

การออกแบบวงจรขยายแยกโดดโดยใช้การ ป้อนกลับสัญญาณเพื่อแก้ปัญหาความไม่เป็น เชิงเส้นของอุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสง *

กฤษ เนยใส¹⁾ วิชัย ประเสริฐเจริญสุข²⁾ และ จิรวัฒน์ บุตรบุญชู³⁾

¹⁾ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

²⁾ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

³⁾ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

Email: krit@elec.kku.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบวงจรขยายแยกโดดโดยใช้การป้อนกลับสัญญาณเพื่อแก้ปัญหาความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสง ในวงจรขยายแยกโดดโดยทั่วไปใช้อุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสงซึ่งทำหน้าที่สร้างแนวกันแยกทางไฟฟ้า เพื่อป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าแรงสูงและปัญหาการรบกวน แต่อุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสงจะเกิดความผิดพลาดจากการแยกโดดสัญญาณเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์ ดังนั้นการแก้ปัญหาความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์สามารถแก้ไขได้โดยใช้การป้อนกลับสัญญาณมาชดเชย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการป้อนกลับสัญญาณสามารถแก้ปัญหาความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสงได้โดยใช้วงจรแบบง่าย ๆ โดยมีแบนด์วิดท์กว้างถึง 12 กิโลเฮิรตซ์

คำสำคัญ: ออปโตคัปเบิล, ออปแอมป์, ฟีดแบค

* รับผิดชอบฉบับเมื่อวันที่ 27 สิงหาคม 2547 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 17 กันยายน 2547

A Design of isolated amplifier using feedback signal for solving non- linear of opto coupler device *

Krit Choeisai ¹⁾ Vichai Prasertcharoensuk ²⁾ and Jirawat Budboonchu ³⁾

¹⁾ Lecture, Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

²⁾ Assistant Professor, Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

³⁾ Graduated Student, Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

Email: krit@elec.kku.ac.th

Abstract

This paper presents a design of isolated amplifier using feedback signal for solving non-linear of optocoupler device. Optocoupler device is usually used in isolated amplifier. It is used to isolate electricity in order to protect high voltage and ground loop. Since optocoupler are non-linear device, feedback signal is used to solve the problem of non-linear. The result showed that feedback signal could compensate the non-linear of optocoupler device by using a simple circuit and the bandwidth of frequency was 12 kHz.

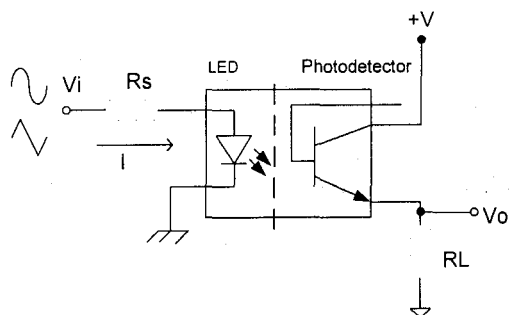
Keywords: Optocouple, Opamp, Feedback

บทนำ

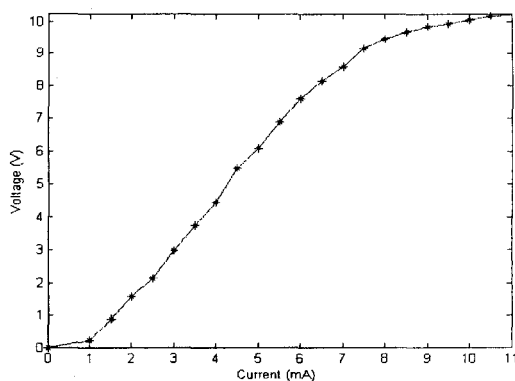
ในปัจจุบันได้นำคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการควบคุมต่างๆ เช่น มอเตอร์ คอนเวอร์เตอร์ อินเวอร์เตอร์ ฯลฯ ซึ่งการควบคุมจะใช้ร่วมกับแหล่งจ่ายไฟที่มีศักย์ไฟฟ้าที่สูง ดังนั้นเพื่อป้องกันอุปกรณ์ควบคุมไม่ให้เกิดความเสียหาย ซึ่งอาจจะเกิดจากสาเหตุการไหลย้อนกลับของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงหรือจากปัญหาราวด์ลูป ฉะนั้นจึงใช้วิธีการแยกโอดสัญญาณเพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว การแยกโอดสัญญาณส่วนใหญ่จะใช้อุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสง แต่อุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสงที่ใช้กันนี้มีความไม่เป็นเชิงเส้นอันเนื่องมาจากคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่นำมาผลิต จากปัญหาดังกล่าวเมื่อนำอุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสงไปใช้งานจะเกิดความผิดพลาดของสัญญาณได้ ในบทความนี้จะนำเสนอเทคนิคการแก้ปัญหาความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสงโดยการเพิ่มตัวป้อนกลับสัญญาณเพื่อจะชดเชยไม่ให้เกิดความผิดพลาดของสัญญาณ

ปัญหาของอุปกรณ์แยกโอดสัญญาณ

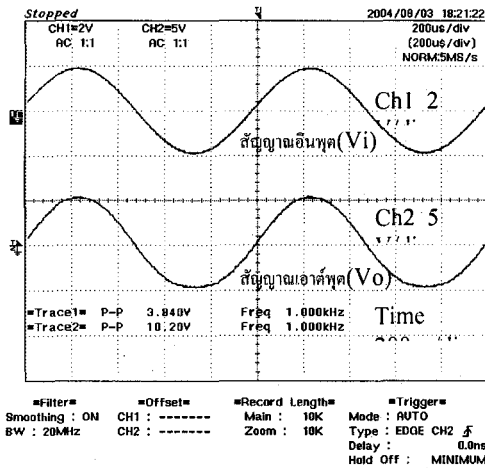
ปัญหาที่พบของอุปกรณ์แยกโอดสัญญาณโดยใช้อุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสงคือ ความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์ จากปัญหาดังกล่าวจะทำให้สัญญาณที่ได้เมื่อทำการแยกโอดสัญญาณมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ในรูปที่ 1 แสดงการต่อวงจรทดสอบหาคุณสมบัติของอุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสง โดยป้อนกระแสไฟตรง(I) เข้าทางด้านอินพุต(V_i) แล้ววัดหาค่าตอบสนองแรงดัน(V) ทางด้านเอาต์พุต(V_o) จะเห็นถึงความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสงดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2 จากนั้นทำการป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ทางด้านอินพุต(V_i) แล้วทำการวัดสัญญาณทางด้านเอาต์พุต(V_o) จะเห็นความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นไซน์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 3 ในทำนองเดียวกันเมื่อป้อนสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมเข้าทางด้านอินพุต(V_i) สัญญาณที่ได้ทางเอาต์พุต(V_o) ก็จะมีผิดเพี้ยนเช่นกันดังแสดงในรูปที่ 4



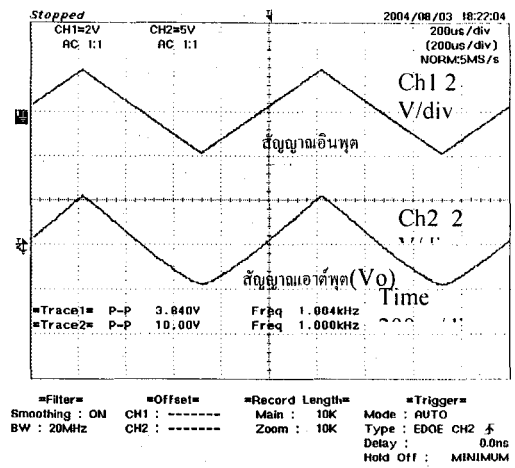
รูปที่ 1 แสดงการต่อวงจรทดสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสง



รูปที่ 2 แสดงผลตอบสนองต่อสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง



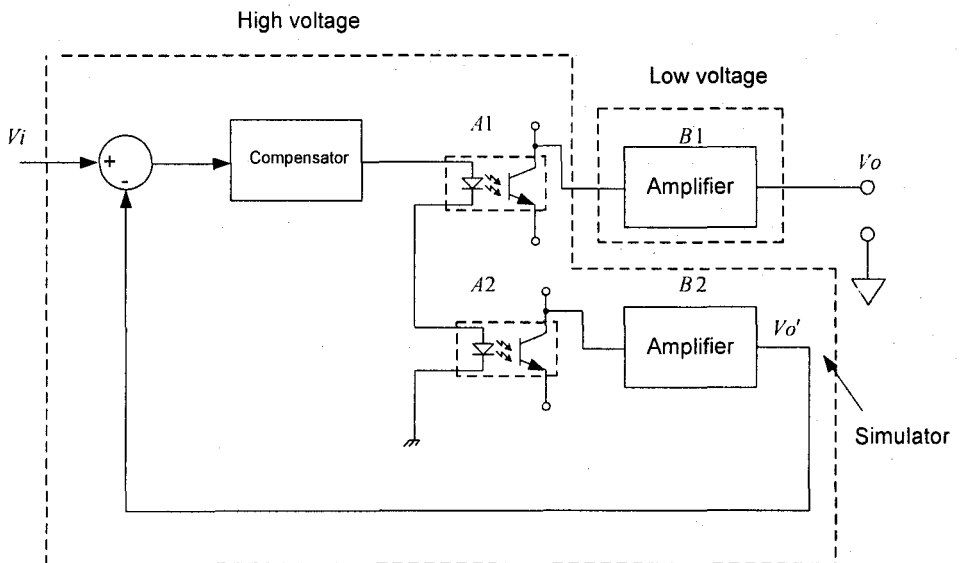
รูปที่ 3 แสดงผลตอบสนองต่อสัญญาณรูปคลื่นไซน์



รูปที่ 4 แสดงผลตอบสนองต่อสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม

การแก้ปัญหาความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์แยกโดตสัญญาณ

การแก้ปัญหา ความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสง ได้แสดงในผังในรูปที่ 5 ซึ่งประกอบด้วย ส่วนอินพุต(V_i) ส่วนชดเชยสัญญาณ(Compensator) ส่วนอุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสง(A1,A2) และส่วนวงจรขยายสัญญาณ(B1,B2) ซึ่งจะแบ่งเป็น ชุดสัญญาณทางด้านเอาต์พุต(V_o)และชุดจำลองสัญญาณทางด้านเอาต์พุต(V_o')



รูปที่ 5 แสดงผังวิธีการแก้ปัญหาความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์แยกโดตสัญญาณ

$$\begin{aligned} A_1 \times B_1 &= A_2 \times B_2 \\ A_1' &= A_2' \\ A_1 &= A_2 \\ A_1' &= A_2' \end{aligned}$$

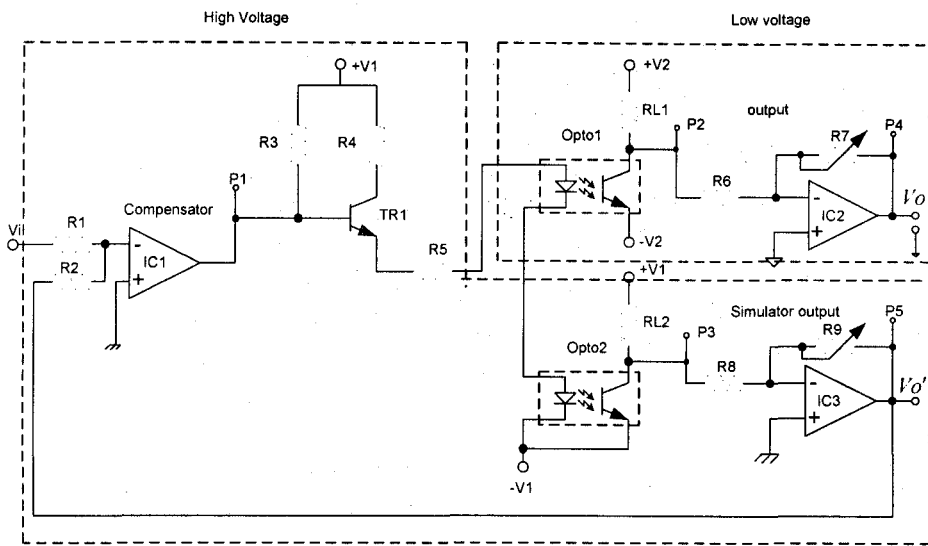
V! คือขนาดของสัญญาณอินพุต
Vo คือขนาดของสัญญาณเอาต์พุต
Vo' คือขนาดของสัญญาณเอาต์พุต
Vo' คือขนาดของสัญญาณเอาต์พุต

A1 คือเกนของการขยายสัญญาณของอุปกรณ์ขยายทางแสงตัวที่ 1
B1 คือเกนของการขยายสัญญาณตัวที่ 1
A2 คือเกนของการขยายสัญญาณของอุปกรณ์ขยายแสงตัวที่ 2
B2 คือเกนของการขยายสัญญาณตัวที่ 2

จากสมการ เพื่อทำการปรับแก้การแยกแยะการคูณ $A_1 \times B_1$ ในเทกซ์ A2 $\times B_2$ จะทำให้สัญญาณเอาต์พุต (Vo) เท่ากับสัญญาณเอาต์พุต (Vo') ซึ่งจะทำให้สัญญาณเอาต์พุต (Vo) เท่ากับสัญญาณอินพุต (V!) ตามที่ต้องการ

ԳԼԵԼԱՆԴԱԶԹՊԻՇԹԱՆԵՐԸ

จากผลการเก็บข้อมูลในรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าโรงเรียนจตุรพักตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ดมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 วิชาภาษาอังกฤษ (Compensator) และจุดอ่อนของนักเรียนในบางรายที่สอบได้คะแนนต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้



รูปที่ 6 แสดงวงจรการทำงานจริงของวงจรแยกโอดสัญญาณ

จากวงจรการทำงานจริงรูปที่ 6 สัญญาณอินพุตจะถูกป้อนเข้าที่ขา Inverting ของ IC1 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวขยายสัญญาณ ผ่านไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ TR1 ซึ่งไบอัสให้ขยายแบบคลาสเอ กระแสถูกขยายออกทางด้านขามิตเตอร์ ของทรานซิสเตอร์ TR1 ผ่านความต้านทาน R5 ซึ่งทำหน้าที่จำกัดกระแสให้ไม่เกิน 10 mA เข้าที่ขาแอนโอดของ Opto1 และ Opto2 ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง ส่วน Photodetector จะเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณจะถูกขยายผ่านขา คอล-เลกเตอร์ของ Opto1 และ Opto2 สัญญาณที่ได้จาก Opto1 จะถูกขยายโดย IC2 และ สัญญาณที่ได้จาก Opto2 จะถูกขยายโดย IC3 ซึ่งเป็นการขยายแบบกลับสัญญาณ ในกรณีที่เกนของการขยายของ Opto1 และ Opto2 ไม่เท่ากันจะทำการปรับเกนการขยายที่ IC3 เพื่อให้ได้ขนาดของสัญญาณเท่ากับสัญญาณที่ได้จาก IC2 สัญญาณที่ได้จาก IC3 จะถูกป้อนกลับไปยังขา Inverting ของ IC1 เพื่อขยายสัญญาณให้คงที่อยู่เสมอ

ผลการทดลอง

ในการทดลองทำการป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ รูปคลื่นสามเหลี่ยมและรูปคลื่นสี่เหลี่ยมมีขนาดของแรงดันเท่ากับ 4 Vp-p ความถี่ 1 kHz โดยมีผลการทดลองดังนี้

รูปที่ 7 แสดงสัญญาณอินพุตเมื่อป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ และสัญญาณเอาต์พุต (P1) ที่ได้จาก IC1 ซึ่ง สัญญาณที่ได้จาก IC1 จะเป็นสัญญาณ DC สัญญาณที่ได้จะไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ เนื่องจาก IC1 ขาดความไม่เป็นเชิงเส้นของ Opto1 และ Opto2

รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณเอาต์พุต (Vi) เมื่อป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์กับสัญญาณจำลองทางด้านเอาต์พุต (Vo') และสัญญาณผลต่างระหว่างสัญญาณเอาต์พุต (Vo) กับสัญญาณจำลอง

ทางด้านเอาต์พุต(V_o') ซึ่งขนาดของแอมพลิจูดและความถี่มีค่าเท่ากัน สังเกตจากผลต่างของสัญญาณทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกับศูนย์

รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณอินพุต(V_i) เมื่อป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์กับสัญญาณจำลองทางด้านเอาต์พุต(V_o') และสัญญาณผลต่างระหว่างสัญญาณอินพุต (V_i) กับสัญญาณจำลองทางด้านเอาต์พุต(V_o') ซึ่งขนาดของแอมพลิจูดและความถี่มีค่าเท่ากัน สังเกตจากผลต่างของสัญญาณทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกับศูนย์

รูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณอินพุต (V_i) เมื่อป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์กับสัญญาณทางด้านเอาต์พุต (V_o) และสัญญาณผลต่างระหว่างสัญญาณอินพุต (V_i) กับสัญญาณทางด้านเอาต์พุต (V_o) ซึ่งขนาดของแอมพลิจูด และความถี่มีค่าเท่ากันเนื่องจากตัวควบคุมเป็นตัวชดเชยสัญญาณ ขนาดของสัญญาณเอาต์พุต(V_o)และความถี่จะมีค่าเท่ากับสัญญาณอินพุต(V_i) สังเกตจากผลต่างของสัญญาณทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกับศูนย์

รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณอินพุต(V_i) เมื่อป้อนสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุต(V_o) และผลต่างระหว่างสัญญาณอินพุต(V_i)กับสัญญาณทางด้านเอาต์พุต (V_o) จะพบว่าขนาดของสัญญาณและความถี่มีค่าเท่ากัน สังเกตได้จากค่าผลต่างของสัญญาณทั้งสองมีค่าใกล้เคียงศูนย์

รูปที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณอินพุต(V_i) เมื่อป้อนสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุต(V_o) และสัญญาณผลต่างระหว่างสัญญาณอินพุต(V_i) กับสัญญาณเอาต์พุต (V_o) สัญญาณผลต่างระหว่างสัญญาณอินพุต(V_i) กับสัญญาณเอาต์พุต(V_o) ที่ได้จะมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับการป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์และรูปคลื่นสามเหลี่ยม เพราะว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน เมื่อเทียบกับเวลาของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจะสูงกว่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเมื่อเทียบกับเวลาของสัญญาณรูปคลื่นไซน์และรูปคลื่นสามเหลี่ยม

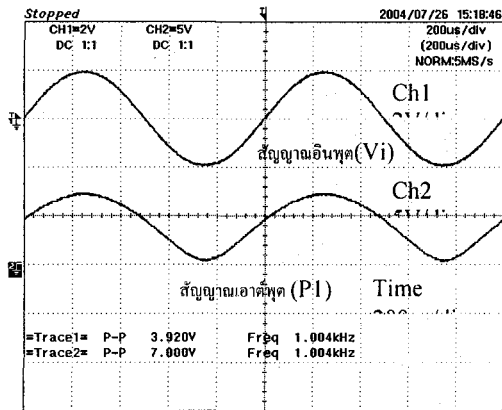
รูปที่ 13 แสดงผลตอบสนองทางเวลาช่วงขาขึ้นของสัญญาณ เมื่อป้อนสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจะมีช่วงเข้าสู่สภาวะคงที่ของสัญญาณ 20 μ s

รูปที่ 14 แสดงผลตอบสนองทางเวลาช่วงขาขึ้นของสัญญาณ เมื่อป้อนสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจะมีช่วงเข้าสู่สภาวะคงที่ของสัญญาณ 20 μ s

รูปที่ 15 แสดงผลตอบสนอง ระหว่างแรงดันกับความถี่ของอุปกรณ์แยกโดดสัญญาณ โดยใช้ อุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสง เมื่อป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์จะมีความถี่จุดที่ไม่มีความเพี้ยนของสัญญาณประมาณ 12 kHz

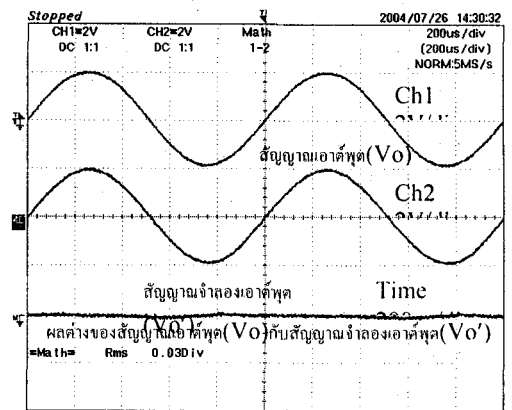
จากผลการทดลอง สามารถที่แก้ปัญหาความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสงได้โดยสร้างชุดจำลองสัญญาณทางด้านเอาต์พุตแล้วนำสัญญาณป้อนกลับไปชดเชยเพื่อที่จะทำให้สัญญาณที่ได้ไม่มีความผิดเพี้ยนและมีขนาดของสัญญาณเอาต์พุตเท่ากับขนาดของสัญญาณอินพุตอยู่เสมอ ซึ่งทำการทดสอบ โดยการป้อนสัญญาณอินพุตเป็นรูปคลื่นไซน์รูปคลื่นสามเหลี่ยมและรูปคลื่นสี่เหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 4 ถึง รูปที่ 14 ผลที่ได้พบว่าสามารถที่แก้ปัญหาความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์ได้ และเมื่อทดสอบหาผลตอบสนองทางความถี่สูงสุดจะมีผลตอบสนองความถี่สูงสุดที่ประมาณ 12 kHz ดังแสดงใน

รูปที่ 15



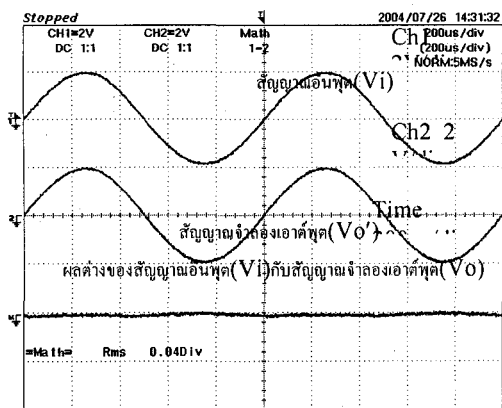
=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : -0.02V Main : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 10K Type : EDGE CH1 $\downarrow$
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : 0.2us

รูปที่ 7 แสดงสัญญาณอินพุต(V_i) กับสัญญาณเอาต์พุต($P1$) ของ IC1 เมื่อป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์



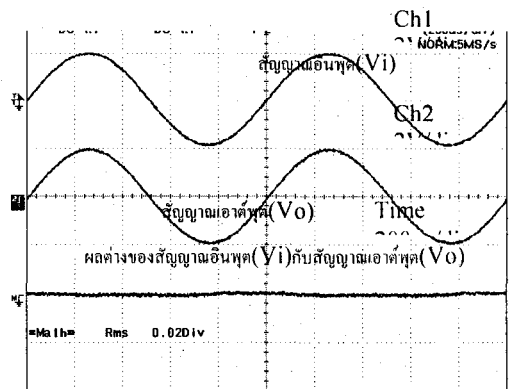
=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : -0.02V Main : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 10K Type : EDGE CH1 $\downarrow$
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : 0.2us

รูปที่ 8 แสดงสัญญาณเอาต์พุต(V_o) สัญญาณจำลองเอาต์พุต(V_o') และผลต่างของสัญญาณทั้งสอง เมื่อป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์



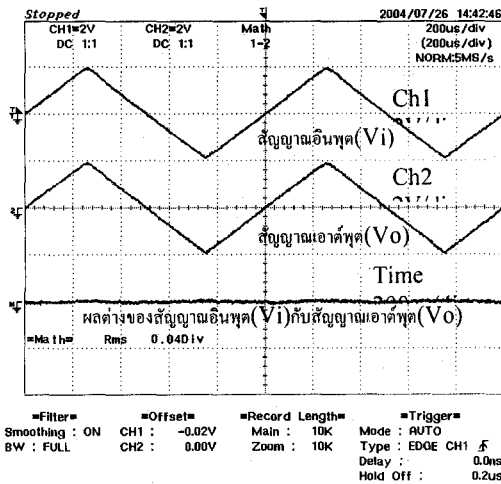
=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : -0.02V Main : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 10K Type : EDGE CH1 $\downarrow$
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : 0.2us

รูปที่ 9 แสดงสัญญาณอินพุต(V_i) สัญญาณจำลองเอาต์พุต(V_o') และผลต่างของสัญญาณทั้งสองเมื่อป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์

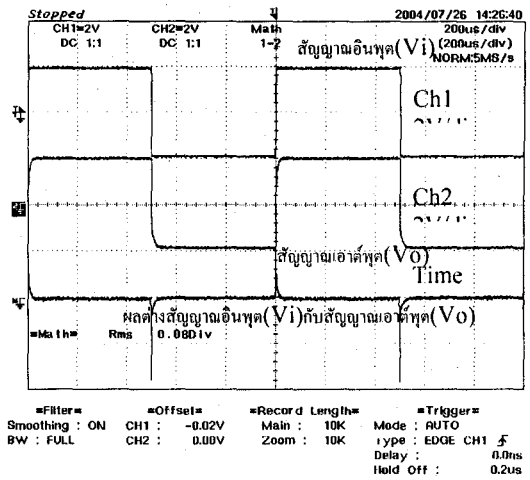


=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : -0.02V Main : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 10K Type : EDGE CH1 $\downarrow$
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : 0.2us

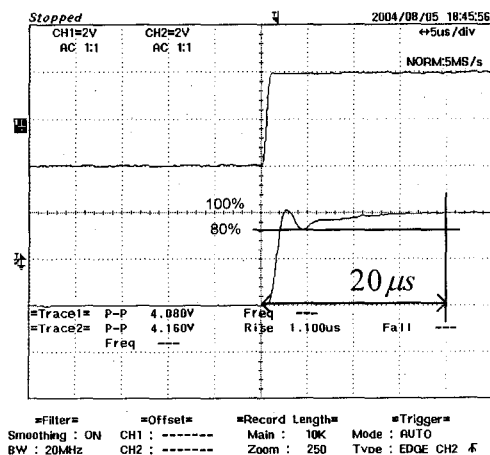
รูปที่ 10 แสดงสัญญาณอินพุต(V_i) สัญญาณเอาต์พุต(V_o) และผลต่างของสัญญาณทั้งสอง เมื่อป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์



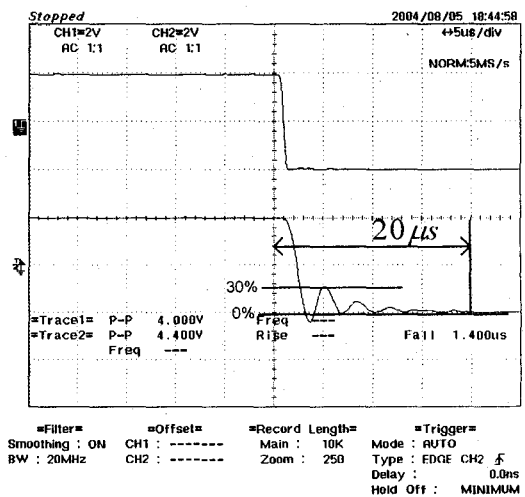
รูปที่ 11 แสดงสัญญาณอินพุต(Vi) สัญญาณเอาต์พุต(Vo) และผลต่างของสัญญาณเมื่อป้อนสัญญาณ รูปคลื่นสามเหลี่ยม



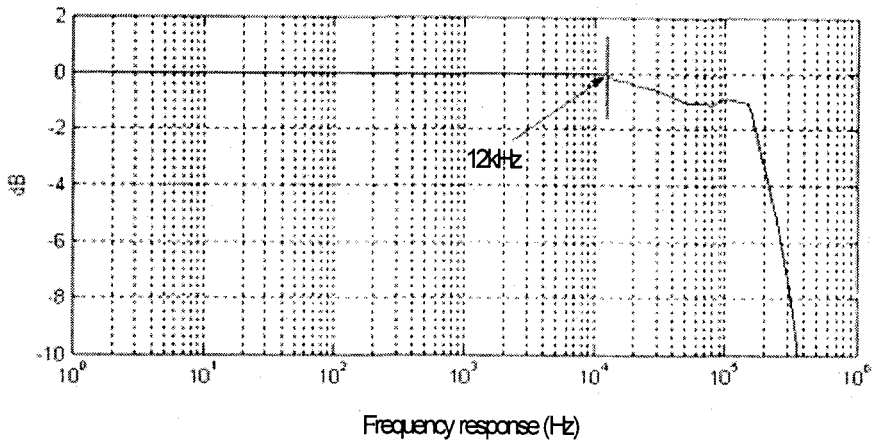
รูปที่ 12 แสดงสัญญาณอินพุต(Vi) สัญญาณเอาต์พุต(Vo) และผลต่างของสัญญาณเมื่อป้อนสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม



รูปที่ 13 แสดงผลตอบสนองทางเวลาด้านขาขึ้นของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม



รูปที่ 14 แสดงผลตอบสนองทางเวลาทางด้านขาลงของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม



รูปที่ 15 แสดงผลตอบสนองระหว่างแรงดันกับความถี่ของอุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสง

สรุป

จากปัญหาความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์แยกโคตสัญญาณโดยใช้อุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสง เมื่อทำการป้อนสัญญาณเพื่อหาผลตอบสนองทางด้านเอาต์พุต สัญญาณที่ได้จะมีความผิดเพี้ยนทำให้เมื่อนำสัญญาณไปใช้ในการควบคุมหรือประมวลผลจะทำให้เกิดการผิดพลาดได้ การแก้ไขปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยการสร้างชุดจำลองสัญญาณเอาต์พุตและเพิ่มตัวชดเชยสัญญาณ ซึ่งจะใช้สัญญาณจำลองทางด้านเอาต์พุตป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาที่ตัวชดเชยสัญญาณและเมื่อทดสอบหาผลตอบสนองทางความถี่โดยป้อนสัญญาณอินพุตเป็นรูปคลื่นไซน์พบว่า มีผลตอบสนองความถี่จุดที่ไม่มีความเพี้ยนของสัญญาณประมาณ 12 kHz

การทดลองจะเห็นได้ว่าไม่ว่าจะป้อนสัญญาณทางด้านอินพุตเป็นรูปคลื่นไซน์ รูปคลื่นสามเหลี่ยม และรูปคลื่นสี่เหลี่ยม สัญญาณทางด้านเอาต์พุตที่ได้จะมีขนาดของสัญญาณและความถี่เท่ากันกับสัญญาณที่ป้อนทางด้านอินพุต ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถแก้ปัญหาค่าความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์แยกโคตสัญญาณโดยใช้อุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสงได้

ข้อเสนอแนะ

วงจรรขยายแบบแยกโคตโดยใช้อุปกรณ์แยกโคตทางแสงมีข้อจำกัดการใช้งานอยู่หลายประการ เช่น ความถี่ของสัญญาณที่จะใช้งาน อัตราทวนแรงดัน ถ้าใช้อุปกรณ์แยกโคตสัญญาณโดยใช้อุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสงที่มีประสิทธิภาพดี ก็จะทำให้การแยกโคตสัญญาณสามารถทำได้ถึงความถี่สูงขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนและขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยขอนแก่นและสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตขอนแก่นที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ
ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

Mancini,Ron. 2002. **Op Amps For Everyone**. Chief. Texas Instrument.
Skolnik,Howard L. 1982. **Design Considerations For Linear Optically Coupled Isolation
Amplifier**. IEEE : 1094-110.