วารสารวิชาการ **มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย**
ปีที่ 29 ฉบับที่ 4 เดือนตุลาคม - ธันวาคม 2552

การศึกษาผลกระทบของคาปาซิแตนซ์แฝงที่มีต่อเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์โดยใช้โปรแกรม PSpice

Study the Effect of Stray Capacitance to the Impulse Voltage Generator by Using PSpice Program

ชัยพร อัดโดดดร
อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยการจัดการและเทคโนโลยีเอเชีย อุบลราชธานี 34000
E-mail: chaiporn__addoddorn@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาผลกระทบของคาปาซิแตนซ์แฝงที่มีต่อเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ โดยการนำเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์ ออกแบบ รวมไปถึงการจำลองการทำงานของวงจร โดยใช้โปรแกรม PSpice มาเป็นเครื่องมือที่สำคัญหลักในการวิเคราะห์ เพื่อสร้างรูปแบบจำลองมาตรฐานของวงจรในคอมพิวเตอร์ขึ้นมาทั้งในสภาวะปกติและสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ที่ตำแหน่งต่างๆ ในวงจร ซึ่งจากการทดสอบเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ออกแบบไว้ ปรากฏว่า ในสภาวะปกติแรงดันเอาท์พุทที่ได้จะมีค่า T_1 เท่ากับ 0.36 μs และค่า T_2 เท่ากับ 41.40 μs ในขณะที่มีค่าสูงสุดเท่ากับ 60.37 kV ส่วนในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในวงจรจะมีค่า T_1 เท่ากับ 0.41 μs และค่า T_2 เท่ากับ 42.30 μs ในขณะที่มีสูงสุดเท่ากับ 59.39 kV และทำการเปรียบเทียบแรงดันเอาท์พุทที่ได้ของวงจรในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงมีค่าต่างกันด้วย ซึ่งปรากฏว่า เมื่อคาปาซิแตนซ์แฝงมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า T_1 และ T_2 มีค่าเพิ่มขึ้น

ตามไปด้วย ในขณะที่ค่าแรงดันสูงสุดมีค่าลดลง ซึ่งค่าที่ได้นี้จะเป็นตัวอ้างอิงกับผลการทดลองในกรณีที่การทดลองจริงมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ ทำให้สามารถวิเคราะห์และแก้ไขหาความคลาดเคลื่อนได้ง่ายขึ้น อันจะเป็นแนวทางในการนำไปวิเคราะห์และแก้ไขรูปร่างของแรงดันอิมพัลส์ให้เข้ากับแรงดันอิมพัลส์มาตรฐานในทางปฏิบัติต่อไปได้

คำสำคัญ: คาปาซิแตนซ์แฝง เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ โปรแกรม PSpice

Abstract

This paper presents the effect of stray capacitance to the impulse voltage generator. The PSpice program is used to analyze, design and simulate the circuit in both with and without the stray capacitances in different positions of the circuit. From the simulation, if the stray capacitance is neglected, the output impulse voltage will have T_1 equal 0.36 μs and T_2 equal 41.40 μs with the peak voltage at 60.37 kV. If the stray capacitances are added, the values have changed to 0.41 μs, 42.30 μs and 59.39 kV respectively. Later, compared the output impulse voltage at different values of stray capacitances, it confirms that the output impulse voltage will have T_1 and T_2 were increased whereas the peak voltage were decreased. The results are compared to the real implementation for analysis and correction. It can be the cause of analyzing and improving the shape of output impulse voltage corresponding to a standard voltage model in practical.

Keywords: Stray Capacitance, Impulse Voltage Generator, PSpice Program

บทนำ

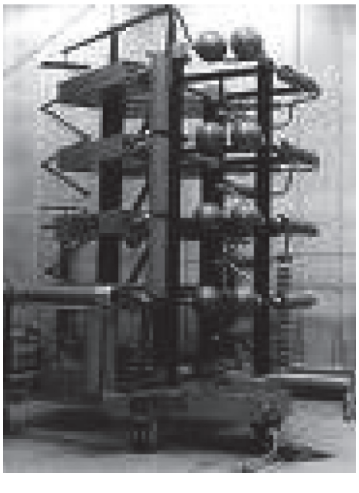
ปัจจุบันได้มีการนำเอาคอมพิวเตอร์มาใช้ช่วยในการวิเคราะห์ ออกแบบ จำลองการทำงานในทุกสาขา โดยเฉพาะงานทางด้านไฟฟ้าได้มีการนำเอาซอฟต์แวร์มาใช้ในการออกแบบและจำลองการทำงานกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อผู้ปฏิบัติงานทางด้านไฟฟ้าอย่างมาก เพราะจะช่วยประหยัดเวลาในการออกแบบ หรือทดสอบวงจรภายในห้องปฏิบัติการ ซึ่งค่าที่ได้จะมีความถูกต้องใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง หรือเป็นตัวอ้างอิงกับผลการทดลองในกรณีที่การทดลองจริงมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ ทำให้สามารถวิเคราะห์แก้ไข หาความคลาดเคลื่อนได้ง่ายขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะขอยกตัวอย่าง การจำลองการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าทางด้านไฟฟ้าแรงสูง มาเป็นกรณีศึกษา เพื่อศึกษาหาผลกระทบของคาปาซิแตนซ์แฝงที่มีต่อการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ซึ่งในการสร้างวงจรจริงจะต้องใช้เวลานานมาก ไม่ประหยัด และการคำนวณมือที่ยุ่งยากจะทำให้ง่ายขึ้น โดยโปรแกรม

ที่ใช้ในที่นี้ คือ โปรแกรม PSpice (อำนวย สกุลสุกใส, 2542) ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองการทำงานวงจรไฟฟ้าอยู่ในตระกูล SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) โดยเวอร์ชั่นเดิมของ SPICE พัฒนามาจากวงจรจำลองการทำงานที่เรียกว่า CANCER ซึ่ง SPICE นี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นที่ห้องปฏิบัติการค้นคว้าวิจัยทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่ University of California ประเทศสหรัฐอเมริกา PSpice สามารถนำมาใช้ได้เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1984 โดยบริษัท Microsim และเป็นโปรแกรมจำลองการทำงานในตระกูล SPICE โปรแกรมแรกที่สามารถนำมาใช้บนเครื่อง IBM PC ต่อมาในปี ค.ศ. 1991 บริษัทไมโครซอฟท์ได้วางตลาดไมโครซอฟท์วินโดวส์ 3.0 ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการดอส โดยมีรูปแบบการใช้งานที่ง่ายอยู่ในรูปแบบกราฟิกที่เรียกว่า Graphical User Interface (GUI) มีโปรแกรมสำเร็จรูปชนิดต่างๆ รองรับเป็นจำนวนมากให้เป็นที่นิยมของผู้ใช้ทั่วโลก ดังนั้น Microsim จึงได้พัฒนาโปรแกรม The Design Center ที่ประกอบด้วยโปรแกรม Schematics, PSpice และ Probe ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการเขียนวงจร จำลองการทำงาน และแสดงผล ที่สามารถใช้งานได้ภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ซึ่ง PSpice เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการช่วยวิเคราะห์และออกแบบวงจรไฟฟ้า โดยที่โปรแกรม PSpice นี้ไม่สามารถออกแบบวงจรให้เราได้เอง แต่เราจะใช้ในการตรวจสอบการออกแบบวงจรที่เราได้ออกแบบไว้ โดยที่เราสามารถใช้โปรแกรม PSpice เพื่อทำการจำลองการทำงานของวงจร เพื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณ โดยค่าที่ได้จะมีผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันเพื่อยืนยันถึงความถูกต้อง แต่ถ้าผลลัพธ์ที่คำนวณไม่ตรง หรือเกิดความผิดพลาดในการจำลองการทำงาน แสดงว่าวงจรของเราไม่สามารถทำงานได้จริงในห้องปฏิบัติการ หรือแสดงว่าจะต้องมีการแก้ไขในวงจรที่ออกแบบไว้ ซึ่งจะให้ผลคล้ายกันกับการทดลองในห้องปฏิบัติการจริง อุปกรณ์จริงอันจะทำให้เราใช้เวลาในการทดลองน้อยลงและเกิดความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานด้วย และจะเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนารูปแบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอื่นๆ ต่อไปได้ โดยเฉพาะทางด้านไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ง่ายกว่างานทางด้านอื่นๆ อีกด้วย

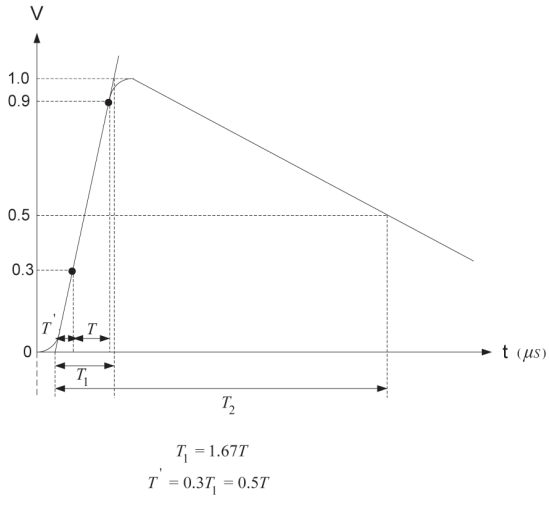
ทฤษฎีและหลักการ

1. หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

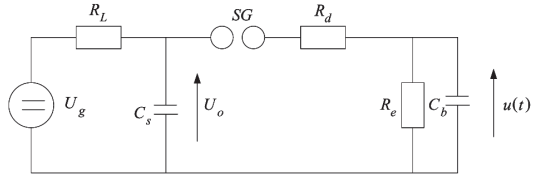
รูปที่ 1 แสดงวงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์หลายสเตจที่ถ่ายจากภาพจริง และรูปที่ 2 แสดงรูปคลื่นอิมพัลส์มาตรฐานที่มีช่วงเวลา 1.2 x 50 μs โดยที่มีช่วงแรงดันสูงสุดอยู่ที่ 1.2 μs (T_1) และช่วงเวลาหางคลื่นที่ลดลงมาที่ระดับ 50% ของค่าสูงสุด 50 μs (T_2)



รูปที่ 1 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ถ่ายจากภาพจริง (สำรวย สังข์สะอาด, 2547)

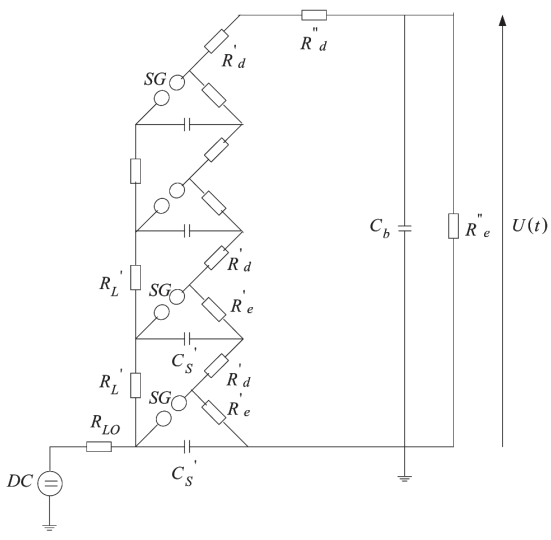


รูปที่ 2 แสดงรูปคลื่นอิมพัลส์มาตรฐาน (สำรวย สังข์สะอาด, 2547)



รูปที่ 3 วงจรพื้นฐานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ (สำรวย สังข์สะอาด, 2547)

รูปที่ 3 แสดงวงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์พื้นฐาน (สำรวย สังข์สะอาด, 2547) ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้ แรงดันกระแสตรง U_g เป็นตัวป้อนแรงดันอัดประจุให้กับตัวอัดประจุอิมพัลส์ C_s จนกระทั่งได้แรงดันที่ต้องการ U_0 การอัดประจุนี้จะผ่านความต้านทาน R_L ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการอัดประจุเร็วหรือช้า ขนาดแรงดันอัดประจุ U_0 จำกัดด้วยระยะห่างของสปาร์กแกป SG ที่ปรับได้ ซึ่งเป็นตัวกำหนดค่าแรงดันอัดประจุให้สามารถสร้างแรงดันอิมพัลส์ได้มากน้อยตามต้องการ สปาร์กแกปนอกจากจะเป็นตัวกำหนดค่าแรงดันอัดประจุแล้ว ยังทำหน้าที่เหมือนสวิตช์หรือไก เพื่อให้ตัวเก็บประจุ C_s ปล่อยประจุให้กับโหลด เมื่อเกิดสปาร์กแกปที่ SG แรงดันอัดประจุ U_0 จะคร่อม R_d และ C_b ประจุจะถ่ายทอดไปยังวัสดุทดสอบ ซึ่งแทนด้วย C_b การถ่ายทอดหรือปล่อยประจุนี้จะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับ R_d และ C_b นับเป็นเวลาช่วงหน้าคลื่น T_1 เมื่อถ่ายประจุให้ C_b จนเต็มแล้ว ประจุนี้ก็จะดีสชาร์จหรือปล่อยประจุออกไปสู่ R_e จึงกล่าวได้ว่า R_e ทำหน้าที่ควบคุมเวลาช่วงหางคลื่น T_2 ส่วนค่าแรงดันอิมพัลส์สูงๆ อาจสร้างได้ด้วยเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์แบบหลายขั้น โดยใช้วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์ตามหลักการของมาร์ก (Marx's circuit) ดังรูปที่ 4 ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานได้ ดังนี้ ตัวเก็บประจุ C_s' ทุกตัวจะได้รับการอัดประจุในลักษณะที่ต่อกันแบบขนานด้วยแรงดัน U_0' เมื่อส่งสัญญาณพัลส์ผ่านไกสวิตช์ ทำให้สปาร์กแกปขั้นแรกทำงานก่อน สปาร์กแกปขั้นต่อๆ ไปก็จะเกิดสปาร์กตามลำดับ เป็นผลให้ตัวเก็บประจุ C_s' ทั้งหมดต่อกันแบบอนุกรม และได้แรงดันสูงเป็นทวีคูณของจำนวนขั้น เมื่อสปาร์กแกปเกิดสปาร์กหมดทุกคู่ C_s' จะต่อกันเป็นอนุกรม ฉะนั้น C_b จะได้รับประจุผ่านความต้านทานหน่วง R_d' ต่อกันแบบอนุกรม และในที่สุดทั้ง C_s' และ C_b ต่างก็จะดีสชาร์จปล่อยประจุผ่าน R_e' และ R_d' ต่อไป



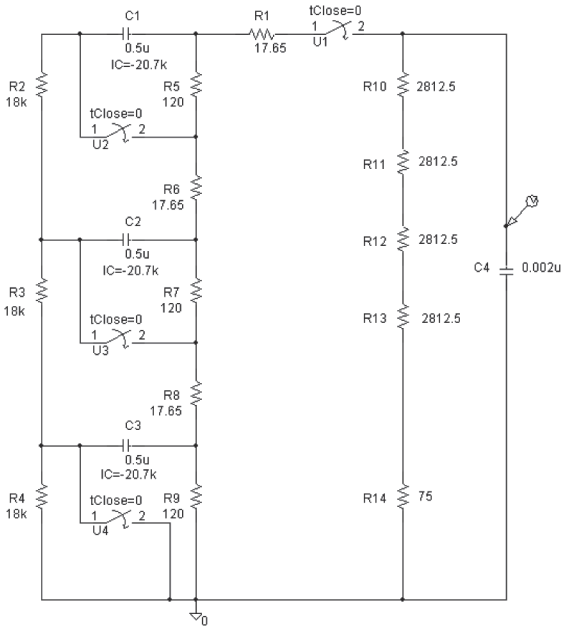
รูปที่ 4 แสดงวงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์แบบ Marx (สำรวย สังข์สะอาด, 2547)

วิธีดำเนินการวิจัย

ทำการสร้างไฟล์อินพุทของวงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์แบบ Marx ในสภาวะปกติและสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในวงจร โดยใช้โปรแกรม Schematics ใน PSpice ซึ่งในที่นี้จะใช้ PSpice Version 8.0 สร้างวงจรขึ้นมา โดยการดึงอุปกรณ์มาจาก Library (MicroSim Corporation, 1997) แล้วใส่ค่าพารามิเตอร์ให้แก่อุปกรณ์ ต่อสายไฟให้กับอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อสร้างเป็นวงจรตามที่ต้องการ แล้วทำการกำหนดค่าต่างๆ ของการวิเคราะห์ โดยเลือกว่าจะใช้การวิเคราะห์แบบใด ซึ่งในที่นี้จะใช้การวิเคราะห์แบบ Transient แล้วทำการทดสอบวงจรด้วย PSpice โปรแกรมจะสร้างไฟล์เอาท์พุทขึ้นมา เพื่อแสดงผลลัพธ์ทางไฟฟ้าของวงจร ถ้าต้องการดูผลลัพธ์จากการพล็อตกราฟ ให้รัน Probe ก็จะได้ผลลัพธ์ตามต้องการ ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

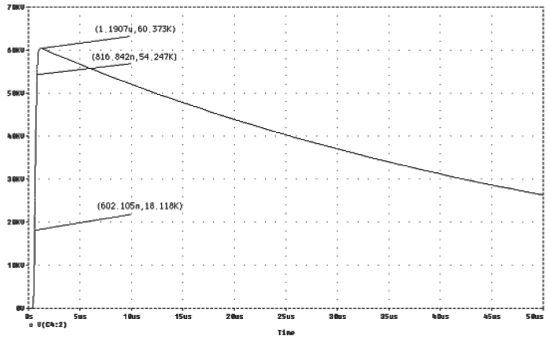
1. รูปแบบจำลองการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ในสภาวะปกติ ซึ่งกำหนดให้มีเงื่อนไข ดังนี้

เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ใช้ทดสอบในที่นี้จะมีอยู่ 3 สเตจ ซึ่งเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์จะมีความต้านทานสองตัวต่อสเตจ ได้แก่ ความต้านทานหน้าคลื่นซึ่งยอมให้เกิดรูปคลื่นข้างหน้าสูงสุดในเวลาที่ต้องการ ส่วนความต้านทานตัวที่สอง หมายถึง ความต้านทานหางคลื่นสำหรับปรับระดับแรงดันให้ได้ครึ่งหนึ่งของแรงดันสูงสุดที่ตำแหน่งสุดท้ายที่ต้องการหรือหางของรูปคลื่น โดยกำหนดให้ความต้านทานหน้าคลื่นแต่ละสเตจมีค่าเท่ากับ 17.65Ω และความต้านทานหางคลื่นมีค่าเท่ากับ 120Ω และโวลเตจดิไวเดอร์ที่ใช้จะลดระดับแรงดันที่ต้องการวัดซึ่งจะประกอบด้วยอิมพีแดนซ์ 2 ตัวอนุกรมกัน โดยที่อิมพีแดนซ์ที่สูงกว่าจะเป็นอัตราส่วนกับอิมพีแดนซ์ที่ต่ำกว่า โดยอิมพีแดนซ์ที่ต่ำกว่า หมายถึง อิมพีแดนซ์ที่ขาต่ำ ซึ่งจะให้แรงดันอินพุทไปยังเครื่องมือที่ทำการวัด โวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทานที่ใช้ในการทดสอบนี้ กำหนดให้มีค่าความต้านทานแรงดันสูง 11250Ω และความต้านทานแรงดันต่ำ 75Ω โดยอ้างอิงมาจากบรรณานุกรม (Meiners, 2002) ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้ในรูปของวงจร Schematics ดังนี้

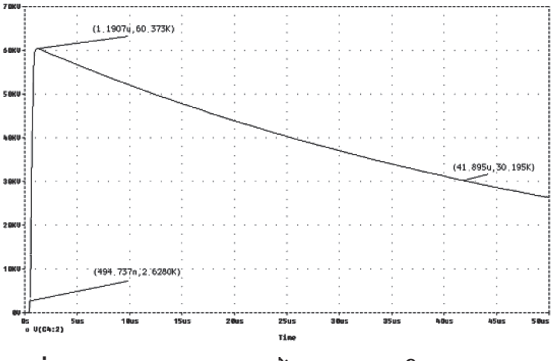


รูปที่ 5 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ในสภาวะปกติ

ผลการจำลองการทำงานของวงจร



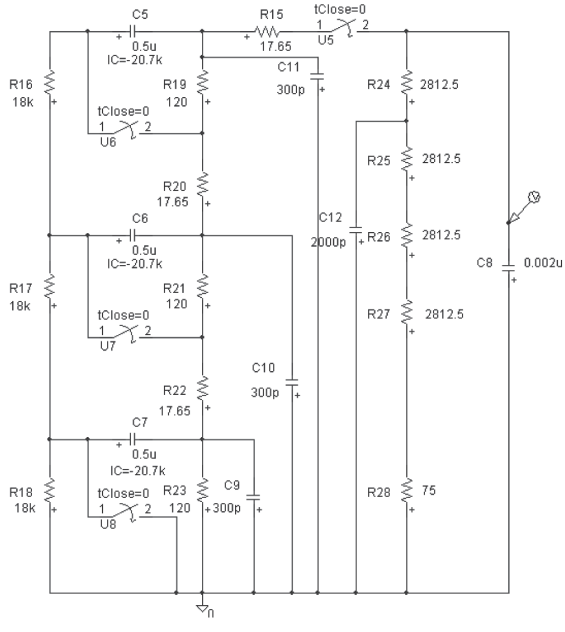
รูปที่ 6 แสดงคาบเวลา T_1 ที่ได้ของวงจร ในสภาวะปกติ



รูปที่ 7 แสดงคาบเวลา T_2 ที่ได้ของวงจร ในสภาวะปกติ

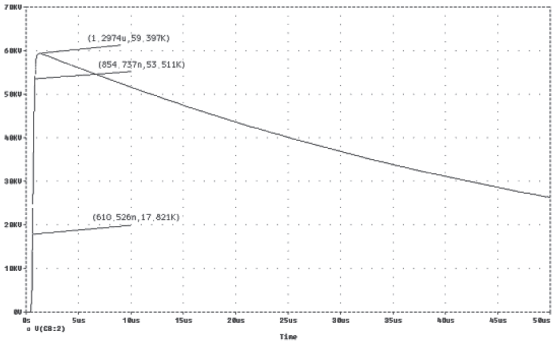
2. รูปแบบจำลองการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ที่ตำแหน่งต่างๆ ในวงจร ซึ่งกำหนดให้มีเงื่อนไข ดังนี้

เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ใช้ทดสอบในที่นี้จะมีอยู่ 3 สเตจ เหมือนรูปแบบแรก แต่จะมีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในแต่ละสเตจ ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 300 pF และมีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในโวลเตจดิไวเดอร์ ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2000 pF โดยอ้างอิงมาจากบรรณานุกรม (Meiners, 2002) ซึ่งได้มาจากการลองถูกลองผิด (trial and error) ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้ในรูปของวงจร Schematics ดังนี้

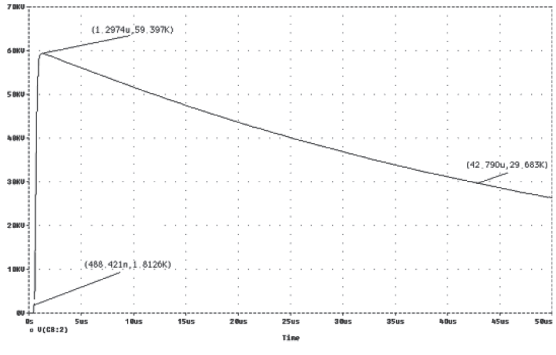


รูปที่ 8 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในวงจร

ผลการจำลองการทำงานของวงจร

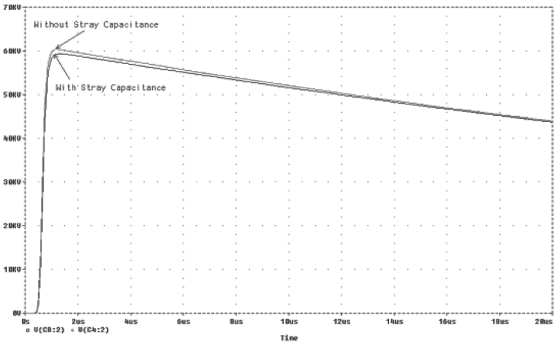


รูปที่ 9 แสดงคาบเวลา T_1 ที่ได้ของวงจร ในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝง



รูปที่ 10 แสดงคาบเวลา T_2 ที่ได้ของวงจร ในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝง

เปรียบเทียบแรงดันเอาท์พุทที่ได้ของวงจรทั้ง 2 สภาวะ

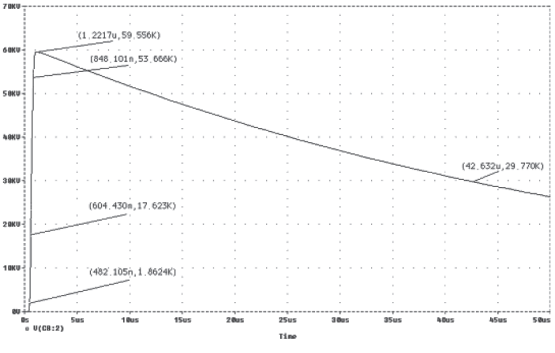


รูปที่ 11 แรงดันเอาท์พุทที่ได้ของวงจรทั้ง 2 สภาวะ

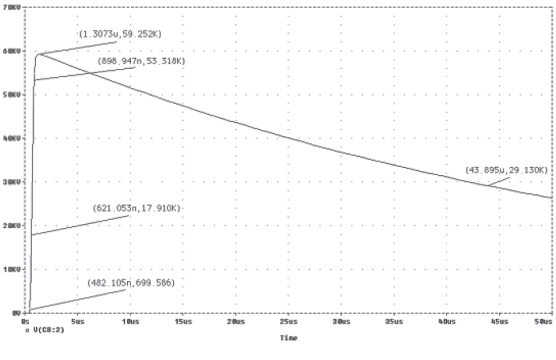
ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ในสภาวะปกติและสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝง โดยโปรแกรม PSpice

	เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์	
	สภาวะปกติ	สภาวะที่มีคาปาซิ-แตนซ์แฝง
T_1	0.36 μs	0.41 μs
T_2	41.40 μs	42.30 μs
$V_{o_{max}}$	60.37 kV	59.39 kV

แรงดันเอาท์พุทที่ได้ของวงจรในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงขนาดต่างกัน



รูปที่ 12 แรงดันเอาท์พุทที่ได้ของวงจรในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงขนาด 100 pF อยู่ในแต่ละสเตจ



รูปที่ 13 แรงดันเอาท์พุทที่ได้ของวงจรในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงขนาด 500 pF อยู่ในแต่ละสเตจ

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงขนาดต่างๆ โดยโปรแกรม PSpice

	เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงขนาดต่างๆ อยู่ในแต่ละสเตจ		
	100 pF	300 pF	500 pF
T_1	0.40 μs	0.41 μs	0.46 μs
T_2	42.15 μs	42.30 μs	43.41 μs
$V_{o_{max}}$	59.55 kV	59.39 kV	59.25 kV

บทสรุป

จากการออกแบบและจำลองการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ในสภาวะปกติ จะพบว่า แรงดันเอาท์พุทที่ได้จะมีค่า T_1 เท่ากับ 0.36 μs และค่า T_2 เท่ากับ 41.40 μs ในขณะที่มีค่าแรงดันสูงสุดเท่ากับ 60.37 kV ส่วนการออกแบบและจำลองการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ในสภาวะที่มีค่าคาปาซิแตนซ์แฝง ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 300 pF แฝงอยู่ในแต่ละสเตจ และมีขนาด 2000 pF แฝงอยู่ในโวลเตจดิไวเดอร์นั้น จะพบว่า แรงดันเอาท์พุทที่ได้จะมีค่า T_1 เท่ากับ 0.41 μs และค่า T_2 เท่ากับ 42.30 μs ในขณะที่มีค่าแรงดันสูงสุดเท่ากับ 59.39 kV กล่าวคือ เมื่อมีคาปาซิแตนซ์แฝงอยู่ในวงจรจะทำให้ค่า T_1 เพิ่มขึ้น 0.05 μs ค่า T_2 เพิ่มขึ้น 0.90 μs และค่าแรงดันสูงสุดลดลง 0.98 kV ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 ทำให้ค่า T_1 ที่ได้ต่ำกว่าแรงดันอิมพัลส์มาตรฐานที่กำหนด (สำรวย สังข์สะอาด, 2547) อันเนื่องมาจากการกำหนดค่าความต้านทานหน้าคลื่นและตัวเก็บประจุโหลดน้อยเกินไปนั่นเอง และเมื่อทำการเปรียบเทียบแรงดันเอาท์พุทที่ได้ของวงจรในสภาวะที่มีคาปาซิแตนซ์แฝงต่างกัน จะเห็นว่า เมื่อคาปาซิแตนซ์แฝงมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า T_1 และ T_2 มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่ค่าแรงดันสูงสุดมีค่าลดลง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งค่าที่ได้นี้จะเป็นตัวอ้างอิงกับผลการทดลองในกรณีที่การทดลองจริงมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ทำให้สามารถวิเคราะห์และแก้ไขหาความคลาดเคลื่อนได้ง่ายขึ้น และจะเป็นแนวทางในการนำไปวิเคราะห์และแก้ไขรูปร่างของแรงดันอิมพัลส์ให้เข้ากับแรงดันอิมพัลส์มาตรฐานในทางปฏิบัติต่อไปได้ ซึ่งจะให้ผลคล้ายกันกับการทดลองในห้องปฏิบัติการจริง อุปกรณ์จริงอันจะทำให้เราใช้เวลาในการทดลองน้อยลงและเกิดความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานด้วย และจะเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนารูปแบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอื่นๆ ต่อไปได้โดยเฉพาะทางด้านไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ง่ายกว่างานทางด้านอื่นๆ อีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

ควรทำการศึกษาและสร้างรูปแบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอื่นๆ อีก โดยเฉพาะทางด้านไฟฟ้าแรงสูง (Suthar, Laghari, and Saluzzo, 1991) อาทิ หม้อแปลงเทสลา ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าทางด้านไฟฟ้าแรงสูงที่สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแรงสูงจากหลายร้อยกิโลโวลต์ไปจนถึงหลายเมกะโวลต์ ที่ความถี่ตั้งแต่ 50-400 kHz และ Blumlein Pulser ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กำเนิดสัญญาณพัลส์แรงสูงในย่านนาโนวินาทีและไมโครวินาที เพื่อใช้เป็นรูปแบบจำลองการทำงานมาตรฐานในคอมพิวเตอร์ต่อไป ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อผู้ปฏิบัติงานทางด้านไฟฟ้า

อย่างมาก เพราะจะช่วยประหยัดเวลาในการออกแบบ หรือทดสอบวงจรภายในห้องปฏิบัติการ ซึ่งค่าที่ได้จะมีความถูกต้องใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง หรือเป็นตัวอ้างอิงกับผลการทดลองในกรณีที่การทดลองจริงมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ ทำให้สามารถวิเคราะห์ แก้ไข หาความคลาดเคลื่อนได้ง่ายขึ้น

เอกสารอ้างอิง

สำรวย สังข์สะอาด. 2547. **วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง.** กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อำนวย สกุลสุกใส. 2542. **โปรแกรมวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

Meiners, Steven E. 2002. “An Impulse Generator Simulation Circuit.” Master’s Thesis, University of Pittsburgh.

MicroSim Corporation. 1997. **User’Guide Version 8.** Portland: Cadence PCB Systems Division.

Suthar, J.L., Laghari, J.R., and Saluzzo, T.J. 1991. “Usefulness of SPICE in High Voltage Engineering Education.” **IEEE Transaction** 6: 1272-1278.

Mr. Chaiporn Addoddorn received his Bachelor’s Degree from King Mongkut’s University of Technology Thonburi in Electrical Engineering and Master’s Degree from Khonkaen University in Electrical Engineering. He is currently working in the Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, the Asian University of Management and Technology (UMT), Ubonratchathani, Thailand.