

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายมีการติดตั้งใช้งานอย่างมากมายในปัจจุบัน โดยมีการติดตั้งใช้งานประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณการติดตั้งใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดทั่วโลกในปี พ.ศ. 2549 การติดตั้งระบบแสงอาทิตย์ในลักษณะนี้จำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงสภาพการทำงานเพื่อให้อยู่ภายใต้ข้อกำหนดมาตรฐานของการเชื่อมระบบเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบแก่ระบบจำหน่ายในทุกๆ ด้าน และเข้าใจพฤติกรรมรวมถึงคุณลักษณะที่เกิดขึ้นของระบบ ประโยชน์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายที่เห็นได้ชัดเจนก็คือ ช่วยผลิตพลังงานไฟฟ้าเวลากลางวันที่มีแดดมากและมีความต้องการไฟฟ้าสูง ทำให้ลดการลงทุนโรงจักรไฟฟ้าที่ผลิตเฉพาะพิก (Peak Generation) ซึ่งต้นทุนสูง ช่วยลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าของระบบจำหน่าย และสามารถช่วยลดแรงดันไฟฟ้าตกที่ปลายสายของระบบจำหน่าย ดังนั้นงานวิจัยจะศึกษาพฤติกรรมรวมถึงคุณลักษณะที่เกิดขึ้นของระบบ เพื่อนำมาคำนวณหาอิมพีแดนซ์ในระบบ PV-Inverter ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในระบบ สามารถทำนายและป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบแก่ระบบจำหน่าย นอกจากนั้นความเข้าใจพฤติกรรมทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างอิมพีแดนซ์กับองค์ประกอบอื่นของอุปกรณ์ รวมทั้งสัญญาณแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆ ซึ่งจะนำไปสู่การทำนายพฤติกรรมของระบบเชื่อมต่อกับสายส่ง เช่น ลักษณะฮาร์มอนิกส์ การไหลของกำลังไฟฟ้าคอมเพล็กซ์

ระบบที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1,050 W และ 1,680 W ต่อขนานกัน และอินเวอร์เตอร์ชนิดต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 2.5 kWp เป็นระบบที่ได้ทำการติดตั้งและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าอยู่แล้ว ได้ทำการทดลองที่เงื่อนไขโหลดต่างๆ และบันทึกข้อมูลจากระบบทุกๆ 10 วินาที ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 1 วัน ต่อโหลด 1 ค่า

ในขั้นต้นเลือกข้อมูลบางส่วนจากข้อมูลทำการบันทึกทั้งหมดมาศึกษาลักษณะต่างๆ ของพารามิเตอร์ภายในระบบ นาลักษณะที่เกิดขึ้นนี้มาหาอิมพีแดนซ์ในระบบ PV-Inverter ที่ความถี่หลักมูล เมื่อพิจารณาแบบๆ นี้จากจุดต่อร่วม การออกแบบขั้นต้นกำหนดให้ระบบ PV-Inverter มีลักษณะคล้ายกับวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ กำหนดให้ระบบ PV-Inverter เป็นแหล่งจ่ายกระแสตามทฤษฎีของนอร์ตันที่ประกอบด้วยอิมพีแดนซ์สองตัวคือ Z_x และ Z_y โดย Z_x เป็นอิมพีแดนซ์ที่ต่อขนานกับแหล่งจ่ายกระแส และ Z_y เป็นอิมพีแดนซ์ที่ต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายกระแสหรืออิมพีแดนซ์ที่เชื่อมต่อระหว่างแหล่งจ่ายกระแสกับจุดต่อร่วม

การวิเคราะห์หาอิมพีแดนซ์ของระบบ PV-Inverter ที่ความถี่หลักมูล นำพารามิเตอร์ทางด้าน AC มาทำการวิเคราะห์ Fast Fourier Transforms (FFT) โดยอาศัยฟังก์ชันของซอฟต์แวร์ Matlab เพื่อให้ค่ากระแสและแรงดันที่ความถี่หลักมูล การคำนวณหาอิมพีแดนซ์จะอาศัยการแทนค่าที่เป็นไปได้และมีความใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุดให้กับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า เพื่อนำมาแทนค่าลงในสมการเพื่อศึกษาแนวโน้มของอิมพีแดนซ์ Z_x และ Z_y แล้วหาค่าอิมพีแดนซ์มีลักษณะเป็นไปตามสมมติฐานและเงื่อนไขเบื้องต้นที่ตั้งไว้ให้กับพารามิเตอร์สำคัญสองตัวหรือไม่ กล่าวคือแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ V_{DC} (ซึ่งเท่ากับแรงดันขาเข้าของอินเวอร์เตอร์) และกระแสของแผงเซลล์ I_{DC} (เท่ากับกระแสขาเข้าของอินเวอร์เตอร์) จากนั้นคำนวณและวิเคราะห์หาค่าอิมพีแดนซ์จากสมการที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นโดยอาศัยหลักการของ Newton-Raphson ในการหาคำตอบที่แท้จริง

การคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ในระบบ PV-Inverter สามารถสรุปได้ว่า Z_x มีลักษณะที่ไม่ได้ขึ้นกับค่าของ V_{DC} เพียงอย่างเดียวตามสมมติฐานและเงื่อนไขเบื้องต้นที่ตั้งไว้ แต่ยังขึ้นกับค่าพารามิเตอร์อื่นๆ อีก เนื่องจากสมมติฐานและเงื่อนไขเบื้องต้นกำหนดให้ที่ V_{DC} คงที่ ค่าของ Z_x จะต้องมีความคงที่ด้วย แต่ผลที่ได้จากหลักการของ Newton-Raphson ค่า Z_x ที่ความถี่หลักมูลมีค่ากระจัดกระจายไม่คงที่ เนื่องมาจากการที่ V_{DC} และ I_{DC} มีช่วงการทำงานที่เป็นเชิงเส้นคือ V_{DC} เพิ่ม I_{DC} เพิ่ม ทำให้อิมพีแดนซ์มี positive reactance และช่วงการทำงานที่ไม่เป็นเชิงเส้นคือ V_{DC} เพิ่ม/ลด I_{DC} ลด/เพิ่ม ทำให้อิมพีแดนซ์มี negative reactance ทำให้ Z_x มีค่าเป็นลบได้ทั้ง 2 กรณี โดยค่าของ Z_x ส่วนมากจะมีค่าอยู่ใน quadrant ที่ 3 ดังนั้นจะต้องทำการวิเคราะห์ Z_x อีกต่อไป ส่วนลักษณะของอิมพีแดนซ์ Z_y ที่ความถี่หลักมูลของฮาร์มอนิกมีลักษณะเป็น negative reactance ที่มี magnitude เท่ากัน แต่มี argument อยู่ในช่วง quadrant ที่ 2 และ quadrant ที่ 3 เนื่องมาจากโหมดการทำงานแบบ MPPT ของอินเวอร์เตอร์ ที่มีช่วงการทำงานที่ทำให้กระแสลดแรงดันเพิ่ม หรือกระแสเพิ่มแรงดันลด เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์ และมีการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ออกมาจากอินเวอร์เตอร์

Recently, the number of PV grid-connected system installation has increased considerably. Advantages of PV grid-connected systems are support of electricity generation on daytime and peak time, decrease cost of peak generation, reduction of electricity power losses and voltage drop in distribution lines. Until the end of 2006, approximately 80 percent of the total PV installations worldwide are PV grid-connected systems. This necessitates studies on operations of systems for understanding of behaviors of PV grid-connected systems and compliance to utility standards. This research is on impedance modelling and calculation of a grid-connected system, which should bring about insights into and possible prediction of harmonics, complex power flows, etc. between PV-inverter units, loads and distribution networks. The impedance of the inverter output, viewed from the point of common coupling-PCC, is to be modeled.

The system used in the experiment consists of 1,050 W and 1,680 W PV arrays connecting in parallel, a 2.5 kWp grid-connected inverter and electrical loads. Dc and ac data are collected automatically every 10 seconds. In modelling the impedance, we assume that the PV-inverter unit consists of a current source and two impedances, an impedance Z_X in paralleled with the current source and an impedance Z_Y in series with the source. This equivalent model of a PV-inverter unit is similar to a dynamic equivalent impedance of solar cells/modules.

In the analysis, we use the Fast Fourier Transform-FFT package of the Matlab software to calculate fundamental components and higher harmonic components of ac signals. Only the fundamental components are used in impedance determination. Z_X and Z_Y are determined from nonlinear equations describing the equivalent model using the Newton-Raphson method. The measured data have shown good agreement with the proposed model. Both Z_X and Z_Y exhibit a negative impedance characteristic which is commonly found in a power electronic switching converter where input current decreases/increases when the input voltage increases/decreases. As a result, the inverter has negative impedance characteristics. This is due to the fact that the grid-connected inverter being a power converter equipped with a maximum power point tracking (MPPT).

We have not yet determined possible dependency of Z_X and Z_Y on dc outputs (voltage and current) of PV module/ dc inputs of inverters, ac voltage and current at the PCC, and inverter configurations. Such dependency should be investigated. We have noted from our results that Z_X does not depend on dc inputs of inverters, either current or voltage. The magnitude of Z_Y is, however, relatively constant and largely independent on dc input voltage, with the inverter configuration that we employ.