บทที่ 3

การออกแบบวงจรตู้สลับสายโทรศัพท์สนามแบบอิเล็กทรอนิกส์

3.1 การออกแบบเบื้องต้น

ตู้สลับสายโทรศัพท์สนามแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นนี้ขนาด 12 เลขหมาย สิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบเบื้องต้นคือ ขีดความสามารถในการรับ Traffic ได้ กล่าวคือตู้สลับสายโทรศัพท์สนามจะต้องบริการการต่อโทรศัพท์ได้ในช่วงเวลาที่มีการใช้โทรศัพท์คับคั่ง โดยให้มีอัตราการสูญเสียทางการเรียก (Loss Call) น้อยที่สุด ดังนั้นเพื่อให้การลงทุนสร้างเครื่องเป็นไปอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพตามความมุ่งหมาย จึงต้องมีการคำนวนเพื่อกำหนดว่า จำนวน Link ควรจะมีจำนวนเท่าไรจึงจะพอเพียงต่อการบริการในการรับต่อโทรศัพท์

ก่อนที่จะคำนวนจำนวน Link ก็มีความจำเป็นที่จะต้องศึกษา Traffic ของตู้สลับสายที่ผ่านมาว่าเป็นอย่างไร เช่นมีอัตราการเรียกมากน้อยเพียงใดเป็นต้น เมื่อทราบแล้วจึงกำหนดตัวเลขต่างๆที่ใช้ในการคำนวน ซึ่งได้แก่

- เปอเซ็นต์ของการยอมให้เกิดอัตราการสูญเสียทางการเรียก (Probability of Loss Call หรือ Grade of Service) หมายถึงการเรียกไม่ได้เนื่องจาก Link ถูกใช้งานเต็มหมดแล้ว
- Holding Time หมายถึงช่วงเวลาที่ผู้ใช้โทรศัพท์ใช้ในการสนทนา
- Originating Traffic หมายถึงผู้เรียกใช้โทรศัพท์เรียกออกกี่ครั้งในชั่วโมงที่มีการใช้โทรศัพท์คับคั่ง
- Terminating Traffic หมายถึงผู้ถูกเรียกรับการเรียกกี่ครั้งในชั่วโมงที่มีการใช้โทรศัพท์คับคั่ง
- การกระจาย Trafficหมายถึงการแบ่งเปอร์เซ็นต์ระหว่างการเรียกภายในกับภายนอก

เมื่อกำหนดค่าต่างๆเหล่านี้ได้ก็สามารถนำค่าเหล่านี้ไปคำนวนจำนวน Link ได้

จากสถิติการใช้โทรศัพท์สนามของกองทัพอากาศและมาตรฐานที่ CCITT[7] กำหนด จึงสามารถกำหนดค่าต่างๆเพื่อใช้ในการคำนวน Traffic ได้ดังนี้

- เปอเซ็นต์ของการยอมให้เกิดอัตราการสูญเสียทางการเรียก = 1 เปอเซ็นต์ (ตามมาตรฐานของ CCITT)
- Holding Time = 2 นาที (ตามมาตรฐานของ CCITT)
- Originating Traffic = 3 ครั้ง (จาก Traffic ที่ผ่านมา)
- Terminating Traffic = 2 ครั้ง (จาก Traffic ที่ผ่านมา)
- การกระจาย Traffic กำหนดให้จำนวน Link =100 เปอเซ็นต์

วิธีการคำนวน

เนื่องจาก Holding Time = 2 นาที ดังนั้นจะได้

$$\text{Originating Traffic} = \frac{2}{60} \times 3 = 0.1 \text{ Erlang}$$

$$\text{Terminating Traffic} = \frac{2}{60} \times 2 = 0.066 \text{ Erlang}$$

Traffic รวมต่อหนึ่งเลขหมาย = 0.1 + 0.066 = 0.166 Erlang

ตู้สลับสายโทรศัพท์สนามขนาด 12 เลขหมาย จะมี Traffic รวม

$$= 12 \times 0.166 = 1.99 \text{ Erlang}$$

เปิดตาราง Erlang Table (ผนวก ก) เพื่อหาจำนวน Link ในช่อง P = 1 % ได้ดังนี้

1.99 Erlang = 6 Links

นั่นคือตู้สลับสายโทรศัพท์สนามขนาด 12 เลขหมาย จะต้องมีจำนวน Link = 6 Links จึงจะเพียงพอต่อการบริการการต่อโทรศัพท์ตามเงื่อนไขที่ได้กล่าวมาแล้ว

3.2 คุณลักษณะและขีดความสามารถ

คุณลักษณะและขีดความสามารถของตู้สลับสายโทรศัพท์สนามที่ออกแบบสร้างขึ้นมีดังนี้

- เป็นตู้สลับสายโทรศัพท์สนามขนาด 12 เลขหมาย
- อุปกรณ์สวิทช์เป็นวงจร Digital Switching
- ใช้ Keybord ในการต่อโทรศัพท์
- แหล่งกำเนิดสัญญาณเรียกเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยส่งสัญญาณเรียกอัตโนมัติเมื่อมีการเรียกและหยุดส่งสัญญาณเรียกเมื่อผู้ถูกเรียกตอบรับกานเรียกโดยอัตโนมัติเช่นเดียวกัน

- เลขหมายภายในสามารถสนทนาพร้อมกันได้ 6 คู่สนทนา (6 Links)
- สามารถสนทนากันแบบประชุมได้ (Conference)
- มี Busy Lamp แสดงสภาวะทางสายถูกใช้งาน
- มี Busy Lamp แสดงสภาวะของ Link
- มี Ring Lamp แสดงสภาวะกำลังเรียกสาย
- พนักงานสลับสายสามารถดักฟัง (Monitor) การสนทนาของคู่สนทนาใด ๆ ได้
- สามารถใช้กับเครื่องโทรศัพท์ธรรมดาหรือเครื่องโทรศัพท์สนามได้ทุกแบบ เช่น EE-8, TA-312/PT และ DM-570[8] เป็นต้น
- แหล่งจ่ายไฟใช้ไฟสลับ 220 โวลท์ 50 H_z

3.3 แนวความคิดในการออกแบบวงจร

ตู้สลับสายโทรศัพท์สนามแบบอิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกออกแบบสร้างขึ้นโดยใช้วงจรประเภทดิจิตอลสวิทชิ่ง (Digital Switching) ซึ่งประกอบด้วยไอซี (IC) ประเภท เกท (Gate) ฟลิปฟลอป (Flip Flop) วงจรนับ (Counter) ตัวเข้ารหัส (Encoder) ตัวถอดรหัส (Decoder) ตัวมัลติเพลก (Multiplexer) ตัวดีมัลติเพลก (Demultiplexer) และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ รายละเอียดเบอร์ไอซีดูได้จากภาคผนวก ข.

แนวความคิดในการออกแบบตู้สลับสายโทรศัพท์สนามแบบอิเล็กทรอนิกส์ขนาด 12 เลขหมาย แต่ละเลขหมายจะใช้เลข 2 ตัวคือ หลักสิบจะเป็นเลข 1 หรือเลข 2 เท่านั้น ส่วนหลักหน่วยจะเป็นเลขใด ๆ ตั้งแต่ 1 ถึง 9 ดังนั้นเลขหมายโทรศัพท์ของตู้สลับสายนี้ก็จะเป็นเลข 1X และ 2X (X = เลขใด ๆ ตั้งแต่ 1 ถึง 9)

ในการต่อโทรศัพท์แต่ละครั้งจะมีดวงไฟ (Busy Lamp) ซึ่งเป็น LED และสัญญาณออด (Buzzer) แสดงสภาวะการใช้งานต่าง ๆ ดังนี้

- กรณีที่มีการเรียกจากผู้เรียกภายในใด ๆ ดวงไฟประจำเลขหมายของผู้เรียกจะกระพริบ พร้อมทั้งสัญญาณออด (Buzzer)จะดังขึ้น ทำให้พนักงานสลับสายทราบว่ามีผู้ใช้โทรศัพท์เลขหมายใดเรียกเข้ามา

- กรณีที่ผู้เรียกกับพนักงานสลับสายกำลังสนทนากันอยู่ ดวงไฟประจำเลขหมายและ Operator Link จะติดสว่าง

- กรณีที่มีการสนทนาระหว่างเลขหมายภายในด้วยกันเอง ดวงไฟประจำเลขหมายของโทรศัพท์แต่ละเครื่อง และ Link ที่คู่สนทนาใช้จะติดสว่าง

- ขณะที่พนักงานสลับสายเรียกไปยังเลขหมายใด ๆ และเลขหมายนั้นยังมิได้ตอบรับการเรียก Ringing Current จะถูกส่งออกไปโดยอัตโนมัติ พร้อมทั้งดวงไฟ (Busy Lamp) ประจำเลขหมายนั้น ๆ จะกระพริบ

- ถ้ามีการเรียก กระดิ่งของเครื่องโทรศัพท์จะถูกกำหนดให้ดัง 1 วินาที หยุดดัง 3 วินาที ส่วนดวงไฟประจำเลขหมาย (Busy Lamp) จะถูกกำหนดให้สว่าง 3 วินาที และดับ 1 วินาที

- สัญญาณรีเซท (Reset) หรือ เคลียร์ (Clear) จะถูกกำหนดให้ใช้ตามเงื่อนไขต่อไปนี้

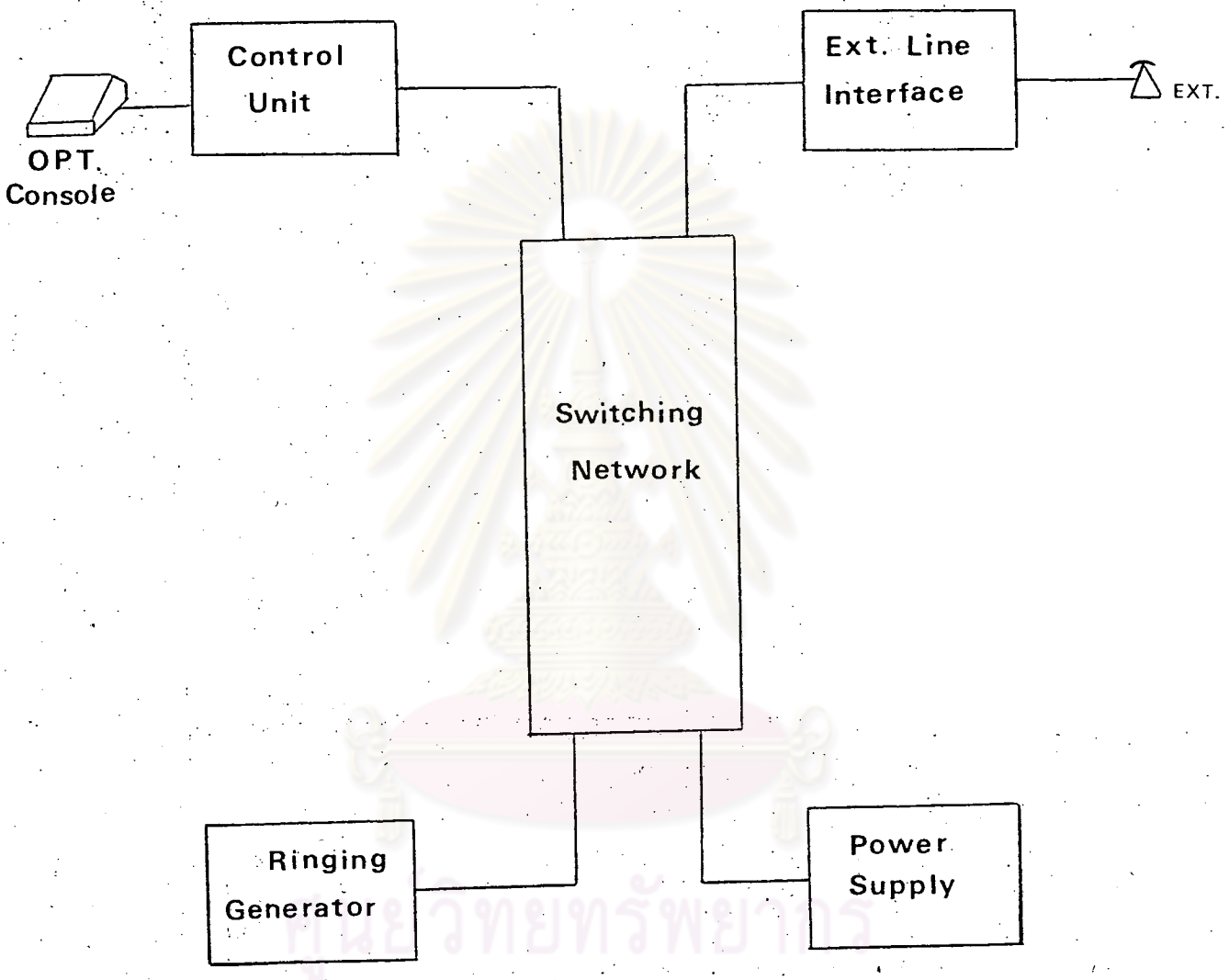
- เมื่อเปิด (ON) เครื่อง จะมีสัญญาณรีเซทอัตโนมัติ (Automatic Reset) เพื่อให้สภาวะต่าง ๆ ของวงจรอยู่ในสภาวะลอจิก 1 หรือ ลอจิก 0 ตามที่ได้ออกแบบไว้

- เมื่อพนักงานสลับสายกดปุ่มสวิทช์ Link และกดแป้นคีย์บอร์ด (Keyboard) ตามเลขหมายของผู้ถูกเรียกแล้ว จะมีสัญญาณรีเซทเกิดขึ้น เพื่อให้สภาวะต่าง ๆ ของวงจรสามารถบริการการเรียกครั้งต่อไปได้ในทันที

- เมื่อพนักงานสลับสายกดเลขหมายผิดหรือกด Link ผิด ก็สามารถล้างข้อมูลได้โดยการกดปุ่มสวิทช์เคลียร์ และกดเลขหมายใหม่ที่ถูกต้องได้ทันที

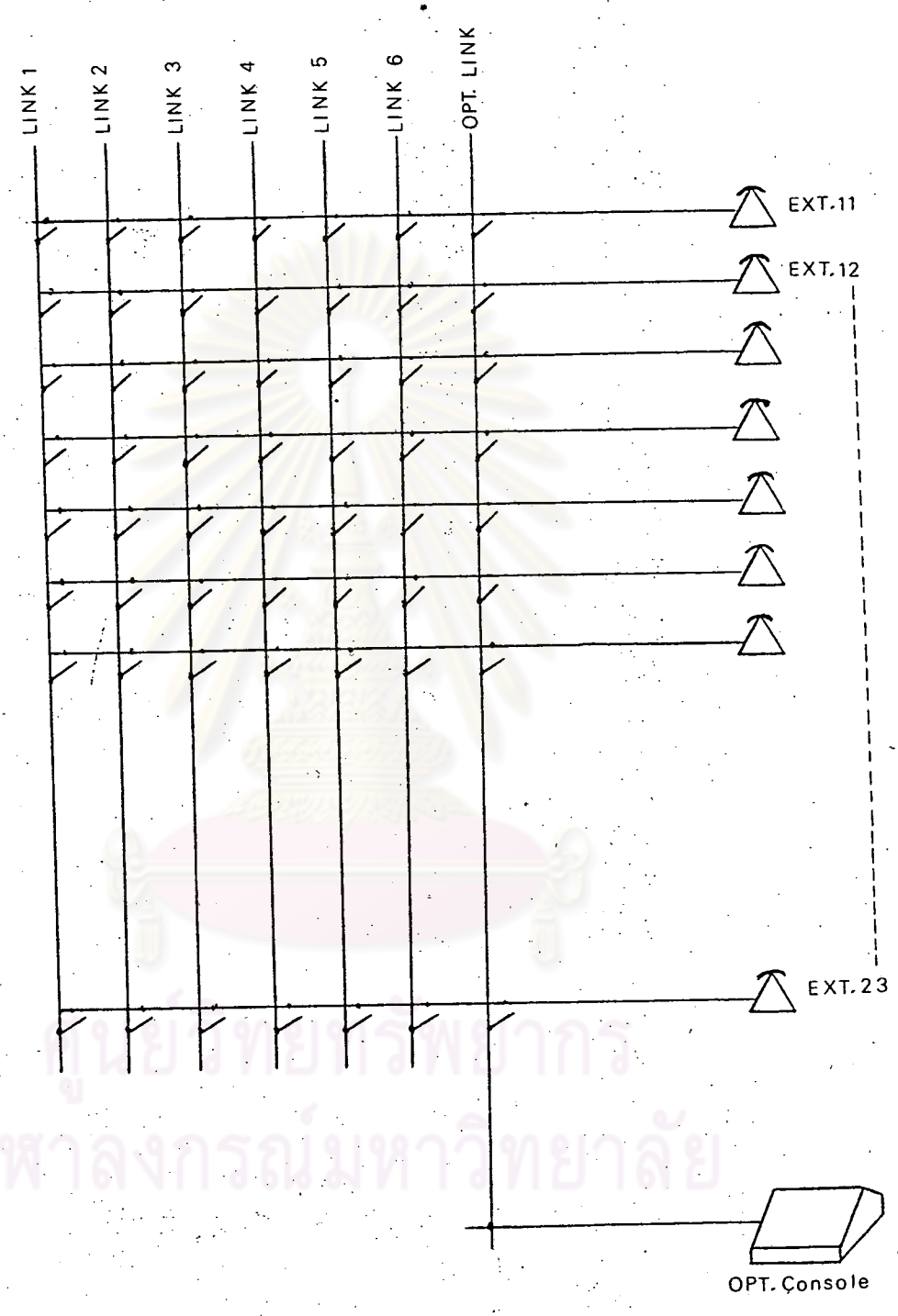
3.4 Block Diagram และหน้าที่การทำงาน

รูปที่ 3.1 แสดง Block Diagram ของตู้สลับสายโทรศัพท์สนามแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ออกแบบสร้างขึ้น หน้าที่การทำงานของแต่ละภาคอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 Block Diagram ของตู้สลับสายโทรศัพท์สนามแบบอิเล็กทรอนิกส์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 วงจร Matrix สำหรับต่อการเรียก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.1 ภาค Extension Line Interface มีหน้าที่

- ตรวจสอบและแสดงผลจากการยกปากพูดหูฟังของเครื่องโทรศัพท์
- เชื่อมต่อระหว่างเครื่องโทรศัพท์กับภาค Switching Network
- ทางต่อผ่านสัญญาณเรียก

3.4.2 ภาค Switching Network มีหน้าที่เชื่อมต่อวงจรการเรียกภายใน ซึ่งเป็นวงจร Matrix ดังแสดงตามรูปที่ 3.2 ประกอบด้วย

- 6 Links ใช้สำหรับต่อการเรียกภายในด้วยกันเอง
- 1 Operator Link ใช้สำหรับต่อการเรียกระหว่างพนักงานสลับสายกับเลขหมายภายใน

3.4.3 ภาคควบคุมการตัดต่อ (Control Unit) มีหน้าที่

- เลือกทางสายภายในที่ต้องการต่อโดยใช้คีย์บอร์ด (Keyboard)
- เลือก Link
- เชื่อมต่อกับชุดพนักงานสลับสาย

3.4.4 ภาคกำเนิดสัญญาณเรียก (Ringing Current Generator) มีหน้าที่

- เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณเรียกโดยเป็นไฟสลับ 75-90 โวลท์ 20-25 H_Z เพื่อป้อนสัญญาณกระดิ่งของเครื่องโทรศัพท์สนาม
- เป็นตัวกำเนิดจังหวะสัญญาณกระดิ่ง (Ringing Pattern) คือให้กระดิ่งดัง 1 วินาที และหยุดดัง 3 วินาที (ตามมาตรฐาน CCITT) สลับกันไป

3.4.5 ภาคแหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) มีหน้าที่จ่ายไฟเลี้ยงวงจร โดยการแปลงไฟจากไฟสลับ 220 โวลท์ มาเป็นไฟตรง $\pm$ 48 โวลท์ และ 5 โวลท์

3.5 หลักการและวิธีการต่อโทรศัพท์สนาม

เมื่อผู้เรียกยกปากพูดหูฟัง (Handset) ขึ้นจากที่รองรับของเครื่องโทรศัพท์จะทำให้ดวงไฟ (Busy Lamp) ประจำเลขหมายโทรศัพท์นั้น ๆ กระพริบพร้อมทั้งสัญญาณออด (Buzzer)

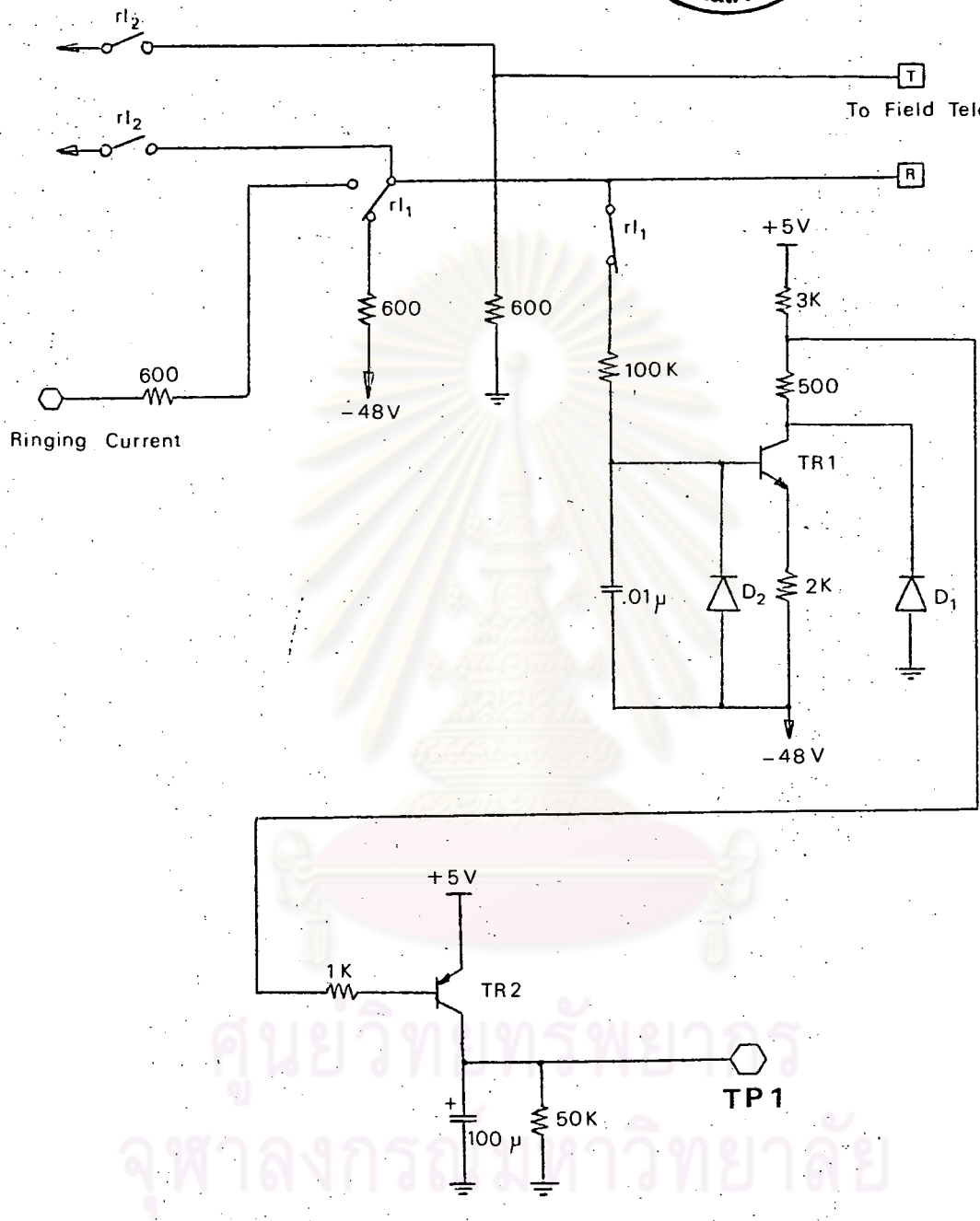
จะดังขึ้น ทำให้พนักงานสลับสายทราบได้ทันทีว่าขณะนี้มีผู้ใช้โทรศัพท์เรียกเข้ามาแล้ว พนักงานสลับสายก็จะกดปุ่มสวิทช์ Operator link และกดคีย์บอร์ด (Keyboard) ตามเลขหมายของผู้เรียกนั้น ทำให้ผู้เรียกกับพนักงานสลับสายสนทนากันได้ พนักงานสลับสายก็จะถามความประสงค์ของผู้เรียกว่า ต้องการจะต่อไปยังเลขหมายใด เมื่อพนักงานสลับสายทราบความประสงค์ของผู้เรียกแล้วก็จะดำเนินการต่อโทรศัพท์ให้ โดยในขั้นแรกจะตรวจสอบเลขหมายของผู้ถูกเรียกว่าว่างหรือไม่ (โดยการดูจาก Busy Lamp ประจำเลขหมายนั้นๆ ถ้าว่าง Busy Lamp จะดับ ถ้าไม่ว่าง Busy Lamp จะติดสว่าง) ถ้าเลขหมายของผู้ถูกเรียกไม่ว่าง พนักงานสลับสายก็สามารถบอกกับผู้เรียกได้ทันทีว่า เลขหมายของผู้ถูกเรียกไม่ว่าง ถ้าเลขหมายของผู้ถูกเรียกว่าง พนักงานสลับสายก็จะต่อโทรศัพท์ให้ทันที ซึ่งมีวิธีการคือพนักงานสลับสายจะต้องเลือก Link ที่ว่าง Link ใด Link หนึ่ง (โดยการตรวจสอบจาก Busy Lamp ประจำ Link นั้น) และกดปุ่มสวิทช์ของ Link นั้น หลังจากนั้นพนักงานสลับสายก็จะกดคีย์บอร์ดตามเลขหมายของผู้ถูกเรียก ในขณะที่ผู้ถูกเรียกยังมิได้ตอบรับการเรียก สัญญาณเรียก (Ringing - Current) จะถูกส่งไปยังเครื่องโทรศัพท์ของผู้ถูกเรียกอย่างอัตโนมัติ เมื่อผู้ถูกเรียกตอบรับการเรียกแล้ว สัญญาณเรียกจะถูกตัดออกอย่างอัตโนมัติเช่นเดียวกัน ทั้งผู้เรียกและผู้ถูกเรียกก็สามารถสนทนากันได้ หลังจากนั้นพนักงานสลับสายก็จะทำการClear Link เพื่อตัดตัวเองออกจากคู่สนทนา เป็นอันเสร็จสิ้นการต่อโทรศัพท์ พนักงานสลับสายก็พร้อมที่จะบริการการต่อโทรศัพท์จากผู้เรียกรายอื่นต่อไป เมื่อผู้เรียกและผู้ถูกเรียกเสร็จสิ้นการสนทนาแล้ว ทั้งคู่ก็วางปากพูดหูฟังลง Hook Switch ของเครื่องโทรศัพท์จะตัดวงจรการสนทนาออก ทำให้สภาวะของวงจรภาคต่าง ๆ อยู่ในสภาวะเคลียร์ (Clear) ทั้งหมด หรือกล่าวได้ว่าสภาวะของวงจรจะกลับสู่สภาวะ Initial State ใหม่

3.6 การทำงานของวงจร

การทำงานของวงจรตู้สลับสายโทรศัพท์สนามที่ออกแบบสร้างขึ้นสามารถอธิบายการทำงานของวงจรในแต่ละภาคได้ดังนี้

3.6.1 ภาค Extension Line Interface

รูปที่ 3.3 เป็นวงจรตรวจสอบการยกปากพูดหูฟังของเครื่องโทรศัพท์สนาม ใน



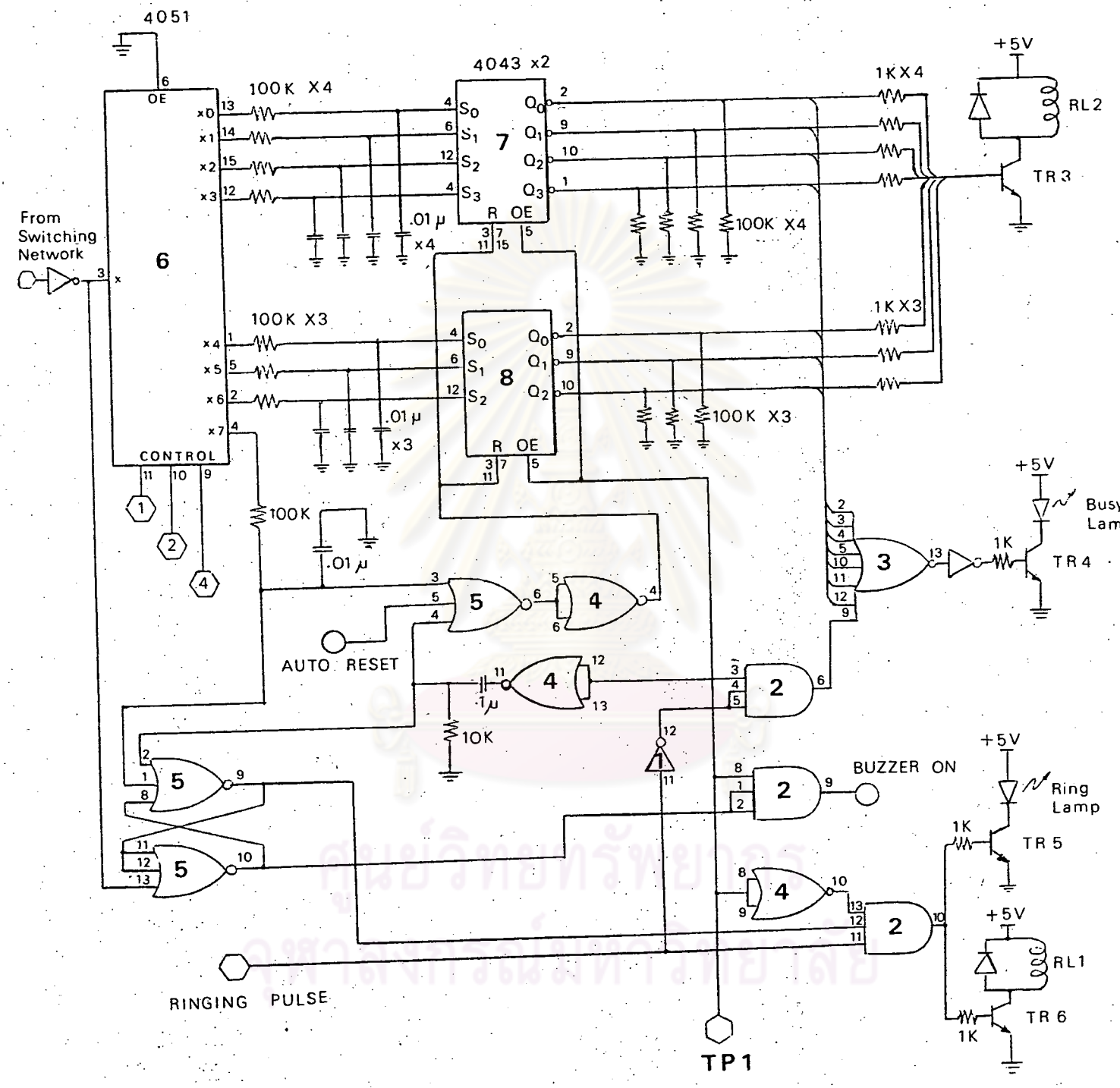
รูปที่ 3.3 วงจรตรวจสอบการยกปากพูดหูฟัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สภาวะปกติ TP1 จะมีลอจิก o ปรากฏอยู่ ดวงไฟประจำเลขหมาย (Busy Lamp) และสัญญาณออด (Buzzer) ดับ มีไฟตรงขนาด – 48 โวลท์ จ่ายให้กับคู่สายโทรศัพท์ โดยป้อนเข้าทางสายเส้น R (Ring) ส่วนกราวน์ (Ground) จะป้อนเข้าทางสายเส้น T (Tip) เมื่อผู้ใช้โทรศัพย์กปากพูด หูฟังขึ้นก็จะเป็นการทำให้ครบวงจร หรือเรียกว่า Make Loop ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อมีการยกปากพูดหูฟังขึ้นแล้ว เครื่องโทรศัพท์จะมีค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ประมาณ 300 โอห์ม ในกรณีนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโวลเตช (Voltage) ในคู่สายโทรศัพท์ ซึ่งจะนำมาวิเคราะห์การยกหรือวางปากพูดหูฟังของเครื่องโทรศัพท์ได้

วงจรที่ใช้สำหรับตรวจจับการยกหรือวางปากพูดหูฟังของเครื่องโทรศัพท์ ประกอบด้วยทรานซีสเตอร์ (Transistor) 2 ตัว คือ TR1 และ TR2 เมื่อมีการยกปากพูดหูฟังขึ้น จะมีกระแสไหลเข้าที่ขาเบส (Base) ของ TR1 ทำให้ TR1 ทำงาน (Conduct) กระแสก็จะไหลจากขาคอลเลคเตอร์ (Collector) มายังอิมิตเตอร์ (Emitter) และเป็นเหตุให้ไม่มีกระแสไหลผ่านขาเบส (Base) ของ TR 2 จึงทำให้ TR2 ทำงาน TR2 ที่ขาคอลเลคเตอร์ จะมีลอจิก 1 ทำให้ที่จุด TP1 มีลอจิก 1 ปรากฏอยู่ จึงสรุปการทำงานในช่วงนี้ได้ว่า ถ้าไม่มีการยกปากพูดหูฟังขึ้น ที่จุด TP1 จะเป็นลอจิก o และถ้ามีการยกปากพูดหูฟังขึ้นที่จุด TP1 จะเป็นลอจิก 1

รูปที่ 3.4 เป็นวงจรภาค Extension Line Interface อธิบายการทำงานของวงจรภาคนี้ได้ คือ เนื่องจากเมื่อมีการยกปากพูดหูฟังแล้วจะทำให้จุด TP1 เป็นลอจิก 1 ปรากฏอยู่ ลอจิก 1 นี้จะไปเปิดเกท ทำให้เสียงออดดัง และดวงไฟประจำเลขหมายของผู้ถูกเรียกกระพริบตามจังหวะส่วนกลับของ Ringing pulse (สว่าง 3 วินาที ดับ 1 วินาที) ดังนั้นในขณะนี้พนักงานสลับสายก็ทราบแล้วว่ามีผู้ใช้โทรศัพท์เลขหมายใดที่เรียกเข้ามา พนักงานสลับสายก็จะกดปุ่มสวิทช์ Operator Link และกดคีย์บอร์ดตามเลขหมายของผู้เรียก (การทำงานของวงจร ส่วนของ Operator Link และการกดคีย์บอร์ด จะอธิบายในภาคควบคุมการตัดต่อ)



รูปที่ 3.4 วงจรภาค Extension Line Interface

การที่พนักงานสลับสายกดปุ่มสวิทช์ Operator Link และกดคีย์บอร์ดตามเลขหมายของผู้เรียกนั้นจะทำให้มีลอจิก 1 มาเข้าที่ขา 13 ของ IC5 ทำให้เสียงออดดับลง และลอจิก 1 ดังกล่าวก็จะถูกป้อนเข้าที่ขา 3 ของ IC6 ซึ่งเป็น 8 Channel Analog Demultiplexer ในการนี้ IC6 จะทำการ Demultiplex โดยการควบคุมของ Synchronous Clock (หรือ Counter) ทำให้เอ้าพุทที่ขา 2 มีลอจิก 1 ปรากฏอยู่ และมีผลทำให้ IC 8 (RS Flip Flop) ขา 12 เกิดการเซท (Set) ในขณะที่ขา 5 ซึ่งเป็น Output Enable (OE) มีลอจิก 1 อยู่ จึงทำให้เอ้าพุท Q_2 ขา 10 ของ IC8 ไปทำให้รีเลย์ของ Opertor Link ทำงาน พนักงานสลับสายกับผู้เรียกก็สามารถสนทนากันได้

ในกรณีที่ผู้เรียกต้องการสนทนากับพนักงานสลับสายเท่านั้น และเมื่อการสนทนาสิ้นสุดลงการปลดปล่อย (Release) Operator Link กระทำได้ 2 วิธีคือ

วิธีที่ 1 พนักงานสลับสายกดปุ่มสวิทช์ Clear, IC8 ก็จะเกิดการรีเซท ซึ่งสัญญาณรีเซทนี้ได้มาจากขา 4 ของ IC6

วิธีที่ 2 ผู้เรียกวางปากพูดหูฟังลง IC8 ก็จะเกิดการรีเซท ซึ่งสัญญาณรีเซทนี้ได้มาจากจุด TP1 เป็นลอจิก 0

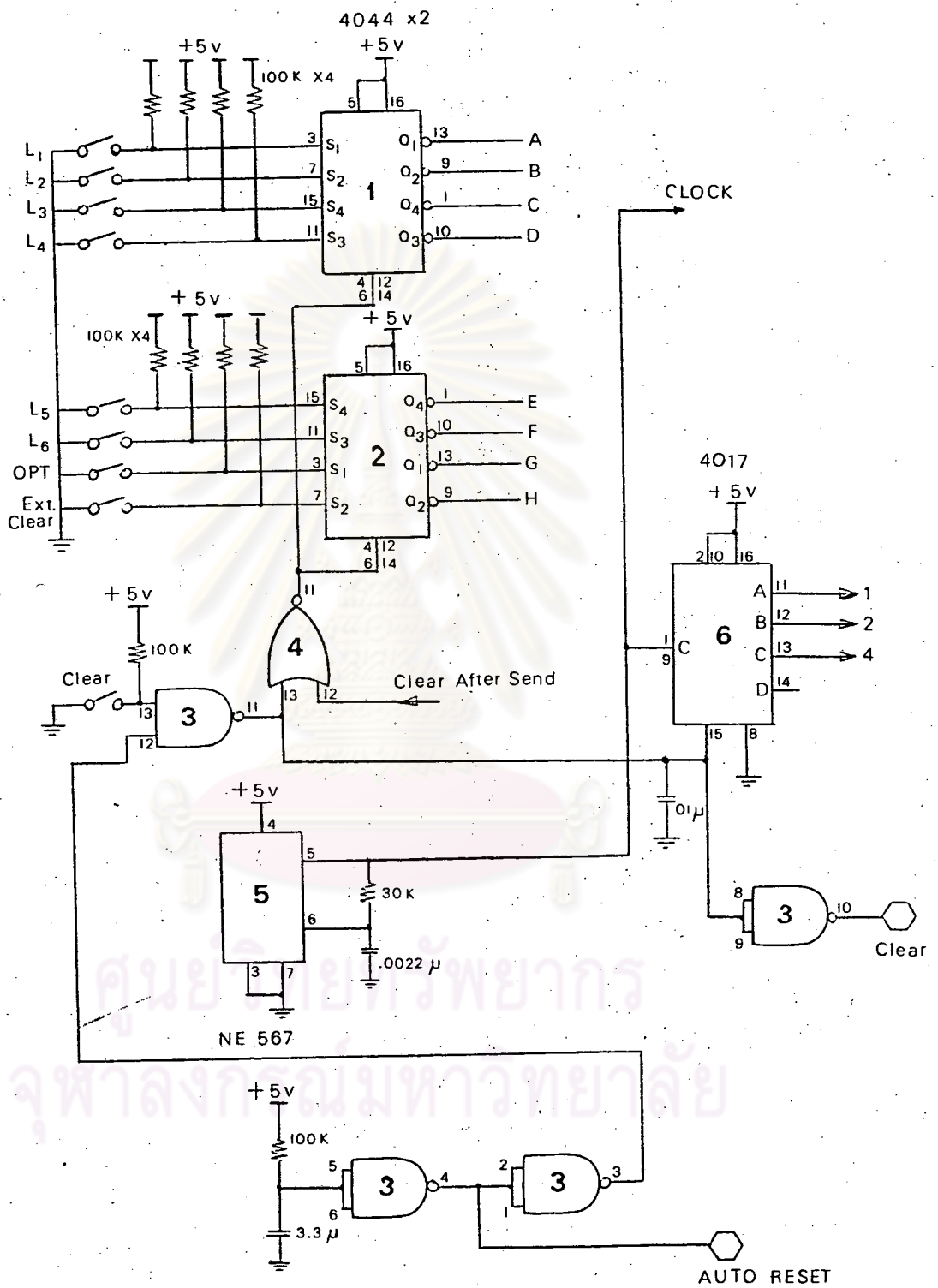
ในกรณีที่ผู้เรียกต้องการติดต่อไปยังเลขหมายภายในอื่น ๆ พนักงานสลับสายก็จะดำเนินการต่อให้ โดยพนักงานสลับสายจะต้องเลือกกดปุ่มสวิทช์ Link ที่ว่าง สมมุติว่าเป็น Link ที่ 3 (L_3) และกดคีย์บอร์ดตามเลขหมายของผู้ถูกเรียก สัญญาณลอจิก 1 จาก Link ที่ 3 จะถูกป้อนเข้าที่ขา 3 ของ IC6 และถูก Demultiplex โดยการควบคุมของ Synchronous Clock (หรือ Counter) ทำให้เอ้าพุทที่ขา 15 มีลอจิก 1 ปรากฏอยู่ และมีผลให้ IC7 (RS Flip Flop) ขา 12 เกิดการเซท แต่เอ้าพุทที่ขา 10 ยังเป็น High Impedance เนื่องจาก Output Enable มีลอจิก 0 ในขณะนี้สัญญาณเรียก จะถูกส่งไปยังเครื่องโทรศัทพ์ของผู้ถูกเรียก เนื่องจากขา 12 ของ IC2 เป็นลอจิก 1 เอ้าพุทที่ขา 10

ของ IC2 ก็จะเป็นลอจิก 1 ด้วย ซึ่งจะถูกนำไปขับ (Drive) ทรานซิสเตอร์ และ Ring Relay ทำให้กระดิ่งของเครื่องโทรศัพท์ของผู้ถูกเรียกดังขึ้นตามจังหวะของ Ringing pulse (ดัง 1 วินาที ดับ 3 วินาที) ในขณะเดียวกันดวงไฟ Ring Lamp ก็จะติดสว่างตามจังหวะของ Ringing pulse เช่นเดียวกัน เมื่อผู้ถูกเรียกยกหูตอบรับ ที่จุด TP1 ก็จะเป็นลอจิก 1 Ring Relay ก็จะหยุดการทำงาน และดวงไฟ Ring Lamp ดับ Output Enable ของ IC7 จะมีลอจิก 1 ทำให้ขา 10 ของ IC7 มีลอจิก 1 ด้วย และถูกนำไปทำให้รีเลย์ของ Internal Link ที่ 1 ทำงาน ผู้เรียกและผู้ถูกเรียกก็สนทนากันได้ ขณะที่ผู้เรียกและผู้ถูกเรียกกำลังสนทนากันอยู่ ดวงไฟ Busy Lamp ประจำเลขหมายของผู้เรียกและผู้ถูกเรียกจะติดสว่าง เนื่องจากอินพุท (ขา 4) ของ IC3 เป็นลอจิก 1 ทำให้พนักงานสลับสายทราบว่าขณะนี้เลขหมายเหล่านี้ไม่ว่าง เมื่อการสนทนาสิ้นสุดลงทั้งคู่วางปากพูดหูฟังลงบนเครื่องโทรศัพท์ที่จุด TP1 ก็จะเป็นลอจิก 0 จึงทำให้เกิดการรีเซทที่ IC7 ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

3.6.2 ภาคควบคุมการตัดต่อ (Control Unit)

ภาคควบคุมการตัดต่อ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Clock Pulse) และวงจรนับ ส่วนควบคุมการเชื่อมต่อ(Link Control) และส่วนคีย์บอร์ด (Keyboard)

รูปที่ 3.5 แสดงวงจรควบคุมการต่อวงจร Link และกำเนิดสัญญาณนาฬิกา วงจรส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Clock pulse) ใช้ไอซีเบอร์ 567 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกา มีความถี่ประมาณ 10 KH_z เพื่อใช้เป็นตัวควบคุมการทำงานของ IC16 (รูปที่ 3.6) และป้อนให้กับ IC6 ซึ่งเป็นตัวกำเนิดวงจรนับ 8 และถูกนำไปควบคุมการทำงานของตัวดีมัลติเพลกซ์ในภาค Extension Line Interface และควบคุมการทำงานของวงจรมัลติเพลิกซ์ในภาคสวิทชิ่งเนทเวอร์ค ดังนั้นจึงเรียกเอ้าพุทวงจรนับ 8 ได้ว่าเป็น Synchronous Clock การรีเซท IC6 ทำได้โดยการกดปุ่มสวิทช์ ขา 15 ของ IC6 ก็จะเป็นลอจิก 1 ทำให้ Output CBA ของ IC6 เกิดรีเซทตามต้องการ



รูปที่ 3.5 วงจรควบคุมการต่อ (Link Control) และกำเนิดสัญญาณาฬิกา

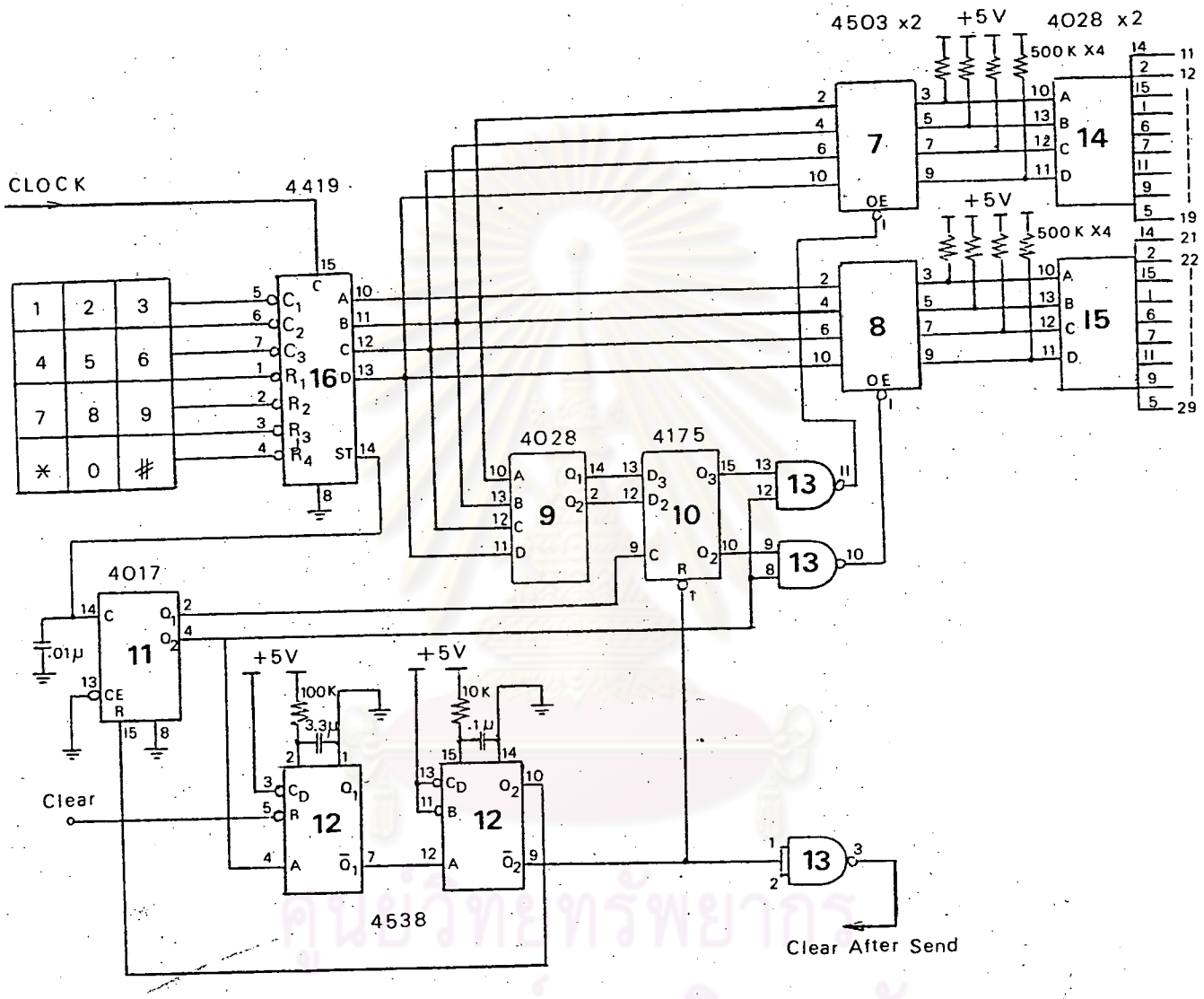
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนควบคุมการเชื่อมต่อวงจร Link ประกอบด้วย Link จำนวน 6 Links และ Operator Link จำนวน 1 Link รวมทั้ง Extension Clear รวมเป็น 8 ปุ่มสวิทช์ เมื่อพนักงานสลับสายต้องการเรียกสายหรือโอนสายก็ต้องกดปุ่มสวิทช์ Link ใด Link หนึ่ง สมมุติกด Link ที่ 3 (L3) ก็จะทำให้ IC1 ซึ่งเป็น RS Flip flop ขา 15 มีลอจิก 0 เอาพุทที่ขา 1 จะเป็นลอจิก 1 และเอาพุทของ IC1 หรือ IC2 ก็จะถูกนำไปป้อนเข้าที่ภาคสวิทชิ่งเนทเวอร์ค (Switching Network) เพื่อทำการมัลติเพลก (Multiplex)ต่อไป การรีเซท IC1 และ IC2ทำได้โดยการกดปุ่มสวิทช์เคลียร์ (Clear) ขารีเซทของ IC1 และ IC2 ก็จะมีลอจิก 0 ปรากฏอยู่ ทำให้ IC1 และ IC2 เกิดการรีเซท นั่นคือเอาพุทของ IC1 และIC2 จะเป็นลอจิก 0 ทั้งหมด นอกจากนี้การรีเซท IC1 และ IC2ยังเกิดขึ้นโดยอัตโนมัติเมื่อพนักงานสลับสายกดเลขหมายบนคีย์บอร์ดครบเลขสองหลักแล้ว

ส่านคีย์บอร์ด (Keyboard) ตามรูปที่ 3.6 เป็นวงจรการควบคุมการต่อเลขหมายภายใน ออกแบบไว้เพื่อการเรียกสายหรือโอนสาย โดยมี IC16 (2 of 8 Keypad to Binary Encoder) มีหน้าที่เข้ารหัสจากเลขหมายที่กดจากคีย์บอร์ดว่าเป็นเลขหมายใด ส่วน IC7 และ IC8 มีหน้าที่เลือกเลขหมายหลักแรก กล่าวคือเลขหมายที่กดจากคีย์บอร์ด ถ้าหลักแรกเป็นเลข 1 เอ้าพุทก็จะขึ้นอยู่กับ IC7 แต่ถ้าเลขหมายที่กดจากคีย์บอร์ดหลักแรกเป็นเลข 2 เอ้าพุทก็จะขึ้นอยู่กับ IC8

เมื่อพนักงานสลับสายต้องการเรียกสายหรือโอนสาย ก็ต้องเลือกกดปุ่มสวิทช์และกดคีย์บอร์ดตามเลขหมายที่ต้องการเรียก การกดปุ่มสวิทช์ Link ใด ๆ จะทำให้ IC1 หรือ IC2 (รูปที่ 3.5) เกิดการรีเซทตาม Link นั้น ๆ เอ้าพุทที่ได้จาก IC1 หรือ IC2 ก็จะถูกส่งไปยังภาคสวิทชิ่งเนทเวอร์คตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

สำหรับการกดคีย์บอร์ด ทุกครั้งที่มีการกดเลขหมายใดเลขหมายหนึ่ง จะมีผลทำให้ IC16 มีการ Scan ตาม Row และ Column ที่มีสัญญาณออกมา เช่นกดเลข 1 อินพุทที่ Column ที่ 1 (C1) และ Row ที่ 1 (R1) ของ IC16 จะมีลอจิก 0 ทำให้ได้เอ้าพุท DCBA มีลอจิกตามรหัส BCD-8421 คือ 0001 ซึ่งจะไปปรากฏเป็นอินพุทของ IC7, IC8 และ IC9 แต่เนื่องจาก Output Enable ของ IC7 และ IC8 มีลอจิก 1 ปรากฏอยู่ จึงทำให้เอ้าพุทของ IC7 และ IC8 เป็น High Impedance ส่วนที่เอ้าพุท Q1 ของ IC9



รูปที่ 3.6 วงจรควบคุมการต่อเลขหมายภายใน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จะเป็นลอจิก 1 และถูกป้อนเข้าที่อินพุท D_3 ของ IC10 แต่เอ้าพุท Q_3 ของ IC10 ยังคงเป็นลอจิก 0 เนื่องจากยังไม่มีสัญญาณนาฬิกา (Clock pulse) เข้ามาป้อนให้ที่ขา 9

ในขณะที่กดคีย์บอร์ดเลขหลักแรกคือเลข 1 Output Strobe (ST) ของ IC 16 จะถูกป้อนเข้าที่ขา 14 ของ IC11 ทำให้ Q_1 เป็นลอจิก 1 ซึ่งจะเป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับ IC10 เอ้าพุท Q_3 ของ IC10 ก็จะเป็นลอจิก 1 ทำให้อินพุทขา 13 ของ IC13 มีลอจิก 1 รออยู่

ในการกดคีย์บอร์ดเลขหลักที่ 2 สมมุติเป็นเลข 7 IC16 ก็จะทำการ Scan ได้ว่ามีการกดคีย์บอร์ดที่เลข 7 คือ ขา C_1 และ R_3 เป็นลอจิก 0 ส่วนเอ้าพุท DCBA มีลอจิกเป็น 0111 ซึ่งจะไปปรากฏเป็นอินพุทของ IC7, IC8 และ IC9 ส่วน Output Strobe ของ IC16 จะถูกป้อนเข้าที่ขา 14 ของ IC11 ทำให้ Q_2 เป็นลอจิก 1 และไปเป็นอินพุทให้กับ IC13 ด้วย เอ้าพุทจาก IC13 ก็จะเป็น Output Enable ให้กับ IC7 ที่ IC7 ซึ่งมีอินพุทเป็นลอจิก 0 รออยู่แล้ว เอ้าพุทก็จะเป็นลอจิก 0111 ด้วย เนื่องจากอินพุทของ IC14 ต่อร่วมกับ IC7 เอ้าพุทของ IC7 จึงทำให้ IC14 ถอดรหัสได้เป็นเลข 7 (หมายถึงเป็นเลขโทรศัพท์หมายเลข 17) นั่นคือที่ขา 11 ของ IC14 จะมีลอจิก 1 ปรากฏอยู่ และถูกป้อนเข้าไปในภาคสวิทชิ่งเนทเวอร์คต่อไป

เมื่อพนักงานสลับสายกดคีย์บอร์ดครบเลขสองหลักแล้ว IC7, IC8, IC10 และ IC11 จะถูกรีเซท เพื่อที่จะสามารถบริการการต่อโทรศัพท์ให้กับผู้ใช้โทรศัพท์รายอื่นได้ต่อไป จากที่ได้อธิบายมาแล้วว่า เมื่อพนักงานสลับสายกดคีย์บอร์ดเลขหลักที่ 2 เอ้าพุท Q_2 ของ IC11 จะเป็นลอจิก 1 ซึ่งสัญญาณส่วนหนึ่งจะถูกป้อนเข้าที่อินพุทของ IC12 ทำให้เอ้าพุท Q_2 (ขา 10) ของ IC12 มีลอจิก 1 และ มีลอจิก นั่นคือ IC11 ได้รับสัญญาณรีเซทมาจาก Q_2 ของ IC12 และ IC10 ได้รับสัญญาณรีเซทมาจาก Q_2 ของ IC12 เช่นเดียวกัน การรีเซทของ IC10 ทำให้ IC7 และ IC8 มี Output Enable เป็นลอจิก 1 สรุปได้ว่าเมื่อพนักงานสลับสายกดคีย์บอร์ดครบตามจำนวนเลข 2 หลัก แล้ว สภาวะของวงจรก็จะเริ่มตั้งต้นใหม่

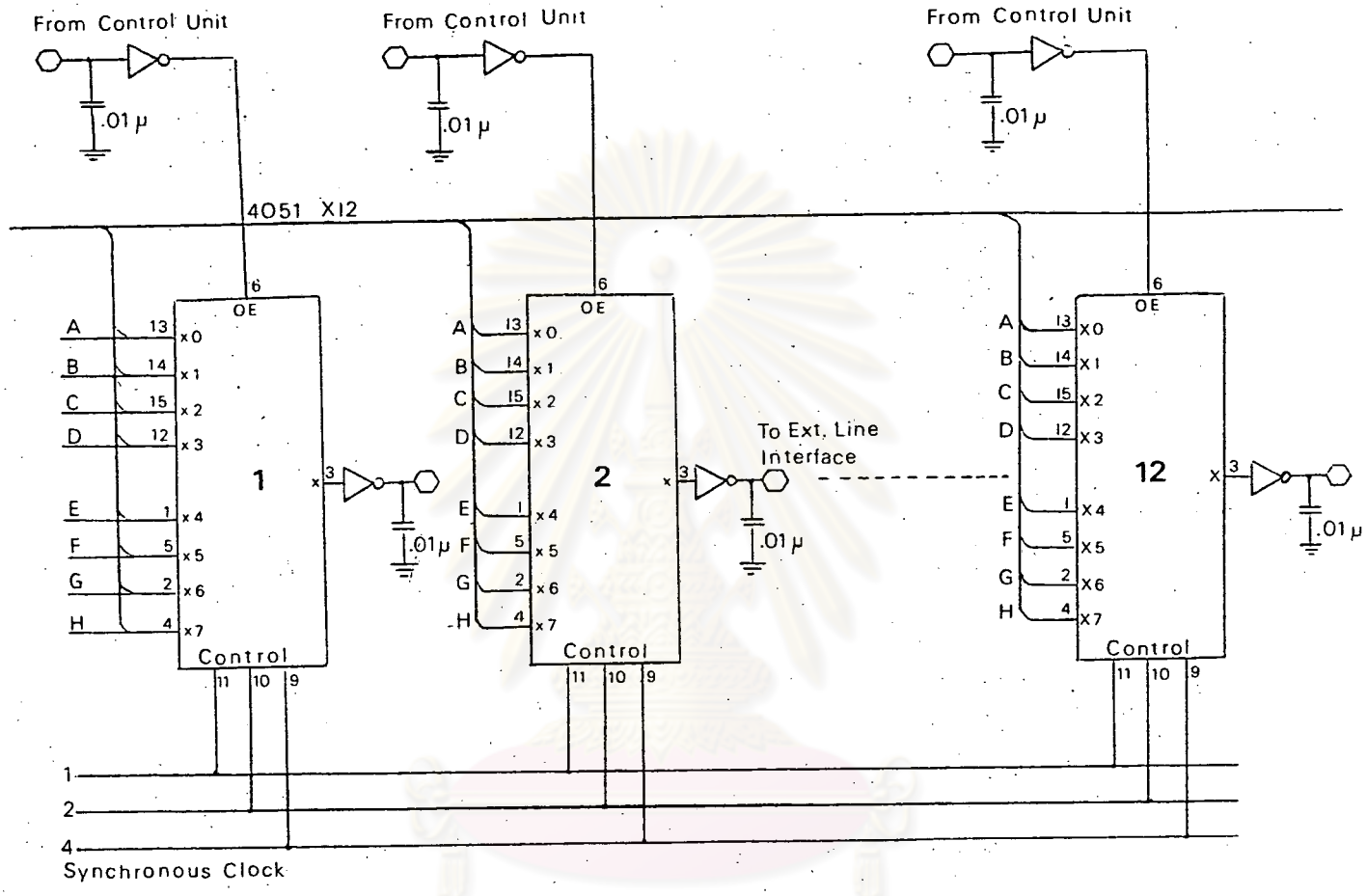
3.6.3 ภาค Switching Network

รูปที่ 3.7 แสดงภาค Switching Network ใช้ IC เบอร์ 4051 ซึ่งเป็น 8 Channel Analog Multiplexer จำนวน 12 ตัว แต่ละตัวทำหน้าที่มัลติเพลกสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการกดปุ่มสวิทช์ Link และ คีย์บอร์ด ลักษณะการทำงานของวงจรในภาคนี้อธิบายได้ดังนี้

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในภาคควบคุมการตัดต่อว่า เมื่อมีการกดปุ่มสวิทช์ Link ใด ๆ จะทำให้มีลอจิก 1 ปรากฏอยู่ทางด้านเอ้าพุทของ Link นั้น ๆ และเมื่อมีการกดคีย์บอร์ดในจำนวนเลข 2 หลัก ตามเลขหมายโทรศัพท์ใด ๆ แล้ว ก็จะทำให้มีลอจิก 1 ปรากฏอยู่ตามเลขหมายนั้น ลอจิก 1 ที่เกิดขึ้นจากการกดปุ่มสวิทช์ Link และ คีย์บอร์ด จะถูกป้อนเข้ามายังภาค Switching Network โดยที่ลอจิก 1 ที่เกิดขึ้นจากการกดปุ่มสวิทช์ Link จะถูกป้อนเข้าที่อินพุท ขา 1,2,4,5,12,13,14,15 ขาใดขาหนึ่งของ IC1 ถึง IC12 และลอจิก 1 ที่เกิดขึ้นจากการกดคีย์บอร์ดจะถูกป้อนเข้าที่ขา 6 ของ IC ประจำเลขหมายนั้น ๆ เช่น กดคีย์บอร์ดที่เลขหมาย 13 ลอจิก 1 ที่ได้ก็จะถูกป้อนเข้าที่ขา 6 ของ IC3 3 เป็นต้น ส่วนเอ้าพุท (ขา 3) ที่ได้จะเกิดขึ้นจากเงื่อนไขที่ลอจิก 1 ผ่าน Inverter เข้าที่ขา 6 ซึ่งเป็น Output Enable และการนับของ Synchronous clock (Counter) ทำให้เอ้าพุท (ขา 3) มีลอจิก 1 ตาม Link ที่พนักงานสลับสายกดผ่าน Inverter และถูกป้อนเข้าไปในภาค Extension Line Interface เพื่อทำการดีมัลติเพลกต่อไป

ตัวอย่าง เมื่อพนักงานสลับสายต้องการเรียกไปยังเลขหมาย 11 พนักงานสลับสายก็จะเลือกกดปุ่มสวิทช์ Internal Link ที่ว่าง สมมุติเป็น Internal Link ที่ 3 (L_3) จึงทำให้มีลอจิก 1 ปรากฏที่ขา 15 ของ IC1 ถึง IC12 รออยู่ และเมื่อพนักงานสลับสายกดคีย์บอร์ดที่เลขหมาย 11 จึงทำให้มีลอจิก 1 ผ่าน Inverter และป้อนเข้ามายังขา 6 ของ IC1 ในขณะที่การนับของ Synchronous Clock (Counter) นับได้ 2 หรือ 010 ก็จะทำให้เอ้าพุท (ขา 3) ของ IC1 มีลอจิก 1 ผ่าน Inverter และถูกป้อนเข้าไปยังภาค Extension Line Interface ต่อไป ส่วนเอาพุทของ IC ตัวอื่น ๆ ยังคงเป็นลอจิก 0 เพราะ Output Enable (ขา6)

I13830226



รูปที่ 3.7 วงจรภาค Switching Network

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

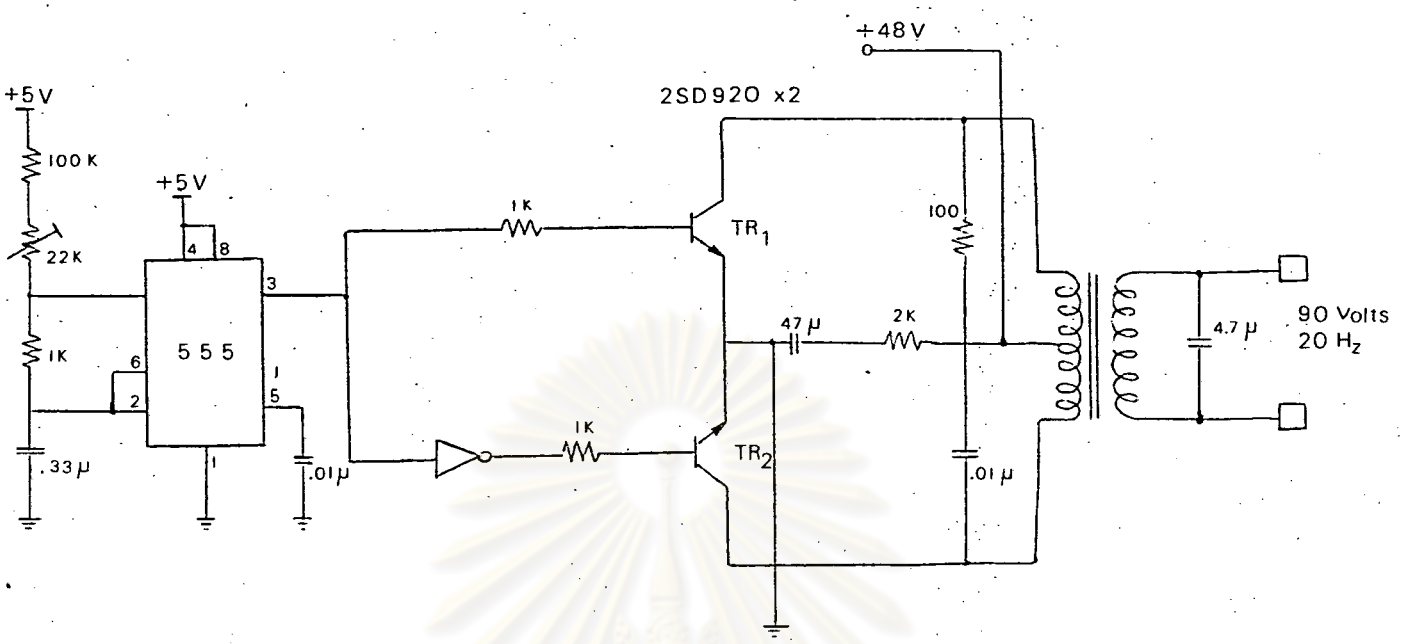
เป็นลอจิก 1 ซึ่งเรียกว่าอยู่ในสภาวะปกติ

3.6.4 ภาคกำเนิดสัญญาณเรียก

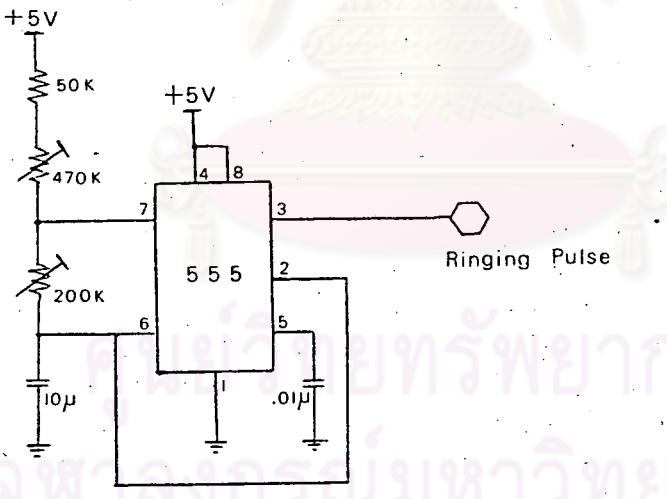
ภาคกำเนิดสัญญาณเรียกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดสัญญาณเรียก และตัวกำหนดจังหวะของสัญญาณเรียก อธิบายการทำงานได้ดังนี้

รูปที่ 3.8 แสดงวงจรแหล่งกำเนิดสัญญาณเรียก (Ringing Current Generator) มีหน้าที่กำเนิดสัญญาณไฟฟ้าสลับ 90 โวลท์ 20 H_z เมื่อมีการเรียกจากพนักงานสลับสายไปยังเลขหมายใด ๆสัญญาณเรียกจะถูกส่งออกจากตู้สลับสายโทรศัพท์สนามไปยังเครื่องโทรศัพท์สนามเลขหมายที่เรียกนั้นโดยอัตโนมัติ และเมื่อผู้ถูกเรียกตอบรับการเรียกแล้ว สัญญาณเรียกจะหยุดส่งโดยอัตโนมัติเช่นเดียวกัน วงจรที่ออกแบบใช้ IC เบอร์ 555 เป็นแหล่งกำเนิดความถี่ 20 H_z เอ้าพุทออกทางขา 3 เอ้าพุทที่ได้คือ สัญญาณช่องบวกจะถูกป้อนเข้าที่ขาเบสของ TR1 ทำให้ TR1 ทำงาน ส่วนสัญญาณช่องลบจะถูกป้อนเข้าที่ Inverter และเอ้าพุทจาก Inverter จะถูกป้อนเข้าที่ขาเบสของ TR2 ทำให้ TR2 ทำงานเช่นเดียวกัน เมื่อ TR1 และ TR2 ทำงาน ชุด Primary ของ Transformer ซึ่งเป็นสัญญาณไฟสลับ 50 โวลท์ 20 H_z จะ Induce ทำให้เกิดสัญญาณไฟสลับทางด้าน Secondary ของ Transformer เป็น 90 โวลท์ 20 H_z ไปป้อนให้กับ Contact ของ Ring Relay ในภาค Extension Line Interface ต่อไป

รูปที่ 3.9 แสดงวงจรกำหนดจังหวะของสัญญาณเรียก มีหน้าที่เป็นตัวกำเนิด Ringing Pulse เพื่อให้สัญญาณกระดิ่งของเครื่องโทรศัพท์ดัง 1 วินาที หยุดดัง3 วินาที วงจรที่ออกแบบใช้ IC เบอร 555 เป็นตัวกำเนิดความถี่ และมี R_1 และ R_2 เป็นตัวปรับความกว้างของ Pulse โดย R1 เป็นตัวปรับความกว้างของ Pulse ในช่วง Off (Space Width) และ R2 เป็นตัวปรับความกว้างของ Pulse ในช่วง On (Pulse Width) เอ้าพุทที่ได้จากขา 3 คือ Ringing Pulse จะมี Pulse Width เป็น 1 วินาที และ มี Space Width เป็น 3 วินาที และถูกส่งไปยังภาค Extension Line Interface เพื่อเป็นตัวกำหนดจังหวะการทำงานของ Ring Relay, Ring Lamp และ Busy Lamp ต่อไป

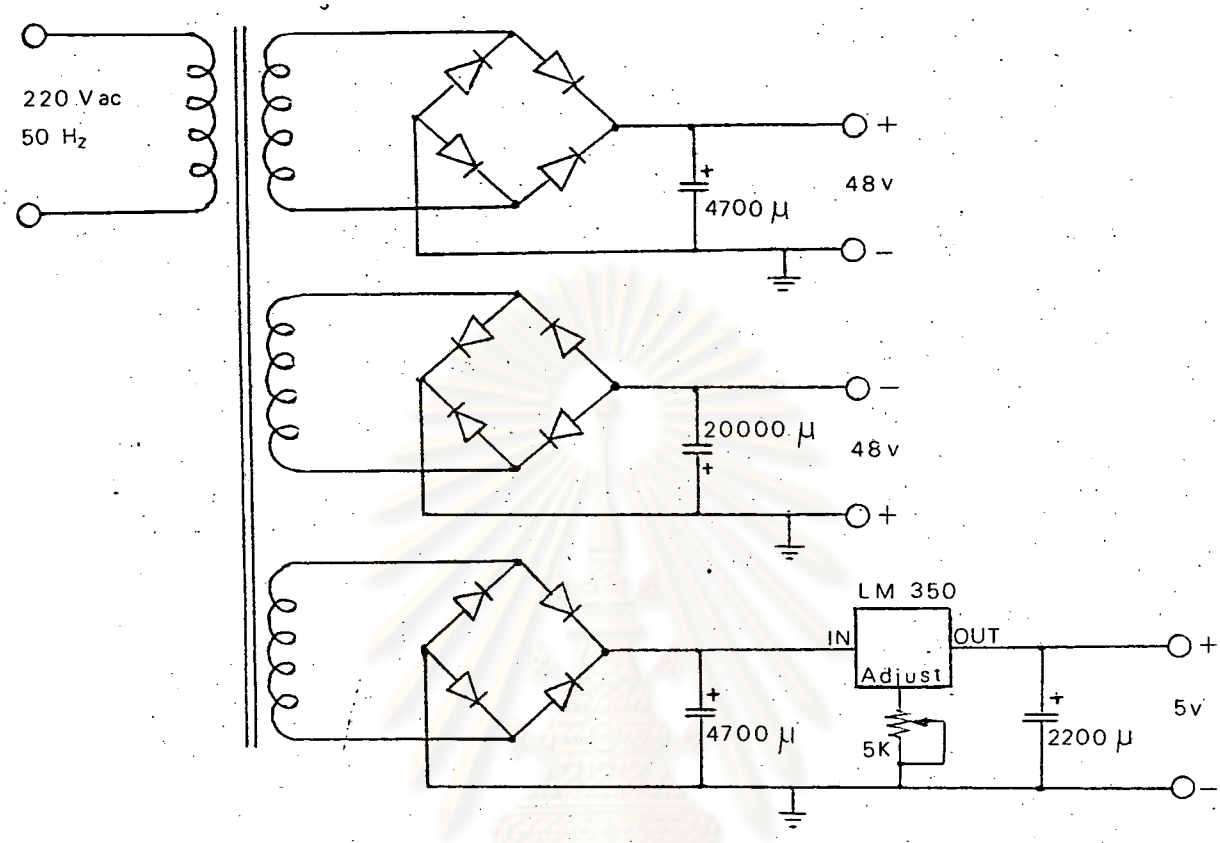


รูปที่ 3.8 วงจรกำเนิดสัญญาณเรียก



รูปที่ 3.9 วงจรกำหนดจังหวะของสัญญาณเรียก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.10 วงจรภาคแหล่งจ่ายไฟ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.6.5 ภาคแหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)

ภาคแหล่งจ่ายไฟ แสดงตามรูปที่ 3.10 มีหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณไฟตรง ขนาด + 48 โวลท์ - 48 โวลท์ และ + 5 โวลท์ โดยที่ไฟ + 48 โวลท์ ใช้สำหรับป้อน Ringing Transformer ไฟ -48 โวลท์ ใช้สำหรับป้อนไฟในสาย (Line) โทรศัพท์ และไฟ + 5 โวลท์ใช้สำหรับป้อน IC และ ทรานซิสเตอร์ในวงจรภาคต่าง ๆ สำหรับอินพุทของภาคแหล่งจ่ายไฟใช้ไฟสลับ 220 โวลท์ 50 H_z ป้อนทางขด Primary ของ Power Transformer และ ขด Secondary ของ Power Transformer มี 3 ขด คือ 48 โวลท์ จำนวน 2 ขด และ 5 โวลท์ อีก 1 ขด แต่ละขดจะผ่าน Bridge Rectifier แปลงเป็นกระแสไฟตรงและผ่านวงจร Filter เพื่อให้เป็นไฟตรงที่เรียบขึ้น สำหรับชุดของกระแสไฟตรง 5 โวลท์ จะผ่านชุด Regulator เพื่อทำให้กระแสไฟตรงมีค่า 5 โวลท์ คงที่ตลอดเวลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย