พระมหากรุณาธิคุณ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 3

## การพัฒนาเครื่องถ่ายภาพโทรทัศน์ด้วยรังสีเอกซ์ขนาดเล็ก

เครื่องถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ขนาดเล็กระบบเก็บภาพนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้เป็นเครื่องขนาดเล็กใช้พลังงานจากแบตเตอรี สามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานในภาคสนามได้ มีความสามารถในการถ่ายวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ และเพื่อลดปริมาณรังสีที่ใช้ในการถ่ายภาพลงไป จึงพยายามออกแบบให้ใช้เวลาการถ่ายภาพให้สั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้

### 3.1 ระบบเครื่องถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ขนาดเล็ก

ระบบทั้งหมดประกอบไปด้วยส่วนใหญ่ ๆ 2 ส่วน คือ

3.1.1 ส่วนกำเนิดรังสีเอกซ์ มีองค์ประกอบหลัก ๆ ดังนี้ คือ

ก. หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ เป็นหลอดที่ใช้กับงานทันตกรรมขนาดเล็ก มีขนาดแรงดันสูงสุด 65 kVp กระแส 7.5 mA ใช้งานได้ไม่เกิน 2 วินาที ที่กำลังงานสูงสุด

ข. หม้อแปลงแรงดันสูง ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันต่ำให้มีขนาดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 65 kVp ที่กระแส 7.5 mA กับหม้อแปลงแรงดันต่ำ 6 โวลต์ 3 แอมป์ สำหรับจุดไส้หลอด

ค. อินเวอร์เตอร์ ที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับจำนวนสองชุด โดยชุดแรกสำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง และชุดที่สองสำหรับวงจรไส้หลอด แรงดันออกสำหรับชุดแรกมีค่าเป็น 220 โวลต์ ส่วนชุดที่สองมีแรงดันออกเป็น 24 โวลต์ การเลือกให้อินเวอร์เตอร์มีแรงดันออกต่ำแทนที่จะเป็น 65 kV

โดยตรงก็เพื่อประโยชน์ในการแยก (Isolate) อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำออกจากแรงดันสูง เพื่อความปลอดภัยต่ออุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

อนึ่งเพื่อให้หม้อแปลงมีขนาดเล็ก จึงเลือกออกแบบให้อินเวอร์เตอร์ทำงานที่ความถี่สูง

ง. แบตเตอรี ขนาด 12 โวลต์ ต่ออนุกรมกัน 2 ตัว ซึ่งจะเป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับระบบทั้งหมด

3.1.2 ส่วนเก็บภาพและแสดงผล

ส่วนเก็บภาพและแสดงผลนี้จะทำหน้าที่เก็บภาพจากรังสีเอกซ์ไว้ในหน่วยความจำในจังหวะที่มีรังสีเอกซ์ และหลังจากนั้นจะทำการอ่านข้อมูลออกมาจากหน่วยความจำ เพื่อแสดงภาพที่เก็บไว้นั้นออกทางจอภาพตลอดเวลาแม้ว่าจะไม่มีรังสีเอกซ์แล้วก็ตาม

ส่วนเก็บภาพและแสดงผลนี้ประกอบไปด้วย

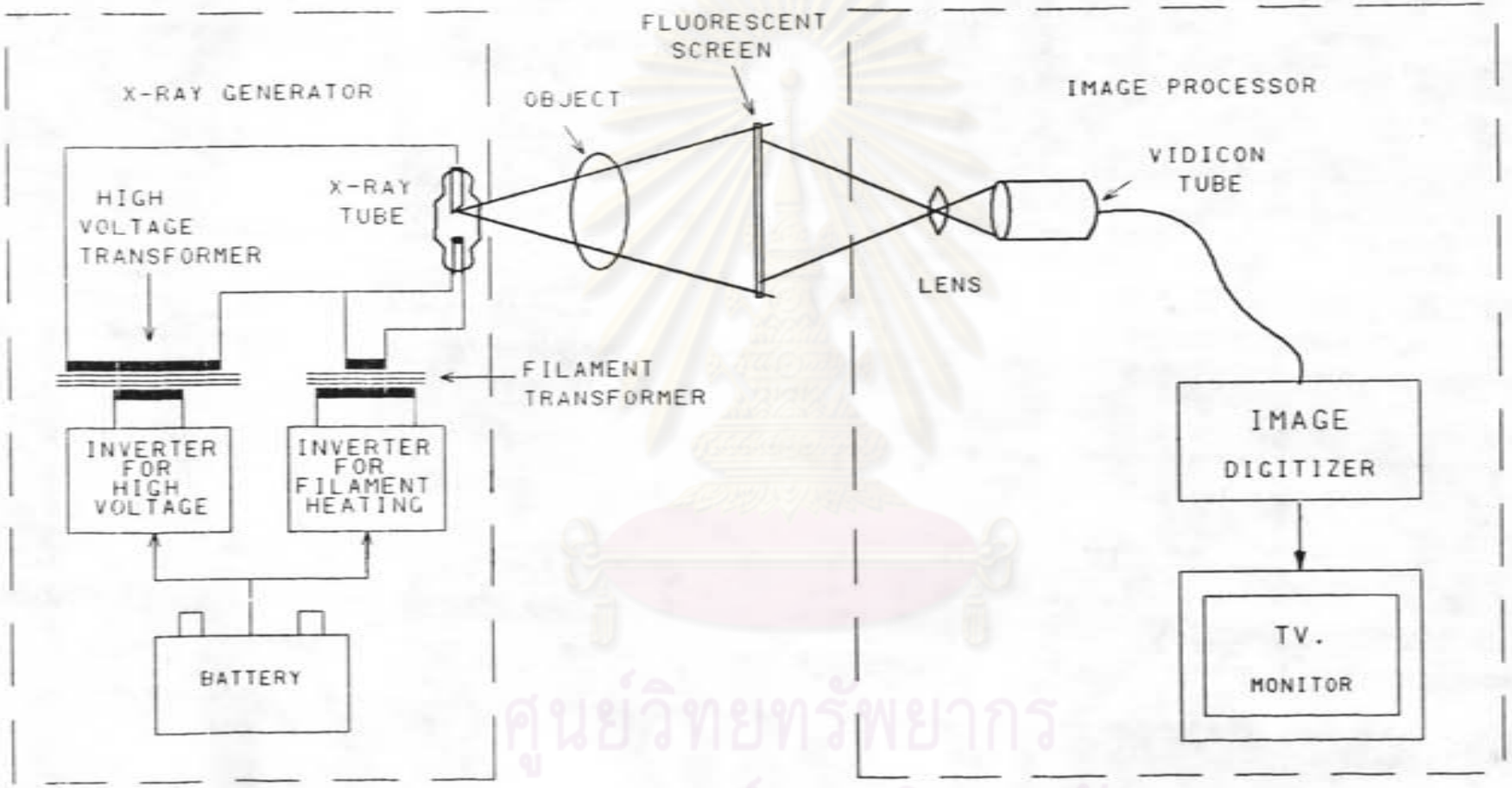
ก. แผ่นเรืองรังสี ซึ่งทำหน้าที่รับภาพที่เกิดจาก โฟตอนของรังสีเอกซ์ มาแปลงเป็น โฟตอนที่มีพลังงานในช่วงที่ตามองเห็น

ข. กล้องถ่ายภาพโทรทัศน์ ทำหน้าที่แปลงภาพที่อยู่ในช่วงที่ตามองเห็นจากแผ่นเรืองรังสีให้มาเป็นสัญญาณภาพโทรทัศน์ (Video signal)

ค. วงจรเก็บภาพ (Digitizer) ทำหน้าที่ รับสัญญาณภาพมาเก็บไว้ในหน่วยความจำ ในจังหวะที่มีรังสีเอกซ์ และจะอ่านข้อมูลที่เก็บไว้ออกมา แปลงกลับให้เป็นสัญญาณภาพอีกครั้งเพื่อป้อนให้กับจอภาพต่อไป

ง. จอภาพ ทำหน้าที่แสดงภาพที่ได้ออกมา

องค์ประกอบหลักของเครื่องทั้งหมดแสดงไว้ในรูปที่ 3.1




รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของเครื่องถ่ายภาพโทรทัศน์ด้วยรังสีเอกซ์ขนาดเล็ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 3.2 การออกแบบวงจรเก็บภาพ (Digitizer)

ในการออกแบบระบบเก็บภาพนั้นจะต้องคำนึงถึงความต้องการ 3 ประการคือ วัสดุอุปกรณ์ ความละเอียด (Resolution) และระดับความมืดสว่างของภาพ อุปกรณ์ที่ใช้จะต้องหาได้ง่ายมีราคาไม่สูง ในการสร้างระบบเก็บภาพ ถ้าต้องการได้ความละเอียด (Resolution) ของภาพสูง จะต้องออกแบบให้มีจำนวนจุดภาพมาก ๆ ซึ่งจะสิ้นเปลืองหน่วยความจำมากขึ้นอันส่งผลให้ระบบแพงขึ้น หรือหากต้องการให้ระดับความส่องสว่างของแต่ละจุดภาพมีความ มืด-สว่าง มากระดับ ก็จะต้องใช้หน่วยแปลงสัญญาณเชิงเส้นเป็นเชิงเลข (ADC) ที่มีจำนวนบิตสูง ซึ่งหมายความว่า จะต้องใช้หน่วยความจำสูงตามไปด้วย ราคาของระบบทั้งหมดจึงแพงขึ้นอีกหลายเท่าตัว

เนื่องจากในการวิจัยนี้ มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาระบบขนาดเล็กเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาระบบขนาดใหญ่เท่านั้น ผู้วิจัยจึงออกแบบให้ระบบมีคุณภาพอยู่ในระดับปานกลางเท่านั้นคือ

ก. กำหนดให้ระบบสามารถเก็บภาพได้ขนาด 256 x 256 จุดภาพ

ข. ระดับความมืด-สว่าง ของระบบมี 64 ระดับ หรือ 6 บิต

จากความต้องการดังกล่าวสามารถนำไปคำนวณหาลักษณะพิเศษ (Specifications) ของหน่วยแปลงสัญญาณเชิงเส้นเป็นเชิงเลข และหน่วยความจำได้ดังนี้

ความถี่ของ สัญญาณกำหนดจังหวะแนวนอน = 15625 Hz.

คิดเป็นคาบเวลาของเส้นภาพหนึ่งเส้น (H) = 1/15625 Hz

$= 64 \times 10^{-6}$ s.

= 64 $\mu$s.

โดยที่ สัญญาณกำหนดจังหวะแนวนอนมีความกว้างของสัญญาณ = 0.08 H

กับ ฟรอนท์พอร์ช มีความกว้างของสัญญาณ = 0.02 H

และ แบคพอร์ช มีความกว้างของสัญญาณ = 0.06 H

ช่วงเวลาที่ลำอิเล็คตรอนกวาดบนจอภาพโทรทัศน์

$= (1 - 0.08 - 0.02 - 0.06)H$

$= 0.84H$

$= 53.76 \quad \mu s.$

จุดภาพหนึ่งจุดใช้เวลาทั้งสิ้น $= 53.76/256 \quad \mu s/Pixel$

$= 210 \quad ns/Pixel$

จากการคำนวณพบว่า หน่วยแปลงสัญญาณภาพเชิงเส้นเป็นเชิงเลข และหน่วยความจำจะต้องมีความเร็วในการแปลงสัญญาณน้อยกว่า 210 นาโนวินาที จะเห็นได้ว่าต้องใช้หน่วยแปลงสัญญาณเชิงเส้นเป็นเชิงเลขที่มีความเร็วสูงมาก จึงเลือกใช้ระบบแฟลชคอนเวอร์เตอร์ (Flash converter : ADC) ที่มีความเร็วสูงในการแปลงรหัส สำหรับหน่วยความจำก็เช่นกัน เมื่อพิจารณาจากข้อมูลของผู้ผลิตหน่วยความจำแล้วพบว่าหน่วยความจำสถิตย์ (Static RAM) มีความเหมาะสมมากกว่า ทั้งนี้แม้ว่าในปัจจุบันหน่วยความจำจลน์ (Dynamic RAM) ซึ่งมีความจุต่อหน่วยสูง (High density) กว่าหน่วยความจำสถิตย์ จะสามารถทำงานได้เร็วตามที่ต้องการก็ตามแต่ก็ยังมีราคาสูงกว่าหน่วยความจำสถิตย์ ที่มีความเร็วและตำแหน่งความจุ (kbyte) เท่า ๆ กัน

สำหรับตำแหน่งความจุ (Address) ของหน่วยความจำ สามารถคำนวณได้จากจำนวนจุดภาพดังนี้ คือ

จำนวนจุดภาพทั้งสิ้น $= 256 \times 256 \quad$ จุดภาพ

$= 65536 \quad$ จุดภาพ

จากผลการคำนวณระบบเก็บภาพจะต้องใช้หน่วยความจำที่มีตำแหน่งความจุเท่ากับ 65536 ไบต์ หรือ 64 กิโลไบต์ (kbyte) ขนาด 6 บิต และมีความเร็วในการอ่าน-เขียน แต่ละตำแหน่งความจุ ต่ำกว่า 210 นาโนวินาที

ส่วนหน่วยแปลงสัญญาณเชิงเส้นเป็นเชิงเลขนั้น จะใช้แบบแฟลชคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งมีความเร็วในการแปลงสัญญาณน้อยกว่า 210 นาโนวินาที ขนาด 6 บิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.1 แผนภาพ (Block diagram) ของวงจรเก็บภาพ เนื่องจากสัญญาณภาพ (Video signal) ประกอบไปด้วย 2 ฟิลล์ต่อภาพ ซึ่งในแต่ละฟิลล์มีองค์ประกอบของภาพที่สมบูรณ์ครบภาพ ดังนั้นจึงเลือกเก็บภาพเฉพาะฟิลล์ใด ฟิลล์หนึ่งเท่านั้นซึ่งเรียกระบบนี้ว่าเฟรมแกรบเบอร์ (Frame grabber) และในแต่ละฟิลล์จะประกอบไปด้วย เส้นภาพจำนวน 312.5 เส้น แต่เพราะระบบที่ต้องการนี้ต้องการเก็บเพียง 256 เส้นเท่านั้น จึงต้องทำการตัดเส้นภาพออกไปเป็นจำนวน 312.5 - 256 = 56.5 เส้น ดังนั้นจะต้องตัดเส้นบนๆ ของภาพออกไป 28.5 เส้น และเส้นล่างๆ ของภาพออกไป 29 เส้น หรือกลับกัน

ดังนั้น ระบบจะต้องสามารถตรวจจับสัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้งได้และทำการหน่วงเวลาไปเท่ากับ 28 ถึง 29 เส้น เมื่อรวมกับช่วงเวลาที่มี อิควอไลซิงพัลส์และสัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้ง อีก 6 เส้นภาพ แล้ว จะรวมเป็นเวลาที่ต้องหน่วงเวลาไปเท่ากับ (29+6)64 ไมโครวินาที = 2240 ไมโครวินาที = 2.24 มิลลิวินาที

ระบบจะต้องสามารถหน่วงเวลาการเก็บภาพไปประมาณ 2.24 มิลลิวินาทีหลังจากเริ่มตรวจจับได้ว่ามี สัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้งมาแล้ว

ในการแปลงสัญญาณเชิงเส้นเป็นเชิงเลขนั้น เราจะต้องทำการตรวจจับสัญญาณกำหนดจังหวะแนวนอนก่อนแล้วจึงส่งสัญญาณให้ หน่วยแปลงสัญญาณเชิงเส้นเป็นเชิงเลขเริ่มทำการแปลงสัญญาณได้ ซึ่งสัญญาณความส่องสว่างนี้จะมีช่วงเวลาทั้งหมดเป็น 53.76 ไมโครวินาที ดังนั้นช่วงเวลาของสัญญาณเว้นว่างแนวนอน (Horizontal blanking) จึงเป็น 64 - 53.76 = 10.24 ไมโครวินาที

จากการคำนวณจะเห็นว่า ระบบต้องมีการหน่วงเวลาในการแปลงสัญญาณหลังจากที่ตรวจจับได้ว่า มีสัญญาณกำหนดจังหวะแนวนอนไปประมาณ 10.24 ไมโครวินาที เมื่อระบบได้ทำการเก็บภาพเอาไว้ในหน่วยความจำแล้ว ระบบจะทำการอ่านข้อมูลออกมาจากหน่วยความจำ แล้วแปลงสัญญาณเชิงเลขเป็นเชิงเส้นอีกครั้ง ซึ่งสามารถกระทำได้โดยใช้หน่วยแปลงสัญญาณเชิงเลขเป็นเชิงเส้น แต่เนื่องจากข้อมูลที่อ่านออกมานี้มีเพียงสัญญาณความส่องสว่างเพียงฟิลล์เดียวเท่านั้น ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเติมสัญญาณกำหนดจังหวะลงไป ซึ่งสัญญาณกำหนดจังหวะนี้ไม่สามารถจะใช้ สัญญาณกำหนดจังหวะเดิมได้ เนื่องจากสัญญาณกำหนดจังหวะเดิมนั้นเป็นแบบอินเตอร์เลส (Interlace scanning) แต่ระบบการ

แสดงภาพจากหน่วยความจำนั้นจะเป็นแบบธรรมดา (Non-interlace scanning) จึงจำเป็นที่จะต้องมีวงจรกำเนิดสัญญาณกำหนดจังหวะขึ้นมาใหม่

จากความต้องการดังกล่าวมาทั้งหมด ระบบจึงประกอบไปด้วย

1. หน่วยแปลงสัญญาณเชิงเส้นเป็นเชิงเลข
2. หน่วยแปลงสัญญาณเชิงเลขเป็นเชิงเส้น
3. วงจรแยกสัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้ง และ สัญญาณกำหนดจังหวะแนวนอน กับวงจรหน่วงเวลา
4. หน่วยความจำ
5. วงจรกำเนิดสัญญาณกำหนดจังหวะ
6. วงจรควบคุม และ ติดต่อกับวงจรอิเล็กทรอนิคส์อื่นๆ

วงจรทั้งหมดนี้สามารถเขียนเป็นแผนภาพ (Block diagram) ได้ดังรูปที่ 3.2

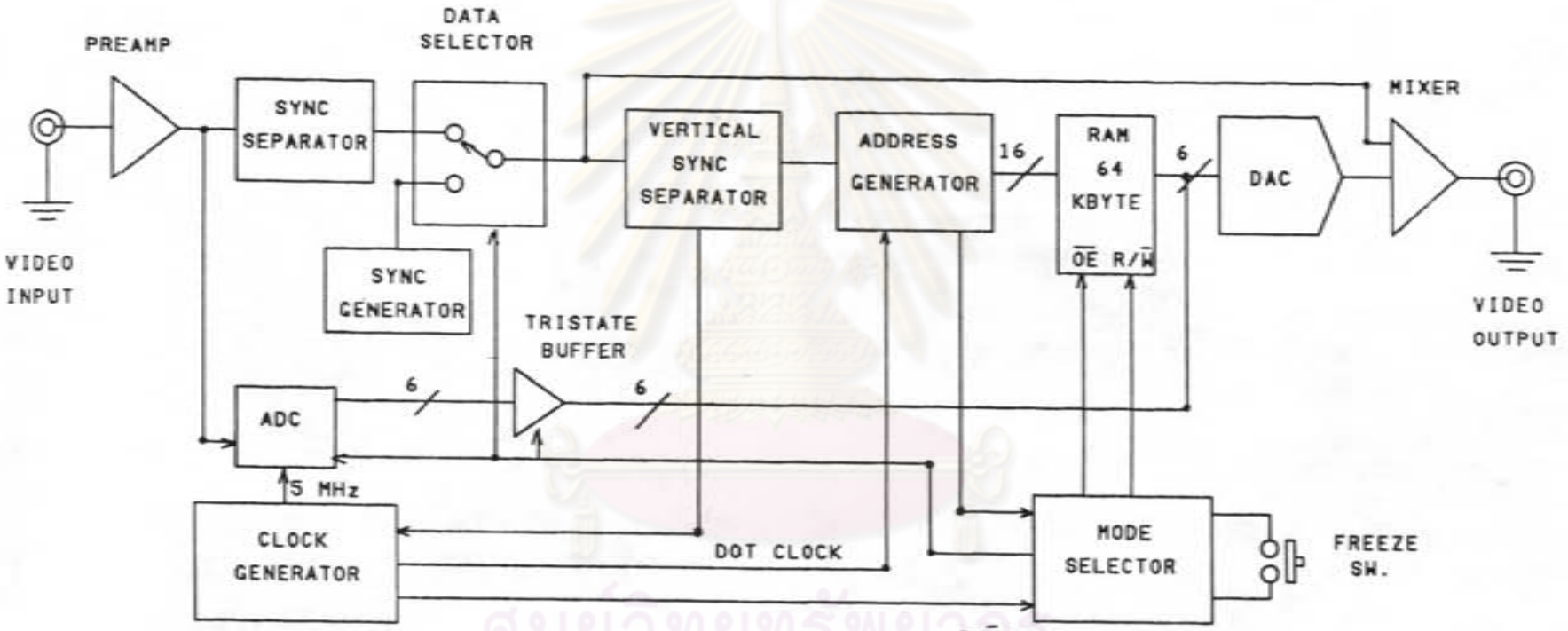
3.2.2 การเชื่อมโยงสัญญาณในวงจรเก็บภาพ

สัญญาณภาพจากกล้องถ่ายภาพจะถูกป้อนเข้าที่ทางเข้า (Input) ของวงจรขยาย (Amplifier) เพื่อขยายสัญญาณให้มีความแรงเพิ่มขึ้น จากนั้นสัญญาณภาพจะถูกแยกเอาสัญญาณกำหนดจังหวะ (Sync signal) ออกไปป้อนให้กับวงจรเลือกข้อมูล ซึ่งจะทำการเลือกเอาสัญญาณกำหนดจังหวะจากสัญญาณภาพเดิมที่ได้มาจากวงจรแยกสัญญาณกำหนดจังหวะ (Sync separator) สัญญาณดังกล่าวจะถูกนำมาแยกเอาเฉพาะสัญญาณกำหนดจังหวะแนวตั้งออกไปควบคุมการทำงานของวงจรกำเนิดตำแหน่ง (Address generator) โดยจะเว้นช่วงเวลาไว้ประมาณ 2.24 มิลลิวินาที เพื่อให้วงจรเริ่มทำการเก็บภาพที่บริเวณกลางๆภาพเท่านั้นเสมอ เมื่อวงจรกำเนิดสัญญาณกำหนดจังหวะแนวนอนจ่ายออกไปควบคุมการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณเวลา (Clock generator) เพื่อเป็นตัวกำหนดให้วงจรกำเนิดสัญญาณเวลา ปล่อยสัญญาณเวลาออกมาเฉพาะช่วงเวลาที่ไม่มีสัญญาณกำหนดจังหวะเท่านั้น ทั้งนี้สัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณเวลา จะเป็นตัวกำหนดให้หน่วยแปลงสัญญาณเชิงเส้นเป็นเชิงเลข (ADC) ทำงานในช่วงเวลาที่มีสัญญาณความสว่าง

เมื่อสัญญาณความส่องสว่างถูกแปลงเป็นสัญญาณเชิงเลขแล้ว จะส่งผ่านไปยังเกตสามสถานะ (Tristate) ซึ่งทำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณเชิงเลขนั้นให้กับหน่วยความจำเพื่อนำไปเก็บต่อไป ในขณะเดียวกันสัญญาณเชิงเลขจากหน่วยความจำ จะถูกแปลงกลับให้เป็นสัญญาณเชิงเส้น โดยวงจรแปลงสัญญาณเชิงเลขเป็นเชิงเส้น แล้วนำไปรวมกับสัญญาณกำหนดจังหวะที่วงจรผสมสัญญาณ (Mixer) กลับเป็นสัญญาณภาพอีกครั้งหนึ่ง

เมื่อวงจรได้ทำการเก็บภาพจนครบ 256 x 256 จุดภาพแล้ว วงจรกำเนิดตำแหน่ง ซึ่งเป็นตัวกำหนดตำแหน่งในการเขียน-อ่านสัญญาณเชิงเลข จะปล่อยสัญญาณพัลส์ออกไปกระตุ้นให้วงจรเลือกสภาวะ (Mode selection circuit) ให้ทำการเปลี่ยนสภาวะจากการเก็บภาพมาเป็นสภาวะการแสดงภาพ โดยจะส่งสัญญาณไปควบคุมให้เกตสามสถานะ ให้ตัดสัญญาณเชิงเลขออกจากหน่วยแปลงสัญญาณเชิงเส้นเป็นเชิงเลข พร้อมกับเปลี่ยนสัญญาณจากการเขียน (Write) มาเป็นสัญญาณอ่าน (Read) เพื่อให้หน่วยความจำทำการส่งสัญญาณเชิงเลขที่เก็บไว้ในคอนแรกออกมา จากนั้นสัญญาณเชิงเลขก็จะป้อนผ่านหน่วยแปลงสัญญาณเชิงเลขเป็นเชิงเส้น แล้วนำไปรวมกับสัญญาณกำหนดจังหวะที่ได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณกำหนดจังหวะ (Sync generator) ผ่านทางวงจรเลือกข้อมูลกลายเป็นสัญญาณภาพป้อนออกไปยังจอแสดงภาพเพื่อแสดงภาพต่อไป จนกว่าจะมีการถ่ายภาพเอกซ์เรย์ใหม่อีกครั้ง การทำงานของระบบจึงจะกลับมาเป็นสภาวะการเก็บภาพอีกครั้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




รูปที่ 3.2 แผนภาพวงจรเก็บภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

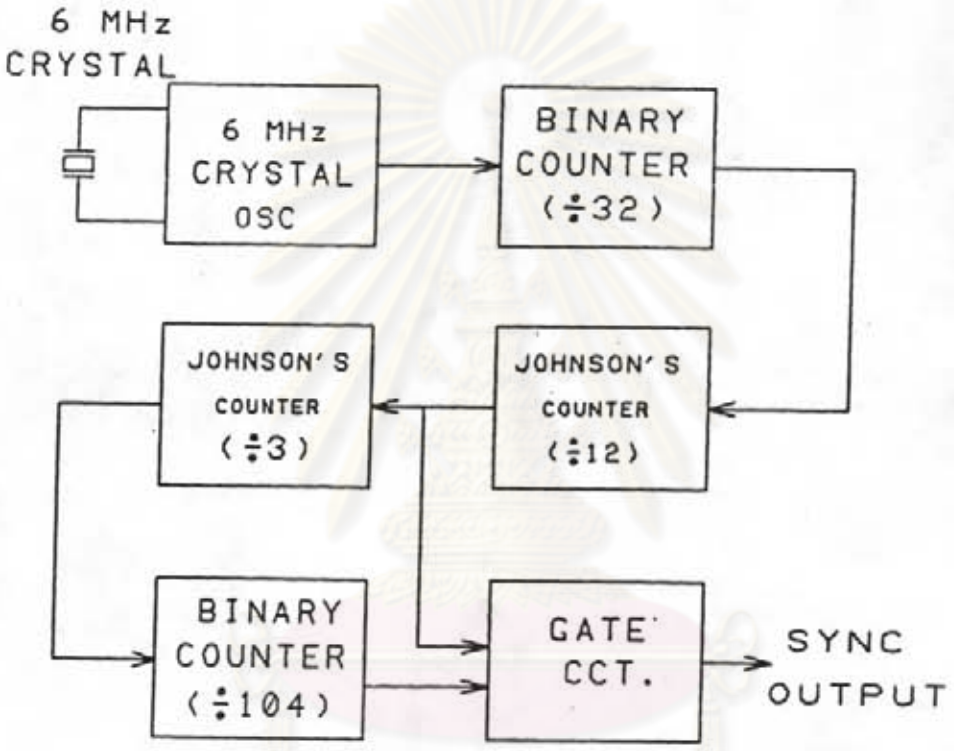
3.2.3 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณกำหนดจังหวะ (Sync generator)

เนื่องจากสัญญาณเชิงเลขที่เก็บอยู่ภายในหน่วยความจำ เป็นสัญญาณภาพเฟรมหนึ่งฟิลด์ ซึ่งแตกต่างจากมาตรฐานของ CCIR ที่มี 2 ฟิลด์ต่อภาพ ด้วยเหตุนี้จะต้องสร้างสัญญาณกำหนดจังหวะขึ้นมาใหม่ เพื่อใช้ในช่วงเวลาที่อยู่ในสภาวะแสดงภาพที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ และระบบสามารถทำการแสดงภาพได้โดยไม่ต้องทำการปรับแต่งความถี่ของสัญญาณกำหนดจังหวะ (Sync oscillator frequency) ของจอภาพใหม่ จึงจำเป็นที่จะต้องออกแบบให้สัญญาณกำหนดจังหวะมีค่าใกล้เคียงกับระบบมาตรฐานมากที่สุด แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องให้แสดงภาพแบบธรรมดา (Non-interlace scanning) ได้ด้วย แต่เนื่องจากผลึก (Crystal) ที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดความถี่นี้ไม่สามารถหาค่าตรงกับความต้องการได้ จึงใช้ค่าที่ใกล้เคียงแทน พบว่าสามารถใช้ผลึกขนาด 6 MHz มาเป็นฐานเวลาได้ โดยการหารด้วยวงจรหารแบบต่างๆ อย่างเหมาะสมตามแผนภูมิดังรูปที่ 3.3 สามารถสร้างสัญญาณกำหนดจังหวะที่มีช่วงเวลาได้ใกล้เคียงของมาตรฐานมากที่สุด

จากแผนภูมิในรูปที่ 3.3 สามารถนำมาเขียนเป็นแผนภาพของวงจรกำเนิดสัญญาณกำหนดจังหวะได้ดังรูปที่ 3.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.3 แผนภูมิการหารเพื่อสร้างสัญญาณกำหนดจังหวะ




รูปที่ 3.4 แผนภาพของวงจรกำเนิดสัญญาณกำหนดจังหวะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 3.3 การออกแบบอินเวอร์เตอร์

การออกแบบอินเวอร์เตอร์นี้ เลือกออกแบบโดยคำนึงถึงความต้องการดังนี้

3.3.1 การคำนวณหาความต้องการกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ กำลังไฟฟ้าทางออกที่ต้องการคำนวณได้จากกำลังไฟฟ้าที่ต้องการของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์

กำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายแรงดันสูง 65 kV x 7.5 mA = 487.5 วัตต์
คิดค่าตัวประกอบปลอดภัย (Safety factor) อีก 12 เปอร์เซนต์ จะได้ กำลังไฟฟ้าที่ต้องการเป็น

487.5 X 1.12 = 546 วัตต์

ในที่นี้เลือกออกแบบให้กำลังไฟฟ้าทางออกของอินเวอร์เตอร์เป็น 550 วัตต์

กำลังไฟฟ้าของวงจรจุดไส้หลอด 6 V x 3 A = 18 วัตต์
คิดค่าตัวประกอบปลอดภัยอีก 12 เปอร์เซนต์ จะได้ กำลังไฟฟ้าที่ต้องการเป็น

18 X 1.12 = 20.16 วัตต์

ในที่นี้เลือกออกแบบให้กำลังไฟฟ้าทางออกของอินเวอร์เตอร์สำหรับจุดไส้หลอดเป็น 20 วัตต์

3.3.2 ความปลอดภัยของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ เพื่อความปลอดภัยต่ออุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ จึงออกแบบระบบให้มีการแยกกัน (Isolation) ระหว่างหม้อแปลงแรงดันสูงกับอินเวอร์เตอร์ โดยให้แรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์ เป็น 220 โวลต์ และแรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์จุดไส้หลอดเป็น 24 โวลต์

3.3.3 การเลือกความถี่ที่ใช้งานของอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้ขนาดของหม้อแปลงเล็กลง จึงพยายามออกแบบให้ใช้ความถี่สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่เนื่องจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ออกแบบนี้เลือกแบบเรียงกระแสด้วยตนเองเพราะไดโอดเรียงกระแสที่ทนแรงดันไฟฟ้าสูงหายาก จึงไม่สามารถใช้ความถี่ที่สูงมากได้ ประกอบกับแกนเหล็กซิลิคอนที่จะนำมา

ทำเป็นหม้อแปลงมีการสูญเสียกำลังงานมากที่ความถี่สูง จึงเลือกออกแบบให้ความถี่ของอินเวอร์เตอร์สำหรับแรงดันสูงมีค่าเป็น 600 Hz ส่วนอินเวอร์เตอร์สำหรับจุดไส้หลอดนั้นเลือกใช้ความถี่ 50 kHz ทั้งนี้เพราะสามารถใช้แกนเฟอร์ไรท์ขนาดเล็กมาทำเป็นแกนของหม้อแปลงได้

3.3.4 การเลือกประเภทอินเวอร์เตอร์ จากความต้องการดังกล่าวจะเห็นว่าอินเวอร์เตอร์ที่เหมาะสมควรจะเป็นระบบสวิตช์แบบอิ่มตัว ในลักษณะป้อนแรงดัน เพื่อให้แรงดันออกเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ข

จากการวิเคราะห์ภาระ (Load) ของระบบอินเวอร์เตอร์นั้น ประกอบไปด้วยหม้อแปลงแรงดันสูง ซึ่งจะส่งผ่านกำลังงานไปยังหลอดรังสีเอกซ์อีกทีหนึ่ง ในกรณีนี้จะเห็นว่าหม้อแปลงแรงดันสูงนั้นจะมีจำนวนรอบของขดทุติยภูมิ มากกว่าทางด้านปฐมภูมิถึง 295.5 เท่าตามสมการที่ 3.1

$$\frac{E1}{E2} = \frac{N1}{N2} \qquad \text{.....3.1}$$

$$\frac{220}{65000} = \frac{1}{295.45}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยเหตุที่จำนวนรอบทางทุติยภูมิมีจำนวนสูงมากจึงส่งผลให้ค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหล (Leakage inductance) ของหม้อแปลงแรงดันสูงมีค่าสูงขึ้น (9) ตามสมการ

$$L_{leak} = \frac{\mu_o N^2 V}{h^2} \qquad \text{.....3.2}$$

โดยที่ $\mu_o$ คือ ความซึมซาบ (Permeability) ในสูญญากาศ

N คือ จำนวนรอบของขดลวด

V คือ ปริมาตรของฉนวน

h คือ ความสูงของแกนหม้อแปลง

จากรูปแบบของหม้อแปลงเพื่อพิจารณา ภาระเสมือน (Reflected load) มองจากอินเวอร์เตอร์จึงมีลักษณะเป็น ภาระความต้านทานเหนี่ยวนำ (R-L load) หมายความว่าตัวอินเวอร์เตอร์จะต้องรับพลังงานย้อนกลับจากภาระด้วย จากความต้องการให้มีเส้นทางของกระแสย้อนกลับดังกล่าวจะเห็นว่ามีอุปกรณ์สวิตช์อยู่จำพวกหนึ่ง มีคุณสมบัติตรงกับความต้องการดังกล่าว คือ เพาเวอร์มอสเฟท ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีคุณลักษณะเป็นไดโอดย้อนกลับในตัว ประกอบกับคุณสมบัติดีเด่นอื่นๆ (10) เช่น

ก) มีความเร็วในการสวิตช์สูง (11) ทำให้การสูญเสียกำลังในตัวเองมีน้อยมาก

ข) สามารถต่อขนานกันได้ง่าย เนื่องจากมีคุณสมบัติของความต้านทานขณะนำกระแสเป็นสัมประสิทธิบวกต่ออุณหภูมิ (Positive temperature coefficient) จึงไม่ทำให้เกิดปัญหาเรื่องการเสียหายจากอุณหภูมิเพิ่มหนี (Thermal runaway) จึงเลือกใช้อุปกรณ์ประเภทนี้มาเป็นอุปกรณ์สวิตช์ของวงจรอินเวอร์เตอร์

สำหรับรูปแบบ (Configuration) ที่เลือกนั้น เนื่องจากการใช้พลังงานจากแบตเตอร์รีจำนวนสองตัวมาต่ออนุกรมกันเป็นแหล่งจ่ายแรงดันต่ำขนาด 24 โวลต์ ทำให้ได้แรงดันที่ต่ำมาก จึงควรใช้วงจรแบบ พุช-พูล ดังรายละเอียดในภาคผนวก ข

3.3.5 การเลือกขนาดของอุปกรณ์สวิตช์ ในการเลือกขนาดของเพาเวอร์มอสเฟทนั้น จะคำนึงถึงปัจจัยสามประการ คือ

ก) หาได้ง่ายในราคาไม่แพง

ข) แรงดันสูงสุดที่ เพาเวอร์มอสเฟท จะได้รับ

ค) กระแสสูงสุดที่ผ่าน เพาเวอร์มอสเฟท

3.3.5.1 การหาขนาดแรงดันสูงสุดที่ เพาเวอร์มอสเฟททนได้ เนื่องจากรูปแบบของอินเวอร์เตอร์เป็นแบบ พุช-พูล ดังนั้นแรงดันเหนี่ยวนำย้อนกลับขณะหยุดนำกระแสที่ตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟท จึงมีค่าเป็นสองเท่าของแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้น แรงดันสูงสุดที่เพาเวอร์มอสเฟท $V_{max} = 2\ V_{in} = 2\ (24)$ = 48 โวลต์ เพื่อความปลอดภัยของเพาเวอร์มอสเฟท จึงคิดตัวประกอบปลอดภัยอีก 30 % นั่นคือเพาเวอร์มอสเฟทควรจะทนแรงดันได้ไม่น้อยกว่า 62.4 โวลต์

3.3.5.2 การคำนวณหากระแสสูงสุดที่เพาเวอร์มอสเฟททนได้ สำหรับกระแสที่ไหลผ่านเพาเวอร์มอสเฟทนั้นคิดจากกำลังไฟฟ้าทางออก ซึ่งมีความต้องการ 550 วัตต์ แต่เนื่องจากมีการ แยกกัน (Isolation) ของหม้อแปลงแรงดันสูงผ่านทางหม้อแปลง 220 โวลต์ จึงต้องคิดถึงประสิทธิภาพของหม้อแปลงดังกล่าวด้วย

กำหนดให้หม้อแปลงขนาด 220 โวลต์ มีประสิทธิภาพ 90 % และหม้อแปลงแรงดันสูงมีประสิทธิภาพ 90 % เช่นกัน ดังนั้นประสิทธิภาพรวมของหม้อแปลงทั้งสองตัวจึงเป็น 81 %

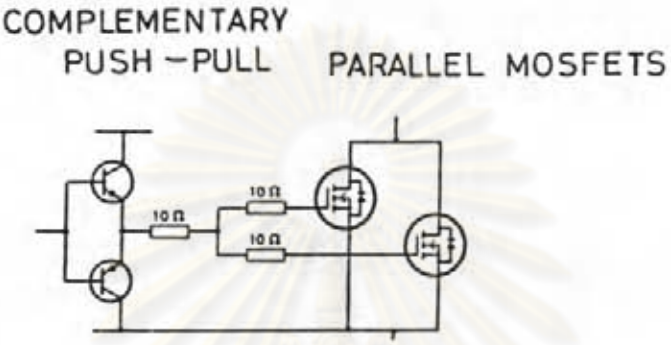
กำลังงานที่อินเวอร์เตอร์ต้องการจึงเป็น 550/0.81 = 679.01 วัตต์ ในที่นี้จึงเลือกออกแบบให้อินเวอร์เตอร์มีกำลังขับออกเป็น 680 วัตต์

จากข้อมูลเบื้องต้นของการคำนวณหาขนาดของเพาเวอร์มอสเฟท สามารถนำไปคำนวณเพื่อเลือกหาเพาเวอร์มอสเฟทที่หาได้ในท้องตลาด ในภาคผนวก ค พบว่าจะต้องใช้เพาเวอร์มอสเฟทที่ทนกระแสสูงถึง 41.7 A ที่อุณหภูมิตัวถัง 60 °C แต่เนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟทที่ทนกระแสสูงมีราคาแพงกว่าการใช้เพาเวอร์มอสเฟทที่ทนกระแสต่ำมาขนานกัน จึงเลือกใช้วิธีการขนาน จากการคำนวณในภาคผนวก ค เมื่อใช้เพาเวอร์มอสเฟทเบอร์ IRF 630 (12) พบว่าจะต้องทำการขนานกันเป็นจำนวน 5 ตัว

3.3.6 การเลือกระบบขับดัน (Driver)

เนื่องจาก เพาเวอร์มอสเฟท นี้เป็นอุปกรณ์สวิตช์จำพวกทรานซ์คอนดักแตนซ์ (Transconductance) หมายถึงอุปกรณ์ที่ใช้แรงดันเป็นตัวควบคุมกระแสทางเดรน (11) ดังนั้น กำลังสูญเสียเนื่องจากวงจรขับดันนี้น้อยมากจนไม่ต้องคิด แต่อย่างไรก็ตามวงจร

ที่นำมาเป็นวงจรขับต้นนี้ควรจะมีค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ต่ำมากๆ เพื่อป้องกันการเกิดการนำกระแสจากการเพิ่มของแรงดันอินพุตต่อเวลา dV/dt (11) จึงเลือกใช้วงจรขับต้นแบบคอมพลิเมนท์การี พุช-พูล (10) ดังรูปที่ 3.5




รูปที่ 3.5 วงจรขับต้นแบบคอมพลิเมนท์การี พุช-พูล

3.3.7 วงจรกำเนิดความถี่ สำหรับวงจรกำเนิดความถี่ที่ใช้ป้อนสัญญาณให้วงจรขับต้นนั้นจะต้องสามารถกำเนิดความถี่ 600 Hz เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม แต่เนื่องจากรูปแบบของวงจรอินเวอร์เตอร์นั้นเป็นแบบ พุช-พูล ดังนั้นวงจรกำเนิดความถี่ จะต้องมีช่วงเวลาหยุด (Dead time) คือช่วงเวลาที่เพาเวอร์มอสเฟทตัวหนึ่งหยุดนำกระแสก่อนที่เพาเวอร์มอสเฟท อีกตัวหนึ่งจะนำกระแส เพื่อป้องกันการเกิด กระแสสไปค์ (Current spike)

โดยเหตุดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วงจรรวม (IC) ที่ใช้ในการควบคุมแบบผสมความกว้าง (Pulse width modulation : PWM) ซึ่งออกแบบให้มีช่วงเวลาหยุดอยู่แล้วมาเป็นตัวกำเนิดสัญญาณที่จะป้อนให้กับวงจรขับต้น

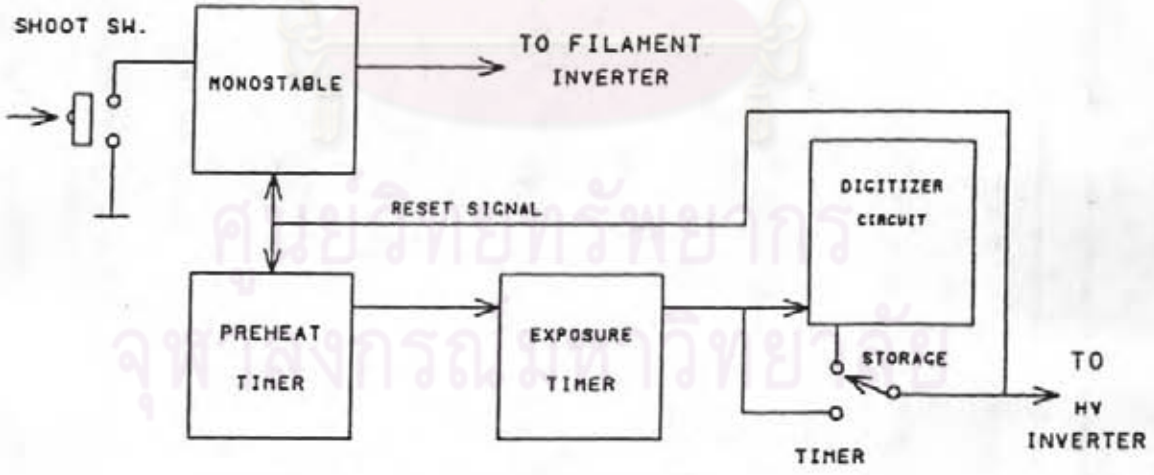
3.3.8 การออกแบบวงจรควบคุม (Control circuit) หน้าที่ของวงจรควบคุม คือ ควบคุมเวลาการจุดไส้หลอด เวลาป้อนแรงดันสูง ให้สอดคล้องกับจังหวะการเก็บภาพ ของวงจรเก็บภาพ

แต่เพื่อให้เครื่องนี้เป็นเครื่องเอนกประสงค์ที่สามารถนำไปใช้กับการถ่ายภาพโดยใช้แผ่นฟิลม์ ดังนั้น จึงออกแบบให้สามารถทำการตั้งเวลาในการถ่ายภาพได้อีกด้วย ซึ่งในที่นี้ออกแบบไว้ให้สามารถตั้งเวลาได้สูงสุดเท่ากับ 1.5 วินาที

เวลาในการเก็บภาพหนึ่งภาพเท่ากับ 256 เส้น X 64 ไมโครวินาที = 16.384 มิลลิวินาที ซึ่งเวลาดังกล่าวนี้จะถูกกำหนดโดยวงจรเก็บภาพ จึงนำเอาสัญญาณดังกล่าวออกมาจากวงจรเก็บภาพป้อนเข้าสู่วงจรควบคุม

เนื่องจากไส้หลอดของรังสีเอกซ์นั้นจะต้องใช้เวลาชั่วขณะหนึ่ง จึงจะร้อนเพียงพอที่จะปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมาได้ จึงออกแบบให้สามารถตั้งเวลาการจุดไส้หลอดล่วงหน้า (Pre-heat time) ได้ตามต้องการ ในที่นี้ออกแบบไว้ให้มีค่าไม่เกิน 0.5 วินาที

จากความต้องการดังกล่าวนั้นนำมาออกแบบได้ดังแผนภาพในรูปที่ 3.6




รูปที่ 3.6 แผนภาพวงจรควบคุม

3.3.9 การออกแบบโครงสร้างของเครื่องถ่ายภาพโทรทัศน์ด้วยรังสีเอกซ์ขนาดเล็ก

โครงสร้างของเครื่อง ออกแบบให้มีความสดวกในการเคลื่อนย้าย จึงแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนบรรจุกล้องถ่ายภาพโทรทัศน์ และแผ่นเรืองรังสี กับส่วนบรรจุเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ วงจรเก็บภาพ และจอภาพ ซึ่งสามารถนำมาตั้งซ้อนกันในขณะเคลื่อนย้ายได้

โดยที่ต้องการให้สามารถนำไปถ่ายกับฟิลม์ได้ จึงออกแบบให้ถอดหัวบรรจุหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ได้อีกด้วย

แบบโครงสร้างของเครื่องแสดงไว้ในภาคผนวก ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย