วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ
การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

# การออกแบบและสร้างอิเล็กทรอนิกส์โหลดกระแสตรงราคาประหยัด พิกัด 30 โวลต์ 1 กิโลวัตต์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

# Design and Implementation of Economical Cost 30V 1 kW DC-Electronic Load controlled by Microcontroller

**นัตพล หน่อท้าว ขวัญ ดีเสมอ ภาคภูมิ ดวงใน และ ชาญยุทธ์ กาญจนพิบูลย์**
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดน่าน 55000

## บทคัดย่อ

เนื่องจากหัวใจสำคัญของระบบทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงนั้นคือโหลด โดยทั่วไปการเปลี่ยนค่าของโหลดจำเป็นต้องเคลื่อนย้ายโหลดเก่าออก แล้วนำโหลดใหม่เข้าไปติดตั้ง ส่งผลให้เกิดความยากลำบากในการทำงาน จึงได้มีการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังสมัยใหม่เข้ามาแก้ปัญหานี้โดยสร้างเป็นอิเล็กทรอนิกส์โหลดขึ้นมา โดยอิเล็กทรอนิกส์โหลดนี้สามารถเปลี่ยนความต้านทานได้อัตโนมัติตามคำสั่งของผู้ใช้งาน อนึ่งการนำเข้าอิเล็กทรอนิกส์โหลดจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพงมาใช้ในประเทศไทยส่งผลให้ประเทศไทยขาดดุลการค้า บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอการออกแบบและสร้างอิเล็กทรอนิกส์โหลดกระแสตรงราคาประหยัด พิกัด 30 โวลต์ 1 กิโลวัตต์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อลดการเสียดุลการค้าและเพื่อสร้างฐานความรู้ทางเทคโนโลยีไว้ใช้เองในประเทศไทย จากการทดสอบสามารถยืนยันว่าอิเล็กทรอนิกส์โหลดกระแสตรงราคาประหยัด พิกัด 30 โวลต์ 1 กิโลวัตต์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นทำงานได้เป็นอย่างดี

## Abstract

Electronic load is an importance part of power supplies testing system. For non-electronic load type, it is required to replace a resister with a new one leading to complicated working procedure. The modern power electronic technology is employ to solve this problem. The electronic load can vary the value following user command. Imported electronic load is costly leading Thailand to have a balance of trade deficit. This article proposes design and implement of an economical cost 30V 1 k DC-Electronic Load controlled by Microcontroller. The tested results can confirm the validity of this proposed electronic load

**คำสำคัญ** : อิเล็กทรอนิกส์โหลด ระบบทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง
**Keywords :** Electronic Load, DC Power Supply Testing System

* *ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ chanyut@rmutl.ac.th โทร. 054 711 601*

## 1. บทนำ

อิเล็กทรอนิกส์โหลดมีความสำคัญต่อการทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งมีทั้งแหล่งจ่ายไฟฟ้าชนิดกระแสตรง และแหล่งจ่ายไฟฟ้าชนิดกระแสสลับ โดยทั่วไปการเปลี่ยนค่าของโหลดปกติที่ไม่ใช่อิเล็กทรอนิกส์โหลดนั้น จำเป็นต้องเคลื่อนย้ายโหลดเก่าออก แล้วนำโหลดใหม่ไปติดตั้งแทน ส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน อนึ่งการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์กำลังสมัยใหม่เข้ามาช่วยแก้ปัญหานี้ สามารถอำนวยความสะดวกและเพิ่มความรวดเร็วในการทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเพราะอิเล็กทรอนิกส์โหลดสามารถเปลี่ยนความต้านทานโหลดได้อัตโนมัติตามคำสั่งของผู้ใช้งาน แต่ทว่าการนำเข้าอิเล็กทรอนิกส์โหลดจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพงมาใช้ในประเทศไทยส่งผลให้ประเทศไทยขาดดุลการค้า

อิเล็กทรอนิกส์โหลดทั้งแบบกระแสตรงและกระแสสลับสามารถแบ่งออกเป็นสองชนิด ได้แก่

- ชนิดใช้หลักการสูญเสีย (Dissipative Technique)
- ชนิดคืนพลังงานเข้าสู่ระบบ (Non-dissipative Technique)

อิเล็กทรอนิกส์โหลดชนิดใช้หลักการสูญเสีย จะใช้หลักการเปลี่ยนรูปพลังงานจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เช่น ตัวต้านทาน เป็นต้น โดยปกติแล้วตัวต้านทานมีค่าความต้านทานคงที่ หากต้องการเปลี่ยนค่าความต้านทานต้องใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอื่นมาต่ออนุกรมเพื่อช่วยปรับค่าความต้านทานในวงจร ซึ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาช่วยในวงจรนี้ต้องสามารถทำงานได้ในย่านนำกระแสไม่อิ่มตัว ตัวอย่างของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทนี้ได้แก่ ทรานซิสเตอร์ (Transistor) มอสเฟต (MOSFET) และไอจีบีที (IGBT) เป็นต้น ซึ่งข้อดีคือสามารถควบคุมปริมาณกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ได้ โดยการป้อนแรงดันและกระแสไบอัสที่เหมาะสม

อิเล็กทรอนิกส์โหลดชนิดคืนพลังงานเข้าสู่ระบบ จะใช้หลักการถ่ายทอดพลังงานจากเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไปยังโครงข่ายไฟฟ้า (Grid Connected) การถ่ายทอดพลังงานสามารถทำได้โดยการใช้วงจรแปลงผันอิเล็กทรอนิกส์ (Converter) ชนิดต่าง ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของโครงข่ายไฟฟ้า เช่น ฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ และฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ เป็นต้น อิเล็กทรอนิกส์โหลดชนิดนี้ต้องการสัญญาณมอดูเลตความกว้างของพัลซ์ (PWM) ในการควบคุมสวิตซ์กำลังแต่ละตัวที่ทำงานในย่านอิ่มตัว

อิเล็กทรอนิกส์โหลดที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดนั้นเป็นสินค้าที่ถูกผลิตขึ้นจากต่างประเทศ ซึ่งราคาในการจำหน่ายมีราคาค่อนข้างสูง หากนักวิจัยไทยพัฒนาองค์ความรู้ไว้ใช้เองในประเทศไทยแล้ว สามารถช่วยให้ความสามารถในการแข่งขันทางเทคโนโลยีของประเทศไทย สามารถยกระดับเพื่อก้าวเข้าสู่สนามแข่งขันในระดับสากลต่อไป

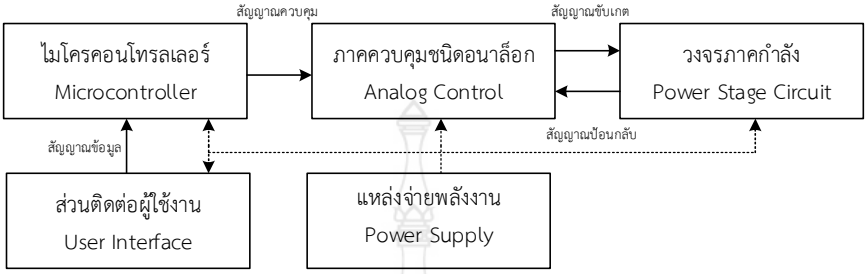
บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอวิธีการออกแบบและสร้างอิเล็กทรอนิกส์โหลดไฟฟ้ากระแสตรง ราคาประหยัด สำหรับทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงพิกัดแรงดันไฟฟ้า 30 โวลต์ โดยสามารถทนกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 1 กิโลวัตต์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อลดการเสียดุลการค้าและเพื่อสร้างฐานความรู้ทางเทคโนโลยีสำหรับใช้พัฒนาประเทศไทยต่อไป

## 2. วิธีการทดลอง

### 2.1 ไดอะแกรมและหลักการทำงานของอิเล็กทรอนิกส์โหลดที่เสนอ

ส่วนประกอบสำคัญของระบบอิเล็กทรอนิกส์โหลดได้แก่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ dsPic30f4011 ของบริษัทไมโครชิพ [1] ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลกลางขนาด 16 บิต ใช้เป็นตัวประมวลผลกลางสำหรับติดต่อส่วนผู้ใช้งานและภาคควบคุมชนิดอนาล็อก โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนี้จะสร้างสัญญาณมอดูเลตความกว้างของพัลส์ ส่งให้กับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ โดยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านนี้มีทำหน้าที่ในการกรองสัญญาณให้เรียบ โดยสัญญาณที่ได้จะถูกใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงสำหรับการทำงานของภาคควบคุมอนาล็อกซึ่งจะเปรียบเทียบค่าสัญญาณข้อมูลคำสั่งกับสัญญาณข้อมูลป้อนกลับต่อไป วงจรภาคกำลังทำหน้าที่

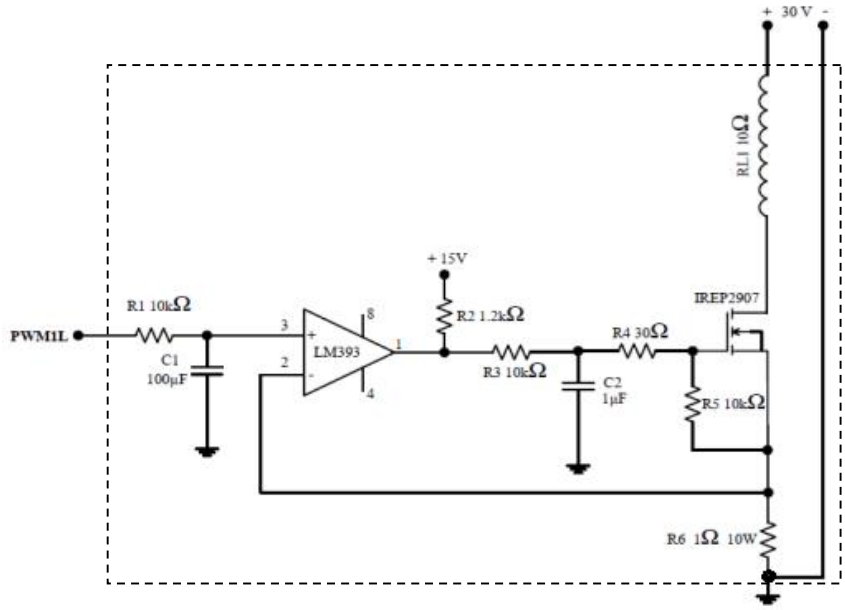
เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้กลายเป็นพลังงานความร้อนโดยผ่านตัวต้านทานและอุปกรณ์สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานในย่านแอกทีฟ ส่วนสุดท้ายได้แก่แหล่งจ่ายพลังงานซึ่งทำหน้าที่ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของระบบอิเล็กทรอนิกส์โหลด ดังแสดงไดอะแกรมตามรูปที่ 1




**รูปที่ 1** ไดอะแกรมของระบบอิเล็กทรอนิกส์โหลดที่เสนอ

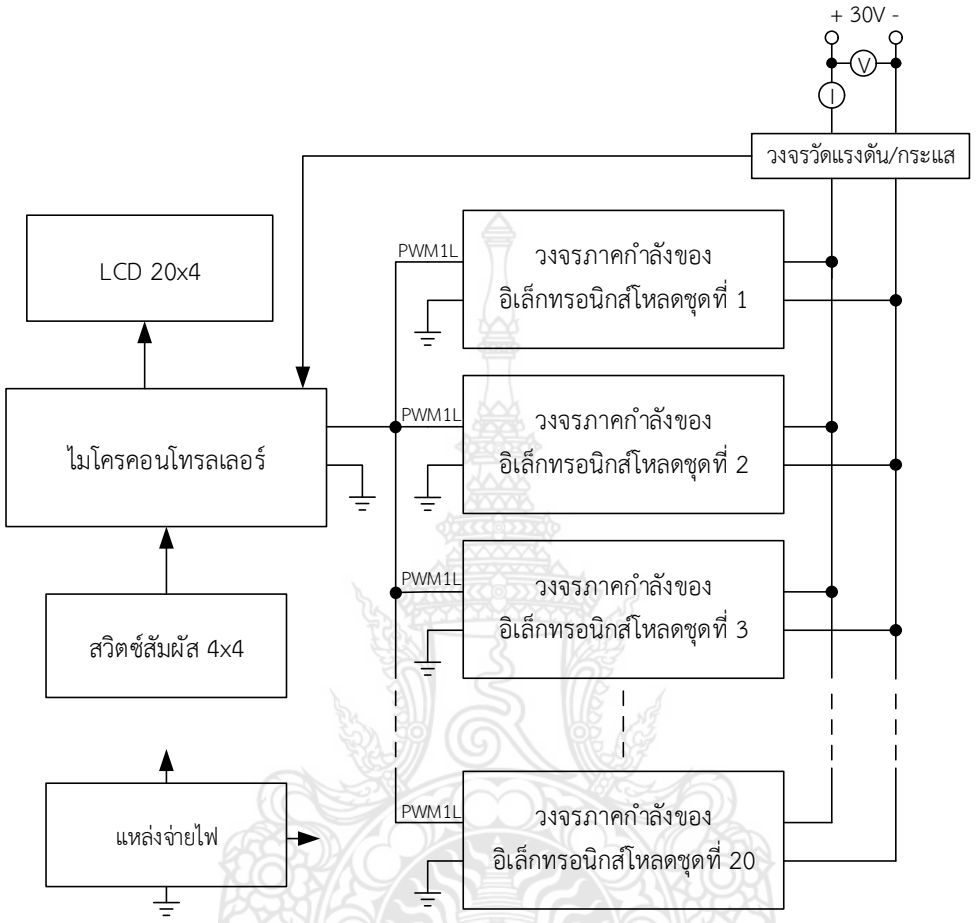
วงจรภาคกำลังของอิเล็กทรอนิกส์โหลดที่เสนอแสดงดังรูปที่ 2 สัญญาณ PWM1L นั้นเป็นสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ที่ถูกสร้างขึ้นโดยตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPic30f4011 มีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20 กิโลเฮิรตซ์ และมีคาบเวลาในการทำงานเท่ากับ 50 ไมโครวินาที โดยสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์นี้สามารถปรับค่าภาระงาน (Duty Cycle) ได้ตามคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ สัญญาณ PWM1L จะถูกป้อนไปยังวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านซึ่งประกอบไปด้วยตัวต้านทาน $R_1$ และตัวเก็บประจุ $C_1$ เพื่อกรองสัญญาณ PWM1L ให้เรียบ และเพื่อใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงให้กับภาคควบคุมชนิดอนาล็อกซึ่งมีวงจรรวม (IC) ในบทความนี้ใช้วงจรรวมเบอร์ LM393 ทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator) เนื่องจากเอาต์พุตของ LM393 เป็นชนิดคอลเล็กเตอร์เปิดจึงต้องมีการต่อตัวต้านทาน $R_2$ ซึ่งเป็นตัวต้านทานพูลอัพ (Pull Up) ตัวต้านทาน $R_3$ และ $C_2$ ทำหน้าที่กรองความถี่ต่ำผ่าน $R_4$ ทำหน้าที่ป้องกันขาเกตของสวิตช์เสียหาย $R_5$ ทำหน้าที่คายประจุเกตของสวิตช์ขณะที่ไม่มีสัญญาณขับ $R_6$ ทำหน้าที่เป็นตัวแปลงกระแสของวงจรภาคกำลังให้เป็นแรงดันเพื่อใช้ในการควบคุมระบบอิเล็กทรอนิกส์โหลด $RL_1$ เป็นความต้านทานที่ใช้แบ่งเบาภาระงานในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนจากสวิตช์กำลัง IRFP2907 [2] จำนวน 20 ตัว ทำหน้าที่เป็นสวิตช์กำลังที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน โดยสวิตช์ตัวนี้ทำงานในย่านแอกทีฟ

หลักการทำงานเบื้องต้นนั้น เมื่อไมโครคอนโทรเลอร์รับข้อมูลจากผู้ใช้งานแล้วจะคำนวณค่าของสัญญาณ PWM และส่งออกมาทางขาสัญญาณ PWM1L โดยสัญญาณนี้จะถูกกรองสัญญาณให้เรียบโดย กรองความถี่ต่ำผ่านซึ่งประกอบด้วย ตัวต้านทาน $R_1$ และ ตัวเก็บประจุ $C_1$ สัญญาณที่ออกจากวงจรนี้จะใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงในการกำหนดกระแสของอิเล็กทรอนิกส์โหลด สมมุติว่าแรงดันขาออกของ $R_1$ และ $C_1$ มีค่าเท่ากับ 2 โวลต์ ขณะนี้แรงดันที่ขา 3 ของไอซี LM393 [3] จะมีค่าเท่ากับ 2 โวลต์ด้วย สำหรับการต่อวงจรในลักษณะนี้ ไอซี LM393 จะทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันที่ขา 2 ให้มีค่าเท่ากับแรงดันที่ขา 3 ดังนั้นการที่จะทำให้แรงดันที่ขา 2 มีค่าเท่ากับ 2 โวลต์ กระแสไฟฟ้า (I) ที่ไหลผ่านตัวต้านทาน $R_6$ จะต้องมีค่าเท่ากับ 2 โวลต์ / 1 โอห์ม ซึ่งได้กระแส 2 แอมป์ หากกระแสไหลผ่านตัวต้านทาน $R_6$ น้อยกว่านี้แรงดันที่ขา 2 ของ LM393 จะมีค่าต่ำกว่า 2 โวลต์ ในทางกลับกันหากกระแสไหลผ่านตัวต้านทาน $R_6$ มากกว่า 2 แอมป์ แรงดันที่ขา 2 ของ LM393 จะมีค่าสูงกว่า 2 โวลต์ ซึ่ง LM393 จะส่งสัญญาณควบคุมออกที่ขา 1 ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (ตัวต้านทาน $R_3$ และตัวเก็บประจุ $C_2$) เพื่อควบคุมย่านการทำงานที่เหมาะสมในการนำกระแสของสวิตช์กำลัง เพื่อให้กระแสที่ไหลผ่านวงจรภาคกำลังเป็นไปตามที่ผู้ใช้งานกำหนด โดยกำลังไฟฟ้าที่อิเล็กทรอนิกส์โหลดทำงานสามารถคำนวณได้จากผลคูณระหว่างแรงดันอินพุตและกระแสที่ไหลเข้าอิเล็กทรอนิกส์โหลด




**รูปที่ 2** วงจรภาคกำลังของอิเล็กทรอนิกส์โหลดที่เสนอ

ไดอะแกรมระบบโดยรวมของอิเล็กทรอนิกส์โหลดที่เสนอแสดงดังรูปที่ 3 ระบบอิเล็กทรอนิกส์โหลดโดยรวมประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟ สวิตช์สัมผัส 4x4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ จอแสดงผล LCD 20x4 วงจรวัดแรงดันและกระแส วงจรภาคกำลัง 20 ชุดที่ต่อในรูปแบบขนาน การทำงานของระบบนี้เริ่มต้นที่ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลที่ต้องการผ่านสวิตช์สัมผัส 4x4 ข้อมูลที่ได้จะถูกส่งมายังตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลและสร้างสัญญาณ PWM เพื่อเป็นสัญญาณอ้างอิงให้กับวงจรภาคกำลังทั้ง 10 ชุด อีกทั้งตัวไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ยังรับข้อมูลจากวงจรวัดแรงดันและกระแส และนำมาแสดงผลยังจอ LCD




**รูปที่ 3** ไดอะแกรมระบบโดยรวมของอิเล็กทรอนิกส์โหลดที่เสนอ

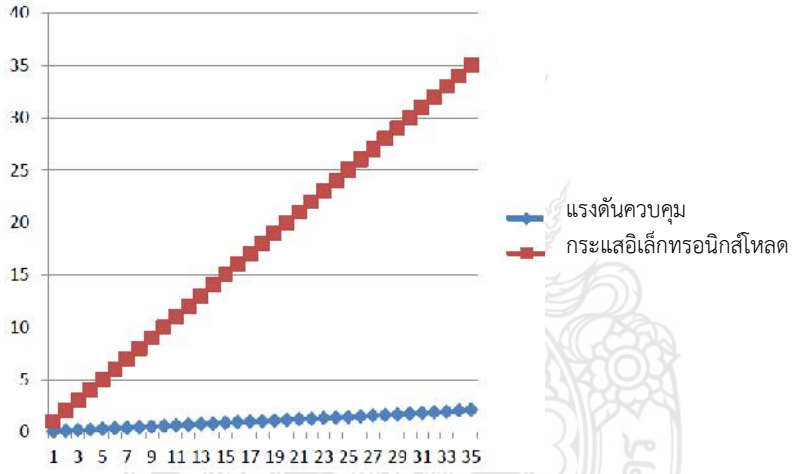
## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การทดสอบสมรรถนะในการทำงานของอิเล็กทรอนิกส์โหลดที่นำเสนอนั้น ทำได้โดยการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าพิกัดแรงดัน 30 โวลต์ 1 กิโลวัตต์เข้าที่ขารับแรงดันของเครื่องอิเล็กทรอนิกส์โหลด จากนั้นทำการปรับค่ากระแสที่ต้องการผ่านสวิตช์ควบคุมบนหน้าปัดเครื่อง โดยได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ผลการทดสอบสมรถนะในการทำงานของอิเล็กทรอนิกส์โหลด

| แรงดันคำสั่ง (ขา 3)ของ LM393 (โวลต์) | กระแสไฟฟ้า (แอมป์) |
|---|---|
| 0.05 | 1 |
| 0.29 | 5 |
| 0.58 | 10 |
| 0.87 | 15 |
| 1.16 | 20 |
| 1.42 | 25 |
| 1.74 | 30 |
| 2.13 | 35 |

เมื่อนำค่าต่าง ๆ นำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันควบคุมและกระแสที่ไหลผ่านอิเล็กทรอนิกส์โหลด จะได้กราฟตามรูปที่ 4




**รูปที่ 4** กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันควบคุมและกระแสที่ไหลผ่านอิเล็กทรอนิกส์โหลด

ขณะอิเล็กทรอนิกส์โหลดทำงานเต็มพิกัดจอแสดงผลแอลซีดีแสดงค่าแรงดันอินพุต 29.8 โวลต์ กระแสที่ไหลผ่านอิเล็กทรอนิกส์โหลด 34.4 แอมป์ ค่ากำลังไฟฟ้า 1,028 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 5

**รูปที่ 5** หน้าจอแสดงผลขณะอิเล็กทรอนิกส์โหลดทำงานเต็มพิกัด

ต้นแบบอิเล็กทรอนิกส์โหลดที่ประกอบเสร็จเรียบร้อย ซึ่งประกอบด้วยการติดตั้งในกล่องพลาสติกใส ร่วมกับ พัดลมระบายอากาศ หน้าปัดแรงดัน หน้าปัดกระแส แป้นพิมพ์ชนิดสัมผัส จอแสดงผลแอลซีดีชนิดตัวอักษร LCD 20x4 แสดงดังรูปที่ 6

**รูปที่ 6** ต้นแบบอิเล็กทรอนิกส์โหลดที่นำเสนอ

## 4. สรุป

จากการทดสอบสามารถยืนยันว่าอิเล็กทรอนิกส์โหลดกระแสตรงราคาประหยัด พิกัด 30 โวลต์ 1 กิโลวัตต์ ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นทำงานได้เป็นอย่างดี โดยค่าใช้จ่ายในการผลิตประมาณ 5,000 บาท ซึ่งประหยัดกว่าการนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งอาจมีราคาสูงกว่า 100,000 บาท แต่อย่างไรก็ตาม อิเล็กรอนิกส์โหลดที่นำเสนอนี้เป็นประเภทใช้หลักการสูญเสีย ซึ่งประสิทธิภาพทางด้านการใช้ประโยชน์พลังงานจะมีค่าต่ำมาก เนื่องจากค่ากำลังไฟฟ้าที่ถูกป้อนเข้ามาจะถูกเปลี่ยนไปให้อยู่ในรูปของความร้อนทั้งหมด ในการพัฒนาครั้งต่อไปการสร้างอิเล็กทรอนิกส์โหลดชนิดคืนพลังงานเข้าสู่ระบบจะเป็นอีกตัวเลือกหนึ่งในการปรับปรุงประสิทธิภาพทางด้านการใช้ประโยชน์พลังงานให้มีค่าสูงขึ้น

## 5. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาน่าน

## 6. เอกสารอ้างอิง

dsPIC30F4011/4012 Data Sheet, ออนไลน์: ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70135c.pdf (วันที่สืบค้น 23 พฤษภาคม 2556)

IRFP2907 Product Data Sheet, ออนไลน์: www.irf.com/product-info/datasheets/data/irfp2907.pdf (วันที่สืบค้น 23 พฤษภาคม 2556)

LM393 - Low Offset Voltage Dual Comparators, ออนไลน์: www.onsemi.com/pub/Collateral/LM393-D.PDF (วันที่สืบค้น 23 พฤษภาคม 2556)