



การประเมินค่าไฟฟ้าโดยแสดงผลผ่าน Web Server

**ELECTRIC BILL ESTIMATION USING WEB SERVER**

นายภาณุวัฒน์

เบญจปฐมรงค์

นายรัชต์สินธุ์

แสงรุจี

โครงการวิศวกรรมนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2557

การประเมินค่าไฟฟ้าโดยแสดงผลผ่าน Web Server  
ELECTRIC BILL ESTIMATION USING WEB SERVER

นายภาณุวัฒน์ เบญจปฐมรงค์  
นายรัชต์สินธุ์ แสงรุจี

โครงการวิศวกรรมนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2557

หัวข้อโครงการวิศวกรรมสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

เรื่อง การประเมินค่าไฟฟ้าโดยแสดงผลผ่าน Web server

โดย

นายภาณุวัฒน์

เมธยาปฐมวงศ์

นายรัชต์สินธุ์

แสงรุจิ

ภาควิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ อาคม

ม่วงชาแดง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อนุมัติให้ยื่นโครงการวิศวกรรมไฟฟ้า  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต



คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.เวทิน ปิยรัตน์)

คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรม

  
.....  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิชรชัย วิริยะสุทธิวงศ์ )

ประธานกรรมการ

  
.....  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชัยณรงค์ คำชัยมณี )

กรรมการ

  
.....  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมกพ รอดอัมพร )

กรรมการ

  
.....  
( อาจารย์ ดร.ประมวล ชูรัตน์ )

กรรมการ

  
.....  
( อาจารย์ อาคม ม่วงชาแดง )

กรรมการ

## การประเมินค่าไฟฟ้าโดยแสดงผลผ่าน Web Server

ปีการศึกษา 2557

โดย		อาจารย์ที่ปรึกษา
นายภาณุวัฒน์	เบญจปฐมรงค์	อาจารย์ อาคม      ม่วงเขาแดง
นายรัชสิทธิ์	แสงรุจี	

### บทคัดย่อ

โครงการวิศวกรรมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงการใช้ไฟฟ้าในหน่วยไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นโดยประมาณ นอกจากนี้สามารถแสดงข้อมูลการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ที่ได้ทำการบันทึกไว้ โดยการตรวจจับกระแสไฟฟ้าด้วยฮอลล์เซ็นเซอร์และส่งข้อมูลที่อยู่ในรูปของแรงดันไปยังไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการแปลงสัญญาณ และนำค่าที่ได้ด้วยวิธีการแปลงสัญญาณมาประมวลผลผ่าน Raspberry Pi model B และมีการทำงานเป็น Web Server เพื่อใช้ในการแสดงผลผ่าน Web Browser ได้ และยังสร้างความสะดวกสบายกับผู้ใช้งานในการเดินทางเพื่อไปทราบข้อมูลปริมาณกระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น

ซึ่งในการทดลองนั้นได้นำตัวอย่างโหลดเครื่องใช้ไฟฟ้ามา 7 ชนิด ซึ่งเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใกล้ชิดกับชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก โดยมีทั้งเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบทำงานตลอดเวลา กับทำงานแบบบางช่วง ในการทดลองนั้นได้ทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง การทดลองของทุก ๆ โหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าได้หาค่าเฉลี่ยของกระแสที่ไหลผ่านทั้ง 5 ครั้ง หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อทราบของการกระจายของข้อมูลที่ได้ในแต่ละอุปกรณ์ของเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยโหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทำการวัดกระแสไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกับแคลมป์มิเตอร์มากที่สุดมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 3.50% และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทำการวัดกระแสมีความผิดพลาดมากที่สุดซึ่งได้ค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 83.10%

จากการทดลองนั้นได้มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทั้งหมด 45.71% โดยรวมกับค่าความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองแล้ว

**คำสำคัญ :** ฮอตเซ็นเซอร์ / การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล / Raspberry Pi model B / Web Server



## **Electric Bill Estimation using Web Server**

**Academic Year 2014**

**By**

Mr. Panuwat Benjapathomrong

Mr. Ruksin Sangruee

**Project Report Advisor**

Mr. Arkhom Mounkhaodaeng

### **ABSTRACT**

The main objective of this engineering project is to show electricity consumption in power unit and estimated expense. Besides, it can show the usage history of electrical appliances by electricity measurement with Hall sensor. The Hall sensor will send the information in the voltage form to IC for converting analog signal to digital signal. The result will be processed by Raspberry Pi model B. Raspberry Pi model B is the controller to process digital data, and displays estimated expense on web browser.

In the experiment took the electrical appliances sample for tested 7 machines. The experiment took 5 time. Beside it get average of electricity consumption and standard deviation for electrical appliances sample. The system got disrupt the average 45.71% with all hardware in system.

**Keyword :** Hall sensor / converting analog signal to digital signal / Raspberry Pi model B / Web Server

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้ล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของท่านอาจารย์อัครม ม่วงเขาแดง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานและอาจารย์ทุกๆ ท่าน ที่ให้คำแนะนำในระหว่างการดำเนินงานตลอดจน การแก้ปัญหาเวลาที่ประสบปัญหา รวมไปถึงการตรวจสอบแก้ไขจนทำให้โครงงานนี้มีความสมบูรณ์จึงขอขอบพระคุณไว้เป็นอย่างสูง ตลอดจนท่านคณาจารย์ที่มีส่วนร่วมในการประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้มาให้จนถึงทุกวันนี้ กราบขอบพระคุณบิดามารดาด้วยความเคารพอย่างสูงที่ท่านให้กำเนิดและเลี้ยงดูเอาใจใส่อบรมสั่งสอนให้ข้าพเจ้าและคณะผู้จัดทำเป็นคนดีของสังคม และขอขอบคุณทุก ๆ ท่านที่ได้ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาดำเนินงานที่มีได้กล่าวถึงไว้ ณ ที่นี้ด้วย



## สารบัญ

	หน้าที่
กิตติกรรมประกาศ	ก
สารบัญ	ข
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3. ขอบเขตของโครงการ	2
1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1. กระแสไฟฟ้า	4
2.2. TCP/IP Protocol	5
2.3. ภาษาไพทอน	6
2.4. Raspberry Pi model B	10
2.5. Secure Shell Protocol (SSH)	13
2.6. การทำงานของ Web Server	13
2.7. การแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วย IC MCP3208	14
2.8. การทำงานของ Current Sensor ACS712	18



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
2.9. การคำนวณค่าไฟฟ้า	20
2.10. การเก็บข้อมูลแบบ JSON	21
<b>บทที่ 3 หลักการออกแบบ</b>	
3.1. ภาพรวมของการทำงาน	23
3.2. การทำงานของอุปกรณ์ทั้งระบบ	25
3.3. การแปลงค่าสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยไอซี MCP3208	25
3.4. การทำงานในส่วนของการรับค่าดิจิทัลมาคำนวณเป็นค่าผลลัพธ์ทางไฟฟ้า	28
3.5. การทำงานในส่วนของการแสดงผลบนเว็บเพจ	31
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลองโครงการ</b>	
4.1. การทดลองในส่วนของการวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าผ่านเครือข่าย	36
4.2. การทดลองในส่วนของการบันทึกปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ได้ลง Database	43
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1. สรุปผลของโครงการ	45
5.2. ปัญหาที่พบในโครงการ	46
5.3. ข้อเสนอแนะ	46
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	48
<b>ภาคผนวก</b>	49

สารบัญ (ต่อ)

หน้าที่

ประวัติย่ออนิสิตผู้ทำโครงการ

107



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
2.1 แสดงการกำหนดคิิตเพื่อเลือกใช้ช่วงอินพุตสำหรับไอซี MCP3208	17
4.1 แสดงข้อมูลปริมาณไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด	35
4.2 แสดงข้อมูลกระแสที่วัดได้จากเครื่องมือแคมป์มิเตอร์ การแสดงผลผ่านเครือข่าย และร้อยละความคลาดเคลื่อน	40
4.3 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ในแต่ละเครื่องใช้ไฟฟ้า	42



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้าที่
1.1 แสดงอัตราการเติบโตของรายได้ประชากรและอัตราการใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย	1
2.1 แสดงทิศทางการไหลของไฟฟ้ากระแสสลับ	4
2.2 ตารางเปรียบเทียบ TCP/IP และ OSI Reference Model	5
2.3 แสดงบอร์ด Raspberry Pi model B	10
2.4 แสดงส่วนประกอบของบอร์ด Raspberry Pi model B	11
2.5 แสดงหัวเชื่อมต่อสำหรับเชื่อมต่ออินพุตเอาต์พุต (GPIO)	12
2.6 แสดงตัวถังแบบ PDIP 16 และขาของไอซี MCP3208	15
2.7 แสดงรูปคลื่นสัญญาณสำหรับการเชื่อมต่อแบบ SPI สำหรับไอซี MCP3208	16
2.8 ลักษณะภายในของเซ็นเซอร์ตรวจจับกระแส	18
2.9 ตำแหน่งของขาและหน้าที่ของแต่ละขาของเซ็นเซอร์ตรวจจับกระแส	18
2.10 บล็อกไดอะแกรมของวงจรที่อยู่ภายในเซ็นเซอร์ตรวจจับกระแสเบอร์ ACS712	19
2.11 แสดงกราฟของแรงดันเอาต์พุตเมื่อตรวจจับกระแสที่ค่าต่าง ๆ โดยใช้แรงดันไฟ 5 โวลต์	20
2.12 กราฟแสดงสัญญาณสามเหลี่ยมที่มีการสลับเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง	21
2.13 กราฟแสดงตำแหน่งของสัญญาณ $V_{rms}$ และ $V_{peak\ to\ peak}$	21
3.1 แสดงไดอะแกรมภาพรวมของการทำงานทั้งระบบ	23
3.2 แสดงการทำงานภาพรวมของระบบ	24

## สารบัญรูป (ต่อ)

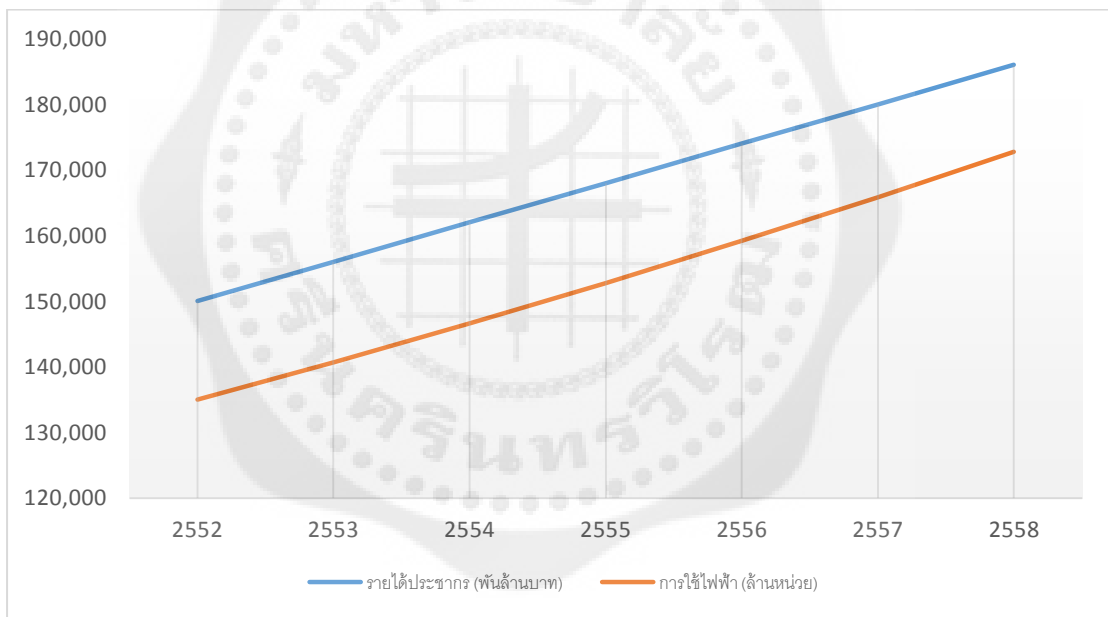
รูปที่	หน้าที่
3.3 แสดงการต่ออุปกรณ์ทั้งระบบ	25
3.4 แสดงการทำงานของการทำงานของการแปลงค่าสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	26
3.5 แสดงการทำงานของการทำงานของการรับค่าดิจิทัลมาคำนวณเป็นผลลัพธ์ทางไฟฟ้า	29
4.1 แสดงโครงสร้างของวงจร	36
4.2 แสดงหน้าต่างหน้าแรกเมื่อเปิดเว็บเบราว์เซอร์	37
4.3 แสดงวิธีการต่อโหลดเข้ากับระบบการวัดแอมป์มิเตอร์	38
4.4 แสดงหน้าต่างเมื่อทำการคลิกให้โปรแกรมทำการวัดกระแสไฟฟ้า	38
4.5 แสดงการใส่ชื่อของเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อทำการบันทึก	43
4.6 แสดงหน้าต่างหลักเพื่อทำการเลือกในการดูข้อมูลย้อนหลัง	44
4.7 แสดงหน้าเบราว์เซอร์เพื่อทำการดูข้อมูลย้อนหลัง	44

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นทุกปีตามความเจริญเติบโตทางด้านสังคมและเศรษฐกิจ โดยที่ผ่านมามาประเทศไทยได้มีอัตราการเติบโตของรายได้ประชากรเฉลี่ยปีละประมาณ 4 % จึงทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตของการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยปีละประมาณ 4.2% ดังในรูปที่ 4.1 และในปัจจุบันได้มีการปล่อยมลพิษจากพลังงานไฟฟ้าซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงทำให้เกิดภาวะโลกร้อนตามมาอีกด้วย



รูปที่ 1.1 แสดงอัตราการเติบโตของรายได้ประชากร  
และอัตราการใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย

ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตประเทศไทย

ซึ่งสาเหตุภาวะโลกร้อนมีอยู่หลายปัจจัยที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน หนึ่งในนั้นก็คือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ปล่อยมลพิษออกมาโดยหลายวิธีการที่ทำให้ส่งผลเสียต่อโลกค่อนข้างมาก

ส่วนใหญ่เชื้อเพลิงฟอสซิลได้ถูกเผาผลาญไปเพื่อไปเป็นพลังงานไฟฟ้า เช่น น้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งจะมีสารพิษบางอย่างที่ถูกปล่อยขึ้นไปสู่ชั้นบรรยากาศ สารเคมีนั้นถูกเรียกว่า ก๊าซเรือนกระจก

ในปัจจุบันในโรงงานอุตสาหกรรม สำนักงาน หรือครัวเรือนนั้นก็ต้องมีเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการบริโภคพลังงาน โดยบางแห่งอาจมีปริมาณการใช้ไฟฟ้ามากเกินไปซึ่งกลายเป็นพฤติกรรมในการดำรงชีวิตไปแล้ว อาทิเช่น เปิดหลอดไฟที่ไม่จำเป็น โดยอย่างสิ้นเปลือง เปิดทีวีขณะที่นั่งนอนหลับ เปิดเครื่องปรับอากาศขณะที่ไม่มีคนอยู่ ริดผ้าหลายรอบโดยที่ไม่รัดภายในครั้งเดียวให้เสร็จ หรือใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ไม่ได้รับมาตรฐานการรับรองจากทางโรงงานทำให้สิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้ามากเกินไปอาจทำให้เป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตได้ ซึ่งพฤติกรรมเหล่านี้เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ถึงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกไปสู่ชั้นบรรยากาศเป็นอย่างมาก และมีผลกระทบต่อการใช้ชีวิต เช่น มีการจ่ายค่าไฟฟ้าสูงเกินไป อากาศภายนอกได้มีอากาศที่ร้อนขึ้นมากเนื่องจากชั้นบรรยากาศถูกทำลาย

ในปัจจุบันนี้ได้มีการใช้อินเตอร์เน็ตเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากไม่ว่าจะใช้งานในด้านของการรับส่งข้อมูล ท่องเว็บเบราว์เซอร์ ด้านงานของ Multimedia ซึ่งในปัจจุบันจะเห็นได้ว่าโทรศัพท์ก็ได้เป็นปัจจัยหนึ่งในการใช้งานของอินเตอร์เน็ต จึงได้นำเทคโนโลยีเหล่านี้เข้ามาประยุกต์ใช้ในการแสดงผลของการใช้ปริมาณการใช้ไฟฟ้า เพื่อให้ทราบถึงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปของเครื่องใช้ไฟฟ้าในระยะไกลได้ เพื่อให้มีความสะดวกสบายที่ไม่ต้องเดินทางไปวัดปริมาณการใช้ของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น และยังส่งผลกับการปรับเปลี่ยนของพฤติกรรมในการใช้ไฟฟ้าในแต่ละคน เพื่อจะได้ไม่ใช้ไฟฟ้าไปอย่างสิ้นเปลืองอีกด้วย

## 1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1. เพื่อทราบพฤติกรรมในการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละครัวเรือน
- 1.2.2. เพื่อทราบถึงปริมาณกระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้งานที่ใช้ไป
- 1.2.3. เพื่อให้มีการวางแผนในการจัดการในการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าได้อย่างไม่สิ้นเปลือง
- 1.2.4. เพื่อแก้ปัญหาความไม่สะดวกในการติดตามค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละอุปกรณ์

## 1.3. ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1. แสดงค่าผลลัพธ์ทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน Raspberry Pi model B ผ่านทาง Web Browser
- 1.3.2. สามารถวัดกระแสไหลได้ที่ 0-30 A
- 1.3.3. สามารถแสดงผลผ่านทาง Web Server เป็นวัตต์ไฟฟ้าได้
- 1.3.4. ค่าไฟฟ้าที่ได้โดยประมาณจะคำนวณจากหน่วยไฟฟ้ามาตรฐานเบอร์ 5

1.3.5. สามารถบันทึกค่าผลทางไฟฟ้าลงฐานข้อมูลเพื่อเรียกดูย้อนหลังได้

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1. ผู้ใช้ได้มีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้า ไม่ให้สิ้นเปลืองพลังงาน

1.4.2. ผู้ใช้สามารถวัดและอ่านค่าผลลัพธ์ปริมาณไฟฟ้าผ่านทาง Web Browser ได้

1.4.3. ผู้ใช้ได้นำค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ไปวิเคราะห์เพื่อมีการบริหารจัดการใช้ไฟฟ้าได้อย่างประหยัด

1.4.4. ผู้ใช้ได้รับความสะดวกในการติดตามค่าไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านทาง Web Browser

1.4.5. ผู้ใช้สามารถบันทึกและเรียกดูข้อมูลย้อนหลังของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดได้





## บทที่ 2

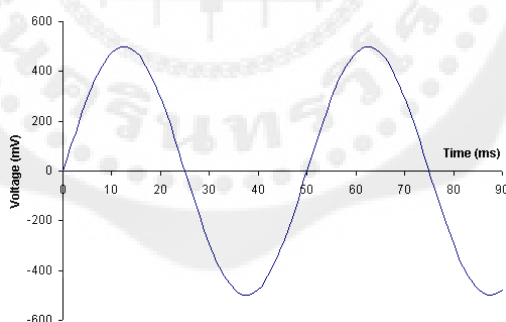
### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1. กระแสไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นจากการไหลของอิเล็กตรอนผ่านวัสดุตัวนำชนิดหนึ่งโดยการถ่ายโอนประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน เหตุที่กระแสไฟฟ้าไหลไปได้เนื่องจากความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุดในสนามไฟฟ้า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีความต่างศักย์ไฟฟ้าเพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้

ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC ) คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลทิศทางเดียว โดยทั่วไปแล้วกระแสไฟฟ้าจะไหลจากจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าไปยังจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้า

ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternative Current : AC ) คือ กระแสไฟฟ้าที่มีการสลับเปลี่ยนขั้วอยู่ตลอดเวลาอย่างสม่ำเสมอ โดยที่ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าจะเปลี่ยนสลับไปมาจากบวกไปลบ และ จากลบไปบวกอยู่ตลอดเวลา ดังในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงทิศทางการไหลของไฟฟ้ากระแสสลับ

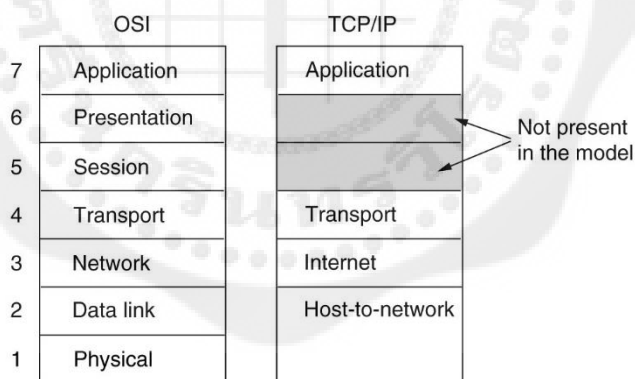
ที่มา : <http://www.rmutphysics.com/CHARUD/scibook/electric1>

## 2.2. TCP/IP Protocol (Transmission Control Protocol / Internet Protocol)

การที่เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ถูกเชื่อมโยงกันไว้ในระบบ จะสามารถติดต่อสื่อสารกันได้นั้น จำเป็นจะต้องมีภาษาสื่อสารที่เรียกว่า โพรโทคอล (Protocol ) ซึ่งในระบบ Internet จะใช้ภาษาสื่อสารมาตรฐานที่ชื่อว่า TCP/IP เป็นหลัก ดังนั้นหากเครื่องคอมพิวเตอร์ไม่ว่าจะเป็นเครื่องระดับไมโครคอมพิวเตอร์ มินิคอมพิวเตอร์ หรือเมนเฟรมคอมพิวเตอร์ ก็สามารถเชื่อมโยงเข้าสู่อินเทอร์เน็ตได้

TCP/IP Protocol คือ ชุดของโปรโตคอลที่ถูกใช้ในการสื่อสารผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถใช้สื่อสารจากต้นทางข้ามเครือข่ายไปยังปลายทางได้และสามารถหาเส้นทางที่จะส่งข้อมูลไปได้เองโดยอัตโนมัติ

เนื่องจากขั้นตอนการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์เป็นสิ่งที่ค่อนข้างซับซ้อน ดังนั้นโปรโตคอลจึงแบ่งเป็นเลเยอร์เพื่อเป็นการแยกการทำงานของ Application ของผู้ใช้ออกจาก Hardware ที่ใช้รับส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย โปรโตคอลชุดนี้จะมีการจัดรูปแบบที่อ้างอิงจากสถาปัตยกรรม OSI (Open System Interconnect) ดังในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบ TCP/IP และ OSI Reference Model

ที่มา : [http://www.tnetsecurity.com/content\\_basic/tcp\\_ip\\_knowledge.php](http://www.tnetsecurity.com/content_basic/tcp_ip_knowledge.php)

Internet Protocol (IP) จะทำหน้าที่ในการจัดส่งข้อมูลจากเครื่องต้นทางไปยังเครื่องปลายทาง โดยอาศัย IP Address

IP Address คือ เลขที่บอกที่อยู่เฉพาะของโหนดที่อยู่ในเครือข่าย รวมถึงคอมพิวเตอร์ และ Router ที่อยู่บนระบบเครือข่าย IP Address ถูกจัดให้อยู่บนเลเยอร์ที่ 3 คือ Network Layer โดย IP Address ของแต่ละเครื่องที่อยู่ในเครือข่ายเดียวกันต้องไม่ซ้ำกัน อย่างไรก็ตาม IP Address อาจมีได้มากกว่าหมายเลขสำหรับเครื่องหนึ่งเครื่องก็ได้

### 2.3. ภาษาไพทอน

ภาษาไพทอน (Python programming language) เป็นภาษาระดับสูงภาษาหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นมา โดยไม่ยึดติดแพลตฟอร์ม และสามารถทำการรันได้ในระบบ Unix , Linux , ซึ่งภาษาไพทอนจะมีลักษณะเป็น open source เหมือน PHP และเป็นภาษาสคริปต์ทำให้ใช้เวลาในการเขียนและคอมไพล์ไม่มาก ทำให้เหมาะกับงานด้านการดูแลระบบ ( System administration )

#### 2.3.1. จุดเด่นของภาษาไพทอน

##### — ไพทอนเป็นภาษาสคริปต์

ภาษาสคริปต์ ( Script language ) คือ ชุดของคำสั่งที่ใช้แปลหรือนำออก โดยโปรแกรมอื่นไม่ใช่โดยโปรเซสเซอร์ เหมือนกับโปรแกรมแบบคอมไพล์ทำให้ใช้เวลาในการเขียนและคอมไพล์ไม่มาก ทำให้เหมาะกับงานด้านการดูแลระบบเป็นอย่างยิ่ง ปัจจุบันได้มีการสนับสนุนภาษาไพทอน โดยเป็นส่วนหนึ่งของระบบปฏิบัติการ Unix , Linux และสามารถติดตั้งให้ทำงานเป็นภาษาสคริปต์ของวินโดวส์ ผ่านระบบ Windows Script Host ได้อีกด้วย และภาษาไพทอนเองก็ได้ถูกนำมาพัฒนา Web application อย่างแพร่หลาย ง่ายต่อการศึกษา สามารถเขียนการทำงานที่ซับซ้อนได้

##### — ไวยากรณ์อ่านง่าย

ไวยากรณ์ของไพทอนได้กำจัดการใช้สัญลักษณ์ที่ใช้ในการแบ่งบล็อกของโปรแกรม และใช้การย่อหน้าแทน ทำให้สามารถอ่านโปรแกรมที่เขียนได้ง่าย นอกจากนี้ยังมีการสนับสนุนการเขียน docstring ซึ่งเป็นข้อความสั้นๆ ที่ใช้อธิบายการทำงานของฟังก์ชัน, คลาส, และ โมดูลอีกด้วย

#### – ความเป็นภาษากาว

ภาษากาว ( Glue Language ) คือภาษาโปรแกรมที่ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะเพื่อให้สามารถเขียน จัดการโปรแกรมและโค้ดซึ่งมีความแตกต่างกันด้านองค์ประกอบทางซอฟต์แวร์ ให้สามารถทำงานร่วมกันได้ ไพทอนเป็นภาษากาวได้อย่างดีเนื่องจากสามารถเรียกใช้ภาษาโปรแกรมอื่นๆ ได้หลายภาษา ทำให้เหมาะที่จะใช้เขียนเพื่อประสานงานโปรแกรมที่เขียนในภาษาต่างกันได้

#### – ไลบรารีในไพทอน

การเขียนโปรแกรมในภาษาไพทอนโดยใช้ไลบรารีต่าง ๆ เป็นการลดภาระของโปรแกรมเมอร์ได้เป็นอย่างดี ทำให้โปรแกรมเมอร์ไม่ต้องเสียเวลากับการเขียนคำสั่งที่ซ้ำๆ เช่นการแสดงผลข้อมูลออกสู่หน้าจอ หรือการรับค่าต่าง ๆ ไพทอนมีชุดไลบรารีมาตรฐานมาให้ตั้งแต่ติดตั้งอินเตอร์พรีเตอร์ นอกจากนี้ยังมีผู้พัฒนาจากทั่วโลกดำเนินการพัฒนาไลบรารีซึ่งช่วยอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ โดยจะเผยแพร่ในรูปแบบของแพ็คเกจต่าง ๆ ซึ่งสามารถติดตั้งเพิ่มเติมได้อีกด้วย สุดท้ายคือ ภาษาไพทอนทำงานเร็วที่สุดเมื่อเทียบกับภาษาสคริปต์ด้วยกัน เช่น PHP, JSP, ASP จากจุดเด่นและความเหมาะสมของภาษาไพทอนในหลายๆด้านดังที่ได้กล่าวมานั้น ทำให้ภาษาไพทอนถูกนำมาใช้เขียนโปรแกรมทำงานร่วมกับ Raspberry Pi model B ในโครงการนี้

#### 1.4.6. 2.3.2. ตัวแปรในภาษาไพทอน

ไพทอนไม่จำเป็นต้องประกาศตัวแปรก่อนใช้งาน สามารถกำหนดค่าขึ้นมาและเรียกใช้ได้ทันที โดยการตั้งชื่อตัวแปรของภาษาไพทอนต้องเป็นไปตามกฎดังนี้

- เริ่มต้นด้วยตัวอักษรตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไป
- ตัวแปรห้ามมีช่องว่าง
- ห้ามมีสัญลักษณ์พิเศษเช่น #,?,\$,...
- ตัวแปรใช้ตัวพิมพ์เล็กพิมพ์ใหญ่ มีความหมายต่างกัน (Case-sensitive)

### ตัวอย่างการประกาศตัวแปรในภาษาไพทอน

```
1 counter = 100
2 miles = 1000.0
3 name = "John"
```

ในบรรทัดที่ 1 ประกาศตัวแปรเป็นเลขจำนวนเต็มชื่อ counter มีค่าเท่ากับ 100

ในบรรทัดที่ 2 ประกาศตัวแปรเป็นเลขทศนิยมชื่อ miles มีค่าเท่ากับ 1000.0

ในบรรทัดที่ 3 ประกาศตัวแปรเป็นชนิดสตริง มีค่าเท่ากับ "John"

#### 2.3.3. คำสงวนในภาษาไพทอน

คำสงวน (Reserved Word) เป็นคำเฉพาะที่ได้กำหนดขึ้นมา เพื่อใช้ในตัวยกโดยเฉพาะ ซึ่งผู้เขียนโปรแกรมไม่สามารถนำมาใช้เป็นชื่อ (Identifiers) ได้หรือไม่สามารถนำไปใช้เป็นตัวแปร (Variables) ได้ คำสงวนในภาษาไพทอนนั้นจะประกอบไปด้วยคำดังต่อไปนี้ and, as, assert, break, class, continue, def, del, elif, else, except, exec, finally, for, from, global, if, import, in, is, lambda, not, or, pass, print, raise, return, try, while, with, yield

#### 2.3.4. ชนิดข้อมูลของไพทอน ไพทอนมีชนิดข้อมูลพื้นฐานอยู่ทั้งหมด 5 ชนิดดังนี้

- นัมเบอร์ (Numbers) ใช้เก็บข้อมูลตัวเลข
- สตริง (String) ใช้เก็บข้อมูลตัวอักษร
- ลิสต์ (List) ใช้เก็บข้อมูลได้มากกว่า 1 ค่าใน 1 ตัวแปร หรือที่เรียกว่า Compound type
- ทูเพิล (Tuple) ใช้เก็บข้อมูลได้มากกว่า 1 ค่าใน 1 ตัวแปร ใช้สำหรับเก็บลำดับ หรือที่เรียกว่า Sequence type
- ดิกชันนารี (Dictionary) ใช้เก็บข้อมูลได้มากกว่า 1 ค่าใน 1 ตัวแปรเช่นกัน หรือที่เรียกว่า Table type เทียบได้กับตัวแปร Array ใน PHP

#### 1.4.7. 2.3.5. การเขียนคำอธิบาย

การเขียนคำอธิบาย ( Comments ) การทำงานของโปรแกรมที่เราเขียนเป็นเรื่องจำเป็นมาก เนื่องจากคำอธิบายสามารถช่วยบันทึกข้อมูลและคำอธิบายการทำงานของโปรแกรมที่สำคัญ ๆ ไว้เพื่อเป็นประโยชน์กับตัวผู้เขียน โปรแกรมเองและผู้ที่นำโปรแกรมไปพัฒนาต่อ การเขียนคำอธิบายในภาษาไพทอนสามารถทำได้ 2 ลักษณะคือ

วิธีที่ 1 โดยใช้เครื่องหมาย # ก่อนคำอธิบายที่ต้องการเขียนในกรณีที่ต้องการเขียนคำอธิบายเพียงบรรทัดเดียว

วิธีที่ 2 โดยใช้เครื่องหมาย """ ก่อนคำอธิบายที่ต้องการเขียนและใส่เครื่องหมาย """ อีกครั้งเมื่อจบคำอธิบาย ในกรณีที่ต้องการเขียนคำอธิบายหลายบรรทัด

```

1      #This is a comment in Python language
2
3      print "Hello World"      #This is also a comment in Python
4
5      """ This is an example of a multiline
6      comment that spans multiple lines
7
8      you can type any text inside these lines
9
10     """

```

ในบรรทัดที่ 1 เป็นการเขียนคำอธิบายว่า "This is a comment in Python language"

ในบรรทัดที่ 2 เป็นการเขียนคำอธิบายว่า "This is also a comment in Python"

ในบรรทัดที่ 3-6 เป็นการเขียนคำอธิบายว่า "This is an example of a multiline comment that spans multiple lines you can type any text inside these lines"

## 2.4. Raspberry Pi model B



รูปที่ 2.3 แสดงบอร์ด Raspberry Pi model B

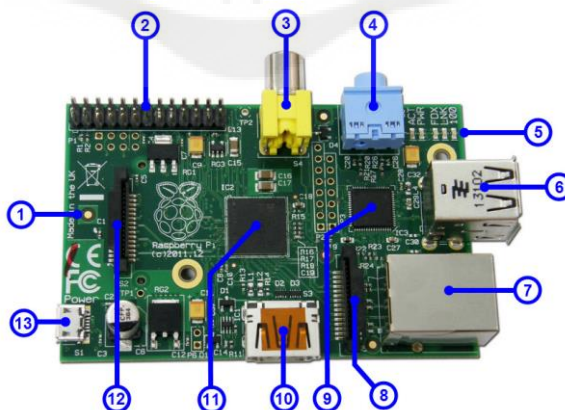
ที่มา : <https://www.raspberrypi.org/>

บอร์ด Raspberry Pi model B เป็นบอร์ดคอมพิวเตอร์ 32 บิตขนาดเล็กขนาดเท่ากับบัตรเครดิตรองรับระบบปฏิบัติการ Linux ที่พัฒนาโดย Raspberry Pi Foundation ที่ช่วงแรกหวังว่าจะใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับเด็กๆ แต่ด้วยเป็นบอร์ดที่ราคาไม่แพงมาก ใช้งานง่ายเมื่อเทียบกับบอร์ดอื่นๆ เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นทำให้เป็นที่นิยมแพร่หลายสู่บุคคลทั่วไปอย่างรวดเร็ว

#### 2.4.1. คุณสมบัติทางเทคนิค

- ใช้ชิพ SoC Broadcom BCM2835 ซึ่งมี CPU GPU และ SDRAM อยู่ในชิพตัวเดียวกัน
- หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) 700MHz ARM11 ARM1176JZF-S core
- หน่วยประมวลผลภาพ (GPU) Broadcom VideoCore IV,OpenGL ES 2.0,OpenVG 1080p30 H.264 high-profile encode/decode
- หน่วยความจำ SDRAM 512 MB
- ขั้วต่อ USB 2.0 จำนวน 2 พอร์ต
- ขั้วต่อสัญญาณภาพทั้งแบบแจ๊ค RCA และ HDMI (เลือกใช้อย่างใดอย่างหนึ่ง)
- ขั้วต่อสัญญาณเสียงโดยใช้แจ๊ค 3.5 mm หรือผ่านทางพอร์ต HDMI
- หัวเชื่อมต่อสำหรับเชื่อมต่ออินพุต (GPIO) , SPI ( GPIO ไม่สามารถรับแรงดันอินพุต 5 VDC ได้ สูงสุดแค่ 3.3 VDC เท่านั้น )
- ระบบปฏิบัติการของบอร์ดจะทำงานผ่าน SD CARD
- ขั้วต่อ LAN 10/100 Mbps
- ไฟเลี้ยงบอร์ด 5 VDC กระแสอย่างน้อย 700 mA
- ขนาดของบอร์ด 85.0 x 56.0 mm

#### 1.4.8. 2.4.2. ส่วนประกอบของบอร์ด Raspberry Pi model B อธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบของบอร์ด Raspberry Pi model B

ที่มา : <https://www.raspberrypi.org/>



- หมายเลข 1 หัวเชื่อมต่อ SD CARD
- หมายเลข 2 หัวเชื่อมต่อสำหรับเชื่อมต่ออินพุทเอาต์พุท (GPIO) ดังในรูปที่ 2.5
- หมายเลข 3 หัวเชื่อมต่อกับสัญญาณภาพแบบ RCA สำหรับเชื่อมต่อกับจอภาพที่มีขั้วแบบ RCA เช่น โทรทัศน์
- หมายเลข 4 หัวเชื่อมต่อกับสัญญาณเสียงโดยใช้แจ็ก 3.5 mm
- หมายเลข 5 LED แสดงสถานะต่าง ๆ ของบอร์ด Raspberry Pi model B
- หมายเลข 6 หัวเชื่อมต่อ USB 2.0 จำนวน 2 พอร์ต
- หมายเลข 7 หัวเชื่อมต่อ LAN 10/100 Mbps สำหรับเชื่อมต่อกับระบบเครือข่าย
- หมายเลข 8 หัวเชื่อมต่อ CSI สำหรับเชื่อมต่อกับโมดูลกล้อง
- หมายเลข 9 LAN Controller
- หมายเลข 10 หัวเชื่อมต่อ HDMI สำหรับเชื่อมต่อสัญญาณภาพและเสียงเพื่อเชื่อมต่อกับจอภาพที่มีขั้วแบบ HDMI เช่น โทรทัศน์ หรือ จอมอนิเตอร์
- หมายเลข 11 ชิป SoC Broadcom BCM2835 ซึ่งมี CPU GPU และ SDRAM อยู่ในชิปตัวเดียวกัน
- หมายเลข 12 หัวเชื่อมต่อ DSI สำหรับเชื่อมต่อกับจอภาพ
- หมายเลข 13 หัวเชื่อมต่อ Micro USB สำหรับจ่ายไฟเลี้ยงให้บอร์ด



รูปที่ 2.5 แสดงหัวเชื่อมต่อสำหรับเชื่อมต่ออินพุทเอาต์พุท (GPIO)

ที่มา : <https://www.raspberrypi.org/>

## 2.5. Secure Shell Protocol

Secure Shell Protocol (SSH) เป็นโพรโทคอลสำหรับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ที่ออกแบบมาเพื่อให้เข้าถึงไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องอื่น ๆ และสามารถทำงานต่าง ๆ บนเครื่องนั้นได้ SSH นั้นได้ออกแบบมาใช้งานเพื่อทดแทนการเข้าสู่ระบบด้วย rlogin , Telnet และ rsh ด้วยเหตุผลทางด้านความปลอดภัยเนื่องจากโพรโทคอลดังกล่าวนี้ไม่มีการเข้ารหัสของข้อมูลรวมไปถึงรหัสผ่านที่ส่งผ่านเครื่องตลอดเวลาในการส่งข้อมูล เมื่อทำการเชื่อมต่อโดย SSH แล้วนั้น ระบบจะต้องผ่านการยืนยันตัวตน (Authentication) โดยจะใช้วิธีการเข้ารหัสแบบ RSA และ DSA ก่อนเพื่อจะระบุตัวตนของ client ซึ่งเมื่อผ่านแล้วก็จะสามารถใช้งาน โดยมีการ Encryption ซึ่งจะใช้วิธีการเข้ารหัสแบบ IDEA,DES และ Blowfish

## 2.6. การทำงานของ Web Server

Web Server นั้นเป็นโปรแกรมที่รวบรวมข้อมูลทั้งหมดเอาไว้ในรูปแบบของเว็บไซต์เพื่อให้ผู้ใช้นั้นได้เห็นข้อมูลของการทำงานเมื่อเปิดตลอดเวลา เพื่อรอสัญญาณร้องขอของ Client เมื่อได้รับการร้องขอก็ส่งสัญญาณให้กับ Client ได้ทันที โดยสรุปหน้าที่การทำงานหลักได้ดังนี้

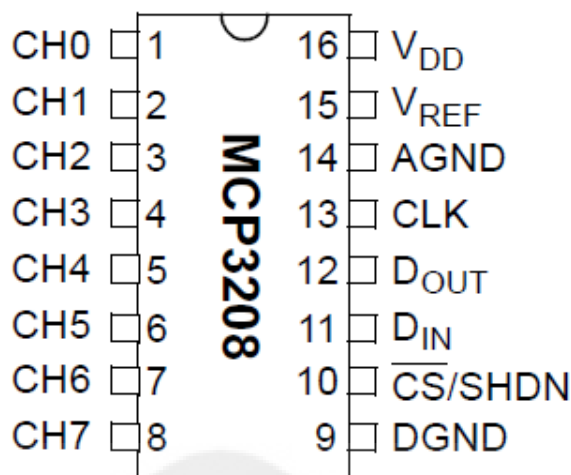
- 2.6.1. Web Server นั้นเป็นส่วนที่ติดต่อกับ Web Browser ของผู้ใช้ที่ทำหน้าที่จัดการ Request และทำการ Response
- 2.6.2. Web Application Server เป็นตัวประมวลผลที่ทำงานตามคำสั่งจาก Client Side ส่วนนี้คือส่วนที่ทำการเขียนโปรแกรม
- 2.6.3. Database Server ทำหน้าที่ในการเก็บรักษาข้อมูลที่ได้รับจาก Client หรือทำการรักษาข้อมูลที่จะแสดงผลออกไปยัง Client

## 2.7. การแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วย IC MCP3208

สัญญาณอินพุตจากภายนอกสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ อาจเป็นสัญญาณแบบอนาล็อก ดังนั้นเพื่อให้สามารถนำไปประมวลผลต่อได้ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์หรือคอมพิวเตอร์รูปแบบอื่นได้ จำเป็นจะต้องมีการแปลงจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog-to-Digital Conversion : ADC) ก่อนโดยทั่วไปในไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีวงจรที่ทำหน้าที่ดังกล่าว เช่น ในบอร์ด Arduino สามารถอ่านข้อมูลจากขานาล็อกอินพุต โดยใช้คำสั่ง `analogRead()` เป็นต้น อย่างไรก็ตามค่าความละเอียดของข้อมูลที่ได้ ค่าจะอยู่ในช่วง 0 – 1023 หรือความละเอียดอยู่ที่ 10 บิตเท่านั้น ซึ่งไม่ละเอียดเพียงพอที่จะนำมาคำนวณให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ เนื่องจากระดับที่มากกว่า 10 บิต จึงได้นำไอซี MCP3208 มาใช้ในโครงการ

### 2.7.1. ข้อมูลทางเทคนิคเกี่ยวกับ MCP3208

- ขนาดของข้อมูล (bit resolution): 12 บิต (ค่าที่อ่านได้อยู่ในช่วง 0 – 4095 ระดับ)
- ขานาล็อกอินพุต เลือกใช้งานแบบ single-ended หรือ pseudo-differential pair
- จำนวน 8 ช่อง สำหรับ MCP3208
- เชื่อมต่อแบบ SPI โหมด 0,0 หรือ 1,1 (SPI Mode 0 or 3)
- ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟเลี้ยงในช่วง 2.7V ถึง 5.5V
- มีอัตราการแปลงข้อมูลสูงสุด (max. sampling rate, ksps = 1000 Samples-per-second): 100 ksps @Vdd=5V, 50 ksps @Vdd=2.7V
- ความถี่ของ CLK (max. clock frequency): MCP3208: 2.0MHz @Vdd=5V, 0.9MHz @Vdd=2.7V
- ตัวถังมี 8 ขา เป็นแบบ PDIP, SOIC และอื่นๆ ให้เลือกใช้
- เป็น ADC แบบ SAR (Successive-Approximative Register)

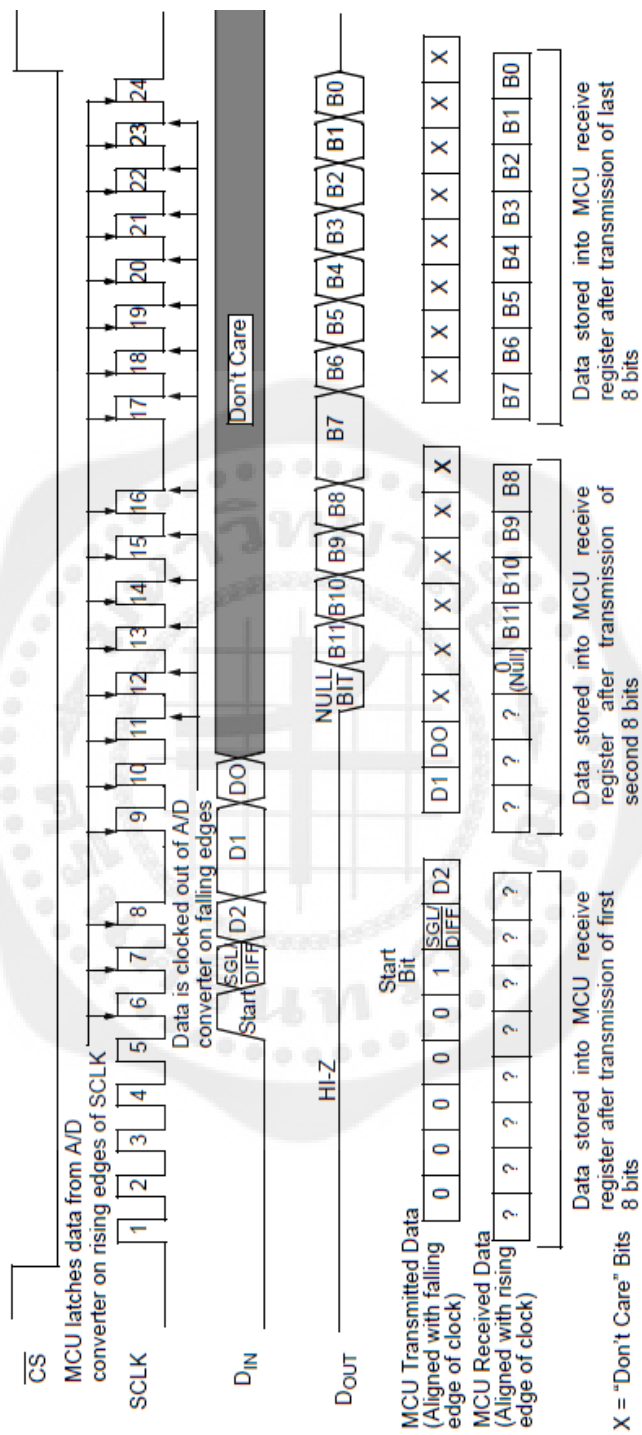


รูปที่ 2.6 แสดงตัวถังแบบ PDIP-16 และขาของไอซี MCP3208

ที่มา : ข้อมูลคุณลักษณะเฉพาะของ MCP3208

#### 2.7.2. ขาของไอซี MCP3208 ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

- Pin 1: CH0 เป็นอินพุตสัญญาณอนาล็อกช่องที่ 0 (Analog Input, Channel 0)
- Pin 2: CH1 เป็นอินพุตสัญญาณอนาล็อกช่องที่ 1 (Analog Input, Channel 1)
- Pin 3: CH2 เป็นอินพุตสัญญาณอนาล็อกช่องที่ 2 (Analog Input, Channel 2)
- Pin 4: CH3 เป็นอินพุตสัญญาณอนาล็อกช่องที่ 3 (Analog Input, Channel 3)
- Pin 5: CH4 เป็นอินพุตสัญญาณอนาล็อกช่องที่ 4 (Analog Input, Channel 4)
- Pin 6: CH5 เป็นอินพุตสัญญาณอนาล็อกช่องที่ 5 (Analog Input, Channel 5)
- Pin 7: CH6 เป็นอินพุตสัญญาณอนาล็อกช่องที่ 6 (Analog Input, Channel 6)
- Pin 8: CH7 เป็นอินพุตสัญญาณอนาล็อกช่องที่ 7 (Analog Input, Channel 7)
- Pin 9: DGND เป็นขาสำหรับต่อกับ Gnd ของระบบ (วงจรถิจริตอล)
- Pin 10: #CS/SHDN เป็นสัญญาณอินพุต Chip Select (active-low)
- Pin 11: DIN เป็นอินพุตดิจิตอลสำหรับ SPI (Serial Data In)
- Pin 12: DOUT เป็นเอาต์พุตดิจิตอลสำหรับ SPI (Serial Data Out)
- Pin 13: CLK เป็นอินพุตสำหรับสัญญาณ CLK (Serial Clock) สำหรับ SPI
- Pin 14: AGND เป็นขาสำหรับต่อกับ Gnd ของระบบ (วงจรถอนาล็อก)
- Pin 15: Vref เป็นแรงดันอ้างอิง
- Pin 16: Vdd เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (2.7V - 5.5V)



รูปที่ 2.7 แสดงรูปคลื่นสัญญาณสำหรับการเชื่อมต่อแบบ SPI สำหรับไอซี MCP3208

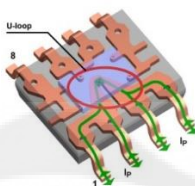
ที่มา : ข้อมูลคุณลักษณะเฉพาะของ MCP3208

ตารางที่ 2.1 แสดงการกำหนดคิตเพื่อเลือกใช้ช่องอินพุตสำหรับไอซี MCP3208

Single/Diff	Control Bit Selections			Input	Channel
	D2	D1	D0	Configuration	Selection
1	0	0	0	Single-ended	CH0
1	0	0	1	Single-ended	CH1
1	0	1	0	Single-ended	CH2
1	0	1	1	Single-ended	CH3
1	1	0	0	Single-ended	CH4
1	1	0	1	Single-ended	CH5
1	1	1	0	Single-ended	CH6
1	1	1	1	Single-ended	CH7
0	0	0	0	Differential	CH0 = IN + CH1 = IN -
0	0	0	1	Differential	CH0 = IN - CH1 = IN +
0	0	1	0	Differential	CH2 = IN + CH3 = IN -
0	0	1	1	Differential	CH2 = IN - CH3 = IN +
0	1	0	0	Differential	CH4 = IN + CH5 = IN -
0	1	0	1	Differential	CH4 = IN - CH5 = IN +
0	1	1	0	Differential	CH6 = IN + CH7 = IN -
0	1	1	1	Differential	CH6 = IN - CH7 = IN +

## 2.8. การทำงานของ Current sensor ACS712

เซ็นเซอร์ชนิดนี้ใช้ลวดตัวนำวางพาดบนตัวฮอลล์เซ็นเซอร์ แล้วปิดทับด้วยเรซินที่ในแพ็คเกจ ไอซี กลายเป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับกระแสที่มีลักษณะเป็นไอซีหนึ่งตัว ด้วยตัวถังที่เป็นลักษณะดังกล่าวทำให้มีข้อดีในเรื่องของกำลังที่สูญเสียที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับการใช้ตัวต้านทานและ แยกขาดกันทางไฟฟ้าอย่างเด็ดขาด

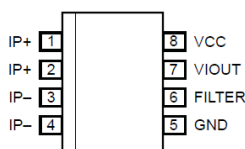


**รูปที่ 2.8** ลักษณะภายในของเซ็นเซอร์ตรวจจับกระแส

ที่มา : <http://www.thaieasyelec.com/products/sensors/acs712>

ลักษณะภายในของเซ็นเซอร์ตรวจจับกระแสในรูปร่างไอซี 8 ขา ชนิดติดพื้นผิว (SMD) เป็นดังรูปที่ 2.8 นอกจากนี้ยังมีเซ็นเซอร์ตรวจจับกระแสในรูปตัวถังที่สามารถรองรับกระแสไหลผ่านได้มากขึ้น โดยทำเป็นแผ่นทองแดงที่มีขนาดเล็กพอสมควรด้วยขนาดที่เล็กแบบนี้ทำให้สะดวกในการใช้งาน โดยไม่จำเป็นต้องใช้งานร่วมกับแกนเฟอร์ไรต์ที่มีขนาดใหญ่

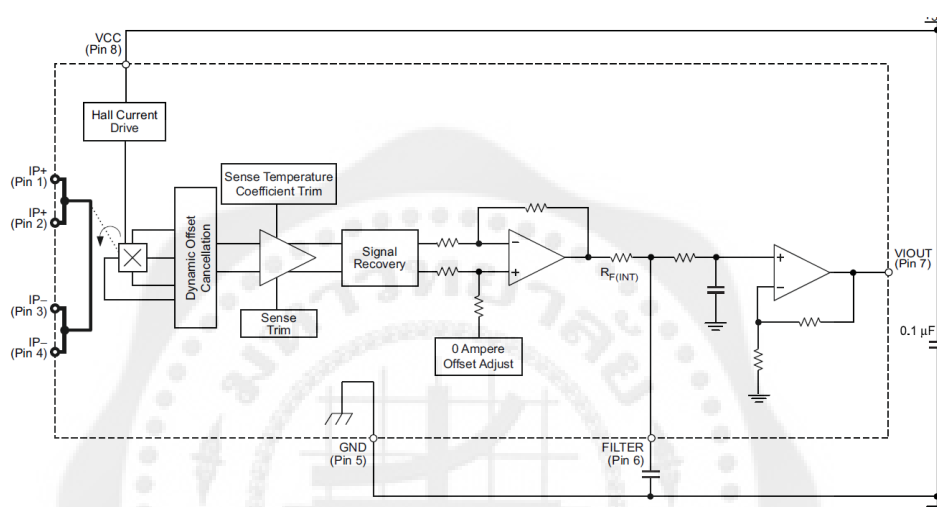
สำหรับเซ็นเซอร์ตรวจจับกระแสที่อยู่ในรูปแบบตัวถัง SOIC8 ชนิดติดพื้นผิวเบอร์ ACS712 สามารถทำให้กระแสไหลผ่านตัวไอซีได้สูงถึง  $\pm 30$  แอมป์ โดยลวดตัวนำที่เป็นทองแดงซึ่งผ่านเข้าไปในตัวไอซีมีความต้านทานประมาณ 1.5 มิลลิโอห์ม เพื่อมีกำลังสูญเสียน้อยที่สุดก็จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นน้อยตาม สำหรับตำแหน่งขาและหน้าที่ของขาเซ็นเซอร์ตรวจจับกระแสเบอร์ ACS712 จะแสดงในรูปที่ 2.9 และบล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในเป็นดังรูป 2.10 เมื่อไม่มีกระแสไหลจะให้แรงดันเอาต์พุตครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่าย



**รูปที่ 2.9** ตำแหน่งของขาและหน้าที่ของแต่ละขาของเซ็นเซอร์ตรวจจับกระแส

ที่มา : <http://www.thaieasyelec.com/products/sensors/acs712>

เมื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้กับเซ็นเซอร์ตรวจจับกระแสเบอร์ ACS712 แรงดันเอาต์พุตปกติจะอยู่ที่ประมาณครึ่งหนึ่งแหล่งจ่ายไฟ เช่น เมื่อจ่ายไฟเลี้ยงไอซีเท่ากับ 5 โวลต์ แรงดันเอาต์พุตปกติจะมีค่าเท่ากับ 2.5 โวลต์ ซึ่งเป็นแรงดันเอาต์พุตปกติของไอซีขณะที่ยังไม่มีกระแสไหลผ่านจากขา 1,2 ไปยังขา 3,4 เซ็นเซอร์ตรวจจับกระแสจะให้แรงดันลดลงจาก 2.5 โวลต์ ส่วนจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านตัวเซ็นเซอร์

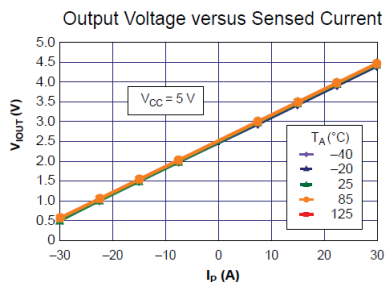


รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของวงจรที่อยู่ภายในเซ็นเซอร์ตรวจจับกระแสเบอร์ ACS712

ที่มา : <http://www.thaieasyelec.com/products/sensors/acs712>

รูปที่ 2.11 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ไหลผ่านตัวเซ็นเซอร์กับแรงดันเอาต์พุตที่ได้ จากกราฟจะเห็นว่าแรงดันเอาต์พุตจะลดลงเหลือ 0.5 โวลต์ ที่กระแส 30 แอมป์ (กระแสจะไหลจากขา 3,4 ไปยังขา 1,2) และแรงดันเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นเป็น 4.5 โวลต์ เมื่อมีกระแสไหลผ่าน 30 แอมป์ (กระแสจะไหลจากขา 1,2 ไปยังขา 3,4)





รูปที่ 2.11 กราฟแรงดันเอาต์พุตเมื่อตรวจจับกระแสที่ค่าต่าง ๆ โดยใช้แรงดันไฟ 5 โวลต์

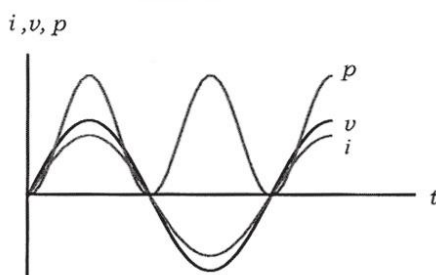
ที่มา : <http://www.thaieasyelec.com/products/sensors/acs712>

ข้อดีของการใช้ฮอลล์เซ็นเซอร์จะมาพร้อมกับรูปร่างตัวถังแบบ SOIC 8 ที่แบนราบซึ่งมีขนาดที่เล็กพอที่จะใส่เข้าไปในอุปกรณ์ได้ และด้วยค่าความต้านทานที่ต่ำมากของเซ็นเซอร์ตรวจจับกระแสที่ใช้ฮอลล์เซ็นเซอร์ทำให้มีกำลังงานสูญเสียต่ำ การใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับกระแสด้วยเทคนิคฮอลล์เซ็นเซอร์นั้น จะช่วยให้การวัดกระแสมีความแม่นยำมากขึ้นแล้ว โดยทั่วไปจะมีอัตราการขยายอยู่ที่ 100 มิลลิโวลต์ต่อแอมป์

## 2.9. การคำนวณค่าไฟฟ้า

### 2.9.1. ไฟฟ้ากระแสสลับ

ไฟฟ้ากระแสสลับนั้นจะมีการไหลในทิศทางเดียวแต่สลับทิศทางอย่างต่อเนื่อง แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องระหว่างบวก (+) และลบ (-) โดยจะมีรูปร่างแสดงในรูปที่ 2.12



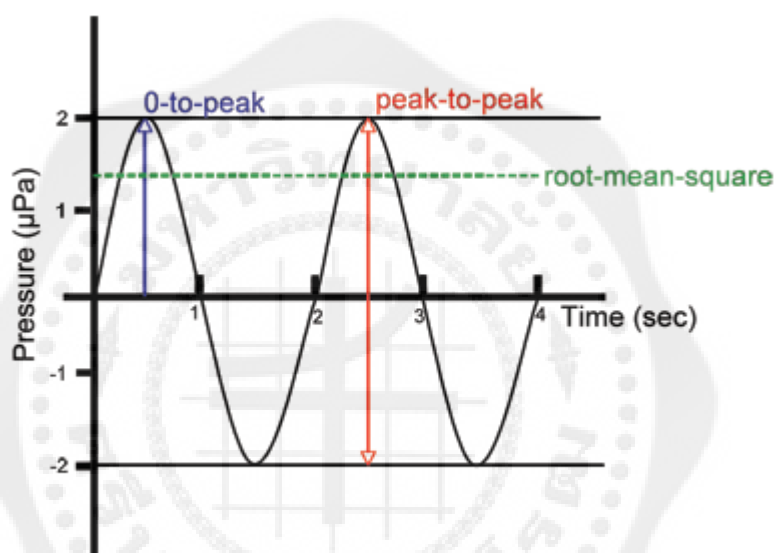
รูปที่ 2.12 กราฟแสดงสัญญาณที่มีการสลับเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง

ที่มา : [http://www.myfirstbrain.com/student\\_view.aspx?ID=60794](http://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?ID=60794)

### 2.9.2. ค่ารูทมีนสแควร์

ค่าของแรงดันกระแสสลับจะเปลี่ยนอย่างต่อเนื่อง จากศูนย์ไปถึงยอดทางบวกกลับลงมายังศูนย์ และไปยังยอดลบแล้วก็กลับขึ้นมายังศูนย์อีกครั้ง ปกติในการวัดจะได้ค่าที่เป็นจุดยอดทางบวกลงมายังจุดยอดทางลบ ( $V_{\text{peak to peak}}$ ) แต่ในการนำไปใช้งานจริงจะใช้ค่ารูทมีนสแควร์ ( $V_{\text{rms}}$ ) ซึ่งคือค่าเฉลี่ยกำลังสองของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถหาได้ดังในรูปที่ 2.13

$$V_{\text{rms}} = V_{\text{peak}} \times \frac{2}{\sqrt{2}}$$



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงตำแหน่งของสัญญาณ  $V_{\text{peak}}$ ,  $V_{\text{peak to peak}}$  และ  $V_{\text{rms}}$

ที่มา : [http://www.myfirstbrain.com/student\\_view.aspx?ID=60794](http://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?ID=60794)

## 2.10. การเก็บข้อมูลแบบ JSON

JSON ย่อมาจาก JavaScript Object Notation เป็นโครงสร้างในการเก็บข้อมูลชนิดหนึ่ง นอกเหนือจาก XML มีความรวดเร็ว และเข้าใจง่ายกว่า XML เป็นอย่างมาก ส่วนใหญ่นำมาใช้ในการทำ AJAX เพื่อให้สามารถรับส่งค่า หรือสั่งการเข้า Server พร้อมกับชุดข้อมูลขนาดใหญ่ได้

### 2.10.1. รูปแบบระหว่างการเก็บข้อมูลแบบ array กับ JSON

สำหรับรูปแบบการเก็บข้อมูลของ JSON นั้นจะต่างจาก Array ก็คือ จะครอบด้วยเครื่องหมาย { } เช่น

ตัวอย่างการเก็บข้อมูลในรูปแบบ Array

```
$myArr[name] = "Weerachai Nukitram";
```

```
$myArr[email] = "is_php@hotmail.com";
```

จากรูปแบบตัวอย่างของการเก็บข้อมูลในรูปแบบ Array นั้น สามารถปรับเปลี่ยนเป็นรูปแบบของ JSON ได้คือ

```
{  
  "name": "Weerachai Nukitram",  
  "email": "is_php@hotmail.com"  
}
```

ซึ่ง JSON นั้น เป็นการเก็บข้อมูลในรูปแบบของ Object ซึ่งจะช่วยให้มีประโยชน์การทำงานได้ง่ายขึ้นและถูกออกแบบมาสำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลได้ดีและรวดเร็วยิ่งขึ้นอีกด้วย

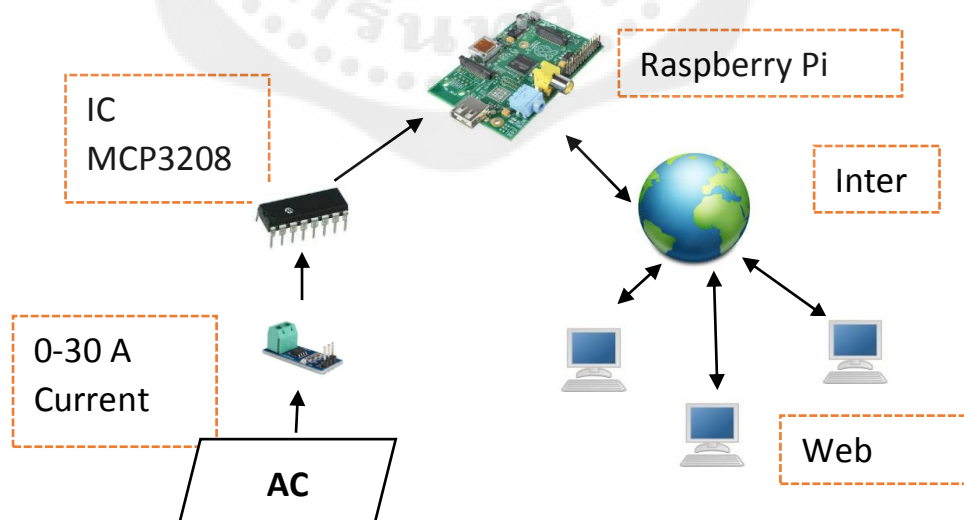


### บทที่ 3 หลักการออกแบบ

#### 3.1. ภาพรวมการทำงานของระบบ

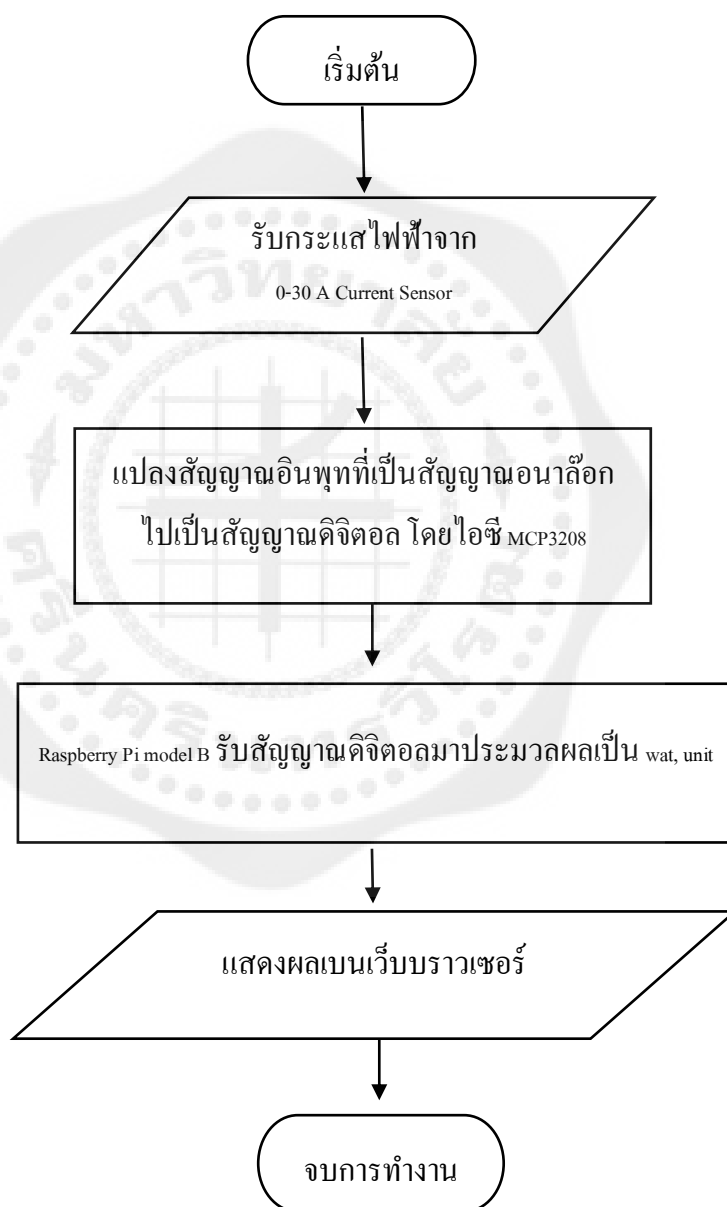
เพื่อให้เกิดความง่ายต่อการใช้งานของอุปกรณ์การวัดประเมินค่าไฟฟ้าโดยแสดงผลผ่าน เว็บเซิร์ฟเวอร์จึงได้มีการออกแบบให้มีขนาดที่เล็กกะทัดรัดต่อการเคลื่อนย้ายและการใช้งาน จึงได้เลือกใช้ Raspberry Pi model B เป็นอุปกรณ์ Controller ของอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น Current sensor หรือ ไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกไปยังสัญญาณดิจิตอล เนื่องจาก Raspberry Pi model B นั้นไม่มีไอซีที่แปลงค่าสัญญาณอนาล็อกไปยังสัญญาณดิจิตอลที่ฝังตัวอยู่ภายใน จึงต้องมีอุปกรณ์เสริมเกิดขึ้นมา และในการแสดงผลนั้น Raspberry Pi model B ยังมีความสามารถเป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์จึงทำให้การแสดงผลค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่วัดได้ไม่ใช่เรื่องยากอีกต่อไป

การใช้เว็บเซิร์ฟเวอร์เพื่อทำการตรวจเช็คค่าปริมาณไฟฟ้าในหน่วยวัตต์ และค่าใช้จ่ายไฟฟ้าของโหลด มีบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.1 โดยมีระบบโดยรวมแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนของการนำกระแสไฟฟ้าเข้ามาในบอร์ดเพื่อทำการวัดและแปลงค่าเป็น วัตต์ และส่วนของการนำข้อมูลที่รับเข้ามานำมาเสนอผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์



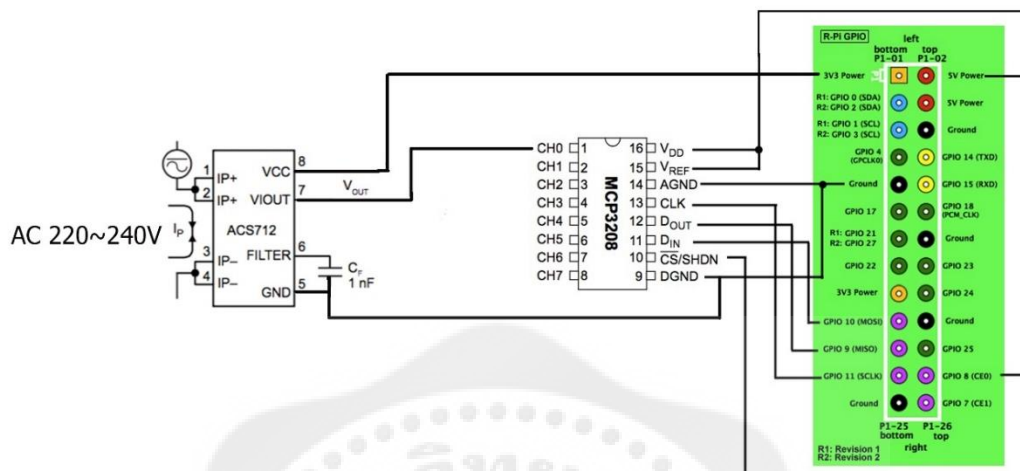
รูปที่ 3.1 แสดงไดอะแกรมภาพรวมของการทำงานทั้งระบบ

โดยระบบจะรับค่าอินพุตจาก 0-30 A current sensor ซึ่งเป็นค่ากระแสและจะมาแปลงสัญญาณที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยใช้ไอซี MCP3208 เป็นตัวแปลงและเมื่อได้สัญญาณที่เป็นดิจิทัลแล้วก็สามารถนำค่ากระแสที่ได้เข้าไปสู่อินบอร์ด Raspberry Pi model B ซึ่ง Raspberry Pi model B นั้นก็จะป็น Web Server ที่สามารถนำค่าที่ได้ขึ้นไปแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์



รูปที่ 3.2 แสดงการทำงานภาพรวมของระบบ

### 3.2. การทำงานของอุปกรณ์ทั้งระบบ

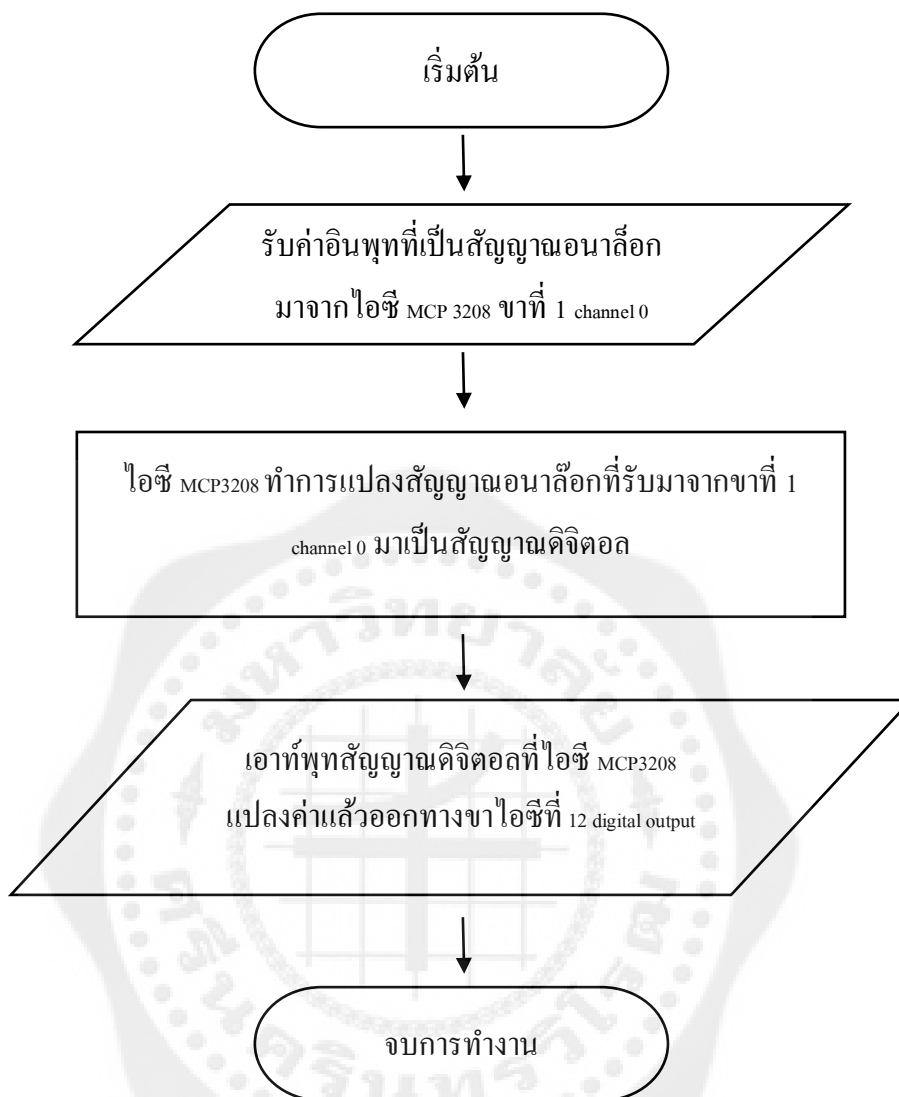


รูปที่ 3.3 แสดงการต่ออุปกรณ์ทั้งระบบ

เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้านั้นจะทำหน้าที่การวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเซ็นเซอร์โดยจะมีไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อเลี้ยงเซ็นเซอร์ที่ 3.3 โวลต์ และจะส่งสัญญาณไปยังไอซี MCP 3208 ในขาที่ 1 เพื่ออินพุตสัญญาณที่เป็นอนาล็อกเข้าไปในไอซี จากนั้นไอซีจะทำการแปลงค่าสัญญาณเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยจะมี Raspberry Pi model B เป็นตัวควบคุมการให้สัญญาณนาฬิกากับตัวไอซี เพื่อจะได้รับสัญญาณที่เป็นดิจิทัลได้อย่างแม่นยำ

### 3.3. การแปลงค่าสัญญาณอนาล็อกเป็นค่าสัญญาณดิจิทัลโดยไอซี MCP3208

โดยไอซี MCP3208 จะทำการรับสัญญาณอนาล็อกจากขาของไอซีที่ 1 หรือขา Channel 0 ซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกจากเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า ACS712 เพื่อมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลและเอาต์พุตออกขาที่ 12 หรือที่เรียกกันว่าขาดิจิทัลเอาต์พุตเพื่อนำสัญญาณที่เป็นดิจิทัลนั้นไปประมวลผลต่อไป



รูปที่ 3.4 แสดงการทำงานของ การแปลงค่าสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ตัวอย่างโปรแกรมในส่วนการทำงานของการทำงานของการแปลงค่าสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

```

1.  #!/usr/bin/python
2.  import spidev
3.  import time
4.  import datetime
5.  import json
6.  import numpy as np
7.  # Open SPI bus
8.  spi = spidev.SpiDev()
9.  spi.open(0,0)
10. # Function to read SPI data from MCP3008 chip
11. # Channel must be an integer 0-7
12. def ReadChannel(channel):
13.     r = spi.xfer2([4 | 2 | (channel>>2), (channel &3) << 6,0])
14.     adc_out = ((r[1]&15) << 8) + r[2]
15.     return adc_out
16. # Function to convert data to voltage level,
17. # rounded to specified number of decimal places.
18. def ConvertVolts(data,places):
19.     volts = (data * 3300) / float(4095)
20.     volts = round(volts,places)
21.     return volts
22. data = []
23. whilerun = 1
24. t1 = datetime.datetime.now()
25. while whilerun == 1:
26.     t2 = datetime.datetime.now()
27.     ValueTime = (t2-t1).microseconds
28.     if (ValueTime >= 0):
29.         amplevel = ReadChannel(0)
30.         ampvolt = (ConvertVolts(amplevel,3))
31.         data.append([ValueTime,ampvolt])
32.     # microseconds
33.     if (ValueTime >= 999000):
34.         whilerun = 0
35.     #print(data);
36.     #print("12");
37.     print(json.dumps(data));

```

ในโปรแกรมนี้อาจใช้ภาษาไพทอน ในการเขียนคำสั่งต่างในการควบคุมไอซี จากในส่วนของโปรแกรมนั้นในบรรทัดที่ 12 -15 เป็นคำสั่งเพื่อสร้างฟังก์ชันในการรับค่าสัญญาณอนาล็อกโดยมีการสื่อสารอินเตอร์เฟสแบบ SPI จากไอซี MCP3208 โดยจะอ่านค่าจาก Channel 0 - 6

หลังจากนั้นในบรรทัดที่ 21-23 นั้นเป็นการสร้างฟังก์ชันเพื่อแปลงค่าระดับดิจิทัลที่ได้มาเป็นแรงดันไฟฟ้า โดยได้ประกาศตัวแปรโวลต์ โดยนำระดับค่าดิจิทัลนั้นมาคูณด้วยค่าไฟฟ้าที่เลี้ยง



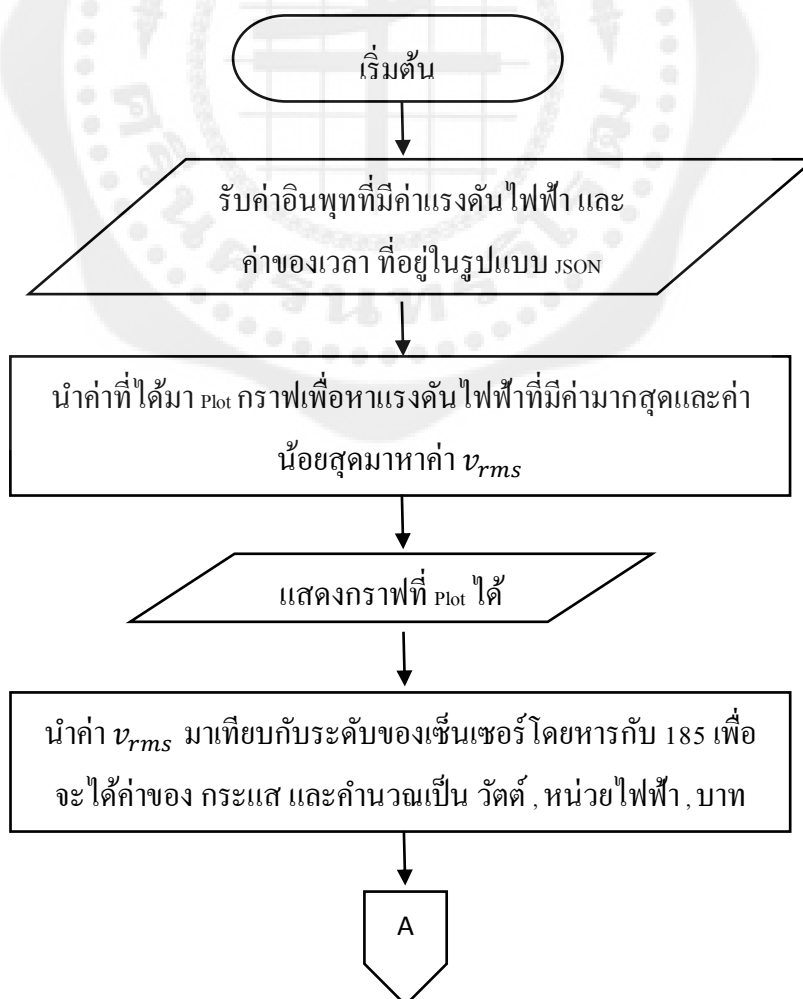
ไอซี จากในตัวอย่างนั้น ได้ใช้ไฟเลี้ยงที่ 3.3 V และหลังจากนั้นนำค่านั้นไปหารกับจำนวนระดับของบิตของ ไอซี จึงจะได้ค่าแรงดันของไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็นโวลต์ โดยสมการฟังก์ชันเทียบระดับบิตคือ

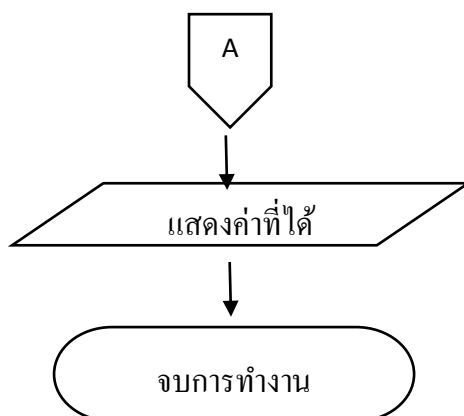
$$\text{Volt} = \text{ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน} \times \frac{3300}{\text{float}(4095)}$$

ในบรรทัดที่ 37 นั้นจะเป็นการแสดงค่าที่ได้โดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็นโวลต์ และมีค่าเวลาที่วัดได้ที่มีหน่วยของเวลาเป็น ไมโครวินาทีนั้นมาแสดงข้อมูลแบบตัวแปร JSON

### 3.4. การทำงานในส่วนของการรับค่าดิจิตอลมาคำนวณเป็นค่าผลลัพธ์ทางไฟฟ้า

หลังจากที่ในส่วนของโปรแกรมแปลงค่าสัญญาณอนาล็อกเป็นค่าสัญญาณดิจิตอลเสร็จเรียบร้อยแล้วนั้น ก็จะนำข้อมูลที่ได้ในรูปแบบ JSON มาทำการสร้างกราฟ โดยแกน Y จะเป็นค่าของจำนวนของแรงดันไฟฟ้า และในส่วนแกน X จะเป็นค่าของเวลา และทำการคำนวณหา  $V_{\text{peak to peak}}$  เพื่อนำค่า  $V_{\text{rms}}$  ที่ได้ไปคำนวณเป็น กระแส, วัตต์, หน่วยไฟฟ้า, ค่าไฟฟ้า (หน่วยบาท) ในต่อไป





รูปที่ 3.5 แสดงการทำงานของกรับค่าดิจิตอลมาคำนวณเป็นผลลัพธ์ทางไฟฟ้า

ตัวอย่างโปรแกรมในส่วนการทำงานของกรับค่าดิจิตอลมาคำนวณเป็นค่าผลลัพธ์ทางไฟฟ้า

```

1. <script type="text/javascript" src="highcharts.js"></script>
2. <?php
3. $json = shell_exec("sudo python /var/www/3208aiai.py");
4.
5. $obj = json_decode($json);
6.
7. ?>
8.
9. <script>
10. var arr_from_json = JSON.parse('<?php echo json_encode($obj); ?>');
11. console.log(arr_from_json)
12.
13. $(function () {
14.   $('#container').highcharts({
15.     credits: {
16.       text: ' Electric bill estimation '
17.     },
18.     chart: {
19.       type: 'spline',
20.     },
21.     title: {
22.       text: false
23.     },
24.     rangeSelector : {
25.       selected : 1,
26.       inputEnabled: $('#container').width() > 480
27.     },
28.     yAxis: {
29.       type: 'logarithmic'
30.     },
31.   },
32.   series:
33.   [{
  
```

```

34.         data: arr_from_json,
35.         name: 'Electric Load'
36.     }
37. ],
38.     plotOptions: {
39.         series: {
40.             lineWidth: 2,
41.             marker: {
42.                 enabled: false
43.             }
44.         }
45.     }
46. });
47.
48. var get = arr_from_json.map(function(v) { return v[1] });
49.
50. var max = Math.max.apply(null,get);
51. var min = Math.min.apply(null,get);
52. var vpp = max-min ;
53. var vrms = vpp* (Math.SQRT2 / 2) ;
54. var vrmsget = vrms - (0.05 * vrms) ;
55. var irms = vrmsget / 185 ;
56. var pow = vrmsget*irms ;
57. var kw = pow/1000 ;
58. var unit = kw ;
59. var cost = unit* 1.75 ;
60.
61. var getx = arr_from_json.map(function(v) { return v[0] });
62. var setx = getx ;
63. console.log(setx);
64. var gety = arr_from_json.map(function(v) { return v[1] });
65. var sety = gety ;
66. console.log(sety);
67.
68. document.getElementById("vrmsget").innerHTML= vrmsget;
69. document.getElementById("irms").innerHTML= irms;
70. document.getElementById("kw").innerHTML= kw;
71. document.getElementById("unit").innerHTML= unit;
72. document.getElementById("cost").innerHTML= cost;
73.
74. document.getElementById("svrms").value = vrmsget;
75. document.getElementById("sirms").value= irms;
76. document.getElementById("skw").value= kw;
77. document.getElementById("sunit").value= unit;
78. document.getElementById("scost").value= cost;
79.
80. });
81. </script>

```

จากตัวอย่างโปรแกรมในส่วนการทำงานของกรับค่าดิจิตอลมาคำนวณเป็นค่าผลลัพธ์ทางไฟฟ้าเป็นการเขียนในรูปแบบภาษา Javascript

บรรทัดที่ 3 เป็นคำสั่ง PHP เพื่อเรียกโปรแกรมที่แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลมาใช้งานบนหน้าเว็บเพจ

บรรทัดที่ 9 – 45 เป็นการสร้างฟังก์ชันเพื่อนำข้อมูลที่ได้ในรูปแบบ JSON นั้นมาสร้างกราฟเพื่อแสดงค่าที่ได้ทั้งหมดภายใน 1 วินาที โดยการเรียกการสร้างกราฟมาจาก Java ภายนอกของโปรแกรมที่มีชื่อว่า hightchart.js

บรรทัดที่ 47 - 68 เป็นการสร้างตัวแปรและใช้ฟังก์ชันในการคำนวณเพื่อหาค่าต่าง ๆ ทางไฟฟ้า บรรทัดที่ 70 – 80 เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากตัวแปรต่าง ๆ ไปแสดงผลบนเว็บเพจ

### 3.5. การทำงานในส่วนของการแสดงผลบนเว็บเพจ

เป็นการนำข้อมูลต่าง ๆ ทั้ง การแสดงผลกราฟ และค่าที่ได้มาแสดงผล รวมไปถึงการบันทึกข้อมูลปริมาณไฟฟ้าลงในฐานข้อมูลเพื่อดูข้อมูลย้อนหลังของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นได้

#### ตัวอย่างโปรแกรมในส่วนการทำงานของกรแสดงผลบนเว็บเพจ

1. <!DOCTYPE html>
2. <html>
3. <head>
4. <title>Electric Load</title>
5. <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" >
6. <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
7. <script type="text/javascript" src="jquery-1.11.2.min.js"></script>
8. <link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/bootstrap.min.css">
9. <link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/css.css">
10. <script type="text/javascript" src="js/bootstrap.min.js"></script>
11. </head>
12. <body>
13. <div id="header" style="width: 80%; margin: 2% 10% 3% 10%; height: 103px;">
14. <div >
15. 
16. </div>
17. <div >
18. 
19. </div>
20. <h4 style="text-align: center; padding-top: 2%;">
21. การประมาณค่าไฟฟ้าและแสดงผลผ่านทางเว็บเซิร์ฟเวอร์</h4>

```

22. <h4 style="text-align: center; padding-top: 2%;">
23. Electric Bill Estimation using Raspberry Pi
24. </h4>
25. </div>
26. <div id="container" style="height: 600px;"></div>
27. <h2 class="text-center">กราฟแสดงการใช้ไฟฟ้าในเวลา 1 วินาที</h2>
28. <div class="container">
29. <form method="post" name="form1" action="#" >
30. <div class="form-input-ele">
31. <div class="text-ele">
32. <label for="name-ele">ชื่อเครื่องใช้ไฟฟ้า</label>
33. </div>
34. <div class="textbox-input">
35. <input type="name" name="eleload" class="form-control" id="seleload"
    placeholder="เครื่องใช้ไฟฟ้า / Load electric">
36. </div>
37. </div>
38. <div class="text-value">
39. <label for="name-value">ค่าที่วัดได้ / Measurement Value</label>
40. </div>
41. <div class = "value" style="margin: 3% 9% 3% 10%;" >
42. <div class="col-xs-6 col-sm-3">
43. <span class="hidden-md label label-primary">Vrms =
44. <span id="vrmsget"> </span>
45. mV
46. </span>
47. </div>
48. <div class="col-xs-6 col-sm-3">
49. <span class="hidden-md label label-primary">Irms =
50. <span id="irms"> </span>
51. A
52. </span>
53. </div>
54. <div class="clearfix visible-xs-block"></div>
55. <div class="col-xs-6 col-sm-3">
56. <span class="hidden-md label label-primary">Power =
57. <span id="kw"> </span>
58. W
59. </span>
60. </div>
61. <div class="col-xs-6 col-sm-3">
62. <span class="hidden-md label label-primary">Unit =
63. <span id="unit"> </span>
64. per 1 hour
65. </span>
66. </div>
67. <div class="col-xs-6 col-sm-3">

```

```

68. <span class="hidden-md label label-primary">Cost =
69. <span id="cost"> </span>
70. Baths
71. </span>
72. </div>
73. </div>
74. <input name="vrms" id="svrms" type="hidden" value="1">
75. <input name="irms" id="sirms" type="hidden" value="1">
76. <input name="kw" id="skw" type="hidden" value="1">
77. <input name="unit" id="sunit" type="hidden" value="1">
78. <input name="cost" id="scost" type="hidden" value="1">
79. <div class="button-save">
80. <button type="submit" id="insert" class="btn btn-success">SAVE
    VALUE</button>
81. </div>
82. </form>
83. </div>
84. <?php
85. if (!(empty($_POST['eleload']) || empty($_POST['vrms']) ||
    empty($_POST['irms']) || empty($_POST['kw']) || empty($_POST['unit']) ||
    empty($_POST['cost'])))
86. {
87. $link = mysql_connect("localhost","root","1234");
88. if (!$link)
89. {
90. die('could not connet: ' . mysql_error());
91. }
92. $eleload = $_POST['eleload'];
93. $vrms = $_POST['vrms'];
94. $irms = $_POST['irms'];
95. $kw = $_POST['kw'];
96. $unit = $_POST['unit'];
97. $cost = $_POST['cost'];
98. $SQL = "INSERT INTO `project`.`project` (`ID`,`Name`,`Vrms`,`Irms`
    `Power`,`Unit`,`Cost`)VALUES (NULL , '".$_POST['eleload']."' , '".$_POST['vrms']."' , '".$_POST['irms']."' ,
    '".$_POST['kw']."' , '".$_POST['unit']."' , '".$_POST['cost']."' );";
99. $objQuery = mysql_query($SQL);
100. //mysql_query($link, $SQL);
101. mysql_close($link);
102. //inform section
103. echo '<script language="javascript">';
104. echo 'alert("บันทึกสำเร็จ");';
105. echo '</script>';
106. }
107. elseif (empty($_POST['eleload'])) {
108. echo '<script language="javascript">';
109. echo 'alert("กรุณากรอกชื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อบันทึกลงฐานข้อมูลด้วยครับ!!!");';
110. echo '</script>';

```

```
111. }  
112. else{  
113. return null;  
114. }  
115. ?>  
116. </body>  
117. </html>
```

จากตัวอย่างโปรแกรมในส่วนการทำงานในส่วนของการแสดงผลนั้น เป็นการเขียนในรูปแบบภาษา PHP ในบรรทัดที่ 98 - 115 เป็นคำสั่งการเชื่อมต่อฐานข้อมูลเพื่อทำการบันทึกค่าปริมาณไฟฟ้าที่ได้ลงบนฐานข้อมูล ในส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญสำหรับการเรียกดูข้อมูลย้อนหลังได้



## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลองโครงการ

การทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทราบถึงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยการวัดผ่านเว็บเซอร์ฟเวอร์และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับแคลมป์มิเตอร์เพื่อจะทราบถึงค่าของความคลาดเคลื่อน อีกทั้งสามารถเรียกดูข้อมูลที่ได้ทำการบันทึกปริมาณไฟฟ้าย้อนหลัง ดังนั้นจึงแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองในส่วนของการวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าผ่านเว็บเซอร์ฟเวอร์และการทดลองในส่วนของการบันทึกปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ได้ลง Database และการเรียกดูข้อมูลย้อนหลัง

โดยเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ได้นำมาเป็นตัวอย่างในการทดสอบนั้นมีอยู่ 7 ชนิด และมีคุณสมบัติ (Specifications) ที่ได้กำหนดไว้จากโรงงานของทางผู้ผลิตของเครื่องใช้ไฟฟ้างดงตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลปริมาณไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด

อุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าที่ค่า Maximum ต่อการใช้ งาน
1. ไดร์เป่าผม	220V	ไม่ได้กำหนด	1300W
2. เตารีด	220V	ไม่ได้กำหนด	1000W
3. หลอดไฟฟลูออ เรสเซนต์ ขนาด 36W (บาลาสติเล็ก ทรอนิกส์ )	220V	ไม่ได้กำหนด	36W
4. ตู้เย็นขนาด 6.6 คิว	220V	ไม่เกิน 0.5 A เมื่อ มอเตอร์ไม่มีการใช้ งาน	ไม่ได้กำหนด

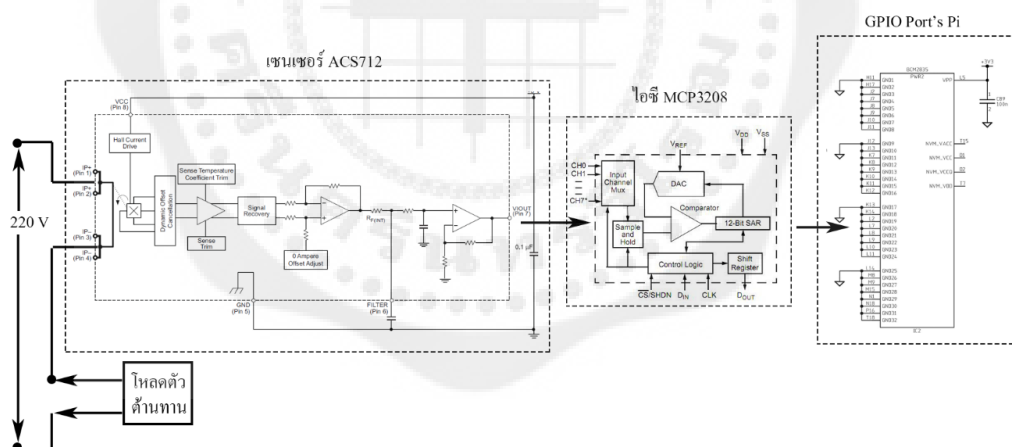


ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลปริมาณไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด (ต่อ)

อุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าที่ค่า Maximum ต่อการใช้ งาน
5. LED TV	110 – 240V	ไม่ได้กำหนด	45W
6. คอมพิวเตอร์ PC (Power supply 550W)	220V	ไม่ได้กำหนด	550W
7. ส่วนไฟฟ้า	220V	220V	220V

#### 4.1. การทดลองในส่วนของการวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าผ่านเครือข่าย

##### 4.1.1. ขั้นตอนการทดลองกับโหลดตัวต้านทาน

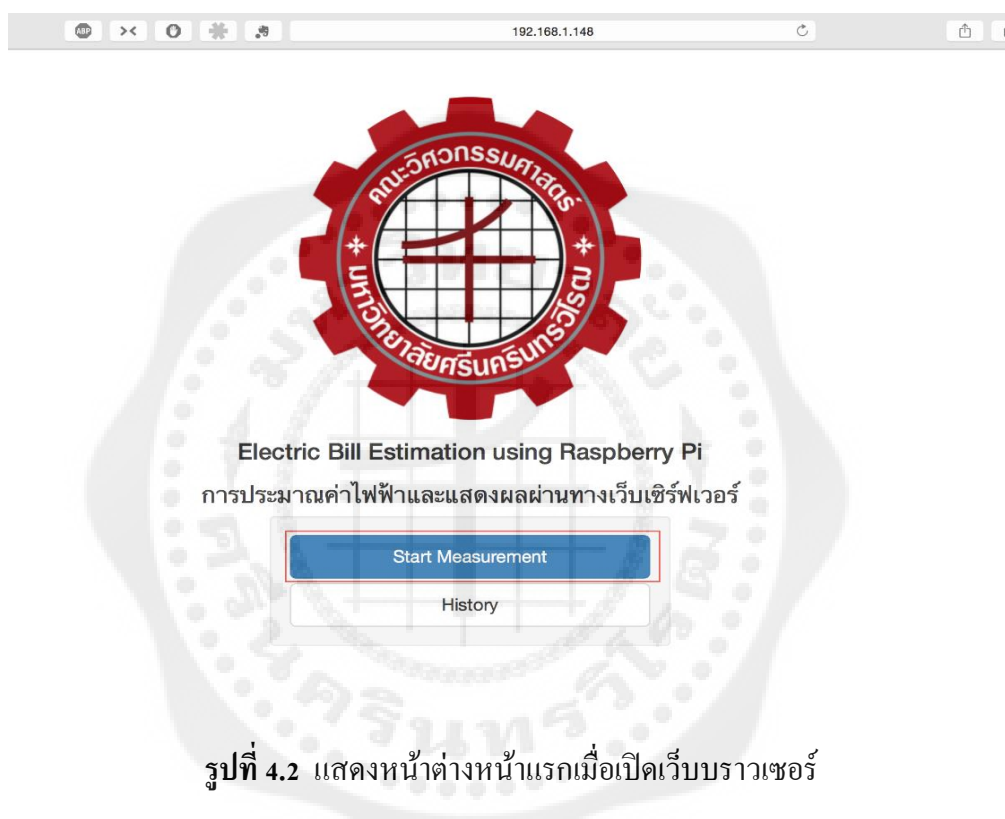


รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างของวงจร

4.1.1.1 ต่อวงจรตามรูปที่ 4.1 ต่อโหลดตัวต้านทาน ที่ได้รับ โดยให้เอาท์พุทแรงดัน  $V_{out}$  ออกมาที่ขา 7 ของบอร์ดเซ็นเซอร์ เพื่อส่งไปประมวลผลที่ไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล จากนั้นจึงส่งค่าที่ได้ไปคำนวณที่ Raspberry Pi model B

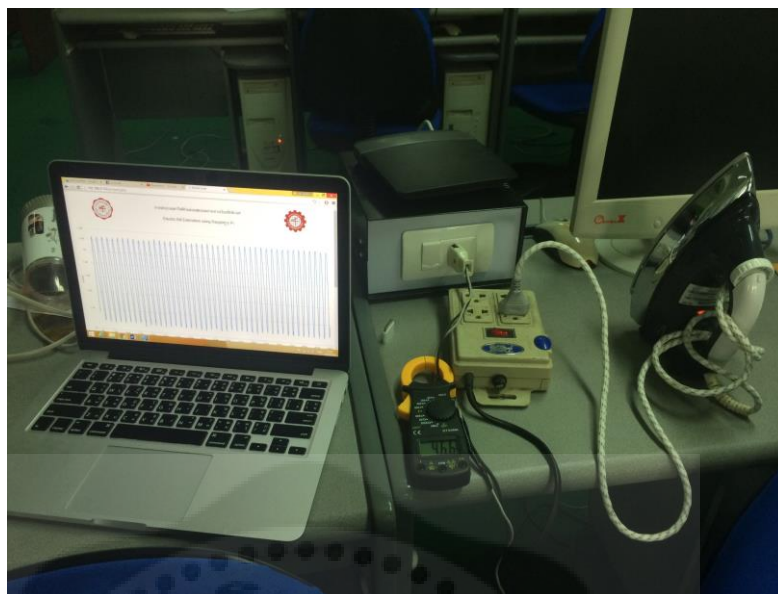
4.1.1.2. ต่อสาย Ethernet ด้านหนึ่งเข้ากับ Network board บนบอร์ด Raspberry Pi model B และอีกด้านหนึ่งเข้ากับ Router เพื่อรับ IP Address ในการเข้า URL

4.1.1.3. กำหนด URL ของ Browser บนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต่ออยู่กับ Network เดียวกับ Raspberry Pi model B โดยในการทดลองได้กำหนดค่าเป็น `http://192.168.1.148` ซึ่งจะปรากฏหน้าแรกของเว็บไซต์ จากนั้นเลือกที่ปุ่ม “Start Measurement” ดังรูปที่ 4.2



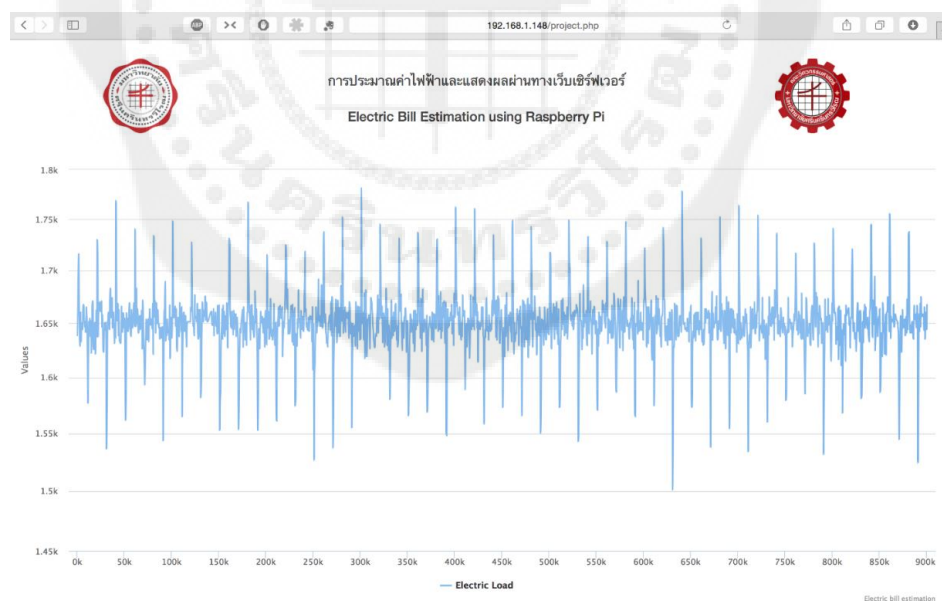
รูปที่ 4.2 แสดงหน้าต่างแรกเมื่อเปิดเว็บเบราว์เซอร์

4.1.1.4. ทำการเสียบโหลดเครื่องใช้ไฟฟ้ากับเต้ารับจากปลั๊กสามตาที่ได้เสียบจากเต้ารับของตัววัดผ่านระบบ Web server และนำแคลมป์มิเตอร์มาวัดกระแสไฟฟ้าพร้อมกัน ตามรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.3 แสดงวิธีการต่อโหลดเข้ากับระบบและการวัดแอมป์มิเตอร์

4.1.1.5. ระบบจะทำการวัดค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจจับกระแส และแสดงการวาดกราฟของค่า  $V_{rms}$  ที่ฮอลล์เซ็นเซอร์วัดได้ภายใน 1 วินาที ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงหน้าต่างเมื่อทำการคลิกให้โปรแกรมทำการวัดกระแสไฟฟ้า

4.1.1.6. ตรวจสอบการทดลองจากหน้าเว็บเพจ

#### 4.1.2 ผลของการทดลอง

ผลของการทดลองที่ได้จากเครื่องวัดปริมาณในการใช้ไฟฟ้านั้นจะเป็นค่าคำนวณแล้วทั้งสิ้น แต่ค่าที่ได้มาแท้จริงนั้นได้มาจากเซ็นเซอร์ตรวจจับกระแส ซึ่งเซ็นเซอร์นี้จะมีหน้าที่ในการตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเมื่อนำเครื่องใช้ไฟฟ้ามาทดลอง โดยเซ็นเซอร์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าจะเอาที่พู่ข้อมูลแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณแบบอนาล็อก จึงได้นำค่าแรงดันของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมาเทียบระดับของ IC MCP3208 ซึ่งมีความละเอียดถึง 4096 ระดับ (12 bit)

โดยสมการฟังก์ชันที่ใช้ในการเทียบผลลัพธ์คือ

$$\text{Volt} = \text{ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน} \times \frac{3300}{\text{float}(4095)}$$

3300 คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเซ็นเซอร์ ซึ่งในที่นี้คือจ่ายให้ 3.3V

4095 คือ การเทียบระดับของไอซี MCP3208 ที่มีความละเอียด 4096 ระดับ (12bit)

ซึ่งค่าของกระแสที่แท้จริงที่ได้วัดออกมานั้นได้ใช้แคลคูลัสในการตรวจสอบซึ่งเป็นเครื่องที่มีความผิดพลาดอยู่ที่  $\pm 10\%$  โดยประมาณ เพื่อนำค่าที่ได้จากแคลคูลุสนั้นมาตรวจสอบกับการใช้งานจากการประมาณค่าไฟฟ้าและแสดงผลผ่านทางเว็บเซิร์ฟเวอร์ ในตารางที่ 4.2 โดยได้ทดสอบกับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า 7 ชนิดที่ได้กล่าวไว้ในตารางที่ 4.1 ข้างต้น โดยได้มีการทดสอบจำนวน 5 ครั้งในการทดสอบครั้งละ 1 วินาทีโดยการวัดค่า

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลกระแสที่วัดได้จากเครื่องมือวัดแคลมป์มิเตอร์ การแสดงผลผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์ และร้อยละความคลาดเคลื่อน

อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า	1. เดอเบป้า		2. เตารีด	3. หลอดไฟฟ้า	ขนาด 6.6	คอมพิวเต	6.LED TV	7. สวานไฟฟ้า
	I <sub>Clamp</sub>	I						
ครั้งที่ 1	5.73 A	5.52A	4.6 A	0.21 A	0.36 A	0.39 A	0.37 A	0.85 A
	Error	3.66 %	2.39%	76.19 %	66.66 %	79.48 %	64.86 %	20 %
	I <sub>Clamp</sub>	5.73 A	4.59 A	0.21 A	1.58 A	0.39 A	0.37 A	0.89 A
ครั้งที่ 2	5.51 A	5.51 A	4.48 A	0.35 A	1.89 A	0.71 A	0.61 A	1.06 A
	Error	3.83 %	2.39 %	66.66 %	19.62 %	82.05 %	64.86 %	19.10 %
	I <sub>Clamp</sub>	5.77A	4.58 A	0.2 A	0.34 A	0.37 A	0.33 A	0.89 A
ครั้งที่ 3	5.5 A	5.5 A	4.45 A	0.35 A	0.69 A	0.72 A	0.62 A	1.01 A
	Error	4.67 %	2.83 %	75 %	102.94 %	94.59 %	87.87 %	14.77 %
	I <sub>Clamp</sub>	5.74 A	4.64 A	0.19 A	0.36 A	0.37 A	0.37 A	0.89 A
ครั้งที่ 4	5.59 A	5.59 A	4.4 A	0.33 A	0.71 A	0.68 A	0.61 A	1.06 A
	Error	2.61 %	5.17 %	73.68 %	97.22 %	83.78 %	64.86 %	19.10 %
	I <sub>Clamp</sub>	5.75 A	4.67 A	0.21 A	0.37 A	0.41 A	0.32 A	0.88 A
ครั้งที่ 5	5.48 A	5.48 A	4.45 A	0.37 A	0.78 A	0.72 A	0.6 A	1.03 A
	Error	4.69 %	4.71 %	76.19 %	110.81 %	75.60 %	87.5 %	17.29 %
	I <sub>Clamp</sub>							

จากข้อมูลที่วัดได้มานั้นซึ่งเป็นค่าที่ได้มาจากแคลมป์มิเตอร์และจากการแสดงผลผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์ซึ่งได้นำมาหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนเพื่อทราบถึงอัตราที่ผิดพลาดจากแคลมป์มิเตอร์

โดยสมการหาร้อยละความผิดพลาดคือ

$$\text{ร้อยละความผิดพลาด (\% Error)} = \frac{(\text{ค่าที่ทดลองได้} - \text{ค่าที่แท้จริง})}{\text{ค่าที่แท้จริง}} \times 100$$

โดยได้เฉลี่ยกระแสที่ได้ในแต่ละอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อทราบถึงค่าเฉลี่ยของกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ได้ในการทดลองทั้งหมด

โดยสมการหาค่าเฉลี่ยคือ

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$$

$\bar{x}$  = ผลของค่าเฉลี่ยทั้งหมด

$\sum x$  = ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

$N$  = จำนวนของข้อมูล

และได้หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เพื่อได้ทราบถึงค่าของข้อมูลกระแสที่ไหลผ่านนั้นว่า  
ได้มีค่าที่กระจายออกจากค่าเฉลี่ยไปหรือไม่

โดยสมการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$X$  = ข้อมูล

$\bar{x}$  = ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

$N$  = จำนวนของข้อมูล

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าที่วัดได้แต่ละเครื่องใช้ไฟฟ้า

อุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า	ค่าเฉลี่ย			ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
	$I_{Clamp}$	$I$	Error	$I_{Clamp}$	$I$
1. ไดร์เป่าผม	5.74	5.52	3.89 %	0.014	0.037
2. เตารีด	4.61	4.45	-3.50 %	0.033	0.031
3. หลอดไฟฟ้า	0.20	0.35	73.54 %	0.008	0.014
4. ตู้เย็นขนาด 6.6 กิว	0.60	0.93	79.45 %	0.48	0.48
5. คอมพิวเตอร์ PC (Power supply 550W)	0.38	0.70	83.10 %	0.014	0.014
6. LED TV	0.35	0.61	73.99 %	0.022	0.0063
7. สว่านไฟฟ้า	0.88	1.032	17.29 %	0.015	0.023
<b>ค่าเฉลี่ย</b>			<b>45.71 %</b>		

## 4.2. การทดลองในส่วนของการบันทึกปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ได้ลง Database

ในการทดลองนี้จะเป็นการบันทึกข้อมูลที่วัดได้จากเว็บเซิร์ฟเวอร์เพื่อบันทึกข้อมูลชื่อของเครื่องใช้ไฟฟ้า ปริมาณของการใช้ไฟฟ้าที่แสดงผลนั้น เพื่อสามารถดูย้อนหลังได้

### 4.2.1 ขั้นตอนในการทดลอง

4.2.1.1 เมื่อทำการวัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทำการใส่ชื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าลงในช่องชื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าดังรูปภาพที่ 4.5



รูปภาพที่ 4.5 แสดงการใส่ชื่อของเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อทำการบันทึก

4.2.1.2 ทำการบันทึกข้อมูลที่วัดได้ โดยกดปุ่ม SAVE VALUE ที่ปุ่มสี่เหลี่ยมในรูปที่ 4.5

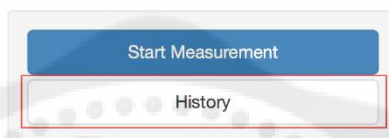
### 4.2.2 ผลของการทดลอง

ในกรณีที่อยากทราบข้อมูลการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดย้อนหลัง ให้กำหนด URL ของ Browser บนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต่ออยู่กับ Network เดียวกับ Raspberry Pi model B โดยตั้งค่าเป็น <http://192.168.1.148> จากนั้นเลือกที่ปุ่ม “History” ดังรูปที่ 4.6





Electric Bill Estimation using Raspberry Pi  
การประมาณค่าไฟฟ้าและแสดงผลผ่านทางเว็บเซิร์ฟเวอร์



รูปที่ 4.6 แสดงหน้าหลักเพื่อทำการเลือกในการดูข้อมูลย้อนหลัง

4.2.1.2 แสดงผลการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละชนิดย้อนหลัง ตามรูปที่ 4.5

การประมาณค่าไฟฟ้าและแสดงผลผ่านทางเว็บเซิร์ฟเวอร์

Electric Bill Estimation using Raspberry Pi

ตารางแสดงข้อมูลย้อนหลัง

ID	Name	Vrms	Irms	Power	Unit	Cost
48	macbook / icelek 2	10.248205976065755	0.05539570797873381	0.0005677066255560532	0.0005677066255560532	0.000993486594723093
49	iphone adapter	60.54463928087479	0.32726832043716103	0.01981434240892566	0.01981434240892566	0.034875099215619905
50	iphone adapter	60.54463928087479	0.32726832043716103	0.01981434240892566	0.01981434240892566	0.034875099215619905
51	ทีวี	927.5405319963545	5.0137326053857	4.650440208086921	4.650440208086921	8.138270364152111
58	เครื่อง final	840.1568416627458	4.54138833312139	999.105433286706	0.999105433286706	3.2770858213180397
59	ตู้เย็น	131.54505440312082	0.7110543481249774	156.43195658749502	0.15643195658749504	0.5130968176069837
60	หลอดไฟ 8W	68.20829793071368	0.3686935023281821	81.11257051220007	0.08111257051220007	0.26604823128001623
61	ทีวี	990.6486454910652	5.354857543194947	1178.0688595028883	1.1780688595028882	3.864065203169473
62	หลอดนารับที่หลอด	200.2954557476312	1.082678139176385	238.18919061880497	0.23818919061880467	0.7812605452296792

Home : Measurement : History

© Copyright 2015 by TML, Inc.  
Computer Engineering Project  
Sakon Nakhon University - SNU

รูปที่ 4.7 แสดงหน้าบราวเซอร์เพื่อทำการดูข้อมูลย้อนหลัง

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1. สรุปผลของโครงการ

โครงการนี้เป็นการแสดงผลการใช้กระแสไฟฟ้าโดยใช้เซิร์ฟเวอร์ขนาดเล็ก ซึ่งเป็นการออกแบบโดยใช้ Raspberry Pi model B มาทำเป็นเซิร์ฟเวอร์ จึงสามารถง่ายต่อการเคลื่อนย้ายไปใช้งานในที่ต่าง และสามารถทราบถึงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่นำมาวัดเพื่อมีการบริหารจัดการในการใช้งานได้เป็นอย่างดี อาจทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ในบางส่วน ซึ่งในระบบสามารถที่จะแสดงค่าของกระแสไฟฟ้าผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์ เป็นสิ่งที่มีประโยชน์ในการแสดงผลในตอนเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นได้มีการทำงานอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้เราไม่ต้องเดินทางไปวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ณ สถานที่ตั้งของเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ จึงเป็นการประหยัดเวลาในส่วนหนึ่ง

ในการทดลองนั้นได้ทำการทดลอง 5 ครั้งการทดลองของทุก ๆ โหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยนำค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากเว็บเซิร์ฟเวอร์เทียบกับค่าที่ได้จากแคลมป์มิเตอร์ และนำไปหาค่าเฉลี่ยของกระแสที่ไหลผ่านทั้ง 5 ครั้ง หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อทราบของการกระจายของข้อมูลที่ได้ในแต่ละอุปกรณ์ของเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยโหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทำการวัดกระแสได้ดีที่สุดและตรงกับกระแสจากแคลมป์มิเตอร์นั้นก็คือ เตาไรด โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 3.50% มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากแคลมป์มิเตอร์ ( $SD I_{clamp}$ ) คือ 0.014 และข้อมูลที่ได้จากเว็บเซิร์ฟเวอร์ ( $SD I$ ) คือ 0.37

โหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทำการวัดกระแสได้แย่ที่สุดที่มีความผิดพลาดมากที่สุดนั้นคือ คอมพิวเตอร์ PC (Power supply 550W) โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 83.10% มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากแคลมป์มิเตอร์ ( $SD I_{clamp}$ ) คือ 0.014 และข้อมูลที่ได้จากเว็บเซิร์ฟเวอร์ ( $SD I$ ) คือ 0.014

โดยผลการทดลองพบว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมาแสดงผลบนเว็บเซิร์ฟเวอร์นั้นที่ได้เทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านกับแคลมป์มิเตอร์ ได้มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยทั้งหมดของโหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าที่นำมาทดสอบคือ  $\pm 45.71\%$  โดยรวมกับค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์ที่นำมาใช้

ในส่วนของระบบเซิร์ฟเวอร์โดยใช้ Raspberry Pi model B นั้นสามารถทำการสื่อสารผ่านโปรโตคอล TCP/IP และโปรโตคอล SSH ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพในการใช้งานค่อนข้างดีในระดับหนึ่งด้วย

## 5.2. ปัญหาที่พบในโครงการ

จากการทดลองในส่วนของค่าที่แสดงผลออกมานั้น ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่วัดได้จากแคลมป์มิเตอร์กับค่าที่วัดได้จากเว็บเซิร์ฟเวอร์ อาจมีสาเหตุได้หลายส่วน คือ

1. ในส่วนของอุปกรณ์ที่นำมาทำเป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งคือ Raspberry Pi model B ซึ่งเป็นคอนโทรลเลอร์ที่ไม่มีชิพแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลในตัว จึงต้องมีไอซี MCP3208 ในการแปลงสัญญาณเป็นดิจิทัล ซึ่งอาจทำให้ค่าอนาล็อกที่แปลงมานั้นทำให้ผิดพลาดจากความเป็นจริงจึงทำให้ทำงานผิดพลาดได้
2. เซ็นเซอร์ ACS712 ที่ได้นำมาตรวจจับกระแสไฟฟ้านั้น ได้มีความผิดพลาดในการทำงานอยู่ที่  $\pm 5\%$  ตามคุณสมบัติเฉพาะของเซ็นเซอร์ (Data sheet)
3. แคลมป์มิเตอร์ที่นำมาทดสอบนั้นมีความผิดพลาดอยู่ที่ 10% จึงทำให้ผลการทดลองนั้นมีความผิดพลาดเกิดขึ้น
4. Adapters ที่นำมาจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับ Raspberry Pi model B นั้นอาจไม่มีเสถียรภาพพอเนื่องจาก Raspberry Pi model B นั้นต้องจ่ายไฟให้กับเซ็นเซอร์ ACS712 และไอซี MCP3208 อาจทำให้อุปกรณ์นั้นทำงานไม่เสถียรภาพ
5. โหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ได้นำมาใช้ นั้น โหลดที่มีวงจรในการเก็บประจุกระแสไฟฟ้า ซึ่งต้องการให้เกิดการส่งกระแสไฟฟ้าไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้าให้อย่างมีเสถียรภาพจึงอาจเกิดให้มีข้อผิดพลาดในการวัดได้เกิดขึ้น

## 5.3. ข้อเสนอแนะ

ผลจากการทดลองในเรื่องของการประเมินค่าไฟฟ้าโดยแสดงผลผ่าน Web Server นั้น ได้ทราบถึงปัญหาที่เกิดจากการทดลองที่ได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงปานกลาง จึงทำให้ทราบถึงแนวทางการแก้ไขข้อผิดพลาดต่าง ๆ โดยสามารถแยกเป็น 2 ส่วนคืออาจเกิดจาก ส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

### ฮาร์ดแวร์

1. ในส่วน ตัวคอนโทรลเลอร์อาจจะใช้ตัวที่มีชิพที่แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบฝังตัว เนื่องจากจะได้มีความแม่นยำในการแปลงสัญญาณได้ดียิ่งมากขึ้นแต่ต้องดูคุณลักษณะเฉพาะและข้อจำกัดของคอนโทรลเลอร์นั้นด้วยว่าสามารถใช้งานและประมวลผลเว็บได้ดีหรือไม่
2. ออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนในการวัดกระแสให้กับ ไอซีวัดกระแส ACS712 เพื่ออาจช่วยในการลดค่าความผิดพลาดที่ได้ลดลง
3. เปลี่ยนแคลมป์มิเตอร์ที่ได้มีมาตรฐานมากกว่าเดิม แต่อาจมีราคาแพงในการเปลี่ยนเพื่อนำมาวัดเพื่อหาค่ากระแสที่ไหลผ่านได้จริง
4. ออกแบบวงจรในการจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงให้กับอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานให้มีประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้นกว่าเดิม

### ซอฟต์แวร์

1. พัฒนาอัลกอริทึมในการกรองสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการวัดให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อาทิเช่น ในการใช้หลักการของ Curve fitting เพื่อพัฒนากราฟที่ได้ให้เป็นกราฟรูปไซน์ที่สามารถบ่งบอกจุดสูงสุดและต่ำสุดเพื่อให้  $V_{\text{peak to peak}}$  ได้อย่างแท้จริง
2. ออกแบบฐานข้อมูลให้สามารถเก็บข้อมูลเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเพื่อให้เกิดกราฟสถิติในการใช้ไฟฟ้าเพื่อในการบริหารจัดการที่ดียิ่งขึ้น

### เอกสารอ้างอิง

- วรวิทย์ ศิริกิจและคณะ. (2554). การประมาณค่าไฟฟ้าโดยแสดงผลผ่านระบบสนับสนุนเครือข่ายขนาดเล็ก. ปรียญานิพนธ์ปรียญชาติรี. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ชนิตา ภูใหม่พรมและคณะ. (2553). การใช้อินทราเน็ตควบคุมการเปิด – ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าและตรวจสอบสถานะการเข้า – ออกประตู. ปรียญานิพนธ์ปรียญชาติรี. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สมคิด วิริยะประสิทธิ์ชัย. (2544). ทฤษฎีไฟฟ้าเบื้องต้น. ฟิสิกส์เซ็นเตอร์. กรุงเทพฯ.
- สมบูรณ์ พัฒน์ธีรพงศ์. (2554). **JavaScript programming guide**. คอนเทนต์บลู. กรุงเทพฯ.
- พิรพร หมูนสนิท, วันวิสาข์ วิษา. (2551). พื้นฐานการโปรแกรมบนเว็บ. เกทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัล. กรุงเทพฯ.
- ศุภชัย สมพานิช. (2556). **Basic HTML5 with CSS3 & jQuery**. ใอดีซี. นนทบุรี.
- Guttag, John. (2013). **Introduction to computation and programming using Python**. Cambridge, MA : The MIT Press, c2013
- Brandon Rhodes, John Goerzen. (2010). **Foundations of Python Network Programming: The comprehensive guide to building network applications with Python**. Berkeley, CA : Apress, 2010
- Matt Richardson and Shawn Wallace. (2015). **Getting started with Raspberry Pi**. Sebastopol, CA : Maker Media, c2015



ภาคผนวก

## Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### Features and Benefits

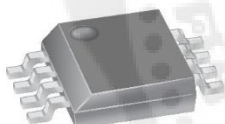
- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5  $\mu$ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at  $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m $\Omega$  internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



TÜV America  
Certificate Number:  
U8V 06 05 54214 010



### Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1



### Description

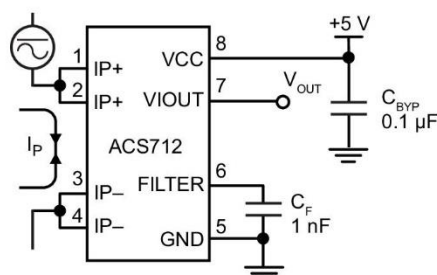
The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ( $>V_{IOUT(Q)}$ ) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m $\Omega$  typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

*Continued on the next page...*

### Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal,  $V_{OUT}$ , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current,  $I_P$ , within the range specified.  $C_F$  is recommended for noise management, with values that depend on the application.

# ACS712

## Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### Description (continued)

the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

### Selection Guide

Part Number	Packing*	T <sub>A</sub> (°C)	Optimized Range, I <sub>P</sub> (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

\*Contact Allegro for additional packing options.

### Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>		8	V
Reverse Supply Voltage	V <sub>RCC</sub>		-0.1	V
Output Voltage	V <sub>IOUT</sub>		8	V
Reverse Output Voltage	V <sub>RIOUT</sub>		-0.1	V
Output Current Source	I <sub>IOUT(SOURCE)</sub>		3	mA
Output Current Sink	I <sub>IOUT(SINK)</sub>		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I <sub>P</sub>	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T <sub>A</sub>	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T <sub>J(max)</sub>		165	°C
Storage Temperature	T <sub>stg</sub>		-65 to 170	°C

### Isolation Characteristics

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V <sub>ISO</sub>	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V <sub>WFSI</sub>	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V <sub>pk</sub>
Working Voltage for Reinforced Isolation	V <sub>WFRI</sub>	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or V <sub>pk</sub>

\* Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

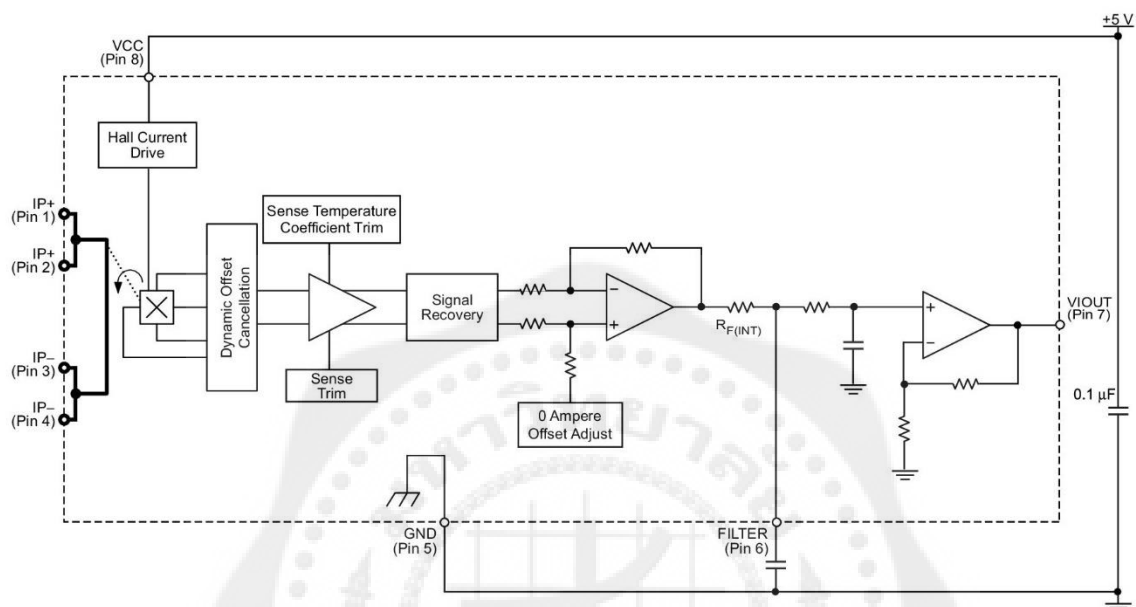




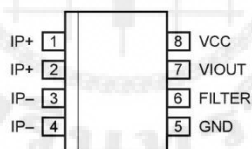
# ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

### Functional Block Diagram



### Pin-out Diagram



### Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

# ACS712

## Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### COMMON OPERATING CHARACTERISTICS<sup>1</sup> over full range of $T_A$ , $C_F = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
<b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS</b>						
Supply Voltage	$V_{CC}$		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	$I_{CC}$	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	$C_{LOAD}$	VIOUT to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	$R_{LOAD}$	VIOUT to GND	4.7	–	–	k $\Omega$
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	m $\Omega$
Rise Time	$t_r$	$I_P = I_P(\text{max})$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $C_{OUT} = \text{open}$	–	3.5	–	$\mu\text{s}$
Frequency Bandwidth	f	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$ ; $I_P$ is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	$E_{LIN}$	Over full range of $I_P$	–	1.5	–	%
Symmetry	$E_{SYM}$	Over full range of $I_P$	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(Q)}$	Bidirectional; $I_P = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	$t_{PO}$	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$ , 20 A present on leadframe	–	35	–	$\mu\text{s}$
Magnetic Coupling <sup>2</sup>			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance <sup>3</sup>	$R_{F(INT)}$			1.7		k $\Omega$

<sup>1</sup>Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient,  $T_A$ , and internal leadframe temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_J(\text{max})$ , is not exceeded.

<sup>2</sup>1G = 0.1 mT.

<sup>3</sup> $R_{F(INT)}$  forms an RC circuit via the FILTER pin.

### COMMON THERMAL CHARACTERISTICS<sup>1</sup>

			Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	$T_A$	E range	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
					Value	Units
Junction-to-Lead Thermal Resistance <sup>2</sup>	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEK 712 evaluation board			5	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board			23	$^\circ\text{C}/\text{W}$

<sup>1</sup>Additional thermal information is available on the Allegro website.

<sup>2</sup>The Allegro evaluation board has 1500 mm<sup>2</sup> of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.



# ACS712

## Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS<sup>1</sup> $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $85^\circ\text{C}$ , $C_F = 1\text{ nF}$ , and $V_{CC} = 5\text{ V}$ , unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	$I_P$		-5	-	5	A
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	180	185	190	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$ , $C_{\text{OUT}} = \text{open}$ , 2 kHz bandwidth	-	21	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	-0.26	-	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.08	-	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	0.054	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.008	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error <sup>2</sup>	$E_{\text{TOT}}$	$I_P = \pm 5\text{ A}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	$\pm 1.5$	-	%

<sup>1</sup>Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_{J(\text{max})}$ , is not exceeded.

<sup>2</sup>Percentage of  $I_P$ , with  $I_P = 5\text{ A}$ . Output filtered.

### x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS<sup>1</sup> $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $85^\circ\text{C}$ , $C_F = 1\text{ nF}$ , and $V_{CC} = 5\text{ V}$ , unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	$I_P$		-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	96	100	104	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$ , $C_{\text{OUT}} = \text{open}$ , 2 kHz bandwidth	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	-0.34	-	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.07	-	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	0.017	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.004	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error <sup>2</sup>	$E_{\text{TOT}}$	$I_P = \pm 20\text{ A}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	$\pm 1.5$	-	%

<sup>1</sup>Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_{J(\text{max})}$ , is not exceeded.

<sup>2</sup>Percentage of  $I_P$ , with  $I_P = 20\text{ A}$ . Output filtered.

### x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS<sup>1</sup> $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $85^\circ\text{C}$ , $C_F = 1\text{ nF}$ , and $V_{CC} = 5\text{ V}$ , unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	$I_P$		-30	-	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	63	66	69	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$ , $C_{\text{OUT}} = \text{open}$ , 2 kHz bandwidth	-	7	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	-0.35	-	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.08	-	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	0.007	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.002	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error <sup>2</sup>	$E_{\text{TOT}}$	$I_P = \pm 30\text{ A}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	$\pm 1.5$	-	%

<sup>1</sup>Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_{J(\text{max})}$ , is not exceeded.

<sup>2</sup>Percentage of  $I_P$ , with  $I_P = 30\text{ A}$ . Output filtered.

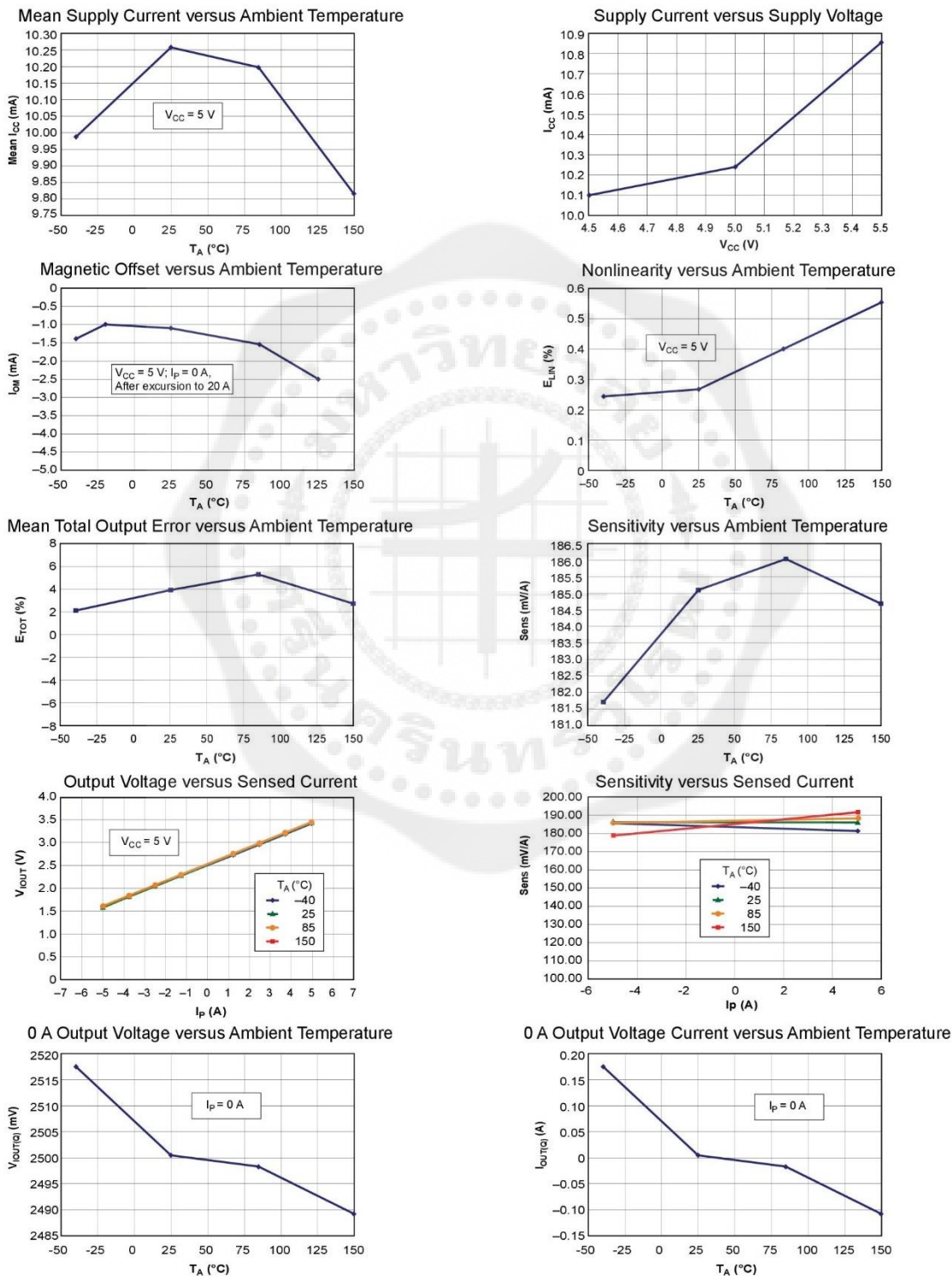


# ACS712

## Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### Characteristic Performance

$I_p = 5$  A, unless otherwise specified

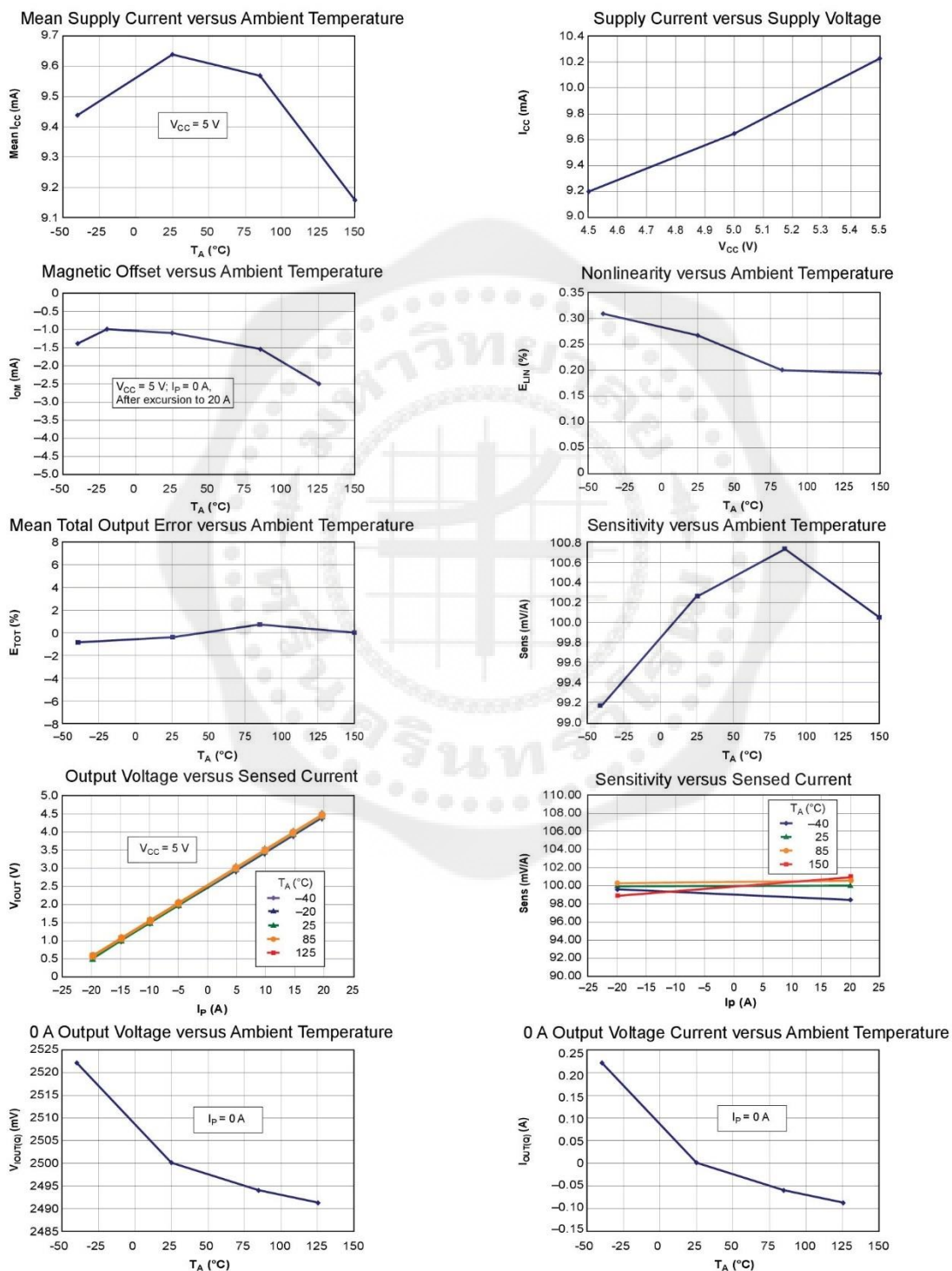


## ACS712

**Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor**

**Characteristic Performance**

$I_p = 20\text{ A}$ , unless otherwise specified

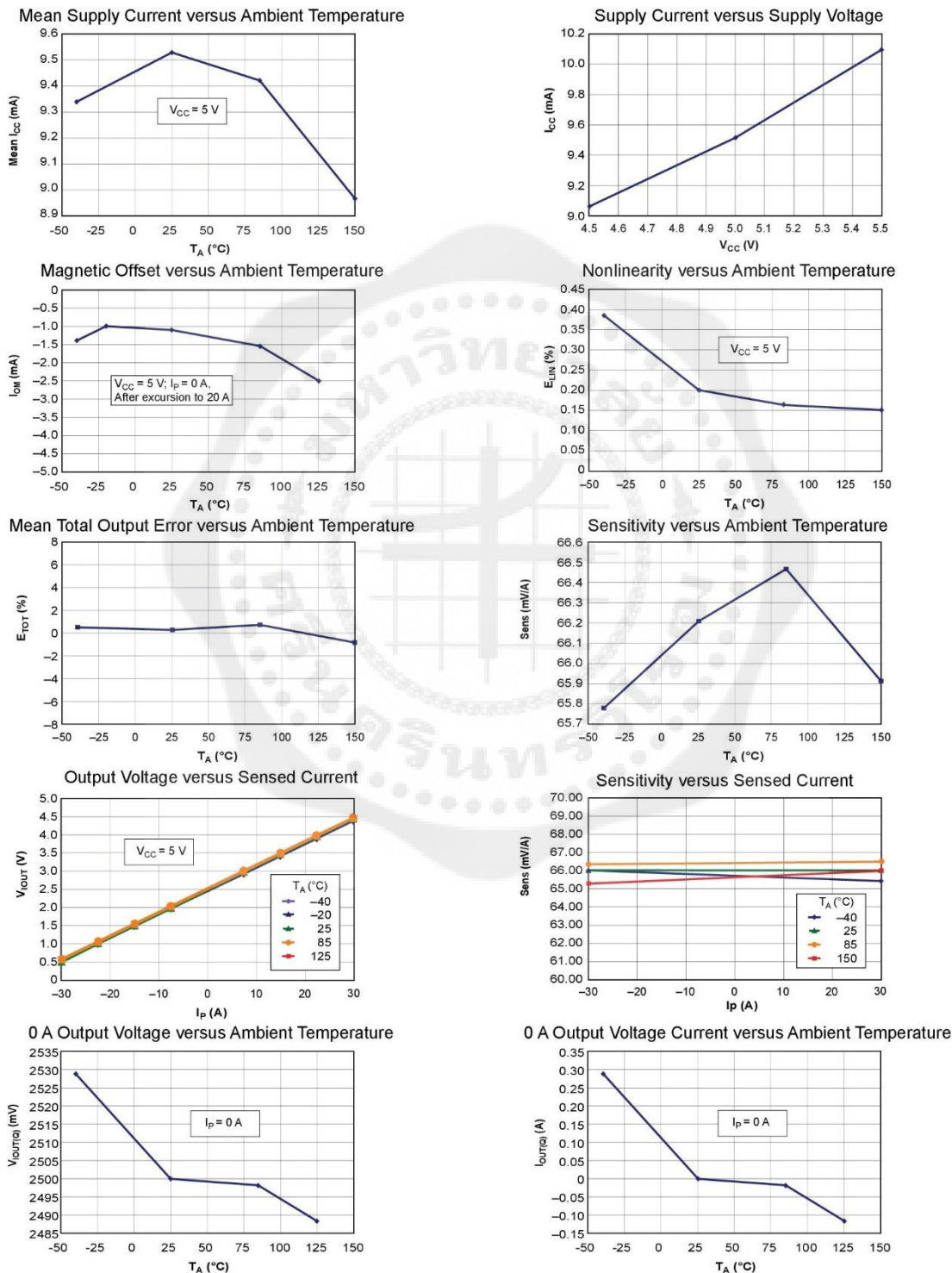


# ACS712

## Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### Characteristic Performance

$I_p = 30\text{ A}$ , unless otherwise specified



# ACS712

## Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### Definitions of Accuracy Characteristics

**Sensitivity (Sens).** The change in device output in response to a 1 A change through the primary conductor. The sensitivity is the product of the magnetic circuit sensitivity (G/A) and the linear IC amplifier gain (mV/G). The linear IC amplifier gain is programmed at the factory to optimize the sensitivity (mV/A) for the full-scale current of the device.

**Noise ( $V_{NOISE}$ ).** The product of the linear IC amplifier gain (mV/G) and the noise floor for the Allegro Hall effect linear IC ( $\approx 1$  G). The noise floor is derived from the thermal and shot noise observed in Hall elements. Dividing the noise (mV) by the sensitivity (mV/A) provides the smallest current that the device is able to resolve.

**Linearity ( $E_{LIN}$ ).** The degree to which the voltage output from the IC varies in direct proportion to the primary current through its full-scale amplitude. Nonlinearity in the output can be attributed to the saturation of the flux concentrator approaching the full-scale current. The following equation is used to derive the linearity:

$$100 \left\{ 1 - \left[ \frac{\Delta \text{gain} \times \% \text{ sat} (V_{IOUT\_full-scale \text{ amperes}} - V_{IOUT(Q)})}{2 (V_{IOUT\_half-scale \text{ amperes}} - V_{IOUT(Q)})} \right] \right\}$$

where  $V_{IOUT\_full-scale \text{ amperes}}$  = the output voltage (V) when the sampled current approximates full-scale  $\pm I_p$ .

**Symmetry ( $E_{SYM}$ ).** The degree to which the absolute voltage output from the IC varies in proportion to either a positive or negative full-scale primary current. The following formula is used to derive symmetry:

$$100 \left( \frac{V_{IOUT\_+ full-scale \text{ amperes}} - V_{IOUT(Q)}}{V_{IOUT(Q)} - V_{IOUT\_ - full-scale \text{ amperes}}} \right)$$

**Quiescent output voltage ( $V_{IOUT(Q)}$ ).** The output of the device when the primary current is zero. For a unipolar supply voltage, it nominally remains at  $V_{CC}/2$ . Thus,  $V_{CC} = 5$  V translates into  $V_{IOUT(Q)} = 2.5$  V. Variation in  $V_{IOUT(Q)}$  can be attributed to the resolution of the Allegro linear IC quiescent voltage trim and thermal drift.

**Electrical offset voltage ( $V_{OE}$ ).** The deviation of the device output from its ideal quiescent value of  $V_{CC}/2$  due to nonmagnetic causes. To convert this voltage to amperes, divide by the device sensitivity, Sens.

**Accuracy ( $E_{TOT}$ ).** The accuracy represents the maximum deviation of the actual output from its ideal value. This is also known as the total output error. The accuracy is illustrated graphically in the output voltage versus current chart at right.

Accuracy is divided into four areas:

- **0 A at 25°C.** Accuracy at the zero current flow at 25°C, without the effects of temperature.
- **0 A over  $\Delta$  temperature.** Accuracy at the zero current flow including temperature effects.
- **Full-scale current at 25°C.** Accuracy at the the full-scale current at 25°C, without the effects of temperature.
- **Full-scale current over  $\Delta$  temperature.** Accuracy at the full-scale current flow including temperature effects.

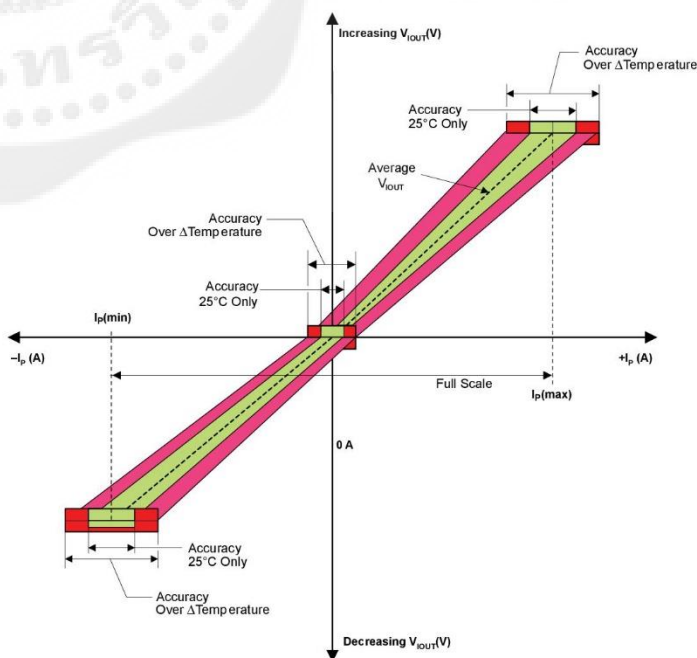
**Ratiometry.** The ratiometric feature means that its 0 A output,  $V_{IOUT(Q)}$ , (nominally equal to  $V_{CC}/2$ ) and sensitivity, Sens, are proportional to its supply voltage,  $V_{CC}$ . The following formula is used to derive the ratiometric change in 0 A output voltage,  $\Delta V_{IOUT(Q)RAT}$  (%).

$$100 \left( \frac{V_{IOUT(Q)VCC} / V_{IOUT(Q)5V}}{V_{CC} / 5 \text{ V}} \right)$$

The ratiometric change in sensitivity,  $\Delta \text{Sens}_{RAT}$  (%), is defined as:

$$100 \left( \frac{\text{Sens}_{VCC} / \text{Sens}_{5V}}{V_{CC} / 5 \text{ V}} \right)$$

**Output Voltage versus Sampled Current**  
Accuracy at 0 A and at Full-Scale Current

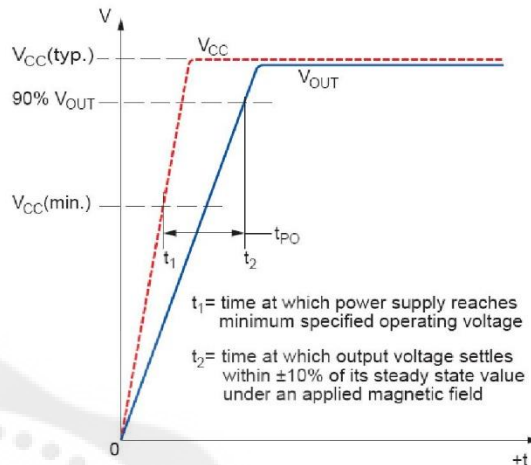


# ACS712

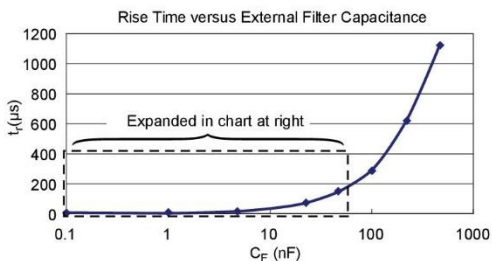
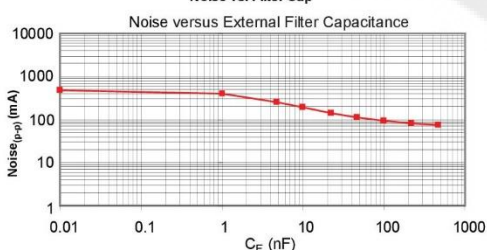
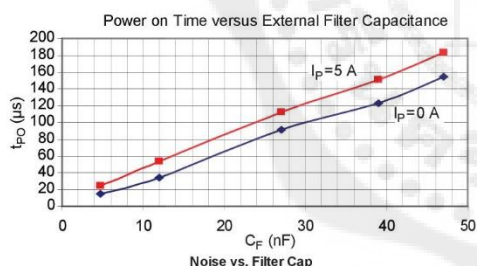
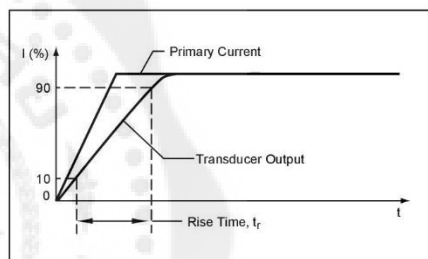
## Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### Definitions of Dynamic Response Characteristics

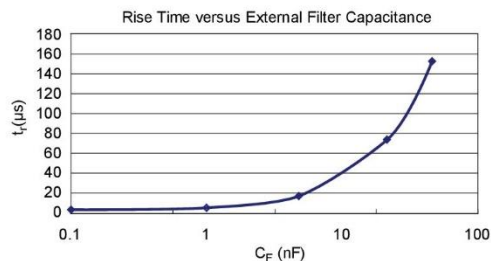
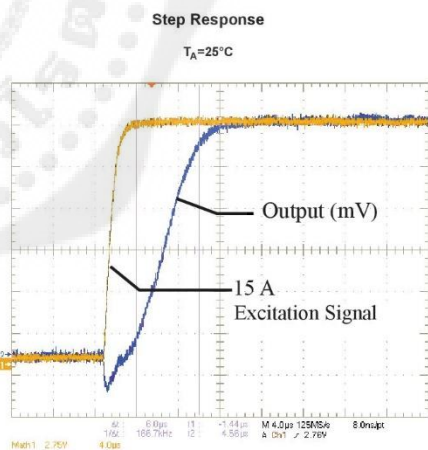
**Power-On Time ( $t_{PO}$ ).** When the supply is ramped to its operating voltage, the device requires a finite time to power its internal components before responding to an input magnetic field. Power-On Time,  $t_{PO}$ , is defined as the time it takes for the output voltage to settle within  $\pm 10\%$  of its steady state value under an applied magnetic field, after the power supply has reached its minimum specified operating voltage,  $V_{CC(min)}$ , as shown in the chart at right.



**Rise time ( $t_r$ ).** The time interval between a) when the device reaches 10% of its full scale value, and b) when it reaches 90% of its full scale value. The rise time to a step response is used to derive the bandwidth of the device, in which  $f(-3\text{ dB}) = 0.35/t_r$ . Both  $t_r$  and  $t_{RESPONSE}$  are detrimentally affected by eddy current losses observed in the conductive IC ground plane.



$C_F$ (nF)	$t_r$ ( $\mu$ s)
Open	3.5
1	5.8
4.7	17.5
22	73.5
47	88.2
100	291.3
220	623
470	1120





# ACS712

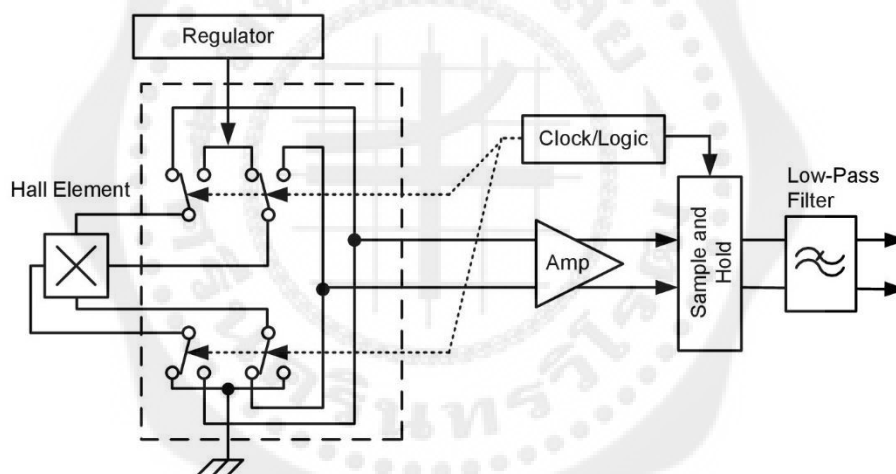
## *Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

### Chopper Stabilization Technique

Chopper Stabilization is an innovative circuit technique that is used to minimize the offset voltage of a Hall element and an associated on-chip amplifier. Allegro patented a Chopper Stabilization technique that nearly eliminates Hall IC output drift induced by temperature or package stress effects. This offset reduction technique is based on a signal modulation-demodulation process. Modulation is used to separate the undesired DC offset signal from the magnetically induced signal in the frequency domain. Then, using a low-pass filter, the modulated DC offset is suppressed while the magnetically induced signal passes through

the filter. As a result of this chopper stabilization approach, the output voltage from the Hall IC is desensitized to the effects of temperature and mechanical stress. This technique produces devices that have an extremely stable Electrical Offset Voltage, are immune to thermal stress, and have precise recoverability after temperature cycling.

This technique is made possible through the use of a BiCMOS process that allows the use of low-offset and low-noise amplifiers in combination with high-density logic integration and sample and hold circuits.

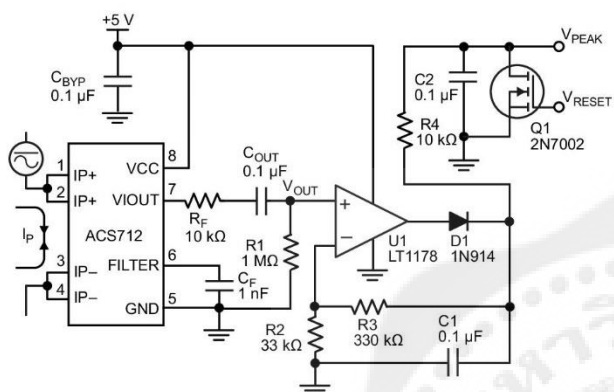


Concept of Chopper Stabilization Technique

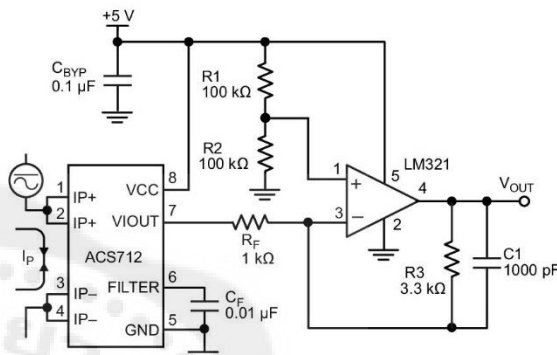
# ACS712

## Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

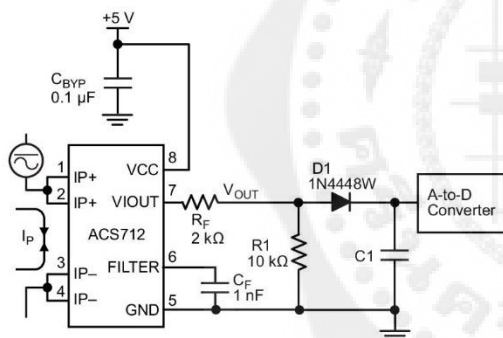
### Typical Applications



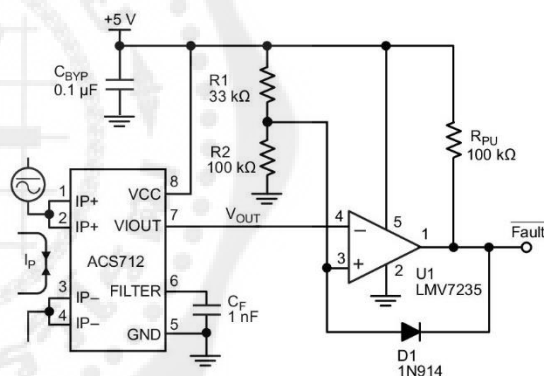
Application 2. Peak Detecting Circuit



Application 3. This configuration increases gain to 610 mV/A (tested using the ACS712ELC-05A).



Application 4. Rectified Output. 3.3 V scaling and rectification application for A-to-D converters. Replaces current transformer solutions with simpler ACS circuit. C1 is a function of the load resistance and filtering desired. R1 can be omitted if the full range is desired.



Application 5. 10 A Overcurrent Fault Latch. Fault threshold set by R1 and R2. This circuit latches an overcurrent fault and holds it until the 5 V rail is powered down.

# ACS712

## Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### Improving Sensing System Accuracy Using the FILTER Pin

In low-frequency sensing applications, it is often advantageous to add a simple RC filter to the output of the device. Such a low-pass filter improves the signal-to-noise ratio, and therefore the resolution, of the device output signal. However, the addition of an RC filter to the output of a sensor IC can result in undesirable device output attenuation — even for DC signals.

Signal attenuation,  $\Delta V_{ATT}$ , is a result of the resistive divider effect between the resistance of the external filter,  $R_F$  (see Application 6), and the input impedance and resistance of the customer interface circuit,  $R_{INTFC}$ . The transfer function of this resistive divider is given by:

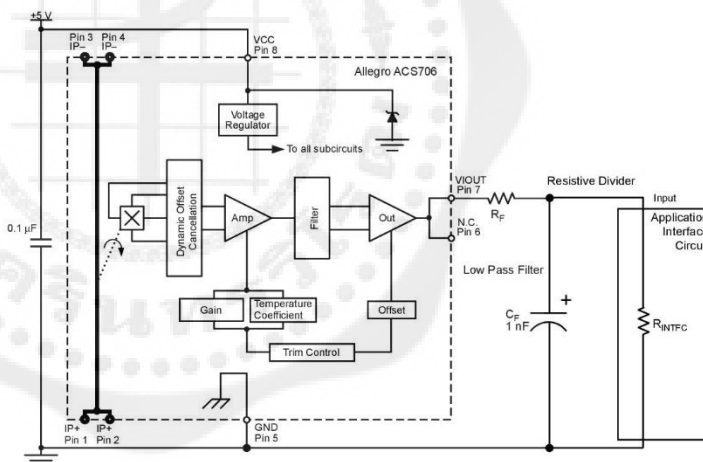
$$\Delta V_{ATT} = V_{IOUT} \left( \frac{R_{INTFC}}{R_F + R_{INTFC}} \right)$$

Even if  $R_F$  and  $R_{INTFC}$  are designed to match, the two individual resistance values will most likely drift by different amounts over

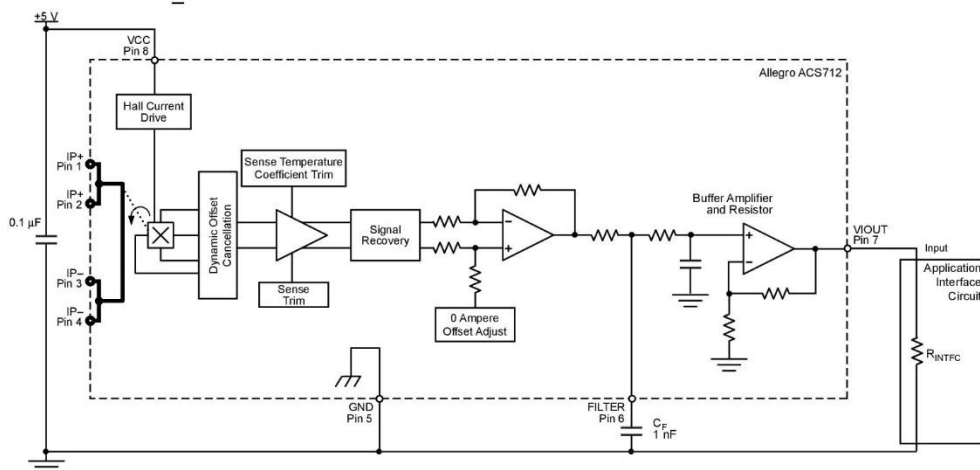
temperature. Therefore, signal attenuation will vary as a function of temperature. Note that, in many cases, the input impedance,  $R_{INTFC}$ , of a typical analog-to-digital converter (ADC) can be as low as 10 k $\Omega$ .

The ACS712 contains an internal resistor, a FILTER pin connection to the printed circuit board, and an internal buffer amplifier. With this circuit architecture, users can implement a simple RC filter via the addition of a capacitor,  $C_F$  (see Application 7) from the FILTER pin to ground. The buffer amplifier inside of the ACS712 (located after the internal resistor and FILTER pin connection) eliminates the attenuation caused by the resistive divider effect described in the equation for  $\Delta V_{ATT}$ . Therefore, the ACS712 device is ideal for use in high-accuracy applications that cannot afford the signal attenuation associated with the use of an external RC low-pass filter.

Application 6. When a low pass filter is constructed externally to a standard Hall effect device, a resistive divider may exist between the filter resistor,  $R_F$ , and the resistance of the customer interface circuit,  $R_{INTFC}$ . This resistive divider will cause excessive attenuation, as given by the transfer function for  $\Delta V_{ATT}$ .



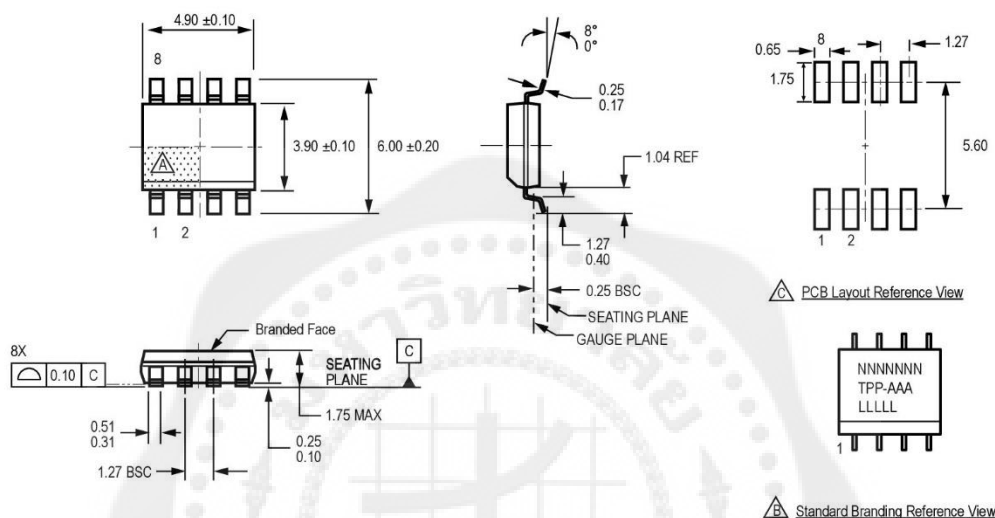
Application 7. Using the FILTER pin provided on the ACS712 eliminates the attenuation effects of the resistor divider between  $R_F$  and  $R_{INTFC}$ , shown in Application 6.



# ACS712

## Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### Package LC, 8-pin SOIC



For Reference Only; not for tooling use (reference MS-012AA)  
Dimensions in millimeters  
Dimensions exclusive of mold flash, gate burrs, and dambar protrusions  
Exact case and lead configuration at supplier discretion within limits shown

- Terminal #1 mark area
- Branding scale and appearance at supplier discretion
- Reference land pattern layout (reference IPC7351)
- SOIC127 P600X175-8M); all pads a minimum of 0.20 mm from all adjacent pads; adjust as necessary to meet application process requirements and PCB layout tolerances

#### Standard Branding Reference View

N = Device part number  
T = Device temperature range  
P = Package Designator  
A = Amperage  
L = Lot number  
Belly Brand = Country of Origin

**ACS712*****Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*****Revision History**

Revision	Revision Date	Description of Revision
Rev. 15	November 16, 2012	Update rise time and isolation, I <sub>OUT</sub> reference data, patents



Copyright ©2006-2013, Allegro MicroSystems, LLC

The products described herein are protected by U.S. patents: 5,621,319; 7,598,601; and 7,709,754.

Allegro MicroSystems, LLC reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro's products are not to be used in life support devices or systems, if a failure of an Allegro product can reasonably be expected to cause the failure of that life support device or system, or to affect the safety or effectiveness of that device or system.

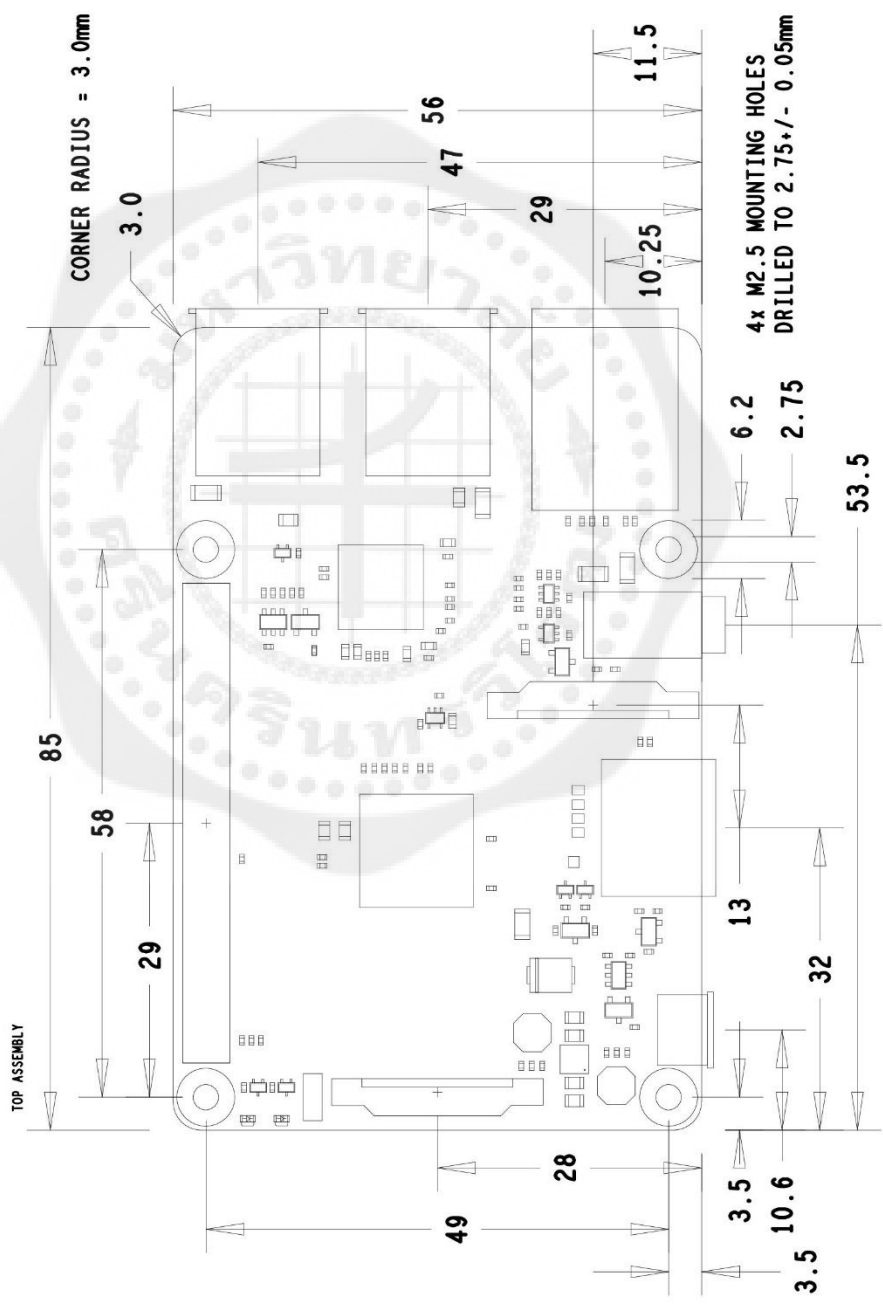
The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, LLC assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

For the latest version of this document, visit our website:

[www.allegromicro.com](http://www.allegromicro.com)



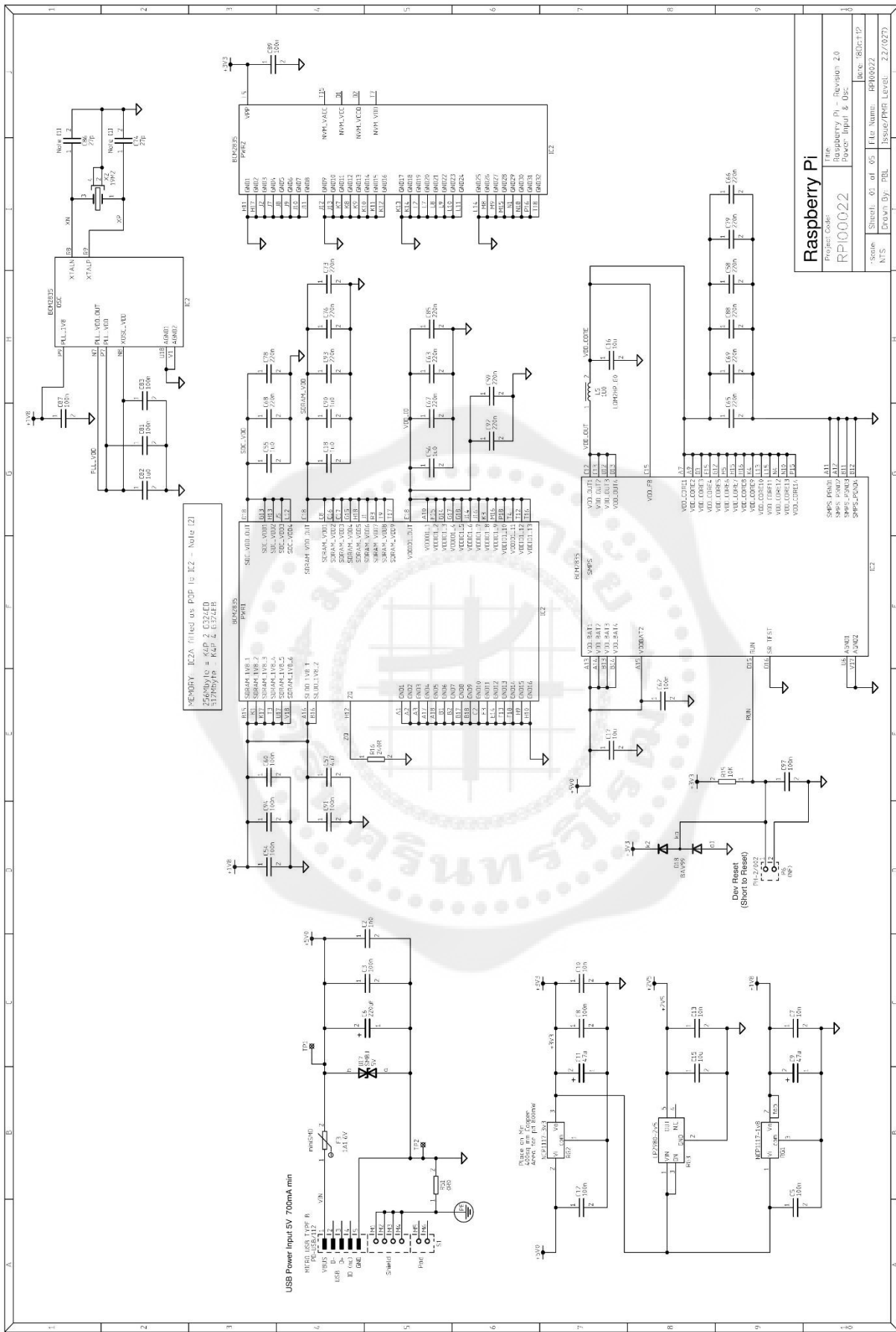
Allegro MicroSystems, LLC  
115 Northeast Cutoff  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1.508.853.5000; [www.allegromicro.com](http://www.allegromicro.com)

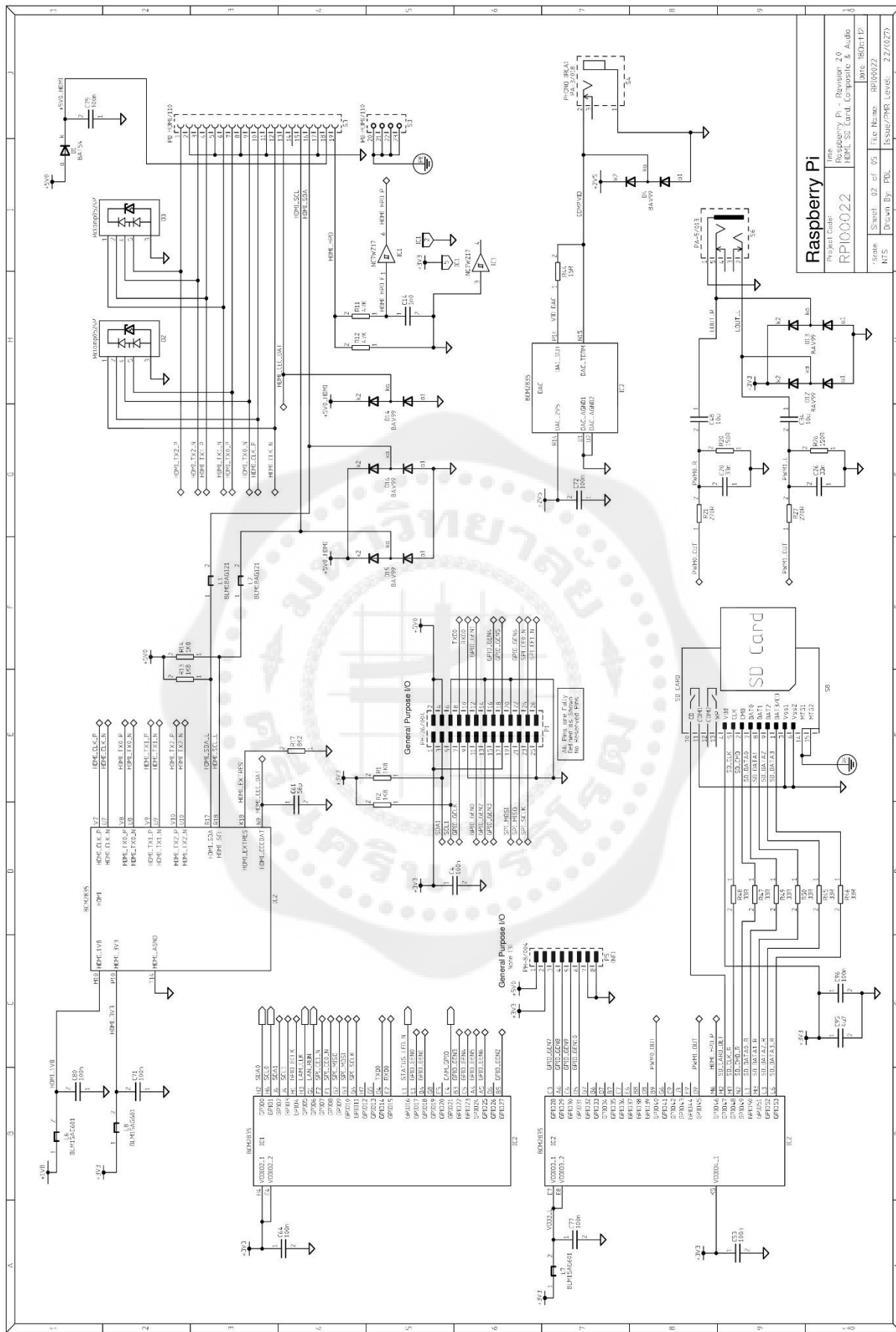


**Raspberry Pi**  
[www.raspberrypi.org](http://www.raspberrypi.org)  
 © Raspberry Pi 2014

TITLE	RASPBERRY PI MODEL B+		
DATE	07/03/2014	REF	RPI-BPLUS-V1_2
DRAWN	James Adams	APVD	James Adams

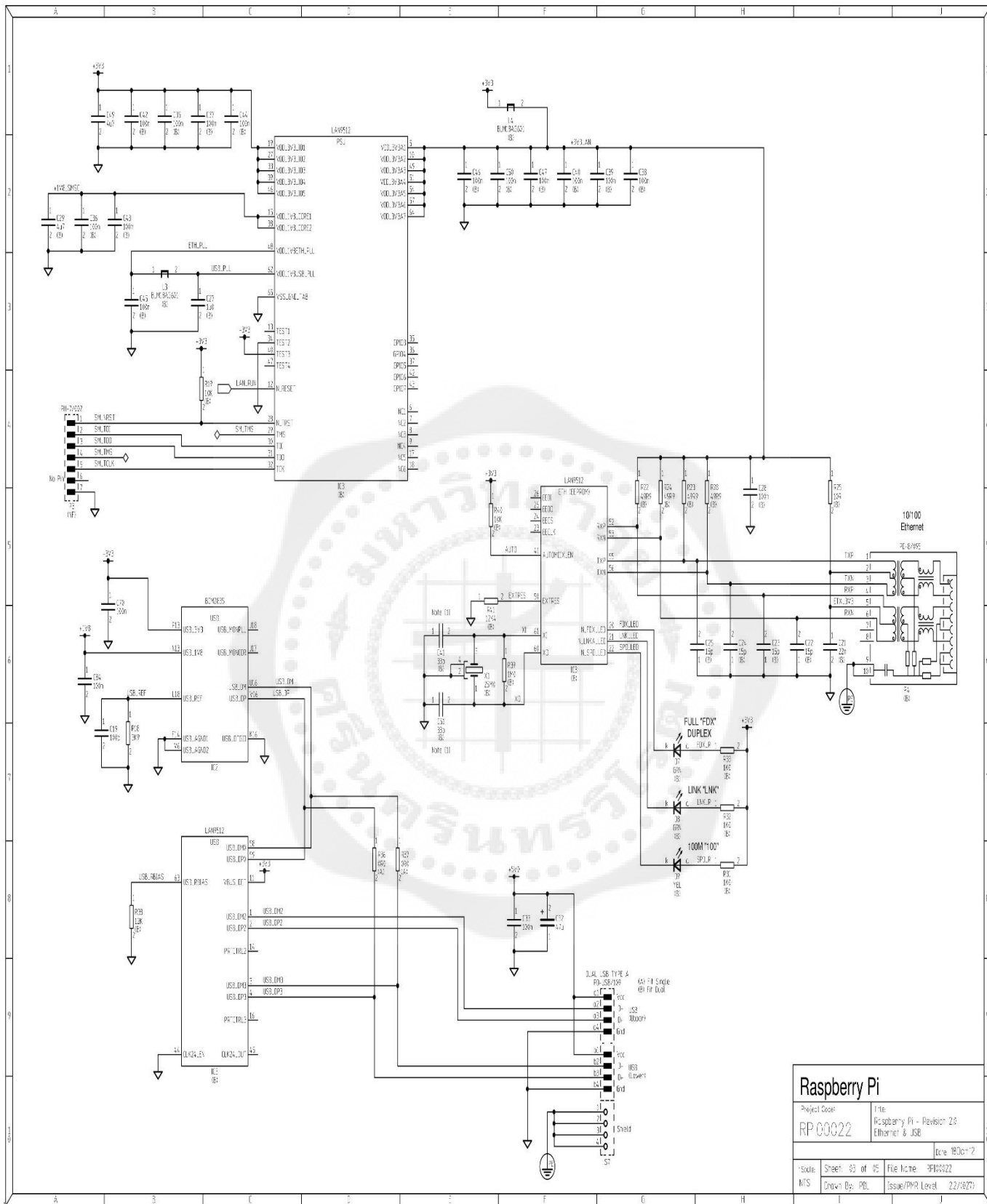
4x M2.5 MOUNTING HOLES  
 DRILLED TO 2.75+/- 0.05mm



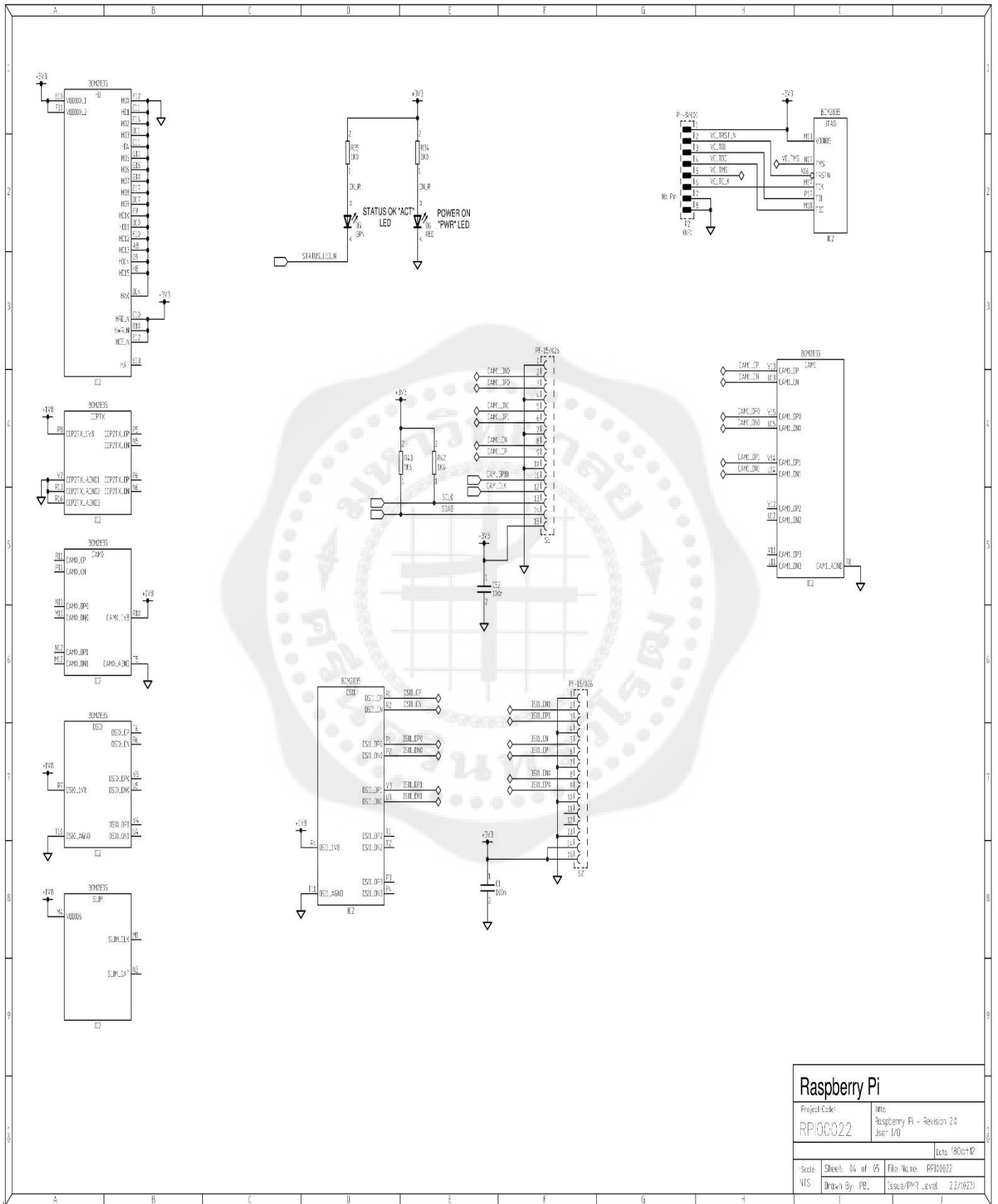


**Raspberry Pi**  
 Project Code: RPI00022  
 Title: Raspberry Pi - Revision 2.0  
 Hbpl, Ss, Card, Composite & Audio  
 Date: 18Oct11P  
 Scale: Sheet 02 of 05  
 File Name: RPI00022  
 NTS  
 Drawn By: PDL  
 Issue/Rev Level: 2.2/0279

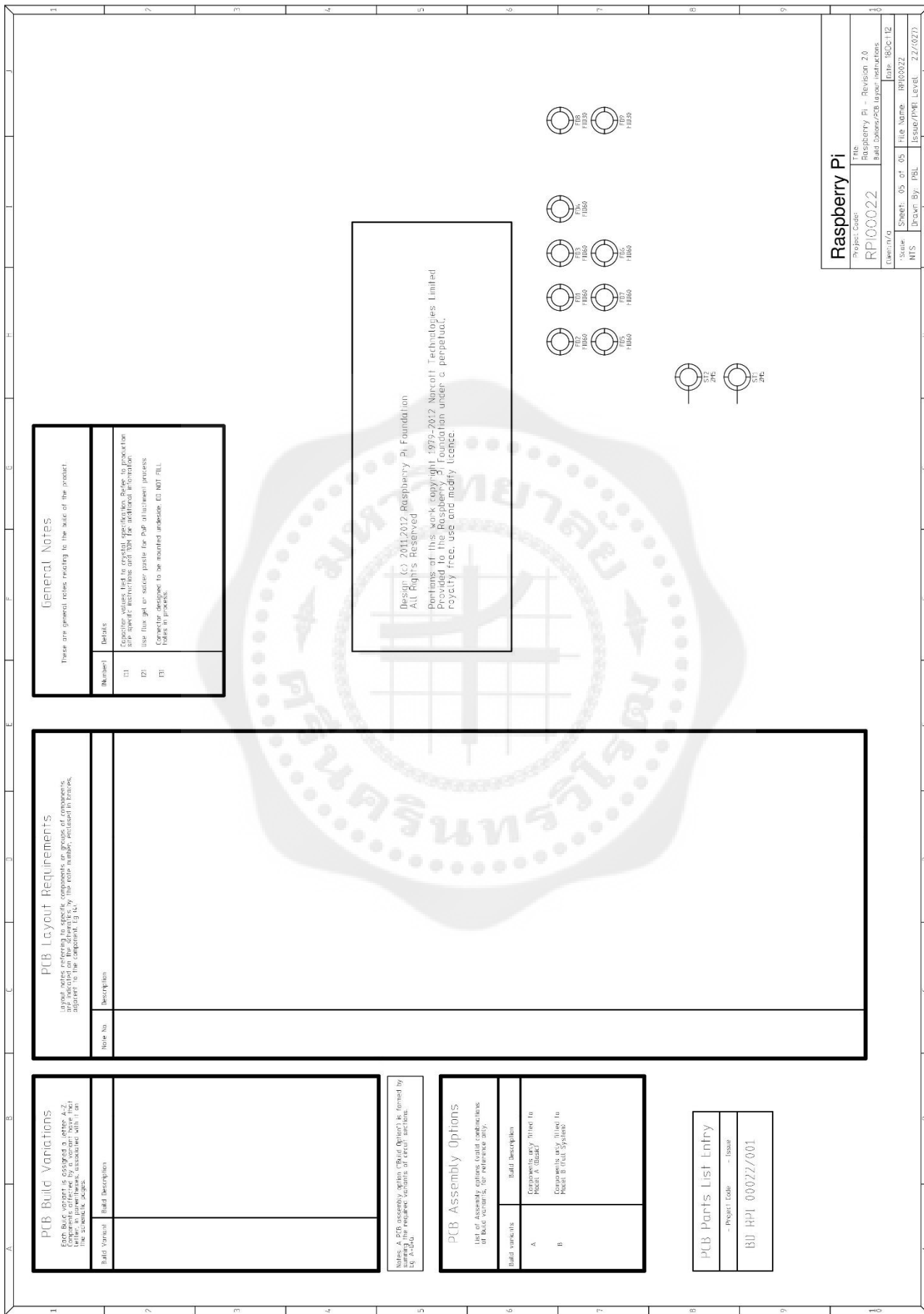




<b>Raspberry Pi</b>	
Project Code: RP 00022	Title: Raspberry Pi - Revision 28 Ethernet & USB
Date: 18/01/17	
Issue: NTS	Sheet: 83 of 95 File Name: RP00022
Drawn By: PBL	Issue/Rev Level: 2.2/18271



<b>Raspberry Pi</b>	
Project Code: <b>RP100022</b>	Title: Raspberry Pi - Revision 2.0 Jser 1/0
Date: 19Oct12	
Scale: WTS	Sheet: 04 of 05
Drawn by: PB.	File Name: RP100022 (Issue/Rev) Level: 2.2/0023



PCB Build Variations	
Build Variant	Build Description

Notes: A BOM assembly option (Build Option) is formed by summing the enclosure variants of each section.

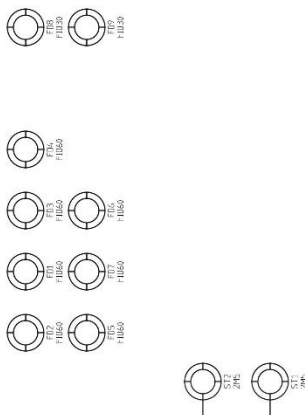
PCB Assembly Options	
Build Variant	Build Description
A	Components only fitted to Mount A Board
B	Components only fitted to Mount B Full System

PCB Parts List Entry	
- Project Code	- Issue
BU HPI	00022/001

PCB Layout Requirements	
Note No	Description

General Notes	
(Number)	Details

Design (c) 2011-2012 Raspberry Pi Foundation  
 All Rights Reserved  
 Portions of this work copyright 1999-2012 Narcott Technologies Limited  
 Provided to the Raspberry Pi Foundation under a perpetual, royalty free, use and modify licence.



Raspberry Pi	
Project Code	Title
RPI00022	Raspberry Pi - Revision 2.0
	Build Comments/PCB layout instructions
Drawn/In/Of	Date
	18/01/12
Scale	File Name
MTS	RPI00022
Drawn By	Issue/Print Level
PSL	227/0020



# MCP3204/3208

## 2.7V 4-Channel/8-Channel 12-Bit A/D Converters with SPI Serial Interface

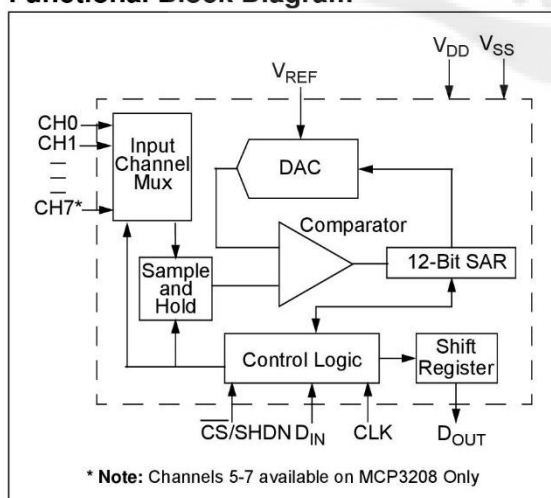
### Features

- 12-bit resolution
- $\pm 1$  LSB max DNL
- $\pm 1$  LSB max INL (MCP3204/3208-B)
- $\pm 2$  LSB max INL (MCP3204/3208-C)
- 4 (MCP3204) or 8 (MCP3208) input channels
- Analog inputs programmable as single-ended or pseudo-differential pairs
- On-chip sample and hold
- SPI serial interface (modes 0,0 and 1,1)
- Single supply operation: 2.7V - 5.5V
- 100 kps max. sampling rate at  $V_{DD} = 5V$
- 50 kps max. sampling rate at  $V_{DD} = 2.7V$
- Low power CMOS technology:
  - 500 nA typical standby current, 2  $\mu A$  max.
  - 400  $\mu A$  max. active current at 5V
- Industrial temp range:  $-40^{\circ}C$  to  $+85^{\circ}C$
- Available in PDIP, SOIC and TSSOP packages

### Applications

- Sensor Interface
- Process Control
- Data Acquisition
- Battery Operated Systems

### Functional Block Diagram



### Description

The Microchip Technology Inc. MCP3204/3208 devices are successive approximation 12-bit Analog-to-Digital (A/D) Converters with on-board sample and hold circuitry. The MCP3204 is programmable to provide two pseudo-differential input pairs or four single-ended inputs. The MCP3208 is programmable to provide four pseudo-differential input pairs or eight single-ended inputs. Differential Nonlinearity (DNL) is specified at  $\pm 1$  LSB, while Integral Nonlinearity (INL) is offered in  $\pm 1$  LSB (MCP3204/3208-B) and  $\pm 2$  LSB (MCP3204/3208-C) versions.

Communication with the devices is accomplished using a simple serial interface compatible with the SPI protocol. The devices are capable of conversion rates of up to 100 kps. The MCP3204/3208 devices operate over a broad voltage range (2.7V - 5.5V). Low current design permits operation with typical standby and active currents of only 500 nA and 320  $\mu A$ , respectively. The MCP3204 is offered in 14-pin PDIP, 150 mil SOIC and TSSOP packages. The MCP3208 is offered in 16-pin PDIP and SOIC packages.

### Package Types

#### PDIP, SOIC, TSSOP

CH0	1	14	$V_{DD}$
CH1	2	13	$V_{REF}$
CH2	3	12	AGND
CH3	4	11	CLK
NC	5	10	D <sub>OUT</sub>
NC	6	9	D <sub>IN</sub>
DGND	7	8	CS/SHDN

#### PDIP, SOIC

CH0	1	16	$V_{DD}$
CH1	2	15	$V_{REF}$
CH2	3	14	AGND
CH3	4	13	CLK
CH4	5	12	D <sub>OUT</sub>
CH5	6	11	D <sub>IN</sub>
CH6	7	10	CS/SHDN
CH7	8	9	DGND

# MCP3204/3208

## 1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

### Absolute Maximum Ratings†

$V_{DD}$ .....	7.0V
All inputs and outputs w.r.t. $V_{SS}$ .....	-0.6V to $V_{DD}$ +0.6V
Storage temperature .....	-65°C to +150°C
Ambient temp. with power applied .....	-65°C to +125°C
Soldering temperature of leads (10 seconds) .....	+300°C
ESD protection on all pins .....	> 4 kV

†**Notice:** Stresses above those listed under "Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operation listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### ELECTRICAL SPECIFICATIONS

**Electrical Characteristics:** Unless otherwise noted, all parameters apply at  $V_{DD} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $V_{REF} = 5V$ ,  $T_A = -40^{\circ}C$  to  $+85^{\circ}C$ ,  $f_{SAMPLE} = 100$  ksp/s and  $f_{CLK} = 20 * f_{SAMPLE}$

Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
<b>Conversion Rate</b>						
Conversion Time	$t_{CONV}$	—	—	12	clock cycles	
Analog Input Sample Time	$t_{SAMPLE}$	1.5			clock cycles	
Throughput Rate	$f_{SAMPLE}$	—	—	100	ksp/s	$V_{DD} = V_{REF} = 5V$ $V_{DD} = V_{REF} = 2.7V$
		—	—	50	ksp/s	
<b>DC Accuracy</b>						
Resolution		12			bits	
Integral Nonlinearity	INL	—	$\pm 0.75$ $\pm 1.0$	$\pm 1$ $\pm 2$	LSB	MCP3204/3208-B MCP3204/3208-C
Differential Nonlinearity	DNL	—	$\pm 0.5$	$\pm 1$	LSB	No missing codes over-temperature
Offset Error		—	$\pm 1.25$	$\pm 3$	LSB	
Gain Error		—	$\pm 1.25$	$\pm 5$	LSB	
<b>Dynamic Performance</b>						
Total Harmonic Distortion		—	-82	—	dB	$V_{IN} = 0.1V$ to $4.9V @ 1$ kHz
Signal to Noise and Distortion (SINAD)		—	72	—	dB	$V_{IN} = 0.1V$ to $4.9V @ 1$ kHz
Spurious Free Dynamic Range		—	86	—	dB	$V_{IN} = 0.1V$ to $4.9V @ 1$ kHz
<b>Reference Input</b>						
Voltage Range		0.25	—	$V_{DD}$	V	<b>Note 2</b>
Current Drain		—	100	150	$\mu A$	$\overline{CS} = V_{DD} = 5V$
		—	0.001	3.0	$\mu A$	
<b>Analog Inputs</b>						
Input Voltage Range for CH0-CH7 in Single-Ended Mode		$V_{SS}$	—	$V_{REF}$	V	
Input Voltage Range for IN+ in pseudo-differential Mode		IN-	—	$V_{REF} + IN-$		

**Note 1:** This parameter is established by characterization and not 100% tested.

**2:** See graphs that relate linearity performance to  $V_{REF}$  levels.

**3:** Because the sample cap will eventually lose charge, effective clock rates below 10 kHz can affect linearity performance, particularly at elevated temperatures. See **Section 6.2 "Maintaining Minimum Clock Speed"**, "Maintaining Minimum Clock Speed", for more information.

# MCP3204/3208

## ELECTRICAL SPECIFICATIONS (CONTINUED)

<b>Electrical Characteristics:</b> Unless otherwise noted, all parameters apply at $V_{DD} = 5V$ , $V_{SS} = 0V$ , $V_{REF} = 5V$ , $T_A = -40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$ , $f_{SAMPLE} = 100$ ksp/s and $f_{CLK} = 20 * f_{SAMPLE}$						
Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Input Voltage Range for IN- in pseudo-differential Mode		$V_{SS}-100$	—	$V_{SS}+100$	mV	
Leakage Current		—	0.001	$\pm 1$	$\mu A$	
Switch Resistance		—	1000	—	$\Omega$	See Figure 4-1
Sample Capacitor		—	20	—	pF	See Figure 4-1
<b>Digital Input/Output</b>						
Data Coding Format		Straight Binary				
High Level Input Voltage	$V_{IH}$	$0.7 V_{DD}$	—	—	V	
Low Level Input Voltage	$V_{IL}$	—	—	$0.3 V_{DD}$	V	
High Level Output Voltage	$V_{OH}$	4.1	—	—	V	$I_{OH} = -1$ mA, $V_{DD} = 4.5V$
Low Level Output Voltage	$V_{OL}$	—	—	0.4	V	$I_{OL} = 1$ mA, $V_{DD} = 4.5V$
Input Leakage Current	$I_{LI}$	-10	—	10	$\mu A$	$V_{IN} = V_{SS}$ or $V_{DD}$
Output Leakage Current	$I_{LO}$	-10	—	10	$\mu A$	$V_{OUT} = V_{SS}$ or $V_{DD}$
Pin Capacitance (All Inputs/Outputs)	$C_{IN}, C_{OUT}$	—	—	10	pF	$V_{DD} = 5.0V$ (Note 1) $T_A = 25^{\circ}C$ , $f = 1$ MHz
<b>Timing Parameters</b>						
Clock Frequency	$f_{CLK}$	—	—	2.0	MHz	$V_{DD} = 5V$ (Note 3)
		—	—	1.0	MHz	$V_{DD} = 2.7V$ (Note 3)
Clock High Time	$t_{HI}$	250	—	—	ns	
Clock Low Time	$t_{LO}$	250	—	—	ns	
CS Fall To First Rising CLK Edge	$t_{SUCS}$	100	—	—	ns	
Data Input Setup Time	$t_{SU}$	50	—	—	ns	
Data Input Hold Time	$t_{HD}$	50	—	—	ns	
CLK Fall To Output Data Valid	$t_{DO}$	—	—	200	ns	See Figures 1-2 and 1-3
CLK Fall To Output Enable	$t_{EN}$	—	—	200	ns	See Figures 1-2 and 1-3
CS Rise To Output Disable	$t_{DIS}$	—	—	100	ns	See Figures 1-2 and 1-3
CS Disable Time	$t_{CSH}$	500	—	—	ns	
$D_{OUT}$ Rise Time	$t_R$	—	—	100	ns	See Figures 1-2 and 1-3 (Note 1)
$D_{OUT}$ Fall Time	$t_F$	—	—	100	ns	See Figures 1-2 and 1-3 (Note 1)
<b>Power Requirements</b>						
Operating Voltage	$V_{DD}$	2.7	—	5.5	V	
Operating Current	$I_{DD}$	—	320 225	400 —	$\mu A$	$V_{DD}=V_{REF} = 5V$ , $D_{OUT}$ unloaded $V_{DD}=V_{REF} = 2.7V$ , $D_{OUT}$ unloaded
Standby Current	$I_{DSS}$	—	0.5	2.0	$\mu A$	$\overline{CS} = V_{DD} = 5.0V$

**Note 1:** This parameter is established by characterization and not 100% tested.

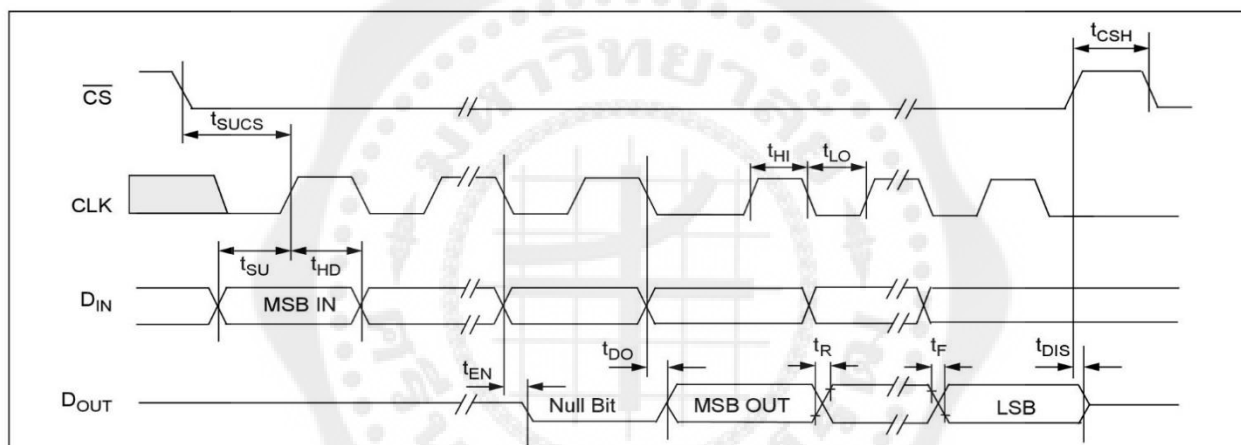
**2:** See graphs that relate linearity performance to  $V_{REF}$  levels.

**3:** Because the sample cap will eventually lose charge, effective clock rates below 10 kHz can affect linearity performance, particularly at elevated temperatures. See Section 6.2 “Maintaining Minimum Clock Speed”, “Maintaining Minimum Clock Speed”, for more information.

# MCP3204/3208

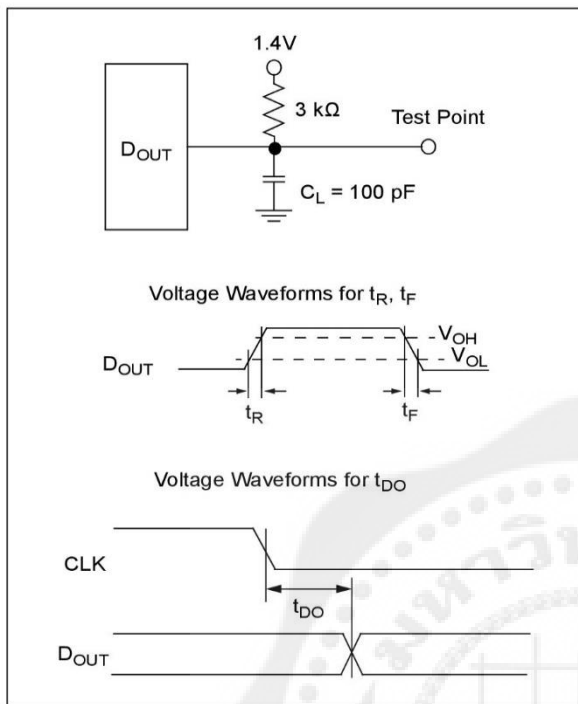
## TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, $V_{DD} = 5V$ , $V_{SS} = 0V$ , $V_{REF} = 5V$						
Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
<b>Temperature Ranges</b>						
Specified Temperature Range	$T_A$	-40	—	+125	$^{\circ}C$	
Operating Temperature Range	$T_A$	-40	—	+125	$^{\circ}C$	
Storage Temperature Range	$T_A$	-65	—	+150	$^{\circ}C$	
<b>Thermal Package Resistances</b>						
Thermal Resistance, 14L-PDIP	$\theta_{JA}$	—	70	—	$^{\circ}C/W$	
Thermal Resistance, 14L-SOIC	$\theta_{JA}$	—	95.3	—	$^{\circ}C/W$	
Thermal Resistance, 14L-TSSOP	$\theta_{JA}$	—	100	—	$^{\circ}C/W$	
Thermal Resistance, 16L-PDIP	$\theta_{JA}$	—	70	—	$^{\circ}C/W$	
Thermal Resistance, 16L-SOIC	$\theta_{JA}$	—	86.1	—	$^{\circ}C/W$	

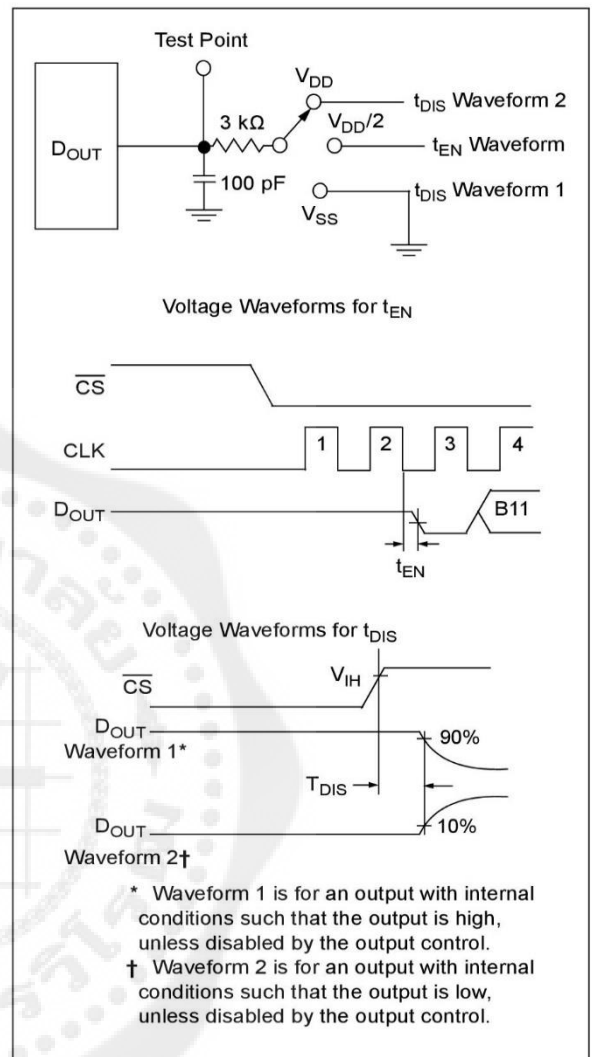


**FIGURE 1-1:** Serial Interface Timing.

# MCP3204/3208



**FIGURE 1-2:** Load Circuit for  $t_R, t_F, t_{DO}$ .



**FIGURE 1-3:** Load circuit for  $t_{DIS}$  and  $t_{EN}$ .

\* Waveform 1 is for an output with internal conditions such that the output is high, unless disabled by the output control.

† Waveform 2 is for an output with internal conditions such that the output is low, unless disabled by the output control.

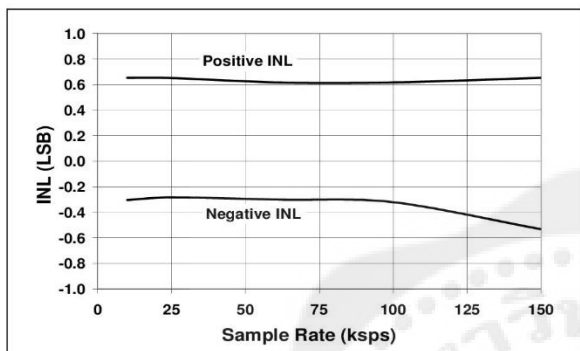


# MCP3204/3208

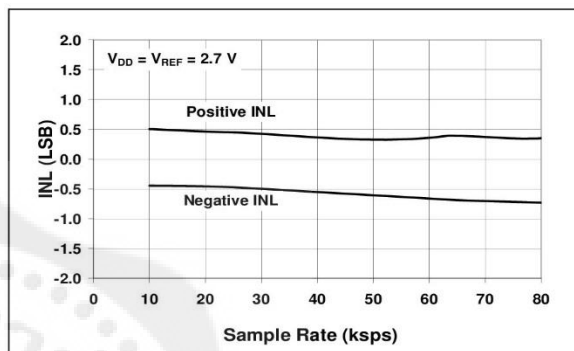
## 2.0 TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

**Note:** The graphs and tables provided following this note are a statistical summary based on a limited number of samples and are provided for informational purposes only. The performance characteristics listed herein are not tested or guaranteed. In some graphs or tables, the data presented may be outside the specified operating range (e.g., outside specified power supply range) and therefore outside the warranted range.

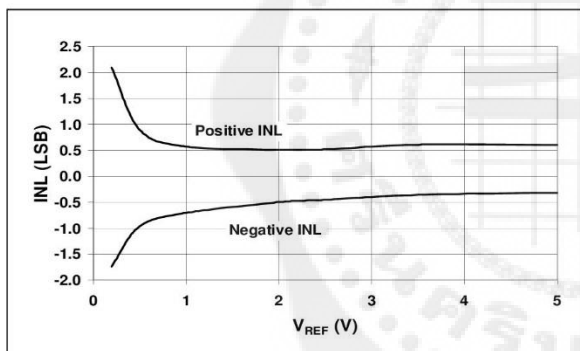
**Note:** Unless otherwise indicated,  $V_{DD} = V_{REF} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $f_{SAMPLE} = 100$  kpsps,  $f_{CLK} = 20 * f_{SAMPLE}$ ,  $T_A = +25^{\circ}C$ .



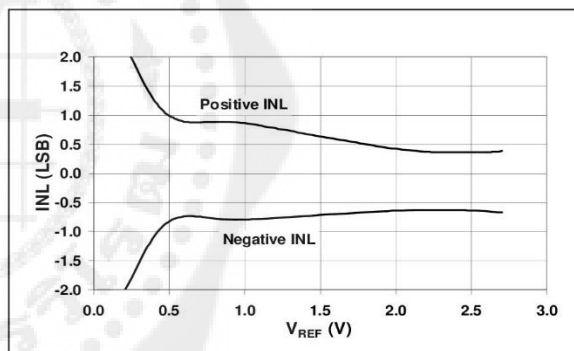
**FIGURE 2-1:** Integral Nonlinearity (INL) vs. Sample Rate.



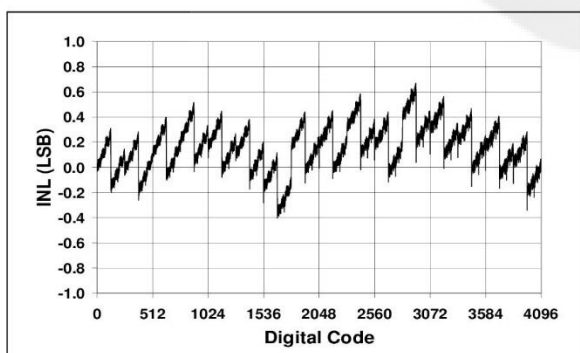
**FIGURE 2-4:** Integral Nonlinearity (INL) vs. Sample Rate ( $V_{DD} = 2.7V$ ).



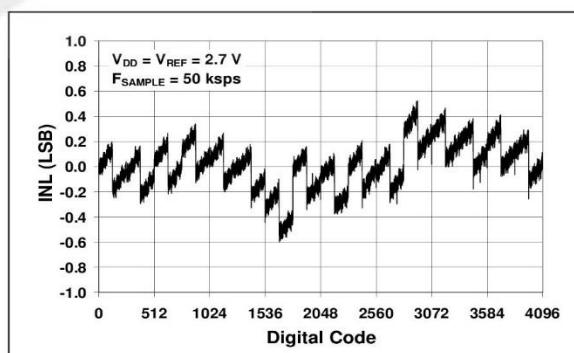
**FIGURE 2-2:** Integral Nonlinearity (INL) vs.  $V_{REF}$ .



**FIGURE 2-5:** Integral Nonlinearity (INL) vs.  $V_{REF}$  ( $V_{DD} = 2.7V$ ).



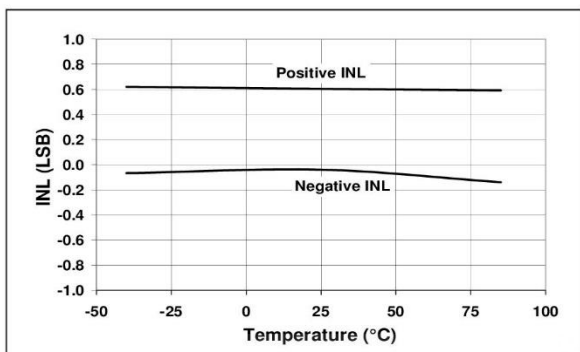
**FIGURE 2-3:** Integral Nonlinearity (INL) vs. Code (Representative Part).



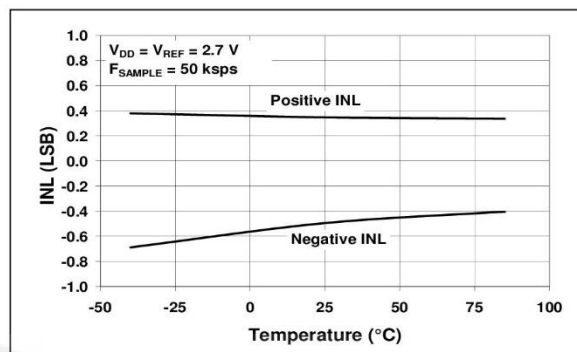
**FIGURE 2-6:** Integral Nonlinearity (INL) vs. Code (Representative Part,  $V_{DD} = 2.7V$ ).

# MCP3204/3208

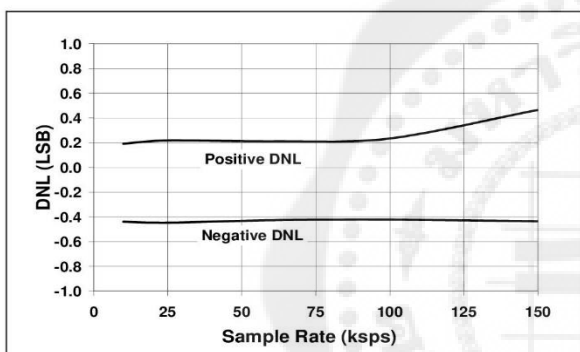
**Note:** Unless otherwise indicated,  $V_{DD} = V_{REF} = 5\text{ V}$ ,  $V_{SS} = 0\text{ V}$ ,  $f_{SAMPLE} = 100\text{ kpsps}$ ,  $f_{CLK} = 20 * f_{SAMPLE}$ ,  $T_A = +25^\circ\text{C}$ .



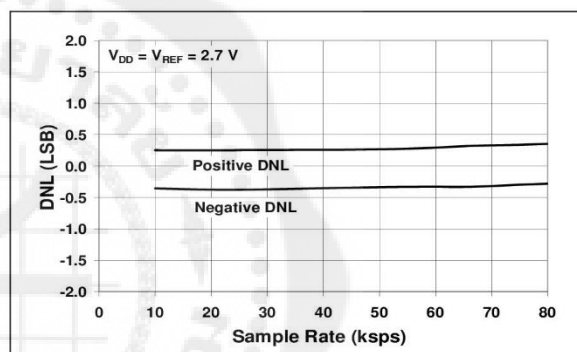
**FIGURE 2-7:** Integral Nonlinearity (INL) vs. Temperature.



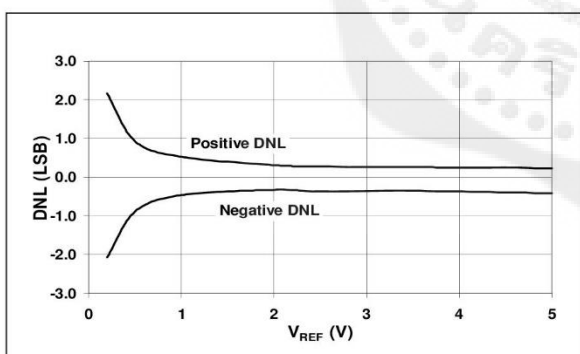
**FIGURE 2-10:** Integral Nonlinearity (INL) vs. Temperature ( $V_{DD} = 2.7\text{V}$ ).



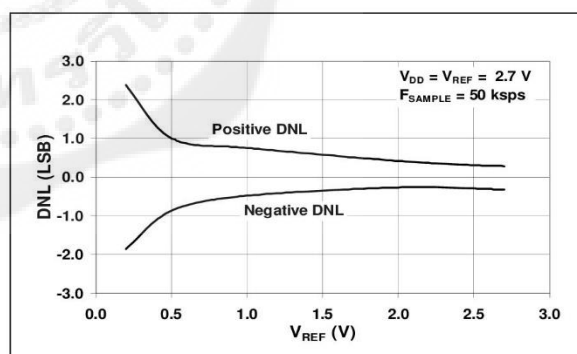
**FIGURE 2-8:** Differential Nonlinearity (DNL) vs. Sample Rate.



**FIGURE 2-11:** Differential Nonlinearity (DNL) vs. Sample Rate ( $V_{DD} = 2.7\text{V}$ ).



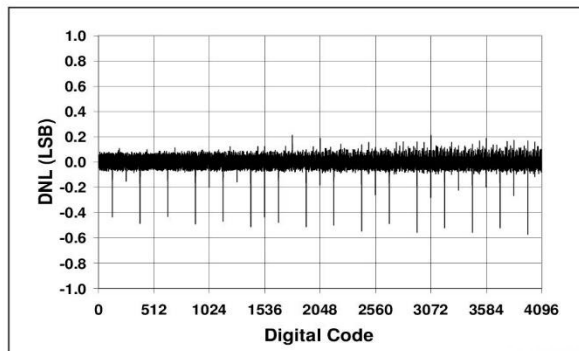
**FIGURE 2-9:** Differential Nonlinearity (DNL) vs.  $V_{REF}$ .



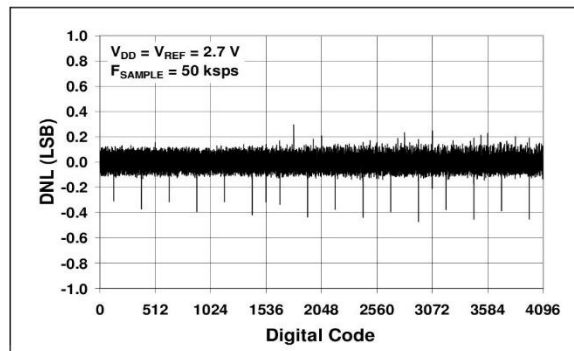
**FIGURE 2-12:** Differential Nonlinearity (DNL) vs.  $V_{REF}$  ( $V_{DD} = 2.7\text{V}$ ).

# MCP3204/3208

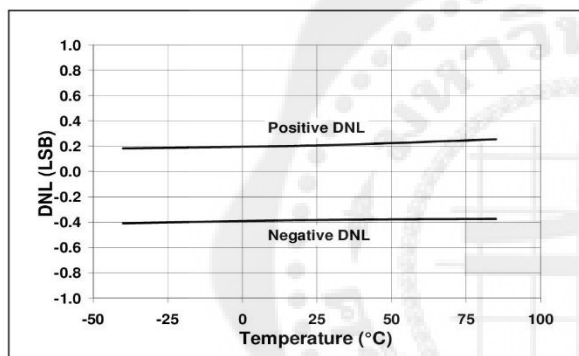
**Note:** Unless otherwise indicated,  $V_{DD} = V_{REF} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $f_{SAMPLE} = 100$  kpsps,  $f_{CLK} = 20 * f_{SAMPLE}$ ,  $T_A = +25^{\circ}C$ .



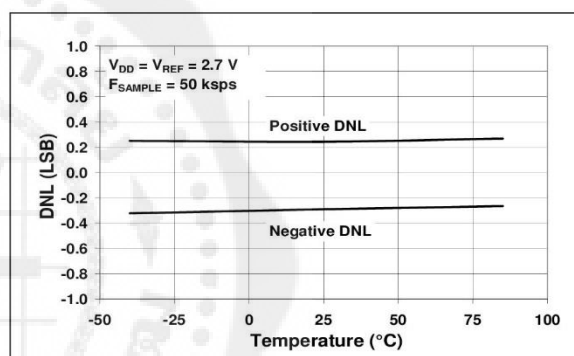
**FIGURE 2-13:** Differential Nonlinearity (DNL) vs. Code (Representative Part).



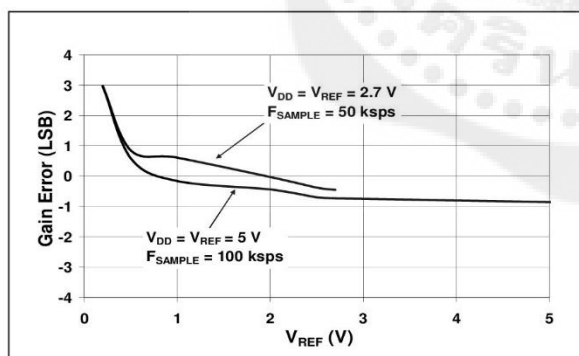
**FIGURE 2-16:** Differential Nonlinearity (DNL) vs. Code (Representative Part,  $V_{DD} = 2.7V$ ).



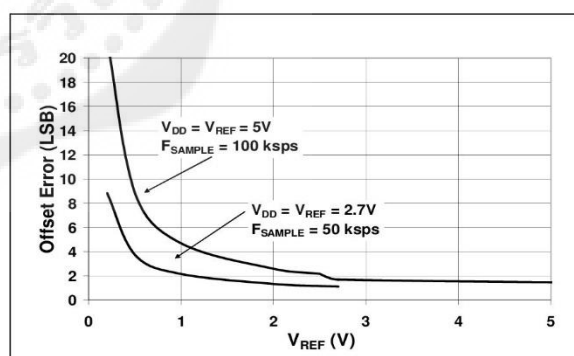
**FIGURE 2-14:** Differential Nonlinearity (DNL) vs. Temperature.



**FIGURE 2-17:** Differential Nonlinearity (DNL) vs. Temperature ( $V_{DD} = 2.7V$ ).



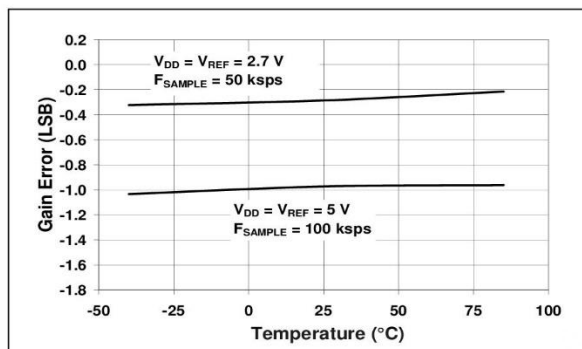
**FIGURE 2-15:** Gain Error vs.  $V_{REF}$ .



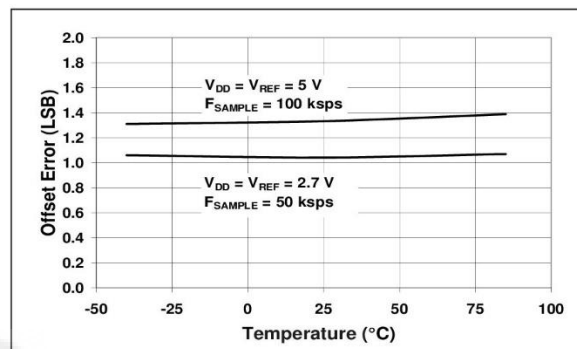
**FIGURE 2-18:** Offset Error vs.  $V_{REF}$ .

# MCP3204/3208

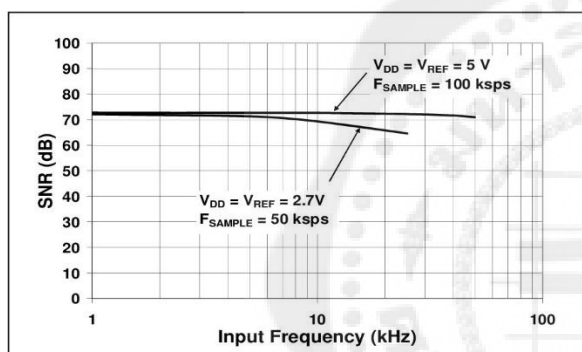
**Note:** Unless otherwise indicated,  $V_{DD} = V_{REF} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $f_{SAMPLE} = 100$  kps,  $f_{CLK} = 20 * f_{SAMPLE}$ ,  $T_A = +25^{\circ}C$ .



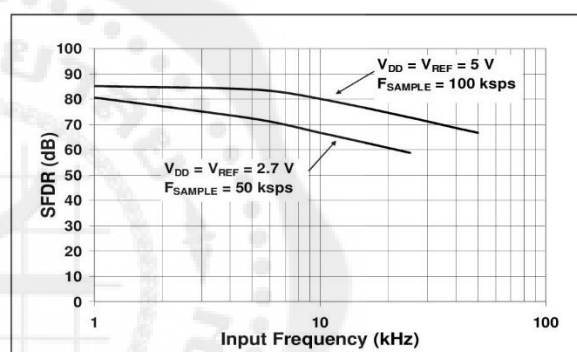
**FIGURE 2-19:** Gain Error vs. Temperature.



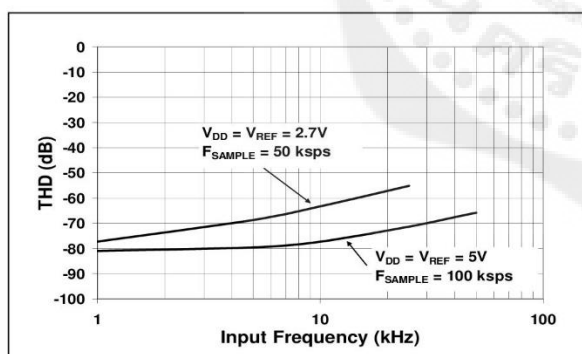
**FIGURE 2-22:** Offset Error vs. Temperature.



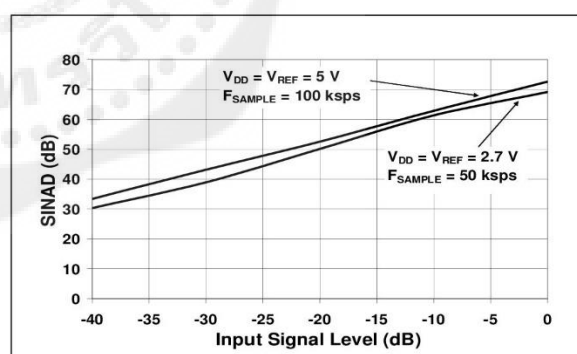
**FIGURE 2-20:** Signal-to-Noise (SNR) vs. Input Frequency.



**FIGURE 2-23:** Signal-to-Noise and Distortion (SINAD) vs. Input Frequency.



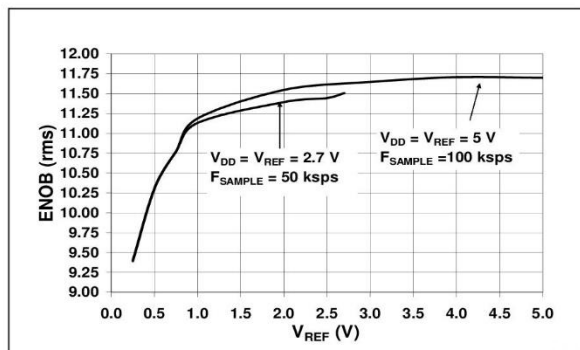
**FIGURE 2-21:** Total Harmonic Distortion (THD) vs. Input Frequency.



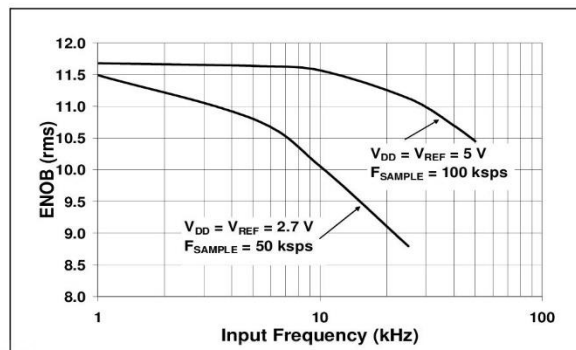
**FIGURE 2-24:** Signal-to-Noise and Distortion (SINAD) vs. Input Signal Level.

# MCP3204/3208

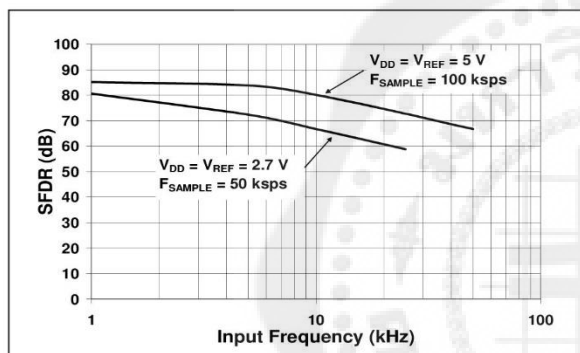
**Note:** Unless otherwise indicated,  $V_{DD} = V_{REF} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $f_{SAMPLE} = 100$  ksp/s,  $f_{CLK} = 20 * f_{SAMPLE}$ ,  $T_A = +25^{\circ}C$ .



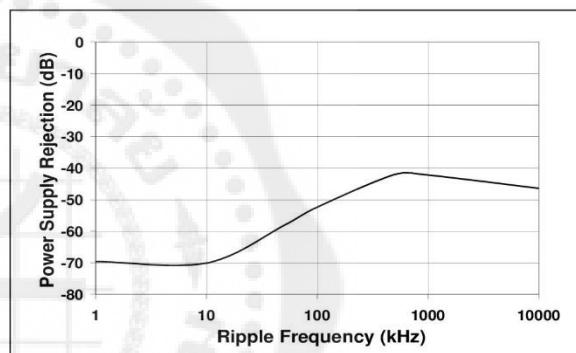
**FIGURE 2-25:** Effective Number of Bits (ENOB) vs.  $V_{REF}$



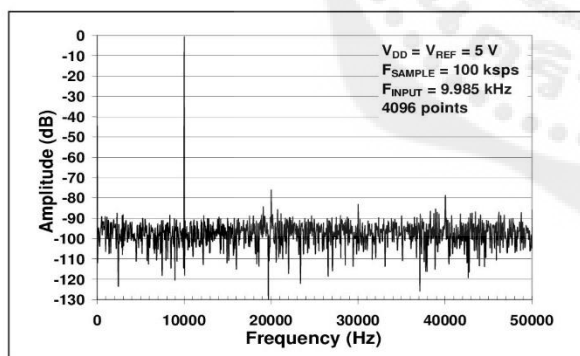
**FIGURE 2-28:** Effective Number of Bits (ENOB) vs. Input Frequency.



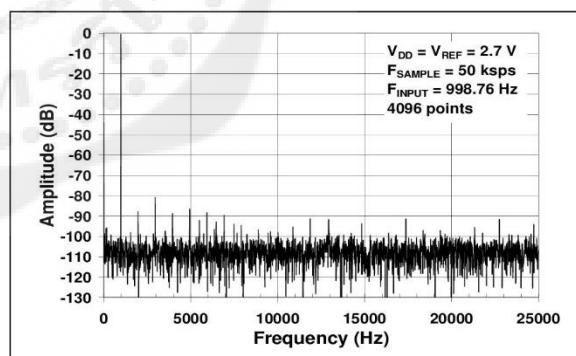
**FIGURE 2-26:** Spurious Free Dynamic Range (SFDR) vs. Input Frequency.



**FIGURE 2-29:** Power Supply Rejection (PSR) vs. Ripple Frequency.



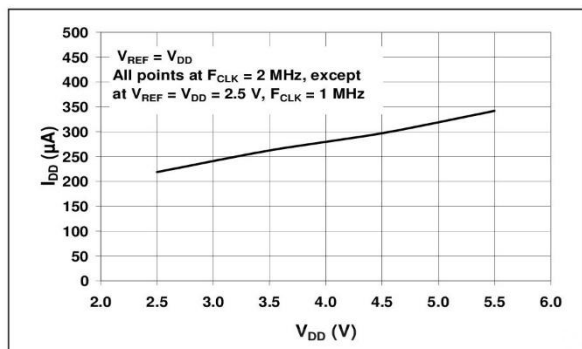
**FIGURE 2-27:** Frequency Spectrum of 10 kHz input (Representative Part).



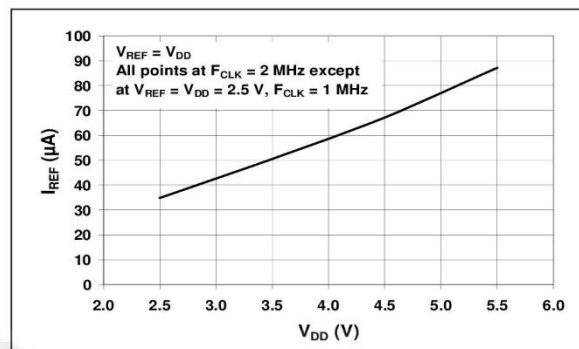
**FIGURE 2-30:** Frequency Spectrum of 1 kHz input (Representative Part,  $V_{DD} = 2.7V$ ).

# MCP3204/3208

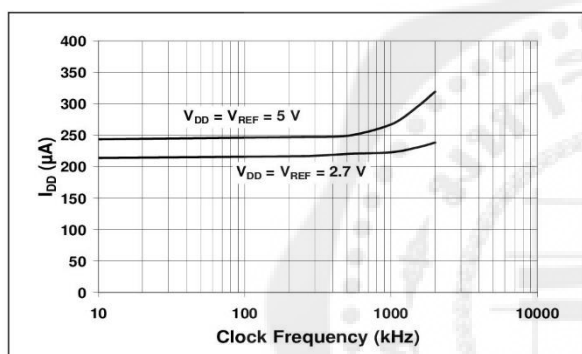
**Note:** Unless otherwise indicated,  $V_{DD} = V_{REF} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $f_{SAMPLE} = 100$  ksp/s,  $f_{CLK} = 20 * f_{SAMPLE}$ ,  $T_A = +25^{\circ}C$ .



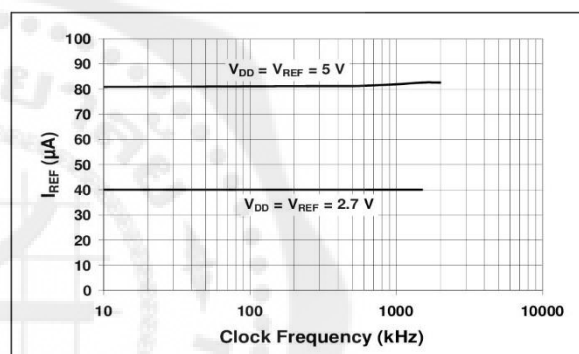
**FIGURE 2-31:**  $I_{DD}$  vs.  $V_{DD}$ .



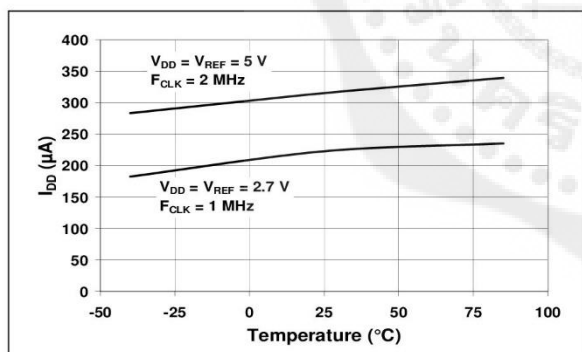
**FIGURE 2-34:**  $I_{REF}$  vs.  $V_{DD}$ .



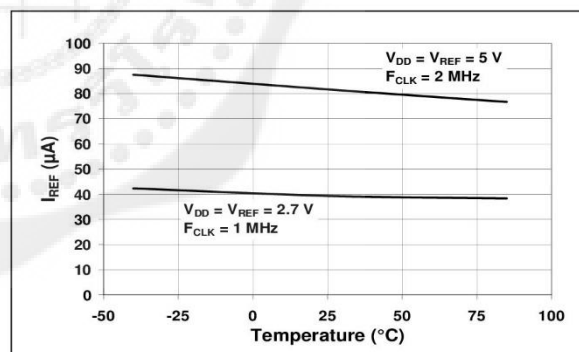
**FIGURE 2-32:**  $I_{DD}$  vs. Clock Frequency.



**FIGURE 2-35:**  $I_{REF}$  vs. Clock Frequency.



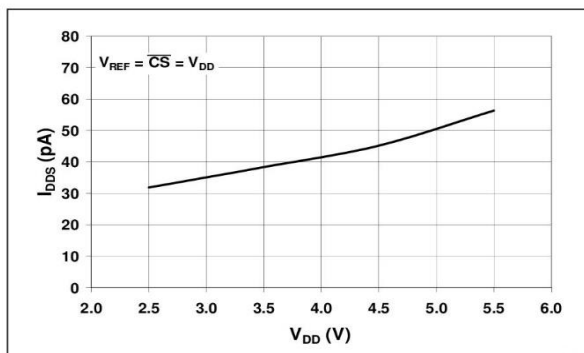
**FIGURE 2-33:**  $I_{DD}$  vs. Temperature.



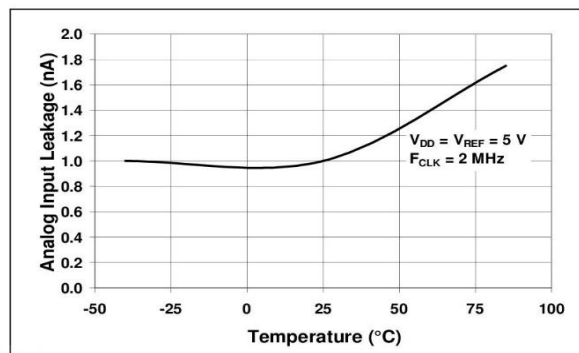
**FIGURE 2-36:**  $I_{REF}$  vs. Temperature.

# MCP3204/3208

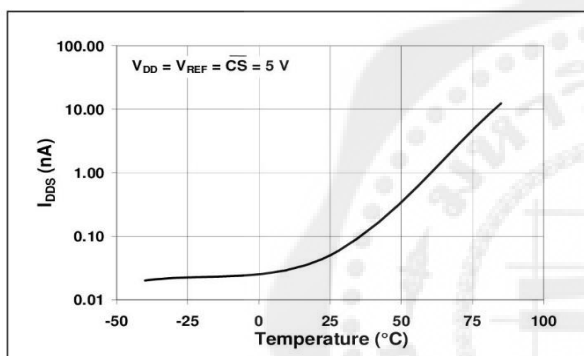
**Note:** Unless otherwise indicated,  $V_{DD} = V_{REF} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $f_{SAMPLE} = 100$  ksps,  $f_{CLK} = 20 * f_{SAMPLE}$ ,  $T_A = +25^{\circ}C$ .



**FIGURE 2-37:**  $I_{DDS}$  vs.  $V_{DD}$ .



**FIGURE 2-39:** Analog Input Leakage Current vs. Temperature.



**FIGURE 2-38:**  $I_{DDS}$  vs. Temperature.

# MCP3204/3208

## 3.0 PIN DESCRIPTIONS

The descriptions of the pins are listed in [Table 3-1](#).

**TABLE 3-1: PIN FUNCTION TABLE**

MCP3204	MCP3208	Symbol	Definition
PDIP, SOIC, TSSOP	PDIP, SOIC		
1	1	CH0	Analog Input
2	2	CH1	Analog Input
3	3	CH2	Analog Input
4	4	CH3	Analog Input
—	5	CH4	Analog Input
—	6	CH5	Analog Input
—	7	CH6	Analog Input
—	8	CH7	Analog Input
7	9	DGND	Digital Ground
8	10	$\overline{\text{CS}}/\text{SHDN}$	Chip Select/Shutdown Input
9	11	D <sub>IN</sub>	Serial Data In
10	12	D <sub>OUT</sub>	Serial Data Out
11	13	CLK	Serial Clock
12	14	AGND	Analog Ground
13	15	V <sub>REF</sub>	Reference Voltage Input
14	16	V <sub>DD</sub>	+2.7V to 5.5V Power Supply
5, 6	—	NC	No Connection

### 3.1 Digital Ground (DGND)

Digital ground connection to internal digital circuitry.

### 3.2 Analog Ground (AGND)

Analog ground connection to internal analog circuitry.

### 3.3 Analog Inputs (CH0 - CH7)

Analog inputs for channels 0 - 7 for the multiplexed inputs. Each pair of channels can be programmed to be used as two independent channels in single-ended mode or as a single pseudo-differential input, where one channel is IN+ and one channel is IN-. See [Section 4.1 “Analog Inputs”](#), “Analog Inputs”, and [Section 5.0 “Serial communications”](#), “Serial Communications”, for information on programming the channel configuration.

### 3.4 Serial Clock (CLK)

The SPI clock pin is used to initiate a conversion and clock out each bit of the conversion as it takes place. See [Section 6.2 “Maintaining Minimum Clock Speed”](#), “Maintaining Minimum Clock Speed”, for constraints on clock speed.

### 3.5 Serial Data Input (D<sub>IN</sub>)

The SPI port serial data input pin is used to load channel configuration data into the device.

### 3.6 Serial Data Output (D<sub>OUT</sub>)

The SPI serial data output pin is used to shift out the results of the A/D conversion. Data will always change on the falling edge of each clock as the conversion takes place.

### 3.7 Chip Select/Shutdown ( $\overline{\text{CS}}/\text{SHDN}$ )

The  $\overline{\text{CS}}/\text{SHDN}$  pin is used to initiate communication with the device when pulled low and will end a conversion and put the device in low power standby when pulled high. The  $\overline{\text{CS}}/\text{SHDN}$  pin must be pulled high between conversions.



# MCP3204/3208

## 4.0 DEVICE OPERATION

The MCP3204/3208 A/D converters employ a conventional SAR architecture. With this architecture, a sample is acquired on an internal sample/hold capacitor for 1.5 clock cycles starting on the fourth rising edge of the serial clock after the start bit has been received. Following this sample time, the device uses the collected charge on the internal sample/hold capacitor to produce a serial 12-bit digital output code. Conversion rates of 100 ksp/s are possible on the MCP3204/3208. See **Section 6.2 “Maintaining Minimum Clock Speed”**, “Maintaining Minimum Clock Speed”, for information on minimum clock rates. Communication with the device is accomplished using a 4-wire SPI-compatible interface.

### 4.1 Analog Inputs

The MCP3204/3208 devices offer the choice of using the analog input channels configured as single-ended inputs or pseudo-differential pairs. The MCP3204 can be configured to provide two pseudo-differential input pairs or four single-ended inputs, while the MCP3208 can be configured to provide four pseudo-differential input pairs or eight single-ended inputs. Configuration is done as part of the serial command before each conversion begins. When used in the pseudo-differential mode, each channel pair (i.e., CH0 and CH1, CH2 and CH3 etc.) is programmed to be the IN+ and IN- inputs as part of the command string transmitted to the device. The IN+ input can range from IN- to ( $V_{REF} + IN-$ ). The IN- input is limited to  $\pm 100$  mV from the  $V_{SS}$  rail. The IN- input can be used to cancel small signal common-mode noise which is present on both the IN+ and IN- inputs.

When operating in the pseudo-differential mode, if the voltage level of IN+ is equal to or less than IN-, the resultant code will be 000h. If the voltage at IN+ is equal to or greater than  $\{[V_{REF} + (IN-)] - 1 \text{ LSB}\}$ , then the output code will be FFFh. If the voltage level at IN- is more than 1 LSB below  $V_{SS}$ , the voltage level at the IN+ input will have to go below  $V_{SS}$  to see the 000h output code. Conversely, if IN- is more than 1 LSB above  $V_{SS}$ , then the FFFh code will not be seen unless the IN+ input level goes above  $V_{REF}$  level.

For the A/D converter to meet specification, the charge holding capacitor ( $C_{SAMPLE}$ ) must be given enough time to acquire a 12-bit accurate voltage level during the 1.5 clock cycle sampling period. The analog input model is shown in [Figure 4-1](#).

This diagram illustrates that the source impedance ( $R_S$ ) adds to the internal sampling switch ( $R_{SS}$ ) impedance, directly effecting the time that is required to charge the capacitor ( $C_{SAMPLE}$ ). Consequently, larger source impedances increase the offset, gain and integral linearity errors of the conversion (see [Figure 4-2](#)).

### 4.2 Reference Input

For each device in the family, the reference input ( $V_{REF}$ ) determines the analog input voltage range. As the reference input is reduced, the LSB size is reduced accordingly. The theoretical digital output code produced by the A/D converter is a function of the analog input signal and the reference input, as shown below.

#### EQUATION 4-1:

$$\text{Digital Output Code} = \frac{4096 \times V_{IN}}{V_{REF}}$$

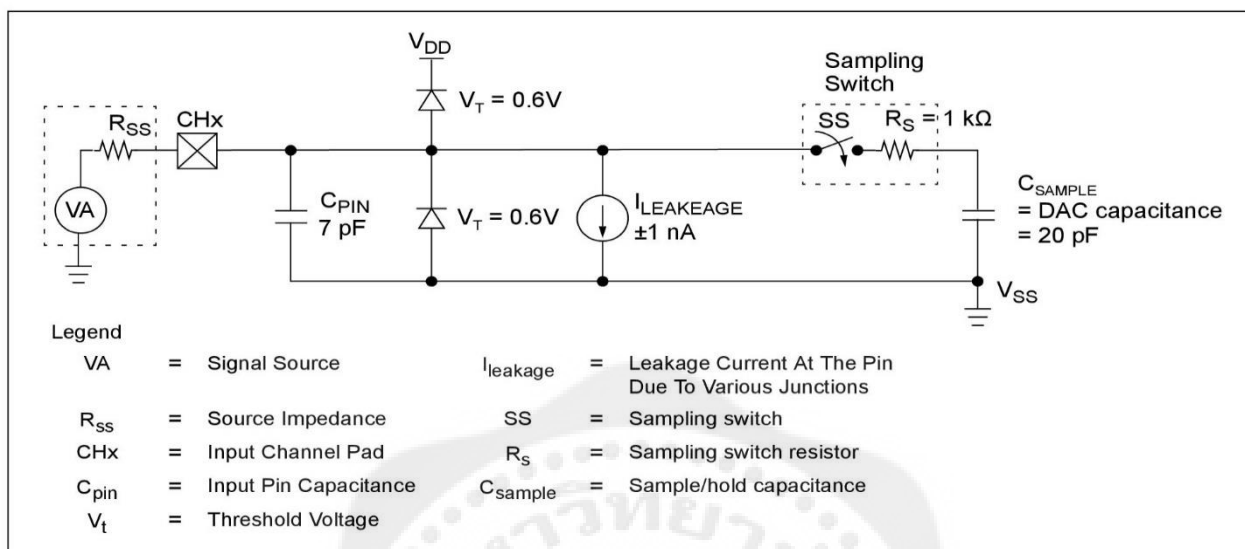
Where:

$V_{IN}$  = analog input voltage

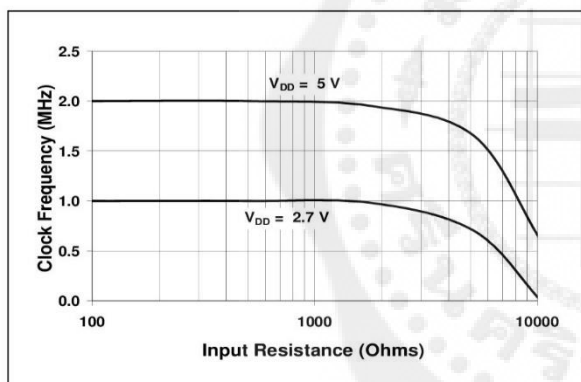
$V_{REF}$  = reference voltage

When using an external voltage reference device, the system designer should always refer to the manufacturer's recommendations for circuit layout. Any instability in the operation of the reference device will have a direct effect on the operation of the A/D converter.

## MCP3204/3208



**FIGURE 4-1:** Analog Input Model.



**FIGURE 4-2:** Maximum Clock Frequency vs. Input resistance ( $R_S$ ) to maintain less than a 0.1 LSB deviation in INL from nominal conditions.

# MCP3204/3208

## 5.0 SERIAL COMMUNICATIONS

Communication with the MCP3204/3208 devices is accomplished using a standard SPI-compatible serial interface. Initiating communication with either device is done by bringing the  $\overline{CS}$  line low (see Figure 5-1). If the device was powered up with the  $\overline{CS}$  pin low, it must be brought high and back low to initiate communication. The first clock received with  $\overline{CS}$  low and  $D_{IN}$  high will constitute a start bit. The SGL/DIFF bit follows the start bit and will determine if the conversion will be done using single-ended or differential input mode. The next three bits (D0, D1 and D2) are used to select the input channel configuration. Table 5-1 and Table 5-2 show the configuration bits for the MCP3204 and MCP3208, respectively. The device will begin to sample the analog input on the fourth rising edge of the clock after the start bit has been received. The sample period will end on the falling edge of the fifth clock following the start bit.

Once the D0 bit is input, one more clock is required to complete the sample and hold period ( $D_{IN}$  is a “don’t care” for this clock). On the falling edge of the next clock, the device will output a low null bit. The next 12 clocks will output the result of the conversion with MSB first, as shown in Figure 5-1. Data is always output from the device on the falling edge of the clock. If all 12 data bits have been transmitted and the device continues to receive clocks while the  $\overline{CS}$  is held low, the device will output the conversion result LSB first, as shown in Figure 5-2. If more clocks are provided to the device while  $\overline{CS}$  is still low (after the LSB first data has been transmitted), the device will clock out zeros indefinitely.

If necessary, it is possible to bring  $\overline{CS}$  low and clock in leading zeros on the  $D_{IN}$  line before the start bit. This is often done when dealing with microcontroller-based SPI ports that must send 8 bits at a time. Refer to Section 6.1 “Using the MCP3204/3208 with Microcontroller (MCU) SPI Ports” for more details on using the MCP3204/3208 devices with hardware SPI ports.

TABLE 5-1: CONFIGURATION BITS FOR THE MCP3204

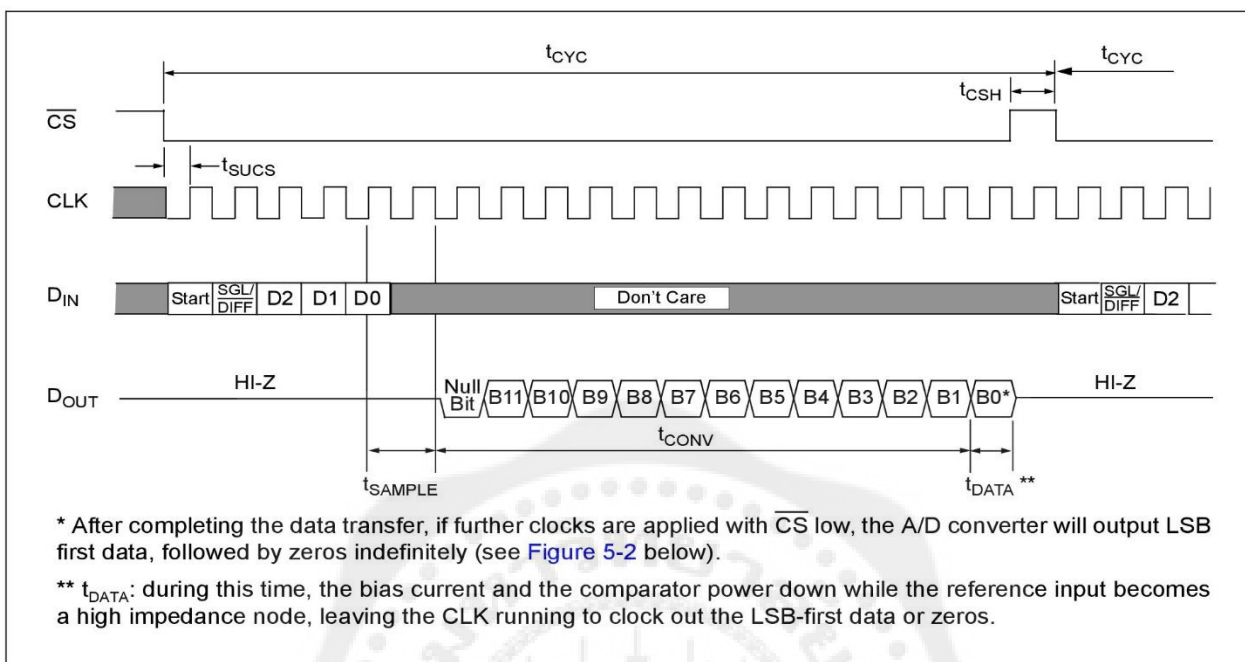
Control Bit Selections				Input Configuration	Channel Selection
Single/Diff	D2*	D1	D0		
1	X	0	0	single-ended	CH0
1	X	0	1	single-ended	CH1
1	X	1	0	single-ended	CH2
1	X	1	1	single-ended	CH3
0	X	0	0	differential	CH0 = IN+ CH1 = IN-
0	X	0	1	differential	CH0 = IN- CH1 = IN+
0	X	1	0	differential	CH2 = IN+ CH3 = IN-
0	X	1	1	differential	CH2 = IN- CH3 = IN+

\* D2 is a “don’t care” for MCP3204

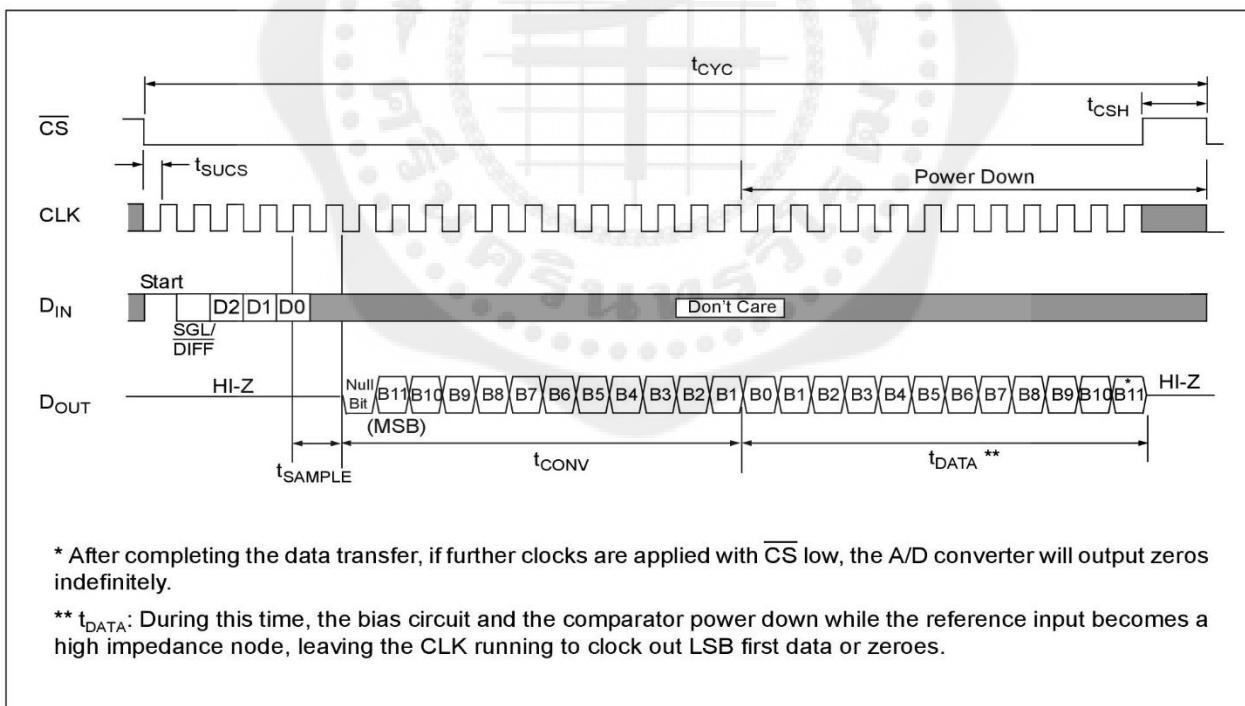
TABLE 5-2: CONFIGURATION BITS FOR THE MCP3208

Control Bit Selections				Input Configuration	Channel Selection
Single/Diff	D2	D1	D0		
1	0	0	0	single-ended	CH0
1	0	0	1	single-ended	CH1
1	0	1	0	single-ended	CH2
1	0	1	1	single-ended	CH3
1	1	0	0	single-ended	CH4
1	1	0	1	single-ended	CH5
1	1	1	0	single-ended	CH6
1	1	1	1	single-ended	CH7
0	0	0	0	differential	CH0 = IN+ CH1 = IN-
0	0	0	1	differential	CH0 = IN- CH1 = IN+
0	0	1	0	differential	CH2 = IN+ CH3 = IN-
0	0	1	1	differential	CH2 = IN- CH3 = IN+
0	1	0	0	differential	CH4 = IN+ CH5 = IN-
0	1	0	1	differential	CH4 = IN- CH5 = IN+
0	1	1	0	differential	CH6 = IN+ CH7 = IN-
0	1	1	1	differential	CH6 = IN- CH7 = IN+

# MCP3204/3208



**FIGURE 5-1:** Communication with the MCP3204 or MCP3208.



**FIGURE 5-2:** Communication with MCP3204 or MCP3208 in LSB First Format.

# MCP3204/3208

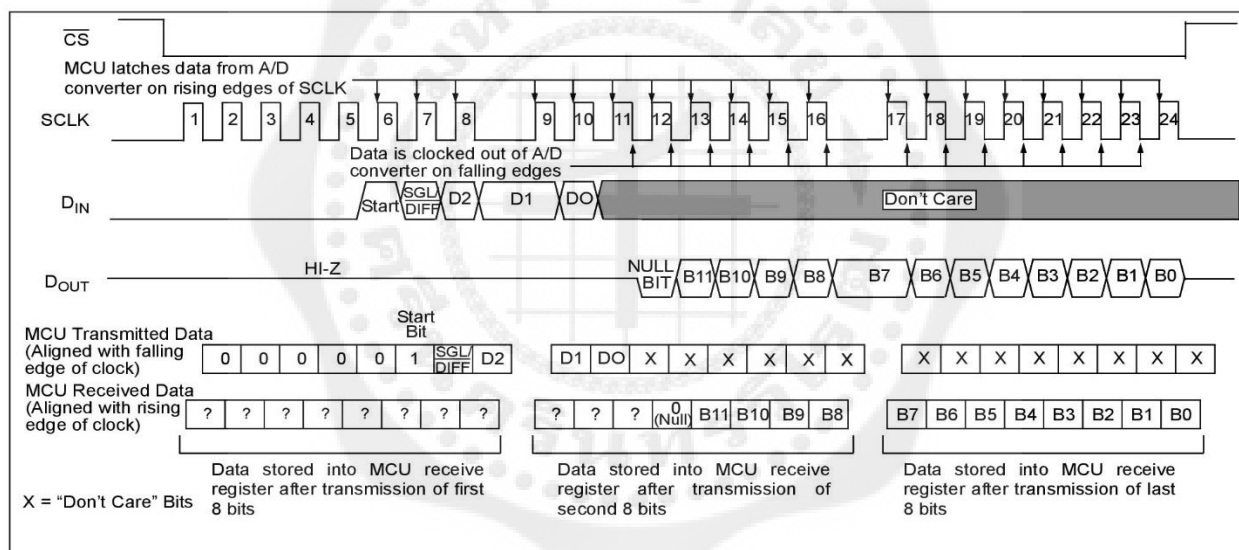
## 6.0 APPLICATIONS INFORMATION

### 6.1 Using the MCP3204/3208 with Microcontroller (MCU) SPI Ports

With most microcontroller SPI ports, it is required to send groups of eight bits. It is also required that the microcontroller SPI port be configured to clock out data on the falling edge of clock and latch data in on the rising edge. Because communication with the MCP3204/3208 devices may not need multiples of eight clocks, it will be necessary to provide more clocks than are required. This is usually done by sending 'leading zeros' before the start bit. As an example, [Figure 6-1](#) and [Figure 6-2](#) illustrate how the MCP3204/3208 can be interfaced to a MCU with a hardware SPI port. [Figure 6-1](#) depicts the operation shown in SPI Mode 0,0, which requires that the SCLK from the MCU idles in the 'low' state, while [Figure 6-2](#) shows the similar case of SPI Mode 1,1, where the clock idles in the 'high' state.

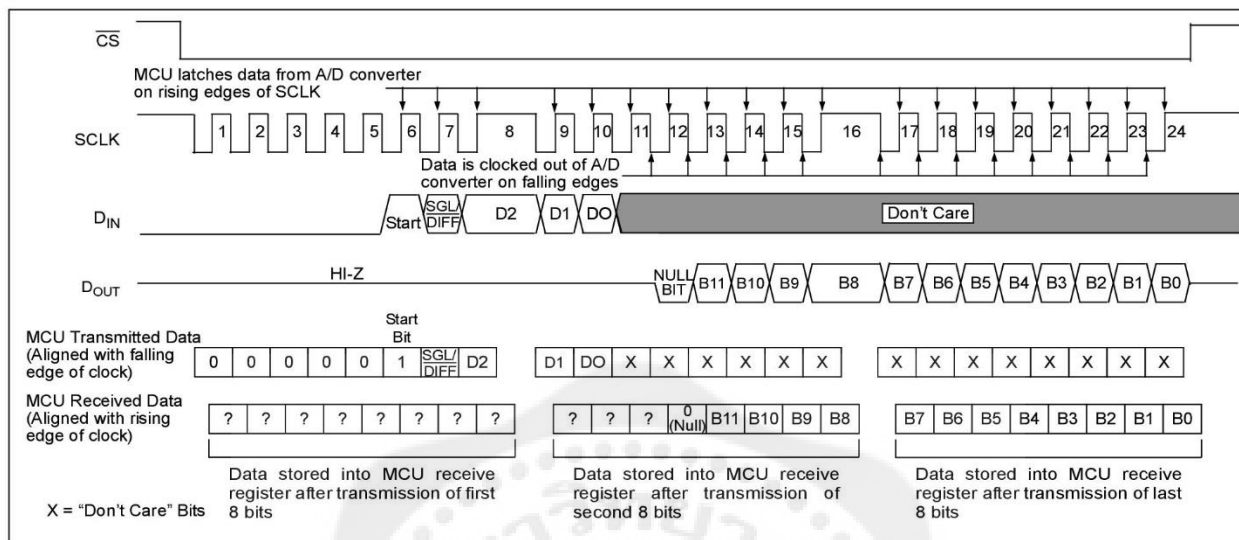
As is shown in [Figure 6-1](#), the first byte transmitted to the A/D converter contains five leading zeros before the start bit. Arranging the leading zeros this way allows the output 12 bits to fall in positions easily manipulated by the MCU. The MSB is clocked out of the A/D converter on the falling edge of clock number 12. Once the second eight clocks have been sent to the device, the MCU's receive buffer will contain three unknown bits (the output is at high impedance for the first two clocks), the null bit and the highest order four bits of the conversion. Once the third byte has been sent to the device, the receive register will contain the lowest order eight bits of the conversion results. Employing this method ensures simpler manipulation of the converted data.

[Figure 6-2](#) shows the same thing in SPI Mode 1,1, which requires that the clock idles in the high state. As with mode 0,0, the A/D converter outputs data on the falling edge of the clock and the MCU latches data from the A/D converter in on the rising edge of the clock.



**FIGURE 6-1:** SPI Communication using 8-bit segments (Mode 0,0: SCLK idles low).

# MCP3204/3208



**FIGURE 6-2:** SPI Communication using 8-bit segments (Mode 1, 1: SCLK idles high).

## 6.2 Maintaining Minimum Clock Speed

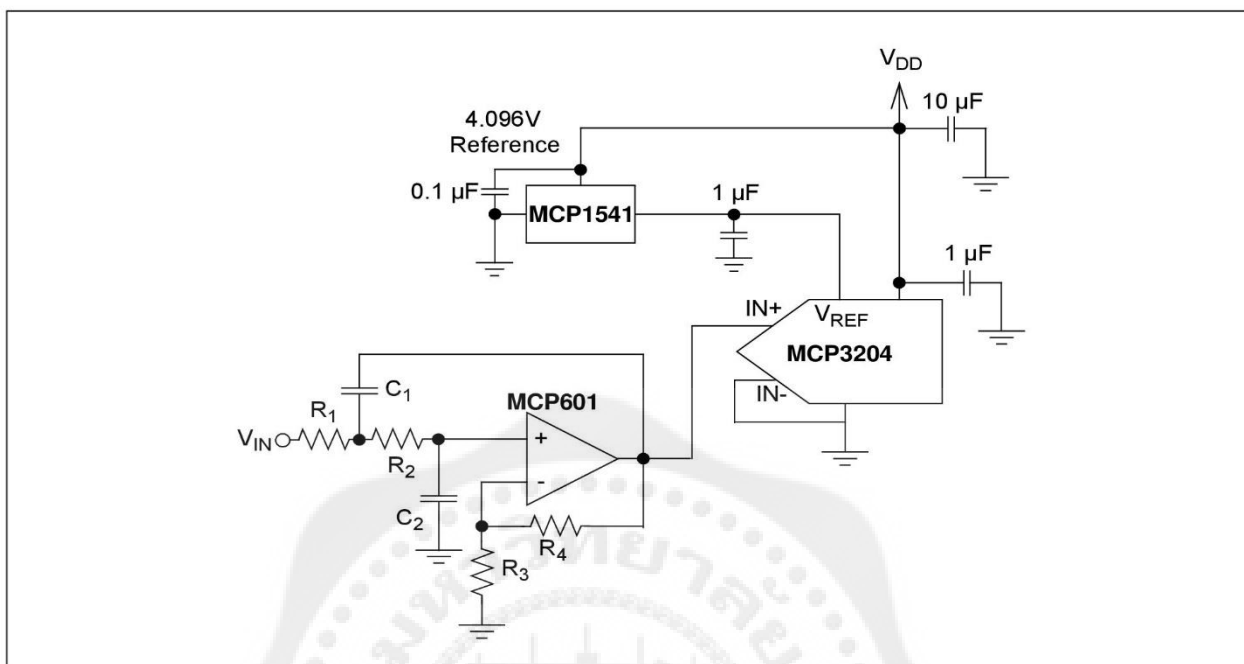
When the MCP3204/3208 initiates the sample period, charge is stored on the sample capacitor. When the sample period is complete, the device converts one bit for each clock that is received. It is important for the user to note that a slow clock rate will allow charge to bleed off the sample capacitor while the conversion is taking place. At 85°C (worst case condition), the part will maintain proper charge on the sample capacitor for at least 1.2 ms after the sample period has ended. This means that the time between the end of the sample period and the time that all 12 data bits have been clocked out must not exceed 1.2 ms (effective clock frequency of 10 kHz). Failure to meet this criterion may introduce linearity errors into the conversion outside the rated specifications. It should be noted that during the entire conversion cycle, the A/D converter does not require a constant clock speed or duty cycle, as long as all timing specifications are met.

## 6.3 Buffering/Filtering the Analog Inputs

If the signal source for the A/D converter is not a low impedance source, it will have to be buffered or inaccurate conversion results may occur (see Figure 4-2). It is also recommended that a filter be used to eliminate any signals that may be aliased back into the conversion results, as is illustrated in Figure 6-3, where an op amp is used to drive the analog input of the MCP3204/3208. This amplifier provides a low impedance source for the converter input, and a low pass filter, which eliminates unwanted high frequency noise.

Low-pass (anti-aliasing) filters can be designed using Microchip's free interactive FilterLab® software. FilterLab will calculate capacitor and resistor values, as well as determine the number of poles that are required for the application. For more information on filtering signals, see AN699, "Anti-Aliasing Analog Filters for Data Acquisition Systems".

## MCP3204/3208



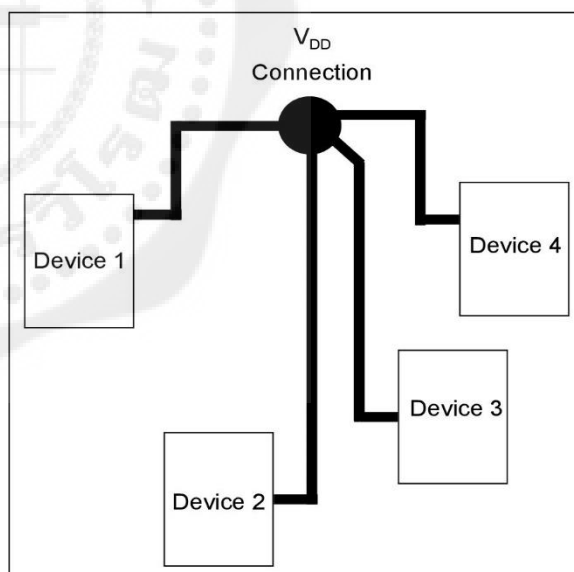
**FIGURE 6-3:** The MCP601 Operational Amplifier is used to implement a second order anti-aliasing filter for the signal being converted by the MCP3204.

### 6.4 Layout Considerations

When laying out a printed circuit board for use with analog components, care should be taken to reduce noise wherever possible. A bypass capacitor should always be used with this device, placed as close as possible to the device pin. A bypass capacitor value of 1  $\mu\text{F}$  is recommended.

Digital and analog traces should be separated as much as possible on the board, with no traces running underneath the device or the bypass capacitor. Extra precautions should be taken to keep traces with high frequency signals (such as clock lines) as far as possible from analog traces.

Use of an analog ground plane is recommended in order to keep the ground potential the same for all devices on the board. Providing  $V_{\text{DD}}$  connections to devices in a “star” configuration can also reduce noise by eliminating return current paths and associated errors (see Figure 6-4). For more information on layout tips when using A/D converters, refer to AN688, “Layout Tips for 12-Bit A/D converter Applications”.



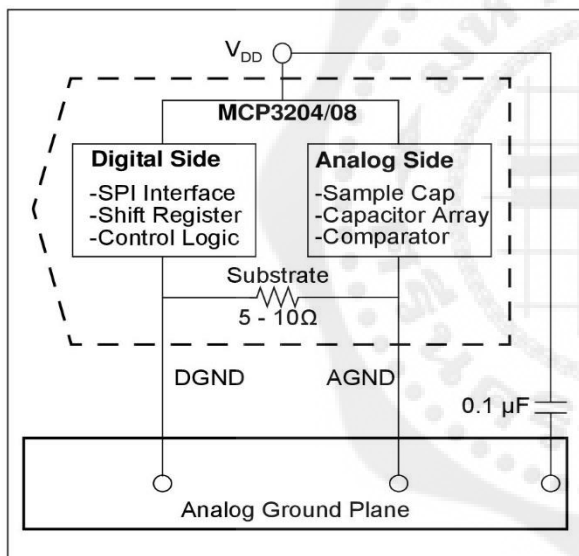
**FIGURE 6-4:**  $V_{\text{DD}}$  traces arranged in a ‘Star’ configuration in order to reduce errors caused by current return paths.

# MCP3204/3208

## 6.5 Utilizing the Digital and Analog Ground Pins

The MCP3204/3208 devices provide both digital and analog ground connections to provide another means of noise reduction. As shown in Figure 6-5, the analog and digital circuitry is separated internal to the device. This reduces noise from the digital portion of the device being coupled into the analog portion of the device. The two grounds are connected internally through the substrate, which has a resistance of 5 -10 $\Omega$ .

If no ground plane is utilized, then both grounds must be connected to  $V_{SS}$  on the board. If a ground plane is available, both digital and analog ground pins should be connected to the analog ground plane. If both an analog and a digital ground plane are available, both the digital and the analog ground pins should be connected to the analog ground plane. Following these steps will reduce the amount of digital noise from the rest of the board being coupled into the A/D converter.



**FIGURE 6-5:** Separation of Analog and Digital Ground Pins.

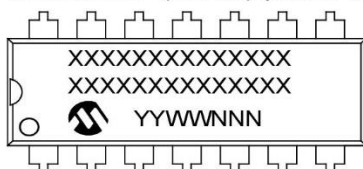


# MCP3204/3208

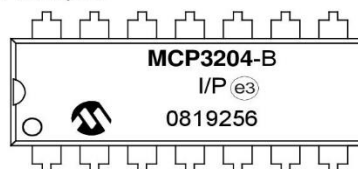
## 7.0 PACKAGING INFORMATION

### 7.1 Package Marking Information

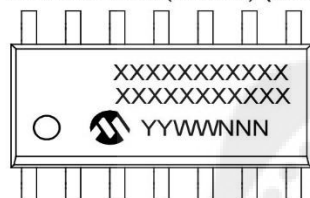
#### 14-Lead PDIP (300 mil) (MCP3204)



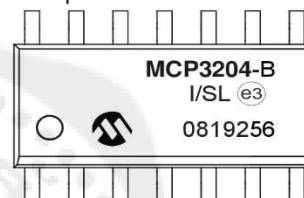
Example:



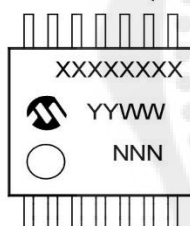
#### 14-Lead SOIC (150 mil) (MCP3204)



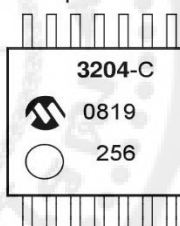
Example:



#### 14-Lead TSSOP (4.4mm)\* (MCP3204)



Example:



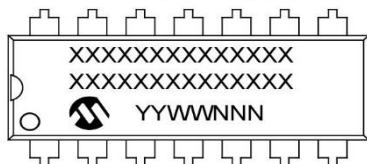
<b>Legend:</b>	XX...X	Customer-specific information
	Y	Year code (last digit of calendar year)
	YY	Year code (last 2 digits of calendar year)
	WW	Week code (week of January 1 is week '01')
	NNN	Alphanumeric traceability code
	e3	Pb-free JEDEC designator for Matte Tin (Sn)
	*	This package is Pb-free. The Pb-free JEDEC designator (e3) can be found on the outer packaging for this package.

**Note:** In the event the full Microchip part number cannot be marked on one line, it will be carried over to the next line, thus limiting the number of available characters for customer-specific information.

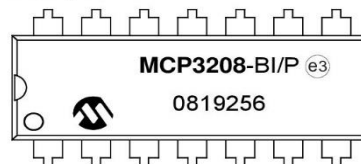
# MCP3204/3208

## Package Marking Information (Continued)

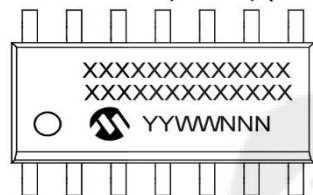
16-Lead PDIP (300 mil) (MCP3208)



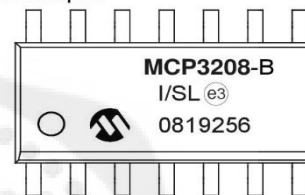
Example:



16-Lead SOIC (150 mil) (MCP3208)



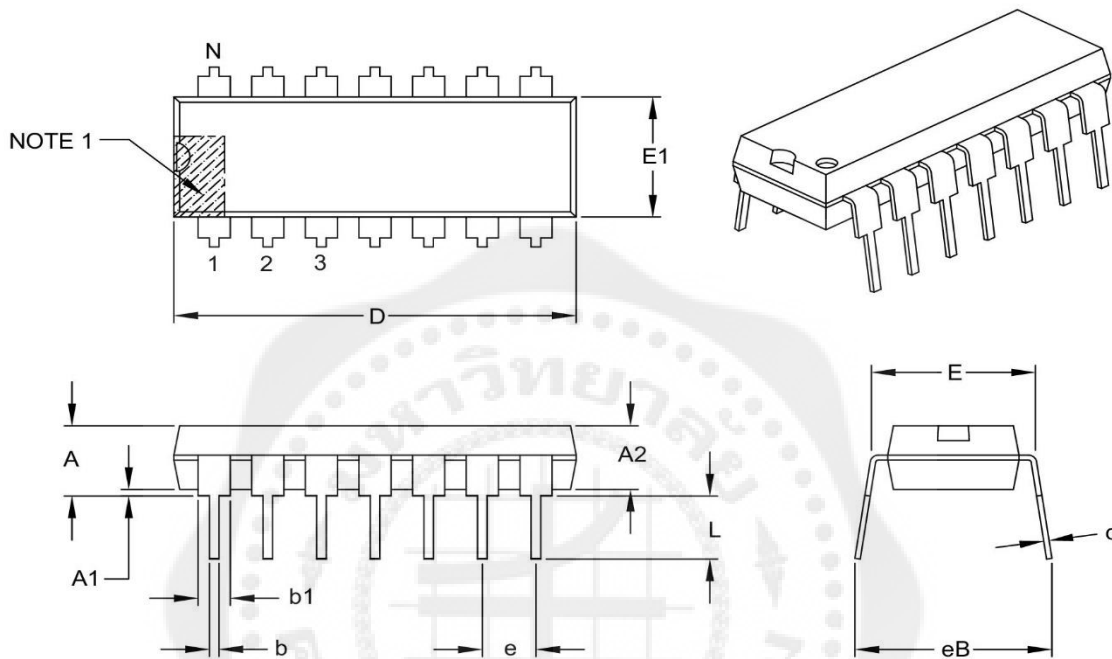
Example:



# MCP3204/3208

## 14-Lead Plastic Dual In-Line (P) – 300 mil Body [PDIP]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



Dimension	Units	INCHES		
		MIN	NOM	MAX
Number of Pins	N		14	
Pitch	e		.100 BSC	
Top to Seating Plane	A	–	–	.210
Molded Package Thickness	A2	.115	.130	.195
Base to Seating Plane	A1	.015	–	–
Shoulder to Shoulder Width	E	.290	.310	.325
Molded Package Width	E1	.240	.250	.280
Overall Length	D	.735	.750	.775
Tip to Seating Plane	L	.115	.130	.150
Lead Thickness	c	.008	.010	.015
Upper Lead Width	b1	.045	.060	.070
Lower Lead Width	b	.014	.018	.022
Overall Row Spacing §	eB	–	–	.430

**Notes:**

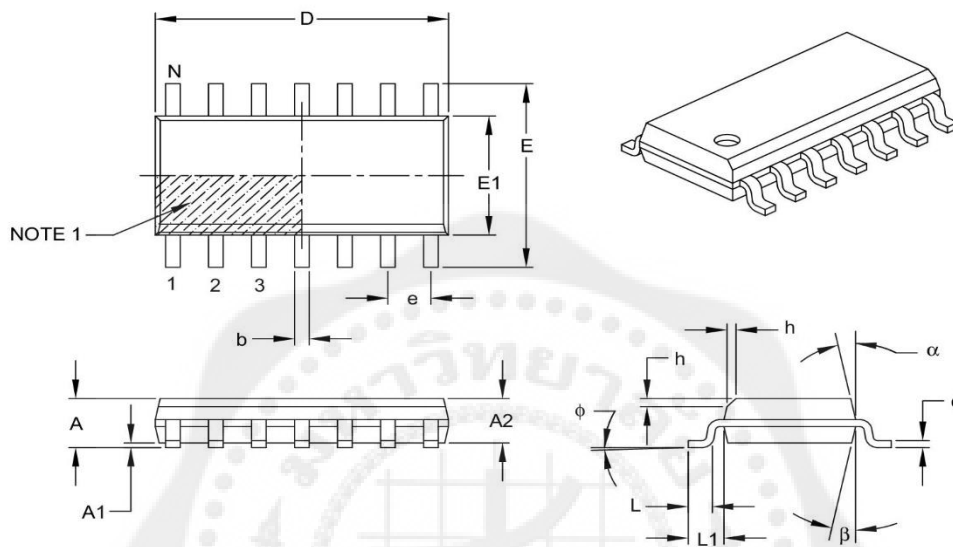
1. Pin 1 visual index feature may vary, but must be located with the hatched area.
2. § Significant Characteristic.
3. Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed .010" per side.
4. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.  
 BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

Microchip Technology Drawing C04-005B

# MCP3204/3208

## 14-Lead Plastic Small Outline (SL) – Narrow, 3.90 mm Body [SOIC]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Number of Pins	N	14		
Pitch	e	1.27 BSC		
Overall Height	A	–	–	1.75
Molded Package Thickness	A2	1.25	–	–
Standoff §	A1	0.10	–	0.25
Overall Width	E	6.00 BSC		
Molded Package Width	E1	3.90 BSC		
Overall Length	D	8.65 BSC		
Chamfer (optional)	h	0.25	–	0.50
Foot Length	L	0.40	–	1.27
Footprint	L1	1.04 REF		
Foot Angle	$\phi$	0°	–	8°
Lead Thickness	c	0.17	–	0.25
Lead Width	b	0.31	–	0.51
Mold Draft Angle Top	$\alpha$	5°	–	15°
Mold Draft Angle Bottom	$\beta$	5°	–	15°

**Notes:**

- Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
- § Significant Characteristic.
- Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm per side.
- Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.

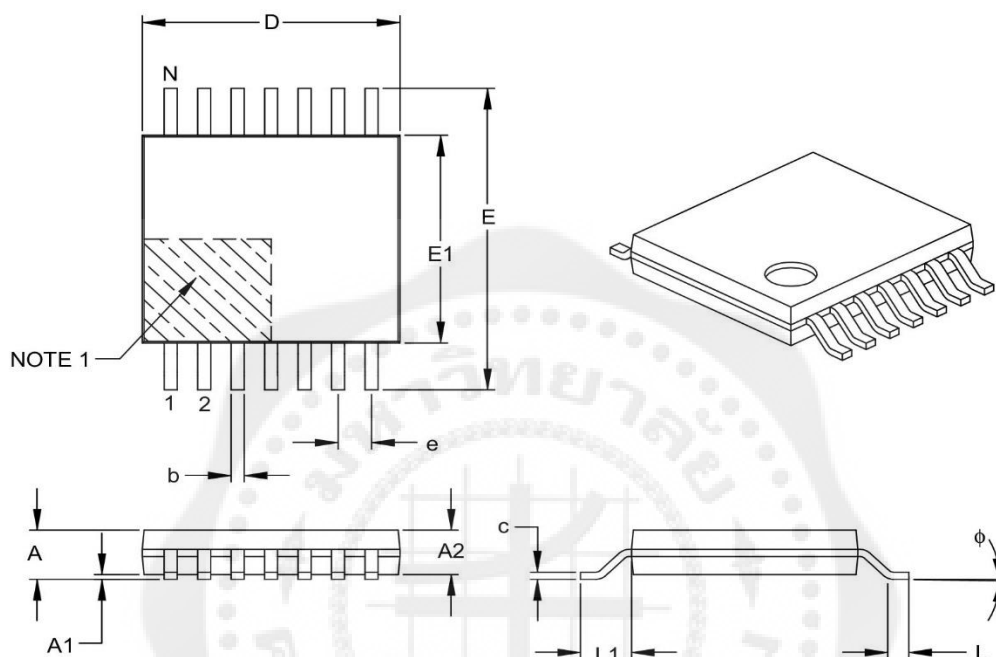
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.  
 REF: Reference Dimension, usually without tolerance, for information purposes only.

Microchip Technology Drawing C04-065B

# MCP3204/3208

## 14-Lead Plastic Thin Shrink Small Outline (ST) – 4.4 mm Body [TSSOP]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Number of Pins	N	14		
Pitch	e	0.65 BSC		
Overall Height	A	–	–	1.20
Molded Package Thickness	A2	0.80	1.00	1.05
Standoff	A1	0.05	–	0.15
Overall Width	E	6.40 BSC		
Molded Package Width	E1	4.30	4.40	4.50
Molded Package Length	D	4.90	5.00	5.10
Foot Length	L	0.45	0.60	0.75
Footprint	L1	1.00 REF		
Foot Angle	$\phi$	0°	–	8°
Lead Thickness	c	0.09	–	0.20
Lead Width	b	0.19	–	0.30

### Notes:

- Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
- Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm per side.
- Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.

BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

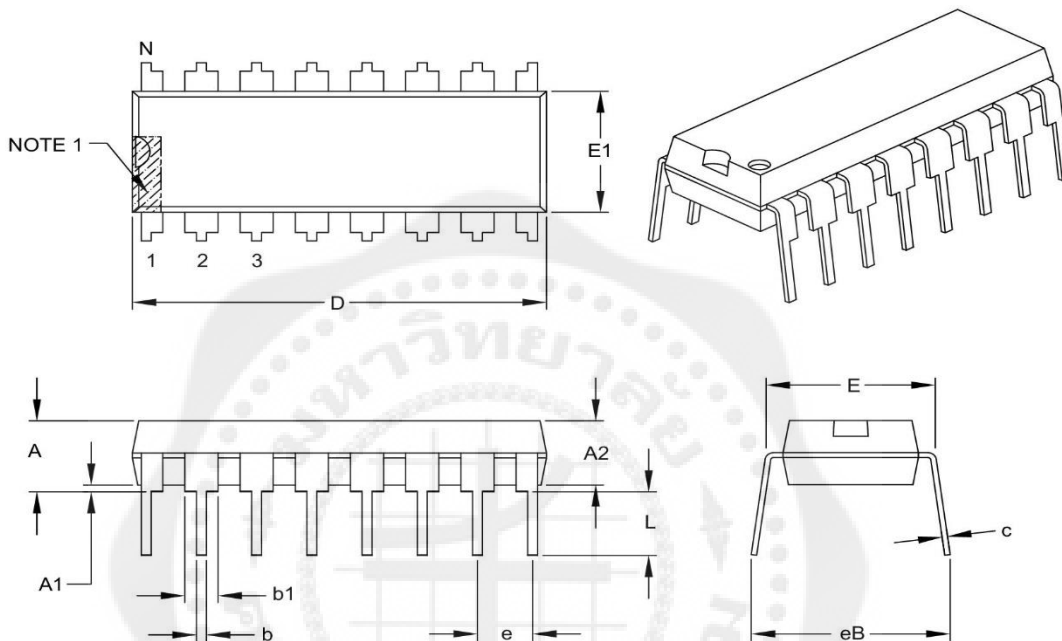
REF: Reference Dimension, usually without tolerance, for information purposes only.

Microchip Technology Drawing C04-087B

# MCP3204/3208

## 16-Lead Plastic Dual In-Line (P) – 300 mil Body [PDIP]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



Dimension Limits	Units	INCHES		
		MIN	NOM	MAX
Number of Pins	N	16		
Pitch	e	.100 BSC		
Top to Seating Plane	A	–	–	.210
Molded Package Thickness	A2	.115	.130	.195
Base to Seating Plane	A1	.015	–	–
Shoulder to Shoulder Width	E	.290	.310	.325
Molded Package Width	E1	.240	.250	.280
Overall Length	D	.735	.755	.775
Tip to Seating Plane	L	.115	.130	.150
Lead Thickness	c	.008	.010	.015
Upper Lead Width	b1	.045	.060	.070
Lower Lead Width	b	.014	.018	.022
Overall Row Spacing §	eB	–	–	.430

**Notes:**

1. Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
2. § Significant Characteristic.
3. Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed .010" per side.
4. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.

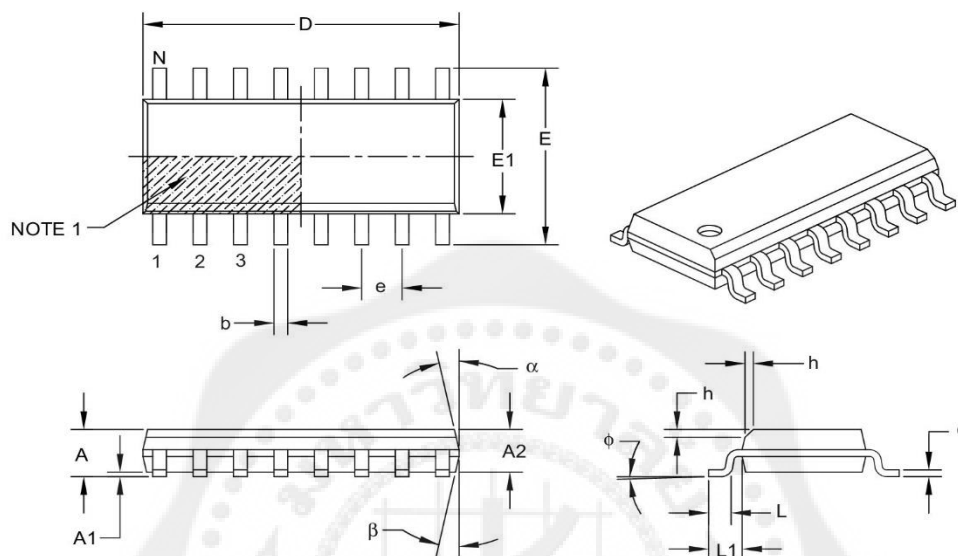
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

Microchip Technology Drawing C04-017B

# MCP3204/3208

## 16-Lead Plastic Small Outline (SL) – Narrow, 3.90 mm Body [SOIC]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Number of Pins	N	16		
Pitch	e	1.27 BSC		
Overall Height	A	–	–	1.75
Molded Package Thickness	A2	1.25	–	–
Standoff §	A1	0.10	–	0.25
Overall Width	E	6.00 BSC		
Molded Package Width	E1	3.90 BSC		
Overall Length	D	9.90 BSC		
Chamfer (optional)	h	0.25	–	0.50
Foot Length	L	0.40	–	1.27
Footprint	L1	1.04 REF		
Foot Angle	$\phi$	0°	–	8°
Lead Thickness	c	0.17	–	0.25
Lead Width	b	0.31	–	0.51
Mold Draft Angle Top	$\alpha$	5°	–	15°
Mold Draft Angle Bottom	$\beta$	5°	–	15°

**Notes:**

- Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
- § Significant Characteristic.
- Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm per side.
- Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.

BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

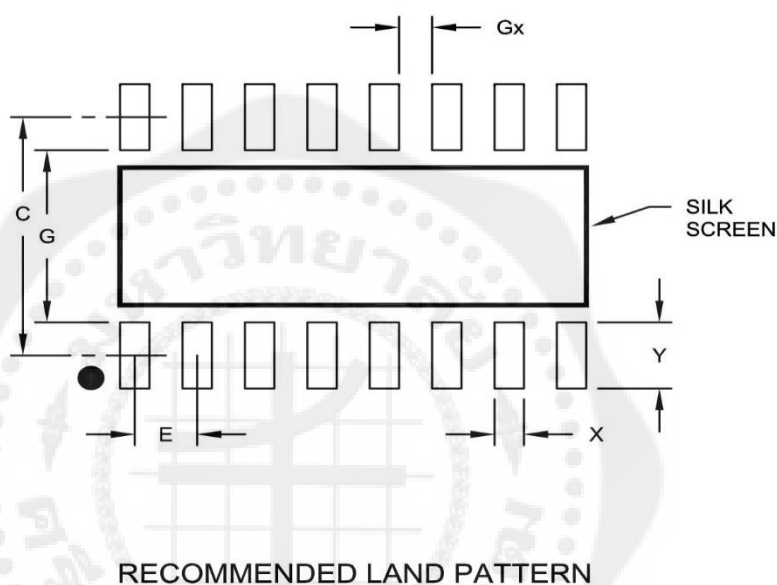
REF: Reference Dimension, usually without tolerance, for information purposes only.

Microchip Technology Drawing C04-108B

# MCP3204/3208

16-Lead Plastic Small Outline (SL) - Narrow, 3.90 mm Body [SOIC]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Contact Pitch	E	1.27 BSC		
Contact Pad Spacing	C		5.40	
Contact Pad Width	X			0.60
Contact Pad Length	Y			1.50
Distance Between Pads	Gx	0.67		
Distance Between Pads	G	3.90		

**Notes:**

1. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M

BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

Microchip Technology Drawing No. C04-2108A



# MCP3204/3208

---

---

## APPENDIX A: REVISION HISTORY

### Revision E (September 2008)

The following is the list of modifications:

1. Updated package outline drawings in **Section 7.0 “Packaging Information”**.

### Revision D (January 2007)

The following is the list of modifications:

1. Undocumented changes

### Revision C (May 2002)

The following is the list of modifications:

1. Undocumented changes

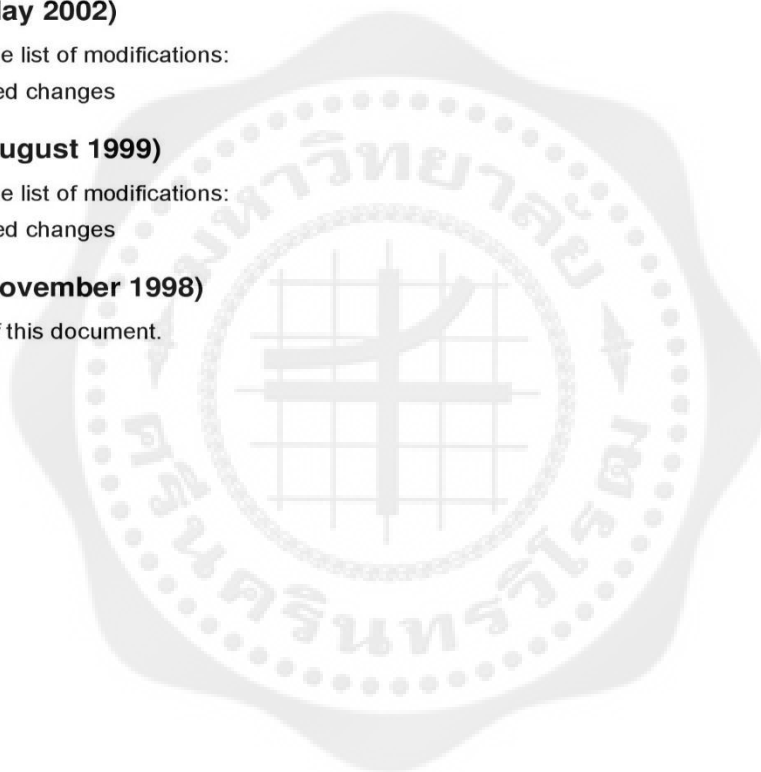
### Revision B (August 1999)

The following is the list of modifications:

1. Undocumented changes

### Revision A (November 1998)

- Initial release of this document.



# MCP3204/3208

## PRODUCT IDENTIFICATION SYSTEM

To order or obtain information, e.g., on pricing or delivery, refer to the factory or the listed sales office.

<u>PART NO.</u>	<u>-X</u>	<u>X</u>	<u>/XX</u>	
Device	Grade	Temperature Range	Package	
Device	MCP3204:	4-Channel 12-Bit Serial A/D Converter		
	MCP3204T:	4-Channel 12-Bit Serial A/D Converter (Tape and Reel)		
	MCP3208:	8-Channel 12-Bit Serial A/D Converter		
	MCP3208T:	8-Channel 12-Bit Serial A/D Converter (Tape and Reel)		
Grade:	B	= ±1 LSB INL		
	C	= ±2 LSB INL		
Temperature Range	I	= -40°C to +85°C (Industrial)		
Package	P	= Plastic DIP (300 mil Body), 14-lead, 16-lead		
	SL	= Plastic SOIC (150 mil Body), 14-lead, 16-lead		
	ST	= Plastic TSSOP (4.4mm), 14-lead		
<b>Examples:</b>				
a)	MCP3204-BI/P:	±1 LSB INL, Industrial Temperature, PDIP package.		
b)	MCP3204-BI/SL:	±1 LSB INL, Industrial Temperature, SOIC package.		
c)	MCP3204-CI/ST:	±2 LSB INL, Industrial Temperature, TSSOP package.		
a)	MCP3208-BI/P:	±1 LSB INL, Industrial Temperature, PDIP package.		
b)	MCP3208-BI/SL:	±1 LSB INL, Industrial Temperature, SOIC package.		
c)	MCP3208-CI/ST:	±2 LSB INL, Industrial Temperature, TSSOP package.		

```

3208
#!/usr/bin/python

import spidev
import time
import datetime
import json
import numpy as np
# Open SPI bus
spi = spidev.SpiDev()
spi.open(0,0)

# Function to read SPI data from MCP3008 chip
# Channel must be an integer 0-7
def ReadChannel(channel):
    r = spi.xfer2([4 | 2 |(channel>>2), (channel &3) << 6,0])
    adc_out = ((r[1]&15) << 8) + r[2]
    return adc_out

# Function to convert data to voltage level,
# rounded to specified number of decimal places.
def ConvertVolts(data,places):
    volts = (data * 3300) / float(4095)
    volts = round(volts,places)
    return volts

data = []
whilerun = 1
t1 = datetime.datetime.now()
while whilerun == 1:
    t2 = datetime.datetime.now()
    ValueTime = (t2-t1).microseconds
    if (ValueTime >= 0):
        amplevel = ReadChannel(0)
        ampvolt = (ConvertVolts(amplevel,3))
        data.append([ValueTime,ampvolt])

# microseconds
if (ValueTime >= 999000):
    whilerun = 0

#print(data);
#print("12");
print(json.dumps(data));

```

index

```

<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" >
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
  <script type="text/javascript" src="jquery-1.11.2.min.js"></script>
  <link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/bootstrap.min.css">
  <link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/css.css">
  <script type="text/javascript" src="js/bootstrap.min.js"></script>
  <title>หน้าแรก - Electric bill Estimation Project</title>

  <style media="screen" type="text/css">

html, body, .container{
  height: 100%;
}
.container{
  display: table;
  vertical-align: middle;
  padding-top: 50px;
}
.vertical-center-row{
  display: table-cell;
  vertical-align: middle;
}

</style>
</head>
<body>
  <div class="container">
    <div class="row">
      <!-- <div class="col-md-6">
      
      </div -->

      
      </div>
      <h3 class="text-center">Electric bill estimation using Raspberry Pi</h3>
      <h3 class="text-center">การประมาณค่าไฟฟ้าและแสดงผลผ่านทางเว็บเซิร์ฟเวอร์</h3>
      <div class="well center-block" style="max-width: 400px;">
        <a href="project.php" class="btn btn-primary btn-lg btn-block">start
measurement</a>
        <a href="logs.php" class="btn btn-default btn-lg btn-block">History</a>
      </div>
    </div>
  </body>
</html>

```

project

```

<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
  <title>Electric Load</title>
  <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" >
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
  <script type="text/javascript" src="jquery-1.11.2.min.js"></script>
  <link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/bootstrap.min.css">
  <link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/css.css">
  <script type="text/javascript" src="js/bootstrap.min.js"></script>
</head>
<body>
<div id="header" style="width: 80%; margin: 2% 10% 3% 10%; height: 103px;"
>
  <div >
    
  </div>
  <div >
    
  </div>
  <h4 style="text-align: center; padding-top: 2%;">
    การประมาณค่าไฟฟ้าและแสดงผลผ่านทางเว็บเซิร์ฟเวอร์</h4>
  <h4 style="text-align: center; padding-top: 2%;">
    Electric bill estimation using Raspberry Pi
  </h4>
</div>
<div id="container" style="height: 600px;"></div>

<h2 class="text-center">กราฟแสดงการใช้ไฟฟ้าในเวลา 1 วินาที</h2>
<?php

mb_internal_encoding("UTF-8");
header('Content-Type: text/html; charset=utf-8');

error_reporting(E_ALL);
ini_set("display_errors", 1);

?>

<script type="text/javascript" src="highcharts.js"></script>

<?php
$json = shell_exec("sudo python /var/www/3208aiyai.py");

$obj = json_decode($json);

?>

```

```
<script>
var arr_from_json = JSON.parse('<?php echo json_encode($obj); ?>');
console.log(arr_from_json)
```

```
$(function () {
  $('#container').highcharts({
    credits: {
      text: 'Electric bill estimation '
    },
    chart: {
      type: 'spline',
    },
    title: {
      text: false
    },
    rangeSelector : {
      selected : 1,
      inputEnabled: $('#container').width() > 480
    },
    yAxis: {
      type: 'logarithmic'
    },
    series:
    [{
      data: arr_from_json,
      name: 'Electric Load'
    }
  ],
  plotOptions: {
    series: {
      lineWidth: 2,
      marker: {
        enabled: false
      }
    }
  }
});
```

```
var get = arr_from_json.map(function(v) { return v[1] });
```

```
var max = Math.max.apply(null,get);
var min = Math.min.apply(null,get);
var vpp = max-min ;
var vrms = vpp* (Math.SQRT2 / 2) ;
var vrmsget = vrms - 50 - (0.03 * vrms) ;
var irms = vrmsget / 185 ;
var pow = vrmsget*irms ;
var kw = pow/1000 ;
var unit = kw ;
var cost = unit* 1.75 ;
```

```

var getx = arr_from_json.map(function(v) { return v[0] });
var setx = getx ;
console.log(setx);
var gety = arr_from_json.map(function(v) { return v[1] });
var sety = gety ;
console.log(sety);

```

```

document.getElementById("vrmsget").innerHTML= vrmsget;
document.getElementById("irms").innerHTML= irms;
document.getElementById("kw").innerHTML= kw;
document.getElementById("unit").innerHTML= unit;
document.getElementById("cost").innerHTML= cost;

```

```

document.getElementById("svrms").value = vrmsget;
document.getElementById("sirms").value= irms;
document.getElementById("skw").value= kw;
document.getElementById("sunit").value= unit;
document.getElementById("scost").value= cost;

```

```

});
</script>
<div class="container">
<form method="post" action="#">
  <div class="form-input-ele">
    <div class="text-ele">
      <label for="name-ele">ชื่อเครื่องใช้ไฟฟ้า</label>
    </div>
    <div class="textbox-input">
      <input type="name" name="eleload" class="form-control"
id="seleload" placeholder="เครื่องใช้ไฟฟ้า / Load electric">
    </div>
  </div>
  <div class="text-value">
    <label for="name-value">ค่าที่วัดได้ / Measurement Value</label>
  </div>
  <div class = "value" style="margin: 3% 9% 3% 10%;" >
    <div class="col-xs-6 col-sm-3">
      <span class="hidden-md label label-primary">Vrms =
        <span id="vrmsget"> </span>
        mV
      </span>
    </div>
    <div class="col-xs-6 col-sm-3">
      <span class="hidden-md label label-primary">Irms =
        <span id="irms"> </span>
        A
      </span>
    </div>
  </div>

```

```

</div>

<div class="clearfix visible-xs-block"></div>
<div class="col-xs-6 col-sm-3">
    <span class="hidden-md label label-primary">Power =
        <span id="kw"> </span>
        kW
    </span>
</div>
<div class="col-xs-6 col-sm-3">
    <span class="hidden-md label label-primary">Unit =
        <span id="unit"> </span>
        per 1 hour
    </span>
</div>
<div class="col-xs-6 col-sm-3">
    <span class="hidden-md label label-primary">Cost =
        <span id="cost"> </span>
        Baths
    </span>
</div>
</div>

<input name="vrms" id="svrms" type="hidden" value="1">
<input name="irms" id="sirms" type="hidden" value="1">
<input name="kw" id="skw" type="hidden" value="1">
<input name="unit" id="sunit" type="hidden" value="1">
<input name="cost" id="scost" type="hidden" value="1">

<div class="button-save">
    <button type="submit" id="insert" class="btn btn-success">SAVE
VALUE</button>
</div>
</form>
</div>
<?php

if (!(empty($_POST['eleload']) || empty($_POST['vrms']) || empty($_POST['irms'])
|| empty($_POST['kw']) || empty($_POST['unit']) || empty($_POST['cost'])))
{

$link = mysql_connect("localhost", "root", "1234");
if (!$link)
{
    die('could not connet:' . mysql_error());
}

$eleload = $_POST['eleload'];
$vrms = $_POST['vrms'];
$irms = $_POST['irms'];
$kw = $_POST['kw'];
$unit = $_POST['unit'];

```



```

$cost = $_POST['cost'];

$SQL = "INSERT INTO `project`.`project` (`ID`,`Name`,`Vrms`,`Irms`
;`Power`,`Unit`,`Cost`)VALUES (NULL , ".$eleload.", ".$vrms.", ".$irms.",
".$kw.", ".$unit.", ".$cost.);";

$objQuery = mysql_query($SQL);
//mysql_query($link, $SQL);
mysql_close($link);

//inform section
echo '<script language="javascript">';
echo 'alert("บันทึกสำเร็จ");';
echo '</script>';
}
elseif (empty($_POST['eleload'])){
echo '<script language="javascript">';
echo 'alert("กรุณากรอกชื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อบันทึกลงฐานข้อมูลด้วยครับ!!!");';
echo '</script>';
}
else{
return null;
}
?>

</body>
</html>

```

## ประวัติย่อ นิสิตผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ-สกุล	นายภาณุวัฒน์ เบญจปฐมรงค์
วัน เดือน ปีเกิด	2 มิถุนายน 2534
สถานที่เกิด	เพชรบูรณ์
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	299 หมู่ 11 ต.วัดป่า อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์ 67110
โทรศัพท์	086 6817071
E-mail	panuwatben0@gmail.com



### ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2548	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย เพชรบูรณ์
พ.ศ. 2553	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย เพชรบูรณ์
พ.ศ. 2557	กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

## ประวัติย่อบัณฑิตผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ-สกุล นายรัชต์สินธุ์ แสงรุจี  
 วัน เดือน ปีเกิด 16 กรกฎาคม 2534  
 สถานที่เกิด กาฬสินธุ์  
 สถานที่อยู่ปัจจุบัน 50/14 ม.2 ต.ท่าช้าง อ.เมือง  
 จ.จันทบุรี 22000  
 โทรศัพท์ 090-9821337  
 E-mail boomslam@gmail.com



### ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2548 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดจันทบุรี  
 พ.ศ. 2552 มัธยมศึกษาตอนปลาย ศูนย์การศึกษานอกโรงเรียน อ.เมืองจันทบุรี  
 พ.ศ. 2557 กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

