



242906

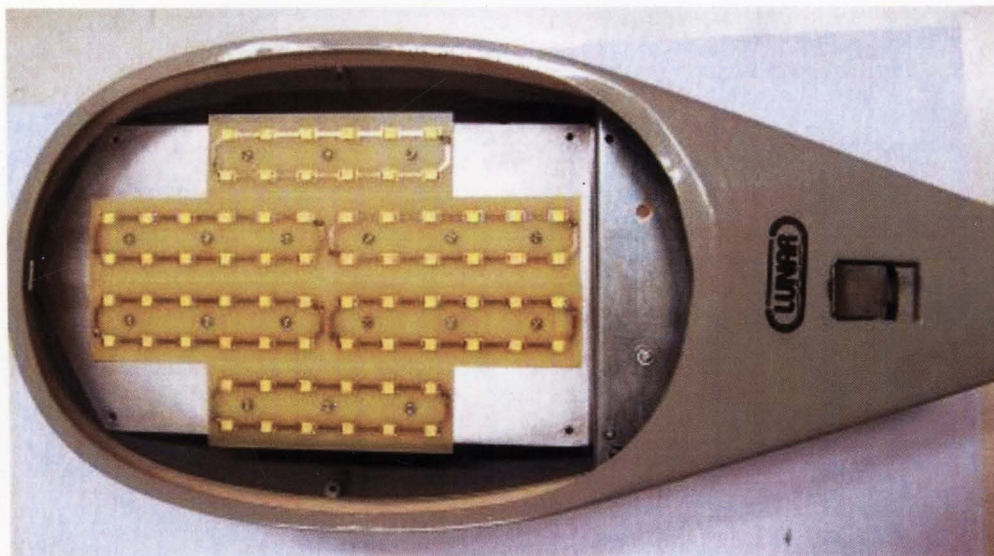


รายงานการวิจัย

เรื่อง

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) การพัฒนาชุดวงจรขับหลอด LEDs สำหรับงานส่องสว่าง
นอกตัวอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

(ภาษาอังกฤษ) Saving energy by developments of LEDs driver circuit
for outdoor lighting



ชื่อนักวิจัย

ผศ. ดร.พิสิษฐ์ ลีวนกุล

หน่วยงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภท

โครงการสนับสนุนการวิจัยขยายผลสู่การปฏิบัติ
และพัฒนาต่อยอดงานวิจัย และสิ่งประดิษฐ์

จาก

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

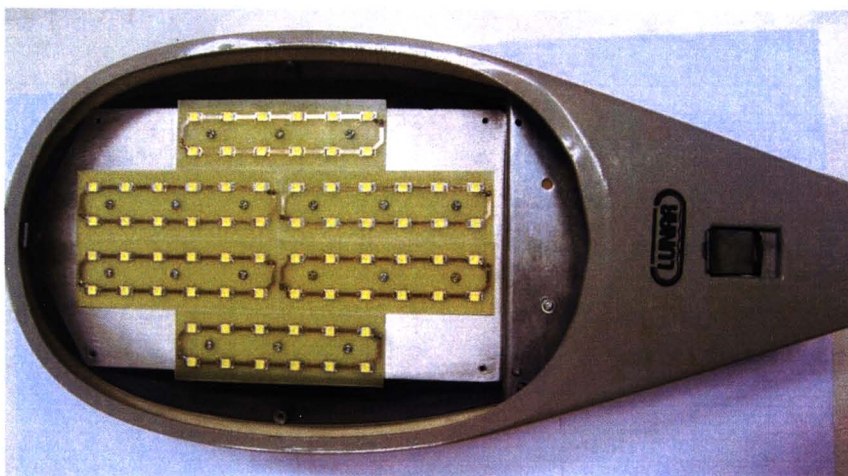
ประจำปีงบประมาณ

2553



เรื่อง

(ภาษาอังกฤษ) Saving energy by developments of LEDs driver circuit for outdoor lighting



โดย

ชื่อนักวิจัย	ผศ. ดร. พิสิษฐ์ ลีวนกุล
หน่วยงาน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภท	โครงการสนับสนุนการวิจัยขยายผลสู่การปฏิบัติ และพัฒนาต่อยอดงานวิจัย และสิ่งประดิษฐ์
จาก	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
ประจำปีงบประมาณ	2553

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาชุดวงจรขับหลอด LEDs สำหรับงานส่องสว่างนอกตัวอาคาร เพื่อการประหยัดพลังงาน” นี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้อย่างดี ด้วยทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2553 ประเภท **โครงการสนับสนุนการวิจัย ขยายผลสู่การปฏิบัติ และพัฒนาต่อยอดงานวิจัย และสิ่งประดิษฐ์** คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน สำหรับคำแนะนำ และมุมมองต่างๆ ที่มีค่ายิ่งเพื่อให้ผู้วิจัยได้ดำเนินการไปตามทิศทางได้อย่างถูกต้องยิ่งขึ้น

นายพิสิษฐ์ ลีวัฒนกุล
(หัวหน้าโครงการวิจัย)

บทคัดย่อ

242906

รายงานฉบับนี้นำเสนอการออกแบบวงจรขับหลอด LEDs สำหรับงานส่องสว่างนอกตัวอาคาร เพื่อการประหยัดพลังงาน การควบคุมกระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านหลอดจะส่งผลต่ออายุการใช้งาน และความสว่างที่ได้จากตัวหลอด โดยกระแสขับหลอดจะอยู่ที่ 80-85% ของกระแสพิกัด การออกแบบวงจรภาคกำลังจะพิจารณาออกเป็น 2 รูปแบบหลัก คือรูปแบบที่ 1 วงจรขับหลอดที่มีวงจรภาคกำลังที่อยู่บนพื้นฐานของวงจรแปลงผันกำลังไฟตรง-ไฟตรงแบบบัค ซึ่งจะเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานในกรณีที่มีแรงดันอินพุตเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เช่น แรงดันที่ได้จากแบตเตอรี่ ฯลฯ การควบคุมกระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านหลอด LEDs สามารถทำได้โดยง่ายด้วยเทคนิคฮิสเตอร์รีซิส เทคนิคการตรวจจับ และควบคุมดังกล่าวให้ค่าความผิดพลาดต่ำกว่า 10% ซึ่งเพียงพอต่อการประยุกต์ใช้งาน รูปแบบที่ 2 วงจรขับหลอดที่มีวงจรแปลงผันกำลังฟลายแบ็คเป็นวงจรภาคหน้า ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ที่ระดับแรงดันไฟตรงประมาณ 44 โวลต์ สำหรับวงจรภาคขับหลอด มีคุณสมบัติแยกโดดทางไฟฟ้า ไม่เกิดความผิดปกติของรูปคลื่นกระแสทางด้านอินพุต และไม่เป็นมลภาวะทางไฟฟ้าต่อระบบไฟฟ้ากำลัง การเปรียบเทียบสมรรถนะจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับระบบส่องสว่างแบบเดิมที่ใช้หลอดไอปรอทความดันสูงขนาดกำลัง 125 วัตต์ เพื่อทำการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

Abstract

242906

This report presents a design of LEDs driver circuit for outdoor lighting in order to save energy. Control average current flow through the LEDs will result in lifetime extension and brightness that it is controlled approximately 80 – 85 % of rated current. Two types of power circuit structure will be considered; according to their application. For first type of power circuit, the converter's topology is based on dc-to-dc buck converter that is appropriate for apply with dc input voltage such as battery, etc. Average current flow through the LEDs can be controlled easily by using hysteresis technique. Thanks to this technique, the current controller can be easily design, robust and fast dynamic. Error between current command and controlled current is less than 10 % that is enough for this application. For second type, the driver circuit is designed into two parts; i.e. front-end part and linear LEDs driver circuit part, which is appropriate for using directly to ac grid line (220 Vrms/50Hz). The front-end part functions as a Power Factor Correction (PFC) that can not only reduce Total Harmonic Distortion of input current (THD_i) but also prepare constant dc voltage level (about 44 V_{dc}) for the second part. For the performance comparison, the original outdoor lighting by using a 125 W high pressure mercury is compared with the second type of LEDs driver system in order to consider the breakeven point.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา	1
1.2 การประหยัดพลังงานในระบบการส่องสว่าง	1
1.3 หลอด LEDs กำลังสูงสำหรับงานส่องสว่าง	2
1.4 วัตถุประสงค์การวิจัย	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.7 วิธีการดำเนินการวิจัย	6
บทที่ 2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแสง และเงื่อนไขเบื้องต้นของวงจรขับหลอด LEDs	8
2.1 คุณภาพของแสง (Quality of light)	8
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสขับหลอด LEDs กับค่าฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous flux) และอายุการใช้งาน (Lumen maintenance) ของหลอด LEDs	11
บทที่ 3 การออกแบบวงจรขับหลอด LEDs สำหรับเครื่องต้นแบบ	14
3.1 การออกแบบวงจรขับหลอด	15
3.1.1 วงจรขับหลอดสำหรับแรงดันอินพุตไฟตรง	15
3.1.2 วงจรขับหลอด LEDs ที่มีวงจรแปลงผันกำลังฟลายแบ็ค (Flyback converter) เป็นวงจรภาคกำลังด้านหน้า	27
บทที่ 4 การวัดสมรรถนะการส่องสว่าง และการวิเคราะห์เพื่อหาจุดคุ้มทุน	43
4.1 การวัดสมรรถนะการส่องสว่าง	43
4.2 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน	48

บทที่ 5 แนวทางการขยายผลเพื่อนำสู่การใช้งานจริง	51
บทที่ 6 สรุป	55
บรรณานุกรม	56
ภาคผนวก ก หน่วยมาตรฐาน International System of Units (SI) ของแสง	57
ภาคผนวก ข อภิธานศัพท์เทคนิค	58
ภาคผนวก ค เอกสารด้านเทคนิค Datasheet (Nichia รุ่น NS6W083BT และ NS3W183)	60

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1-1 ค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง (ลูเมนต์/วัตต์) ของหลอดไฟชนิดต่างๆ และอายุการใช้งาน	4
ตารางที่ 2-1 อุณหภูมิของสีที่ได้จากหลอดแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆ	9
ตารางที่ 3-1 รายละเอียดอุปกรณ์พร้อมราคาของวงจรขับหลอด LEDs สำหรับแรงดันอินพุต ไฟตรงที่มีวงจรภาคกำลังเป็นวงจรแปลงผันบuck (DC-DC buck converter)	26
ตารางที่ 3-2 รายละเอียดอุปกรณ์พร้อมราคาของวงจรขับหลอด LEDs ที่มีวงจรแปลงผัน กำลังปลายแบ็คเป็นวงจรภาคกำลังด้านหน้า	42
ตารางที่ 4-1 ตารางค่าใช้จ่ายที่สอดคล้องกับอายุการใช้งานระบบส่องสว่าง	49

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1-1	แนวโน้มการใช้พลังงานลักษณะต่างๆ ในอนาคตของประเทศไทยถึงปี พ.ศ. 2563
รูปที่ 1-2	การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง
รูปที่ 1-3	แผนภาพขั้นตอนการทําวิจัยตลอดระยะเวลา 1 ปี
รูปที่ 2-1	ดัชนีค่า CRI ของแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ โดยแหล่งกำเนิดแสงที่ดีต้องมีค่า CRI > 80%
รูปที่ 2-2	ช่วงความยาวคลื่นแสงที่สามารถมองเห็นได้
รูปที่ 2-3	ไดอะแกรมโครมาติคตามมาตรฐาน CIE บนพิกัด X-Y พร้อมแสดงค่าอุณหภูมิของสีที่ได้จากแสง
รูปที่ 2-4	ไดอะแกรมโครมาติคตามมาตรฐาน CIE บนพิกัด X-Y พื้นที่แรงเงาเป็นพิกัด X-Y ของหลอด LEDs ยี่ห้อ Nichia รุ่น NS6W083BT และ NS3W183
รูปที่ 2-5	คุณสมบัติทางไฟฟ้า (กระแสขับหลอด และแรงดันตกคร่อมหลอด) ของหลอด LEDs
รูปที่ 2-6	ความสัมพันธ์ของ Lumen maintenance กับปริมาณกระแสขับหลอด I _F (ที่อุณหภูมิรยต่อ 125 องศาเซลเซียส)
รูปที่ 2-7	ความสัมพันธ์ของ Lumen maintenance กับค่าอุณหภูมिरยต่อ (ที่ปริมาณกระแสขับหลอด I _F เท่ากับ 1.5 แอมป์)
รูปที่ 3-1	วงจรแปลงผันกำลังไฟตรง-ไฟตรงบัค (DC-DC Buck Converter)
รูปที่ 3-2	วงจรตรวจจับสัญญาณฮีสเตอร์ซิสแบบไม่กลับซ้ำ
รูปที่ 3-3	วงจรขับอนุกรมหลอด LEDs จำนวน 68 หลอด ที่มีวงจรภาคกำลังอยู่บนพื้นฐานของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงบัค
รูปที่ 3-4	ผลการจำลองด้วยโปรแกรม LTSPICE ของวงจรขับอนุกรมหลอด LEDs จำนวน 68 หลอด ที่มีวงจรภาคกำลังอยู่บนพื้นฐานของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงบัค
รูปที่ 3-5	ผลการจำลองด้วยโปรแกรม LTSPICE ของวงจรขับอนุกรมหลอด LEDs จำนวน 1 หลอด ที่มีวงจรภาคกำลังอยู่บนพื้นฐานของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงบัค
รูปที่ 3-6	เครื่องต้นแบบของวงจรขับหลอดสำหรับแรงดันอินพุตไฟตรง (รูปแบบที่ 1)
รูปที่ 3-7	แผ่นพิมพ์ลายวงจรเครื่องต้นแบบของวงจรขับหลอดสำหรับแรงดันอินพุตไฟตรง (รูปแบบที่ 1)

รูปที่ 3-8	ผลการทดลองการวัดกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและสัญญาณขับนำสวิทช์กำลังของวงจรแปลงผันกำลังไฟตรง/ไฟตรงแบบบัคที่ควบคุมกระแสด้วยเทคนิคฮิสเตอร์รีซิส	25
รูปที่ 3-9	เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการใช้เทคนิคตรวจจับกระแส และควบคุมด้วยเทคนิคฮิสเตอร์รีซิส	25
รูปที่ 3-10	ผลการวัดรูปคลื่นของกระแส และแรงดันต้านอินพุตของวงจรเรียงกระแสในรูปที่ 3-3	27
รูปที่ 3-11	โหมดการทำงานต่างๆ ของวงจรแปลงผัน เพื่อให้ได้รูปคลื่นกระแสใกล้เคียงฟังก์ชันไซน์	28
รูปที่ 3-12	การใช้งาน IC เบอร์ LinkSwitch-PH สำหรับงานขับหลอด LEDs เพื่อการส่องสว่าง	29
รูปที่ 3-13	การใช้งาน IC เบอร์ LinkSwitch-PL สำหรับงานขับหลอด LEDs เพื่อการส่องสว่าง	29
รูปที่ 3-14	การประยุกต์ใช้งาน IC เบอร์ LM3450 สำหรับงานขับหลอด LEDs เพื่อการส่องสว่าง	30
รูปที่ 3-15	วงจรแปลงผันกำลังไฟสลับ-ไฟตรงฟลายแบ็คที่สามารถแก้ค่าตัวประกอบกำลัง	32
รูปที่ 3-16	รูปคลื่นตามจุดต่างๆ ของวงจรแปลงผันฟลายแบ็คที่สภาวะ 1 คาบเวลาการสวิทช์	32
รูปที่ 3-17	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุต และกระแสอินพุต	33
รูปที่ 3-18	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก, ค่าวัฏจักรงาน และความถี่การสวิทช์	35
รูปที่ 3-19	ผลการจำลองรูปคลื่นตามจุดต่างๆ ของวงจรแปลงผันกำลังฟลายแบ็ค	36
รูปที่ 3-20	วงจรขับหลอด LEDs ที่มีวงจรแปลงผันกำลังฟลายแบ็ค (Flyback converter) เป็นวงจรภาคกำลังด้านหน้า (รูปแบบที่ 2)	38
รูปที่ 3-21	ผลการวัดรูปคลื่นของกระแส และแรงดันต้านอินพุตของวงจรแปลงผันฟลายแบ็ค	39
รูปที่ 3-22	เครื่องต้นแบบของวงจรขับหลอด LEDs ที่ได้จากวงจรรูปที่ 3-16	40
รูปที่ 3-23	แผ่นพิมพ์ลายวงจรสำหรับอนุกรมหลอด LEDs จำนวน 12 หลอด	40
รูปที่ 3-24	แสดงตำแหน่งการวางตำแหน่งแผ่นพิมพ์ลายวงจร ภายในตัวโคม	41
รูปที่ 4-1	โคมไฟถนนหลังเต่าพร้อมชุดส่องสว่างของหลอดไฮโปรทความดันสูง ขนาดกำลัง 125 W ค่าฟลักซ์ส่องสว่างอยู่ที่ 6,800 lm	44
รูปที่ 4-2	โคมไฟถนนหลังเต่าที่ใช้ชุดส่องสว่างด้วยหลอด LEDs จำนวน 72 หลอด (ชุดวงจรขับหลอดแบบที่ 2)	44

รูปที่ 4-3	ผลการวัดค่าความสว่างที่ได้จากโคมไฟหลังเต่าขนาดกำลัง 125 W และหลอด LEDs จำนวน 72 หลอด ที่ค่าฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous flux) ของแหล่งกำเนิดแสงเท่ากันที่ 6,800 lm	45
รูปที่ 4-4	ตำแหน่งการติดตั้งโคมไฟถนนหลังเต่า เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง	46
รูปที่ 4-5	แสดงผลการวัดรูปคลื่นกระแสต้านอินพุต และปริมาณฮาร์โมนิกส์ของระบบส่องสว่าง ทั้ง 2 ระบบ	47
รูปที่ 5-1	สถานที่ทางไกลภายใต้โครงการในพระราชดำริ	52
รูปที่ 5-2	โรงเรียนในพื้นที่ทางไกล ภายใต้โครงการในพระราชดำริ	52
รูปที่ 5-3	แผนพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ ที่กระจายตามแหล่งตามพื้นที่ทางไกล ซึ่งสอดคล้องกับ และเหมาะสมต่อการนำเอาโคมส่องสว่างนอกตัวอาคารไปติดตั้งร่วม	53

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

C	ค่าความจุของตัวเก็บประจุ หรือตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็นฟารัด [Farad: F]
D_d	ไดโอดในวงจรแปลงผันกำลัง (Power converter)
D	ค่าวัฏจักรงาน (Duty cycle)
f_{sw}	ความถี่การสวิตช์ หน่วยเป็นเฮิร์ต (Hertz: Hz)
$i(t)$	กระแสที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา หรือกระแสชั่วขณะ มีหน่วยเป็นแอมป์แปร์ [Ampere: A]
$i_C(t)$	กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็นแอมป์แปร์ [Ampere: A]
$i_L(t)$	กระแสที่ไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็นแอมป์แปร์ [Ampere: A]
$\Delta i_L(t)$	ค่าความต่างระหว่าง I_{min} และ I_{max}
$i_o(t)$	กระแสต้านออกที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (ชั่วขณะ) มีหน่วยเป็นแอมป์แปร์ [Ampere: A]
I	ค่ากระแสเฉลี่ย มีหน่วยเป็นแอมป์แปร์ [Ampere: A]
I_C	กระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ C มีหน่วยเป็นแอมป์แปร์ [Ampere: A]
I_L	กระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำ L มีหน่วยเป็นแอมป์แปร์ [Ampere: A]
I_{max}	กระแสสูงสุดที่ขดลวดเหนี่ยวนำ L มีหน่วยเป็นแอมป์แปร์ [Ampere: A]
I_{min}	กระแสต่ำสุดที่ขดลวดเหนี่ยวนำ L มีหน่วยเป็นแอมป์แปร์ [Ampere: A]
I_o	กระแสเฉลี่ยด้านเอาต์พุต มีหน่วยเป็นแอมป์แปร์ [Ampere: A]
L	ขดลวดเหนี่ยวนำในวงจรแปลงผันกำลัง (Power converter)
L_{min}	ค่าขดลวดเหนี่ยวนำน้อยที่สุดที่ทำให้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ชนิดทอนแรงดันทำงานในโหมดกระแสที่ขดลวดเหนี่ยวนำต่อเนื่อง มีหน่วยเป็นเฮนรี [Henry: H]
Q	ค่าประจุไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุ C มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ [Coulomb: C]
ΔQ	อัตราการเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุ C มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ [Coulomb: C]
R	ค่าความต้าน หรือตัวต้านทาน มีหน่วยเป็นโอห์ม [Ohm: Ω]
sw	อุปกรณ์สวิตช์กำลัง
t_{on}	ช่วงเวลาสวิตช์ปิดวงจร มีหน่วยเป็นวินาที [Second: s]
t_{off}	ช่วงเวลาสวิตช์เปิดวงจร มีหน่วยเป็นวินาที [Second: s]
T	คาบเวลาการสวิตช์มีค่าเท่ากับ $1/f_{sw}$ และมีหน่วยเป็นวินาที [Second: s]
$v(t)$	ประมาณแรงดันที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา มีหน่วยเป็นโวลต์ [Volt: V]
$v_C(t)$	แรงดันตกคร่อมชั่วขณะที่ตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็นโวลต์ [Volt: V]
$v_L(t)$	แรงดันตกคร่อมชั่วขณะที่ขดลวดเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็นโวลต์ [Volt: V]

$v_o(t)$	แรงดันชั่วขณะด้านออก มีหน่วยเป็นโวลต์ [Volt: V]
V	ค่าแรงดันเฉลี่ย มีหน่วยเป็นโวลต์ [Volt: V]
V_{TH}	แรงดันขอบเขตช่วงบนในวงจรตรวจจับสนัยญาณ มีหน่วยเป็นโวลต์ [Volt: V]
V_{TL}	แรงดันขอบเขตช่วงล่างในวงจรตรวจจับสนัยญาณ มีหน่วยเป็นโวลต์ [Volt: V]
V_{ref}	แรงดันอ้างอิงในวงจรตรวจจับสนัยญาณ มีหน่วยเป็นโวลต์ [Volt: V]
V_{ctr}	แรงดันศูนย์กลางในวงจรตรวจจับสนัยญาณ มีหน่วยเป็นโวลต์ [Volt: V]
V_{in}	แรงดันไฟตรงเฉลี่ยด้านเข้า มีหน่วยเป็นโวลต์ [Volt: V]
V_L	แรงดันตกคร่อมเฉลี่ยที่ขดลวดเหนี่ยวนำ L มีหน่วยเป็นโวลต์ [Volt: V]
V_o	แรงดันไฟตรงเฉลี่ยด้านออก มีหน่วยเป็นโวลต์ [Volt: V]
V_{sat}	แรงดันอิ่มตัวของอุปกรณ์ออปแอมป์ (Operational amplifier: Op-amp) มีหน่วยเป็นโวลต์ [Volt: V]
V_+	แรงดันที่ขาบวก (Noninverting input) ของอุปกรณ์ออปแอมป์ มีหน่วยเป็นโวลต์ [Volt: V]
V_-	แรงดันที่ขาลบ (Inverting input) ของอุปกรณ์ออปแอมป์ มีหน่วยเป็นโวลต์ [Volt: V]
CIE	Commission Internationale de l'éclairage
CRI	Color Rendering Index
LED	Light Emitting Diode
PWM	Pulse Width Modulation