## ก.1 DATA SHEET ADE7755

**ADE7755–SPECIFICATIONS** ($AV_{DD}$ = $DV_{DD}$ = 5 V ± 5%, AGND = DGND = 0 V, On-Chip Reference, CLKIN = 3.58 MHz, $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$ = –40°C to +85°C.)

| Parameter | Specifications | Unit | Test Conditions/Comments |
|---|---|---|---|
| ACCURACY[1, 2] | | | |
| Measurement Error[1] on Channel 1 | | | Channel 2 with Full-Scale Signal (±660 mV), 25°C |
| Gain = 1 | 0.1 | % Reading typ | Over a Dynamic Range 500 to 1 |
| Gain = 2 | 0.1 | % Reading typ | Over a Dynamic Range 500 to 1 |
| Gain = 8 | 0.1 | % Reading typ | Over a Dynamic Range 500 to 1 |
| Gain = 16 | 0.1 | % Reading typ | Over a Dynamic Range 500 to 1 |
| Phase Error[1] Between Channels | | | Line Frequency = 45 Hz to 65 Hz |
| V1 Phase Lead 37° | | | |
| (PF = 0.8 Capacitive) | ±0.1 | Degrees(°) max | AC/$\overline{DC}$ = 0 and AC/$\overline{DC}$ = 1 |
| V1 Phase Lag 60° | | | |
| (PF = 0.5 Inductive) | ±0.1 | Degrees(°) max | AC/$\overline{DC}$ = 0 and AC/$\overline{DC}$ = 1 |
| AC Power Supply Rejection[1] | | | AC/$\overline{DC}$ = 1, S0 = S1 = 1, G0 = G1 = 0 |
| Output Frequency Variation (CF) | 0.2 | % Reading typ | V1 = 100 mV rms, V2 = 100 mV rms, @ 50 Hz<br>Ripple on $AV_{DD}$ of 200 mV rms @ 100 Hz |
| DC Power Supply Rejection[1] | | | AC/$\overline{DC}$ = 1, S0 = S1 = 1, G0 = G1 = 0 |
| Output Frequency Variation (CF) | ±0.3 | % Reading typ | V1 = 100 mV rms, V2 = 100 mV rms,<br>$AV_{DD}$ = $DV_{DD}$ = 5 V ± 250 mV |
| ANALOG INPUTS | | | See Analog Inputs section |
| Maximum Signal Levels | ±1 | V max | V1P, V1N, V2N, and V2P to AGND |
| Input Impedance (DC) | 390 | kΩ min | CLKIN = 3.58 MHz |
| Bandwidth (–3 dB) | 14 | kHz typ | CLKIN/256, CLKIN = 3.58 MHz |
| ADC Offset Error[1, 2] | ±25 | mV max | Gain = 1, See Terminology and Performance Graphs |
| Gain Error[1] | ±7 | % Ideal typ | External 2.5 V Reference, Gain = 1<br>V1 = 470 mV dc, V2 = 660 mV dc |
| Gain Error Match[1] | ±0.2 | % Ideal typ | External 2.5 V Reference |
| REFERENCE INPUT | | | |
| $REF_{IN/OUT}$ Input Voltage Range | 2.7 | V max | 2.5 V + 8% |
| | 2.3 | V min | 2.5 V – 8% |
| Input Impedance | 3.2 | kΩ min | |
| Input Capacitance | 10 | pF max | |
| ON-CHIP REFERENCE | | | Nominal 2.5 V |
| Reference Error | ±200 | mV max | |
| Temperature Coefficient | ±30 | ppm/°C typ | |
| CLKIN | | | Note All Specifications for CLKIN of 3.58 MHz |
| Input Clock Frequency | 4 | MHz max | |
| | 1 | MHz min | |
| LOGIC INPUTS[3] | | | |
| SCF, S0, S1, AC/$\overline{DC}$, | | | |
| $\overline{RESET}$, G0, and G1 | | | |
| Input High Voltage, $V_{INH}$ | 2.4 | V min | $DV_{DD}$ = 5 V ± 5% |
| Input Low Voltage, $V_{INL}$ | 0.8 | V max | $DV_{DD}$ = 5 V ± 5% |
| Input Current, $I_{IN}$ | ±3 | μA max | Typically 10 nA, $V_{IN}$ = 0 V to $DV_{DD}$ |
| Input Capacitance, $C_{IN}$ | 10 | pF max | |
| LOGIC OUTPUTS[3] | | | |
| F1 and F2 | | | |
| Output High Voltage, $V_{OH}$ | | | $I_{SOURCE}$ = 10 mA |
| | 4.5 | V min | $DV_{DD}$ = 5 V |
| Output Low Voltage, $V_{OL}$ | | | $I_{SINK}$ = 10 mA |
| | 0.5 | V max | $DV_{DD}$ = 5 V |
| CF and REVP | | | |
| Output High Voltage, $V_{OH}$ | | | $I_{SOURCE}$ = 5 mA |
| | 4 | V min | $DV_{DD}$ = 5 V |
| Output Low Voltage, $V_{OL}$ | | | $I_{SINK}$ = 5 mA |
| | 0.5 | V max | $DV_{DD}$ = 5 V |

ภาพประกอบ ก-1 คุณสมบัติ ADE7755

PIN FUNCTION DESCRIPTIONS

| Pin No. | Mnemonic | Description |
|---|---|---|
| 1 | $DV_{DD}$ | Digital Power Supply. This pin provides the supply voltage for the digital circuitry in the ADE7755. The supply voltage should be maintained at 5 V ± 5% for specified operation. This pin should be decoupled with a 10 µF capacitor in parallel with a ceramic 100 nF capacitor. |
| 2 | AC/$\overline{DC}$ | High-Pass Filter Select. This logic input is used to enable the HPF in Channel 1 (Current Channel). A logic one on this pin enables the HPF. The associated phase response of this filter has been internally compensated over a frequency range of 45 Hz to 1 kHz. The HPF filter should be enabled in power metering applications. |
| 3 | $AV_{DD}$ | Analog Power Supply. This pin provides the supply voltage for the analog circuitry in the ADE7755. The supply should be maintained at 5 V ± 5% for specified operation. Every effort should be made to minimize power supply ripple and noise at this pin by the use of proper decoupling. This pin should be decoupled to AGND with a 10 µF capacitor in parallel with a ceramic 100 nF capacitor. |
| 4, 19 | NC | No Connect |
| 5, 6 | V1P, V1N | Analog Inputs for Channel 1 (Current Channel). These inputs are fully differential voltage inputs with a maximum differential signal level of ±470 mV for specified operation. Channel 1 also has a PGA, and the gain selections are outlined in Table I. The maximum signal level at these pins is ±1 V with respect to AGND. Both inputs have internal ESD protection circuitry. An overvoltage of ±6 V can be sustained on these inputs without risk of permanent damage. |
| 7, 8 | V2N, V2P | Negative and Positive Inputs for Channel 2 (Voltage Channel). These inputs provide a fully differential input pair. The maximum differential input voltage is ±660 mV for specified operation. The maximum signal level at these pins is ±1 V with respect to AGND. Both inputs have internal ESD protection circuitry, and an overvoltage of ±6 V can also be sustained on these inputs without risk of permanent damage. |
| 9 | $\overline{RESET}$ | Reset Pin for the ADE7755. A logic low on this pin will hold the ADCs and digital circuitry in a reset condition. Bringing this pin logic low will clear the ADE7755 internal registers. |
| 10 | $REF_{IN/OUT}$ | This pin provides access to the on-chip voltage reference. The on-chip reference has a nominal value of 2.5 V ± 8% and a typical temperature coefficient of 30 ppm/°C. An external reference source may also be connected at this pin. In either case, this pin should be decoupled to AGND with a 1 µF ceramic capacitor and 100 nF ceramic capacitor. |
| 11 | AGND | This provides the ground reference for the analog circuitry in the ADE7755, i.e., ADCs and reference. This pin should be tied to the analog ground plane of the PCB. The analog ground plane is the ground reference for all analog circuitry, e.g., antialiasing filters and current and voltage transducers. For good noise suppression, the analog ground plane should only connect to the digital ground plane at one point. A star ground configuration will help to keep noisy digital currents away from the analog circuits. |
| 12 | SCF | Select Calibration Frequency. This logic input is used to select the frequency on the calibration output CF. Table IV shows how the calibration frequencies are selected. |
| 13, 14 | S1, S0 | These logic inputs are used to select one of four possible frequencies for the digital-to-frequency conversion. This offers the designer greater flexibility when designing the energy meter. See Selecting a Frequency for an Energy Meter Application section. |
| 15, 16 | G1, G0 | These logic inputs are used to select one of four possible gains for Channel 1, i.e., V1. The possible gains are 1, 2, 8, and 16. See Analog Input section. |
| 17 | CLKIN | An external clock can be provided at this logic input. Alternatively, a parallel resonant AT crystal can be connected across CLKIN and CLKOUT to provide a clock source for the ADE7755. The clock frequency for specified operation is 3.579545 MHz. Crystal load capacitance of between 22 pF and 33 pF (ceramic) should be used with the gate oscillator circuit. |
| 18 | CLKOUT | A crystal can be connected across this pin and CLKIN as described above to provide a clock source for the ADE7755. The CLKOUT Pin can drive one CMOS load when an external clock is supplied at CLKIN or by the gate oscillator circuit. |
| 20 | REVP | This logic output will go logic high when negative power is detected, i.e., when the phase angle between the voltage and current signals is greater than 90°. This output is not latched and will be reset when positive power is once again detected. The output will go high or low at the same time as a pulse is issued on CF. |

ภาพประกอบ ก-2 PIN FUNCTION DESCRIPTIONS

**ก.2 ตารางการทำงานของ ADE7755**

ตาราง ก-1 อัตราขยายในการออกแบบสัญญาณกระแส (ช่องสัญญาณ 1)

| G1 | G0 | Gain | Maximum Differential Signal |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 | ±470 mV |
| 0 | 1 | 2 | ±235 mV |
| 1 | 0 | 8 | ±60 mV |
| 1 | 1 | 16 | ±30 mV |

ตาราง ก-2 ตารางเลือกค่าความถี่ $F_{1-4}$

| S1 | S0 | $F_{1-4}$ (Hz) | XTAL/CLKIN* |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 1.7 | 3.579 MHz/$2^{21}$ |
| 0 | 1 | 3.4 | 3.579 MHz/$2^{20}$ |
| 1 | 0 | 6.8 | 3.579 MHz/$2^{19}$ |
| 1 | 1 | 13.6 | 3.579 MHz/$2^{18}$ |

NOTE
*$F_{1-4}$ is a binary fraction of the master clock and therefore will vary if the specified CLKIN frequency is altered.

ตาราง ก-3 ตารางเลือกค่าความถี่ที่ช่องสัญญาณ F1 และ F2

| S1 | S0 | Max Frequency for DC Inputs (Hz) | Max Frequency for AC Inputs (Hz) |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0.68 | 0.34 |
| 0 | 1 | 1.36 | 0.68 |
| 1 | 0 | 2.72 | 1.36 |
| 1 | 1 | 5.44 | 2.72 |

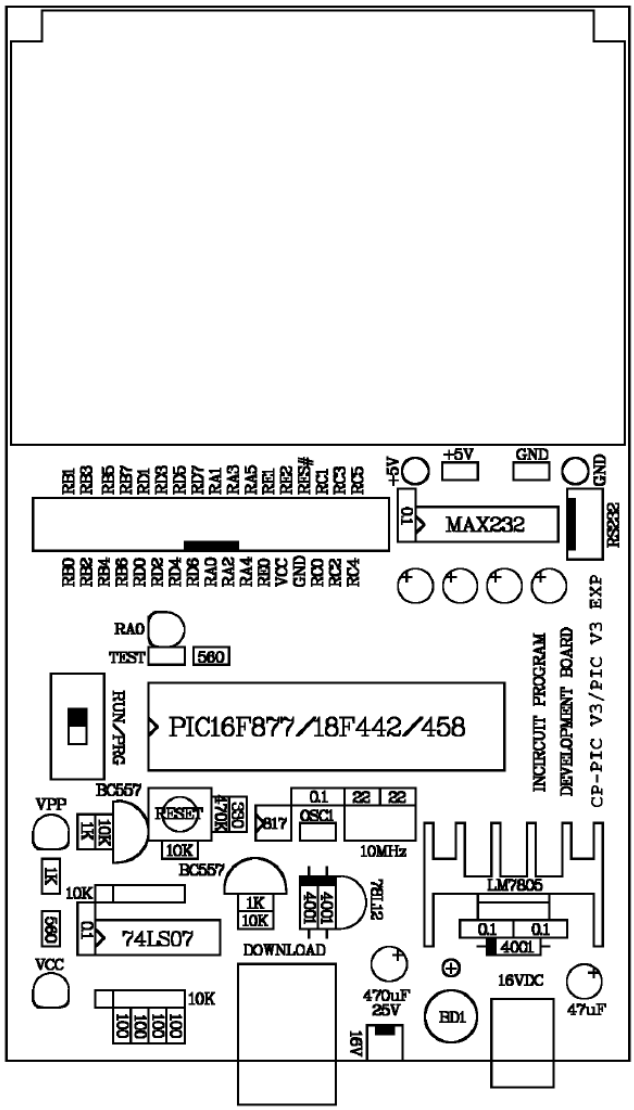
ตาราง ก-4 ตารางเลือกค่าความถี่ที่ช่องสัญญาณ F1 และ F2

| SCF | S1 | S0 | $F_{1-4}$ (Hz) | CF Max for AC Signals (Hz) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 1.7 | 128 × F1, F2 = 43.52 |
| 0 | 0 | 0 | 1.7 | 64 × F1, F2 = 21.76 |
| 1 | 0 | 1 | 3.4 | 64 × F1, F2 = 43.52 |
| 0 | 0 | 1 | 3.4 | 32 × F1, F2 = 21.76 |
| 1 | 1 | 0 | 6.8 | 32 × F1, F2 = 43.52 |
| 0 | 1 | 0 | 6.8 | 16 × F1, F2 = 21.76 |
| 1 | 1 | 1 | 13.6 | 16 × F1, F2 = 43.52 |
| 0 | 1 | 1 | 13.6 | 2048 × F1, F2 = 5.57 kHz |

ตาราง ก-5 ตารางแสดงค่าความถี่ F1 และ F2 เมื่อกำหนดผลการวัด 100 imp/kWh

| $I_{MAX}$ | F1 and F2 (Hz) |
|---|---|
| 12.5 A | 0.076 |
| 25 A | 0.153 |
| 40 A | 0.244 |
| 60 A | 0.367 |
| 80 A | 0.489 |
| 120 A | 0.733 |

**ข. 1 รายละเอียดทางเทคนิคของบอร์ด**



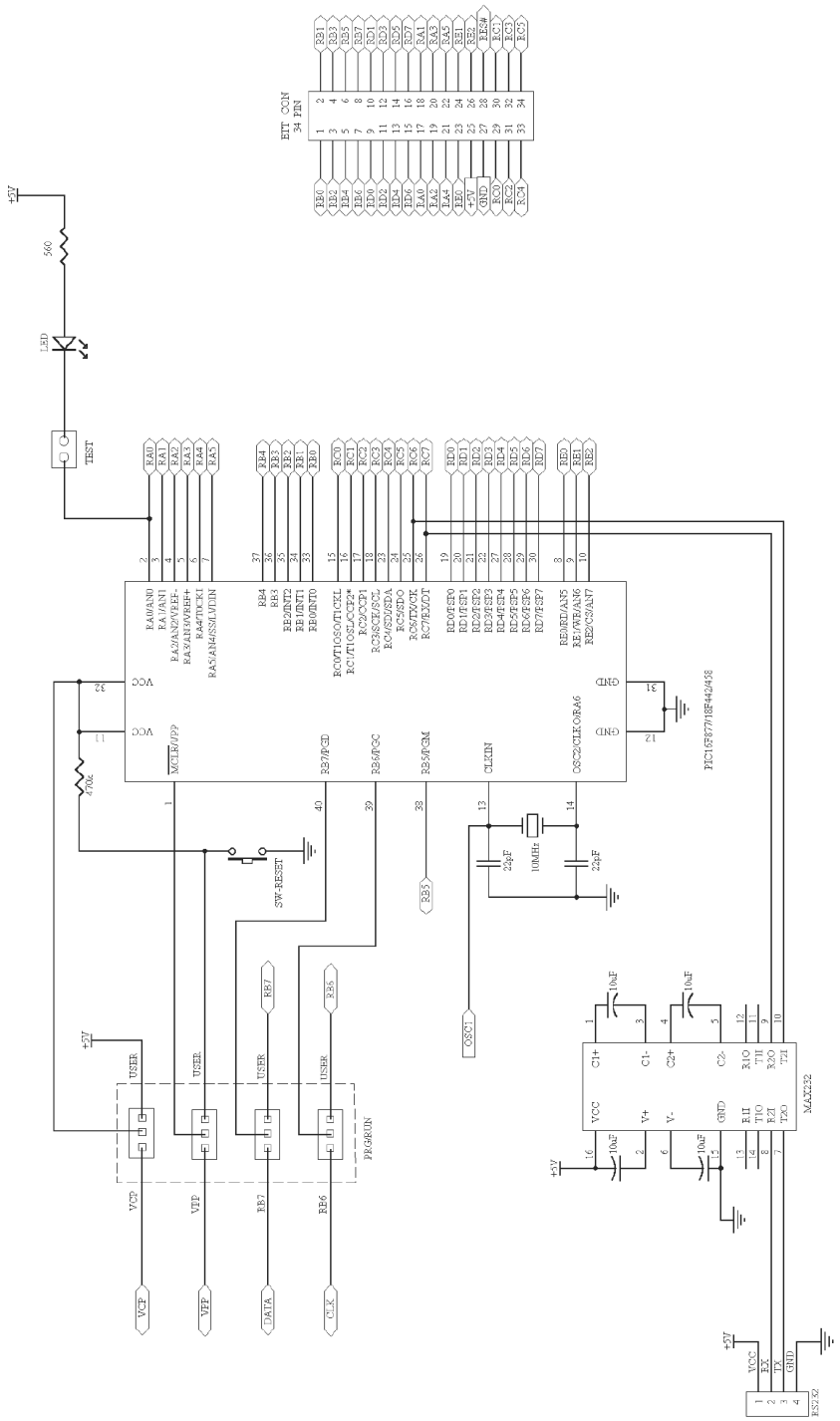

ภาพประกอบ ข-1 ลักษณะโครงสร้างของบอร์ด CP-PIC V3.0

**คุณสมบัติทางเทคนิค**

- RS – 232 1 แชนเนล
- RS-422/458 1 แชนเนล (IC 75176 เป็น Option)
- ETT CON 34PIN (ET BUS I/O 34PIN)
- 5 Volt Regulator On Board
- วงจรโปรแกรมแบบ High Voltage ภายในบอร์ด

- ใช้ Adaptor 16VDC (Option)
- ADC/IO(CPU) พอร์ตสำหรับต่อ อินพุตอนาลอก 8 Channel
- CLCD 14PIN พอร์ตสำหรับต่อ LCD (4 Bit Data)
- RTC #PCF8583P (Option)
- EEPROM ตั้งแต่เบอร์ #2432 ขึ้นไป (Option)
- I2C IN/OUT เป็นIC ขยายพอร์ต I/O #PCF8574AP (Option)
- KBI/IO 10 Pin สำหรับต่อกับ Keyboard หรือ ใช้เป็น Input /Output Port
- Relay Onboard 5V 1ตัว (Option)
- MCRB02TTL ขั้วต่อ Macnetic Card Reader
- Mini Speaker/Buzzer
- I2C BUS(EXPAND)
- PWM1 ขั้วต่อสำหรับใช้งาน Capture/Compare/PWM ตัวที่หนึ่ง
- PWM2 ขั้วต่อสำหรับใช้งาน Capture/Compare/PWM ตัวที่สอง

## ข. 2 รายละเอียดวงจรของบอร์ด



ภาพประกอบ ข-2 วงจรของบอร์ด CP-PIC V3.0

**ค.ตารางแสดงรายละเอียดของภาพปะกอบ 4-16**

ตาราง ค ผลการทดสอบเครื่องวัดไฟฟ้าแบบชำระเงินล่วงหน้ากับโหลดภายในบ้าน

| วันที่ | เวลา | เวลารวม | V1 | I1 | P | Q | VA | PF | PA | F | kW-h | kW-h 0n meter |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 11/8/2006 | 13:00:00 | 00:00:00 | 231 | 1.8 | 364 | 204 | 420 | 0.873 | 29.2 | 50 | 0.00 | 0 |
| 11/8/2006 | 13:20:00 | 00:20:00 | 231 | 0.88 | 148 | 140 | 204 | 0.729 | 43.2 | 50 | 0.03 | 0.03 |
| 11/8/2006 | 13:40:00 | 00:40:00 | 229 | 0.52 | 72 | 97 | 120 | 0.593 | 53.6 | 50 | 0.05 | 0.05 |
| 11/8/2006 | 14:00:00 | 01:00:00 | 230 | 0.44 | 73 | 71 | 101 | 0.714 | 44.4 | 50 | 0.07 | 0.07 |
| 11/8/2006 | 14:20:00 | 01:20:00 | 232 | 0.44 | 70 | 75 | 102 | 0.682 | 47 | 50 | 0.08 | 0.08 |
| 11/8/2006 | 14:40:00 | 01:40:00 | 231 | 0.44 | 72 | 73 | 102 | 0.703 | 45.3 | 50 | 0.10 | 0.10 |
| 11/8/2006 | 15:00:00 | 02:00:00 | 232 | 0.44 | 71 | 75 | 102 | 0.686 | 46.7 | 50 | 0.11 | 0.11 |
| 11/8/2006 | 15:20:00 | 02:20:00 | 232 | 0.4 | 57 | 74 | 93 | 0.609 | 52.5 | 50 | 0.12 | 0.12 |
| 11/8/2006 | 15:40:00 | 02:40:00 | 231 | 3.8 | 328 | 84 | 904 | 0.363 | 67.7 | 50 | 0.17 | 0.17 |
| 11/8/2006 | 16:00:00 | 03:00:00 | 231 | 1.2 | 192 | 196 | 276 | 0.697 | 45.8 | 50 | 0.21 | 0.21 |
| 11/8/2006 | 16:20:00 | 03:20:00 | 231 | 1.12 | 176 | 196 | 264 | 0.668 | 48.1 | 50 | 0.24 | 0.24 |
| 11/8/2006 | 16:40:00 | 03:40:00 | 230 | 1.12 | 168 | 192 | 256 | 0.654 | 49.1 | 50 | 0.29 | 0.29 |
| 11/8/2006 | 17:00:00 | 04:00:00 | 231 | 1.12 | 168 | 192 | 256 | 0.65 | 49.4 | 50 | 0.33 | 0.33 |
| 11/8/2006 | 17:20:00 | 04:20:00 | 230 | 0.4 | 66 | 63 | 92 | 0.714 | 44.4 | 50 | 0.34 | 0.34 |
| 11/8/2006 | 17:40:00 | 04:40:00 | 231 | 1.12 | 164 | 192 | 256 | 0.648 | 49.6 | 50 | 0.36 | 0.36 |
| 11/8/2006 | 18:00:00 | 05:00:00 | 224 | 2.37 | 496 | 508 | 708 | 0.701 | 45.5 | 50 | 0.52 | 0.53 |
| 11/8/2006 | 18:20:00 | 05:20:00 | 224 | 2.84 | 416 | 480 | 636 | 0.655 | 49.1 | 50 | 0.67 | 0.68 |
| 11/8/2006 | 18:40:00 | 05:40:00 | 223 | 3.8 | 572 | 628 | 848 | 0.674 | 47.6 | 50 | 0.85 | 0.86 |
| 11/8/2006 | 19:00:00 | 06:00:00 | 224 | 3.24 | 512 | 524 | 732 | 0.698 | 45.7 | 50 | 1.00 | 1.01 |
| 11/8/2006 | 19:20:00 | 06:20:00 | 225 | 3.36 | 532 | 536 | 756 | 0.704 | 45.3 | 50 | 2.71 | 2.74 |
| 11/8/2006 | 19:40:00 | 06:40:00 | 226 | 2.24 | 296 | 416 | 512 | 0.577 | 54.8 | 50 | 2.87 | 2.90 |
| 11/8/2006 | 20:00:00 | 07:00:00 | 228 | 2.28 | 308 | 420 | 520 | 0.592 | 53.7 | 50 | 2.97 | 3.01 |
| 11/8/2006 | 20:20:00 | 07:20:00 | 229 | 2.36 | 328 | 428 | 536 | 0.608 | 52.5 | 50 | 3.08 | 3.12 |
| 11/8/2006 | 20:40:00 | 07:40:00 | 227 | 1.32 | 148 | 264 | 300 | 0.494 | 60.4 | 50 | 3.13 | 3.17 |
| 11/8/2006 | 21:00:00 | 08:00:00 | 229 | 2 | 232 | 396 | 460 | 0.508 | 59.5 | 50 | 3.20 | 3.24 |
| 11/8/2006 | 21:20:00 | 08:20:00 | 230 | 2.15 | 354 | 342 | 494 | 0.721 | 43.9 | 50 | 3.32 | 3.36 |
| 11/8/2006 | 21:40:00 | 08:40:00 | 231 | 2.43 | 401 | 395 | 566 | 0.714 | 44.4 | 50 | 3.45 | 3.49 |
| 11/8/2006 | 22:00:00 | 09:00:00 | 232 | 2.42 | 400 | 397 | 566 | 0.712 | 44.6 | 50 | 3.58 | 3.62 |
| 11/8/2006 | 22:20:00 | 09:20:00 | 232 | 2.48 | 405 | 411 | 580 | 0.703 | 45.3 | 50 | 3.72 | 3.76 |
| 11/8/2006 | 22:40:00 | 09:40:00 | 231 | 2.48 | 401 | 412 | 577 | 0.7 | 45.6 | 50 | 3.85 | 3.90 |
| 11/8/2006 | 23:00:00 | 10:00:00 | 231 | 2.22 | 358 | 369 | 517 | 0.698 | 45.7 | 50 | 3.97 | 4.02 |
| 11/8/2006 | 23:20:00 | 10:20:00 | 232 | 2.18 | 349 | 368 | 510 | 0.689 | 46.4 | 50 | 4.08 | 4.13 |

ตาราง ค (ต่อ) ผลการทดสอบเครื่องวัดไฟฟ้าแบบชำระเงินล่วงหน้ากับโหลดภายในบ้าน

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 11/8/2006 | 23:40:00 | 10:40:00 | 232 | 2.22 | 355 | 376 | 519 | 0.688 | 46.5 | 50 | 4.20 | 4.25 |
| 11/8/2006 | 00:00:00 | 11:00:00 | 232 | 2.21 | 355 | 373 | 517 | 0.691 | 46.3 | 50 | 4.32 | 4.37 |
| 12/8/2006 | 00:20:00 | 11:20:00 | 231 | 1.21 | 191 | 206 | 282 | 0.682 | 47 | 50 | 4.38 | 4.43 |
| 12/8/2006 | 00:40:00 | 11:40:00 | 232 | 1.11 | 176 | 189 | 260 | 0.683 | 46.9 | 50 | 4.44 | 4.49 |
| 12/8/2006 | 01:00:00 | 12:00:00 | 232 | 1.1 | 176 | 186 | 257 | 0.69 | 46.4 | 50 | 4.50 | 4.55 |
| 12/8/2006 | 01:20:00 | 12:20:00 | 233 | 1.1 | 178 | 186 | 258 | 0.694 | 46.1 | 50 | 4.56 | 4.61 |
| 12/8/2006 | 01:40:00 | 12:40:00 | 233 | 1.08 | 174 | 183 | 254 | 0.691 | 46.3 | 50 | 4.61 | 4.67 |
| 12/8/2006 | 02:00:00 | 13:00:00 | 231 | 1.11 | 177 | 187 | 258 | 0.688 | 46.6 | 50 | 4.67 | 4.73 |
| 12/8/2006 | 02:20:00 | 13:20:00 | 232 | 1.12 | 179 | 190 | 262 | 0.689 | 46.5 | 50 | 4.73 | 4.79 |
| 12/8/2006 | 02:40:00 | 13:40:00 | 232 | 1.11 | 177 | 189 | 260 | 0.685 | 46.8 | 50 | 4.79 | 4.85 |
| 12/8/2006 | 03:00:00 | 14:00:00 | 232 | 1.09 | 174 | 185 | 255 | 0.686 | 46.7 | 50 | 4.85 | 4.91 |
| 12/8/2006 | 03:20:00 | 14:20:00 | 231 | 1.08 | 171 | 183 | 251 | 0.685 | 46.8 | 50 | 4.90 | 4.96 |
| 12/8/2006 | 03:40:00 | 14:40:00 | 230 | 1.06 | 166 | 179 | 246 | 0.682 | 47 | 50 | 4.96 | 5.02 |
| 12/8/2006 | 04:00:00 | 15:00:00 | 231 | 1.03 | 165 | 173 | 240 | 0.692 | 46.2 | 50 | 5.01 | 5.07 |
| 12/8/2006 | 04:20:00 | 15:20:00 | 230 | 1.09 | 174 | 181 | 253 | 0.694 | 46 | 50 | 5.07 | 5.13 |
| 12/8/2006 | 04:40:00 | 15:40:00 | 229 | 1.11 | 175 | 186 | 256 | 0.689 | 46.5 | 50 | 5.13 | 5.19 |
| 12/8/2006 | 05:00:00 | 16:00:00 | 231 | 1.09 | 175 | 182 | 254 | 0.694 | 46 | 50 | 5.19 | 5.25 |
| 12/8/2006 | 05:20:00 | 16:20:00 | 230 | 1.1 | 179 | 180 | 255 | 0.708 | 44.9 | 50 | 5.24 | 5.30 |
| 12/8/2006 | 05:40:00 | 16:40:00 | 228 | 1.11 | 179 | 180 | 255 | 0.708 | 44.9 | 50 | 5.30 | 5.36 |
| 12/8/2006 | 06:00:00 | 17:00:00 | 231 | 1.11 | 174 | 190 | 258 | 0.678 | 47.3 | 50 | 5.36 | 5.42 |
| 12/8/2006 | 06:20:00 | 17:20:00 | 231 | 1.09 | 177 | 180 | 254 | 0.702 | 45.4 | 50 | 5.42 | 5.48 |
| 12/8/2006 | 06:40:00 | 17:40:00 | 231 | 2.01 | 325 | 334 | 468 | 0.7 | 45.6 | 50 | 5.53 | 5.60 |
| 12/8/2006 | 07:00:00 | 18:00:00 | 231 | 2.01 | 323 | 336 | 468 | 0.694 | 46 | 50 | 5.63 | 5.70 |
| 12/8/2006 | 07:20:00 | 18:20:00 | 229 | 2.33 | 392 | 365 | 538 | 0.734 | 42.8 | 50 | 5.76 | 5.83 |
| 12/8/2006 | 07:40:00 | 18:40:00 | 228 | 2.23 | 368 | 353 | 513 | 0.724 | 43.6 | 50 | 5.88 | 5.95 |
| 12/8/2006 | 08:00:00 | 19:00:00 | 227 | 2.11 | 347 | 332 | 483 | 0.724 | 43.6 | 50 | 6.00 | 6.07 |
| 12/8/2006 | 08:20:00 | 19:20:00 | 231 | 2.05 | 348 | 323 | 477 | 0.735 | 42.7 | 50 | 6.11 | 6.18 |
| 12/8/2006 | 08:40:00 | 19:40:00 | 230 | 3.01 | 495 | 487 | 698 | 0.714 | 44.4 | 50 | 6.28 | 6.36 |
| 12/8/2006 | 09:00:00 | 20:00:00 | 230 | 3.08 | 500 | 508 | 712 | 0.703 | 45.3 | 50 | 6.44 | 6.52 |
| 12/8/2006 | 09:20:00 | 20:20:00 | 231 | 2.6 | 536 | 284 | 604 | 0.885 | 27.8 | 50 | 6.62 | 6.70 |
| 12/8/2006 | 09:40:00 | 20:40:00 | 230 | 2.92 | 580 | 340 | 672 | 0.863 | 30.3 | 50 | 6.81 | 6.89 |
| 12/8/2006 | 10:00:00 | 21:00:00 | 234 | 4.36 | 828 | 596 | 1020 | 0.812 | 35.7 | 50 | 7.08 | 7.16 |
| 12/8/2006 | 10:20:00 | 21:20:00 | 231 | 2.12 | 436 | 228 | 492 | 0.887 | 27.5 | 50 | 7.23 | 7.32 |
| 12/8/2006 | 10:40:00 | 21:40:00 | 230 | 1.32 | 244 | 188 | 308 | 0.791 | 37.7 | 50 | 7.31 | 7.40 |
| 12/8/2006 | 11:00:00 | 22:00:00 | 229 | 1.44 | 268 | 192 | 332 | 0.812 | 35.7 | 50 | 7.40 | 7.49 |
| 12/8/2006 | 11:20:00 | 22:20:00 | 230 | 1.56 | 312 | 184 | 364 | 0.863 | 30.3 | 50 | 7.50 | 7.59 |
| 12/8/2006 | 11:40:00 | 22:40:00 | 230 | 1.8 | 352 | 224 | 416 | 0.847 | 32.1 | 50 | 7.62 | 7.71 |
| 12/8/2006 | 12:00:00 | 23:00:00 | 229 | 6.84 | 1396 | 700 | 1560 | 0.894 | 26.6 | 50 | 8.08 | 8.18 |

ตาราง ค (ต่อ) ผลการทดสอบเครื่องวัดไฟฟ้าแบบชำระเงินล่วงหน้ากับโหลดภายในบ้าน

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12/8/2006 | 12:20:00 | 23:20:00 | 230 | 3.28 | 664 | 364 | 756 | 0.875 | 28.9 | 50 | 8.30 | 8.40 |
| 12/8/2006 | 12:40:00 | 23:40:00 | 229 | 1.36 | 231 | 209 | 312 | 0.740 | 42.3 | 50 | 8.37 | 8.47 |
| 12/8/2006 | 13:00:00 | 24:00:00 | 228 | 1.16 | 99 | 245 | 265 | 0.373 | 68.1 | 50 | 8.40 | 8.50 |
| 12/8/2006 | 13:20:00 | 24:20:00 | 229 | 1.16 | 100 | 246 | 266 | 0.376 | 67.9 | 50 | 8.44 | 8.54 |
| 12/8/2006 | 13:40:00 | 24:40:00 | 229 | 0.4 | 33 | 85 | 92 | 0.363 | 68.7 | 50 | 8.45 | 8.55 |
| 12/8/2006 | 14:00:00 | 25:00:00 | 229 | 0.44 | 43 | 91 | 101 | 0.429 | 64.6 | 50 | 8.46 | 8.56 |
| 12/8/2006 | 14:20:00 | 25:20:00 | 229 | 3.92 | 342 | 830 | 900 | 0.379 | 67.7 | 50 | 8.58 | 8.68 |
| 12/8/2006 | 14:40:00 | 25:40:00 | 229 | 3.84 | 665 | 579 | 882 | 0.752 | 41.2 | 50 | 8.79 | 8.90 |
| 12/8/2006 | 15:00:00 | 26:00:00 | 230 | 1.2 | 198 | 193 | 277 | 0.714 | 44.4 | 50 | 8.86 | 8.97 |
| 12/8/2006 | 15:20:00 | 26:20:00 | 229 | 3.92 | 629 | 643 | 900 | 0.697 | 45.8 | 50 | 9.07 | 9.18 |
| 12/8/2006 | 15:40:00 | 26:40:00 | 230 | 3.8 | 641 | 597 | 876 | 0.730 | 43.1 | 50 | 9.28 | 9.39 |
| 12/8/2006 | 16:00:00 | 27:00:00 | 230 | 1.76 | 278 | 296 | 406 | 0.683 | 46.9 | 50 | 9.37 | 9.48 |
| 12/8/2006 | 16:20:00 | 27:20:00 | 231 | 1.12 | 174 | 192 | 259 | 0.669 | 48 | 50 | 9.43 | 9.54 |
| 12/8/2006 | 16:40:00 | 27:40:00 | 229 | 1.12 | 172 | 191 | 257 | 0.668 | 48.1 | 50 | 9.48 | 9.59 |
| 12/8/2006 | 17:00:00 | 28:00:00 | 230 | 0.4 | 62 | 69 | 92 | 0.666 | 48.2 | 50 | 9.51 | 9.62 |
| 12/8/2006 | 17:20:00 | 28:20:00 | 230 | 1.12 | 170 | 194 | 258 | 0.657 | 48.9 | 50 | 9.56 | 9.67 |
| 12/8/2006 | 17:40:00 | 28:40:00 | 228 | 3.2 | 481 | 551 | 732 | 0.656 | 49 | 50 | 9.72 | 9.84 |
| 12/8/2006 | 18:00:00 | 29:00:00 | 229 | 3.16 | 472 | 550 | 726 | 0.649 | 49.5 | 50 | 9.88 | 10.00 |
| 12/8/2006 | 18:20:00 | 29:20:00 | 232 | 3.12 | 481 | 543 | 726 | 0.661 | 48.6 | 50 | 10.03 | 10.15 |
| 12/8/2006 | 18:40:00 | 29:40:00 | 227 | 3.6 | 539 | 617 | 819 | 0.656 | 49 | 50 | 10.21 | 10.33 |
| 12/8/2006 | 19:00:00 | 30:00:00 | 230 | 2.84 | 427 | 496 | 655 | 0.651 | 49.4 | 50 | 10.35 | 10.47 |
| 12/8/2006 | 19:20:00 | 30:20:00 | 229 | 2.79 | 424 | 479 | 641 | 0.661 | 48.6 | 50 | 10.49 | 10.62 |
| 12/8/2006 | 19:40:00 | 30:40:00 | 231 | 3.36 | 512 | 586 | 778 | 0.656 | 49 | 50 | 10.66 | 10.79 |
| 12/8/2006 | 20:00:00 | 31:00:00 | 232 | 3.28 | 501 | 575 | 763 | 0.655 | 49.1 | 50 | 10.83 | 10.96 |
| 12/8/2006 | 20:20:00 | 31:20:00 | 232 | 3.24 | 726 | 208 | 754 | 0.961 | 16.1 | 50 | 11.07 | 11.20 |
| 12/8/2006 | 20:40:00 | 31:40:00 | 232 | 2.96 | 449 | 521 | 689 | 0.651 | 49.4 | 50 | 11.22 | 11.35 |
| 12/8/2006 | 21:00:00 | 32:00:00 | 232 | 2.24 | 366 | 371 | 521 | 0.701 | 45.5 | 50 | 11.34 | 11.48 |
| 12/8/2006 | 21:20:00 | 32:20:00 | 231 | 1.32 | 214 | 219 | 306 | 0.697 | 45.8 | 50 | 11.41 | 11.55 |
| 12/8/2006 | 21:40:00 | 32:40:00 | 232 | 1.32 | 189 | 242 | 307 | 0.614 | 52.1 | 50 | 11.47 | 11.61 |
| 12/8/2006 | 22:00:00 | 33:00:00 | 232 | 3.24 | 498 | 565 | 754 | 0.660 | 48.7 | 50 | 11.63 | 11.77 |
| 12/8/2006 | 22:20:00 | 33:20:00 | 230 | 2 | 303 | 348 | 461 | 0.655 | 49.1 | 50 | 11.73 | 11.87 |
| 12/8/2006 | 22:40:00 | 33:40:00 | 231 | 3.14 | 475 | 550 | 727 | 0.652 | 49.3 | 50 | 11.89 | 12.03 |
| 12/8/2006 | 23:00:00 | 34:00:00 | 232 | 1.14 | 181 | 194 | 265 | 0.681 | 47.1 | 50 | 11.95 | 12.09 |
| 12/8/2006 | 23:20:00 | 34:20:00 | 230 | 1.11 | 174 | 188 | 256 | 0.677 | 47.4 | 50 | 12.01 | 12.15 |
| 12/8/2006 | 23:40:00 | 34:40:00 | 230 | 1.09 | 170 | 185 | 251 | 0.674 | 47.6 | 50 | 12.06 | 12.20 |
| 12/8/2006 | 00:00:00 | 35:00:00 | 231 | 1.11 | 151 | 208 | 257 | 0.586 | 54.1 | 50 | 12.11 | 12.26 |
| 13/8/2006 | 00:20:00 | 35:20:00 | 232 | 1.04 | 148 | 191 | 242 | 0.609 | 52.5 | 50 | 12.16 | 12.31 |

ตาราง ค (ต่อ) ผลการทดสอบเครื่องวัดไฟฟ้าแบบชำระเงินล่วงหน้ากับโหลดภายในบ้าน

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13/8/2006 | 00:40:00 | 35:40:00 | 232 | 1.11 | 185 | 180 | 258 | 0.714 | 44.4 | 50 | 12.22 | 12.37 |
| 13/8/2006 | 01:00:00 | 36:00:00 | 232 | 1.06 | 173 | 176 | 247 | 0.698 | 45.7 | 50 | 12.28 | 12.43 |
| 13/8/2006 | 01:20:00 | 36:20:00 | 233 | 1.12 | 181 | 189 | 262 | 0.691 | 46.3 | 50 | 12.34 | 12.49 |
| 13/8/2006 | 01:40:00 | 36:40:00 | 231 | 1.06 | 167 | 180 | 246 | 0.679 | 47.2 | 50 | 12.40 | 12.55 |
| 13/8/2006 | 02:00:00 | 37:00:00 | 233 | 1.08 | 172 | 184 | 252 | 0.682 | 47 | 50 | 12.45 | 12.60 |
| 13/8/2006 | 02:20:00 | 37:20:00 | 232 | 1.05 | 172 | 173 | 244 | 0.703 | 45.3 | 50 | 12.51 | 12.66 |
| 13/8/2006 | 02:40:00 | 37:40:00 | 233 | 1.09 | 175 | 185 | 255 | 0.686 | 46.7 | 50 | 12.57 | 12.72 |
| 13/8/2006 | 03:00:00 | 38:00:00 | 234 | 1.04 | 166 | 178 | 244 | 0.681 | 47.1 | 50 | 12.62 | 12.77 |
| 13/8/2006 | 03:20:00 | 38:20:00 | 231 | 1.05 | 137 | 200 | 243 | 0.563 | 55.7 | 50 | 12.67 | 12.82 |
| 13/8/2006 | 03:40:00 | 38:40:00 | 231 | 1.03 | 138 | 194 | 239 | 0.576 | 54.8 | 50 | 12.71 | 12.86 |
| 13/8/2006 | 04:00:00 | 39:00:00 | 231 | 1.04 | 119 | 209 | 241 | 0.492 | 60.5 | 50 | 12.75 | 12.90 |
| 13/8/2006 | 04:20:00 | 39:20:00 | 231 | 1.05 | 119 | 211 | 243 | 0.489 | 60.7 | 50 | 12.79 | 12.94 |
| 13/8/2006 | 04:40:00 | 39:40:00 | 231 | 1.09 | 152 | 201 | 252 | 0.602 | 53 | 50 | 12.84 | 12.99 |
| 13/8/2006 | 05:00:00 | 40:00:00 | 229 | 1.05 | 241 | 22 | 241 | 0.996 | 5.37 | 50 | 12.92 | 13.07 |
| 13/8/2006 | 05:20:00 | 40:20:00 | 229 | 1.01 | 113 | 202 | 232 | 0.485 | 61 | 50 | 12.96 | 13.12 |
| 13/8/2006 | 05:40:00 | 40:40:00 | 228 | 2.2 | 248 | 436 | 503 | 0.492 | 60.5 | 50 | 13.04 | 13.20 |
| 13/8/2006 | 06:00:00 | 41:00:00 | 232 | 2.01 | 285 | 370 | 468 | 0.609 | 52.5 | 50 | 13.13 | 13.29 |
| 13/8/2006 | 06:20:00 | 41:20:00 | 232 | 3.08 | 419 | 580 | 716 | 0.583 | 54.3 | 50 | 13.27 | 13.43 |
| 13/8/2006 | 06:40:00 | 41:40:00 | 231 | 2.92 | 334 | 587 | 676 | 0.492 | 60.5 | 50 | 13.38 | 13.54 |
| 13/8/2006 | 07:00:00 | 42:00:00 | 230 | 2.01 | 231 | 401 | 464 | 0.498 | 60.1 | 50 | 13.46 | 13.62 |
| 13/8/2006 | 07:20:00 | 42:20:00 | 230 | 2.05 | 234 | 410 | 473 | 0.494 | 60.4 | 50 | 13.54 | 13.70 |
| 13/8/2006 | 07:40:00 | 42:40:00 | 229 | 2.36 | 330 | 429 | 542 | 0.609 | 52.5 | 50 | 13.64 | 13.80 |
| 13/8/2006 | 08:00:00 | 43:00:00 | 229 | 2.22 | 299 | 412 | 510 | 0.586 | 54.1 | 50 | 13.74 | 13.90 |
| 13/8/2006 | 08:20:00 | 43:20:00 | 229 | 3.08 | 352 | 612 | 707 | 0.497 | 60.2 | 50 | 13.86 | 14.03 |
| 13/8/2006 | 08:40:00 | 43:40:00 | 229 | 1.44 | 168 | 284 | 331 | 0.507 | 59.5 | 50 | 13.91 | 14.08 |
| 13/8/2006 | 09:00:00 | 44:00:00 | 238 | 2.6 | 437 | 440 | 620 | 0.703 | 45.3 | 50 | 14.06 | 14.23 |
| 13/8/2006 | 09:20:00 | 44:20:00 | 228 | 2.12 | 360 | 325 | 485 | 0.741 | 42.2 | 50 | 14.18 | 14.35 |
| 13/8/2006 | 09:40:00 | 44:40:00 | 226 | 2.62 | 456 | 381 | 594 | 0.766 | 40 | 50 | 14.33 | 14.50 |
| 13/8/2006 | 10:00:00 | 45:00:00 | 229 | 5.6 | 1041 | 755 | 1286 | 0.808 | 36.1 | 50 | 14.67 | 14.85 |
| 13/8/2006 | 10:20:00 | 45:20:00 | 229 | 5.88 | 1197 | 628 | 1350 | 0.885 | 27.8 | 50 | 15.07 | 15.25 |
| 13/8/2006 | 10:40:00 | 45:40:00 | 229 | 2.12 | 390 | 291 | 487 | 0.800 | 36.9 | 50 | 15.20 | 15.38 |
| 13/8/2006 | 11:00:00 | 46:00:00 | 229 | 6.52 | 1079 | 103 | 1497 | 0.719 | 44 | 50 | 15.55 | 15.74 |
| 13/8/2006 | 11:20:00 | 46:20:00 | 229 | 1.56 | 311 | 178 | 358 | 0.867 | 29.9 | 50 | 15.65 | 15.84 |
| 13/8/2006 | 11:40:00 | 46:40:00 | 229 | 1.52 | 284 | 203 | 349 | 0.812 | 35.7 | 50 | 15.75 | 15.94 |
| 13/8/2006 | 12:00:00 | 47:00:00 | 229 | 5 | 915 | 694 | 1148 | 0.795 | 37.3 | 50 | 16.05 | 16.24 |
| 13/8/2006 | 12:20:00 | 47:20:00 | 229 | 4.76 | 944 | 553 | 1093 | 0.862 | 30.5 | 50 | 16.36 | 16.56 |
| 13/8/2006 | 12:40:00 | 47:40:00 | 228 | 1.8 | 334 | 241 | 412 | 0.810 | 35.9 | 50 | 16.47 | 16.67 |

ตาราง ค (ต่อ) ผลการทดสอบเครื่องวัดไฟฟ้าแบบชำระเงินล่วงหน้ากับโหลดภายในบ้าน

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13/8/2006 | 13:00:00 | 48:00:00 | 230 | 2.68 | 567 | 247 | 618 | 0.916 | 23.6 | 50 | 16.66 | 16.86 |
| 13/8/2006 | 13:20:00 | 48:20:00 | 230 | 2.56 | 501 | 313 | 590 | 0.847 | 32.1 | 50 | 16.82 | 17.02 |
| 13/8/2006 | 13:40:00 | 48:40:00 | 231 | 0.88 | 163 | 122 | 204 | 0.800 | 36.9 | 50 | 16.88 | 17.08 |
| 13/8/2006 | 14:00:00 | 49:00:00 | 231 | 3.05 | 586 | 395 | 706 | 0.828 | 34.1 | 50 | 17.07 | 17.27 |
| 13/8/2006 | 14:20:00 | 49:20:00 | 231 | 3.33 | 660 | 401 | 771 | 0.854 | 31.4 | 50 | 17.29 | 17.50 |
| 13/8/2006 | 14:40:00 | 49:40:00 | 230 | 2.84 | 568 | 328 | 655 | 0.865 | 30.1 | 50 | 17.48 | 17.69 |
| 13/8/2006 | 15:00:00 | 50:00:00 | 230 | 2.94 | 590 | 336 | 678 | 0.868 | 29.8 | 50 | 17.67 | 17.88 |
| 13/8/2006 | 15:20:00 | 50:20:00 | 231 | 2.1 | 427 | 234 | 486 | 0.875 | 28.9 | 50 | 17.81 | 18.02 |
| 13/8/2006 | 15:40:00 | 50:40:00 | 229 | 2.94 | 583 | 342 | 675 | 0.862 | 30.5 | 50 | 18.00 | 18.22 |
| 13/8/2006 | 16:00:00 | 51:00:00 | 230 | 2.88 | 590 | 306 | 664 | 0.887 | 27.5 | 50 | 18.20 | 18.42 |
| 13/8/2006 | 16:20:00 | 51:20:00 | 230 | 2.85 | 553 | 356 | 657 | 0.840 | 32.9 | 50 | 18.38 | 18.60 |
| 13/8/2006 | 16:40:00 | 51:40:00 | 231 | 1.32 | 249 | 177 | 306 | 0.813 | 35.6 | 50 | 18.46 | 18.68 |
| 13/8/2006 | 17:00:00 | 52:00:00 | 228 | 1.12 | 221 | 130 | 256 | 0.862 | 30.5 | 50 | 18.54 | 18.76 |
| 13/8/2006 | 17:20:00 | 52:20:00 | 230 | 1.4 | 279 | 162 | 323 | 0.863 | 30.3 | 50 | 18.63 | 18.85 |
| 13/8/2006 | 17:40:00 | 52:40:00 | 229 | 2.5 | 523 | 238 | 574 | 0.909 | 24.6 | 50 | 18.80 | 19.03 |
| 13/8/2006 | 18:00:00 | 53:00:00 | 228 | 4.2 | 770 | 574 | 960 | 0.801 | 36.8 | 50 | 19.06 | 19.29 |
| 13/8/2006 | 18:20:00 | 53:20:00 | 230 | 3.2 | 612 | 413 | 738 | 0.828 | 34.1 | 50 | 19.26 | 19.49 |
| 13/8/2006 | 18:40:00 | 53:40:00 | 229 | 3.95 | 330 | 843 | 907 | 0.363 | 68.7 | 50 | 19.37 | 19.60 |
| 13/8/2006 | 19:00:00 | 54:00:00 | 230 | 3.51 | 348 | 729 | 809 | 0.429 | 64.6 | 50 | 19.48 | 19.71 |
| 13/8/2006 | 19:20:00 | 54:20:00 | 230 | 4.5 | 725 | 742 | 1038 | 0.697 | 45.8 | 50 | 19.72 | 19.96 |
| 13/8/2006 | 19:40:00 | 54:40:00 | 230 | 4.75 | 801 | 746 | 1095 | 0.730 | 43.1 | 50 | 19.98 | 20.22 |
| 13/8/2006 | 20:00:00 | 55:00:00 | 228 | 3.22 | 504 | 536 | 736 | 0.683 | 46.9 | 50 | 20.15 | 20.39 |
| 13/8/2006 | 20:20:00 | 55:20:00 | 229 | 3.1 | 477 | 527 | 712 | 0.669 | 48 | 50 | 20.31 | 20.55 |
| 13/8/2006 | 20:40:00 | 55:40:00 | 229 | 2.4 | 369 | 409 | 551 | 0.668 | 48.1 | 50 | 20.43 | 20.67 |
| 13/8/2006 | 21:00:00 | 56:00:00 | 228 | 2.1 | 321 | 357 | 480 | 0.666 | 48.2 | 50 | 20.54 | 20.79 |
| 13/8/2006 | 21:20:00 | 56:20:00 | 228 | 2.33 | 350 | 401 | 533 | 0.656 | 49 | 50 | 20.65 | 20.90 |
| 13/8/2006 | 21:40:00 | 56:40:00 | 231 | 2.44 | 368 | 429 | 565 | 0.649 | 49.5 | 50 | 20.77 | 21.02 |
| 13/8/2006 | 22:00:00 | 57:00:00 | 230 | 1.21 | 185 | 209 | 279 | 0.661 | 48.6 | 50 | 20.83 | 21.08 |
| 13/8/2006 | 22:20:00 | 57:20:00 | 232 | 1.18 | 180 | 207 | 274 | 0.656 | 49 | 50 | 20.89 | 21.14 |
| 13/8/2006 | 22:40:00 | 57:40:00 | 231 | 1.19 | 180 | 209 | 276 | 0.651 | 49.4 | 50 | 20.95 | 21.20 |
| 13/8/2006 | 23:00:00 | 58:00:00 | 233 | 1.09 | 169 | 190 | 255 | 0.661 | 48.6 | 50 | 21.01 | 21.26 |
| 13/8/2006 | 23:20:00 | 58:20:00 | 231 | 1.11 | 169 | 193 | 257 | 0.656 | 49 | 50 | 21.06 | 21.31 |
| 13/8/2006 | 23:40:00 | 58:40:00 | 229 | 1.11 | 167 | 192 | 255 | 0.655 | 49.1 | 50 | 21.12 | 21.37 |
| 13/8/2006 | 00:00:00 | 59:00:00 | 229 | 1.1 | 178 | 179 | 253 | 0.705 | 45.2 | 50 | 21.18 | 21.43 |
| 14/8/2006 | 00:20:00 | 59:20:00 | 230 | 1.08 | 165 | 186 | 249 | 0.663 | 48.5 | 50 | 21.23 | 21.48 |
| 14/8/2006 | 00:40:00 | 59:40:00 | 231 | 1.12 | 168 | 197 | 259 | 0.648 | 49.6 | 50 | 21.29 | 21.55 |
| 14/8/2006 | 01:00:00 | 60:00:00 | 231 | 1.11 | 168 | 195 | 257 | 0.651 | 49.4 | 50 | 21.34 | 21.60 |

ตาราง ค (ต่อ) ผลการทดสอบเครื่องวัดไฟฟ้าแบบชำระเงินล่วงหน้ากับโหลดภายในบ้าน

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14/8/2006 | 01:20:00 | 60:20:00 | 231 | 1.13 | 184 | 186 | 262 | 0.701 | 45.5 | 50 | 21.40 | 21.66 |
| 14/8/2006 | 01:40:00 | 60:40:00 | 231 | 1.09 | 176 | 180 | 252 | 0.697 | 45.8 | 50 | 21.46 | 21.72 |
| 14/8/2006 | 02:00:00 | 61:00:00 | 232 | 1.08 | 151 | 200 | 251 | 0.600 | 53.1 | 50 | 21.51 | 21.77 |
| 14/8/2006 | 02:20:00 | 61:20:00 | 231 | 1.2 | 184 | 208 | 278 | 0.660 | 48.7 | 50 | 21.57 | 21.83 |
| 14/8/2006 | 02:40:00 | 61:40:00 | 231 | 1.16 | 176 | 202 | 269 | 0.655 | 49.1 | 50 | 21.63 | 21.89 |
| 14/8/2006 | 03:00:00 | 62:00:00 | 231 | 1.19 | 180 | 208 | 276 | 0.652 | 49.3 | 50 | 21.69 | 21.95 |
| 14/8/2006 | 03:20:00 | 62:20:00 | 231 | 1.14 | 181 | 192 | 264 | 0.684 | 46.8 | 50 | 21.75 | 22.01 |
| 14/8/2006 | 03:40:00 | 62:40:00 | 231 | 1.08 | 147 | 202 | 250 | 0.586 | 54.1 | 50 | 21.80 | 22.06 |
| 14/8/2006 | 04:00:00 | 63:00:00 | 231 | 1.09 | 154 | 200 | 252 | 0.609 | 52.5 | 50 | 21.85 | 22.11 |
| 14/8/2006 | 04:20:00 | 63:20:00 | 231 | 1.1 | 182 | 178 | 255 | 0.714 | 44.4 | 50 | 21.91 | 22.17 |
| 14/8/2006 | 04:40:00 | 63:40:00 | 231 | 1.09 | 177 | 180 | 252 | 0.698 | 45.7 | 50 | 21.97 | 22.23 |
| 14/8/2006 | 05:00:00 | 64:00:00 | 230 | 2.32 | 370 | 386 | 535 | 0.691 | 46.3 | 50 | 22.09 | 22.35 |
| 14/8/2006 | 05:20:00 | 64:20:00 | 230 | 1.11 | 174 | 187 | 256 | 0.679 | 47.2 | 50 | 22.15 | 22.42 |
| 14/8/2006 | 05:40:00 | 64:40:00 | 229 | 2.01 | 315 | 337 | 462 | 0.682 | 47 | 50 | 22.25 | 22.52 |
| 14/8/2006 | 06:00:00 | 65:00:00 | 230 | 3.08 | 501 | 503 | 710 | 0.703 | 45.3 | 50 | 22.42 | 22.69 |
| 14/8/2006 | 06:20:00 | 65:20:00 | 232 | 1.8 | 288 | 304 | 419 | 0.686 | 46.7 | 50 | 22.51 | 22.78 |
| 14/8/2006 | 06:40:00 | 65:40:00 | 231 | 2 | 316 | 338 | 463 | 0.681 | 47.1 | 50 | 22.62 | 22.89 |
| 14/8/2006 | 07:00:00 | 66:00:00 | 229 | 1.56 | 202 | 295 | 358 | 0.563 | 55.7 | 50 | 22.68 | 22.95 |
| 14/8/2006 | 07:20:00 | 66:20:00 | 229 | 1.95 | 259 | 365 | 448 | 0.576 | 54.8 | 50 | 22.77 | 23.04 |
| 14/8/2006 | 07:40:00 | 66:40:00 | 228 | 2.16 | 244 | 429 | 494 | 0.492 | 60.5 | 50 | 22.85 | 23.12 |
| 14/8/2006 | 08:00:00 | 67:00:00 | 229 | 2.32 | 261 | 463 | 533 | 0.489 | 60.7 | 50 | 22.93 | 23.20 |
| 14/8/2006 | 08:20:00 | 67:20:00 | 231 | 1.8 | 279 | 309 | 417 | 0.668 | 48.1 | 50 | 23.03 | 23.31 |
| 14/8/2006 | 08:40:00 | 67:40:00 | 230 | 2.96 | 455 | 508 | 683 | 0.665 | 48.3 | 50 | 23.18 | 23.46 |
| 14/8/2006 | 09:00:00 | 68:00:00 | 230 | 3.28 | 497 | 569 | 756 | 0.656 | 49 | 50 | 23.34 | 23.62 |
| 14/8/2006 | 09:20:00 | 68:20:00 | 229 | 5.13 | 773 | 888 | 1178 | 0.655 | 49.1 | 50 | 23.60 | 23.88 |
| 14/8/2006 | 09:40:00 | 68:40:00 | 228 | 3.09 | 468 | 528 | 706 | 0.661 | 48.6 | 50 | 23.75 | 24.03 |
| 14/8/2006 | 10:00:00 | 69:00:00 | 228 | 4.2 | 626 | 727 | 960 | 0.651 | 49.4 | 50 | 23.96 | 24.25 |
| 14/8/2006 | 10:20:00 | 69:20:00 | 227 | 2.94 | 439 | 504 | 669 | 0.655 | 49.1 | 50 | 24.10 | 24.39 |
| 14/8/2006 | 10:40:00 | 69:40:00 | 226 | 2.12 | 337 | 342 | 480 | 0.701 | 45.5 | 50 | 24.21 | 24.50 |
| 14/8/2006 | 11:00:00 | 70:00:00 | 229 | 2.08 | 334 | 341 | 478 | 0.697 | 45.8 | 50 | 24.32 | 24.61 |
| 14/8/2006 | 11:20:00 | 70:20:00 | 231 | 1.32 | 188 | 241 | 306 | 0.614 | 52.1 | 50 | 24.39 | 24.68 |
| 14/8/2006 | 11:40:00 | 70:40:00 | 232 | 2 | 305 | 351 | 465 | 0.655 | 49.1 | 50 | 24.49 | 24.78 |
| 14/8/2006 | 12:00:00 | 71:00:00 | 232 | 1.8 | 287 | 304 | 419 | 0.684 | 46.8 | 50 | 24.58 | 24.87 |
| 14/8/2006 | 12:20:00 | 71:20:00 | 229 | 1.95 | 302 | 330 | 448 | 0.674 | 47.6 | 50 | 24.68 | 24.98 |
| 14/8/2006 | 12:40:00 | 71:40:00 | 229 | 2.48 | 347 | 450 | 569 | 0.609 | 52.5 | 50 | 24.79 | 25.09 |
| 14/8/2006 | 13:00:00 | 72:00:00 | 228 | 2.32 | 371 | 378 | 530 | 0.698 | 45.7 | 50 | 24.92 | 25.22 |

**สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ ตาราง ค**

| | | |
|---|---|---|
| V1 | = | แรงดันไฟฟ้า |
| I1 | = | กระแสไฟฟ้า |
| P | = | real power |
| Q | = | reactive power |
| VA | = | volt-ampere |
| PF | = | power factor |
| PA | = | phase angle |
| F | = | frequency |
| kW-h | = | kilowatt hour |

นำเสนอผลงานทางวิชาการบทความที่เสนอเป็นโปสเตอร์ ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 3 วันที่ 8-9 ธันวาคม 2548 ในหัวข้อเรื่อง “มาตรวัดไฟฟ้าแบบชำระเงินล่วงหน้า” (Pre-payment Electricity Meter)

# มาตรวัดไฟฟ้าแบบชำระเงินล่วงหน้า

# Pre-payment Electricity meter

ธวัชชัย บุญส่ง* มนัส เกื้อกูลกิจการ สาวิตร์ ตันฑนุช
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
E-mail: thach79@hotmail.com*
Thawatchai BOONSONG* Manus KUEKOONKITJAKAN Sawit TANTHANUCH
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkhla University, HatYai, Songkhla 90112
E-mail: thach79@hotmail.com*

## บทคัดย่อ

การประเมินค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าสำหรับที่พักอาศัยในปัจจุบัน จะใช้การบันทึกผลการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นเดือนก่อนหน้าแล้วนำมาประมวลผลเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้มาตรวัดไฟฟ้าแบบชำระเงินล่วงหน้า โดยใช้มาตรวัดกิโลวัตต์-ชั่วโมงแบบอิเล็กทรอนิกส์เพื่อตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าแล้วส่งต่อไปประมวลผลเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อหักชำระเป็นมูลค่าเงินจากบัตรสมาร์ตการ์ด เครื่องต้นแบบจะสร้างให้เหมาะสมกับการใช้พลังงานไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยขนาดเล็กพิกัดกระแสสูงสุด 15 แอมป์ หรือประเมินเป็นการใช้พลังงานไม่เกิน 250 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน อ้างอิงมาตรฐาน IEC1036 สำหรับมาตรวัดชั้น 1 มีความแม่นยำอยู่ในย่านร้อยละ ±1 ระบบนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บค่าพลังงานไฟฟ้า และจะช่วยให้ผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าสามารถประเมินค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบปัจจุบัน

คำหลัก มาตรวัดไฟฟ้า,สมาร์ตการ์ด, ไมโครคอนโทรลเลอร์

## Abstract

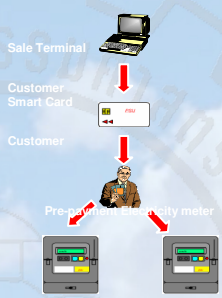
The estimation of household energy budget is currently post-payment by monthly record and billing. This research aims to implement pre-payment electricity meter. Electronic Kilowatt-hour meter is proposed to compute energy consumption, which is processed for energy cost by microcontroller, and payment can be automatically deducted electronic cash from the programmed credit within the smart card. The prototype will be designed to suit small households rating 15 A maximum or 250 kW-H per month compiled with IEC 1036 standard for class 1 kilowatt-hour meter with ±1% accuracy. Moreover, the system will enhance utilization in electricity billing and allow customers to evaluate energy usage in real time.

Keywords: Electricity meter, smart card, microcontroller

## บทนำ

การวัดพลังงานไฟฟ้าเป็นการวัดการใช้กำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปใน 1 หน่วยเวลา โดยทั่วไปเครื่องมือที่ใช้วัดพลังงานถูกสร้างจากมาตรวัดชนิดขดลวด ซึ่งความแม่นยำและความเที่ยงตรงของระบบการวัดแบบนี้จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัสดุที่ใช้ อาทิ คุณสมบัติการอิ่มตัวสนามแม่เหล็กของแผ่นจานหมุนและแกนของขดลวด การล้าและการสึกหรอของจุดหมุน คุณภาพของขดลวด เป็นต้น ซึ่งจะกลายเป็นปัญหาด้านเสถียรภาพของผลการวัดในระยะยาว สำหรับงานวิจัยนี้จะนำเสนอมาตรวัดมาตรวัดกิโลวัตต์-ชั่วโมงแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้อุปกรณ์โซลิดสเตตที่สร้างจากวงจรรวม (integrated circuit, IC) และใช้การคำนวณเชิงเลขแบบดิจิตอล (digital numerical method) ในการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า ผนวกกับการใช้ระบบฝังตัวของไมโครคอนโทรลเลอร์ (embedded microcontroller) เพื่อช่วยในการประมวลผลการใช้พลังงานไฟฟ้า และหักชำระมูลค่าเงินค่าใช้พลังงานไฟฟ้าจากบัตรสมาร์ตการ์ดต่อไป

## ระบบของมาตรวัดไฟฟ้าแบบชำระเงินล่วงหน้า



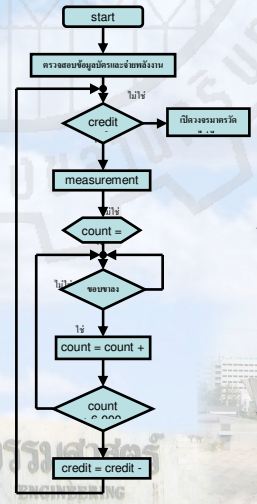

ระบบของมาตรวัดไฟฟ้าแบบชำระเงินล่วงหน้ามีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วนคือ

1.Sale Terminal ประกอบด้วยสมาร์ตการ์ดรีดเดอร์เชื่อมต่อกับพอร์ท RS232 โดย Sale Terminal มีหน้าที่อ่านและจัดเก็บข้อมูลบัตรเพื่อลงทะเบียนระบบรักษาความปลอดภัยของข้อมูล และเป็นจุดบริการผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับป้อนมูลค่าเงินลงในบัตรสมาร์ตการ์ด

2.Customer Smart Card คือบัตรสมาร์ตการ์ดที่ผู้ใช้ไฟฟ้าใช้สำหรับเก็บมูลค่าเงินเพื่อหักชำระเป็นค่าใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการหักชำระมูลค่าเงินจากบัตรสมาร์ตการ์ดจะใช้การประมวลผลค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3. Pre-payment Electricity meter จะเป็นมาตรวัดไฟฟ้าที่ทำหน้าที่อ่านข้อมูลของผู้ใช้ไฟฟ้าและมูลค่าเงินจากบัตรสมาร์ตการ์ดที่มีระบบรักษาความปลอดภัยของข้อมูลจากผู้จำหน่ายพลังงานไฟฟ้า เมื่อมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามาตรวัดไฟฟ้าจะทำการหักยอดเงินค่าใช้พลังงานไฟฟ้าจากบัตรสมาร์ตการ์ด และทำหน้าที่บันทึกข้อมูลบนบัตรสมาร์ตการ์ดให้เป็นปัจจุบัน เมื่อมูลค่าเงินในบัตรใกล้หมดมาตรวัดจะมีสัญญาณแจ้งเตือนผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าทราบ และจะตัดวงจรจ่ายพลังงานไฟฟ้าเมื่อมูลค่าเงินในบัตรสมาร์ตการ์ดหมดลง

## แผนภูมิสายงานมาตรวัดไฟฟ้าแบบชำระเงินล่วงหน้า




มาตรวัดไฟฟ้าแบบชำระเงินล่วงหน้ามีการออกแบบสำหรับการวัดแรงดัน 220 โวลท์ พิกัดกระแสสูงสุด 15 แอมป์ หรือประเมินเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 250 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน ในงานวิจัยนี้การดำเนินงานจะใช้วงจรรวมสำเร็จ(IC) ของบริษัท Analog devices เบอร์ AD7755 สำหรับการคำนวณค่าพลังงาน มีอัตราการชักตัวอย่างสัญญาณ 900,000 ตัวอย่างต่อวินาที แปลงค่าเป็นสัญญาณดิจิตอล 16 บิตด้วยกระบวนการซิกมา-เดลต้า ผลลัพธ์ที่ได้จากวงจรรวมสำเร็จ(IC) จะเป็นสัญญาณพัลส์ ให้ผลการวัด 6,000 พัลส์ต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง (PPKWHR) การเขียนโปรแกรมจะดำเนินงาน ในส่วนหลักได้แก่ การนับค่าความถี่เพื่อแปลผลเป็นค่าการใช้พลังงานและการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลเพื่อหักยอดชำระเงินค่าใช้พลังงานไฟฟ้าจากบัตรสมาร์ตการ์ด

PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY
Faculty of Engineering
Tel. 0-7428-7061 www.eng.psu.ac.th

นำเสนอผลงานทางวิชาการ ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 4 วันที่ 8-9 ธันวาคม 2548 ในหัวข้อเรื่อง “มาตรวัดพลังงานไฟฟ้าเฟสเดียวแบบชำระเงินล่วงหน้า” (Prepaid Single-Phase Electric Energy Meter)

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 4
8-9 ธันวาคม 2548

# มาตรวัดพลังงานไฟฟ้าเฟสเดียวแบบชำระเงินล่วงหน้า

## Prepaid Single-Phase Electric Energy Meter

มนัส เกื้อกูลกิจการ สาวิตร์ ตัณฑนุช ธวัชชัย บุญส่ง *
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112
E-mail: s4612034@psu.ac.th *

Manas KUEKOONKITJAKAN Sawit TANTHANUCH Thawatchai BOONSONG *
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112
E-mail: s4612034@psu.ac.th *

## บทคัดย่อ

เป็นระยะเวลาหลายปีมาแล้วที่มาตรวัดไฟฟ้าชนิดขดลวดเป็นเครื่องมือที่ผู้จำหน่ายไฟฟ้าใช้สำหรับวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อหน่วยเวลา งานวิจัยนี้นำเสนอมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าเฟสเดียวแบบชำระเงินล่วงหน้าโดยใช้มาตรวัดกิโลวัตต์-ชั่วโมงแบบอิเล็กทรอนิกส์เพื่อตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าแล้วส่งต่อไปประมวลผลเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ และควบคุมการชำระเงินล่วงหน้าเมื่อมีการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีสมาร์ตการ์ด สำหรับเครื่องต้นแบบจะออกแบบให้มีความทนทานไม่เสียง่ายใช้งานได้สะดวก และทำตามมาตรฐาน ไออีซี 61036 สำหรับมาตรวัดชั้น 1 มีความแม่นยำอยู่ในย่านร้อยละ ± 1 นอกจากนั้นเครื่องต้นแบบนี้ยังเป็นเครื่องมือที่มีความจำเป็นสำหรับผู้จำหน่ายพลังงานในการปรับเปลี่ยนวิธีการชำระเงินค่าใช้พลังงานของผู้ใช้พลังงานไฟฟ้า และจะช่วยให้ผู้ใช้สามารถประเมินค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าแบบปัจจุบัน

**คำหลัก** มาตรวัดพลังงานไฟฟ้า, สมาร์ตการ์ด

## ABSTRACT

For many years, traditional electromechanical meters have been the instrument used by utility companies to measure residential and commercial power consumption. This research aims to implement prepaid single-phase electric energy meter. Electronic kilowatt-hour meter uses microcontroller system to measure watt-hour energy consumption with Smart Card technology for pre-payment usage control. The prototype will be designed for reliability, ease of use, and conform to IEC 61036 standard for class 1 kilowatt-hour meter with±1% accuracy. Moreover, this prototype is an indispensable instrument for power departments to reform the civil power use electricity charge mode and to allow customers to evaluate energy usage in real time.

**Keywords:** Electric energy meter, Smart Card

## 1. บทนำ

การประเมินค่าใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัยโดยทั่วไป มีวิธีการประเมิน โดยใช้พนักงานทำการจดบันทึกผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มาตรวัดกิโลวัตต์-ชั่วโมงแต่ละตัวเป็นเดือนก่อนหน้าแล้วนำมาประมวลผลเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าทีหลัง สำหรับการชำระเงินค่าใช้พลังงานไฟฟ้าจะใช้พนักงานเก็บเงิน หรือผู้ใช้ไฟฟ้าไปชำระเงินด้วยตนเอง

การนำเทคโนโลยีสมาร์ตการ์ดมาประยุกต์ใช้ในงานบริการผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าจะช่วยอำนวยความสะดวกและเพิ่มความรวดเร็วในการชำระเงินค่าใช้พลังงานไฟฟ้าโดยหักจากมูลค่าเงินในมาตรวัดได้โดยตรง ทำให้ลดขั้นตอนของการบันทึกปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และช่วยให้ผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าสามารถประเมินมูลค่าเงินและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้แบบปัจจุบัน

ในส่วนของการเติมเงินผู้ใช้ไฟสามารถเติมเงินใส่บัตรสมาร์ตการ์ดได้ที่จุดให้บริการผู้ใช้ไฟหลังจากนั้นจึงทำการถ่ายโอนมูลค่าเงินในบัตรสมาร์ตการ์ดเข้าสู่มาตรวัดต่อไป นอกจากนั้นระบบของมาตรวัดแบบนี้จะทำให้ประสิทธิภาพในการจัดเก็บค่าใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น และสามารถพัฒนาเพื่อการใช้งานในเชิงพาณิชย์สำหรับการไฟฟ้าหรือผู้จำหน่ายพลังงานไฟฟ้าได้ต่อไปในอนาคต

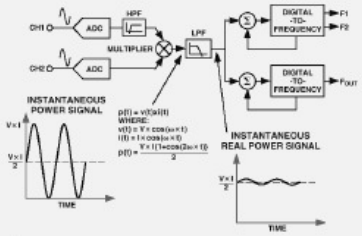
## 2. ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 หลักการทำงานของเครื่องวัดแบบโซลิดสเตท

#### 2.1.1 การใช้เทคนิคของอุปกรณ์โซลิดสเตท

การใช้เทคนิคของอุปกรณ์โซลิดสเตท จะอาศัยการตรวจวัดค่าของกำลังไฟฟ้าจริงจากค่าของสัญญาณกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ ซึ่ง

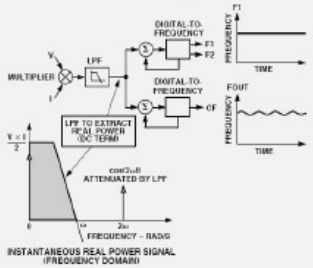
จะถูกสร้างมาจากการคูณกันโดยตรงของสัญญาณแรงดันชั่วขณะและสัญญาณกระแสชั่วขณะ ที่มีอัตราการชักตัวอย่าง ที่มีค่าสูงประมาณ 900,000 ตัวอย่างต่อวินาทีแปลงค่าเป็นสัญญาณดิจิตอล 16 บิตด้วยกระบวนการซิกมา-เดลต้า เมื่อรวมสัญญาณทั้งสองแล้วเราสามารถที่จะแยกเอาค่าสัญญาณของกำลังไฟฟ้าจริงออกจากค่าของสัญญาณกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ ได้โดยการใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งหลักการนี้สามารถนำไปใช้ได้กับรูปคลื่นของแรงดันและกระแสที่ไม่เป็นสัญญาณซายนูซอยด์ก็ได้เช่นเดียวกันที่ทุก ๆค่าตัวประกอบกำลัง ซึ่งสามารถแสดงการทำงานได้ดังรูปที่ 2.1




รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของ Signal Processing

### 2.1.2 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นความถี่ (Digital-to-frequency converter)

การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นความถี่ (Digital-to-frequency converter) จากสัญญาณขาออกที่ได้มาจากวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านจะมีข้อมูลของกำลังไฟฟ้าจริงอยู่ ถึงแม้จะมีการลดทอนไปบ้างจากฮาร์โมนิกอันดับสอง จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งต่อไปยังส่วนของการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นความถี่ (Digital-to-frequency converter) ซึ่งจะทำการอินทิเกรทเพื่อผลิตความถี่ออกมา โดยมีการกำจัดหรือเฉลี่ยส่วนประกอบต่างๆที่ไม่ใช่สัญญาณไฟตรงต่างๆของสัญญาณกำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะ โดยที่ค่าเฉลี่ยของสัญญาณซายนูซอยด์จะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นค่าความถี่ที่ได้จะมีค่าเป็นอัตราส่วนกับกำลังไฟฟ้าจริงเฉลี่ยดังรูปที่ 2.2



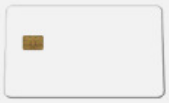

รูปที่ 2.2 รูปแสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นความถี่

จากรูปแสดงการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นความถี่(Digital-to-frequency converter) ในสภาวะอยู่ตัว จะเห็นว่าที่ช่องสัญญาณ $F_{out}$ ค่าความถี่ที่ได้จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาซึ่งมีผลมาจากค่า cos $2\omega t$ ในสัญญาณไฟฟ้าจริงชั่วขณะ โดยที่ค่าของ $F_{out}$ สามารถตั้งให้มีค่าได้มากถึง 32 เท่าของความถี่ของช่องสัญญาณ F1 และ F2 และการคำนวณค่าพลังงานจะอาศัยความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าและเวลาตามสมการ

$$E = \int_{t1}^{t2} p(t)dt = P\Delta t \qquad (1)$$

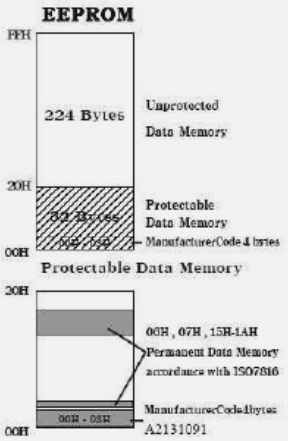
## 2.2 บัตรสมาร์ตการ์ด SLE 4442

บัตรสมาร์ตการ์ด SLE 4442 เป็นสมาร์ตการ์ดแบบมีการสัมผัสชนิด memory card โดยในการใช้งานจำเป็นต้องมีการสอดบัตรเข้าไปในเครื่องอ่านบัตรสมาร์ตการ์ด (smart card reader) เพื่อให้หน้าสัมผัส สัมผัสกับเครื่องอ่าน บัตรสมาร์ตการ์ดประเภทนี้จะมีการผนึกชิปทองขนาดเล็กเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณครึ่งนิ้วเอาไว้ที่ด้านหน้าบัตรดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 บัตร SLE 4442

### คุณลักษณะทั่วไป



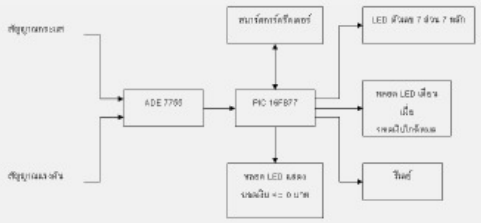

รูปที่ 2.4 โครงสร้าง บัตร SLE 4442

บัตรสมาร์ตการ์ดเบอร์ SLE 4442 มีหน่วยความจำ EEprom ขนาด 256 Bytes โดยแบ่งเป็น Protect Data Memory 32 Bytes และ Unprotect Data Memory 224 Bytes สามารถอ่านและเขียนได้ 100,000 ครั้ง เก็บข้อมูลได้นาน 10 ปี ส่วนที่เป็น Protect Data Memory สามารถเขียนข้อมูลถาวรไว้โดยจะลบหรือเปลี่ยนแปลงแก้ไขไม่ได้อีกเลยและในส่วนนี้เขียนข้อมูลไว้แล้ว 12 Bytes ตามมาตรฐาน ISO7816 นอกจากนี้ SLE 4442 ยังมี PSC (Programmable Security Code) 3 Bytes เพื่อใช้ในการตรวจสอบค่าให้ตรงกับในบัตรก่อนจึงจะเขียนข้อมูลลงในบัตรได้ และมี

EC(Error Counter) เพื่อใช้ในการนับจำนวนครั้งที่มีการ Verify ค่า PSC ถ้าทำการตรวจสอบ Verify ค่า PSC ไม่ถูกต้องถึง 3 ครั้ง บัตรนี้จะเขียนข้อมูลไม่ได้อีกเลย การนับ Error Counter นี้จะถูก Reset เมื่อVerify ค่า PSC ได้ถูกต้อง ค่า PSC มาตรฐานของบัตรใหม่ที่ผลิตจากโรงงานคือ FFFFFF ซึ่งโครงสร้าง บัตร SLE 4442 จะแสดงตามรูปที่ 2.4

## 3. การออกแบบ

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าและการประยุกต์ใช้บัตรสมาร์ตการ์ดสำหรับการเติมเงิน

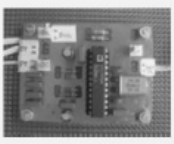



รูปที่ 3.1 แผนผังเครื่องต้นแบบมาตรวัด

ในส่วนของมาตรวัดดังรูปที่ 3.1จะใช้วงจรรวมสำเร็จรูปของบริษัท Analog devices เบอร์ AD 7755 รับสัญญาณกระแส V1 และสัญญาณแรงดัน V2 เพื่อประมวลผลเป็นสัญญาณพัลส์ แล้วส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์คำนวณค่าใช้พลังงาน และแสดงผลที่ LED 7 ส่วน สำหรับการเติมเงินค่าใช้พลังงานไฟฟ้าจะเติมผ่านบัตรสมาร์ตการ์ด เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานจนยอดเงินในมาตรวัดใกล้หมดจะมีหลอดสัญญาณเตือน ถ้าผู้ใช้ไฟใช้พลังงานจนยอดเงินหมดโดยไม่มีการเติมเงินเพิ่มรีเลย์จะตัดวงจรจ่ายไฟทันที

### 3.1การออกแบบมาตรวัดกิโลวัตต์-ชั่วโมง

ในงานวิจัยนี้จะออกแบบมาตรวัดพลังงานให้มีผลการวัดค่าเป็นหน่วยกิโลวัตต์-ชั่วโมง เพื่อให้สอดคล้องกับหน่วยที่ใช้ประเมินค่าใช้จ่ายค่าพลังงานไฟฟ้า โดยมีเงื่อนไขการออกแบบสำหรับการวัดแรงดัน 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ กระแสพิกัด 15 แอมป์ (3.3 กิโลวัตต์-ชั่วโมง) ให้ผลการวัด 12,000 พัลส์ต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง (PPKWHR) สำหรับวงจรภาคตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าจะต่อวงจรตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรภาคตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า

การคำนวณความถี่ต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง

$$12{,}000\text{PPKWHR} = \frac{12{,}000\ \text{pulses}}{(3600\ \text{sec})(1\text{kW}-\text{H})}$$

$$= 3.33333\ \text{Hz/kW} \qquad (2)$$

ดังนั้นที่พิกัด 3.3 กิโลวัตต์-ชั่วโมง จะให้สัญญาณที่ขาออกในเวลา 1 ชั่วโมงเป็น

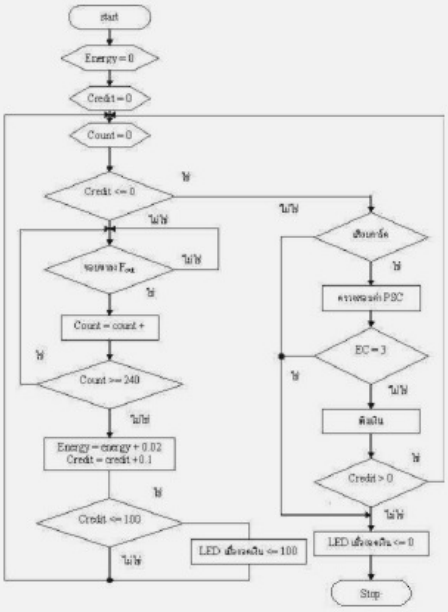
$$f = (3.3333\ \text{Hz/kW})(3.3\ \text{kW})$$

$$= 10.99989\ \text{Hz} \qquad (3)$$

### 3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในงานวิจัยนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ของบริษัท Microchip Technology เบอร์16F877 ซึ่งติดตั้งอยู่บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ CP_PIC V3 ของบริษัท อีทีที ส่วนแสดงผลเป็น LED ตัวเลข 7 ส่วน 7 หลัก โดยใช้ขาควบคุมต่อกับพอร์ท A และ E ส่วนขาข้อมูลจะต่อกับพอร์ท D สำหรับสัญญาณ $F_{OUT}$ จะรับค่าที่ขา 33 สำหรับการพัฒนาโปรแกรมจะใช้ CCS C Compiler ลิขสิทธิ์ของ Custom Computer Services, USA

ในการแปลงผลค่าพลังงานเป็นสัญญาณพัลส์จะเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานตัวนับหมายเลข 0 (counter 0) ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งทำการควบคุมให้ตัวนับทำงานในโหมด 2 และรับสัญญาณกระตุ้นจากขา $F_{OUT}$ ของ AD7755 ซึ่งทำการนับที่ขอบขาลงของพัลส์ และอาศัยการขัดจังหวะของตัวนับ 240 พัลส์ในการเก็บบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าทุกๆ 0.02 กิโลวัตต์-ชั่วโมงและทำการลดค่าเงินชำระค่าใช้พลังงาน 0.1 บาท ดังรูปที่ 3.3 เมื่อจำนวนเงินในมาตรวัดใกล้จะหมดลงมาตรวัดจะแสดงสัญญาณด้วยหลอด LED ให้ผู้ใช้ไฟทราบ จากนั้นผู้ใช้ไฟจะต้องนำบัตรสมาร์ตการ์ดที่เติมเงินแล้วที่จุดให้บริการผู้ใช้ไฟ เสียบที่มาตรวัด เมื่อมาตรวัดเติมเงินเสร็จซึ่งใช้เวลาประมาณ 1 วินาที ก็สามารถนำบัตรสมาร์ตการ์ดออกจากมาตรวัดได้เลย ในการเติมเงินได้ออกแบบให้เติมเงินได้สูงสุด 9,999 บาท ถ้ายอดเงินในมาตรวัดหมดลงไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้รีเลย์ทำงานเพื่อตัดวงจรจ่ายพลังงานไฟฟ้า

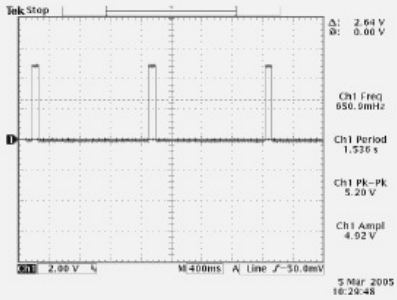



รูปที่ 3.3 แผนภูมิสายงานมาตรวัด

## 4. การทดสอบ

### 4.1 การวัดสัญญาณ $F_{OUT}$

ทำการทดสอบจ่ายโหลดพิกัดกำลังไฟฟ้าค่าต่างๆ ให้กับวงจรรวมเอดี 7755 ซึ่งทำหน้าที่ตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าแล้ววัดสัญญาณที่ขา $F_{OUT}$ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.1 ซึ่งได้ผลลัพธ์ของสัญญาณเป็น 0.6509 เฮิรตซ์เปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ 0.6400 เฮิรตซ์ พบว่าคลาดเคลื่อนไป ร้อยละ 1.67 เท่านั้น

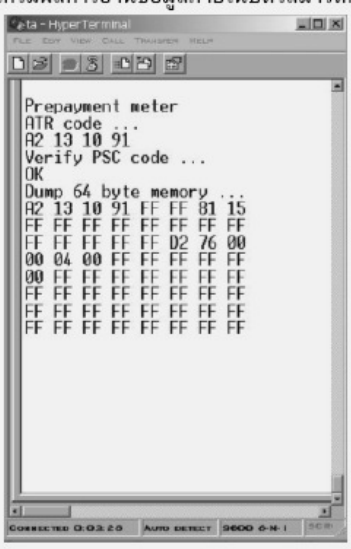



รูปที่ 4.1 รูปสัญญาณด้านออกของวงจรตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่ทำการป้อนโหลด 192 วัตต์

### 4.2 ผลการทดสอบวงจรการอ่านและเขียนสมาร์ตการ์ด

ผลที่ได้จะแสดงบนโปรแกรม Hyper Terminal โดยรับคำสั่งติดต่อสื่อสารผ่านทาง RS232 ซึ่งจะแสดงข้อมูลในบัตรสมาร์ต-การ์ด SLE 4442

### 4.2.1โปรแกรมผลการอ่านข้อมูลภายในบัตรสมาร์ตการ์ด

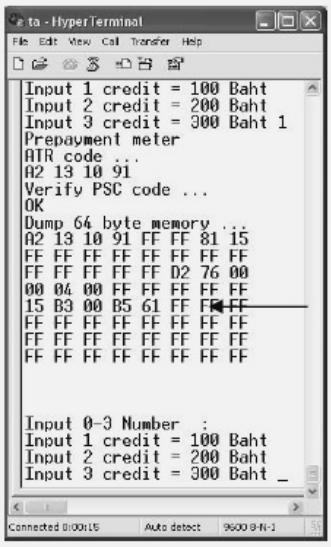



รูปที่ 4.2 ข้อมูลภายในบัตรสมาร์ตการ์ด

จากรูปที่ 4.2 ในตำแหน่งไบต์ที่ 0-3 แสดง A2 13 10 91 คือ Manufacturer Code ในส่วนนี้เป็นข้อมูลถาวรตามมาตรฐาน ISO 7816 จะลบหรือเปลี่ยนแปลงแก้ไขไม่ได้อีก

### 4.2.2 การป้อนค่าเงินเข้าสู่บัตรสมาร์ตการ์ด

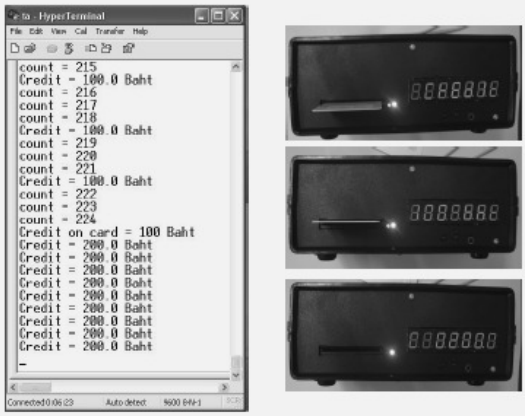
การป้อนค่าเงินเข้าสู่บัตรสมาร์ตการ์ดจะทำผ่านโปรแกรม Hyper Terminal จากรูปที่ 4.3 เมื่อกดคีย์บอร์ดเลข 1 ตำแหน่งไบต์ที่ 20 ของบัตรสมาร์ตการ์ดจะเขียนข้อมูล 01 ลงไป ซึ่งจะใช้แทนมูลค่าเงิน 100 บาท เมื่อป้อนข้อมูลเข้าสู่มาตรวัด




รูปที่ 4.3 เขียนข้อมูลค่าเงินเข้าสู่บัตรสมาร์ตการ์ด

### 4.2.3 การป้อนค่าเงินจากบัตรสมาร์ตการ์ดเข้าสู่มาตรวัด

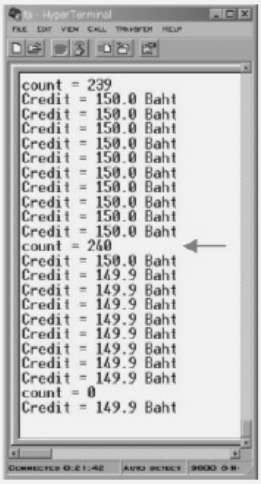
เมื่อเสียบบัตรสมาร์ตการ์ดที่สมาร์ตการ์ดรีดเดอร์ มาตรวัดจะแสดงมูลค่าเงินบนบัตรหลังจากนั้นมาตรวัดจะทำการบวกเพิ่มมูลค่าเงินจากที่มีอยู่เดิม ซึ่งแสดงให้เห็นตามรูปที่ 4.4 สำหรับมูลค่าเงินจะเติมเข้าสู่มาตรวัดได้ไม่เกิน 9,999 บาท




รูปที่ 4.4 ป้อนค่าเงินเข้ามาตรวัดผ่านบัตรสมาร์ตการ์ด

**4.3 ผลการทดสอบการตัดยอดเงินของมาตรวัด**

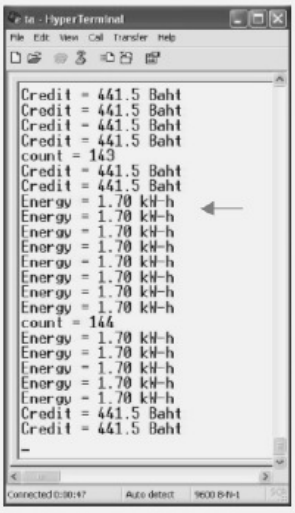
การตัดยอดเงินเมื่อมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจะตัดครั้งละ 0.1 บาท ที่ 0.02 kW-h หรือคิดเป็นมูลค่าเงิน 5 บาท ต่อ 1 kW-h ดังนั้นจะตัดยอดเงินที่สัญญาณ $F_{OUT}$ หรือ count มีค่าเท่ากับ 240 ดังรูปที่ 4.5




รูปที่ 4.5 มาตรวัดตัดยอดเงินเมื่อสัญญาณที่ขา $F_{OUT}$ = 240 pulse

**4.4 ผลการทดสอบการอ่านค่าพลังงานรวมที่ใช้**

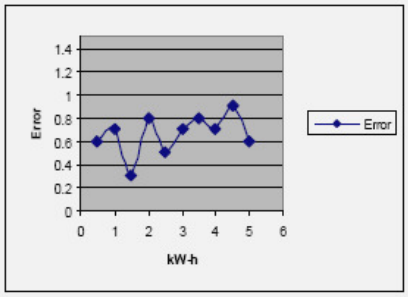
จากรูปที่ 4.6 จะแสดงให้เห็นค่าพลังงานรวมที่ใช้เมื่อมีการกดสวิทช์สำหรับแสดงค่าพลังงานที่ใช้




รูปที่ 4.6 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

**4.5 การทดสอบมาตรวัดที่กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ**

เนื่องจากข้อจำกัดในการหาอุปกรณ์มาทดสอบจึงได้ทำการทดลองโดยการจำลองสัญญาณ $F_{OUT}$ เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมจากเครื่องกำเนิดสัญญาณแล้วทำการทดลองปรับค่าตั้งแต่ 0 kW-h ถึง 5 kW-h ได้ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.7




รูปที่ 4.7 ค่าคลาดเคลื่อนของมาตรวัดในการตัดยอดเงิน

## 5. สรุป

จากผลการวิจัยสามารถสร้างต้นแบบมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าแบบชำระเงินล่วงหน้ามีค่าการวัดเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมงได้ตามข้อกำหนดของ IEC 61036 มาตรฐานมาตรวัดประเภทชั้น 1 และ 2 (Class 1 and 2) และได้ทำการวัดเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับมาตรวัดพลังงานไฟฟ้ายี่ห้อ Mitsubishi Type MF- 63E โดยจ่ายพลังงานให้บ้านพักอาศัยขนาดเล็ก เป็นเวลา 3 วัน ให้ผลการวัดเท่ากัน

สำหรับการทดสอบการทำงานในส่วนการเช็คยอดเงิน การเติมมูลค่าเงิน การลดค่าเงิน สามารถทำงานได้ถูกต้อง นอกจากนั้นจากความสามารถของบัตรสมาร์ตการ์ดจะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้ามีความสะดวกสบาย เพิ่มความรวดเร็วในการชำระเงินค่าใช้พลังงาน และทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถควบคุมมูลค่าเงินในการใช้พลังงานได้เป็นปัจจุบันด้วย และในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมการเก็บข้อมูลในรูปแบบที่ไม่ต้องใช้ไฟเลี้ยง (non-volatile memory) เพื่อสำรองข้อมูลขณะไฟฟ้าดับโดยเขียนข้อมูล พลังงานที่ใช้ (kW-h) และจำนวนเงินที่เติมเข้าสู่มาตรวัดลงในหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

ขณะนี้งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการพัฒนาสร้างมาตรวัดเพื่อนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ซึ่งจำเป็นต้องเพิ่มส่วนวงจรป้องกันเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือ และงบประมาณ ในการจัดทำ ขอขอบคุณนางสาวศิริกุล อินอักษร ที่ช่วยดำเนินการทดสอบและเก็บข้อมูลการออกแบบและประยุกต์ใช้สมาร์ตการ์ดเพื่อพัฒนามาตรวัดกิโลวัตต์-ชั่วโมงแบบโซลิดสเตต ขอขอบคุณนายโกวิทย์ ส่องสี ที่รวบรวมข้อมูลและดำเนินโครงการวิจัยการออกแบบและพัฒนามาตรวัดแบบโซลิดสเตต

## เอกสารอ้างอิง


[1] สาวิตร์ ตัณฑนุช, เครื่องวัดและการวัดทางไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2541.

[2] Energy Metering IC with Pulse Output AD7755, Analog devices.

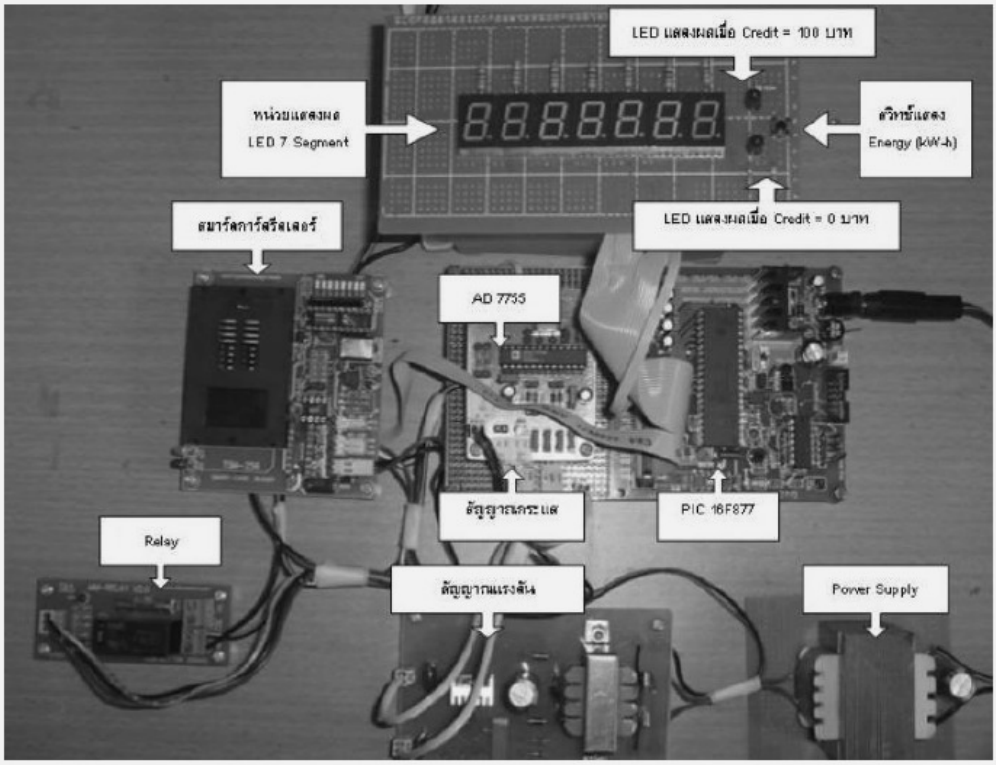
[3] Solid State Electricity Metrology, Analog devices.

[4] Jennifer Huber. 2003. "ISO7816 Identification cards".

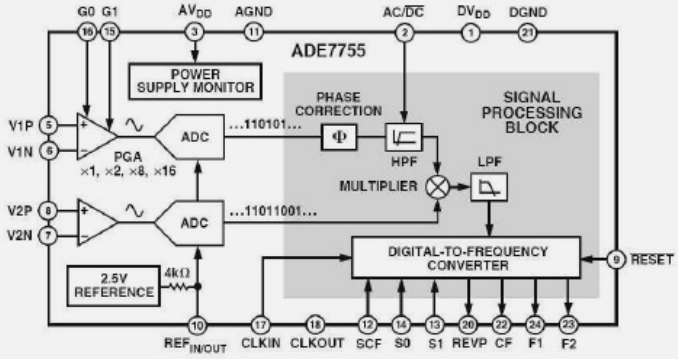
[5] Siemens Semiconductor Group in Munich.1995. ICs for Chip Cards Intelligent 256-Byte EEPROM SLE 4432/SLE 4442,Munich,Germany.

[6] ประจิน พลังสันติกุล. 2546. เรียนรู้และใช้งาน CCSC คอมไพเลอร์เขียนโปรแกรมภาษา C ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC. บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด,กรุงเทพฯ,หน้า 99-277.


## ภาคผนวก




รูปภาคผนวก 1 ภาพถ่ายวงจร




รูปภาคผนวก 2 แผนผังการต่อวงจร AD7755