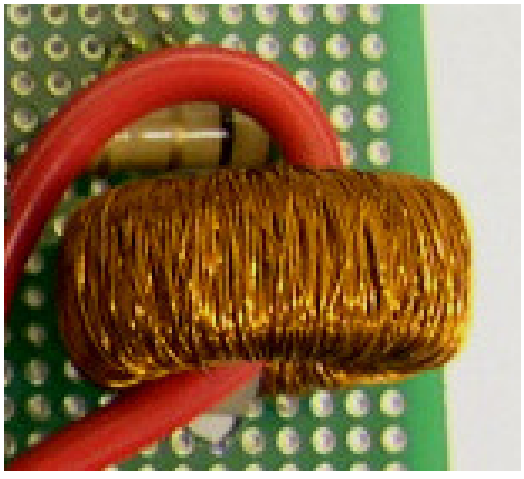
บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการทดสอบวงจร ตลอดจนถึงกระบวนการวิเคราะห์การวัดค่าพลังงานไฟฟ้า และการชำระเงินค่าใช้พลังงานไฟฟ้า โดยมีองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือส่วนแรกเป็นส่วนตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า (Energy meter) จะใช้มาตรวัดกิโลวัตต์-ชั่วโมงแบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งใช้เทคนิคของอุปกรณ์โซลิดสเตท และการคำนวณเชิงเลข สำหรับส่วนที่สองจะเป็นการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการจัดการข้อมูลในชิปการ์ด ประกอบด้วยการบริหารงานด้านบัตรและโปรแกรมสำหรับให้บริการแก่ผู้ถือบัตรสำหรับเติมเงินลงในชิป

4.1 การทดสอบการวัดสัญญาณกระแส

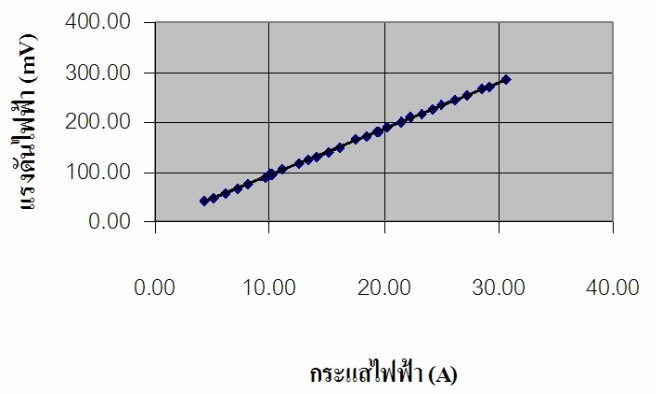
การวัดสัญญาณกระแสที่ช่องสัญญาณ V1 (Channel 1) จะวัดในรูปสัญญาณแรงดัน โดยแรงดันอินพุท V1P จะมีค่าเป็นบวกเมื่อเปรียบเทียบกับ V1N สำหรับแรงดัน V1P จะมีค่าใช้งานสูงสุดไม่เกิน ± 470 มิลลิโวลต์ ดังนั้นในการออกแบบจึงใช้หม้อแปลงกระแสหรือ Current transformer (CT) โดยพันขดลวดบนแกนเฟอร์ไรท์ ในส่วนการทดสอบความแม่นยำจะใช้วงจรดังภาพประกอบที่ 4-1 ทำการทดสอบโดยใช้ค่าความต้านทาน 5 โอห์ม และ 10 โอห์ม ซึ่งจากผลการทดลองจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันมีการเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้น ดังตารางที่ 4-1 ภาพประกอบ 4-1 และ ภาพประกอบ 4-2 ตามลำดับ



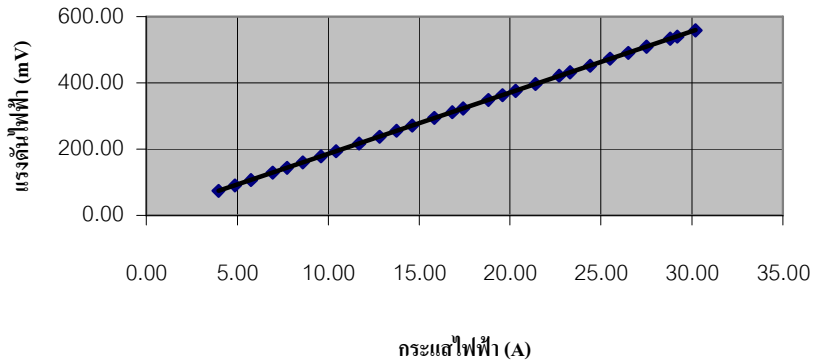
ภาพประกอบที่ 4-1 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน

ตารางที่ 4-1 ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันใช้ค่าความต้านทาน 5 โอห์ม

ที่	กระแส (Amp)	แรงดัน (mV)	ที่	กระแส (Amp)	แรงดัน (mV)
1	4.32	40.20	16	18.50	172.00
2	5.09	47.30	17	19.42	180.90
3	6.14	57.10	18	19.50	181.50
4	7.15	66.60	19	20.30	189.60
5	8.18	76.10	20	21.50	200.50
6	9.68	90.10	21	22.30	208.10
7	10.13	94.10	22	23.30	217.10
8	10.18	94.20	23	24.20	226.30
9	11.14	94.60	24	25.10	233.40
10	12.54	103.50	25	26.20	244.10
11	13.32	116.50	26	27.30	254.00
12	14.10	123.70	27	28.60	265.80
13	15.17	131.00	28	29.20	271.20
14	16.19	140.90	29	30.7	285.40
15	17.58	163.60	30	31.9	296.76



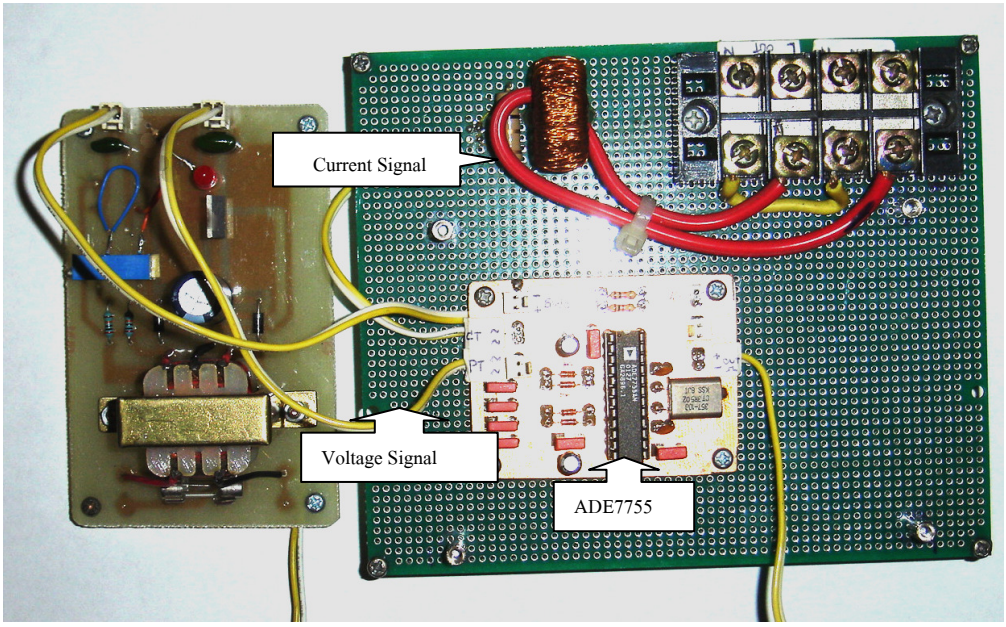
ภาพประกอบ 4-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันเมื่อใช้ความต้านทาน 5 โอห์ม



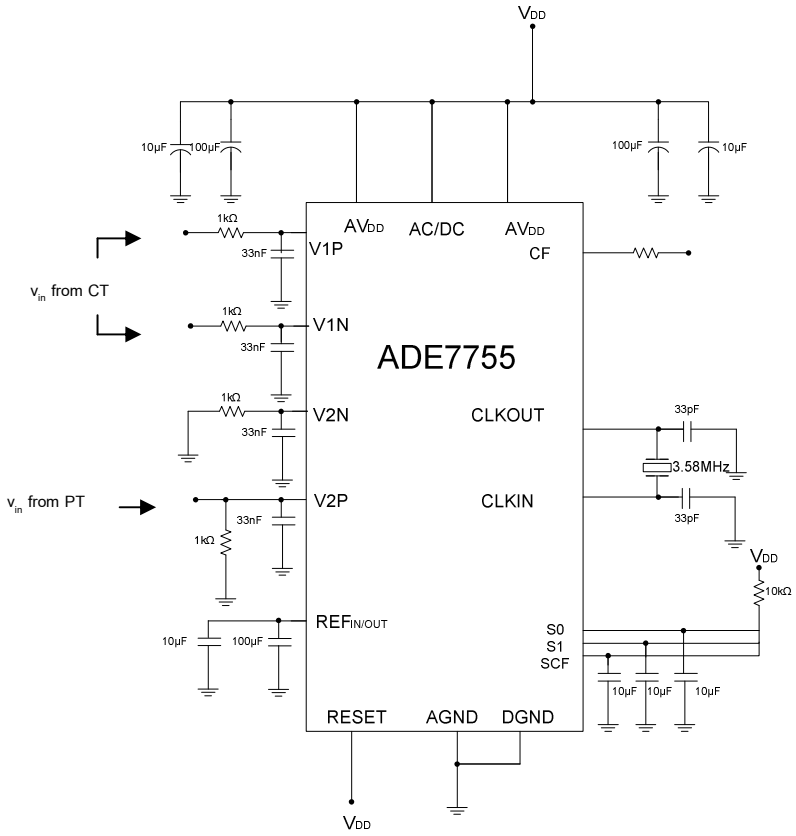
ภาพประกอบ 4-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันเมื่อใช้ความต้านทาน 10 โอห์ม

4.2 การวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

ประกอบวงจรมาตรวัดในส่วนตรวจวัดพลังงานซึ่งประกอบด้วยวงจรตรวจวัดสัญญาณกระแส (Current Signal) วงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดัน (Voltage Signal) และวงจรรวมสำเร็จ ADE7755 ดังภาพประกอบที่ 4-4 และภาพประกอบที่ 4-5 แล้วนำไปทดลองวัดค่าพลังงานไฟฟ้า ผลที่ได้จากการตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจริง จะออกมาเป็นสัญญาณพัลส์ โดยความถี่ทางด้านเอาท์พุทที่ขา CF จะมีความสัมพันธ์กับค่าของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ สำหรับการทดลองหาค่า CF จะทำการทดลองตามวงจรในภาพประกอบ 4-5 การทดลองนี้จะป้อนสัญญาณแรงดันและกระแสจากภายนอกโดยป้อนระดับแรงดันที่ขา V2P คงที่ 100 มิลลิโวลต์ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความถี่ CF ดังตารางที่ 4-2 และภาพประกอบ 4-6



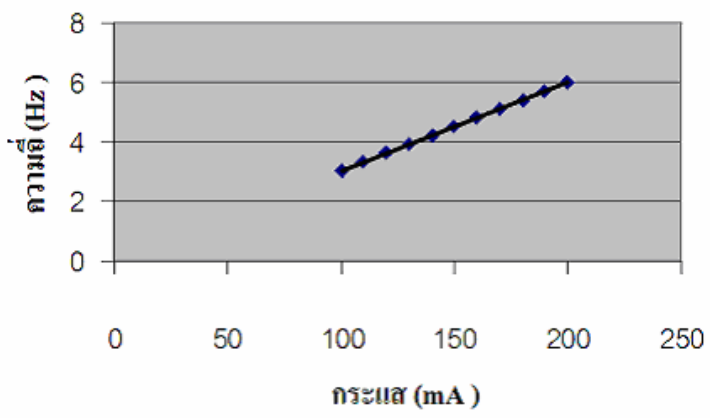
ภาพประกอบ 4-4 วงจรเครื่องวัดในส่วนตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า



ภาพประกอบ 4-5 วงจรการทดสอบหาค่า CF

ตารางที่ 4-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความถี่ CF

V1P (mV_{rms})	V_{ref} (V.)	$T_{measure}$ (Second)	$F_{calculate}$ (Hz.)	$F_{measure}$ (Hz.)
100	2.50	0.332	3.012	3.011
110	2.50	0.301	3.322	3.314
120	2.50	0.276	3.623	3.612
130	2.50	0.255	3.921	3.914
140	2.50	0.237	4.219	4.215
150	2.50	0.221	4.525	4.519
160	2.50	0.207	4.831	4.821
170	2.50	0.195	5.128	5.121
180	2.50	0.184	5.435	5.421
190	2.50	0.174	5.747	5.722
200	2.50	0.165	6.061	6.025



ภาพประกอบ 4-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความถี่ CF
โดยป้อนค่าแรงดันคงที่ 100 mV

4.2.1 การทดสอบวัดโหลดที่เป็นค่าความต้านทาน จากภาพประกอบที่ 4-7 แสดงสัญญาณที่ขา CF ของ ADE7755 เมื่อต่อโหลดความต้านทาน (Resistance load) ขนาด 1,125 วัตต์

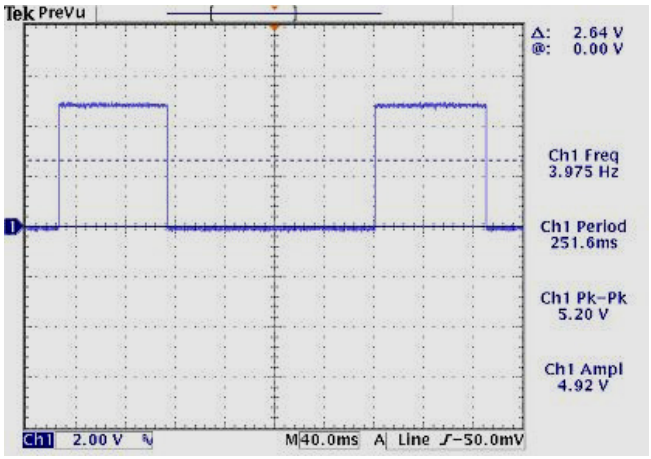
- จากการคำนวณได้ค่าความถี่ค่าความถี่ F1 และ F2 ที่โหลด 1.125 kW

F1 และ F2 = 1.125× 0.027777 Hz = 0.03124 Hz (4-1)

- ค่าความถี่ขาออก CF

CF = 128×F1 = 128×0.03055 = 3.998 Hz (4-2)

- จากผลการทดลองที่วัดได้ตามภาพ 4-7 วัดค่าความถี่ CF ได้ 3.975 Hz มีค่าผิดพลาด 0.57%



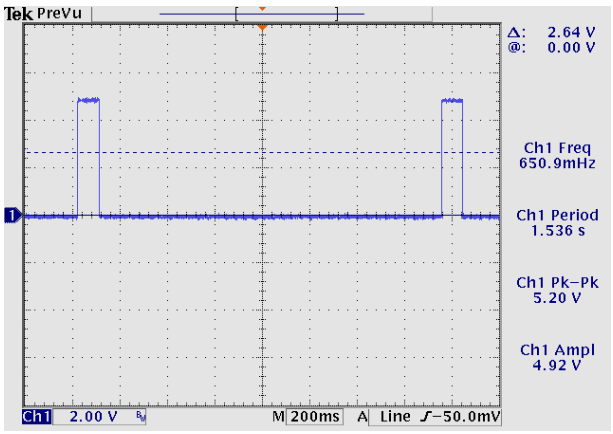
ภาพประกอบ 4-7 เอาท์พุทที่ขา CF เมื่อต่อโหลดความต้านทานขนาด 1,125 วัตต์

4.2.2 วัดค่าโหลดเหนี่ยวนำ เป็นการทดสอบสัญญาณ CF เมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลดประเภท Inductance load และ Resistance load ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้า 180 วัตต์ ดังภาพประกอบ 4-8

- จากการคำนวณได้ค่าความถี่ค่าความถี่ F1 และ F2 ที่โหลด 0.180 kW = 0.004999 Hz

- ค่าความถี่ขาออก CF = 639.987 mHz

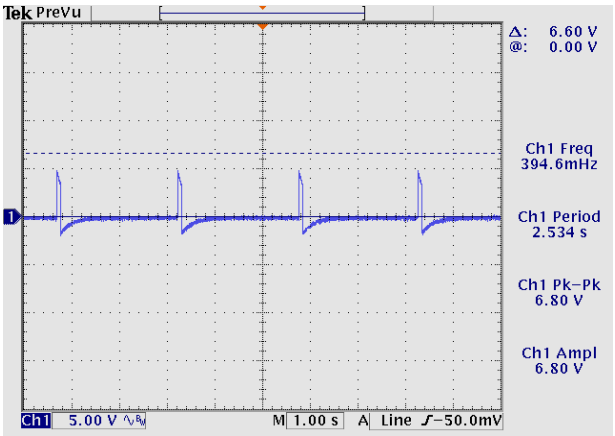
- จากผลการทดลองที่วัดได้ตามภาพ 4-9 วัดค่าความถี่ CF ได้ 650.9 mHz มีค่าผิดพลาด 1.6 %



ภาพประกอบ 4-8 เอาท์พุทที่ขา CF เมื่อป้อน Inductance load และ Resistance load ขนาด 180 วัตต์

4.2.3 วัดค่าโหลดสวิทชิ่ง เป็นการทดสอบสัญญาณ CF เมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดประเภท Switching power supply ดังภาพประกอบ 4-9

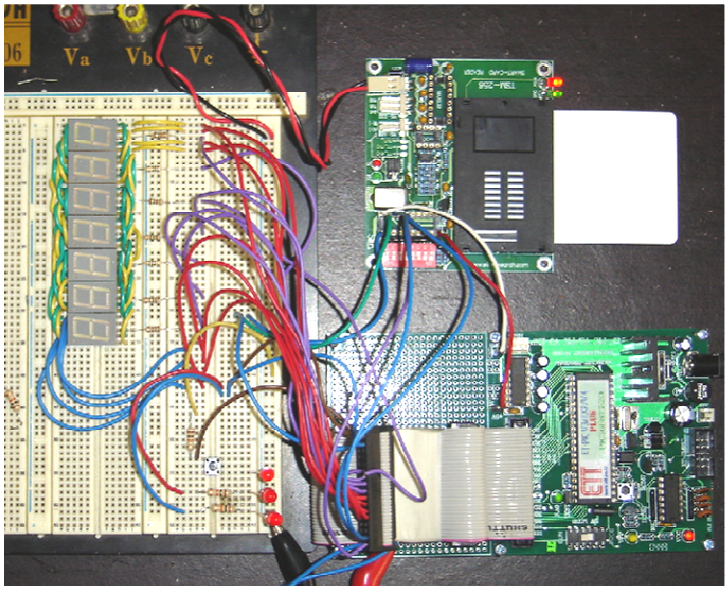
- จากการคำนวณได้ค่าความถี่ค่าความถี่ F1 และ F2 = 0.0030555 Hz
- ค่าความถี่ขาออก CF = 391.104 mHz
- จากผลการทดลองที่วัดได้ตามภาพ 4-9 วัดค่าความถี่ CF ได้ 394.6 mHz มีค่าผิดพลาด 0.88 %



ภาพประกอบ 4-9 เอาท์พุทที่ขา CF เมื่อป้อนโหลดประเภท Switching power supply

4.3 โปรแกรมโหมดคำสั่งการอ่านและเขียนบัตรสมาร์ตการ์ด

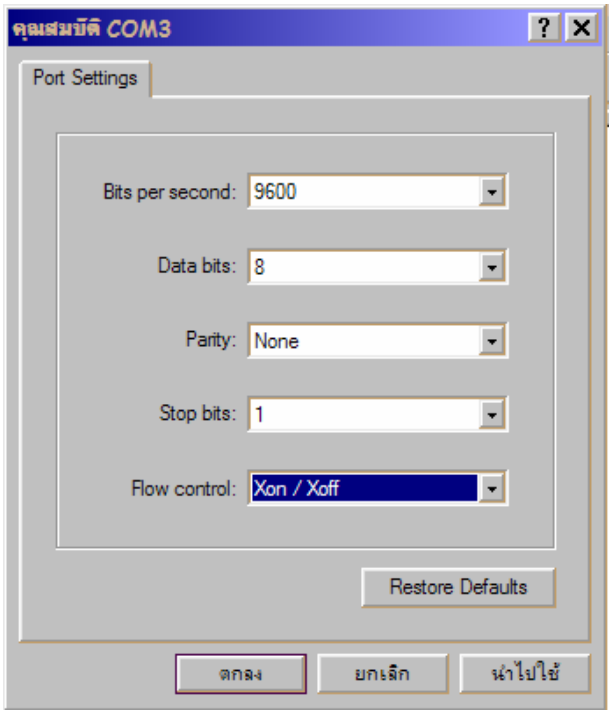
4.3.1 ผลการทดสอบวงจรการอ่านและเขียนชิปการ์ด



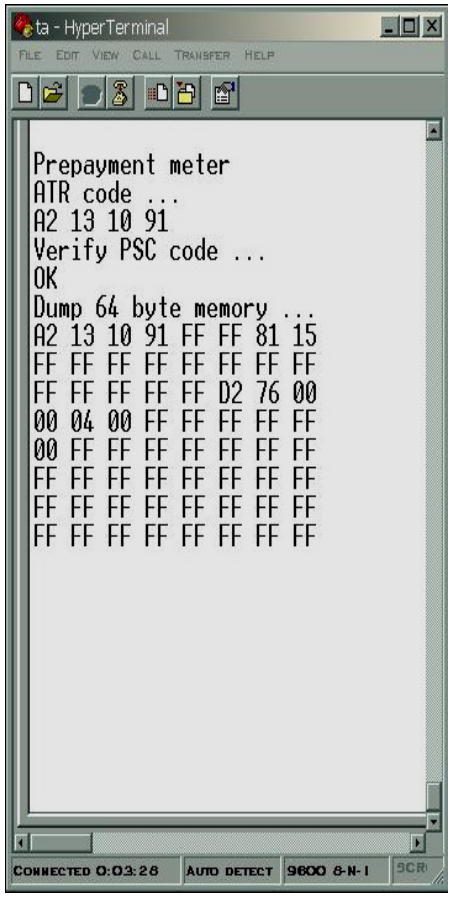
ภาพประกอบ 4-10 การทดสอบการอ่านและเขียนชิปการ์ด

ทำการต่อวงจรการทดสอบการอ่านและเขียนชิปการ์ดตามภาพประกอบ 4-10 ผลการทดสอบการอ่านบัตร เมื่อสอดการ์ดเข้าที่ Socket แล้วต่อสายจากเครื่องอ่านบัตรสมาร์ตการ์ดไปยังคอมพิวเตอร์ที่พอร์ต RS-232 แล้วตั้งค่าการเชื่อมต่อไปที่ COM3 ดังภาพประกอบ 4-11 ตั้งค่าคุณสมบัติต่างๆ ในการสื่อสารดังภาพประกอบ 4-12 แล้วใช้โปรแกรม Hyper Terminal แสดงข้อมูลออกมาดังภาพประกอบ 4-13 จะเห็นว่าบิตในตำแหน่งที่ 0-3 แสดง A2 13 10 91 ซึ่งเป็นข้อมูลของบริษัทผู้ผลิตบัตร (Manufacturer Code) และเป็นข้อมูลถาวรซึ่งไม่สามารถเขียนหรือลบข้อมูลที่ตำแหน่งนี้ได้

ภาพประกอบ 4-11 การตั้งค่าการเชื่อมต่อพอร์ต RS-232



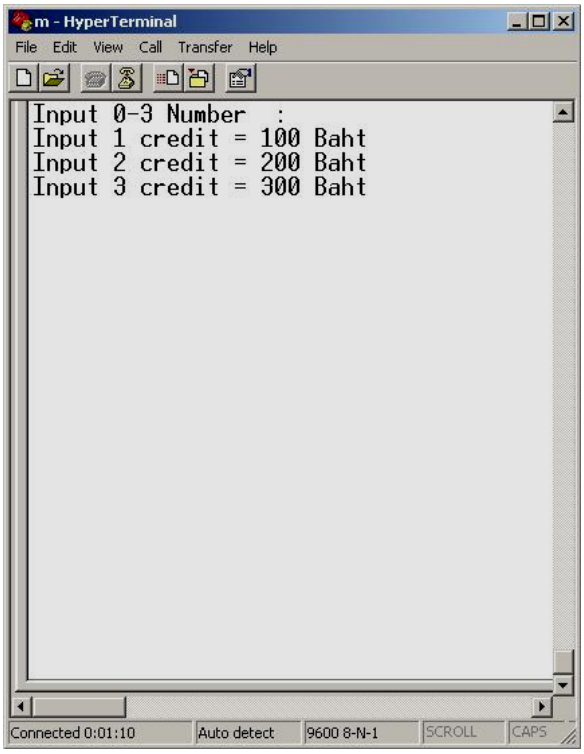
ภาพประกอบ 4-12 ตั้งค่าคุณสมบัติพอร์ต COM3



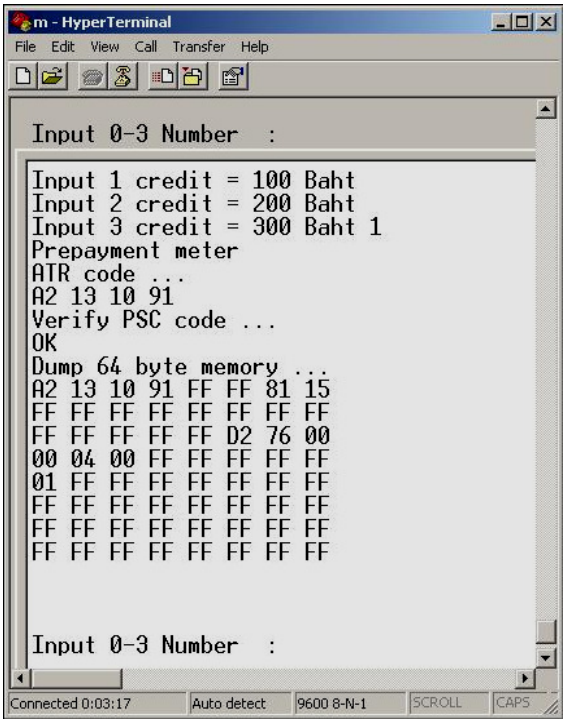
ภาพประกอบ 4-13 ข้อมูลที่ได้จากการอ่านบัตรชิปการ์ด SLE4442

4.3.2 ทดสอบการเขียนโปรแกรมป้อนค่าเงินเข้าสู่บัตรชิปการ์ด

การป้อนค่าเงินเข้าสู่บัตรสมาร์ตการ์ดจะทำผ่านโปรแกรม Hyper Terminal จากภาพประกอบ 4-14 เมื่อกดคีย์บอร์ดเลข 1 ตำแหน่งไบต์ที่ 20 ของบัตรสมาร์ตการ์ดจะเขียนข้อมูลลงไป ซึ่งจะเป็นรหัสใช้แทนมูลค่าเงิน 100 บาท เมื่อป้อนข้อมูลเข้าสู่มาตรวัดดังภาพประกอบ 4-15



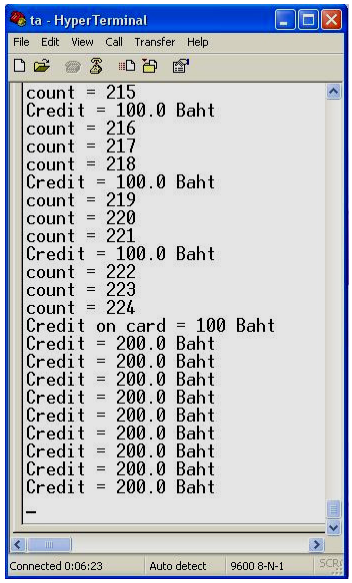
ภาพประกอบ 4-14 โปรแกรมป้อนค่าเงินเข้าสู่บัตรชิปการ์ด



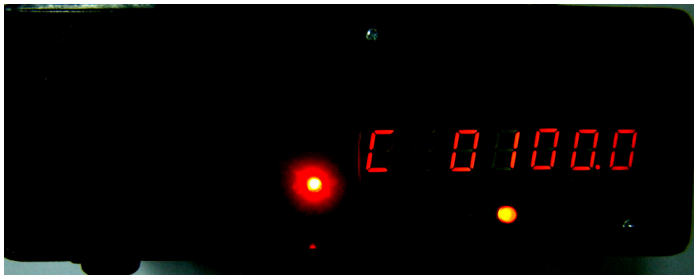
ภาพประกอบ 4-15 โปรแกรมป้อนค่าเงินเข้าสู่บัตรชิปการ์ด

4.3.3 การป้อนค่าเงินจากบัตรสมาร์ตการ์ดเข้าสู่เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า

เมื่อเสียบบัตรสมาร์ตการ์ดที่สมาร์ตการ์ดรีดเดอร์ เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าจะแสดงมูลค่าเงินบนบัตร หลังจากนั้นเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าจะทำการบวกเพิ่มมูลค่าเงินจากที่มีอยู่เดิมสำหรับมูลค่าเงินจะเติมเข้าสู่เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าได้ไม่เกิน 9,999บาท การเติมมูลค่าเงินเข้าสู่เครื่องวัดพลังงานแสดงตามภาพประกอบ 4-16 และภาพประกอบ 4-17 เครื่องวัดจะแสดงมูลค่าเงินคงเหลือให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทราบ

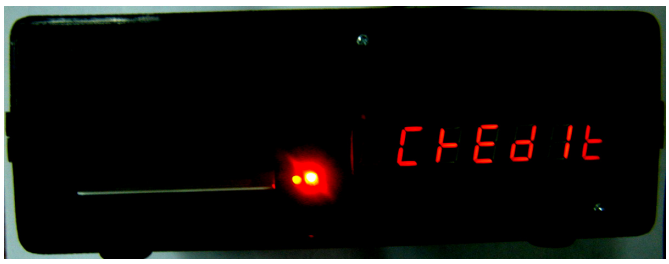


ภาพประกอบ 4-16 การป้อนค่าเงินเข้าสู่เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านบัตรสมาร์ตการ์ด



ภาพประกอบ 4-17 ยอดเงินในเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า

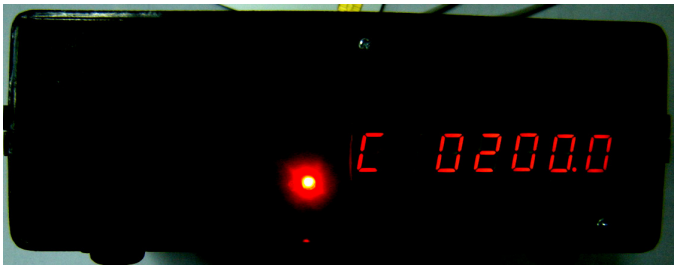
จากภาพประกอบที่ 4-18 และภาพประกอบ 4-19 เมื่อผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าเสียบบัตรชิปการ์ดที่สมาร์ตการ์ดรีดเดอร์ เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าจะแสดงการตรวจสอบข้อมูลภายในบัตร และแสดงยอดเงินที่มีอยู่ภายในบัตรให้ผู้ใช้ไฟทราบ



ภาพประกอบ 4-18 เมื่อเสียบชิปการ์ดเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าจะตรวจสอบข้อมูลภายในบัตร

ภาพประกอบ 4-19 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าจะแสดงยอดเงินที่มีอยู่ภายในบัตรให้ผู้ใช้ไฟทราบ

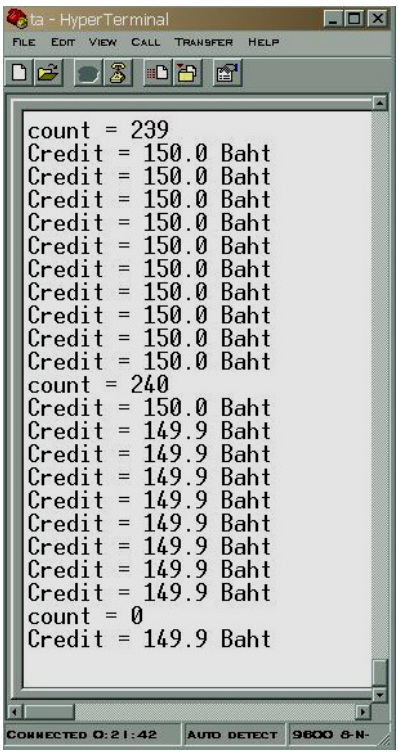
จากภาพประกอบภาพประกอบ 4-20 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าทำการถ่ายโอนมูลค่าเงินแล้ว ทำการบวกเพิ่มมูลค่าเงินจากที่มีอยู่เดิมเข้าสู่เครื่องวัด แล้วทำการลบมูลค่าเงินที่มีอยู่ภายในบัตร



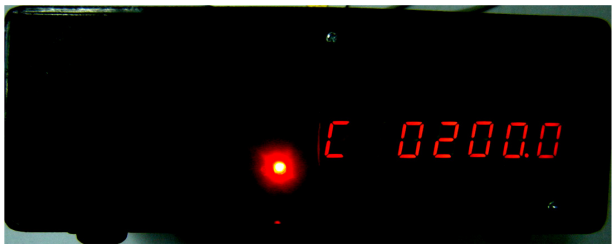
ภาพประกอบ 4-20 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าถ่ายโอนมูลค่าเงินแล้วทำการบวกเพิ่มมูลค่าเงินจากที่มีอยู่เดิม

4.3.4 ผลการทดสอบการตัดยอดเงินของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า

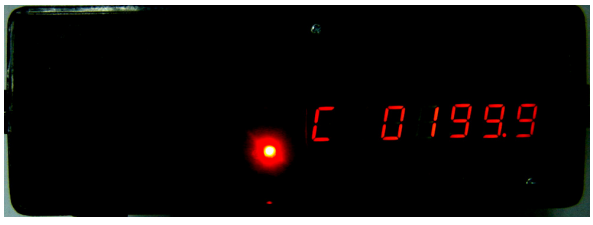
การตัดยอดเงินเมื่อมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจะตัดครั้งละ 0.1 บาท ที่ 0.02 kW-h หรือคิดเป็นมูลค่าเงิน 5 บาท ต่อ 1 kW-h ดังนั้นจะตัดยอดเงินที่สัญญาณ F_{OUT} หรือ count มีค่าเท่ากับ 240 ดังภาพประกอบ 4-21 ภาพประกอบ 4-22 และภาพประกอบ 4-23



ภาพประกอบ 4-21 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าตัดยอดเงินเมื่อสัญญาณที่ขา F_{OUT} = 240 pulse



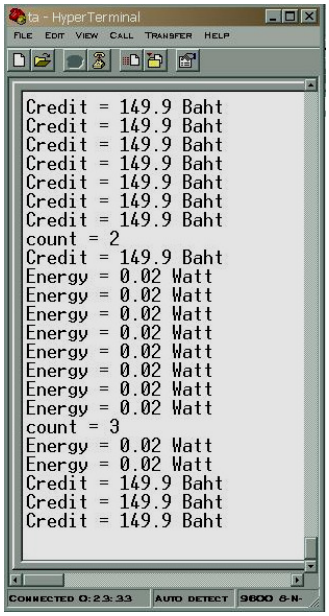
ภาพประกอบ 4-22 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าขณะตัดยอดเงิน



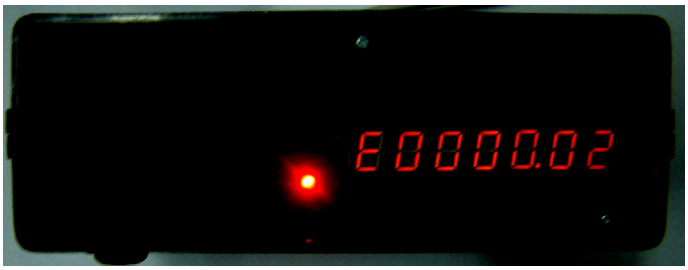
ภาพประกอบ 4-23 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าขณะตัดยอดเงิน

4.3.5 ผลการทดสอบการอ่านค่าพลังงานรวมที่ใช้

จากภาพประกอบ 4-24 และภาพประกอบ 4-25 แสดงให้เห็นค่าพลังงานรวมที่ใช้เมื่อมีการกดสวิทช์สำหรับแสดงค่าพลังงานที่ใช้



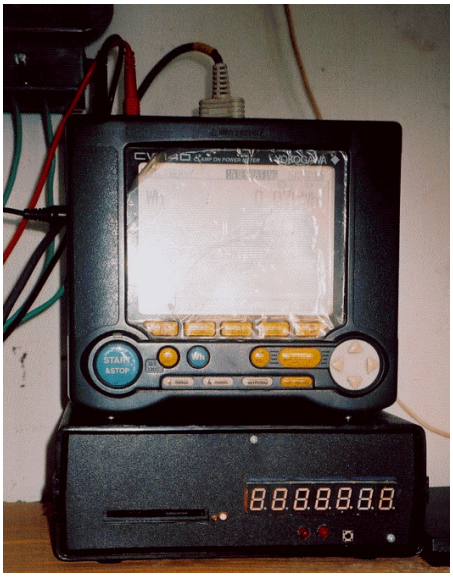
ภาพประกอบ 4-24 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

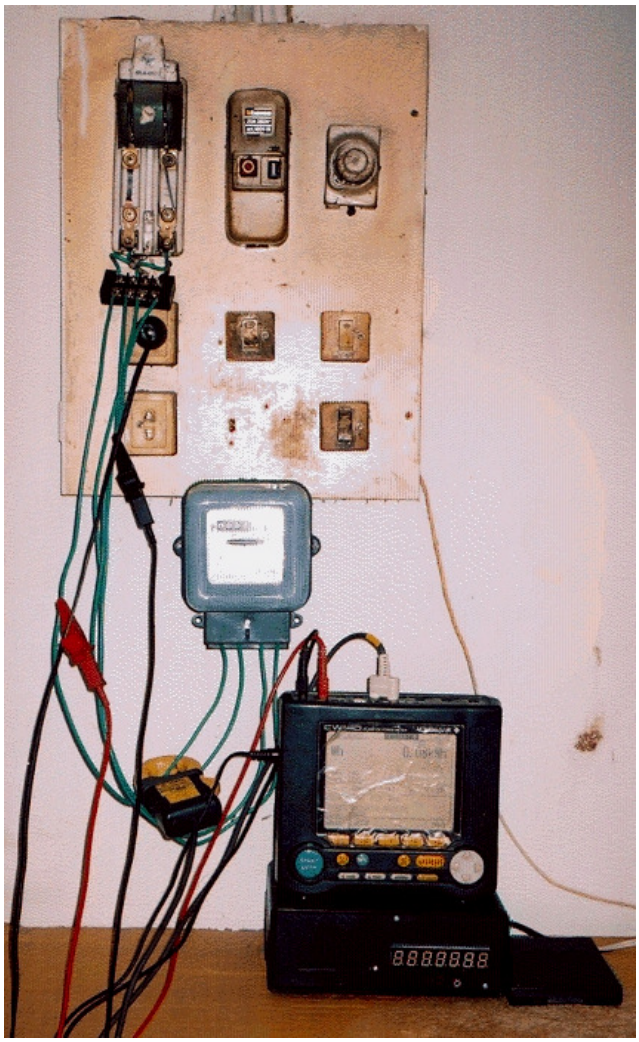


ภาพประกอบ 4-25 เมื่อกดสวิทช์เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าจะแสดงจำนวนพลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้

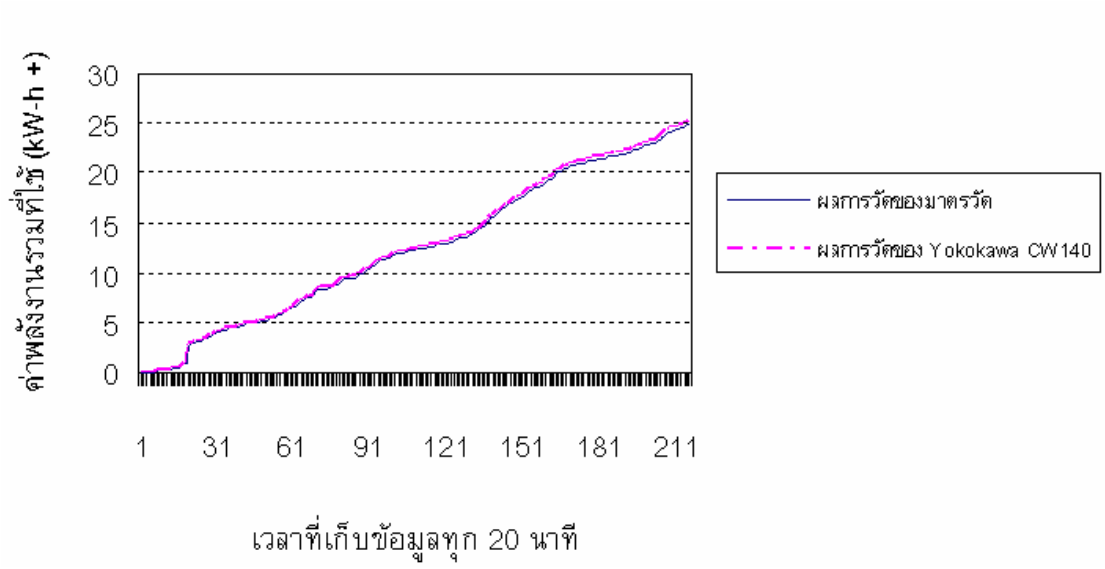
4.3.6 ทดสอบเครื่องวัดไฟฟ้าแบบชำระเงินล่วงหน้ากับโหลดภายในบ้าน

ในการทดสอบจะวัดเปรียบเทียบค่ากับมาตรวัดกิโลวัตต์-ชั่วโมง (Kilowatt- hour meter) และเปรียบเทียบกับมาตรวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน YOKOGAWA รุ่น CW140 ดังภาพประกอบที่ 4-26 ให้ผลการวัดผลการวัดมีค่าผิดพลาดประมาณ ± 1.1% ตามภาพประกอบที่ 4-27





ภาพประกอบ 4-26 การทดสอบเครื่องวัดไฟฟ้าแบบชำระเงินล่วงหน้ากับโหลดภายในบ้าน



ภาพประกอบที่ 4-27 ผลการวัดของเครื่องวัดพลังงาน เมื่อเปรียบเทียบกับผลการวัดของมาตรวัดมาตรฐาน Yokokawa CW 140