

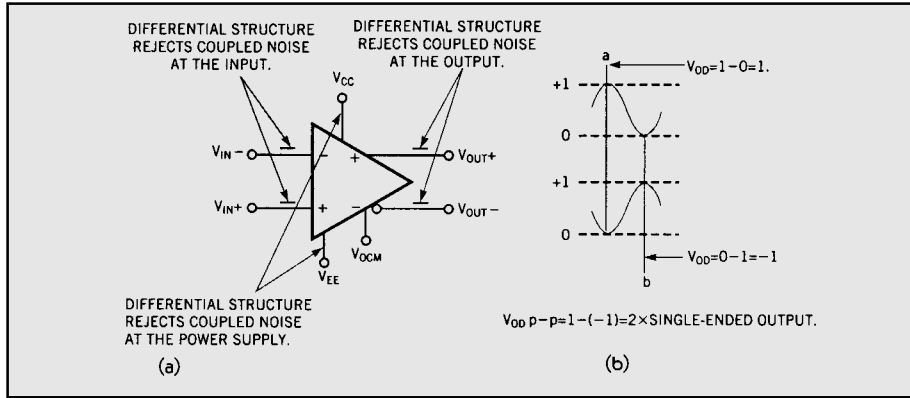
การลดสัญญาณรบกวน (EMC) ทั้งหมด ด้วยการใช้) มจรขยายโหมดดิฟเฟอเรนเชียล

สัญญา พิณกุล.

การเลือกใช้วิธีการส่งสัญญาณในโหมดดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Mode) จะให้ข้อได้เปรียบที่ดีกว่าการส่งสัญญาณในโหมดรวม (Common Mode) ในเรื่องของความต้านทานต่อสัญญาณรบกวนที่ดีกว่าถึง 6 dB ซึ่งเหมาะกับระบบที่ส่งสัญญาณด้วยแรงดันต่ำ และยังสามารถลดฮาร์โมนิกที่สองได้ด้วยไอซีวงจรมจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล เหมาะที่จะนำไปใช้ในการขยายสัญญาณอินพุตของวงจรมัลติเพล็กซ์แอนะล็อกเป็น ดิจิตอล (Analog to Digital Converter: ADC) นอกจากนี้วงจรมจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลยังสามารถกำหนดค่าแรงดันในโหมดรวมของเอาต์พุตของวงจรมจรขยายได้วงจรมจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลพบเห็นได้ในการขับ สายส่งแบบดิฟเฟอเรนเชียลที่มีการเทอร์มิเนตปลายสาย โดยเฉพาะทางด้านอินพุตของวงจรมจรขยายสามารถที่จะออกแบบให้การเทอร์มิเนตชนิดแอ็คทีฟ (Active Terminate) ไปในตัวได้ด้วย ทำให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า และวงจรมจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลสามารถดัดแปลงขึ้นได้จากวงจรมจรขยายแบบอินเวอร์ตติ้ง (Inverting Amplifier) สองชุดที่ทำมาจากออปแอมป์ปกติ โดยต่อวงจรป้อนกลับแบบลบทั้งสองวงจร จะให้วงจรมจรผลลัพท์เป็นวงจรมจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ความนิยมใช้วงจรมจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลมีอย่างกว้างขวาง เช่น การส่งสัญญาณเสียง, ข้อมูล, ภาพ หรือโทรศัพท์ เพราะการส่งสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียลมีข้อดีตรงที่ว่ามีความสามารถที่จะทนต่อการรบกวนจากสัญญาณรบกวนภายนอกได้ดี การส่งสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียลนี้อาจจะถูกรบกวนได้อีกค่าหนึ่งที่เป็นที่นิยมกันว่า "บาลานซ์" (Balance) ที่แปลว่าสมดุลนั่นเอง ยกตัวอย่างเช่น ไดรฟ์เวอร์ชนิดนี้ให้เอาต์พุตแบบบาลานซ์ สายส่งที่มีคุณลักษณะแบบบาลานซ์ หรือ รีซีฟเวอร์ที่มีภาคอินพุตเป็นแบบบาลานซ์ ซึ่งก็หมายถึงวิธีการถ่ายทอดสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียลนั่นเอง สัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียลนี้เป็นที่นิยมและจำเป็นอย่างมาก ในงานส่งตัวอย่างข้อมูลเพื่อส่งต่อไปให้กับภาคอินพุตของ ADC ซึ่งเป็นสัญญาณที่มี

ระดับต่ำก็จำเป็นต้องขยายด้วยวงจรมจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล แต่บางที่อุปกรณ์ที่ใช้ในงานสัญญาณโหมดรวมสามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในงานโหมดดิฟเฟอเรนเชียลได้เช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ที่ให้อัตราส่วนขจัดสัญญาณโหมดรวมที่ดีมากชนิดหนึ่ง เพราะส่งผ่านระดับข้อมูลเฉพาะความแตกต่างผ่านไปโดยคลื่นแม่เหล็ก มีประสิทธิภาพเกือบ 100% และสามารถป้องกันการรบกวนจากสัญญาณภายนอกได้เป็นอย่างดี ในปัจจุบันวงจรมจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล มีราคาถูก ขนาดเล็ก และยังสามารถทำงานได้ที่ความถี่ที่ต่ำอีกด้วย การส่งสัญญาณข้อมูลในโหมดดิฟเฟอเรนเชียลจะใช้วิธีส่งข้อมูลเข้าไปในสายตัวนำสองเส้น สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าจากแหล่ง-

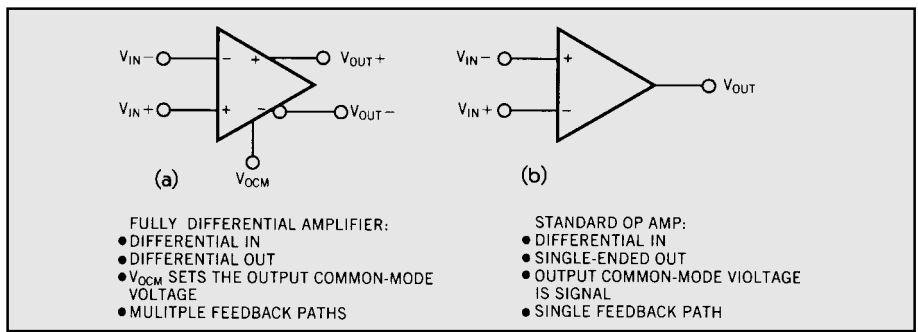


รูปที่ 1 : a) วงจรสามารถทำให้มีความต้านทานต่อการรบกวนจากสัญญาณภายนอกได้สูง b) ค่า $V_{OD}(P-P) = 1 - (-1) = 2$ มีค่าช่วงกว้างเอาต์พุตขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล พุดเป็นสองเท่าของการส่งสัญญาณแบบปลายเดี่ยว

กำเนิดขึ้นจะก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนในสายไฟฟ้าทั้งสองเส้น ดังนั้นการส่งข้อมูลในโหมดดิฟเฟอเรนเชียลจะหลีกเลี่ยงข้อผิดพลาดที่เกิดจากสัญญาณรบกวนที่เข้ามาที่สายนำทั้งสองเส้นน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ สัมผัสกับสนามไฟฟ้าที่เข้ามาเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันรบกวนเท่าๆกันทั้งสองเส้นเพื่อให้เกิดสัญญาณรบกวนอยู่ในโหมดรวมมีแรงดันเท่าๆกันเมื่อเทียบกับแหล่งจ่ายไฟ และยังคงลดพื้นที่ที่สูญเสียไปกับสนามแม่เหล็กที่จะก่อให้เกิดกระแสรบกวนไหลวนด้วย โดยเฉพาะถ้าหากมีการตีเกลียวสายนำสัญญาณแล้ว กระแสรบกวนไหลวนนี้จะหักล้างกันเองในแต่ละคู่ลูปจึงเป็นการป้องกันสัญญาณรบกวนจากสนามแม่เหล็กไปโดยปริยาย ทำให้ระบบมีความสามารถในการต้านทานต่อสัญญาณรบกวนภายนอกได้ดีขึ้น การส่งสัญญาณข้อมูลในโหมดดิฟเฟอเรนเชียลเมื่อนำเฟสของเอาต์พุตทั้งสองจุดมาพิจารณา จะทำให้ช่วงกว้างเอาต์พุต (Dynamic Range) มีค่าเป็นสองเท่าของการใช้เอาต์พุตแบบปลายเดี่ยว (Single End Output) ดังในรูปที่ 1

วงจรรวมออปแอมป์ชนิดดิฟเฟอเรนเชียลหรือวงจรรวมดิฟเฟอเรนเชียลก็คล้ายๆกับออปแอมป์มาตรฐานทั่วไปตรงที่มีอินพุตแบบดิฟเฟอเรนเชียลเหมือนกัน แต่ในออปแอมป์มาตรฐานจะมีเอาต์พุตเพียงขาเดียว แต่เอาต์พุตของไอซีวงจรรวมดิฟเฟอเรนเชียลจะเป็นสายนำสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียล และยังสามารควบคุมแรงดันโหมดรวมที่จะกำหนดให้มีในเอาต์พุตได้ด้วยแรงดันที่ป้อนให้ขา V_{OCM} (Offset Common Mode Voltage) ดังในรูปที่ 2

แต่ขาเอาต์พุตของออปแอมป์มาตรฐานจะเป็นขาที่มีสัญญาณโหมดรวมและสัญญาณเอาต์พุตปนกันในขาเดียวกัน ทำให้สามารถจัดวงจรให้มีการป้อนกลับจากเอาต์พุตไปหาอินพุตได้เพียงเส้นทางเดียว แต่ในวงจรรวมดิฟเฟอเรนเชียลจะสามารถป้อนกลับได้หลายเส้นทาง



รูปที่ 2 : a) วงจรรวมโหมดดิฟเฟอเรนเชียลให้เอาต์พุตแบบดิฟเฟอเรนเชียลและมีขาเซ็ตแรงดันโหมดรวมของเอาต์พุต V_{OCM} b) วงจรรวมออปแอมป์

คำย่อและความหมายของสัญลักษณ์แรงดันต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 1 ดังนี้ V_{DD} คือ แรงดันดิฟเฟอเรนเชียลทางด้านอินพุตซึ่งเป็นแรงดันที่แตกต่างกันระหว่างขาอินพุตทั้งสองของวงจรรวมดิฟเฟอเรนเชียล V_{IC} คือแรงดันโหมดรวมในสัญญาณอินพุตหรือคือค่าเฉลี่ยของแรงดันอินพุตทั้งสอง V_{OD} คือแรงดันดิฟเฟอเรนเชียลเอาต์พุต หรือผลต่างแรงดันระหว่างขาเอาต์พุตบวกและขาเอาต์พุตลบ V_{CC} คือแรงดันโหมดรวมของเอาต์พุตหรือคือค่าเฉลี่ยของแรงดันที่ขาเอาต์พุตทั้งสองขา และเป็นแรงดันที่สามารถกำหนดได้จากขา V_{OCM} และสุดท้ายเป็นสมการฟังก์ชันถ่ายโอนโดย $a(f)$ คือเกนขยายที่เป็นฟังก์ชันของความถี่จะให้ความสัมพันธ์ของแรงดันดิฟเฟอเรนเชียลของเอาต์พุตกับแรงดันดิฟเฟอเรนเชียลของอินพุต $V_{OD} = V_{ID} \times a(f)$

วงจรรวมแบบดิฟเฟอเรนเชียล ขจัดสัญญาณโหมดรวมได้อย่างไร

วงจรรวมอย่างง่ายของวงจรรวมโหมดดิฟเฟอเรนเชียลแสดงต้นในรูปที่ 3 โดย Q1 Q2 จะเป็นคู่ทรานซิสเตอร์ที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน (Matched Pair Transistor) ทำหน้าที่เป็นภาคอินพุตแบบดิฟเฟอเรนเชียล ถ้าเปรียบเทียบกับวงจรรวมในของออปแอมป์มาตรฐานซึ่งมีการใช้สัญญาณจากภาคอินพุตเพียงเส้นเดียวส่งต่อให้ภาคเอาต์พุต แต่ในวงจรรวมแบบดิฟ

เฟอเรนเชียลจะใช้การส่งต่อสัญญาณจากภาคอินพุตไปภาคต่อไปด้วยสัญญาณสองเส้น เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงแรงดันของทรานซิสเตอร์ที่ภาคเอาต์พุตทั้งสองชุดคือ Q3/Q5 และ Q4/Q6 แรงดันที่เปลี่ยนไปนี้จะได้รับการต่อผ่านบัฟเฟอร์ก่อนที่จะออกสู่ขาเอาต์พุต OUT- และ OUT+ ตามลำดับต่อไป สัญญาณที่เข้ามาทางขาอินพุตทั้งสองที่เป็นสัญญาณโหมดรวม จะไม่ทำให้กระแสที่ไหลผ่าน Q1 และ Q2เกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นค่าแรงดันโหมดรวมที่เข้าทางขาอินพุตจะไม่ไปปรากฏด้านเอาต์พุต แต่สัญญาณโหมดรวมทางด้านเอาต์พุตถูกกำหนดด้วยแรงดันที่ผู้ใช้ป้อนให้ที่ขา V_{OCM} ซึ่งจะมีวงจรรวมความผิดพลาดคอยควบคุมแรงดันโหมดรวมของเอาต์พุต (V_{OCM} Error Amplifier) ทำการตรวจวัดค่าเฉลี่ยและคอยปรับการไบอัสให้เอาต์พุตมีสัญญาณโหมดรวมในค่าที่ต้องการ แต่หากผู้ใช้ได้ปล่อยขานี้ลอยไว้ ขานี้ก็จะได้รับการไบอัสให้เป็นค่าแรงดันเฉลี่ยกึ่งกลางระหว่าง V_{EE} V_{CC} ด้วยค่าความต้านทานภายในตัวไอซี ขอดีของวงจรรวมดิฟเฟอเรนเชียลคือ วงจรรวมแบบดิฟเฟอเรนเชียล จะมีช่วงกว้างไดนามิกของเอาต์พุตที่สูงกว่าออปแอมป์มาตรฐานแบบเอาต์พุตเดี่ยวถึงสองเท่า เนื่องจากการใช้เฟสที่ต่างกันของเอาต์พุต

ข้อดีอีกอย่างคือ ถ้ามีการใช้คู่ทรานซิสเตอร์ที่มีคุณสมบัติเหมือนกันจะทำให้ค่าพารามิเตอร์ความผิดพลาดของวงจรรวมทั้งสองจะมีค่าแนวโน้มไปในทางเดียวกัน

VOLTAGE DEFINITIONS	
Voltage parameter	Definition
Input differential voltage (V_{ID})	$V_{ID} = V_{IN+} - V_{IN-}$
Input common-mode voltage (V_{IC})	$V_{IC} = (V_{IN+} + V_{IN-})/2$
Output differential voltage (V_{OD})	$V_{OD} = V_{OUT+} - V_{OUT-}$
Output common-mode voltage (V_{OC})	$V_{OC} = V_{OCM} = (V_{OUT+} + V_{OUT-})/2$
Transfer function	$V_{OD} = V_{ID} \times a(f)$

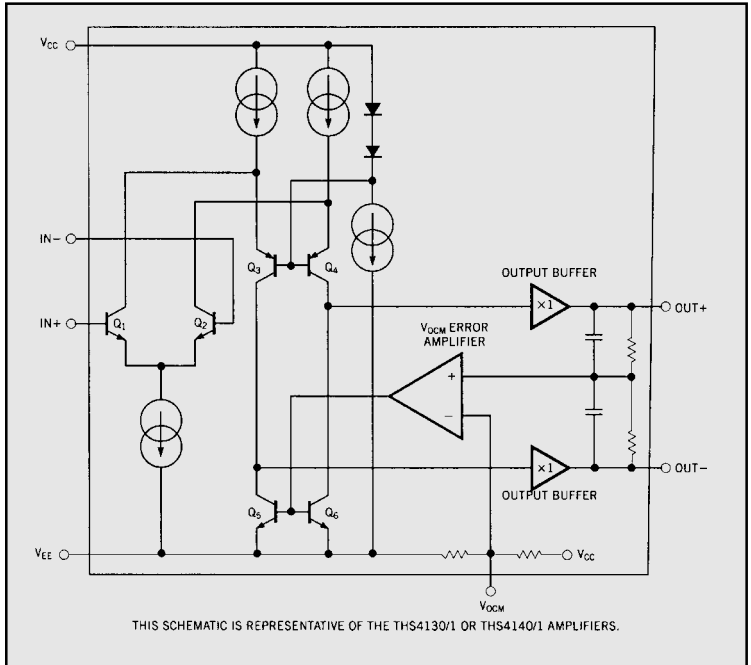
ตารางที่ 1 :

ค่าความผิดพลาดของเอาต์พุตทั้งสองในภาคแรกก็จะเหมือนกัน ส่งผลให้ฮาร์โมนิกอันดับคู่ที่ออกมาจะอยู่ในลักษณะของสัญญาณโหม้รวมซึ่งจะไม่ปรากฏที่ขา OUT+ และขา OUT- อย่างเช่น การทดสอบโอซีวีงจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลของ TEXAS เบอร์ THS4141 ที่ความถี่ 1 MHz แสดงให้เห็นว่าฮาร์โมนิกที่สอง มีค่าลดลง 6 dB เมื่อเทียบกับออปแอมป์ปกติ ส่วนฮาร์โมนิกที่สามจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

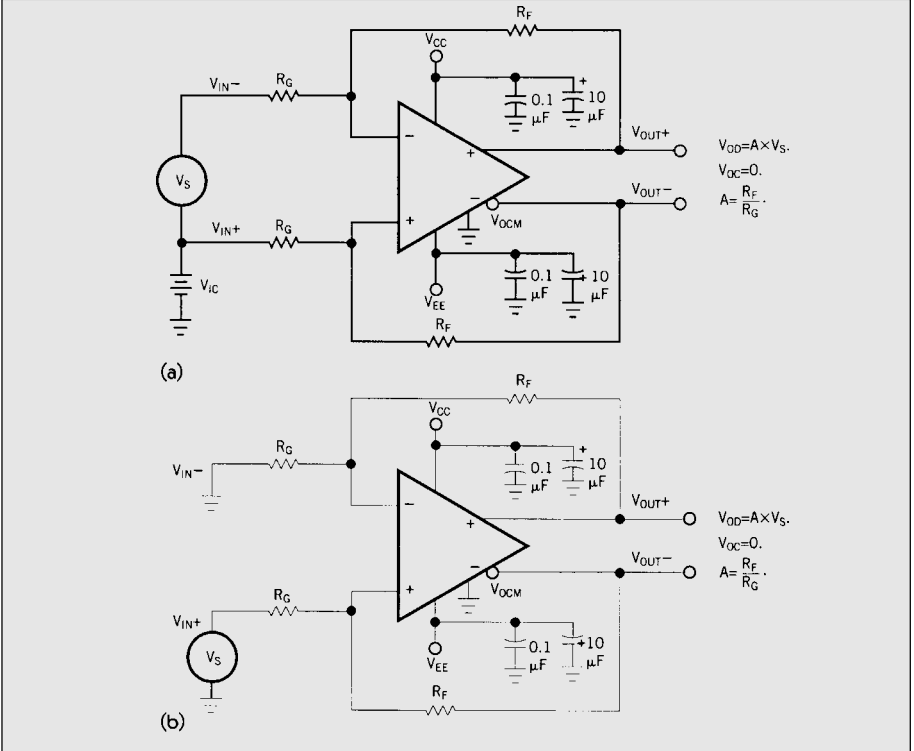
วงจรรใช้งานพื้นฐานของวงจขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล

การใช้นวงจขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลจำเป็นต้องใช้วงจบบ้อนกลับ (Feed Back Circuit) สองเส้นทางเพื่อกำหนดให้กับวงจภายในทั้งสองส่วนให้ทำงานได้สมดุลย์ดังในรูปที่ 4a วงจบบ้อนกลับนี้ต้องเป็นวงจเดียวกันด้วยเพื่อให้ได้วงจขยายประเภทสมดุลย์และบาลานซ์ จะได้ให้ค่าอัตราการจัดโหม้รวม (Common Mode Rejection Ratio :CMRR) ที่มีประสิทธิภาพ ค่า CMRR นี้ถ้าจะให้ค่าที่ดี ต้องใช้ตัวต้านทานในวงจที่มีค่าความผิดพลาดต่ำด้วย เพื่อให้เกิดการเข้าคู่กัน เช่นตัวต้านทานที่มีความผิดพลาด 0.1 เปอร์เซ็นต์ สามารถให้ค่า CMRR ได้ 60 dB เป็นต้น

ส่วนวงจขยายความผิดพลาดที่ใช้ควบคุมแรงดันโหม้รวมของเอาต์พุตจะทำงานอย่างเป็นอิสระในการว้บ้อนกลับและรักษาแรงดันโหม้รวมของเอาต์พุตให้มีค่าเท่า



รูปที่ 3 : วงจขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลจะใช้กระแสที่แตกต่างของทั้ง Q1 Q2 ในการทำให้แรงดันที่จุดที่มีอิมพีแดนซ์สูงคือ คอลเล็กเตอร์ของ Q3/Q5 และ Q4/Q6 มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามอินพุท



รูปที่ 4a) แสดงการบ้อนกลับ เมื่อควบคุมเกณฑ์ได้ค่าที่ตั้งการ และสร้างความสมดุลย์ของวงจขยายภายในด้วย 4b) แสดงการใช้นวงจขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลเป็นเครื่องมือในการเปลี่ยนสัญญาณชนิดปลายเดี่ยว ไปเป็นสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียลอย่างง่าย

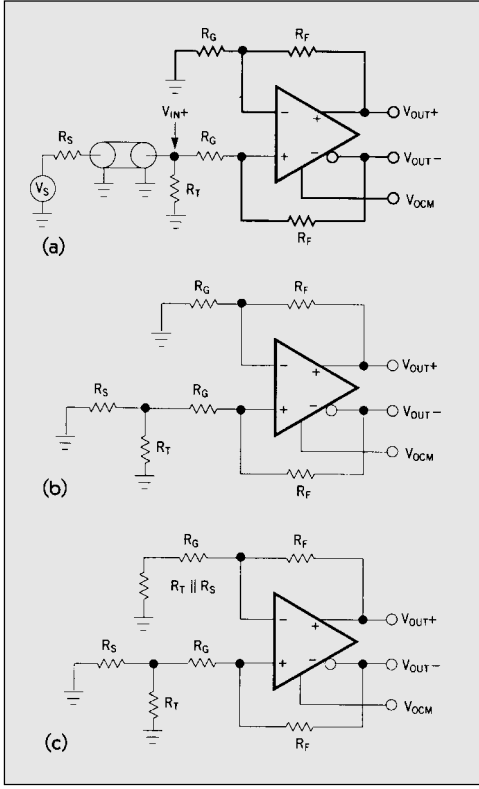
กับแรงดันที่ขา V_{OCM} และรักษาสมดุลย์ของแรงดันที่ขา V_{OUT+} และ V_{OUT-} ให้สวิงห่างจากแรงดัน V_{OCM} เท่าๆกัน แต่ถาหากต้องการนำวงจขยาย-

แบบดิฟเฟอเรนเชียลไปทำการขยายสัญญาณชนิดโหม้รวมหรือสัญญาณปลายเดี่ยว (Single End Signal) ก็สามารถใช้วงจในรูปที่ 4b ได้

การเทอร์มินเนตสัญญาณทางด้านอินพุท

ปกติแล้วเมื่อมีการส่งสัญญาณความเร็วสูงหรือความถี่สูง จึงมีความจำเป็นที่ต้องมีการเทอร์มินเนตปลายทั้งสองข้างของสายนำสัญญาณเพื่อป้องกันการสะท้อนกลับของสัญญาณ การเทอร์มินเนตที่ปลายสายนำสัญญาณจะต้องเทอร์มินเนตด้วยความต้านทานที่มีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ของด้านแหล่งกำเนิดสัญญาณ ค่าอิมพีแดนซ์ที่นิยมใช้กันก็มี 50, 75 และ 100 โอห์ม การเทอร์มินเนตสายนำสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียลที่นำข้อมูลมาจากแหล่งกำเนิดสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียลเช่นกัน ทำได้ด้วยการรวมค่าความต้านทานเข้าที่ปลายสายนำสัญญาณทั้งสองเส้นลงกราวด์ จะทำให้เกิดการบาลานซ์ไปในตัว จึงไม่มีเรื่องยุ่งยากในการออกแบบตามมา แต่ถาแหล่งกำเนิดสัญญาณเป็นแหล่งกำเนิดประเภทสัญญาณปลายเดี่ยว แต่เมื่อนำปลายสายนำสัญญาณมาต่อเข้ากับวงจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลแล้ว การเทอร์มินเนตด้วยการต่อตัวต้านทานคร่อมเพียงตัวเดียวดังในรูป 5a แค้นนั้นจะทำให้เกิดการไม่บาลานซ์ขึ้น โดยสมมุติค่าอัตราส่วนป้อนกลับ (Feed Back Ratio) (การจะทำให้เกิดบาลานซ์ได้ อัตราส่วนป้อนกลับของชุดบนและชุดล่างมีค่าเท่ากัน $b_1=b_2=R_G/(R_G+R_F)$

ในรูปที่ 5a การเทอร์มินเนตปลายสายนำสัญญาณด้วย R_T (ซึ่งส่วนมากแล้ว $R_T=R_G$) เมื่อต้องการดูค่าอัตราส่วนป้อนกลับก็ให้ทำการชอร์ตแหล่งกำเนิดสัญญาณเสียจะได้วงจรดังรูปที่ 5b จะเห็นได้ว่าชุดป้อนกลับชุดบนและล่างไม่เหมือนกัน ทำให้ไม่บาลานซ์กัน จะต้องทำการแก้ไขโดยให้ตัวต้านทานที่มีค่าเท่ากับความต้านทาน R_T ขนานกับ R_S ที่ชุดป้อนกลับชุดบน ก็จะทำให้เกิดการบาลานซ์ขึ้นได้ ซึ่งเป็นวิธีง่าย ๆ สำหรับวงจรขยายที่มีค่าเกนสูงกว่า 1 มากๆ และค่อนข้างจะไม่



รูปที่ 5 : a) สำหรับสัญญาณปลายเดี่ยว การเทอร์มินเนตจะใช้ความต้านทานต่อคร่อมสายสัญญาณกับกราวด์
 b) วงจรสมมูลที่เกิดขึ้นและมีอัตราส่วนป้อนกลับชุดบนกับชุดล่างไม่เท่ากัน
 c) การเพิ่มค่าความต้านทานในวงจรป้อนกลับชุดบนจะทำให้เกิดการบาลานซ์

เปลี่ยนแปลงค่าเกนในช่วงความถี่ที่สนใจมากนัก ก็จะทำให้ผลออกมาเป็น $b_1=b_2=R_G/(R_G+R_F)$ ได้

การใช้งานวงจรขยายดิฟเฟอเรนเชียลให้เป็นวงจรกรองสัญญาณของ ADC

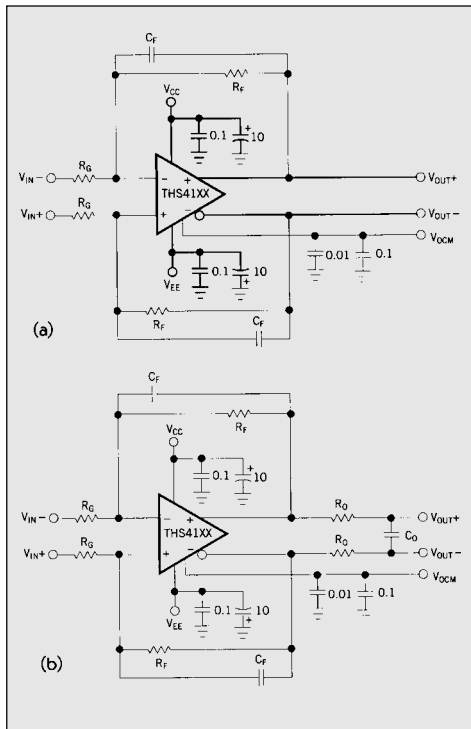
งานหลักๆ ที่วงจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลสามารถทำงานได้คือ วงจรกรองความถี่ต่ำสำหรับสัญญาณที่จะเข้าสู่ ADC ที่มีอินพุทชนิดดิฟเฟอเรนเชียล วิธีการง่าย ๆ ที่จะทำให่วงจรขยายเบื้องต้นทำงานเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำไปได้ในตัวด้วย สามารถทำได้โดยการเพิ่มตัวเก็บประจุเข้าไปในส่วนของวงจรป้อนกลับดังในรูปที่ 6a เพื่อให้ฟังก์ชันถ่ายโอน ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตกับอินพุทเป็น

$$\frac{V_{OD}}{V_{ID}} = \frac{R_F}{R_G} \times \frac{1}{1 + j2\pi f (R_F C_F)}$$

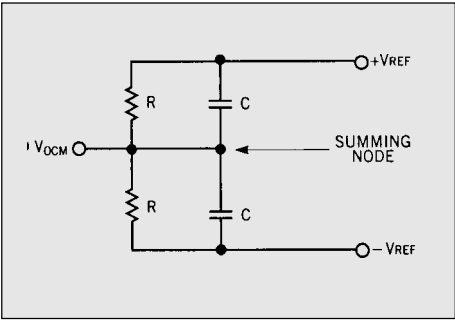
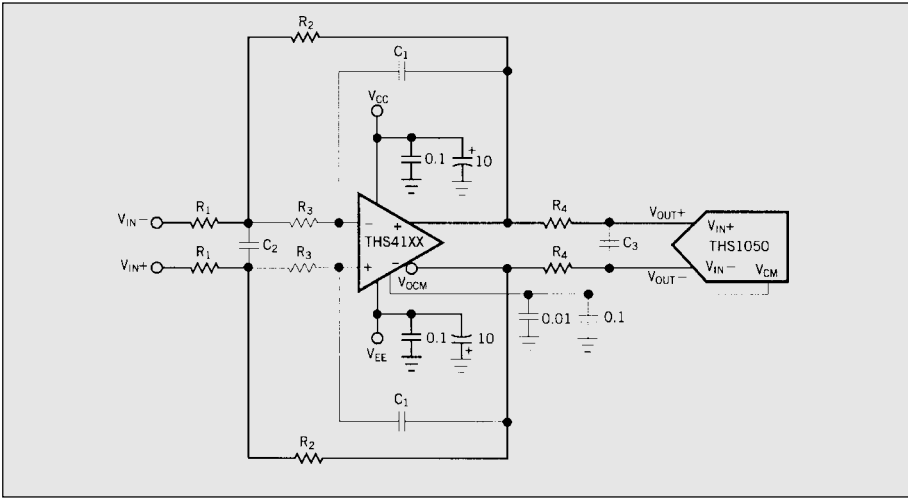
ค่าโพลของวงจรมีค่าเดียว และตกอยู่บนแกนค่าจริงที่เป็นลบในระนาบ S-Plane แต่ถ้ายาลิมิตวงจรมีและวงจรมีที่ได้อีกกล่าวต่อไปจำเป็นจะต้องใช้ตัวเก็บประจุเพิ่มเติมชนิดแทนทาลัมที่มีค่าราวๆ 6.8-10.0mF ขนานกับตัวเก็บประจุชนิดเซรามิกที่มีค่าราวๆ 0.01-0.1mF ต่อคร่อมทุกๆ ขาของไฟเลี้ยงวงจรตัวโใช้กับกราวด์ด้วย

แต่ถาต้องการวงจรรองความถี่ต่ำที่มีค่าโพลสองค่า ผู้ออกแบบวงจรสามารถเพิ่มค่าโพลในตำแหน่งแกนจริงได้ด้วยการวาง R_0 และ C_0 ในด้านเอาต์พุตได้ดังรูปที่ 6b ก็จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรรองความถี่ต่ำที่ยังคงมีส่วนป้อนกลับเป็นแบบบาลานซ์อยู่เป็น

$$\frac{V_{OD}}{V_{ID}} = \frac{R_F}{R_G} \times \frac{1}{1 + j2\pi f (R_F C_F)} \times \frac{1}{1 + j2\pi f \times 2 \times (R_0 C_0)}$$



รูปที่ 6 : a) วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่งแบบง่าย ๆ b) การเพิ่ม R₀ และ C₀ จะทำให้เกิดโพลที่สองของวงจร



รูปที่ 8 : ถ้าหากว่า ADC ที่นำมาใช้ไม่มีขา V_OCM มาให้ผู้ออกแบบสามารถสร้างได้จากวงจรในรูปนี้ ซึ่งเป็นวงจรเฉลี่ยแรงดันไฟจากแรงดันอ้างอิงของ ADC

รูปที่ 7 : วงจรกรองผ่านสัญญาณความถี่ต่ำอันดับสาม ซึ่งจะนำเอาที่พหุที่ได้ไปป้อนให้กับอินพุตของ ADC แบบดิฟเฟอเรนเชียล

โพลที่เกิดขึ้นในตำแหน่งใหม่นี้ยังคงมีตำแหน่งอยู่บนแกนค่าจริงที่เป็นลบในระนาบ S-Plane

สำหรับวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำอันดับสูงๆนั้น มักจะใช้การออกแบบวงจรประเภทขดนิยิม เช่น วงจรกรองแบบ Butterworth, Bessel หรือ ChebyShev วงจรประเภทนี้สามารถออกแบบให้มีอันดับสูงๆได้ง่าย แต่ก็ทำงานได้ไม่เสถียรเช่นกัน เนื่องจากว่าค่าโพลของวงจรจะเป็นค่าจริงที่อยู่บนแกนบวก และมีความต้องการค่าโพลที่เป็นค่าเชิงซ้อนเข้ามารวมทำงานด้วย แต่ถ้ามักการนำเทคนิคการป้อนกลับหลายทาง (Multiple Feed Back) มาใช้ร่วมกับวงจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล ก็สามารถก่อให้เกิดคู่โพลเชิงซ้อนได้ เช่นการเพิ่ม R4 และ C3 ตรงตำแหน่งในรูปที่ 7 จะทำให้ได้วงจรกรองผ่านความถี่ต่ำอันดับสามขึ้นมาได้ และฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรในรูปที่ 7 นี้คือ

$$\frac{V_{OD}}{V_{ID}} = \left[\frac{K}{-\left[\frac{f}{FSF \times f_c}\right]^2 + \frac{1}{Q} \frac{jf}{FSF \times f_c} + 1} \right] \times \left[\frac{1}{1 + j2\pi f \times 2 \times R_4 C_3} \right]$$

where $K=R_2/R_1$,

$$FSF \times f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{2 \times R_2 R_3 C_1 C_2}}$$

$$\text{And } Q = \frac{\sqrt{2 \times R_2 R_3 C_1 C_2}}{R_3 C_1 + R_2 C_1 + KR_3 C_1}$$

ค่า K จะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงเกณฑ์ขยายของวงจรในช่วงแถบความถี่ผ่าน, f_c คือความถี่คัตออฟ, FSF คือแฟคเตอร์การสเกลความถี่ (Frequency Scaling Factor) และ Q คือ แฟคเตอร์คุณภาพ (Quality Factor)

กำหนดให้ Re คือส่วนจริง Im คือส่วนจินตภาพของคู่โพลเชิงซ้อน

$$FSF = \sqrt{Re^2 + Im^2}$$

และ

$$Q = \frac{\sqrt{Re^2 + |Im|^2}}{2 Re}$$

ถ้ากำหนดให้ $R_2=R$, $R_3=mR$, $C_1=C$ และ $C_2=nC$ จะให้ผลลัพธ์ดังนี้

$$FSF \times f_c = \frac{1}{2\pi RC \sqrt{2mn}}$$

และ

$$Q = \frac{\sqrt{2mn}}{1 + m(1 - K)}$$

การออกแบบวงจรกรองด้วยวิธีนี้ให้เริ่มต้นด้วยการกำหนดค่า m และ n ซึ่ง-

เป็นตัวกำหนดค่าเกนและค่า Q เมื่อกำหนดค่า m และ n ได้แล้ว ก็ให้กำหนดค่า C ให้เหมาะสม และคำนวณหาค่า R เพื่อให้ได้ความถี่คัตออฟ (f_c) ที่ต้องการ จากนั้นก็ให้ทำการเลือก R_4 และ C_3 เพื่อให้เกิดตำแหน่งโพลที่มีค่าจริง ในวงจรถองอันดับสาม

ADC ที่มีอินพุตแบบดิฟเฟอเรนเชียลส่วนใหญ่จะให้ขา V_{OCM} ที่เป็นขาชนิดเอาต์พุตออกมาด้วย เพื่อเป็นตัวกำหนดแรงดันโหมตรงรวมที่ใช้อ้างอิงกับไอซีตัวอื่นให้มีค่าตรงกัน ดังนั้นในรูปที่ 8 ผู้ออกแบบสามารถต่อขา V_{OCM} จาก ADC ไปเข้ายังขา V_{OCM} ของวงจรขยายได้เลย แต่ถ้าหาก ADC ไม่มีขาแรงดันนี้ให้ผู้ออกแบบจำเป็นต้องสร้างขึ้นมาจากวงจรเฉลี่ยแรงดันเพื่อหาแรงดันค่ากึ่งกลางของแรงดันอ้างอิงชั่วคราว ($+V_{ref}$) และชั่วคราว ($-V_{ref}$) ของ ADC ดังรูปที่ 8 แล้วนำไปต่อให้กับวงจรขยายดังที่กล่าวมา

การเทอร์มินเนตแบบแอ็กทีฟสายนำสัญญาณต้านออกด้วยการป้อนกลับแบบบวก

วงจรขยายสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียลจำเป็นต้องได้รับสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียลที่ถูกส่งมาทางสายส่ง ซึ่งก็มีความจำเป็นที่สายส่งสัญญาณจะต้องได้รับการเทอร์มินเนตถ้าหากเป็นสัญญาณความถี่สูง เพื่อป้องกันปัญหาที่เกิดจากการสะท้อนกลับของสัญญาณที่ปลายสายนำสัญญาณ วงจร-

ขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลสามารถที่จะดัดแปลงต่อเติมวงจรให้เกิดการป้อนกลับแบบบวก ให้กลายเป็นเทอร์มินเนเตอร์ชนิดแอ็คทีฟได้ ด้วยเทคนิคนี้จะทำให้สัญญาณที่วิ่งมาจากทางด้านสายส่งจะมองเห็นค่าความต้านทานที่ต่ำกว่าค่าที่ต่ำกว่าค่าของตัวต้านทานจริงๆ แต่ค่าแรงดันที่ตกลงบนตัวต้านทานจริงซึ่งน้อยกว่าการเทอร์มินเนตแบบพาสซีฟ จึงทำให้สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นมีค่าน้อย ไม่เปลืองพลังงาน และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับชิ้นงานได้อีกด้วย แต่ที่สำคัญคือต้องออกแบบทั้งชุดบนและชุดล่างให้เหมือนกันเพื่อการบาลานซ์กัน

เพื่อให้การเทอร์มินเนตเป็นไปอย่างถูกต้องวิธี เอาท์พุทอิมพีแดนซ์ของวงจรขยาย (Z_0) ก็จะต้องมีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ของสายส่งด้วย และที่ปลายอีกด้านของสายส่งก็จะต้องได้รับการเทอร์มินเนตด้วยค่า $R_T=Z_0$ เช่นเดียวกัน ต่อไปนี้เป็นวิธีการคำนวณอิมพีแดนซ์ขาออก ให้เริ่มต้นด้วยการต่ออินพุทลงกราวด์และให้ต่อแหล่งกำเนิดแรงดันหรือแหล่งกำเนิดกระแสเข้าที่ V_{OUT+} และ V_{OUT-} และทำการหาค่าอิมพีแดนซ์จากการวัดดังนี้

เนื่องจากเป็นวงจรสมมาตรเพราะ $Z_0+=Z_0-$, $V_{OUT+}=V_{OUT-}$ และ $V_0+=-V_0-$ สมการที่จะใช้หา Z_0+ คือ

$$Z_{0+} = \frac{V_{OUT+}}{I_{OUT+}}$$

$$I_{OUT+} = \frac{(V_{OUT+}) - (V_0+)}{R_0}$$

$$V_0+ = (V_{OUT-}) \times \left(\frac{-R_F}{R_P} \right)$$

เมื่อมองจากด้านเอาท์พุทกลับเข้าไปทางวงจรขยาย อิมพีแดนซ์ของเอาท์พุทแต่ละข้างจะเป็น

$$Z_{0\pm} = \frac{R_0}{1 - \frac{R_F}{R_P}} \quad (13)$$

และค่า Z_0 ที่แท้จริงจะมีค่าเป็นสองเท่าของ $Z_{0\pm}$

นอกจากนี้แล้วการป้อนกลับแบบบวกยังส่งผลถึงเกณฑ์ขยาย เนื่องจากว่าจุดที่จะป้อนกลับจะเป็นค่าแรงดันระหว่าง R_0 และ $R_T \parallel 2R_P$ ดังนั้นเกณฑ์ขยายรวมทั้งวงจรคือ

$$A = \frac{V_{OD}}{V_{ID}} = \frac{R_F}{R_G} \times \frac{1}{\frac{2R_0 + R_T \parallel 2R_P}{R_T \parallel 2R_P} - \frac{R_F}{R_P}} \quad (14)$$

การนำวิธีออกแบบนี้ไปใช้งานก็ให้กำหนดค่า R_F และ R_0 ก่อน จากนั้นให้คำนวณหา R_P เพื่อจะได้ Z_0 ที่ต้องการ และกำหนดเกณฑ์ที่ต้องการเป็นสิ่งที่สุดท้าย จะทำให้ออกค่าหา R_G ออกมาได้

ยกตัวอย่าง ถ้าหากต้องการวงจรรขยายที่มีค่าเกณฑ์ขยายเท่ากับ 1 และต้องการให้วงจรนี้ทำหน้าที่เป็นเทอร์มินเนเตอร์แบบแอ็คทีฟให้กับสายส่งที่มีอิมพีแดนซ์เท่ากับ 100 โอห์มด้วย โดยกำหนด $R_P=1$ กิโลโอห์ม และ $R_0=10$ โอห์ม จะทำให้ทราบได้ว่า Z_0 และ R_T ก็ควรจะมีความ 100 โอห์ม เช่นกัน ($Z_0\pm=50$ โอห์ม)

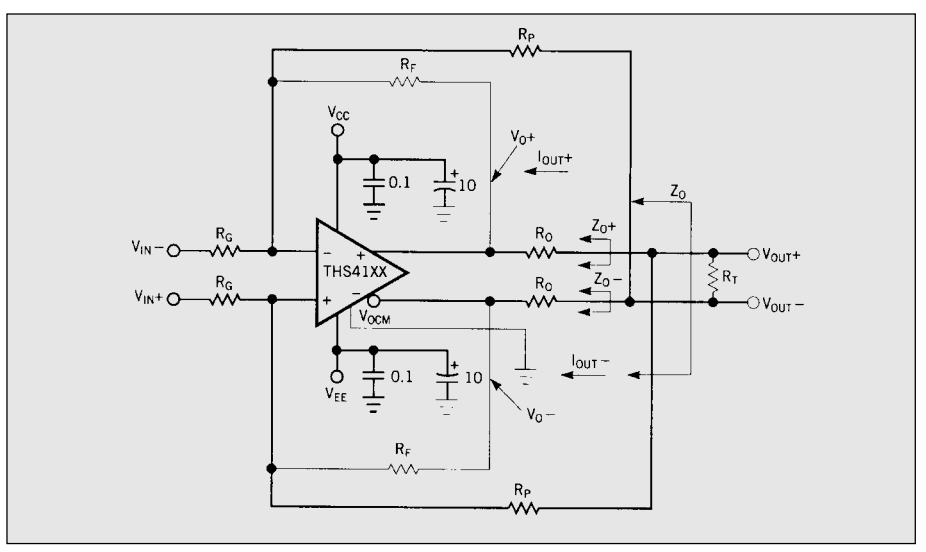
จากสมการ 13 จัดรูปสมการเสียใหม่ จะทำให้สามารถทราบค่า R_P ได้ว่า

$$R_P = \frac{R_F}{1 - \frac{R_0}{Z_0}} = \frac{1K}{1 - \frac{10}{50}} = 1.25 \text{ k}\Omega$$

จากนั้น ก็ให้จัดรูปสมการที่ 14 เสียใหม่จะหาค่า R_G ได้

$$R_G = \frac{R_F}{A} \times \frac{1}{\frac{2R_0 + R_T \parallel 2R_P}{R_T \parallel 2R_P} - \frac{R_F}{R_P}} = \frac{1K}{\frac{20 + 100 \parallel 2.5K}{100 \parallel 2.5K} - \frac{1K}{1.25K}} = 2.45 \text{ k}\Omega$$

เห็นมั้ยครับว่าการออกแบบวงจรไม่ใช่สิ่งที่ง่ายเลย หากเข้าใจในวิชาการควบคุมแบบป้อนกลับ หรือสามารถอ่านค่าตัวชี้วัดและแอฟพลีเคชันโน้ทของไอซีที่นำมาใช้ให้เข้าใจ เพราะส่วนใหญ่แล้ว ไอซีที่นำมาใช้ในงานละเอียดแบบนี้ ทางผู้ผลิตเขาจะพยายามทำออกมาให้หนักออกแบบวงจรสามารถหาค่าอุปกรณ์ต่างๆที่จะนำมาต่อรวมกันกับวงจรด้วยวิธีที่ไม่ยาก เพียงแต่ผู้ใช้ต้องศึกษารายละเอียดในดาต้าชีทและแอฟพลีเคชันโน้ทตัวอย่างให้ครอบคลุมงานที่ต้องการ.



รูปที่ 9 : วงจรขยายดิฟเฟอเรนเชียลแบบโพลซิทีฟที่ผิดแบบ