

วงจรถอดรหัสสัญญาณเรียกเลขหมายของโทรศัพท์ระบบสัมผัส

สรารวุฒิ สุธิตจร^{1*} และ พัลลภ คล้ายอุดม²

Sujitjorn, Sarawut and Klai-U-dom, Phallop (1994). A Touch-tone Telephone Dialling Signal Decoder. Suranaree J.Sci.Technol. 1 : 139 - 144.

Abstract

This article presents a low-profile electronic circuitry to decode a telephone dialling signal. The decoder is built around op-amps and simple digital ICs. The design is simple, low-cost, and suitable for a DTMF-type telephone set. It may be used for testing a remote controlled device via telephone line or be used as components for realizing a monolithic decoder.

บทคัดย่อ

วงจรถอดรหัสสัญญาณที่นำเสนอในบทความนี้ ออกแบบโดยอาศัยออปแอมป์และดิจิตอลไอซีพื้นฐานๆ ให้ใช้งานได้กับระบบโทรศัพท์ DTMF วงจรสามารถสร้างได้ง่าย มีราคาถูก เหมาะสำหรับใช้เป็นอุปกรณ์ต้นแบบเพื่อทดสอบระบบควบคุมสั่งการระยะไกลทางโทรศัพท์ หรืออาจใช้เป็นองค์ประกอบเพื่อประดิษฐ์ไอซีสำหรับถอดรหัสสัญญาณ

ไอซีสารกึ่งตัวนำที่เป็นอุปกรณ์สมบูรณ์ ใช้เพื่อถอดรหัสสัญญาณเรียกเลขหมายจากโทรศัพท์ระบบ DTMF นั้น อาจมีผู้ประดิษฐ์จำหน่ายแล้วจากต่างประเทศ อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ไอซีสำเร็จรูปดังกล่าว หาได้ไม่มากนักในเชิงการค้าภายในประเทศ ผู้ประดิษฐ์คิดค้นระบบควบคุมสั่งการผ่านทางโทรศัพท์ จึงอาจประสบปัญหาในการถอดรหัสสัญญาณเรียกเลขหมายได้

วงจรถอดรหัสสัญญาณที่นำเสนอนี้ ออกแบบและสร้างขึ้นโดยอาศัยออปแอมป์และดิจิตอลไอซีพื้นฐานๆ เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายภายในประเทศวงจรที่สร้างขึ้นนี้ได้มีความซับซ้อนและมีราคาถูก วงจรดังกล่าวใช้ทำงานหลังจากที่โทรศัพท์เครื่องปลายทางที่ถูกเรียก เลขหมายเข้ามานั้น ได้รับการยกหูแล้ว ผู้ที่โทรศัพท์เข้ามาทางเครื่องต้นทาง ก็จะกดปุ่มเลขหมายเข้ามาแทนเสียงพูด สัญญาณจาก

¹ Ph.D.ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

² ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ โรงเรียนนายเรืออากาศ

* ผู้เขียนที่ให้การติดต่อ

การกดปุ่มจะผ่านเข้ามาทางสายโทรศัพท์ ได้รับการถอดรหัสจากวงจรถอดรหัสที่นำเสนอต่อไปนี้ อย่างไรก็ตาม เพื่อให้มีการทำงานของวงจรโดยอัตโนมัติ การยกหูที่กล่าวถึงข้างต้นจะใช้การยกหูเสมือน กล่าวคือ ใช้วงจรถอดรหัสสร้างสัญญาณยกหูส่งผ่านไปให้หุ้มสายโทรศัพท์ เพื่อเป็นการลวงว่าโทรศัพท์ เครื่องปลายทางได้รับการยกหูแล้ว

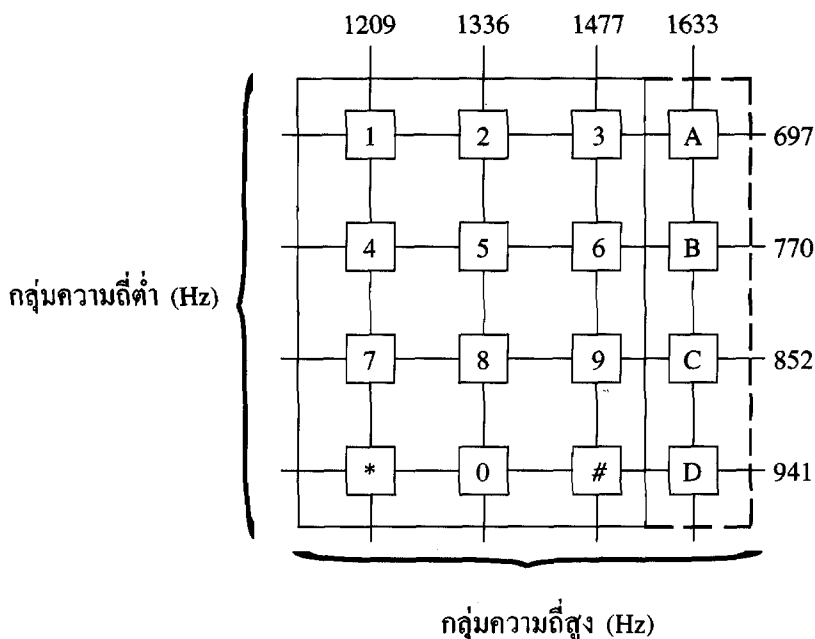
ในบทความนี้ เป็นการนำเสนอรายละเอียดของวงจรถอดรหัสสัญญาณ ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น รวมทั้งแสดงตัวอย่างการควบคุมสั่งการทางโทรศัพท์ ให้มีการเปิดปิดเครื่องบันทึกเสียง และนำเสนอเรื่องราวเกี่ยวกับโทรศัพท์ เฉพาะแต่ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานประดิษฐ์นี้เท่านั้น รายละเอียดอื่นใดผู้อ่านสามารถหาได้จากเอกสารสิ่งพิมพ์อื่นๆ (เช่น สุทธิพันธ์ พรศิริกุล, 2535)

แนวทางการออกแบบ

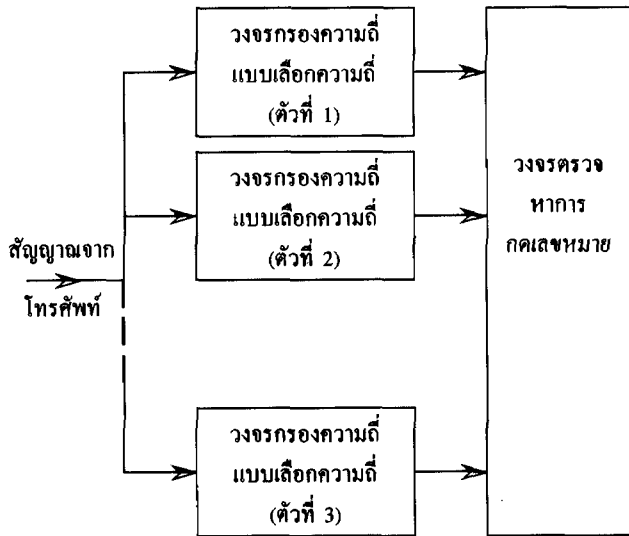
โทรศัพท์ระบบกดปุ่มนั้น เมื่อผู้ใช้กดปุ่มเลขหมาย ก็จะมีสัญญาณถูกส่งออกไปจากโทรศัพท์ แสดงเลขหมายที่กด สัญญาณดังกล่าวมีความถี่ 2 ความถี่ผสมกัน ซึ่งความถี่หนึ่งแสดงแถว และอีกค่าความถี่หนึ่งแสดงคอลัมน์ในตำแหน่งของแป้นกดเช่น แป้นกดที่ตั้งแสดงด้วยแผนภาพในรูปที่ 1 เป็นของโทรศัพท์ DTMF ทั่วไป ถ้ากดแป้นที่เป็นเลข "5" สัญญาณที่ส่งออกไปสู่ทางเครื่องปลายทาง จะเป็นการผสมกันของสัญญาณ 770 Hz และ 1336 Hz สัญญาณที่ส่งออกไปมีลักษณะของความสัมพันธ์ที่แสดงได้ดังนี้

$$f(t) = A \cos (w_A t + \phi_A) + B \cos (w_B t + \phi_B)$$

ซึ่ง w_A และ w_B นั้น คือความถี่ที่สอดคล้องกับแถวและคอลัมน์ของตำแหน่งแป้นกด



รูปที่ 1. แป้นกดและความถี่ที่กำหนดให้ตามแนวนอนและแนวตั้ง



การออกแบบตามที่น่าเสนอในบทความนี้มีแนวคิดที่ว่า เราสามารถคัดเลือกความถี่จากสัญญาณที่ได้จากโทรศัพท์ ได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านการแบ่งสัญญาณตามย่านความถี่ออกเป็นสองชุด แนวคิดดังกล่าวแสดงด้วยแผนภาพในรูปที่ 3

บทความนี้เสนอรายละเอียดการออกแบบ รายละเอียดของวงจรต่างๆ ในลักษณะที่พร้อมใช้งานได้ทันที และแสดงตัวอย่างการใช้ประโยชน์ ชุดถอดรหัสสัญญาณนี้ในการส่งเปิด/ปิดเครื่องเล่นวิทยุโดยใช้การส่งเป็นรหัสผ่านทางโทรศัพท์

รูปที่ 2. รูปแบบการใช้วงจรกรองเลือกความถี่ตามลักษณะการออกแบบที่น่าเสนอ

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่า ถ้าเราสามารถแยกสัญญาณที่มีความถี่ต่างๆ 8 ค่าความถี่ออกมาได้เป็นเอกเทศ ก็จะสามารถตรวจสอบตำแหน่งของแป้นกดที่ถูกกดได้จากแถวและคอลัมน์ที่สอดคล้องกับความถี่นั้น ได้โดยมีผู้ออกแบบวงจรตรวจจับความถี่จากแป้นกด (Daryanani 1976) โดยนำสัญญาณที่ผ่านมาทางสายโทรศัพท์ ไปป้อนผ่านวงจรกรองความถี่แบบต่ำผ่าน (low-pass filter) และให้ผ่านวงจรกรองความถี่แบบสูงผ่าน (high-pass filter) เพื่อแบ่งแยกสัญญาณออกเป็น 2 ชุด ชุดหนึ่งอยู่ในย่านความถี่ 697 - 941 Hz อีกชุดหนึ่งอยู่ในย่านความถี่ที่สูงกว่า คือในย่าน 1209 - 1633 Hz

การออกแบบวงจรกรองความถี่

วงจรกรองความถี่ที่ใช้ในงานนี้ เป็นวงจรชนิดแอกทีฟที่มีลักษณะสมบัติของการเลือกค่าความถี่เฉพาะ ซึ่งมีรูปแบบของวงจรกรองความถี่ให้เลือกใช้ได้อย่างหลากหลาย แต่ที่เหมาะสมนั้นจะต้องมีค่าตัวประกอบ Q (Q factor) ที่สูงมาก ดังนั้นวงจรกรองความถี่ที่เหมาะสมรูปแบบหนึ่งคือ ชนิดวงจรถูกคูณค่า Q (Q multiplier circuit) (Franco 1988) ซึ่งมีทรานสเฟอ์ฟังก์ชันสำหรับใช้ประโยชน์ในงานออกแบบดังนี้ :

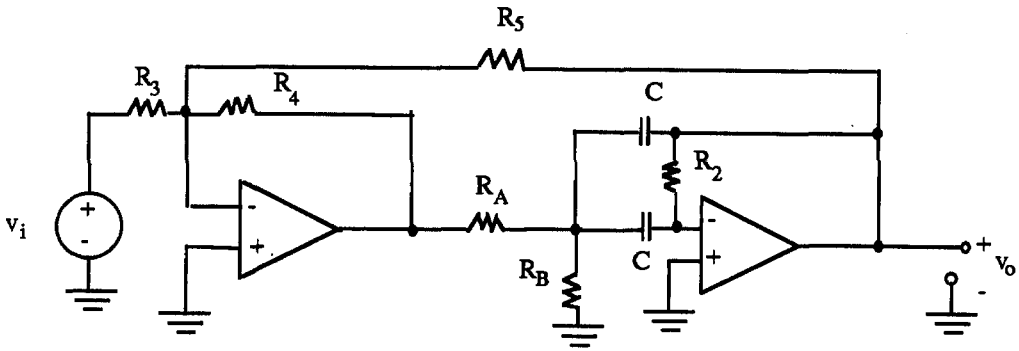
$$S = S_1 \frac{(j / Q_1) (f / f_0)}{1 - (f / f_0)^2 + (j / Q_1) (f / f_0)} \quad (1)$$

ซึ่ง

$$S = S_1 \frac{(R_4 / R_3) / S_0 /}{1 - (R_4 / R_5) / S_0 /} \quad (2)$$

$$Q_1 = \frac{Q}{1 - (R_4 / R_5) / S_0 /} \quad (3)$$

$$Q = \frac{1}{2} \frac{R_2}{R_A // R_B} \quad (4)$$



รูปที่ 8. วงจรกรองความถี่แบบแถบผ่านชนิดคุณภาพ Q

$$S_0 = - \frac{R_B}{R_A + R_B} 2Q^2 \tag{5}$$

และ $f_0 = - \frac{1}{2 \pi C \sqrt{[(R_A // R_B) R_2]}}$ (6)

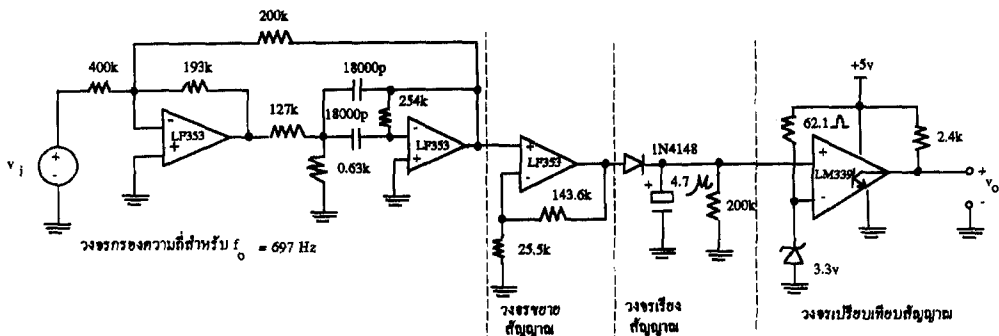
การใช้งานของเรขาคณิตนี้ จะใช้ประโยชน์เป็นกคเฉพาะตัวเลข 0 - 9 เท่านั้น ดังนั้นในการออกแบบวงจรกรองความถี่จึงดำเนินการสำหรับความถี่ที่กำหนดที่มีค่า 697, 770, 852, 941, 1209, 1336 และ 1477 Hz เท่านั้น โดยกำหนดให้ค่า $Q = 10$, $Q_1 = 300$, $S_0 = -1$ และ $S_1 = 14.5$ ในวงจรที่ออกแบบจะมีค่าความต้านทาน R_3 , R_4 และ R_5 ที่คงที่เสมอ สำหรับวงจรกรองความถี่ทั้ง 7 วงจร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 400, 193 และ 200 $k\Omega$ ตามลำดับ องค์ประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์สำหรับวงจรกรองความถี่ทั้ง 7 วงจรนั้น ได้รับการรวบรวมไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1. องค์ประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์ของวงจรกรองความถี่ชนิดคุณภาพ Q

f_0 (Hz)	C (pF)	R_2 ($k\Omega$)	R_A ($k\Omega$)	R_B ($k\Omega$)
697	18000	254	127	0.63
770	18000	230	115	0.58
852	18000	208	104	0.51
941	15000	225	113	0.57
1209	15000	175	88	0.44
1336	15000	160	79	0.40
1477	12000	180	90	0.45

วงจรประกอบรวมเพื่อใช้สร้างสัญญาณสถานะทางลอจิก

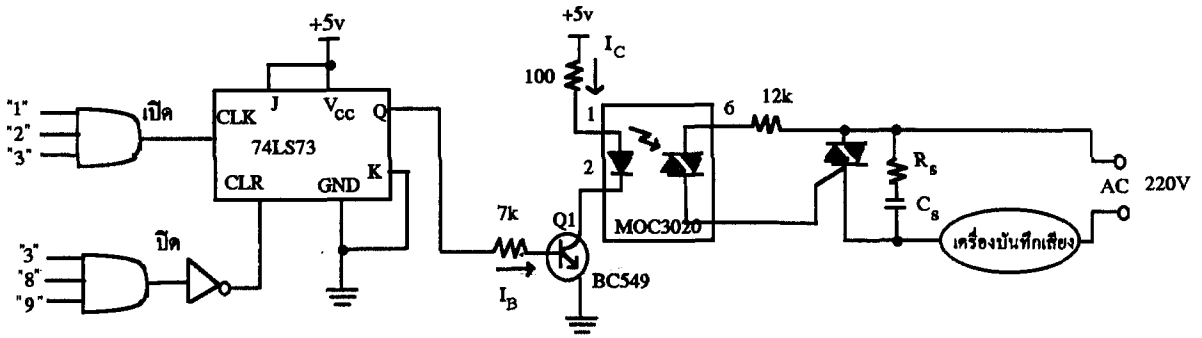
สัญญาณจากวงจรรองความถี่นั้นมีระดับแอมพลิจูดที่ค่อนข้างต่ำ ในการดำเนินกระบวนการทางสัญญาณต่อไป จึงจำเป็นต้องขยายระดับสัญญาณดังกล่าว จากนั้นจึงผ่านสัญญาณที่ได้เข้าสู่วงจรเรียงสัญญาณ (rectifier) และวงจรเปรียบเทียบสัญญาณตามลำดับ เพื่อให้ได้เข้าพุทในขั้นสุดท้ายเป็นสัญญาณลอจิกสูง/ต่ำ มีระดับ 5/0 โวลต์ นอกจากนี้ วงจรเปรียบเทียบสัญญาณยังจัดปัญหาอันเกิดจากสเปอริเชียส (spurious) ที่ปรากฏในเข้าพุทของวงจรเรียงสัญญาณได้อย่างดีอีกด้วย วงจรขยายที่นำมาใช้งาน เป็นวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (non-inverting amplifier) แบบธรรมดา โดยปรับตั้งอัตราขยายตามที่เหมาะสม วงจรเรียงสัญญาณที่ใช้งานประกอบด้วย ไดโอด 1N4148 และส่วน RC ให้การปรับเรียบสัญญาณ ซึ่งมีค่าคงที่ทางเวลา (τ) 0.94 วินาที ไอซี LM339 ได้รับการนำมาใช้เป็นองค์ประกอบหลักของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ โดยมีซีเนอร์ไดโอดขนาด 3.3 โวลต์เป็นส่วนช่วยให้เข้าพุทเกิดการเปลี่ยนสถานะจากลอจิกต่ำไปเป็นสูง ที่ระดับแรงดันอินพุท 3.3 โวลต์ เมื่อเข้าพุทจากวงจรเปรียบเทียบสัญญาณมีสถานะสูง ให้ความหมายว่ามีสัญญาณความถี่ f_0 ปรากฏ การตรวจหาเป็นกคกระทำได้ง่ายๆ โดยป้อนสัญญาณลอจิก ที่สอดคล้องกับความถี่ f_0 สองค่าผ่าน AND เกท ความถี่ดังกล่าวเป็นความถี่บ่งบอกอติเลินท์ ij ในเมทริกซ์ของแป้นกด เช่นความถี่ f_0 สำหรับแป้นกด "1" คือ 697 และ 1209 Hz รูปที่ 4 แสดงการประกอบรวมวงจรทั้ง 4 ระยะ ซึ่งระยะที่ 1 เป็นวงจรรองความถี่ และระยะที่ 4 เป็นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ



รูปที่ 4. วงจรทั้ง 4 ระยะเมื่อประกอบรวมกันเพื่อผลิตสัญญาณลอจิกบ่งบอกการตรวจหาความถี่ f_0

ตัวอย่างการใช้งาน

การใช้ประโยชน์วงจรถอดรหัสสัญญาณการกดเลขหมายของโทรศัพท์นั้น สามารถใช้กับงานควบคุมสั่งการระยะไกลได้อย่างหลากหลาย บทความนี้จะขอแสดงตัวอย่างหนึ่งในการใช้ประโยชน์ เป็นการสั่งเปิด/ปิดเครื่องบันทึกเสียง โดยใช้โทรแอกเป็นสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถควบคุมได้ สัญญาณควบคุมโทรแอกให้นำกระแสหรือปิดกั้นกระแส ได้มาจากการนำสัญญาณความถี่ f_0 ที่ผ่าน AND เกทแล้วไปดำเนินกระบวนการทางสัญญาณ เพื่อให้เกิดเป็นสัญญาณเปิด/ปิด สอดคล้องกับรหัสตัวเลขที่ต้องการสัญญาณที่ได้มาจะถูกนำไปผ่านชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่มีอพโตไดโอดแอกเป็นอุปกรณ์หลักเพื่อผลิต



รูปที่ 5 วงจรสั่งการเปิด/ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า

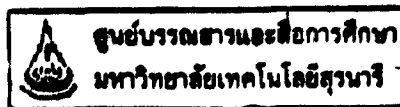
สัญญาณทรिकอย่างเหมาะสมแก่โทรแอค รูปที่ 5 แสดงแผนภาพวงจรสั่งการเปิด/ปิดเครื่องบันทึกเสียง ซึ่งในที่นี้ได้สมมุติว่ารหัสเลขหมายในการสั่งเปิดคือ “1 2 3” และรหัสสั่งปิดคือ “3 8 9” ในส่วนของโทรแอคมีความจำเป็นต้องใช้วงจร snubber ซึ่งในกรณีนี้ R_s และ C_s มีขนาด 30Ω และ $33 nF$ ตามลำดับ

สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอรายละเอียดของวงจรถอดรหัสสัญญาณเลขหมายสำหรับโทรศัพท์ระบบสัมผัส ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ ในการควบคุมสั่งการระยะไกลโดยอาศัยโทรศัพท์ วงจรดังกล่าวสร้างขึ้นโดยใช้ซอฟต์แวร์ ลอจิกเกตและฟลิปฟลอป เป็นองค์ประกอบหลัก แนวคิดการสร้างชุดสำเร็จนี้อาจนำไปสู่การพัฒนาจรรวมแบบชิ้นเดียว (monolithic device) ที่ใช้เป็นอุปกรณ์ถอดรหัสสัญญาณเลขหมายได้

คำขอขอบคุณ

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณวัชรพงษ์ พริ้งรักษา และคุณจิตรกร มะลิวงศ์ ที่ช่วยดำเนินการ ส่วนหนึ่งของงาน ที่ปรากฏในบทความนี้ และขอขอบคุณ คุณวัชรภรณ์ เจาะนอก ในการพิมพ์เอกสารนี้เป็นอย่างดี



บรรณานุกรม

สุทธินันต์ พรศิริกุล (2535). ลึกอีกนิดกับโทรศัพท์ ตอน 1. เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ 120 : 90-94.
 สุทธินันต์ พรศิริกุล (2535). ลึกอีกนิดกับโทรศัพท์ ตอน 2. เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ 121 : 108-113.
 Daryanani, G. (1976). Principles of Active Network Synthesis and Design. John Wiley & Sons.
 Franco, S. (1988). Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits. McGraw-Hill.