ปีการศึกษา 2531

เครื่องเอ็กซเรย์ระบบความถี่สูง

โดย

นายพิพัฒน์ แซ่อุ่
นายกิตติศักดิ์ สงวนพงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์วิชัย สุรพัฒน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

024703 2533

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2531

ภาควิชา เทคนิคอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เตรื่อง เอ็กซเรย์ระบบความถี่สูง

ผู้จัดทำ

1. นายพิพัฒน์ แซ่มู่
2. นายกิตติศักดิ์ สงวนพงศ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(.....)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(.....)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(.....)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

024703

เครื่องเอ็กซ์เรย์ระบบความถี่สูง

นายพิพัฒน์ แซ่ภู่
นายกิตติศักดิ์ สงวนพงศ์
อาจารย์วิชัย สุรพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2531

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเครื่องเอ็กซ์เรย์ที่ใช้ในวงการแพทย์ใช้แหล่งจ่ายไฟระบบความถี่ 50 เฮิทซ์ซึ่งยังต้องใช้กระแสไฟสูงนับเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย เครื่องเอ็กซ์เรย์ระบบความถี่สูงทดแทนมาสามารถลดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานลงได้ อีกทั้งยังมีขนาดเล็กลงกว่าเดิมเป็นผลทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย ก่อให้เกิดผลดีต่อวงการแพทย์และเศรษฐกิจภายในประเทศเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้

เริ่มต้นจากการป้อนค่าเวลาผ่านทางคีย์บอร์ด ซึ่งจะต้องไม่เกิน 100 เดวี ถ้ามากกว่านี้วงจรโอเวอร์โฟลดจะทำงาน ทำให้เครื่องไม่สามารถยิงแสงเอ็กซ์เรย์ออกไปได้ ค่าที่ป้อนนี้จะแสดงผลออกทางดิสเพลย์ พร้อมกันนั้นจะนำค่าที่ได้รับเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้า

จากนั้นจึงเริ่มป้อนเวลาที่ใช้ในการยิง โดยค่าที่ใช้จะต้องอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 5.0 วินาที ถ้ามากกว่านี้เครื่องจะไม่สามารถยิงแสงเอ็กซ์เรย์ออกมาได้เช่นเดียวกัน ค่าเวลานี้จะปรากฏบนจอดิสเพลย์และพร้อมที่จะทำการยิง โดยมีฟังก์ชั่นสวิทช์ทำหน้าที่ควบคุมการยิง หลังจากเราเริ่มกดฟังก์ชั่นสวิทช์ วงจรสวิทช์ซึ่งจะผลิตคลื่นสี่เหลี่ยมความถี่ 1000 เฮิทซ์ไปเข้าขดปฐมภูมิของไฮเทนชั่น เราจะได้ไฟสูงออกมาทางขดทุติยภูมิเพื่อป้อนให้กับหลอดเอ็กซ์เรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X-RAY WITH HIGH FREQUENCY SYSTEM

Mr. Pipat Saephu
Mr. Kittisak Sanguanpong
Mr. Wichai Surapat Advisor
Academic Year 1988

Abstract

At present X-RAY equipments in medicine generally use supply in low frequency system 50 Hz which use high current and too expensive. But X-RAY equipments in high frequency system can reduce current and small size which have advantage in medicine and economic at most.

Beginning , we switch power on and power supply apply current to circuit. We input KV values to computer which not exceed 100 KV. If this values exceed 100 KV , over load KV circuit work so X-RAY equipments cannot emit X-RAY. This KV values display on display KV then convert to voltage by control regulator circuit for applying to dc regulator circuit. Set timer between 0.1 - 5.0 second. If timer exceed 5.0 second , over load timer circuit work and X-RAY equipments cannot emit X-RAY. When we input timer and press function switch , switching circuit will generate square waves 1000 Hz. The square waves convert dc to ac 1000 Hz and transmit to primary of high/tension. Secondary apply high voltage X-RAY tube. When filament lighting , X-RAY tube emit X-RAY.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
บทที่ 1 ความมุ่งหมายของปริญญานิพนธ์	1
1.1 บทนำ	1
1.2 จุดมุ่งหมายของปริญญานิพนธ์	1
บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบเอ็กซ์เรย์	2
2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	2
2.2 รังสีเอ็กซ์	3
2.3 กระบวนการในการเกิดรังสีเอ็กซ์	4
2.4 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดรังสีเอ็กซ์	6
2.5 ฮีลเอฟเฟก	10
2.6 ดาแรกเตอริสติกส์ทางฟิสิกส์ของลำรังสีเอ็กซ์	11
2.7 ความสามารถในการทำงานของหลอดรังสีเอ็กซ์	13
2.8 ชนิดของหลอดรังสีเอ็กซ์	14
2.9 ฟิลม์รังสีเอ็กซ์	15
2.10 องค์ประกอบที่มีผลต่อคุณภาพของภาพถ่าย	16
บทที่ 3 การทำงานของวงจรส่วนต่าง ๆ	17
3.1 วงจร Keyboard	17
3.2 วงจร Switching Regulator	18
3.3 วงจร Inverter 500 Hz	19
3.4 วงจร Timer	20
3.5 วงจร Display Time และ Over Time	21
3.6 วงจร Display KV และ Control Regulator	21
บทที่ 4 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงาน	23
4.1 ส่วนของวงจร Swiching Regulator	23
4.2 ส่วนของวงจร Invertor 500 Hz	23
4.3 ส่วนของหม้อ High Tension Transformer	24
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	25
ภาคผนวก ก รายการอุปกรณ์	27
ภาคผนวก ข วงจรส่วนต่าง ๆ	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค ลายทองแต่งวงจรส่วนต่าง ๆ..... 36

ภาคผนวก ง Anatomy..... 54

ภาคผนวก จ Design Data Sheet..... 60

ภาคผนวก ฉ รูปภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่องเอ็กซเรย์..... 78

กิตติกรรมประกาศ..... 82

หนังสืออ้างอิง..... 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

ความมุ่งหมายของปริญญานิพนธ์

1.1 บทนำ

ในปัจจุบันเราจะพบว่า อุปกรณ์เครื่องมือทางการแพทย์ได้มีการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพอยู่อย่างต่อเนื่อง โดยมีการนำเอาเทคโนโลยีทางอิเลคทรอนิคส์และคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง เครื่อง x-ray เป็นเครื่องมือทางการแพทย์ชนิดหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้การวินิจฉัยโรคของแพทย์สามารถทำได้อย่างถูกต้องแม่นยำและรวดเร็ว ไม่มีผลข้างเคียงต่อผู้ป่วย ดังจะเห็นได้จากเครื่อง x-ray computer แต่อุปกรณ์เหล่านี้มีราคาที่ค่อนข้างแพงมาก ซ้ำยังไม่แพร่หลายในวงการแพทย์ ดังนั้นการพัฒนาเครื่อง x-ray ระบบเก่าจึงยังเป็นสิ่งจำเป็น ทำให้เกิดแนวความคิดที่จะทดลองทำเครื่อง x-ray ระบบ high frequency นี้ขึ้น

1.2 จุดประสงค์ของปริญญานิพนธ์

เนื่องจากเครื่อง x-ray ระบบเก่าใช้ไฟ ac 220 v 50 hz เป็นแหล่งจ่ายกำลังงานในการผลิตไฟแรงสูงให้กับหลอด x-ray ซึ่งในการฉายแสง x-ray จะต้องใช้กำลังงานมาก ทำให้ขนาดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ประกอบขึ้นในตัว control มีขนาดใหญ่ เช่น power transformer ต้องจ่ายกระแสได้ไม่ต่ำกว่า 20 Amp ขึ้นไปเป็นต้น แต่เมื่อเรานำระบบความถี่สูงมาใช้กับเครื่อง x-ray จะทำให้กำลังงานในการฉายแสง x-ray ลดลงไปได้มาก แต่จะให้ประสิทธิภาพหรือคุณภาพของภาพบนฟิล์ม x-ray มีความคมชัดและมีรายละเอียดเหมือนกับระบบเดิมทุกอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบ X-RAY

2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หมายถึงช่วงความถี่ทั้งหมดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นไปได้ในทางทฤษฎีของแมกซ์เวล คลื่นแสงและคลื่นที่เกิดจากวงจรทางไฟฟ้ามีคุณสมบัติเหมือนกัน หรือแสงก็คือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพียงช่วงความถี่ที่ตาคนเราสามารถรับได้

ในทางอิเลคทรอนิคส์ เราสามารถที่จะสร้างวงจร Oscillator ให้มีความถี่ใด ๆก็ได้ จากสมการ

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}$$

ซึ่งหมายความว่าในทางทฤษฎีเราสามารถจะคำนวณค่าความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เราสามารถสร้างออกมาได้ และสามารถสร้างความถี่ให้มีค่าเท่าใดก็ได้ไม่มีขอบเขตจำกัด ในรูปที่ 2.1 แสดงถึงความถี่และความยาวคลื่นต่าง ๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยที่ความยาวคลื่นและความถี่มีความสัมพันธ์กันคือ

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

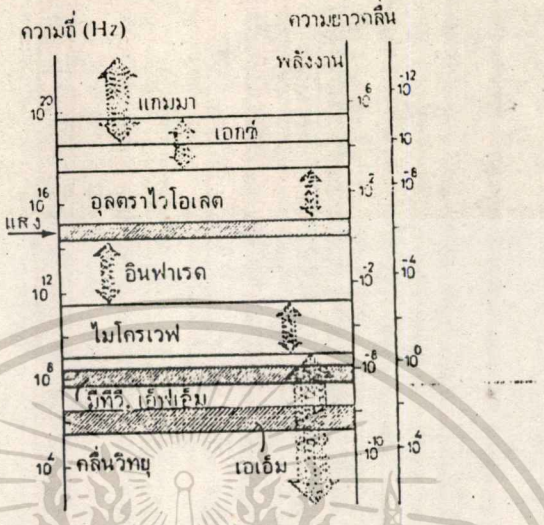
เมื่อ f คือความถี่ คือความยาวคลื่น และ c คือความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากต้นกำเนิดแล้วครอบคลุมอยู่ในช่วงอินฟาเรดแสงสว่างและอุลตราไวโอเลตซึ่งเกิดจากการกระตุ้นโมเลกุลและอะตอมจะโดยวิธีใด ๆ ก็ตาม แล้วส่งพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ส่วนความถี่ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ ก็เนื่องมาจากพลังงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกระตุ้นโมเลกุลหรืออะตอมนั้น ๆ พลังงานที่สูงกว่าก็ทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่าเป็นต้น ในการเคลื่อนตำแหน่งของอิเลคตรอนในอะตอมทำให้เกิดการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา เช่นการยิงอะตอมด้วยอิเลคตรอนที่มีพลังงานสูง ทำให้อิเลคตรอนในวงโคจรเลื่อนไปจากตำแหน่งเดิมและมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้น การหยุดอนุภาคที่มีความเร็วสูงทันทีทันใด เช่นการหยุดอิเลคตรอนก็สามารถทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เราเรียกว่า รังสีเอกซ์ได้ จะเห็นได้ว่าความถี่สูง ๆ สามารถทำให้เกิดได้โดยใช้พลังงานที่แตกต่างกันของกระบวนการกระตุ้นนั่นเอง ซึ่งความยากลำบากในการสร้างก็เกี่ยวข้องกับการทำให้มีอิเลคตรอนมีพลังงานสูงก่อนชนนั่นเอง

ในปัจจุบันไม่มีช่องว่างใด ๆ ในความถี่ต่าง ๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เราไม่ทราบ และการแบ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพวก ๆ ตามกระบวนการเกิดก็ไม่มีขีดจำกัดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แน่นอน มีการซ้ำซ้อนกันในบางกรณีของความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระบวนการต่างกัน ซึ่งจะสามารถเห็นได้จากรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ความถี่ที่สูงกว่ารังสีเอกซ์ก็คือ รังสีที่เกิดจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี ในทางนิวเคลียร์คือกระบวนการที่เรียกว่า แกมมาดีเคย์ ซึ่งเป็นผลมาจากนิวเคลียสของสารกัมมันตรังสีบางอย่าง ณ สถานะไม่คงตัว สลายตัวแล้วให้พลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.2 รังสีเอ็กซ์

รังสีเอกซ์ ค้นพบโดย Wilhelm Roentgen นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันในปี ค.ศ. 1895 ในขณะที่กำลังศึกษาเกี่ยวกับรังสีคาโถดในห้องมืด เรินท์เกนได้สังเกตว่าสารเรืองแสงที่วางไว้ใกล้ ๆ เรืองแสงได้ และเมื่อได้ตรวจสอบดูจึงทราบว่าสิ่งที่ทำให้สารเรืองแสงได้คือ รังสีชนิดใหม่ มีอำนาจทะลุทะลวงสูงเกิดจากรังสีคาโถดชนกับผนังของหลอดรังสีคาโถด เนื่องจากในตอนนั้นยังไม่ทราบว่ารังสีนี้คืออะไร จึงตั้งชื่อว่า รังสีเอกซ์(x-ray)

การค้นคว้าต่อมาทราบว่า รังสีเอกซ์ เกิดจากการใช้อิเลคตรอนพลังงานจลน์สูงชนกับสิ่งกีดขวาง ซึ่งทั่ว ๆ ไปใช้อิเลคตรอนชนกับเป้าโลหะ ได้มีการศึกษาธรรมชาติของรังสีเอกซ์ในแง่ต่าง ๆ กันอย่างกว้างขวางและพบว่า รังสีเอกซ์เดินทางเป็นเส้นตรง ไม่เบนในสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้า ไม่ทะลุผ่านวัตถุที่มีเลขอะตอมสูง ๆ เช่น กระดูก ตะกั่ว ซึ่งจะกันรังสีเอกซ์ได้และทำให้เกิดภาพบนแผ่นฟิล์มถ่ายรูปได้ ซึ่งวงการแพทย์ใช้การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์สำหรับช่วยในการวินิจฉัยโรค รังสีเอกซ์ทำให้สารบางชนิดเรืองแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ในที่มืด ทำให้กาซที่บรรจุในหลอดแก้วกลายเป็นสื่อไฟฟ้าได้ นักวิทยาศาสตร์ใช้สมบัติข้อนี้ในการสร้างเครื่องมือวัดรังสีเอกซ์ นอกจากนี้ยังพบว่า ถ้าพลังงานของอิเลคตรอนที่วิ่งชนเป้าโลหะสูงขึ้น รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจะมีอำนาจทะลุทะลวงมากขึ้นตามไปด้วย

หลังจากการค้นพบรังสีเอกซ์ได้ไม่นาน ก็เชื่อกันว่า รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แต่การทดลองเพื่อพิสูจน์ว่า รังสีเอกซ์เป็นคลื่นในระยะแรก ๆ ไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากรังสีเอกซ์ไม่แสดงการหักเหหรือเลี้ยวเบนเมื่อผ่านเกรติงชนิดธรรมดาที่ใช้ในการศึกษาธรรมชาติของแสง ใน ค.ศ. 1906 บาร์คลา (Barkla) สามารถพิสูจน์ได้ว่า รังสีเอกซ์เป็นคลื่นตามขวาง จากการทดลองโพลาไรเซชั่น และใน ค.ศ. 1912 เลาอี (Max Von Laue) ได้เสนอให้ฉายรังสีเอกซ์ไปยังผลึกของสาร โดยให้อะตอมของผลึกในสารทำหน้าที่เป็นเกรติงจากลวดลายการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (x-ray diffraction pattern) แสดงว่า รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก อยู่ระหว่าง 0.01 A ถึง 100 A ถ้าดูในสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะพบว่าความยาวคลื่นรังสีเอกซ์สั้นกว่ารังสีอุลตราไวโอเลต แต่ยาวกว่ารังสีแกรมมา

ปัจจุบันสามารถสรุปคุณสมบัติของรังสีเอกซ์ได้ดังนี้

1. เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความยาวช่วงคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 0.01-100 A จึงสามารถมองเห็นได้ มีอำนาจทะลุทะลวงสูง
2. เป็นรังสีที่ไม่มีประจุไฟฟ้า และไม่สามารถที่จะถูกเบี่ยงเบนโดยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าใด ๆ ได้
3. พลังงานเกือบทั้งหมดเป็นแบบวิวิธพันธ์ (heterogeneous) กล่าวคือรังสีเอกซ์ประกอบด้วยรังสีที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันมาก
4. หลอดทางเดินเป็นเส้นตรง และบานออกจากจุดโฟกัส
5. รังสีเอกซ์เคลื่อนที่ด้วยอัตราความเร็วเช่นเดียวกับแสงสว่าง
6. สามารถทำให้โมเลกุลของกาซเกิดการแตกตัวได้
7. ทำให้ผลึกบางชนิดเกิดการเรืองแสงได้
8. ไม่สามารถถูกโฟกัสโดยเลนส์ได้
9. ทำให้เกิดความดำบนฟิล์มถ่ายรูปได้ เช่นเดียวกับแสงสว่าง
10. สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และทางชีววิทยาได้
11. ทำให้เกิดรังสีทุติยภูมิ และรังสีสะท้อนได้

2.3 กระบวนการในการเกิดรังสีเอ็กซ์

2.3.i ถ้าอิเลคตรอนวิ่งผ่านนิวเคลียสจะถูกดูดโดยสนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุบวกที่มีในนิวเคลียส ทำให้เกิดการเปลี่ยนทิศทาง ขบวนการนี้ทำให้พลังงานของอิเลคตรอนลดลง โดยคายออกมาในรูปรังสีเอกซ์ รังสีเอกซ์นี้มีชื่อเรียกว่า เบรมสตาลุง (Bremsstrahiung) พลังงานของรังสีเอกซ์ที่กำเนิดแบบนี้ จะมีค่าตั้งแต่มากกว่าศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กน้อยถึงต่ำสูงสุดเท่าที่จะมีได้ รูป 2.2 (a) แสดงอิเลคตรอนวิ่งผ่านใกล้นิวเคลียสทังส
เตน

$$\text{พลังงานของรังสีเอกซ์ (E)} = \frac{1}{2} mv_i^2 - \frac{1}{2} mv_f^2$$

เมื่อ m = มวลของอิเลคตรอน

v_i = ความเร็วของอิเลคตรอนเมื่อเริ่มวิ่งผ่านนิวเคลียส

v_f = ความเร็วของอิเลคตรอนหลังจากวิ่งผ่านนิวเคลียส

รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจะมีความถี่ต่าง ๆ มากมายหลายขนาดขึ้นอยู่กับ

1. ระยะทางใกล้ที่สุดระหว่างอิเลคตรอนกับนิวเคลียสนั้น

2. ขนาดความเร็วของอิเลคตรอนที่เปลี่ยนแปลงไป

ความถี่สูงสุดของรังสีเอกซ์เกิดขึ้นเมื่อ $v_f = 0$ ซึ่งก็คืออิเลคตรอนถูกนิวเคลียส ดึงไว้จนหยุดนิ่งในการชนเพียงครั้งเดียวเท่านั้น นั่นคือ

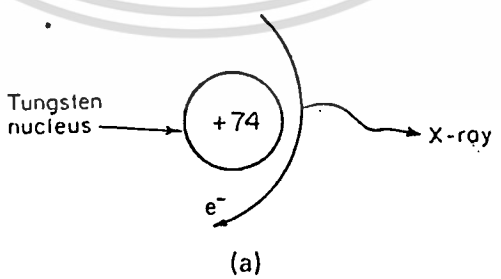
$$E(max) = \frac{1}{2} mv_i^2 = h\, fmax = \text{พลังงานจลน์ของอิเลคตรอน}$$

แต่พลังงานจำนวนนี้ได้มาจากความแตกต่างศักย์ V ของหลอดรังสีเอกซ์ ดังนั้น

$$\text{พลังงานจลน์} = eV$$

หรืออาจเขียนได้ว่า $h\, fmax = eV$

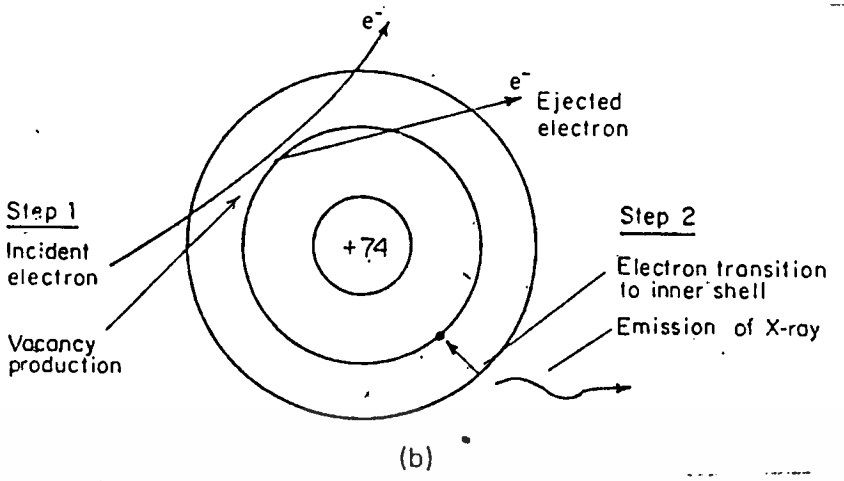
2.3.2 เกิดการชนกับอิเลคตรอนที่อยู่ในวงโคจรของอะตอมของเป้า ถ้าพลังงานที่ส่งให้อิเลคตรอนมากกว่าพลังงานที่ยึดอิเลคตรอนไว้ จะทำให้อิเลคตรอนหลุดออกจากอะตอม อิเลคตรอนจากวงโคจรอื่นที่อยู่ห่างจากนิวเคลียสมากกว่าจะวิ่งเข้าไปแทนที่ พร้อมกับคายพลังงานออกมาในรูปรังสีเอกซ์ รังสีเอกซ์นี้มีชื่อเรียกว่า ตาแรกเตอร์ริสติก เอกซ์เรย์ (characteristic x-ray) จะมีพลังงานเฉพาะบางค่าเท่านั้น โดยมีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างพลังงานยึดดูดของอิเลคตรอนในวงโคจรเริ่มต้นและวงโคจรสุดท้าย ดูรูป 2.2 (b) ประกอบ



(a)

รูปที่ 2.2 (a) แสดงการเกิดเบรมสตราลุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



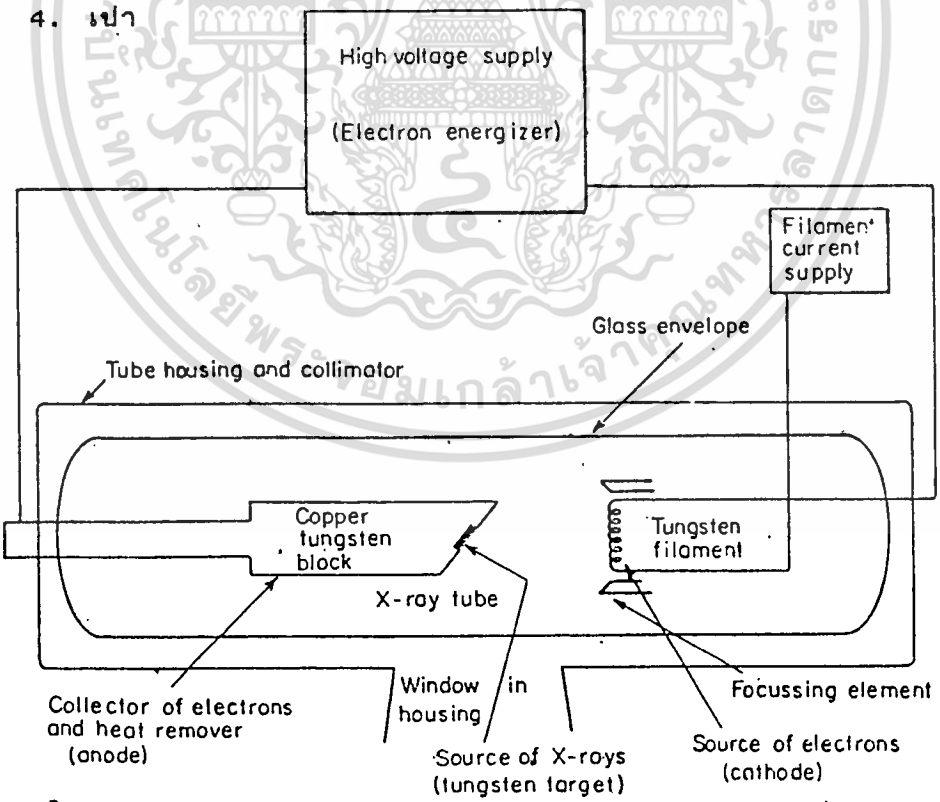
(b)

รูปที่ 2.2 (b) ดาแรกเตอร์ริสติกเอกซ์เรย์

2.4 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดรังสีเอ็กซ์

เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตรังสีเอกซประกอบด้วยส่วนสำคัญดังต่อไปนี้

1. แหล่งกำเนิดอิเลคตรอน
2. ความต่างศักย์หลอด
3. หลอดแก้วสูญญากาศ
4. เป้า



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 แหล่งกำเนิดอิเลคตรอน

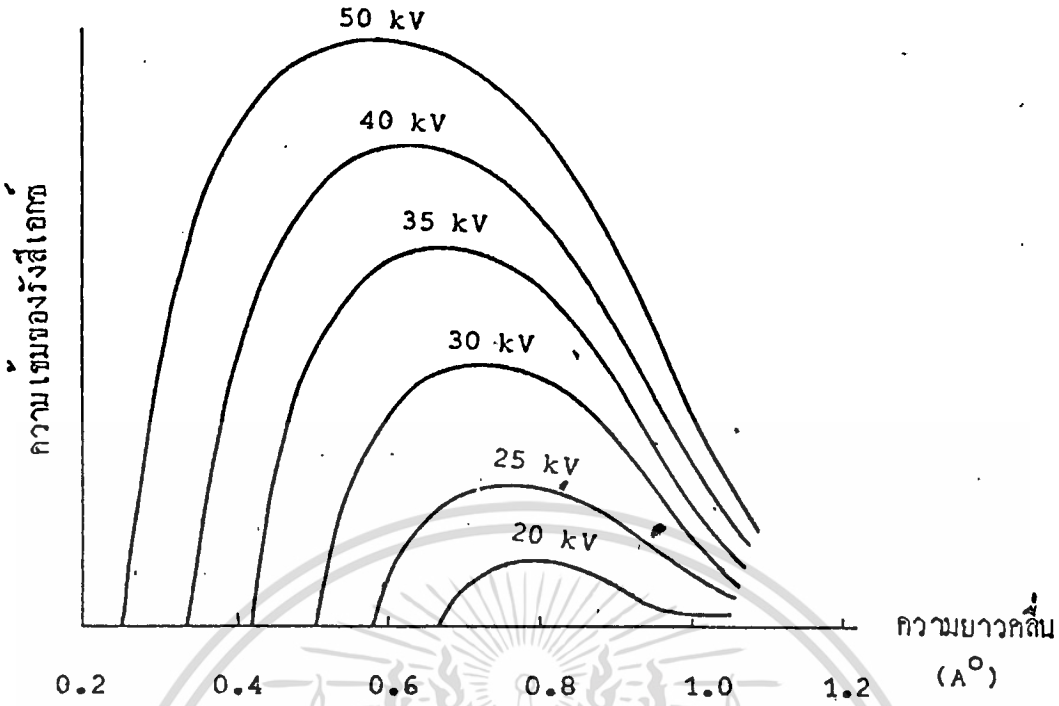
แหล่งกำเนิดอิเลคตรอน (electron source) คือส่วนของไส้หลอดทำจากโลหะที่มีจุดหลอมตัวสูงมาก เช่น ทังสเตน เมื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่านไส้หลอด จะทำให้ไส้หลอดมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้อิเลคตรอนหลุดออกมา ยิ่งเพิ่มกระแสมากอิเลคตรอนก็จะหลุดออกมามาก ในทางปฏิบัติให้กระแสผ่านไส้หลอดเกิดความร้อนประมาณ 2,000 องศาเซลเซียส ทำให้ปล่อยอิเลคตรอนออกมา รอบ ๆ ไส้หลอดจะมีโลหะหุ้มอยู่ เพื่อทำให้อิเลคตรอนเคลื่อนไปยังตำแหน่งที่ต้องการ เรียกว่า ตัวโฟกัส (focusing element) เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ยังประกอบด้วยมิลลิแอมแปร์มิเตอร์ (milliampere meter) ซึ่งใช้วัดกระแสที่เกิดจากไส้หลอด ซึ่ง 1 มิลลิแอมแปร์มีค่าเท่ากับ 625000 อิเลคตรอนต่อวินาที หลอดรังสีเอกซ์ที่ทันตแพทย์ใช้งานกระแสอยู่ระหว่าง 5-15 มิลลิแอมแปร์ ส่วนในทางการแพทย์ใช้งานระหว่าง 50-1000 มิลลิแอมแปร์

การถ่ายภาพอวัยวะภายในโดยใช้รังสีเอกซ์นี้เรียกว่า เรดิโอกราฟ (radiograph) ถ้าต้องการให้ได้รายละเอียดของภาพสูงจะต้องใช้จุดโฟกัสขนาดเล็ก จุดโฟกัสหมายถึงพื้นที่ของเป้าที่อิเลคตรอนวิ่งไปตกกระทบซึ่งได้จากไส้หลอดที่มีขนาดเล็กมีชื่อเรียกว่า ไฟน์ฟิลลาเมนท์ (fine filament) แต่ไส้หลอดขนาดเล็กไม่สามารถทนกระแสได้มากนัก ดังนั้นการถ่ายภาพด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องใช้ระยะเวลานาน เพื่อจะได้ความเข้มของรังสีเอกซ์ในปริมาณที่เพียงพอ และต้องมีข้อแม้ว่าคนไข้จะต้องอยู่กับที่ ส่วนกรณีคนไข้เด็กไม่สามารถอยู่นิ่งได้นาน ดังนั้นจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาน้อยในการถ่ายภาพ วิธีนี้จะต้องใช้ความเข้มสูง จึงต้องใช้ไส้หลอดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งมีชื่อเรียกว่า คอสฟิลลาเมนท์ (coarse filament) ปัจจุบันหลอดรังสีเอกซ์บางหลอดมีฟิลลาเมนท์ทั้งสองชนิดรวมกันอยู่ ซึ่งเรียกว่า ดับเบิลโฟกัสฟิลลาเมนท์ (double focus filament) ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการ

2.4.2 ความต่างศักย์ของหลอด

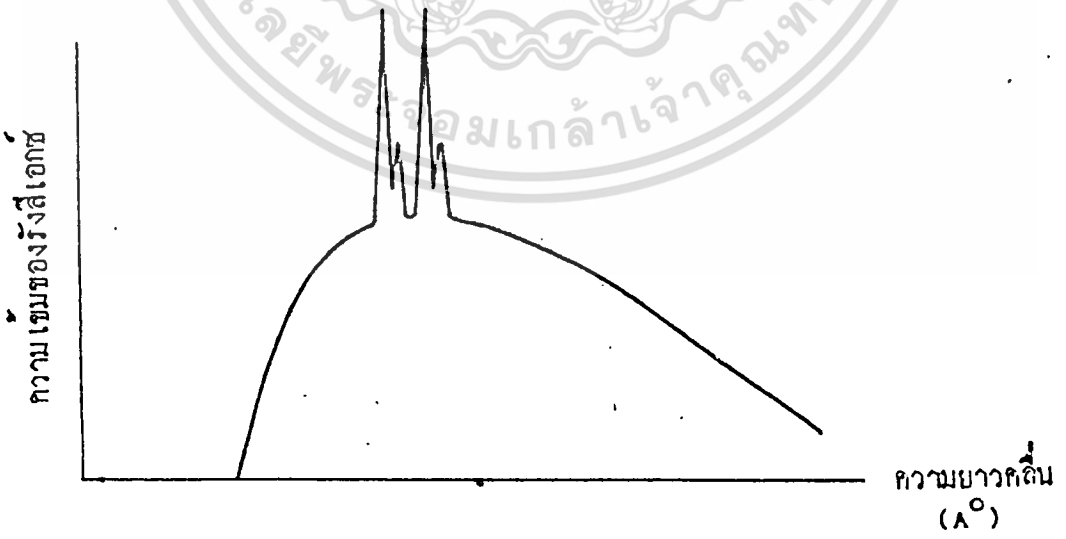
ความต่างศักย์ระหว่างหลอดและเป้า (tube voltage) ของหลอดรังสีเอกซ์จะเพิ่มพลังงานให้แก่อิเลคตรอนที่หลุดออกมาจากไส้หลอด เนื่องจากสนามไฟฟ้านี้จะทำให้อิเลคตรอนถูกเร่งวิ่งเข้าชนเป้า ยิ่งความต่างศักย์ของหลอดสูงก็ยิ่งทำให้อิเลคตรอนมีพลังงานสูง ซึ่งมีผลต่อความเข้มและพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ออกมา เมื่อความต่างศักย์ระหว่างหลอดต่ำ จำนวนอิเลคตรอนที่หลุดออกมาจากไส้หลอดต่ำทำให้มีอิเลคตรอนรวมตัวกันอย่างหนาแน่นรอบ ๆ ไส้หลอด ซึ่งจะมีผลให้อิเลคตรอนหลุดจากไส้หลอดน้อยลง กรณีที่เพิ่มความต่างศักย์ของหลอดอ กระแสที่ไหลผ่านหลอดจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง ไม่ว่าจะเพิ่มความต่างศักย์ระหว่างหลอดเท่าไร กระแสที่ไหลผ่านหลอดก็ยังคงมีค่าคงที่ ความต่างศักย์ที่อยู่ในช่วงนี้เรียกว่า ความต่างศักย์อิ่มตัว (saturation voltage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงถึงผลความต่างศักย์ระหว่างหลอดที่มีต่อความเข้มและพลังงานของเบรมสตราลุง

จำนวนเบรมสตราลุงจะเพิ่มขึ้น ถ้าแรงดันระหว่างขั้วทั้งสองของหลอดรังสีเอกซ์เพิ่มมากขึ้น เมื่อแรงดันหลอดมากกว่า 70 เควีพี (KVp) จะเกิดพีกจำเพาะ (characteristic peak) ขึ้น ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงพีกจำเพาะ (characteristic peak)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน ค.ศ. 1915 ดวน (Duane) และฮันต์ (Hunt) แสดงให้เห็นว่าความยาวคลื่นต่ำสุดขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วของหลอดรังสีเอกซ์เพียงอย่างเดียว

ให้ e = เป็นประจุของอิเลคตรอน

v = เป็นค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วของหลอดรังสีเอกซ์

งานทั้งหมดที่อิเลคตรอน 1 ตัว ซึ่งมีประจุ e ภายใต้ความต่างศักย์ V จะเท่ากับ eV ซึ่งงานทั้งหมดนี้ก็คือ พลังงานจลน์ของอิเลคตรอนในการวิ่งจากไส้หลอดไปยังเป้า ถ้าอิเลคตรอนถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้กับเป้าแล้วได้โฟตอนออกมา 1 ตัว มีพลังงาน hv นั่นคือ

$$eV = hv$$

h คือ ค่าคงตัวของแพลงค์

v คือ ความถี่ของโฟตอน

หรืออาจเขียนได้ว่า $eV = \frac{hC}{\lambda}$

โดยที่ C คือความเร็วแสงและ λ เป็นความยาวคลื่น

เนื่องจากรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงสุดจะมีค่าความยาวคลื่นต่ำสุด (λ_{min}) จะได้ว่า

$$\lambda_{min} = \frac{hC}{eV}$$

สมการข้างบนนี้คือ สมการของ ดวน-ฮันต์ แทนค่า h,C,e ลงในสมการข้างบนจะได้ว่า

$$\lambda_{min} = \frac{12400}{V} \ ^{o}A$$

ตัวอย่างเช่น ความต่างศักย์ระหว่างขั้วของหลอดรังสีเอกซ์มีค่าเท่ากับ 100 KV จะได้ว่า λ_{min} มีค่า

$$\lambda_{min} = \frac{12400}{100000} = 0.124 \ ^{o}A$$

จะเห็นได้ว่าการเพิ่มค่ากิโลโวลต์จะทำให้ค่า λ_{min} ลดลงนั่นคือ รังสีเอกซ์ที่ออกมาจะมีค่าพลังงานสูงสุดเพิ่มขึ้น

2.4.3 หลอดแก้วสูญญากาศ

ภายในหลอดรังสีเอกซ์จะเป็นสูญญากาศ มีความดันน้อยกว่า .00001 มิลลิเมตรของปรอท เพื่อป้องกันไม่ให้ไส้หลอดที่ร้อนมากเกินไปเกิดการเสียหายได้ และทำให้อิเลคตรอนสามารถเคลื่อนที่ไปมาในหลอดรังสีเอกซ์ได้อย่างสะดวกโดยไม่เกิดอันตรกิริยากับกาซ อย่างไรก็ตามหลอดรังสีเอกซ์ที่ใช้มาเป็นเวลานานอาจมีกาซเพิ่มมากขึ้น จนอาจทำให้ไส้หลอดถูกทำลายได้ หลอดรังสีเอกซ์เป็นหลอดแก้วสูญญากาศ บรรจุอยู่ในกล่องโลหะมีชื่อเรียกว่า เฮาส์ซิง (housing) ในเฮาส์ซิงมีส่วนที่เรียกว่าคอลลิเมเตอร์ (collimater) ส่วนมากทำจากตะกั่ว ทำหน้าที่เป็นตัวจัดลำของรังสีเอกซ์ให้ออกมาตามขนาดที่ต้องการ นอกจากนี้ยังมีระบบระบายความร้อนที่เกิดภายในเฮาส์ซิงโดยใช้น้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

024703

2.4.4 เป้าและอาโนด

เมื่ออิเลคตรอนพุ่งชนเป้า พลังงานส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนพลังงานส่วนน้อยเพียง 1 เปอร์เซนต์เท่านั้นที่เปลี่ยนเป็นรังสีเอกซ์ ดังนั้นจึงมีระบบระบายความร้อนถ่ายเทพลังงานจำพวกนี้

คุณสมบัติของสารที่ใช้เป็นเป้าต้องมีเลขอะตอมสูง เพราะว่าสารที่มีเลขอะตอมสูงจะให้รังสีเอกซ์มากกว่าสารที่มีเลขอะตอมต่ำ มีจุดหลอมตัวสูง เนื่องจากปัญหาความร้อนที่เกิดขึ้น เป้าจึงต้องทำจากสารที่ทนความร้อนได้ดีและมีการนำไฟฟ้าดี

เป้าส่วนมากทำจากทังสเตน (tungsten) มีความหนาประมาณ 2 - 3 มิลลิเมตรฝังอยู่ในอาโนดซึ่งทำด้วยทองแดงโดยทองแดงเป็นตัวส่งผ่านความร้อนที่ดีซึ่งต่อกับระบบระบายความร้อนและทังสเตนสามารถทนความร้อนได้สูงมากคือ มีจุดหลอมตัว 3,370 องศาเซลเซียส ปกติอาโนดอยู่ห่างจากคาโถดประมาณ 1.5-2.0 เซนติเมตร แบ่งออกได้ 2 ชนิดคือ

1. อาโนดคงที่ (stationary anode) เป็นแบบที่เคลื่อนที่ไม่ได้ เป้าซึ่งฝังอยู่ที่อาโนดจะถูกอิเลคตรอนบริเวณตำแหน่งเดิมตลอดอายุการใช้งาน

2. อาโนดหมุน (rotating anode) อาโนดเคลื่อนที่ได้โดยหมุนรอบแกนหมุนทำให้บริเวณขนทรับอิเลคตรอนเพิ่มขึ้นเป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 7.5 เซนติเมตร ทำให้ความร้อนระบายออกไปในเนื้อที่กว้าง ตามปกติอาโนดหมุนด้วยความเร็วประมาณ 10,000 รอบต่อนาที ต้องหมุนอาโนดประมาณ 1 นาทีก่อนที่จะให้ความต่างศักย์แก่หลอดรังสีเอกซ์ เพื่อป้องกันไม่ให้อิเลคตรอนพุ่งกระทบจุดใดจุดหนึ่งบนเป้านานเกินไปอันอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายกับเป้าส่วนนั้นได้

เมื่ออิเลคตรอนพุ่งชนเป้า นอกจากจะได้รังสีเอกซ์แล้วยังอาจจะได้อิเลคตรอนออกมาด้วย อิเลคตรอนเหล่านี้อาจวิ่งชนหลอดแก้วหรือส่วนที่เป็นโลหะรอบหลอดรังสีเอกซ์ ทำให้เกิดรังสีเอกซ์ขึ้น รังสีเอกซ์ที่เกิดเช่นนี้เป็นรังสีที่อาจนำมาใช้งานไม่ได้และยังทำให้คุณภาพของหลอดลดลงด้วย จึงต้องขจัดรังสีเอกซ์ที่เกิดเช่นนี้ โดยใช้แผ่นโลหะรอบเป้าไว้เพื่อป้องกันและสกัดกั้นอิเลคตรอนที่เกิดจากเป้าแผ่นโลหะนี้มีชื่อว่า ฮูดอาโนด (hooded anode)

ในการถ่ายภาพให้ได้รายละเอียดของภาพจะต้องใช้จุดโฟกัสขนาดเล็กดังที่ได้กล่าวมาข้างบนแล้วคือใช้ไส้หลอดขนาดเล็ก อีกวิธีหนึ่งคือลดขนาดปรากฏ (apparent size) ของจุดโฟกัสให้เล็กลงโดยการจัดเป้าให้เอียงทำมุมน้อยกว่า 90 องศากับทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเลคตรอน ทำให้ดูเหมือนว่ารังสีเอกซ์ออกมาจากจุดโฟกัสที่มีพื้นที่เล็กกว่าจุดโฟกัสที่แท้จริง เรียกจุดโฟกัสนี้ว่าจุดโฟกัสปรากฏ (apparent focus spot)

2.5 ฮีลเอฟเฟก

รังสีเอกซ์พลังงานต่ำจะถูกดูดกลืนโดยส่วนของเป้าทำให้ความเข้มข้นของรัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีเอกซ์ลดลง รังสีเอกซ์ทางด้านอาโนดจะถูกดูดกลืนมากกว่าทางด้านคาโทด ดังนั้น ความเข้มของรังสีเอกซ์ทางด้านคาโทดจะมากกว่าอาโนด เรียกปรากฏการณ์ที่รังสีเอกซ์มีความเข้มข้นไม่เท่ากันนี้ว่าฮีลเอฟเฟก (heel affect) ในทางปฏิบัติสามารถแก้ฮีลเอฟเฟกได้โดยใช้ฟิลเตอร์ (filter) ซึ่งเป็นโลหะมีความหนาไม่เท่ากันวางไว้ในเฮาส์ซิ่งใกล้กับจุดที่รังสีเอกซ์ออกมา ความหนาของฟิลเตอร์ทางด้านอาโนดน้อยกว่าความหนาทางด้านคาโทด

2.6 คาแรกเตอริสติกส์ทางฟิสิกส์ของลำรังสีเอกซ์

คาแรกเตอริสติกส์ทางฟิสิกส์ของลำรังสีเอกซ์ (physical characteristics of an X-ray beam) สามารถอธิบายได้โดยแบ่งออกเป็น 2 ปริมาณคือ ความเข้มและคุณภาพ

2.6.1 ความเข้มของรังสีเอกซ์

ความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ตำแหน่งใดๆ เป็นปริมาณรังสีที่ตกลงไปตั้งฉากกับพื้นที่ตำแหน่งนั้นต่อหน่วยเวลา ซึ่งในปัจจุบันใช้เป็นปริมาณอัตราเอกโพเชอร์ (exposure rate) แทน ซึ่งได้นิยามปริมาณนี้ไว้ในบทที่กล่าวถึงหน่วยทางรังสี โดยที่ปริมาณของรังสีเอกซ์ขึ้นอยู่กับสาเหตุ 6 ประการคือ

2.6.1.1 ความต่างศักย์ การเพิ่มค่ากิโลโวลต์ระหว่างขั้วของหลอดรังสีเอกซ์จะทำให้อัตราเอกโพเชอร์และพลังงานของรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เกิดเนื่องจากความเร็วของอิเลคตรอนที่ผ่านจากขั้วคาโทดไปยังขั้วอาโนดเพิ่มขึ้น การเพิ่มของอัตราเอกโพเชอร์จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วของหลอดยกกำลัง 2 ถึง 4 และยังขึ้นกับค่าความหนาของตัวกรองที่ใช้

2.6.1.2 กระแส ถ้าเพิ่มกระแสที่ไส้หลอดมากขึ้นจะทำให้ปริมาณของอิเลคตรอนที่ออกจากไส้หลอดต่อวินาทีในหลอดรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้นด้วย นั่นคือทำให้กระแสไฟฟ้าในหลอดรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ปริมาณรังสีเอกซ์ต่อวินาทีเพิ่มขึ้น ปริมาณรังสีเอกซ์ที่เกิดออกมาจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับค่ามิลลิแอมแปร์ โดยที่แฟกเตอร์อื่นๆคงที่ การเปลี่ยนค่ามิลลิแอมแปร์ไม่มีผลทำให้คุณภาพของรังสีเอกซ์ที่ออกมาเปลี่ยนแปลงไป

2.6.1.3 ระยะทาง เนื่องจากอัตราปริมาณของรังสีเอกซ์จะเปลี่ยนไปตามระยะทางที่ห่างจากจุดกำเนิดรังสี ในกรณีที่จุดกำเนิดรังสีมีขนาดเล็กจนถือได้ว่าเป็นจุดอัตราปริมาณรังสีที่จุดใดๆจะเป็นปฏิภาคกลับกับระยะทางจากจุดกำเนิดรังสียกกำลังสอง ดังสมการ

$$I = \frac{1}{d^2}$$

ที่จุดต่างๆอัตราปริมาณของรังสีจะมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$$

เมื่อ I_1 = อัตราปริมาณรังสีที่ระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I2 = อัตราปริมาณรังสีที่ระยะทาง

2.6.1.4 ตัวกรอง อัตราปริมาณรังสีขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดความหนาของตัวกรองที่ใช้ การใช้ตัวกรองที่หนาและมีเลขอะตอมสูงจะทำให้อัตราปริมาณรังสีลดลงมามาก แต่รังสีเอกซ์ที่ออกมาจะมีค่าพลังงานเอกเฟกตีปสูงขึ้น จะเห็นได้ว่าตัวกรองที่จะตัดเอารังสีที่มีพลังงานต่ำออกไป ดังนั้นจึงเหลือแต่รังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงผ่านออกมา

2.6.1.5 ขนาดลำแสง การตั้งขนาดลำรังสีเอกซ์เพื่อคลุมพื้นที่ในการใช้งานก็ยังมีผลทำให้ปริมาณเอกโพเซอร์เปลี่ยนแปลง กล่าวคือ ปริมาณเอกโพเซอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดลำแสงกว้างขึ้น

2.6.1.6 ชนิดของเรกติไฟเออร์ การเปลี่ยนแปลงกระแสสลับเป็นกระแสตรงของวงจรเรกติไฟเออร์มีผลต่อประสิทธิภาพของรังสีเอกซ์ที่ออกมา จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในกรณีของการเรกติไฟแบบเต็มคลื่นจะสูงกว่าชนิดครึ่งคลื่น

2.6.2 คุณภาพของรังสีเอกซ์

คุณภาพของรังสีเอกซ์นิยามด้วยค่าครึ่งความหนา (Half Value Layer) หรือเรียกย่อๆว่า H.V.L. ค่าครึ่งความหนาหมายถึงค่าความหนาของวัตถุที่ทำให้ปริมาณรังสีลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง

ค่าครึ่งความหนาเป็นค่าที่ไม่ละเอียดในการกำหนดคุณภาพของรังสีเอกซ์ เนื่องจากค่าครึ่งความหนาไม่สามารถจะบอกจำนวนพลังงานของโฟตอนที่มีอยู่ในลำรังสีได้ การกำหนดค่าคุณภาพของรังสีที่สมบูรณ์นั้นจะต้องบอกจำนวนของพลังงานที่มีอยู่ในแต่ละช่วงพลังงาน แต่ในทางการแพทย์อนุโลมให้ใช้ค่าครึ่งความหนาได้ เพราะผลทางชีววิทยาของเซลสิ่งมีชีวิตที่มีต่อรังสีเอกซ์ไม่ไวมากต่อคุณภาพของรังสีเอกซ์

เนื่องจากรังสีเอกซ์ที่ผลิตออกมาจากเครื่องกำเนิดเป็นแบบวิวิธพันธ์ ดังนั้นลำรังสีจึงประกอบด้วยความยาวคลื่นต่างกัน เมื่อใส่ตัวกรองจะทำให้รังสีช่วงที่มีคลื่นยาวถูกดูดกลืนโดยตัวกรอง ช่วงคลื่นสั้นจะผ่านพ้นออกมาและถ้าใส่ตัวกรองให้หนาขึ้นรังสีเอกซ์ที่มีช่วงคลื่นสั้นๆจะทะลุออกมาได้เท่านั้น สเปกตรัมที่ออกมาจะมียอดย้ายไปทางช่วงคลื่นสั้น ดังนั้นการใส่ตัวกรองจะทำให้รังสีเอกซ์ที่ออกมามีค่าครึ่งความหนาเพิ่มขึ้น นั่นคือค่าพลังงานเฉลี่ยของรังสีเอกซ์จะมีค่ามากขึ้นเมื่อใส่ตัวกรอง

ค่าพลังงานเอฟเฟกตีป (effective energy) คือค่าพลังงานเฉลี่ยของรังสีเอกซ์แบบวิวิธพันธ์ใดๆหมายถึง ค่าพลังงานค่าเดียวซึ่งนำไปใช้คำนวณการถูกดูดกลืนโดยตัวกรองแล้วจะให้ปริมาณการถูกดูดกลืนที่ถูกต้องของรังสีวิวิธพันธ์นั้น โดยทั่วไปนิยมเปรียบเทียบกับพลังงานรังสีแกมมาที่มีค่าครึ่งความหนาเท่ากับพลังงานรังสีเอกซ์นั้น สำหรับค่าพลังงานเอฟเฟกตีปกับค่าความหนาครึ่งค่าได้แสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานเอฟเฟกตีปกับ H.V.L.

พลังงานเอฟเฟกตีป (keV)	H.V.L.มม.อลูมีเนียม	H.V.L.มม.ทองแดง
26	1.5	0.041
29	2.0	0.059
33	3.0	0.100
39	4.0	0.150
43	5.0	0.200
48	6.0	0.260
56	8.0	0.390
62	9.5	0.500
82	15.0	1.000

2.7 ความสามารถในการทำงานของหลอดรังสีเอกซ์

ความสามารถในการทำงานของหลอดรังสีเอกซ์พิจารณาจาก

2.7.1 ความต่างศักย์หลอดสูงสุด (maximum tube voltage) หลอดรังสีเอกซ์แต่ละหลอดจะมีความต่างศักย์หลอดสูงสุดเฉพาะค่าหนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติต่าง ๆ ของหลอด เช่น ระยะห่างระหว่างคาโถดและอาโนด รูปร่างของหลอดแก้ว รูปร่างของอาโนดและรูปร่างของคาโทด ตัวอย่างเช่น ความต่างศักย์หลอดสูงสุดของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์แมชเชต ไดนาแมก "25" (Machiett Dynamac "25") เท่ากับ 100 เคอีวี แต่อย่างไรก็ตามหลอดรังสีเอกซ์ที่ได้รับการออกแบบให้สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นเป็นครั้งคราวได้มากกว่าความต่างศักย์สูงสุดนี้

2.7.2 กระแสและความต่างศักย์ไส้หลอดสูงสุด (maximum filament current and voltage) แบ่งเป็นแบบไฟน์ฟิลลาเมนต์และดอสฟิลลาเมนต์ ตัวอย่างเช่น กระแสและความต่างศักย์ของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์แบบแมชเชต ไดนาแมก "25" ซึ่งมีทั้งดอสฟิลลาเมนต์และไฟน์ฟิลลาเมนต์มีดังต่อไปนี้ จุดโฟกัสเล็ก (1 มม.) 3.0-7.5 โวลต์ 3.0-5.0 แอมแปร์ จุดโฟกัสใหญ่ (2 มม.) 4.0-12.0 โวลต์ 3.0-5.5 แอมแปร์ สำหรับหลอดรังสีเอกซ์ที่ทำงานเป็นระยะ กระแสไส้หลอดสูงสุดเท่ากับ 5.5 แอมแปร์ ส่วนหลอดที่มีการทำงานติดต่อกันเป็นเวลานาน กระแสไส้หลอดสูงสุดลดลงเหลือเท่ากับ 4.5 แอมแปร์ เพราะว่าอุณหภูมิของไส้หลอดเพิ่มขึ้นมาก จนอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ไส้หลอดได้

2.7.3 พลังงานสูงสุด (maximum energy) เป็นพลังงานสูงสุดที่เป้าอาโนดและเฮาส์ซิงสามารถรับไว้ได้ กล่าวถึงในเทอมของฮีตยูนิต (heat unit) ใช้ตัวย่อ hu โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮีตยูนิต = (ความต่างศักย์หลอด) (กระแสหลอด) (เวลา)

hu = (kVp) (mA) (s)

การคำนวณความสามารถในการทำงานของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์นั้น สามารถพิจารณาได้โดยใช้กราฟที่แสดงถึงคุณสมบัติของเครื่องกำเนิดแต่ละชนิดโดยจะให้มากับเครื่อง กราฟที่สำคัญเหล่านี้คือ กราฟสำหรับการทำงานของเป้า สำหรับอาโนดและสำหรับเฮาส์ซิง

ตัวอย่างเช่น เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์แมชเชตไดนาแมก "25" มีค่าพลังงานสูงสุด สามารถสะสมที่อาโนดได้เท่ากับ 72,000 hu และเฮาส์ซิงสะสมพลังงานได้มากที่สุดเท่ากับ 1,000,000 hu

2.8 ชนิดของหลอดรังสีเอ็กซ์

หลอดรังสีเอกซ์ที่ใช้ในทางการแพทย์แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

2.8.1 หลอดรังสีเอกซ์สำหรับวินิจฉัยโรค หลอดรังสีชนิดนี้จำเป็นที่จะต้องผลิตรังสีเอกซ์ที่มีความเข้มสูง แต่ใช้ช่วงระยะเวลาในการผลิตน้อย ดังนั้นหลอดรังสีเอกซ์ชนิดนี้จึงมีค่ากระแสไหลผ่านหลอดสูง มีค่าตั้งแต่ 30 มิลลิแอมแปร์จนถึง 1000 มิลลิแอมแปร์ ค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วของหลอดปกติใช้ไม่เกิน 120 กิโลโวลต์

2.8.2 หลอดรังสีเอกซ์สำหรับรักษาโรค หลอดรังสีเอกซ์ชนิดนี้ใช้เพื่อรักษาโรค เวลาที่ใช้ครั้ง ๆ หนึ่งใช้เป็นเวลานาน ๆ ติดต่อกัน ค่ากระแสไหลผ่านหลอดต่ำมักจะไม่เกิน 30 มิลลิแอมแปร์ เนื่องจากการใช้หลอดรังสีเอกซ์ชนิดนี้ครั้งหนึ่ง ๆ ใช้เวลานาน ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องมีระบบระบายความร้อนที่ดี ค่ากิโลโวลต์ใช้ตั้งแต่ 10 กิโลโวลต์ขึ้นไปจนถึงหลายเมกกะโวลต์โดยขึ้นอยู่กับการใช้งาน

- เกรนซ์-เรย์ เทอราปี (Grenz - ray therapy) เครื่องชนิดนี้ใช้ผลิตรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ (seft X-ray) โดยใช้ความต่างศักย์ของหลอดต่ำกว่า 20 กิโลโวลต์ การใช้งานของเครื่องกำเนิดรังสีชนิดนี้ไม่ต้องคำนึงถึงการป้องกัน

- คอนแทกต์ เทอราปี (contact therapy) เครื่องกำเนิดชนิดนี้ใช้ความต่างศักย์ของหลอดประมาณ 40-50 กิโลโวลต์ ระยะห่างที่ใช้ S.S.D. (source skin distance) ประมาณ 2 เซนติเมตร

- ซูเปอร์ฟิเชียล เทอราปี (superficial therapy) ใช้ความต่างศักย์ของหลอดในช่วง 50-150 กิโลโวลต์

- ดีพ เทอราปี (deep therapy) ใช้ความต่างศักย์ของหลอดในช่วง 150-500 กิโลโวลต์ ส่วนใหญ่ใช้ประมาณ 250 กิโลโวลต์

- ซูเปอร์ โวลต์เตจ เทอราปี (super voltage therapy) เครื่องกำเนิดชนิดนี้ใช้ความต่างศักย์สูงมากอยู่ในช่วงเมกกะโวลต์

ระบบป้องกันในการใช้งานของเครื่องกำเนิดแต่ละชนิดต้องคำนึงถึงพลังงานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รังสีเอกซ์ที่ผลิตออกมา กล่าวคือเครื่องที่ให้พลังงานรังสีสูง ระบบป้องกันจะต้องดีกว่าเครื่องที่ให้พลังงานรังสีต่ำกว่า

2.9 ฟิล์มรังสีเอ็กซ์

ฟิล์มที่ใช้กับรังสีเอกซ์มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดคือ

2.9.1 สกรีนฟิล์ม

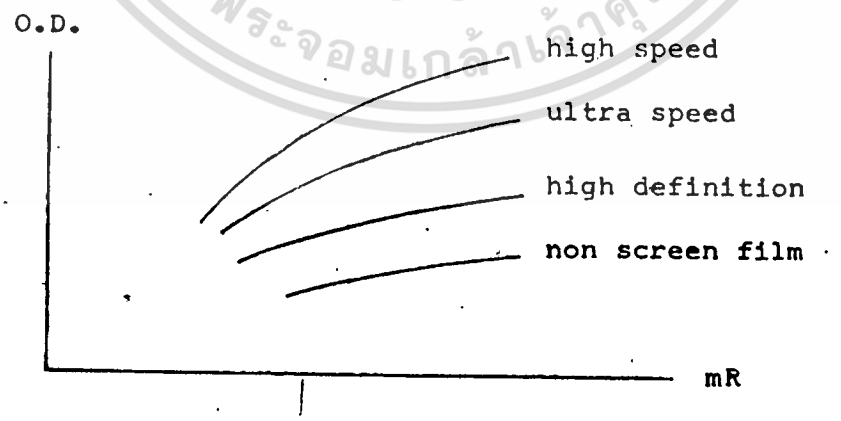
สกรีนฟิล์ม (screen film) เป็นฟิล์มที่ไวต่อแสงสีน้ำเงิน แต่ไม่ไวต่อรังสีเอกซ์ ดังนั้นฟิล์มชนิดนี้จึงอาศัยฉากที่เคลือบด้วยสารเรืองแสง fluorescent material มีชื่อเรียกว่าอินเทนซิไฟอิง สกรีน (intensify screen) โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- สารฟอสฟอร์ที่เคลือบอินเทนซิไฟอิง สกรีน จะเรืองแสงให้แสงสีน้ำเงินเมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบ
- มีความไวต่อรังสีเอกซ์ในช่วงความต่างศักย์ของหลอด 50-150 กิโลโวลต์ ซึ่งเป็นช่วงพลังงานที่เหมาะสมในการใช้วินิจฉัยโรค
- ไม่เกิดปฏิกิริยาบนฉากหลังจากหยุดการถ่ายภาพ
- เก็บไว้ได้นานไม่เสื่อมง่าย

อินเทนซิไฟอิง สกรีน แบ่งเป็น 3 ชนิดขึ้นอยู่กับเซนซิทิวิตี (sensitivity) ต่อรังสีเอกซ์ที่ชื่อเรียกว่าไฮ สปีด (high speed) อุลตราสปีด (ultra speed) และไฮ เดฟินิชัน (high definition) ดูรูป 2.6 ประกอบ

2.9.2 นอน สกรีน ฟิล์ม

นอน สกรีน ฟิล์ม (non screen film) เป็นฟิล์มที่มีความไวต่อรังสีเอกซ์ ดังนั้นไม่ต้องใช้ฉาก ซึ่งบางครั้งเรียกฟิล์มชนิดนี้ว่า ไดเรก เอกซ์โพเชอร์ ฟิล์ม (direct exposure film)



รูปที่ 2.6 ความดำ (O.D) ที่เกิดขึ้นบนฟิล์มแต่ละชนิดสัมพันธ์กับปริมาณเอกซ์โพเชอร์ (mR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 องค์ประกอบที่มีผลต่อคุณภาพของภาพถ่าย

คุณภาพของภาพถ่ายขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังต่อไปนี้

2.10.1 เดฟินิชั่น (definition) คือความสามารถในการแยกความคมของรายละเอียด ซึ่งความคมของภาพขึ้นอยู่กับขนาดของโฟกัส ในกรณีที่ขนาดโฟกัสใหญ่จะทำให้เกิดเพนัมบรา (penumbra) มาก ภาพที่ออกมาจะไม่ชัด

2.10.2 เดนซิตี (density) ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกันคือ

- ความต่างศักย์ของหลอด (kVp)
- กระแสของไส้หลอด (mA)
- เวลา
- ระยะทาง
- ความหนา

2.10.3 คอนทราสต์ (contrast) รายละเอียดของภาพ คุณภาพของภาพถ่ายที่ดีจะต้องมีความแตกต่างของรายละเอียดสูง (high contrast) ตรงกันข้ามถ้าภาพถ่ายที่ไม่ดีก็จะมีความแตกต่างของรายละเอียดต่ำ (low contrast)

2.10.4 ดิสตอชั่น (distortion) เกิดได้ 2 กรณีคือ

- ขนาด (size) ภาพที่ได้ผิดขนาดจากของจริง เนื่องจากเกิดการขยาย เพราะเหตุว่าระยะทางระหว่างวัตถุ-โฟกัส (O.F.D.) มีค่าสูงจึงทำให้เกิดภาพขยายมาก
- รูปร่าง (shape) สาเหตุของภาพที่ได้มีลักษณะผิดจากของจริง เนื่องจากการจัดวางวัตถุที่ต้องการถ่ายไม่ถูกต้อง กล่าวคือลำแสงจะต้องตั้งฉากกับวัตถุและวัตถุจะต้องวางสมมาตรกับฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทำงานของวงจรส่วนต่าง ๆ

เนื่องจากเครื่อง x-ray ระบบนี้เป็นเครื่องที่มีการนำเอาวงจรทางอิเลคทรอนิคส์และดิจิตอล เข้ามาประยุกต์ใช้งานด้วย ดังนั้นจึงจะอธิบายการทำงานของวงจรแต่ละส่วนออกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

3.1 วงจร Keyboard

วงจร Keyboard ประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ คือ ส่วนโปรแกรมสวิทช์ ส่วนสร้างสัญญาณ Clock ส่วนสร้าสัญญาณ Reset และส่วนสร้างสัญญาณเลือก Shift Register

ส่วนของโปรแกรมสวิทช์เราจะใช้ไดโอด 15 ตัวต่อร่วมกันเพื่อสร้างรหัส BCD 4 บิท ตามค่าของสวิทช์ที่กด สมมุติว่าเรากดสวิทช์หมายเลข 5 ข้อมูลของเลข 5 ก็จะถูกเปลี่ยนเป็นรหัส BCD ข้อมูลเหล่านี้จะถูกต่อไปเข้าอินเวอร์เตอร์เกท ทำให้ได้รหัส BCD ออกมาทางสาย D,C,B,A โดยจะให้ลอจิก 0,1,0,1 ตามลำดับ ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลเพื่อป้อนให้กับ Register ต่อไป และในเวลาเดียวกันรหัส BCD จะถูกป้อนไปเข้า NAND Gate 8 input ให้โลจิก "1" ออกมาซึ่งโดยปกติจะให้โลจิก "0" (เมื่ออินพุทั้งหมดเป็น 1) สัญญาณที่ได้รับออกมาจาก NAND Gate จะมีสัญญาณพัลซ์แฉกตามออกมาด้วยเนื่องจากการกดสวิทช์ข้อมูล จึงจำเป็นที่จะต้องทำให้สัญญาณพัลซ์แฉกเหล่านี้หายไปโดยการนำไปผ่านวงจร Monostable 2 ชุด ซึ่งจะช่วยแก้การเบาะของสวิทช์พร้อมทั้งสร้างสัญญาณ Clock ออกมา 1 ลูกต่อการกดสวิทช์ 1 ครั้ง

ส่วนของการสร้างสัญญาณ Reset สัญญาณ Reset ที่ถูกสร้างขึ้นจะประกอบไปด้วย สัญญาณ Reset KV , สัญญาณ Reset Time สัญญาณ Reset ทั้งสองจะถูกสร้างขึ้นพร้อมกันในขณะที่เราเริ่มทำการเปิดเครื่อง เนื่องจากค่า Time constant ของ RC ทำให้ในช่วงเวลาแรกที่ input ของ NOT Gate มีค่าโลจิกเป็น "0" Output ของ NOT Gate ก็จะให้โลจิก "1" ออก ซึ่งจะถูกป้อนไปเข้า OR Gate 2 input ซึ่งเมื่อ input เป็น "1" เพียงขาเดียว output ก็จะเป็น "1" ด้วย ทำให้มีสัญญาณ Reset ออกไปพร้อมกันทั้งของ KV และ TIME จนกระทั่ง C เริ่ม charge ประจุที่อินพุทของ NOT Gate จะเปลี่ยนเป็นโลจิก "1" ทำให้ output ของ NOT Gate ให้โลจิก "0" ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ Reset ที่ออกจาก OR Gate เปลี่ยนเป็นโลจิก "0" ซึ่งจะทำให้ Register ของทั้ง KV และ TIME พร้อมที่จะรับข้อมูล ซึ่งสัญญาณ Reset ทั้งสองก็จะออกพร้อมกันอีก ถ้าหากว่าเรากดสวิทช์ c แต่ถ้าหากว่าเราต้องการสัญญาณ Reset เพียงเดียวก็สามารถทำได้ โดยถ้าเรากดสวิทช์ R.KV ก็จะได้เพียงสัญญาณ Reset KV แต่ถ้าเรากดสวิทช์ R.T ก็จะได้เพียงสัญญาณ Reset TIME เท่านั้น

ส่วนสร้างสัญญาณเลือก Shift Register เนื่องจากสัญญาณรหัส BCD 4 บิท เราจะต่อเข้าไปยัง Register ของทั้ง KV , TIME , .TIME พร้อมกันหมดดังนั้นเราจึงต้องมีสัญญาณเลือกว่าจะให้รหัส BCD ถูกป้อนเข้าไปยัง Register ของใคร โดยที่เมื่อเรากดสวิทช์ KV ก็จะมีโลจิก "0" ออกไปเข้าขา Control ของ Register KV ส่วนที่ขา Control ของ Register TIME และ Register .TIME จะมีโลจิก "1" ทำให้ข้อมูลรหัส BCD สามารถผ่านเข้าไปใน Register KV ได้ถ้าหากมี clock ป้อนเข้ามา และในทางกลับกัน ถ้าหากเรากดสวิทช์ TIME ก็จะได้โลจิก "0" ออกไปเข้าขา Control ของ Register TIME เท่านั้น นอกนั้นจะได้โลจิก "1" หมด และถ้าหากว่าเรากดสวิทช์ . ก็จะมีโลจิก "0" ไปเข้าขา Control ของ Register .TIME เท่านั้น

3.2 วงจร Switching Regulator

บริดจ์ไดโอด D1-D4 เบอร์ CM 1004 จะทำหน้าที่ Rectifier เปลี่ยนไฟ ac 80 v ให้เป็นไฟ dc ประมาณ 120 v โดย C5 จะทำหน้าที่กรองไฟ dc 120 v ให้เรียบเพื่อป้อนให้กับ Q3 ซึ่งเป็น Power Transistor

ไดโอด D5-D8 จะทำหน้าที่เปลี่ยนไฟ ac 15-0-15 ให้เป็นไฟ dc บวกและลบโดยผ่านการกรองกระแสด้วย C6 และ C7 จากนั้นซีนเนอร์ไดโอด Z1 และ Z2 จะรักษาระดับไฟ dc ไว้ที่ +10 v และ -10 v เพื่อป้อนให้แก่วงจรต่อไป

IC1 เบอร์ 555 จะทำหน้าที่เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาความถี่ 5 kHz โดย R3 , VR1 และ C1 จะประกอบกันเพื่อทำหน้าที่เป็นส่วนกำหนดค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกา output ที่ออกจาก IC1 จะถูกป้อนเข้าสู่วงจร RC อินทีเกรเตอร์เพื่อเปลี่ยนรูปร่างของสัญญาณจากสี่เหลี่ยมให้เป็นรูปฟันเลื่อย เพื่อป้อนให้กับ IC 2/4 ต่อไป

สัญญาณควบคุมจากภาค Control Regulator ซึ่งเป็นระดับไฟ dc ที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าที่ปรากฏบนภาค Display KV จะถูกป้อนให้กับ IC 2/1 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรอินเวอตติ้งแอมป์ที่มี Gain เท่ากับ 1 เพื่อกลับค่า dc จากบวกให้เป็นลบแต่มีค่าไฟ dc เท่าเดิม ค่า dc ไฟลบจะถูกนำไป Summing กับค่า dc ไฟบวกที่นำมาจาก Output ของ Switching Regulator ด้วยวงจร summing OP-AMP ที่มี Gain สูงมาก โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า dc ไฟบวกจาก output มีค่าน้อยกว่าค่า dc ไฟลบ จะทำให้ output ของ IC 2/2 มีค่าเป็นบวกค่าหนึ่ง ซึ่งค่า dc Voltage ที่ output ของ IC 2/2 จะเปลี่ยนแปลงไป ค่าความแตกต่างระหว่างค่า dc ไฟบวกจาก output ของ Regulator กับค่า dc ไฟลบที่ได้จาก IC 2/1 และค่า dc Voltage จาก IC 2/2 จะถูกป้อนให้กับ IC 2/3 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจร Inverting Amp อัตราขยายเท่ากับ 1---เพื่อเปลี่ยนเป็นไฟ dc จากบวกให้เป็นลบ และค่า dc Voltage ที่ได้นี้จะถูกนำไปเข้าวงจรเปรียบเทียบที่ IC 2/4 เพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณพันเลื่อย ทำให้เอ้าท์พุทของ IC 2/4 ปรากฏเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 5 kHz โดยที่ความกว้างของพัลซ์จะเปลี่ยนไปตามระดับ dc Voltage ที่มาจาก output ของ IC 2/3 ซึ่งในกรณีของ dc Voltage ที่ output ของ Regulator มีค่าน้อยกว่าค่า dc ที่มาจากภาค Control Regulator ก็จะทำให้ค่า dc ที่ output ของ IC 2/3 มีค่าน้อยซึ่งจะทำให้ สัญญาณสี่เหลี่ยมมีความกว้างของพัลซ์มาก ในทางกลับกัน ถ้าค่า dc output ของ Regulator มีค่าใกล้เคียงหรือมากกว่าค่า dc Voltage ที่มาจากภาค Control Registor ก็จะทำให้ค่า dc Voltage ที่ output ของ IC 2/3 มีค่ามากจนกระทั่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบที่ IC 2/4 แล้วจะทำให้ สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ output มีความกว้างแคบลง ดังนั้นเราจะเห็นได้ สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ output ของ IC 2/4 สามารถเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลซ์ได้ และสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้นี้จะถูกส่งไปขยายโดยทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 เพื่อทำหน้าที่ขับ Power Transistor Q3 ให้ทำหน้าที่สวิทช์ตามสัญญาณสี่เหลี่ยม โดยเราจะนำไฟ dc +120v ป้อนให้กับ Power Transistor Q3 พอ Q3 ทำการสวิทช์ตามสัญญาณสี่เหลี่ยม เราก็จะได้สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ output ของ Q3 โดยมีช่วง on เป็น +120v ช่วง off เป็น 0v เมื่อนำไปผ่านวงจรฟิลเตอร์ซึ่งประกอบไปด้วย L1 และ C4 ก็จะได้ค่า dc Voltage ตามที่ต้องการ

3.3 วงจร Invertor 500 Hz

IC1 จะถูกต่อเป็นอินเวอรเตอร์เกททำหน้าที่กำเนิดสัญญาณนาฬิการ่วมกับ x-tal ขนาด 4 Mhz โดยมี C1,C2 ทำหน้าที่เป็นโหลดให้กับ x-tal สัญญาณนาฬิกาที่กำเนิดได้นี้จะถูกส่งเข้าไปยัง IC2,IC4 เบอร์ MC 4017 ทำหน้าที่เป็นวงจรหารสิบร่วมกันโดยเอาท์พุทที่ได้จาก IC2 จะได้ความถี่ 400 KHz และจะถูกส่งไปเป็นอินพุทให้กับ IC3 เพื่อหารสิบอีกครั้ง จะได้ความถี่ 40 KHz ปรากฏที่ output ของ IC3 และความถี่ 40 KHz จะถูกส่งไปเป็นอินพุทให้กับ IC4 เพื่อหารสิบอีกครั้งหนึ่งทำให้เราได้ความถี่ 4KHz ที่output ของ IC4 จากนั้นเราเอาความถี่ 4 KHz ไปป้อนเข้า IC5 เบอร์ 4029 ซึ่งทำหน้าที่เป็น 4 bit binary counter เพื่อทำการหาร 8 เราก็จะได้สัญญาณนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 500 Hz ที่เอาท์พุทของ IC5

สัญญาณนาฬิกาความถี่ 500 Hz จะถูกคัปปลิ้งด้วย C3 ค่า 1 Uf ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้ทรานซิสเตอร์ Q1 นำกระแสค้างไว้ ซึ่งจะทำให้ Power Transistor Q4 เกิดการนำกระแสตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายแก่ Transistor ขึ้นได้ สัญญาณนาฬิกาความถี่ 500 Hz จะถูกขับด้วย Q1-Q3 เพื่อขยายสัญญาณให้มีความแรงมากพอที่จะขับ Power Transister ได้ ดังนั้น Power Transistor Q4 ก็จะทำการ Switch ด้วยความถี่ 500 Hz โดยมีขด Primary ของถัง High Tension เป็นโหลดสำหรับ Supply ไฟบวก ที่ป้อนให้กับ Power Transistor จะนำมาจากภาค Switching Regulator ซึ่งไฟบวกนี้จะสามารถเปลี่ยนค่าไปตาม การเลือกค่า KV ของผู้ใช้งาน สำหรับไดโอด D1 ที่ต่อคร่อมขด Primary อยู่นั้น ทำหน้าที่รับกระแสเหนี่ยวนำย้อนกลับ ในกรณีที่ Power Transistor หยุดนำกระแส ดังนั้นเราก็จะได้สัญญาณ Squarwave ความถี่ 500 Hz ป้อนให้กับถัง High Tension เพื่อผลิตแรงดันไฟสูงต่อไป

3.4 วงจร Timer

IC1 เบอร์ MC 4011 ถูกต่อเป็นวงจรอะสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์ เพื่อกำเนิดสัญญาณนาฬิกาความถี่ 100 Hz ซึ่งควบคุมด้วย R1 , R2 , VR1 และ C1

เมื่อมีการกด S.W Ready ขา Reset ของ IC 4518 ทั้ง 3 ตัวจะได้รับโลจิก "0" ซึ่งจะทำให้ IC 4518 ซึ่งเป็น BCD Counter พร้อมที่จะทำการนับ เมื่อมีการกด S.W x-ray สัญญาณนาฬิกาความถี่ 100 Hz ก็จะถูกส่งไปยัง BCD Counter พร้อมกันนั้นก็จะมีโลจิก "1" ไปยังทรานซิสเตอร์ Q1 ทำให้ Relay TIMER ทำงาน Contact ของ Relay ก็จะถูกดึงมายังตำแหน่ง on เพื่อสั่งให้วงจร Invertor ทำงาน และที่ output ของ BCD Counter จะถูกป้อนเข้าไปยัง Exchusive NOR Gate ทั้ง 8 ตัวเพื่อเปรียบเทียบกับรหัส BCD จากภาค Display TIME ถ้ารหัสจาก Counter และ Display มีค่าเท่ากัน Exchusive OR Gate ทั้ง 8 ตัวจะให้ output เป็น "1" ทั้งหมด และ output ทั้ง 8 จะถูกป้อนให้กับ AND Gate 8 input ทำให้ output ของ AND Gate 8 input เปลี่ยนจากโลจิก "1" เป็น "0" ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 หยุดทำงาน เนื่องจากขาเบสได้รับโลจิก "0" ทำให้ Relay ตึง Contact กลับสู่ NC ซึ่งทำให้วงจรอินเวอรเตอร์หยุดทำงาน ดังนั้นวงจร TIMER จะทำการต่อ Contact ตามระยะเวลาที่ตั้งไว้ ตามค่าที่แสดงไว้บน Display เมื่อครบตามเวลาที่ตั้งไว้ Relay ก็จะตัด Contact ทันที

เราจะเห็นได้ว่าวงจร output ของ AND Gate 8 input จะถูกต่อไปยัง AND Gate 2 input ดังนั้นถ้าวงจรเกิดการ Over KV หรือ Over TIMER ขึ้นวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Over ทั้งสองจะส่งโลจิก "0" มาให้กับ AND Gate 2 input ทันที ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 ไม่สามารถ Conduct ได้เพราะว่า เมื่อ AND Gate มีค่า input เป็นโลจิก "0" เมื่อไร output ที่ได้จะเป็นโลจิก "0" เสมอไม่ว่า input ที่เหลือจะเป็นโลจิกอะไรก็ตาม

3.5 วงจร Display Time และ Over Time

วงจร Shift Register จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุดโดยชุดแรกจะเป็นของหลักหน่วยและหลักสิบของวินาที ส่วนชุดที่สองจะเป็นหลักเศษส่วนของวินาที โดยที่ขา Control (91,92) จะแยกกัน และขา Clock ก็จะแยกจากกันด้วย ส่วนขา Reset จะต่อถึงกันหมดทั้ง 3 ตัว และข้อมูลรหัส BCD จะต่อขนานถึงกันหมดทั้ง 3 ตัว

เมื่อมีการกดสวิทช์ T Shift Register B และ C จะถูกเลือก เมื่อมีข้อมูลรหัส BCD ป้อนเข้ามายังขา Data ของ Register และมีสัญญาณ Clock จะทำให้มีข้อมูลรหัส BCD ที่ส่งมาจาก Keyboard ถูกป้อนเข้าไปใน Register B พร้อมทั้งจะถูกส่งไปยัง IC เบอร์ 4511 เพื่อขับ LED Seven Segment เพื่อแสดงค่าบน Display ถ้าหากมีการป้อนข้อมูลรหัส BCD เข้ามาอีกครั้ง ข้อมูลเก่าที่ Register B จะถูก Shift ไปยัง Register C และข้อมูลใหม่จะเข้าไปแทนที่ทัน Register B ทันที พร้อมกันนั้นภาคแสดงผลก็จะแสดงค่าทาง Display TIME เมื่อมีการกดสวิทช์ . Register B และ C ก็จะเก็บค่าที่ป้อนมาครั้งแรกไว้โดยจะไม่สนใจข้อมูลใหม่ที่ส่งมาหลังจากกดสวิทช์ . และ Register A ก็จะถูกเลือกเมื่อมีการป้อนข้อมูลรหัส BCD จาก Keyboard เข้ามา Register A ก็จะ Shift ข้อมูลเข้ามาเก็บไว้พร้อมทั้งส่งไปยัง IC 4511 เพื่อขับภาคแสดงผล เพื่อแสดงค่าเศษส่วนของวินาที

สำหรับส่วนของวงจร Over TIME นั้น เราจะใช้วงจรเกทประกอบขึ้นเพื่อคอยตรวจสอบค่าข้อมูลที่อยู่ใน Register ทั้ง 3 ตัวว่ามีค่าเกินกว่าที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยเราได้กำหนดเอาไว้ว่าสามารถตั้งเวลาได้ไม่เกิน 5.0 วินาที เมื่อมีการป้อนข้อมูลเข้าไปมากกว่า 5.0 วินาที บน Display วงจร Over Load TIME ก็จะส่งโลจิก "1" ไปยัง Transistor เพื่อให้หลอด LED สว่างขึ้นพร้อมกันนั้นก็จะส่งโลจิกไปยังส่วนของ TIMER เพื่อบอกให้ทราบว่าเกิดการ Over ขึ้น ทำให้ไม่สามารถยิงแสง x-ray ได้

3.6 วงจร Display KV และ Control Regulator

วงจร Shift Register ของ Display KV จะถูกต่อแบบอนุกรมโดยที่ output ของ Register ตัวแรกจะเป็น input ของ Register ตัวที่สอง และ output ของตัวที่สองจะเป็น input ของตัวที่สาม โดยสัญญาณ Clock จะต่อขนานกันทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามตัวพร้อมทั้งขา Control (g1,g2) ด้วย เมื่อมีข้อมูลรหัส BCD ที่ส่งมาจาก Keyboard มายังขา input ของ Register KV ตัวแรก ถ้า Register KV ถูกเลือกโดยสวิทช์ KV จาก Keyboard ข้อมูลรหัส BCD ก็จะถูก Shift เข้าไปใน Register ตัวแรกพร้อมทั้งถูกส่งไปแสดงผล จากนั้นถ้ามีข้อมูลรหัส BCD ถูกส่งมาอีก ข้อมูลนี้ก็จะถูก Shift เข้าไปใน Register ตัวแรกและแสดงผลทาง Display ข้อมูลเก่าของ Register ตัวแรกจะถูก Shift ไปยัง Register ตัวที่สองและจะถูกส่งออกไปแสดงผลโดยภาคแสดงผล จะถูกขับโดย IC 4511 จากนั้นถ้าหากยังมีข้อมูลรหัส BCD ส่งเข้ามาอีกครั้งหนึ่ง ข้อมูลครั้งสุดท้ายจะไปปรากฏยัง Display หลักหน่วย ข้อมูลครั้งที่สองจะปรากฏบน Display หลักสิบ และข้อมูลครั้งแรกก็จะถูก Shift ไปยัง Display หลักร้อย และที่สำคัญคือถ้าหากว่าข้อมูลที่ปรากฏบน Display มีค่าไม่เกิน 100 วงจร Over Load KV ก็จะไม่ทำงาน แต่ถ้าหากข้อมูลที่ปรากฏบน Display มีค่าเกิน 100 ขึ้นไป วงจร Over Load KV ก็จะทำงานโดยอาศัย OR Gate 4 input มาเป็นตัวตรวจจับรหัส BCD จาก Shift Register ทุกตัว

วงจร Control Regulator โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนรหัส BCD เป็นค่าทาง Analog (voltage) โดยการใช้วงจร Summing OP AMP ซึ่ง Voltage ที่ต้องการคือ 5 V ที่ 100 KV โดยที่เราจะใช้ OP AMP ทั้งหมด 4 ตัว สำหรับ 3 ตัวแรกจะใช้สำหรับเปลี่ยนรหัส BCD ที่ได้จาก Register แต่ละตัว จากนั้นเมื่อได้ค่า dc Voltage ของรหัส BCD แต่ละหลักแล้วก็จะนำมา Summing กันอีกทีเพื่อรวม Voltage เข้าด้วยกันแล้วจึงส่งออกไปยังวงจร dc Regulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงาน

ในช่วงการทดลองทำเครื่อง x-ray นี้ ได้เกิดปัญหาในการทำงานขึ้น ซึ่งขอจะสรุปเป็นเรื่องสำคัญ ๆ ตลอดจนแนวทางในการแก้ไขได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 ส่วนของวงจร switching regulator

ในการทดลองระยะแรก ๆ ประสบปัญหาต่าง ๆ มากมาย เนื่องจากในแนวความคิดดั้งแรกต้องการตัด power transformer ออกไปเพื่อลดน้ำหนักของเครื่อง ดังนั้นไฟ ac 220 v จึงต้องต่อเข้าโดยตรงผ่าน bridge regtifier ทำให้แรงดัน dc ที่ผ่านการฟิลเตอร์แล้วมีค่าสูงมากประมาณ 310 v ปัญหาแรกก็คือ หาค่า c ฟิลเตอร์ที่ต้องการไม่ได้ เนื่องจาก c ฟิลเตอร์ที่สามารถทนแรงดันสูง ๆ นั้นส่วนมากจะมีค่าไม่เกิน 1500 Uf ในการทดลองครั้งแรกจึงใช้ c ค่า 200 Uf/350 v 2ตัว ต่อขนานกัน และยังประสบปัญหาในการหา power transistor ที่สามารถทนแรงดันได้สูง ๆ ซึ่งหาได้ยากมาก ดังนั้นการตัด power transformer ออกไปจึงทำไม่ได้ จึงใช้หม้อแปลงแปลงแรงดัน 220 v ลดลงเป็น 80 v เพื่อให้แรงดัน dc ที่ผ่านการฟิลเตอร์แล้วมีค่าไม่มากนัก ซึ่งพอเพียงต่อการป้อนให้กับ inverter คือ 120 v dc ปัญหา c ฟิลเตอร์จึงหมดไป และ power transistor ก็หาได้ง่ายขึ้น ปัญหาต่อมาที่พบก็คือ ในขณะที่เริ่มต่อไฟเข้าวงจร c ฟิลเตอร์ทางด้านเอาท์พุท ของ regulator จะยังไม่มีประจุ ทำให้เกิดการกระชากของกระแสไฟฟ้าอย่างมาก ทำให้ power transistor เกิดความเสียหายหลายครั้งจนกระทั่งค้นพบสาเหตุ

4.2 ส่วนของวงจร invertor 500 hz

ในระยะแรกของการทดลอง กำหนดไว้ว่าต้องการไฟ ac รูปคลื่นสี่เหลี่ยม ที่มีช่วงบวกและลบสมมาตรกัน เพื่อป้องกันแกนเหล็กของหม้อแปลงเกิดการอิ่มตัว จึงได้ใช้วงจรแบบ push-pull ที่ใช้ไฟเลี้ยงทั้งบวกและลบ ปัญหาก็คือทรานซิสเตอร์คู่ทางด้านเอาท์พุท มีการ on และ off ไม่พร้อมกันคือจะเกิดการ on พร้อมกันในบางจุดของสัญญาณ เนื่องมาจากวงจรขยายสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม มีการ delay สัญญาณไม่เท่ากันทางขึกบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และลบ เมื่อทำการทดลองจึงทำให้ power transistor เสียหาย ต้องหาสาเหตุโดยการใช้ออสซิลโลสโคปตรวจวัดสัญญาณเทียบกันทุกจุด และพบว่าสัญญาณ drive ของช่วงบวกและลบ มีช่วงเวลาทับกันเป็น uS แต่เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์มีค่ามากในช่วงการ conduct พร้อมกัน จึงทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหาย การแก้ปัญหาจึงทำโดยใช้ทรานซิสเตอร์ทำการ switch ในช่วงบวกช่วงเดียว

4.3 ส่วนของถัง high tension transformer

เนื่องจากไฟแรงสูงที่ใช้มีค่าสูงมาก ประมาณ 100 kv และขั้วไฟลบของไฟสูงจะต้องต่อเข้ากับขั้ว filament ของหลอด ทำให้ขด secondary ของ filament transformer ขั้วหนึ่งมีค่าไฟสูงขั้วลบปรากฏอยู่ ซึ่งในขณะทำการทดลองในถังพลาสติดจะเกิดการกระโดดจากขด secondary ไปสู่ขด primary ทำให้เกิดการดึงกระแสอย่างมากในวงจร switching regulator จึงได้เปลี่ยนไปสร้างแกนเหล็กใน filament transformer ขึ้นใหม่ ให้มีระยะห่างจากขดลวดให้มากขึ้นและใช้ฉนวนหนาขึ้นเพื่อแยกชุดขดลวดทั้งสอง และสามารถใช้ไฟได้สูงถึง 75 kv

ปัญหาอีกอย่างหนึ่งที่พบคือ ไดโอดเรคติไฟเออร์แบบบริดจ์ ที่ประกอบอยู่ในถัง high tension ถ้าหากเราใช้ไฟต่ำสูง ๆ ไดโอดเบอร์ 1N4007 ที่ต่ออนุกรมกันจำนวน 300 ตัวจะเกิดการเสียหายทั้งหมด จึงได้เพิ่มจำนวนไดโอดเป็น 400 ตัวต่อ 1 แผง จึงสามารถแก้ปัญหานี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองเครื่อง x-ray ระบบความถี่สูง เราสามารถแก้ปัญหาต่าง ๆ ของเครื่อง x-ray ระบบเก่าได้เป็นอย่างดี ในประเด็นที่ว่า เครื่อง x-ray ระบบเดิมนั้นต้องใช้กำลังไฟฟ้าสูงหรือใช้กระแสไฟฟ้ามาก เมื่อทดลองใช้เครื่อง x-ray ระบบความถี่สูงก็ปรากฏว่าสามารถลดกำลังไฟหรือกระแสไฟฟ้าที่ใช้ลงได้อย่างมาก ประมาณ 10 เท่า จากปกติใช้กระแสไฟฟ้าประมาณ 2-3 Amp และจากการเปรียบเทียบภาพจากฟิล์ม x-ray ของเครื่องทั้งสองระบบ จะพบว่าความละเอียดและความคมชัดของภาพใกล้เคียงกันมาก ซึ่งเป็นผลจากการที่เราใช้ค่าความถี่สูงขนาดนั้นเอง

สำหรับในเรื่องน้ำหนักของตัวเครื่อง ในขณะนี้ยังไม่สามารถลดน้ำหนักลงได้มากนัก เนื่องจากประสบปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของแกนเหล็กและวิธีการพันลวดทองแดงทางขด secondary หรือขดไฟสูงของ high tension transformer รวมทั้งปัญหาการกระโดดของไฟสูง ซึ่งทำให้ระยะห่างต่าง ๆ ของแกนเหล็กยังไม่สามารถลดลงได้

เครื่อง x-ray ระบบนี้จึงยังต้องมีการทดลองพัฒนาต่อไป เพื่อให้เครื่องมีคุณภาพในการใช้งานได้สูงสุด อันจะก่อให้เกิดผลดีต่อวงการแพทย์และประเทศชาติต่อไปในภายภาคหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์วงจร switching regulator

Resister		จำนวน
100	ohm 1/2 w	2
100	ohm 5 w	1
1	Kohm 1/2 w	1
2	Kohm 1/2 w	2
4.7	Kohm 1/2 w	1
6.8	Kohm 1/2 w	1
10	Kohm 1/2 w	6
10	Kohm 5 w	1
18	Kohm 1/2 w	1
33	Kohm 5 w	1
100	Kohm 1/2 w	2
12	Mohm 1/2 w	1
VR Multiturn 20 Kohm		1

Capacitor		
.01	Uf	1
.1	Uf	2
1000	Uf /-25 v	2
1500	Uf /350 v	1
4700	Uf / 80 v	2

Diode		
1N4001		6
CM1004	400v 25A	1
zener diode 10v 1/2 w		2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transistor	จำนวน
2SD 594	2
2D 1150A	1

IC	
LM 324	1
555	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์วงจร Invertor

Resistor			จำนวน
10	ohm	5 w	1
470	ohm	1/2 w	1
1	Kohm	1/2 w	2
100	Kohm	1/2 w	1
390	Kohm	1/2 w	1
10	Mohm	1/2 w	1

Capacitor			
47	Pf		2
0.1	Uf		1
1	Uf	25 v	1
1	Uf	25 v Tantalum	3

Diode				
diode	5	A	400 v	1

Transistor	
BC 559	1
PD 140	1
2SC 1061	1
2D 1150A	1

IC	
7812	1
4011	1

X-tal	
4 Mhz	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์วงจร Keyboard

Resistor			จำนวน
10	Kohm	1/2 w	11
68	Kohm	1/2 w	1
100	Kohm	1/2 w	1

Capacitor		
0.33	Uf	1
1	Uf	1

Diode	
1N4148	15

IC	
4068	1
4528	1
4069	2
4081	1
4011	3
4072	1

Keyswitch กดติดปล่อยดับ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์วงจร Power Supply

Resistor			จำนวน
750	ohm	1 w	1
820	ohm	1 w	1

Capacitor		
0.01	Uf	2
0.1	Uf	1
0.33	Uf	1
100	Uf/16 v	2
100	Uf/25 v	1
2200	Uf/25 v	2

Diode		
Bridge	2 A 100 v	1
1N 5401		2

Transistor	
MJ 2955	1

IC	
7805	1
7815	1
7915	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์วงจร Display Time and Timer

Resistor	จำนวน
180 ohm 1/2 w	21
390 ohm 1/2 w	2
4.7 Kohm 1/2 w	2
10 Kohm 1/2 w	4
68 Kohm 1/2 w	1
1 Mohm 1/2 w	1
VR 100 Kohm Multiturn	1
Capacitor	
0.047 Uf	1
0.1 Uf	2
Diode	
1N 4007	3
LED	1
Seven Segment Commoncathode	3
Transistor	
2SC 458	2
IC	
4518	2
4068	1
4081	2
4072	2
4077	2
4011	1
4511	3
4076B	3
Relay 12 v dc	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์วงจร Display KV และ Control Regulator

Resistor		จำนวน
180	ohm 1/2 w	21
390	ohm 1/2 w	2
10	Kohm 1/2 w	3
4.7	Kohm 1/2 w	1
100	Kohm 1/2 w	4
1.69	Kohm 1% 1/4 w	1
16.9	Kohm 1% 1/4 w	1
21.1	Kohm 1% 1/4 w	3
42.2	Kohm 1% 1/4 w	3
84.5	Kohm 1% 1/4 w	3
169	Kohm 1% 1/4 w	4
VR 100	Kohm Multiturn	4

Diode	
1N 4148	2
LED	1
Seven Segment Common Cathode	3

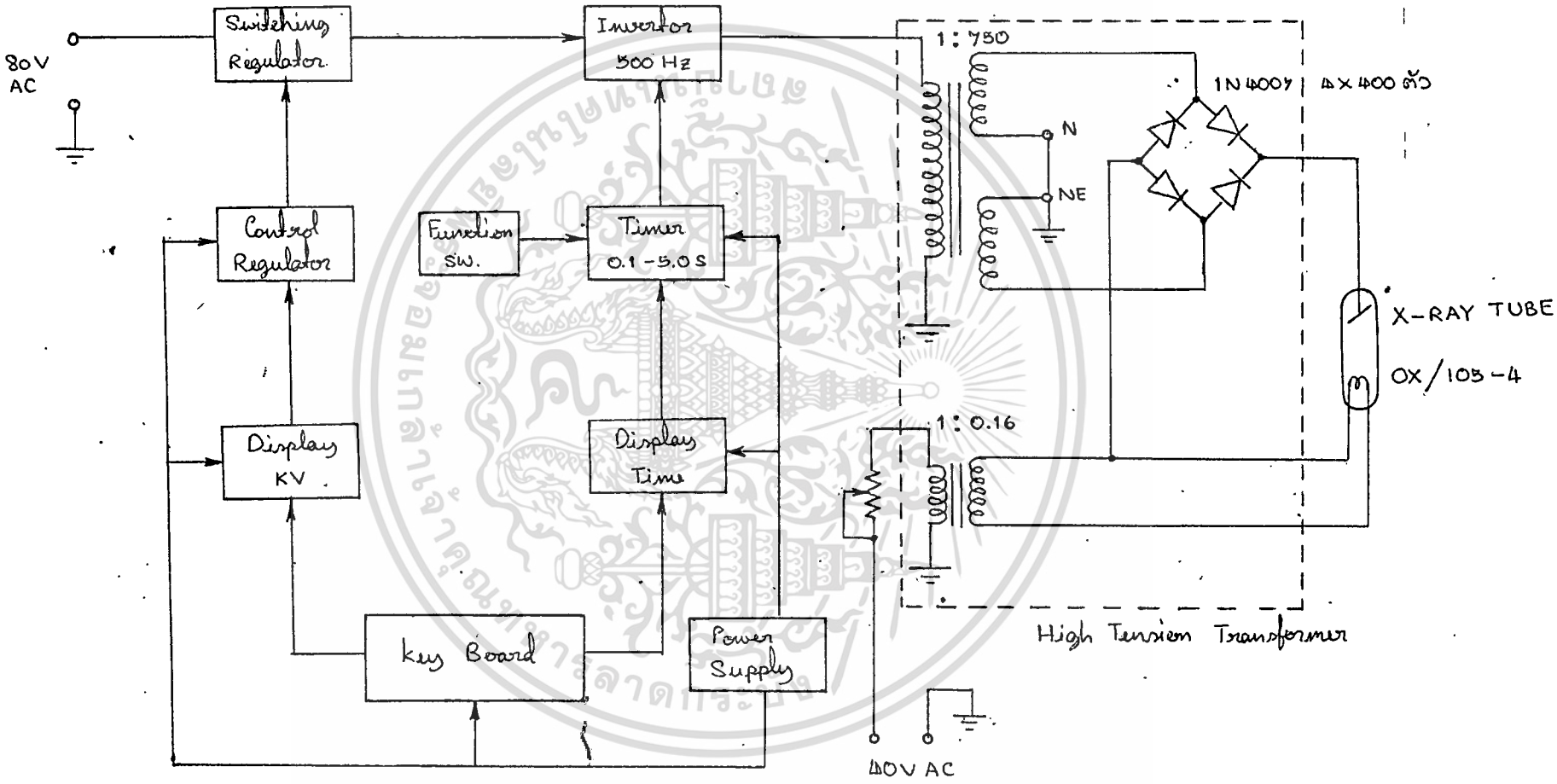
Transistor	
2SC 458	1

IC	
4511	3
4076B	3
4072	3
4081	1
LF 351	4

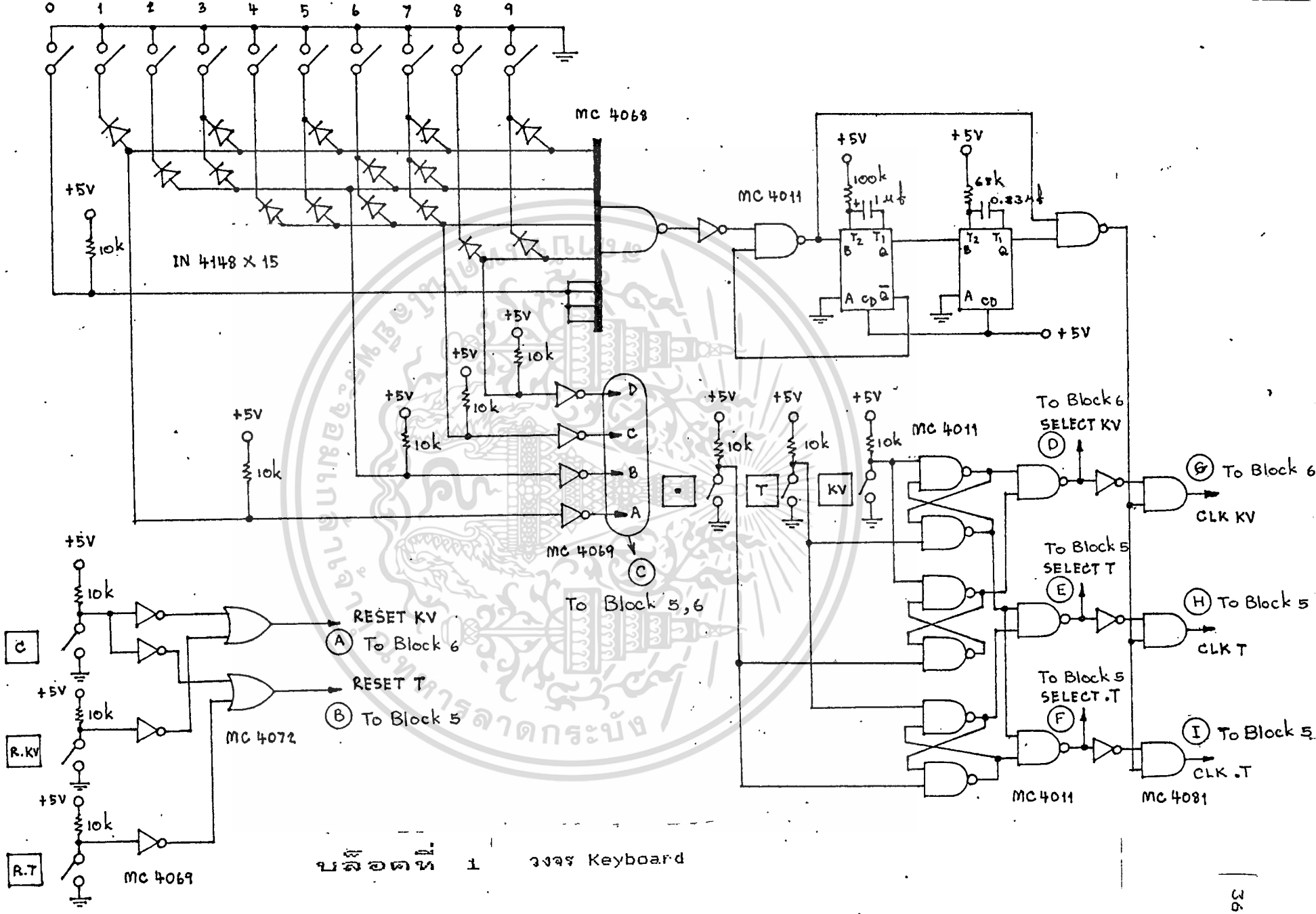
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข วงจรส่วนต่าง ๆ

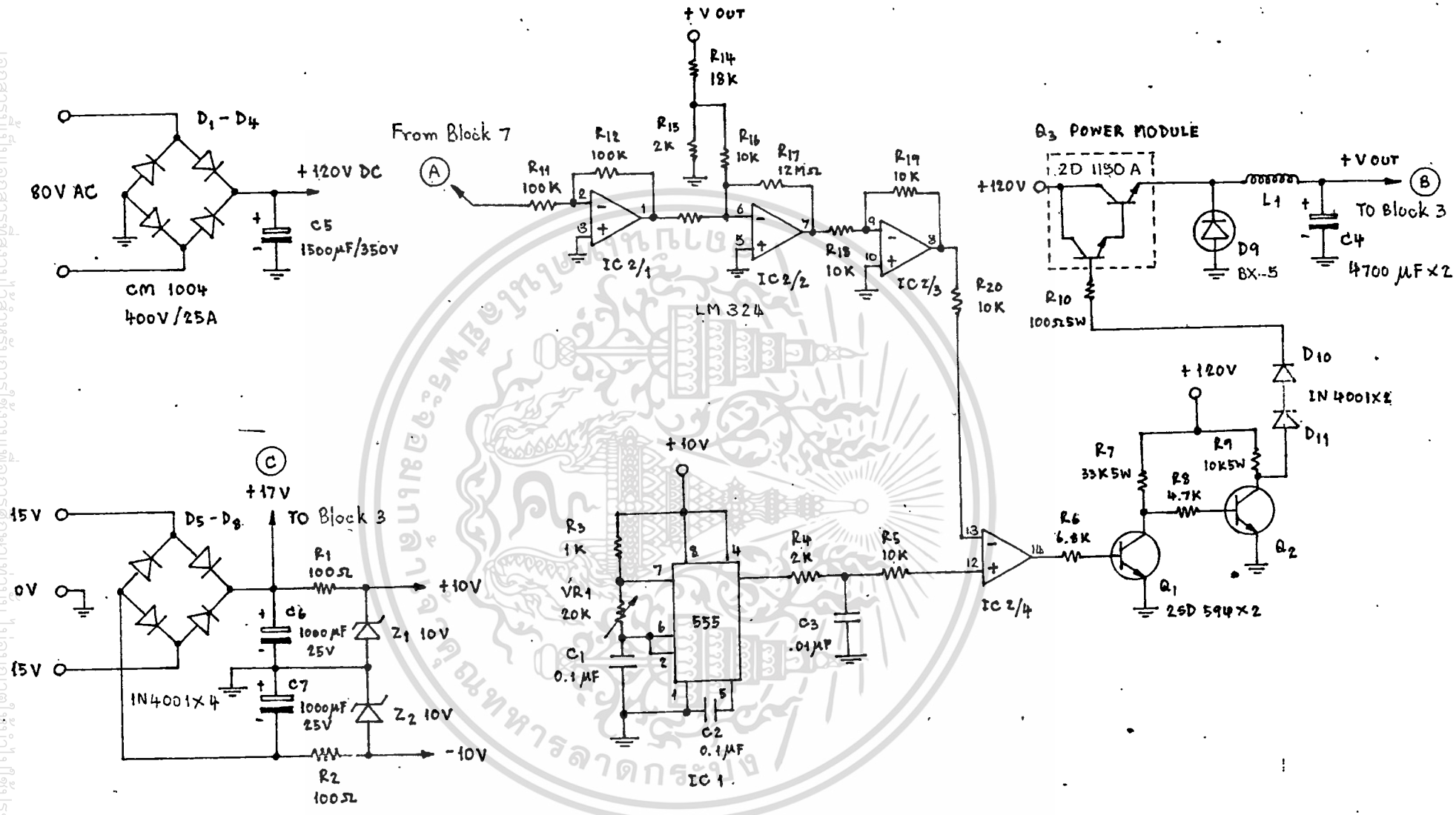
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



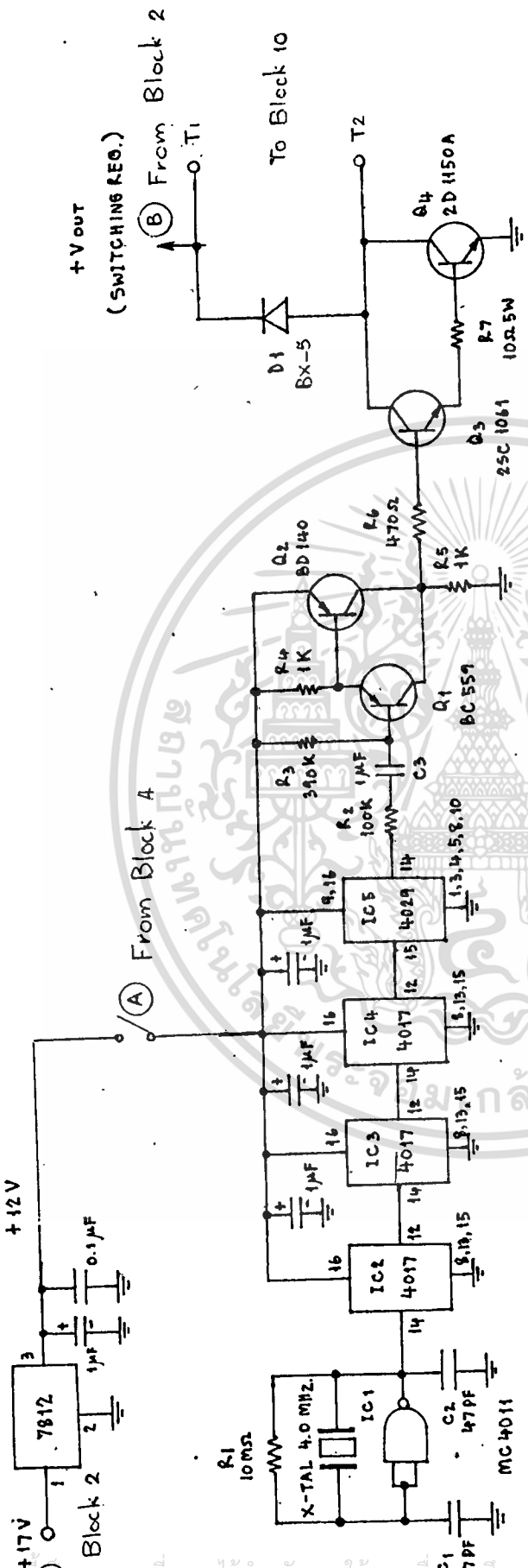
บล็อคไดอะแกรมของเครื่องเอ็กซเรย์



บล็อคที่ 1 วงจร Keyboard

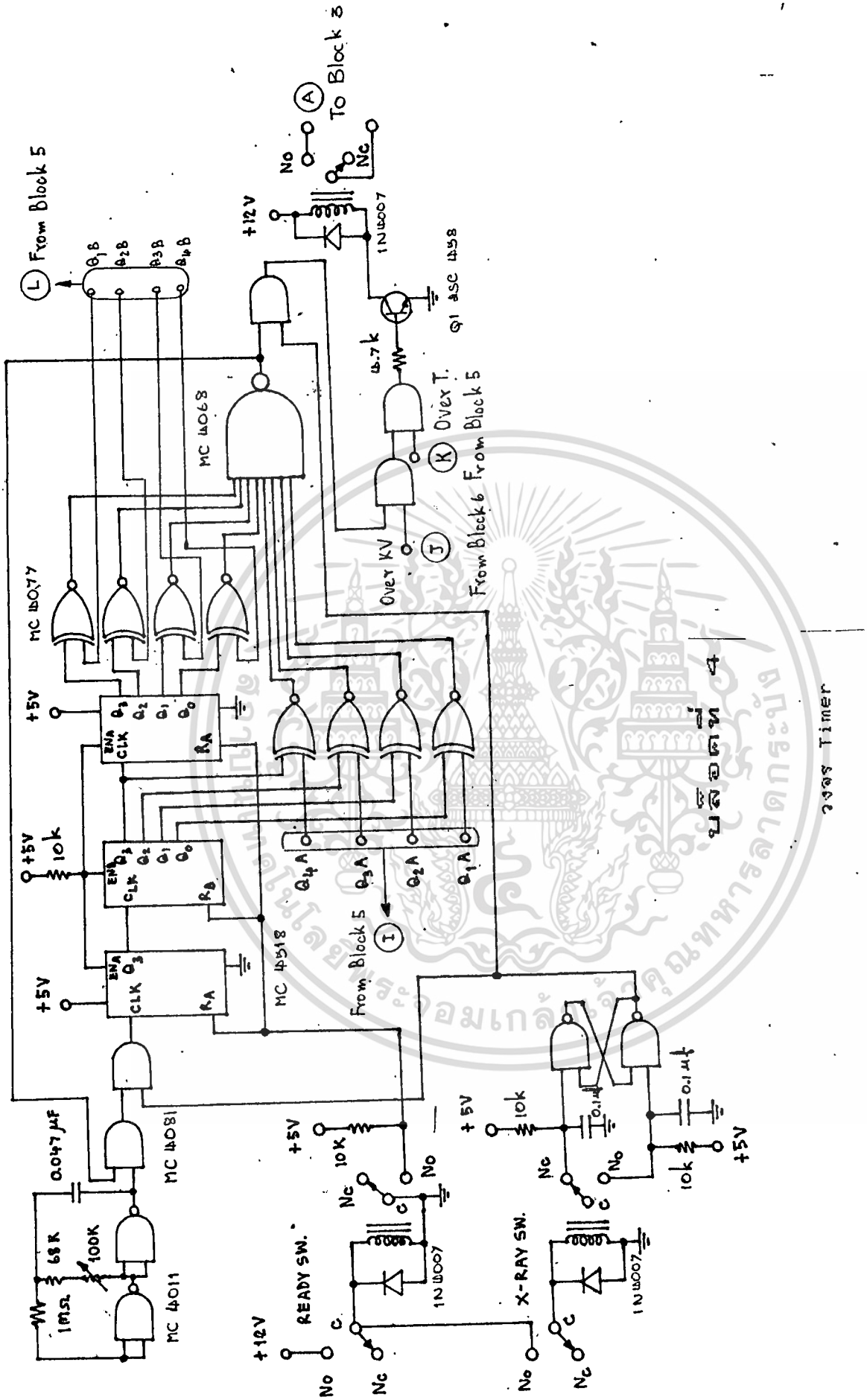


บล็อคที่ 2 วงจร Switching Regulator

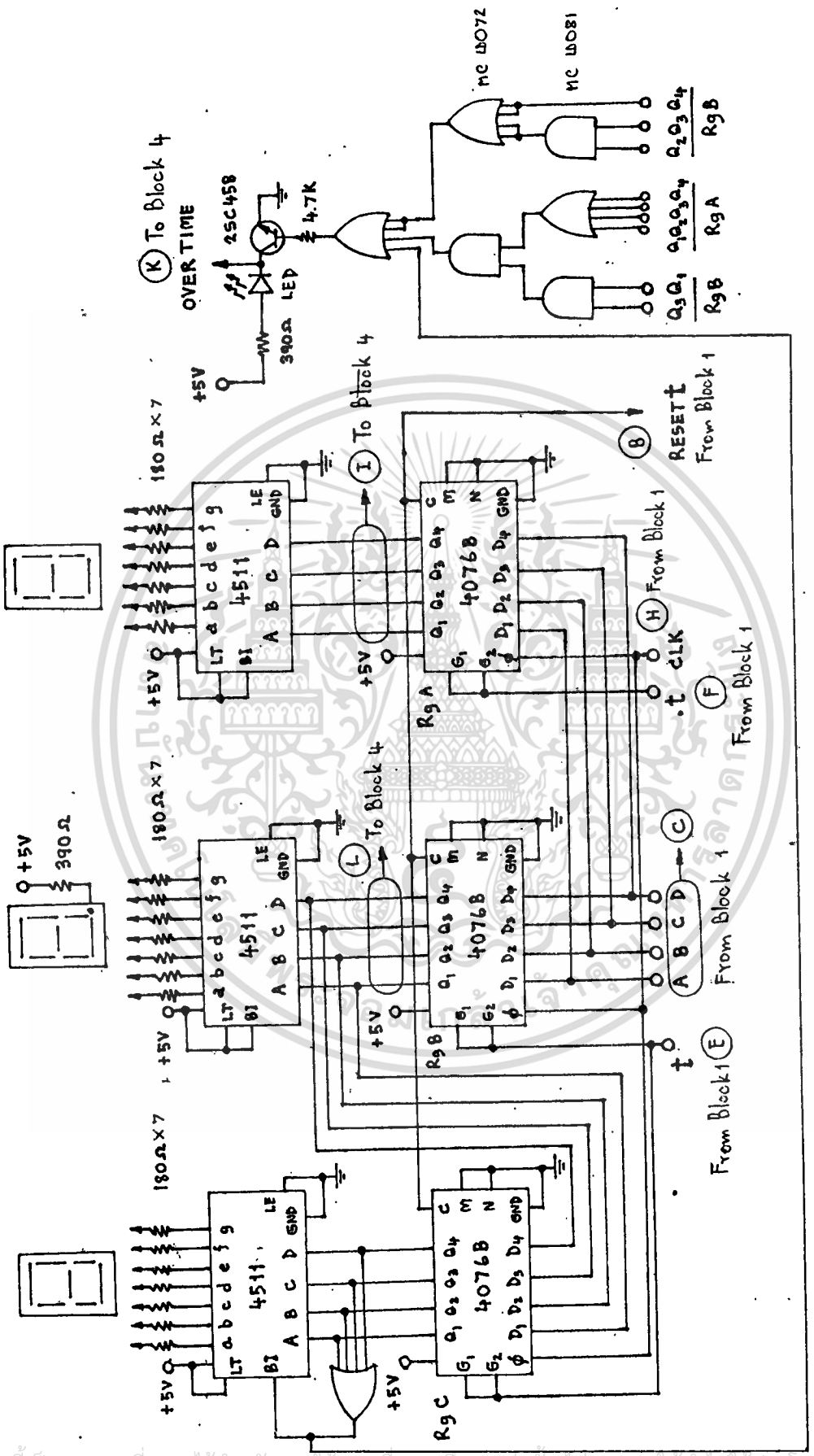


รูปที่ 3 วงจร Inverter 500 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

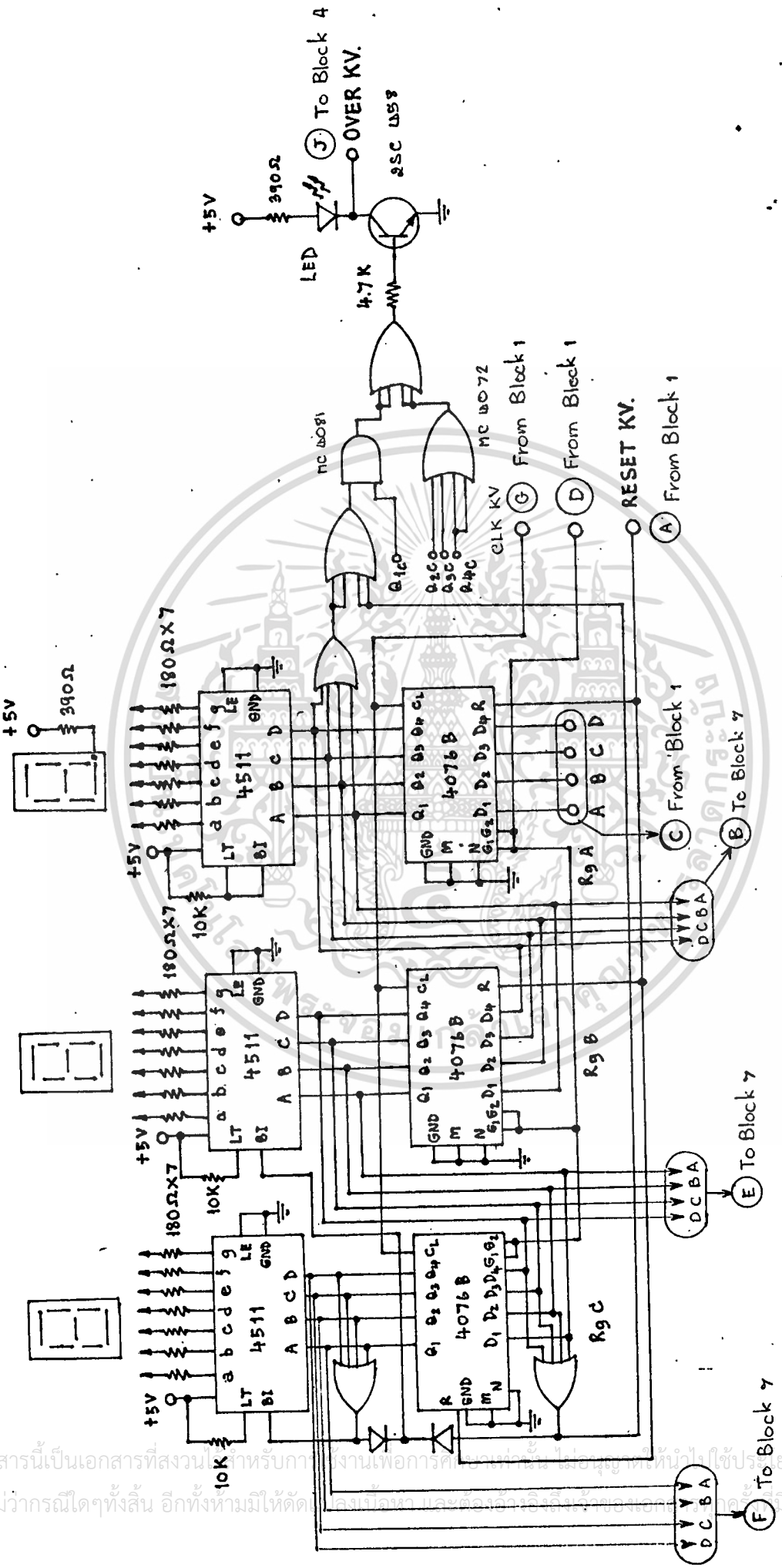


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

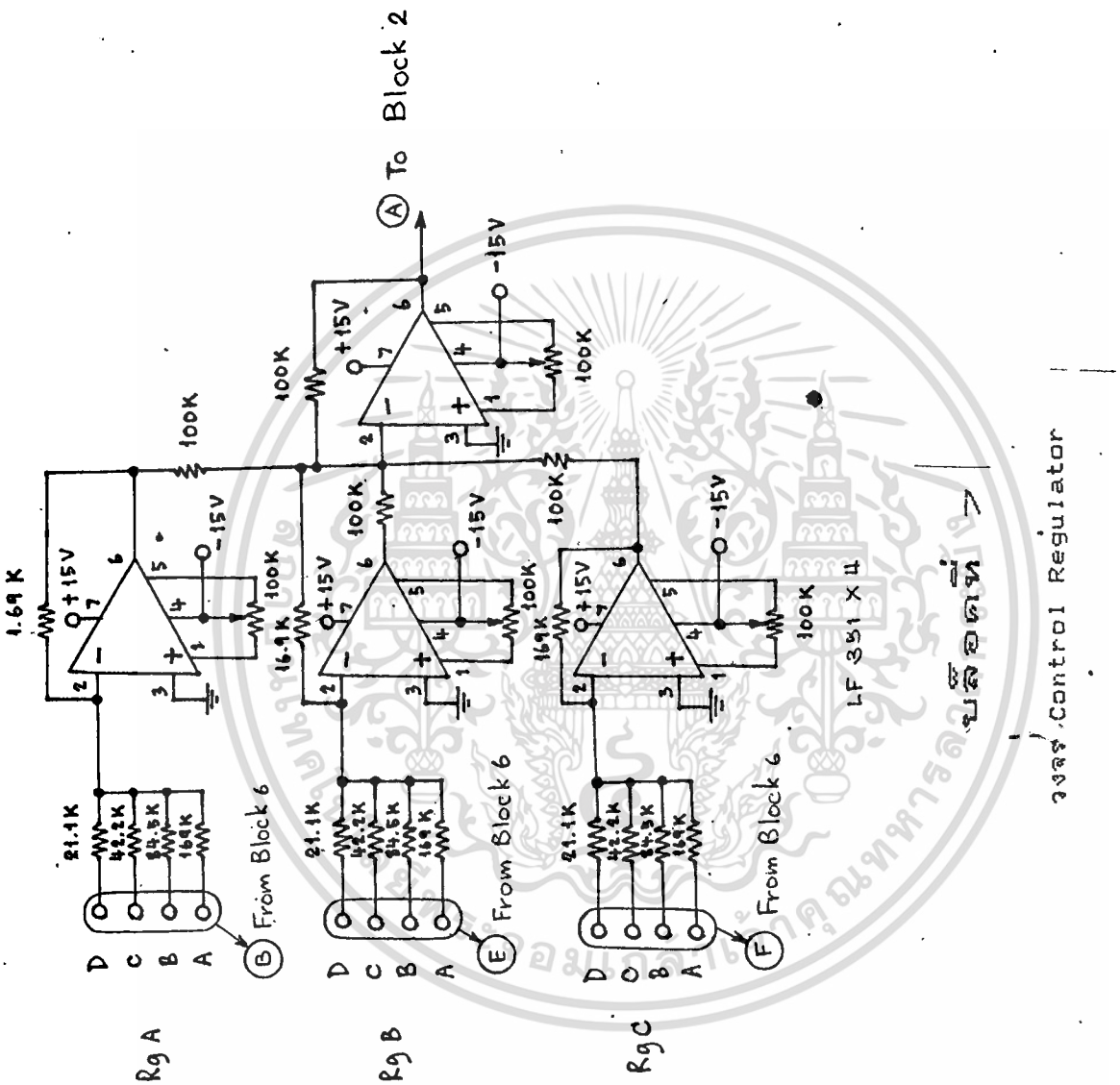


รูปที่ 5 วงจร Display Time war Over Time

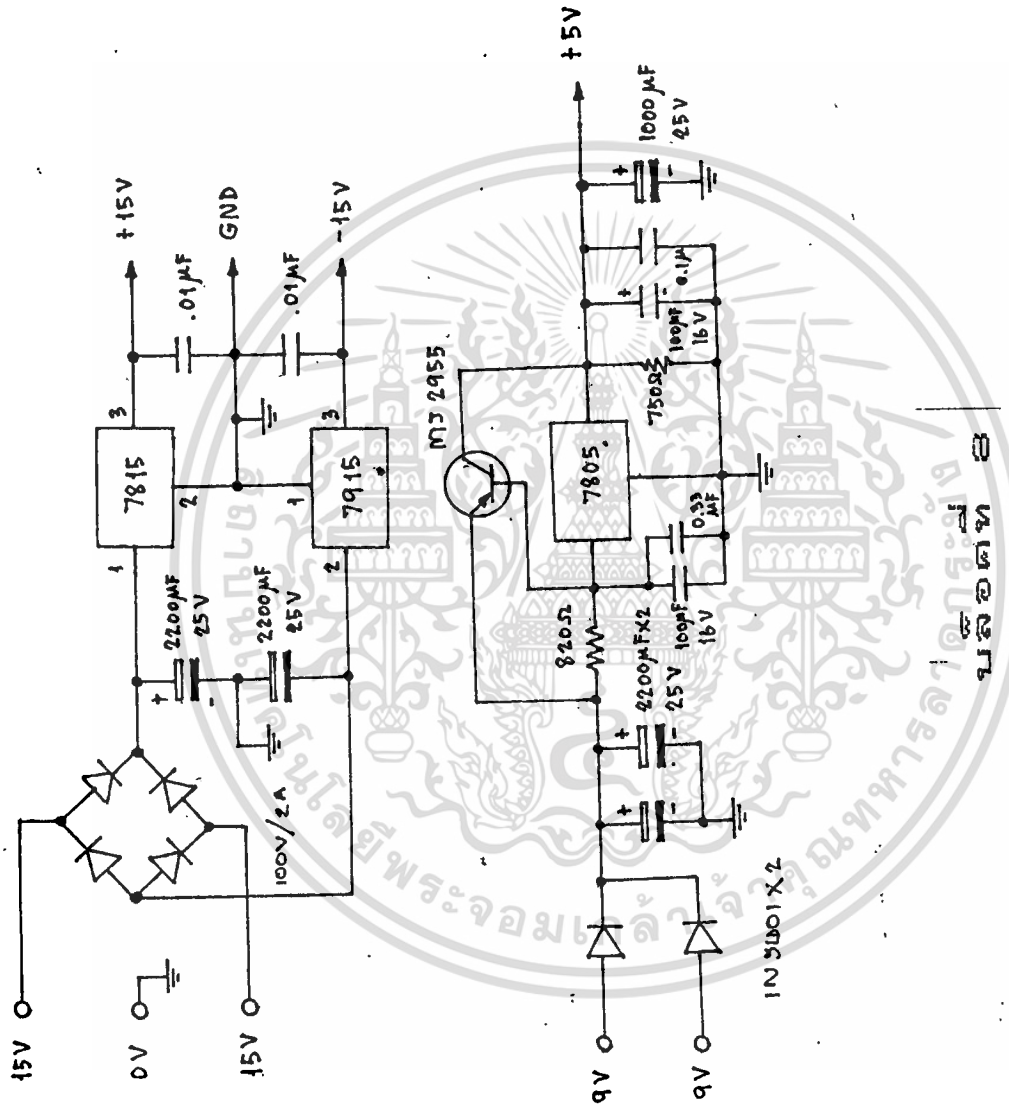
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

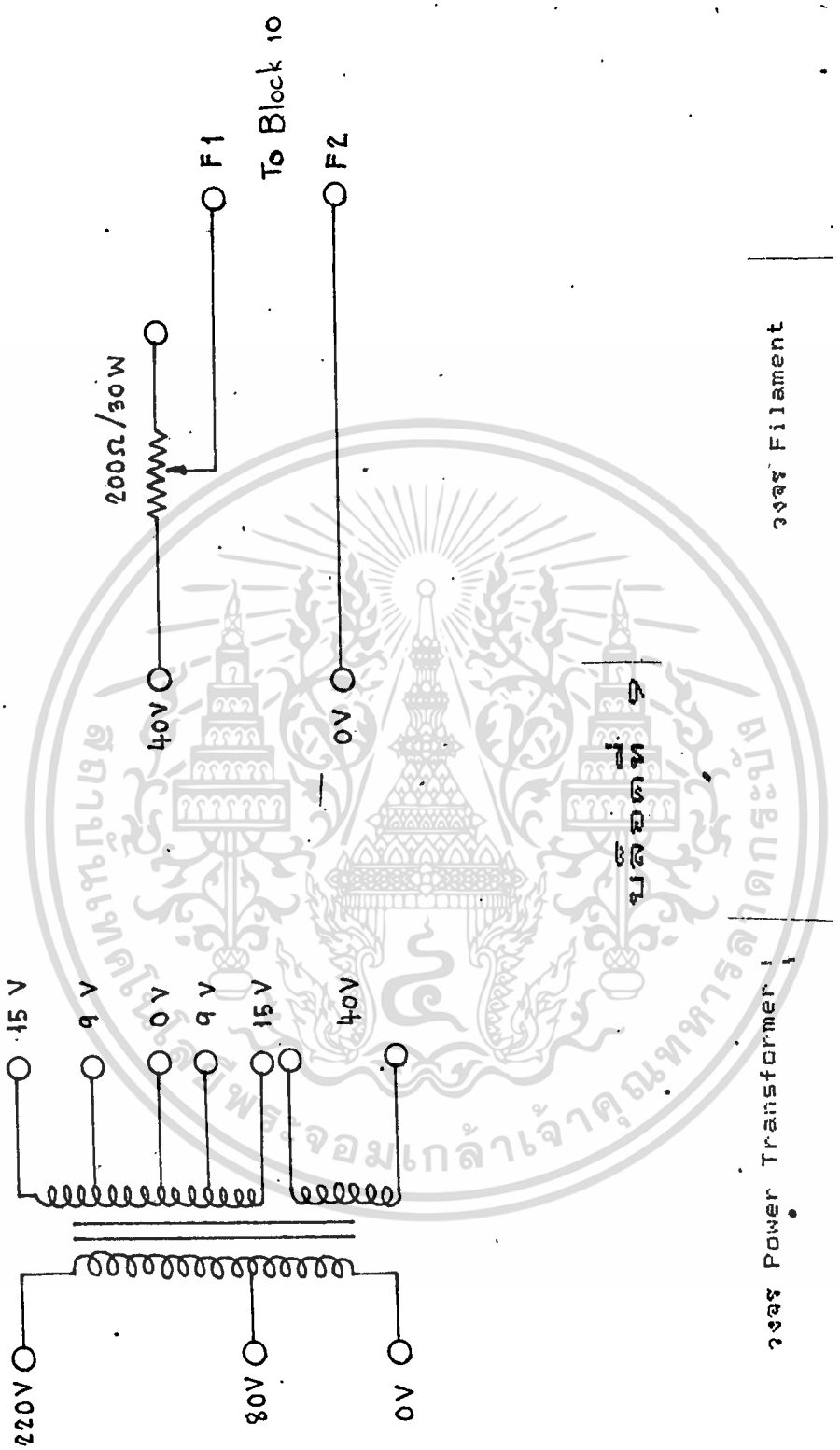


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 Power Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

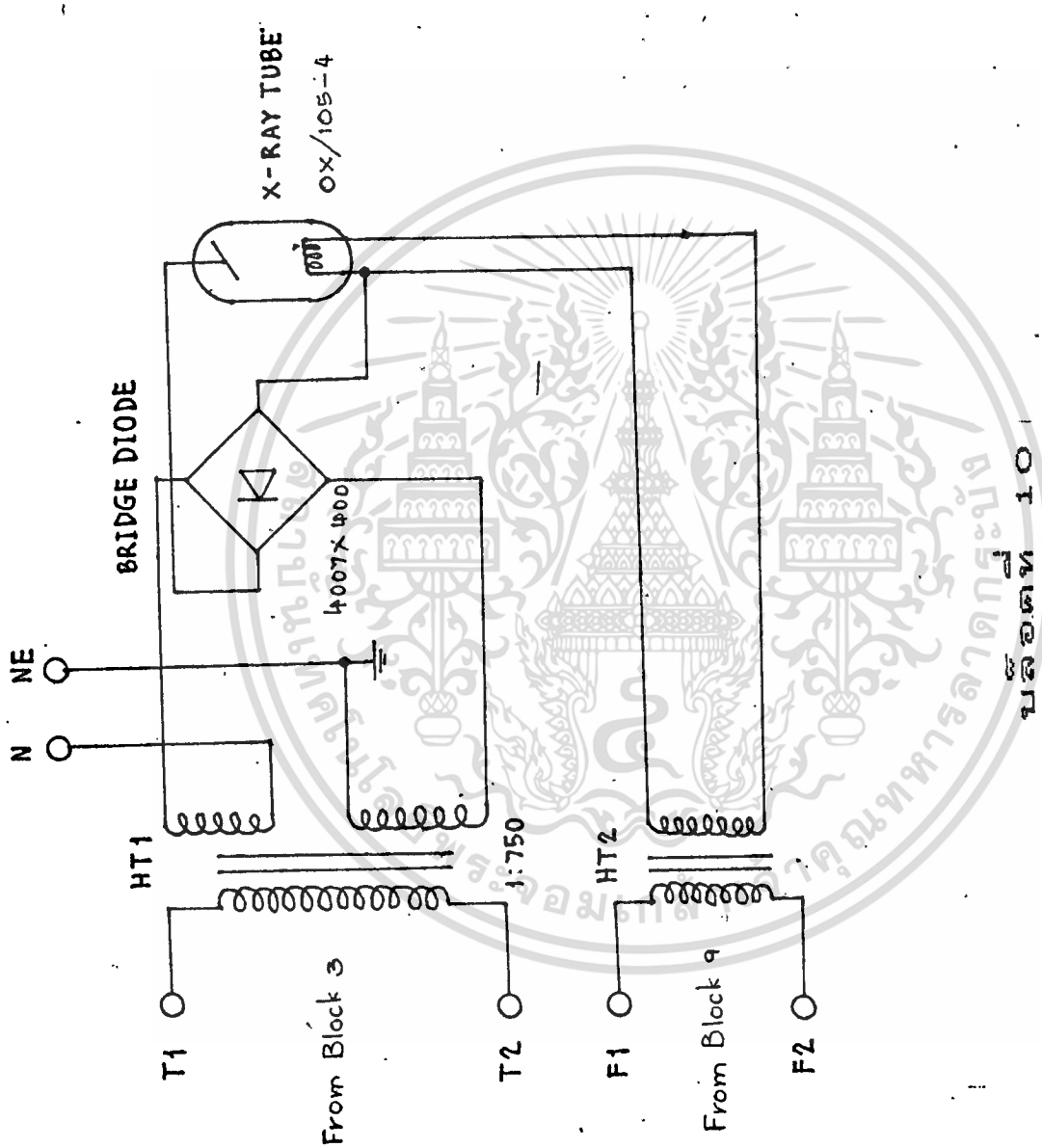


รูปที่ 5 แสดงวงจรไฟเลี้ยง

รูปที่ 4 Power Transformer

รูปที่ Filament

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

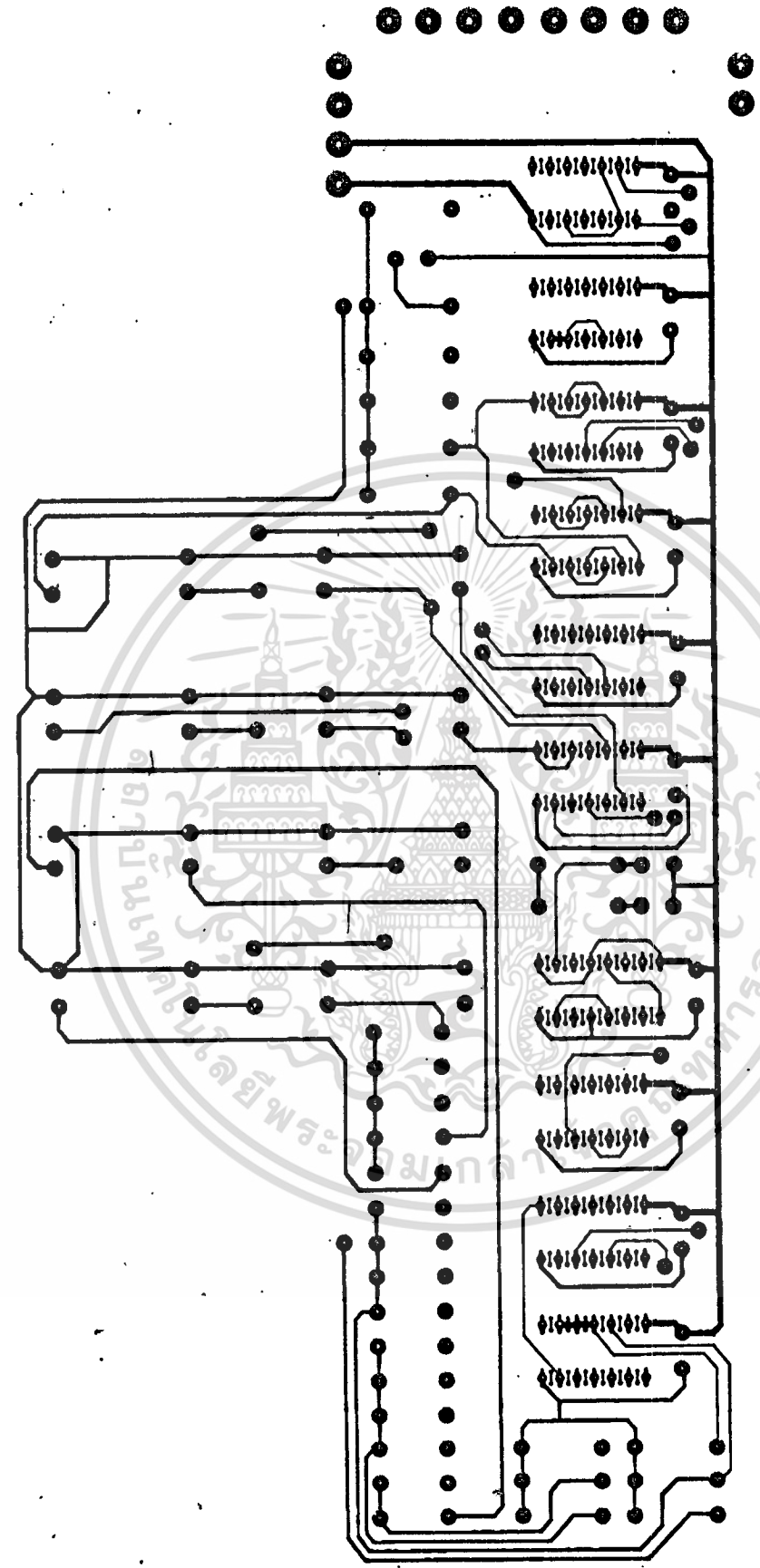


รูปที่ 10 High Tension Transformer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

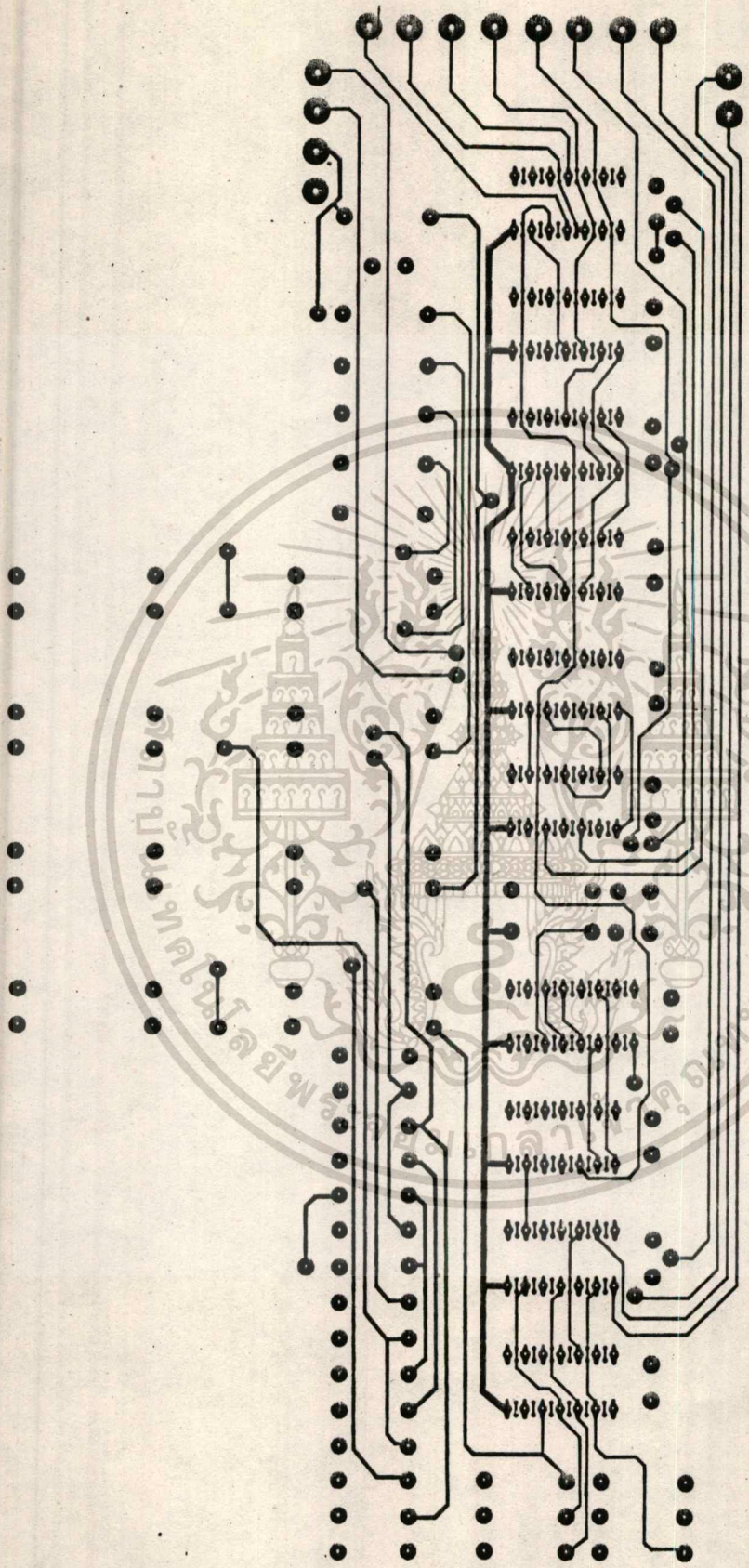
ภาคผนวก ค ลายทองแดงของวงจรส่วนต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



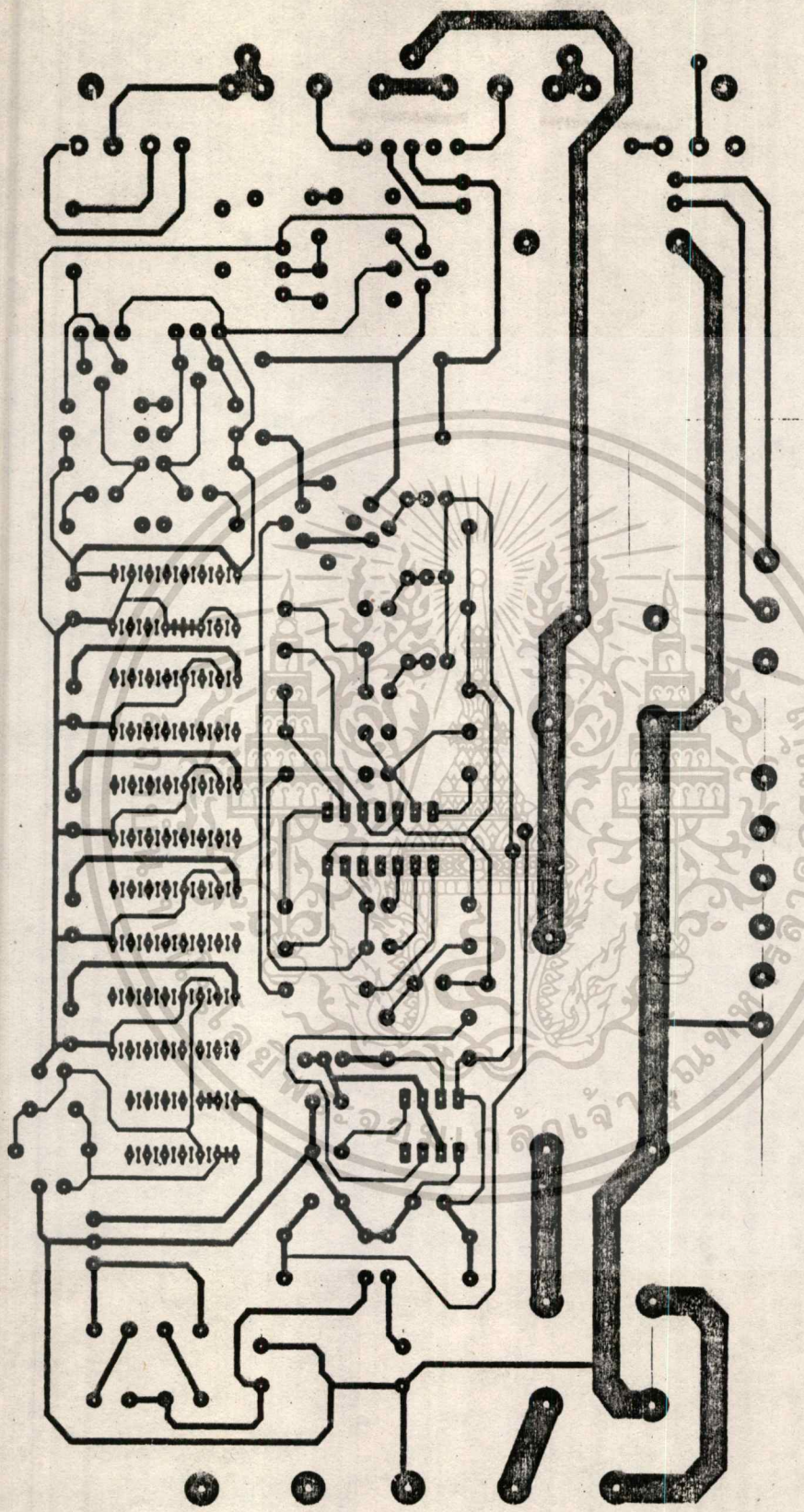
ลายวงจร Keyboard

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



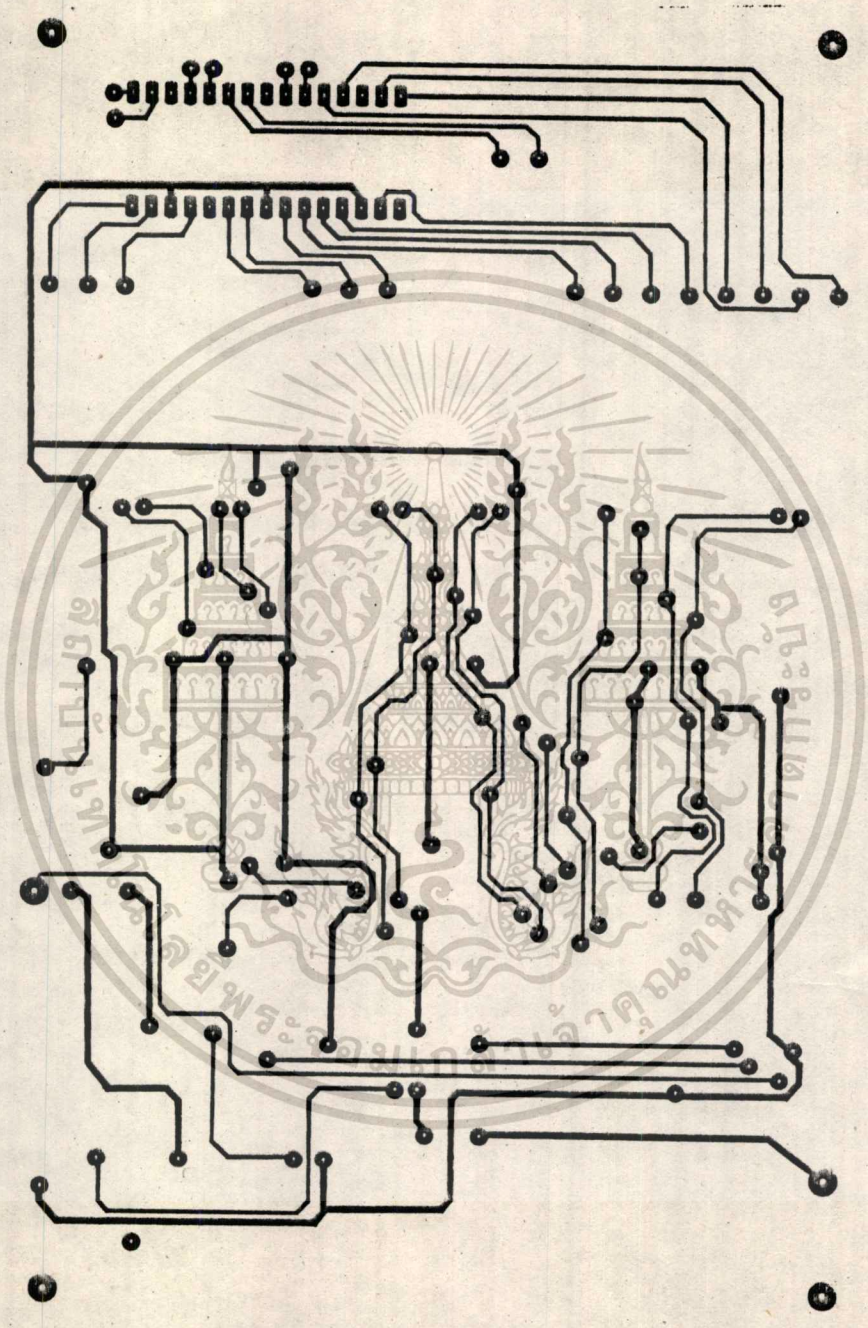
ลายวงจร Keyboard

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



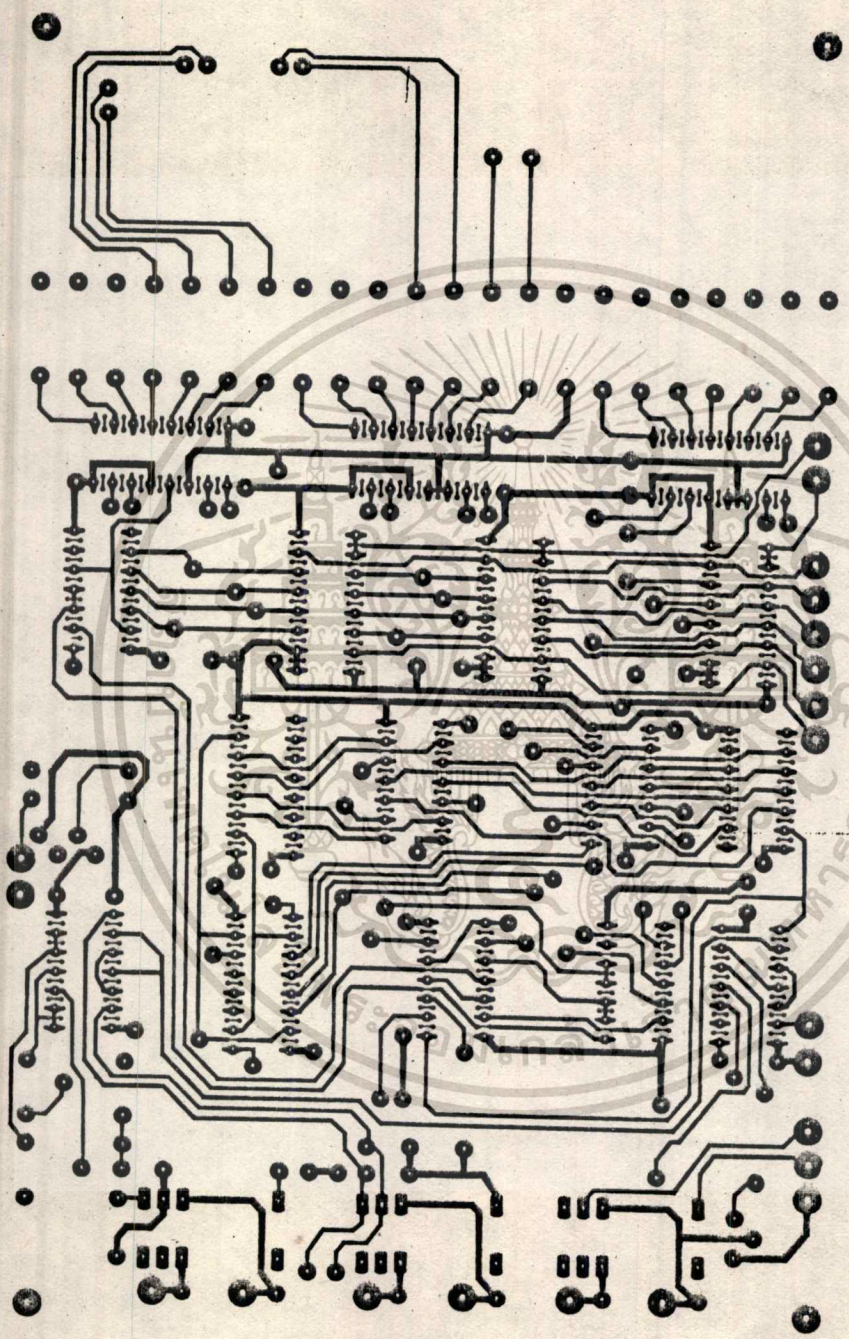
ลายวงจร Switching Regulator และ inverter 500 hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



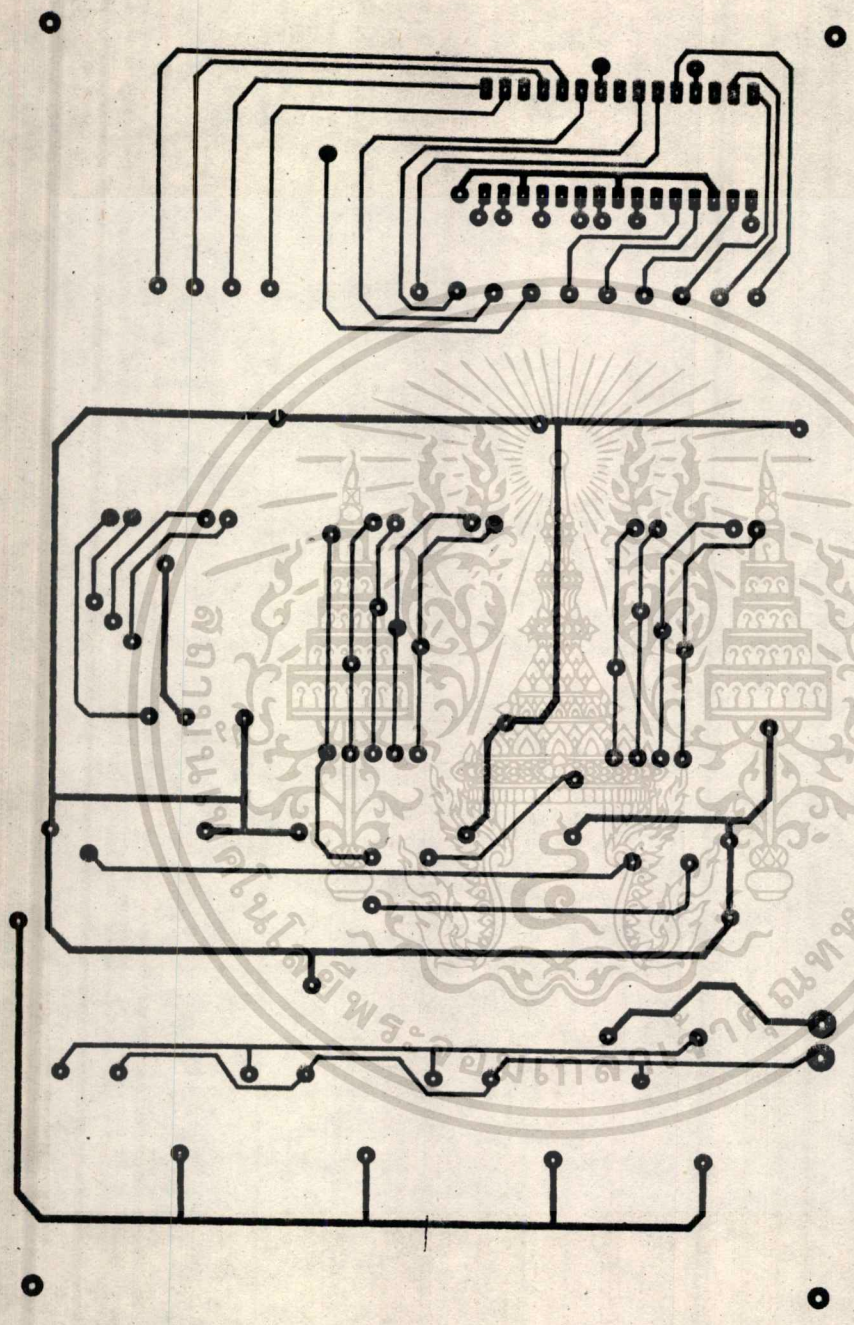
ลายวงจร Display Time และ Over Time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



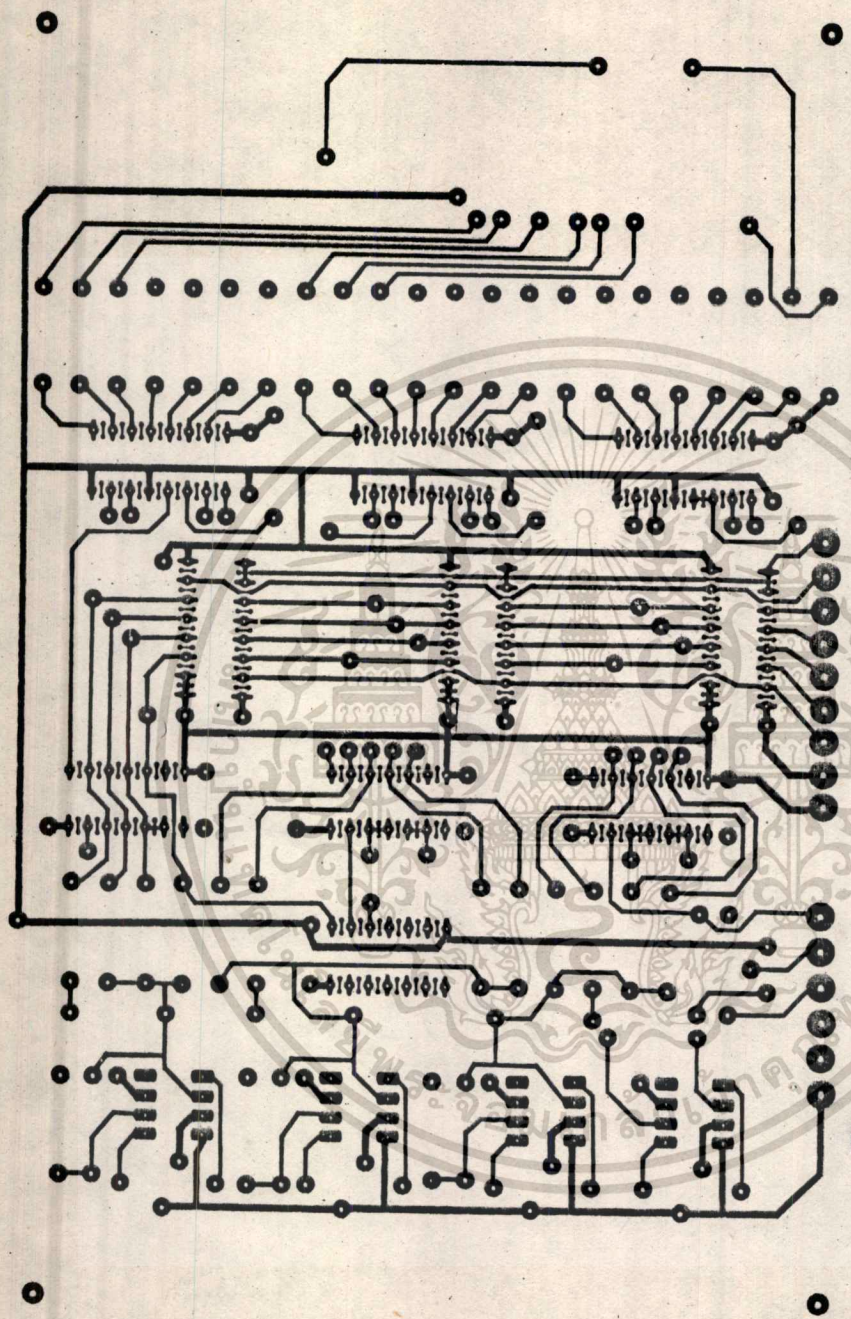
ลายวงจร Display Time แสง Over Time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ลายวงจร Display KV และ Control Regulator

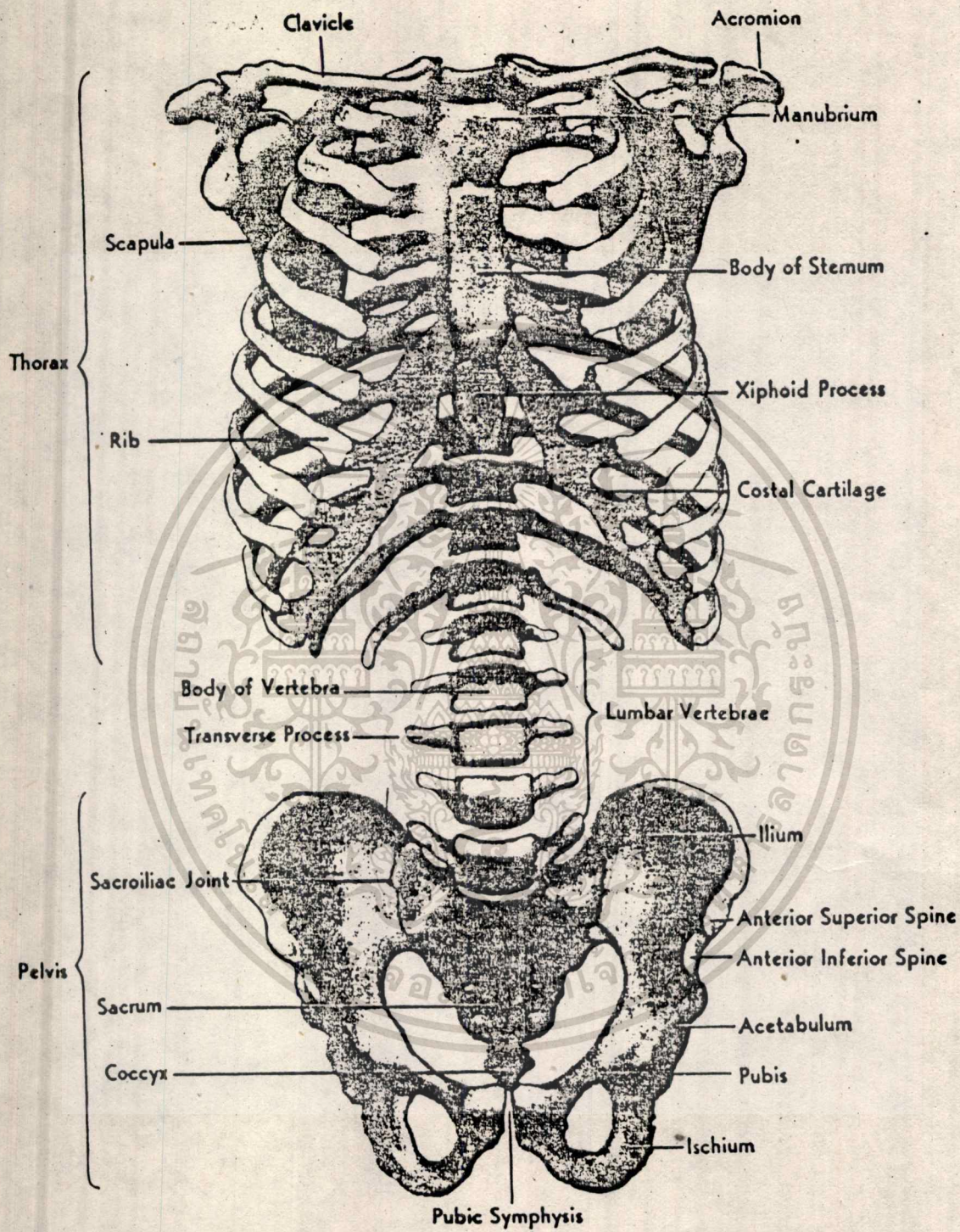
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ Display KV และ Control Regulator

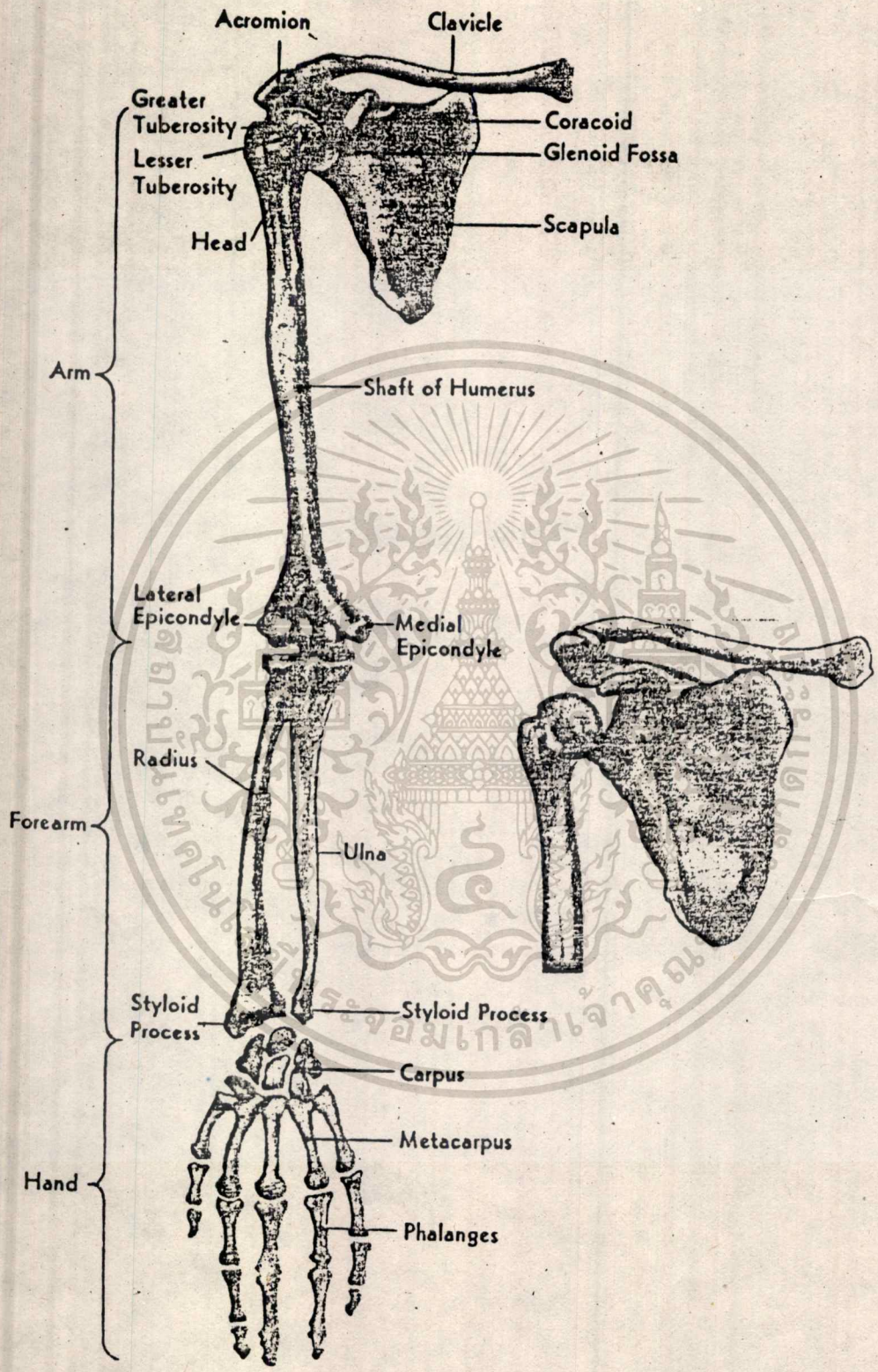
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



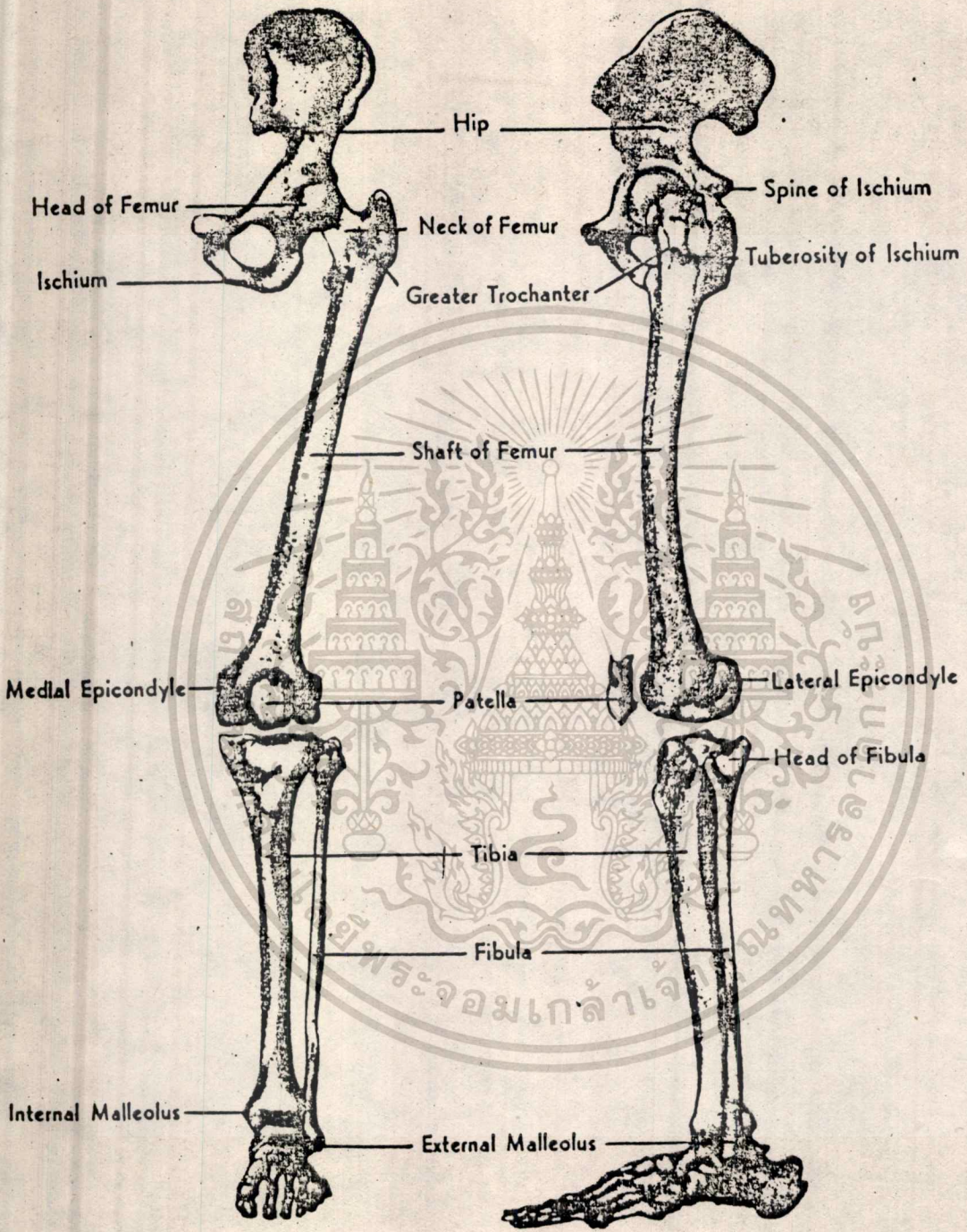
The Bony Framework of Trunk and Pelvis—Anterior View.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



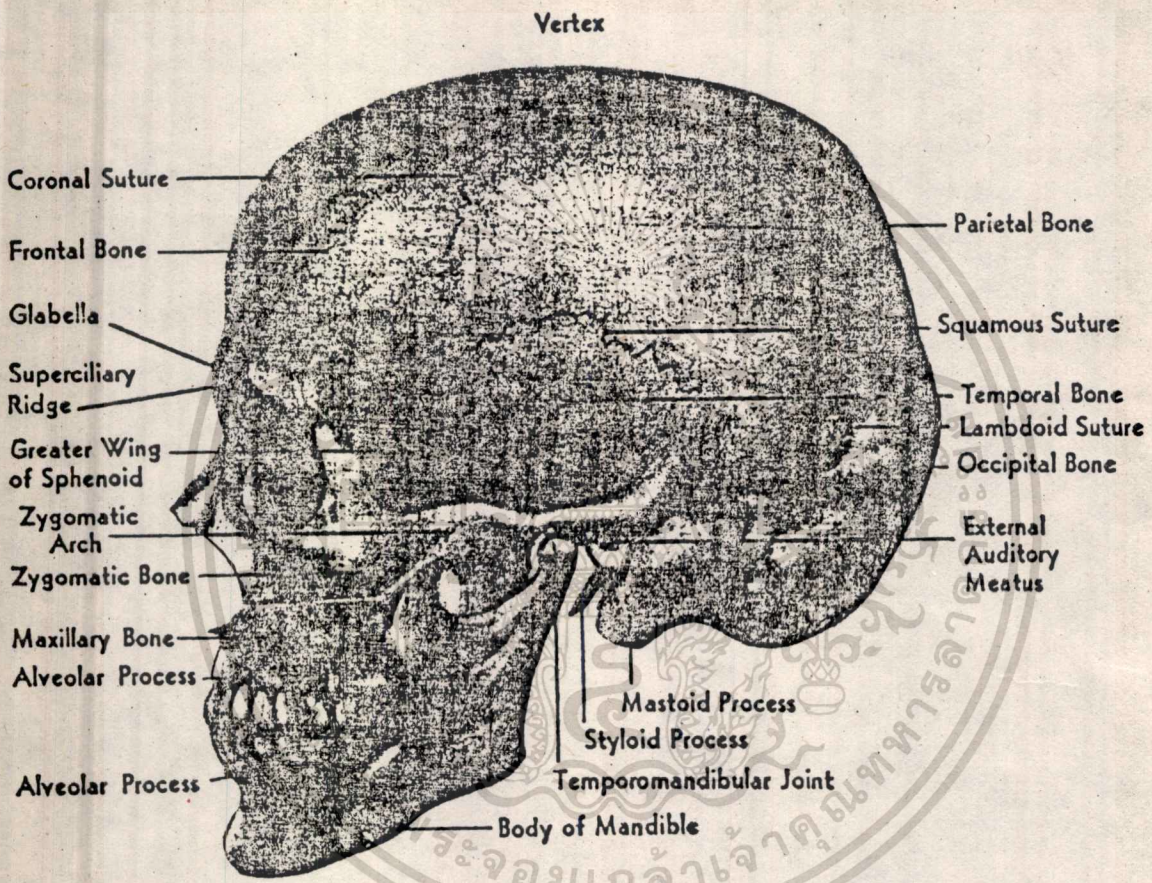
The Upper Extremity.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



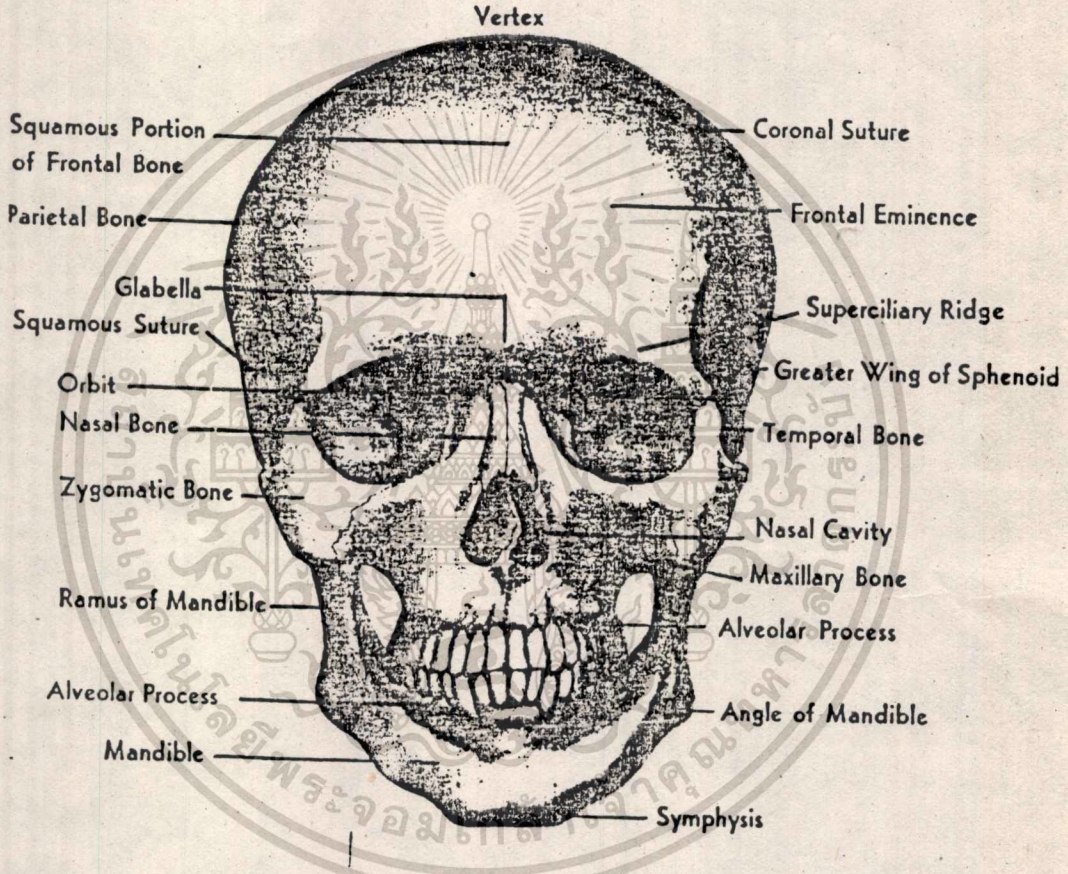
The Lower Extremity.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The Skull—Lateral View.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The Skull—Anterior View.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ Design Data Sheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCL4011B, SCL4012B SCL4023B, SCL4068B

CMOS NAND GATES

SCL4011B – Quad 2-Input NAND
SCL4012B – Dual 4-Input NAND
SCL4023B – Triple 3-Input NAND
SCL4068B – 8-Input NAND

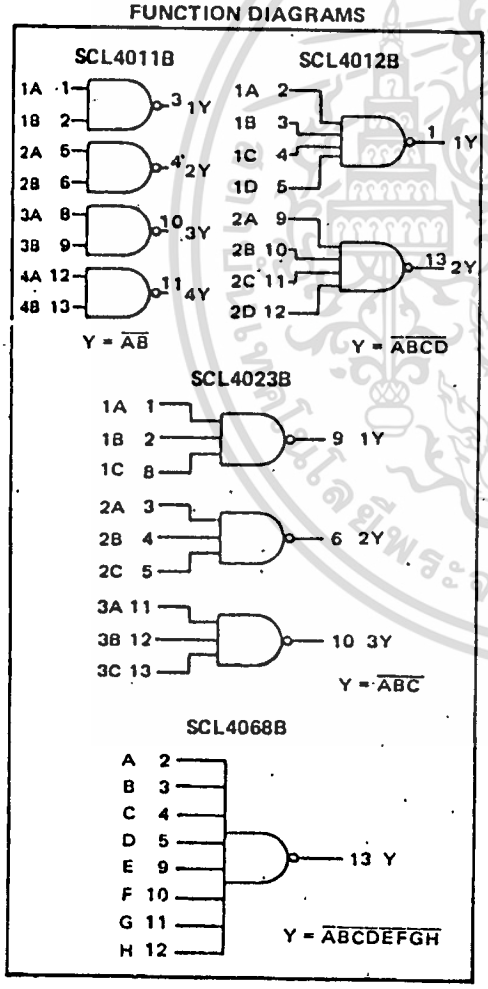
FEATURES

- Buffered Outputs
- Diode Protection on all Inputs
- Fully "B"-Series Compatible
- Balanced Output Drive Current Specifications

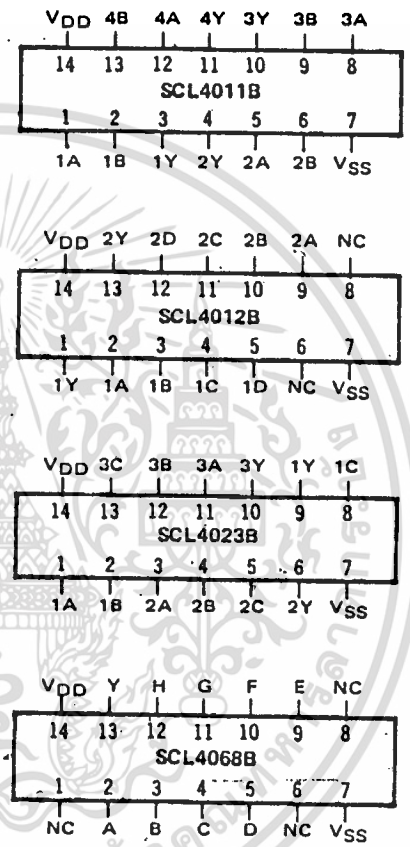
TRUTH TABLE

Inputs	Output
1 1 . . . 1	0
All other combinations	1

FUNCTION DIAGRAMS



CONNECTION DIAGRAMS
(all packages)



Add suffix to package:

- C 14-pin Cerdip
- D 14-pin Ceramic
- E 14-pin Epoxy
- F 14-pin Flat
- H Chip

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	T_A		
C, D, F, H Device		-55 to +125	°C
E Device		-40 to +85	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

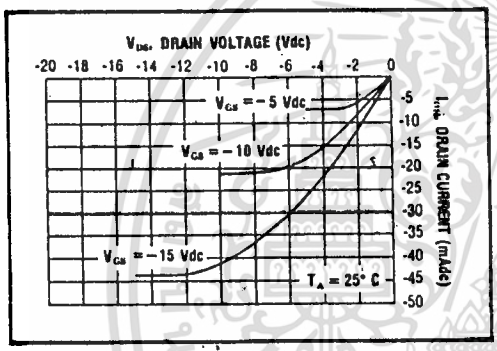
STATIC CHARACTERISTICS [1] [2]

PARAMETER		V_{DD} (Vdc)	CONDITIONS	T_{LOW} [3] Min.	T_{LOW} [3] Max.	+25°C Min.	+25°C Typ.	+25°C Max.	T_{HIGH} [3] Min.	T_{HIGH} [3] Max.	Units
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I_{DD}	5	$V_{IN} = V_{SS}$ or V_{DD}	–	0.05	–	0.0005	0.05	–	1.5	μAdc
		10	All valid input	–	0.10	–	0.001	0.10	–	3.0	
		15	combinations	–	0.20	–	0.002	0.20	–	6.0	

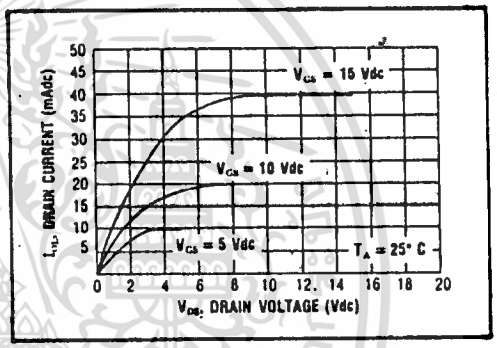
NOTES: [1] Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".
[2] T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.
= -40°C for E device.
T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.
= + 85°C for E device.
[3] These devices have been designed for balanced output drive current specifications. Consult Family Specifications.

DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

PARAMETER		V_{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
PROPAGATION DELAY TIME	t_{PLH}, t_{PHL}	5	–	125	250	ns
		10	–	60	120	
		15	–	45	90	
OUTPUT TRANSITION TIME	t_{TLH}, t_{THL}	5	–	100	200	ns
		10	–	50	100	
		15	–	40	80	

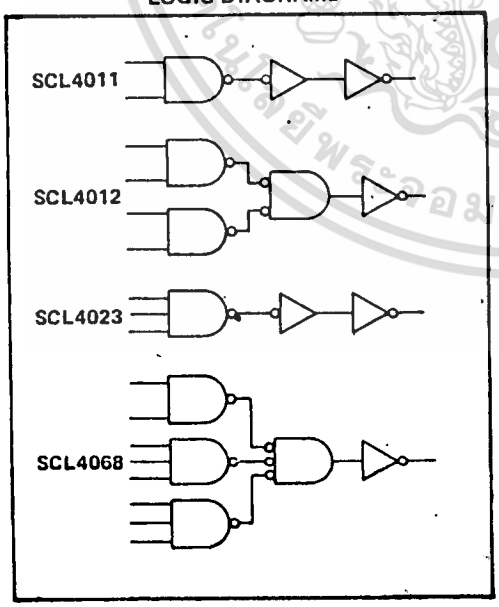


Typical P-Channel
Source Current Characteristics

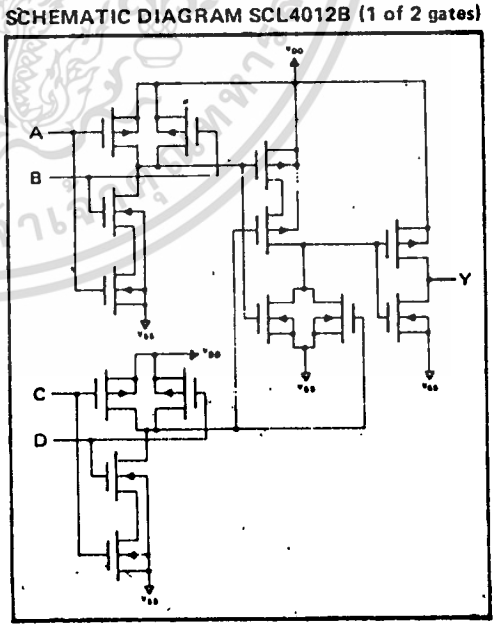


Typical N-Channel
Sink Current Characteristics

LOGIC DIAGRAMS



SCHEMATIC DIAGRAM SCL4012B (1 of 2 gates)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCL4071B, SCL4072B SCL4075B

CMOS OR GATES

SCL4071B - Quad 2-Input OR
SCL4072B - Dual 4-Input OR
SCL4075B - Triple 3-Input OR

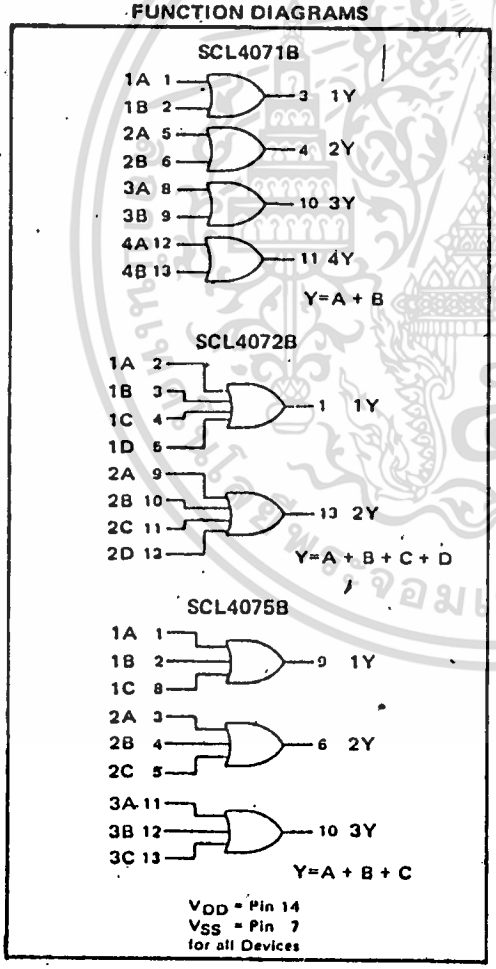
FEATURES

- **Buffered Outputs**
- Diode Protection on all Inputs
- Fully "B"-Series Compatible
- Balanced Output Drive Current Specifications

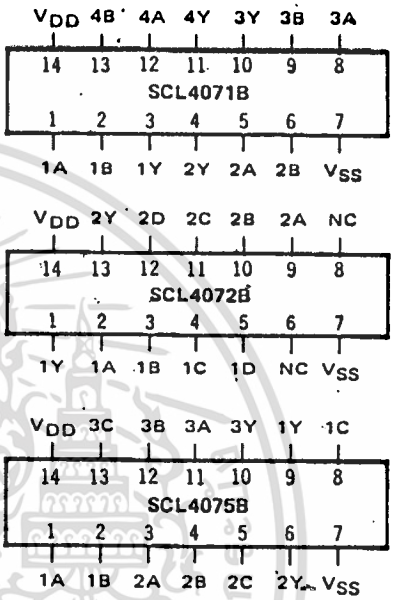
TRUTH TABLE

Inputs	Output
00 . . . 0	0
All other combinations	1

FUNCTION DIAGRAMS



CONNECTION DIAGRAMS
(all packages)



Add suffix for package:

C	14-pin Cerdip
D	14-pin Ceramic
E	14-pin Epoxy
F	14-pin Flat
H	Chip

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	T_A		
C, D, F, H Device		-55 to +125	°C
E Device		-40 to +85	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

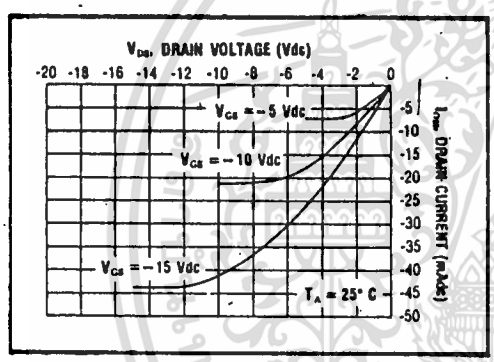
STATIC CHARACTERISTICS [1,3]

PARAMETER		V_{DD} (Vdc)	CONDITIONS	T_{LOW} [2]		+25°C		T_{HIGH} [2]		Units
				Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I_{DD}	5	$V_{IN}=V_{SS}$ or V_{DD}	–	0.05	–	0.0005	0.05	–	1.5	μAdc
		10	All valid input	–	0.10	–	0.001	0.10	–	3.0	
		15	combinations	–	0.20	–	0.002	0.20	–	6.0	

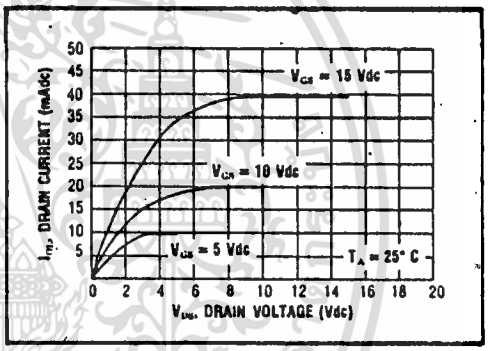
NOTES: [1] Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications"
[2] T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.
= -40°C for E device.
T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.
= + 85°C for E device.
[3] These devices have been designed for balanced output drive current specifications. Consult Family Specifications.

DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

PARAMETER		V_{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
PROPAGATION DELAY TIME	t_{PLH}, t_{PHL}	5	–	150	300	ns
		10	–	65	130	
		15	–	50	100	
OUTPUT TRANSITION TIME	t_{TLH}, t_{THL}	5	–	100	200	ns
		10	–	50	100	
		15	–	40	80	

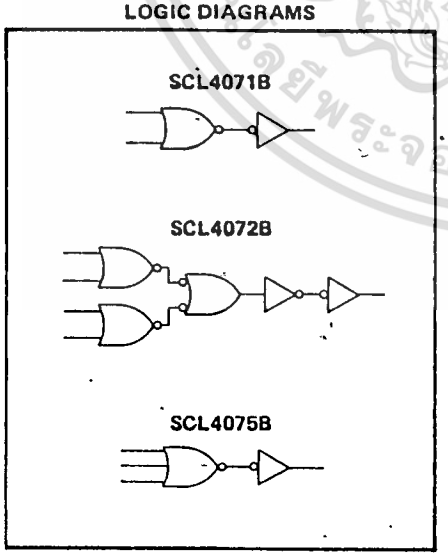


Typical P-Channel
Source Current Characteristics

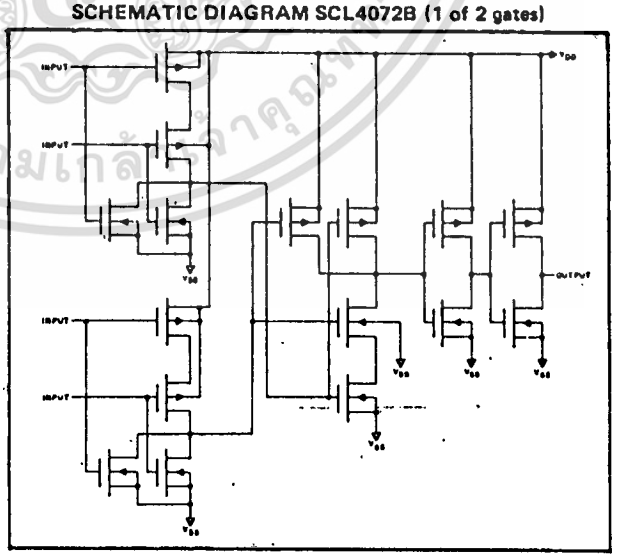


Typical N-Channel
Sink Current Characteristics

LOGIC DIAGRAMS



SCHEMATIC DIAGRAM SCL4072B (1 of 2 gates)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCL4076B CMOS 4-BIT D-TYPE REGISTER

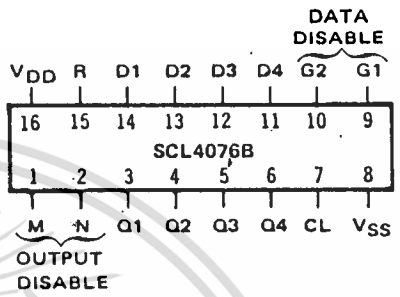
FEATURES

- 3-State Outputs with Gated Control Lines
- Fully Independent Clock
- Asynchronous Reset
- Fully Static Operation - DC to 12MHz @ 10Vdc
- Balanced Output Drive Current Specifications

DESCRIPTION

The SCL4076B 4-bit Register consists of four D-Type flip-flops operating synchronously from a common Clock. OR-gated Output Disable inputs force the outputs into a high-impedance state for use in bus-organized systems. OR-gated Data Disable inputs cause the Q outputs to be fed back to the D inputs of the flip-flops. Thus, they are inhibited from changing state while the clocking process remains undisturbed. An asynchronous Master Reset is provided to clear all four flip-flops simultaneously independent of the Clock or Disable inputs.

CONNECTION DIAGRAM
(all packages)



Add suffix for package:

C	16-pin Cerdip
D	16-pin Ceramic
E	16-pin Epoxy
F	16-pin Flat
H	Chip

TRUTH TABLE

Reset	Clock	Data Input Disable G1	Data Input Disable G2	Data D	Next State Output Q	
1	X	X	X	X	0	
0	0	X	X	X	Q	NC
0	⌐	1	X	X	Q	NC
0	⌐	X	1	X	Q	NC
0	⌐	0	0	1	1	
0	⌐	0	0	0	0	
0	1	X	X	X	Q	NC
0	⌐	X	X	X	Q	NC

When either Output Disable M or N is high, the outputs are disabled (high impedance state); however sequential operation of the flip-flops is not affected.

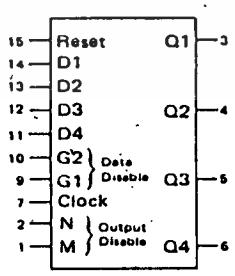
1 ≡ High Level X = Don't Care
0 ≡ Low Level NC = No Change

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	T_A		
C, D, F, H Device		-55 to +125	°C
E Device		-40 to +85	°C

BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS [1,2]

PARAMETER		V_{DD} (Vdc)	CONDITIONS	T_{LOW} [2] Min.	T_{LOW} [2] Max.	+25°C Min.	+25°C Typ.	+25°C Max.	T_{HIGH} [2] Min.	T_{HIGH} [2] Max.	Units
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I_{DD}	5	$V_{IN}=V_{SS}$ or V_{DD}	–	5	–	0.05	5	–	150	μAdc
		10	All valid input	–	10	–	0.1	10	–	300	
		15	combinations	–	20	–	0.2	20	–	600	
3-STATE OUTPUT LEAKAGE CURRENT	I_{ZL}	15		–	±0.1	–	$\pm 10^{-4}$	±0.1	–	±1.0	μAdc

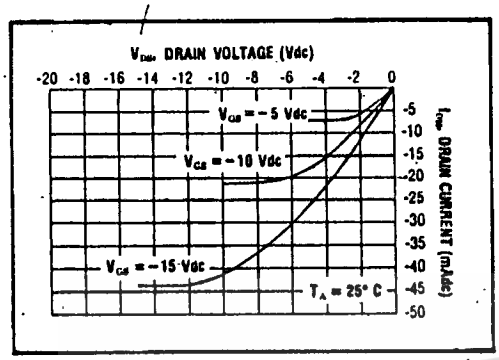
NOTES: [1] Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".
[2] T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.
= -40°C for E device,
T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.
= + 85°C for E device.
[3] This device has been designed for balanced output drive current specifications. Consult Family Specifications.

DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

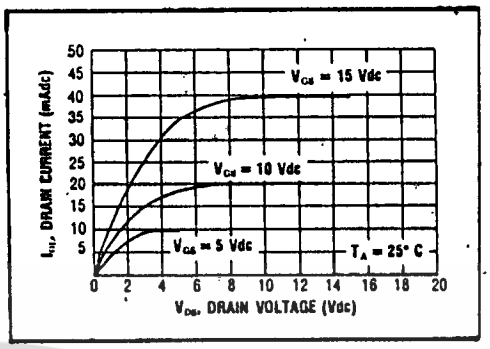
PARAMETER		V_{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
CLOCKED OPERATION						
PROPAGATION DELAY TIME						
Clock to Q	t_{PLH}, t_{PHL}	5	–	150	300	ns
		10	–	70	140	
		15	–	45	90	
Output Disable to Q	t_{PHZ}, t_{PLZ}	5	–	75	150	ns
		10	–	40	80	
		15	–	30	60	
	t_{PZH}, t_{PZL}	5	–	80	160	ns
		10	–	35	70	
		15	–	25	50	
OUTPUT TRANSITION TIME	t_{TLH}, t_{THL}	5	–	100	200	ns
		10	–	50	100	
		15	–	40	80	
MINIMUM CLOCK PULSE WIDTH	PW_{CL}	5	–	80	160	ns
		10	–	40	80	
		15	–	30	60	
MAXIMUM CLOCK FREQUENCY	f_{CL}	5	3.0	6.0	–	MHz
		10	6.0	12	–	
		15	8.0	16	–	
MAXIMUM CLOCK RISE & FALL TIME[1]	t_{rCL}, t_{fCL}	5	15	–	–	μs
		10	15	–	–	
		15	15	–	–	
MINIMUM SETUP TIME						
Data Inputs	t_{setup}	5	–	75	150	ns
		10	–	40	80	
		15	–	30	60	
Data Disable Inputs	t_{setup}	5	–	100	200	ns
		10	–	60	120	
		15	–	45	90	
MINIMUM HOLD TIME						
All Inputs	t_{hold}	5	–	75	150	ns
		10	–	35	70	
		15	–	30	60	
RESET OPERATION						
PROPAGATION DELAY TIME	t_{PHL}	6	–	200	400	ns
		10	–	100	200	
		15	–	75	150	
MINIMUM RESET PULSE WIDTH	PW_R	5	–	75	150	ns
		10	–	40	80	
		15	–	30	60	
RESET REMOVAL TIME	t_{rem}	5	–	100	200	ns
		10	–	60	120	
		15	–	45	90	

[1] When units are cascaded, the maximum rise and fall times of the clock input should be equal to or less than the transition times of the data outputs driving data inputs, plus the propagation delay of the output driving stage for the output capacitive load.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

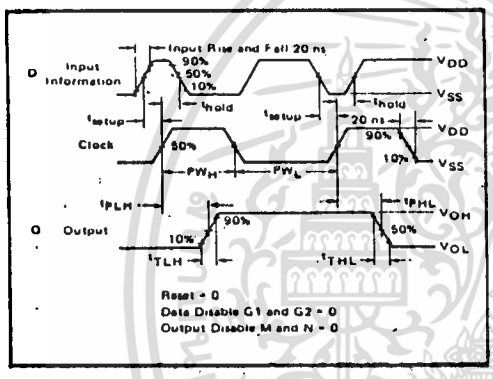


Typical P-Channel
Source Current Characteristics

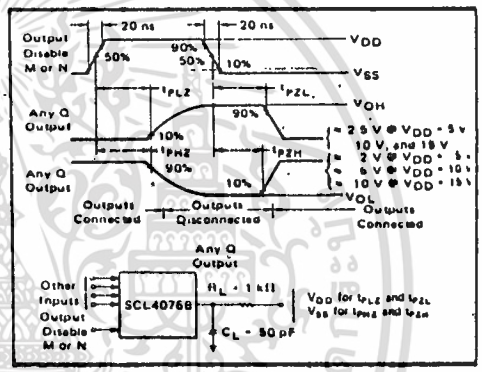


Typical N-Channel
Sink Current Characteristics

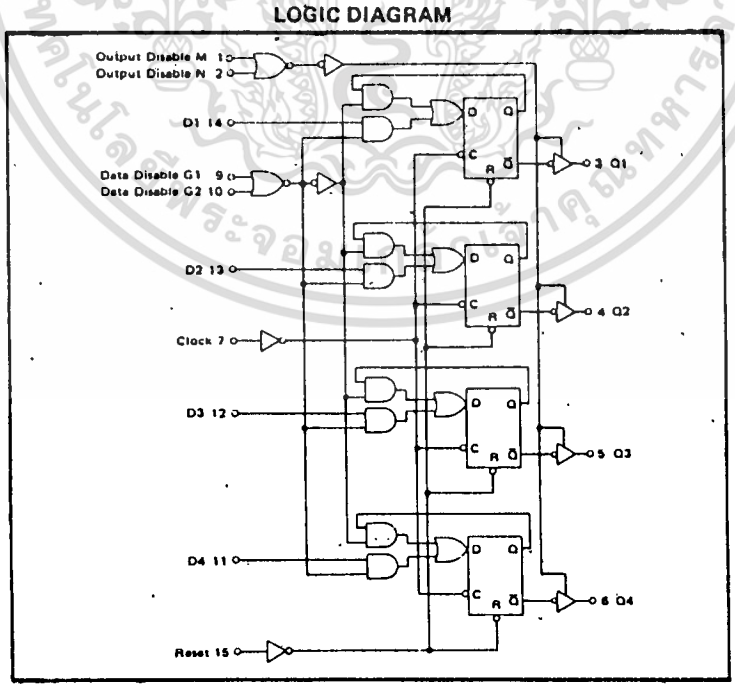
TIMING DIAGRAM



THREE-STATE PROPAGATION DELAY WAVESHAPE AND CIRCUIT



LOGIC DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCL4077B

CMOS QUAD EXCLUSIVE-NOR GATE

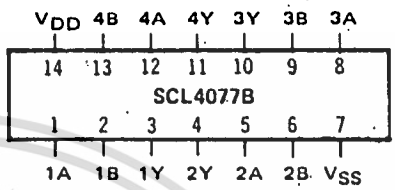
FEATURES

- Buffered Outputs
- Diode Protection on all Inputs
- Fully "B"-Series Compatible
- Balanced Output Drive Current Specification

DESCRIPTION

The SCL4077B contains four independent exclusive-NOR gates integrated on a single monolithic silicon chip. Each exclusive-NOR gate consists of five N-channel and five P-channel enhancement-mode transistors, plus output buffering devices.

CONNECTION DIAGRAM
(all packages)



Add suffix for package:

C	14-pin Cerdip
D	14-pin Ceramic
E	14-pin Epoxy
F	14-pin Flat
H	Chip

TRUTH TABLE
(one of four gates)

A	B	Y
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	1

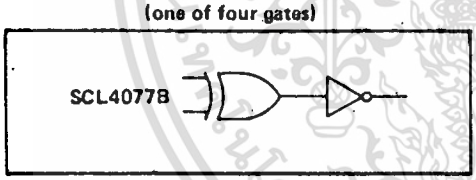
Where 1 = High Level
0 = Low Level

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

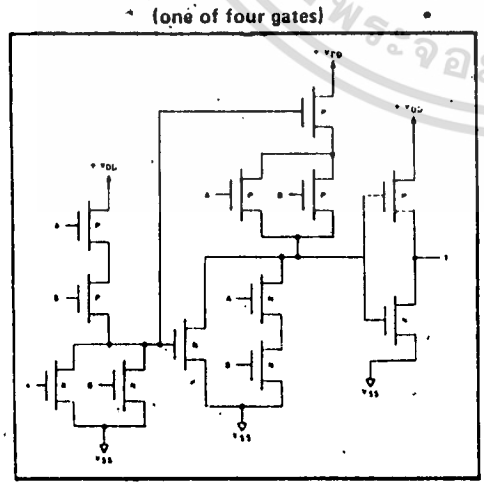
For maximum reliability:

DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
Operating Temperature, T_A			
C, D, F, H Device		-55 to +125	°C
E Device		-40 to +85	°C

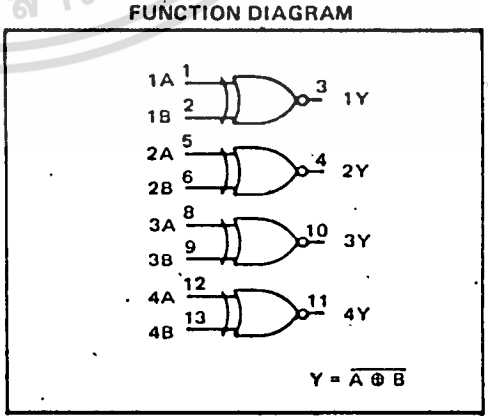
LOGIC DIAGRAM
(one of four gates)



SCHEMATIC DIAGRAM
(one of four gates)



FUNCTION DIAGRAM



$Y = \overline{A \oplus B}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

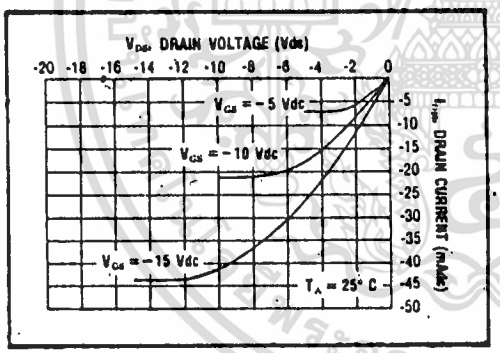
STATIC CHARACTERISTICS [1,3]

PARAMETER		V_{DD} (Vdc)	CONDITIONS	T_{LOW}[2]		+25°C			T_{HIGH}[3]		Units
				Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I_{DD}	5	$V_{IN} = V_{SS}$ or V_{DD}	–	0.05	–	0.0005	0.05	–	1.5	μAdc
		10	All valid input	–	0.10	–	0.001	0.10	–	3.0	
		15	combinations	–	0.20	–	0.002	0.20	–	6.0	

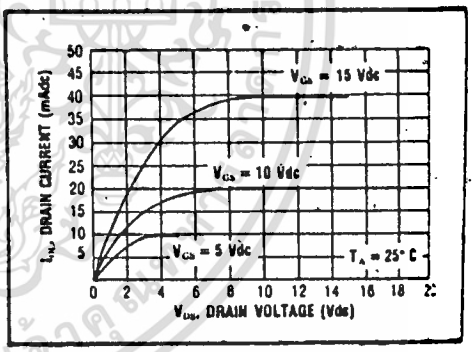
NOTES: [1] Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".
[2] T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.
= -40°C for E device.
T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.
= + 85°C for E device.
[3] This device has been designed for balanced output drive current specifications. Consult Family Specifications.

DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

PARAMETER		V_{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
PROPAGATION DELAY TIME	t_{PLH}, t_{PHL}	5	–	150	300	ns
		10	–	65	130	
		15	–	50	100	
OUTPUT TRANSITION TIME	t_{TLH}, t_{THL}	5	–	100	200	ns
		10	–	50	100	
		15	–	40	80	



Typical P-Channel
Source Current Characteristics



Typical N-Channel
Sink Current Characteristics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCL4081B, SCL4082B SCL4073B

CMOS AND GATES

SCL4081B - Quad 2-Input AND
SCL4082B - Dual 4-Input AND
SCL4073B - Triple 3-Input AND

FEATURES

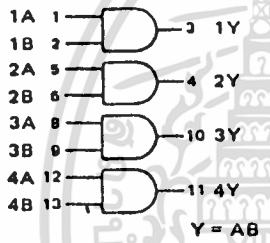
- Buffered Outputs
- Diode Protection on all Inputs
- Fully "B"-Series Compatible
- Balanced Output Drive Current Specifications

TRUTH TABLE

Inputs	Output
1 1 . . . 1	1
All other combinations	0

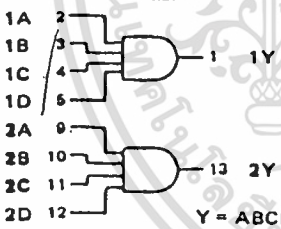
FUNCTION DIAGRAMS

SCL4081B



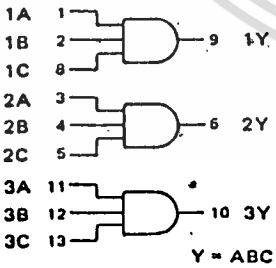
Y = AB

SCL4082B



Y = ABCD

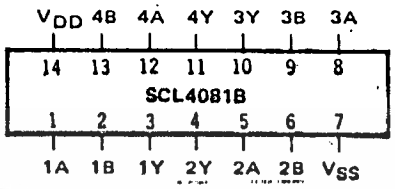
SCL4073B

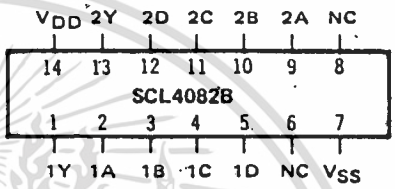


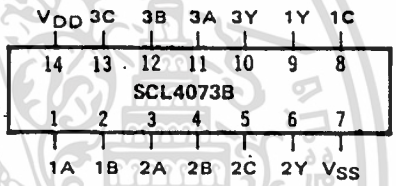
Y = ABC

V_{DD} = Pin 14
V_{SS} = Pin 7
for all Devices

CONNECTION DIAGRAMS
(all packages)







Add suffix for package:

C	14-pin Cerdip
D	14-pin Ceramic
E	14-pin Epoxy
F	14-pin Flat
H	Chip

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	T_A		
C, D, F, H Device		-55 to +125	°C
E Device		-40 to +85	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS [1,3]

PARAMETER		V_{DD} (Vdc)	CONDITIONS	T_{LOW} [2]		+25°C			T_{HIGH} [2]		Units
				Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I_{DD}	5	$V_{IN} = V_{SS}$ or V_{DD}	–	0.05	–	0.0005	0.05	–	1.5	μAdc
		10	All valid input	–	0.10	–	0.001	0.10	–	3.0	
		15	combinations	–	0.20	–	0.002	0.20	–	6.0	

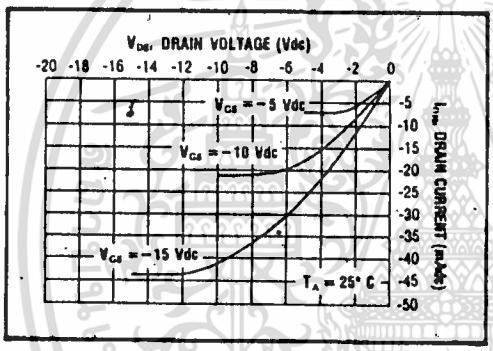
NOTES: [1] Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications"

[2] T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.
= -40°C for E device.
T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.
= + 85°C for E device.

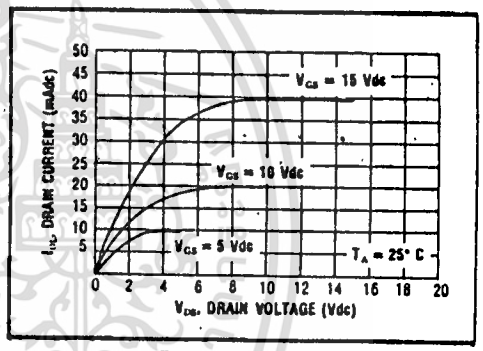
[3] These devices have been designed for balanced output drive current specifications. Consult Family Specifications.

DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

PARAMETER		V_{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
PROPAGATION DELAY TIME	t_{PLH}, t_{PHL}	5	–	150	300	ns
		10	–	65	130	
		15	–	50	100	
OUTPUT TRANSITION TIME	t_{TLH}, t_{THL}	5	–	100	200	ns
		10	–	50	100	
		15	–	40	80	

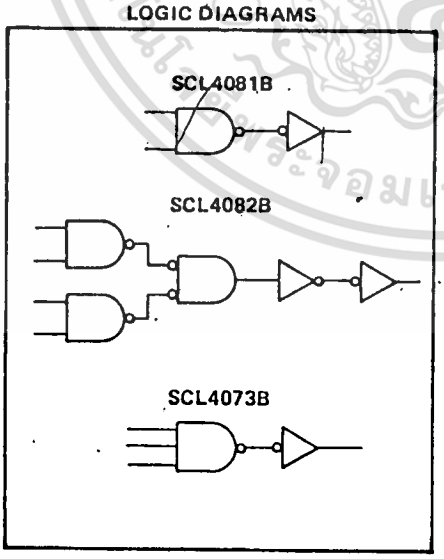


Typical P-Channel
Source Current Characteristics

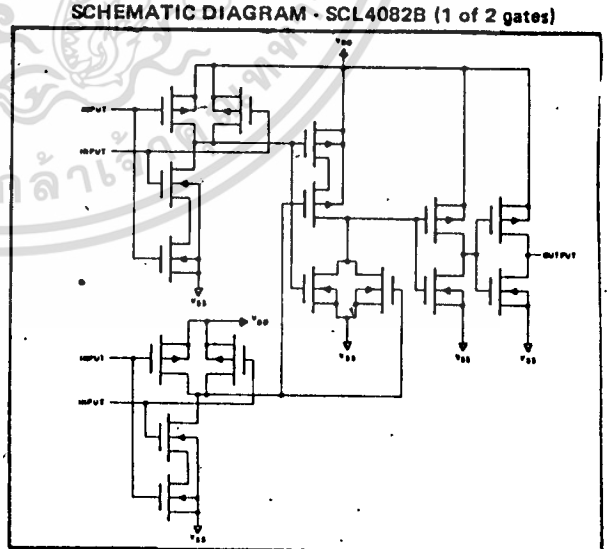


Typical N-Channel
Sink Current Characteristics

LOGIC DIAGRAMS



SCHEMATIC DIAGRAM - SCL4082B (1 of 2 gates)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCL4511B

CMOS BCD-TO-SEVEN SEGMENT LATCH/DECODER/DRIVER

FEATURES

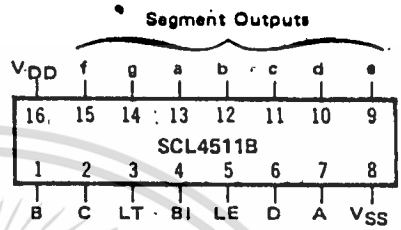
- High-Current Sourcing Bipolar Outputs (Up to 25 mA)
- Latched Storage of Input Code
- Blanking Input for Display Intensity Modulation
- Lamp Test Provision
- Readout Blanking for Illegal Input Combinations

DESCRIPTION

The SCL4511B provides the functions of a 4-bit storage latch, an 8421 BCD-to-seven segment decoder, and an output drive capability to source up to 25 mA of current. Lamp Test, Blanking, and Latch Enable inputs are used to test the display, turn off the display, and store a BCD code, respectively. It can be used with LED, incandescent, fluorescent, gas discharge, or liquid crystal readouts either directly or indirectly.

Applications include counter display drivers, seven-segment decimal display, and various clock, watch, and timer uses.

CONNECTION DIAGRAM
(all packages)



Add suffix for package:

C	16-pin Cerdip
D	16-pin Ceramic
E	16-pin Epoxy
F	16-pin Flat
H	Chip

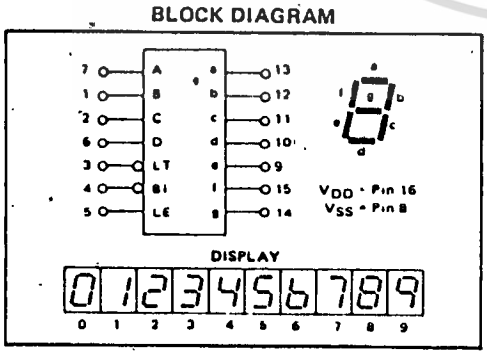
TRUTH TABLE

LE	BI	LT	D	C	B	A	a	b	c	d	e	f	g	DISPLAY
X	X	0	X	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	8
X	0	1	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2
0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	3
0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4
0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	5
0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	9
0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Blank
1	1	1	X	X	X	X	*							*

X = Don't care

* Depends upon the BCD code applied during the 0 to 1 transition of LE.

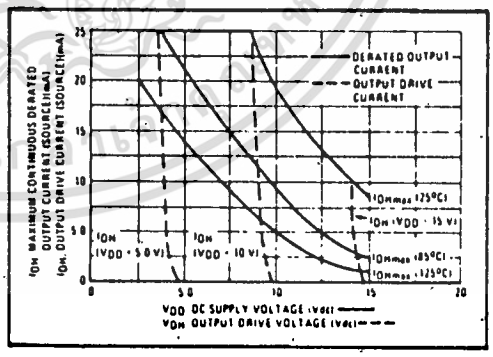
BLOCK DIAGRAM



RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	T_A		
C, D, F, H Device		-55 to +125	°C
E Device		-40 to +85	°C



Typical P-Channel
Source Current Characteristics

The maximum continuous (worst case) derated output drive current applies to a single output with all other outputs sourcing an equal amount of current. Operation above the derating curve at a given temperature is not recommended.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS [1]

PARAMETER		V_{DD} (Vdc)	CONDITIONS	T_{LOW} [2] Min.	T_{LOW} [2] Max.	+25°C Min.	+25°C Typ.	+25°C Max.	T_{HIGH} [2] Min.	T_{HIGH} [2] Max.	Units
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I_{DD}	5	$V_{IN} = V_{SS}$ or V_{DD}	–	5	–	0.05	5	–	150	μAdc
		10	All valid input	–	10	–	0.1	10	–	300	
		15	combinations	–	20	–	0.2	20	–	600	
OUTPUT DRIVE VOLTAGE	V_{OH}	5	I_{OH} = 0 mAdc	4.99	–	4.99	5.0	–	4.95	–	Vdc
			-5	–	–	–	4.25	–	–	–	
			-10	–	–	3.9	4.13	–	–	–	
			-15	–	–	–	3.95	–	–	–	
			-20	–	–	3.4	3.75	–	–	–	
			-25	–	–	–	3.6	–	–	–	
		10	I_{OH} = 0mAdc	9.99	–	9.99	10	–	9.95	–	Vdc
			-5	–	–	–	9.25	–	–	–	
			-10	–	–	9.0	9.15	–	–	–	
			-15	–	–	–	9.03	–	–	–	
			-20	–	–	8.6	8.90	–	–	–	
			-25	–	–	–	8.75	–	–	–	
		15	I_{OH} = 0mAdc	14.99	–	14.99	15	–	14.95	–	Vdc
			-5	–	–	–	14.25	–	–	–	
			-10	–	–	14.0	14.18	–	–	–	
			-15	–	–	–	14.08	–	–	–	
			-20	–	–	13.6	13.95	–	–	–	
			-25	–	–	–	13.80	–	–	–	
OUTPUT LOW (SINK) CURRENT C, D, F, H device	I_{OL}	5	V_{OL} = 0.4V	1.9	–	1.5	3.4	–	1.1	–	mAdc
		10	V_{OL} = 0.5V	5.0	–	4.0	6.5	–	2.8	–	
		15	V_{OL} = 1.5V	13.8	–	11.0	24	–	7.7	–	
			$V_{IN} = V_{SS}$ or V_{DD}								
E device		5	V_{OL} = 0.4V	1.8	–	1.5	3.4	–	1.2	–	mAdc
		10	V_{OL} = 0.5V	4.8	–	4.0	6.5	–	3.2	–	
		15	V_{OL} = 1.5V	13.2	–	11.0	24	–	8.8	–	
			$V_{IN} = V_{SS}$ or V_{DD}								

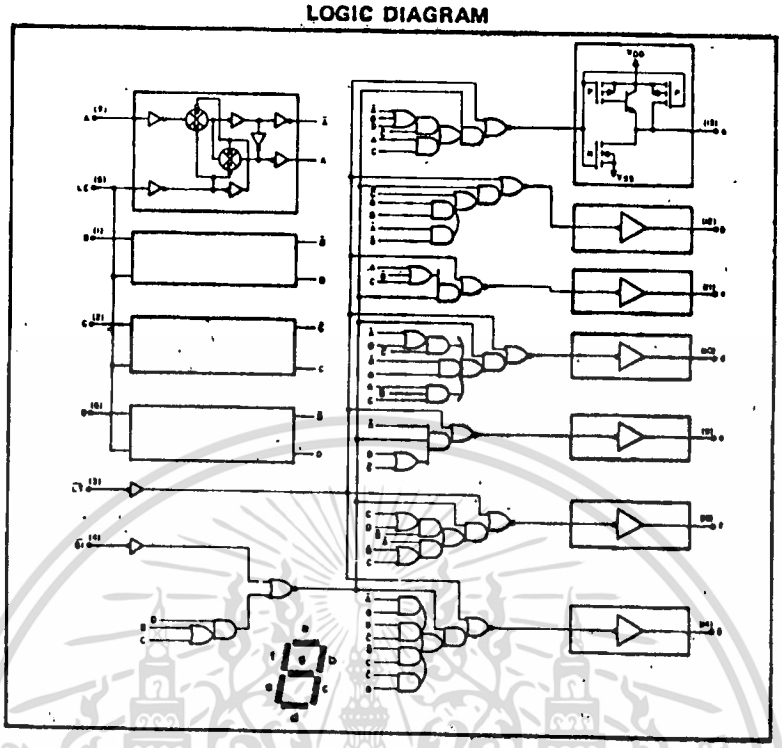
NOTES: [1] Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".
[2] T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.
= -40°C for E device.
T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.
= + 85°C for E device.

DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

PARAMETER		V_{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
PROPAGATION DELAY TIME From Data Inputs	t_{PLH}	5	–	650	1300	ns
		10	–	250	500	
		15	–	200	400	
	t_{PHL}	5	–	750	1500	ns
		10	–	300	600	
		15	–	200	400	
From Blanking Input	t_{PLH}	5	–	300	600	ns
		10	–	125	250	
		15	–	100	200	
	t_{PHL}	5	–	500	1000	ns
		10	–	200	400	
		15	–	160	320	
From Lamp Test Input	t_{PLH}	5	–	300	600	ns
		10	–	120	240	
		15	–	90	180	
	t_{PHL}	5	–	325	650	ns
		10	–	130	260	
		15	–	95	190	
OUTPUT TRANSITION TIME	t_{TLH}	5	–	50	100	ns
		10	–	40	80	
		15	–	35	70	
	t_{THL}	5	–	1000	2000	ns
		10	–	1000	2000	
		15	–	1000	2000	
MINIMUM DATA INPUT SETUP TIME	t_{setup}	5	–	90	180	ns
		10	–	40	80	
		15	–	20	40	
MINIMUM DATA INPUT HOLD TIME	t_{hold}	5	–	-90	0	ns
		10	–	-40	0	
		15	–	-20	0	
MINIMUM LATCH ENABLE PULSE WIDTH	PW_{LE}	5	–	260	520	ns
		10	–	110	220	
		15	–	65	130	

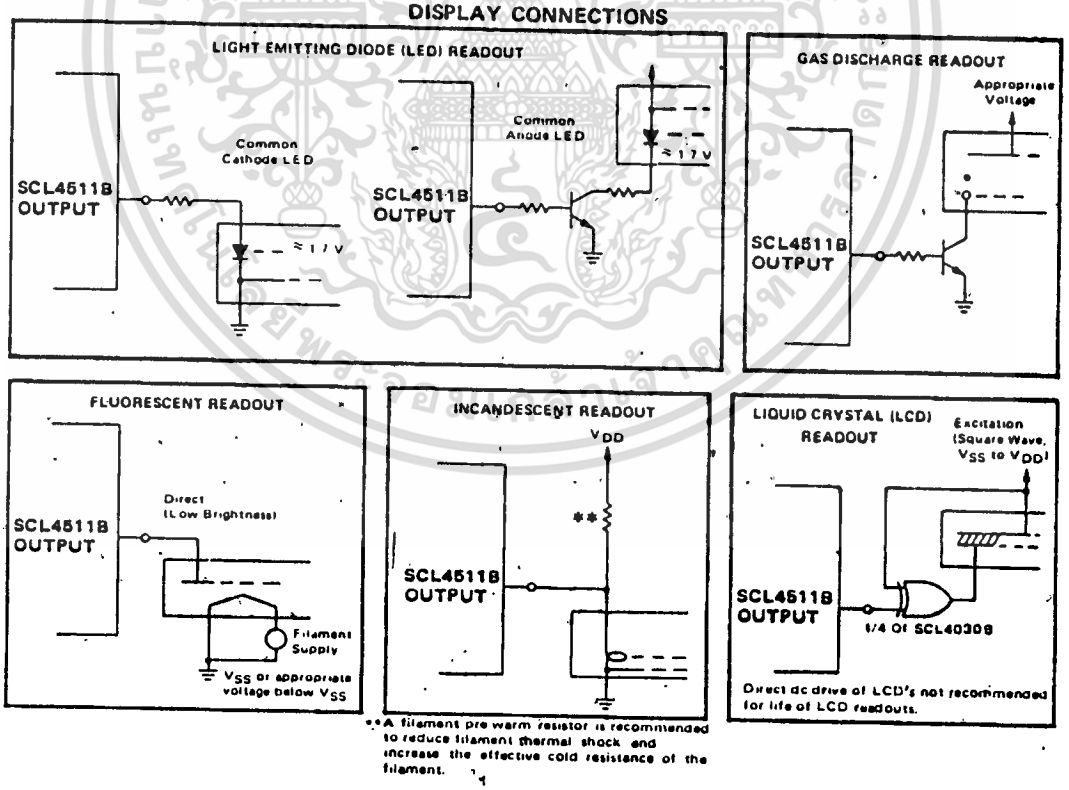
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LOGIC DIAGRAM



APPLICATIONS INFORMATION

DISPLAY CONNECTIONS



**A filament pre warm resistor is recommended to reduce filament thermal shock and increase the effective cold resistance of the filament.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCL4518B
SCL4520B

CMOS DUAL UP COUNTERS

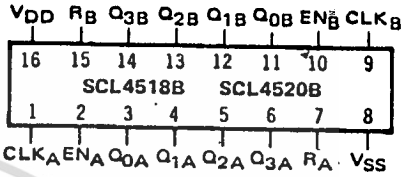
FEATURES

- Two Independent 4-Bit Counters
- Internally Synchronous for High Speed
- Dual BCD (SCL4518B) and Dual Binary (SCL4520B) Configurations
- Direct Reset
- Logic Edge-Clocked Design
- Trigger from either Edge of Clock Signal
- Static Operation— DC to 5MHz @ 10Vdc

DESCRIPTION

The SCL4518B Dual BCD Counter and the SCL4520B Dual Binary Counter are constructed with MOS P-channel and N-channel enhancement-mode devices in a single monolithic structure. Each consists of two identical, independent, internally synchronous 4-stage counters. The counter stages are type-D flip-flops, with interchangeable Clock and Enable lines for incrementing on either the positive-going or negative-going transition as required when cascading multiple stages. Each counter can be cleared by applying a high level on the Reset line. In addition, the SCL4518B will count out of all undefined states within two clock periods. These complementary MOS up counters find primary use in multi-stage synchronous or ripple counting applications requiring low power dissipation and/or high noise immunity.

CONNECTION DIAGRAM
(all packages)



Add suffix for package:

C	16-pin Cerdip
D	16-pin Ceramic
E	16-pin Epoxy
F	16-pin Flat
H	Chip

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

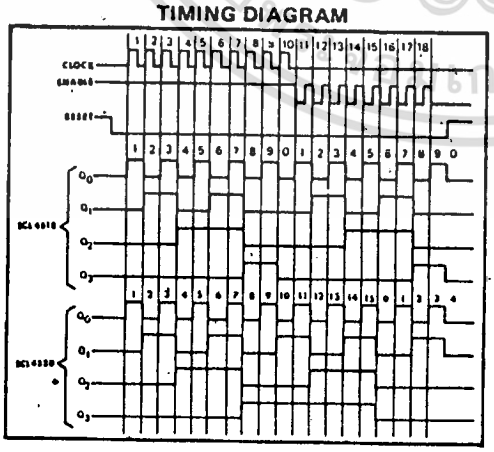
DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	T_A		
C, D, F, H Device		-55 to +125	°C
E Device		-40 to +85	°C

TRUTH TABLE

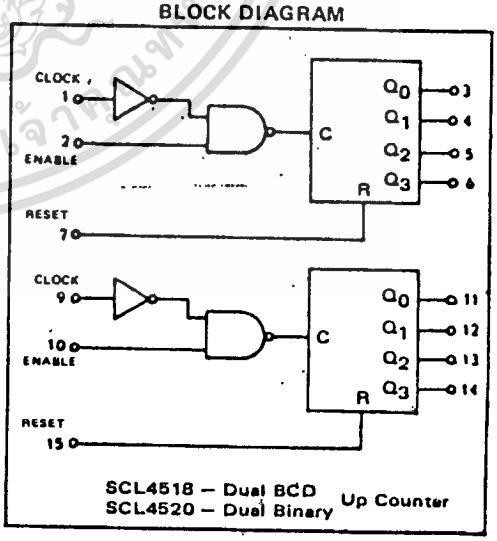
CLOCK	ENABLE	RESET	ACTION
⌐	1	0	Increment Counter
0	⌐	0	Increment Counter
¬	X	0	No Change
X	¬	0	No Change
⌐	0	0	No Change
1	¬	0	No Change
X	X	1	Q0 thru Q3 = 0

X = Don't Care

TIMING DIAGRAM



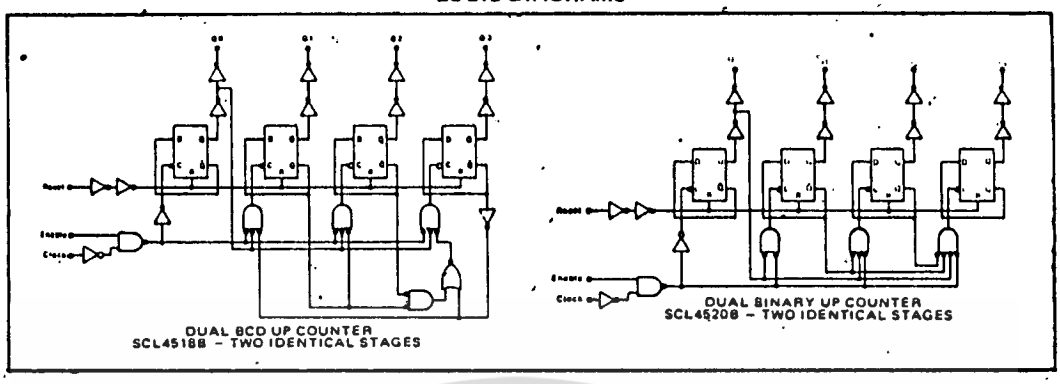
BLOCK DIAGRAM



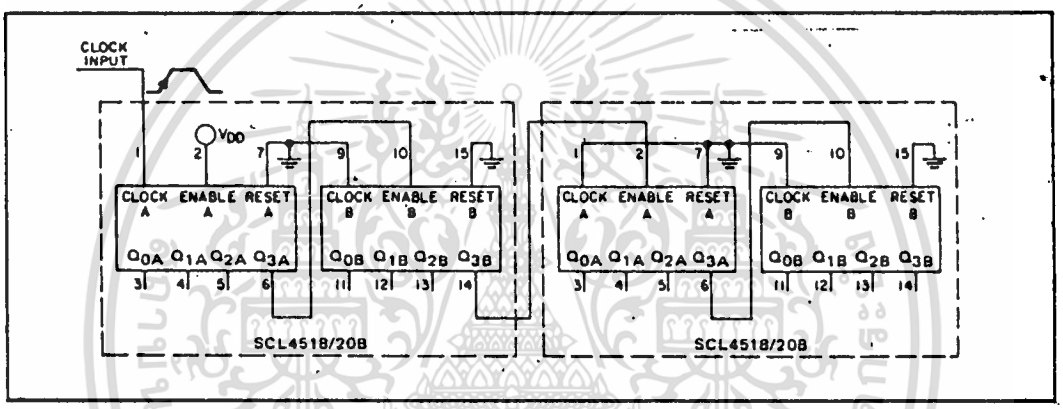
SCL4518 — Dual BCD
SCL4520 — Dual Binary Up Counter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

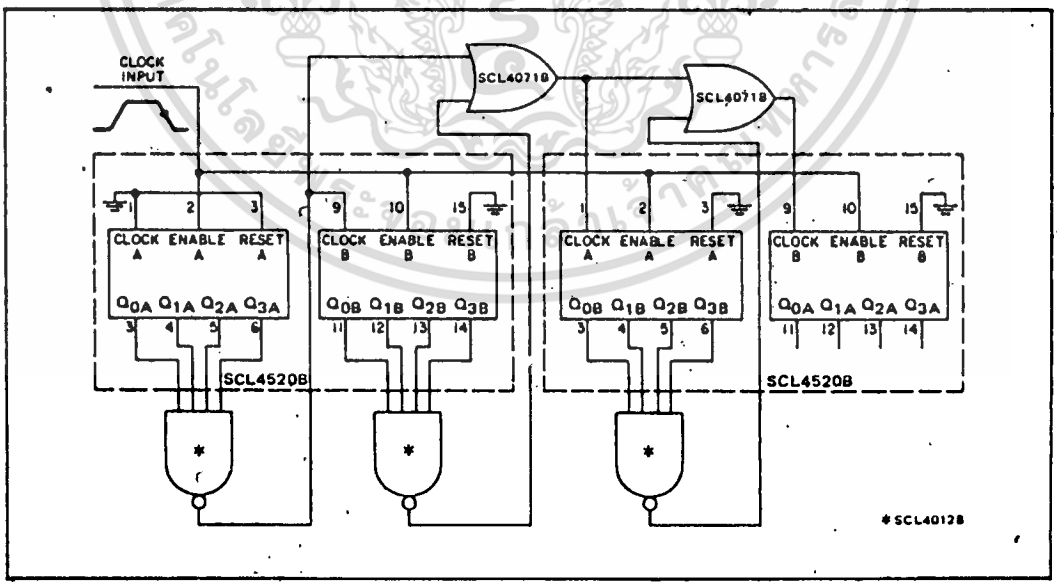
LOGIC DIAGRAMS



APPLICATIONS INFORMATION



Ripple cascading of four counters with positive-edge triggering.



Synchronous cascading of four binary counters with negative-edge triggering.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS

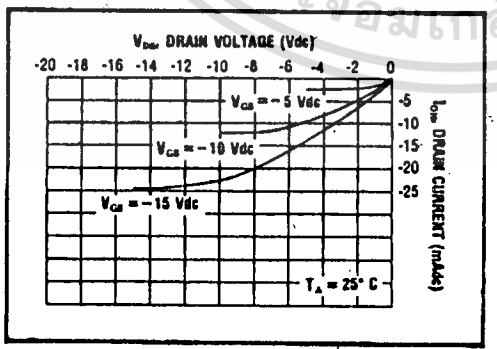
PARAMETER		V_{DD} (Vdc)	CONDITIONS	T_{LOW}[2]		+25°C			T_{HIGH}[2]		Units
				Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I_{DD}	5	$V_{IN} = V_{SS}$ or V_{DD}	–	5	–	0.05	5	–	150	μAdc
		10	All valid input	–	10	–	0.1	10	–	300	
		15	combinations	–	20	–	0.2	20	–	600	

NOTES: [1] Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL40008 Series Family Specifications".
[2] T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.
= -40°C for E device.
T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.
= + 85°C for E device.

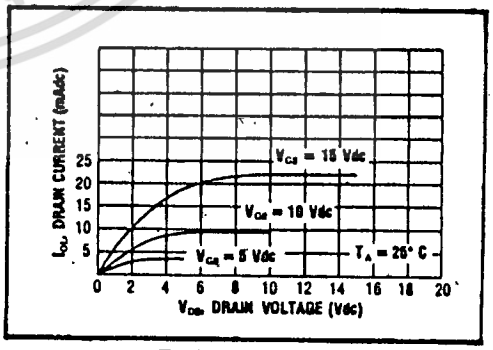
DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

PARAMETER		V_{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
CLOCKED OPERATION						
PROPAGATION DELAY TIME From Clock or Clock Enable	t_{PLH}, t_{PHL}	5	–	225	450	ns
		10	–	100	200	
		15	–	80	160	
OUTPUT TRANSITION TIME	t_{TLH}, t_{THL}	5	–	130	260	ns
		10	–	65	130	
		15	–	50	100	
MINIMUM CLOCK PULSE WIDTH	PW_{CL}	5	–	120	240	ns
		10	–	50	100	
		15	–	40	80	
MINIMUM CLOCK ENABLE PULSE WIDTH	PW_{CE}	5	–	200	400	ns
		10	–	90	180	
		15	–	75	150	
MAXIMUM CLOCK FREQUENCY	f_{CL}	5	1.0	2.0	–	MHz
		10	2.5	5.0	–	
		15	3.0	8.0	–	
MAXIMUM CLOCK OR CLOCK ENABLE RISE & FALL TIME[1]	t_{rCL}, t_{fCL}	5	15	–	–	μs
		10	5	–	–	
		15	3	–	–	
RESET OPERATION						
PROPAGATION DELAY TIME	t_{PHL}	5	–	225	450	ns
		10	–	100	200	
		15	–	80	160	
MINIMUM RESET PULSE WIDTH	PW_R	5	–	120	240	ns
		10	–	50	100	
		15	–	40	80	
RESET REMOVAL TIME	t_{rem}	5	–	100	200	ns
		10	–	50	100	
		15	–	40	80	

[1] When units are cascaded, the maximum rise and fall times of the clock input should be equal to or less than the transition times of the data outputs driving data inputs, plus the propagation delay of the output driving stage for the output capacitive load.



Typical P-Channel
Source Current Characteristics

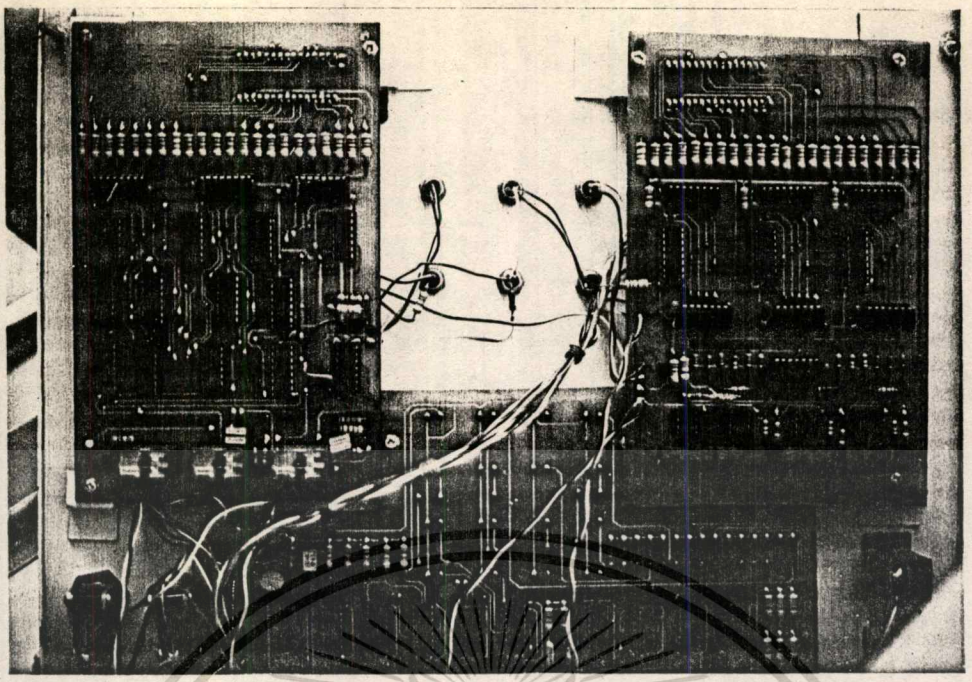


Typical N-Channel
Sink Current Characteristics

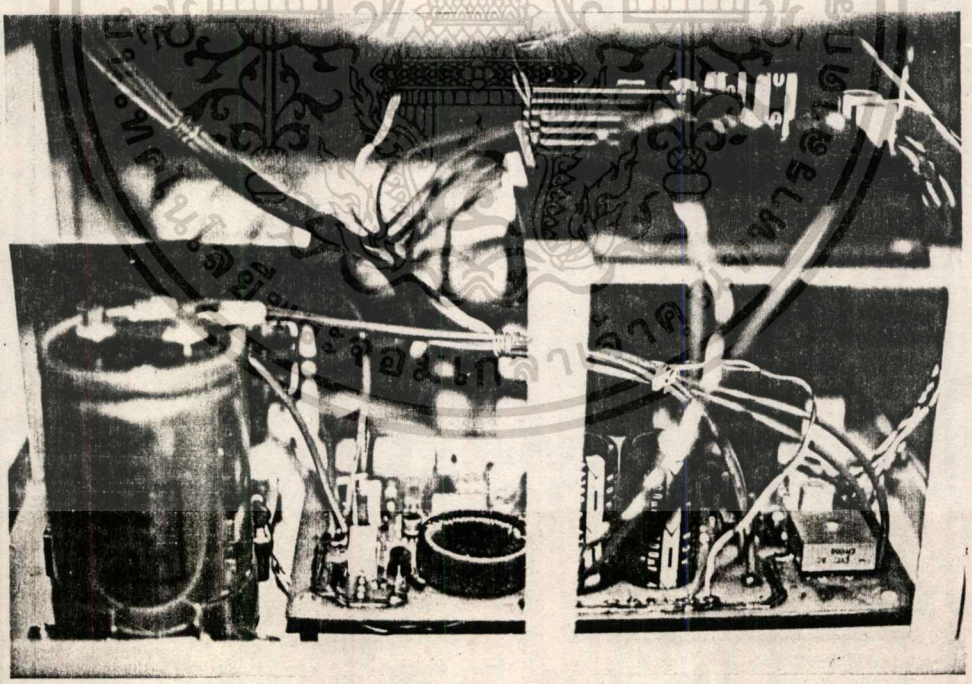
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ รูปภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่องเอ็กซเรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

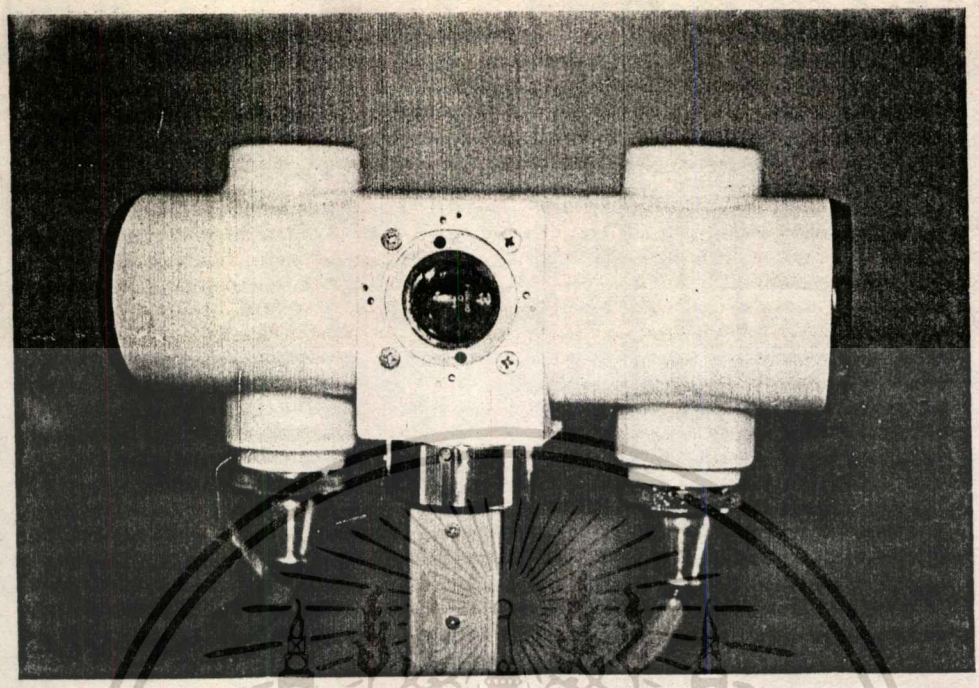


แผงวงจรคีย์บอร์ด, ไทม์เมอร์และเคาว์

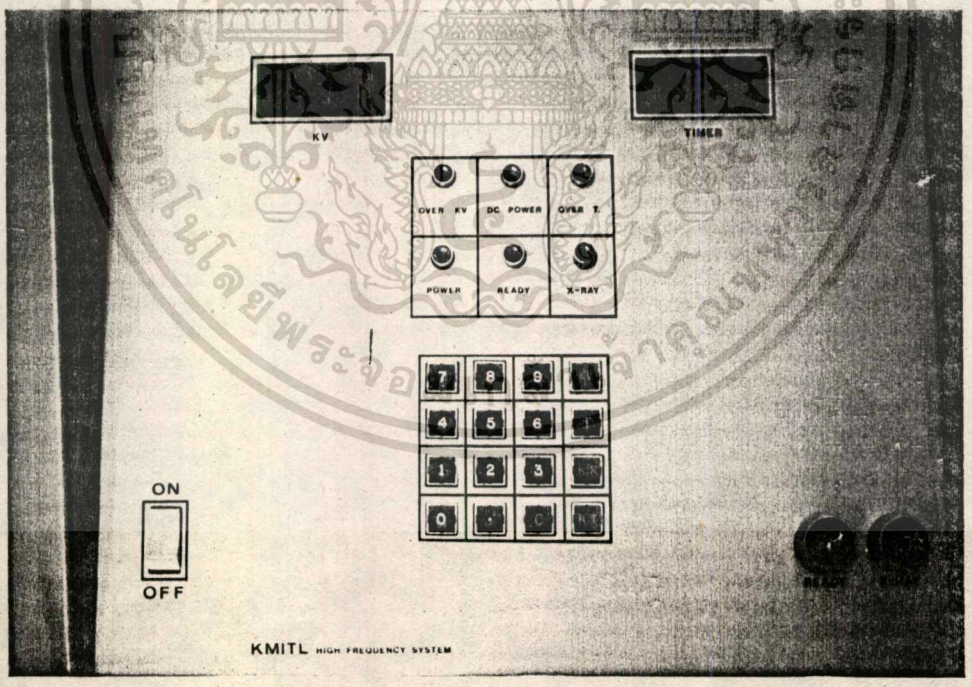


แผงวงจรอินเวอร์เตอร์, สวิทชิ่งและเพาเวอร์ซัพพลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

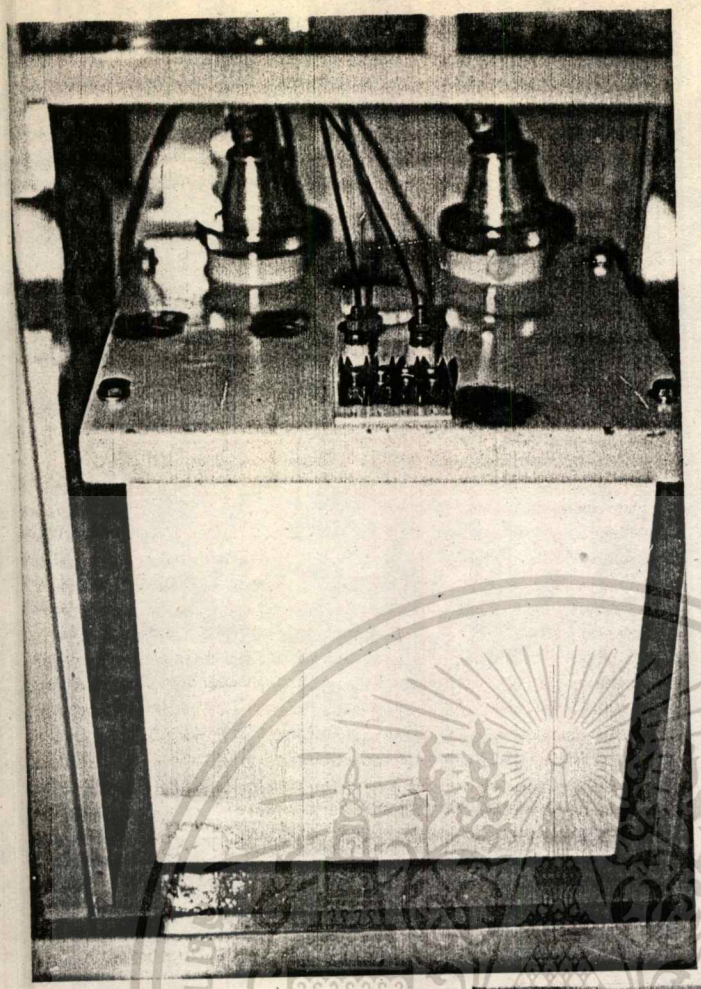


หลอดเอกซเรย์

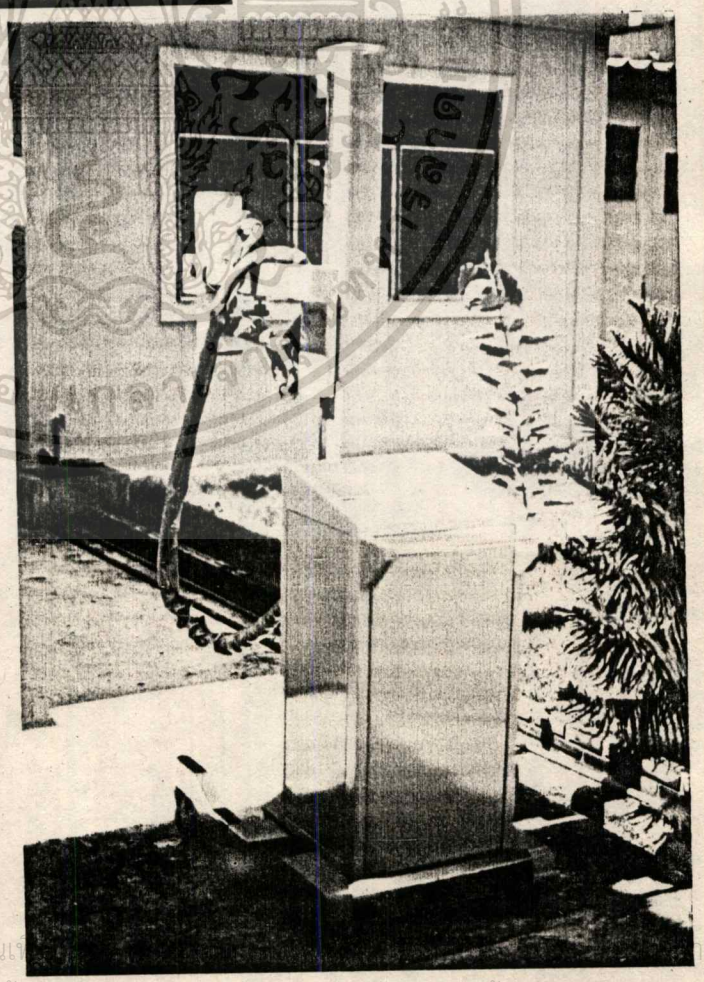


แผงหน้าปัทม์เครื่องเอกซเรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ถังไฮเทนชั่น



เครื่องเอ็กซเรย์เมื่อประกอบเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากได้รับการสนับสนุนทุนวิจัย ตลอดจนคำแนะนำจาก คุณดงศักดิ์ ตติยานุกูล ผู้จัดการบริษัท M.I.D. จำกัด อาจารย์วิชัย สุรพัฒน์ และคณะอาจารย์ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรมทุกท่าน ที่ได้ให้คำปรึกษาตลอดจนแนวทางในการแก้ไขปัญหา ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาและวิจัยโครงงานนี้ ซึ่งผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

นายพิพัฒน์ แซ่ภู่
นายกิตติศักดิ์ สงวนพงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. ประดิษฐ์ รัตนพานิช, กฤตยา มนุญปิจุ, สุธี นัดพบสุข, "เอ็กซเรย์ฟิสิคส์และการถ่ายภาพรังสี", คณะแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 342 หน้า, 2524

2. บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, "คู่มือไอซี CMOS 4000 SERIES", 306 หน้า, 2530

3. สมยศ โลหะวิทยวิกรานต์, สมเกียรติ พูลศิริ, "อินเวอร์เตอร์ 300 VA สมบูรณ์แบบ", วารสารเซมิคอนดัคเตอร์อิเลคทรอนิคส์, ฉบับที่ 76, 2530, หน้า 114-121.

4. U.Tietze Ch.Schenk, "Linear and non-linear operational circuitry", "Power Supplies", "D/A and A/D Converters", Advanced Electronics Circuits, 510 p., 1978

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้