิดคลื่นรูปฟันเลื่อย 32
27 วงจรขยายสัญญาณแนวตั้ง 33
28 วงจรสร้างคลื่นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู 35
29 วงจรสมบูรณ์ของภาคบังคับแนวตั้ง 36
30 วงจร เอ.เอฟ.ซี 37
31 เปรียบเทียบสัญญาณซิงโครไนซ์กับสัญญาณรูปฟันเลื่อย ... 38
32 วงจรสมบูรณ์ของภาคบังคับแนวนอน 39
33 แผนผังการทำงานของภาคแหล่งจ่ายไฟ 40
34 วงจรภาคแหล่งจ่ายไฟ 41
35 แสดงเครื่องของจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์ 52
36 วงจรสมบูรณ์ของภาคขยายสัญญาณภาพและสัญญาณซิงโครไนซ์.. 53
37 วงจรสมบูรณ์ของภาคบังคับแนวตั้ง 54
38 วงจรสมบูรณ์ของภาคบังคับแนวนอน 55
39 วงจรสมบูรณ์ของภาคแหล่งจ่ายไฟ 56
40 แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรภาคขยายสัญญาณภาพและสัญญาณ
ซิงโครไนซ์มองจากด้านบน 57
41 แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรภาคขยายสัญญาณภาพและสัญญาณ
ซิงโครไนซ์มองจากด้านล่าง 57
42 แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรภาคบังคับแนวตั้งมองจากด้านบน .. 58

ภาพประกอบ หน้า

43 แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรภาคบังคับแนวตั้งมองจากด้านล่าง 58

44 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของภาคขยายสัญญาณภาพและสัญญาณ ชิงโครไนซ์มองจากด้านบน 59

45 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของวงจรภาคบังคับแนวตั้งมองจาก ด้านบน 59

46 แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรภาคบังคับแนวนอนมองจากด้านบน ... 60

47 แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรภาคบังคับแนวนอนมองจากด้านล่าง . 61

48 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของวงจรภาคบังคับแนวนอนมองจาก ด้านบน 62

49 แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรภาคแหล่งจ่ายไฟมองจากด้านบน ... 63

50 แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟมองจากด้านล่าง 63

51 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของวงจรภาคแหล่งจ่ายไฟมองจาก ด้านบน 64

บทที่ 1

บทนำ

ความนำ

ปัจจุบันคอมพิวเตอร์ (Computer) ได้เข้ามามีบทบาทในสังคมมาก มนุษย์ได้นำคอมพิวเตอร์มาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เพราะสามารถนำไปใช้ในการประมวลผลข้อมูล เก็บข้อมูล (John.B.Peatman. 1979 : 8) เมื่อคอมพิวเตอร์มีความสำคัญมากดังกล่าว การศึกษาในปัจจุบันจึงต้องมีส่วนเกี่ยวข้อง โดยจะมีได้สามลักษณะคือ

1. การนำคอมพิวเตอร์ไปใช้งานในสถานศึกษา
2. การศึกษาเกี่ยวกับการใช้งานคอมพิวเตอร์
3. การศึกษาโครงสร้างและการทำงานของคอมพิวเตอร์

(ประพัฒน์ อุทโยภาส 2526 : 4)

ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ (Hart ware) มีสามส่วนคือ อินพุทยูนิต (Input unit) โปรเซสซิ่งยูนิต (Processing unit) และเอ้าท์พุทยูนิต (Output unit)

อินพุทยูนิต ทำหน้าที่รับคำสั่งและข้อมูลจากภายนอก

โปรเซสซิ่งยูนิต ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลตามคำสั่งและข้อมูลจากอินพุทยูนิต

เอ้าท์พุทยูนิต ทำหน้าที่รับผลจากโปรเซสซิ่งยูนิต เพื่อนำไปแสดงผลออกสู่ภายนอก ในการแสดงผลของคอมพิวเตอร์นั้นอาจมีได้หลายลักษณะ เช่น ทางจอแสดงผลและเครื่องพิมพ์

สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับส่วนบุคคลหรือแม้แต่ในสถานศึกษามักใช้การแสดงผลด้วยจอแสดงผลเป็นส่วนใหญ่ เมื่อมีการนำจอแสดงผลมาใช้กันอย่างกว้างขวางเช่นนี้ การศึกษาเกี่ยวกับหลักการทำงานและโครงสร้างของจอแสดงผลจึงจำเป็นเพราะจะทำให้สามารถสร้าง ซ่อมแซมหรือบำรุงรักษาได้เป็นอย่างดี (Sol Sherr. 1969 : 227)

จอแสดงผลที่มีขายในปัจจุบันมักมีราคาสูง ถ้าสามารถสร้างขึ้นเองได้จะทำให้มีจอแสดงผลไว้ใช้โดยเสียค่าใช้จ่ายน้อยลง ด้วยเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาค้นคว้าเพื่อออกแบบสร้างจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์ไว้ใช้งาน

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

เพื่อออกแบบสร้างจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์ที่มีราคาถูก

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

1. ผลที่ได้จากการศึกษาจะทำให้เข้าใจการทำงานของจอแสดงผลดียิ่งขึ้นและจะเป็นประโยชน์ต่อการเรียนการสอนวิชาไฟฟ้าและอิเลกทรอนิกส์ในระดับอุดมศึกษา เช่นระดับประโยคอาชีวศึกษาชั้นสูงและระดับปริญญาตรี

2. ความสำเร็จของการศึกษาค้นคว้าจะทำให้มีจอแสดงผลไว้ใช้โดยเสียค่าใช้จ่ายถูกกว่าเมื่อเทียบกับของต่างประเทศที่มีขายในปัจจุบัน

ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

จอแสดงผลที่สร้างขึ้นมุ่งให้มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เหมาะสมกับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบแอปเปิ้ลทู (Apple II) และมีหน้าจอขนาด 12 นิ้ว

คำนิยามศัพท์เฉพาะ

จอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์ หมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องคอมพิวเตอร์ให้เป็นภาพปรากฏบนหน้าจอได้

ราคา หมายถึงราคาของอุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบเท่านั้น

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาค้นคว้า

บุญธิง แม่นมหา (บุญธิง แม่นมหา 2515 : 161) ได้กล่าวว่า เจ.แอล.เบียด (J.L.Baird) และ ซี.เอฟ.เจนกิน (C.F.Jenkins) ได้ทดลองสร้างเครื่องส่งและเครื่องรับโทรทัศน์ขึ้น และนำออกสาธิตให้ประชาชนชมใน ค.ศ. 1926 โดยใช้ความถี่ 10 ภาพต่อวินาที และ 30 เส้นต่อภาพเท่านั้น แต่ภาพที่ได้จะสั่นและเกน

วิธีการทำให้เกิดภาพใช้วิธีทางกลไก (Mechanics) ไม่ได้ใช้วิธีการทางอิเลคทรอนิกส์ (Electronics) เหมือนในปัจจุบัน แต่มีหลักการอันเดียวกันโดยใช้วงล้อนิพโกว์ (Nipkow) หมุนบังแสงที่สะท้อนจากวัตถุเพื่อแยกภาพออกเป็นส่วน ๆ (Element) การรับภาพก็จะรับด้วยวงล้อเช่นกัน โดยใช้วงล้อส่งและวงล้อรับหมุนไปพร้อม ๆ กัน

อาร์วิโน (Arvino. 1979 : 216) ได้กล่าวถึงพื้นฐานของการสร้างภาพว่า ในการสร้างภาพขาว–ดำ สามารถสร้างได้โดยใช้จุดสีดำ สีขาวและสีเทา ดังนั้นในการสร้างภาพบนจอภาพจะต้องสร้างเป็นเส้นสว่าง (Raster) ขึ้น ยิ่งถ้ามีจำนวนของเส้นสว่างมากก็จะได้ภาพที่มีความละเอียดมาก ซึ่งจำนวนของเส้นสว่างที่เหมาะสมจะหาได้จาก

$$\frac{H}{D} = N_V \alpha$$

เมื่อ D แทนระยะห่างระหว่างจุดภาพถัดกัน

N_V แทนจำนวนของเส้นสว่าง

α แทนมุมที่เส้นสว่างคู่ใด ๆ ทำกับจุดที่ตามอง

H แทนขนาดความสูงของหน้าจอภาพ

ในการสร้างภาพนั้น อาร์วิโนได้กล่าวว่าถ้าจะให้ได้ภาพที่ต่อเนื่องจะต้องสร้างให้ได้อย่างน้อย 25 ภาพต่อวินาที และการถ่ายภาพนั้นการเป็นแบบอินเทอร์เลซสะแกน

โบริส (Boris. 1969 : 216) กล่าวว่าในการสร้างจุดสว่างขึ้นบนหน้าจอภาพทำได้โดยให้อิเลคตรอน (Electron) ที่มีความเร็วสูงวิ่งเข้าชนสารเรืองแสง จะทำให้

สารเรืองแสงประเภทแสงกลอยาโดยมีความสว่าง

$$I = KI_b V_a$$

เมื่อ I แทนความสว่าง

K แทนค่าคงที่ของสารเรืองแสง

I_b แทน Beam current

V_a แทนความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้เร่งอิเลคตรอน

หลังจากอิเลคตรอนผ่านไปแล้ว แสงที่ได้จากสารเรืองแสงจะไม่หมดเลยทันทีแต่จะค่อย ๆ ลดลงด้วยคุณสมบัติความเฉื่อย (Persistence) โดยมี

$$B = B_m \exp(-t/\tau)$$

เมื่อ B_m แทนความสว่างขณะถูกชน

B แทนความสว่างหลังจากเวลาผ่านไป

τ แทนค่าพารามิเตอร์ของสารเรืองแสง

โบริสยังอธิบายอีกว่าการทำให้ลำอิเลคตรอนเบนเพื่อให้เกิดการกวาดขึ้นนั้นอาจทำได้สองวิธีคือ

1. เบนด้วยสนามไฟฟ้า
2. เบนด้วยสนามแม่เหล็ก

ในการเบนด้วยสนามแม่เหล็กจะสามารถเบนได้ถึง 55 องศาจากแนวทางเดิมของอิเลคตรอนโดยไม่มีผลกระทบต่อลำอิเลคตรอน ในขณะที่สนามไฟฟ้าเบนได้เพียง 15 องศาเท่านั้น ดังนั้นถ้าต้องการให้รูปสว่างเบนไปบนหน้าจอภาพได้ระยะทางเท่ากัน ระยะห่างระหว่างสนามไฟฟ้ากับหน้าจอภาพจะต้องห่างมากกว่าสนามแม่เหล็กถึงห้าเท่า ในปัจจุบันจึงนิยมเบนโดยใช้สนามแม่เหล็ก

โดนัลด์ (Donald. 1957 : 315) ได้อธิบายถึงการเร่งความเร็วของอิเลคตรอนว่า ถ้าทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นโดยให้แหล่งกำเนิดอิเลคตรอนมีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าจุดที่วิ่ง

ไปหา ความเร็วของอิเลคตรอนจะเพิ่มขึ้นด้วยสมการ

$$v = \sqrt{2eV_a m}$$

เมื่อ v แทนความเร็วของอิเลคตรอน

e แทนประจุของอิเลคตรอน

m แทนมวลของอิเลคตรอน

V_a แทนความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการเร่งอิเลคตรอน

แมทธิว (Mattew. 1973 : 128) อธิบายถึงการสร้างสนามแม่เหล็กว่าทำได้ด้วยการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวด (Coil) โดยจะมีความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้ากับความเข้มของสนามแม่เหล็กเป็น

$$B = \frac{\mu nI}{l}$$

เมื่อ B แทนความเข้มของสนามแม่เหล็ก

I แทนกระแสไฟฟ้า

n แทนจำนวนรอบของขดลวด

l แทนความยาวของขดลวด

และถ้าให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้ามีลักษณะเป็นกลื่นรูปฟันเลื่อย (Sawtooth) ความเข้มของสนามแม่เหล็กจะเป็นแบบเชิงเส้น (Linearity) และสนามแม่เหล็กจะทำให้อิเลคตรอนเบนทิศทางไปเป็นส่วนโค้งของวงกลมดังสมการ

$$R = \frac{mv}{eB}$$

เมื่อ R แทนรัศมีความโค้งที่อิเลคตรอนเบนไป

m/e แทนมวลของอิเลคตรอนต่อหนึ่งหน่วยประจุ

v แทนความเร็วของอิเลคตรอน

B [illegible]

[illegible] (Millman and Taub. 1966 : 16) ได้กล่าวถึงวิธีการสร้างคลื่นรูปฟันเลื่อยว่าอาจกระทำได้โดยวิธีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. วิธีประจุประจุแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential charging) คือวิธีใช้วงจร อาร์ – ซี ฟิลเตอร์ (R - C filter) เมื่อให้ V_i เป็นศักย์ไฟฟ้าเข้า (Input voltage) คงที่ ศักย์ไฟฟ้าออก V_o (Output voltage) คร่อมตัวเก็บประจุจะเป็นรูปเอ็กซ์โพเนนเชียลซึ่งขึ้นอยู่กับเวลา t ตามสมการ

$$V_o = V_i (1-e^{-t/RC})$$

ถ้าให้ $t \ll RC$ ศักย์ไฟฟ้าออก V_o คร่อม C จะเป็นรูปฟันเลื่อยตามสมการ

$$V_o = \frac{V_i t}{RC}$$

2. วิธีการสะสมประจุโดยให้กระแสคงที่ (Constant current charging) คือวิธีใช้แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ (Constant current source) สำหรับสะสมประจุให้แก่ตัวเก็บประจุ ทำให้ศักย์ไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุเพิ่มเป็นเชิงเส้น

3. วิธีใช้วงจรกวาดของมิลเลอร์ (Miller sweep) คือวิธีใช้ตัวเก็บประจุต่อเป็นตัวป้อนกลับทางลบ (Negative feedback) ในวงจรของเครื่องขยายที่มีอัตราขยาย (Gain) สูง เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าเข้าคงที่ศักย์ไฟฟ้าออกจะเป็นรูปฟันเลื่อย.

คัฟลินและดริสคอล (Caughlin & Driscoll. 1976 :172) กล่าวว่าถ้าจะสร้างกระแสไฟฟ้ารูปฟันเลื่อยให้เกิดขึ้นในขดลวด แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ขดลวดจะต้องเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoid)

บทที่ 3

หลักการและการออกแบบวงจรจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์

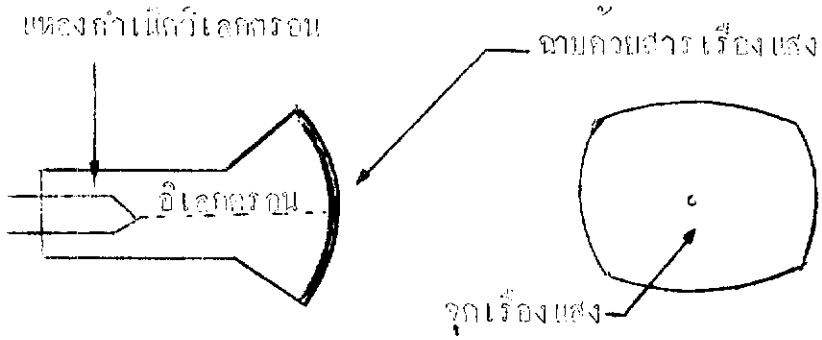
<u>หลักการทำงานของจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์</u>

จอแสดงผล (Visual display unit) ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีหลักการส่วนใหญ่คล้ายคลึงกับเครื่องรับโทรทัศน์ขาว-ดำ (Black & White television) ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ หลอดรังสี (Cathode Ray Tube) หรือ ซี.อาร์.ที. (CRT) ซึ่งสามารถสร้างภาพให้เกิดขึ้นได้โดยอาศัยลักษณะเฉพาะสองประการของอิเลคตรอนคือ

1. เมื่ออิเลคตรอนวิ่งเข้าชนสารเรืองแสง จะทำให้สารเรืองแสงเกิดการเรืองแสงทำให้สว่างขึ้น ความสว่างนี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนและความเร็วของอิเลคตรอน

2. เมื่ออิเลคตรอนวิ่งผ่านบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าทิศทางการวิ่งของอิเลคตรอนจะเปลี่ยนไป

จากลักษณะเฉพาะในข้อหนึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าภายในหลอดจอภาพประกอบด้วย แหล่งกำเนิดอิเลคตรอนซึ่งเรียกว่าคาโธด (Cathode) ตัวเร่งความเร็วและแผ่นแก้วที่ฉาบด้วยสารเรืองแสงก็จะสามารถทำให้เกิดจุดสว่างขึ้นบนหน้าจอของหลอดจอภาพได้ ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 ส่วนประกอบที่สำคัญของหลอดจอภาพ

จากรัศมีเฉลี่ยในลำอิเล็กตรอนจะสามารถทำให้จุดสว่างดังกล่าว เคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งได้โดยใช้อำนาจของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้า เพื่อทำให้เกิดผลของการเบี่ยงเบนไป ดังภาพประกอบ 2 ซึ่งจะหาระยะของตำแหน่งที่จุดสว่างเคลื่อนที่ไปได้จากสมการของสมการ

$$d = \frac{LQBa}{mv^2} \qquad (1)$$

$$E = vB \qquad (2)$$

เมื่อ d แทนระยะห่างระหว่างจุดเก่าและจุดใหม่

L แทนระยะห่างระหว่างหน้าจอภาพกับสนามไฟฟ้า

E แทนความเข้มของสนามไฟฟ้า

Q/m แทนประจุต่อหนึ่งหน่วยมวลของอิเล็กตรอน

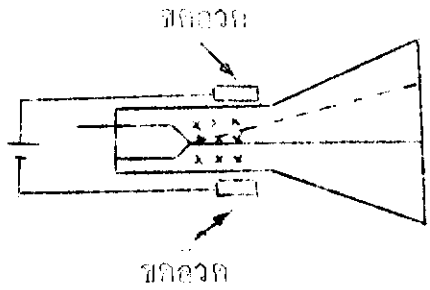
a แทนความยาวของบริเวณที่เกิดสนามไฟฟ้า

v แทนความเร็วของอิเล็กตรอน

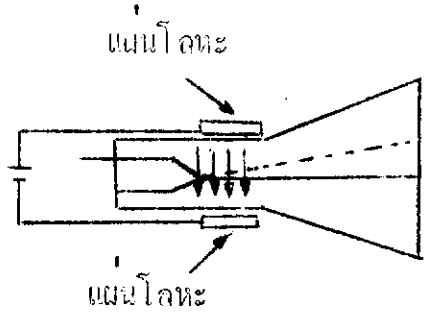
B แทนความเข้มของสนามแม่เหล็ก

จากสมการที่ 2 นั้นจะเห็นได้ว่าในทางปฏิบัติค่าของ L, Q, a, m และ v สามารถกำหนดให้เป็นค่าคงที่ได้ ดังนั้นระยะที่จุดสว่างเปลี่ยนตำแหน่งไปนั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าเท่านั้น การสร้างสนามแม่เหล็กทำได้โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดสองขด ดังภาพประกอบ 2 ก ส่วนการสร้างสนามไฟฟ้านั้นทำได้โดยการสร้างความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับแผ่นโลหะของแผ่น ดังภาพประกอบ 2 ข

ถ้าพิจารณาจากสมการที่ 2 จะเห็นว่าถ้าต้องการให้สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าเบนจุดสว่างให้ได้ระยะทางเท่ากันแล้ว ความเข้มของสนามไฟฟ้าต้องมีค่ามากกว่าสนามแม่เหล็กมากเพราะความเร็ว v ของอิเล็กตรอนนั้นมีค่าสูงมาก ดังนั้นในการนำออสซิลโลสโคปไปใช้งานในปัจจุบันจึงนิยมใช้การเบนลำอิเล็กตรอนด้วยสนามแม่เหล็กเป็นส่วนใหญ่ จะมีการใช้สนามไฟฟ้าอยู่บ้างในเครื่องจอภาพที่ใช้สร้างออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) เท่านั้น



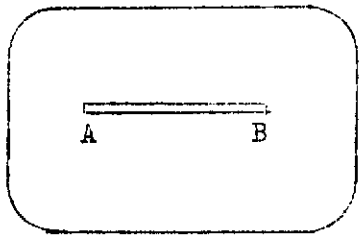
ก.



ข.

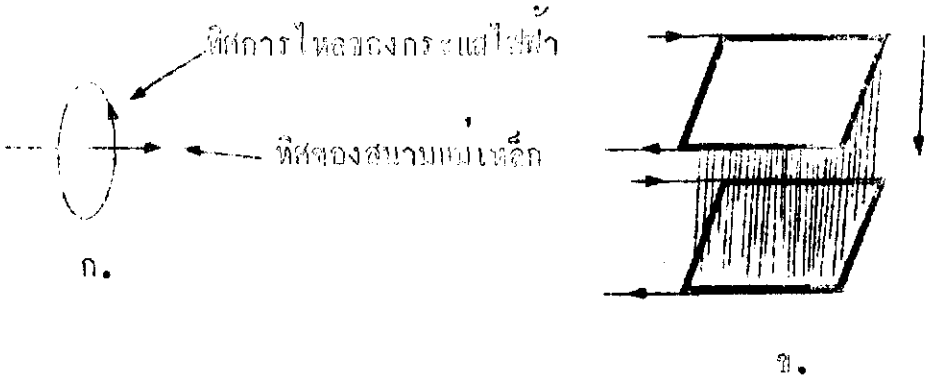
ภาพประกอบ 2 สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการเบนอิเลคตรอน

จากหลักการดังกล่าวถ้าให้กาโทดปล่อยอิเลคตรอนออกมาตลอดเวลาในขณะที่ความเข้มของสนามแม่เหล็กค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจะทำให้จุดสว่างเคลื่อนไปได้บนหน้าจอแต่เนื่องจากสารเรืองแสงนั้นหลังจากถูกชนด้วยอิเลคตรอนแล้วยังคงเรืองแสงอยู่ชั่วขณะถึงแม้ว่าอิเลคตรอนจะผ่านไปแล้วก็ตาม ดังนั้นถ้าการเคลื่อนที่ของจุดสว่างเร็วพอจะทำให้มองเห็นเป็นเส้นสว่างที่ลากจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ดังภาพประกอบ 3



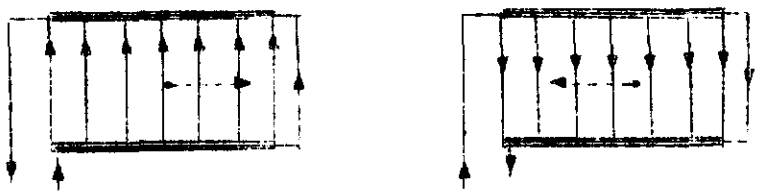
ภาพประกอบ 3 จุดสว่างที่เกิดจากอิเลคตรอนเคลื่อนที่

ในการสร้างสนามแม่เหล็กโดยผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างทิศของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดกับทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวด เป็นดังภาพประกอบ 4 ก และในทางปฏิบัติจำเป็นต้องการสร้างสนามแม่เหล็กให้เกิดขึ้นระหว่างขดลวดสองขดจะต้องจัดทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวดทั้งสองให้มีลักษณะเป็นดังภาพประกอบ 4 ข



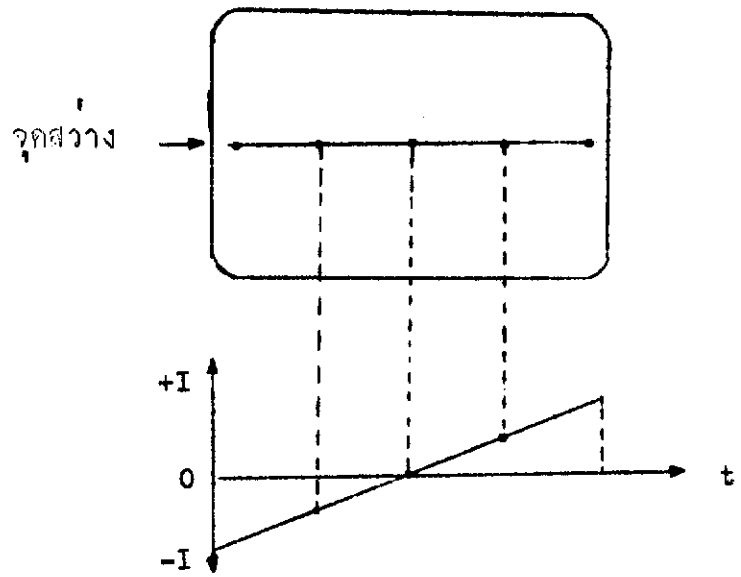
ภาพประกอบ 4 ก. ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวดกับทิศของสนามแม่เหล็ก
ข. ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวดสองขด

เมื่อให้อิเล็กตรอนวิ่งผ่านสนามแม่เหล็กนั้นทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะขึ้นอยู่กับทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดทั้งสองขด ถ้าพิจารณาจากภาพประกอบ 5 จะได้ว่า ถ้าให้สนามแม่เหล็กมีทิศจากขดลวดด้านไปยังขดลวดบนจะทำให้จุดสว่างเคลื่อนไปทางขวามือและในทางกลับกันถ้าให้สนามแม่เหล็กมีทิศจากขดลวดบนไปยังขดลวดล่างจุดสว่างจะเคลื่อนไปทางซ้ายมือ



ภาพประกอบ 5 การเคลื่อนของลำอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็ก

ถ้านำขดลวดดังกล่าวไปวางไว้ที่คอของหลอดจอภาพซึ่งอิเลคตรอนจะถูกวิ่งผ่านจากคาโทดไปยังหน้าจอ อำนาจของสนามแม่เหล็กจะทำให้จุดสว่างบนหน้าจอเลื่อนไปปรากฏทางซ้ายหรือทางขวาของหน้าจอได้ ในทางปฏิบัติเมื่อป้อนความต่างศักย์ไฟฟ้าให้เกิดกระแสไฟฟ้ารูปฟันเลื่อยไหลในขดลวดทั้งสองจะทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเป็นแบบเชิงเส้นก็อแปรผันตรงกับเวลา และถ้ากระแสไฟฟ้ารูปฟันเลื่อยมีความเหมาะสมจุดสว่างจะสามารถเคลื่อนจากทางซ้ายสุดของหลอดจอภาพไปยังขวาสุดได้โดยมีความเร็วของการเคลื่อนที่คงที่ ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้ารูปฟันเลื่อยกับตำแหน่งของจุดสว่างบนหน้าจอเป็นดังภาพประกอบ 6

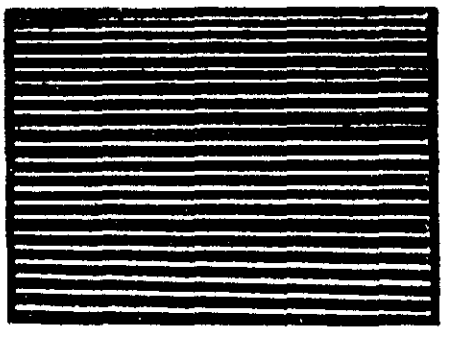


ภาพประกอบ 6 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้ารูปฟันเลื่อยกับตำแหน่งของจุดสว่างบนหน้าจอ

จากภาพประกอบ 6 ขณะที่กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดเป็นศูนย์ ไม่มีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นในขดลวด จุดสว่างจะปรากฏตรงกึ่งกลางจอ ถ้าให้กระแสไฟฟ้า I ไหลผ่านขดลวดในทิศทางหนึ่งโดยทันทีจะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นในทิศทางหนึ่งโดยทันทีเช่นกัน สนามแม่เหล็กจะเบนลำอิเลคตรอนทำให้จุดสว่างไปปรากฏอยู่ทางซ้ายสุดของจอภาพจากนั้นถ้าให้กระแสไฟฟ้าค่อย ๆ ลดลงความเข้มของสนามแม่เหล็กจะน้อยลงทำให้จุดสว่างเคลื่อนที่กลับไปยังกึ่งกลางของจอภาพอย่างเดิมหลังจากนั้นถ้าให้กระแสไฟฟ้าค่อย ๆ ไหลเพิ่มขึ้นในทิศทางที่

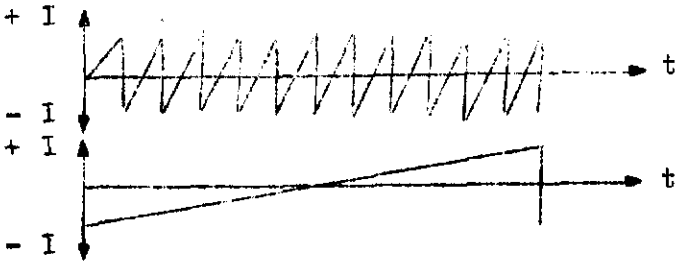
กลับกับทิศเดิม สนามแม่เหล็กจะค่อย ๆ เพิ่มในทิศตรงกันข้ามกับทิศทางเดิมทำให้จุดสว่างเคลื่อนที่จากจุดกึ่งกลางไปทางขวาสุด ถ้าให้กระแสไฟฟ้าไหลกลับโดยทันทีในช่วงเวลานี้จะทำให้จุดสว่างไปปรากฏทางด้านซ้ายของจออีกครั้ง ถ้าอัตราการเพิ่มและลดของกระแสไฟฟ้ามีความสม่ำเสมอและมีความเร็วพอเหมาะจะทำให้เห็นเป็นเส้นสว่างหนึ่งเส้น

ในการสร้างภาพของหลอดจอภาพนั้นจะสร้างโดยอาศัยเส้นสว่างดังกล่าวแต่ต้องมีจำนวนมาก ๆ จนปรากฏเป็นเส้นสว่างเต็มหน้าจอ ดังภาพประกอบ 7 การเกิดเช่นนั้นได้ลำอิเลคตรอนนอกจากจะถูกเบี่ยงเบนทางแนวนอนแล้วจะต้องถูกเบี่ยงเบนทางแนวตั้งด้วย ดังนั้นจะต้องมีขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กสำหรับเบี่ยงเบนลำอิเลคตรอนให้เคลื่อนที่จากบนลงล่างด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้ารูปฟันเลื่อยในขดลวดแนวนอนและแนวตั้งเป็นดังภาพประกอบ 8



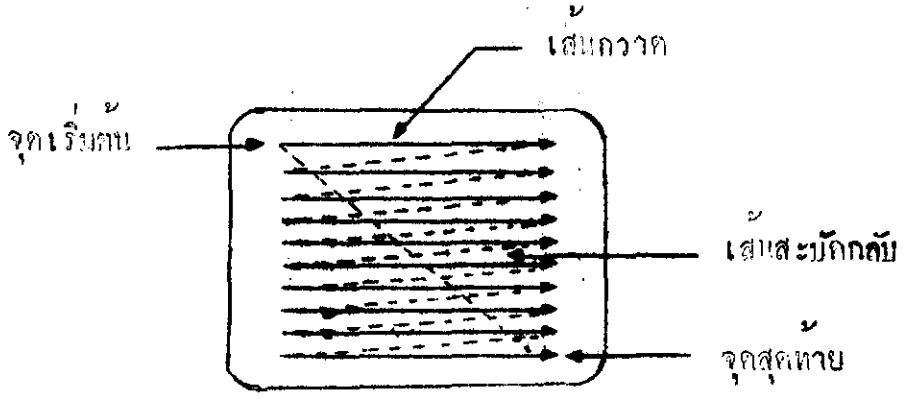
ภาพประกอบ 7 เส้นสว่างที่ปรากฏบนหน้าจอ

จากภาพประกอบ 8 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้ารูปฟันเลื่อยในขดลวดแนวนอนนั้นเร็วกว่าขดลวดแนวตั้งมาก ถ้าให้เวลาเริ่มต้นกระแสไฟฟ้าในขดลวดแนวตั้งและแนวนอนเป็น 0.3 แอมแปร์ขดลวดแนวตั้งจะเคลื่อนจุดสว่างไปทางบนสุดในขณะที่ขดลวดแนวนอนเคลื่อนจุดสว่างไปทางด้านซ้ายสุด จุดสว่างจะปรากฏอยู่ที่มุมบนด้านซ้ายของหน้าจอ เมื่อเวลาผ่านไปขดลวดแนวนอนเคลื่อนจุดสว่างไปจนสุดทางขวาแล้ว ขดลวดแนวตั้งจะเคลื่อนจุดสว่างลงมาได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทำให้ตำแหน่งทางขวาต่ำกว่าตำแหน่งทางซ้ายเล็กน้อย



ภาพประกอบ 8 กระแสไฟฟ้ารูปฟันเลื่อยในขดลวดแนวนอนและแนวตั้ง

นั่นคือเส้นสว่างที่ลากจากซ้ายไปขวาจะเฉียงลง ในขณะที่จุดสว่างเคลื่อนที่กลับจากขวาไปซ้าย ก็จะเฉียงลงเช่นกันเช่นให้ตำแหน่งใหม่ทางซ้ายของจุดสว่างไม่ซ้ำกับตำแหน่งเดิมเมื่อจุดสว่างเคลื่อนจากทางซ้ายไปขวาอีกครั้งจะได้เส้นสว่างใหม่อีกหนึ่งเส้น โดยไม่ซ้ำกับเส้นเดิม เมื่อเกิดเช่นนี้หลาย ๆ ครั้งก็จะได้เส้นสว่างเต็มหน้าจอตามต้องการ ซึ่งมีลักษณะดังภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 แสดงการกวาดของลำอิเลคตรอนบนหน้าจอ

จากภาพประกอบ 9 เส้นทึบคือเส้นสว่างส่วนเส้นประนั้นเป็นเส้นสะบัดกลับซึ่งในทางปฏิบัติเส้นนี้จะต้องไม่ปรากฏบนหน้าจอ

ขั้นต่อไปในการสร้างให้เกิดภาพขึ้นบนหน้าจอของหลอดจอภาพ หลังจากได้เส้นสว่างตามความต้องการแล้วคือการกำหนดระดับความสว่างของแต่ละส่วนของเส้นสว่างแต่ละเส้น

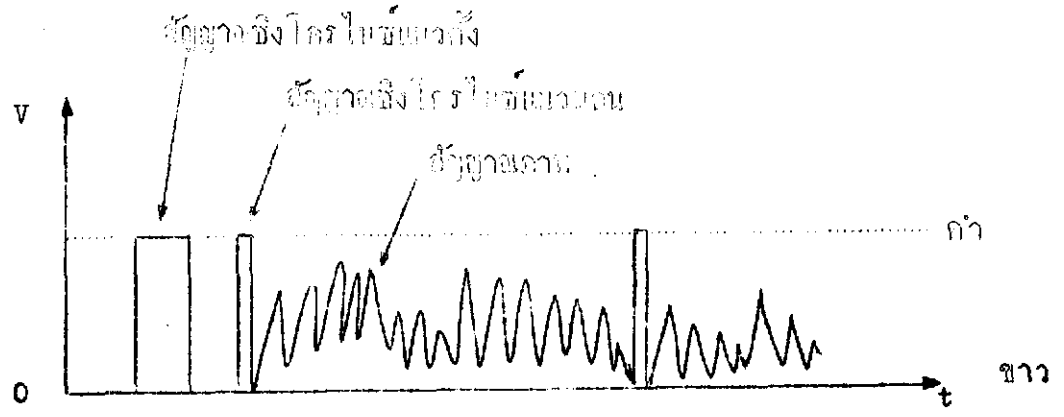
โดยการควบคุมการปล่อยอิเล็กตรอนของคาโทด ถ้าส่วนใดของเส้นสว่างคาโทดปล่อยออกมามากส่วนนั้นก็จะสว่างมาก ส่วนใดปล่อยน้อยก็จะสว่างน้อยและส่วนใดไม่ปล่อยเลยก็จะมืด ซึ่งจะได้สายส่วนประกอบภาพขึ้นหลาย ๆ สาย จะทำให้ของเส้นเป็นสีขาว เทาและดำตามลำดับ

โดยธรรมชาติของภาพถ่ายหรือภาพจากกล้องที่เป็นภาพขาว–ดำนั้น ส่วนประกอบของภาพก็คือส่วนของสีขาว เทาและดำนั่นเอง (Arvino, 1979:216) ดังนั้นถ้าทำให้เกิดส่วนของสีขาว เทาและดำไล่ทุกตำแหน่งบนหน้าจอก็จะทำให้เกิดเป็นภาพขาว–ดำให้ปรากฏบนหน้าจอได้

จากขั้นตอนทั้งหมดดังกล่าวข้างต้นจะแสดงผลสามารถสร้างเส้นสว่างขึ้นบนหน้าจอได้เอง ส่วนการควบคุมการปล่อยอิเล็กตรอนเพื่อให้เกิดเป็นภาพขาว–ดำไล่นั้นจะต้องได้รับสัญญาณภาพ (Video signal) จากคอมพิวเตอร์ สัญญาณภาพนี้จะเป็นตัวกำหนดความสว่างของเส้นสว่างแต่ละเส้น เนื่องจากในการเกิดภาพแต่ละภาพนั้นเส้นสว่างแต่ละเส้นจะมีระดับความสว่างของแต่ละส่วนไม่เหมือนกัน ฉะนั้นเมื่อคอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณภาพของแต่ละเส้นออกมาจะต้องมีการกำหนดว่าเป็นสัญญาณของเส้นสว่างเส้นใด เมื่อที่สัญญาณภาพดังกล่าวจะได้ปรากฏบนหน้าจอโดยมีเวลาและตำแหน่งตรงกับการสร้างภาพของคอมพิวเตอร์ด้วยการส่งสัญญาณซิงโครไนซ์ (Synchronize signal) มากับหน้าสัญญาณภาพทุกเส้น

ในการกำหนดตำแหน่งของภาพแต่ละภาพได้นั้นสัญญาณซิงโครไนซ์จะต้องมีสองแบบ คือสัญญาณซิงโครไนซ์แนวตั้ง (Vertical synchronize) และสัญญาณซิงโครไนซ์แนวนอน (Horizontal synchronize) ดังรูปคลื่นของสัญญาณภาพรวม (Composite video signal) ในภาพประกอบ 10

ในภาพประกอบ 10 จะเห็นว่าเมื่อเริ่มต้นจะมีสัญญาณซิงโครไนซ์แนวตั้งออกมาก่อน สัญญาณนี้จะบังคับให้ลำแสงบังคับแนวตั้ง (Vertical system) ซึ่งเป็นภาคสร้างกระแสไฟฟ้ารูปฟันเลื่อยให้กับขดเหนี่ยงแนวตั้ง (Vertical deflection yoke coil) เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กไปแรงอิเล็กตรอนให้จุดสว่างไปเริ่มต้นที่ส่วนบนสุดของจอภาพทุกครั้งที่ได้รับสัญญาณนี้จากนั้นสัญญาณซิงโครไนซ์แนวนอนจึงที่จะบังคับให้ภาคบังคับแนวนอนสร้างกระแสไฟฟ้ารูปฟันเลื่อยให้กับขดลวดเหนี่ยงแนวนอนเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กในลำ

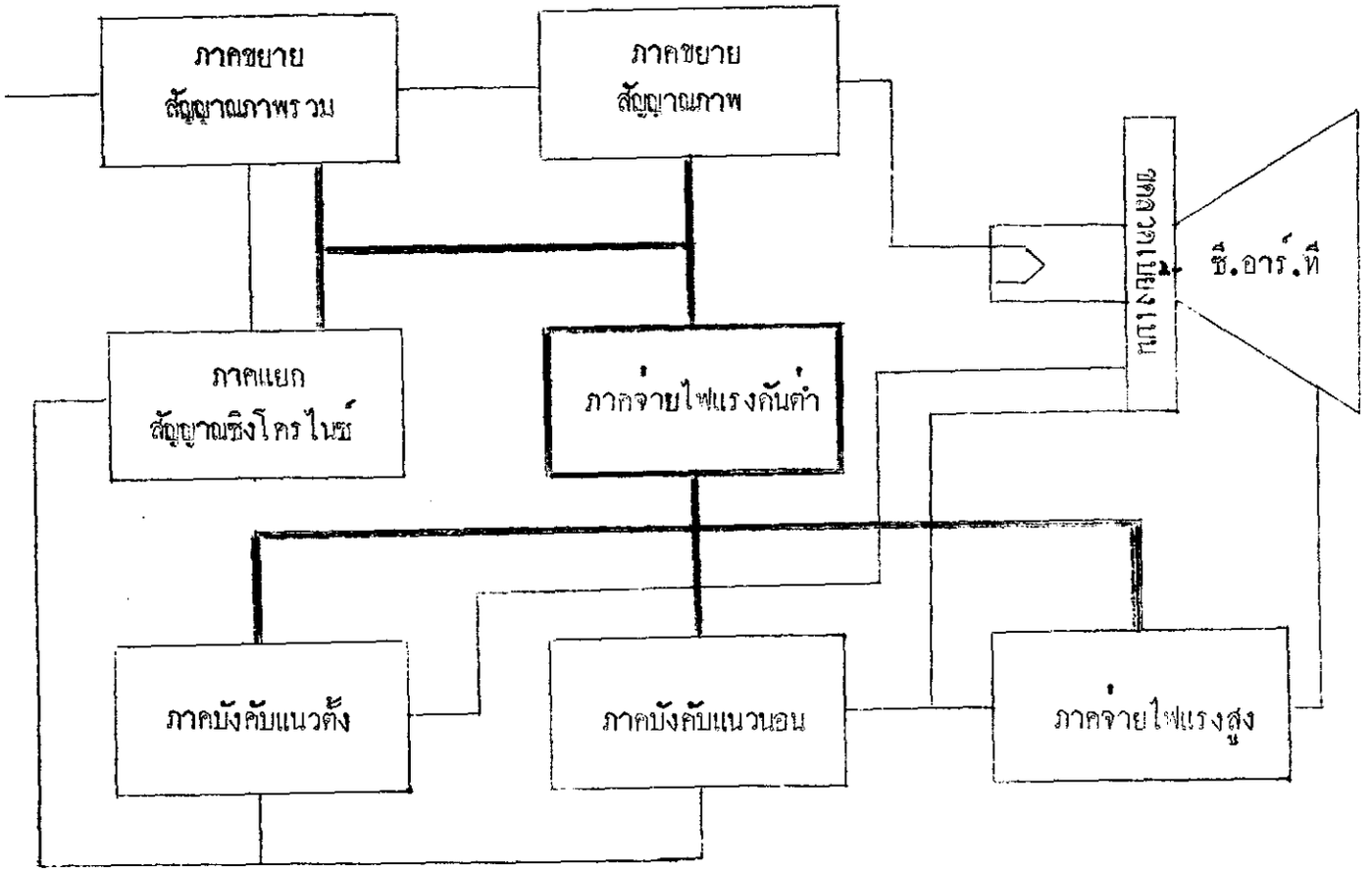


ภาพประกอบ 10 ลักษณะของสัญญาณภาพรวม

อิเลคตรอนไปทางซ้ายของจอภาพ ฟันคือเมื่อคอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณซิงโครไนซ์แนวตั้งออกมาแล้วตามด้วยสัญญาณซิงโครไนซ์แนวนอนลูกที่หนึ่งจุดสว่างจะไปเริ่มต้นที่มุมบนด้านซ้ายซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นสว่างเส้นที่หนึ่งนั่นเอง ถึงขั้นสัญญาณภาพที่ตัดจากสัญญาณซิงโครไนซ์ลูกที่หนึ่งก็จะถูกกำหนดให้เป็นสัญญาณภาพของเส้นสว่างเส้นที่หนึ่งด้วย เมื่อสิ้นสุดสัญญาณภาพจุดสว่างก็จะเคลื่อนที่หรือกวาดไปทางขวาสุดของจอภาพพอดี หลังจากนั้นคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณซิงโครไนซ์ลูกที่สองออกมา เมื่อภาคดังกับแนวนอนได้รับสัญญาณก็จะเริ่มทำงานใหม่ โดยจะสะบัดกลับลำอิเลคตรอนไปทางซ้ายอย่างเร็วเพื่อเริ่มต้นเส้นสว่างเส้นที่สองต่อไป และจะเป็นเช่นนี้เรื่อยไปจนสร้างภาพได้เต็มจอ เมื่อสิ้นสุดภาพที่เส้นสุดท้ายแล้วคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณซิงโครไนซ์แนวตั้งออกมาใหม่เพื่อเริ่มต้นเส้นสว่างเส้นที่หนึ่งใหม่อีกครั้ง

จากหลักการทั้งหมดที่กล่าวมาสามารถเขียนแผนผังแสดงส่วนประกอบในภาคต่าง ๆ ของจอแสดงผลได้ ดังภาพประกอบ 11 ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญหกส่วนคือ

1. ภาคดังกับแนวตั้งทำหน้าที่สร้างคลื่นไฟฟ้ารูปฟันเลื่อยป้อนให้กับขดลวด เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มของสนามแปรผันตรงกับเวลาไปใช้ในการกวาดจุดสว่างจากส่วนบนของจอภาพไปยังส่วนล่างและสะบัดกลับจากส่วนล่างขึ้นบน โดยในช่วงเวลาของการสะบัดกลับนี้จะต้องมีสัญญาณส่วนหนึ่งไปควบคุมดอกจอภาพไม่ให้ปล่อยอิเลคตรอนเพราะในช่วงเวลาดังกล่าวนี้คอมพิวเตอร์จะไม่ส่งสัญญาณภาพออกมาจึงต้องทำการเบลังค์เพื่อไม่ให้



ภาพประกอบ ๑๑ แผนผังการทำงานของจอแสดงผล

เส้นสะท้อนกลับปรากฏบนหน้าจอ

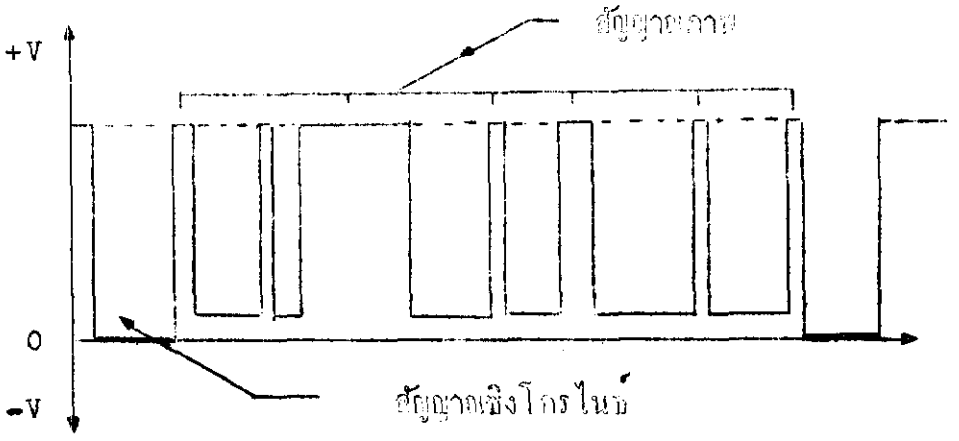
2. ภาคบังคับแนวนอนทำหน้าที่คล้ายกับภาคบังคับแนวตั้งต่างกันตรงที่ว่าส่วนนี้จะกวาดจุดสว่างจากทางซ้ายไปทางขวาของหน้าจอ และส่วนนี้จะมีความถี่ของกระแสไฟฟ้าสูงกว่าภาคบังคับแนวตั้งมากถึง 312.5 เท่า ส่วนการแปลงค่าก็จะทำเช่นเดียวกัน

3. ขดลวดเบี่ยงเบนแนวตั้งและแนวนอนจะทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้ารูปฟันเลื่อยให้เป็นสนามแม่เหล็กเพื่อไปเบนลำอิเลคตรอนให้จุดสว่างกวาดได้ทั้งแนวนอนและแนวตั้ง

4. ภาคควบคุมการปล่อยอิเลคตรอน ภาคนี้ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับวอแสดงผล โดยจะรับสัญญาณภาพจากคอมพิวเตอร์แล้วนำไปควบคุมคาโทดของหลอดจอภาพให้ปล่อยอิเลคตรอนออกมากหรือน้อยสอดคล้องกับสัญญาณภาพ โดยถ้าส่วนใดของภาพเป็นสีดำส่วนนี้จะต้องสร้างแรงดันไฟฟ้าประมาณ 100 โวลท์ให้กับคาโทด คาโทดจะไม่ปล่อยอิเลคตรอนออกไปเลย บนหน้าจอจะเป็นสีดำ แต่ถ้าภาพเป็นสีขาวแรงดันไฟฟ้าที่คาโทดจะต้องเป็นศูนย์ ซึ่งโดยปรกติแล้วสัญญาณภาพจากคอมพิวเตอร์ที่ส่งออกมาจะเป็นสัญญาณแบบดิจิตอล (Digital) โดยมีระดับของสัญญาณเพียงสองระดับเท่านั้นคือ ระดับสูง(High logic) และระดับต่ำ (Low logic) ที่ระดับสูงแรงดันไฟฟ้าจะเป็นประมาณสองโวลท์ และที่ระดับต่ำจะเป็นศูนย์ ดังนั้นสัญญาณภาพจะต้องถูกส่วนนี้เปลี่ยนให้เป็นแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นแล้วจึงจะนำไปควบคุมคาโทด ลักษณะของสัญญาณภาพแบบดิจิตอลที่ส่งออกมาจากคอมพิวเตอร์เป็นดังภาพประกอบ 12

5. แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง ภาคนี้ทำหน้าที่สร้างความต่างศักย์ไฟฟ้าให้เกิดขึ้นระหว่างคาโทดและอาโนด (Anode) ของหลอดจอภาพเพื่อทำการเร่งความเร็วให้กับอิเลคตรอนก่อนวิ่งเข้าชนสารเรืองแสงที่ฉาบไว้หน้าจอ โดยจะสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดสูงถึงประมาณ 12 กิโลโวลท์ป้อนให้กับอาโนดเพื่อให้คาโทดมีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าอาโนด

6. แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ ภาคนี้จะทำหน้าที่สร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลท์เพื่อนำไปเลี้ยงทุกส่วนของจอแสดงผลโดยการใช้หม้อแปลงแบบปองลง (Step-down transformer) แปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์ให้เป็น 15 โวลท์แล้วนำไปแปลงให้เป็นกระแสตรง 12 โวลท์ที่มีแรงดันไฟฟ้าคงที่ตลอดเวลา



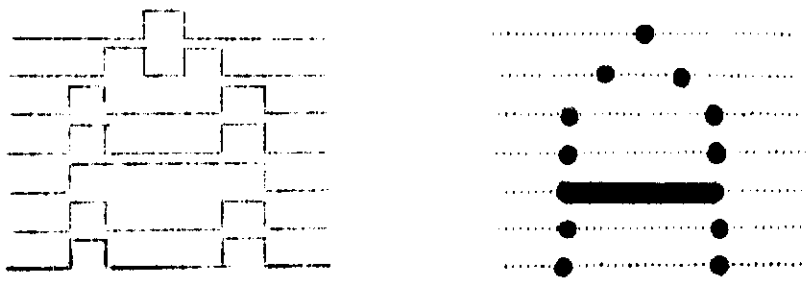
ภาพประกอบ 12 สัญญาณภาพแบบดิจิตอล

<u>การออกแบบวงจรจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์</u>

ในการออกแบบผู้วิจัยจะเลือกวงจรที่เป็นพื้นฐานของเครื่องรับโทรทัศน์ขาว–ดำทั่วไปมาดัดแปลงแก้ไขเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามจุดมุ่งหมายที่วางไว้ โดยแบ่งวงจรทั้งหมดออกเป็นสี่ภาคคือ

1. ภาคขยายสัญญาณภาพรวม โดยที่สัญญาณภาพรวมที่ออกจากคอมพิวเตอร์นั้นประกอบด้วยสัญญาณภาพและสัญญาณซิงโครไนซ์ ในสัญญาณภาพหนึ่งเส้นนั้นจะมีความถี่สูงกว่าสัญญาณซิงโครไนซ์มาก เพราะในการสร้างภาพบนหน้าจอแสดงผลนั้นบางครั้งอาจแสดงสูงสุดถึง 80 ตัวอักษรต่อบรรทัดโดยในหนึ่งตัวอักษรประกอบด้วยจุดขาวและดำสลับกันบนเส้นสว่างหนึ่งเส้นอย่างละห้าจุด ดังภาพประกอบ 13

จากภาพประกอบ 13 จะเป็นลักษณะของสัญญาณภาพที่ออกจากคอมพิวเตอร์และภาพที่ได้จากสัญญาณแต่ละเส้นของการสร้างตัวอักษรหนึ่งตัวให้ปรากฏบนหน้าจอ ดังที่กล่าวแล้วว่าในบางครั้งต้องแสดงถึง 80 ตัวอักษรพร้อม ๆ กัน ในสัญญาณภาพแต่ละเส้นจะต้องมีความถี่สูงกว่าที่แสดงไว้ถึง 80 เท่า และในหนึ่งเส้นจะมีเวลาในการกวาดเพียง 54×10^{-6} วินาทีเท่านั้น เมื่อคำให้เกิดจุดดำ–ขาวถึง 400 จุดภายในเวลาของสัญญาณภาพจึงมีเพียง



ภาพประกอบ 13 สัญญาณภาพและภาพที่ได้จากคอมพิวเตอร์

$.135 \times 10^{-6}$ วินาทีซึ่งเมื่อคิดเป็นความถี่จะได้ดังสมการที่ 3 คือ

$$f = \frac{1}{T} \qquad (3)$$

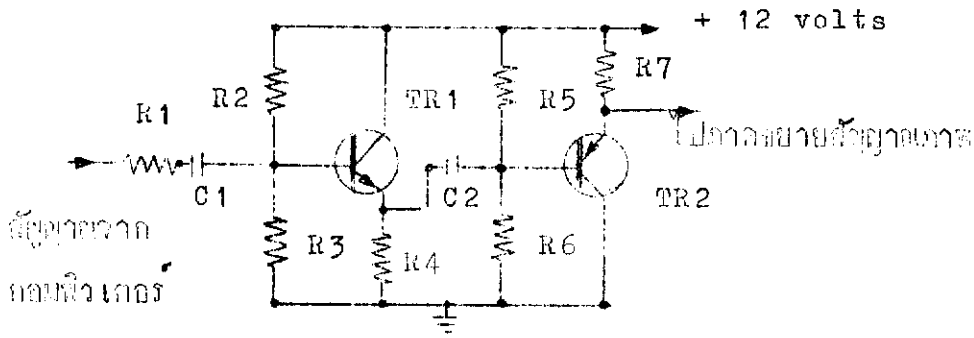
เมื่อ f แทนความถี่

T แทนคาบเวลา

$$\therefore f = \frac{1}{.135 \times 10^{-6}} \approx 7 \times 10^{-6} \text{ เฮิรทซ์}$$

ความถี่ออกมาเจ็ดเมกกะเฮิรทซ์นับว่าเป็นความถี่ที่สูงพอสมควรแต่ในขณะที่ความถี่ของสัญญาณภาพสูงเช่นนี้ สัญญาณซิงโครไนซ์แนวดิ่งซึ่งต้องผ่านวงจรส่วนนี้ด้วยมีความถี่เพียง 50 เฮิรทซ์เท่านั้น วงจรส่วนนี้จึงต้องสามารถทำการขยายได้ดีในทุกช่วงความถี่ตั้งแต่ 50 เฮิรทซ์จนถึงเจ็ดเมกกะเฮิรทซ์ ดังวงจรในภาพประกอบ 14

จากภาพประกอบ 14 ทรานซิสเตอร์ TR1 ต่อเป็นวงจรขยายแบบอิมิตเตอร์ตาม (Emitter follower) โดยมีความต้านทาน R1 เป็นตัวจำกัดกระแสไฟฟ้าที่ออกจากคอมพิวเตอร์มาเข้า TR1 สัญญาณจะผ่านตัวเก็บประจุ C1 ซึ่งเป็นตัวป้องกันไฟฟ้ากระแสตรงจากคอมพิวเตอร์เข้ามาในวงจร จากนั้น R2,R3 และ R4 จะเป็นตัวกำหนดความต้านทานอินพุท (Input impedance) และจุดนำกระแสให้กับ TR1 ความต้านทานอินพุทนี้จะกำหนดได้จากสมการที่ 4



ภาพประกอบ 14 วงจรขยายสัญญาณภาพรวม

$$\frac{1}{r_{in}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{r_{in'}} \qquad (4)$$

$$r_{in'} = (1+\beta)\,(r_e+R_E)$$

เมื่อ r_{in} แทนความต้านทานอินพุท

β แทนค่าคงที่ของทรานซิสเตอร์

R_E แทนความต้านทานที่อิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์

r_e แทนความต้านทานของทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส

ในการออกแบบจะต้องพยายามให้ความต้านทานอินพุทมีค่าสูงไว้เพื่อวงจรส่วนนี้จะได้ไม่ไปเป็นภาระ (Load) ให้กับดอมมิวเตอร์ ส่วนการกำหนดอัตราขยายของวงจรนั้นกำหนดได้โดยอาศัยสมการที่ 5

$$A_v = \frac{R_E}{r_e+R_E} \qquad (5)$$

เมื่อ A_v แทนอัตราขยายแรงดันของวงจร

R_E แทนความต้านทานที่อิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์

r_e แทนความต้านทานของทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส

เมื่อ TR1 ขยายสัญญาณให้มีขนาดเพียงพอแล้วจะถูกส่งต่อไปยัง TR2 ซึ่งจัดวงจรแบบอีมิตเตอร์ตามเช่นกันเพื่อให้ได้ความต้านทานเอาท์พุท (Output impedance) ต่ำ ๆ โดยหาค่าความต้านทานได้จากสมการที่ 6

$$R_{out} = \frac{R_E r'_{out}}{R_E + r'_{out}} \qquad (6)$$

$$r'_{out} = r_e + \frac{R_B}{1+\beta}$$

เมื่อ R_B แทนความต้านทานที่เบสของทรานซิสเตอร์

r_e แทนความต้านทานของทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส

β แทนค่าคงที่ของทรานซิสเตอร์

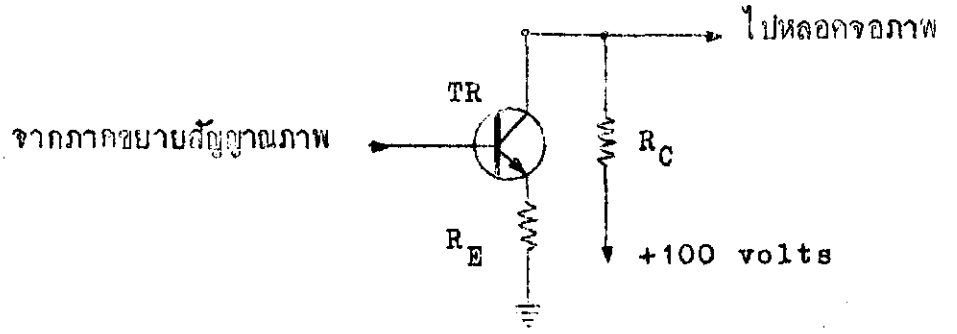
R_E แทนความต้านทานที่อีมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์

หลังจากสัญญาณจากกกมพิวเตอร์ถูกขยายด้วย TR1 และ TR2 แล้วจะถูกส่งต่อไปยังวงจรอีกสองส่วนคือ

1.1 วงจรขยายสัญญาณภาพ (Video amplifier) จะขยายสัญญาณต่อจากภาคแรกโดยอินพุทของวงจรส่วนนี้จะต่อกับเอาท์พุทของ TR2 โดยมีความต้านทานแบบปรับค่าได้ (Variable resistor) สำหรับปรับแยงแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก TR2เพื่อใช้ในการปรับความเข้ม (Contrast) ของภาพ สัญญาณเอาท์พุทของส่วนนี้จะถูกส่งไปยังหลอดจอภาพเพื่อควบคุมการปล่อยอิเล็กตรอนดังที่กล่าวมาแล้ว นอกจากนั้นยังต้องเชื่อมต่อกับวงจรอีกสามส่วนคือ ภาคบังคับแนวตั้ง ภาคบังคับแนวนอน เพราะจากที่ได้กล่าวแล้วในตอนต้นว่าขณะที่อิเล็กตรอนสะบัดกลับนั้นเส้นสะบัดกลับจะต้องไม่ปรากฏบนหน้าจอ ซึ่งทำได้โดยการนำสัญญาณมาจากภาคบังคับแนวตั้งและแนวนอนเพื่อควบคุมการทำงานของภาคขยายสัญญาณภาพ โดยภาคขยายจะหยุดการปล่อยอิเล็กตรอนในขณะที่มีสัญญาณมาจากทั้งสองภาค อีกส่วนหนึ่งคือภาคจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง เนื่องจากในการปล่อยหรือไม่

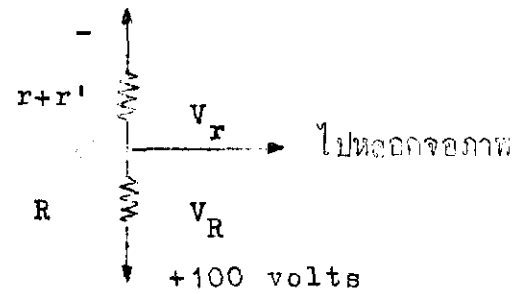
177771

ปลายอิเลคตรอนของหลอดจอภาพนั้นจะต้องมีแรงดันไฟฟ้าที่ค่าโหดเป็นศูนย์หรือ 100 โวลท์ ตามลำดับ แต่เนื่องจากสัญญาณภาพที่ได้จากภาคขยายนั้นจะมีขนาดสูงสุดได้เพียง 12 โวลท์ เท่ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงต่ำเท่านั้น จึงไม่เพียงพอที่จะควบคุมได้ ในวงจรนี้จึงจำเป็นต้องแบ่งแรงดันจากไฟฟ้าแรงสูง แล้วควบคุมไฟฟ้าแรงสูงดังกล่าวด้วยไฟฟ้าแรงดันต่ำ ตามวงจรในภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 วงจรพื้นฐานที่ใช้ควบคุมหลอดจอภาพ

จากภาพถ้าพิจารณาจากลักษณะเฉพาะของทรานซิสเตอร์จะเปรียบกับตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ตัวหนึ่งสามารถปรับความต้านทานได้ด้วยแรงดันไฟฟ้าระหว่างเบสและอิมิตเตอร์ ตามภาพนั้นทรานซิสเตอร์เป็นแบบเอ็นพีเอ็นโดยในสภาวะปรกติความต้านทานระหว่างคอลเลคเตอร์กับอิมิตเตอร์จะมีค่าสูงเกือบเป็นอนันต์ และความต้านทานนี้จะลดลงเมื่อเบสได้รับแรงดันไฟฟ้าที่เป็นบวกเมื่อเทียบกับอิมิตเตอร์คือจะเหลือประมาณ 25 โอห์ม ดังนั้นเมื่อนำทรานซิสเตอร์ดังกล่าวมาต่อรวมกับ R_E,R_C ดังวงจรในภาพประกอบ 15 จะทำให้เกิดเป็นวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าขึ้น ในสภาวะปรกติ TR จะไม่นำกระแส (Cut - off) แรงดันไฟฟ้า 100 โวลท์สามารถไหลผ่านไปยังหลอดจอภาพได้มากเหมือนกับแรงดันไฟฟ้านั้นไหลผ่านไปโดยไม่มี TR เข้ามาเกี่ยวข้อง จะทำให้หลอดจอภาพในขณะนั้นเป็นสีดำ แต่ถ้าให้เบสของ TR ได้รับสัญญาณที่เป็นบวกจะทำให้ TR เริ่มนำกระแสเมื่อเป็นเช่นนี้ความต้านทานของ TR จะเริ่มลดลงซึ่งจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่เบสเทียบกับอิมิตเตอร์ แรงดันไฟฟ้า 100 โวลท์จึงถูกแบ่ง ซึ่งจะเปรียบเทียบได้กับวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าในภาพประกอบ 16



ภาพประกอบ 16 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า

$$V_{out} = V$$

$$V_r R = V_R(r+r') \qquad (7)$$

$$V_r = \frac{V_r(r+r')}{R}$$

$$V = V_r + V_R \qquad (8)$$

$$V_r = \frac{V(r+r')}{(r+r')+R}$$

เมื่อ V_r แทนแรงดันไฟฟ้าคร่อม $r+r'$

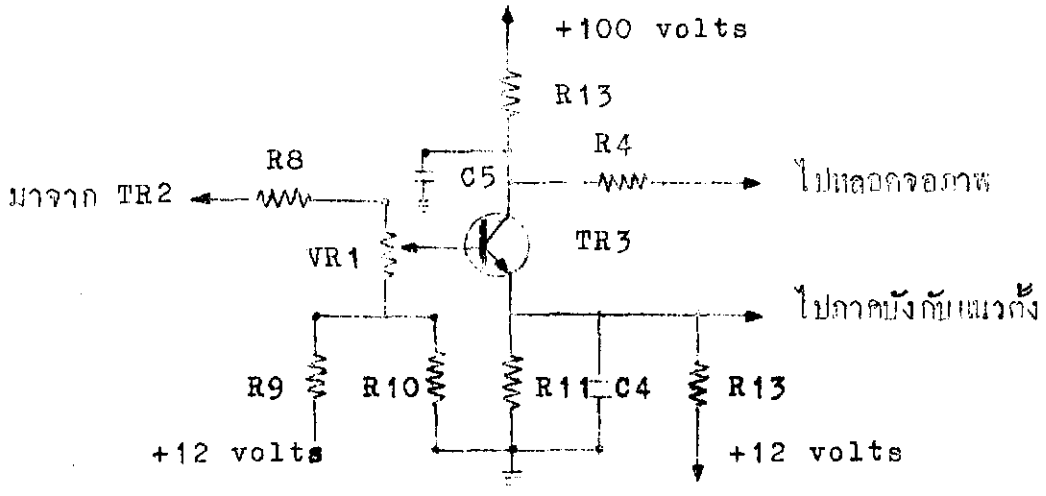
r' แทนความต้านทานของทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส

V_R แทนแรงดันไฟฟ้าคร่อม R

V แทนแรงดันไฟฟ้าทั้งหมดที่ป้อนให้กับวงจร

จากภาพประกอบ 16 แรงดันไฟฟ้าที่ไปยังหลอดจอภาพหาได้จากสมการที่ 7 และสมการที่ 8 ส่วนวงจรของภาคขยายสัญญาณภาพเป็นดังภาพประกอบ 17

จากภาพประกอบ 17 VR1,R9,R10 ประกอบกันเป็นวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าเพื่อควบคุมระดับของสัญญาณภาพที่ได้รับจากภาคแรกก่อนป้อนให้กับภาคนี้ คือถ้าปรับ VR1 ไปใน



ภาพประกอบ 17 วงจรขยายสัญญาณภาพ

ตำแหน่งสูงสุดสัญญาณภาพจะผ่านมาได้มากที่สุดทำให้ภาพที่ปรากฏบนหน้าจอในส่วนที่เป็นสีขาวมีความสว่างมากเมื่อเทียบกับส่วนที่เป็นสีดำทำให้เห็นภาพที่มีความเข้มสูง แต่ถ้าปรับมาในตำแหน่งต่ำสุดสัญญาณภาพจะผ่านมาได้น้อยความเข้มจะต่ำ สัญญาณที่ถูกควบคุมแล้วจะผ่านไปยังเบสของ TR3 ที่เป็นวงจรขยายแบบอิมิเตอร์ร่วมโดยจะมีส่วนเพิ่มเติมส่วนหนึ่งคือ C4 ที่ต่อขนานกับ R11 ซึ่งเป็น R ที่อิมิตเตอร์ของ TR3 นั้นไว้เพื่อเป็นการชดเชยการตอบสนองทางความถี่สูงของวงจรขยาย ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าวงจรส่วนนี้จะมีความถี่ของสัญญาณที่ต้องขยายสูงมากการสูญเสียอัตราขยายทางความถี่สูงและการชดเชยจะพิจารณาได้จากลักษณะเฉพาะของตัวเก็บประจุดังสมการที่ 9

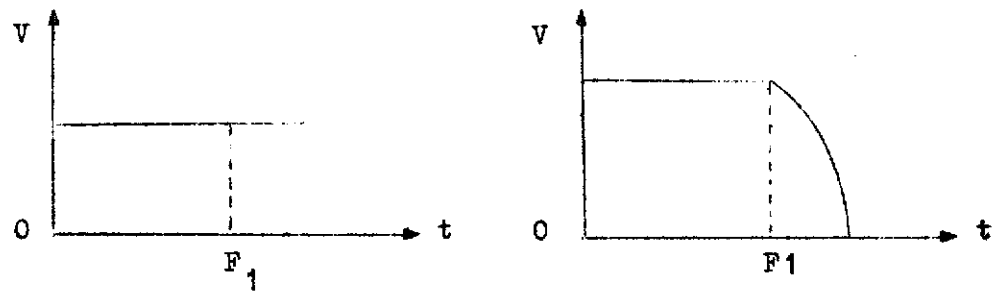
$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} \qquad (9)$$

เมื่อ X_c แทนค่ารีแอคแตนซ์ของตัวเก็บประจุ

f แทนความถี่ผ่านวงจร

C แทนค่าความจุของตัวเก็บประจุ

จากสมการจะเห็นได้ว่าค่ารีแอคแตนซ์ของตัวเก็บประจุมีค่าลดลงเมื่อความถี่ที่ผ่านมีค่าสูงขึ้น ถ้าพิจารณาจากวงจรในภาพประกอบ 14 จะเห็นได้ว่าถ้าสัญญาณที่ผ่านมีความถี่สูงมาก ๆ ค่ารีแอคแตนซ์ของ C2 จะต่ำลงมาก ดังนั้น C2 จะทำตัวเสมือนความต้านทานที่มีค่าต่ำ ๆ ตัวหนึ่งต่ออนุกรมกับ R4 ลงดิน ผลลัพธ์สมมุติว่าได้เป็น r ไปขนานกับ R6 ทำให้ค่า r_{in} ของ TR2 ต่ำลง เมื่อเป็นเช่นนั้นสัญญาณที่ถูกส่งผ่านจาก TR1 ไปยัง TR2 ก็จะมีขนาดเล็กลงทำให้สัญญาณที่ออกจาก TR2 มีขนาดเล็กลงตามไปด้วย สัญญาณที่มีความถี่สูง ๆ จะถูกลดขนาดลงดังภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 การสูญเสียทางความถี่สูงของภาคขยาย

จากผลของ C นี้เราจะสามารถแก้ขอบกพร่องในวงจรได้โดยการต่อ C4 ขนานกับ R11 ซึ่งเป็น R_E ของ TR3 เมื่อความถี่สูงขึ้นจะทำให้ค่า R_E ต่ำลง โดยอัตราขยายแรงดันของ TR3 หาได้จากสมการที่ 10

$$A_v = \frac{R_C}{R_E} \qquad (10)$$

เมื่อ R_C แทนความต้านทานที่คอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์

R_E แทนความต้านทานที่อิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์

เมื่อความต้านทาน R_E มีค่าลดลงขณะที่ความถี่สูง ๆ ผ่านจะทำให้อัตราขยายของ TR สูงขึ้นซึ่งจะเป็นการชดเชยการสูญเสียทางความถี่สูงของวงจรขยาย ทำให้ได้อัตรา

ขยายมีค่าคงที่ทุกความถี่

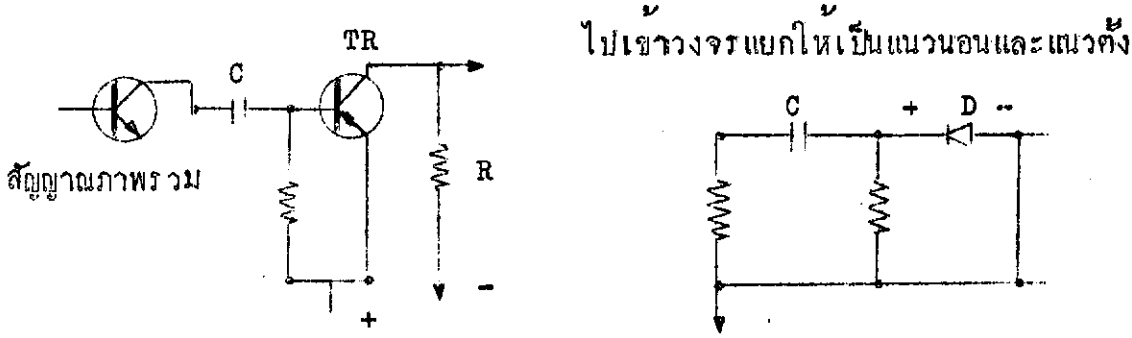
ข้อบกพร่องอีกประการหนึ่งที่มักเกิดกับวงจรขยายในภาคนี้คือที่ความถี่ต่ำมาก ๆ จะไม่สามารถผ่านตัวเก็บประจุซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อแต่ละส่วนของวงจรไปได้มากนัก จึงต้องแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าว การแก้อาจแก้ได้หลายวิธีคือ

1. การใช้การเชื่อมต่อแบบตรง (Direct coupling)
2. การใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าสูง ๆ
3. การต่อตัวเก็บประจุแบบ ดี-คัปปลิ้ง (De-coupling capacitor)

วิธีแก้ในข้อ 1 นั้นจะพบได้ตรงช่วงต่อของ TR2 กับ TR3 เพราะถ้าต่อผ่านตัวเก็บประจุ ที่ความถี่สูง ๆ สัญญาณจะผ่านไปได้มาก แต่ที่ความถี่ต่ำ ๆ สัญญาณจะผ่านไปได้น้อย การต่อแบบตรงจะทำให้ทั้งความถี่สูงและความถี่ต่ำผ่านไปได้เท่า ๆ กัน ซึ่งช่วงต่อระหว่าง TR3 กับขา 2 ซึ่งเป็นคาโทดของหลอดจอภาพก็จะใช้หลักการเดียวกัน หลักการในข้อ 2 จะพบได้ตรงช่วงต่อของ TR1 กับ TR2 ซึ่งค่าของตัวเก็บประจุ C2 จะต้องมีค่าที่สูงมากความถี่ต่ำ ๆ จึงจะผ่านไปได้มาก แต่อย่างไรก็ตามการใช้ค่าของตัวเก็บประจุมากขึ้นนั้นอาจทำให้ลักษณะเฉพาะในการต้านการไหลของไฟฟ้ากระแสตรงของตัวเก็บประจุต่ำลงจะทำให้วงจรในส่วนต่าง ๆ ทำงานผิดปรกติได้ โดยเฉพาะในส่วนที่มีแรงดันไฟฟ้าสูง ๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง การเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าสูง ๆ จะยิ่งทำให้มีผลกระทบกระเทือนมากขึ้น ดังนั้นในส่วนสุดท้ายของภาคนี้จึงต้องใช้ C5 ซึ่งต่อขนานกับ R13 แทน เมื่อสัญญาณที่มีความถี่สูง X_c ของ C5 จะลดลง แต่ที่ความถี่ต่ำ X_c จะมีค่าสูงขึ้นทำให้อัตราขยายของ TR3 สูงขึ้นเมื่อความถี่ลดลง ทำให้การขยายความถี่ต่ำของวงจรดีขึ้น

1.2 วงจรขยายและแยกสัญญาณซิงโครไนซ์ ภาคนี้จะทำหน้าที่สำคัญคือ แยกสัญญาณซิงโครไนซ์ออกจากสัญญาณภาพรวมและขยายให้มีขนาดโตพอแล้วจึงแยกออกเป็นสัญญาณซิงโครไนซ์แนวตั้งและสัญญาณซิงโครไนซ์แนวนอน เพื่อส่งไปควบคุมภาคบังคับแนวตั้งและภาคบังคับแนวนอนตามลำดับ ลักษณะของวงจรขยายและแยกสัญญาณซิงโครไนซ์เป็นดังภาพประกอบ 19

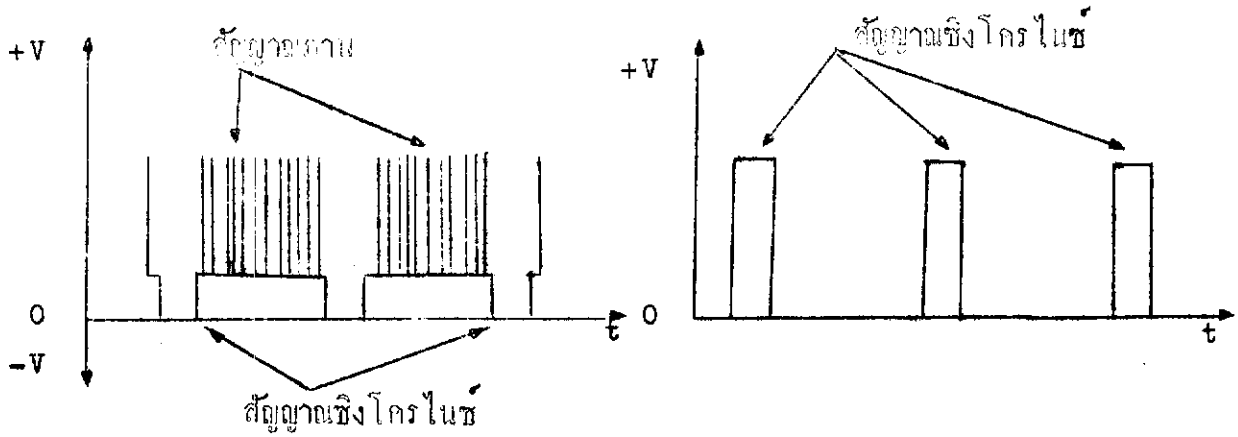
จากภาพประกอบ 19 ทรานซิสเตอร์ที่เป็นตัวแยกสัญญาณนั้นเป็นแบบพีเอ็นพีซึ่งจะเริ่มนำกระแสเมื่อเบสมีแรงดันไฟฟ้าเป็นลบเมื่อเทียบกับอิมิตเตอร์ TR จะต้องนำกระแสเฉพาะช่วงที่มีสัญญาณซิงโครไนซ์เข้ามาเท่านั้นส่วนในช่วงที่เป็นสัญญาณภาพ TR จะต้องไม่



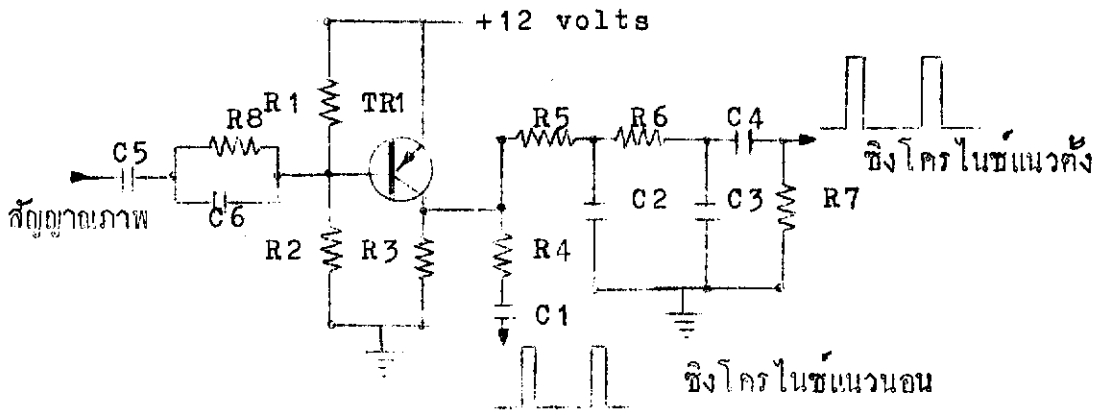
ภาพประกอบ 19 วงจรพื้นฐานในการแยกสัญญาณซิงโครไนซ์ออกจากสัญญาณภาพ

นำกระแส ถ้าพิจารณาจากรูปคลื่นของสัญญาณภาพรวมในภาพประกอบ 12 นั้นระดับแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณซิงโครไนซ์ที่ได้จากการขยายของวงจรขยายสัญญาณภาพรวมมีระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าสัญญาณภาพมาก ดังนั้นเมื่อสัญญาณภาพรวมผ่าน C มาถึงเบสของ TR สัญญาณซิงโครไนซ์ลูกแรกซึ่งจะมีแรงดันไฟฟ้าต่ำพอที่จะทำให้ TR นำกระแสได้ คอลเลคเตอร์ของ TR ซึ่งปรกติเป็นศูนย์เพราะต่อไว้กับดินโดยผ่าน R จะเปลี่ยนเป็นบวก โดยมีช่วงเวลาที่เป็นบวกเท่ากับเวลาที่เป็นศูนย์ของสัญญาณซิงโครไนซ์ ดังภาพประกอบ 20 และถ้าพิจารณาจากภาพประกอบ 19 จะเห็นได้ว่าในขณะที่สัญญาณซิงโครไนซ์ปรากฏที่เบสของ TR นั้น TR จะเปรียบเสมือนเป็นไดโอดขึ้นระหว่างเบสกับอิมิตเตอร์ เมื่อสัญญาณซิงโครไนซ์ลูกแรกผ่านไปแล้วจะทำให้เบสเป็นบวกเมื่อเทียบกับอิมิตเตอร์ทำให้เกิดการไบอัสกลับ (Reversed bias) ให้กับ TR และ TR จะหยุดนำกระแสถึงแม้จะมีสัญญาณภาพมาปรากฏที่เบสในเวลาต่อมาก็ตามเพราะแรงดันของสัญญาณภาพจะไม่ต่ำพอที่จะลบล้างกับแรงดันไฟฟ้าไบอัสกลับได้ สัญญาณภาพจึงไม่สามารถผ่านไปได้ ดังนั้นสัญญาณซิงโครไนซ์ลูกต่อไปจึงสามารถทำให้ TR นำกระแสเกิดเป็นสัญญาณซิงโครไนซ์ที่ถูกแยกแล้วออกไปทางคอลเลคเตอร์ของ TR ได้

วงจรแยกสัญญาณซิงโครไนซ์ออกจากสัญญาณภาพรวมเป็นดังวงจรในภาพประกอบ 21 โดยสัญญาณภาพรวมจะผ่าน C5 โดยมี C6 กับ R8 ต่อขนานกันเพื่อเป็นวงจร ไฮพาสฟิลเตอร์ (High - pass filter) ซึ่งจะยอมให้ผ่านได้เฉพาะสัญญาณที่มีความถี่สูงเท่านั้นวงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่ป้องกันสัญญาณรบกวน (Noise) ซึ่งอาจปะปนมากับ



ภาพประกอบ 20 รูปคลื่นของสัญญาณก่อนและหลังผ่านวงจรแยกสัญญาณซิงโครไนซ์

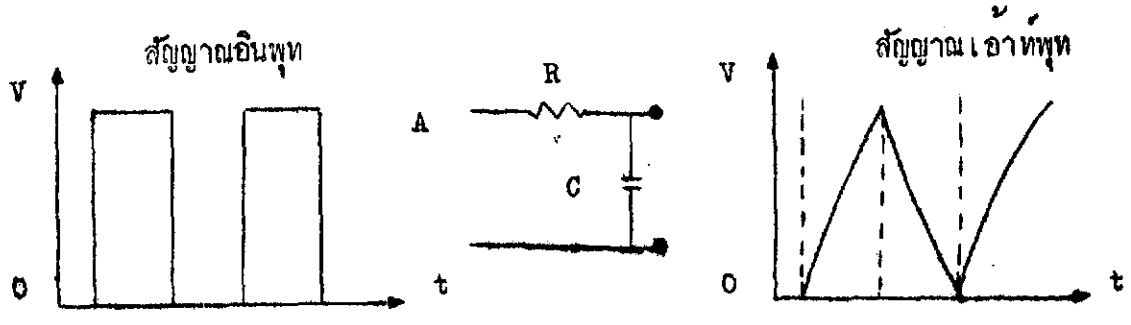


ภาพประกอบ 21 วงจรแยกสัญญาณซิงโครไนซ์

สัญญาณภาพทำให้ภาคบังคับแนวตั้งและแนวนอนทำงานผิดพลาดได้ จากนั้นสัญญาณภาพรวมจะผ่านเข้าวงจรแยกซึ่งประกอบด้วย R1,R2,R3,R4 และ TR1 เมื่อสัญญาณปรากฏที่เบสของ TR1 ทำให้ TR1 นำกระแสคอลเลคเตอร์ของ TR1 จะเป็นบวกเพราะอิมิตเตอร์ต่อไว้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าบวก เมื่อสัญญาณผ่านไปแล้ว TR1 จะหยุดนำกระแสทำให้แรงดันไฟฟ้าที่คอลเลคเตอร์เป็นศูนย์เพราะคอลเลคเตอร์ต่อไว้กับดินด้วย R3 และ R4 จะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าที่คอลเลคเตอร์จะตรงข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่เบสเสมอ แรงดันไฟฟ้าของสัญญาณ

ซิงโครไนซ์ที่ได้จึงเป็นสัญญาณแบบบวก ถึงแม้ว่าจะนำไปใช้ในการควบคุมการทำงานของภาคบังคับแนวตั้งและแนวนอนได้เลยก็ตาม แต่สัญญาณทั้งสองจะยังปนกันอยู่จะต้องทำการแยกออกจากกันด้วยวงจรสองชนิดคือ วงจรอินทิเกรตและวงจรดิฟเฟอเรนเชี่ยล

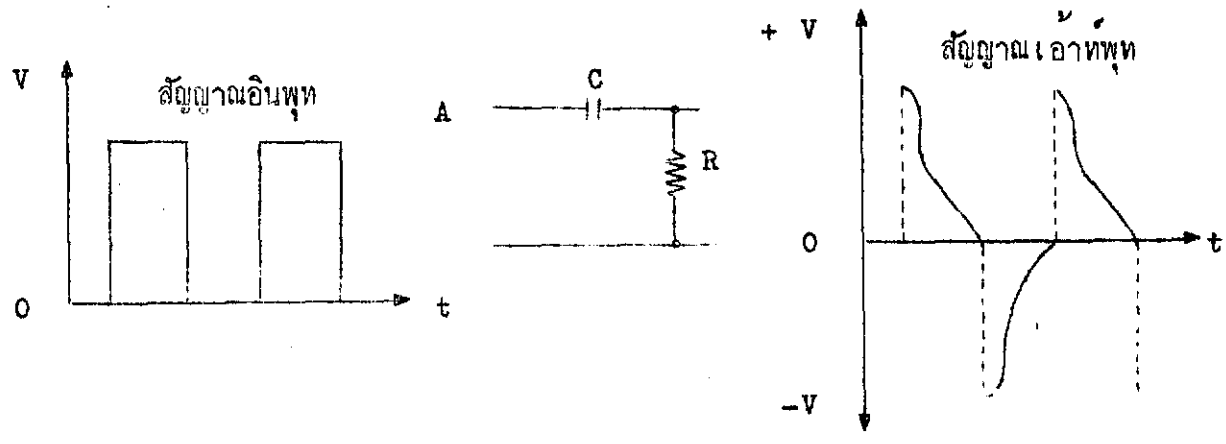
วงจรอินทิเกรตมีลักษณะดังภาพประกอบ 22 ซึ่งอาศัยหลักการทำงานของตัวเก็บประจุกับตัวต้านทาน จากภาพเมื่อสัญญาณไฟฟ้ารูปสี่เหลี่ยมปรากฏที่ A ขณะที่ศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกศักย์ไฟฟ้าคร่อม C จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และเมื่อที่ A เป็นศูนย์ C จะคายประจุทำให้ศักย์ลดลงจนเป็นศูนย์ในที่สุด และถ้าที่ A เป็นบวกอีก C จะเริ่มประจุใหม่อีก ถ้าสัญญาณที่เข้ามามีคาบเวลาของการเป็นบวกมากกว่าคาบเวลาของการเป็นศูนย์ทำให้ C มีเวลาในการประจุมากกว่าเวลาในการคายประจุ ดังนั้นหลังจากสิ้นสุดเวลาของการคายประจุแล้วศักย์ไฟฟ้าคร่อม C จะตกลงยังไม่ทันถึงศูนย์ก็จะมีการประจุขึ้นใหม่อีกทำให้ศักย์ไฟฟ้าดังกล่าวสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งสัญญาณซิงโครไนซ์แนวตั้งเท่านั้นที่มีคุณสมบัติดังกล่าวจึงทำให้วงจรส่วนนี้ทำงานได้



ภาพประกอบ 22 การทำงานของวงจรอินทิเกรต

วงจรดิฟเฟอเรนเชี่ยลประกอบด้วยตัวเก็บประจุและตัวต้านทานเช่นเดียวกับวงจรอินทิเกรต แต่แรงดันไฟฟ้าที่ต้องการเป็นศักย์ไฟฟ้าคร่อม R แทน C ดังนั้นเมื่อมีสัญญาณไฟฟ้ารูปสี่เหลี่ยมปรากฏที่ A ศักย์ไฟฟ้าคร่อม C จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นทำให้ศักย์ไฟฟ้าคร่อม R ค่อย ๆ ลดลงเพราะ C และ R ต่อกันไว้แบบอนุกรมทำให้เกิดเป็นวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าขึ้น และเมื่อสัญญาณไฟฟ้ารูปสี่เหลี่ยมเปลี่ยนจากบวกเป็นศูนย์ C จะคายประจุทันทีทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลกลับ ศักย์ไฟฟ้าคร่อม R จะเป็นลบทันทีเมื่อเทียบกับดิน หลังจากนั้นจึงค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจน

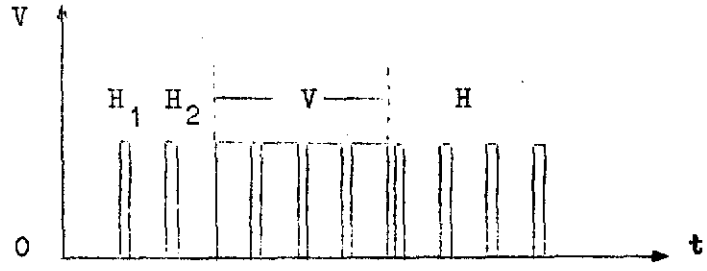
เป็นศูนย์โดยใช้เวลาเท่ากับเวลาในการประจุ ลักษณะของวงจรและรูปคลื่นเป็นดังภาพประกอบ 23



ภาพประกอบ 23 การทำงานของวงจรดิฟเฟอเรนเชี่ยล

ในทางปฏิบัติการกำหนดค่าของ R และ C ซึ่งประกอบกันเป็นวงจรทั้งวงจรอินทิเกรตและวงจรดิฟเฟอเรนเชี่ยลนั้นมีความสำคัญมาก เพราะต้องคำนึงถึงคาบในการเป็นบวกและคาบการเป็นศูนย์ของสัญญาณชิงโครไนซ์แนวตั้งและแนวนอน ซึ่งโดยปรกติแล้วสัญญาณชิงโครไนซ์แนวตั้งจะเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมสี่ลูกโดยมีคาบที่เป็นบวก 27.3×10^{-6} วินาที และคาบของการเป็นศูนย์เท่ากับ 4.4×10^{-6} วินาที ส่วนสัญญาณชิงโครไนซ์แนวนอนเป็นบวก 10×10^{-6} วินาที และเป็นศูนย์ 54×10^{-6} วินาที ค่าคงที่ของเวลา (Time constant) ของวงจรหาได้จาก $\tau = RC$ และรูปคลื่นของสัญญาณชิงโครไนซ์เป็นดังภาพประกอบ 24

จากภาพประกอบ 24 ถ้า H_1 และ H_2 เป็นสัญญาณชิงโครไนซ์แนวนอนสองลูกสุดท้ายของการกวาดในแนวนอน คือเมื่อเกิด H_2 ขึ้นแล้วเส้นสว่างเส้นสุดท้ายจะกวาดจากซ้ายไปขวาหลังจากนั้นจะต้องสะบัดกลับทางแนวตั้งเพื่อกลับไปเริ่มเส้นสว่างเส้นที่หนึ่งหรือเส้นที่สองทางด้านบนของหน้าจออีกในขณะนี้สัญญาณชิงโครไนซ์แนวตั้ง V ถึงจะปรากฏที่วงจรอินทิเกรตเมื่อสัญญาณชิงโครไนซ์แนวตั้งถึงลูกสี่เอาท์พุทของวงจรอินทิเกรตก็จะมีระดับ



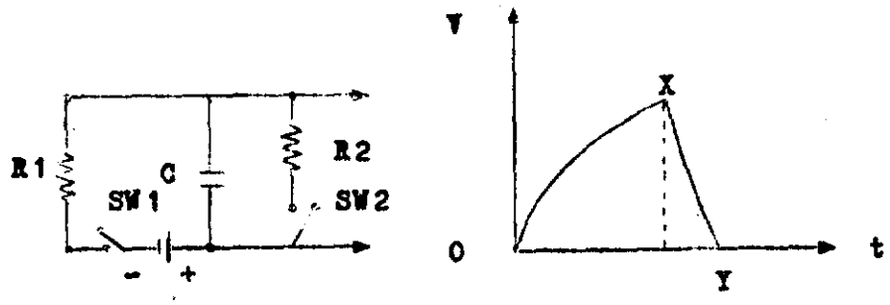
ภาพประกอบ 24 รูปคลื่นของสัญญาณซิงโครไนซ์

แรงดันไฟฟ้าพอดีกับการบังคับให้ภาคบังคับแนวตั้งเริ่มทำงานเพื่อสะบัดลำอิเลคตรอนกลับไป แล้วจึงเริ่มกวาดเส้นสว่างจากด้านบนลงมาด้านล่างอีกอย่างเดิมเพราะหลังจากสุดสิ้นสัญญาณซิงโครไนซ์แนวตั้งแล้วก็จะเป็นสัญญาณซิงโครไนซ์แนวนอนอีกทำให้การกวาดในแนวนอนเกิดขึ้นใหม่

จากวงจรในภาพประกอบ 21 สัญญาณซิงโครไนซ์ที่ออกจากคอลเลคเตอร์ของ TR1 จะถูกอินทิเกรตด้วย R5,C2 และ R6,C3ซึ่งเป็นวงจรอินทิเกรตสองชุด หลังจากนั้นจะถูกคัดรูปคลื่นด้วย C4 และR7 ซึ่งเป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชี่ยลเพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปควบคุมภาคบังคับแนวตั้ง ส่วนสัญญาณซิงโครไนซ์แนวนอนจะผ่าน R4โดยมี C1 เป็นตัวเชื่อมต่อวงจร

2. ภาคบังคับแนวตั้งภาคนี้จะทำหน้าที่สร้างคลื่นไฟฟ้ารูปฟันเลื่อยเพื่อป้อนให้กับขดลวดเบี่ยงเบนในอัตรา 50 ครั้งต่อวินาที โดยมียอดคลื่นของกระแสไฟฟ้าจาก —0.3 แอมแปร์ถึง 0.3 แอมแปร์ ดังภาพประกอบ 6โดยมีหลักการในการสร้างคลื่นรูปฟันเลื่อยดังภาพประกอบ 25

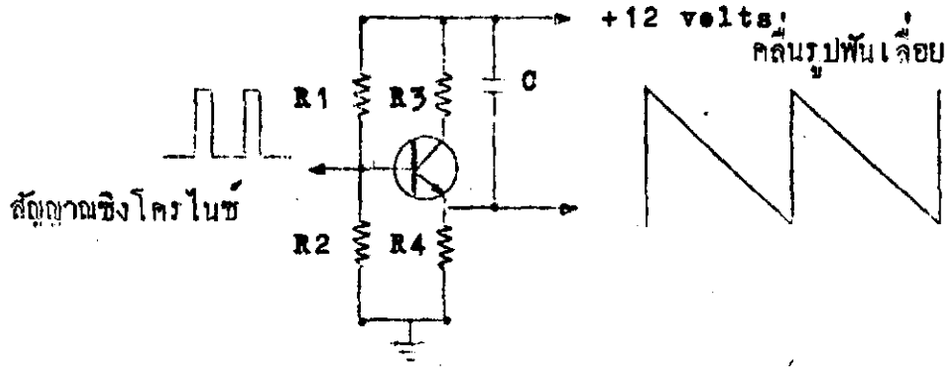
จากภาพประกอบ 25 ประกอบด้วยตัวต้านทานสองตัวตัวเก็บประจุหนึ่งตัวและสวิทช์สองตัว โดยเมื่อเริ่มให้สวิทช์ SW1 ปิดวงจร C จะประจุผ่าน R1 ถ้า R1และ C มีค่ามาก ๆ ศักย์ไฟฟ้าคร่อม C จะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนมีค่าสูงสุดเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับวงจร ในขณะนี้ถ้าเปิดวงจรที่ SW1 แล้วปิดวงจรที่ SW2 C จะคายประจุผ่านR2 ซึ่งถ้าให้ R2 มีค่าน้อย ๆ เมื่อเทียบกับ R1 การคายประจุของ C จะใช้เวลาน้อยกว่าการ



ภาพประกอบ 25 วงจรสร้างคลื่นรูปฟันเลื่อย

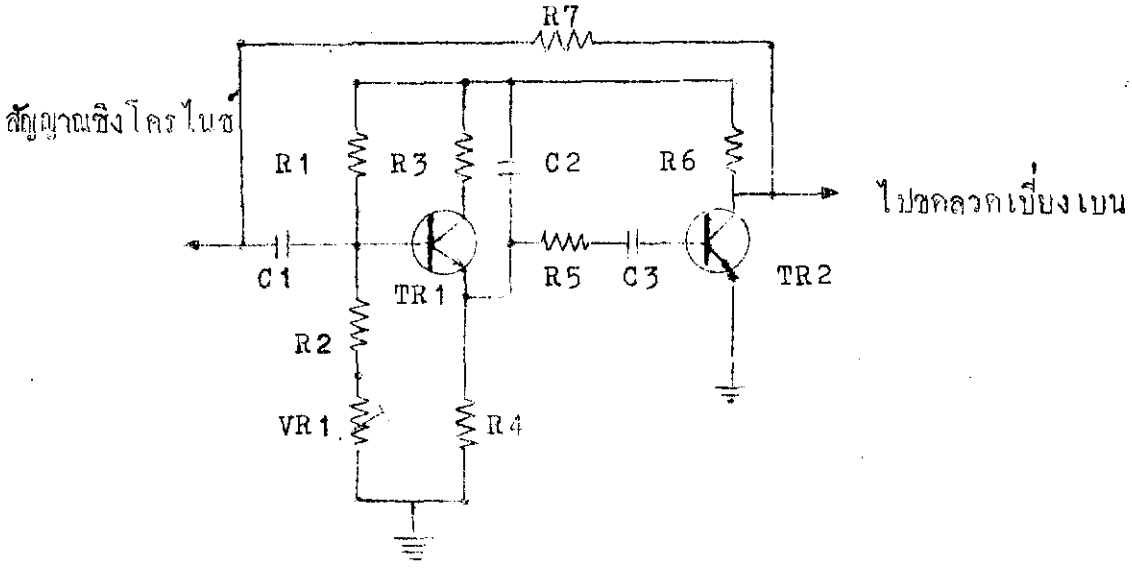
ประจุมากทำให้ศักย์ไฟฟ้าคร่อม C ลดลงเป็นศูนย์อย่างรวดเร็ว ความชันของคลื่นช่วงจาก X ถึง Y จะมีมากกว่าช่วง O ถึง X มาก จะทำให้เกิดเป็นคลื่นรูปฟันเลื่อยขึ้น

ในทางปฏิบัติจะใช้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่สวิทชิ่ง (Switching) แทนสวิทช์ SW1 และ SW2 ดังภาพประกอบ 26 ซึ่ง TR เป็นแบบเอ็นพีเอ็น ถ้าเริ่มต้นให้เบสเป็นบวก แรงดันไฟฟ้าที่อิมิเตอร์จะเป็นบวกด้วยจากนั้นถ้าทำให้ TR หยุดนำกระแส C จะประจุผ่าน R4 ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่อิมิตเตอร์ค่อย ๆ ลดลงเพราะ R4 มีค่าน้อย จากนั้นถ้าให้เบสเป็นบวกอีก C จะคายประจุผ่าน R3 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า R4 มาก ทำให้อิมิตเตอร์เป็นบวกอย่างเร็ว ดังนั้นถ้าวัดแรงดันไฟฟ้าคร่อม R4 จะได้เป็นรูปฟันเลื่อยดังภาพประกอบ 26



ภาพประกอบ 26 วงจรกำเนิดคลื่นรูปฟันเลื่อย

คลื่นรูปฟันเลื่อยที่ได้จากวงจรในภาคประกอบ 26 นั้นจะไม่เพียงพอต่อการนำไปป้อนให้ขดลวดทำงานได้ จะต้องนำไปขยายให้มีขนาดเพิ่มมากขึ้นโดยใช้วงจรขยายคล้ายกับวงจรขยายในเครื่องขยายเสียงทั่วไป จากนั้นสัญญาณที่ถูกขยายแล้วจะถูกป้อนให้กับขดลวดเพื่อให้เกิดการกวาดในแนวตั้ง แต่เนื่องจากวงจรตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจะทำงานก็ต่อเมื่อได้รับสัญญาณควบคุมจากภายนอกซึ่งที่จริงแล้วก็คือสัญญาณซิงโครไนซ์แนวตั้ง แต่ถ้าเป็นเช่นนั้นในขณะที่ไม่มีสัญญาณภาพเข้ามาภาคนี้ก็จะไม่ทำงานจุดสว่างจะไม่เกิดการกวาดแต่จะอยู่คงที่ที่จุดกึ่งกลางของหลอดจอภาพ ถ้าเป็นเช่นนี้นาน ๆ จะทำให้สารเรืองแสงที่เคลือบไว้บริเวณนั้นเกิดการไหม้ทำให้เสียหายได้ ในการออกแบบจึงต้องทำให้วงจรส่วนนี้สร้างคลื่นรูปฟันเลื่อยขึ้นมาได้เองในขณะไม่มีสัญญาณซิงโครไนซ์เข้ามาแต่ต้องเริ่มทำงานใหม่เมื่อมีสัญญาณมาโดยการสร้างวงจรที่สามารถสร้างสัญญาณบังคับได้เอง เมื่อไม่มีสัญญาณซิงโครไนซ์โดยการป้อนสัญญาณที่ถูกขยายแล้วนี้กลับไปยังเบสของ TR ที่ทำหน้าที่สร้างคลื่นฟันเลื่อย โดยใช้หลักการแบบการกวาดของมิลเลอร์ ลักษณะของวงจรเป็นดังภาพประกอบ 27

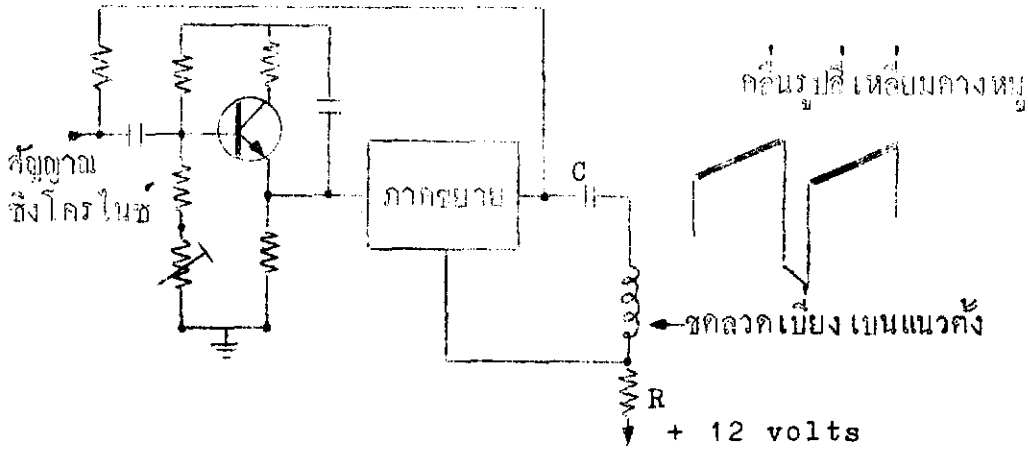


ภาพประกอบ 27 วงจรขยายสัญญาณแนวตั้ง

จากภาพประกอบ 27 กลื่นรูปฟันเลื่อยที่ได้จากวงจรโดยมี R1,R2 และ VR1 เป็นตัวกำหนดจุดทำงานของ TR1 เมื่อคลื่นรูปฟันเลื่อยถูกขยายโดยภาคขยายแล้วจะถูกป้อนให้กับขดลวด สัญญาณอีกส่วนหนึ่งจะถูกป้อนกลับผ่าน R7 และ C1 ไปยังเบสของ TR1 เมื่อเริ่มทำงานแรงดันไฟฟ้าที่เอ้าท์พุทของภาคขยายจะเป็นบวกสูงสุดหลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่เบสเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งซึ่งเป็นจุดทำงานของ TR1 จะทำให้ TR1 นำกระแส เอ้าท์พุทของภาคขยายก็จะกลับไปเป็นบวกอีกทำให้สามารถสร้างคลื่นรูปฟันเลื่อยได้เองโดยไม่ต้องมีสัญญาณจากภายนอกมาควบคุมการกำหนดจุดทำงานให้ TR1 นั้นสามารถปรับได้จาก VR1 ถ้าตั้งจุดทำงานไว้ที่แรงดันไฟฟ้าต่ำคลื่นรูปฟันเลื่อยใช้เวลาเพียงเล็กน้อยแรงดันไฟฟ้าที่เบสก็จะถึงจุดทำงาน ทำให้ได้คลื่นลูกใหม่เร็วความถี่ของคลื่นก็จะสูง แต่ถ้าตั้งจุดทำงานไว้สูงการเกิดคลื่นลูกใหม่ช้าลงทำให้ความถี่ต่ำลงด้วย ดังนั้น VR1 นี้เองจึงเป็นตัวกำหนดความถี่ของภาคบังคับแนวตั้ง แต่อย่างไรก็ตามการกำหนดจุดทำงานของ TR1 นั้นจะต้องไม่สูงเกินกว่าแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณซิงโครไนซ์เพราะเมื่อสัญญาณซิงโครไนซ์มาปรากฏที่เบสของ TR1 ไม่ว่าในขณะนั้นการทำงานของ TR1 จะอยู่ในช่วงใดของการสร้างคลื่นก็ตามแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณซิงโครไนซ์จะทำให้ TR1 เริ่มทำงานสร้างคลื่นลูกใหม่ทันทีทุกครั้ง นั่นคือทุกครั้งที่สัญญาณซิงโครไนซ์ปรากฏสัญญาณรูปฟันเลื่อยจะเป็นบวกสูงสุดทำให้สนามแม่เหล็กสะบัดจุดสว่างไปยังส่วนบนของหลอดจอภาพทุกครั้ง

ในการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวดนั้นต้องเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวดเป็นรูปฟันเลื่อยแต่จากการทดลองถ้าทำให้เกิดกระแสไฟฟ้ารูปฟันเลื่อยในขดลวดแล้ววัดแรงดันไฟฟ้าคร่อมขดลวดจะไม่เป็นแรงดันไฟฟ้ารูปฟันเลื่อย แต่จะเป็นแรงดันไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Coughlin & Driscoll.1976:172)

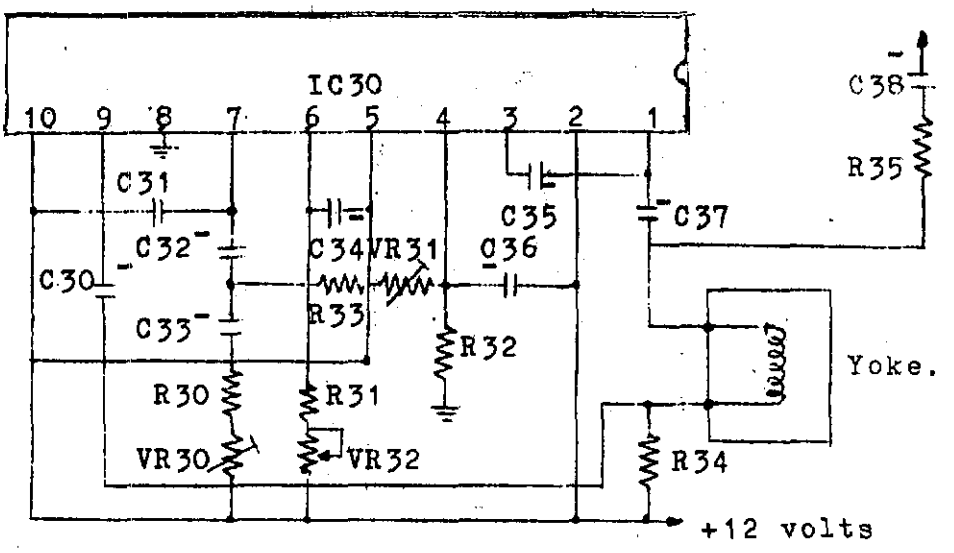
ดังนั้นการสร้างแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวดจำเป็นต้องสร้างให้มีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู แต่ที่สร้างได้จากวงจรดังกล่าวมาแล้วนั้นจะได้เป็นรูปฟันเลื่อย วงจรส่วนนี้จึงต้องเพิ่มบางส่วนเข้าไปซึ่งจะได้เป็นวงจรในภาพประกอบ 28 เมื่อแรงดันไฟฟ้ารูปฟันเลื่อยผ่าน C เข้าไปยังขดลวดนั้นอีกด้านหนึ่งของขดลวดจะต่อไว้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าบวกโดยผ่านตัวต้านทานค่าน้อย ๆ เพื่อนำแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมความต้านทานนี้ป้อนกลับไปยังวงจรขยายผลอันนี้จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากภาคขยายเป็นกลื่นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูตามต้องการ



ภาพประกอบ 28 วงจรสร้างคลื่นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

ในการออกแบบวงจรของภาคบังคับแนวตั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกออกแบบโดยใช้วงจรประมวล (Integrated Circuit) หรือไอซี (IC) ทำให้ลดความยุ่งยากและเพิ่มเสถียรภาพในการทำงานของภาคนี้ได้มาก โดยภายในไอซีจะประกอบด้วยวงจรกำเนิดคลื่นรูปฟันเลื่อยและวงจรขยายไว้ในตัว ส่วนอุปกรณ์อื่นที่ประกอบร่วมกับไอซีนั้นบริษัทผู้ผลิตได้กำหนดไว้อย่างเหมาะสมเกือบทั้งหมด วงจรสมบูรณ์เป็นดังภาพประกอบ 29

จากภาพประกอบ 29 ไอซีและอุปกรณ์อื่น ๆ ประกอบกันเพื่อสร้างคลื่นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูป้อนให้กับขดลวดโดยมี VR32 เป็นตัวปรับความถี่สัญญาณซิงโครไนซ์จะต่อเข้าทางขา 5 เมื่อสร้างคลื่นรูปฟันเลื่อยได้แล้วจะส่งออกทางขา 4 ผ่าน R32,R33 และ VR31 เพื่อแบ่งแรงดันไฟฟ้าของคลื่นให้เหมาะสมก่อนเข้าทำการขยายถ้าแรงดันไฟฟ้าของคลื่นสูงขนาดของภาพก็จะสูงด้วย ดังนั้น VR31 นี้จึงเป็นตัวปรับความสูงของภาพนั่นเอง แรงดันไฟฟ้าที่ถูกแบ่งแล้วจะผ่าน C32 ไปยังขา 7 เพื่อทำการขยาย ตัวเก็บประจุ C33,R30 และVR30 จะเป็นตัวปรับความเป็นเชิงเส้นของคลื่นรูปฟันเลื่อย เมื่อให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีอัตราการเพิ่มเป็นเชิงเส้นด้วย ตัวอักษรที่เกิดขึ้นบนหน้าจอจึงจะมีขนาดเท่ากันทุกบรรทัด สัญญาณที่ถูกขยายแล้วจะออกทางขา 1 ผ่าน C37 เข้าขดลวด แรงดันไฟฟ้ากร่อม R34 ซึ่งต่อไว้กับอีกด้านหนึ่งของขดลวดนั้นป้อนผ่าน C30 เพื่อเปลี่ยนกลับให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ส่วน

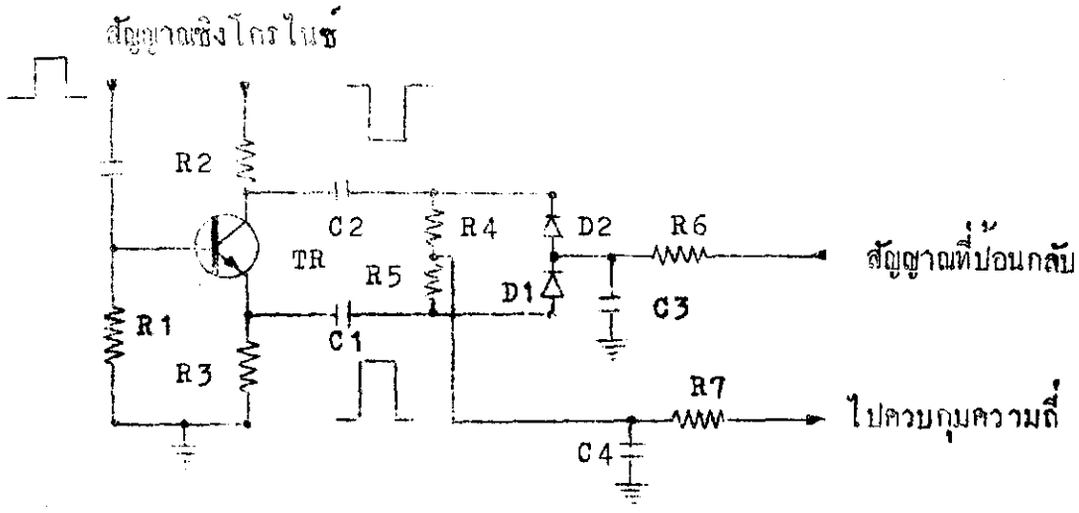


ภาพประกอบ 29 วงจรสมบูรณ์ของภาคบังคับแนวตั้ง

R31, VR32 และ C34 จะเป็นตัวกำหนดความถี่ของภาคนี้ สัญญาณอีกส่วนหนึ่งต่อผ่าน R35 และ C38 เพื่อส่งไปยังภาคขยายสัญญาณภาพไม่ให้เกิดเส้นสะบัดกลับ

3. ภาคบังคับแนวนอน การทำงานส่วนใหญ่ของภาคนี้จะคล้ายกันกับภาคบังคับแนวตั้ง แต่เนื่องจากในภาคนี้ความถี่ในการทำงานสูงถึง 15625 เฮิรทซ์ ความผิดปรกติของวงจรเพียงเล็กน้อยก็อาจทำให้ความถี่ของวงจรผิดไปได้ เมื่อความถี่ผิดไปจะทำให้การทำงานของภาคนี้ไม่สัมพันธ์กับสัญญาณซิงโครไนซ์ที่ได้รับจากวงจรแยกสัญญาณซิงโครไนซ์ ในภาคนี้จึงต้องมีวงจรควบคุมความถี่อัตโนมัติ (Automatic Frequency Control) หรือ เอ.เอฟ.ซี. ซึ่งจะทำงานได้โดยการนำสัญญาณซิงโครไนซ์และคลื่นรูปฟันเลื่อยที่ได้จากการสร้างของภาคนี้มาเปรียบเทียบกัน ผลของการเปรียบเทียบจะออกมาในรูปของแรงดันไฟฟ้าที่เป็นบวกหรือลบแล้วนำแรงดันไฟฟ้านี้ไปปรับความถี่ของวงจรให้มีความถี่คงที่ตลอดเวลา ลักษณะของวงจรเป็นดังภาพประกอบ 30

จากภาพประกอบ 30 เมื่อมีสัญญาณซิงโครไนซ์มาที่เบสของ TR ซึ่งประกอบกับ R1, R2 และ R3 เป็นวงจรขยายที่มีอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง คือมีขนาดของสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุทเท่ากัน แต่สัญญาณทางคอลเลคเตอร์และอิมิเตอร์จะกลับเฟสกันอยู่ 180

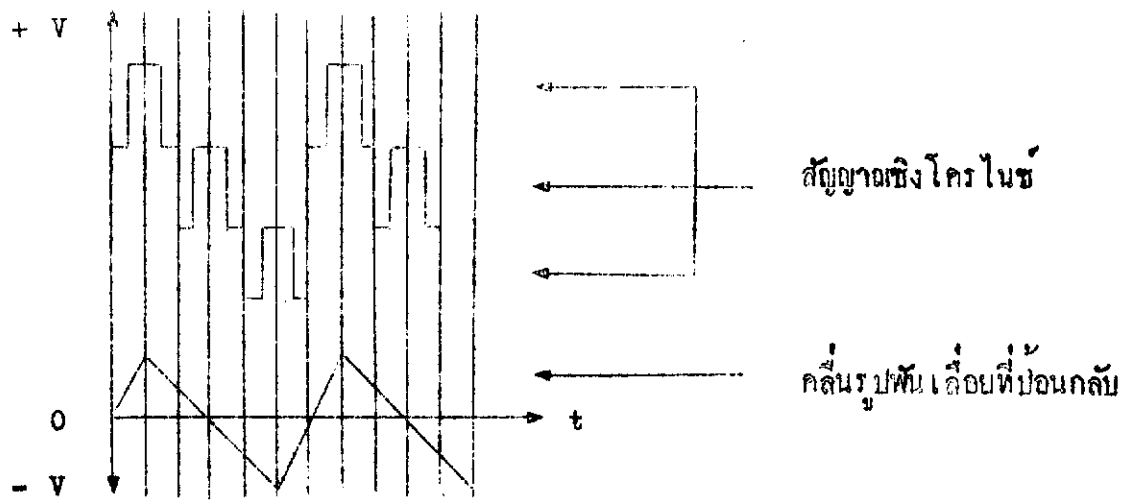


ภาพประกอบ 30 วงจรควบคุมความถี่อัตโนมัติ

องศา จากอินิทเตอร์และคอลเลคเตอร์จะต่อกับ C1 และ C2 ไปยัง D1 และ D2 ตามลำดับโดยทางแอโนดของ D1 ต่อกับคาโทดของ D2 ตรงรอยต่อนี้จะถูกต่อไว้กับ R6 และ C3 เพื่อรับสัญญาณที่ได้รับจากเอาท์พุทของภาคบังคับแนวนอนมาดัดรูปคลื่นให้เป็นรูปฟันเลื่อยแล้วนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณซิงโครไนซ์

ถ้าพิจารณาจากรูปคลื่นในภาพประกอบ 31 จะเห็นได้ว่า ถ้าความถี่ของสัญญาณรูปฟันเลื่อยเท่ากันพอดีกับความถี่ของสัญญาณซิงโครไนซ์ สัญญาณซิงโครไนซ์จะปรากฏที่เบสของ TR ในขณะที่สัญญาณรูปฟันเลื่อยผ่านจุดที่เป็นศูนย์พอดี แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของไดโอดจะหักล้างกันพอดีทำให้แรงดันไฟฟ้าที่รอยต่อของ R4 และR5 เป็นศูนย์ด้วย แรงดันไฟฟ้าที่ผ่าน R7 ไปยังภาคกำเนิดความถี่จะเป็นศูนย์ ความถี่ของภาคนี้จะไม่เปลี่ยนแปลง แต่ถ้าความถี่ของภาคนี้ต่ำกว่าความถี่ของสัญญาณซิงโครไนซ์ สัญญาณรูปฟันเลื่อยจะตกลงยังไม่ถึงศูนย์เมื่อสัญญาณซิงโครไนซ์มาถึงแรงดันไฟฟ้าบวกดังกล่าวจะถูกแปลงให้เป็นกระแสตรงด้วย D2 ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่เป็นบวกเมื่อเทียบกับดินเกิดขึ้นที่รอยต่อของ R4 และ R5ผ่าน R7 ไปยังวงจรกำเนิดความถี่โดยมี C4 เป็นตัวกรองกระแส แรงดันไฟฟ้าบวกนี้เองจะเป็นตัวปรับความถี่ให้สูงขึ้นในทางกลับกันถ้าความถี่ที่ได้จากภาคนี้สูงกว่า เมื่อสัญญาณซิงโครไนซ์มาปรากฏสัญญาณรูปฟันเลื่อยจะเลยจุดศูนย์ไปเป็นลบแล้วทำให้แรงดันไฟฟ้า

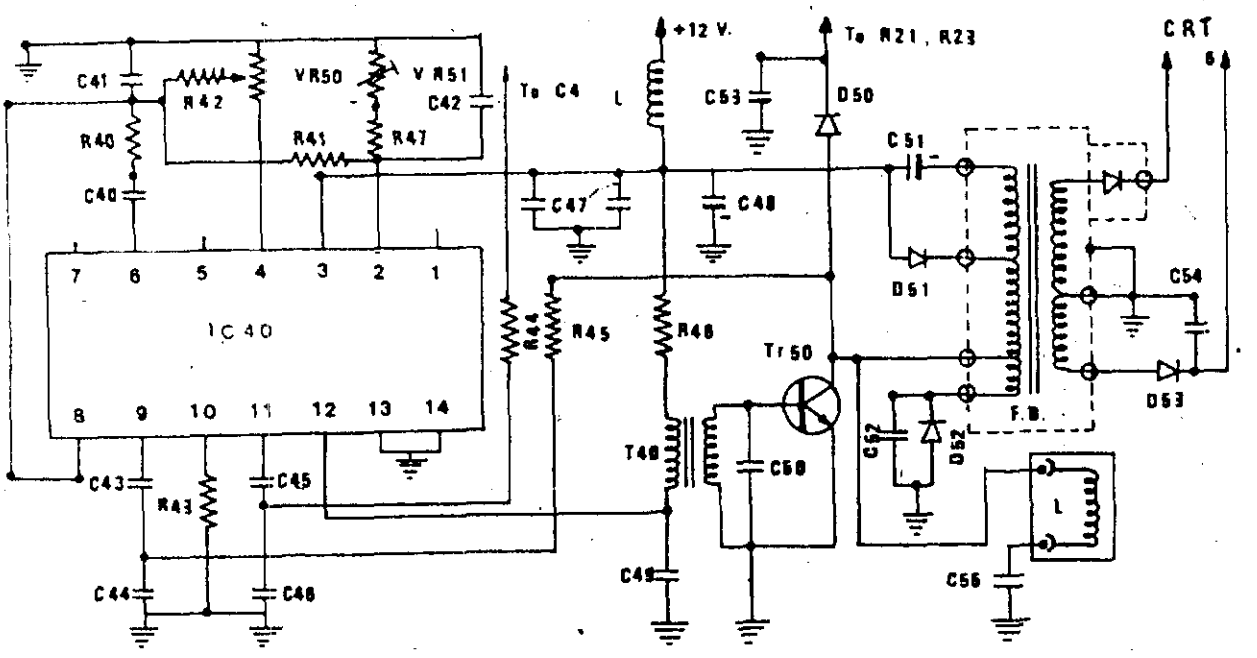
ที่ป้อนให้กับวงจรกำเนิดความถี่เป็นเลขฐานให้ความถี่ลดลง เวลาการเกิดสัญญาณทั้งสองนั้น พิจารณาได้จากรูปประกอบ 31



ภาพประกอบ 31 เปรียบเทียบสัญญาณซิงโครไนซ์กับสัญญาณรูปฟันเลื่อย

วงจรสมบูรณ์ของภาคบังคับแนวนอนเป็นดังภาพประกอบ 32 ซึ่งประกอบด้วยไอซี และอุปกรณ์ร่วมอีกเล็กน้อยแต่จะมีความคล้ายคลึงกับภาคบังคับแนวตั้งมากคือสัญญาณซิงโครไนซ์จะถูกส่งผ่าน R44,C45 เข้ายังขา 11 โดยมี R43 ที่ขา 10 เป็นตัวประกอบเป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชี่ยล สัญญาณป้อนกลับจากเอาท์พุทจะป้อนผ่าน R45,C44 เพื่อคัดสัญญาณให้เป็นรูปฟันเลื่อยแล้วส่งผ่าน C43 เข้าขา 9 ของไอซีเพื่อไปเปรียบเทียบกับสัญญาณซิงโครไนซ์ในเอ.เอฟ.ซี ซึ่งอยู่ภายใน โดยจะออกจากขา 8 แล้วกรองกระแสด้วย R40,C40 และC41 เพื่อป้อนให้กับวงจรควบคุมความถี่ผ่าน R41 เข้าขา 2 ที่ขา 2 นี้จะต่อกับ R47 และ VR50 เพื่อเป็นการปรับความถี่ภายในของภาคนี้ให้ได้ความถี่ที่ใกล้เคียงกับสัญญาณซิงโครไนซ์ให้มากที่สุด จากวงจรกำเนิดความถี่จะส่งออกจากไอซีทางขา 12 โดยมี T40 เป็นตัวเชื่อมต่อสัญญาณส่งเข้าเบสของ TR50 เพื่อขยายสัญญาณป้อนให้กับขดลวดต่อไป

จากสัญญาณที่ได้จากภาคนี้จะมีแรงดันไฟฟ้าและความถี่สูงพอสมควรจึงเป็นการง่ายที่จะนำไปสร้างเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง (High voltage supply) ซึ่งทำได้โดยการนำสัญญาณนี้ป้อนให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแปลงขึ้น (Step-up transformer)



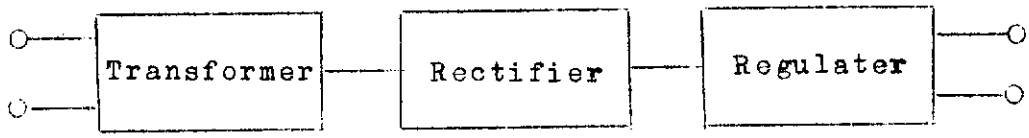
ภาพประกอบ 32 วงจรสมบูรณ์ของภาคบังคับแนวนอน

แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากขดลวดทุติยภูมิจะมีค่าประมาณ 12 กิโลโวลท์ แล้วทำการแปลงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยไดโอดที่ทนแรงดันไฟฟ้าได้สูง ๆ เพื่อป้อนให้กับหลอดจอภาพไปเร่งความเร็วของอิเลคตรอนดังที่กล่าวแล้วในตอนต้น จากภาพประกอบ 32 สัญญาณที่ได้มาจากภาคบังคับแนวนอนป้อนให้กับขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งเป็นขดลวดสามขด ขา 5 จะต่อกับแรงดันไฟฟ้า 12 โวลท์จากแหล่งจ่ายไฟ โดยผ่าน L50 C51 และ D51 ที่ต่อไว้กับขา 6 นั้นเพื่อประกอบกันเป็นวงจรบูสเตอร์ (Booster) คือในการสร้างไฟฟ้าแรงสูงเพื่อไปเร่งความเร็วนั้น แรงดันไฟฟ้าบวกที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟเพียง 12 โวลท์นั้นไม่เพียงพอจึงต้องเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้มากขึ้น การทำงานเกิดขึ้นได้เมื่อเบสของ TR ได้รับสัญญาณจากไอซีทำให้เปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้าที่คอลเลคเตอร์เป็นได้ทั้งบวกและลบเมื่อเทียบกับดิน เพราะการเชื่อมต่อวงจรทางเบสเป็นแบบใช้หม้อแปลง เมื่อสัญญาณผ่านเข้ายังขดลวดระหว่างขา 5 กับขา 6 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นจะถูก

แปลงให้เป็นกระแสตรงโดย D51 และ C51 เป็นตัวกรองกระแส ทำให้ที่ขา 5 มีแรงดันไฟฟ้าเป็นบวกสูงพอสมควร แรงดันไฟฟ้านี้จะไหลผ่านขดลวดช่วงขา 5 และ 1 ไปยังคอลเลคเตอร์ของ TR ทำให้มีแรงดันไฟฟ้าพอที่จะสร้างแรงดันไฟฟ้าที่มีขนาดสูง ๆ ให้กับหลอดจอภาพ ส่วน D52 และ C52 ที่ต่อไว้กับขา 3 ของขดลวดปฐมภูมินั้นจะช่วยลดการออสซิลเลตภายในซึ่งมักจะเกิดขึ้นกับขดลวดเบี่ยงเบน

แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากคอลเลคเตอร์ของ TR ส่วนหนึ่งจะถูกแปลงให้เป็นกระแสตรงประมาณ 100 โวลท์ด้วย D50 และ C53 เพื่อไปยังภาคขยายสัญญาณภาพดังที่กล่าวแล้วข้างต้น

4. ภาคจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ (Low voltage power supply) วงจรในภาคนี้ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์ ให้เป็นกระแสตรง 12 โวลท์ ซึ่งสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ 1.5 แอมแปร์ ส่วนประกอบสำคัญของวงจรภาคนี้ได้ออกแบบไว้ตามแผนผังวงจรในภาพประกอบ 33



ภาพประกอบ 33 แผนผังการทำงานของภาคแหล่งจ่ายไฟ

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแบบแปลงลง จะแปลงแรงดันไฟฟ้า 220 โวลท์ให้เป็น 15 โวลท์ ซึ่งมีอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าเข้าและออกเป็นดังสมการที่ 11 โดยขดลวดทั้งสองจะพันอยู่บนแกนเหล็กซิลิคอน (Silicon steel) รูป E และ I

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

เมื่อ N_1 แทนจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ

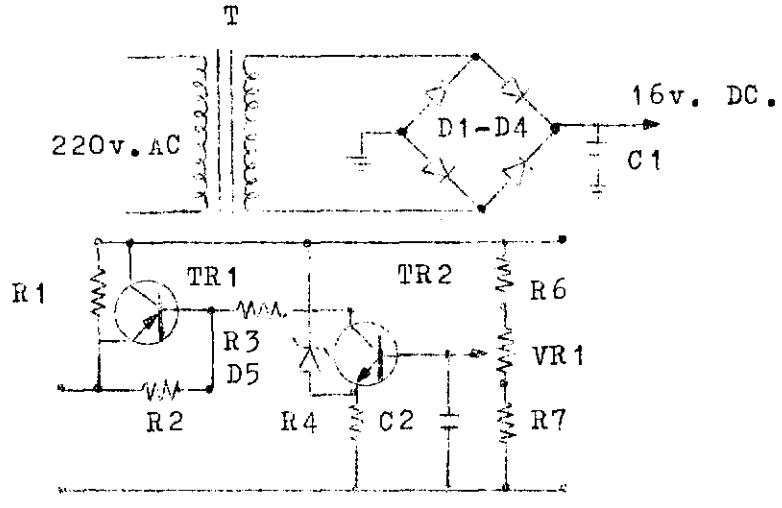
V_1 แทนแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิ

N_2 แทนจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

V_2 แทนแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิ

ตัวแปลงกระแสและตัวกรองกระแส (Rectifier & filter) ใช้ไดโอดแบบซิลิคอน (Silicon diode) ซึ่งจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ทางเดียวคือบวกหรือลบเท่านั้น จะใช้ทั้งหมดสี่ตัวต่อกันแบบบริดจ์ (Bridge rectifier) และใช้ตัวเก็บประจุทำหน้าที่กรองกระแสให้เรียบ

วงจรกำกับแรงดันไฟฟ้า (Regulater) จะกำกับแรงดันไฟฟ้าที่ถูกแปลงเป็นกระแสตรงแล้วให้มีแรงดันไฟฟ้าที่ 12 โวลท์คงที่เสมอไม่ว่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรจะเพิ่มหรือลดลงก็ตาม การทำงานอาศัยวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าดังที่เคยกล่าวมาแล้วในภาคขยายสัญญาณภาพ และใช้ลักษณะเฉพาะของซีเนอร์ไดโอด (Zener diode) ซึ่งจะรักษาแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมตัวเองให้คงที่อยู่เสมอ ลักษณะของวงจรในภาคนี้เป็นดังภาพประกอบ 34



ภาพประกอบ 34 วงจรภาคแปลงจ่ายไฟ

เมื่อพิจารณาจากภาพประกอบ 34 จะเห็นว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้า 220 โวลท์ปรากฏที่ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าจะเกิดแรงดันไฟฟ้า 15 โวลท์ขึ้นที่ขดลวดทุติยภูมิแรงดันไฟฟ้าที่จุดนี้จะเป็นแบบกระแสสลับ ไดโอด D1 - D4 จะเป็นตัวแปลงให้เป็นกระแสตรง แต่แรงดันไฟฟ้าดังกล่าวยังไม่เรียบพอที่จะป้อนให้กับวงจรส่วนต่าง ๆ ได้จึงต้องใช้ตัวเก็บประจุกรองกระแสให้เรียบขึ้น แต่เนื่องจากการทำงานของวงจรในภาคต่าง ๆ จำเป็นต้องใช้แรงดันไฟฟ้าที่คงที่เพราะถ้าแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนไปอาจทำให้การทำงานของวงจรเปลี่ยนไปได้ จึงต้องนำแรงดันไฟฟ้านี้ไปผ่านวงจรกำกับแรงดันไฟฟ้า เพื่อกำกับให้คงที่เสมอ ตามวงจรในภาพประกอบ 34 เมื่อแรงดันไฟฟ้าเข้าทางอิมิตเตอร์ของ TR1 ซึ่งเป็นแบบพีเอ็นพี กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านไปได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับความต้านทานของ TR1 ซึ่งกำกับได้ด้วยเบส ถ้าที่เบสมีแรงดันไฟฟ้าสูงกระแสไฟฟ้าจะไหลไปได้น้อย R6,R7 และ VR1 ต่อกันเป็นวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าป้อนให้กับเบสของ TR2 โดยมี C2 กรองกระแสให้เรียบขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่เบสของ TR2 นั้นปรับได้จาก VR1 การเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าที่เบสของ TR2 จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่เบสของ TR1 เปลี่ยนไปด้วย เพราะเบสของ TR1 ต่อไว้กับคอลเลคเตอร์ของ TR2 ผ่าน R5 ในสภาวะปรกติถ้าปรับ VR1 จนได้แรงดันไฟฟ้าที่คอลเลคเตอร์ของ TR1 เป็น 12 โวลท์ หลังจากนั้นถ้าแรงดันไฟฟ้าที่อิมิตเตอร์ของ TR1 เปลี่ยนแปลงไปที่คอลเลคเตอร์ก็จะเปลี่ยนไปด้วยทำให้ที่เบสของ TR2 เปลี่ยนแต่เนื่องจากที่อิมิตเตอร์ของ TR2 ต่อไว้กับ R4 และ D5 ซึ่งเป็นซีเนอร์ไดโอดทำให้มีแรงดันไฟฟ้าคงที่เสมอ การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่เบสของ TR2จะกลับไปควบคุม TR1 ให้ที่คอลเลคเตอร์มีแรงดันไฟฟ้าเป็น 12 โวลท์อย่างเดิม

บทที่ 4

การสร้างจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์ และผลการทดลอง

ลักษณะของจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์

จอแสดงผลที่สร้างขึ้นมีลักษณะดังนี้

1. ตัวเครื่อง (ดังแสดงในภาพประกอบ 35) ทำด้วยไม้ ด้านหน้าจะเป็นที่ยึดหลอดจอภาพและสวิทช์ควบคุมต่าง ๆ คือ

1.1 สวิทช์และปุ่มปรับ

1.1.1 สวิทช์ ปิด-เปิด เป็นสวิทช์แบบกด ภายในตัวสวิทช์มีหลอดไฟฟ้าซึ่งจะติดสว่างขึ้นขณะที่สวิทช์อยู่ในตำแหน่งปิดวงจร

1.1.2 ปุ่มปรับความสว่าง (Brightness control) ใช้สำหรับปรับความสว่างของภาพบนหน้าจอให้มีความสว่างที่เหมาะสม

1.1.3 ปุ่มปรับความเข้ม (Contrast control) ใช้สำหรับปรับความคมชัดของภาพเพื่อให้ได้รายละเอียดของภาพมากที่สุด

1.1.4 ปุ่มปรับภาพเลื่อน (Vertical hold) ใช้สำหรับปรับความถี่ของกลื่นรูปฟันเลื่อยในภาคบังคับแนวตั้งให้พอดีกับความถี่ของสัญญาณซิงโครไนซ์แนวตั้ง เพื่อให้ภาพบนหน้าจอไม่เลื่อนขึ้นลง

1.1.5 ปุ่มปรับภาพล้ม (Horizontal hold) ใช้สำหรับปรับความถี่ของกลื่นรูปฟันเลื่อยในภาคบังคับแนวนอนให้พอดีกับความถี่ของสัญญาณซิงโครไนซ์แนวนอน จะทำให้ภาพไม่ล้มไปทางซ้ายหรือทางขวา

1.2 ปลั๊กเสียบ เป็นแบบอาร์ซีเอ (RCA jack) ใช้สำหรับรับสัญญาณจากเครื่องคอมพิวเตอร์หนึ่งตัวอยู่ทางด้านหลังของตัวเครื่อง

1.3 วงจรและชิ้นส่วน วงจรของจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์ ได้แบ่งออกเป็นสี่ส่วนคือ ภาคขยายสัญญาณภาพและสัญญาณซิงโครไนซ์ ภาคบังคับแนวตั้ง ภาคบังคับแนวนอนและภาคแหล่งจ่ายไฟ ดังแสดงในภาพประกอบ 36, 37, 38และ 39 ตามลำดับ ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของวงจรตามหมายเลขอ้างอิงในภาพประกอบดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

1.3.1 วงจรภาคขยายสัญญาณภาพและสัญญาณซิงโครไนซ์

หมายเลขอ้างอิง		รายละเอียดประกอบ
R1	27 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R2	33 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R3	470 โอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R4	220 โอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R5	820 โอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R6	390 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R7	47 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R8	1 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R9	680 โอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R10	15 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R11	3.3 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R12	2.7 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R13	120 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R14	180 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R15	470 โอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R16	100 โอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R17	390 โอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R18	470 โอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R19	560 โอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R20	1 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R21	5.6 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R22 ,R25	1.5 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R23	270 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R24 ,R26	1 เมกกะโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่

หมายเลขอ้างอิง		รายละเอียดประกอบ
R27	2.2 เมกกะโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
C1	10 ไมโครฟารัด 16 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรไลท์
C2,C4	2.2 ไมโครฟารัด 16 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรไลท์
C3	.022 ไมโครฟารัด 50 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบไมล่าร์
C5	.0047 ไมโครฟารัด 50 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบไมล่าร์
C6	.01 ไมโครฟารัด 50 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบไมล่าร์
C7	4.7 ไมโครฟารัด 16 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรไลท์
C8	100 ไมโครฟารัด 16 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรไลท์
C9	470 พิกโกฟารัด 50 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบเซอรามิค
TR1	2 SC 710	ทรานซิสเตอร์แบบ เอ็นพีเอ็น
TR2,TR3	2 SA 733	ทรานซิสเตอร์แบบพีเอ็นพี
TR4	2SC 1921	ทรานซิสเตอร์แบบ เอ็นพีเอ็น
D1	1 N 4007	ไดโอดแบบซิลิคอน
V1	3H 5 AU	หลอดจอภาพขนาด 12 นิ้ว

1.3.2 วงจรภาคบังคับแนวตั้ง

หมายเลขอ้างอิง		รายละเอียดประกอบ
R30	1 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R31	27 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R32	2.7 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R33	8.2 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R34	.47 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R35	5.6 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
C31	220 ไมโครฟารัด 16 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรไลท์
C32	.022 ไมโครฟารัด 50 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบไมล่าร์

หมายเลขอ้างอิง	รายละเอียดอุปกรณ์		
C32	10 ไมโครฟารัด	16 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรไลท์
C33	2.2 ไมโครฟารัด	16 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรไลท์
C34	1 ไมโครฟารัด	16 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรไลท์
C35	47 ไมโครฟารัด	16 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรไลท์
C36,C38	4.7 ไมโครฟารัด	16 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรไลท์
C37	2200 ไมโครฟารัด	16 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรไลท์
IC30			ไอซีภาคบังคับแนวตั้ง
L30			ขดลวดบังคับแนวตั้ง
VR30	5 กิโลโอห์ม		ตัวต้านทานปรับค่าได้
VR31	10 กิโลโอห์ม		ตัวต้านทานปรับค่าได้
VR32	50 กิโลโอห์ม		ตัวต้านทานปรับค่าได้

1.3.3 ภาคบังคับแนวนอน

หมายเลขอ้างอิง	รายละเอียดประกอบ		
R40	2.2 กิโลโอห์ม		ตัวต้านทานค่าคงที่
R41	150 กิโลโอห์ม		ตัวต้านทานค่าคงที่
R42	560 กิโลโอห์ม		ตัวต้านทานค่าคงที่
R43	2.2 กิโลโอห์ม		ตัวต้านทานค่าคงที่
R44	820 โอห์ม		ตัวต้านทานค่าคงที่
R45	10 กิโลโอห์ม		ตัวต้านทานค่าคงที่
R46	15 โอห์ม		ตัวต้านทานค่าคงที่
R47	3.3 กิโลโอห์ม		ตัวต้านทานค่าคงที่
C40	1 ไมโครฟารัด	50 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรไลท์
C41	.0047 ไมโครฟารัด	50 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรไลท์
C42	.0033 ไมโครฟารัด	50 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรไลท์
C43	0.1 ไมโครฟารัด	50 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรไลท์

หมายเลขอ้างอิง	รายละเอียดประกอบ
C44	.047 ไมโครฟารัด 50 โวลท์ ตัวเก็บประจุแบบไมล่าร์
C45,C46	560 พิกโกฟารัด 50 โวลท์ ตัวเก็บประจุแบบเซอรามิค
C47	.01 ไมโครฟารัด 50 โวลท์ ตัวเก็บประจุแบบไมล่าร์
C48	470 ไมโครฟารัด 16 โวลท์ ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรไลท์
C49	.0022 ไมโครฟารัด 50 โวลท์ ตัวเก็บประจุแบบไมล่า
C50,C54	.022 ไมโครฟารัด 50 โวลท์ ตัวเก็บประจุแบบไมล่าร์
C51	220 ไมโครฟารัด 16 โวลท์ ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรไลท์
C52	.068 ไมโครฟารัด 1000 โวลท์ ตัวเก็บประจุแบบไมล่าร์
C53	10 ไมโครฟารัด 160 โวลท์ ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรไลท์
C55	6.8 ไมโครฟารัด 50 โวลท์ ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรไลท์ ชนิดสองขั้ว
D50,D52,D53	1 N 4007 ไดโอดแบบซิลิคอน
D51	1 N 5004 ไดโอดแบบซิลิคอน
TR50	2 SC 681 ทรานซิสเตอร์แบบพีเอ็นพี
L50	150 ไมโครเฮนรี่ ขดลวดเหนี่ยวนำ
L51	ขดลวดเบี่ยงเบนแนวนอน
T40	HDT-02 หม้อแปลงสำหรับเชื่อมต่อวงจร
T41	FT-02 หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง
VR50	50 กิโลโอห์ม ตัวต้านทานปรับค่าได้
VR51	10 กิโลโอห์ม ตัวต้านทานปรับค่าได้
IC50	HA 1166 ไอซีภาคบังคับแนวนอน

1.3.4 วงจรภาคแหล่งจ่ายไฟ

หมายเลขอ้างอิง		รายละเอียดประกอบ
R60	47 โอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่ 5 วัตต์
R61	330 โอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R62	100 โอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R63	82 โอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R64	1 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
R65	1.2 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานค่าคงที่
VR60	1 กิโลโอห์ม	ตัวต้านทานปรับค่าได้
C60,C61,C62,C63	.01 ไมโครฟารัด 50 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบไมล่าร์
C64	3300 ไมโครฟารัด 25 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรไลท์
C65	33 ไมโครฟารัด 16 โวลท์	ตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรไลท์
ZD60		ซีเนอร์ไดโอดขนาด 7 โวลท์

ตัวต้านทานทุกตัวเป็นแบบมีค่าผิดพลาดได้ 5% และทนกำลังไฟฟ้าได้ 1/4 วัตต์ ยกเว้นตัวที่มีค่ากำหนดไว้

<u>แผ่นวงจรพิมพ์</u>

เนื่องจากผู้วิจัยทำการทดลองสร้างวงจรโดยการแยกออกเป็นภาคต่าง ๆ ดังนั้นจึงทำให้มีแผ่นวงจรพิมพ์หลายแผ่น กอนการออกแบบผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการทำงานของวงจรด้วยแผงวงจรแบบเสียบ เมื่อแน่ใจว่าวงจรสามารถทำงานได้ตามที่กำหนดแล้วจึงนำมาเขียนแบบทางเดินของกระแสไฟฟ้าบนกระดาษไขซึ่งมีตารางไว้เขียนแบบ

ในการทำแผ่นวงจรพิมพ์ ผู้วิจัยลอกแบบของลายวงจรพิมพ์จากแบบที่ออกไว้ลงบนด้านที่เป็นทองแดงของแผ่นวงจรพิมพ์ แล้วใช้ปากกาซึ่งที่เป็นหมึกวิทยาศาสตร์เขียนตามแบบจากนั้นนำไปแช่ในสารละลายเฟอริคคลอไรด์ ส่วนที่เขียนด้วยปากกาจะยังคงอยู่ส่วนที่ไม่ได้เขียนจะหลุดออกไป หลังจากนั้นเจาะด้วยน้ำยาผงชักฟอกใช้สะอาดแล้วเช็คหมึกออกด้วยทินเนอร์นำไปเจาะรูด้วยสว่านไฟฟ้าเครื่องมือสำหรับเจาะนั้นใช้ดอกสว่านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/64 นิ้ว นำยางสนและลายกับทินเนอร์ให้ได้ความข้นพอประมาณทาให้ทั่วจะทำให้แผ่นวงจร

สินค้าในท้องตลาดนั้นมีราคาแพง และยังช่วยให้การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ง่ายขึ้น

การทดสอบการทำงานและการปรับแต่งจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์

จอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นได้ทำการทดสอบกับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบแอปเปิ้ลสองโดยได้ผลการทดลองดังนี้คือ

1. ก่อนเปิดเครื่องปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ทุกตัวไว้ที่ตำแหน่งกึ่งกลาง จากนั้นเปิดเครื่องโดยยังไม่ต่อสัญญาณเข้า รอประมาณหนึ่งนาทีวัดแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากภาคจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้ประมาณ 13.5 โวลท์ ซึ่งสูงกว่าที่กำหนดไว้ ปรับ VR60 จนวัดแรงดันไฟฟ้าได้ 11.5 โวลท์ แต่ได้ยินเสียงกังหวีดออกมาจากเครื่องอันเป็นผลมาจากความถี่ที่บังคับแนวนอนสร้างขึ้นมานั้นสูงเกินไป ปรับ VR51 จนเสียงดังกล่าวหายไปแล้วปรับ VR2ซึ่งเป็นตัวปรับความสว่างจนเห็นหน้าจอสว่างขึ้น

2. ปิดเครื่องแล้วต่อสัญญาณจากคอมพิวเตอร์เข้าทางขั้วเสียบสัญญาณเข้า เปิดเครื่องใหม่เมื่อเห็นจอสว่างจึงเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์จะมีตัวอักษรปรากฏที่หน้าจอ ปรับ VR50 จนตัวอักษรหายเอียงจากนั้นปรับ VR32 จนตัวอักษรไม่เคลื่อนขึ้นลงจะเห็นเป็นตัวอักษร "COMPUTER" ชัดเจน ปรับ VR31 จนส่วนบนของตัวอักษรต่ำกว่าขอบจอด้านบนประมาณหนึ่งนิ้วและปรับวงแหวนที่คอยู่ภายด้านหลังของชดลวดเบี่ยงเบนจนตัวอักษรอยู่ตรงกลางจอภาพตามต้องการ

3. พิมพ์ตัวอักษรจากเครื่องคอมพิวเตอร์หลาย ๆ ตัวจนเห็นเป็นตัวอักษรเต็มหน้าจอเรียงกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมแล้วปรับ VR3 ให้ได้ภาพที่มีความคมชัดมากที่สุด ซึ่งในการปรับ VR3 นี้ต้องปรับอย่างช้า ๆ ขั้นสุดท้ายคือปรับ VR30 ในภาคบังคับแนวตั้งจนได้ขนาดของตัวอักษรสูงเท่ากันทุกบรรทัด

จากขั้นตอนทั้งสามที่กล่าวมาทำให้ได้จอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์ที่มีคุณสมบัติตรงตามจุดมุ่งหมายที่ตั้งไว้

การคิดราคาและเปรียบเทียบกับท้องตลาด

ในการออกแบบสร้างจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์ครั้งนี้ผู้วิจัยได้เสียค่าใช้จ่ายในการจัดซื้ออุปกรณ์ที่นำมาสร้างดังนี้คือ

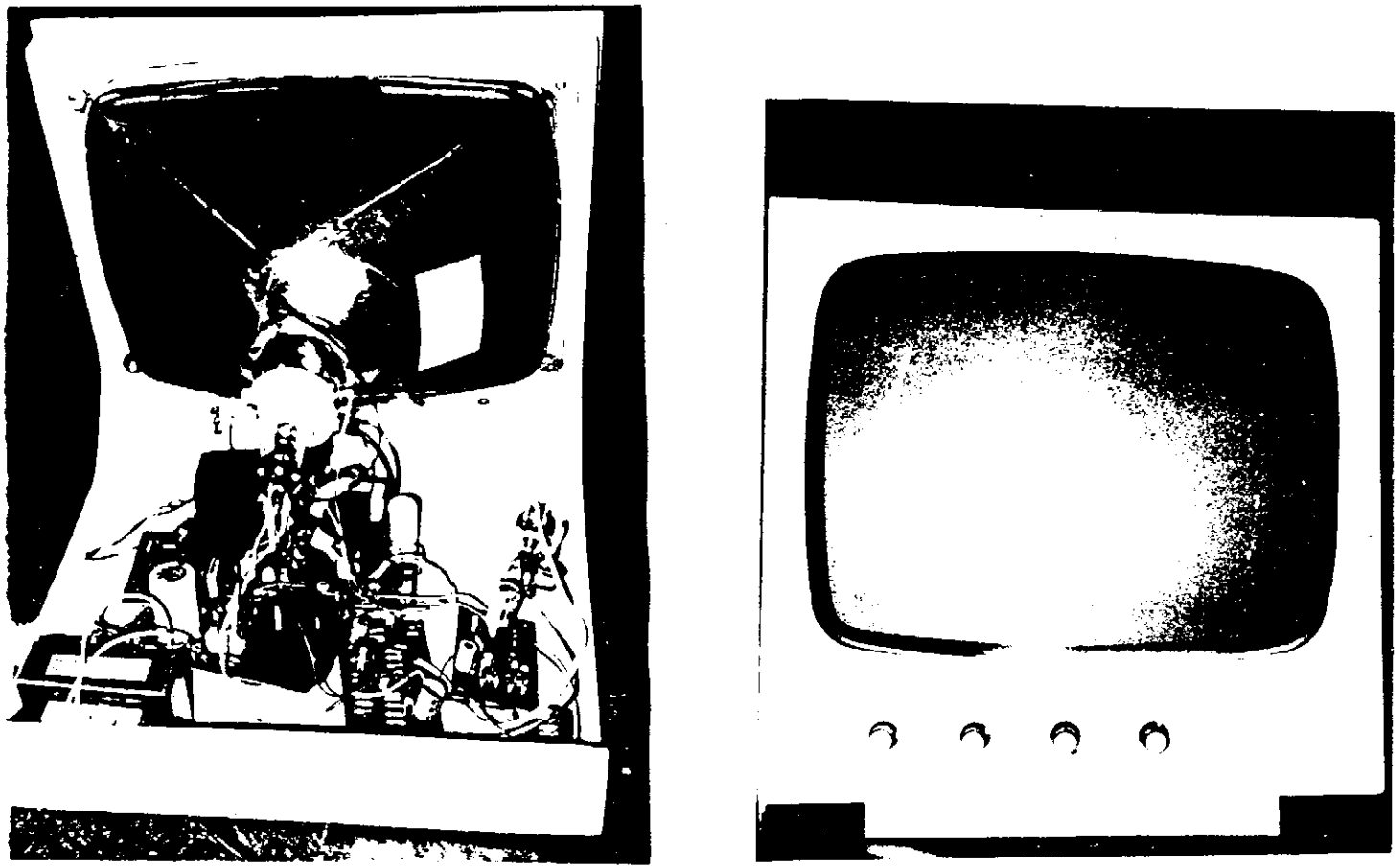
1.	หลอดจอภาพ	เป็นเงิน	600 บาท
2.	หม้อแปลงไฟฟ้า	เป็นเงิน	55 บาท
3.	หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง (ฟลายแบ็ค)	เป็นเงิน	200 บาท
4.	ไอซีสองตัว	เป็นเงิน	90 บาท
5.	ทรานซิสเตอร์เร็ดตัว	เป็นเงิน	95 บาท
6.	ไดโอด 11 ตัว	เป็นเงิน	22 บาท
7.	ตัวเก็บประจุ 43 ตัว	เป็นเงิน	126 บาท
8.	ตัวต้านทานกาดงที่ 49 ตัว	เป็นเงิน	15 บาท
9.	ตัวต้านทานปรับค่าได้เกาตัว	เป็นเงิน	43 บาท
10.	ขดลวดเบี่ยงเบน	เป็นเงิน	150 บาท
11.	แผ่นวงจรพิมพ์	เป็นเงิน	40 บาท
12.	ตัวเครื่อง และอุปกรณ์ประกอบ	เป็นเงิน	300 บาท
13.	เบ็ดเตล็ด	เป็นเงิน	100 บาท
		รวมเป็นเงิน	1736 บาท

สำหรับราคาจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์ที่มีขายในท้องตลาดปัจจุบันมีดังนี้

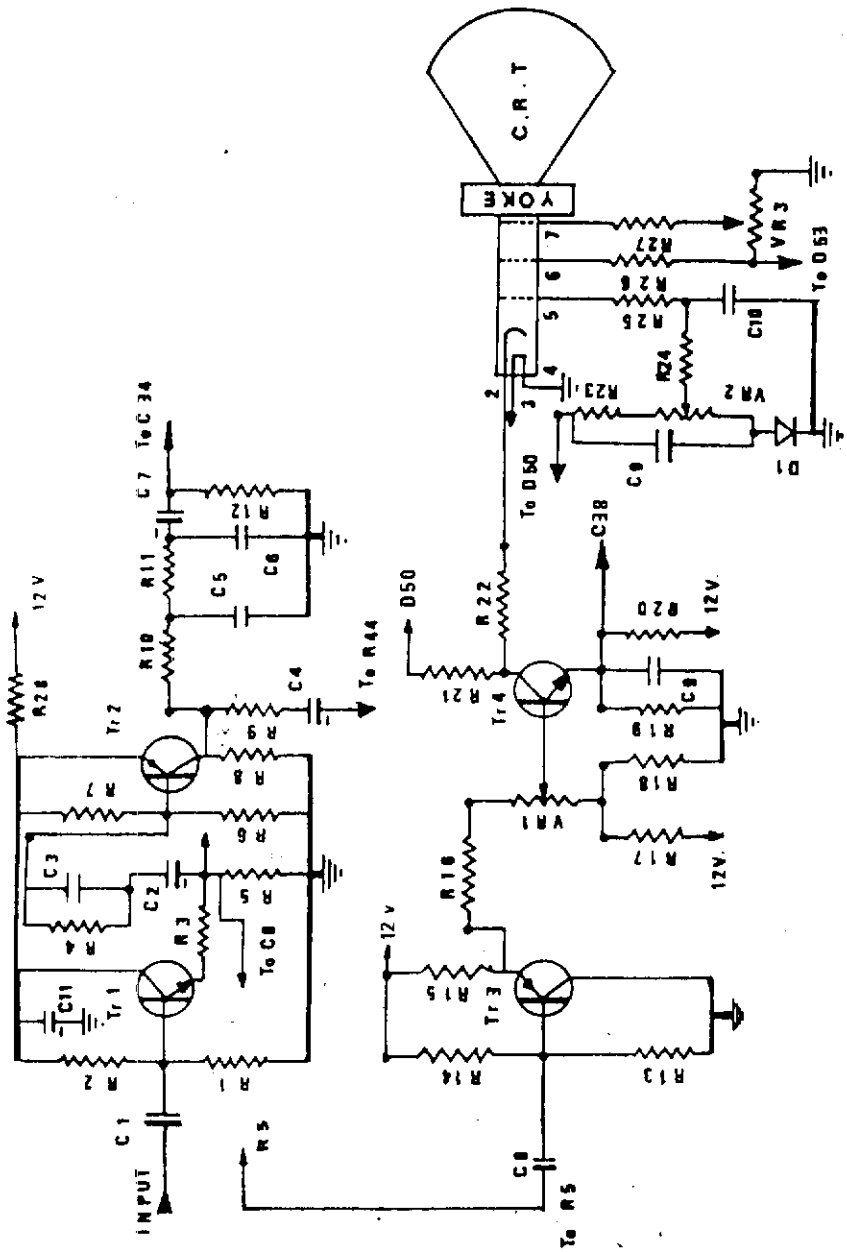
บริษัทยูนิคอม	ราคาขาย	3500 บาท
บริษัทคอมโปร	ราคาขาย	3800 บาท
บริษัทสยามเทลเทค	ราคาขาย	3600 บาท
บริษัทฟาร์อีสท์ คอมพิวเตอร์	ราคาขาย	3500 บาท
บริษัทวีระศักดิ์อุตสาหกรรม	ราคาขาย	3400 บาท
บริษัทซีมิค	ราคาขาย	3600 บาท

บริษัทกรุงเทพคอมพิวเตอร์	ราคาขาย	3800 บาท
บริษัทกรุงเทพพุรกัยส์	ราคาขาย	3800 บาท
บริษัทเอ็กซ์เซลคอมพิวเตอร์	ราคาขาย	3800 บาท
บริษัทซุปเปอร์เรียลคอมพิวเตอร์	ราคาขาย	3600 บาท
บริษัทบิวซิเนสคอมพิวเตอร์	ราคาขาย	3600 บาท

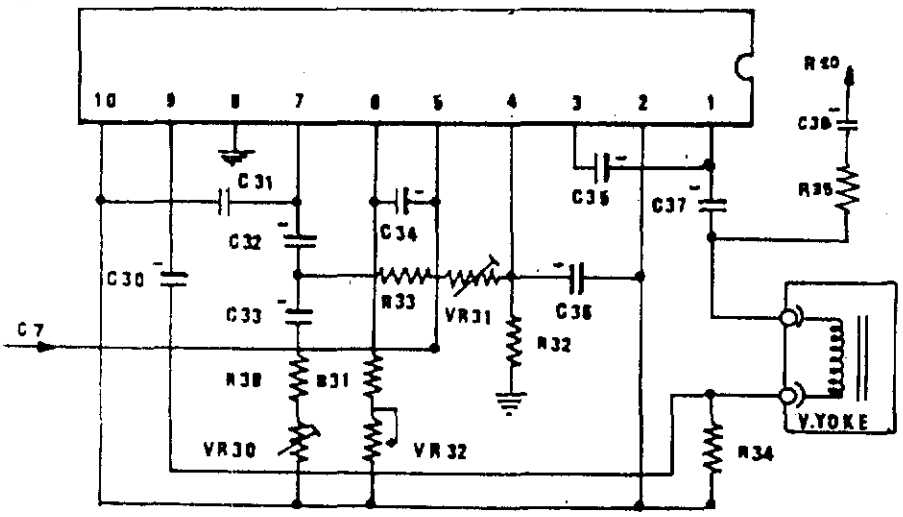
จากราคาขายของบริษัททั้งหมด 11 บริษัท คิดเป็นราคาเฉลี่ยได้ 3500 บาท แต่ในการสร้างครั้งนี้เสียค่าใช้จ่ายเพียง 1736 บาท ซึ่งถูกกว่าท้องตลาดถึง 1764 บาท คิดเป็นร้อยละได้ 50.4



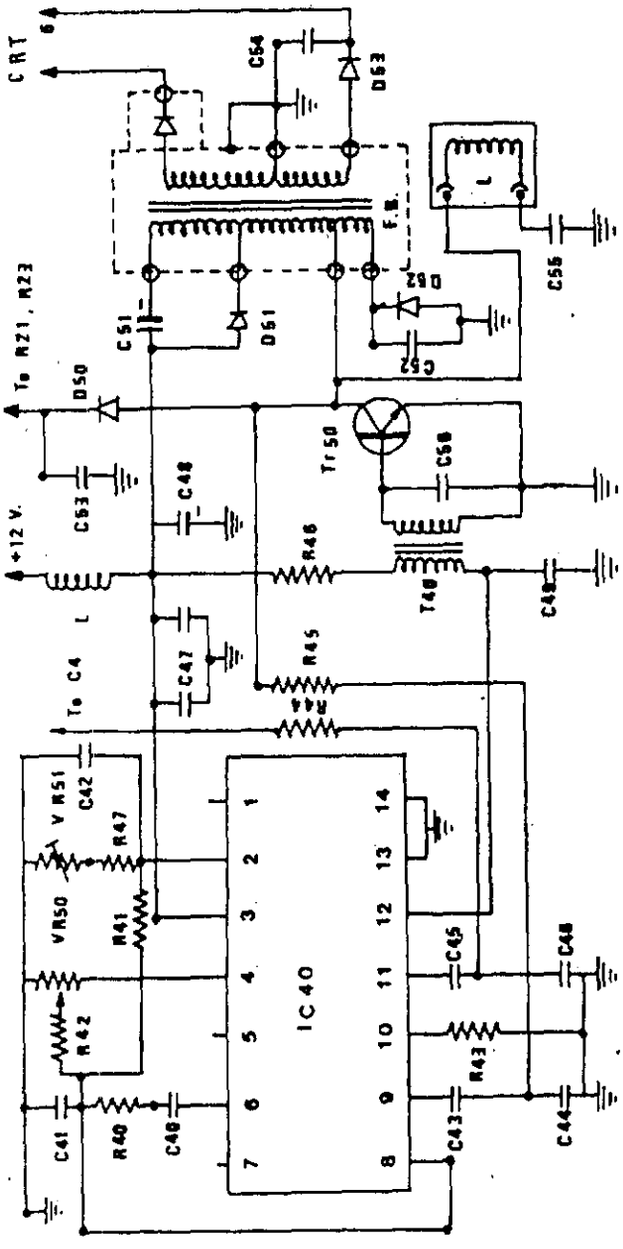
ภาพประกอบ 35 แสดงตัวเครื่องของจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์



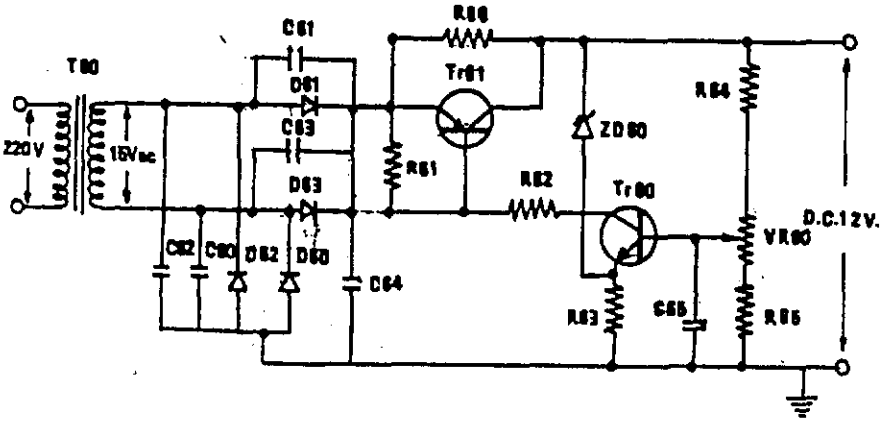
ภาพประกอบ 36 วงจรสัญญาณของภาคขยายสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงโทรทัศน์



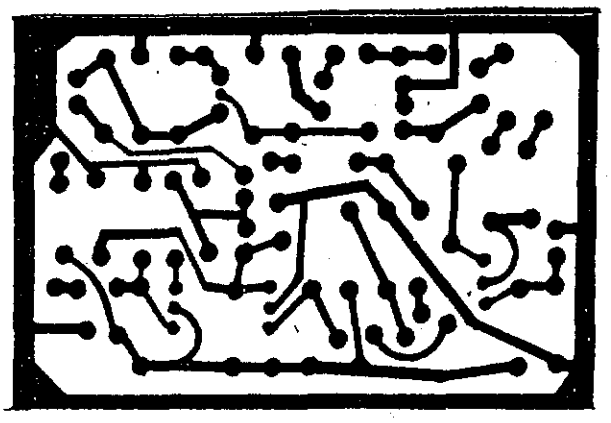
ภาพประกอบ 37 วงจรสมบูรณ์ของภาคบังคับแนวตั้ง



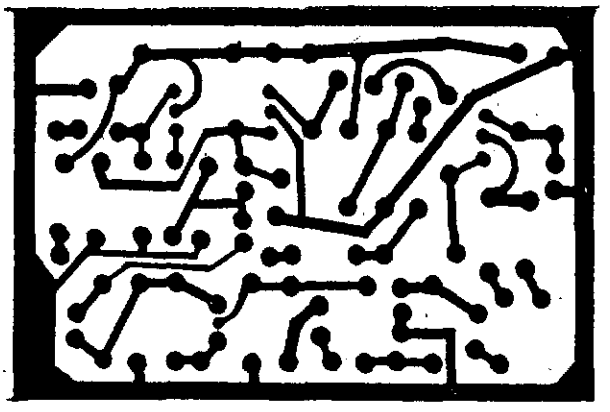
ภาพประกอบ 38 วงจรสัมบูรณของภาคบังคับแนวนอน



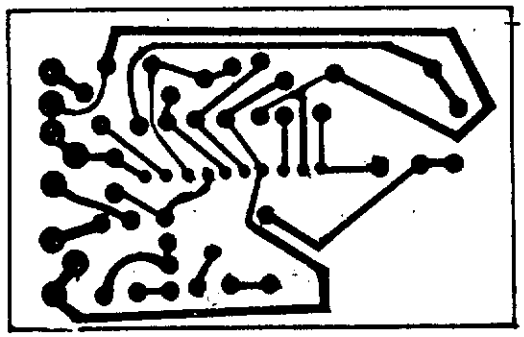
ภาพประกอบ 39 วงจรสมบูรณ์ของภาคแหล่งจ่ายไฟ



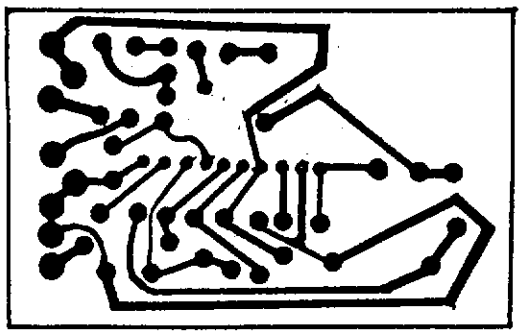
ภาพประกอบ 40 แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรภาคซยาย
สัญญาณภาพและสัญญาณซิงโครไนซ์มองจากด้านบน



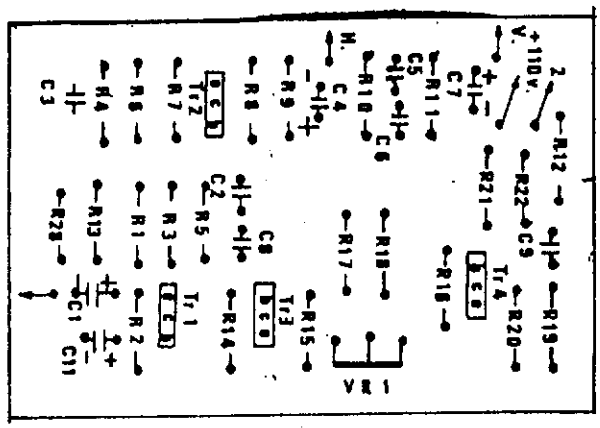
ภาพประกอบ 41 แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรภาคซยาย
สัญญาณภาพและสัญญาณซิงโครไนซ์มองจากด้านล่าง



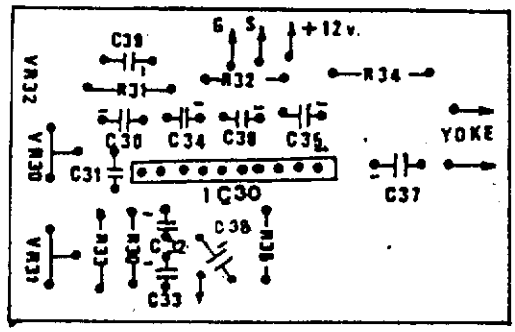
ภาพประกอบ 42 แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรภาคบังคับแนวตั้งมองจากด้านบน



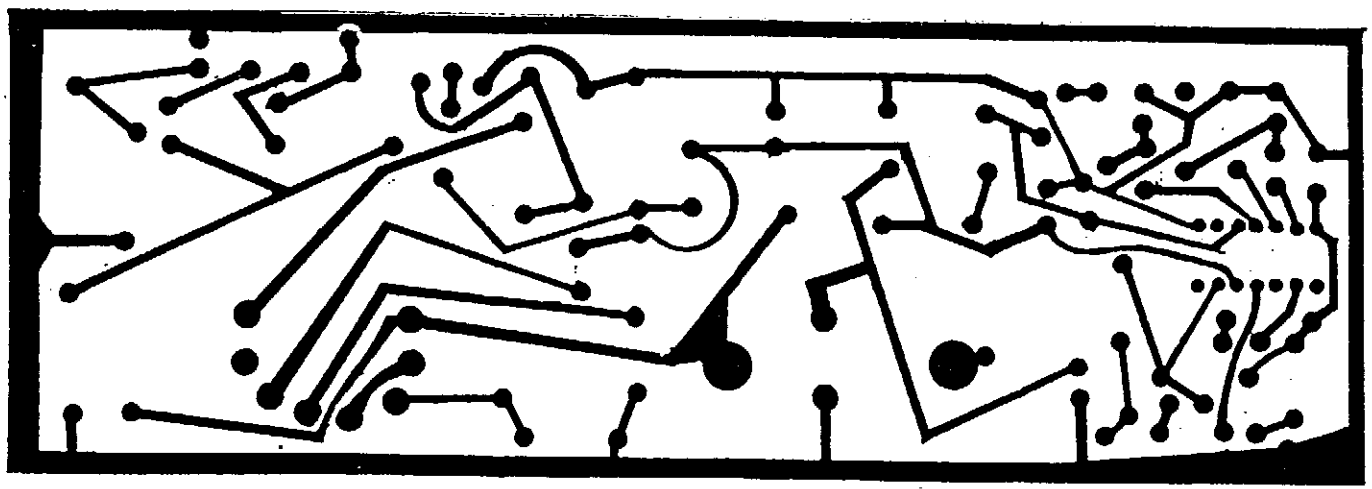
ภาพประกอบ 43 แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรภาคบังคับแนวตั้งมองจากด้านล่าง



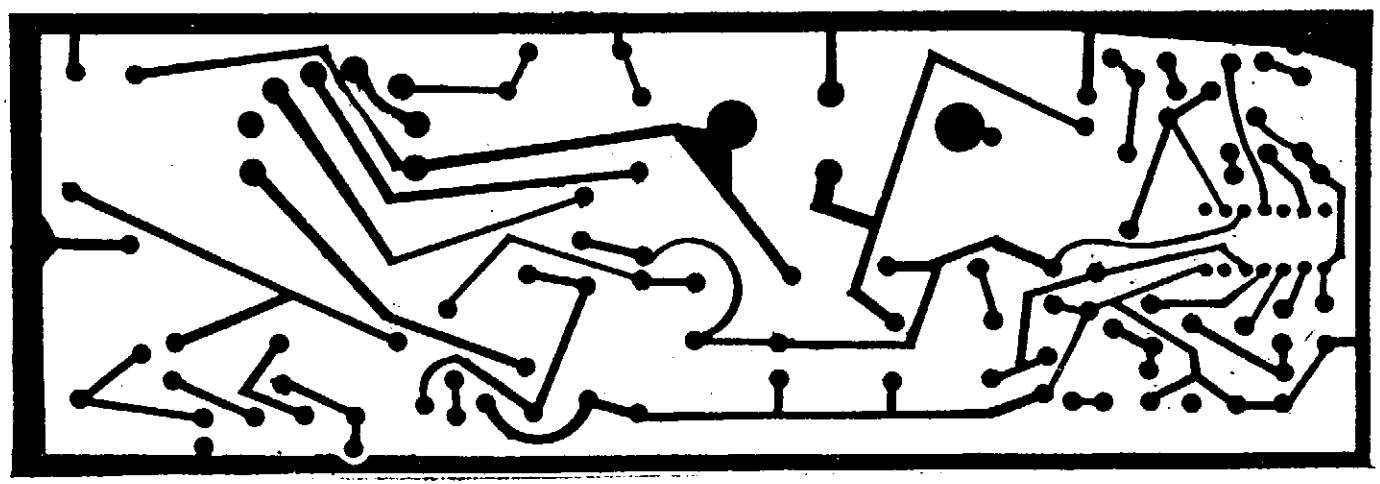
ภาพประกอบ 44 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของภาคขยาย
สัญญาณภาพและสัญญาณซิงโครไนซ์ มองจากด้านบน



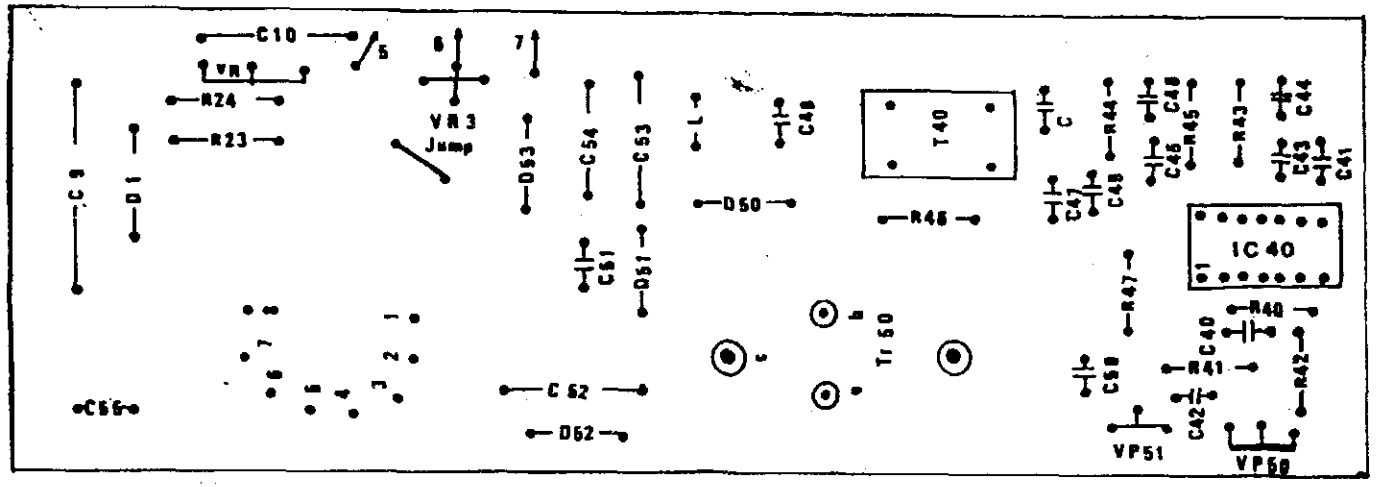
ภาพประกอบ 45 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของวงจรภาคบังคับแนวตั้งมองจากด้านบน



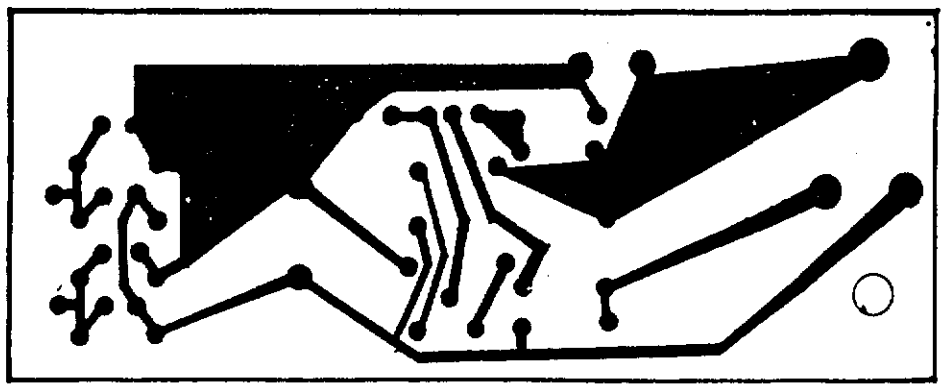
ภาพประกอบ 46 แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรภาคบังคับแนวนอนมองจากด้านบน



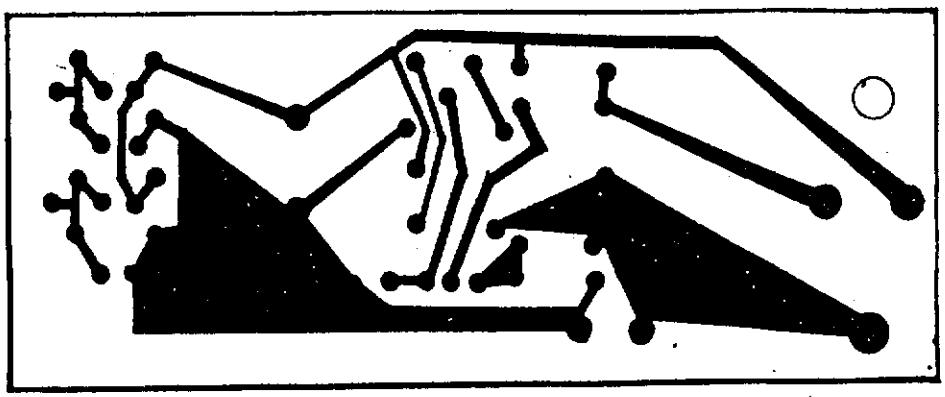
ภาพประกอบ 47 แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรภาคขยังคับแนวนอนมองจากด้านล่าง



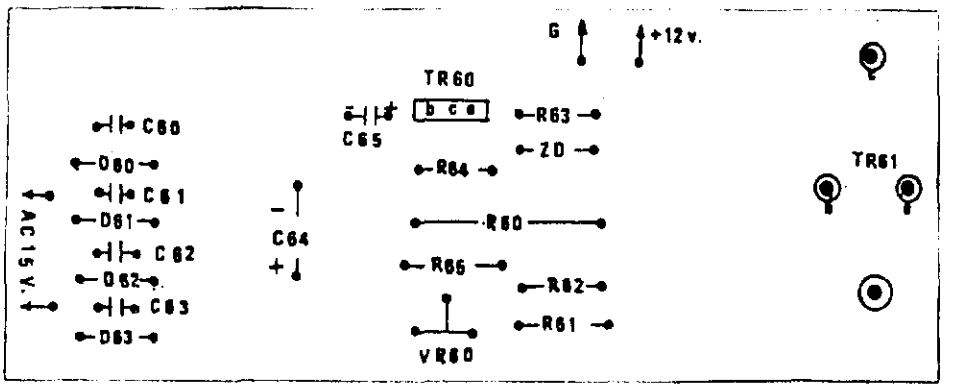
ภาพประกอบ 48 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของวงจรภาคบังคับแนวนอนมองจากด้านบน



ภาพประกอบ 49 แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟมองจากด้านบน



ภาพประกอบ 50 แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟมองจากด้านล่าง



ภาพประกอบ 51 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของวงจรภาคแหล่งจ่ายไฟมองจากด้านบน

บทที่ 5

บทสรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

บทสรุป

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบสร้างจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์ที่มีราคาถูกและมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเหมาะสมกับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบแอปเปิ้ลทู

วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า

ในการศึกษาค้นคว้าได้แบ่งงานในการสร้างจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์ออกเป็นลำดับขั้นดังนี้คือ

1. ศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสัญญาณที่ได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์แบบแอปเปิ้ลทู
2. ศึกษาโครงสร้างการทำงานของไอซีแบบเชิงเส้น (Linear integrated circuit) ที่สามารถใช้สร้างคลื่นรูปฟันเลื่อยและควบคุมความถี่ได้โดยใช้ศักย์ไฟฟ้า เพื่อนำไปออกแบบวงจรภาคบังคับแนวตั้ง และภาคบังคับแนวนอน
3. ศึกษาวงจรทรานซิสเตอร์และวงจรอาร์.ซี. เพื่อใช้ในการออกแบบวงจรขยายสัญญาณภาพและสัญญาณซิงโครไนซ์ ภาคบังคับแนวนอน และภาคแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า
4. ออกแบบวงจรทั้งสี่ภาค โดยอาศัยพื้นฐานของวงจรที่ได้ศึกษาค้นคว้า
5. ตรวจสอบการทำงานและปรับปรุงแก้ไขวงจรบนแผงทดลองแบบเสียบอุปกรณ์ เมื่อเห็นว่าวงจรทำงานได้ดีแล้วจึงนำไปประกอบลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่ได้ออกแบบไว้
6. ทำการออกแบบตัวเครื่องและสร้างตัวเครื่องด้วยไม้อัด

ผลของการศึกษาค้นคว้า

จอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นมีสมรรถภาพดังนี้คือ

1. มีความต้านทานอินพุท 15 กิโลโอห์ม ซึ่งเหมาะสมกับการใช้ร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบแอปเปิ้ลทู

2. สามารถใช้ได้กับการแสดงผลทั้งแบบ 40 ตัวอักษรต่อบรรทัดและ 80 ตัวอักษรต่อบรรทัด โดยภาพที่ได้มีความคมชัดและไม่สั่น

3. มีระดับของสัญญาณอินพุทหนึ่งโวลท์

4. สามารถปรับความสว่างและความคมชัดได้อย่างเหมาะสม

5. สามารถใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์ความถี่ 50 เฮิรทซ์

<u>อภิปรายผล</u>

ในการออกแบบและสร้างจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์ครั้งนี้ผู้วิจัยได้ประสบปัญหาและมีประสบการณ์ดังนี้คือ

1. ความคมชัดและความนิ่งของภาพจะขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้คือ

1.1 การวางหม้อแปลงไฟฟ้าถึงแม้จะมีแผ่นเหล็กกั้นการรบกวนของสนามแม่เหล็กแล้วก็ตาม แต่ถ้าวางไว้ใกล้กับจอภาพสนามแม่เหล็กยังรบกวนทำให้ภาพบนหน้าจอสั่นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการแสดงผลแบบ 40 ตัวอักษรต่อบรรทัด แต่กับวงจรส่วนอื่น ๆ จะไม่มีผลจากการรบกวนเท่าใดนัก ในการวางหม้อแปลงไฟฟ้าจำเป็นต้องวางให้ห่างจากหลอดจอภาพมากที่สุด

1.2 ด้านหลังของหลอดจอภาพต้องมีสายไฟฟ้าชนิดไม่มีฉนวนหุ้มรัดไว้แล้วต่อลงดินทั้งนี้เพราะในการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับจากหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงให้เป็นกระแสตรงขนาด 12 กิโลโวลท์นั้นที่จริงแล้วจะต้องมีตัวเก็บประจุทำการกรองกระแสด้วยจึงจะได้ไฟฟ้ากระแสตรงตามต้องการ แต่การหาตัวเก็บประจุที่ทนแรงดันไฟฟ้าได้สูงเช่นนั้นเป็นการยาก จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์ที่ช่วยหลอดจอภาพเข้ามาช่วย คือส่วนของหลอดจอภาพที่ใช้รับแรงดันไฟฟ้าสูงกับส่วนด้านหลังนั้นจะมีสารละลายแก๊ด (Aquadag) เคลือบอยู่ทั้งสองด้านทำให้มีสภาพเป็นตัวเก็บประจุขึ้น การต่อสายจากด้านหลังของหลอดจอภาพลงดินเป็นการกรองกระแสไฟฟ้าให้เป็นไฟฟ้าแรงสูง

1.3 ขาที่ 6 และ 7 ของหลอดจอภาพนั้นต้องได้รับแรงดันไฟฟ้าสูงถึง

ประมาณ 300–400 โวลท์ ภาพจึงจะคมชัดที่สุด แต่หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงเช่นนี้หาซื้อยาก ในท้องตลาด ผู้วิจัยจึงต้องเลือกใช้ ของบริษัทธานินท์ทะยาย เลข FT-02 แล้วนำมาพันขดลวดทุติยภูมิรวมลวดทองแดงอาบน้ำยา เบอร์ 24 SWG อีกหนึ่งขดโดยพัน 200 รอบ แล้วนำปลายทั้งสองต่อกับขา 7 และขา 8 แทนของเดิม

2. ทรานซิสเตอร์ 2SC681 ซึ่งเลือกใช้ในภาคบังคับแนวนอนนั้นต้องเป็นตัวที่มีค่า β สูงมาก ๆ เพราะถ้าค่านี้ต่ำ ๆ เมื่อเครื่องทำงานจะมองเห็นเป็นเส้นที่สว่างกว่าบริเวณรอบ ๆ ปรากฏตรงกลางจอในแนวดิ่ง

3. สัญญาณความถี่สูงที่เกิดขึ้นจากการสร้างของภาคบังคับแนวนอนจะเข้าไปรบกวนให้ภาคอื่น ๆ ทำงานผิดพลาดได้ ถ้าให้แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าผ่านเข้าวงจรส่วนนี้โดยตรง แต่ถ้าให้แรงดันไฟฟ้าไหลผ่าน L50 ก่อนเข้าวงจรส่วนนี้ การรบกวนจะลดลงไปได้มาก

4. ทรานซิสเตอร์ 2SC681 และ 2SB337 จะมีความร้อนสูงมากพอสมควรในขณะที่เครื่องทำงาน จึงต้องติดแผ่นระบายความร้อน (Heat sink) ที่มีขนาดโตพอสมควรให้กับทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัว

<u>ข้อเสนอแนะ</u>

1. ในภาคขยายสัญญาณภาพรวม ถ้าใช้เฟท (Field-effect transistor) แทนทรานซิสเตอร์จะทำให้ความต้านทานอินพุทสูงขึ้นมาก สามารถนำจอแสดงผลหลาย ๆ เครื่องต่อรวมกับเครื่องคอมพิวเตอร์เพียงเครื่องเดียวได้มากขึ้น

2. ถ้าเปลี่ยนแปลงวงจรภาคบังคับแนวตั้งและภาคบังคับแนวนอนเล็กน้อยก็จะใช้กับหลอดจอภาพที่มีขนาดใหญ่กว่า 12 นิ้วได้ ทำให้ได้ภาพบนหน้าจอมีขนาดโตขึ้น แต่อาจมีปัญหาในการหาซื้อหลอดจอภาพขนาดใหญ่ที่ใช้สร้างจอแสดงผลโดยเฉพาะ ซึ่งในตลาดเมืองไทยยังหาซื้อได้ยาก

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

บุญถึง แน่นหนา ตำราโทรทัศน์ภาคทฤษฎีและปฏิบัติ โอเดียนสโตร์ 2520,408หน้า

ประพัฒน์ อุทโยภาส เรียนแอปเปิ้ลเบสิกด้วยตนเอง ซีเอ็ดยูเคชั่น 2526,142หน้า

Coughlin,Robert F.and Fredrick F.Driscoll. Semiconducter Fundamentals. Prentice - Hall,inc,1976.416p.

Dhake,Arvino M. Basic Television and Video System.New York, McGrawhill, 1979. 315p.

Fink,Donald G. Television Engineering Handbook.New York,1957. 416p.

Mand,Matthew. Solid - State Circuit Design User's Manual. Verginea,Reston, 1969. 276p.

Millman,Jacob and Christos C.Halkias.Integrated Eletornics. Tokyo,McGrawhill - Kogakusha, 1972. 911p.

Peatman,John B.Microcomputer Base Design.McGrawhill, 1979. 310p.

Rostky,George. Electronic Circuit Designed Handbook. United States of America, 1968. 317p.

Serra A."New time base and A.F.C. circuit," in Electrical & Electronics Abstract 75: 1439.1972.

Sol Sherr. Fundamentals of Display System Design. New Yoke Hartadale, 1969.483p.

SW.Amos and D.C.Birkinshaw. Television Engineering.London, 1969. 268p.

การออกแบบสร้างจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์

บทคัดย่อ

ของ

วิสูตร กัลย์จาริก

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
มีนาคม 2528

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บทคัดย่อ

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ได้ทำการออกแบบสร้างจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์ที่มีราคาถูกและเหมาะสมกับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบเอปเปิลทู โดยการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเครื่องคอมพิวเตอร์ และศึกษาโครงสร้างการทำงานของไอซีแบบเชิงเส้น ทรานซิสเตอร์และวงจรอาร์.ซี. เพื่อใช้ในการออกแบบวงจร โดยประกอบอุปกรณ์ทั้งหมดลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ซึ่งแยกออกเป็นสี่ภาคคือ ภาคขยายสัญญาณภาพและสัญญาณซิงโครไนซ์ ภาคบังคับแนวตั้ง ภาคบังคับแนวนอนและภาคแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

ผลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าและออกแบบสร้างทำให้ได้จอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดจอภาพ 12 นิ้ว มีความต้านทานทางอินพุท 15 กิโลโอห์มที่ระดับสัญญาณอินพุทหนึ่งโวลท์ สามารถใช้กับการแสดงผลแบบ 40 และ 80 ตัวอักษรต่อบรรทัดได้ชัดเจน และใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์ ความถี่ 50 เฮิรทซ์ โดยเสียค่าใช้จ่ายต่ำกว่าท้องตลาดประมาณร้อยละ 50

A DESIGN AND CONSTRUCTION OF COMPUTER'S VISUAL DISPLAY UNIT

AN ABSTRACT

BY

WISOOT GULJARUK

Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Education degree
at Srinakharinwirot University
March 1985

AN ABSTRACT

We have designed and constructed a low priced and suitable visual display unit for an Apple II computer. The electrical properties of the computer, the operation process of the linearly integrated circuit, transistor and the R.C. circuit were studied and used to build up a circuit. All units were appropriately organized on a printed circuit board, which was subdivided into four parts namely; video and synchronize signal amplifier section, vertical and horizontal system section and the power supply section.

The final design indicated that we have made a 12 inch. visual display unit having an input impedance 15 kilo ohms at 1 volt input signal level, which can be used for displaying both with 40 and 80 letters per line distinctly. The unit can also be used with a 220 V.AC. and 50 Hz. supply at a much lower cost than the market price by about 50 %.