รายการอ้างอิง

[1] กิตติพงษ์ ตันมิตร. รีเลย์และการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2530.

[2] จอห์น คลาก, เคลก. การเขียนโปรแกรมบนวินโดว์ด้วย Microsoft Visual Basic ภาคปฏิบัติ. แปลโดย วรวิทย์ ตันติโภคิน และ นภดล ชาญธีรเดช. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2537.

[3] จิระ จริงจิตร. เรียนลัด Visual Basic. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: บริษัท โปรวิชั่น จำกัด, 2538.

[4] ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. การคำนวณกระแสลัดวงจร. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[5] ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

[6] ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. รีเลย์และการป้องกัน. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

[7] สันติ อัศวศรีพงศ์ธร. รีเลย์ป้องกันกับการป้องกันระบบกำลัง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมศูนย์วิชาการไทย-ออสเตรเลีย, 2526.

[8] สุรัตน์ นันตะสุคนธ์. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). ระบบไฟฟ้ากำลัง. 2 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2537.

[9] GEC ALSTHOM Measurements. Protective relays application guide. 3rd ed. England: Balding + Mansell Publication, 1990.

[10] Gene Knight, Harry Sieling, and Kimwai Cheng. Industrial power system simulation modelling procedure for designing software. IEEE industry applications society annual meeting, New York, 1991.

[11] Hodgson, C. Analysis and protection of power systems course: Non-directional overcurrent and earthfault protection. England: GEC ALSTHOM T&D Protection & Control .

[12] IEEE Industry Application Society. IEEE recommended practice for protection and coordination of industrial and commercial power systems. the United States of America: (September 1986).

[13] IEEE Commitee Report. Computer-aided coordination of line protection schemes. IEEE Transaction on Power Delivery. Vol.6, No.2 (April 1991).

[14] International Electrotechnical Commission. IEC 781: Application guide for calculation of short-circuit currents in low-voltage radial systems. 1988.

[15] International Electrotechnical Commission. IEC 909: Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems. 1988.

[16] Lai, L.L. Power systems and power plant control 1989: An expert system used in power system protection. IFAC Symposia Series, Oxford, 1990. pp. 489-494.

[17] _____ Computer assisted learning in power system protection. Computer Education Journal. No.52 (June 1987).

[18] _____ Computer assisted learning in power system relaying. IEEE Transaction on Education. Vol.38, No.3 (August 1995).

[19] Lai, L.L., and Hadwick, J.K. Computer-aided design for protection coordination in industrial power systems with the inclusion of transient phenomena. The Fifteenth PICA Conference, 1987. pp. 453-459.

[20] _____ Protection coordination for industrial power systems with a consideration of transient conditions on a personal computer. The Ninth Power Systems Computation Conference, London. pp. 758-764.

[21] McLeay, K. Analysing power systems using computers. Power Engineering Journal, pp. 203-218.

[22] Muda, Z.B., and Zin, A.M. Power system protection based on personal computer. Proceedings of the IEEE. Vol.5 (October 1993).

[23] Pahwa, A., and Ward, T.R. Teaching power system protection with industry's cooperation. IEEE Transaction on Power Systems. Vol.7, No.1.

[24] Phil Feldman, and others. Using Visual Basic 3. the United States of America: Que Corporation, 1993.

[25] Ramasami, R., and McGuire, P.F. Integrated coordination and short circuit analysis for system protection. IEEE Transaction on Power Delivery. Vol.7, No.3 (July 1992).

[26] Ramasami, R., Rogers, C., and McGuire, P.F. Graphical coordination program aids system relaying at consumers power. IEEE Computer Application in Power. Vol.3, No.3 (July 1990).

[27] Robert, P.B., and Jeffrey C. Computer-aided protection system design with reconfigulation. IEEE Transaction on Power Delivery. Vol.6, No.1 (January 1991).

[28] Square D. 1994 price list. 1994.

[29] Stanley H. Horowitz, and Arun G. Phadke. Power system relaying. 6th ed. England: Research Studies Press , 1992.

[30] Teo, C.Y., and Chan, C.W. Development of computer-aided assessment for distribution protection. Power Engineering Journal. pp. 21-27.

[31] Wen-chen chu, Bin-kwie Chen, and Meng-cheng Liu. A program of computer-aided coordination analysis for an undergraduate course in protective relaying. IEEE Transaction on Power Systems. Vol.7, No.4 (November 1992).

[32] Will English, and Charles Rogers. Automating relay coordination. IEEE Computer Application in Power. Vol.7, No. 3 (July 1994).

[33] William D. Stevenson, Jr. Elements of power system analysis. 4th ed. Singapore: McGraw-Hill Book .

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงขนาดพิกัดของเซอร์กิตเบรคเกอร์สำหรับมอเตอร์

ตารางที่ ก.1 ขนาดของอุปกรณ์ป้องกันสำหรับมอเตอร์ 3 เฟส

Motor Rating		Rated Current	Power	Protective Devices	
kW	Hp	I_n (A) ($1.25\ I_n$)	(kVA)	Fuse (A)	CB (AT)
0.37	0.5	1.03 (1.3)	0.8	4	10
0.55	0.75	1.6 (2)	1.1	4	10
0.75	1.0	2.0 (2.5)	1.3	4	10
1.1	1.5	2.6 (3.3)	1.8	6	10
1.5	2.0	3.5 (4.4)	2.4	10	10
2.2	3.0	5 (6.3)	3.5	16	10
3.7	5.0	7.7 (9.6)	5.6	20	20
5.5	7.5	11.5 (14.4)	7.9	25	25
7.5	10	15.5 (19.4)	10.5	35	30
11	15	22 (27.5)	15.1	35	50
15	20	30 (37.5)	19.7	50	60

Motor Rating		Rated Current	Power	Protective Devices	
kW	Hp	I_n (A) ($1.25\ I_n$)	(kVA)	Fuse (A)	CB (AT)
18.5	25	37 (46.3)	24.4	53	80
22	30	44 (55)	28.3	80	80
30	40	60 (75)	38.8	100	90
37	50	72 (90)	47.4	100	110
45	60	85 (106.3)	55.9	125	125
55	75	105 (131.3)	69.1	160	150
75	100	138 (172.5)	92.1	200	225
90	125	170 (212.5)	111.9	200	250
110	150	205 (256.3)	138.2	250	300
132	175	245 (306.3)	164.5	315	400
160	220	300 (375)	197.5	400	400
200	270	370 (462.5)	250	500	600

ตารางที่ ก.2 ขนาดของอุปกรณ์ป้องกันสำหรับมอเตอร์ 1 เฟส

Motor Rating		Rated Current	Power	Protective Devices	
kW	Hp	I_n (A) ($1.25\ I_n$)	(kVA)	Fuse (A)	CB (AT)
0.37	0.5	3.9 (4.9)	0.9	10	10
0.55	0.75	5.2 (6.5)	1.1	16	10
0.75	1.0	6.6 (8.3)	1.5	16	15
1.10	1.5	9.6 (12.0)	2.1	20	20
1.50	2.0	12.7 (15.9)	2.8	25	25
2.2	3.0	18.6 (23.3)	4.1	35	35
3.0	4.0	24.3 (30.4)	5.4	50	50
4.0	5.0	29.6 (37.0)	6.5	50	60
4.4	6.0	34.7 (43.4)	7.6	63	70
5.5	7.5	42.2 (52.8)	9.3	63	70
6.0	8.0	44.5 (55.6)	9.8	80	90
7.0	9.0	49.5 (61.9)	10.9	80	90

ภาคผนวก ข

คำอธิบายการใช้โปรแกรม (Help)

ส่วนอธิบายการใช้โปรแกรมนี้จะแบ่งออกเป็น 5 ส่วน แยกตามปุ่มคำสั่งที่ผู้ใช้เลือกให้แสดงในโปรแกรม ดังนี้

1. คำอธิบายการใช้โปรแกรมส่วนที่ 1 : Creating the single-line diagram
2. คำอธิบายการใช้โปรแกรมส่วนที่ 3 : Calculating short-circuit current in radial distribution system
3. คำอธิบายการใช้โปรแกรมส่วนที่ 3 : Analyzing and designing with the characteristic curves of protective devices
4. คำอธิบายการใช้ Complex Calculator
5. คำอธิบายการใช้โปรแกรมเป็นภาษาไทย

โดยในที่นี้จะกล่าวเฉพาะคำอธิบาย 4 ส่วนแรกที่เป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น

1) การใช้โปรแกรมส่วนที่ 1 : Creating the Single-line Diagram

By operation, this part of the **"Overcurrent Coordinative Program"** is classified into 4 sections as follows :

1. Diagram Creation
2. Equipment-data Input & Output
3. Impedance Calculation
4. Pop-up Menu

1. Diagram Creation

There is *Equipment window* filled with symbol buttons of device pictures. Inside are 7 equipments consisting of :

<*> Main equipment - the Transformer (Tr)

- the Motor (M)

- the Line & Cable (L)

<*> Tripping-circuit device
- the Fuse (F)
- the Circuit breaker (CB)

<*> Accessory
- the Load panel (LP)
- the Distribution board (DB)

In creating the diagram, user have to click mouse on the picture of the device needed, and move it onto the box in *the single-line diagram window*. Repeated copies of the devices can be made immediately as the device picture has been "locked", until the user selects another device. Each device will be assigned a specific device number in order, which will appear in the diagram.

To draw bus lines connecting to the different devices, click mouse at the structural part button of bus line. Then, copy its picture into *the single-line diagram window* in the same routine as device pictures.

To make any change in the diagram, two keys are available for use :

- the DELETE key : remove one device or bus line at a time.
- the CLEAR key : remove all devices created, including all bus lines.

2. Equipment-data Input & Output

After having constructed the single-line diagram, the user is required to specify data and detailed specification on the devices by sequence of *data boxes*, which are shown on screen. (To activate these *data boxes* of all equipment, user have to click on any *data button* on *Detail part* of the program.)

In contrast, user can make changes of data by double click at any equipment picture needed to be modified, then *data box* of that equipment will appear again.

3. Impedance Calculation

Main-equipment impedance will be calculated immediately after *data box* is completed and it will be shown on *Impedance window*.

4. Pop-up menu

There are 3 menues in the first part.

4.1 **File** menu

New : open new project.

Open : open project which is kept in diskette or in harddisk.

Save & **Save As** : save current project to diskette or harddisk.

Exit : exit program to *Windows*.

4.2 **Print** menu : print current project.

4.3 **Help** menu

In this part of the program, it is linked to the others by :

- **Fault Calculation** button : enter the second part of the program.
- **Next** button : go through the third part of the program after all of fault-currents in second part have already been calculated.

2) การใช้โปรแกรมส่วนที่ 2 : Calculating Short-circuit Current in Radial Distribution System

This part of the program was designed to help user in calculating short-circuit current for radial distribution system. These short-circuit currents are devided into 3 types :

- Balanced three-phase short circuit current (represented by **IF1**)
- Line-to-line short circuit current without earth connection (represented by IF2)
- Line-to-earth short circuit current (represented by IF0)

In most cases, **IF1** is always the biggest. Thus user can sometimes select option to calculate only this type of short-circuit current.

Before using this part of the program, user should know all variables in this part by pressing **Symbol** key, which will show the meaning of variables :

Z1 : Positive-sequence impedance

Z2 : Negative-sequence impedance

Z0 : Zero-sequence impedance

Furthermore, there are 4 buttons that have caption F1 to F4. All of this caption mean fault-point numbers on diagram in the first part. For example, **F2** is stood for fault-point number 2.

The beginning of this part start by pressing fault-point number 1 (**F1**) on part-two screen. After pressing, program will show circuit with equivalent voltage source at fault point **F1**. Then, user can apply a special apparatus- Complex Calculator -in finding out the total short-circuit impedance.

As mentioned, there are 3 types of impedance. If user wants to calculate all of short-circuit current- **IF1**, **IF2** and **IF0** -it is necessary to find both **Z1** and **Z2**. (**Z2** is always equal to **Z1**, so this program will automatically transfer **Z1** to **Z2**.) However, in case user want to calculate only **IF1**, just calculating **Z1** is enough.

In process of summing impedance up by Complex Calculator, user can see **impedance** of each main equipments from *Impedance window*, which appears after *impedance picture* on circuit is double clicked.

From Complex Calculator, the final result the user get is the total short-circuit impedance, which will be moved *to a total impedance box* on part-two screen immediately after finishing Complex Calculator.

At any fault point, if all types of impedance have already been specified, user can command the program to estimate short-circuit current by pressing **IF1** , **IF2** and **IF0** button. The results will be shown in provided space on screen. (It is noted that if user choose option to calculate only Balanced three-phase short-circuit current, **IF2** and **IF0** button will be disabled and all the information of **Z2** and **Z0** will be not specified.)

In case user calculate all types of short-circuit currents. Because fault current can be shown on screen only one type, hence pressing **Other Cases** button is a way to see the rest of fault currents.

After getting all of fault currents at fault point **F1**, user must continue with the other fault points in the same process.

Finally user should calculate short-circuit current in all fault points before exit this part of the program. (by pressing **Back** key)

3) การใช้โปรแกรมส่วนที่ 3 : Analyzing and Designing with the Characteristic Curves of Protective Devices

There are 10 main windows in this part :

1. Main window
2. New electromagnetic-circuit-breaker-curve window (New MCB window)
3. New electronic-circuit-breaker-curve window (New ECB window)
4. Open electromagnetic-circuit-breaker-curve window (Open MCB window)
5. Open electronic-circuit-breaker-curve window (Open ECB window)
6. New fuse-curve window
7. Open fuse window
8. New motor-curve window
9. Open motor window
10. Transformer-point window

1. Main window

Consisting of Log-Log graph, in which X-axis is current in Amperes from 10 A. to 1000 kA., and Y-axis is time from 0.01 to 1000 seconds.

User can change style of the Log-Log graph in 3 types, Transparent, Solid and Dotted style, by using **Grid** option in **Edit** menu. Moreover, user can also change the color of grid background and graph label by **Color** option in **Edit** menu.

There are many options in this window as follows :

1.1 **File** menu

New : create new project.

Open : open project which is kept in diskette or in harddisk.

Save : save current project to diskette or harddisk.

Print : print current project in 2 patterns.

- **Half Page** : print in the upper half of paper.
- **Full Page** : print in the full size of paper.

Exit : exit program to *Windows*.

1.2 **Breaker** menu

New : show *New-MCB* or *New-ECB window*.

Open : show *Open-MCB* or *Open-ECB window*.

1.3 **Fuse** menu

New : show *New-fuse-curve window*.

Open : show *Open-fuse window*.

1.4 **Motor** menu

New : show *New-motor-curve window*.

Open : show *Open-motor window*.

Size : change the rated full load current of motor.

1.5 **Edit** menu

Move : move electromagnetic or electronic circuit breaker. User can move circuit breaker within the range designed by minAT (minimum Ampere-trip rating) and AF (Ampere-frame rating) in the *New MCB* or *New ECB window*.

The Ampere-trip rating and position of the curve will be changed automatically when user click at scroll bar provided for that curve. Moreover, user can move the label that identifies the name of each device to anywhere on the Log-Log graph by clicking at that label, and then drags it to the proper position. (After finishing moving each curve, user must press **Finish Moving Curve** button in the *main window* to let program know that curve-shifting process is carried out.)

Delete : delete curve that is not used any more.

Color : change color of device curve, grid, background and graph label.

Width : change width of device curve in the scale 1 to 9.

Style : change style of device curve in 5 types : Solid, Dashed, Dotted, Dash-dot and Dash-dot-dot style.

1.6 **Fault** menu

Show : show the fault-current line on the Log-Log graph.

Clear : delete one of fault-current line by **Selection** option or delete all fault-current line by **All** option.

1.7 **Transformer** menu

Show : open *Transformer-point window.*

Clear : delete all Inrush and ANSI points.

1.8 **Help** menu

2. New MCB window

Create new electromagnetic circuit-breaker curve by designating up to 24 X-Y coordinating points. In addition, user have to specify the name of circuit breaker, the minAT and AF as well in data box of any curve. When completely filling all data in blanks, user have to click the **OK** button to start the process of drawing curve on the Log-Log graph.

However, user can open the stored data which saved in diskette or in harddisk by **Load** button in this window.

3. New ECB window

It is the same as 2, but it is used for creating electronic circuit-breaker curve which needs only 10 X-Y coordinating points for one curve.

4. Open MCB window

Open electromagnetic circuit-breaker curve from database. To retrieve the curve, user can double click at the name of any device in listbox or press **OK** button after device name is selected.

5. Open ECB window

It is the same as 4, but used for open curve of electronic circuit breaker.

6. New fuse-curve window

Create fuse curve by designating up to 24 X-Y coordinating points. In case user want to transfer fault current from high-voltage side of transformer to low-voltage side, pressing **Transfer to LV side** button.

7. Open fuse window

Open fuse curve from database. However, when user click at the name of each device in listbox, the curve that user get is still in high-voltage side.

8. New motor-curve window

Create motor curve. Like other *New-curve* windows, user can open the stored data from the file saved in program.

9. Open motor window

Show motor curve from database.

10. Transformer-point window

Create Inrush and ANSI points of transformer. Besides user can also open the stored data like other *New-curve* windows.

Finally, after finishing program part 3, user can go back to program part 1 by pressing **Back** button.

4) การใช้ "Complex Calculator"

This calculator was purposely designed to calculate complex impedance in **"Overcurrent Coordinative Program"** version 1.0.

There are 2 main variables, **Z1** and **Z2**. User can get the result between these two complex variables by 2 operators, which are **Series** and **Parallel** button

- "Series" means series connection between **Z1** and **Z2**.
- "Parallel" means parallel connection between **Z1** and **Z2**.

After doing operation, the result will replace variable **Z1**. And by this concept, user can calculate the total impedance of any system circuit at any fault point.

However, some circuit may be complicated in structure, so this calculator provide more variables called temporary complex- **ZT1** and **ZT2**. In case there are many branches of circuit, user can transfer some result (by pressing **Transfer** button) to the temporary variables for a while to calculate the impedance result of other branches before. Then, after other branches have already been calculated, user can transfer the temporary result back to main variable **Z2** to apply operator for the final impedance result.

When getting the last result of short-circuit impedance, user can command calculator to get the amplitude of impedance by pressing **Amplitude** button, which finally be moved to the *total impedance box* in the second part of the program.

Finally, user can exit this calculator by **Finish** button, but user should be aware that all data in this calculator will be cleared.

ภาคผนวก ค

ความหมายของตัวแปร

จากรายงานของวิทยานิพนธ์ที่กล่าวไปแล้ว ตัวแปรต่างๆจะมีความหมายดังต่อไปนี้

Inrush current : กระแสสตาร์ทของเครื่องจักรกล

S''_{kQ} : กำลังไฟฟ้าลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้น

I''_{kQ} : กระแสลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้นที่จุด Q

c : ตัวประกอบแรงดัน

t_r : อัตราส่วนการแปลงพิกัด (Rated transformation ratio)

U_{rT} : แรงดันพิกัดของหม้อแปลงด้านแรงดันสูงหรือด้านแรงดันต่ำ

I_{rT} : กระแสพิกัดของหม้อแปลงด้านแรงดันสูงหรือด้านแรงดันต่ำ

S_{rT} : กำลังปรากฏพิกัดของหม้อแปลง

P_{krT} : กำลังสูญเสียทั้งหมดของหม้อแปลงในขดลวดที่กระแสพิกัด

u_{kr} : แรงดันลัดวงจรพิกัด เป็นเปอร์เซ็นต์

u_{Rr} : แรงดันโอห์มมิก (Ohmic voltage) พิกัด

$\sum I_{rM}$: ผลรวมของกระแสพิกัดของมอเตอร์ในบริเวณที่เกิดการลัดวงจร

U_{rM} : แรงดันพิกัดของมอเตอร์

I_{rM} : กระแสพิกัดของมอเตอร์

S_{rM} : กำลังปรากฏพิกัดของมอเตอร์

I_{LR}/I_{rM} : อัตราส่วนของกระแสล็อกโรเตอร์ ต่อ กระแสพิกัดของมอเตอร์

q_n : พื้นที่หน้าตัด

ρ : ค่าความต้านทานจำเพาะ

I''_{k1} : กระแสลัดวงจรกรณีของการลัดวงจรระหว่างสายกับพื้นดิน

I''_{k2} : กระแสลัดวงจรกรณีของการลัดวงจรระหว่างสายโดยไม่เกี่ยวข้องกับพื้นดิน

I''_{k3} : กระแสลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้นในกรณีของการลัดวงจรแบบ 3 เฟสสมดุล

ประวัติผู้เขียน

นายเด่นเทพ เทพประเทืองทิพย์ เกิดวันที่ 29 พฤศจิกายน พ.ศ. 2516 จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2537 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2538 ด้วยทุนการศึกษาของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า