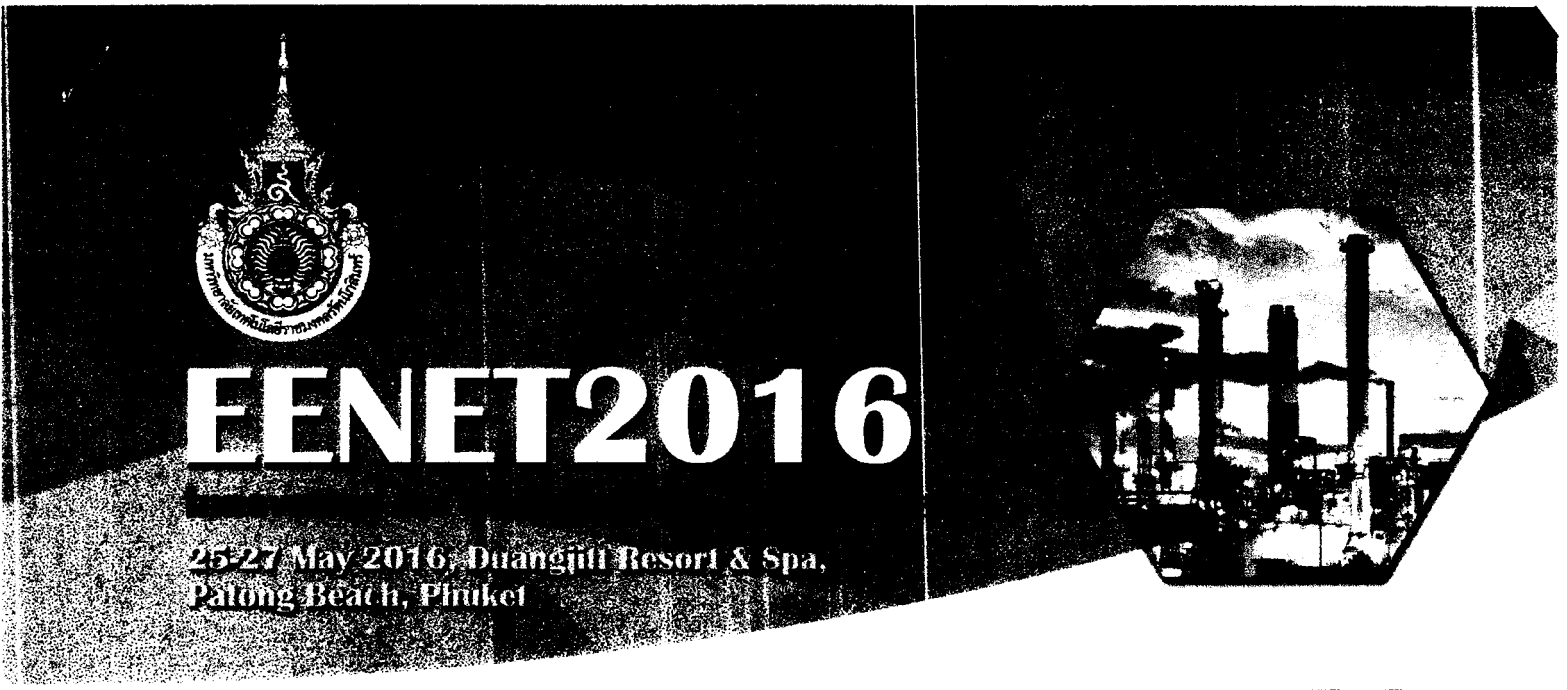
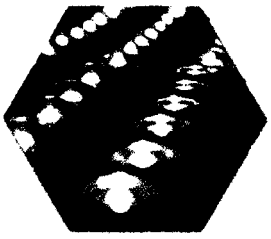


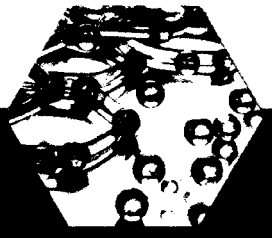
EENET2016

25-27 May 2016, Duangjitt Resort & Spa,
Patong Beach, Phuket

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 8

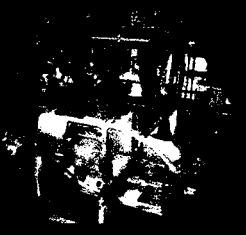
The 8th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology

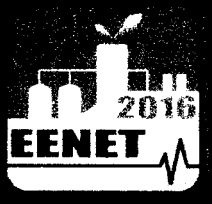




Conference Topics

- ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- ระบบควบคุมและการวัด (CT)
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- การประมวลผลสัญญาณดิจิตอล (DS)
- พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน(ES)
- นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ (IN)
- งานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)





PTS Combination

AD Didactic Systems Teachware

ptt Group

USE FLO-LINE

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 8

Proceedings of the 8th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2016 (EENET 2016)

การออกแบบและสร้างเครื่องวิเคราะห์อิมพิแดนซ์ โดยใช้วงจรรวมสำเร็จรูป

Design and Construction Impedance Analyzer using Compact Integrated Circuits

ปิติกันต์ รักราชการ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

38 ถนนเพชรเกษม เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ โทรศัพท์ 02-457-0068 ต่อ 5123 E-mail: pitikan@siam.edu

บทคัดย่อ

บทความนี้ขอนำเสนอการออกแบบและการสร้างเครื่องวิเคราะห์อิมพิแดนซ์ที่มีการผลิตออกมาเป็นวงจรรวมสำเร็จรูป จากบริษัท Analog Devices เบอร์ AD5933 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรวิเคราะห์การแปลงอิมพิแดนซ์ ที่มีความแม่นยำสูงขนาด 12 บิท และค่าอัตราการสุ่มสัญญาณ 1 ล้านครั้งต่อวินาที ซึ่งสามารถนำไปสร้างเป็นเครื่องวิเคราะห์อิมพิแดนซ์ขนาดเล็กที่มีราคาถูกได้ โดยบทความนี้จะได้ทำการทดสอบวงจรนี้กับบอร์ดทดลอง และเขียนโปรแกรมควบคุมบอร์ดโดยใช้โปรแกรม LabVIEW และทำการทดสอบเครื่องโดยการต่อกับโหลดจำลองที่เป็นตัวต้านทานและตัวเก็บประจุเพื่อทดสอบความแม่นยำของค่าที่ได้ ซึ่งพบว่าจากการทดสอบในย่านความถี่กวาด ตั้งแต่ 10 Hz จนถึง 100 kHz ค่าอิมพิแดนซ์ที่ได้จะมีความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 1 โดยประมาณ

คำสำคัญ: เครื่องวิเคราะห์อิมพิแดนซ์,วงจรรวม, ออโตบาลานซ์ซิ่งบริดจ์

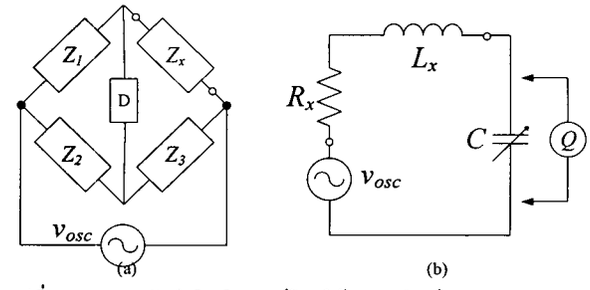
Abstract

This paper presents the design and construction of Impedance Analyzers has produced a range of products from Analog Devices AD5933 number, which serves as the analysis of the circuit impedance converter board. The high-precision 12-bit and sampling rate one million times per second. This provided to low cost product. The article will be tested circuit board test. Programming and control board using LabVIEW and test equipment to load simulation by a resistor and capacitor to test the accuracy of the values obtained. It was found that the test frequency sweep from 10 Hz to 100 kHz the impedance is having error an approximately 1 percent.

Keywords: Impedance Analyzers, Integrated Circuits, Auto-Balancing bridge

1. บทนำ

อิมพิแดนซ์(Impedance) หมายถึงค่าความต้านทานรวมไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับที่ปรากฏอยู่ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทุกชนิด ค่าอิมพิแดนซ์ในวงจรใดๆก็จะขึ้นอยู่กับค่าความจุไฟฟ้า ค่าความเหนี่ยวนำ ทั้งที่ปรากฏอยู่จริงและค่าแฝง และค่าความถี่ของสัญญาณด้วย การวัดค่าอิมพิแดนซ์จึงต้องมีเทคนิควิธีการเฉพาะ โดยไม่สามารถใช้มัลติมิเตอร์ในการวัดเหมือนค่าความต้านทานธรรมดาได้ การวัดค่าอิมพิแดนซ์มีด้วยกันหลายวิธี เช่น การใช้วงจรบริดจ์ (Bridge Method) หรือ (Resonant Method) ดังรูปที่ 1 (a) และ (b) ตามลำดับ



รูปที่ 1 (a) การวัดค่าอิมพิแดนซ์โดยใช้วงจรบริดจ์ (Bridge Method) และ (b) Resonant Method

แต่ปัจจุบันมีวิธีการวัดอิมพิแดนซ์อีกรูปแบบหนึ่งที่มีความเหมาะสมกับการนำไปประมวลผลสัญญาณดิจิตอลและเป็นที่นิยมใช้กับเครื่องมือวัดดิจิตอลสมัยใหม่นั่นคือการวัดแบบ Auto-balancing bridge method แสดงดังรูปที่ 2

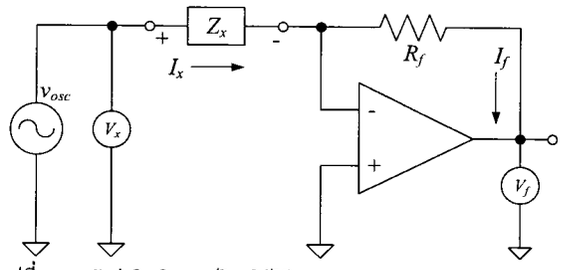
จากรูปที่ 2 ถ้ากำหนดให้ Z_x เป็นอิมพิแดนซ์ที่ไม่ทราบค่า V_x เป็นแรงดัน High terminal voltage และ V_f เป็น Low terminal voltage จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง V_x V_f และ Z_x ดังนี้

$$V_f = I_f R_f = I_x R_f \tag{1}$$

ถ้ากำหนดให้ $$I_x = \frac{V_x}{Z_x} \tag{2}$$

จากสมการ (1) และ (2) ก็จะหาค่าอิมพิแดนซ์ Z_x ได้เป็น

$$Z_x = \frac{V_x}{I_x} = R_f \frac{V_x}{V_f} \tag{3}$$



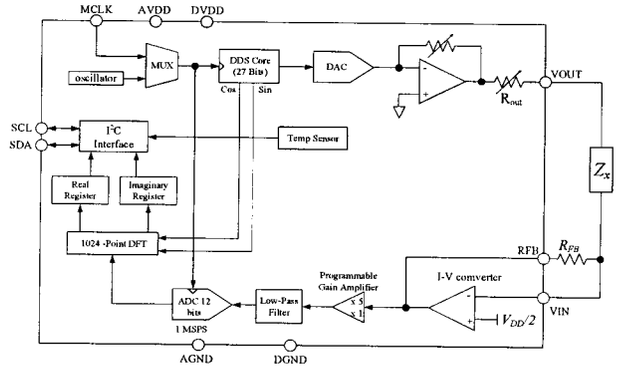
รูปที่ 2 การวัดค่าอิมพิแดนซ์โดยใช้วิธี Auto-Balancing Bridge Method

R_f คือค่า Range Resistor มีหน้าที่สร้างค่าแรงดันที่เหมาะสมให้กับวงจรเพื่อให้การหาค่า Z_x มีความเที่ยงตรงมากที่สุด

2. AD5933, Impedance Converter, Network Analyzer

2.1 คุณสมบัติของไอซี AD5933

ไอซีเบอร์ AD5933 จากบริษัท Analog Devices มีคุณสมบัติเป็นวงจรแปลงอิมพิแดนซ์ความแม่นยำสูง (High Precision Impedance Converter) ที่ประกอบไปด้วย Sweep function Generator และ Analog to Digital Converter (ADC) 12-bits อัตราสุ่ม 1MSPS โดยสามารถวัดค่าอิมพิแดนซ์ได้สูงถึง 10MΩ และสามารถสร้างสัญญาณวัดอิมพิแดนซ์ที่ค่าความถี่สูงสุด 100 kHz แสดง Block Diagram ได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 Block Diagram ของไอซี AD5933

จากรูปที่ 3 สามารถอธิบายโครงสร้างการทำงานของไอซีได้โดยย่อคือ ไอซีจะเริ่มต้นจากการรับสัญญาณจากผู้ใช้ผ่านทาง I^2C Interface ผ่านทางขา SCL และ SDA เพื่อสร้างสัญญาณไซน์ที่กวาดความถี่ได้ (Sinusoidal Sweep) จากความถี่ต่ำสุดถึงสูงสุด โดยภาควงจร DDS Core หรือ Phase Accumulator ขนาด 27-bit ส่งต่อไปยัง DAC (Digital to Analog Converter) เพื่อแปลงเป็นสัญญาณแอนะล็อก เพื่อส่งไปยังอิมพิแดนซ์ Z_X ที่ต้องการทราบค่า ค่ากระแสจาก Z_X ก็ถูกส่งกลับเข้าไปยังไอซีอีกครั้งโดยผ่านวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน วงจรขยาย PGA และวงจรกรองความถี่ต่ำย่าน ตามลำดับ จากนั้นก็จะทำการแปลงสัญญาณเป็นดิจิตอลระดับ 12 บิท เพื่อส่งต่อไปยังภาค DFT (Discrete Fourier Transform) 1024 point เพื่อแยกสัญญาณออกเป็นส่วนจริงและส่วนจินตภาพ (ดิจิตอล 16 บิท) โดยมีสมการการแปลงเป็น

$$X(f) = \sum_{n=0}^{1023}[x(n)\cos(n) - j\sin(n)] \quad (4)$$

เมื่อ $x(f)$ คือกำลังงานสัญญาณที่ความถี่จุด f, $x(n)$ คือ ADC Output โดยสัญญาณ $\cos(n)$ และ $\sin(n)$ จะถูกสุ่มค่าและส่งมาจาก DDS Core [2]

2.2 การหาค่าอิมพิแดนซ์

ขั้นตอนแรกให้คำนวณค่าขนาด (Magnitude) ที่ได้รับมาจาก Real Register (Re) และ Imaginary Register (Im) ของ DFT ดังสมการ

$$Magnitude = \sqrt{(Re)^2 + (Im)^2} \quad (5)$$

โดยค่าอิมพิแดนซ์จะหาได้จากสมการ

$$Impedance = \frac{1}{Gain\ Factor \times Magnitude} \quad (6)$$

เมื่อ Gain Factor หาได้จาก

$$Gain\ Factor = \frac{1}{R_{FB} \times Magnitude} \quad (7)$$

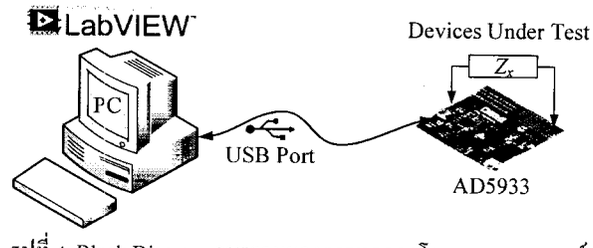
เมื่อ R_{FB} คือค่าความต้านทานป้อนกลับหรือ Gain setting resistor ค่ามุมเฟสหาได้จากสมการ

$$Phase(rads) = \tan^{-1}\left(\frac{Im}{Re}\right) \quad (8)$$

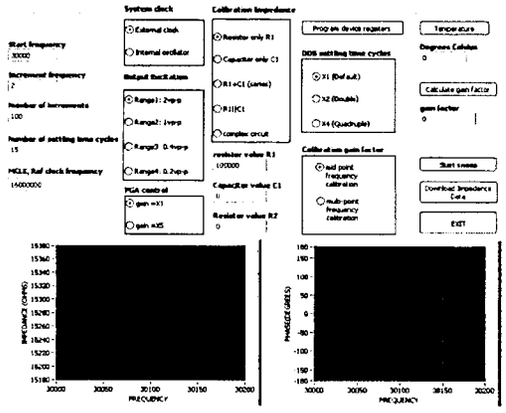
3. การทดลองสร้างสัญญาณกวาดความถี่ (Frequency Sweep) ของ AD5933

3.1 การสร้างโปรแกรมเพื่อควบคุมและแสดงผล

หัวใจสำคัญของการสร้างเครื่องวิเคราะห์อิมพิแดนซ์คือการสร้างสัญญาณไซน์ที่สามารถปรับค่าความถี่ได้เองจากความถี่ต่ำสุดไปยังสูงสุด เรียกว่า Frequency Sweep โดยใช้สัญญาณ Binary 24 บิท เป็นตัวควบคุมและส่งค่าเก็บไปยังรีจิสเตอร์ที่แอดเดรสต่างๆซึ่งทำหน้าที่ต่างๆกัน เช่น Control Register, Start Frequency Register, Frequency Increment Register เป็นต้น โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม LabVIEW สร้างสัญญาณควบคุมเพื่อติดต่อกับบอร์ดทดลอง AD5933 โดยมี Block Diagram ภาพรวมของการทดลองดังรูปที่ 4 และส่วน Coding ที่เป็น Front Panel แสดงดังรูปที่ 5



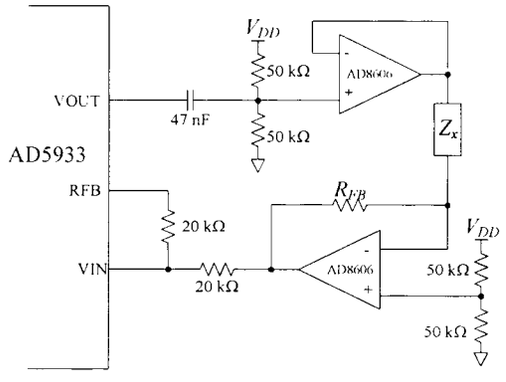
รูปที่ 4 Block Diagram ภาพรวมของการทดลองโดยการควบคุมบอร์ดผ่านพอร์ท USB โดยใช้โปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 5 Front Panel ของโปรแกรม

3.2 การปรับปรุงวงจรภาคอนาลอกเอาต์พุตให้เหมาะสม

รูปที่ 6 เป็นการปรับปรุงวงจรภาคแอนะล็อกเอาต์พุตให้เหมาะสมกับสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากไอซี AD5933 โดยสัญญาณจากขา VOUT จะมีค่าแรงดันประมาณ 2Vp-p นำมาผ่านวงจรบัฟเฟอร์และยกระดับแรงดันไฟตรงให้สูงขึ้น $V_{DD}/2$ ก่อนจะนำผ่านตัวอิมพิแดนซ์ที่ต้องการวัด จากนั้นนำสัญญาณไปผ่านวงจรขยายสัญญาณกลับเฟสโดยมี R_{FB} เป็นตัวกำหนดอัตราขยายให้มีค่าเหมาะสม ในการทดลองนี้จะกำหนดให้ R_{FB} = 100 kΩ และนำสัญญาณกลับเข้าไปสู่ไอซีเพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลต่อไป



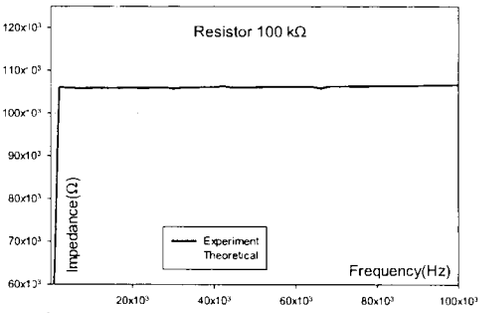
รูปที่ 6 วงจรภาคแอนะล็อกเอาต์พุต (Z_x คือค่าอิมพิแดนซ์ที่ต้องการวัด)

4. การทดลองวัดค่าอิมพิแดนซ์

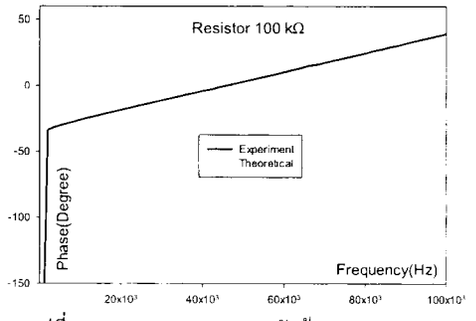
จากที่ได้กล่าวมา ผู้วิจัยได้ลองวัดค่าอิมพิแดนซ์ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานสองชนิดคือ ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุเพื่อทดสอบความเที่ยงตรงของวงจรที่สร้างขึ้นโดยทดลองตามลำดับดังนี้

4.1 วัดค่าอิมพิแดนซ์ของตัวต้านทานธรรมดา

ใช้ความต้านทานขนาด 100 kΩ 1 ตัว (แทนตำแหน่ง Zx) และนำค่าที่ได้มาสร้างเป็นกราฟตอบสนองทางความถี่ทางขนาด (Magnitude Response) ดังรูปที่ 7 และ การตอบสนองทางเฟส (Phase Response) ดังรูปที่ 8 ตามลำดับ



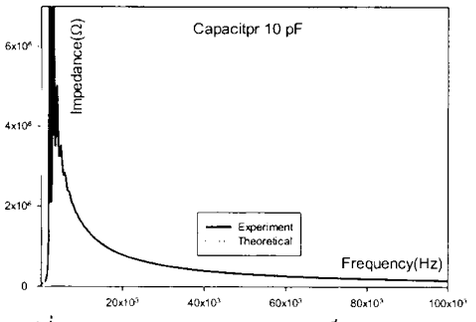
รูปที่ 7 Magnitude Response ของตัวต้านทาน 100 kΩ



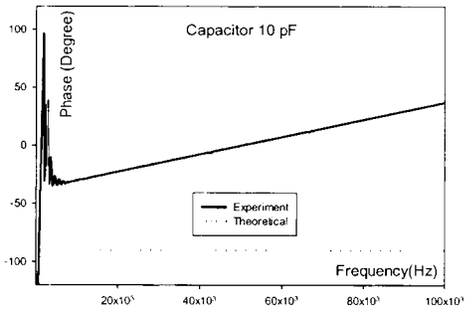
รูปที่ 8 Phase Response ของตัวต้านทาน 100 kΩ

4.2 วัดค่าอิมพิแดนซ์ของตัวเก็บประจุ

ใช้ตัวเก็บประจุขนาด 10 pF 1 ตัว ได้กราฟ Magnitude Response ดังรูปที่ 9 และ Phase Response ดังรูปที่ 10 ตามลำดับ



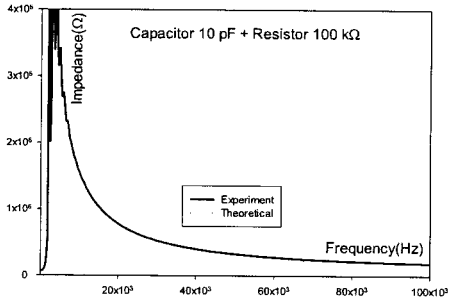
รูปที่ 9 Magnitude Response ของตัวเก็บประจุ 10 pF



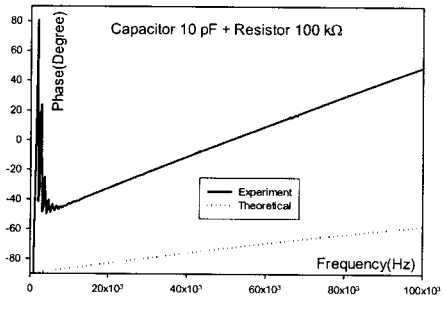
รูปที่ 10 Phase Response ของตัวเก็บประจุ 10 pF

4.3 วัดค่าอิมพิแดนซ์ของตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ

ใช้ตัวต้านทาน 100 kΩ 1 ตัว ต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุขนาด 10 pF 1 ตัว ได้กราฟ Magnitude Response ดังรูปที่ 11 และ Phase Response ดังรูปที่ 12 ตามลำดับ



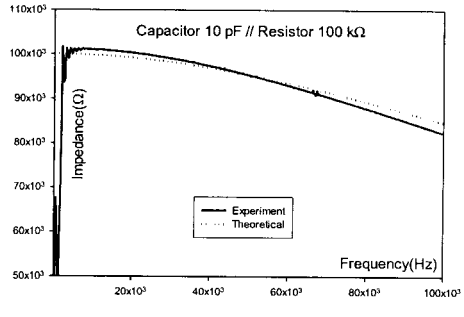
รูปที่ 11 Magnitude Response ของตัวต้านทาน 100 kΩ ต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ 10 pF



รูปที่ 12 Phase Response ของตัวต้านทาน 100 kΩ ต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ 10 pF

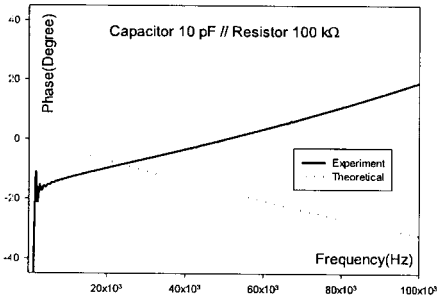
4.4 วัดค่าอิมพิแดนซ์ของตัวต้านทานต่อขนานกับตัวเก็บประจุ

ใช้ตัวต้านทาน 100 kΩ 1 ตัว ต่อขนานกับตัวเก็บประจุขนาด 10 pF 1 ตัว ได้กราฟ Magnitude Response ดังรูปที่ 13 และ Phase Response ดังรูปที่ 14 ตามลำดับ



รูปที่ 13 Magnitude Response ของตัวต้านทาน 100 kΩ ต่อขนานกับตัวเก็บประจุ 10 pF

5. สรุปผลการวิจัย



รูปที่ 14 Phase Response ของตัวต้านทาน 100 kΩ ต่อขนานกับตัวเก็บประจุ 10 pF

จากการทดลองวัดค่าอิมพิแดนซ์โดยใช้วงจรรวม AD5933 โดยการปรับความถี่จาก 1 Hz จนถึง 100 kHz เพื่อพิจารณาผลการตอบสนองทางขนาดและเฟสของอิมพิแดนซ์จากการทดลองในหัวข้อที่ 4 (4 การทดลอง) พบว่า ผลการตอบสนองทางขนาดที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกันมาก มีความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 1 แต่จะมีการพุ่งเกิน (Overshoot) บ้างในย่านความถี่ต่ำๆ ไม่เกิน 5 kHz ซึ่งอาจเกิดจากค่าความจุไฟฟ้าแฝงที่อยู่ในอุปกรณ์ และเมื่อพิจารณาการตอบสนองทางเฟสจะพบว่าค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกันมากในทุกการทดลอง แต่จะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 4 การทดลอง คือค่ามุมเฟสมีค่ามากขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากค่าความเหนี่ยวนำแฝงและความจุไฟฟ้าแฝงที่อยู่ในอุปกรณ์ หรืออาจเกิดจากความไม่เที่ยงตรงของการคำนวณค่าทางทฤษฎีเนื่องจากไม่มีเครื่องมือวัดที่ละเอียดพอ แต่การวิเคราะห์อิมพิแดนซ์โดยใช้วงจรรวม AD5933 ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในทางเทคโนโลยีเครื่องมือวัดและการวัดคุม ที่ทำให้สามารถสร้างเครื่องวิเคราะห์หรือวัดค่าอิมพิแดนซ์ที่มีความเที่ยงตรงสูงราคาถูก เพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้สนใจต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] "*Agilent Impedance Measurement* Handbook A Guide to Measurement Technology and Techniques," 4 th Edition., Agilent Technology., 2013.

[2] "AD5933 *1 MSPS, 12-Bit Impedance Converter, Network Analyzer*" Analog Devices., 2011.

ประวัติผู้เขียนบทความ

อ.ปิติกันต์ รักราชการ จบการศึกษาปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยสยาม และปริญญาโทสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม