

# โปรแกรมประกอบการศึกษาวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

สุวิทย์ สงวนงาม<sup>1</sup>

บริษัทไทยเทเลโฟนแอนด์เทเลคอมมิวนิเคชั่น จำกัด (มหาชน)

ธวัชชัย ชยวานิช<sup>2</sup>

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

---

## บทคัดย่อ

ในการศึกษาทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังผู้ศึกษามักจะประสบปัญหาเกี่ยวกับการจินตนาการรูปคลื่นและการหาค่าของสัญญาณที่ได้จากวงจรที่มีรูปแบบต่างๆ อยู่เสมอ บทความนี้ เสนอโปรแกรมช่วยศึกษาการทำงานวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังด้วยรูปแบบกราฟิกที่ดูเข้าใจง่ายและสามารถสื่อถึงการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังรูปแบบต่างๆ ได้โดยอาศัยเทคนิคการอินทิเกรตแก่นิพจน์ทางคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อน เพื่อให้สามารถทำการจำลองการทำงานของวงจรมานั้นๆ ได้

---

<sup>1</sup> วิศวกรไฟฟ้า

<sup>2</sup> อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

## **A Program for Power Electronics Study**

**Suwit Sanguangam<sup>1</sup>**

Thai Telephone & Telecommunication Public Company Limited

**Thawatchai Chayawanich<sup>2</sup>**

King Mongkut's Institute of Technology Thonburi

---

### **Abstract**

This paper presents a computer-aided instruction program for power electronics in which the operations of circuits can be described in graphical format . The mathematical expressions of the important parameters can be easily evaluated by using this program and results are displayed in waveforms. The program which is developed in this study can be served as an effectively instructive tool for students to assist learning and understanding the behaviors of power electronics circuits.

---

<sup>1</sup> *Engineer*

<sup>2</sup> *Lecturer, Department of Electrical Engineering*

## 1. บทนำ

ในการศึกษาวิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ปัญหาหนึ่งที่ผู้ศึกษามักจะประสบอยู่เสมอก็คือ ไม่สามารถจินตนาการการทำงานของวงจรและรูปคลื่นได้ชัดเจนนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่โหลดมีคุณสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำหรือมีฟรีวีลิ่งไดโอด (Free-Wheeling Diode) ร่วมอยู่ด้วยในวงจร หรือกรณีการเรียงกระแสจากไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส โดยใช้ SCR ควบคุมเฟส การพิจารณาก็ดูซับซ้อนยิ่งขึ้น การหาค่าเฉลี่ยและค่าอาร์ เอ็ม เอสของสัญญาณจึงทำได้ลำบากมากขึ้น

การศึกษาวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังจึงสร้างอุปสรรคแก่ผู้ศึกษาอยู่พอสมควร จึงดูเป็นการจำเป็นที่จะมีสื่อช่วยในการศึกษา โดยมีความชัดเจนในการนำเสนอ ตั้งแต่การกระตุ้น (Firing) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง, ลักษณะรูปคลื่นของแรงดันขาเข้า, แรงดันขาออก และกระแสที่ไหลผ่านโหลด รวมถึงค่าเฉลี่ย และค่าอาร์ เอ็ม เอส ของรูปคลื่นที่ได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่มีรูปแบบต่างๆ อีกด้วย

นอกจากนี้ การที่ผู้ศึกษาสามารถเข้าใจถึงรูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่งมีลักษณะไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ (Non-Sinusoidal Waveform) ด้วยแล้ว จะช่วยให้ผู้ศึกษาสามารถอธิบายผลกระทบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ต่อการเกิดฮาร์มอนิกส์ในระบบไฟฟ้าได้ชัดเจนยิ่งขึ้น [1] และอาจจะใช้เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์และอธิบายเกี่ยวกับผลกระทบของฮาร์มอนิกส์ต่อค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ได้อีกเช่นกัน [2]

โปรแกรมที่นำเสนอในบทความนี้ สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือประกอบการเรียนการสอนวิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากผู้ใช้สามารถเห็นรูปคลื่นของสัญญาณขาออกที่สัมพันธ์กับการกระตุ้นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง พร้อมทั้งค่าเฉลี่ยและค่าอาร์ เอ็ม เอส ของแรงดันขาออก ซึ่งโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ เน้นที่จะอธิบายพฤติกรรมของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่มักจะพบเห็นบ่อยในทางปฏิบัติและสอดคล้องกับการศึกษาในระดับเบื้องต้น จึงสมมุติให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้ในโปรแกรม คือ SCR และโหลดของวงจรเป็นชิ้นส่วนเชิงเส้น (Linear Element) จำพวกตัวต้านทาน (R), ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) โดยรายละเอียดทั้งหมดของโปรแกรม ตลอดจนทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง แสดงไว้ในเอกสารอ้างอิงลำดับที่ [3]

ในการใช้งาน ผู้ใช้เพียงแต่ทำการเลือกรูปแบบของวงจรและป้อนค่าที่จำเป็นต่อการจำลองการทำงาน เช่น เลือกรูปแบบของวงจรที่ต้องการ, ค่าแรงดัน, ค่าความต้านทานของโหลด (และ/หรือ ค่ารีแอคแตนซ์ของโหลด), ความถี่ของระบบไฟฟ้า, มุมที่ทำการกระตุ้น SCR เป็นต้น หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการประมวลผลและแสดงผลเป็นกราฟิก พร้อมด้วยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งผู้ใช้สามารถทำการปรับเปลี่ยนมุมกระตุ้น SCR ในขณะแสดงผลได้ตามความต้องการ

## 2. การออกแบบ

โดยพื้นฐานการศึกษาวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังนั้น เรามักจะเริ่มศึกษาจากวงจรที่มีความซับซ้อนน้อยๆ ก่อน จึงค่อยพัฒนาทักษะกับการศึกษาวงจรที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ จึงเน้นที่จะช่วยในการศึกษาอิเล็กทรอนิกส์กำลังเบื้องต้นเท่านั้น โดยครอบคลุมเนื้อหาวงจรพื้นฐานที่สำคัญและสามารถพบเห็นอยู่เสมอ [4], [5], [6] ดังนี้

### 2.1 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียว (Single-Phase Rectifier)

#### 2.1.1 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น (Half-Wave Rectifier)

ที่มีโหลดเป็น R, R-L, L, RL-D (มีฟรีวีลลิ่งไดโอด), R-C

#### 2.1.2 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น (Full-Wave Rectifier)

##### 2.1.2.1 แบบใช้กับหม้อแปลงมีจุดต่อแยกกลางขดลวด (Center Tap)

ที่มีโหลดเป็น R, R-L, RL-D

##### 2.1.2.2 แบบควบคุมการทำงานได้ครึ่งคาบของสัญญาณ (Half-Controlled Bridge) ที่มีโหลดเป็น R, R-L, RL-D

##### 2.1.2.3 แบบควบคุมการทำงานได้เต็มคาบของสัญญาณ (Fully-Controlled Bridge) ที่มีโหลดเป็น R, R-L, RL-D

### 2.2 วงจรเรียงกระแสสามเฟส (Three-Phase Rectifier)

#### 2.2.1 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น

ที่มีโหลดเป็น R, R-L, RL-D

#### 2.2.2 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น

##### 2.2.2.1 แบบควบคุมการทำงานได้ครึ่งคาบของสัญญาณ

ที่มีโหลดเป็น R, R-L, RL-D

##### 2.2.2.2 แบบควบคุมการทำงานได้เต็มคาบของสัญญาณ

ที่มีโหลดเป็น R, R-L

### 2.3 วงจรควบคุมเฟส (Phase Control)

#### 2.3.1 วงจรควบคุม 1 เฟส ที่มีโหลดเป็น R, R-L

#### 2.3.2 วงจรควบคุม 3 เฟส และควบคุมการทำงานได้เต็มคาบของสัญญาณ

##### 2.3.2.1 โหลด R ต่อเป็นรูปวงจรถ Y

##### 2.3.2.2 โหลด R ต่อเป็นรูปวงจรถ $\Delta$

### 2.4 วงจรชอปเปอร์ (Chopper Circuit)

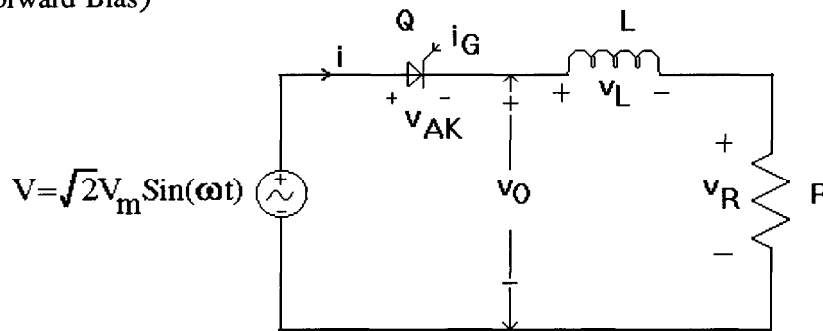
### 2.5 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

#### 2.5.1 ชนิด 1 เฟส โหลดเป็น R-L

#### 2.5.2 ชนิด 3 เฟส โหลดเป็น R

โดยวงจรขอปเปอร์นั้น เป็นการนำเสนอเพียงแนวคิดของการทำงานเท่านั้น จากขอบเขตของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ จะเห็นว่าได้มีการกำหนดรูปแบบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังอย่างชัดเจน เพื่อให้การนำเสนอเป็นไปอย่างสอดคล้องกับลักษณะเด่นของวงจรมานั้นๆ ในกรณีนี้ จำเป็นต้องสร้างคลังข้อมูลสำหรับการนำเสนอผลการทำงานของวงจรแต่ละรูปแบบ และต้องทำการแก้ปัญหาความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์ของวงจรที่อธิบายพฤติกรรมทางกายภาพของแต่ละวงจรอีกด้วย จึงมีความหลากหลายในเนื้อหา บทความที่นำเสนอนี้จึงไม่อาจกล่าวถึงรายละเอียดของงานที่ได้ทำมาทั้งหมด แต่จะขอนำมากล่าวถึงเพียงบางส่วน เพื่อเป็นการเสนอแนวคิดของโครงการนี้

พิจารณาวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นที่ต่อกับโหลดแบบเหนี่ยวนำ (Inductive Load) ดังรูปที่ 1 SCR Q เป็นอุปกรณ์ควบคุมการนำกระแสของวงจร และกระแส  $i_G$  ทำหน้าที่เป็นสัญญาณกระตุ้นการทำงานของ SCR Q ในขณะที่แรงดันตกคร่อม SCR เป็นฟอร์เวิร์ดไบอัส (Forward Bias)



รูปที่ 1 แสดงวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น

จากกฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's Voltage Law) ถ้ากำหนดให้ SCR เริ่มนำกระแสเมื่อเฟสของแรงดันเป็นศูนย์แล้ว จะสามารถเขียนสมการของวงจรได้ดังนี้

$$L \frac{di}{dt} + Ri = \sqrt{2} V_m \sin(\omega t) \quad \text{_____ (1)}$$

เมื่อ  $V$  คือ แรงดันไฟฟ้าเป็น อาร์ เอ็ม เอส ของแหล่งจ่าย

$i$  คือ กระแสที่ไหลในวงจร

$R$  คือ ความต้านทานของโหลด

$L$  คือ ความเหนี่ยวนำของโหลด

$t$  คือ เวลา

$\omega$  คือ ความถี่ในหน่วย เรเดียน/วินาที ของแหล่งจ่าย

โดยกำหนดให้เงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Condition) ของวงจรคือ  $i = 0$  เมื่อ  $t = 0$  และเพราะว่า

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad \text{โดยที่} \quad X = \omega L$$

$$\therefore \phi = \tan^{-1}\left(\frac{X}{R}\right) \quad \text{_____ (2)}$$

เมื่อ  $\phi$  คือ มุมของโหลด (Load Angle) จากสมการที่ (1) เมื่อทำการแก้สมการเชิงอนุพันธ์จะได้ว่า

$$I_{ave} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} \frac{\sqrt{2}v}{Z} \left[ \sin(\omega t - \phi) - \sin(\alpha - \phi) e^{\frac{R}{L} \left( \frac{\alpha}{\omega} - t \right)} \right] d(\omega t)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\left( \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} \frac{\sqrt{2}v}{Z} \left[ \sin(\omega t - \phi) - \sin(\alpha - \phi) e^{\frac{R}{L} \left( \frac{\alpha}{\omega} - t \right)} \right] d(\omega t) \right)^2}$$

$$I_{ave} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} \sqrt{2}v \sin(\omega t) d(\omega t)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\left( \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} \sqrt{2}v \sin(\omega t) d(\omega t) \right)^2}$$

โดยที่  $\alpha$  คือ มุมที่เริ่มกระตุ้นให้ SCR เริ่มนำกระแส

$\beta$  คือ มุมที่ SCR หยุดนำกระแส

$\gamma$  คือ พิสัยของมุมในแต่ละคาบของสัญญาณที่ SCR นำกระแส

หรือ  $\gamma = \beta - \alpha$  นั่นเอง เมื่อทำการหาผลเฉลยโดยการอินทิเกรตสมการข้างต้นจะได้ว่า

$$I_{ave} = \frac{\sqrt{2}v}{2\pi Z} \left[ \cos(\alpha - \phi) - \cos(\beta - \phi) + \tan(\phi) \sin(\alpha - \phi) \left( e^{\frac{(\alpha - \beta)}{\tan(\phi)}} - 1 \right) \right] \quad (3)$$

$$I_{rms} = \frac{\sqrt{2}v}{Z} \left[ \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{(\beta - \alpha)}{2} - \frac{1}{4} (\sin 2(\beta - \phi) - \sin 2(\alpha - \phi)) \right] + \left( \frac{2 \sin(\alpha - \phi)}{1 + \tan^2 \phi} \right) \left\{ \sin(\beta - \phi) \tan(\phi) e^{\frac{(\alpha - \beta)}{\tan(\phi)}} + \cos(\beta - \phi) \tan^2 \phi e^{\frac{(\alpha - \beta)}{\tan(\phi)}} - \sin(\alpha - \phi) \tan(\phi) - \cos(\alpha - \phi) \tan^2 \phi \right\} + \frac{\tan(\phi) \sin^2(\alpha - \phi)}{2} \right] \left( 1 - e^{2 \left( \frac{\alpha - \beta}{\tan(\phi)} \right)} \right) \right] \frac{1}{2} \quad (4)$$

$$ave = \frac{\sqrt{2}v}{2\pi} (\cos(\alpha) - \cos(\beta)) \quad \text{_____ (5)}$$

$$rms = \sqrt{2}v \sqrt{\frac{\beta - \alpha + \frac{\sin(2\alpha) - \sin(2\beta)}{2}}{4\pi}} \quad \text{_____ (6)}$$

โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\alpha$  กับ  $\gamma$  ที่  $\phi$  ค่าต่างๆ สามารถหาได้จาก [4]

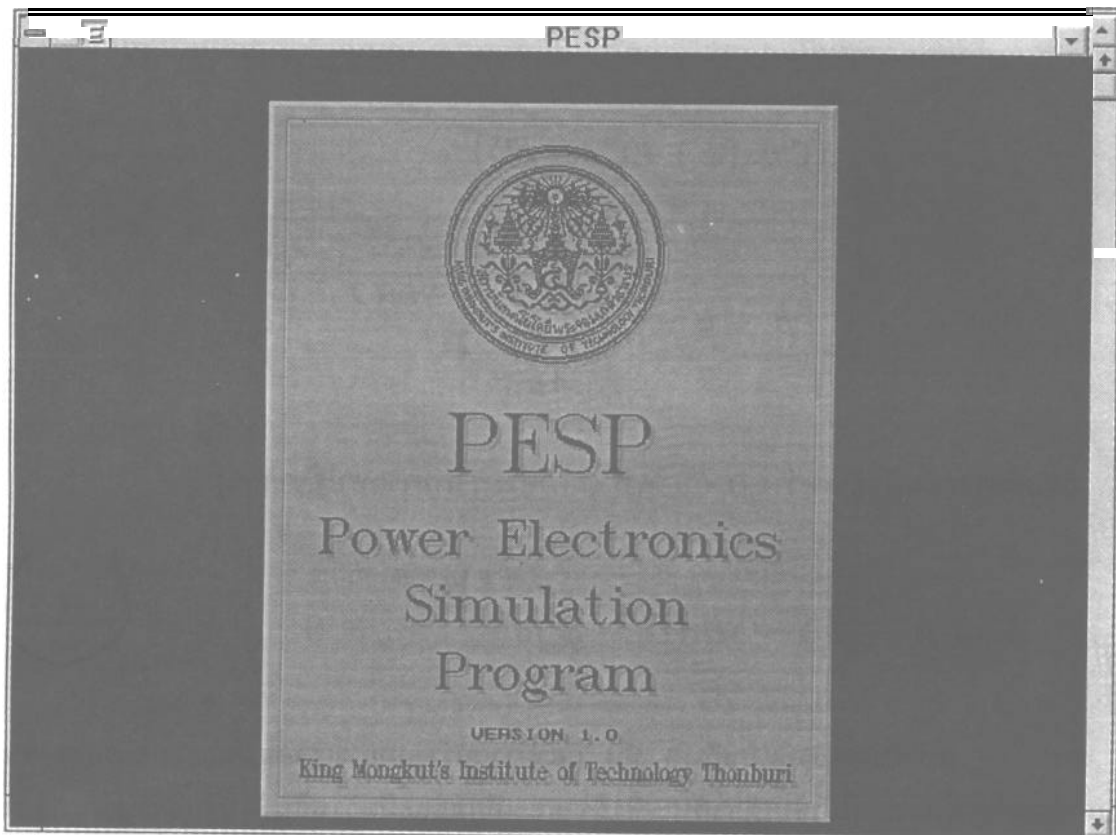
$$\sin(\beta - \phi) - \sin(\alpha - \phi) e^{\left(\frac{R}{L}\right) \frac{\alpha - \beta}{\omega}} = 0 \quad \text{_____ (7)}$$

สำหรับวงจรรูปแบบอื่นๆ นั้น ก็สามารถสร้างสมการเชิงอนุพันธ์และใช้เทคนิคอินทิเกรตหาผลเฉลยได้เช่นเดียวกัน ซึ่งมีรายละเอียดและมีความซับซ้อนในกระบวนการหาผลเฉลย จึงมีได้นำมากล่าวถึงในที่นี้ แต่ปรากฏอยู่ในเอกสารอ้างอิงหมายเลข [3] ในส่วนของการใช้โปรแกรมนั้น ได้จัดให้มีเมนูสำหรับให้คำแนะนำการใช้โปรแกรมในหัวข้อ Help โดยแสดงผลเป็นภาษาไทย ซึ่งให้รายละเอียดเกี่ยวกับการใช้แป้นพิมพ์และเมาส์ นอกจากนี้ยังมีคำอธิบายเกี่ยวกับการทำงานของวงจรทั้งในกรณีของระบบไฟฟ้าเฟสเดียวและสามเฟส รวมถึงวงจรควบคุมเฟส วงจรชอปเปอร์ และวงจรอินเวอร์เตอร์อีกด้วย

### 3. การทำงานของโปรแกรม

เนื่องจากโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มีลักษณะเป็นแพคเกจขนาดใหญ่ ใช้คลังข้อมูลหลายส่วนในการประมวลผล ดังนั้น ทุกครั้งที่มีการเรียกใช้โปรแกรม ตัวโปรแกรมจะทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ของไฟล์ทุกไฟล์ หากขนาดของไฟล์เปลี่ยนไป ไม่ว่าจะเป็นเพราะติดไวรัสหรือเกิดความเสียหายเนื่องจากการทำสำเนาไฟล์ หรือเพราะเหตุอื่นๆ ตัวจัดการโปรแกรมจะแจ้งให้ทราบทันที นอกจากนี้ ยังทำการตรวจสอบอีกว่า มีไฟล์ทั้งหมดของแพคเกจนี้ในไดเรกทอรีที่กำลังใช้งานครบถ้วนหรือไม่ หากปรากฏว่ามีไฟล์ใดหายไปจะแจ้งให้ผู้ใช้ทราบทันทีเช่นกัน

เมื่อผ่านขั้นตอนการตรวจสอบความสมบูรณ์และความคงอยู่ของไฟล์ในแพคเกจแล้ว ผู้ใช้จะเข้าสู่โปรแกรมจัดการระบบและปรากฏสัญลักษณ์ (Logo) ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และชื่อของโปรแกรม ซึ่งในที่นี้ตั้งชื่อว่า PESP ดังรูปที่ 2



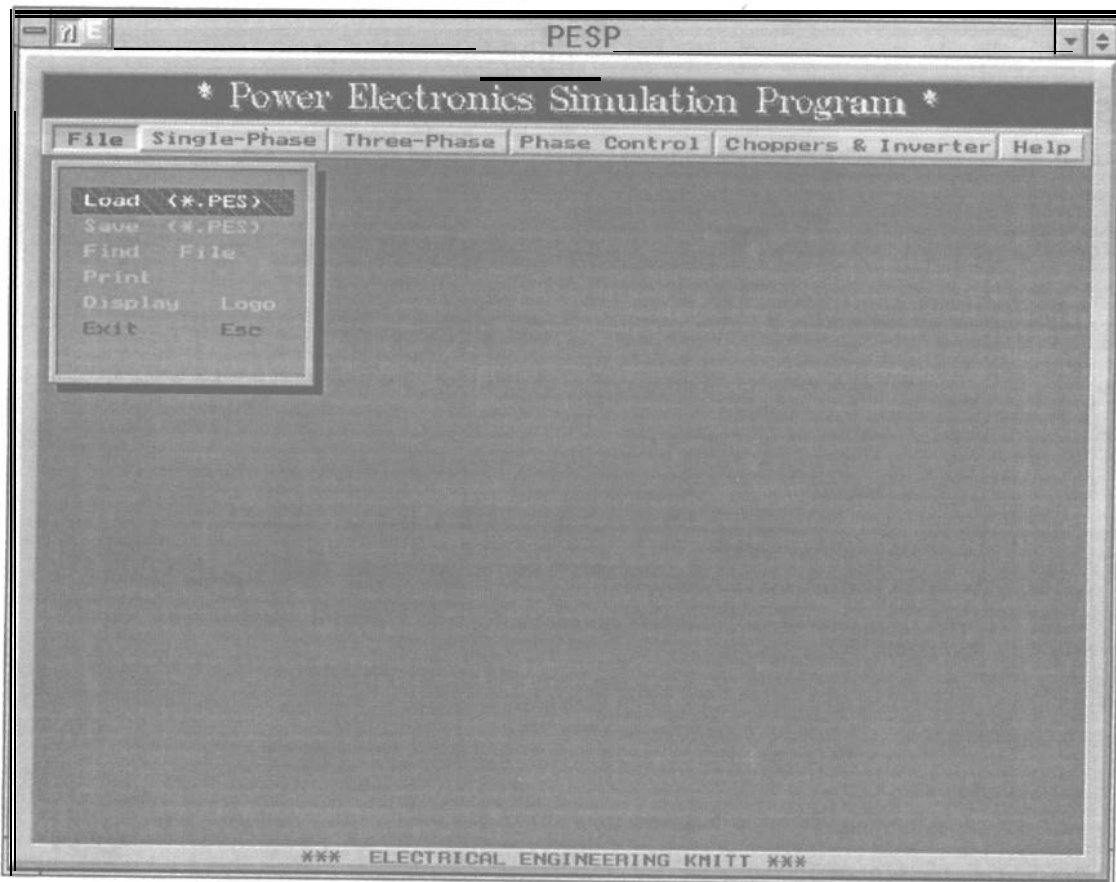
รูปที่ 2 แสดงโลโก้ของโปรแกรม PESP เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม

เมื่อผ่านจากขั้นตอนแสดงโลโก้แล้ว โปรแกรมจะแสดงเมนูสำหรับเรียกใช้งาน ซึ่งสามารถติดต่อกับแฟ้มข้อมูลและเครื่องพิมพ์ได้ ดังรูปที่ 3 ในกรณีนี้ ผู้ใช้สามารถเรียกข้อมูลเดิมกลับขึ้นมาใช้งานใหม่ได้ อีกทั้งยังสามารถสั่งให้พิมพ์กราฟของวงจรหรือกราฟของรูปคลื่นสัญญาณขาออกได้ตามต้องการ หากต้องการศึกษาการทำงานวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ผู้ใช้สามารถเลือกได้จากเมนูหลัก 4 หัวข้อ คือ

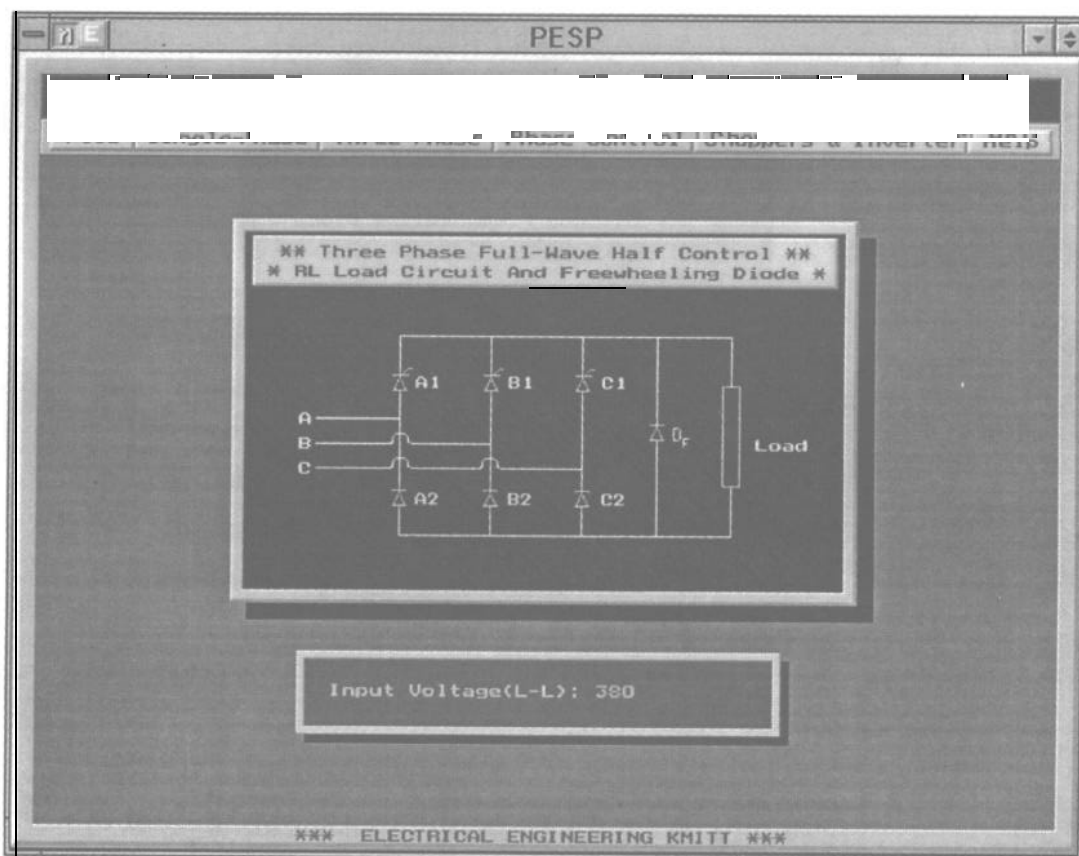
- 3.1 Single-Phase
- 3.2 Three-Phase
- 3.3 Phase Control
- 3.4 Chopper & Inverter

โดยที่แต่ละเมนูหลักใน 4 หัวข้อนี้ จะปรากฏเมนูย่อยให้เลือกตามลักษณะรูปแบบของวงจร ซึ่งได้แสดงไว้ในหัวข้อที่ 2 (การออกแบบ) แล้ว หลังจากที่ผู้ใช้ทำการเลือกรูปแบบของวงจรที่ต้องการแล้วโปรแกรม ก็จะแสดงกราฟของวงจรรูปแบบนั้นๆ ในขั้นตอนนี้ผู้ใช้จะต้องป้อนข้อมูลที่จำเป็นต่อการจำลองการทำงานให้กับโปรแกรม โดยโปรแกรมจะทำการถามอย่างเป็นลำดับหลังจากนั้นก็แสดง กราฟของรูปคลื่นสัญญาณขาออกพร้อมทั้งค่าเฉลี่ยและค่าอาร์ เอ็ม เอส ของแรงดันขาออก มุมกระตุ้น SCR ( $\alpha$ ) รวมถึงพารามิเตอร์ต่างๆ ดังรูปที่ 4 , 5 และ 6



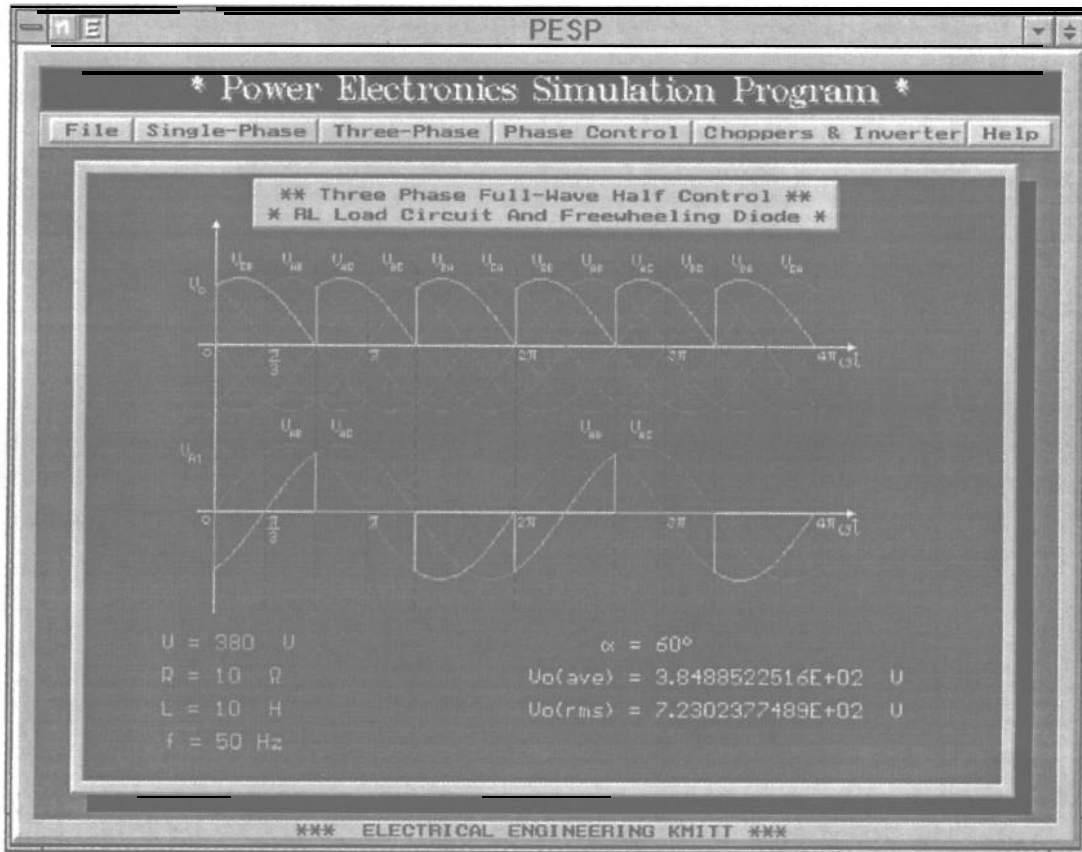


รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างเมนูใช้งานของโปรแกรม PESP

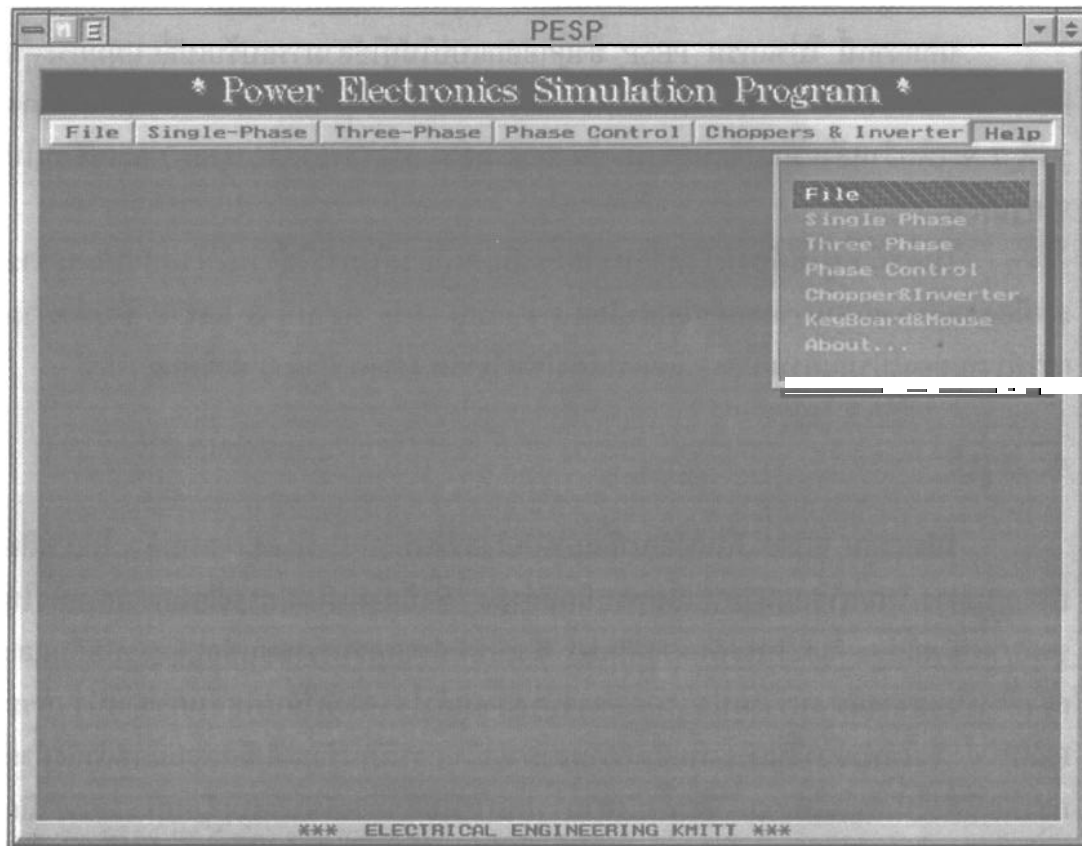


รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างกราฟฟิคของวงจรที่เลือกทำงาน





รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างกราฟฟิคของรูปคลื่นสัญญาณขาออก หน้าที 2 หลังจากเปลี่ยนมุมกระตุ้น



รูปที่ 8 แสดงเมนูย่อยของเมนู Help



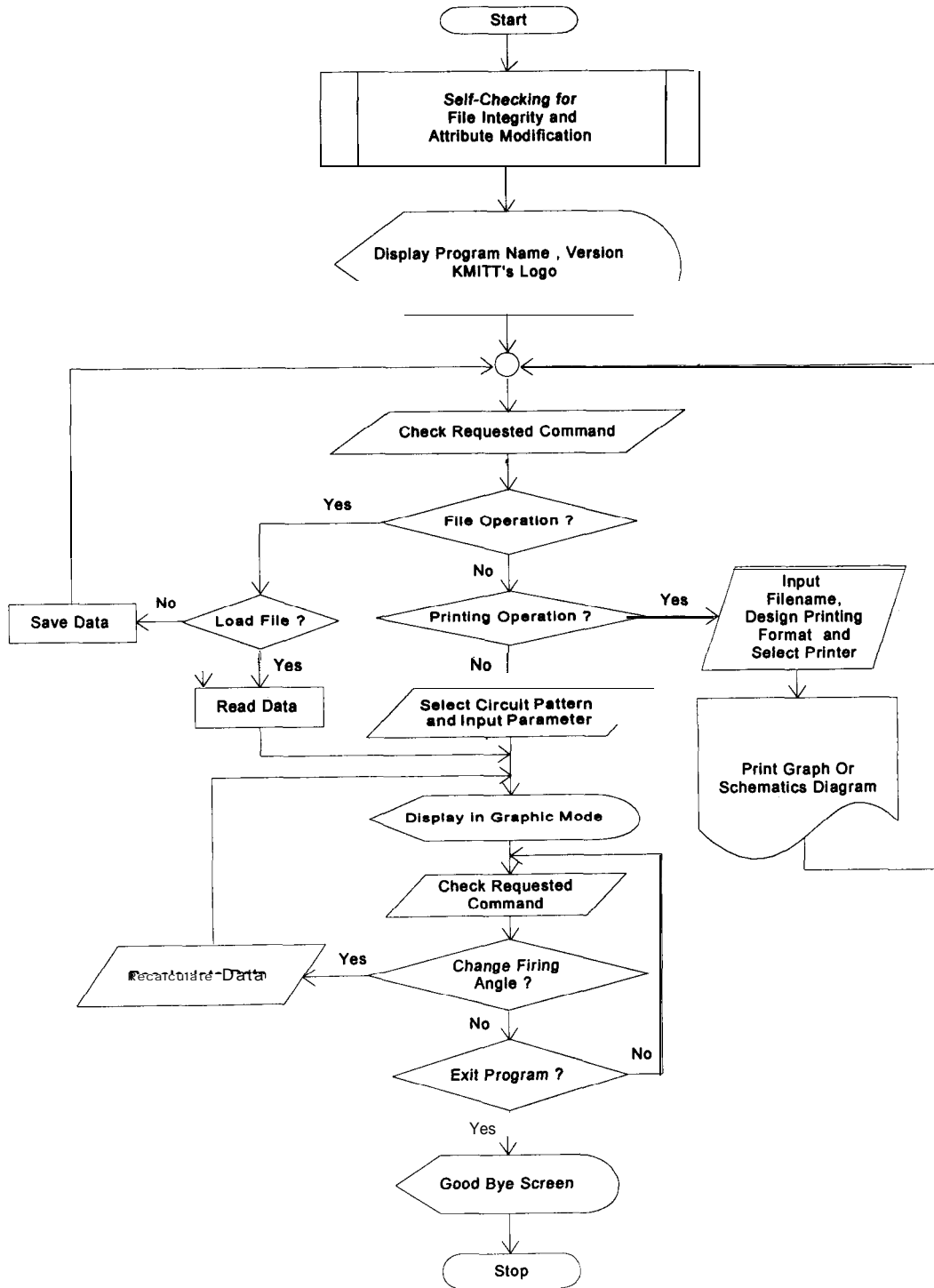
รูปที่ 9 แสดงตัวอย่างรายละเอียดของเมนูย่อยในเมนู Help

นอกจากนี้ โปรแกรม PESP ยังถูกออกแบบให้ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนมุมกระตุ้น SCR ได้ตามต้องการ โดยทำการแสดงผลและคำนวณค่าต่างๆ ในทันที ดังจะสังเกตได้จาก รูปที่ 7 จะเห็นว่าหลังจากเปลี่ยนมุมกระตุ้น SCR แล้ว  $V_o$  (ave),  $V_o$  (rms) จะเปลี่ยนไปจากรูปที่ 6

ในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการทราบรายละเอียดเกี่ยวกับการใช้งานโปรแกรมและรายละเอียดของวงจรก็สามารถขอรายละเอียดได้จากเมนู Help ดังรูปที่ 8 และ 9 ซึ่งภาพรวมการทำงานของโปรแกรม PESP แสดงได้ดังโฟลว์ชาร์ต (Flow Chart) ท้ายบทความนี้

#### 4. สรุป

โปรแกรม PESP ที่ได้พัฒนาขึ้นมาเป็นเวอร์ชันที่ 1 นี้ มีจุดมุ่งหมายที่จะใช้เป็นสื่อประกอบการเรียนการสอนวิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่งปัจจุบันได้มีการเรียนการสอนทั้งในระดับวิชาชีพชั้นสูง และในระดับอุดมศึกษา ซึ่งเป็นที่ปรากฏว่าความซับซ้อนของรูปคลื่นและการทำงานของวงจร สร้างอุปสรรคต่อการทำความเข้าใจของผู้เรียนพอสมควร โปรแกรม PESP นี้ จึงได้พัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการเรียนรู้วิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลังด้วยกราฟิกที่สื่อให้เข้าใจได้ง่าย อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ศึกษาเชิงเปรียบเทียบกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังจริงในทางปฏิบัติได้อีกด้วย ทั้งนี้จะช่วยเสริมสร้างทักษะและการอธิบายเหตุผลถึงความแตกต่างระหว่างภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ



*Flow Chart of PESP's Operating*

อย่างไรก็ดี โครงการนี้จะบรรลุวัตถุประสงค์มากขึ้น หากสามารถพัฒนาความสามารถให้สามารถเชื่อมต่อกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังได้จริง โดยสามารถแสดงกราฟคเปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่างทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ ทั้งปริมาณกระแสและแรงดัน ตลอดจนให้สามารถแสดงฮาร์โมนิกที่เกิดจากความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นที่ได้ ซึ่งมีผลกระทบต่อเพาเวอร์แฟคเตอร์และอาจเป็นเหตุให้เกิดความผิดพลาดจากการวัดในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง [7] อันเนื่องมาจากการเลือกใช้เครื่องวัดที่ไม่สามารถแสดงค่าอาร์ เอ็ม เอส ได้อย่างแท้จริง (True RMS)

## 5. เอกสารอ้างอิง

1. ผศ.ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์, 2529, “เทคนิคการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง สำหรับวิศวกรและช่างเทคนิค”, หนังสือโครงการไฟฟ้าชุดที่ 1, วารสารเทคนิค เครื่องกล-ไฟฟ้า-อุตสาหกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 1, หน้า 115-121
2. ธวัชชัย ชยวานิช, 2539, “ผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ต่อเพาเวอร์แฟคเตอร์”, Industrial Technology Review ปีที่ 2 ฉบับที่ 21, หน้า 81-84
3. สุวิทย์ สงวนงาม, 2536, “โปรแกรมจำลองการทำงานวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
4. อุดมศักดิ์ ยิ่งยืน, 2528, Power Electronics I, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 4-1 - 6-22
5. J. Vithayathil, 1995, Power Electronics : principles and applications, McGraw-Hill Inc., pp. 129-194
6. M.H. Rashid, 1993, Power Electronics Circuits, Devices, And Applications 2/ed, Prentice-Hall International, Inc., pp. 130-166
7. ธวัชชัย ชยวานิช, 2538, “ความผิดพลาดจากการวัดในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง”, Semiconductor Electronics, ฉบับที่ 154, หน้า 128-133

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานพัฒนาสื่อการสอนวิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลังนี้ สำเร็จลุล่วงลงด้วยดีด้วยความกรุณาและกำลังใจจากครูปาจารย์ทั้งหลาย ตลอดจนความช่วยเหลือจากนักศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผศ.อุดมศักดิ์ ยิ่งยืน, อ.สันติ พัสตร และคุณฉัตรชัย ศุภนาม ผู้เขียนจึงใคร่ขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้ด้วย