เทคโนโลยีการลดกำลังงานสูญเปล่าในวงจรกรองการรบกวนทางสายเมน

Technology to Reduce Power Loss in Line Noise Filter Circuit

บุญชัด เนติศักดิ์
รองศาสตราจารย์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
โทร. 0812887483 E-mail netisak_b@lpru.ac.th

บทคัดย่อ

วงจรกรองการรบกวนทางสายเมนในเครื่องใช้ไฟฟ้า จำเป็นต้องใช้ตัวต้านทานต่อไว้เพื่อคายประจุออกจากตัวเก็บประจุ X ให้หมดก่อนเวลา 1 วินาที ทั้งนี้ก็เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้ามีความปลอดภัยจากไฟฟ้าตกค้างดูดหลังจากถอดปลั๊ก ตัวต้านทานคายประจุนี้จะต้องต่อคร่อมตัวเก็บประจุและสายเมนอยู่ตลอดเวลา จึงมีกำลังไฟฟ้าจำนวนคงที่สูญเปล่าผ่านตัวต้านทานเมื่อไฟจ่ายเข้ามาที่สายเมน เพื่อลดกำลังงานที่สูญเปล่าจากตัวต้านทานคายประจุ สามารถออกแบบวงจรที่ใช้เทคโนโลยีจากชิป ตระกูล CAPZero™ มีวงจรตรวจจับกระแสไฟที่สายเมน และวงจร back-to-back MOSFET ที่ทำหน้าที่ตัดตัวต้านทานออกจากวงจรเมื่อมีกระแสไฟ และทำหน้าที่ต่อตัวต้านทานเข้าวงจรเมื่อไม่มีกระแสไฟ ซึ่งจะทำให้ลดการสูญเปล่าของกำลังไฟฟ้าจากที่เคยสูญเสียลงไปได้ประมาณ 84 – 98 เปอร์เซ็นต์ ที่แรงดัน 220 VAC และยังสามารถคายประจุไฟฟ้าตกค้างได้อย่างปกติ โดยการทำงานของวงจรกรองการรบกวนทางสายเมนยังคงมีคุณสมบัติคงเดิมทุกประการ

คำสำคัญ : การลดกำลังงานสูญเปล่า, วงจรกรองการรบกวนทางสายเมน

Abstract

Line noise filter circuits need a resistor to discharge the X-capacitor in less than 1 second and so protect users from residual electric shocks after unplug. Typically this is achieved by placing discharge resistors directly across the capacitor and AC main lines but this results in a constant power loss while AC is supplied. To reduce power loss from discharge resistors, CAPZero™ family chip technology, coupled with AC detector and back-to-back MOSFET, can switch off block current flows through resistors when AC is applied at main lines and switch on connect resistors to discharge current from capacitor when AC is absent from main lines. This can be used to eliminate power losses through discharge X-capacitor resistors at a level of about 84-98% of main input voltage at 220 VAC while retaining all the characteristics of line noise filters.

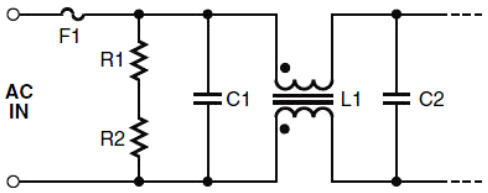
Keywords : Reduce Power loss, Line Noise Filter

1. บทนำ

การส่งจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไฟฟ้าไปยังผู้ใช้งานจะต้องผ่านสายส่งไฟฟ้าที่มีระยะทางห่างออกไป พลังงานไฟฟ้าที่ไปถึงผู้ใช้งานตามอุดมคติแล้วควรเป็นพลังงานบริสุทธิ์ ไม่มีสิ่งแปลกปลอมใดหรือต้องไม่มีมลภาวะติดมากับพลังงานไฟฟ้าเลย แต่ในความเป็นจริง การรบกวนที่สอดแทรกเป็นมลภาวะ (EMI และ RFI) ในระบบไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามาทางสายเมนจะมีอยู่เสมอ รวมถึงการเกิดเซิร์จ (serge) การแทรกเข้ามาของคลื่นยอดแหลมอย่างฉับพลัน ที่เรียกว่าสไปค์และทรานเซียนต์ (spike and transient) ซึ่งจะเกิดเนื่องจากการเหนี่ยวนำของอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทขดลวด มอเตอร์ หม้อแปลง และตัวเก็บประจุ หรือแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิ่ง ที่ต่อร่วมอยู่กับสายเมนเดียวกัน อุปกรณ์พวกนี้เมื่อเริ่มทำงานหรือหยุดทำงานจะมีการรับพลังงานเข้าหรือคายพลังงานออกจากขดลวดและตัวเก็บประจุ และหากเกิดขึ้นไม่ตรงกับจังหวะที่กระแสมีค่าเป็นศูนย์ (cross zero) ของคลื่นไซน์แล้ว จะส่งผลให้เกิดแรงดันเป็นพัลส์ยอดแหลมขึ้นในทันทีทันใด ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้ทั้งทางบวกและทางลบ ผสมเข้ากับคลื่นไซน์ของสายเมนส่งจ่ายเข้าระบบไฟฟ้ากลายเป็นมลภาวะแพร่กระจายในระบบไฟฟ้า

การป้องกันการรบกวนทางสายเมนที่อยู่ในเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป จะใช้วงจรกรองเพื่อให้ทำหน้าที่ป้องกันมลภาวะทางไฟฟ้าที่ปะปนมากับสายส่งไฟฟ้าจากภายนอก ไม่ให้เข้าไปในเครื่องใช้ไฟฟ้า และขณะเดียวกันก็ป้องกันมลภาวะที่เกิดจากภายในเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นไม่ให้กระจายออกไปเข้าระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้าทางสายเมน

วงจรกรองการรบกวนทางสายเมน มีส่วนประกอบสำคัญ คือ ตัวเก็บประจุ (C) ขดลวด (L) และตัวต้านทาน (R) ดังวงจรรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรกรองการรบกวนทางสายเมนเบื้องต้น

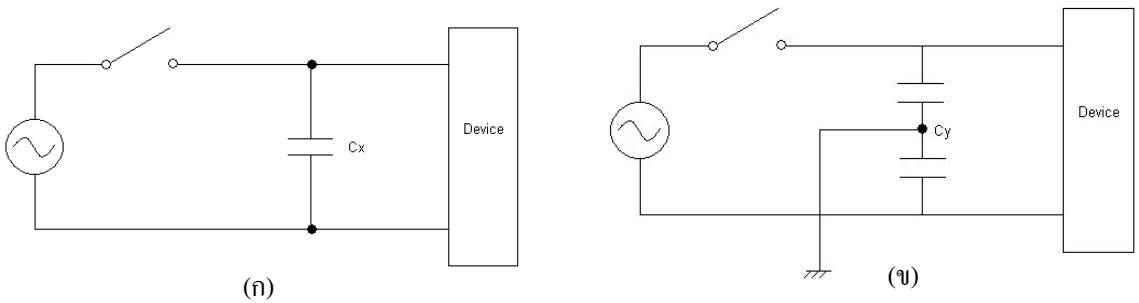
ที่มา : (Power Integrations. Application Note AN-48, CAPZero™ – Family. p.3.)

ตัวเก็บประจุกับขดลวดทำงานร่วมกันเป็นวงจรกรอง ตัวเก็บประจุ (C1-C2) จะทำหน้าที่ดูดซับหรือระงับคลื่นสัญญาณที่ต้องการกรอง (noise ; EMI, RMI) ขดลวด (L1) ทำหน้าที่กั้น (block) สัญญาณที่ต้องการกรองไม่ให้ผ่าน สำหรับตัวต้านทาน (R1-R2) นั้นไม่ได้ทำหน้าที่ในการกรอง แต่จำเป็นต้องใส่ไว้ในวงจร เพื่อให้ทำหน้าที่คายประจุไฟฟ้าที่ค้างอยู่ในตัวเก็บประจุหลังการถอดปลั๊ก มีวัตถุประสงค์เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งานเป็นหลัก เมื่อวงจรทำงานจะมีกระแสไฟจำนวนหนึ่ง (ค่าคงที่) สูญเสียไปอย่างเปล่าประโยชน์ตลอดเวลาผ่านตัวต้านทานนี้ นี่เป็นปัญหาอย่างหนึ่งที่ต้องแก้ไขให้พลังงานที่สูญเปล่านี้ลดลงไปโดยไม่กระทบต่อการทำงานของวงจรคายประจุในวงจรกรอง

2. ตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรกรองการรบกวนทางสายเมน

ตัวเก็บประจุมีความสำคัญต่อวงจรกรองการรบกวนทางสายเมนมาก การนำมาใช้งานต้องมีความปลอดภัยต่อวงจรภายในและมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานสูง ตัวเก็บประจุต้องทนแรงดันได้สูง ไม่ชำรุดเสียหายง่าย จึงต้องสร้างตัวเก็บประจุขึ้นมาเฉพาะ มีมาตรฐานที่ควบคุมและทดสอบตัวเก็บประจุอยู่หลายมาตรฐาน เช่น มาตรฐาน EN 60384-14, IEC 60384-14 ของกลุ่มประเทศยุโรป มาตรฐาน UL 1414, UL 1283 ของประเทศสหรัฐอเมริกา มาตรฐาน CSA C22.2, No.1, No.8 ของประเทศแคนาดา และมาตรฐาน CQC (GB/T 14472-1998) ของประเทศจีน เป็นต้น

การแบ่งชนิดของตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรกรองการรบกวนทางสายเมน เพื่อให้ทำหน้าที่ดูดซับ EMI ตามมาตรฐานยุโรป (EN 60384-14 and IEC 60384-14) แบ่งชนิดของตัวเก็บประจุที่ใช้ดูดซับ EMI ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ตัวเก็บประจุแบบ X กับตัวเก็บประจุแบบ Y (EPCOS. Film Capacitors, EMI Suppression Capacitors (MPK) p3-4.)



รูปที่ 2 (ก) การต่อตัวเก็บประจุแบบ X และ (ข) การต่อตัวเก็บประจุแบบ Y

2.1 ตัวเก็บประจุแบบ X ต้องมีความปลอดภัยในการใช้งาน ต้องไม่เป็นเหตุให้ไฟฟ้าดูดผู้ใช้งานในทุกกรณี ปกติการใช้งานจะต่อคร่อมสายเมนโดยตรง (line-to-line) หรือต่อระหว่างสายเมนกับนิวทรัล (line-to-neutral) ตามมาตรฐาน EN 60384-14 ยังแบ่งชั้นย่อยลงไปอีก 3 ชั้น คือ X1, X2, และ X3 ตามค่าแรงดันยอด (Vp) ของพัลส์ที่ตัวเก็บประจุทำงานได้ปลอดภัย ค่าแรงดันยอดนี้รวมถึงพัลส์ที่เกิดจากฟ้าผ่าที่มาตามสายเคเบิล ค่ายอดแรงดันกระชาก (surge) ค่ายอดพัลส์ที่เกิดจากอุปกรณ์อื่นๆ ที่ต่อร่วมสายเมนเดียวกัน (Evox-Rifa Inc. Capacitors for RFI Suppression of the AC Line: Basic Facts. p5.)

2.1.1 ตัวเก็บประจุแบบ X1 เป็นแบบที่ใช้งานเฉพาะ เช่น ในเครื่องพิมพ์อุตสาหกรรม มินิคอมพิวเตอร์ ที่ต่อกับสายเมน 3 เฟส และบัลลาสต์ระบบไฟแสงสว่างทางอุตสาหกรรม ตัวเก็บประจุแบบ X1 ที่มีค่าความจุตั้งแต่ 0.1 μF ลงมา จะต้องผ่านการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ (impulse tested) 4 kV ถ้าความจุสูงกว่านี้จะต้องผ่านการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ 4 kV / $\sqrt{C}$ (หน่วย μF)

2.1.2 ตัวเก็บประจุแบบ X2 เป็นแบบที่ใช้งานทั่วไป นิยมในการใช้งานมากกว่าแบบอื่น ครอบคลุมเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ที่ใช้เสียบกับปลั๊กติดผนังแรงดันระหว่าง 150 – 250 VAC เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องเป่าผม เครื่องแฟกซ์ เครื่องมือช่างต่างๆ ฯลฯ ตัวเก็บประจุแบบ X2 นี้ ที่มีค่าความจุตั้งแต่ 0.1 μF ลงมา จะต้องผ่านการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ 2.5 kV ถ้าความจุสูงกว่านี้จะต้องผ่านการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ 2.5 kV / $\sqrt{C}$ (หน่วย μF)

2.1.3 ตัวเก็บประจุแบบ X3 ต้องผ่านการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ 1.5 kV เป็นแบบที่ใช้งานได้ทั่วไป แต่ยังไม่พบกลุ่มมาตรฐานอุปกรณ์ใดเอาไปใช้งาน อาจเป็นเรื่องของอนาคตที่อาจแนะนำให้ใช้ในเพาเวอร์แฮนด์ทูล (power hand tool) ชนิดใหม่ๆ

2.2 ตัวเก็บประจุแบบ Y ใช้สำหรับต่อระหว่างสายเมนกับดิน (line-to-ground) หรือต่อระหว่างสายนิวทรัลกับดิน (neutral-to-ground) ตัวเก็บประจุแบบ Y ต้องมีความปลอดภัยในการใช้งาน ต้องไม่เป็นเหตุให้ไฟฟ้าดูดผู้ใช้งานในทุกกรณี ตามมาตรฐาน EN 60384-14 ยังแบ่งชั้นย่อยของตัวเก็บประจุแบบ Y ลงไปอีก 4 ชั้น ตามโครงสร้างฉนวนและค่าแรงดันยอด คือ Y1, Y2, Y3 และ Y4 (Evox-Rifa Inc. Capacitors for RFI Suppression of the AC Line: Basic Facts. p6.)

2.2.1 ตัวเก็บประจุแบบ Y1 เป็นแบบฉนวนมีความทนทานสูง ได้รับความนิยมนำมาใช้งานมาก ตัวประจุแบบ Y1 จะต้องผ่านการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ 8 kV สามารถใช้งานที่แรงดันสายเมนได้ถึง 250 VAC

2.2.2 ตัวเก็บประจุแบบ Y2 เป็นแบบที่นิยมใช้มาก อาจจะมากที่สุด ที่แรงดันสายเมนได้ถึง 250 VAC เช่น แหล่งจ่ายไฟของอุปกรณ์ดาตาโพรเซสซิ่ง อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทั่วไป ค่าการทดสอบต้องผ่านแรงดันอิมพัลส์ 5 kV

2.2.3 ตัวเก็บประจุแบบ Y3 ใช้กับแรงดันสายเมนได้ถึง 250 VAC ไม่มีข้อมูลการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ ยังไม่มีมาตรฐานอุปกรณ์ชนิดใดระบุการใช้งาน

2.2.4 ตัวเก็บประจุแบบ Y4 ใช้กับแรงดันสายเมนได้ถึง 150 VAC ต้องผ่านการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ 2.5 kV ปัจจุบันยังไม่ทราบกลุ่มผู้นำไปใช้งาน

3. การสูญเสียกำลังงานในตัวต้านทานคายประจุของตัวเก็บประจุ X

เมื่อพิจารณาตัวเก็บประจุแบบ X ที่ถูกนำมาต่อคร่อมไว้ที่สายเมน ตัวเก็บประจุจะมีแรงดันคร่อมตัวมันเท่ากับแรงดันสูงสุดที่ป้อนเข้ามาทางสายเมน ซึ่งแรงดันนี้จะปรากฏอยู่ที่ขาปลั๊กด้วย เมื่อผู้ใช้งานถอดปลั๊กออกอาจจะสัมผัสกับขาปลั๊กไฟ อันอาจจะทำให้ถูกกระแสไฟที่ยังค้างอยู่ในตัวเก็บประจุดูดเอาได้

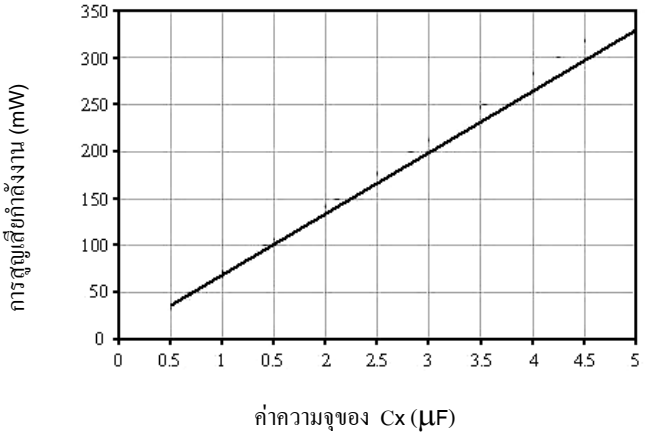
เพื่อที่จะป้องกันอันตรายจากการถูกไฟดูดหลังจากถอดปลั๊ก จึงมีการออกแบบเพื่อให้เกิดความปลอดภัย โดยตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุมากกว่า 100 nF จะต้องถูกทำให้คายประจุออกอย่างอัตโนมัติด้วยค่าคงตัวเวลา (time constant) น้อยกว่า 1 วินาที ซึ่งทำได้โดยต่อตัวต้านทานคร่อมตัวเก็บประจุไว้โดยตรง ค่าของตัวต้านทานเลือกใช้ให้มีค่าคงตัวเวลาเท่ากับหรือน้อยกว่า 1 วินาที ($T_{RC} \leq 1$ Sec.) และเพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นได้มากขึ้นและมีความปลอดภัยมากขึ้น มักจะเลือกตัวต้านทาน 2 ตัวต่ออนุกรมกัน ถึงแม้ว่าตัวต้านทานตัวหนึ่งลัดวงจร ก็ยังมีตัวต้านทานอีกตัวหนึ่งเหลืออยู่ ทั้งนี้เพื่อป้องกันการลัดวงจรคร่อมสายเอซีไลน์ที่อินพุตนั่นเอง

การต่อตัวต้านทานเพื่อคายประจุของตัวเก็บประจุ จะส่งผลให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าคงที่เมื่อจ่ายไฟเอซีเข้ามา การสูญเสียนี้จะเกิดตลอดเวลาแม้ขณะไม่มีโหลดหรือสแตนด์บาย การสูญเสียกำลังไฟฟ้าแม้ดูจะน้อยนิด แต่ก็จะเป็นอัตราส่วนที่มีนัยสำคัญต่อค่าใช้จ่ายด้านพลังงานโดยรวม ตัวอย่างเช่น แหล่งจ่ายไฟใช้ตัวเก็บประจุ C = 1 μF คร่อมเอซีไลน์ จะต้องการตัวต้านทานสำหรับคายประจุ R = 1 MΩ ซึ่งคิดเป็น 48 mW ที่ 220 VAC เพิ่มเติมเข้ากับเอาต์พุตโหลด

ตารางที่ 1 การสูญเสียกำลังงานในวงจรคายประจุที่มีค่าคงตัวเวลา 0.75 วินาที

ค่าความจุของ X-Capacitor	ค่าความต้านทานรวม R	กำลังงานสูญเสีย ในตัว R ที่แรงดัน 220 VAC
500 nF	1.5 MΩ	32 mW
750 nF	1.02 MΩ	47 mW
1.0 µF	780 kΩ	62 mW
1.5 µF	480 kΩ	100 mW
2.0 µF	360 kΩ	134 mW
2.5 µF	300 kΩ	161 mW
3.5 µF	200 kΩ	242 mW
5.0 µF	150 kΩ	323 mW

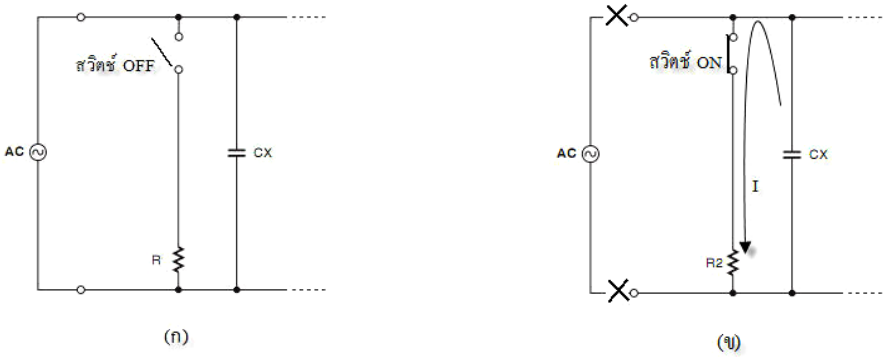
ตารางที่ 1 แสดงค่าการสูญเสียกำลังงานในวงจรตัวต้านทานคายประจุออกจากตัวเก็บประจุ X ในวงจรกรองการรบกวนทางสายเมนที่ใช้ค่า Cx มีความจุต่างกัน โดยคำนวณที่ค่าคงตัวเวลาการคายประจุ 0.75 วินาที แรงดันที่สายเมน 220 VAC ที่ทำเช่นนี้เพราะต้องเผื่อทางปฏิบัติอาจมีค่าคลาดเคลื่อนไป 20 เปอร์เซ็นต์ ก็จะยังคงได้ผลลัพธ์ไม่เกิน 1 วินาที ตามข้อกำหนดความปลอดภัย แม้ตัวเลขที่ได้ดูไม่มาก แต่นี่เป็นเพียงเครื่องใช้ไฟฟ้าเครื่องเดียว ในความเป็นจริงจะมีเครื่องใช้ไฟฟ้าต่ออยู่กับสายเมนพร้อมกันเป็นจำนวนมาก จึงทำให้กำลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปแบบสูญเปล่ามีจำนวนมหาศาล ถ้าพิจารณาตามค่าความจุของ Cx ที่ค่าความจุสูง จะใช้ตัวต้านทานค่าต่ำ จึงทำให้เกิดการสูญเสียมากกว่า ดังกราฟในรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟการสูญเสียกำลังงานในตัวต้านทานคายประจุของ Cx (ที่แรงดัน 220 VAC , (T_{RC} = 0.75 sec.)

4. หลักการแก้ปัญหาเพื่อการลดการสูญเสียกำลังงานสูญเปล่าในวงจรกรองการรบกวนทางสายเมน

พิจารณาจากหน้าที่ของตัวต้านทานคายประจุของตัวเก็บประจุแบบ X ในวงจรกรองการรบกวนทางสายเมน ทำหน้าที่ให้กระแสที่คายออกจากตัวเก็บประจุผ่าน ซึ่งจำเป็นเฉพาะตอนที่ถอดปลั๊กหรือตัดกระแสไฟฟ้าออกจากวงจรเท่านั้น ดังนั้นถ้าทำสวิตช์ตัวหนึ่งต่ออนุกรมไว้กับตัวต้านทาน ตอนที่เสียบปลั๊กหรือจ่ายกระแสไฟเข้าวงจรให้กดสวิตช์ตัดตัวต้านทานออกจากวงจร (ดูรูปที่ 4-ก) ก็จะไม่มีกระแสไฟผ่านตัวต้านทาน จึงไม่ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานใดๆ และเมื่อตอนถอดปลั๊กออกหรือตัดกระแสไฟไม่ให้จ่ายเข้าวงจร ให้กดสวิตช์ต่อตัวต้านทานเข้าวงจร (ดูรูปที่ 4-ข) เพื่อให้ทำหน้าที่คายประจุออกจากตัวเก็บประจุ ตัวต้านทานคายประจุก็จะทำหน้าที่ได้ตามเจตนา ไม่มีประจุไฟฟ้าค้างอยู่บนตัวเก็บประจุที่จะเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน นี่คือหลักการแก้ปัญหา



รูปที่ 4 หลักการใช้สวิตช์ตัดต่อวงจรเพื่อลดการสูญเสียกำลังงานในตัวต้านทานคายประจุของตัวเก็บประจุ X

ที่มา : (Power Integrations. Application Note AN-48, CAPZero™ – Family. p.5.)

ในทางปฏิบัติเพื่อความสะดวกในการใช้งาน จะต้องทำสวิตช์ที่สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ มีขนาดเล็ก มีความทนทานต่อแรงดันสูง และต้องการกำลังงานป้อนให้ทำงานต่ำมากๆ ปัจจุบันมีผู้ผลิตชิปให้ทำหน้าที่นี้ภายใต้ชื่อทางการค้าว่า CAPZero™

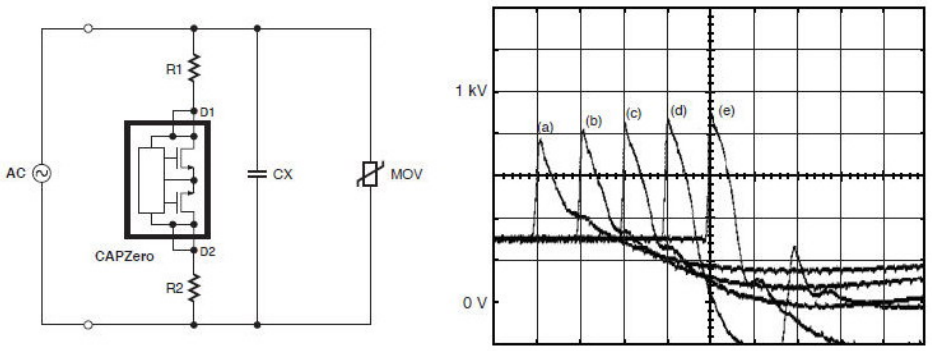
5. ชิปตระกูล CAPZero™

CAPZero คือตระกูลเพาเวอร์ไอซีที่ผลิตโดยบริษัท Power Integration ถูกออกแบบมาเพื่อลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้า ซึ่งต้องทำงานร่วมกับตัวต้านทานที่ใช้คายประจุของตัวเก็บประจุ X ที่อยู่ในวงจรกรองไลน์นอยส์ ภายในของตัวชิป CAPZero ประกอบด้วยวงจรตรวจจับกระแสไฟ AC

และวงจร back-to-back MOSFET บรรจุอยู่ในตัวถังแบบ SO-8 (Power Integrations. Application Note AN-48, CAPZero™)

การทำงานของชิปตระกูล CAPZero เมื่อมีแรงดัน AC ปรากฏที่อินพุต CAPZero จะยังคงอยู่ในภาวะ Off ตัดวงจรกั้นกระแสไฟไม่ให้ไหลผ่าน R เพื่อลดการสูญเปล่าของกำลังงานไฟฟ้า เมื่อไม่มีแรงดัน AC ที่อินพุต เช่นปิดสวิตช์หรือถอดปลั๊ก CAPZero จะเข้าสู่ภาวะ Turn On ต่อวงจร ตัวต้านทาน R ที่ใช้คายประจุ จะต่อถึงกัน เป็นทางให้กระแสในตัวเก็บประจุคายออกได้ CAPZero จะใช้ไฟเลี้ยงตัวเองให้ทำงานได้โดยดึงเอาไฟจากสายเมน ซึ่งจะกินกำลังงานเพียงเล็กน้อย คือ น้อยกว่า 5 mW ที่ไฟเมน 230 VAC

การประยุกต์ใช้งานชิปตระกูล CAPZero ในแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งทั่วไป เช่น การขับมอเตอร์ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เครื่องมือเครื่องจักรอุตสาหกรรม และแหล่งจ่ายไฟฟ้าทั่วไปที่ทำงานโดยการสวิตชิ่งแรงดันสูงและกระแสสูงที่สามารถกำเนิดคลื่น EMI เข้ารบกวนในระบบจ่ายไฟฟ้า วงจรเบื้องต้นของชิป CAPZero ดังรูปที่ 5

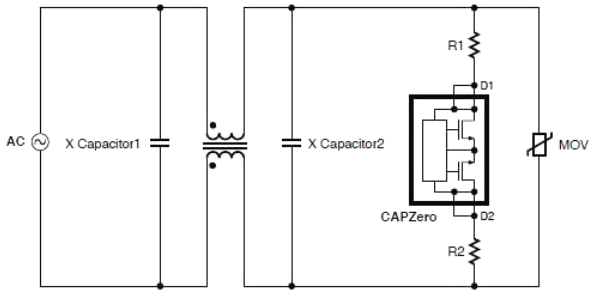


(ก) (ข)

รูปที่ 5 (ก) วงจรเบื้องต้นของชิป CAPZero และ (ข) กราฟแรงดันเมื่อต่อ MOV อยู่ในวงจร (a) – (e) แสดงแรงดันคร่อม CAPZero เมื่อแรงดันเซิร์จที่อินพุต 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 kV ตามลำดับ

ที่มา : (Power Integrations. Application Note AN-48, CAPZero™ – Family. p.2.)

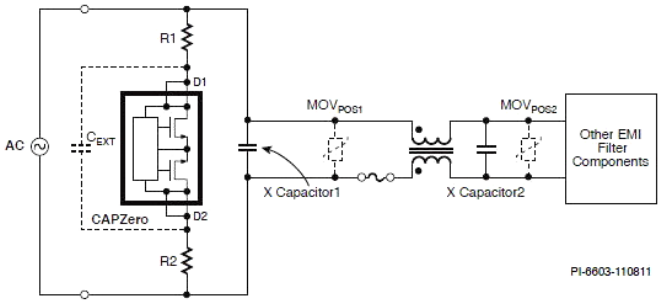
6. ตัวอย่างวงจร



รูปที่ 6 การวางตำแหน่ง CAPZero ไว้หลังขดลวดกรองไลน์นอยส์

ที่มา : (Power Integrations. Application Note AN-48, CAPZero™ – Family. p.3.)

วงจรใช้งานของชิป CAPZero ตามรูปที่ 6 ต่อชิปไว้ที่ตำแหน่งหลังขดลวดกรองไลน์นอยส์ ซึ่งจะสามารถคายประจุของตัวเก็บประจุ X ได้ทั้ง 2 ตัว ปกติถ้าสายเมนมีแรงดัน ขา D1 และ D2 ของ CAPZero จะไม่ต่อถึงกัน (open) เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียกำลังงาน ถ้าสายเมนไม่มีแรงดัน ขา D1 และ D2 จะต่อถึงกัน (close) เพื่อคายประจุในตัว Cx ให้เป็น 0 ผ่านทาง R1-R2 ในเวลาน้อยกว่า 1 วินาที มีข้อแนะนำ การป้องกันให้วงจรปลอดภัยโดยการใช้ MOV (metal oxide varistor) ต่อขนานกับ Cx คร่อมสายเมนไว้ด้วย ซึ่งจะทำให้ปลอดภัยจากเซิร์จที่สูงขนาด 1-3 kV ได้



รูปที่ 7 การวางตำแหน่ง CAPZero ไว้หน้าขดลวดกรองไลน์นอยส์

ที่มา : (Power Integrations. Application Note AN-48, CAPZero™ – Family. p.3.)

วงจรรูปที่ 7 แสดงการวางตำแหน่งของ CAPZero ไว้หน้าขดลวดกรองไลน์นอยส์ ด้านอินพุตที่รับไฟจากสายเมน ส่วนตัว MOV จะอยู่ในตำแหน่งขนานกับ Cx ทั้งสองตัว

7. การสูญเสียกำลังงานเมื่อใช้ชิป CAPZero

ตารางที่ 2 การสูญเสียกำลังงานของอุปกรณ์ในวงจรกรอง

แรงดันป้อนที่สายเมน (หน่วย V / Hz)	**การสูญเสียกำลังงาน ในชิป CAPZero** (หน่วย mW)	**การสูญเสียกำลังงาน ใน MOV** (หน่วย mW)	**การสูญเสียกำลังงาน ในวงจรกรองทั้งหมด** (หน่วย mW)
85 V / 50 Hz	1.5	0.5	2.0
100 V / 50 Hz	1.7	0.9	2.8
115 V / 60 Hz	2.0	0.7	3.0
132 V / 60 Hz	2.3	2.0	4.8
230 V / 50 Hz	4.0	2.3	8.0
240 V / 50 Hz	4.1	4.9	11.0
265 V / 50 Hz	4.6	4.5	12.0

ที่มา : (Power Integrations. CAPZero Reference Design Report , RDR-252 . p.9-12.)

ตารางที่ 2 แสดงการสูญเสียกำลังงานที่เกิดในตัวอุปกรณ์ของวงจรกรองที่ค่าแรงดันสายเมนต่างๆ กัน จะเห็นได้ว่าที่แรงดันตั้งแต่ 85 V – 265 V ตัวชิป CAPZero ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานระหว่าง 1.5 – 4.6 mW กรณีที่ใช้ MOV จะมีการสูญเสียกำลังงานเป็นสัดส่วนเท่าๆ กับการสูญเสียใน ตัวชิป CAPZero ที่แรงดันสูง แต่ในภาพรวมการสูญเสียกำลังงานทั้งหมดในวงจรกรองก็น้อยกว่าการสูญเสียในตัวต้านทานคายประจุค่อนข้างมาก นั่นคือเมื่อนำค่าการสูญเสียกำลังงานในวงจรกรองที่ใช้ชิป CAPZero ช่วยตัดต่อตัวต้านทานคายประจุไปลบออกจากค่าการสูญเสียที่เกิดจากตัวต้านทาน ก็คือค่าของกำลังงานที่ลดลง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 ซึ่งคำนวณที่แรงดัน 220 VAC โดยประมาณ คิดค่าการสูญเสียในชิป CAPZero สูงสุด 5 mW ตามที่ผู้ผลิตระบุ

ตารางที่ 3 แสดงกำลังงานสูญเสียที่ลดลงเมื่อใช้ R ร่วมกับชิป CAPZero
(ที่แรงดัน 220 VAC , T_{RC} = 0.75 sec. ,$I_{CAPZeroMAX}$ = 5 mW)

ค่าความจุของ X-Capacitor	ค่าความต้านทานรวม R	กำลังงานสูญเสีย ในตัว R ที่แรงดัน 220 VAC	กำลังงานสูญเสีย ที่ลดลงเมื่อใช้ R ร่วมกับชิป CAPZero (5 mWmax)	
			หน่วย mW	เปอร์เซ็นต์
500 nF	1.5 MΩ	32 mW	27 mW	84.38
750 nF	1.02 MΩ	47 mW	42 mW	89.36
1.0 µF	780 kΩ	62 mW	57 mW	91.94
1.5 µF	480 kΩ	100 mW	95 mW	95.00
2.0 µF	360 kΩ	134 mW	129 mW	96.27
2.5 µF	300 kΩ	161 mW	156 mW	96.89
3.5 µF	200 kΩ	242 mW	237 mW	97.93
5.0 µF	150 kΩ	323 mW	318 mW	98.45

8. บทสรุป

เทคโนโลยีที่ใช้หลักการลดการสูญเสียกำลังงานในตัวต้านทานคายประจุของตัวเก็บประจุ X ที่ใช้ในวงจรกรอง EMI และกรองไลน์นอยส์ โดยวิธีใช้วงจรตัดต่อตัวต้านทานอย่างอัตโนมัติ ขณะที่มีกระแสไฟปรากฏที่อินพุตให้ตัดวงจรตัวต้านทานออก เพื่อลดการสูญเปล่าของกำลังงาน และขณะที่ไม่มีกระแสไฟปรากฏที่อินพุตให้ต่อตัวต้านทานเข้าวงจรเพื่อทำหน้าที่คายประจุออกจากตัวเก็บประจุ X เมื่อเทคโนโลยีจากหลักการนี้สามารถนำไปใช้จริงโดยการสร้างวงจรรวมที่มีขนาดเล็ก กินกำลังงานน้อย ทนทาน และใช้งานง่าย ตัวอย่างเช่น ชิป CAPZero จึงทำให้สามารถลดกำลังงานที่สูญเสียเปล่าไปได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าของตัวต้านทานที่ใช้คายประจุและค่าแรงดันอินพุตที่ป้อนเข้ามาทางสายเมน ค่าการสูญเสียที่สามารถลดลงได้โดยการคำนวณที่แรงดัน 220 VAC แสดงไว้ในตารางที่ 3 ซึ่งค่าการประหยัดพลังงานอยู่ที่ 84.38 – 98.45 เปอร์เซ็นต์ จากที่เคยสูญเสียในอนาคตหากผู้ประกอบการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าได้นำเทคโนโลยีนี้ไปใช้จริงอย่างแพร่หลาย ก็จะทำให้ลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าสูญเปล่าโดยรวมของประเทศและของโลกให้ลดลงไปได้อย่างมหาศาล

9. บรรณานุกรม

EPCOS. **EMI Suppression Capacitors (MPK).**

URL: http://www.epcos.com/inf/20/20/db/fc_05/X2_B81130.pdf , access on 28/12/2011.

EPCOS. **Film Capacitors**, **EMI Suppression Capacitors (MPK).** (May 2009).

URL:http://www.epcos.com/web/generator/Web/Sections/ProductCatalog/Capacitors/FilmCapacitors/PDF/PDF__EMIGeneralStandard,property=Data__en.pdf;/PDF_EMIGeneralStandard.pdf , access on 28/12/2011.

Evox-Rifa Inc. **Capacitors for RFI Suppression of the AC Line: Basic Facts.** (Fourth Edition)

URL: http://www.seered.co.uk/sunvic_capacitor_information.pdf , access on 29/12/2011.

Illinois Capacitor, Inc. **EMI/ RFI Interference suppression.**

URL:http://www.illinoiscapacitor.com/pdf/Papers/EMI_RFI_interference_suppression.pdf , access on 29/12/2011.

Power Integrations. **Application Note AN-48, CAPZero™ – Family.** (December 16, 2011).

URL: http://www.powerint.com , access on 28/12/2011.

Power Integrations. **Reference Design Report for Active Discharging of the X Capacitor for Reduced No-load Power Consumption Using CAPZero™ CAP014DG.** RDR-252. (April 14, 2010). URL: http://www.powerint.com , access on 28/12/2011.

Power Integrations. **CAPZero Family. Zero Loss Automatic X Capacitor Discharge IC.** (April, 2011). URL: http://www.powerint.com , access on 28/12/2011.

Vishay. **AC Line Rated Ceramic Disc Capacitors Class X1, 400 VAC/Class Y4, 125 VAC.**

URL: http://www.vishay.com/docs/23106/125l.pdf (Document Number: 91000 Revision: 11-Mar-11) , access on 29/12/2011.