

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

การตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการแก้ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าอันเนื่องมาจากแรงดันตกชั่วขณะนี้ การตรวจจับที่รวดเร็วและแม่นยำย่อมจะทำให้การแก้ไขปัญหาคุณภาพไฟฟ้าได้ทันทั่วถึงโดยไม่ทำให้เกิดการสูญเสียในแง่เศรษฐกิจหรือทำให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุด ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะถูกนำเสนอโดยนักวิจัย, วิธีที่งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองซึ่งประกอบด้วยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

2.2 แรงดันตกชั่วขณะ

2.2.1 แรงดันตกชั่วขณะและผลกระทบในแง่เศรษฐศาสตร์ [5]

แรงดันตกชั่วขณะคือแรงดันอาร์เอ็มเอสที่มีขนาดลดลงชั่วคราว ตั้งแต่ 0.5 คาบไฟสลับ จนถึง 1 นาที และขนาดแรงดันลดลงอยู่ในช่วง 0.1 PU. จนถึง 0.9 PU. โดย 1 คาบไฟสลับมีค่าเท่ากับ 20 ms ในกรณีระบบไฟฟ้าที่มีความถี่ 50 Hz เช่นประเทศไทย แรงดันตกชั่วขณะเป็นหนึ่งในสาเหตุของปัญหาคุณภาพไฟฟ้า (Power quality problems) ที่ภาคอุตสาหกรรมต้องประสบ และมีส่วนทำให้เกิดการสูญเสียอื่นๆตามมามากมายอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

การเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ก่อให้เกิดปัญหาอย่างมากต่อภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะกับโหลดที่มีความอ่อนไหวต่อแรงดัน เช่น โหลดที่เป็นอินเวอร์เตอร์ หรือคอนเวอร์เตอร์สำหรับจ่ายกำลังให้กับมอเตอร์ในงานอุตสาหกรรม, คอมพิวเตอร์ในออฟฟิต เป็นต้น โดยสถานที่ที่สำคัญได้แก่ โรงงานผลิตรถยนต์, อุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ, อุปกรณ์ถ่ายทอดสัญญาณ, อาคารสำนักงาน, และโรงพยาบาล หรือศูนย์การแพทย์ เป็นต้น ซึ่งจากการสำรวจในสหรัฐอเมริกาพบว่าแรงดันตกชั่วขณะคิดเป็น 92% ของปัญหาคุณภาพไฟฟ้า (Power Quality) และเป็นแรงดันตกชั่วขณะแบบหนึ่งเฟสถึงร้อยละ 63% [2]

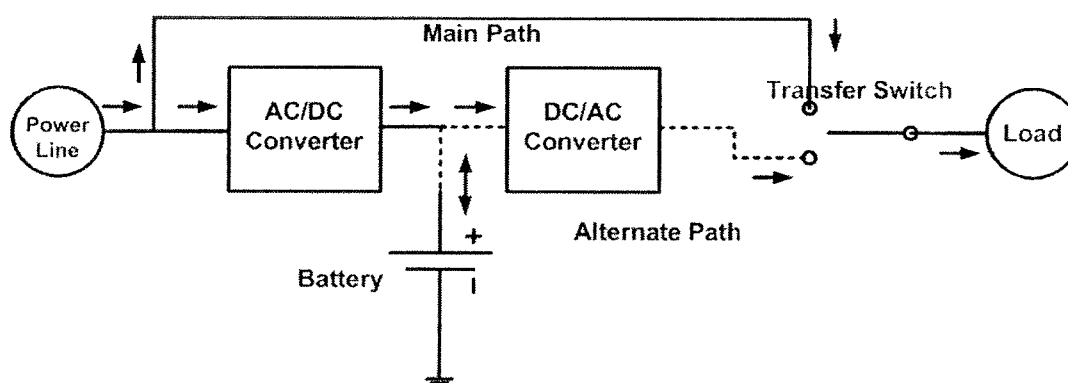
ในประเทศไต้หวัน เฉพาะที่ Hsinchu Science-based Industrial Park (HSIP) ได้มีการศึกษาและพบว่าในแต่ละครั้งที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะจะเกิดการสูญเสียทางการเงินมูลค่ามากถึง 100,000 เหรียญสหรัฐ จนถึง 1,000,000 เหรียญ [2] ส่วนในประเทศสหรัฐอเมริกา สถาบัน EPRI (Electronic Power Research Institute) ได้พบว่ามี การสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์เฉพาะในสหรัฐอเมริกาที่เกิดจากคุณภาพไฟฟ้าที่แย่อซึ่งมีแรงดันตกชั่วขณะเป็นสาเหตุที่สำคัญที่สุดเป็นจำนวนสูงถึง 400,000,000,000 (สี่แสนล้าน) เหรียญสหรัฐต่อปี[3] และถึงแม้ว่าจะยังไม่มีผลการศึกษาดังกล่าวถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากแรงดันตกในประเทศไทย แต่ก็ประมาณได้ว่ามีมูลค่าหลายล้านบาทต่อปี[6]

2.2.2 วิธีแก้ปัญหากจากแรงดันตกชั่วขณะ [1]

วิธีแก้ปัญหาจากแรงดันตกชั่วขณะแบ่งเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือวิธีการที่ใช้อุปกรณ์สะสมพลังงาน (Energy Storage Devices) และวิธีการที่ไม่ใช้อุปกรณ์สะสมพลังงาน

1. วิธีการที่ใช้อุปกรณ์สะสมพลังงาน (Energy Storage Devices)

1.1 การใช้ UPS (Uninterruptible Power Supply) ที่ใช้แบตเตอรี่



รูปที่ 2.1 การใช้ UPS ที่ใช้แบตเตอรี่ แก้ปัญหาไฟตกชั่วขณะ

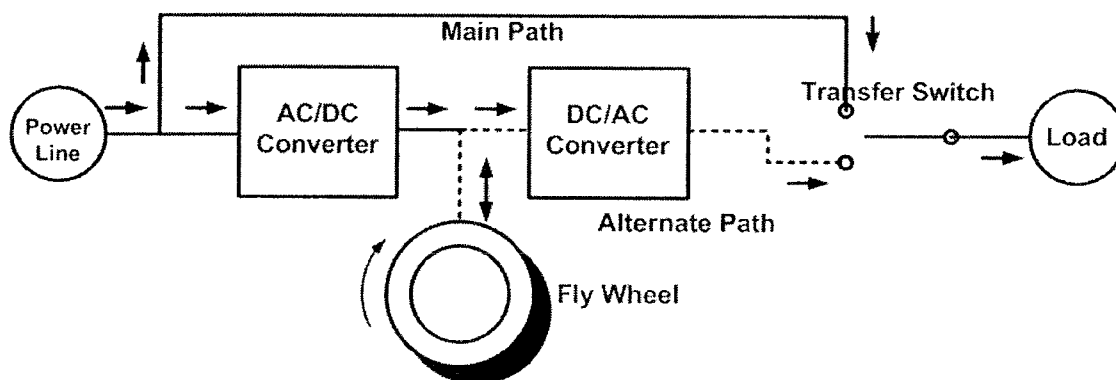
วิธีนี้เป็นวิธีที่เรียบง่าย และใช้กันมากที่สุดในการแก้ปัญหาแรงดันตกชั่วขณะ โดยในสภาวะปกติ แรงดันโหลดจะได้จากสายกำลังหรือ Power line ของการไฟฟ้าโดยผ่านสวิทช์โอนย้าย (Transfer switch) โดยมีทางเดินของกำลังไฟฟ้าที่ทางเดินหลัก (Main path) ซึ่งในสภาวะนี้อินเวอร์เตอร์ หรือ DC/AC converter จะอยู่ในสภาวะเตรียมพร้อม (Stand by) เมื่อเกิดสภาวะแรงดันตกชั่วขณะ สวิทช์โอนย้ายจะตัดต่อให้โหลดย้ายมารับแรงดันไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์ที่มีแหล่งจ่ายเป็นแบตเตอรี่แทน โดยมีทางเดินของกำลังไฟฟ้าที่ทางเดินรอง (Alternate path) ทั้งนี้เราจะสมมุติว่าแบตเตอรี่จะถูกประจุให้เต็มอยู่ตลอดเวลาด้วยวงจรเรียงกระแส หรือ AC/DC converter

วิธีนี้มีข้อดีที่อินเวอร์เตอร์จะทำงานเฉพาะช่วงที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะเท่านั้น ประสิทธิภาพในการทำงานโดยรวมของระบบจึงมีค่าสูง

ยังมีอีกวิธีหนึ่งคือการที่ออกแบบให้โหลดรับไฟจากอินเวอร์เตอร์ตลอดเวลาหรือมีชื่อที่บางคนเรียกว่าแบบ Online UPS หรือ True UPS หรือ Double-conversion UPS โดยในสภาวะปกติ อินเวอร์เตอร์จะได้แหล่งจ่ายไฟตรงมาจากวงจรเรียงกระแส แต่เมื่อเกิดแรงดันตกชั่วขณะหรือไฟดับ อินเวอร์เตอร์จะรับกำลังไฟฟ้ามาจากแบตเตอรี่แทน แต่วิธีนี้มีข้อเสียในแง่ประสิทธิภาพ เพราะในสภาวะการทำงานปกติจะมีการแปลงผันพลังงานถึงสองต่อคือวงจรเรียงกระแสและอินเวอร์เตอร์นั่นเอง

จุดด้อยของระบบที่ใช้ UPS ที่ใช้แบตเตอรี่นี้คือตัวแบตเตอรี่เอง ที่ต้องการการดูแลรักษาเป็นพิเศษ และแบตเตอรี่มีราคาแพง อายุการใช้งานจำกัด

1.2 การใช้ UPS ที่ใช้ฟลายวีล



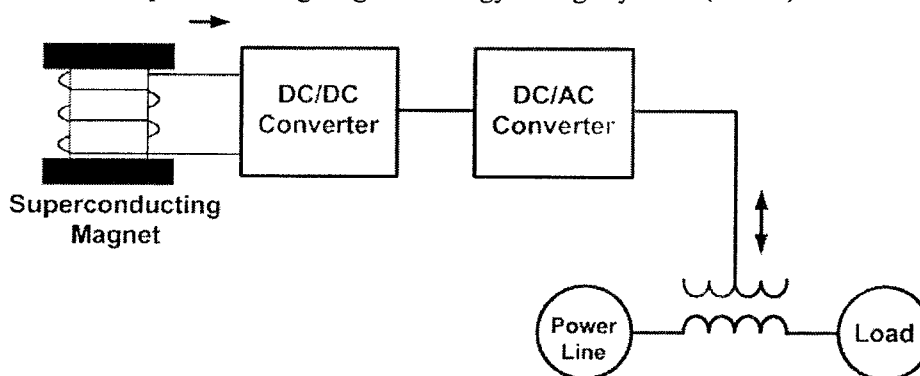
รูปที่ 2.2 การใช้ UPS ที่ใช้ฟลายวีล แก้ปัญหาไฟตกชั่วคราว

วิธีนี้มีหลักการคล้ายกับวิธีแรก แต่ต่างกันตรงที่วิธีในการเก็บพลังงาน โดยวิธีนี้จะเก็บพลังงานเป็นพลังงานกลไว้ที่ฟลายวีลที่หมุนด้วยความเร็วสูง (มากกว่า 3000 rpm [7] – [9]) โดยที่ขนาดของพลังงานที่เก็บไว้ที่ฟลายวีลนี้จะขึ้นอยู่กับความถี่และความเร็วของฟลายวีล

เมื่อเกิดแรงดันตกชั่วคราว พลังงานกลที่สะสมไว้นี้จะถูกจ่ายคืนออกมาในรูปของพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับฟลายวีล และผ่านสวิตช์โอนย้ายเพื่อจ่ายพลังงานไปยังโหลด

ระบบนี้ไม่ต้องการการดูแลเป็นพิเศษเช่นวิธีแรก แต่อย่างไรก็ตามยังมีความยุ่งยากในการติดตั้งระบบแบบนี้เนื่องจากต้องการการป้องกันที่ดีจากชิ้นส่วนที่หมุนได้ด้วยความเร็วสูงเช่นฟลายวีล

1.3 การใช้ Superconducting magnetic energy storage systems (SMES)



รูปที่ 2.3 การใช้ SMES แก้ปัญหาไฟตกชั่วคราว

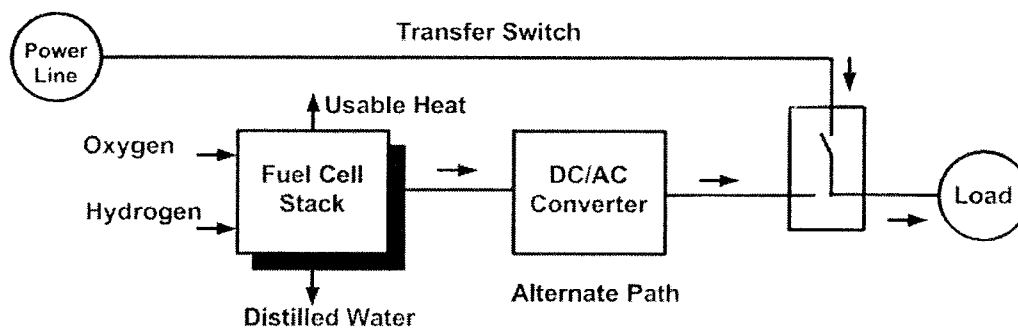
ระบบนี้จะคล้ายกับระบบที่ใช้แบตเตอรี่, หรือฟลายวีล แต่จะมีการเก็บพลังงานไว้ที่ Superconducting magnet ที่มีความสามารถจ่าย (คาย) พลังงานในระดับเมกะวัตต์ และใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แปลงผันพลังงานไปยังโหลดในช่วงเกิดแรงดันตกชั่วคราวได้

จำนวนพลังงานที่เก็บสะสมไว้ที่สนามแม่เหล็กสามารถคำนวณได้ดังนี้

$E = 0.5LI^2$ โดย L คือความเหนี่ยวนำของ Superconducting magnet ที่รับกระแสขนาดเท่ากับ I

ข้อดีของระบบนี้คือสามารถสะสมและคายพลังงานซ้ำๆ ได้สูงมาก แต่ก็มีข้อเสียที่เรื่องของการระบายความร้อนที่ทำให้เพิ่มต้นทุนและเรื่องความปลอดภัย

1.4 การใช้ Fuel cells



รูปที่ 2.4 การใช้ Fuel cells แก้ปัญหาไฟตกชั่วขณะ

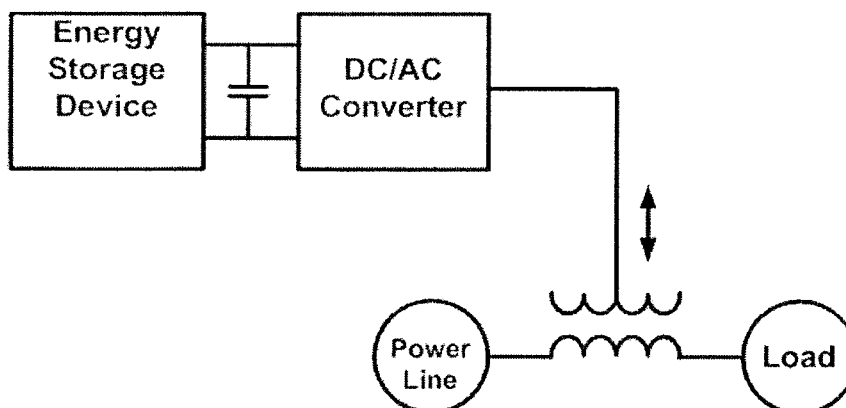
ดูเหมือนว่าวิธีนี้จะเป็วิธีที่ได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องด้วยข้อดีของมันหลายประการ เช่น เป็นมิตรกับธรรมชาติ, ประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือสูง, ไม่ต้องการดูแลรักษาเป็นพิเศษ เพราะไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่หรือหมุนได้, ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงประเภท Fossil เนื่องจากมันใช้ไฮโดรเจนที่เป็นแหล่งพลังงานปฐมภูมิ

ข้อเสียของมันคือไม่สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดทันทีทันใดได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ร่วมกับแบตเตอรี่ และนอกจากนั้นเนื่องจากมันมีราคาที่สูง จึงจำเป็นต้องต่อกับสายกำลังของการไฟฟ้ายูต์ตลอดเวลาเพื่อใช้ประโยชน์จากมันให้ได้สูงสุด ดังนั้นในสภาวะปกติอินเวอร์เตอร์จะรับพลังงานจาก Fuel cells เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดร่วมกับไฟจากการไฟฟ้า เมื่อเกิดแรงดันตกชั่วขณะ สวิตช์โอนย้ายจะตัดวงจรเพื่อแยกไฟจากการไฟฟ้าออกจากโหลด และอินเวอร์เตอร์จะทำงานจ่ายพลังงานให้โหลดเพียงลำพัง

1.5 การใช้ Voltage restorer

มีหลายบริษัทที่ใช้หลักการแก้ปัญหาแรงดันตกชั่วขณะที่สามารถเรียกได้ว่า Voltage restorer เช่น Solid state voltage restorer (SSVR) จาก GE, Dynamic voltage restorer จาก Westinghouse, SIPCON-S จาก Siemens, และ Dynacom จาก SP System แต่อย่างไรก็ตามชื่อที่เป็นที่นิยมที่สุดก็คือ

Dynamic voltage restorer หรือ DVR เพราะว่ามันส่วนใหญ่จะใช้วงจรแปลงผันพลังงานเพื่อกำเนิดแรงดันที่เสริมเข้าไปกับแรงดันสายกำลังจากการไฟฟ้าเพื่อการชดเชยแรงดันที่ตก



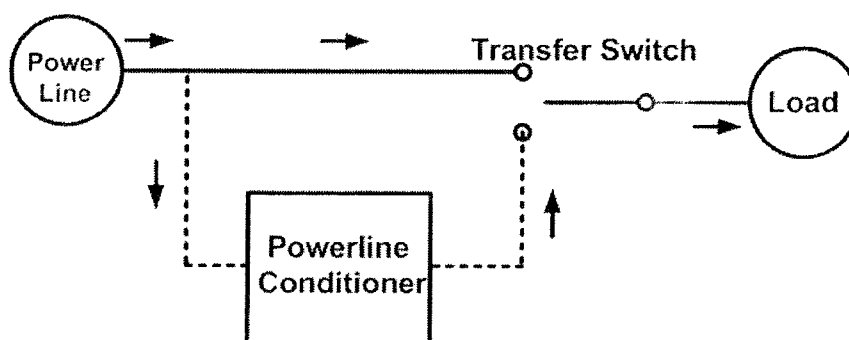
รูปที่ 2.5 การใช้ DVR แก้ปัญหาไฟตกชั่วขณะ

นอกจากนี้ DVR ยังมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถใช้แก้ปัญหาแรงดันเกินชั่วขณะ (Swell voltage), รักษาระดับแรงดัน, และชดเชยฮาร์มอนิกได้อีกด้วย โดย DVR จะฉีดแรงดัน (กระแส) ที่ต้องชดเชยขนาด, เฟส, และฮาร์มอนิกไปยังสายกำลังโดยผ่านหม้อแปลงที่ต่ออนุกรมกับสายกำลังของการไฟฟ้า

ขนาดของพลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุ จะเป็นตัวกำหนดว่า DVR จะสามารถทำงานได้นานแค่ไหน โดยทั่วไปจะใช้ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ อย่างไรก็ตามเราสามารถนำเอาแบตเตอรี่, ฟลายวีล, หรือ SMES มาต่อขนานกับตัวเก็บประจุเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการจ่ายพลังงานก็ได้

2. วิธีการที่ไม่ใช้อุปกรณ์สะสมพลังงาน

2.1 Power line conditioners



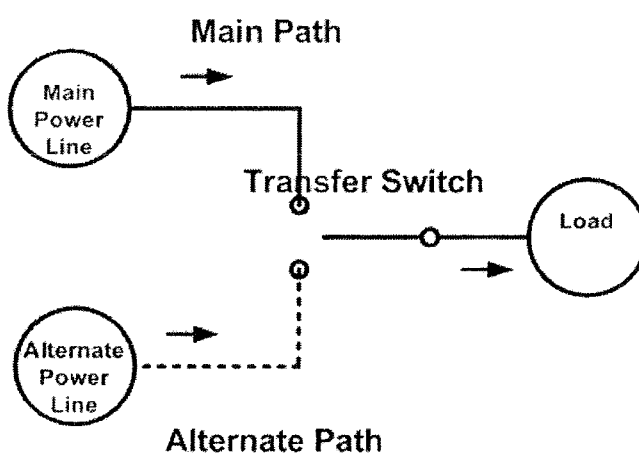
Alternate Path

รูปที่ 2.6 การใช้ Power line conditioners แก้ปัญหาไฟตกชั่วขณะ

วิธีนี้จะคล้ายๆกับ DVR แต่มีข้อดีที่ไม่ต้องการหม้อแปลงที่ต่ออนุกรมกับโหลด จึงทำให้ระบบโดยรวมมีขนาดที่เล็กลง

ในสภาวะปกติ โหลดจะต่ออยู่กับสายกำลังของการไฟฟ้าโดยผ่านสวิตช์โอนย้าย เมื่อเกิดแรงดันตกชั่วขณะ สวิตช์โอนย้ายจะต่อโหลดเข้ากับ Powerline conditioner เพื่อรับพลังงานไฟฟ้าแทนสายกำลังจากการไฟฟ้า วิธีนี้มีข้อดีอีกข้อที่ไม่ต้องใช้อุปกรณ์สะสมพลังงานชนิดพิเศษ เนื่องจากในขณะที่เกิดแรงตกชั่วขณะ Powerline conditioner สามารถดึงพลังงานมาจากไฟของการไฟฟ้าได้

2.2 สวิตช์โอนย้ายแบบสถิต (Static transfer switch)

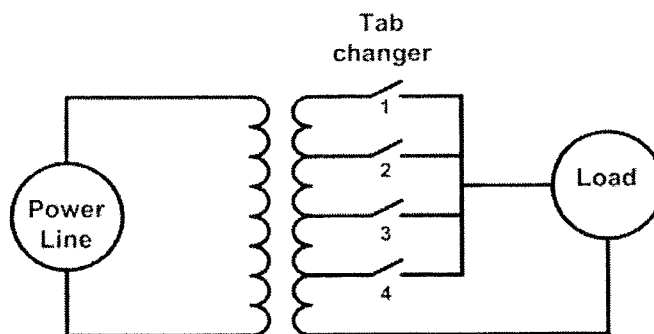


รูปที่ 2.7 การใช้สวิตช์โอนย้ายแบบสถิต แก้ปัญหาไฟตกชั่วขณะ

การใช้สวิตช์โอนย้ายแบบสถิตวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด โดยในสภาวะปกติโหลดจะต่ออยู่กับสายกำลัง(แหล่งจ่าย)หลักโดยผ่านสวิตช์โอนย้ายแบบสถิต เมื่อเกิดแรงดันตกชั่วขณะ สวิตช์โอนย้ายแบบสถิตจะต่อโหลดเข้ากับสายกำลัง(แหล่งจ่าย)สำรอง เพื่อรับพลังงานไฟฟ้าแทนไฟจากสายกำลังหลัก และสวิตช์โอนย้ายแบบสถิตจะกลับไปต่อ โหลดกับแหล่งจ่ายหลักอีกครั้งเมื่อแรงดันจากสายกำลังหลักมีค่าปกติ

2.3 หม้อแปลงที่มีตัวเปลี่ยนแท็บ (Transformer with tap changer)

วิธีนี้มีข้อดีที่สามารถประยุกต์ใช้กับระบบที่มีอยู่แล้ว โดยการเพิ่มแท็บของหม้อแปลงและเพิ่มสวิตช์ควบคุมที่แต่ละแท็บทำให้สามารถแก้ปัญหาแรงดันตกและแรงเกิน (ซึ่งเกิดขึ้นไม่บ่อยนัก)ชั่วขณะได้ทั้งสองกรณี

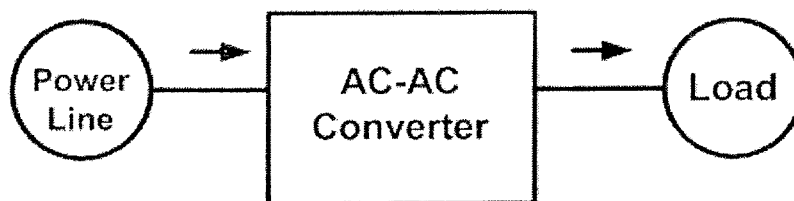


รูปที่ 2.8 การใช้หม้อแปลงที่มีตัวเปลี่ยนแท็บ แก้ปัญหาไฟตกชั่วขณะ

สมมติให้ในสภาวะปกติ สวิตช์หมายเลข 3 ทำให้แรงดันที่โหลดที่ค่าปกติ เมื่อเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ระบบควบคุมจะต้องสั่งให้สวิตช์หมายเลข 1 หรือหมายเลข 2 ต่อวงจร (และสั่งตัดสวิตช์หมายเลข 3) ตามแต่ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะ ดังนั้นแรงดันด้านออกที่จ่ายไปยังโหลดจะสามารถถูกชดเชยให้ใกล้เคียงกับแรงดันปกติได้ (กรณีนี้ทำหน้าที่เป็นหม้อแปลงแบบแปลงขึ้น หรือ Step-up transformer) ในทำนองเดียวกัน ถ้าหากเกิดแรงดันเกินชั่วขณะ ระบบจะต้องสั่งให้สวิตช์หมายเลข 3 ตัดวงจร และสั่งให้สวิตช์หมายเลข 4 ต่อวงจร ดังนั้นแรงดันด้านออกจะสามารถชดเชยให้ใกล้เคียงกับแรงดัน โหลดในสภาวะปกติได้ (กรณีนี้ทำหน้าที่เป็นหม้อแปลงแบบแปลงขึ้น Step-down transformer)

ระดับความละเอียดของแรงดันชดเชยจะขึ้นอยู่กับจำนวนแท็บของหม้อแปลง ดังนั้นการชดเชยแรงดันจะเรียกว่าเกือบจะต่อเนื่อง (Quasi-continuous) เท่านั้น ซึ่งไม่เหมือนกับวิธีที่ผ่านๆมาที่เป็นวิธีชดเชยแบบต่อเนื่อง ดังนั้นถ้าต้องการหม้อแปลงที่มีแท็บมากๆเพื่อความต่อเนื่องในการชดเชย สิ่งที่ดีตามมาก็คือต้นทุนที่สูง นอกจากนี้ระบบนี้ยังมีโอกาสที่จะเกิด Transient ของแรงดันในช่วงที่เกิดการเปลี่ยนแท็บได้

2.4 วงจรแปลงผันไฟสลับ-ไฟสลับ (AC-AC converters)



รูปที่ 2.9 การใช้วงจรแปลงผันไฟสลับ-ไฟสลับ แก้ปัญหาไฟตกชั่วขณะ

วิธีนี้จะใช้วงจรทระดับแบบ AC (AC Boost converter) เพื่อการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะ และใช้วงจรทอนระดับแบบ AC (AC Buck converter) เพื่อการชดเชยแรงดันเกินชั่วขณะ

วิธีนี้จะใช้วิธีการต่อโหลดกับวงจรแปลงผันไฟสลับ-ไฟสลับอยู่ตลอดเวลาคล้ายกับวิธีที่ใช้ Online UPS แต่ต่างกันตรงที่ไม่ต้องใช้แบตเตอรี่หรือตัวสะสมพลังงานแบบพิเศษ เนื่องจากวงจรแปลงผันไฟสลับ-ไฟสลับจะรับพลังงานจากสายกำลังของการไฟฟ้าโดยตรงตลอดเวลา

สรุปข้อดีและข้อเสียของวิธีการแก้ปัญหาตกชั่วขณะ

จากข้างต้น เราได้ทราบแล้วว่าวิธีแก้ปัญหาแรงดันไฟตกชั่วขณะมีหลากหลาย ซึ่งแต่ละวิธีจะมีข้อดี-ข้อเสียที่พอสรุปได้ดังนี้ [1]

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของวิธีการที่ใช้อุปกรณ์สะสมพลังงาน

วิธี	ข้อดี	ข้อเสีย	ราคาโดยประมาณ (เหรียญสหรัฐ)
UPS ที่ใช้แบตเตอรี่	ราคาถูกและใช้กันแพร่หลาย	ใช้แบตเตอรี่	\$200/kW
UPS ที่ใช้ฟลายวีล	ขนาดเล็กลง	ความปลอดภัย	\$200-\$300/kW
SMES	ตอบสนองได้เร็ว	ต้องมีระบบระบายความร้อน	\$600/kW
Fuel cells	เป็นแหล่งจ่ายพลังงานสะอาด	ต้นทุนสูง	\$1500/kW
DVR	ใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง	ต้องใช้หม้อแปลงต่ออนุกรมกับโหลด	\$500/kVA

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของวิธีการที่ไม่ใช้อุปกรณ์สะสมพลังงาน

วิธี	ข้อดี	ข้อเสีย	ราคาโดยประมาณ (เหรียญสหรัฐ)
สวิตช์โอนย้ายแบบสถิต	ง่ายสุด	ต้องใช้แหล่งจ่ายสองแหล่ง	\$500/A
หม้อแปลงที่มีตัวเปลี่ยนแท็บ	ง่าย	ใช้กับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก	\$500/kVA
Power line conditioners	ดีสำหรับการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะ	เหมาะกับงานขนาดเล็กจนถึงขนาดกลาง	ไม่มีข้อมูล
AC-AC converters	ชดเชยได้อย่างต่อเนื่อง	ต้องใช้สวิตช์หลายตัว	ยังไม่มีการใช้ในเชิงพาณิชย์

2.3 วิธีการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะ

วิธีการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะในปัจจุบันที่ถูกนำเสนอโดยนักวิจัยมีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อเสียต่างกันดังนี้

ก) การใช้วงจรเรียงกระแสร่วมกับวงจรกรอง (Diode rectifier based voltage sag detection) [10]

ข้อดี: วงจรง่าย

ข้อเสีย: ช้ามาก

ข) การใช้การแปลงฟูริเยร์ (Fourier transform based voltage sag detection) [11]

ข้อดี: วิธีนี้ให้ข้อมูลทั้ง amplitude และ เฟสของแรงดันที่จะตรวจจับ

ข้อเสีย: ใช้เวลาอย่างน้อย $\frac{1}{2}$ คาบเวลาไฟสลับ เพื่อที่จะให้ได้ค่าที่แม่นยำ

ค) การใช้วิธีตรวจจับค่ายอดของแรงดัน (Peak detection based voltage sag detection) [12] – [14]

ข้อดี: แม่นยำ เนื่องจากตรวจสอบจากการเปลี่ยนแปลงค่าพีค

ข้อเสีย: ใช้เวลาอย่างน้อย $\frac{1}{2}$ คาบเวลาไฟสลับ เพื่อที่จะให้ได้ค่าที่แม่นยำ

ง) การใช้วิธีตรวจจับแรงดันแบบฉับพลัน (Instantaneous based voltage sag detection) [15], [3]

ข้อดี: ไว เนื่องจากตรวจจับจากค่าฉับพลันของรูปคลื่น

ข้อเสีย: มีความผิดพลาดในการตรวจจับ หากแรงดันเพี้ยนไปจากรูปไซน์

จ) การใช้วิธีหาการแปลงค่า RMS (RMS variation based voltage sag detection) [13], [15], [16]

ข้อดี: แม่นยำ เนื่องจากตรวจสอบจากค่า rms ของรูปคลื่น

ข้อเสีย: ช้า เนื่องจากเป็นการหาค่า rms อย่างต่อเนื่อง เมื่อเกิดแรงดันตกแล้วจึงต้องใช้เวลาช่วงหนึ่ง ค่า rms จึงจะลดลง

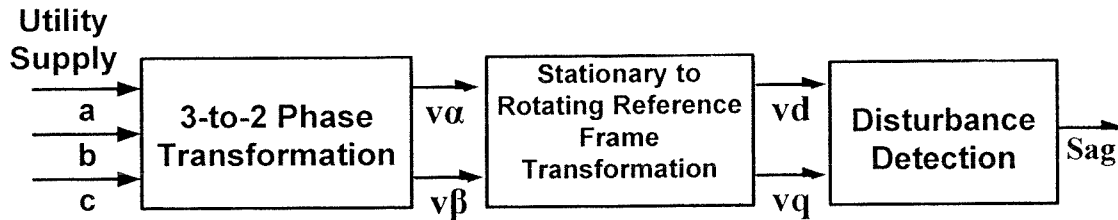
ฉ) การใช้วิธีแปลงแกน DQ (DQ Transformation based voltage sag detection) [17]

ข้อดี: แม่นยำ และค่อนข้างรวดเร็ว

ข้อเสีย: มีความยุ่งยาก เพราะต้องมีการแปลงค่าแรงดันที่จะตรวจจับให้เป็นแรงดันที่เป็นไฟตรง DQ หรือแรงดันในแกนหมุน (Synchronous reference frame หรือ Rotating reference frame)

2.4 การตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะด้วยการใช้วิธีแปลงแกน DQ (DQ Transformation based voltage sag detection)

บล็อกไดอะแกรมการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะชนิดสามเฟสที่ใช้การแปลงแกน D-Q แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะชนิดสามเฟสที่ใช้การแปลงแกน D-Q

บล็อกไดอะแกรม 3-to-2 Phase Transformation จะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟสลับสามเฟสที่ต้องการตรวจจับให้เป็นแรงดันไฟสลับสองเฟส โดยแรงดันสองเฟสนี้จะต่างเฟสกัน 90 องศา และมีขนาดแรงดันที่แปรผันตรงกับแรงสามเฟสที่วัดมา และหลังจากนั้นจะทำหน้าที่แปลงค่าแรงดันไฟสลับสองเฟสหรือค่าในแกนอ้างอิงนิ่ง (Stationary reference frame) นี้ ไปเป็นค่าในแกนอ้างอิงหมุน (Rotating reference frame) หรือค่า D-Q โดยค่าแรงดัน D-Q นี้จะเป็นแรงดันไฟตรงที่แปรผันตรงกับแรงดันไฟสลับสามเฟสที่ต้องการตรวจจับ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันใดๆที่แรงดันสามเฟสย่อมจะส่งผลกระทบต่อมาถึงแรงดันไฟตรง D-Q นี้ด้วย และสุดท้ายจึงนำค่านี้ไปคำนวณเพื่อตัดสินใจเกิดสถานะแรงดันตกแล้วหรือไม่โดยเทียบกับค่าอ้างอิง

2.4.1 การแปลง 3 เฟส ไปเป็น 2 เฟส (3-to-2 Phase Transformation)

ขั้นแรกของการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะคือการแปลง 3 เฟส ไปเป็น 2 เฟส โดยการใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

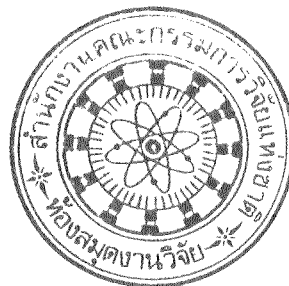
โดย V_a, V_b, V_c คือแรงดันไฟสลับสามเฟส

V_α, V_β คือแรงดันในแกนอ้างอิงนิ่ง

2.4.2 การแปลงค่าแกนอ้างอิงนิ่งไปเป็นค่าในแกนอ้างอิงหมุน (Stationary to rotating reference frame)

ขั้นต่อมาคือการแปลงค่าแรงดันสองเฟสหรือค่าในแกนอ้างอิงนิ่ง (Stationary reference frame) ไปเป็นค่าในแกนอ้างอิงหมุน (Rotating reference frame) หรือค่า D-Q โดยที่ค่าองค์ประกอบ D-Q ที่ได้ นี้จะไม่มีองค์ประกอบไฟสลับที่ความถี่สายกำลังของแหล่งจ่ายไฟสลับ จะคงเหลือแต่ค่าองค์ประกอบไฟตรงเพียงอย่างเดียว โดยมีสมการดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \omega t & -\sin \omega t \\ \sin \omega t & \cos \omega t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} \quad (2)$$



โดย V_d, V_q คือแรงดันในแกนอ้างอิงหมุน
 ωt คือความเร็วเชิงมุมของแรงดันไฟสลับ

2.4.3 การตรวจจับการแปรปรวน (Disturbance detection)

ขั้นสุดท้ายของการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะคือการคำนวณหาค่าแรงดันที่แปรปรวนไปเพื่อตัดสินใจว่าเกิดแรงดันตกแล้วหรือไม่ โดยการใช้ค่า D-Q ที่ได้มาคำนวณ และนำมาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงซึ่งจะได้ค่าความผิดพลาด e_r หลังจากนั้นจึงนำไปผ่านวงจรกรองแบบผ่านต่ำเพื่อกรองแรงดันค่าระลอก 100 Hz (จะเกิดในกรณีเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบไม่สมดุล) และนำไปเข้าวงจรเปรียบเทียบเพื่อตัดสินใจว่าเกิดแรงดันตกชั่วขณะแล้วหรือไม่

$$V_p = \sqrt{V_d^2 + V_q^2} \quad (3)$$

$$e_r = V_p - V_{ref} \quad (4)$$

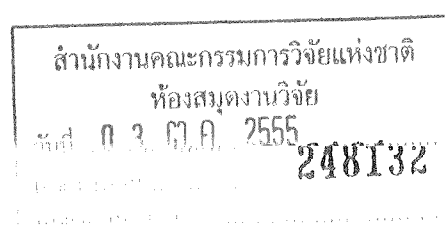
โดย

V_p คือแรงดันที่แปรค่าตามค่าแรงดันแหล่งจ่ายสามเฟส

e_r คือค่าแรงดันที่เบี่ยงเบนไปจากค่าปกติ

V_{ref} คือค่าอ้างอิง (90% หรือ 0.9 pu. ของค่าปกติ)

แต่ทั้งนี้ในกรณีที่แรงดันตกชั่วขณะที่ไม่มีการเลื่อนเฟสของแรงดัน ดังนั้นสามารถตรวจจับแรงดันตกได้ด้วยการใช้แรงดันองค์ประกอบ V_d เพียงอย่างเดียวก็ได้ เพราะ $V_q = 0$ [18] ดังนั้น

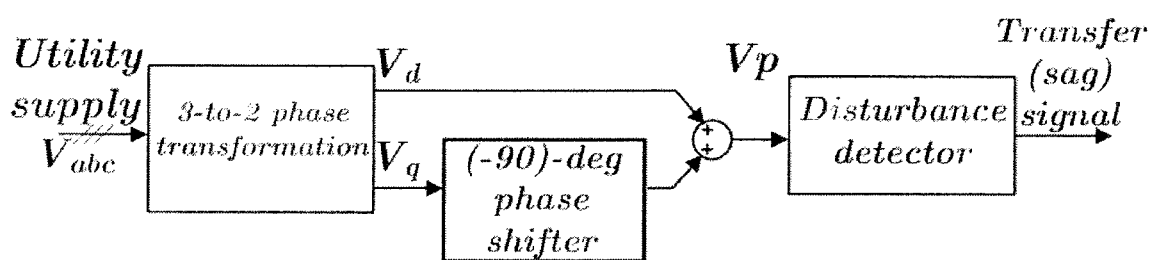


$V_p = V_d$ ซึ่งจะทำให้ลดการคำนวณค่ายกกำลังสองสองครั้ง และค่ารากที่สองอีกหนึ่งครั้ง เท่ากับว่าเป็นการลดภาระการคำนวณของตัวตรวจจับลงไปได้อีกทางหนึ่ง

2.5 การตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะด้วยการใช้วิธีแปลงแกน DQ ที่นำเสนอ (A proposed DQ Transformation based voltage sag detection)

จากแนวคิดที่ว่าในกรณีที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบสามเฟส แรงดัน V_d , V_q ที่ได้จะมีลักษณะเป็นไฟตรงที่ไม่มีองค์ประกอบไฟสลับอยู่เลย ดังนั้นจึงสามารถนำสัญญาณ V_p ที่เป็นผลรวมของ V_d และ V_q ตามสมการที่ 3 ไปเข้าวงจรเปรียบเทียบได้ทันทีโดยไม่ต้องผ่านวงจรกรองแบบผ่านต่ำที่มีความถี่คัตออฟ 50 Hz ซึ่งจะทำให้ไม่เกิดค่าประวิงเวลา แต่ในกรณีที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบหนึ่งเฟสและแบบสองเฟสจะทำให้แรงดันความถี่สองเท่าของความถี่ไลน์ (หรือ 100 Hz ในกรณีระบบไฟ 50 Hz) [19] ไปปรากฏยังแรงดัน V_d และ V_q โดยแรงดัน V_d จะมีขนาดเท่ากับค่าองค์ประกอบไฟตรงบวกกับองค์ประกอบไฟสลับ 100 Hz (เท่ากับระดับแรงดันที่ตกชั่วขณะ) ในขณะที่แรงดัน V_q จะมีขนาดเท่ากับองค์ประกอบไฟสลับ 100 Hz (เท่ากับระดับแรงดันที่ตกชั่วขณะ) แต่มีเฟสหน้าหน้าองค์ประกอบไฟสลับของ V_d ไป 90 องศา ดังนั้นหากสามารถกำจัดองค์ประกอบไฟสลับที่ V_d ได้ก็จะสามารถนำไปใช้เป็นสัญญาณตรวจจับแรงดันชั่วขณะได้

จากเหตุผลข้างต้นจึงได้ออกแบบระบบตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะที่ใช้การเลื่อนเฟสของแรงดัน V_q ให้นำหน้าไป 90 องศาเพื่อให้ได้รูปคลื่นที่มีองค์ประกอบไฟสลับ 100 Hz ที่มีเฟสตรงกันข้าม (180 องศา) กับองค์ประกอบไฟสลับ 100 Hz ที่ V_d และนำไปหักล้างกับองค์ประกอบไฟสลับ 100 Hz ของแรงดัน V_d ดังรูปที่ 2.11

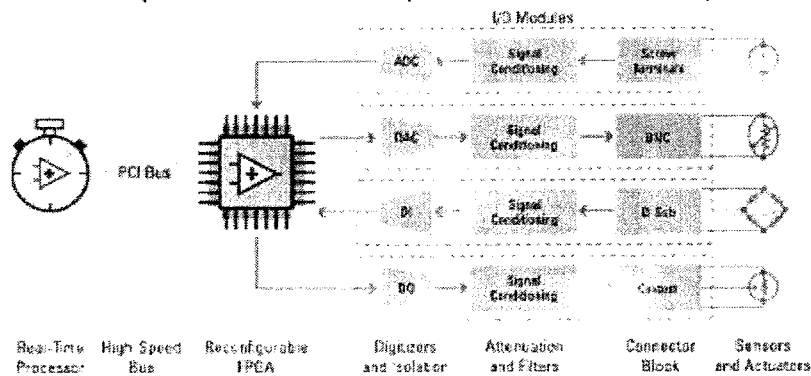


รูปที่ 2.11 การตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะด้วยการใช้วิธีแปลงแกน DQ ที่นำเสนอ

จากวงจรจะเห็นได้ว่ายังคงต้องใช้วงจรกรองแบบผ่านต่ำ (รวมอยู่ใน Disturbance detector) แต่วงจรกรองนี้ได้ถูกออกแบบให้มีความถี่คัตออฟที่สูงกว่าแบบการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะด้วยการใช้วิธีแปลงแกน DQ (ในงานวิจัยนี้เลือกที่ 500 Hz) เพราะที่หน้าที่เพียงกรองสัญญาณรบกวนความถี่สูงทั้งหลายที่อาจจะเกิดขึ้นในระบบที่ไม่ใช่ความถี่ 100 Hz ที่เกิดจากแรงดันตกชั่วขณะ 1 เฟส หรือ 2 เฟส แต่อย่างใด

2.6 NI CompactRIO [20]

NI CompactRIO หรือ NI reconfigurable I/O (RIO) เป็นตัวควบคุมแบบ FPGA แบบ Embedded ของบริษัท National Instruments ที่มีความสามารถสูงมาก มีขนาดเล็ก ทนทาน มีความยืดหยุ่น โปรแกรมด้วยภาษา LabVIEW ที่เป็นภาษากากราฟิก สามารถพัฒนาโปรแกรมได้รวดเร็ว เหมาะกับการสร้างเครื่องต้นแบบ โดย CompactRIO จะประกอบด้วยตัวประมวลผลแบบเวลาจริง (Real-time processor) และ โมดูลอินพุต/เอาต์พุต โดยที่แต่ละ โมดูลอินพุต/เอาต์พุตจะต่อโดยตรงกับ FPGA ซึ่งทำให้มีการประมวลผลสัญญาณในระดับต่ำ (Low-level signal processing) และ FPGA จะต่อกับตัวประมวลผลแบบเวลาจริงโดยผ่านบัส PCI ดังรูปที่ 2.18 ดังนั้นระบบจะทำงานๆได้รวดเร็วเพราะเป็นการประมวลผลในระดับต่ำหรือในระดับฮาร์ดแวร์ และ CompactRIO จะสามารถต่อกับ โมดูลอินพุต/เอาต์พุต ได้หลากหลายชนิด ขึ้นอยู่กับความต้องการในการทำงานไม่ว่าจะเป็น อินพุตแบบแอนะล็อกที่สามารถต่อได้กับทั้งแบบแรงดัน, กระแส, เทอร์โมคัปเปิล, RTD, มิเตอร์วัดอัตราเร่ง, และ สเตนเกจ หรือเอาต์พุตแบบแอนะล็อก, อินพุตแบบดิจิตอล, และ เอาต์พุตแบบดิจิตอล เป็นต้น

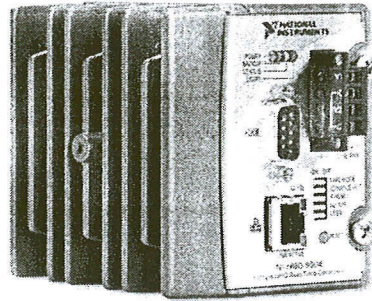


รูปที่ 2.12 สถาปัตยกรรมของ CompactRIO

- ตัวประมวลผลแบบเวลาจริงรุ่น 9004

มีคุณสมบัติดังนี้

- หน่วยประมวลผล 195MHz
- หน่วยความจำ DRAM 64MB
- หน่วยความจำภายในแบบถาวร 512MB
- พอร์ต Ethernet
- พอร์ตอนุกรม RS232C
- มี LED อเนกประสงค์ 4 หลอด
- มี DIP Switch อเนกประสงค์ 5 บิต
- มี Remote Panel Web Server
- มี FTP Server

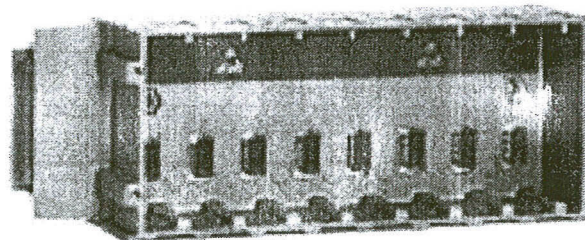


รูปที่ 2.13 ตัวประมวลผลแบบเวลาจริงรุ่น 9004

- แอสซีย์ FPGA ขนาด 3 ล้านเกต รุ่น 9104

มีคุณสมบัติดังนี้

- มีสล็อตสำหรับใส่โมดูล 8 สล็อต
- มี FPGA จำนวน 3 ล้านเกต
- RAM 196kB
- ฐานเวลา 40MHz
- มีฟังก์ชัน PID ในตัวทำให้ใช้ควบคุมที่ความเร็ววงรอบมากกว่า 100kHz

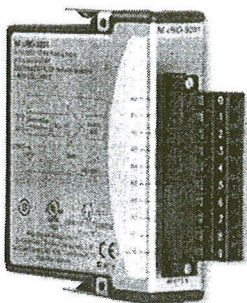


รูปที่ 2.14 แอสซีย์ FPGA ขนาด 3 ล้านเกต รุ่น 9104

- โมดูลอินพุตแบบแอนะล็อก รุ่น 9201

มีคุณสมบัติดังนี้

- รับอินพุตเป็นแรงดัน +/- 10 V
- 8 ช่องสัญญาณอินพุต
- ความละเอียดในการแปลงสัญญาณ 12 บิต
- ความละเอียดในการสุ่มสัญญาณ 500 kS/S
- มีการแยกโคดแรงดัน

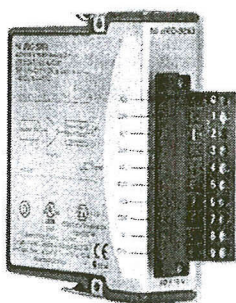


รูปที่ 2.15 โมดูลอินพุตแบบแอนะล็อก รุ่น 9201

- โมดูลเอาต์พุตแบบแอนะล็อก รุ่น 9263

มีคุณสมบัติดังนี้

- เอาต์พุตเป็นแรงดัน +/- 10 V
- 4 ช่องสัญญาณเอาต์พุต
- ความละเอียดในการแปลงสัญญาณ 16 บิต
- ความละเอียดในการสุ่มสัญญาณ 100 kS/S
- มีการแยกโคดแรงดัน
- ขั้วกระแสได้ 1mA/ช่อง

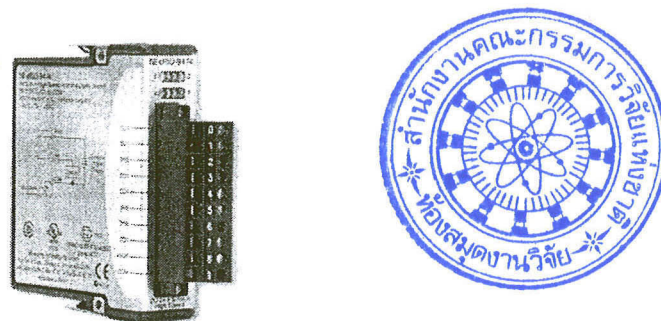


รูปที่ 2.16 โมดูลเอาต์พุตแบบแอนะล็อก รุ่น 9263

- โมดูลเอาต์พุตแบบดิจิทัล รุ่น 9474

มีคุณสมบัติดังนี้

- ระดับแรงดัน 5-30V
- จำนวนช่องสัญญาณ 8 ช่อง แบบซอร์สกระแส
- จ่ายกระแสได้ 1 A/ช่อง
- เวลาประวิงของอินพุต 1 uS
- มีการแยกโคดแรงดัน



รูปที่ 2.17 โมดูลเอาต์พุตแบบดิจิทัล รุ่น 9474

2.7 LabVIEW [21]

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ LabVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument หรือเรียกย่อ ๆ ว่า VI ซึ่งหมายถึงเครื่องมือวัดเสมือน ดังตัวอย่างจากรูป 2.18 เป็น Oscilloscope ที่ได้ทำการสร้างขึ้นบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดย LabVIEW จะมี Front Panel ซึ่งเปรียบเสมือนได้กับสิ่งที่ผู้ใช้จะเห็นและควบคุมการทำงาน ผู้ใช้สามารถสร้างรูปแบบขึ้นเองได้อย่างรวดเร็วเพราะ LabVIEW มีส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับออกแบบหน้าจอมากมาย เช่น จอแสดงผลแบบออสซิลโลสโคป , ปุ่มหมุน (Dial) และสวิตช์ เป็นต้น โดย LabVIEW จะแสดงผลและควบคุมการทำงานผ่านคอมพิวเตอร์

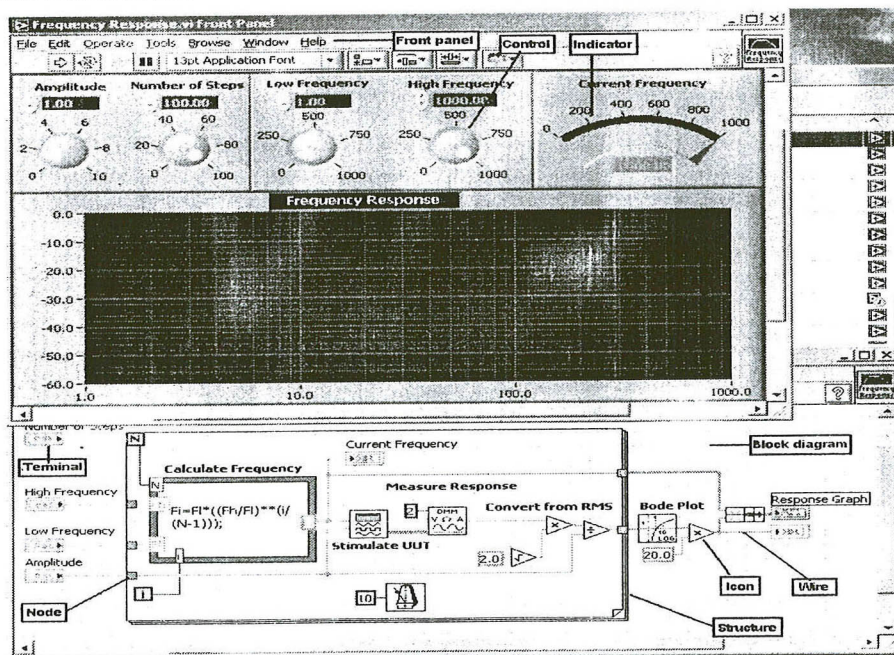
พื้นที่ส่วนที่เขียนโปรแกรมจะเรียกว่า Block Diagram เปรียบเสมือนกับ Hardware ภายในเครื่องมือวัด โดย LabVIEW จะเขียนโปรแกรมโดยอาศัยรูปภาพ และ LabVIEW อาศัยหลักการการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการวัดคุมทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบรูปแบบ โปรแกรมตามที่ต้องการ หลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. Acquisition ซึ่งเป็นส่วนที่รับข้อมูล (Input) จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบในที่นี้คือคอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบนี้อาจจะมาจาก การ์ด DAQ (สำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า) , การ์ด IMAQ (สำหรับข้อมูลประเภทรูป) หรือ GPIB (สำหรับควบคุมเครื่องมือวัด)
2. หลังจากที่ได้รับข้อมูลแล้วอาจจะผ่านฟังก์ชันในการทำ Analysis หรือวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบที่สื่อความหมายในสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปแสดงแทนสื่อที่วัดได้และใช้งานได้
3. Presentation คือ การแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยอาจแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เช่น DMM (Digital Multimeter) แสดงผลเฉพาะสัญญาณที่วัดได้ โดยไม่จำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์กับเวลา หรือ Oscilloscope แสดงผลของข้อมูลที่สัมพันธ์กับเวลา หรือ Spectrum Analyzer จะแสดงสัญญาณในรูปความถี่หรือการพิมพ์ออกมาเป็นรายงานหรือเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์

ส่วนประกอบต่างๆ ใน LabVIEW (LabVIEW Environment)

อธิบายจากรูป (ตามหมายเลข)

1. Front Panel คือส่วนที่จะติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) ซึ่งส่วนนี้จะประกอบด้วย Control หรือ Input (รับข้อมูลจากผู้ใช้) และ Indicator หรือ Output (แสดงผลให้ผู้ใช้งานเห็น)
2. Control คือสิ่งที่ผู้ใช้งานจะป้อนค่าหรือเปลี่ยนค่าได้ ซึ่งก็คือ Input เข้าสู่ระบบในรูปแบบ Numeric Control (ตัวรับข้อมูลแบบตัวเลข)
3. Indicator เป็นสิ่งที่โปรแกรมแสดงออกมาให้ผู้ใช้งานเห็น ซึ่งก็คือ Output ที่ออกมาจากระบบ หรือ Application ที่เราพัฒนา ในรูปแบบตัวอย่างของ Numeric Indicator (ตัวแสดงผลตัวเลข)
4. Block Diagram คือส่วนที่ผู้พัฒนาใช้ในการเขียนโปรแกรม หรือส่วนของ Source Code
5. Terminal จะมีสองรูปแบบ คือจุดกำเนิด (Source) หรือ (Output Terminal) และจุดรับ (Sink) หรือ (Input Terminal)
6. Icons คือส่วนที่มีการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งเมื่อโปรแกรมทำงาน เช่น ฟังก์ชันซึ่งเป็นส่วนประกอบพื้นฐานที่มีอยู่แล้วใน LabVIEW ได้แก่ Add, Subtract หรือ SubVIs ซึ่งจะหมายถึง VI ที่ถูกเรียกอ่านมาจากอีกที่หนึ่ง



รูปที่ 2.18 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ใน LabVIEW

7. Wires คือเส้นทางของข้อมูลที่ส่งผ่านจุดกำเนิดข้อมูล (Source) ไปจุดรับข้อมูล/จุดสิ้นสุด (Sink)
8. Structures คือส่วนที่ควบคุมขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม เช่น For Loop
9. Nodes คือจุดเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างข้อมูลกับ SubVI, Function หรือ Structures