IC

วงจรรวม หรือ วงจรเบ็ดเสร็จ (integrated circuit ; IC) หมายถึง วงจรที่นำเอาไดโอด, ทรานซิสเตอร์, ตัวต้านทาน, ตัวเก็บประจุ และองค์ประกอบวงจรต่าง ๆ มาประกอบรวมกันบนแผ่นวงจรขนาดเล็ก ในปัจจุบันแผ่นวงจรนี้จะทำด้วยแผ่นซิลิคอน บางทีอาจเรียก ชิป (Chip) และสร้างองค์ประกอบวงจรต่าง ๆ ฝังอยู่บนแผ่นผลึกนี้ ส่วนใหญ่เป็นชนิดที่เรียกว่า Monolithic การสร้างองค์ประกอบวงจรบนผิวผลึกนี้ จะใช้กรรมวิธีทางด้านการถ่ายภาพอย่างละเอียด ผสมกับขบวนการทางเคมีทำให้ลายวงจรมีความละเอียดสูงมาก สามารถบรรจุองค์ประกอบวงจรได้จำนวนมาก ภายในไอซี จะมีส่วนของลอจิกมากมาย ในบรรดาวงจรเบ็ดเสร็จที่ซับซ้อนสูง เช่น ไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งใช่ทำงานควบคุม คอมพิวเตอร์ จนถึงโทรศัพท์มือถือ แม้กระทั่งเตาอบไมโครเวฟแบบดิจิทัล สำหรับชิปหน่วยความจำ (RAM) เป็นอีกประเภทหนึ่งของวงจรเบ็ดเสร็จ ที่มีความสำคัญมากในยุคปัจจุบัน

ประวัติไอซี

ไอซี กำเนิดขึ้นโดย Geoffrey W.A. Dummer นักวิทยาศาสตร์เรดาร์จากอังกฤษต่อมาได้ย้ายไปทำการค้นคว้าต่อที่สหรัฐอเมริกา โดยสามารถสร้างไอซีจากเซรามิกส์ตัวแรกได้ในปี ค.ศ.1956 แต่ยังไม่ประสบผลสำเร็จนัก ต่อมาในปี ค.ศ.1957 กองทัพสหรัฐอเมริกานำโดย Jack Kilby ได้ทำการค้นคว้าทดลองต่อ ในวันที่ 6 กุมภาพันธ์ ค.ศ.1959 Kilby ได้จดสิทธิบัตรไอซีที่ทำจากเจอร์มาเนียม และในพัฒนาการสุดท้ายของไอซี Robert Noyce ได้จดสิทธิบัตร ไอซีที่ทำจากซิลิคอน ในวันที่ 25 เมษายน ค.ศ.1961

ประเภทของไอซีแบ่งตามจำนวนเกท

จำนวนของเกทต่อไอซีจะกำหนดประเภทของไอซี(IC) 1 เกท เท่ากับ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ 1 ชิ้น

- ขนาด SSI (Small Scale Integration) จะมีตั้งแต่ 1 ถึง 10 เกท
- ขนาด MSI (medium scale integration) จะมีตั้งแต่ 10 ถึง 100 เกท
- ขนาด LSI (large scale integration) จะมีตั้งแต่ 100 ถึง 10,000 เกท
- ขนาด VLSI (Very large scale integration) จะมีตั้งแต่ 100,000 ถึง 10,000,000 เกท
- ขนาด ULSI (Ultra-Large Scale Integration) จะมีตั้งแต่ 1,000,000 เกทขึ้นไป

ส่วนมากใช้เรียกไอซีที่มีจำนวนเกทสูงมากในประเทศญี่ปุ่น

กระบวนการผลิต IC (มีขา)

DC Dicing คือกระบวนการนำแผ่น Wafer มาตัดออกเป็นตัว Chip

DB Die bond คือกระบวนการที่นำตัวชิป ไปติดลงบนลีดเฟรมด้วยกาว

WB Wire bond คือกระบวนการเชื่อมลวดทองคำ จากวงจรบนชิปไปสู่ขานองลีดเฟรม

MP Mold คือกระบวนการห่อหุ้มตัวชิปด้วย Resin หลังจากที่ได้ผ่านการเชื่อมลวดทองเรียบร้อยแล้ว

กระบวนการผลิต IC (ไม่มีมีขา)

DB Die bond คือกระบวนการที่นำตัวชิป ไปติดลงบนลีดเฟรมด้วยกาว epoxy

WB Wire bond คือกระบวนการเชื่อมลวดทองคำ จากวงจรบนชิปไปสู่ลีดเฟรม

MO Mold คือกระบวนการห่อหุ้มตัวชิปด้วยพลาสติก หลังจากที่ได้ผ่านการเชื่อมลวดทองเรียบร้อยแล้ว

แหล่งข้อมูลอื่น http://www.semiconfareast.com

ไอซี 555

ไอซี 555 เบอร์ NE555 จาก Signetics ตัวถังสี่เหลี่ยม (DIP) บล็อกไดอะแกรม และตำแหน่งขาไอซี 555 (IC 555) เป็นวงจรรวม หรือวงจรเบ็ดเสร็จ ที่เรียกกันทั่วไปว่า ชิป ที่รู้จักกันดีในบรรดานักอิเล็กทรอนิกส์ ไอซีตัวนี้ได้รับการออกแบบ และประดิษฐ์โดยนักออกแบบชิปที่มีชื่อเสียง ชื่อนั่นคือนายฮันส์ อาร์ คาเมนซินด์ (Hans R. Camenzind) โดยเริ่มออกแบบเมื่อ พ.ศ. 2513 และแนะนำผลิตภัณฑ์ในปีถัดมา โดยบริษัทซิกเนติกส์ คอร์ปอเรชัน (Signetics Corporation) มีหมายเลขรุ่น SE555/NE555 และเรียกชื่อว่า "The IC Time Machine" มีการใช้อย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เพราะสามารถใช้งานง่าย ราคาถูก มีเสถียรภาพที่ดี ในปัจจุบันนี้ บริษัทซัมซุงของเกาหลี สามารถผลิตได้ปีละกว่า 1 พันล้านตัว (ข้อมูล พ.ศ. 2546)

ไอซีไทเมอร์ 555 นับเป็นวงจรรวมที่สามารถใช้งานได้หลากหลายและเป็นที่นิยมมากที่สุดตัวหนึ่งเท่าที่เคยผลิตมา ภายในตัวประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 23 ตัว, ไดโอด 2 ตัว และรีซิสเตอร์อีก 16 ตัว เรียงกันบนชิปซิลิกอนแผ่นเดียว โดยติดตั้งในตัวถัง 8 ขา แบบมินิ DIP (dual-in-line package) นอกจากนี้ยังมีการผลิตไอซี 556 ซึ่งเป็น DIP แบบ 14 ขา โดยอาศัยการรวมไอซี 555 จำนวน 2 ตัวบนชิปตัวเดียว ขณะที่ 558 เป็นไอซีอีกตัวหนึ่งที่พัฒนาขึ้นจาก 555 เป็น DIP แบบ 16 ขา (quad) โดยรวมเอา 555 จำนวน 4 ตัว (โดยมีการปรับแต่งเล็กน้อย) มาไว้บนชิปตัวเดียว (DIS และ THR มีการเชื่อมต่อกันภายใน ส่วน TR นั้นมีค่าความไวที่ขอบแทนที่จะเป็นความไวทั้งระดับ) นอกจากนี้ยังมีรุ่นกำลังต่ำพิเศษ (ultra-low power) ของไอซี 555 นั่นคือ เบอร์ 7555 สำหรับไอซี 7555 นี้จะมีการเดินสายที่แตกต่างไปเล็กน้อย ทั้งยังมีการใช้กำลังไฟที่น้อยกว่า และอุปกรณ์ภายนอกน้อยกว่า ด้วย**ไอซี 555 มีโหมดการทำงาน 3 โหมด ดังนี้**

โมโนสเตเบิล (Monostable) ในโหมดนี้ การทำงานของ 555 จะเป็นแบบชิงเกิ้ลช็อต หรือวันช็อต (one-shot) โดยการสร้างสัญญาณครั้งเดียว ประยุกต์การใช้งานสำหรับการนับเวลา การตรวจสอบพัลส์ สวิตช์สัมผัส ฯลฯ

อะสเตเบิล (Astable) ในโหมดนี้ การทำงานจะเป็นออสซิลเลเตอร์ การใช้งาน ได้แก่ ทำไฟกระพริบ, กำเนิดพัลส์, กำเนิดเสียง, เตือนภัย ฯลฯ

ไบสเตเบิล (Bistable) ในโหมดนี้ ไอซี 555 สามารถทำงานเป็นฟลิปฟล็อป (flip-flop) ถ้าไม่ต่อขา DIS และไม่ใช้คาปาซิเตอร์ ใช้เป็นสวิตช์ bouncefree latched switches เป็นต้น

ออปแอมป์ (OPERATION AMPLIFIER) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณสมบัติในการนำเอามาประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรขยายสัญญาณทางไฟฟ้า ที่มีความหลากหลายเช่น วงจร Inverting Amplifier, วงจร Noninverting Amplifier, วงจร Differential Amplifier, วงจร Voltage follwer, วงจร Filter และวงจร Oscillator เป็นต้น

เนื้อหาวิชาเรียน (แหล่งที่มา http://opamp.awardspace.com)

บทที่ 1 ออปแอมป์

บทที่ 2 วงจรพื้นฐานของออปแอมป์

บทที่ 3 การแปลงสัญญาณของออปแอมป์

บทที่ 4 วงจรกำเนิดสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์

บทที่ 5 วงจรประยุกต์ใช้งานของออปแอมป์

เนื้อหาวิชาเรียนบทที่ 1

1.1 คุณสมบัติทั่วไปของออปแอมป์

1.2 สัญลักษณ์และชนิดตัวถังของออปแอมป

1.3 ลักษณะการทำงานของออปแอมป์

1.4 คุณสมบัติและค่าพารามิเตอร์ของออปแอมป์

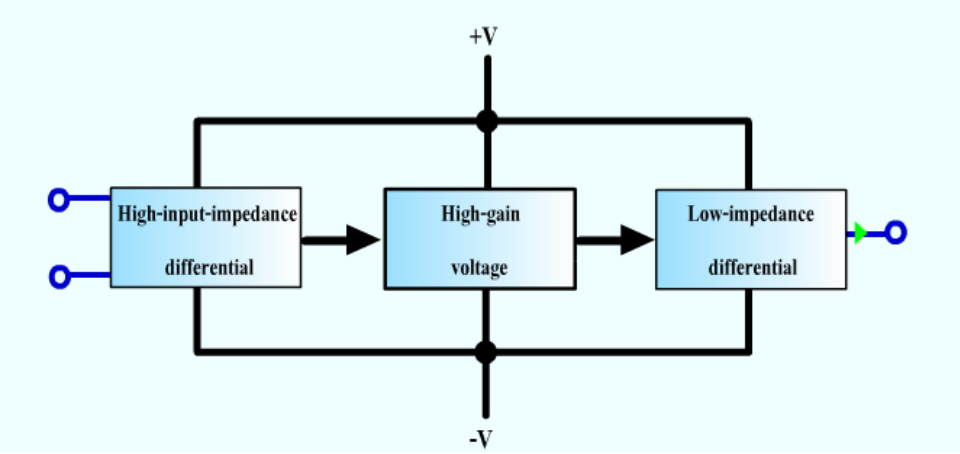
1.5 ข้อควรคำนึงถึงการต่อใช้งานของออปแอมป์

1.1 คุณสมบัติทั่วไปของออปแอมป์

คุณสมบัติทั่วไปของออปแอมป์

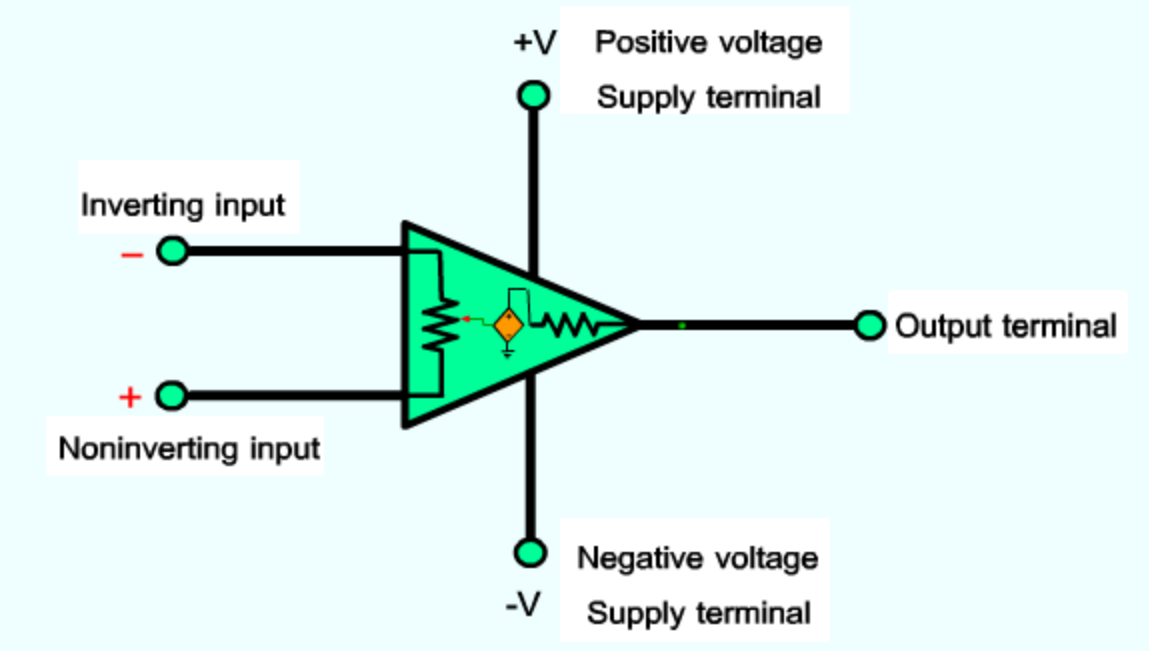
โดยทั่วไปแล้วเราสามารถกล่าวได้ว่า ไอซีออปแอมป์ คือ อุปกรณ์โซลิดเสตท (Solid State) ชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถตรวจวัดระดับสัญญาณไฟตรง และไฟสลับได้ และยังสามารถนำไปใช้งานในวงจรขยายสัญญาณได้อีกด้วย ไอซีออปแอมป์พื้นฐานจะต้องประกอบด้วยวงจรภายในภาคต่างๆ ดังนี้ คือ

1. ดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ หรือ วงจรขยายผลต่าง (Differential Amplifier) ที่อินพุทอินพิแดนซ์สูงมาก
2. วงจรขยายแรงดันซึ่งมีอัตราการขยายสูงมาก
3. วงจรขยายสัญญาณภาคเอาท์พุทที่มีเอาท์พุทอิมพิแดนซ์ต่ำมาก



1.2 สัญลักษณ์และชนิดตัวถังของออปแอมป์

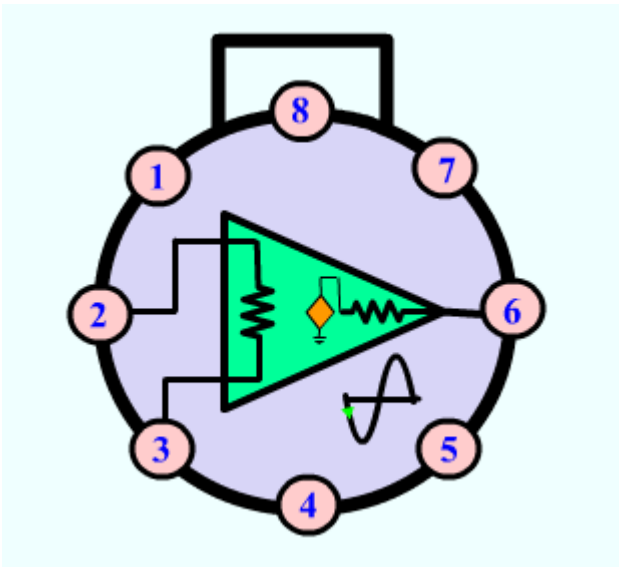
1.2.1 สัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์ ซึ่งประกอบด้วย ขั้วอินพุท 2 ขั้ว ขั้วสำหรับจ่ายแรงดันไฟ 2 ขั้ว ขั้วเอาท์พุท 1 ขั้ว และขั้วสำหรับปรับออฟเซ็ท หรือการชดเชยความถี่อีก 2 ขั้ว



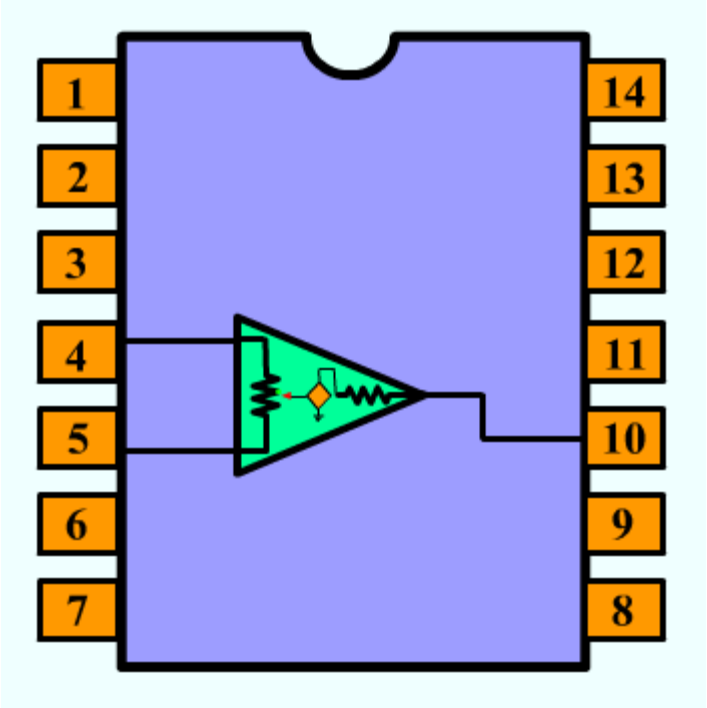
ขั้วอินพุททั้งสองของออปแอมป์มีลักษณะต่างกันดังนี้ คือ สำหรับขั้วลบ เมื่อป้อนไฟตรงหรือไฟสลับเข้าไปที่ขั้วบวกต่อจุดอ้างอิงจุดหนึ่ง สัญญาณที่ออกมาก็จะกลับเฟส180 องศา ส่วนการป้อนสัญญาณที่ขั้วบวก เอาท์พุทที่มีเฟสตรงกับอินพุท ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าเครื่องหมายที่อินพุท คือ การแสดงเฟสของเอาท์พุทเทียบกับอินพุท ส่วนขั้วสำหรับปรับออฟเซ็ท หรือการชดเชยความถี่นั้นโดยมากมักจะไม่ถูกแสดง ในวงจรทั่วไป

1.2.2 ชนิดของตัวถัง ไท้ ออฟ เคส (Type of Case) โดยปกติตัวถังของออปแอมป์จะสร้างด้วยกัน3 แบบ

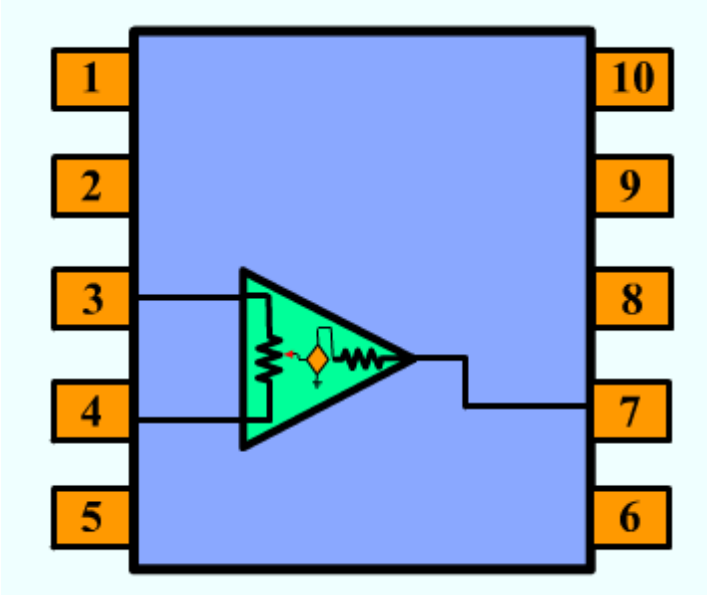
1 แบบทีโอ-5(TO-5) จะสร้างเป็นแบบ 8 ขั้ว,10 ขั้ว และ 12 ขั้ว



2 แบบ ดวล-อิน-ไลท์-แพคเกจ (dual-in-line-package) หรือมีชื่อเรียกย่อว่าแบบดิฟ (Dip) จะสร้างเป็นแบบ 8 ขั้วกับ 14 ขั้ว



3 แบบแฟลต แพคเกจ (Flat package) จะสร้างเป็นแบบ 10 ขั้วเท่านั้น

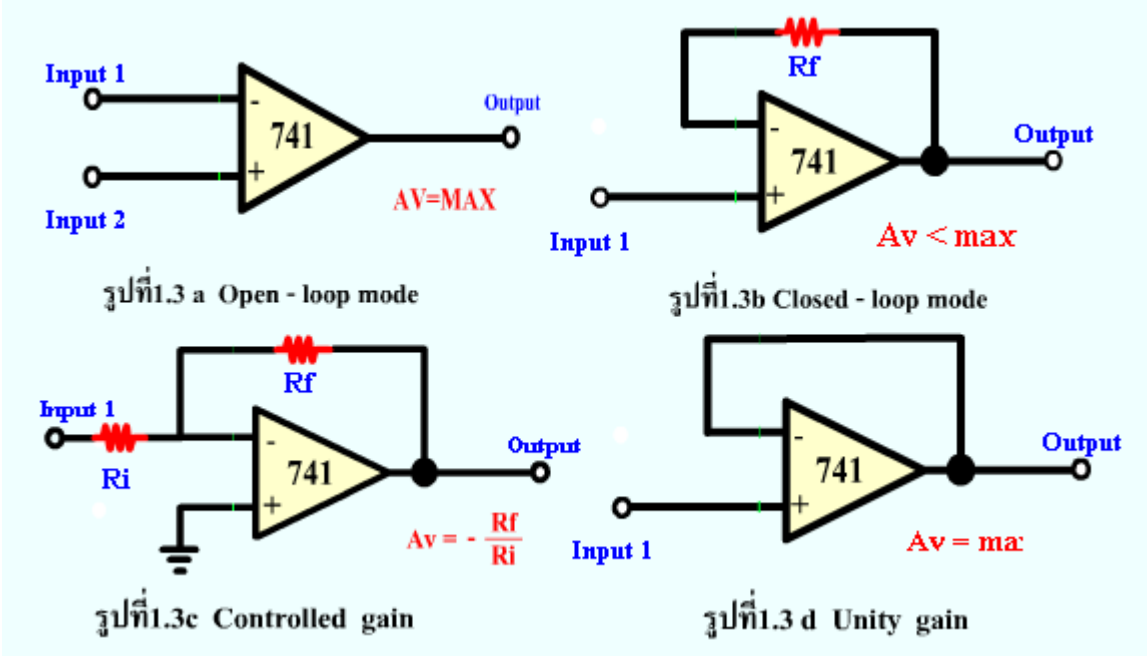


1.3 ลักษณะการทำงานของออปแอมป์

ลักษณะการทำงานของออปแอมป์

ออปแอมป์ในอุดมคติจะมีอัตราการขยายเป็นอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติอัตราการขยายอาจจะมีค่าสูงสุดเพียง 10,000 หรือ 1,000,000 เท่านั้น ซึ่งเรียกว่า อัตราขยายขณะเปิดลูป (A v) ดังรูปที่ 1.3a ในขณะที่เกิดความแตกต่างของแรงดันเพียงเล็กน้อยระหว่างขั้วอินพุททั้งสอง เอาท์พุทจะสามารถให้สัญญาณสูงขึ้นหลายเท่า (ตามค่าของอัตราการขยาย A v) หากแต่จะถูกจำกัดด้วยขนาดของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่เราป้อนแก่ออปแอมป์ด้วย แต่ถึงเช่นนั้นก็ดี เอาท์พุทก็จะสามารถมีค่าสูงสุดเท่ากับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงได้จริง ทำให้แรงดันเอาท์พุทสูงสุดอาจมีค่าถึง 90 % ของแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟเท่านั้น

จากคุณสมบัติข้างต้น เราสามารถนำออปแอมป์ในขณะเปิดลูปไปใช้งานเป็นคอมพาราเตอร์ (Comparator) หรือวงจรเปรียบเทียบแรงดันได้ โดยเอาท์พุทจะเปลี่ยนทันทีเมื่อมีความแตกต่างของแรงดันที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วอินพุทของออปแอมป์แต่ทว่าการทำงานของออปแอมป์ยังไม่สิ้นสุดเพียงเท่านั้น นอกจากนี้จะพบว่าการใช้ออปแอมป์ในลักษณะของลูปปิด (มีการป้อนกลับ) จะทำให้ออปแอมป์มีประโยชน์สูงมากขึ้น ดังรูปที่ 1.3b การป้อนกลับในรูปที่1.3bใช้ตัวต้านทาน RF เพียง ตัวเดียว ซึ่งมีผลให้วงจรเสถียรภาพสูงขึ้น และมีสัญญาณรบกวนน้อยลง ในขณะเดียวกัน อัตราการขยายแรงดันจะลดลงด้วย



วงจรในรูป1.3c แสดงการใช้ออปแอมป์โดยมีการป้อนสัญญาณเอาท์พุทกลับมายังอินพุทนอกจากนี้ยังสามารถควบคุมอัตราขยายแรงดัน (ในขณะปิดลูป) ได้โดยอาศัยตัวต้านทาน 2 ตัวเท่านั้นทำให้อัตราการขยายแรงดัน โดยที่เครื่องหมายลบแสดงถึงการกลับเฟสของเอาท์พุทเทียบกับอินพุท ส่วนวงจรที่ 1.3d แสดงการป้อนกลับในกรณีที่ Av = 1 คุณสมบัติที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้ คือ คุณสมบัติทั่วไปของ ออปแอมป์ที่จะนำไปใช้งานในบทต่อๆไป และนอกจากนี้ คุณสมบัติอีกประการหนึ่งที่ควรศึกษา คือ เรื่องความสัมพันธ์ของขั้วต่างๆ ระหว่างอินพุทและเอาท์พุทของออปแอมป์ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. ถ้าขั้ว – มีศักดาเป็นบวกสูงกว่าขั้ว + , เอาท์พุทเป็น –
2. ถ้าขั้ว – มีศักดาเป็นบวกต่ำกว่าขั้ว + , เอาท์พุทเป็น +

1.4 คุณสมบัติและค่าพารามิเตอร์ของออปแอมป์

คุณสมบัติและค่าพารามิเตอร์ของออปแอมป์

อินพุทอิมพิแดนซ์ในทางอุดมคติควรมีค่าเท่ากับอนันต์ แต่ในความเป็นจริง อินพุทอิมพีแดนซ์จะมีค่าประมาณ 1 MW (1*10 6 W) ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์นี้ยิ่งมีค่ามากขึ้นเท่าใด ออปแอมป์ตัวนั้นก็สามารถที่จะทำงานได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้เมื่อนำออปแอมป์ไปใช้งานจริงในย่านความถี่สูงควรระวังผลจากอินพุทคาปาซิแตนซ์ของวงจร ซึ่งมักมีค่าประมาณ 2 pF (2*10 - 12 F) เมื่อขั้วอินพุทต่ออยู่กับกราวด์

เอาท์พุทอิมพิแดนซ์ ออปแอมป์ในอุดมคติจะมีเอาท์พุทอิมพิแดนซ์เป็นศูนย์ แต่ในความเป็นจริง ค่านี้อาจมีได้ตั้งแต่ 25 ถึงหลายพันโอห์มขึ้นไป แต่อย่างไรก็ตาม เรามักสมมุติให้เอาท์พุทอิมพิแดนซ์ในวงจรมีค่าเป็นศูนย์ เพื่อง่ายต่อการคำนวณและวิเคราะห์จากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่มีอินพุทอิมพิแดนซ์สูง และมีเอาท์พุทอิมพิแดนท์ต่ำ ออปแอมป์จึงเปรียบเสมือนเป็นอุปกรณ์ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นอิมพิแดนซ์แมทชิ่ง (Impedance matching) ที่ดีตัวหนึ่ง

กระแสไบอัสด้านอินพุทเนื่องจากอินพุทอิมพิแดนซ์ของออปแอมป์ไม่เป็นอนันต์ ดังนั้นจึงมีกระแสค่าน้อยๆ (มีหน่วยเป็น นาโน n (10 - 9) ถึงไมโคร u(10 - 6) แอมแปร์) ไหลผ่านขั้วอินพุททั้งสอง ซึ่งค่าเฉลี่ยของกระแสดังกล่าวถูกเรียกว่าเป็น “กระแสไบอัสด้านอินพุท” กระแสจะก่อให้เกิดความไม่สมดุลในวงจรภายใน ซึ่งจะเป็นผลกระทบต่อภาคเอาท์พุทด้วย ดังนั้นกระแสนี้ควรถูกจำกัดให้มีค่าต่ำสุด (อาจทำได้โดยการใช้ออปแอมป์ที่มีอินพุทเป็น FET)

แรงดันออฟเซ็ท (OFFSET) ที่เอาท์พุทแรงดันออฟเซ็ทที่เอาท์พุทเกิดขึ้นจากกระแสไบอัสด้านอินพุท ซึ่งในทางอุดมคติเมื่อแรงดันอินพุทระหว่างขั้วทั้งสองมีค่าเท่ากัน แรงดันที่เอาท์พุทควรเป็นศูนย์ แต่โดยทั่วไปมักไม่เป็นเช่นนั้น คือ มักมีแรงดันค่าหนึ่งปรากฏที่เอาท์พุทขณะที่อินพุทเป็นศูนย์ ซึ่งเราสามารถแก้ไขได้โดย การป้อนแรงดัน หรือกระแสออฟเซ็ทที่อินพุทแล้วปรับจนได้ Vout มีค่าเท่ากับ 0 โวลท์กระแสออฟเซ็ทที่อินพุทในการปรับแรงดันออฟเซ็ทที่เอาท์พุทให้มีค่าเป็นศูนย์ กระแสอินพุททั้งสองขั้วควรมีค่าเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติ จะพบว่าเราต้องการจ่ายกระแสให้แก่อินพุทขั้วหนึ่งมากกว่าอีกขั้วหนึ่งเสมอ เพื่อทำให้ค่าแรงดันเอาท์พุทมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งกระแสออฟเซ็ทอาจจะมีค่าประมาณ 20 mA

แรงดันออฟเซ็ทที่อินพุทในอุดมคติแรงดันเอาท์พุทจะมีค่าเท่ากับศูนย์ก็ต่อเมื่อ แรงดันระหว่างขั้วอินพุทมีค่าเป็นศูนย์เช่นกัน แต่ในทางปฏิบัติ ความไม่สมดุลภายในวงจรมักเป็นตัวที่เราต้องป้อนแรงดันค่าหนึ่งแก่อินพุทใดๆ เสมอ เพื่อทำให้แรงดันเอาท์พุทเป็นศูนย์

1.5 ข้อควรคำนึงถึงการต่อใช้งานของออปแอมป์

ข้อควรคำนึงถึงการต่อใช้งานของออปแอมป์ ค่าใช้งานต่างๆ ที่ควรเข้าใจในการนำไอซีออปแอมป์ไปใช้งานผู้ใช้ควรศึกษาดาต้าชีทของบริษัทผู้ผลิตให้ละเอียดเสียก่อนเพื่อป้องกันออปแอมป์ชำรุด หรือเสียหาย ค่าต่างๆที่ควรรู้ ได้แก่

ก. แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง ?V (Supply Voltage)

ข. กำลังสูญเสียในตัวไอซี (Power Dissipation) ซึ่งแสดงกำลังสูงสุดที่อุปกรณ์สามารถปลดปล่อยออกมาโดยที่อุณหภูมิไม่สูง จนทำให้ไอซีพัง

ค. แรงดันสูงสุดระหว่างขั้วอินพุท (Differential Input Voltage)

ง. แรงดันสูงสุดที่อินพุทแต่ละขั้ว (Input Voltage)

จ. ความสามารถในการทนภาวะลัดวงจรที่เอาท์พุท (Output Short – Circuit Duration)

ฉ. อุณหภูมิที่ใช้งาน (Operating Temperature)

ช. อุณหภูมิที่ใช้เก็บอุปกรณ์ (Storage - Temperature)

ฌ. อุณหภูมิของขาอุปกรณ์(Lead Temperature) แสดงอุณหภูมิที่ไอซี สามารถทนได้ในขณะที่ถูกบัดกรี

เนื้อหาวิชาเรียนบทที่ 2

2.1 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

2.2 วงจรตรวจจับสัญญาณไซน์

2.3 วงจรเปรียบเทียบเฟสของสัญญาณ

2.4 วงจรตรวจจับแรงดัน

2.5 วงจรตามแรงดัน

2.6 วงจรขยายกลับเฟส

2.7 วงจรไม่ขยายกลับเฟส

2.8 วงจรบวกแรงดัน

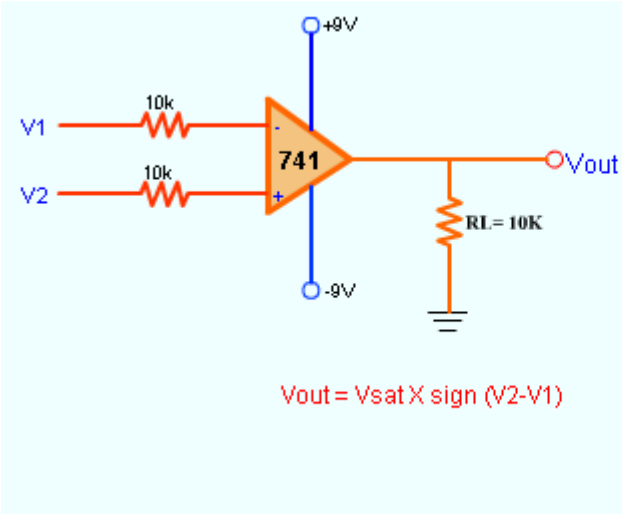
2.9 วงจรลบแรงดัน

2.10 วงจรแปลง ดิจิตอล เป็น อะนาล็อก

2.11 วงจรแปลง อะนาล็อก เป็น ดิจิตอล

2.1 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (คอมพาราเตอร์)

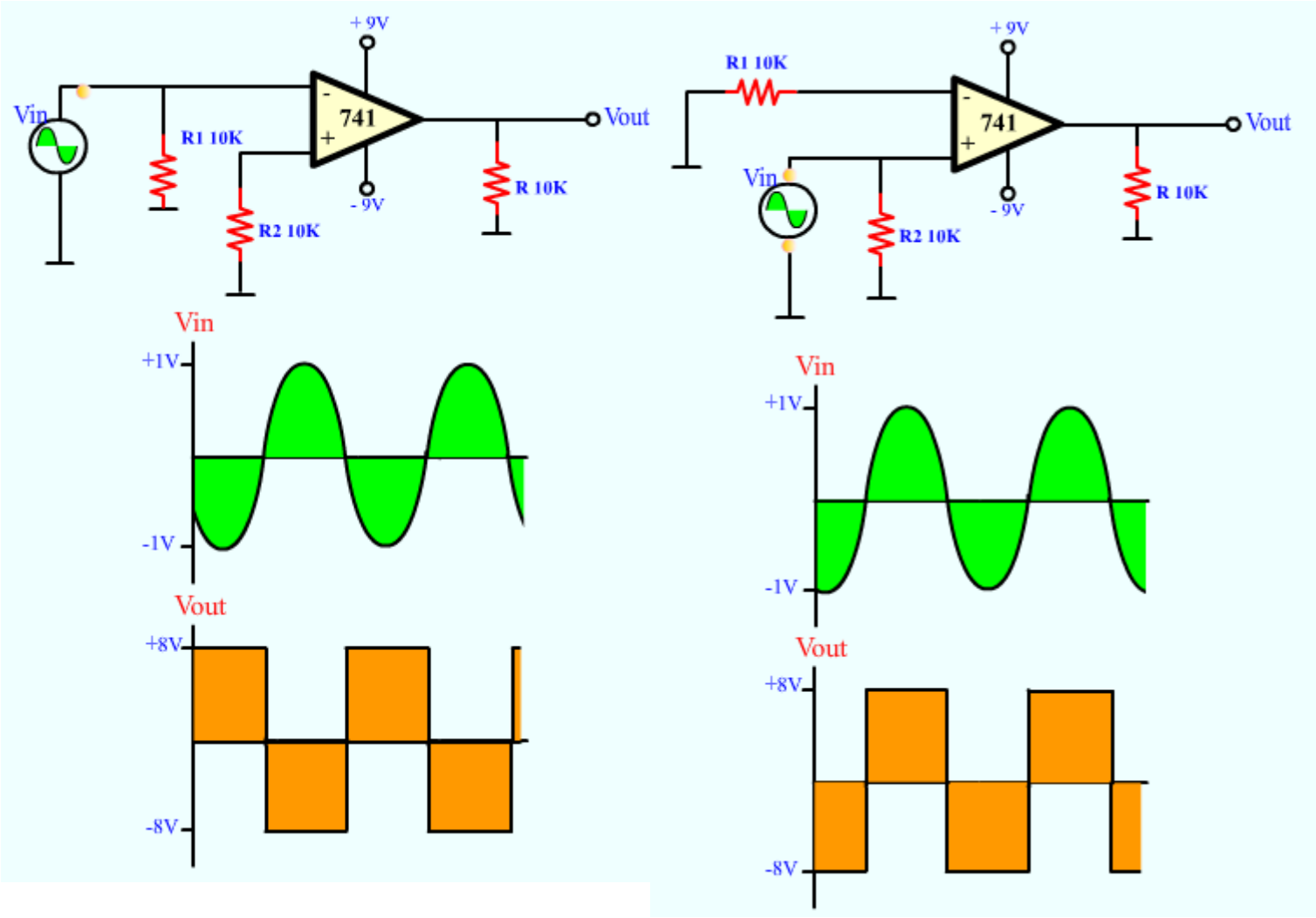
วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (คอมพาราเตอร์) การทำงานเป็นคอมพาราเตอร์ในขณะเปิดลูปนั้น ออปแอมป์จะสามารถเปรียบเทียบระดับสัญญาณระหว่างขั้วอินพุททั้งสองได้ค่อนข้างแม่นยำ โดยใช้หลักเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างขั้วอินพุทที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 ซึ่งอธิบายได้ว่า เมื่อแรงดันที่ขั้วลบมีค่าเป็นบวกสูงกว่าแรงดันอินพุทที่ขั้วบวกสัญญาณที่เอาท์พุทจะเป็นลบ และเมื่อแรงดันที่ขั้วลบมีค่าเป็นบวกต่ำกว่าแรงดันอินพุทที่ขั้วบวกสัญญาณที่เอาท์พุทจะเป็นบวก เอาท์พุทจะมีขนาดเกือบเท่ากับ Vcc จากแหล่งจ่ายไฟ ดังตัวอย่างในรูป 2.1



Input voltage		Output voltage
V1	V2	±Vsat
0	0	0
1	2	8
2	1	-8
1	1	0
-1	-2	-8
-2	-1	8
5	5	0

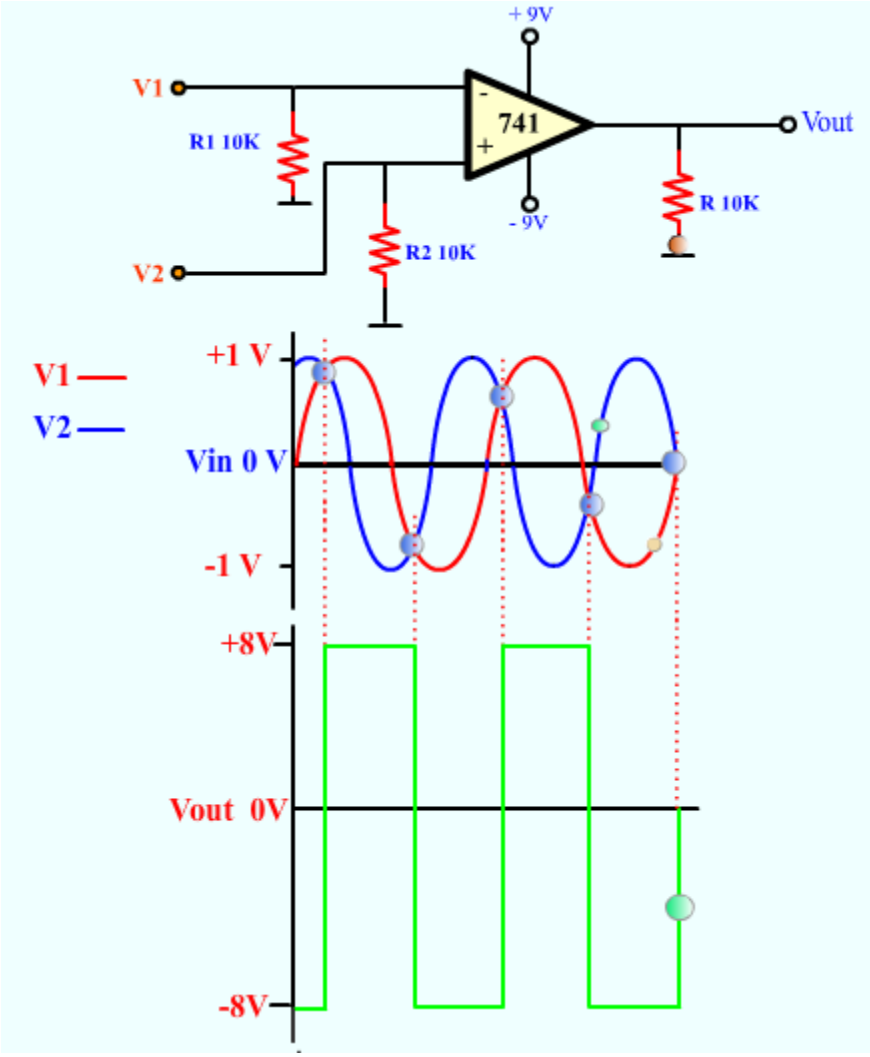
2.2 การตรวจวัดสัญญาณรูปไซน์

การตรวจวัดสัญญาณรูปไซน์ จากคุณสมบัติของคอมพาราเตอร์ เราสามารถนำออปแอมป์มาประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดแรงดันของสัญญาณที่เปลี่ยนไป โดยให้แรงดันที่ขั้วอินพุทขั้วหนึ่งเป็นจุดอ้างอิง ดังนั้น เมื่อใดก็ตามแรงดันที่ป้อนให้แก่วงจรอีกขั้วหนึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงไป แรงดันที่เอาท์พุทก็จะเปลี่ยนตามไปด้วย ซึ่งแสดงในรูป 2.2a โดยให้แรงดันที่อ้างอิงเท่ากับศูนย์ที่ขั้วบวกของอินพุท ดังนั้น เมื่อแรงดันอินพุทที่ขั้วลบมีค่าสูงกว่าศูนย์แรงดันที่เอาท์พุทจะมีขนาดเป็น –Vcc และ +Vcc เมื่อแรงดันลดต่ำกว่าศูนย์จากวงจรในรูปที่ 2.2a จะพบว่าเฟสของสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทจะมีค่าตรงกันข้ามเสมอ (เมื่อขนาดของสัญญาณเข้ามีค่าสูงสุด สัญญาณเอาท์พุทจะมีขนาดต่ำสุด) ดังนั้น ในกรณีที่เราต้องการให้อินพุทและเอาท์พุทมีเฟสของสัญญาณตรงกัน เราสามารถสลับการทำงานของขั้วอินพุทได้ดังรูปที่ 2.2b โดยเปลี่ยนให้ขั้วลบทำหน้าที่เป็นแรงดันอ้างอิงแทน



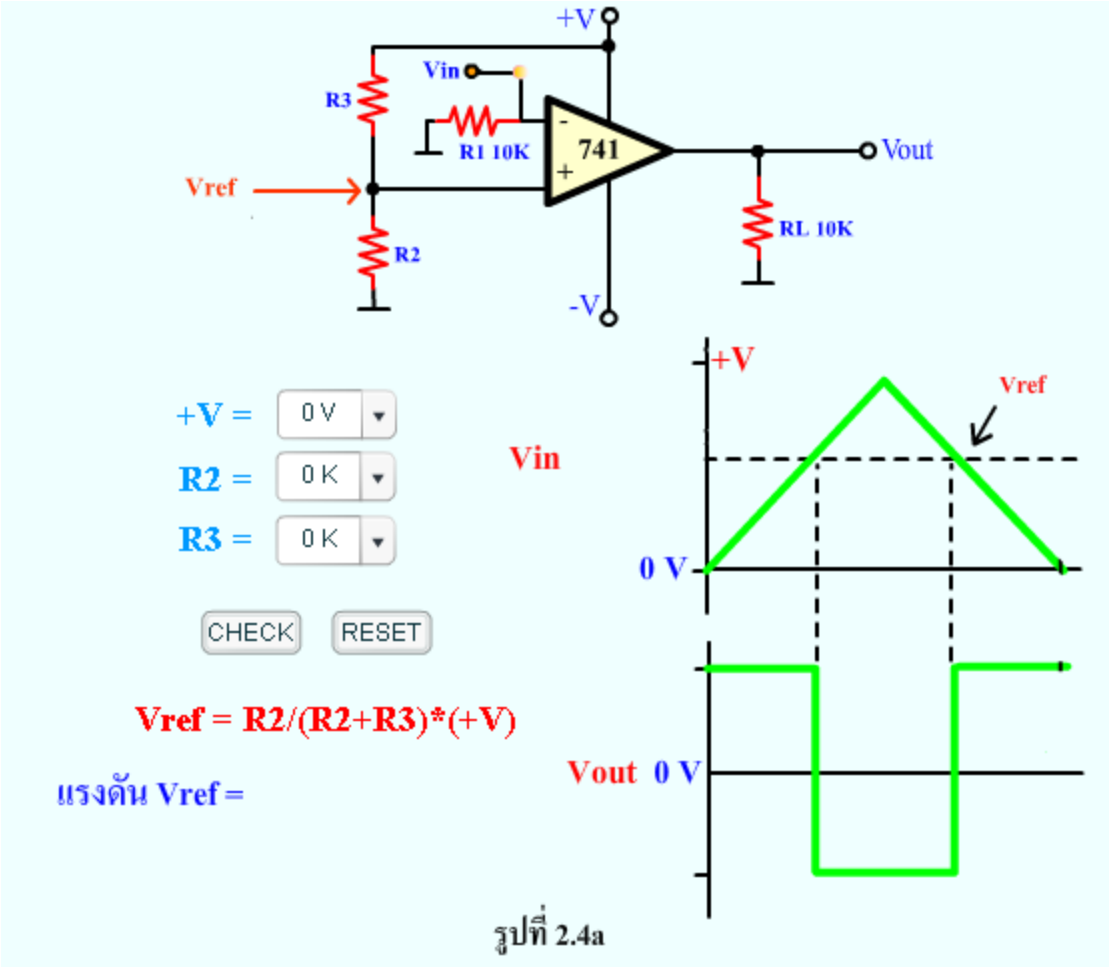
2.3 วงจรเปรียบเทียบเฟสของสัญญาณ

วงจรเปรียบเทียบเฟสของสัญญาณ วงจรคอมพาราเตอร์อาจถูกใช้เป็นวงจรเปรียบเทียบเฟสของสัญญาณสองตัว ซึ่งแต่ละตัวมีอาจมีความถี่ที่ไม่แน่นอน นั่นคือ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังนั้น เมื่อใดก็ตามที่เฟสและขนาดของสัญญาณอินพุททั้งสองตรงกัน เอาท์พุทของออปแอมป์จะมีค่าเป็นศูนย์ทันที ดังรูปที่ 2.3

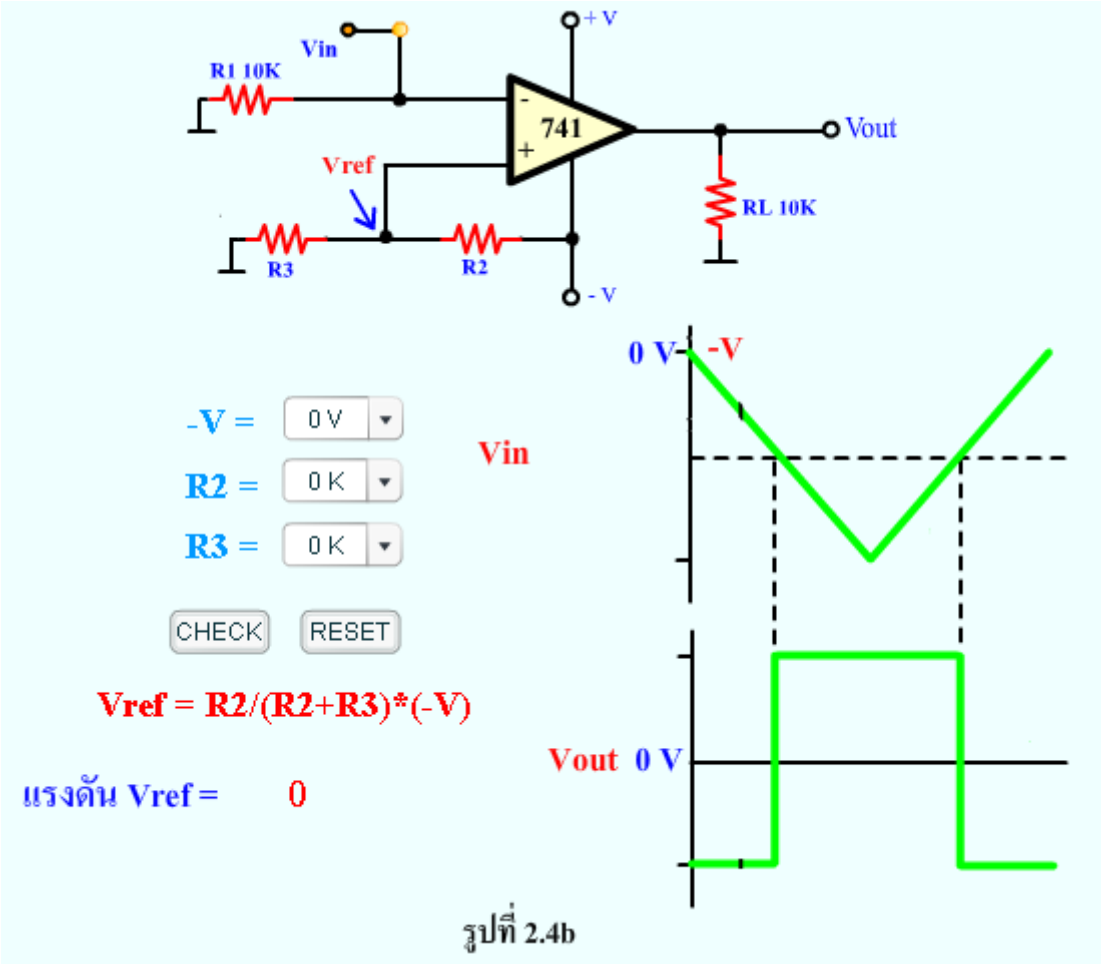


2.4 วงจรตรวจจับแรงดัน

วงจรตรวจจับแรงดัน เราสามารถใช้วงจรคอมพาราเตอร์ สำหรับตรวจวัดระดับสัญญาณว่ามีค่าเท่ากับแรงดันอ้างอิงหรือยัง โดยใช้หลักการเช่นเดียวกับการที่ได้ศึกษามา ต่างกันเพียงการป้อนแรงดันอ้างอิงเท่านั้นแทนที่จะป้อนศักดากราวด์เช่นเดิม โดยที่แรงดันอ้างอิง (Vref) = R2/(R2+R3)*(+V) ในกรณีที่ป้อนแรงดันอ้างอิงที่ขั้วบวก และป้อนสัญญาณที่ต้องการจะวัด ณ ขั้วอินพุทลบ ดังนั้น สัญญาณที่เอาท์พุทจึงมีลักษณะกลับเฟสอินพุท 180˚ ดังแสดงในรูป2.4a ส่วนรูปที่ 2.4b เป็นการตรวจจับระดับสัญญาณอ้างอิงที่เป็นลบ



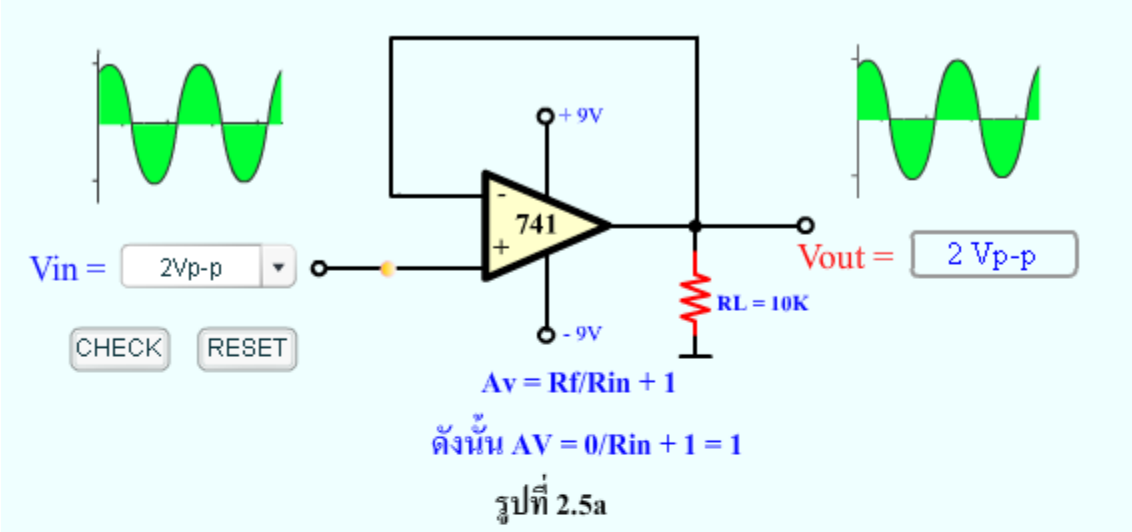
รูปที่ 2.4a



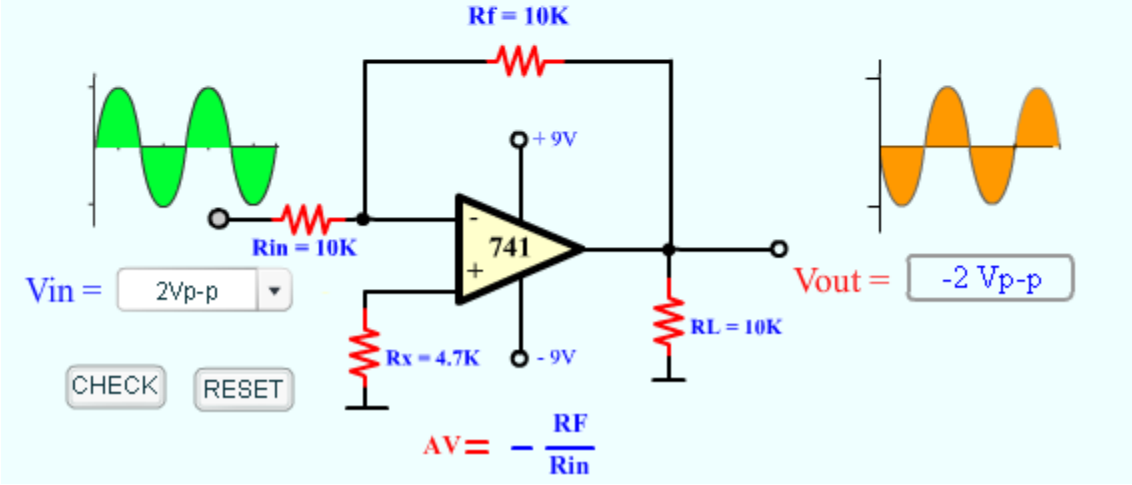
รูปที่ 2.4b

2.5 วงจรตามแรงดัน

วงจรตามแรงดัน ในบางครั้ง เราอาจต้องการวงจรออปแอมป์ซึ่งให้อัตราขยายเท่ากับหนึ่ง เพื่อนำไปใช้เป็นบัฟเฟอร์ ในกรณีนี้สามารถใช้วงจรนันอินเวอร์ติ้งหรือชนิดอินเวอร์ติ้งก็ได้ ดังรูป 2.5 a และรูป2.5 b ตามลำดับ ซึ่งจะสามารถอธิบายได้ดังนี้ จากรูปที่ 2.5(a) เมื่อ RFมีค่าเป็นศูนย์ อัตราขยายแรงดันจะมีค่าเป็น 1 เท่า เมื่อป้อนอินพุทเข้ามาเท่าไหร่ก็ตามเอาท์พุทจะได้เท่ากับอินพุท ส่วนในรูปที่ 2.5(b) เมื่อป้อนอินพุทเข้ามาเท่าไหร่ก็ตามเอาท์พุทจะได้ตรงข้ามกับกับอินพุท



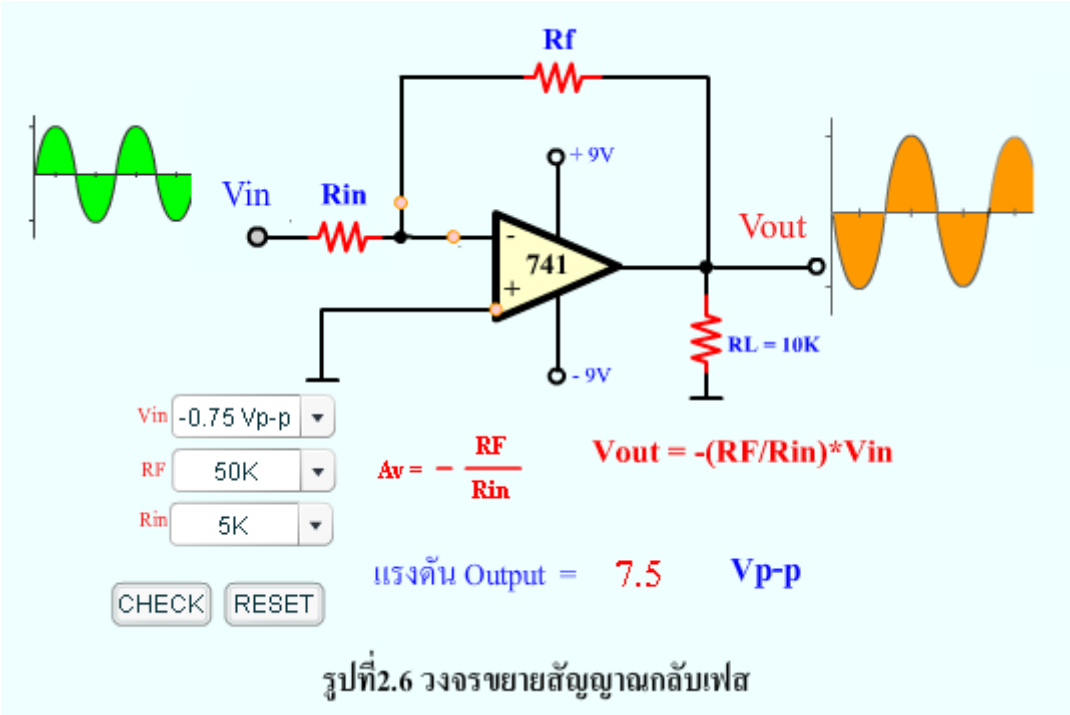
รูปที่ 2.5a



2.6 วงจรขยายสัญญาณกลับเฟส

โดยทั่วไปวงจรขยายจะหมายถึงวงจรที่เปลี่ยนสัญญาณอินพุทน้อยๆ มาเป็นสัญญาณเอาท์พุทที่มีขนาดสูงกว่าเดิมซึ่งสัญญาณที่ว่าอาจเป็นได้ทั้งแรงดันหรือกระแส ในลักษณะเดียวกันวงจรขยาย ของออปแอมป์ก็คือวงจรที่มีอัตราการขยายแรงดันสูงมาก และยังมีลักษณะของการขยายเป็นเส้นตรง นั่นคือ อัตราส่วนระหว่างเอาท์พุทต่ออินพุทจะคงที่เสมอ (ในทางอุดมคติ) และนอกจากนี้เรายังสามารถควบคุมอัตราขยายของออปแอมป์ได้โดยใช้อุปกรณ์ภายนอกเพียงไม่กี่ตัวดังที่ได้อธิบายมาแล้ว

รูปที่ 2.6 แสดงวงจรขยายกลับเฟสแบบมาตรฐาน ซึ่งวิธีที่ใช้เป็นแบบลูปปิด เรียกว่า 'การป้อนกลับแบบลบ' โดยนำเอาท์พุทซึ่งกลับเฟสกับอินพุทมาป้อนที่จุดอินพุทอีกที ผลก็คือ วงจรภายในออปแอมป์จะพยายามปรับเอาท์พุทจนกระทั่งความต่างศักย์ระหว่างอินพุทมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ (แต่ต้องเข้าใจว่า แรงดันระหว่างขั้วอินพุทจะต้องไม่เท่ากับศูนย์พอดี มิฉะนั้นเอาท์พุทก็จะเท่ากับศูนย์โวลท์ด้วย กล่าวคือ ผลต่างระหว่าง Vin และบางส่วน Vout ที่ขั้วอินพุทลบมีค่าต่ำพอที่จะทำให้เกิดแรงดันเอาท์พุทได้พอดีเท่านั้น) จากสมการของอัตราขยายแรงดัน A V : Vout / Vin เราสามารถพิสูจน์ให้เห็นว่า ค่าขยายแรงดัน Av ของออปแอมป์เมื่อใช้ในโหมดของลูปปิด จะสามารถหาได้ด้วยสมการ AV = - (RF/Rin)



รูปที่2.6 วงจรขยายสัญญาณกลับเฟส

2.7 วงจรขยายสัญญาณไม่กลับเฟส

วงจรขยายไม่กลับเฟสหรือนันอินเวอร์ติ้งแอมป์ จะแตกต่างกับอินเวอร์ติ้งแอมป์ในแง่ของอัตราการขยายและเฟสของเอาท์พุท แต่อย่างไรก็ตามอัตราขยายแรงดันของวงจรนันอินเวอร์ติ้งก็ยังถูกควบคุมจากอุปกรณ์ภายนอกเช่นเดิม โดยเราจะวิเคราะห์วงจรเพื่อหาค่าขยายสำหรับวงจรชนิดนี้

รูปที่2.7 แรงดันอินพุทจะถูกป้อนเข้าที่ขั้วบวก (ในขณะที่สัญญาณอินพุทในวงจรชนิดอินเวอร์ติ้งจะถูกป้อนเข้าที่ขั้วลบ) และมีแรงดัน VA ซึ่งเกิดจากการแบ่งแรงดันของเอาท์พุทตกคร่อมตัวต้านทาน Rinจากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่ว่า แรงดันที่ขั้วอินพุทลบจะถูกบังคับให้มีขนาดเข้าใกล้แรงดันที่ขั้วอินพุทบวกเสมอจะได้ว่า Vin = VA ดังนั้น เราสามารถเขียนค่าขยายแรงดัน AV ได้เท่ากับ

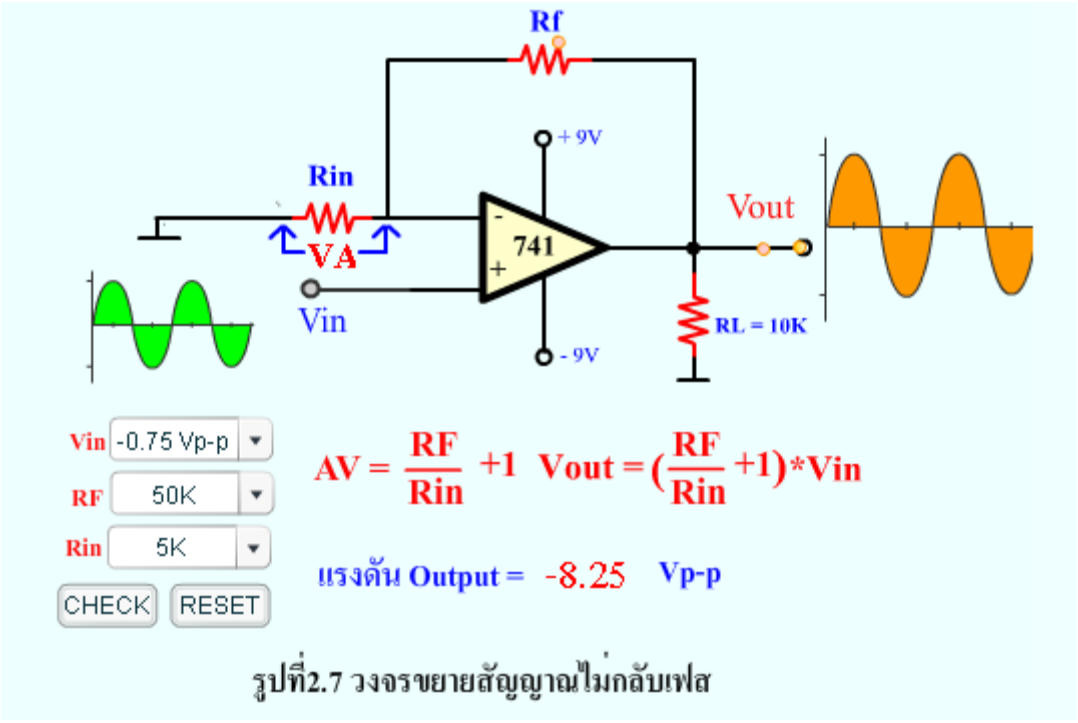
$$AV = \frac{Vout}{Vin}$$

และเนื่องจาก A V เกิดจากการแบ่งแรงดันของ V out จะได้

$$AV = -\frac{RF}{Rin} + 1$$

ดังนั้นสมการ Vout คือ

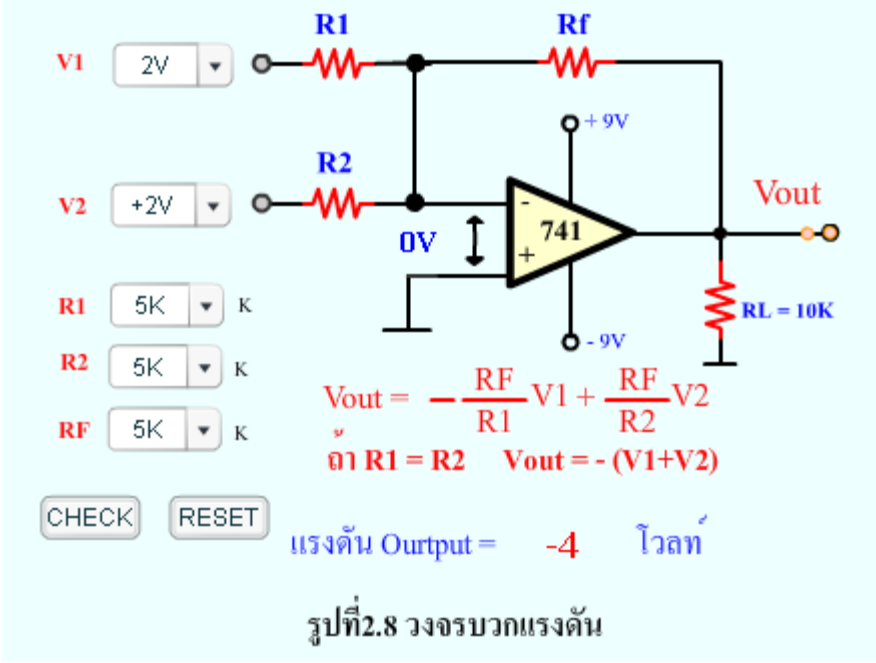
$$Vout = \left(\frac{RF}{Rin} + 1\right) * Vin$$



รูปที่2.7 วงจรขยายสัญญาณไม่กลับเฟส

2.8 วงจรบวกแรงดัน

วงจรบวกแรงดันนี้สามารถอธิบายโดยใช้หลักที่ว่า ผลรวมเชิงพีชคณิตของกระแส ณ จุดรวมกราวด์เสมือนจะทำให้เกิดแรงดันเอาท์พุทซึ่งมีขนาดเท่ากับผลคูณของ R Fกับผลรวมของกระแสเหล่านี้ ดังนั้น แรงดันเอาท์พุท จึงเปรียบเสมือนผลรวมเชิงพีชคณิตของแรงดันอินพุททั้งหมดด้วย และในกรณีที่ต้องการให้ผลรวมนี้ถูกขยายด้วยค่าหนึ่ง ก็สามารถทำได้โดยเปลี่ยนความต้านทาน ผลก็คือ อัตราขยายจะเพิ่มขึ้นเป็น 10 เท่า หรือหากต้องการรวมอินพุทหลายๆตัว โดยที่อินพุทแต่ละตัวถูกขยายด้วยอัตราขยายต่างกัน ก็สามารถใช้วงจรในรูป 2.8

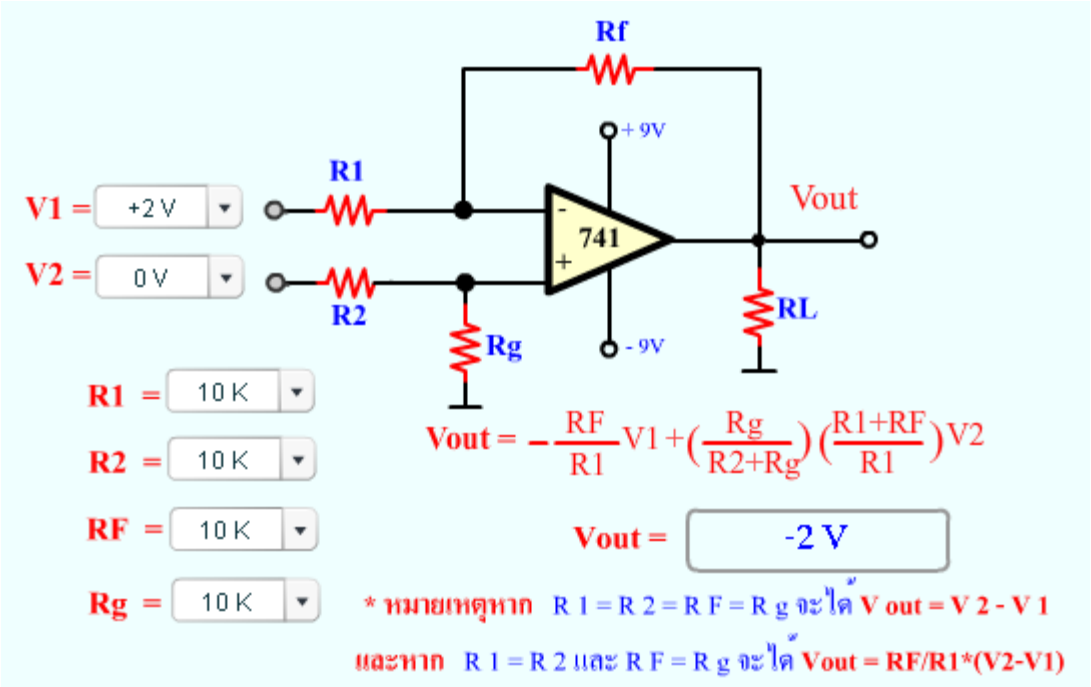


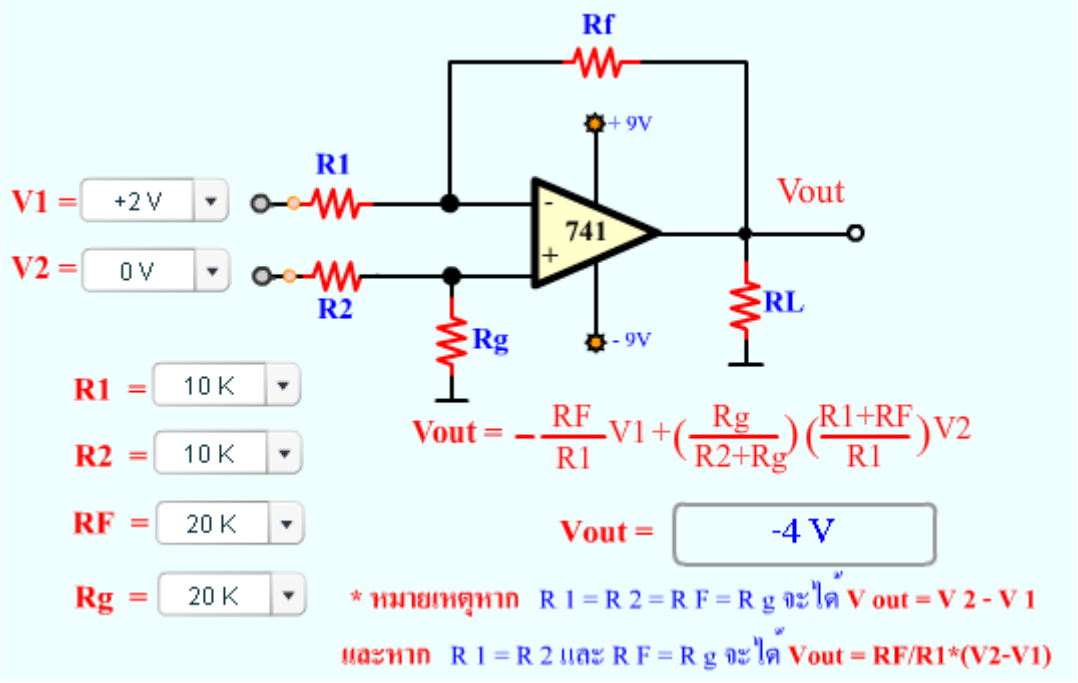
รูปที่2.8 วงจรบวกแรงดัน

2.9 วงจรลบแรงดัน

วงจรในรูป2.9 แสดงการใช้ออปแอมป์เป็นวงจรลบแรงดันโดยเป็นการรวมวงจรชนิดอินเวอร์ติ้งแอมป์ และนันอินเวอร์ติ้งแอมป์เข้าด้วยกันผลคือเกิดการหักล้างกันที่เอาท์พุทขึ้น (เนื่องจากเฟสของวงจรแต่ละชนิดจะตรงกันข้าม)และเราสามารถวิเคราะห์สมการสำหรับหา Vout ได้ คือ

$$\mathbf{Vout} = -\frac{RF}{R1}V1+\left(\frac{Rg}{R2+Rg}\right)\left(\frac{R1+RF}{R1}\right)V2$$



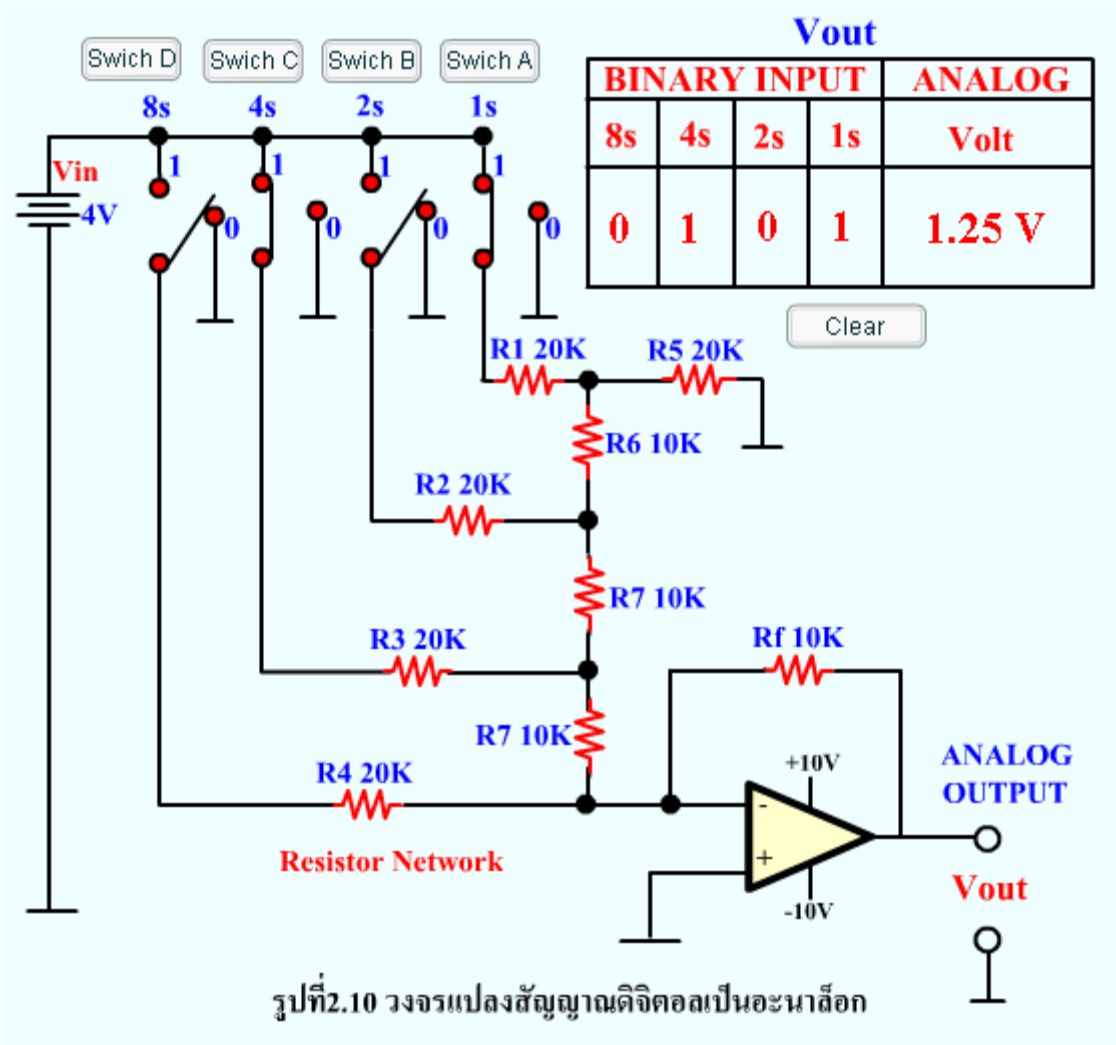


2.10 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอก (D/A Converter)

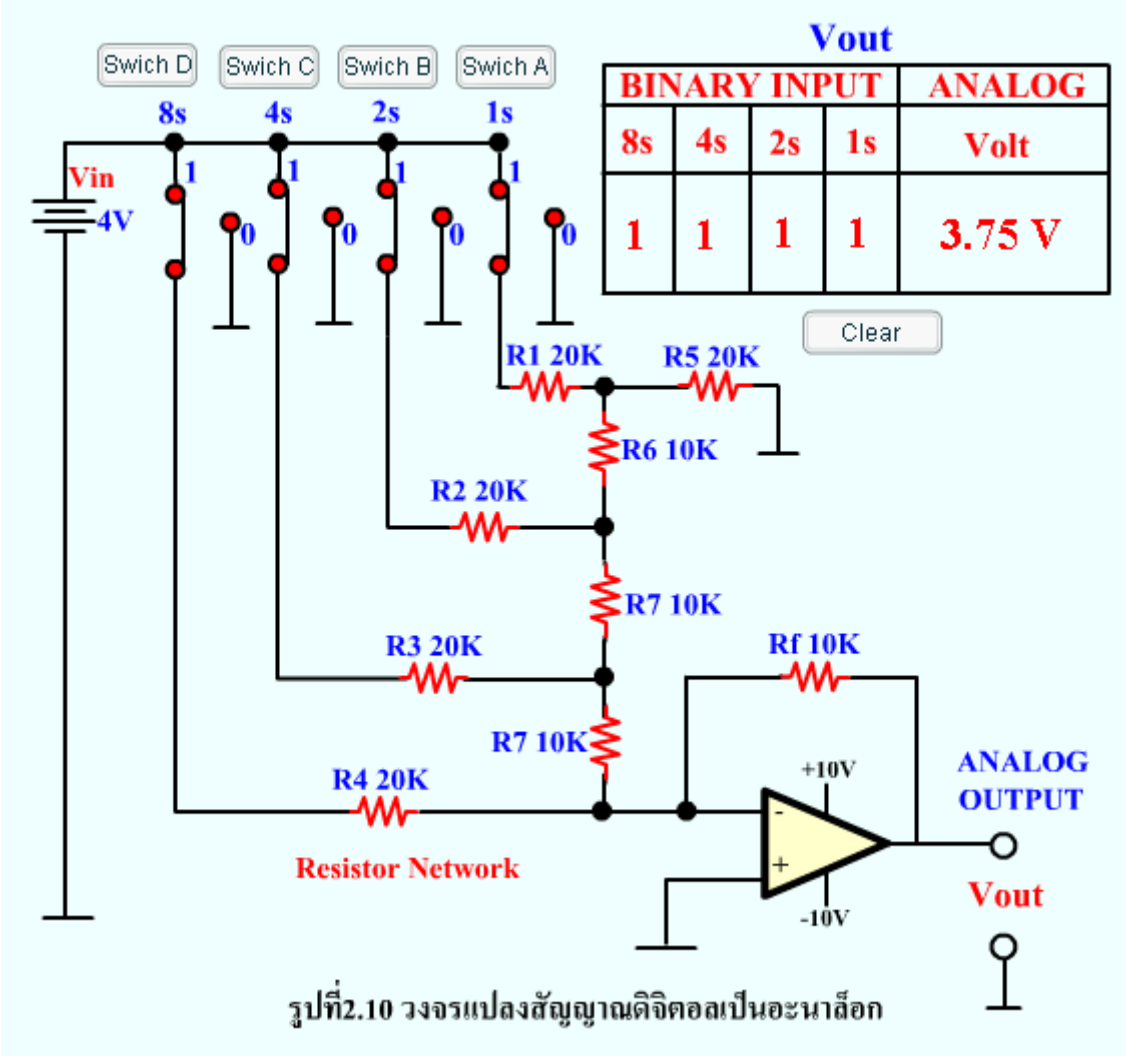
วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอก (D/A Converter)จะขอยกตัวอย่างวงจร R – 2R แลดเดอร์ ดี/เอ ซึ่งเป็นวงจร ดี/เอ 4หลัก โดยใช้วงจรรีซีสเตอร์แลดเดอร์ (Ladder network)ประกอบด้วยRและ2Rเป็นตัวจัดระดับแรงดันของเอาท์พุท ตามรหัสไบนารี ที่อยู่ในรีซีสเตอร์ ถ้าให้ระดับลอจิก “0” เท่ากับ 0 โวลท์ และระดับลอจิก “1” เท่ากับ โวลท์ ที่จ่ายให้วงจร เอาท์พุทจะให้ระดับแรงดันที่แตกต่างตามรหัสไบนารี 24 หรือ 16 ค่า แต่ละระดับจะต่างกัน เท่ากับ 1/16 โวลท์ รหัสไบนารี่ในรีซีสเตอร์จะเรียงหลักมากที่สุดถึงหลักน้อยที่สุด(ลำดับหลักจากซ้ายไปขวา)จากฟลิปฟลอปD,C,BและA ตามลำดับและโดยคุณสมบัติของวงจรแลดเดอร์ ระดับแรงดันที่เอาท์พุทจะเท่ากับผลรวมของแรงดันที่เกิดขึ้นจากรหัสไบนารีในหลักที่มีโลจิกเป็น “1” (หรือระดับแรงดันโวลท์ที่จ่ายให้วงจร) ซึ่งแต่ละหลักจะให้แรงดันที่เอาท์พุทในขณะที่มีลอจิกเป็น “1” เท่ากับ 1/2V , 1/4V, 1/8V และ 1/16V โวลท์เรียงลำดับจาก D ถึง A ตัวอย่างเช่น **สมมุติรีซีสเตอร์มีรหัสไบนารี่อยู่ที่เลข 5 (0101) ซึ่ง QD= 0 , QC= 1 , QB = 0 , และ QA = 1 จะได้แรงดัน ที่เอาท์พุทเท่ากับ (0*1/2 V + 1 * 1/4V + 0 *1/8V + 1 *1/16 V) หรือ 5/16 V จะได้0.3125*4 = 1.25Vเป็นต้นหรือถ้ามีรหัสไบนารี่อยู่ที่เลข 15 (1111) ซึ่งเป็นรหัสสูงสุดที่จะมีได้ในวงจรนี้ ก็จะได้แรงดันที่เอาท์พุท เท่ากับ 15/16 V จะได้0.9375 *4 = 3.75 Vเป็นต้น** สามารถทดสอบได้จากรูป2.10

การทำงานของวงจรดี/เอ แบบรีซีสเตอร์แลดเดอร์(R-2R)แสดงดังรูปที่2.10 ความต้านทานที่ใช้ในวงจรมีสองค่าคือ R1,R2,R3,R4และR5เท่ากับ20Kและความต้านทานR6,R7,R8,และRFเท่ากับ10K ค่าแรงดันเอาท์พุทสำหรับรหัสไบนารี่อินพุทต่างๆสามารถทดสอบได้ ระดับแรงดันเมื่อเป็นลอจิก “1” เท่ากับ 4 โวลท์ และระดับแรงดันเมื่อเป็นลอจิก “0” เท่ากับ 0 โวลท์ จากรูป2.10

หัวใจสำคัญของวงจร R – 2R แลดเดอร์ ดี/ เอ คือ วงจรความต้านทาน R – 2R แลดเดอร์ ซึ่งจะมีจำนวนตอน (Stage) เท่ากับจำนวนบิทของรหัสไบนารี่อินพุทดังนั้นเราจึงสามารถขยายจำนวนบิทของรหัสไบนารี่ บิทที่ 5, 6, 7 ฯลฯ โดยการเพิ่มจำนวนตอนของวงจรแลดเดอร์ไปตามจำนวนบิทของรหัสไบนารี่ได้



รูปที่2.10 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาล็อก

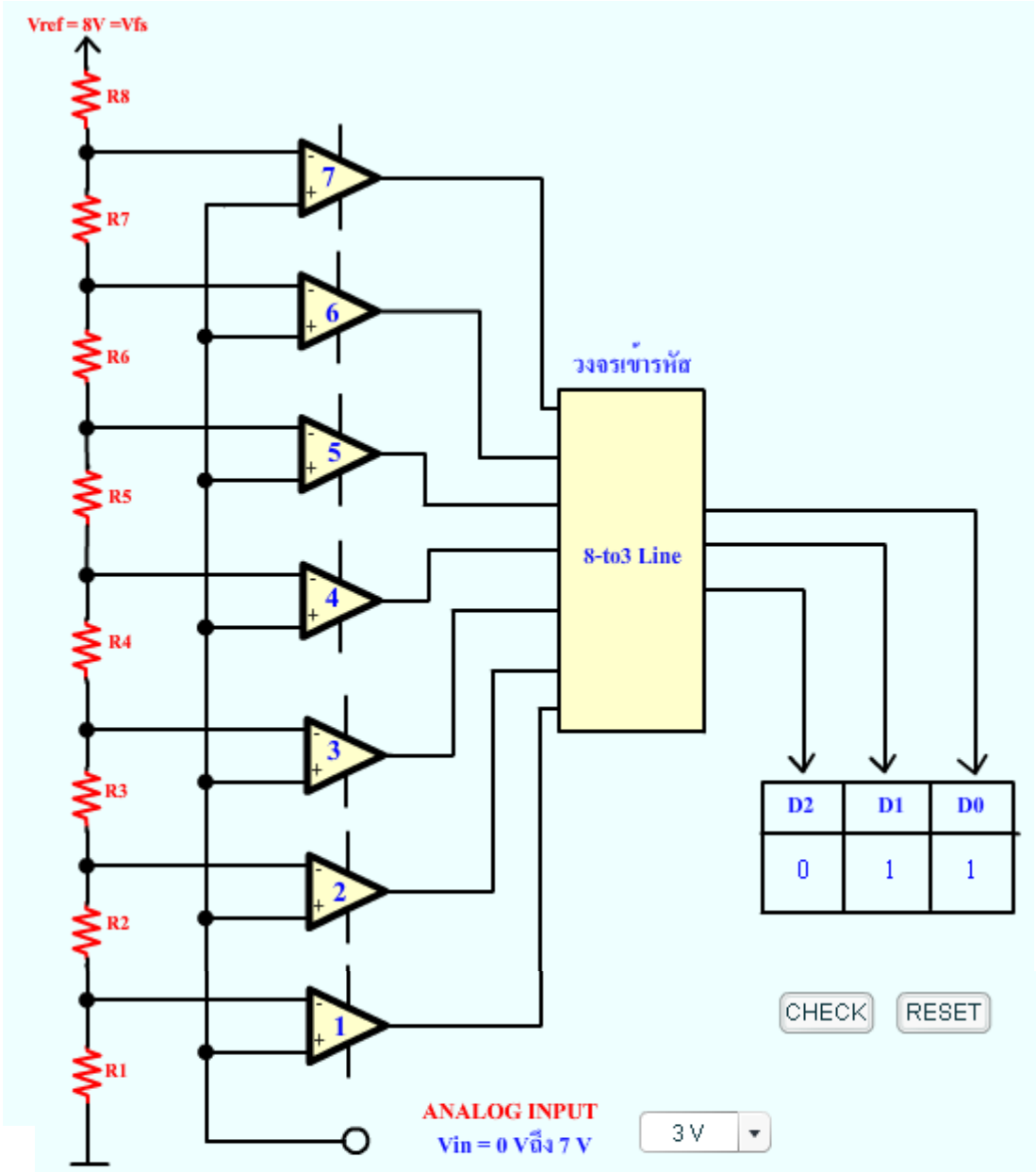


รูปที่2.10 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาล็อก

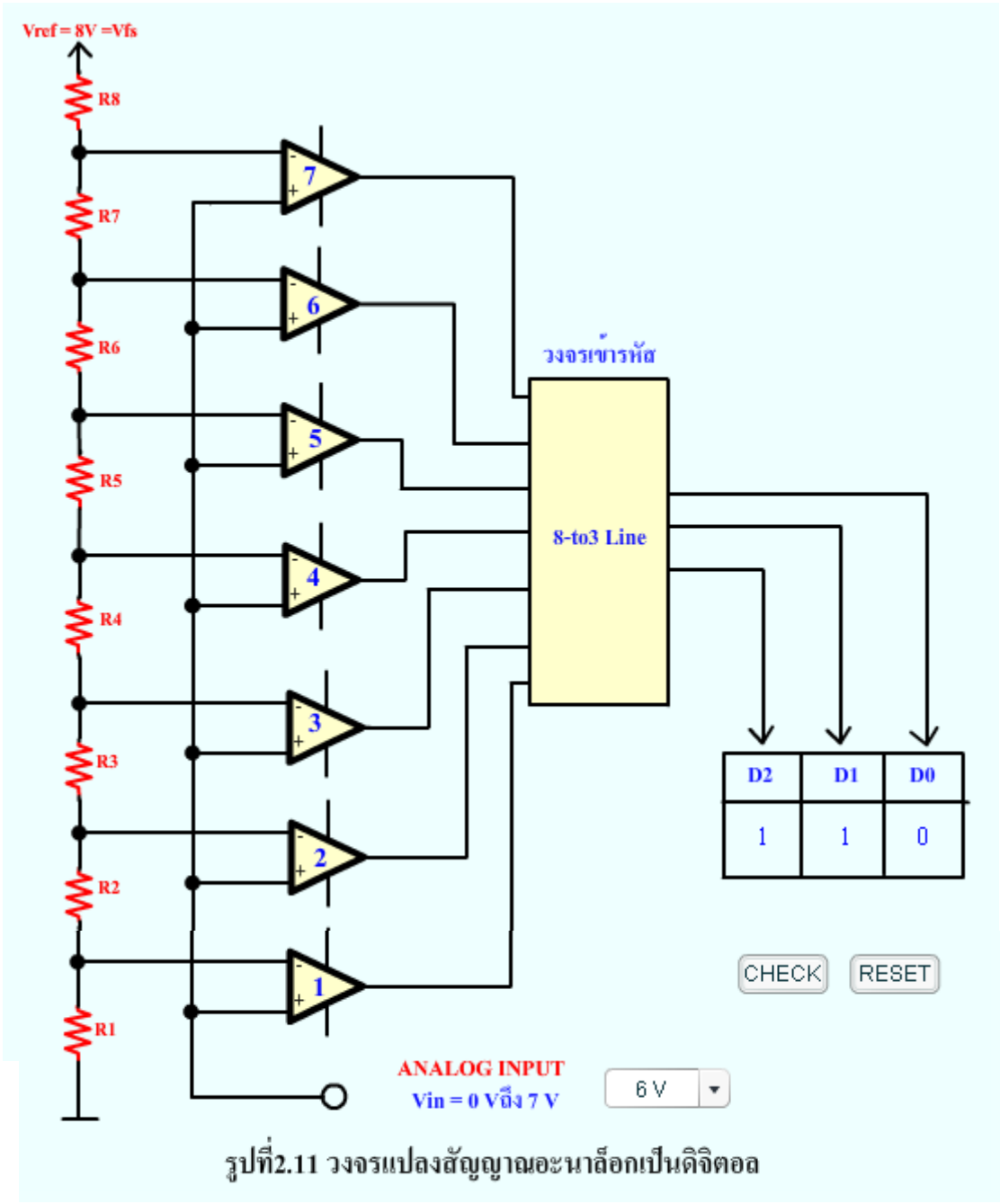
2.11 วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล(A/D Converter)

ในหัวข้อนี้จะขอยกตัวอย่างวงจรที่มีช่วงเวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณรวดเร็วที่สุดในบรรดาวงจรแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิตอลแบบต่างๆ ก็คือ วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอลแบบแฟลช(Flash ADC)หรือแบบขนาน(Parallel ADC)ซึ่งมีผังการทำงานดังรูป2.11 ขาอินพุทบวกของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน(comparator) ทุกตัวทำหน้าที่เป็นขารับแรงดันอะนาล็อก Vin ของวงจรเพื่อเปรียบเทียบกับค่าของแรงดันที่ได้จากการแบ่งแรงดันในแต่ละโหนด จากนั้นเอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะป้อนเข้าที่วงจรเข้ารหัส(8-to-3 Line encode)เพื่อนำสัญญาณดิจิตอลเอาท์พุท 3 บิตที่ได้มีผลเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าแรงดันอะนาล็อกอินพุทที่ป้อนให้กับวงจรนั้นเอง

สามารถที่จะทดสอบวงจรจากรูป2.11 ตัวอย่างเช่นเมื่อ Vin = 5V แรงดันเอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบแรงดันตั้งแต่ตัวที่1 จนถึงตัวที่5 จะมีสภาวะเป็น”High” หรือมีลอจิกเท่ากับ”1”ทั้งหมด ในขณะที่แรงดันเอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบแรงดันตัวที่6 และตัวที่7ที่สภาวะเป็น”Low”หรือมีลอจิก”0” และสัญญาณดิจิตอลเอาท์พุทของวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอลในกรณีนี้จะมีค่าเป็น 101



รูปที่2.11 วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล



รูปที่2.11 วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล

เนื้อหาวิชาเรียนบทที่ 3

3.1 วงจรอินทิเกรเตอร์

3.2 วงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์

3.3 วงจรกรองความถี่ต่ำ

3.4 วงจรกรองความถี่สูง

3.5 วงจรกรองความถี่เป็นช่วง

3.6 วงจรนอท์ชฟิลเตอร์

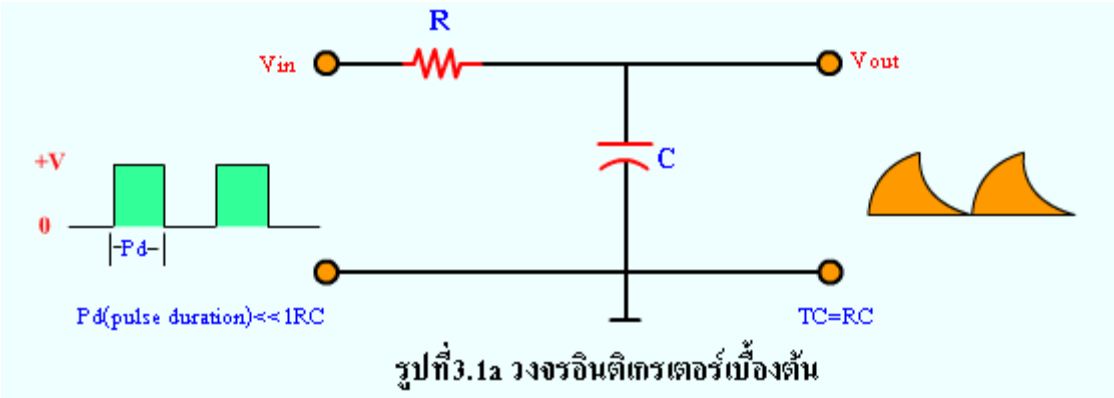
3.7 วงจรชมิททริกเกอร์

3.1 วงจรอินติเกเตอร์

หากผู้อ่านเคยศึกษาวิชาแคลคูลัสมาก่อน จะสามารถเข้าใจหลักการทำงานของวงจรนี้ได้ดีขึ้น เนื่องจากว่าวงจรอินทิเกรเตอร์ ก็คือวงจรที่สามารถทำการอินทิเกรตสัญญาณที่ป้อน ณ ขั้วอินพุทหรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ก็คือ วงจรนี้จะสะสมสัญญาณที่ป้อนเข้ามาจากขั้วอินพุทเรื่อยๆ ภายในช่วงเวลาหนึ่งและแสดงผลของการสะสมนี้ออกทางเอาท์พุท

รูปที่ 3.1a แสดงวงจรอินทิเกรเตอร์พื้นฐาน ซึ่งใช้อุปกรณ์พาสซีฟ (ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ) แต่ก่อนที่จะวิเคราะห์วงจรนี้ ควรทราบคุณสมบัติบางอย่างของตัวเก็บประจุเสียก่อน คือ

1. แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใดได้ และแรงดันเริ่ม ต้นมักจะให้มีค่าเท่ากับศูนย์
2. ขณะที่ตัวเก็บประจุกำลังเก็บ (ชาร์จ) ประจุอยู่นั้น กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุจะค่อยๆ ลดลง



รูปที่3.1a วงจรอินติเกรเตอร์เบื้องต้น

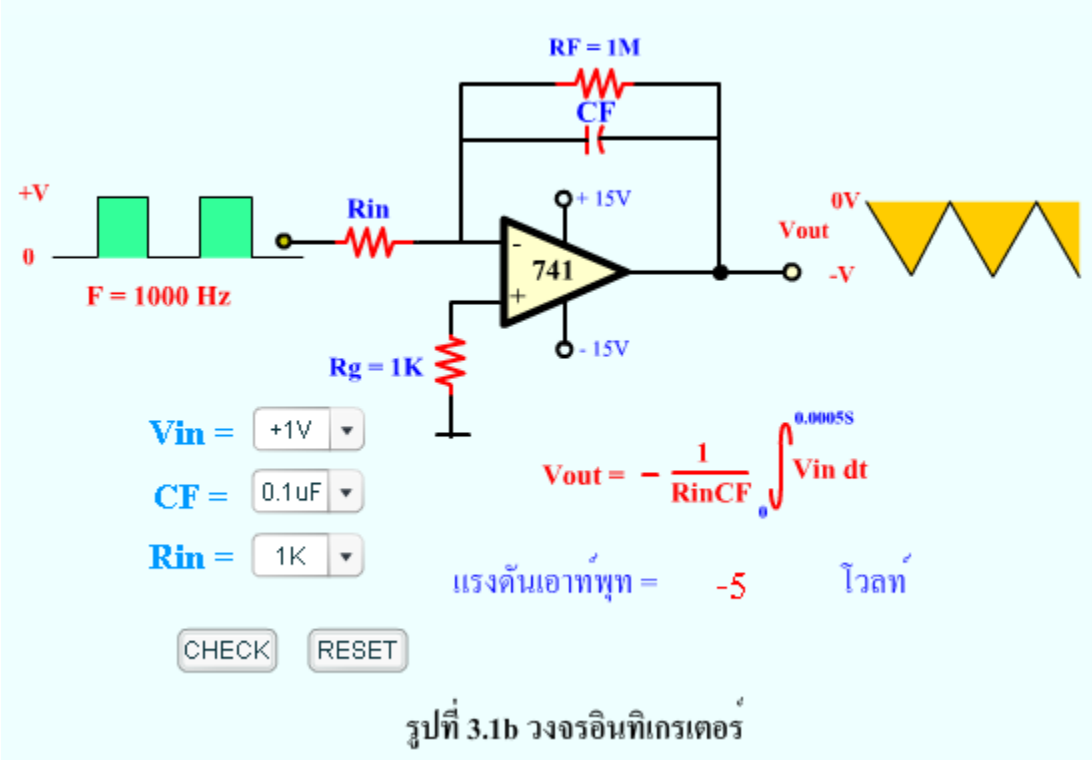
เราสามารถศึกษาการทำงานของวงจรในรูปที่ 3.1a ให้ง่ายขึ้นจากข้อกำหนดแรก เมื่อเริ่มต้นตัวเก็บประจุ C จะมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นเมื่อเราวัดเอาท์พุทคร่อมตัวเก็บประจุ แรงดันที่ได้จึงมีค่าเท่ากับศูนย์ หลังจากนั้นเมื่อตัวเก็บประจุค่อยๆ ถูกชาร์จขึ้น แรงดันคร่อม C จึงมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ (ความเร็วในการชาร์จประจุจะขึ้นกับค่าคงตัวของเวลา มีค่าเท่ากับผลคูณของ R และ C) ซึ่งเป็นผลให้กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ C มีค่าลดลง นั่นคือ แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานจะต่ำลง และทำให้แรงดันเอาท์พุทมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยมากอัตราการเพิ่มจะเป็นแบบเอ็กโปเนนเชียล จนกระทั่งเมื่อแรงดันอินพุทตกลงเหลือศูนย์โวลท์ ตัวเก็บประจุก็คายประจุผ่านตัวต้านทาน R ลงกราวด์ (ในขณะนั้นตัวเก็บประจุจะทำตัวเสมือนเป็นแหล่งจ่ายไฟเอง) จากลักษณะของวงจรพาสซีฟที่ได้แสดงมานี้ จะเห็นว่าแรงดันที่เอาท์พุทจะไม่มีทางสูงกว่าแรงดันอินพุทได้เลย นอกจากนี้ต้องระวังด้วยว่า

วงจรนี้จะทำงานได้ดีเมื่อความกว้างของสัญญาณพัลซ์มีค่าต่ำกว่าค่าคงตัวเวลา RC มากเท่านั้น (RC คือผลคูณของความต้านทานและคาปาซิแตนซ์)

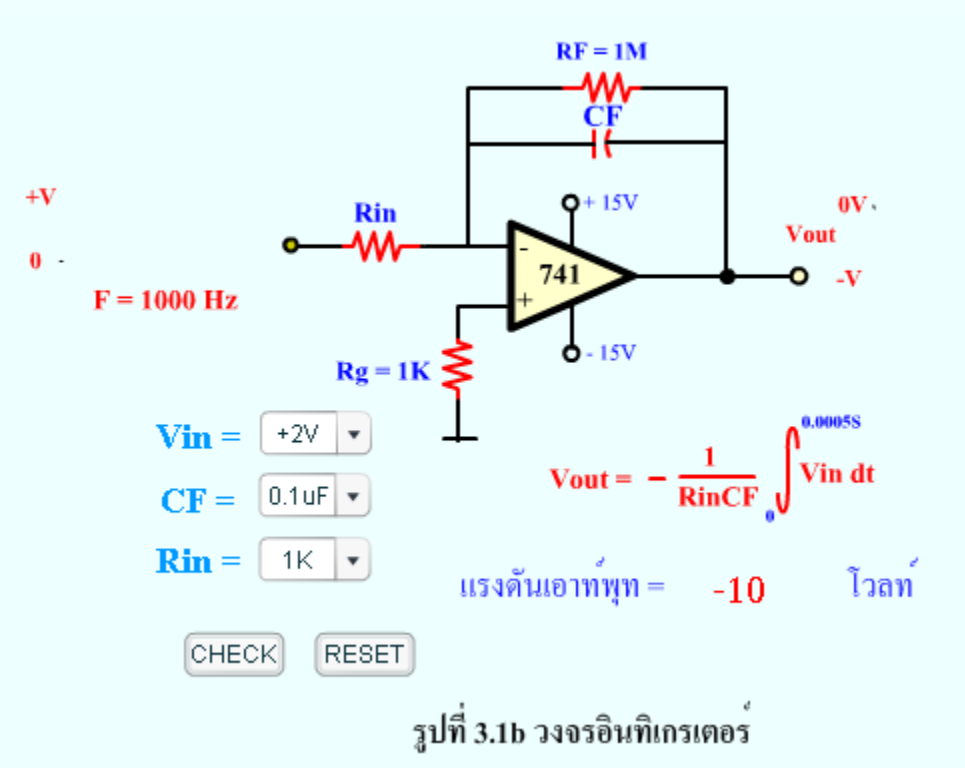
รูปที่ 3.1b มีการต่อตัวต้านทานป้อนกลับขนานกับตัวเก็บประจุจะทำให้วงจรมีเสถียรภาพมากขึ้น และจะมีค่าของอัตราขยายตั้งแต่ 10 ถึง 100 โดยมีขนาดของแรงดันเอาท์พุทตามสมการ

$$Vout = -\frac{1}{RinCF}\int_0^t Vin\ dt$$

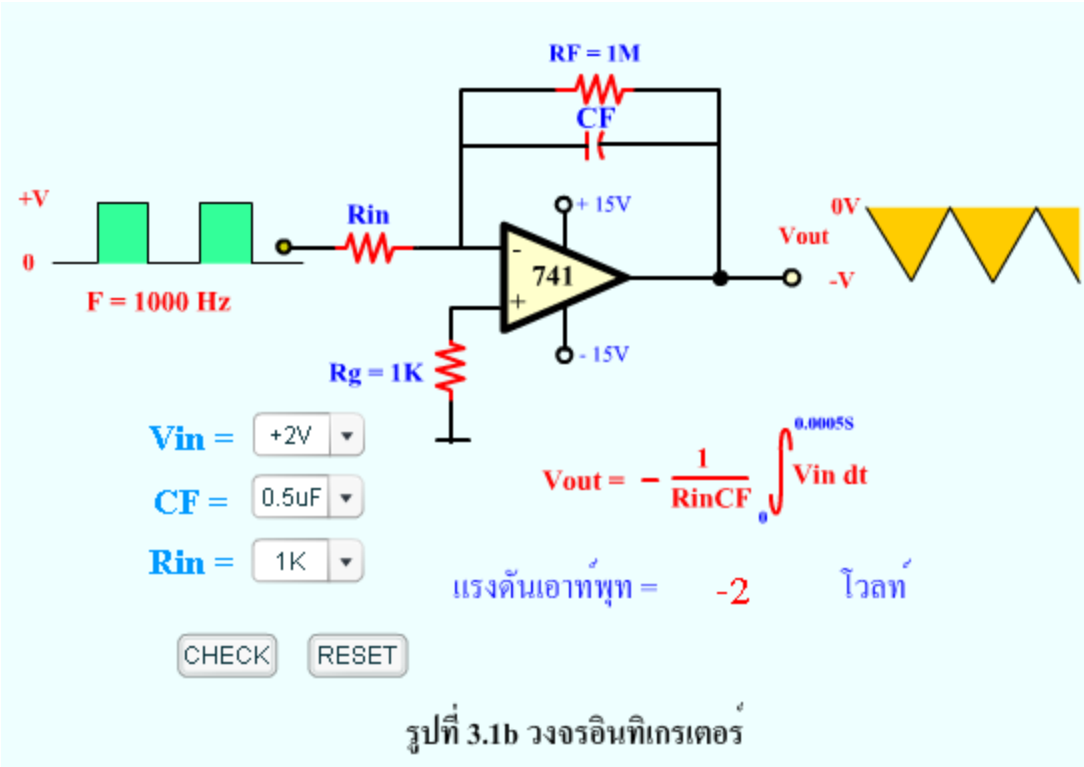
โดยเครื่องหมาย $\int_0^t$ แสดงการอินทิเกรต และ dt คือช่วงเวลาในการอินทิเกรต ตัวอย่างเช่น ถ้าป้อนคลื่นสี่เหลี่ยมขนาด 1 โวลท์ ความถี่ 1 กิโลเฮิรท์ซ ให้แก่วงจร ดังรูปที่ 3.1b จะได้ว่า dt เป็นความกว้างหนึ่งช่องของสัญญาณพัลซ์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0005 วินาที (นั่นคือเราต้องการสะสมแรงดันในช่วงที่ V in เป็นบวกเท่านั้น)



รูปที่ 3.1b วงจรอินทิเกรเตอร์



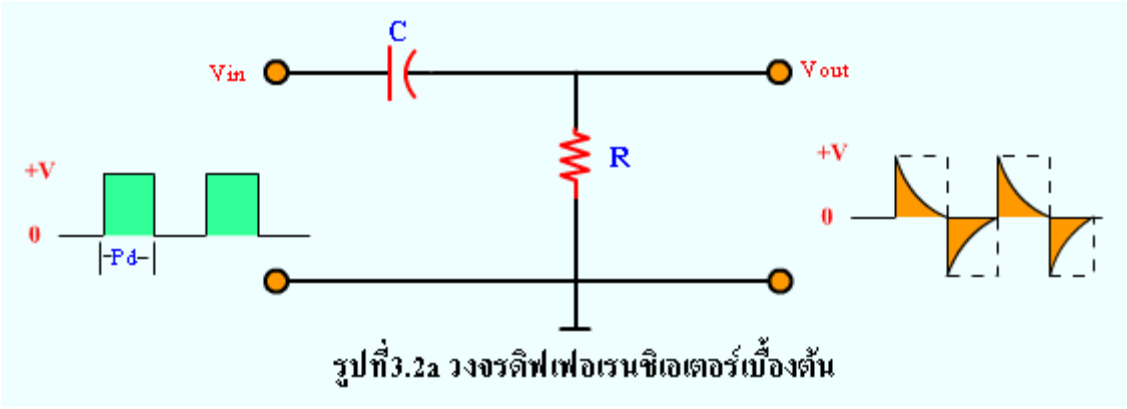
รูปที่ 3.1b วงจรอินทิเกรเตอร์



รูปที่ 3.1b วงจรอินทิเกรเตอร์

3.2 วงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์

วงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์เป็นวงจรที่จะแสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของอินพุทอิมพีแดนซ์เทียบกับเวลา หรือ ค่าดิฟเฟอร์เรนเชียล (dv/dt) ในเรื่องแคลคูลัสนั่นเอง โดยมีลักษณะของวงจรดังรูป 3.2a

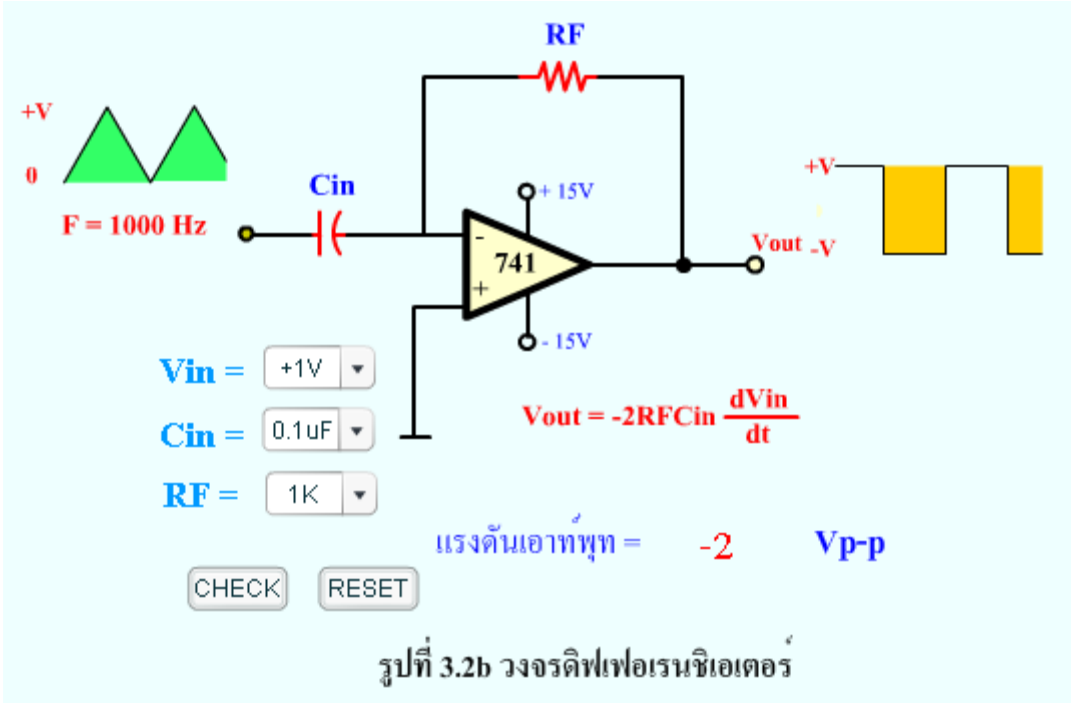


รูปที่3.2a วงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์เบื้องต้น

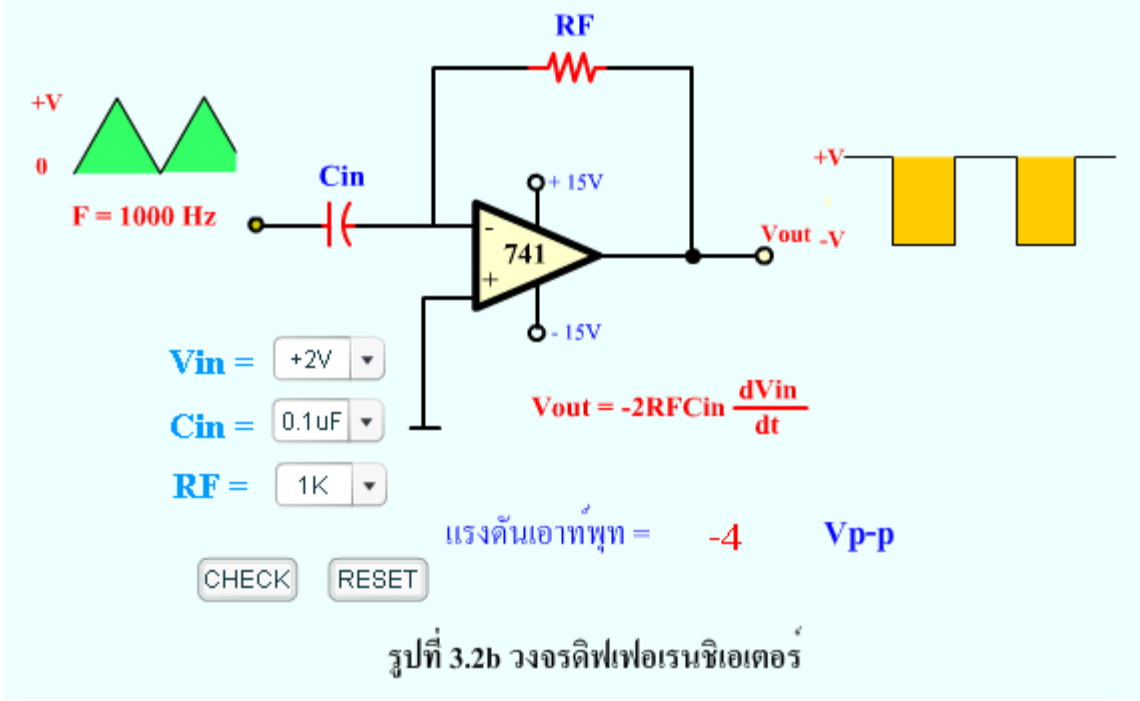
วงจรพื้นฐานแบบ RC ของวงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ จะคล้ายวงจรอินทิเกรเตอร์ โดยสลับตำแหน่งของ R และ C เท่านั้น และยังมีหลักการค่อนข้างคล้ายกันอีกด้วย ซึ่งอธิบายได้ดังนี้คือ ในขณะเริ่มต้น แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่าเป็นศูนย์ ทำให้แรงดันอินพุททั้งหมดตกคร่อมตัวต้านทาน R เมื่อตัวเก็บประจุถูกชาร์จ กระแสไหลผ่านตัวต้านทานจะค่อยๆลดลง เป็นผลให้ระดับของเอาท์พุทลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลตามรูป และเมื่อแรงดันอินพุทเป็นศูนย์ ตัวเก็บประจุจะคายประจุผ่านกราวด์แล้วจึงเข้าสู่ตัวต้านทาน (ขณะนั้นขั้วอินพุททั้งสองเสมือนถูกลัดวงจร) ฉะนั้น กระแสจะไหลกลับทิศและทำให้แรงดันเอาท์พุทมีค่าเป็นลบ แล้วจึงค่อยๆเพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดของกระแสจะลดลงเรื่อยๆเช่นเดียวกับวงจรพาสซีฟทั่วไป แรงดันเอาท์พุทจะต่ำกว่าอินพุทเสมอ

รูปที่ 3.2b มีคาบ (1/ความถี่) เท่ากับ 0.0005 วินาที เราจะได้แรงดันเอาท์พุทมีค่าดังนี้

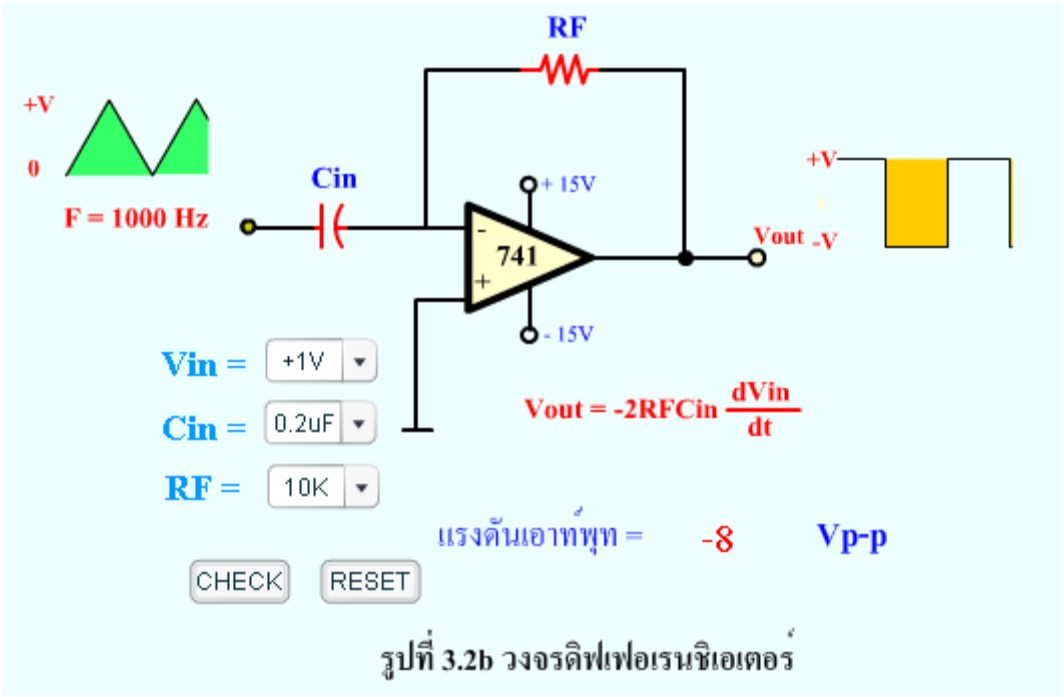
$$Vout = -2RFCin \frac{dVin}{dt}$$



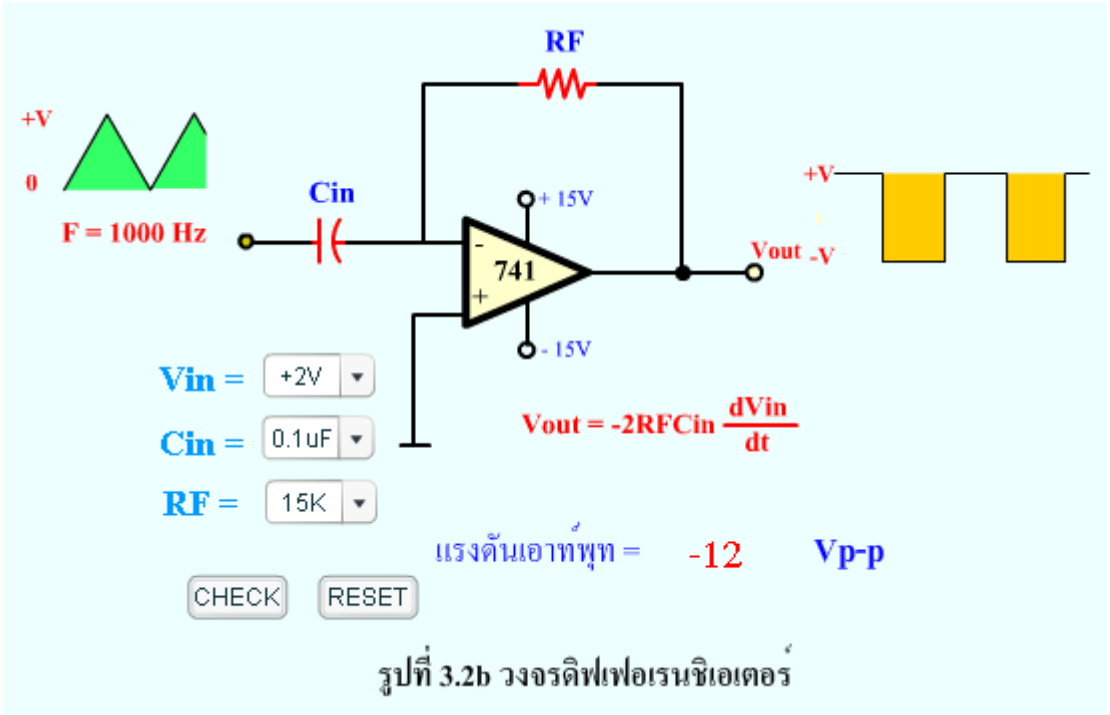
รูปที่ 3.2b วงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์



รูปที่ 3.2b วงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์



รูปที่ 3.2b วงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์

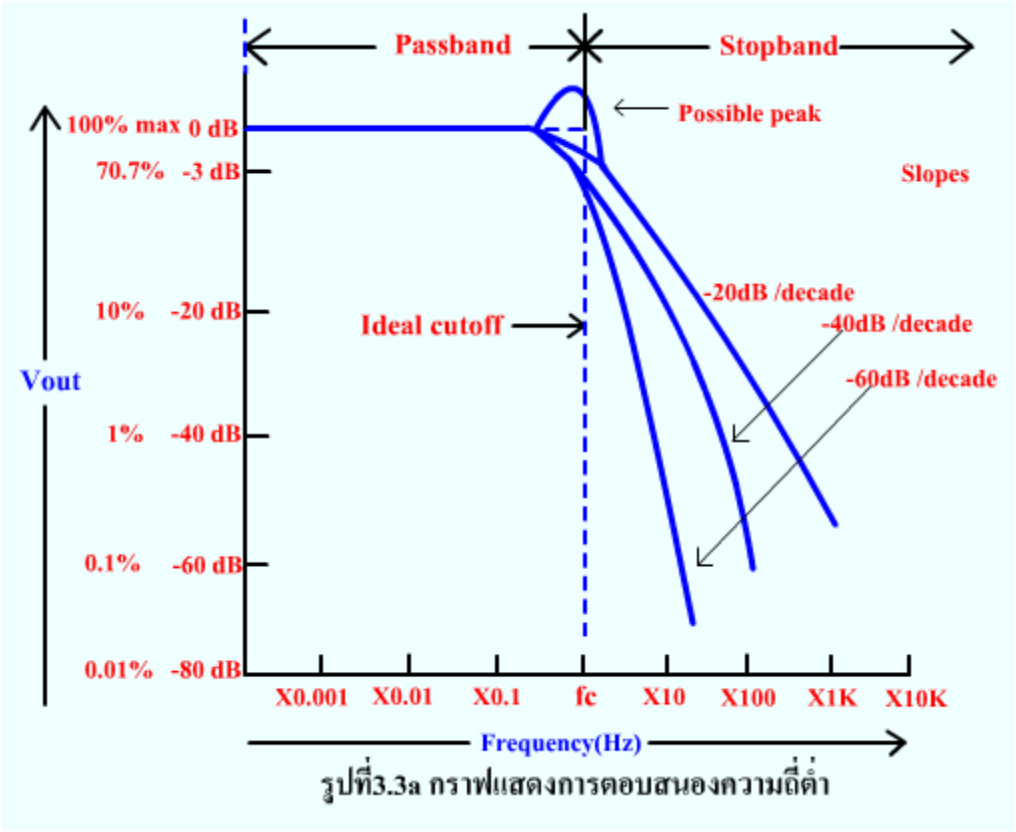


รูปที่ 3.2b วงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์

3.3 วงจรกรองความถี่ต่ำ

ในการใช้งานวงจรอิเล็กทรอนิกส์บางครั้ง เราอาจต้องการให้สัญญาณบางความถี่ผ่านเข้ามาเท่านั้น โดยที่สัญญาณซึ่งมีความถี่นอกเหนือจากนี้จะถูกกำจัดออกไป และนี้คือประโยชน์ของวงจรกรองสัญญาณความถี่ชนิดต่างๆ โดยเริ่มศึกษาวงจรกรองความถี่ต่ำเป็นชนิดแรก ในอุดมคติ วงจรกรองความถี่ต่ำจะกันไม่ให้สัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าความถี่คัทออฟ (fc) ผ่านเข้าไปในวงจรเลยหากสัญญาณมีความถี่สูงกว่า fcเพียงเล็กน้อย แต่ในทางปฏิบัติ ลักษณะของความถี่สูงที่ถูกกันออกไปนั้นจะไม่เป็นเช่นนั้น แต่จะค่อยๆถูกลดอัตราขยายลงเรื่อยๆจุดที่ความถี่มีค่าเท่ากับ fc ถูกเรียกได้หลายชื่อ เช่น ความถี่ 0.707 (ขนาดของ Vout ลดลงเหลือเพียง 70.7 % เทียบกับ Vin สูงสุด) ความถี่ –3dB (อัตราขยายของแรงดันเอาท์พุทลดลง 3 dB) หรือความถี่หักมุม เป็นต้น กล่าวโดยสรุปแล้ว วงจรนี้จะลดทอนขนาดของสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า fc และเรียกช่วงของสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่า fcว่า ช่วงที่ผ่านได้ (PASS BAND) และช่วงที่มีความถี่สูงกว่า fc ว่าช่วงที่ถูกกั้น (STOP BAND)

จากกราฟ แสดงการตอบสนองต่อความถี่ในรูป 3.3a จะพบว่า เมื่อสัญญาณมีความถี่สูงกว่าความถี่คัทออฟแล้ว สัญญาณบางเส้นอาจถูกลดทอนด้วยอัตราที่น้อยกว่าสัญญาณเส้นอื่น เช่น สัญญาณที่มีความชัน –20dB/decade (อัตราขยายลดลง 20dB ต่อความถี่เพิ่มขึ้น 10 เท่า) จะมีความชันน้อยกว่าสัญญาณที่มีค่า –60dB/decade คุณสมบัตินี้เกิดจากการออกแบบวงจรกรองความถี่และเป็นที่แน่นอนว่า ยิ่งค่าความชันนี้มีขนาดลบมากเท่าใด วงจรก็จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับวงจรในอุดมคติมากยิ่งขึ้น

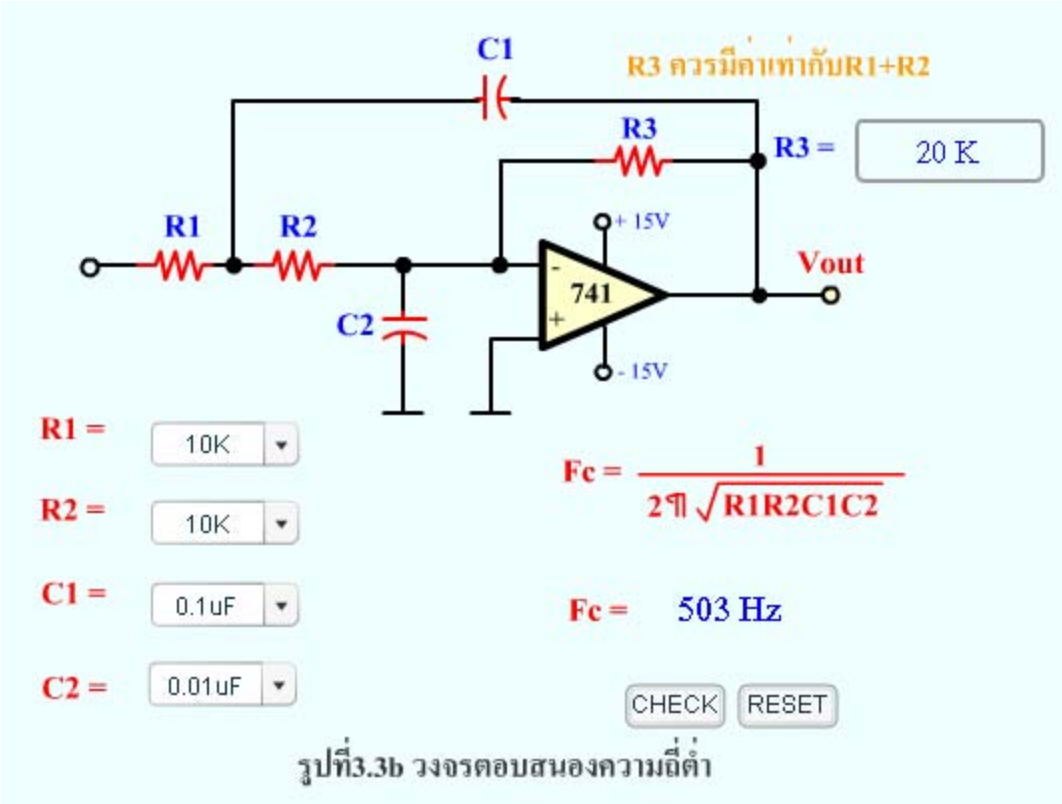


รูปที่3.3a กราฟแสดงการตอบสนองความถี่ต่ำ

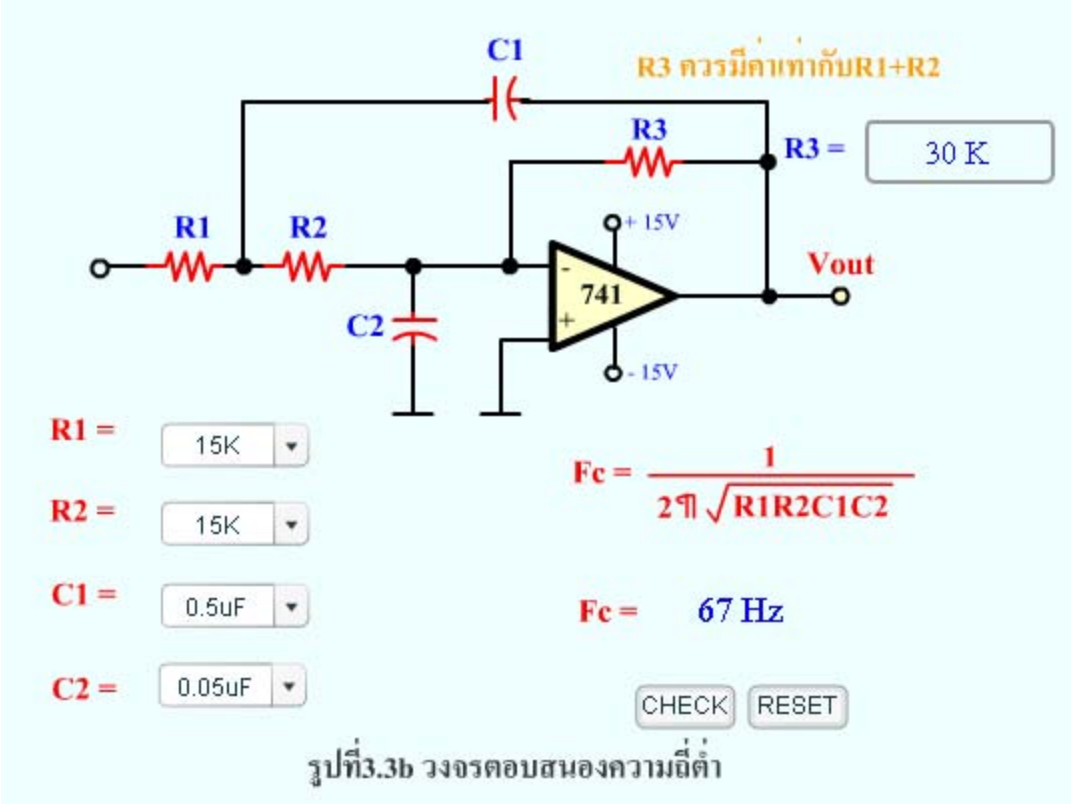
รูป 3.3b แสดงวงจรที่ถูกปรับปรุงให้มีความชันถึง –40dB/decade โดยมีตัวเก็บประจุทำหน้าที่เช่นเดิม แต่เพิ่มตัวเก็บประจุC1ในการป้อนสัญญาณกลับมาหักล้างกับสัญญาณอินพุทที่ความถี่สูง (เนื่องจาก X C1จะมีค่าลดลง) และเราสามารถหาความถี่คัทออฟจากสมการได้ดังนี้

$$Fc = \frac{1}{2\pi\sqrt{R1R2C1C2}}$$

สมการนี้จะให้ผลแม่นยำมากถ้าความต้านทาน R 1และ R 2ที่ใช้มีขนาดเท่ากัน และตัวเก็บประจุ C1มีคาปาซิแตนซ์สูงกว่า C2 R3ควรมีค่าเท่ากับ R1+ R2 เพื่อสัญญาณเอาท์พุทจะได้มีลักษณะใกล้เคียงกับอินพุทที่สุด และยังช่วยในการปรับออฟเซ็ทให้เกิดสมดุลย์อีกด้วย



รูปที่3.3b วงจรตอบสนองความถี่ต่ำ



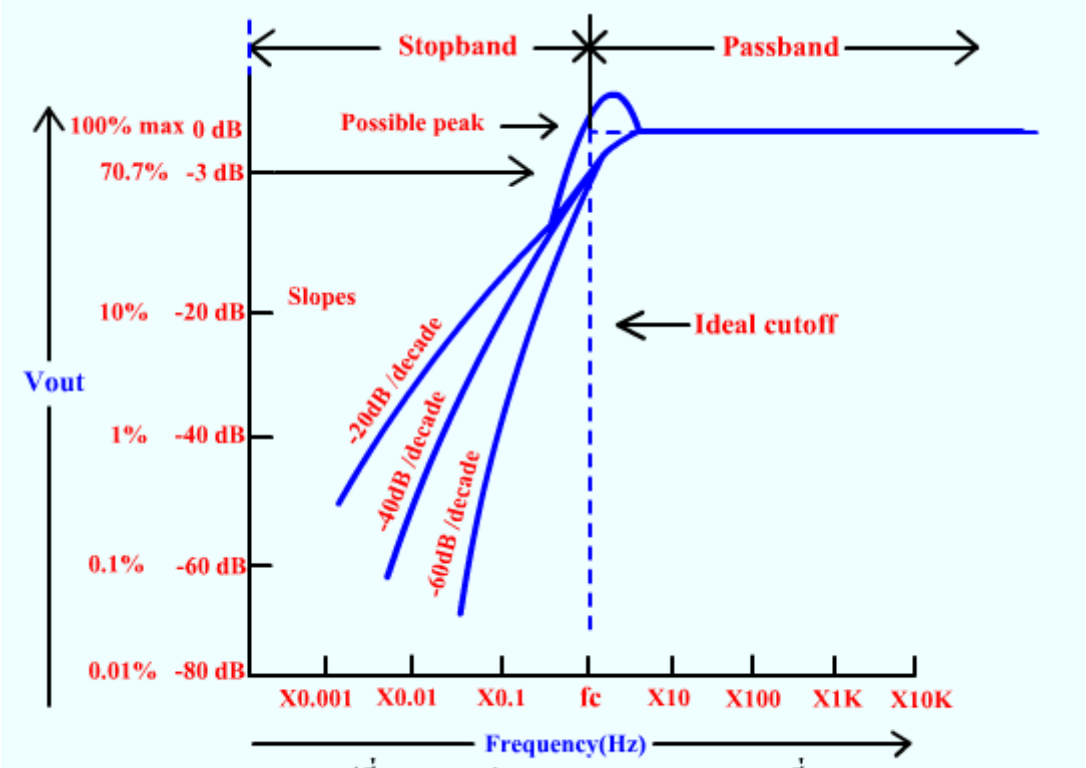
รูปที่3.3b วงจรตอบสนองความถี่ต่ำ

3.4 วงจรกรองความถี่สูง

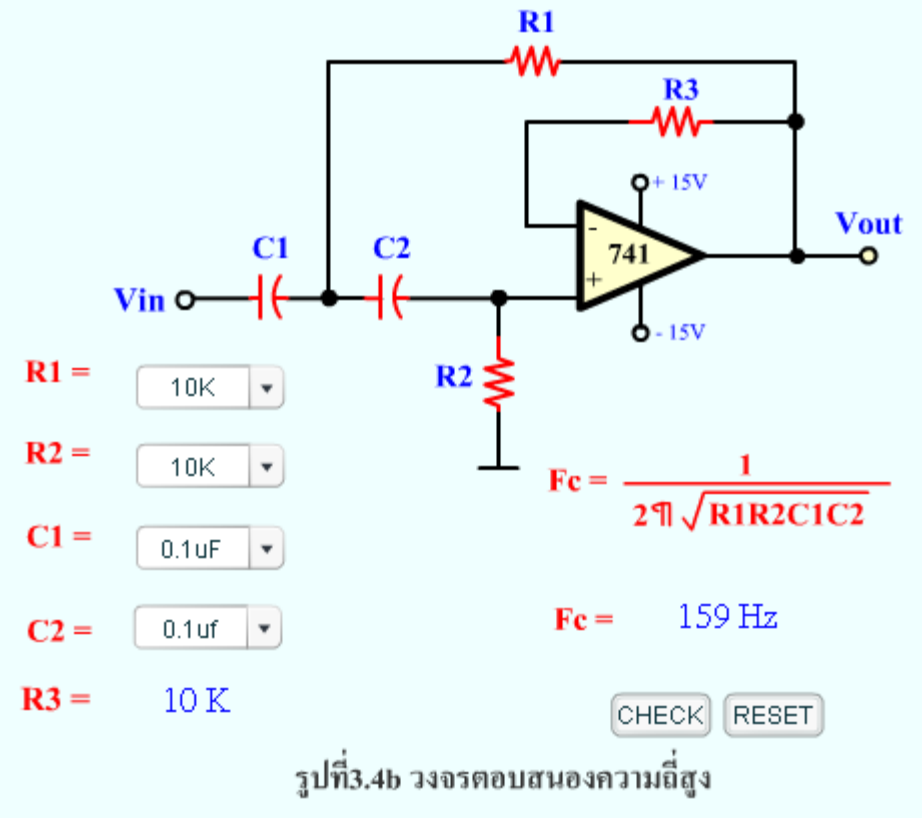
หลังจากที่ได้ศึกษาวงจรกรองความถี่ต่ำแล้ว เราสามารถเข้าใจหลักการทำงานของวงจรกรองความถี่สูงได้ง่าย นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถนำสมการต่างๆของวงจรกรองความถี่ต่ำ มาใช้ในวงจรกรองความถี่สูงได้ด้วย จากชื่อของวงจรชนิดนี้เราสามารถบอกได้ทันทีว่า วงจรจะยอมให้สัญญาณความถี่สูงผ่านเข้าสู่เอาท์พุทได้ แต่จะกันไม่ให้สัญญาณความถี่ต่ำเล็ดลอดออกไป แต่จากคุณสมบัติที่ไม่เหมือนในอุดมคติ วงจรนี้จึงมีลักษณะ เช่นเดียวกับวงจรกรองความถี่ต่ำ นั่นคือ เกิดความถี่คัทออฟ Fc ขึ้น และอัตราการขยายค่อยๆ ลดลง คือไม่ตกลงในแนวดิ่งเลยทีเดียวดังรูป 3.4a

$$Fc = \frac{1}{2\P\sqrt{R1R2C1C2}}$$

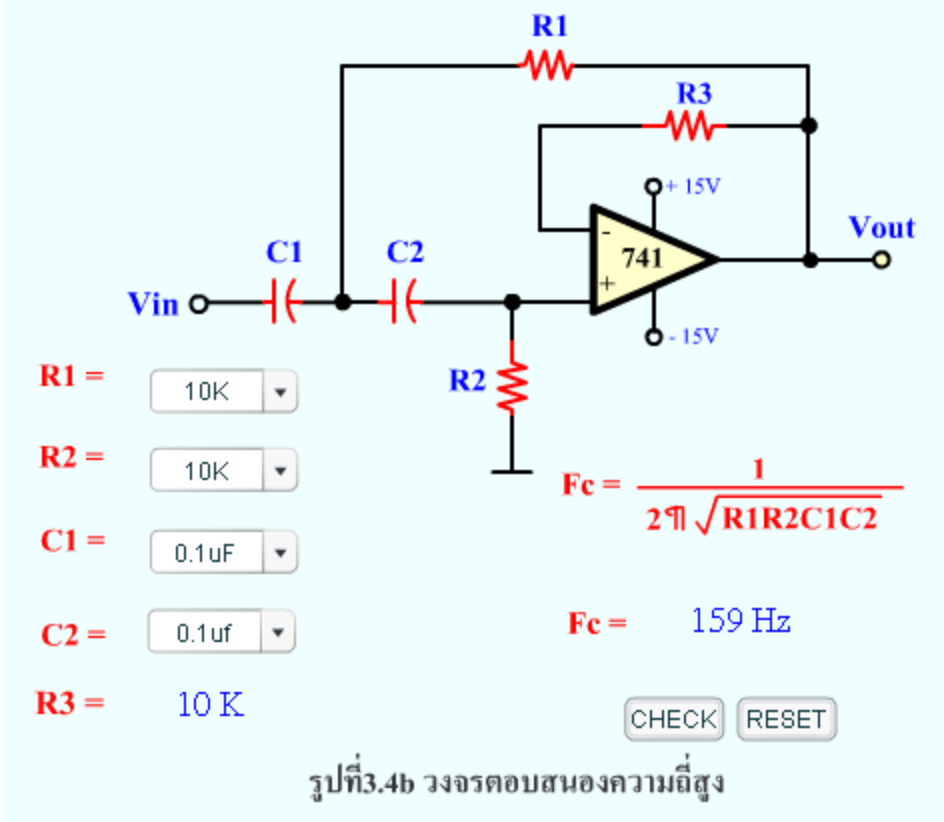
รูปที่3.4b แสดงวงจรกรองความถี่สูง ซึ่งถูกปรับปรุงให้มีความชันสูงถึง -40dB/decade และเพื่อการทำงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด C1ควรมีค่าเท่ากับ C2 R3 ควรเท่ากับ R2 โดยมี R2 เป็นตัวป้อนสัญญาณกลับเพื่อการกรองสัญญาณอีกครั้งหนึ่ง



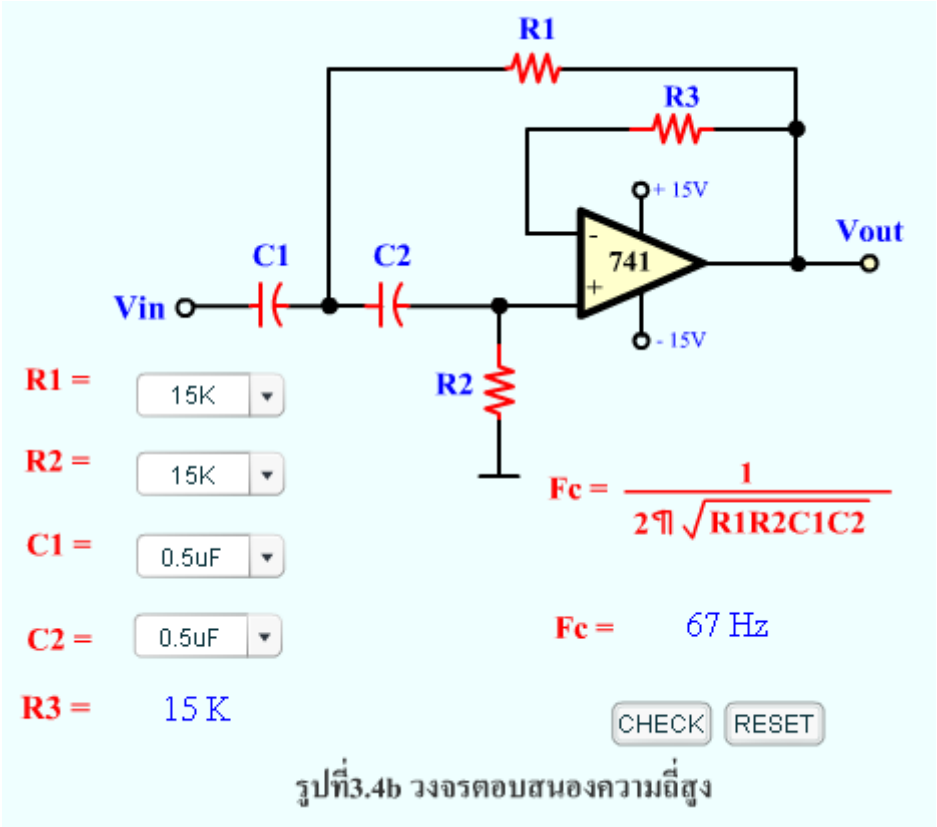
รูปที่3.4a กราฟแสดงการตอบสนองความถี่สูง



รูปที่3.4b วงจรตอบสนองความถี่สูง



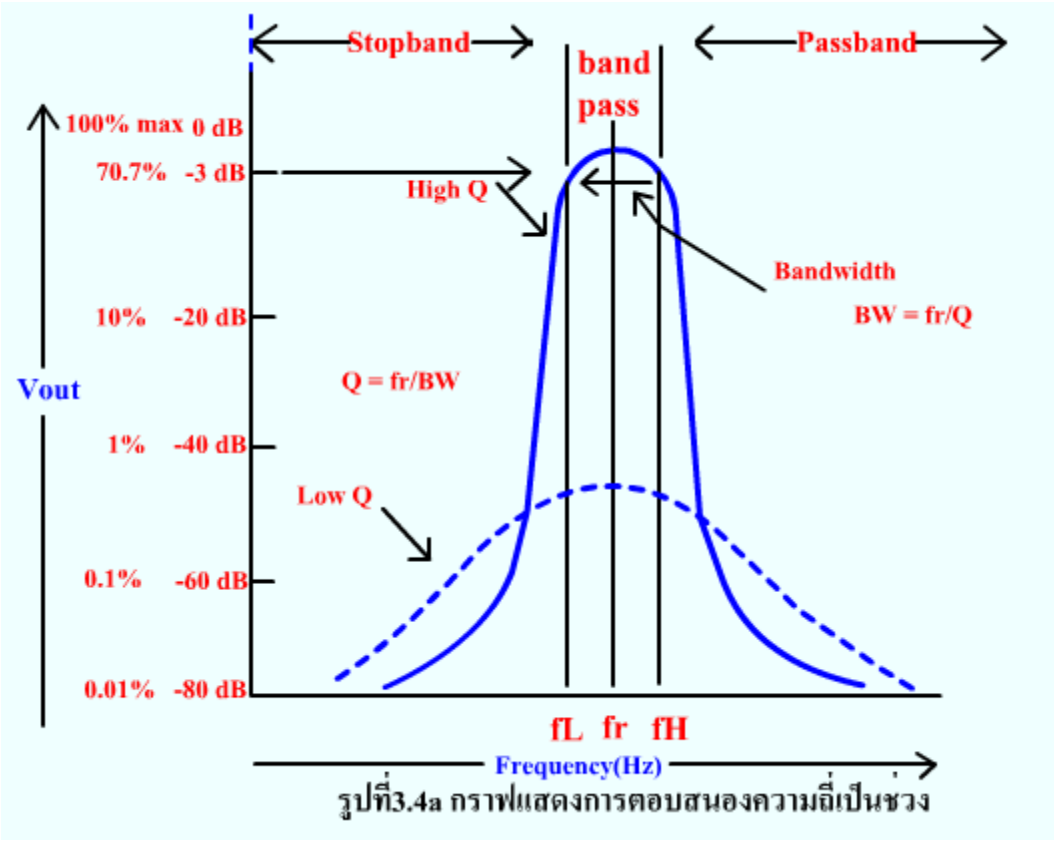
รูปที่3.4b วงจรตอบสนองความถี่สูง



รูปที่3.4b วงจรตอบสนองความถี่สูง

3.5 วงจรกรองความถี่เป็นช่วง

วงจรกรองความถี่เป็นช่วงหรือแบนด์พาสฟิลเตอร์ คือวงจรที่ยอมให้สัญญาณบางความถี่ผ่านได้เท่านั้น จากรูป 3.5a แสดงคุณสมบัติการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่เป็นช่วง



รูปที่3.4a กราฟแสดงการตอบสนองความถี่เป็นช่วง

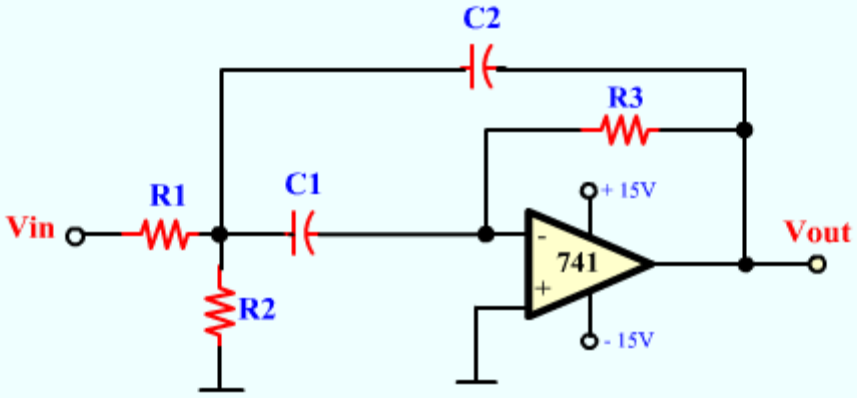
จากรูป3.5a จะพบว่า ณ ความถี่ที่เอาท์พุตมีขนาดสูงสุด เราเรียกว่า ความถี่รีโซแนนท์ (RESONENT FREQUENCY) และที่ความถี่ซึ่งแรงดันเอาท์พุตลดลงเหลือ 70.7% ทั้งด้านที่ความถี่สูงขึ้น และที่ความถี่ลดลง เรียกว่า ความถี่ fH และ fL ตามลำดับ โดยผลต่างของความถี่ทั้งสองนี้ (fH-fL) จะแสดงแบนด์วิดซ์ (BW) ของวงจรถ้า BW มีขนาดต่ำกว่า 10% ของความถี่กรีโซแนนท์ (fr) จะเรียกวงจรนี้ว่า วงจรฟิลเตอร์ช่วงแคบ แต่จะเรียกว่าเป็นวงจรฟิลเตอร์ช่วงกว้างหากแบนด์วิดธ์มีค่าสูงกว่า 10% ของ fr นอกจากนี้ยังให้นิยามสำหรับค่า Q (quality factor) ว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างความถี่รีโซแนนท์และแบนด์วิดธ์ดังสมการ

$$Q = \frac{Fr}{BW}$$

วงจรที่มีค่า Q สูงมากเท่าใด แบนด์วิดธ์ก็จะยิ่งแคบเท่านั้น(เข้าไกล้วงจรในอุดมคติซึ่งต้องการเลือกความถี่ที่ผ่านวงจรกรองได้เพียงค่าเดียว) และเอาท์พุตก็จะมีขนาดสูงขึ้นด้วย เส้นประในรูป3.5a แสดงวงจรกรองแบนด์พาสที่ค่อนข้างต่ำ

จากรูป3.5b แสดงวงจรกรองความถี่เป็นช่วง ซึ่งใช้การรวมวงจรความถี่สูงและวงจรกรองความถี่ต่ำเข้าด้วยกัน (โดยที่วงจรใดมาก่อนกันก็ได้) R1 และ C2 คืออุปกรณ์ในการกรองความถี่ต่ำ ส่วน C1 และ R2 ใช้กรองความถี่สูง และสามารถหาความถี่รีโซแนนท์ fr ได้จากสมการ

$$Fr = \frac{1}{2\P\sqrt{RpR3C1C2}}$$

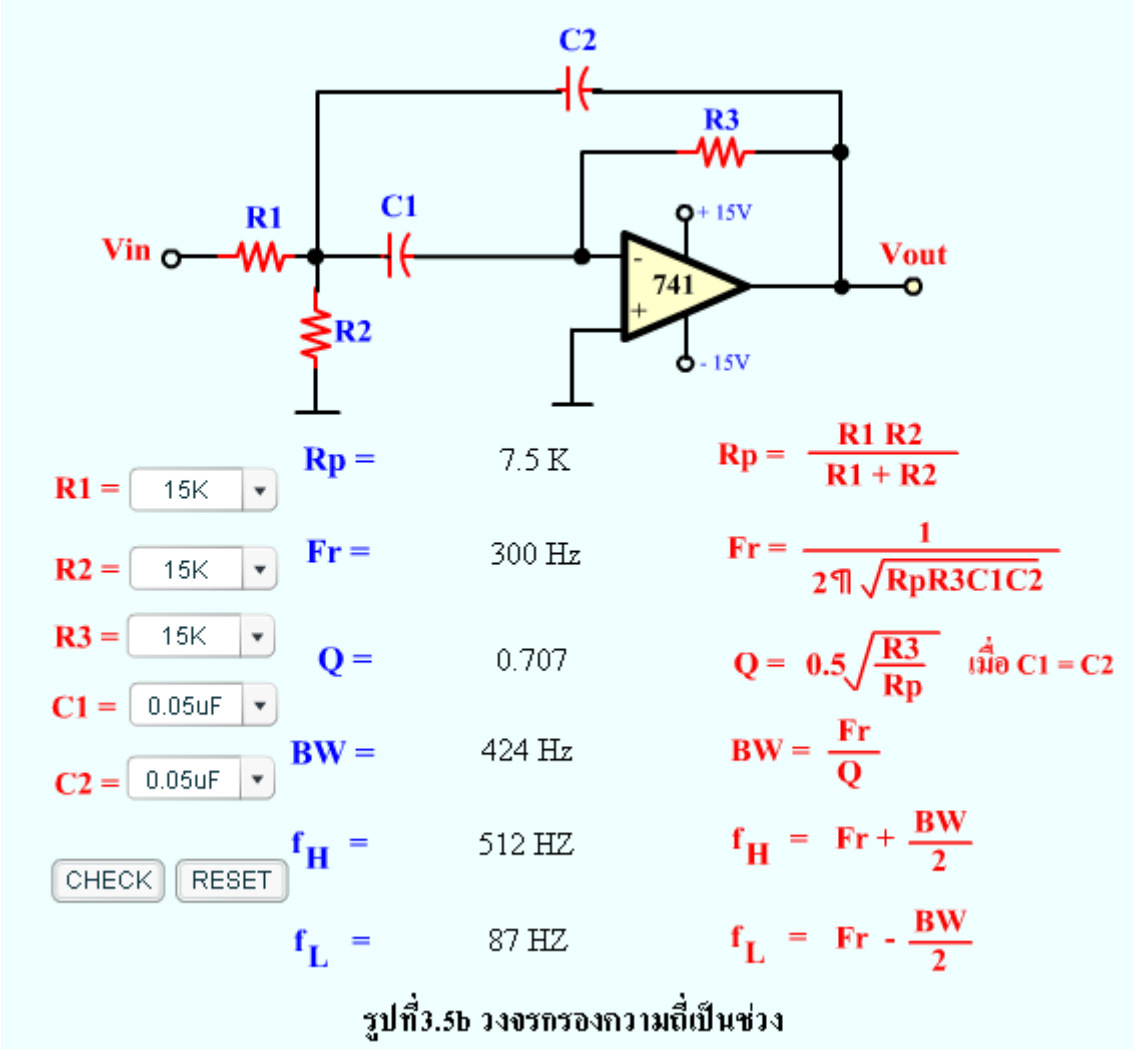


R1 = 10K
R2 = 10K
R3 = 10K
C1 = 0.01uF
C2 = 0.01uF
CHECK RESET

$Rp =$	5 K	$Rp = \frac{R1\ R2}{R1 + R2}$
$Fr =$	2251 Hz	$Fr = \frac{1}{2\P\sqrt{RpR3C1C2}}$
$Q =$	0.707	$Q = 0.5\sqrt{\frac{R3}{Rp}}$ เมื่อ C1 = C2
$BW =$	3184 Hz	$BW = \frac{Fr}{Q}$
$f_H =$	3844 HZ	$f_H = Fr + \frac{BW}{2}$
$f_L =$	659 HZ	$f_L = Fr - \frac{BW}{2}$

รูปที่3.5b วงจรกรองความถี่เป็นช่วง

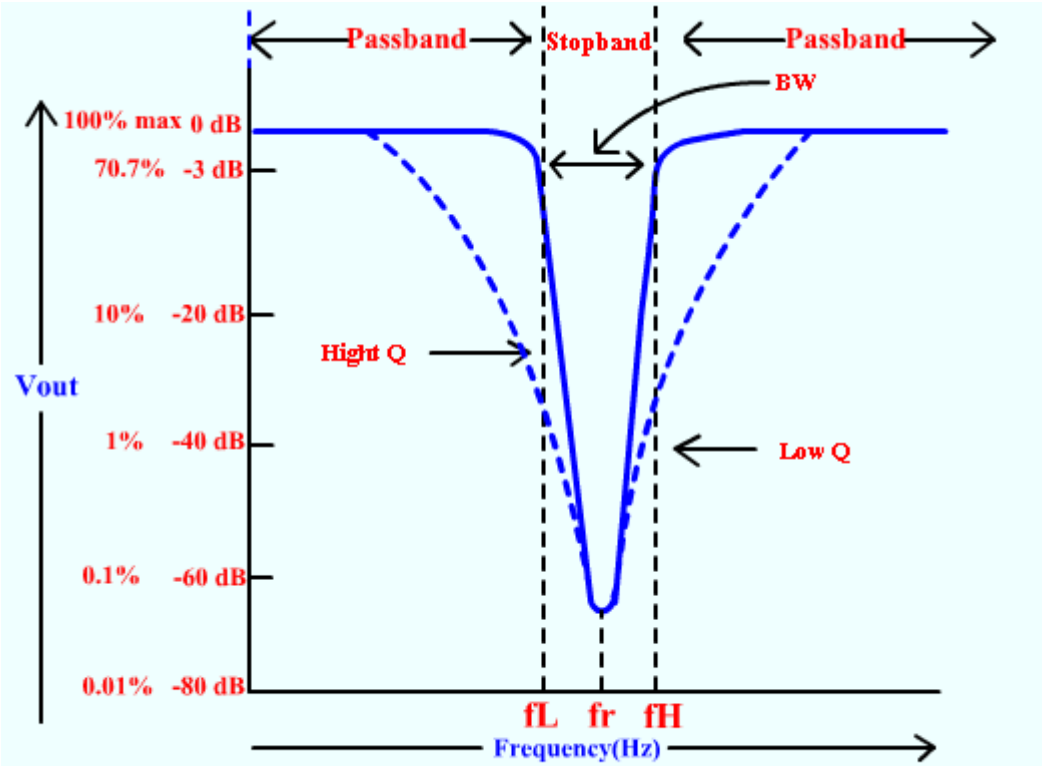
จากวงรในรูป3.5b ตัวต้านทานR3 จะเป็นองค์ประกอบสำคัญในการเลือกความถี่ของสัญญาณที่ต้องการให้เข้ามา และความกว้างของความถี่นั้นๆ



รูปที่3.5b วงจรกรองความถี่เป็นช่วง

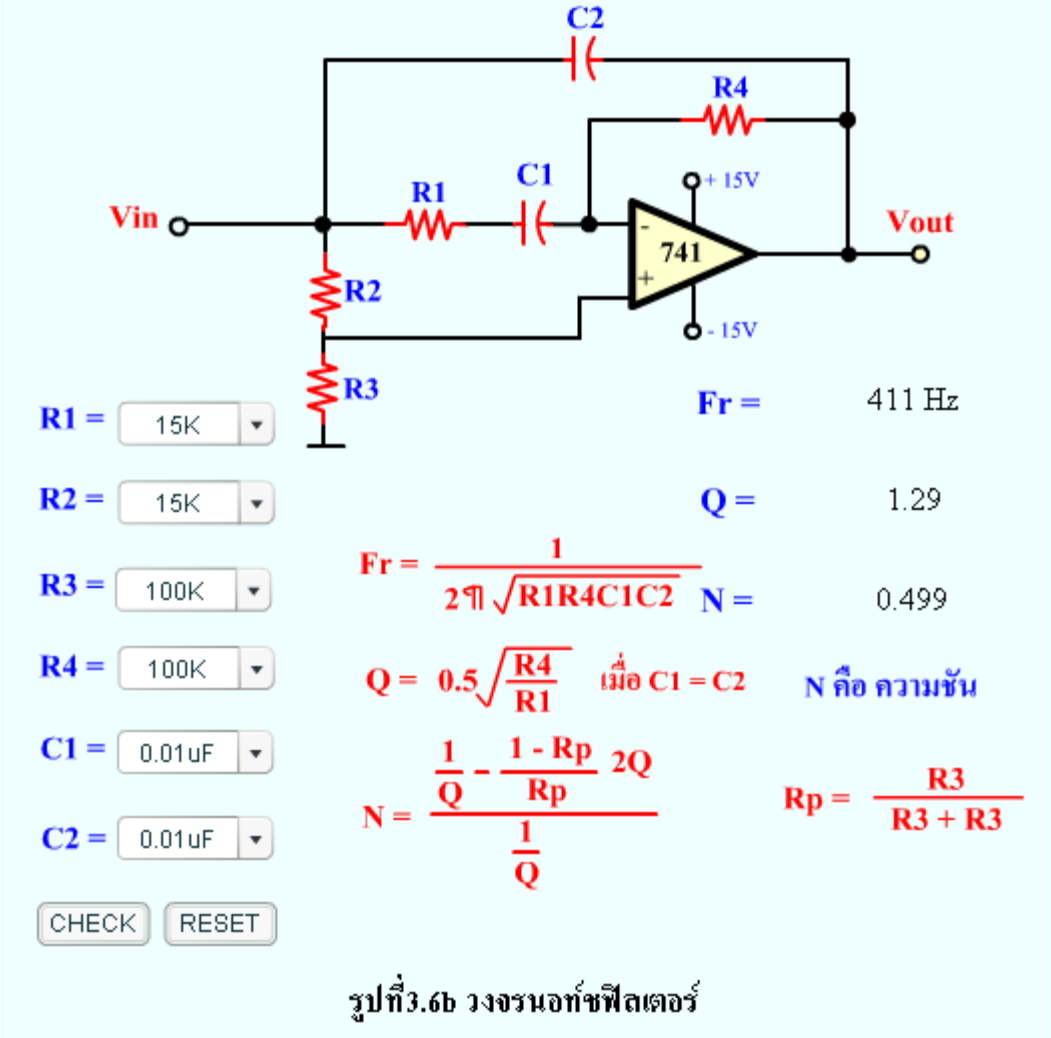
3.6 วงจรนอท์ชฟิลเตอร์

วงจรชนิดนี้จะทำงานตรงข้ามกับวงจรกรองความถี่เป็นช่วง โดยที่วงจรนี้จะยอมให้ความถี่ทุกๆ ค่าผ่าน ยกเว้นความถี่ช่วงหนึ่งซึ่งได้กำหนดเอาไว้ โดยทั่วไป วงจรชนิดนี้มักถูกใช้เพื่อกันสัญญาณรบกวนที่เราทราบค่าความถี่แล้ว รูป3.6a แสดงการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรนอท์ชฟิลเตอร์



รูปที่3.6a กราฟแสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรนอทชฟิลเตอร์

ในรูป 3.6b สามารถอธิบายได้ดังนี้ แรงดันอินพุต Vin จะถูกแบ่งตามอัตราส่วนระหว่าง R2 และ R3 ซึ่งแรงดันนี้จะถูกป้อนให้แก่ขั้วอินพุตทั้งสองของออปแอมป์ที่ความถี่ต่ำกว่า fr ค่าอิมพิแดนซ์ Xc ของตัวเก็บประจุจะสูงมาก ดังนั้นจึงไม่มีการป้อนสัญญาณกลับเป็นผลให้ Vout มีค่าประมาณ (R3/(R2+R3) * Vinซึ่งมีค่าเกือบเท่ากับ Vin มาก(เมื่อใช้R3=50Rin) แต่เมื่อความถี่ของอินพุทเข้าใกล้ fr รีแอคแตนซ์ของตัวเก็บประจุจะทำงานกับตัวต้านทานในการป้อนสัญญาณเอาท์พุทกลับสู่อินพุต เป็นผลให้แรงดันเอาท์พุตลดลง และเกิดการเลื่อนเฟสด้วยเมื่อความถี่ของอินพุตมีค่าสูงกว่า fr อิทพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุจะลดลง และเป็นผลให้ขั้วเอาท์พุตเสมือนถูกลัดวงจรกับขั้วอินพุตลบนั่นคือ อัตราขยายมีค่าเป็น 1 กลายเป็นวงจรตามแรงดัน (ในการพิจารณาวงจรนี้ เมื่อกล่าวถึงกรณีที่อิมพีแดนซ์ของ C มีค่าสูงๆ ให้คิดว่า C ถูกปิดวงจรและเมื่ออิมพีแดนซ์ของ C ลดลงให้คิดเสมือนว่า C ถูกลัดวงจร)

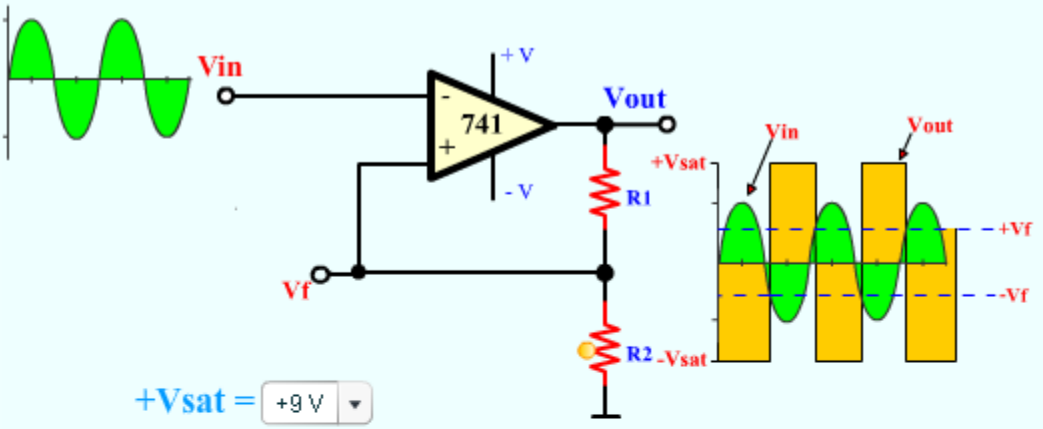


รูปที่3.6b วงจรนอท์ชฟิลเตอร์

3.7 วงจรชมิตทริกเกอร์ (Schmitt trigger circuit)

วงจรชมิตทริกเกอร์ (Schmitt trigger circuit) คือ วงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณ อินพุทรูปร่างต่างๆ ให้ออกเอาท์พุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมหรือสัญญาณพัลส์เสมอ ซึ่งลักษณะของวงจรจะเป็นการป้อนกลับแบบบวก โพซิตีฟ ฟีดแบ็ค (Positive Feedback) ซึ่งการป้อนกลับแบบบวกนั้น จะถูกกำหนดโดยตัวต้านทาน 2 ตัว วงจรชมิตทริกเกอร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ เป็นวงจรอินเวอร์ติ้งค์ชมิตทริกเกอร์ และวงจรนอนอินเวอร์ติ้งค์ชมิตทริกเกอร์

3.7a วงจรอินเวอร์ติ้งค์ชมิตทริกเกอร์ วงจรชมิตทริกเกอร์ (Schmitt trigger circuit) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณรูปต่าง ๆ ที่ป้อนเข้าทางอินพุท เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมหรือสัญญาณพัลส์ แต่มีเฟตสัญญาณที่ออกเอาท์พุทตรงกันข้ามกับอินพุท ดังแสดงในรูปที่ 3.7a



+Vsat = +9 V

-Vsat = -9 V

R1 = 10 K

R2 = 10 K

$$UTP = \frac{R1}{R1+R2} \cdot +Vsat$$

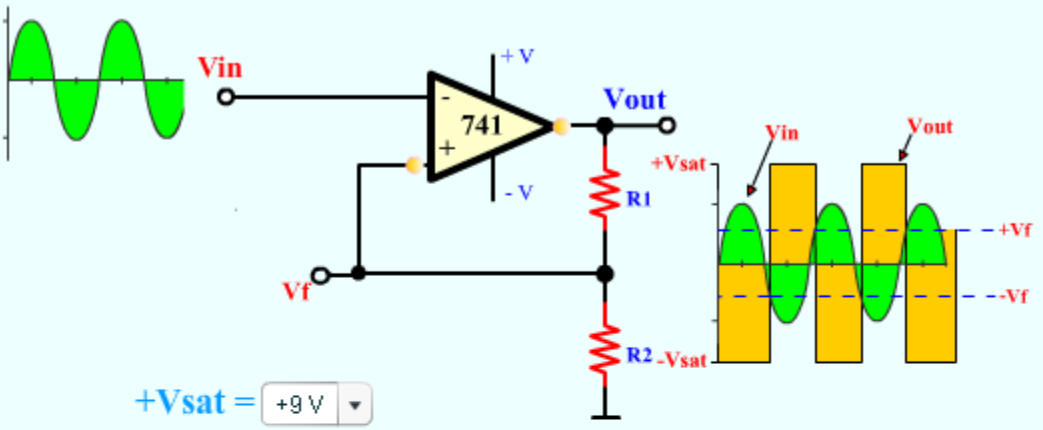
$$LTP = \frac{R1}{R1+R2} \cdot -Vsat$$

CHECK RESET แรงดัน UTP = 2.2222 Vp

*หมายเหตุ UTP = +Vf

LTP = -Vf แรงดัน LTP = -2.2223 Vp

รูปที่ 3.7a วงจรอินเวอร์ติ้งชมิตทริกเกอร์



+Vsat = +9 V

-Vsat = -9 V

R1 = 15 K

R2 = 15 K

$$UTP = \frac{R1}{R1+R2} \cdot +Vsat$$

$$LTP = \frac{R1}{R1+R2} \cdot -Vsat$$

CHECK RESET แรงดัน UTP = 3.3333 Vp

*หมายเหตุ UTP = +Vf

LTP = -Vf แรงดัน LTP = -3.3334 Vp

รูปที่ 3.7a วงจรอินเวอร์ติ้งชมิตทริกเกอร์

หลักการทำงานของวงจรคือ เมื่อแรงดันที่ป้อนมาทางอินพุต Vi มีค่าน้อยกว่าแรงดันป้อนกลับ Vf แรงดันเอาท์พุทจะมีค่าเป็นบวกมีค่าเท่ากับ +Vsat และเมื่อแรงดันอินพุต Vi มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าแรงดันป้อนกลับ Vf แรงดันที่ออกเอาท์พุทจะมีค่าเป็น –Vsat ซึ่งแรงดันป้อนกลับ Vf สามารถคำนวณได้จากสมการ

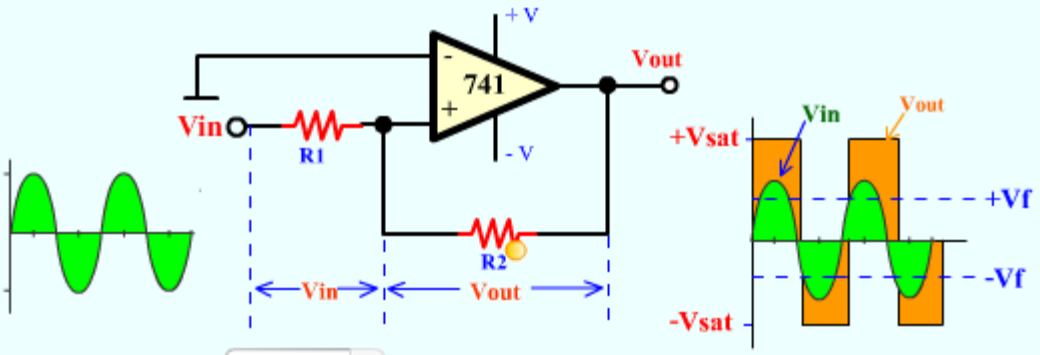
$$Vf = \frac{R1}{R1+R2} \cdot \pm Vsat$$

จุดการเปลี่ยนแปลงของเอาท์พุทจะขึ้นอยู่กับอินพุต ซึ่งจะมีอยู่ 2 ระดับคือ จุดทริกเกอร์ช่วงบนหรือเรียกว่า อัพเปอร์ ทริกเกอร์พอยส์ (Upper trigger point ; UTP) และจุดทริกเกอร์ช่วงล่าง หรือเรียกว่า โลว์เวอร์ ทริกเกอร์พอยส์ (Lower trigger point ;LTP) สามารถคำนวณหาได้ดังนี้

$$UTP = \frac{R1}{R1+R2} \cdot +Vsat$$

$$LTP = \frac{R1}{R1+R2} \cdot -Vsat$$

3.7b วงจรนอนอินเวอร์ติ้งค์ชมิตทริกเกอร์ วงจรนอนอินเวอร์ติ้งค์ชมิตทริกเกอร์(Noninverting Schmitt trigger circuit) คือวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงรูปสัญญาณต่างๆ ที่ป้อนเข้าอินพุทให้เป็นรูปสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมหรือสัญญาณพัลส์ออกที่เอาท์พุท และมีเฟสสัญญาณเหมือนกับอินพุทที่ป้อนเข้ามา ดังแสดงไว้ ในรูปที่ 3.7b



+Vsat= +9 V

-Vsat = -9 V

R1 = 10 K

R2 = 10 K

CHECK RESET

$$VR1 = \frac{R1}{R1+R2} \cdot Vout$$

$$UTP = \frac{R1}{R2} \cdot +Vsat$$

$$LTP = \frac{R1}{R2} \cdot -Vsat$$

VR1 = 9 Vp-p

*หมายเหตุ UTP = +Vf

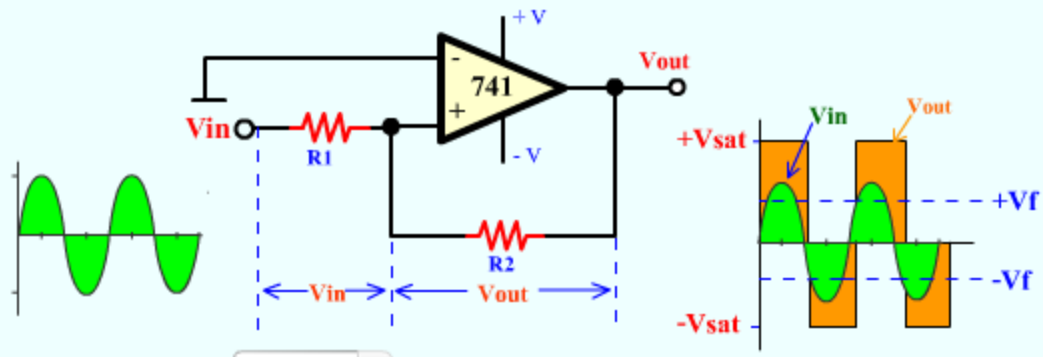
LTP = -Vf แรงดัน UTP = 9 Vp

VR1 = Vin

แรงดัน LTP = -9 Vp

VR2 = Vout

รูปที่ 3.7b วงจรนอนอินเวอร์ติ้งชมิตทริกเกอร์



+Vsat= +9 V

-Vsat = -9 V

R1 = 10 K

R2 = 30 K

CHECK RESET

$$VR1 = \frac{R1}{R1+R2} \cdot Vout$$

$$UTP = \frac{R1}{R2} \cdot +Vsat$$

$$LTP = \frac{R1}{R2} \cdot -Vsat$$

VR1 = 4.5 Vp-p

*หมายเหตุ UTP = +Vf

LTP = -Vf แรงดัน UTP = 3 Vp

VR1 = Vin

แรงดัน LTP = -3 Vp

VR2 = Vout

รูปที่ 3.7b วงจรนอนอินเวอร์ติ้งชมิตทริกเกอร์

จากรูปที่ 3.7b เมื่อสัญญาณป้อนเข้าที่ขานอนอินเวอร์ติ้งค์อินพุท สัญญาณเอาท์พุทจะเปลี่ยนจาก –Vsat เมื่อแรงดันอินพุท Vi เพิ่มขึ้นถึง UTP และกลับลงมาอีกครั้ง เมื่อแรงดันอินพุท Vi ตกลงถึง LTP ที่จุดทริกเกอร์ VR =Vo และ VR =Vi จะได้

$$VR1 = \frac{R1}{R1+R2} \cdot Vout$$

แรงดันทริกเกอร์ช่วงบน (UTP) สามารถหาได้จาก

$$UTP = \frac{R1}{R2} \cdot +Vsat$$

เมื่อเอาท์พุทเปลี่ยนแปลงเป็น +Vsat แรงดันที่ขานอนอินเวอร์ติ้งค์อินพุทจะเพิ่มขึ้นมาแล้ว ระดับกราวด์ทำให้เอาท์พุทเป็น +Vsat การทำให้เอาท์พุทกลับไปเป็น –Vsat อินพุท Vi ต้องมีแรงดันเป็นลบพอจ่ายในขานอนอินเวอร์ติ้งค์ลดลงระดับกราวด์ ดังนั้น LTP หาได้เช่นเดียวกับ UTP เพียงแต่เครื่องหมายตรงกันข้ามกัน

$$LTP = \frac{R1}{R2} \cdot -Vsat$$

ขอบคุณ แหล่งที่มาของข้อมูล

http://opamp.awardspace.com

Link จาก http://www.cstc.ac.th/

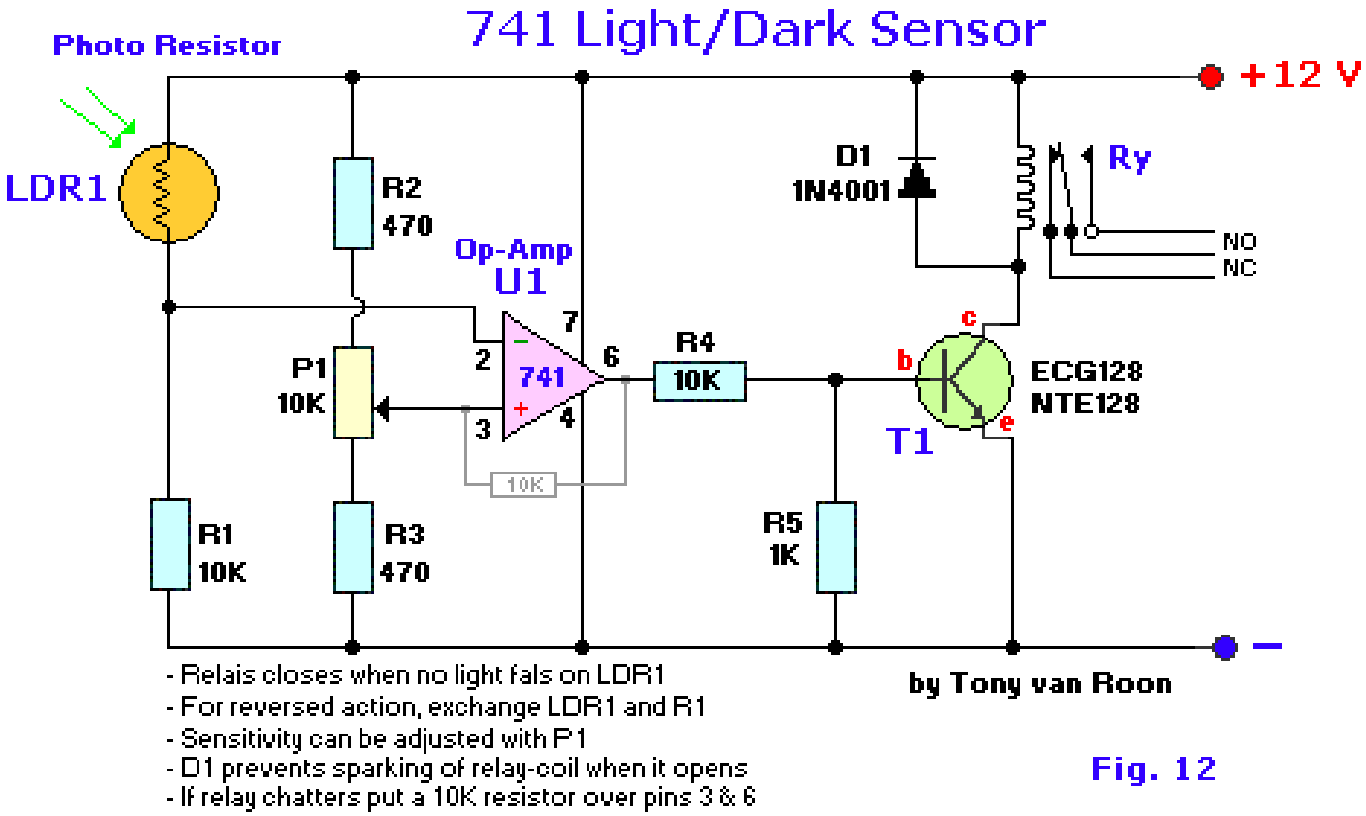
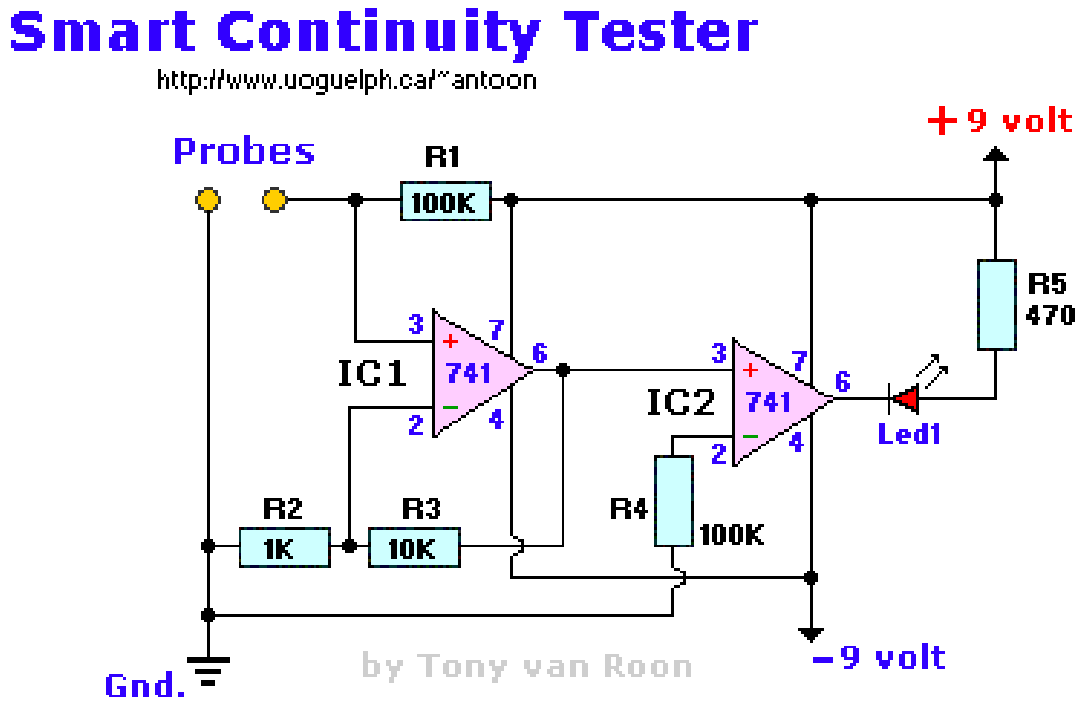

741 Light/Dark Sensor
Photo Resistor
LDR1
R2
470
Op-Amp
U1
D1
1N4001
Ry
NO
NC
+12 V
P1
10K
R4
10K
ECG128
NTE128
T1
R1
10K
R3
470
R5
1K
10K
- Relais closes when no light fals on LDR1
- For reversed action, exchange LDR1 and R1
- Sensitivity can be adjusted with P1
- D1 prevents sparking of relay-coil when it opens
- If relay chatters put a 10K resistor over pins 3 & 6
by Tony van Roon

Fig. 12


Smart Continuity Tester
http://www.uoguelph.ca/~antoon
+9 volt
Probes
R1
100K
R5
470
IC1
741
IC2
741
Led1
R2
1K
R3
10K
R4
100K
Gnd.
by Tony van Roon
-9 volt

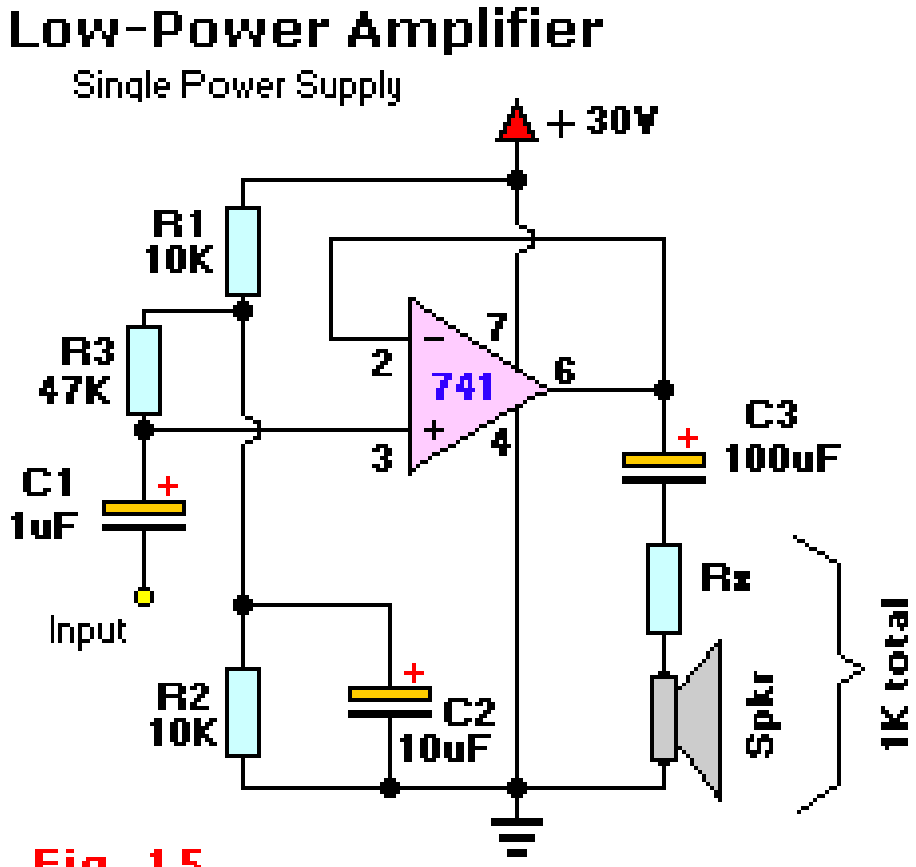

Low-Power Amplifier
Single Power Supply
+ 30V
R1
10K
R3
47K
C1
1uF
Input
R2
10K
C2
10uF
741
2
3
7
6
4
C3
100uF
Rx
Spkr
1K total

Fig. 15

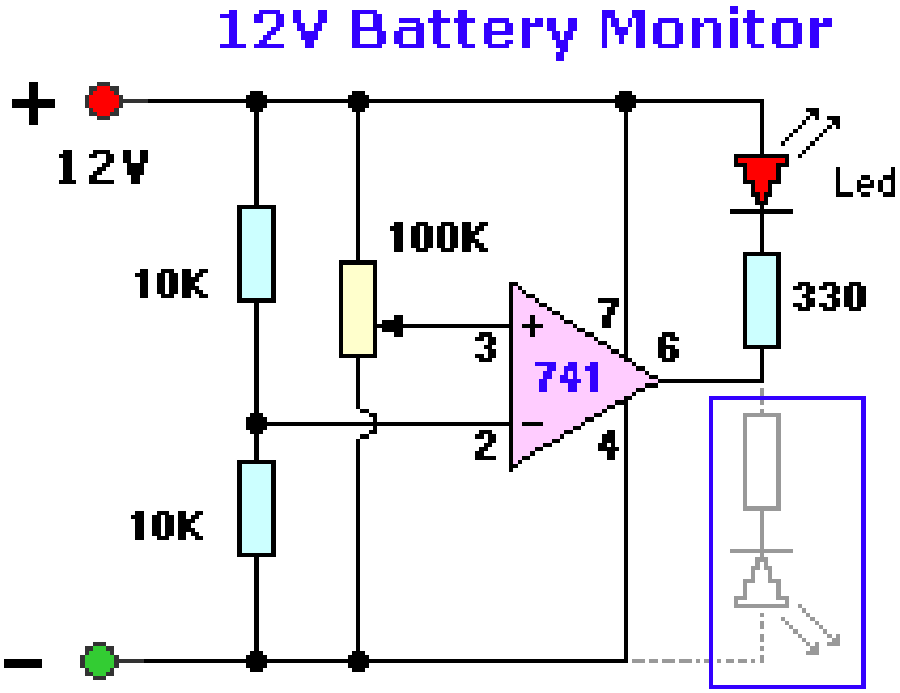
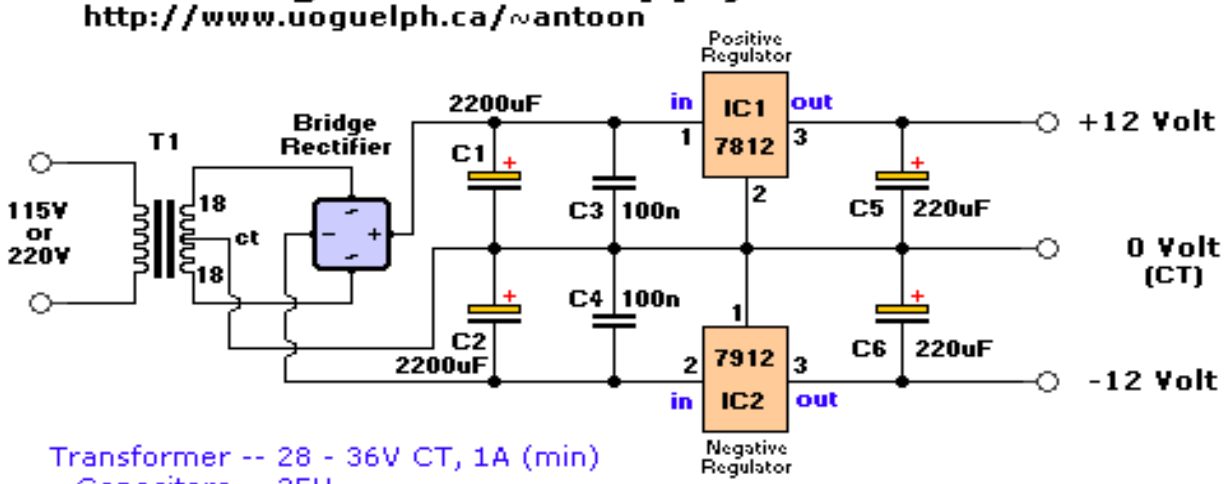

12V Battery Monitor
+
12V
10K
10K
100K
741
2
3
7
6
4
Led
330
−

Fig. 14

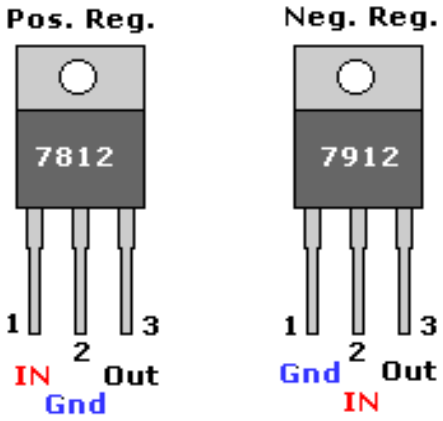
Dual Voltage Power Supply

http://www.uoguelph.ca/~antoon

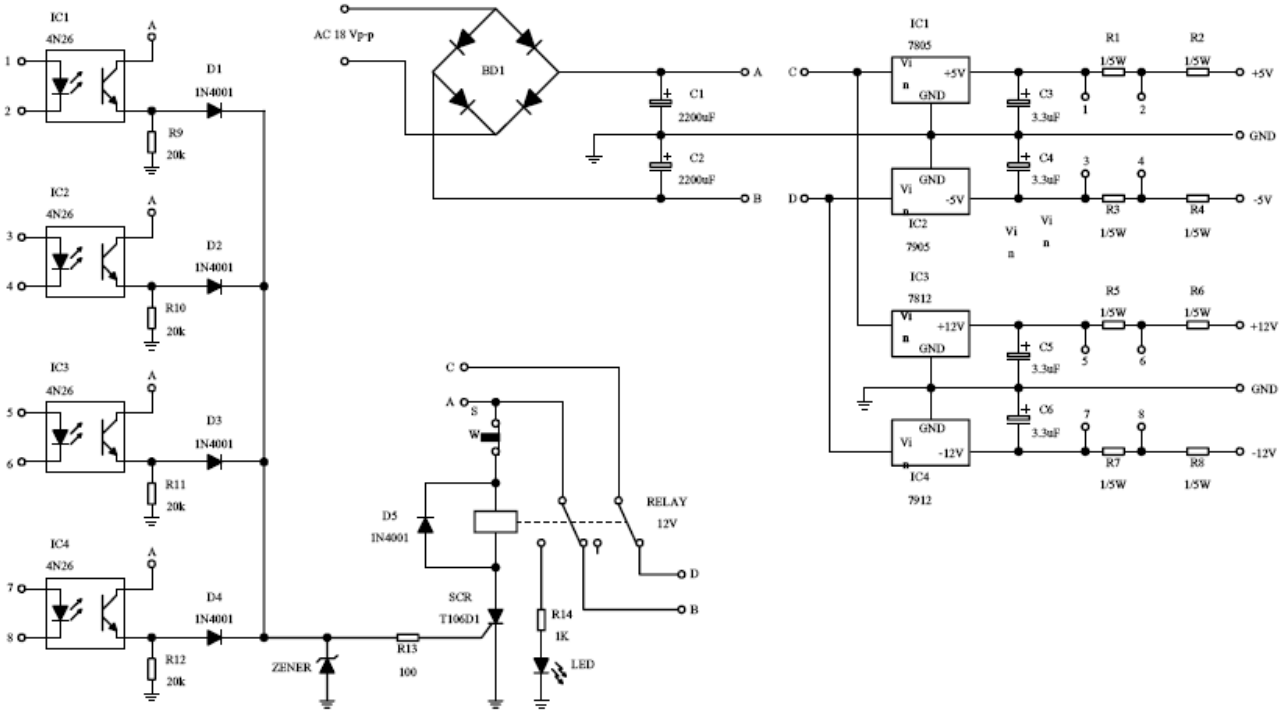


Transformer -- 28 - 36V CT, 1A (min)
Capacitors -- 35V
Bridge Rectifier -- 100V, 2A
C3,C4 -- Ceramic, 50V

Caution: Input/Ground are reversed between the 7812 and 7912.



(C) Tony van Roon



จากวงจรแหล่งจ่ายไฟในภาพ จะเห็นว่าวงจรแยกออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนของแหล่งจ่ายไฟ V5±และ V12± และส่วนของชุดป้องกันกระแสไหลเกิน ในส่วนที่เป็นวงจรแหล่งจ่ายไฟก็จะแยกออกเป็นวงจรแหล่งจ่ายไฟขนาด V5± ซึ่งใช้ไอซีเร็กกูเลเตอร์เบอร์ 7805 กับ 7905 เป็นวงจรสร้างแรงดันขนาด V5+ และ V5— ตามลำดับ แหล่งจ่ายไฟขนาด V12±ก็ใช้ไอซีเร็กกูเลเตอร์เบอร์ 7812 กับ 7912 เป็นตัวสร้างแรงดัน V12+ และ V12—

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนของวงจรป้องกันกระแสไหลเกิน ในชุดทดลองนี้จะป้องกันกระแสไม่ให้ไหลเกิน A1 วงจรป้องกันนี้จะใช้ออฟโต้ไดโอดเบอร์ 4N26 เป็นตัวตรวจจับการไหลของกระแสที่ไหลออกเอาต์พุตของวงจรแหล่งจ่ายไฟ โดยต่อขา 1 และขา 2 ของออฟโต้คร่อมตัวต้านทานขนาด เมื่อกระแสที่เอาต์พุตไหลเกิน แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน นั้นจะทำให้ออฟโต้ไดโอดทำงานส่งผลให้ เอสซีอาร์ ทำงานมีกระแสไฟไหลผ่านรีเลย์ รีเลย์จะทำการดึงหน้าสัมผัสที่ต่ออยู่ออกจากกัน ซึ่งเป็นการตัดกระแสไฟที่ป้อนให้กับอินพุตของภาคแหล่งจ่ายไฟออก ภาคแหล่งจ่ายก็จะหยุดทำงานและจะมีหลอดไฟแสดงสถานการทำงานของวงจรติดขึ้นมาให้ผู้ใช้งานทราบว่าขณะนี้มีกระแสไหลเกินเกิดขึ้น ซึ่งสาเหตุหนึ่งของกระแสไหลเกินนี้ก็อาจเกิดจากการลัดวงจร เมื่อทำการแก้ไขข้อผิดพลาดเรียบร้อยแล้วก็เพียงแค่กดปุ่มรีเซ็ต (RESET) แหล่งจ่ายไฟก็จะกลับมาทำงานตามเดิม