

รายการอ้างอิง

- [1] Caldara, S.; Nuccio, S.; Spataro, C. A virtual instrument for measurement of flicker. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 47,5 (Oct. 1998): 1155 – 1158.
- [2] Gallo, D.; Landi, C.; Pasquino, N. Design and Calibration of an Objective Flickermeter. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 55,6 (Dec. 2006): 2118 – 2125.
- [3] IEC 61000-4-15 . Part 4: Testing and measurement techniques – Section 15: Flickermeter – Functional and design specifications. Edition 1.1, 2003-02.
- [4] S. Chen, C. M. Lo, M. K. Foo and K. T. How, Testing of Fluorescent Lamps for its Flickering Susceptibility towards Interharmonic Voltages. 8th International Power Engineering Conference IPEC 2007 12,1 (Jan. 2007): 417 – 422.
- [5] Peretto, L.; Emanuel, A.E., A Theoretical Study of the Incandescent Filament Lamp Performance under Voltage Flicker. IEEE Transactions on Power Delivery 12,1 (Jan. 1997): 279 – 288.
- [6] มงคล ทองสงคราม. วิศวกรรมกรรมการส่องสว่าง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: รามาการพิมพ์, 2536
- [7] Emanuel, A.E.; Peretto, L., The Response of Fluorescent Lamp with Magnetic Ballast to Voltage Distortion. IEEE Transactions on Power Delivery 12,1 (Jan. 1997): 289 – 295.
- [8] Wei-Nan Chang; Chi-Jui Wu; Shih-Shong Yen, The Influence of Voltage Flicker on Residential Lamps. Power Electronics and Drive Systems 13,2 (Jan. 1997): 389 – 395.
- [9] Thomas Keppler; Neville Watson; Jos Arrillaga, Computation of the Short-Term Flicker Severity Index. IEEE Transactions on Power Delivery 15,4 (Oct. 2000): 1110 – 1115.
- [10] คณะกรรมการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. ข้อกำหนดกฎเกณฑ์แรงดันกระเพื่อมเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม. 2541

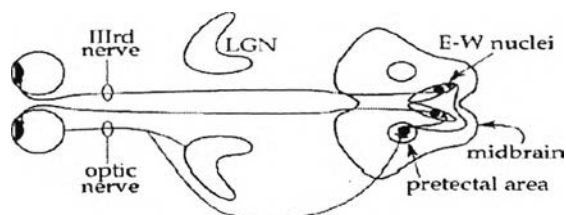
- [11] Peretto, L.; Pivello, E.; Tinarelli, R.; Emanuel, A.E., Theoretical Analysis of the Physiologic Mechanism of Luminous Variation in Eye-Brain System. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 56,1 (Feb. 2007): 164 – 170.
- [12] IEC 61000-3-3. Part 3:Limits - Section 3: Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current \leq 16 A per phase and not subject to conditional connection. Edition 1.2, 2005-10.
- [13] IEC 61000-3-5. Part 3:Limits - Section 5: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A. First edition, 1994-12.
- [14] IEC 61000-3-7. Part 3:Limits – Section 7: Assessment of emission limits for fluctuating loads in MV and HV power systems – Basic EMC publication. First edition, 1996-10.
- [15] Gallo, D.; Landi, C.; Langella, R.; Testa, A. Implementation of a test system for advanced calibration and performance analysis of flickermeters. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 53,4 (Aug. 2004): 1078 – 1085.
- [16] Halpin, S.M.; Bergeron, R.; Blooming, T.M.; Burch, R.F.; Conrad, L.E.; Key, T.S., Voltage and lamp flicker issues: should the IEEE adopt the IEC approach?, IEEE Transactions on Power Delivery 18,3 (July 2003): 1088 – 1097.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การสะท้อนของแสงผ่านรูม่านตา

ไฟกะพริบ (Light flicker) เป็นผลตอบสนองของระบบส่องสว่าง ซึ่งเมื่อคนมองแสงแล้วจะรู้สึกไม่สบายตา เกิดจากการสะท้อนของแสงผ่านรูม่านตา (Pupillary light reflex) [10] โดยเริ่มจากแสงส่องผ่านตาเข้ามายังกระจกตา (Cornea) และรูม่านตา (Pupil) ซึ่งเป็นช่องวงกลมในม่านตา (Iris) จากนั้นส่วนเลนส์ผลึก (Crystalline lens) จะรวมแสงไปยังจุดโฟกัส กล่าวคือแสงจะผ่าน Vitreous humor แล้วถูกรวมที่ Central fovea และ Macula ซึ่งเป็นองค์ประกอบในเยื่อชั้นในสุดของลูกตา (Retina) ที่ไวต่อแสง โดยจะมีปฏิกิริยาทางเคมี (ตัวรับแสง) เพื่อจะเปลี่ยนสัญญาณแสงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งไปยังสมองผ่าน Optic nerve บริเวณสมองที่ใช้ในการแปลสัญญาณไฟฟ้าอยู่ที่ Occipital lobe สัญญาณจะถูกส่งผ่าน Lateral Geniculate Nucleus (LGN) ซึ่งช่วยระบบการมองเห็นในการพิจารณาข้อมูลที่สำคัญและเมื่อข้อมูลมาถึง Pretectal nucleus ซึ่งจะสื่อสารกับองค์ประกอบสมองส่วนกลาง (Edinger–Westphal nuclei) ในการควบคุมขนาดของรูม่านตาโดยใช้เส้นทาง Sympathetic และ Parasympathetic เส้นประสาทดังกล่าวคือเส้นประสาทเส้นที่ 3 (ตามรูปที่ ก.1) ซึ่งควบคุมการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อเรียบ 2 ส่วนที่ทำงานตรงกันข้ามกันคือ Dilator และ Sphincter (กล้ามเนื้อม่านตา) การเปลี่ยนแปลงขนาดของรูม่านตาขึ้นกับ 2 ปัจจัยได้แก่ การเปลี่ยนแปลงระดับการส่องสว่างของเนื้อเยื่อรอบจอตา (การสะท้อนของแสง) กับการเปลี่ยนแปลงระยะทางการมองเห็นของ Near triad (การสะท้อนแบบใกล้) ปฏิกิริยาการไฟกะพริบเกิดขึ้นจากการทำงานที่ต่อเนื่องกันของกล้ามเนื้อ Dilator และ Sphincter เนื่องจาก Edinger–Westphal nuclei จะพยายามรักษาให้ผลรวมความเข้มของแสงคงที่ก่อนถึง Central fovea และ Macula ผลที่ตามมาก็คือทำให้มีความรู้สึกประสาทสัมผัสเกิดขึ้น ซึ่งจะมีการใช้พลังงานสำหรับการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อม่านตา สำหรับเส้นทางของสัญญาณในการสะท้อนของแสงผ่านรูม่านตา จะแสดงตามรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 เส้นทางของสัญญาณในการสะท้อนของแสงผ่านรูม่านตา

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าครรชนีไฟกะพริบระยะสั้น

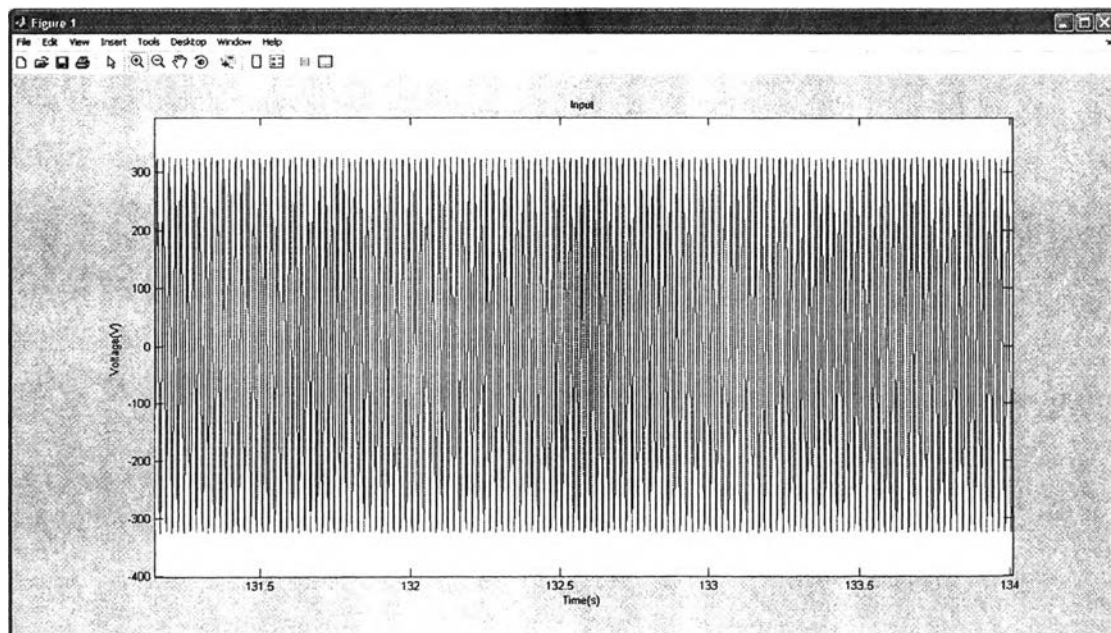
การคำนวณหาค่าครรชนีไฟกะพริบระยะสั้น (P_{st}) จะอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 61000-4-15 โดยในมาตรฐานจะแบ่งออกเป็น 5 บล็อก คือ บล็อกที่ 1 วงจรตรวจสอบเพื่อเปรียบเทียบและการปรับค่าแรงดันขาเข้า บล็อกที่ 2 การยกกำลังสอง บล็อกที่ 3 ตัวกรอง บล็อกที่ 4 ตัวคูณยกกำลังสองและตัวกรอง Sliding และบล็อกที่ 5 กระบวนการวิเคราะห์ทางสถิติ

สัญญาณแรงดันขาเข้าที่จะใช้เป็นตัวอย่างเป็นสัญญาณแรงดันที่ถูกมอดูเลตด้วยรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ซึ่งมีสมการดังนี้

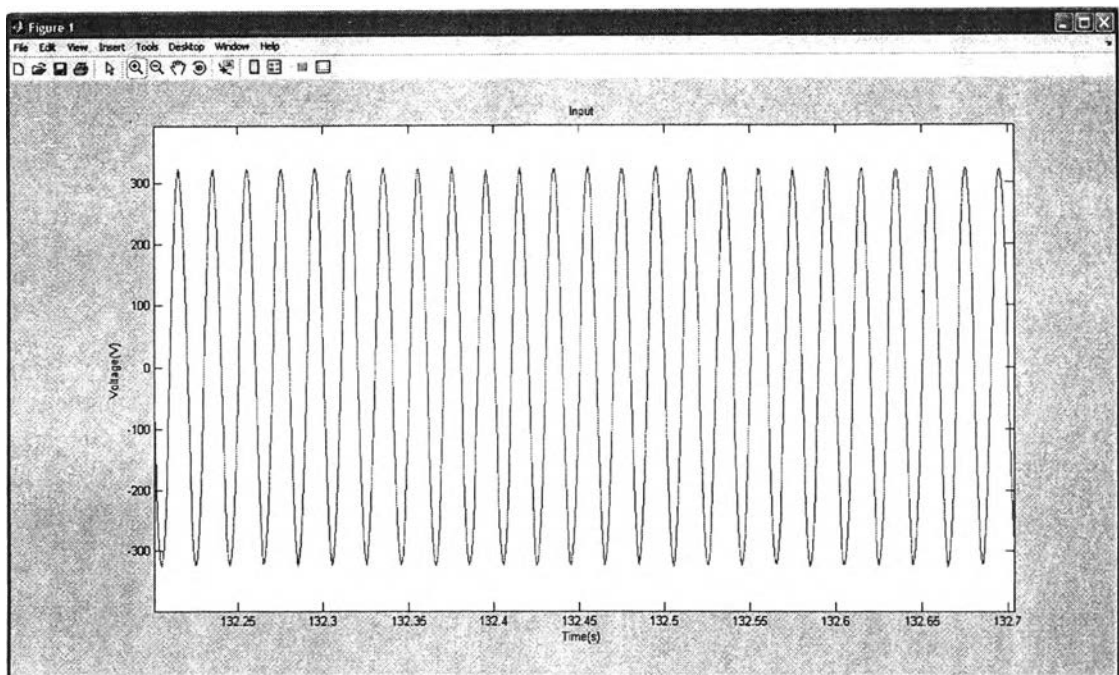
$$y(t) = \sqrt{2}V_{main} \sin(2\pi f_c t) \times \left\{ 1 + \frac{1}{2} \times \frac{dv}{v} (\%) \times \text{square}(2\pi f_f t) \right\} \quad (\text{ข.1})$$

โดยที่ V_{main} เป็นขนาดของแรงดัน f_c เป็นความถี่หลักมูล $\frac{dv}{v} (\%)$ เป็นขนาดของการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ใช้ในการมอดูเลต และ f_f เป็นความถี่ที่ใช้ในการมอดูเลต

กำหนดให้ค่า $V_{main} = 230V$ $f_c = 50\text{Hz}$ $\frac{dv}{v} (\%) = 0.402$ และ $f_f = 13.5\text{Hz}$ (1620 cpm) เป็นค่าที่ใช้แทนลงในสมการที่ (ข.1) เมื่อแทนค่าทั้งหมดแล้วก็จะได้รูปคลื่นที่มีการกระเพื่อมของค่ายอด ซึ่งแสดงในรูปที่ ข.1 และรูปที่ ข.2 (รูปขยาย)

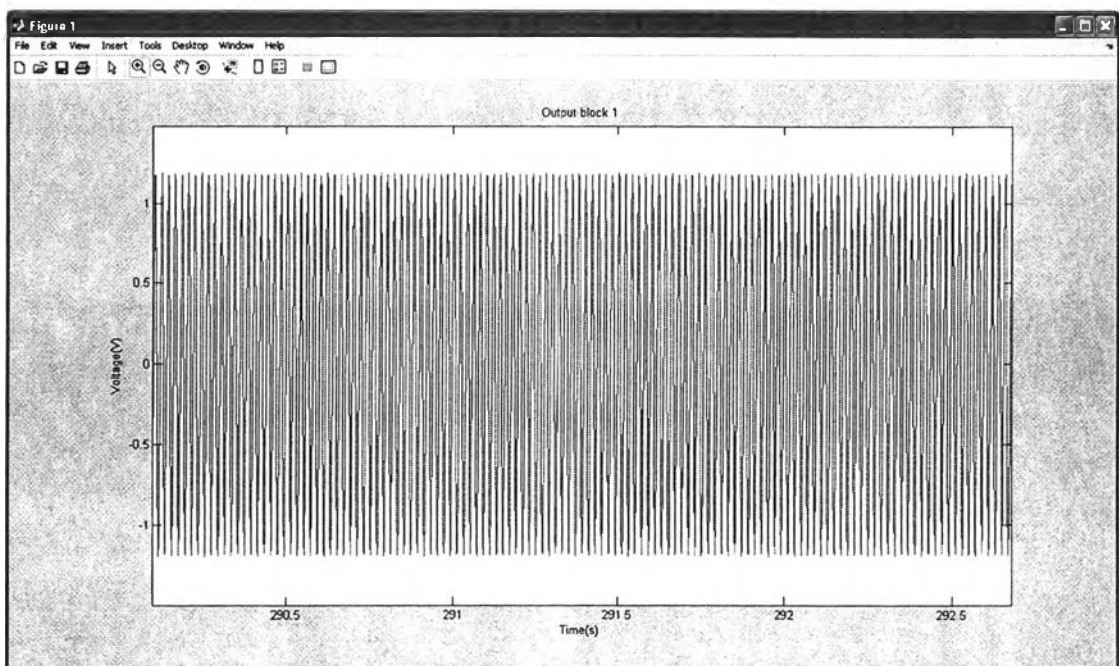


รูปที่ ข.1 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันขาเข้า



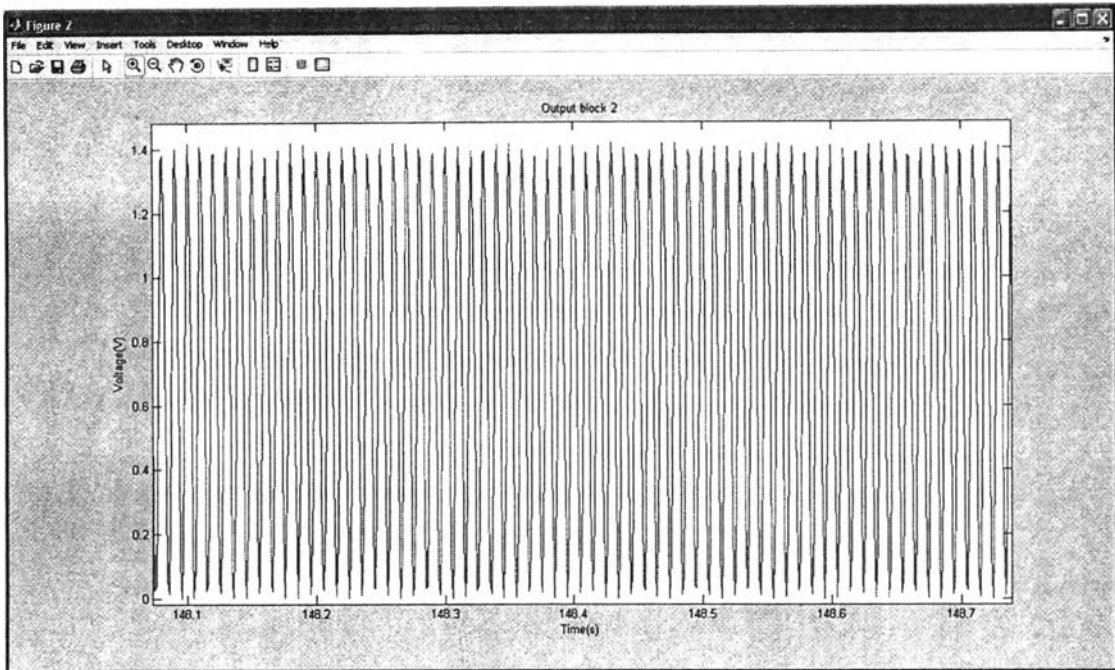
รูปที่ ข.2 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันขาเข้า (รูปขยาย)

เมื่อนำสัญญาณขาเข้าข้างต้น เข้าไปในบล็อกที่ 1 (วงจรตรวจสอบเพื่อเปรียบเทียบ และการปรับค่าแรงดันขาเข้า) ก็จะได้รูปคลื่นผลลัพธ์ แสดงในรูปที่ ข.3



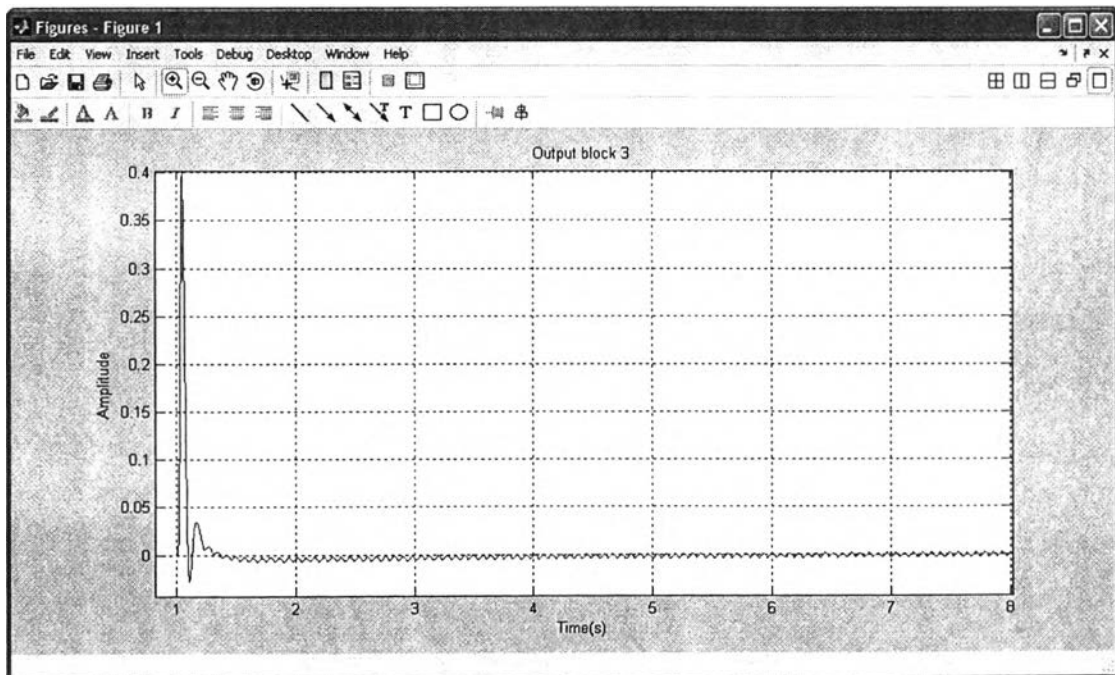
รูปที่ ข.3 รูปคลื่นสัญญาณที่ออกจากบล็อกที่ 1

ถัดมาเมื่อนำรูปคลื่นที่ออกจากบล็อกที่ 1 เข้าไปในบล็อกที่ 2 (การยกกำลังสอง) ก็จะได้รูปคลื่นผลลัพธ์ แสดงในรูปที่ ข.4



รูปที่ ข.4 รูปคลื่นสัญญาณที่ออกจากบล็อกที่ 2

ถัดมาเมื่อนำรูปคลื่นที่ออกจากบล็อกที่ 2 เข้าไปนำบล็อกรวมที่ 3 (ตัวกรอง) ประกอบด้วยตัวกรอง 3 ตัวกรอง คือ 1.ตัวกรองความถี่สูงอันดับ 1 2.ตัวกรองความถี่ต่ำชนิด Butterworth อันดับ 6 3.ตัวกรอง Weighting ก็จะได้รูปคลื่นผลลัพธ์แสดงในรูปที่ ข.5

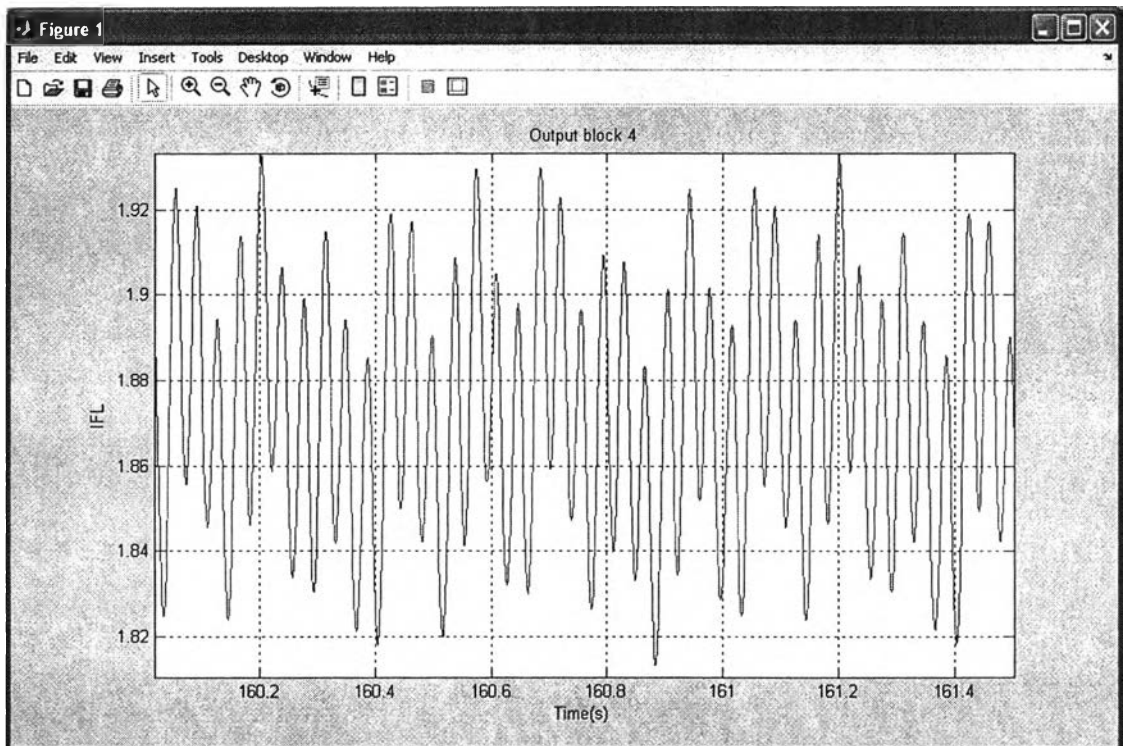


รูปที่ ข.5 รูปคลื่นสัญญาณที่ออกจากบล็อกที่ 3

การวิเคราะห์สัญญาณของตัวกรอง ได้ใช้คำสั่งใน Matlab คือ $y = \text{filter}(b,a,X)$ โดยที่ b เป็นสัมประสิทธิ์ของ numerator a เป็นสัมประสิทธิ์ของ denominator X เป็นข้อมูลที่ ต้องการกรอง และ y เป็นข้อมูลที่ได้อีกหลังจากผ่านตัวกรอง ซึ่ง numerator และ denominator เป็นสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันถ่ายโอน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{\text{num}(s)}{\text{den}(s)} = \frac{\text{num}(1)s^n + \dots + \text{num}(n)s + \text{num}(n+1)}{\text{den}(1)s^m + \dots + \text{den}(m)s + \text{den}(m+1)} \quad (ข.2)$$

ถัดมาเมื่อนำรูปคลื่นที่ออกจากบล็อกที่ 3 เข้าไปนำบล็อกที่ 4 (ตัวคูณยกกำลังสองและตัวกรอง Sliding) ก็จะได้รูปคลื่นผลลัพธ์ แสดงในรูปที่ ข.6



รูปที่ ข.6 รูปคลื่นสัญญาณที่ออกจากบล็อกที่ 4

ถัดมาในบล็อกที่ 5 (กระบวนการวิเคราะห์ทางสถิติ) จะนำสัญญาณที่ออกจากบล็อกที่ 4 มาหา Cumulative probability function (CPF) ซึ่งมีสมการดังนี้ [9]

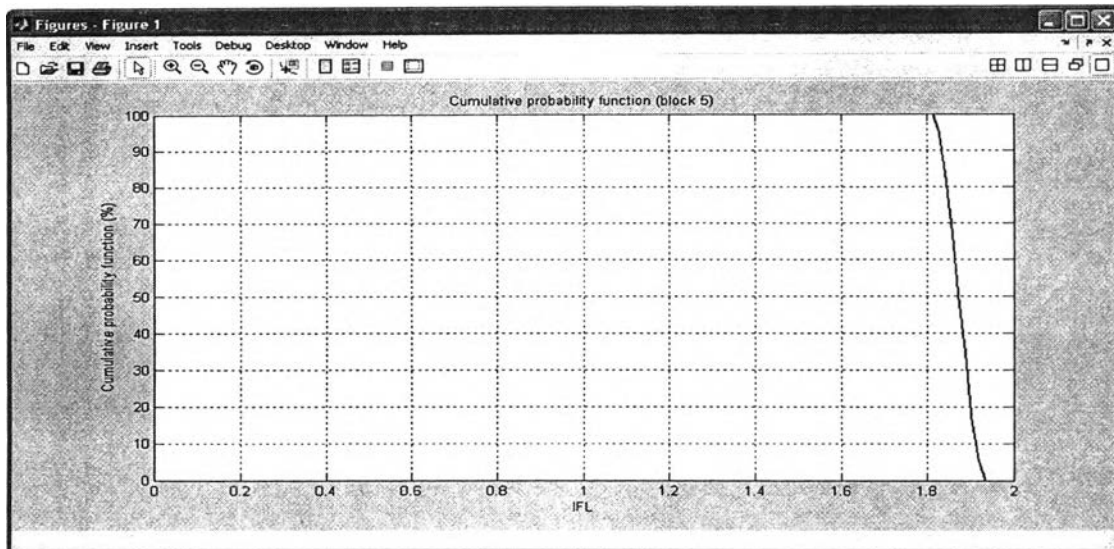
$$p(l) = \frac{A}{B}, \quad A \geq l \quad (ข.3)$$

โดยที่ $p(l)$ เป็นความน่าจะเป็นสะสมที่ระดับสัญญาณ l

A เป็นผลรวมของจำนวนสัญญาณที่มากกว่าหรือเท่ากับระดับสัญญาณ l

B เป็นผลรวมของจำนวนสัญญาณทั้งหมด

เมื่อนำสัญญาณที่ออกจากบล็อกที่ 4 มาหา CPF แล้วพล็อตเป็นรูปกราฟ แสดง
 ในรูปที่ ข.7

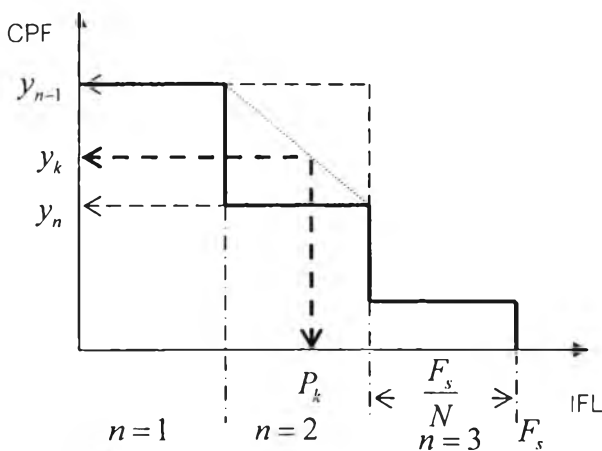


รูปที่ ข.7 กราฟ CPF ของบล็อกที่ 5

ถัดมาก็จะนำข้อมูลที่ได้จากการหา CPF มาหาค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 0.1, 0.7, 1, 1.5, 2.2, 3, 4, 6, 8, 10, 13, 17, 30, 50 และ 80 โดยใช้วิธี Linear interpolation ซึ่งมีสมการดังนี้

$$P_k = \frac{F_s}{N} \left(n - \frac{y_k - y_n}{y_{n-1} - y_n} \right) \tag{ข.4}$$

โดยที่ F_s เป็นค่าเต็มสเกล N เป็นจำนวนคลาส n เป็นหมายเลขคลาสที่ได้จาก $\frac{F_s}{N}$ ส่วน y_{n-1} และ y_n เป็นเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่อยู่ระหว่าง y_k โดยที่ y_k เป็นเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ต้องการหาเช่น 10 หรือ 80 ซึ่งสามารถอธิบายด้วยรูปที่ ข.8



รูปที่ ข.8 วิธีการหา Linear interpolation

จากรูปที่ ข.7 สามารถหาค่าเปอร์เซ็นต์โวลต์ต่าง ๆ ได้ดังนี้ $P_{0.1}=1.9326$,
 $P_{0.7}=1.9296$ $P_1=1.9291$ $P_{1.5}=1.9269$ $P_{2.2}=1.9248$ $P_3=1.9229$ $P_4=1.9212$
 $P_6=1.9175$ $P_8=1.9141$ $P_{10}=1.9111$ $P_{13}=1.9069$ $P_{17}=1.9021$ $P_{30}=1.8907$
 $P_{50}=1.8719$ $P_{80}=1.8448$

ในมาตรฐานได้กำหนดให้หาค่า P_{50s} P_{10s} P_{3s} และ P_{1s} ก่อนที่จะหาค่า P_{st} โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

$$P_{50s} = (P_{30} + P_{50} + P_{80})/3 = (1.8907+1.8719+1.8448)/3 = 1.8691$$

$$P_{10s} = (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17})/5 = (1.9175+1.9141+1.9111+1.9069+1.9021)/5 = 1.9103$$

$$P_{3s} = (P_{2.2} + P_3 + P_4)/3 = (1.9248+1.9229+1.9212)/3 = 1.9230$$

$$P_{1s} = (P_{0.7} + P_1 + P_{1.5})/3 = (1.9296+1.9291+1.9269)/3 = 1.9285$$

หลังจากนั้นก็หาค่า P_{50s} P_{10s} P_{3s} P_{1s} และ $P_{0.1}$ แทนในสมการเพื่อหาค่า P_{st} ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} P_{st} &= \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_{1s} + 0.0657P_{3s} + 0.28P_{10s} + 0.08P_{50s}} \\ &= \sqrt{0.0314*1.9326 + 0.0525*1.9285 + 0.0657*1.9230 + 0.28*1.9103 + 0.08*1.8691} \\ &= \sqrt{0.06068 + 0.10125 + 0.12634 + 0.53490 + 0.149530} \\ &= \sqrt{0.97270} \end{aligned}$$

$$P_{st} = 0.98625$$

ดังนั้นเมื่อป้อนแรงดันที่ถูกมอดูเลตด้วยรูปคลื่นสี่เหลี่ยม โดยมีค่า $V_{main} = 230V$
 $\frac{dv}{v}(\%) = 0.402$ และ $f_r = 13.5\text{Hz}$ (1620 cpm) ตามสมการที่ (ข.1) แล้วคำนวณค่าดรชนี้ไฟ
 กะพริบระยะสั้นตามมาตรฐาน IEC 61000-4-15 จะได้ค่า P_{st} เท่ากับ 0.98625 โดยมาตรฐานได้
 กำหนดให้ค่า P_{st} ที่ได้นั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 0.95 ถึง 1.05 (การวิเคราะห์ผลตอบสนองต่อการ
 เปลี่ยนแปลงแรงดันที่ถูกมอดูเลตด้วยรูปคลื่นสี่เหลี่ยมตามตารางที่ 5.5) ซึ่งสามารถแสดงได้ว่า
 โปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบสามารถคำนวณค่า P_{st} ได้ถูกต้อง

ภาคผนวก ค

Data Acquisition (DAQ) รุ่น UBS NI 9215A

ค.1 การเลือกใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงข้อมูลแบบอนาล็อกเป็นดิจิทัล สำหรับเครื่องวัดไฟกะพริบตามมาตรฐาน IEC 61000-4-15

อุปกรณ์ที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติดังนี้

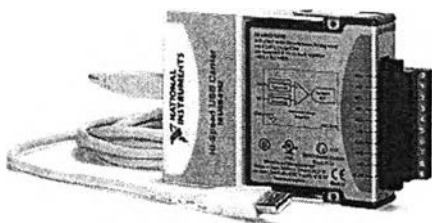
1) สามารถวัดสัญญาณแรงดันได้ 3 ช่องสัญญาณพร้อมกัน

2) อัตราการสุ่มสัญญาณ จากสมการของ Nyquist ได้กำหนดให้ อัตราการสุ่มสัญญาณของเครื่องวัดต้องมีความถี่เป็น 2 เท่าของสัญญาณที่วัด ดังนั้นจะได้อัตราการสุ่มสัญญาณของเครื่องวัดเท่ากับ $2 \times 50 = 100 \text{ Hz}$

3) จำนวนบิตของ A/D ของคอนเวอร์เตอร์ ตามมาตรฐาน IEC 61000-4-15 กำหนดขนาดการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดของสัญญาณไฟกะพริบเท่ากับ 0.2% ของแรงดันเต็มสเกลที่ความถี่หลักมูล

ค.2 คุณสมบัติของ DAQ รุ่น UBS NI 9215A

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ DAQ รุ่น UBS NI 9215A ซึ่งแสดงในรูปที่ ค.1 โดยที่ DAQ รุ่นนี้มีคุณสมบัติตรงตามที่มาตรฐานกำหนด



รูปที่ ค.1 DAQ รุ่น UBS NI 9215A

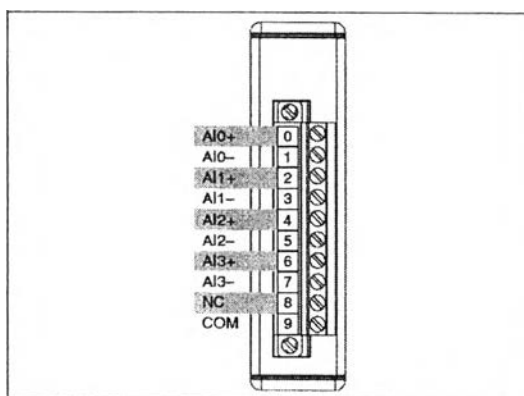
คุณสมบัติของ DAQ รุ่น UBS NI 9215A มีดังนี้

1. มีจำนวนช่องสัญญาณ 4 ช่องสัญญาณและมีการสุ่มสัญญาณพร้อมกัน
2. อัตราในการสุ่มสัญญาณเท่ากับ 100 kHz/ch (มีค่ามากกว่า 100 Hz ตามมาตรฐาน)

3. จำนวนบิตของ A/D ของคอนเวอร์เตอร์ เท่ากับ 16 bits (ถ้าคิดเป็นขนาดที่มี การเปลี่ยนเท่ากับ $1/(2^{16}) = 0.0015\%$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.2 % ตาม มาตรฐาน)
4. เป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กและสะดวกในการพกพา
5. เชื่อมต่อผ่านพอร์ต USB
6. ใช้ไฟเลี้ยงที่พอร์ต USB ที่เชื่อมต่ออยู่
7. สามารถใช้กับระบบปฏิบัติการ Window vista/XP/2000
8. ใช้วัดกับสัญญาณแรงดัน
9. ค่าแรงดันขาเข้าอยู่ในช่วง ± 10 V

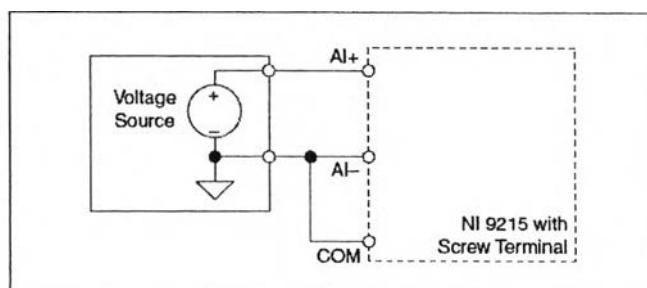
ค.3 การต่อวงจรของ DAQ รุ่น UBS NI 9215A

DAQ รุ่น UBS NI 9215A มีช่องสัญญาณที่ใช้ในการเชื่อมต่อ 4 ช่องสัญญาณ ดัง แสดงในรูปที่ ค.2



รูปที่ ค.2 ช่องสัญญาณที่ใช้ในการเชื่อมต่อของ DAQ รุ่น UBS NI 9215A

ในการต่อแต่ละช่องสัญญาณจะต้องต่อขั้วลบเข้ากับช่อง COM ด้วย เพื่อต้องการ ให้แรงดันอยู่ในช่วงที่ต้องการวัด ซึ่งแสดงในรูปที่ ค.3



รูปที่ ค.3 การต่อแต่ละช่องสัญญาณของ DAQ รุ่น UBS NI 9215A

ภาคผนวก ง

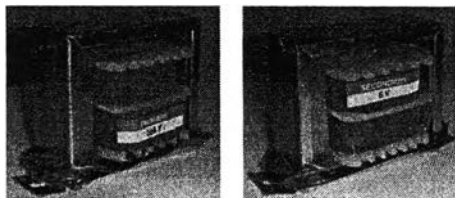
การออกแบบและทดสอบฮาร์ดแวร์

การนำสัญญาณแรงดันจากภายนอกเข้ามาในส่วนของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนั้น จะต้องทำการลดทอนสัญญาณแรงดันให้ต่ำลงก่อน เพราะการวัดสัญญาณแรงดันที่ระดับสูง ๆ นั้น ทำได้ยากและค่อนข้างไม่ปลอดภัย จึงมีความจำเป็นที่จะลดทอนสัญญาณแรงดันให้ต่ำลงและเพื่อให้สามารถเชื่อมต่อกับการ์ด Data Acquisition (DAQ) ได้ ซึ่งใช้ในการแปลงข้อมูลจากรูปแบบอนาล็อกเป็นดิจิทัล

ในส่วนของ การออกแบบส่วนของฮาร์ดแวร์ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นตัวตรวจวัดสัญญาณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงแรงดัน ส่วนที่สองเป็นส่วนของระบบป้องกันแรงดันเกินโดยใช้วงจรจำกัดสัญญาณ (Limiting circuit)

ง.1 ตัวตรวจวัดสัญญาณแรงดัน

ตัวตรวจวัดสัญญาณแรงดันจะใช้หม้อแปลง 3 ตัว ต่อแยกกันในแต่ละเฟส หม้อแปลงแรงดันที่ใช้มีอัตราส่วน 220 V:6 V ซึ่งแสดงในรูปที่ ง.1



รูปที่ ง.1 หม้อแปลงแรงดัน 220 V:6 V

ก่อนการใช้งานจริงจำเป็นต้องมีการทดสอบหม้อแปลงก่อน โดยการป้อนแรงดันตั้งแต่ 40 V ถึง 260 V จำนวน 2 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ ง.1

ตารางที่ ง.1 การทดสอบหม้อแปลงทั้ง 3 ตัว

$V_{input}(V_{rms})$	หม้อแปลงตัวที่ 1		หม้อแปลงตัวที่ 2		หม้อแปลงตัวที่ 3	
	$V_{output1}(V_{rms})$	$V_{output2}(V_{rms})$	$V_{output1}(V_{rms})$	$V_{output2}(V_{rms})$	$V_{output1}(V_{rms})$	$V_{output2}(V_{rms})$
40	1.113	1.097	1.114	1.115	1.131	1.114
60	1.669	1.666	1.685	1.677	1.674	1.672
80	2.241	2.222	2.236	2.24	2.23	2.238
100	2.814	2.807	2.814	2.784	2.822	2.774
120	3.352	3.355	3.356	3.356	3.37	3.361
140	3.914	3.897	3.916	3.933	3.926	3.929
160	4.45	4.41	4.46	4.41	4.44	4.44
180	5	5	5	5	5	5.01
200	5.56	5.51	5.56	5.54	5.58	5.57
220	6.11	6.11	6.09	6.1	6.1	6.1
240	6.65	6.65	6.65	6.65	6.65	6.65
260	7.18	7.18	7.21	7.21	7.19	7.19

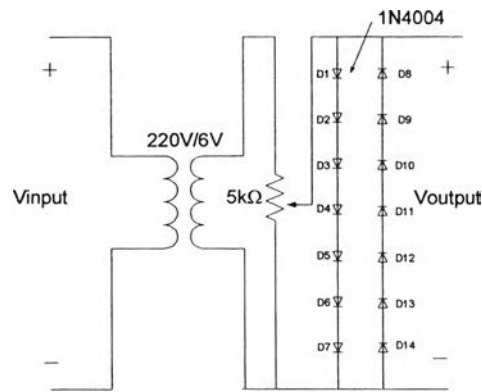
หมายเหตุ

- V_{input} คือ แรงดันขาเข้าที่ป้อนทางด้านปฐมภูมิ
 $V_{output1}$ คือ แรงดันขาออกทางด้านทุติยภูมิครั้งที่ 1
 $V_{output2}$ คือ แรงดันขาออกทางด้านทุติยภูมิครั้งที่ 2

ง.2 ส่วนของระบบป้องกันแรงดันเกิน

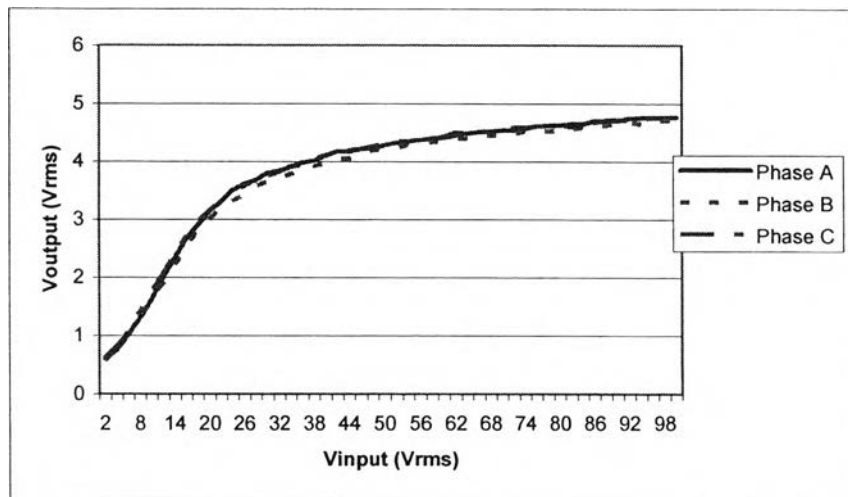
ในส่วนของระบบป้องกันแรงดันเกินนั้นเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับการ์ด DAQ เนื่องจากการ์ด DAQ สามารถรับแรงดันได้สูงสุด 7.071 Vrms และต่ำสุด -7.071 Vrms (DAQ รุ่น USB NI 9215A) และวงจรป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินนั้นรับแรงดันขาเข้าจากตัวตรวจวัดสัญญาณแรงดัน

เนื่องจากแรงดันขาเข้าจากตัวตรวจวัดสัญญาณแรงดันมีค่าใกล้เคียงกับแรงดันสูงสุดของการ์ด DAQ ดังนั้นจึงต้องแบ่งแรงดันโดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ ($R = 5 \text{ k}\Omega$) และวงจรป้องกันใช้ไดโอดเบอร์ 1N4004 และได้แสดงรูปวงจรในรูปที่ ง.2



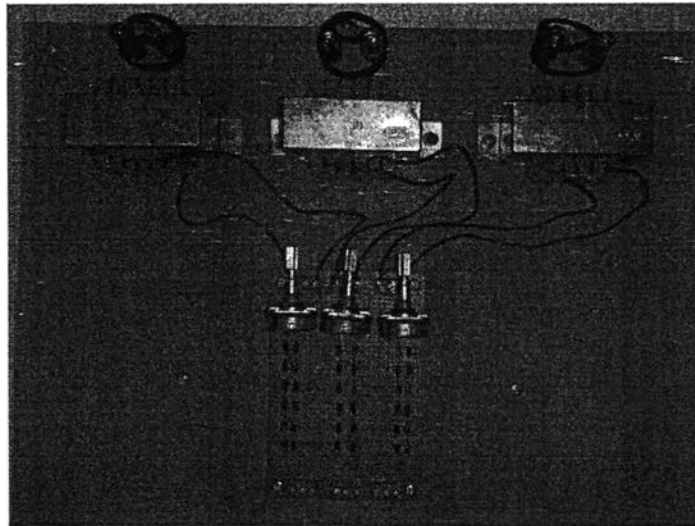
รูปที่ ง.2 วงจรป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกิน

ผลการทดสอบวงจรป้องกัน แสดงในรูปที่ ง.3 โดยจะการป้อนแรงดันอินพุตให้กับตัวต้านทานปรับค่าได้ ตั้งแต่ 2 Vrms ถึง 100 Vrms แล้วผ่านวงจรป้องกันที่ใช้ไดโอด ในการออกแบบเมื่อมีการทำงานปกติจะให้วงจรลดทอนสัญญาณแรงดันให้แรงดันขาออกอยู่ในช่วง 1 Vrms ถึง 3.5 Vrms และวงจรป้องกันจะเริ่มทำงานเมื่อมีแรงดันขาออกมากกว่า 3.5 Vrms



รูปที่ ง.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้าและขาออกของวงจรป้องกัน

หลังจากได้ออกแบบและทดสอบฮาร์ดแวร์ทั้งหมด สามารถนำมาประกอบเป็นรูปร่าง ซึ่งได้แสดงในรูปที่ ง.4 และ ง.5



รูปที่ ง.4 ส่วนของฮาร์ดที่ได้จากการออกแบบและทดสอบ (ด้านบน)



รูปที่ ง.5 ส่วนของฮาร์ดที่ได้จากการออกแบบและทดสอบ (ด้านข้าง)

เมื่อทำการทดสอบรวม (ตัวตรวจวัดสัญญาณแรงดันและระบบป้องกันแรงดันเกิน) แสดงในตารางที่ ง.2 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง -0.456% ถึง 0.121%

ตารางที่ ง.2 การทดสอบรวม (ตัวตรวจวัดสัญญาณแรงดันและระบบป้องกันแรงดันเกิน)

$V_{input}(V_{rms})$	$V_{output}(V_{rms})$ การคำนวณ	V_{output_A} (V_{rms})	V_{output_B} (V_{rms})	V_{output_C} (V_{rms})	$Error_A(\%)$	$Error_B(\%)$	$Error_C(\%)$
40.00	0.577	0.580	0.581	0.580	-0.456	-0.629	-0.456
50.00	0.722	0.724	0.723	0.722	-0.317	-0.179	-0.040
60.00	0.866	0.867	0.865	0.865	-0.110	0.121	0.121
69.28	1.000	1.002	1.003	1.007	-0.200	-0.300	-0.700
80.00	1.155	1.154	1.156	1.155	0.064	-0.110	-0.023
90.00	1.299	1.300	1.298	1.301	-0.071	0.083	-0.148
100.00	1.443	1.445	1.442	1.445	-0.110	0.098	-0.110

หมายเหตุ

V_{input} คือ แรงดันขาเข้าของหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิ

V_{output_A} คือ แรงดันขาออกจากระบบป้องกันแรงดันชุด A

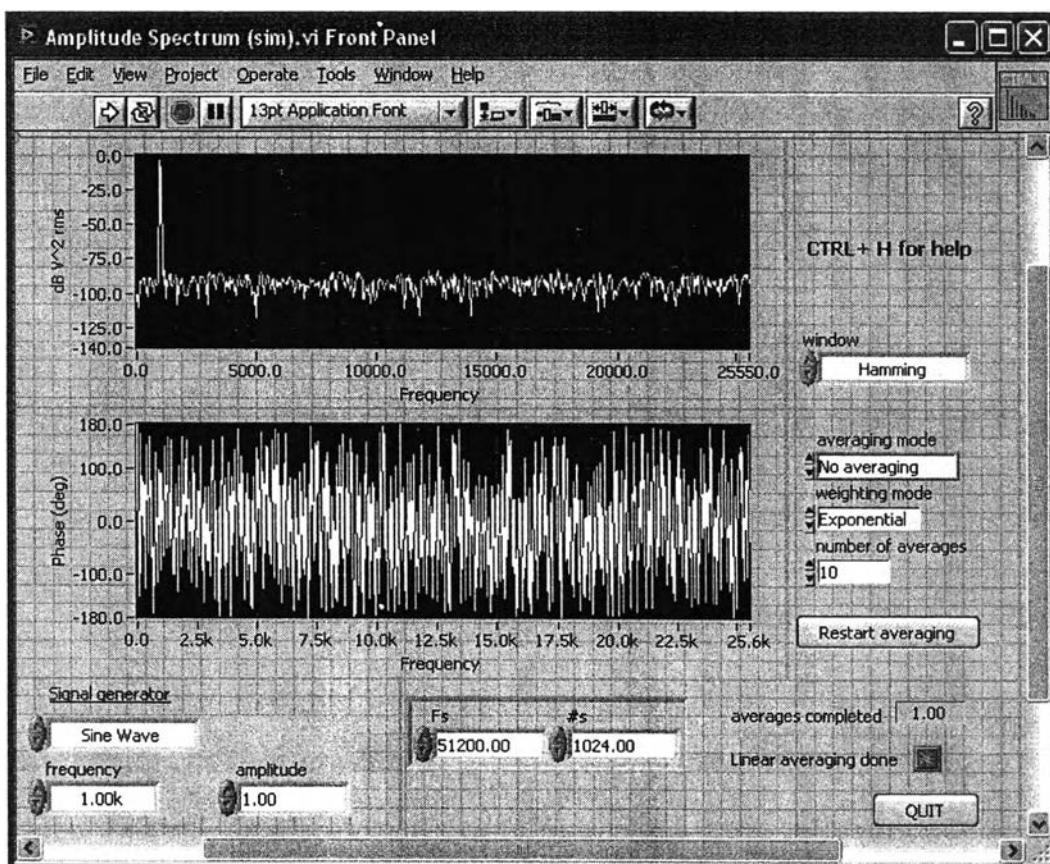
V_{output_B} คือ แรงดันขาออกจากระบบป้องกันแรงดันชุด B

V_{output_C} คือ แรงดันขาออกจากระบบป้องกันแรงดันชุด C

ภาคผนวก จ

การบันทึกและอ่านค่าสัญญาณ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory virtual instrument engineering workbench โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ LabVIEW จะเรียกว่า Virtual instrument หรือเรียกย่อ ๆ ว่า VI ซึ่งหมายถึงเครื่องมือวัดเสมือน ดังแสดงในรูปที่ จ.1 เป็น Oscilloscope ที่ได้ทำการสร้างขึ้นบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

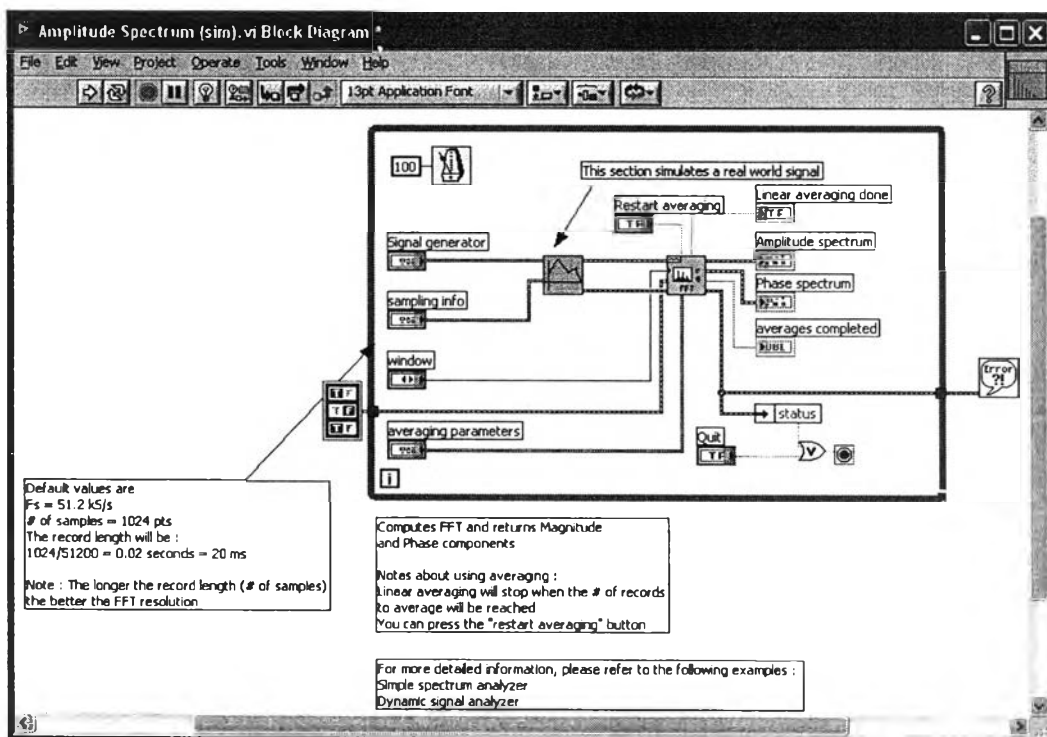


รูปที่ จ.1 ตัวอย่างหน้าจอแสดงผลของโปรแกรม LabVIEW

LabVIEW เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา Application (โปรแกรมประยุกต์) ชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับ Visual basic, Visual C++ แต่จะเป็นการเขียนโปรแกรมโดยใช้รูปในการพัฒนา (Graphical-based programming) ซึ่งจะแตกต่างจากแนวคิด Text based programming เช่น Text-based จะทำงานจากบนลงล่าง แต่ LabVIEW จะทำงานแบบ Dataflow

LabVIEW จะมี Front panel ซึ่งเปรียบเสมือนได้กับสิ่งที่ผู้ใช้จะเห็นและควบคุมการทำงานได้ ผู้ใช้สามารถสร้างรูปแบบขึ้นเองได้อย่างรวดเร็วเพราะ LabVIEW มีส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับออกแบบหน้าจอบ่อยมากมาย เช่น จอแสดงผลแบบออสซิลโลสโคป, ปุ่มหมุน (Dial) และ สวิตช์ เป็นต้น โดย LabVIEW จะแสดงผลและควบคุมการทำงานผ่านทางคอมพิวเตอร์

พื้นที่ส่วนที่เขียนโปรแกรมจะเรียกว่า Block diagram เปรียบเสมือนกับ Hardware ภายในเครื่องมือวัด โดย LabVIEW จะเขียนโปรแกรมโดยอาศัยรูปภาพ ดังแสดงในรูปที่ ๑.2



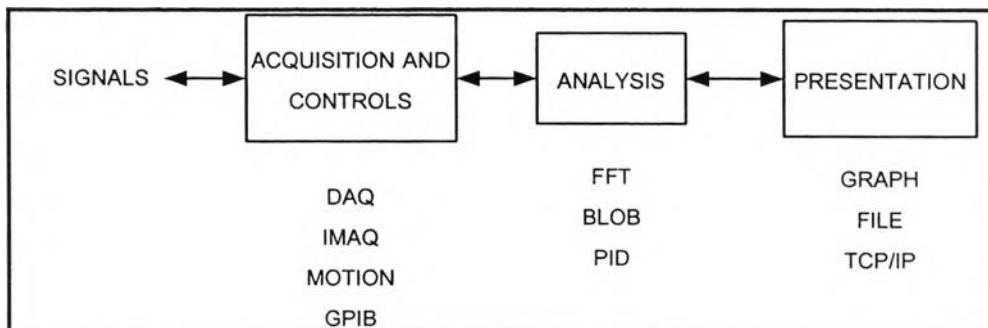
รูปที่ ๑.2 ตัวอย่าง Block diagram ของโปรแกรม LabVIEW

LabVIEW อาศัยหลักการการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการวัดคุม ทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบรูปแบบโปรแกรมตามที่ใช้ต้องการ หลักการดังกล่าวสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ (แสดงในรูปที่ ๑.3) คือ

1. Acquisition ซึ่งเป็นส่วนที่รับข้อมูล (Input) จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบ ในที่นี้คือ คอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบนี้อาจจะมาจาก การ์ด DAQ (สำหรับทางไฟฟ้า), การ์ด IMAQ (สำหรับข้อมูลประเภทรูป) หรือ GPIB (สำหรับควบคุมเครื่องมือวัด)

2. หลังจากที่ได้รับข้อมูลแล้วอาจจะผ่านฟังก์ชันในการทำ Analysis หรือวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบที่สื่อความหมายในสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปแสดงแทนสื่อที่วัดได้และใช้งานได้

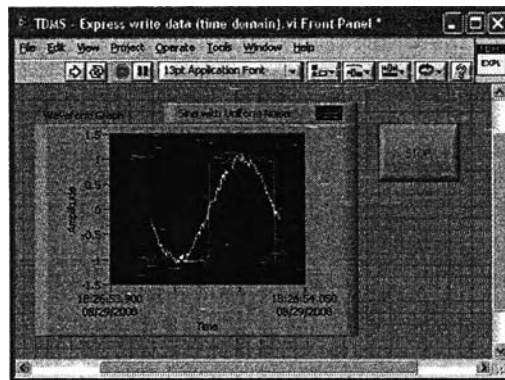
3. Presentation คือ การแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยอาจแสดงบนหน้าจอกอมพิวเตอร์ เช่น DMM (Digital multimeter) แสดงผลเฉพาะสัญญาณที่วัดได้โดยไม่ต้องรู้ความสัมพันธ์กับเวลา หรือ Spectrum analyzer จะแสดงผลสัญญาณในรูปแบบความถี่หรือการพิมพ์ออกมาเป็นรายงานหรือเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์



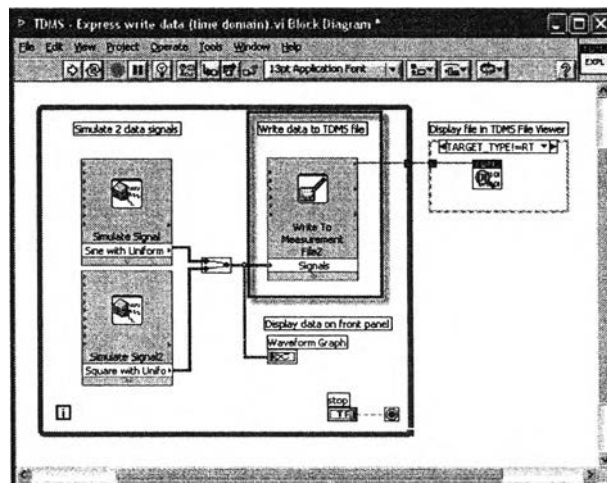
รูปที่ ๑.3 หลักการทำงานของโปรแกรม LabVIEW

การบันทึกค่าสัญญาณโดยใช้โปรแกรม LabVIEW สามารถบันทึกได้หลายคำสั่ง เช่น คำสั่ง TDMS แบบแยกแต่ละส่วน, คำสั่ง TDMS แบบรวมทุกส่วน เป็นต้น ในงานวิจัยนี้จะบันทึกค่าสัญญาณโดยคำสั่ง TDMS แบบรวมทุกส่วน ซึ่งจะยกตัวอย่างโปรแกรมที่มีการบันทึกค่าสัญญาณ โดยแสดงหน้าจอและ Block diagram ของโปรแกรมตามรูปที่ ๑.4 และ ๑.5 ตามลำดับ

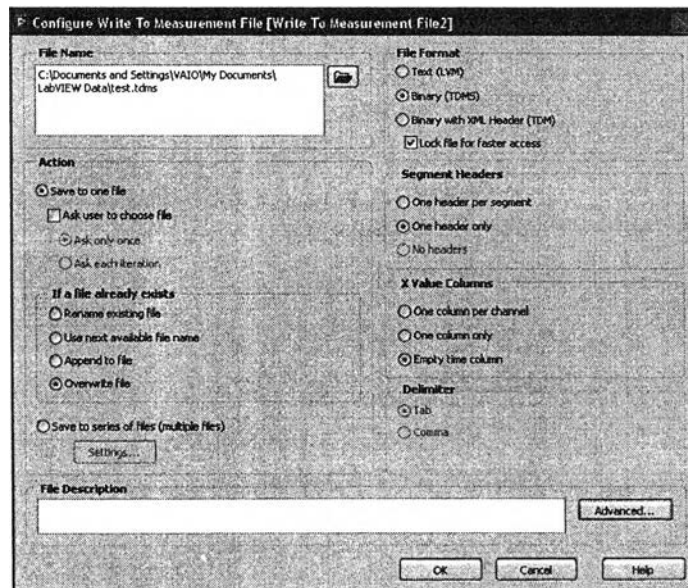
ตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรมบันทึกค่าสัญญาณ จะแสดงผลสัญญาณที่ได้จาก 2 สัญญาณรวมกัน โดยใช้คอมพิวเตอร์จำลองค่าออกมา ส่วน Block diagram จะแสดงคำสั่ง TDMS แบบรวมทุกส่วนที่ใช้บันทึกค่าสัญญาณและคำสั่งอยู่ในกรอบสีแดง ชื่อ "Write To Measurement File2" โดยที่รายละเอียดของคำสั่ง TDMS แบบรวมทุกส่วน แสดงในรูปที่ ๑.6 ประกอบด้วย 1. ชื่อและตำแหน่งในการวางข้อมูลของไฟล์ 2. รูปแบบการบันทึก มีให้เลือกแบบบันทึกไฟล์เดียวหรือหลายไฟล์ และในการบันทึกแต่ละครั้งให้ตั้งชื่อใหม่หรือใช้ชื่อเดิม 3. รูปแบบของไฟล์ที่ใช้บันทึก เช่น LVM TDMS และ TDM 4. Segment Header ซึ่งจะมีให้เลือก 2 แบบ คือ 1) แบบ 1 Header ต่อ 1 Segment และ 2) แบบ 1 Header อย่างเดียว 5. คอลัมของค่า x สามารถแสดงได้ 2 แบบ คือ 1) แบบ 1 คอลัมต่อ 1 ช่องสัญญาณ 2) แบบ 1 คอลัมอย่างเดียว และ 3) แบบแสดงเป็นเวลา



รูปที่ ๑.4 หน้าจอของโปรแกรมที่บันทึกค่าสัญญาณ

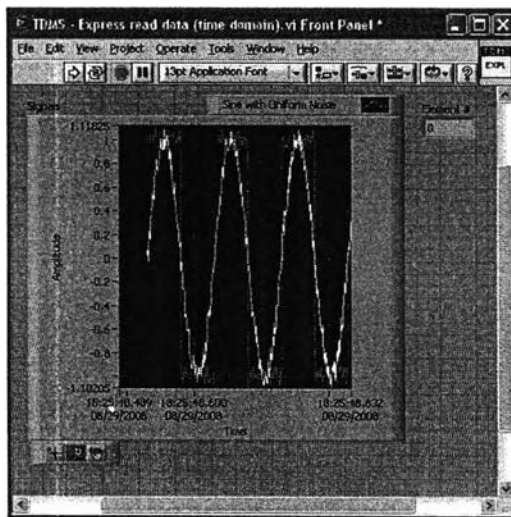


รูปที่ ๑.5 Block diagram ของโปรแกรมที่บันทึกค่าสัญญาณ

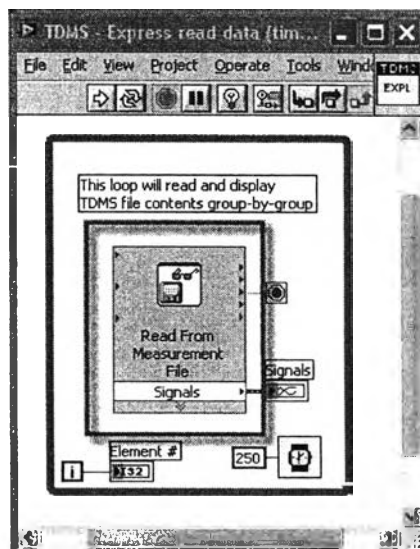


รูปที่ ๑.6 รายละเอียดของคำสั่ง TDMS แบบรวมทุกส่วนที่ใช้ในการบันทึกค่าสัญญาณ

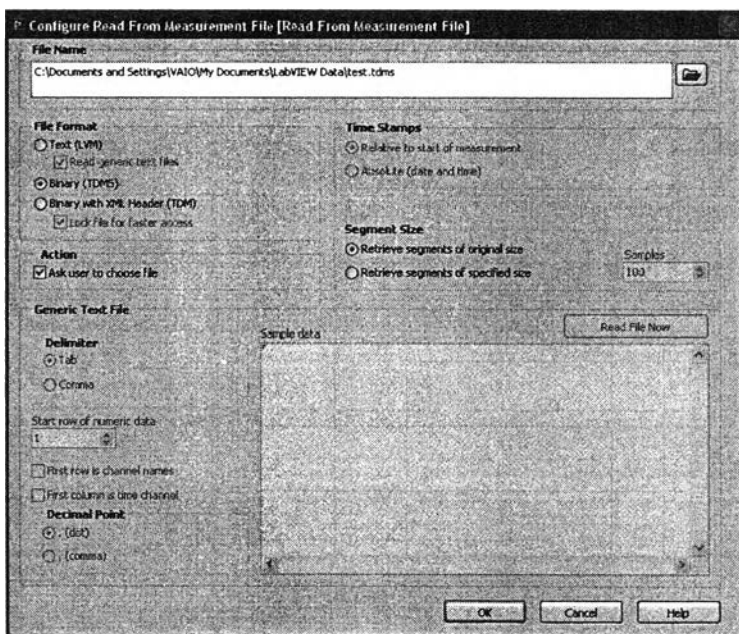
การอ่านค่าสัญญาณที่ได้จากการบันทึกของโปรแกรม LabVIEW ควรจะใช้คำสั่งที่สอดคล้องกับการบันทึกค่าเพราะจะทำให้ค่าสัญญาณที่ได้มีความถูกต้อง เช่น ถ้าเราบันทึกโดยใช้คำสั่ง TDMS แบบรวมทุกส่วน เวลาอ่านค่าก็ควรใช้คำสั่ง TDMS แบบรวมทุกส่วนด้วย โดยจะยกตัวอย่างโปรแกรมที่อ่านค่าสัญญาณแรงดัน ซึ่งได้แสดงหน้าจอและ Block diagram ของโปรแกรมในรูปที่ ๑.7 และ ๑.8 ตามลำดับ คำสั่งใน Block diagram ในกรอบสีแดงที่ชื่อ "Read From Measurement File" ใช้ในการอ่านค่าสัญญาณที่บันทึกไว้ สำหรับรายละเอียดของคำสั่งที่ใช้อ่านค่าสัญญาณ แสดงในรูปที่ ๑.9 โดยจะประกอบด้วย 1. ชื่อและตำแหน่งของไฟล์ที่เก็บบันทึกไว้ 2. รูปแบบไฟล์ที่ได้บันทึกไว้ เช่น LVM TDMS และ TDM เป็นต้น



รูปที่ ๑.7 หน้าจอของโปรแกรมที่อ่านค่าสัญญาณ



รูปที่ ๑.8 Block diagram ของโปรแกรมที่อ่านค่าสัญญาณ



รูปที่ ๑.๙ รายละเอียดของคำสั่ง TDMS แบบรวมทุกส่วนที่ใช้ในการอ่านค่าสัญญาณ

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณฤพร สุขมาก เกิดเมื่อวันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2526 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ เมื่อปี พ.ศ. 2549 แล้วเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทที่ ภาควิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีเดียวกัน ปัจจุบันทำงานที่ กองวิจัยและพัฒนา ฝ่ายวิจัยและพัฒนา การไฟฟ้านครหลวง ในตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้าระดับ 4

