รายการอ้างอิง

[1] Kundur, P. Power System Stability and Control. New York: McGraw-Hill, 1994.

[2] Ghandakly, A. A. and Farhoud, A. M. "A Parametrically Optimized Self-Tuning Regulator for Power System Stabilizer", IEEE Transactions on Power Systems Vol. 7, No. 3, 1992: 1245-1250.

[3] Nambu, M. and Ohsawa, Y. "Development of an Advanced Power System Stabilizer Using a Strict Linearization Approach", IEEE Transactions on Power Systems Vol. 11, No. 2, 1996: 813-818.

[4] Chen, G. P., Malik, O. P., Qin, Y. H. and Xu, G. Y. "Optimization Technique For The Design of a Linear Optimal Power System Stabilizer", IEEE Transactions on Energy Conversion Vol. 7, No. 3, 1992: 453-459.

[5] Xu, L. and Ahmed-Zaid, S. "Tuning of Power System Controllers Using Symbolic Eigensensitivity Analysis and Linear Programming", IEEE Transactions on Power Systems Vol. 10, No. 1, 1995: 314-322.

[6] Nash, S.G. and Sofer, A. Linear and Nonlinear Programming. New York: McGraw-Hill, 1996.

[7] รุ่งโรจน์ รุ่งเรือง สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร และทรงศักดิ์ ชุษณพิพัฒน์. การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยวิธีโปรแกรมเชิงเส้น. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 22, ธันวาคม 2542: 252 – 255.

[8] MATLAB Compiler User's Guide. The Math Works Inc, 1996.

[9] Hsu, J.C. and Meyer, A.U. Modern Control Principles and Applications. McGraw-Hill, 1968.

[10] Machowski, J., Bialek, J.W. and Bumby, J.R. Power System Dynamics and Stability. New York: John Wiley & Sons, 1997.

[11] Kuo, B.C. Automatic Control Systems. New Jersey: Prentice Hall, 1995.

[12] Padiyar, K.R. Power System Dynamics Stability and Control. Singapore: John Wiley & Sons, 1996.

[13] Anderson, P. M. and Fouad, A. A. Power System Control and Stability. New York: IEEE Press, 1994.

[14] Stevenson, Jr. W. D. Elements of Power System. Fourth Edition. Singapore: McGraw-Hill, 1982.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมเชิงเส้นโดยวิธีซิมเพล็กซ์ (linear programming by simplex method)

รูปแบบมาตราฐาน (standard form)[6]

$$\begin{aligned} &\text{minimize} && \mathbf{z} = \mathbf{c}^{\mathbf{T}}\mathbf{x} \\ &\text{subject to} && \mathbf{Ax} = \mathbf{b} \\ & && \mathbf{x} \geq 0 \end{aligned} \qquad \text{(ก.1)}$$

โดย **z** เป็นฟังก์ชันเป้าหมาย

x เป็นเวกเตอร์ตัวแปรมีขนาด n

c เป็นเวกเตอร์สัมประสิทธิ์ของตัวแปรของฟังก์ชันเป้าหมายมีขนาด n

b เป็นเวกเตอร์ค่าคงที่มีขนาด m และแต่ละองค์ประกอบของ b มีค่าไม่เป็นลบ

A เป็น เมตริกซ์เงื่อนไขบังคับ (constraints matrix) มีมิติขนาด m x n

ข้อสังเกต

1) เป็นรูปแบบการหาค่าต่ำสุด (minimization)
2) ตัวแปรทุกตัวมีค่าไม่เป็นลบ
3) เงื่อนไขบังคับแสดงอยู่ในรูปของสมการ
4) แต่ละองค์ประกอบของเวกเตอร์ b มีค่าไม่เป็นลบ

นิยาม ก.1 จุด x จะเป็นคำตอบพื้นฐาน (basic solution) ถ้า

1) ค่า x สอดคล้องกับสมการเงื่อนไขบังคับของโปรแกรมเชิงเส้น
2) คอลัมน์ของ **A** ในตำแหน่งต่าง ๆ ที่ไม่เป็นศูนย์ของ x เป็นอิสระแบบเชิงเส้น

นิยาม ก.2 จุด x เป็นคำตอบพื้นฐานที่เป็นไปได้ (basic feasible solution) ถ้า

1) x เป็นคำตอบพื้นฐาน
2) x สอดคล้องกับอสมการ $\mathbf{x} \geq 0$

วิธีโปรแกรมเชิงเส้นโดยวิธีซิมเพล็กซ์ จะใช้วิธีการคำนวณเป็นรอบ โดยแต่ละรอบของการคำนวณจะมุ่งไปสู่คำตอบพื้นฐานที่เป็นไปได้แต่ละจุด ถ้าจุดที่ได้ยังไม่เป็นจุดที่เหมาะสม รอบการคำนวณจะยังคงดำเนินต่อไป จนกว่าจะหยุดที่จุดที่เหมาะสม

ในโปรแกรมเชิงเส้นวิธีนี้ เบื้องต้นจะเลือกคำตอบพื้นฐานที่เป็นไปได้มาจุดหนึ่งก่อน ซึ่งในตัวแปรจะแบ่งเป็นสองส่วนคือ

1) ตัวแปรพื้นฐาน (basic variable) หรือ $\mathbf{x_B}$ ซึ่งจะเป็นเวกเตอร์มีขนาดเท่ากับ m หรือจะมีขนาดเท่ากับจำนวนของเงื่อนไขบังคับ
2) ตัวแปรที่ไม่ใช่ตัวแปรพื้นฐาน (nonbasic solution) หรือ $\mathbf{x_N}$ ซึ่งจะเป็นเวกเตอร์ที่มีขนาดเท่ากับ n – m และมีแต่ละองค์ประกอบมีค่าเท่ากับศูนย์

ในแต่ละ คำตอบพื้นฐานที่เป็นไปได้ จะมี $\mathbf{x_B}$ และ $\mathbf{x_N}$ แตกต่างกันไป และเมื่อพบอสมการเงื่อนไขบังคับ (inequality constraints) สามารถแปลงเป็นสมการเงื่อนไขบังคับได้โดยการเพิ่มตัวแปรเข้าไป เช่น

$$\begin{aligned} -2x_1 + x_2 &\le 2 \\ -x_1 + 2x_2 &\le 7 \\ x_1 &\le 3 \end{aligned}$$

เมื่อเพิ่มตัวแปรเข้าไป จะเป็นดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} -2x_1 + x_2 + x_3 &= 2 \\ -x_1 + 2x_2 + x_4 &= 7 \\ x_1 + x_5 &= 3 \\ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 &\ge 0 \end{aligned}$$

จากที่กล่าวมาคำตอบพื้นฐานที่เป็นไปได้สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} \mathbf{x_B} \\ \mathbf{x_N} \end{pmatrix} \qquad \text{(ก.2)}$$

จากสมการ (ก.2) ฟังก์ชันเป้าหมายสามารถเขียนได้เป็น

$$z = c_B^T x_B + c_N^T x_N \qquad (ก.3)$$

โดย c_B คือสัมประสิทธิ์ของตัวแปรพื้นฐานมีขนาด m

c_N คือสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่ไม่ใช่ตัวแปรพื้นฐานมีขนาด n – m

และเมตริกซ์ A สามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} Bx_B + Nx_N &= b \\ x_B &= B^{-1}b - B^{-1}Nx_N \end{aligned} \qquad (ก.4)$$

โดย B เป็นเมตริกซ์เงื่อนไขบังคับของ x_B มีมิติ m x m

N เป็นเมตริกซ์เงื่อนไขบังคับของ x_N มีมิติ m x (n – m)

เมื่อแทนค่า x_B ในสมการ (ก.4) ในฟังก์ชันเป้าหมาย

$$\begin{aligned} z &= c_B^T B^{-1}b + (c_N^T - c_B^T B^{-1}N)x_N \\ &= y^T b + (c_N^T - y^T N)x_N \end{aligned} \qquad (ก.5)$$

โดย $y = (c_B^T B^{-1})^T$ เป็นตัวคูณซิมเพล็กซ์ (simplex multipliers)

ในเบื้องต้นคำตอบพื้นฐานที่เป็นไปได้จะมี $x_N = 0$ ทำให้สมการ (ก.4) และ (ก.5) มีรูปเป็น

$$x_B = B^{-1}b = \hat{b} \qquad (ก.6)$$

$$\hat{z} = c_B^T B^{-1}b = y^T b \qquad (ก.7)$$

กำหนดให้ $\hat{c}_N^T \equiv (c_N^T - y^T N)$

$\hat{c}_j$ เป็นองค์ประกอบของ $\hat{c}_N^T$ ซึ่งสอดคล้องกับสมาชิกของ x_N ตัวที่ j

จากสมการ (ก.5) และ (ก.7)

$$\mathbf{z} = \hat{\mathbf{z}} + \hat{\mathbf{c}}_N^T \mathbf{x}_N \qquad \text{(ก.8)}$$

การที่จะตรวจสอบความเหมาะสมของคำตอบที่ได้มาเป็นคำตอบพื้นฐานที่เป็นไปได้ สามารถพิจารณาได้จากลักษณะการเปลี่ยนแปลงของ $\mathbf{z}$ ในสมการ (ก.8) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร $\mathbf{x}_j$ ซึ่งจะมีค่าตั้งแต่ศูนย์ขึ้นไป แบ่งได้ 3 กรณีดังนี้

1) $\hat{\mathbf{c}}_j > 0$ ฟังก์ชันเป้าหมายจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ $\mathbf{x}_j$
2) $\hat{\mathbf{c}}_j = 0$ ฟังก์ชันเป้าหมายจะไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ $\mathbf{x}_j$
3) $\hat{\mathbf{c}}_j < 0$ ฟังก์ชันเป้าหมายจะลดลงเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ $\mathbf{x}_j$

จากสมการ (ก.8) จะสังเกตได้ว่า ถ้ามี $\hat{\mathbf{c}}_t < 0$ ค่า $\mathbf{z}$ จะสามารถลดลงได้เนื่องจากตัวแปร $\mathbf{x}_t$ ซึ่งแสดงถึงความไม่เหมาะสมของคำตอบที่ได้มาในขณะนั้น จึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรพื้นฐาน $\mathbf{x}_B$ โดยการนำ $\mathbf{x}_t$ มาแทนที่ (แต่ถ้า $\hat{\mathbf{c}}_N^T \geq 0$ แสดงว่าคำตอบพื้นฐานขณะนั้นเหมาะสมดีแล้ว) ดังต่อไปนี้

จากสมการ (ก.4)

$$\mathbf{x}_B = \mathbf{B}^{-1}\mathbf{b} - \mathbf{B}^{-1}\mathbf{N}\mathbf{x}_N$$

เลือกตัวแปร $\mathbf{x}_t$ จาก $\mathbf{x}_N$ เมื่อ $\hat{\mathbf{c}}_t < 0$ แต่ยังคงให้องค์ประกอบอื่นของ $\mathbf{x}_N$ ยังคงมีค่าเป็นศูนย์อยู่ ดังนั้น

$$\mathbf{x}_B = \hat{\mathbf{b}} - \hat{\mathbf{A}}_t \mathbf{x}_t \qquad \text{(ก.9)}$$

โดย $\hat{\mathbf{b}} = \mathbf{B}^{-1}\mathbf{b}$

$\hat{\mathbf{A}}_t = \mathbf{B}^{-1}\mathbf{A}_t$ เมื่อ $\mathbf{A}_t$ เป็นคอลัมน์ที่ t ของเมตริกซ์ $\mathbf{A}$

เมื่อพิจารณาแต่ละองค์ประกอบของ $\mathbf{x}_B$ ในสมการ (ก.9)

$$(\mathbf{x_B})_i = \hat{\mathbf{b}}_i - \hat{\mathbf{a}}_{i,t}\mathbf{x}_t \qquad (ก.10)$$

จากสมการ (ก.10) $\hat{\mathbf{a}}_{i,t} > 0$ ทำให้ $(\mathbf{x_B})_i$ มีค่าลดลงและจะเป็นศูนย์เมื่อค่าของตัวแปร $\mathbf{x}_t = \hat{\mathbf{b}}_i / \hat{\mathbf{a}}_{i,t}$ แต่จากเงื่อนไขบังคับในรูปแบบมาตราฐานที่กำหนดให้ตัวแปรทุกตัวมีค่าไม่เป็นลบ เพราะฉะนั้นค่าของตัวแปร $\mathbf{x}_t$ ที่ทำให้ค่า z ในสมการ (ก.8) ลดลงมากที่สุด แต่ไม่ทำให้ค่าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งใน $\mathbf{x_B}$ เดิมมีค่าเป็นลบ หาได้จากการตรวจสอบอัตราส่วน (ratio test) ดังต่อไปนี้

$$\mathbf{x}_t = \min_{1 \le i \le m} \left\{ \frac{\hat{\mathbf{b}}_i}{\hat{\mathbf{a}}_{i,t}}, \hat{\mathbf{a}}_{i,t} > 0 \right\} \qquad (ก.11)$$

เมื่อได้ค่าตัวแปร $\mathbf{x}_t$ แล้วนำเข้าไปแทนที่ตัวแปร $(\mathbf{x_B})_i$ ออกและนำมาเป็นหนึ่งในสมาชิกของ $\mathbf{x_N}$ ตัวใหม่ซึ่งทุกตัวจะมีค่าเท่ากับศูนย์

ถ้า $\hat{\mathbf{a}}_{i,t} \le 0$ ทุกค่าของ i แล้วคิดค่าของ $(\mathbf{x_B})_i$ จะไม่สามารถลดลงได้เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ $\mathbf{x}_t$ และ $\mathbf{x}_t$ จะเพิ่มได้ไม่มีที่สิ้นสุด ทำให้ฟังก์ชันเป้าหมายสามารถลดลงได้ไม่มีที่สิ้นสุดเช่นกัน เมื่อ $\mathbf{x}_t \to \infty$ และแสดงให้เห็นว่าปัญหาจะไม่มีค่าต่ำสุดที่แท้จริงซึ่งเรียกปัญหานี้ว่าปัญหาไม่มีขอบเขต

ดังนั้นขั้นตอนการทำโปรแกรมเชิงเส้นคือเริ่มต้นด้วยการกำหนดคำตอบพื้นฐานที่เป็นไปได้ $\mathbf{x_B} = \hat{\mathbf{b}} = \mathbf{B}^{-1}\mathbf{b} \ge 0$ และทำตามขั้นตอนดังนี้

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> คำนวณ

1) $\mathbf{y}^T = \mathbf{c}_B^T \mathbf{B}^{-1}$
2) $\hat{\mathbf{c}}_N^T = \mathbf{c}_N^T - \mathbf{y}^T\mathbf{N}$ ถ้า $\hat{\mathbf{c}}_N^T \ge 0$ แสดงว่าคำตอบที่ได้ในขณะนั้นเหมาะสมแล้ว ถ้าไม่ใช่ให้เลือกตัวแปร $\mathbf{x}_t$ ที่ $\hat{\mathbf{c}}_N^T < 0$ แล้วนำเข้าสู่การเป็นตัวแปรพื้นฐาน

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> คำนวณ

1) $\hat{\mathbf{A}}_t = \mathbf{B}^{-1}\mathbf{A}_t$
2) หาค่าดัชนี s ที่สอดคล้องกับ

$$\frac{\hat{\mathbf{b}}_s}{\hat{\mathbf{a}}_{s,t}} = \min_{1 \le i \le m} \left\{ \frac{\hat{\mathbf{b}}_i}{\hat{\mathbf{a}}_{i,t}}, \hat{\mathbf{a}}_{i,t} > 0 \right\}$$

ถ้า $\hat{\mathbf{a}}_{i,t} \le 0$ ที่ทุกค่าของ i แสดงว่าเป็นปัญหาไม่มีขอบเขต

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> ปรับปรุงตัวแปรพื้นฐาน $\mathbf{x_B}$ และเมตริกซ์ B ใหม่

ภาคผนวก ข.

ภาคผนวก ข.

ผลการทำโหลดโฟลว์ของระบบทดสอบ

ผลการทำโหลดโฟลว์ที่ได้กระทำขึ้นนี้ ได้จากโปรแกรมทำโหลดโฟลว์ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งทำงานบนโปรแกรม MATLAB ซึ่งผลการทำงานของโปรแกรมของระบบทดสอบที่ได้นำเสนอในบทที่ 6 แต่ละระบบจะแสดงดังต่อไปนี้

ระบบทดสอบที่ 1

```
================================================================================
|     System Summary                                                          |
================================================================================
Converged in 0.27 seconds

How many?                How much?              P (MW)       Q (MVAR)
---------------------    --------------------  --------  -----------------
Buses               3    Total Gen Capacity         Inf     -Inf to +Inf
Generators          2    On-line Capacity           Inf     -Inf to +Inf
Commited Gens       2    Generation (current)       1.5       -103.4
Loads               0    Load                       0.0         0.0
Branches            3    Losses (I^2 * Z)           1.46        92.48
Transformers        0    Branch Charging (inj)      -          195.9
Areas               1    Shunt (inj)              0.0           0.0
Inter-ties          0    Total Inter-tie Flow     0.0           0.0

                          Minimum                      Maximum
                 ------------------------  --------------------------------
Voltage Magnitude   1.000 p.u. @ bus 1        1.002 p.u. @ bus 2
Voltage Angle       0.00 deg   @ bus 3        6.61 deg   @ bus 1
P Losses (I^2*R)             -               0.73 MW    @ line 2-3
Q Losses (I^2*X)             -              89.73 MVAR  @ line 1-2

================================================================================
|     Bus Data                                                                 |
================================================================================
Bus      Voltage          Generation             Load
 #   Mag(pu)  Ang(deg)    P (MW)    Q (MVAR)    P (MW)    Q (MVAR)
---  -------  --------  --------  --------  --------  --------
  1   1.000     6.610    800.00     30.70       -         -
  2   1.002     0.192       -         -        -         -
  3   1.000     0.000   -798.54   -134.09       -         -
                        --------  --------  --------  --------
               Total:      1.46   -103.38      0.00      0.00

================================================================================
|     Branch Data                                                              |
================================================================================
 From   To     From Bus Injection   To Bus Injection     Loss (I^2 * Z)
 Bus    Bus    P (MW)   Q (MVAR)   P (MW)   Q (MVAR)   P (MW)   Q (MVAR)
-----  -----  --------  --------  --------  --------  --------  --------
   1      2    800.00     30.70   -800.00     59.03     0.000     89.73
   2      3    400.00    -29.52   -399.27    -67.04     0.728      1.38
   2      3    400.00    -29.52   -399.27    -67.04     0.728      1.38
                                                      --------  --------
                                             Total:     1.455     92.48
```

ระบบทดสอบที่ 2

```
================================================================================
|     System Summary                                                           |
================================================================================
Converged in 0.22 seconds

How many?                How much?              P (MW)       Q (MVAR)
---------------------    --------------------  --------  -----------------
Buses               3    Total Gen Capacity         Inf     -Inf to +Inf
Generators          2    On-line Capacity           Inf     -Inf to +Inf
Commited Gens       2    Generation (current)       1.3        -93.1
Loads               0    Load                       0.0          0.0
Branches            3    Losses (I^2 * Z)           1.29       102.94
Transformers        0    Branch Charging (inj)       -         196.1
Areas               1    Shunt (inj)                0.0          0.0
Inter-ties          0    Total Inter-tie Flow       0.0          0.0

                          Minimum                     Maximum
                    ------------------------  --------------------------------
Voltage Magnitude   1.000 p.u. @ bus 1          1.003 p.u. @ bus 2
Voltage Angle       0.00 deg   @ bus 3          7.85 deg   @ bus 1
P Losses (I^2*R)             -                 0.64 MW    @ line 2-3
Q Losses (I^2*X)             -                78.80 MVAR  @ line 1-2

================================================================================
|     Bus Data                                                                 |
================================================================================
Bus      Voltage          Generation             Load
 #   Mag(pu)  Ang(deg)    P (MW)    Q (MVAR)    P (MW)    Q (MVAR)
---  -------  --------  --------  --------  --------  --------
  1    1.000     7.850    750.00     18.97         -         -
  2    1.003     1.840         -         -         -         -
  3    1.000     0.000   -748.71   -112.09         -         -
                         --------  --------  --------  --------
               Total:       1.29    -93.12      0.00      0.00

================================================================================
|     Branch Data                                                              |
================================================================================
 From   To     From Bus Injection   To Bus Injection     Loss (I^2 * Z)
 Bus    Bus     P (MW)   Q (MVAR)   P (MW)   Q (MVAR)   P (MW)   Q (MVAR)
-----  -----  --------  --------  --------  --------  --------  --------
   1      2    750.00     18.97   -750.00     59.83     0.000     78.80
   2      3    375.00    -29.92   -374.36    -56.04     0.645     12.07
   2      3    375.00    -29.92   -374.36    -56.04     0.645     12.07
                                                      --------  --------
                                             Total:     1.290    102.94
```

ระบบทดสอบที่ 3

```
================================================================================
|     System Summary                                                           |
================================================================================
Converged in 0.05 seconds

How many?                How much?              P (MW)       Q (MVAR)
---------------------    ---------------------  --------  -----------------
Buses               3    Total Gen Capacity          Inf     -Inf to +Inf
Generators          2    On-line Capacity            Inf     -Inf to +Inf
Commited Gens       2    Generation (current)        5.5         117.1
Loads               0    Load                        0.0           0.0
Branches            2    Losses (I^2 * Z)            5.48        137.76
Transformers        0    Branch Charging (inj)       -            20.6
Areas               1    Shunt (inj)                 0.0           0.0
Inter-ties          0    Total Inter-tie Flow        0.0           0.0

                          Minimum                      Maximum
                  -------------------------  -------------------------------
Voltage Magnitude   0.997 p.u. @ bus 2          1.000 p.u. @ bus 3
Voltage Angle       0.00 deg   @ bus 3         15.79 deg   @ bus 1
P Losses (I^2*R)             -                 5.48 MW    @ line 2-3
Q Losses (I^2*X)             -               102.52 MVAR  @ line 2-3

================================================================================
|     Bus Data                                                                 |
================================================================================
Bus      Voltage          Generation             Load
 #   Mag(pu)  Ang(deg)    P (MW)    Q (MVAR)    P (MW)    Q (MVAR)
---  -------  --------  --------  --------  --------  --------
  1   1.000    15.785    500.00     41.46       -         -
  2   0.997    11.758      -         -         -         -
  3   1.000     0.000   -494.52     75.69       -         -
                        --------  --------  --------  --------
              Total:      5.48     117.15      0.00      0.00

================================================================================
|     Branch Data                                                              |
================================================================================
 From   To     From Bus Injection   To Bus Injection     Loss (I^2 * Z)
 Bus    Bus    P (MW)   Q (MVAR)   P (MW)   Q (MVAR)   P (MW)   Q (MVAR)
-----  -----  --------  --------  --------  --------  --------  --------
   1      2    500.00     41.46   -500.00     -6.22     0.000     35.24
   2      3    500.00      6.22   -494.52     75.69     5.477    102.52
                                                     --------  --------
                                              Total:    5.477    137.76
```

ภาคผนวก ค.

ภาคผนวก ค.

โปรแกรมที่ใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพ

โปรแกรมเปลี่ยนพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นระบบเชิงเส้น

```
fprintf(1,'set initial condition, recieving value from load flow calculation\n');
%Ra=0.0043;%typeA
%Ra=0.0046;%typeC
%Ra=0.0019;%typeG
Ra=0;
Wo=2*pi*60;
Ka=100; Tr=0.002;
% typeA        It    pf.angle    air-gap flux     E terminal     Re      Xe
%ini_data_sys=[ 0.849    -2.539      1.0173           1    0.009821  0.510779];
% typeC        It    pf.angle    air-gap flux     E terminal     Re      Xe
%ini_data_sys=[ 0.899    -2.45       1.0172           1    0.001937  0.565998];
% typeG        It    pf.angle    air-gap flux     E terminal     Re      Xe
%ini_data_sys=[ 0.85     -4.741      1.04             1    0.012935  0.603683];
% simple       It    pf.angle    air-gap flux     E terminal     Re      Xe
ini_data_sys=[ 0.8895   -2.1976     1.0224           1     0.0022  0.8647];
% typeA        T'do    T"do    H     D     Xd     Xq     X'd     X'q     X"d     Xl     S
(1.0)    S(1.2)
%ini_data_gen=[  3.7     0.032 2.6562   2     1.67    1.6   0.265     0.46    0.205    0.15
0.091     0.4];
% typeC        T'do    T"do    H     D     Xd     Xq     X'd     X'q     X"d     Xl     S
(1.0)    S(1.2)
%ini_data_gen=[  5.69     0.041  2.6424   2     2.183  2.157   0.413    1.285    0.339
0.246     0.134     0.617];
% typeG        T'do    T"do    H     D     Xd     Xq     X'd     X'q     X"d     Xl     S
(1.0)    S(1.2)
%ini_data_gen=[  4.2     0.032   2.3186   2     2.11    2.02   0.28     0.49    0.215    0.155
0.079     0.349];
% simple       T'do    T"do    H     D     Xd     Xq     X'd     X'q     X"d     Xl     S
(1.0)    S(1.2)
ini_data_gen=[  5.0     0.06    3.0     0     1.6    1.55    0.7     0.85    0.35     0.2     0.09
0.38];
%parameters are as follow
It=ini_data_sys(1);  pf_ang=ini_data_sys(2)*pi/180;   flux0=ini_data_sys(3);
Et=ini_data_sys(4);
Re=ini_data_sys(5);  Xe=ini_data_sys(6);
T_d0=ini_data_gen(1);   T__d0=ini_data_gen(2);       H=ini_data_gen(3);
Kd=ini_data_gen(4);
  Xd=ini_data_gen(5);      Xq=ini_data_gen(6);     X_d=ini_data_gen(7);
X_q=ini_data_gen(8);
```

```
X__d=ini_data_gen(9);    Xl=ini_data_gen(10);   S100=ini_data_gen(11);
S120=ini_data_gen(12);
%linear model parameters
Ksd=sat_coeff(S100,S120,flux0);  Ksq=Ksd; %for gen round rotor
Ld=Xd; Lq=Xq; Ll=Xl; L_d=X_d; L_q=X_q;
Lad=Ld-Ll;    Laq=Lq-Ll;
L_ad=L_d-Ll;    L_aq=L_q-Ll;
Lads=Ksd*Lad;  Laqs=Ksq*Laq; Xads=Lads;  Xaqs=Laqs;
Lds=Lads+Ll;   Lqs=Laqs+Ll; Xds=Lds;   Xqs=Lqs;
d_i=(It*Xqs*cos(pf_ang)-It*Ra*sin(pf_ang))/(Et+It*Ra*cos(pf_ang)+It*Xqs*sin
(pf_ang));
d_i=atan(d_i); %d_i=delta_ini
Ed0=Et*sin(d_i);      Eq0=Et*cos(d_i);
Id0=It*sin(d_i+pf_ang); Iq0=It*cos(d_i+pf_ang);
Ebd0=Ed0-Re*Id0+Xe*Iq0;      Ebq0=Eq0-Re*Iq0-Xe*Id0;
d_0=atan(Ebd0/Ebq0);
Eb=sqrt(Ebd0^2+Ebq0^2);
Ifd0=(Eq0+Ra*Iq0+Lds*Id0)/Lads;
Efd0=Lad*Ifd0;
%FL=flux
FLad0=Lads*(-Id0+Ifd0);   FLaq0=-Laqs*Iq0;
Rt=Ra+Re;
Lfd=(L_d-Ll)*Lad/(Lad-L_d+Ll);
L_ads=Lads*Lfd/(Lfd+Lads);
Rfd=(Lad+Lfd)/T_d0;
Xtq=Xe+Xqs;   Xtd=Xe+(L_ads+Ll);
D=Rt^2+Xtq*Xtd;
m1=Eb*(Xtq*sin(d_0)-Rt*cos(d_0))/D;
n1=Eb*(Rt*sin(d_0)+Xtd*cos(d_0))/D;
m2=Xtq*Lads/(D*(Lads+Lfd));
n2=Rt*Lads/(D*(Lads+Lfd));
%set linear model constant
K1=n1*(FLad0+Laqs*Id0)-m1*(FLaq0+L_ads*Iq0);
K2=n2*(FLad0+Laqs*Id0)-m2*(FLaq0+L_ads*Iq0)+L_ads*Iq0/Lfd;
K3=((Lads+Lfd)/Lad)/(1+Xtq*(Xd-X_d)/D);
T3=((Lads+Lfd)/(Wo*Rfd))/(1+Xtq*(Xd-X_d)/D);
K4=Lad*Lads*Eb*(Xtq*sin(d_0)-Rt*cos(d_0))/((Lads+Lfd)*D);
K5=Ed0*(-Ra*m1+Ll*n1+Laqs*n1)/Et+Eq0*(-Ra*n1-Ll*m1-L_ads*m1)/Et;
K6=Ed0*(-Ra*m2+Ll*n2+Laqs*n2)/Et+Eq0*(-Ra*n2-Ll*m2+L_ads*(1/Lfd-
m2))/Et;
fprintf(1,'    K1      K2      K3      T3      K4      K5      K6\n');
fprintf(1,' %8.4f %8.4f %8.4f %8.4f %8.4f  %8.4f
%8.4f\n',K1,K2,K3,T3,K4,K5,K6);
input('          Kstab=');
input('          T1=');
input('          T2=');
input('          Tw(not zero)=');
disp('               types of exciter');
disp('       1. simple model');
disp('       2. type A');
```

```
disp('       3. type C');
disp('       4. type G');
disp('       5. Cancel');
types=input('                    select the exciter type=');
```

โปรแกรมที่ใช้การทำโปรแกรมเชิงเส้นเพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวปรับเสถียรภาพ

```
format long
dec_d_ratio=input('set the criteria');
if types==1
  [A]=simple(H,Kd,K1,K2,K3,K4,K5,K6,T3,Kstab,Tw,T1,T2);
elseif types==2
  [A]=gen_stat_exc_A(H,Kd,K1,K2,K3,K4,K5,K6,T3,Kstab,Tw,T1,T2);
elseif types==3
  [A,Ta,Ka]=gen_stat_exc_C(H,Kd,K1,K2,K3,K4,K5,K6,T3,Kstab,Tw,T1,T2);
elseif types==4
  [A]=gen_stat_exc_G(H,Kd,K1,K2,K3,K4,K5,K6,T3,Kstab,Tw,T1,T2);
else
  disp('          run setini again!');
end
term_flag=0;
m1=-Kd/(2*H);  m2=-K1/(2*H);  m3=-K2/(2*H);
K=[Kstab ;Tw; T1; T2];
[l_eig,eig_val,r_eig]=f_eig(A);
num_eig=size(eig_val,1);
dominant=max_re(eig_val);
disp(eig_val);
xm=input('x');
while term_flag==0
  xm=xm+1;
  old_lamda=1000;
  for count=1:num_eig              %find eigenvector of each eigenvalue and then set
the initial constraint
    [w,v]=get_eig(l_eig,r_eig,count);
    if types==1
          con=sensi(Kstab,Tw,T1,T2,a51,a52,a53,a61,a62,a63,w,v);
        elseif types==2
      con=sensi_stat_exc_A(Kstab,Tw,T1,T2,m1,m2,m3,w,v);
        elseif types==3
          con=sensi_stat_exc_C(Kstab,Tw,T1,T2,m1,m2,m3,w,v);
        elseif types==4
          con=sensi_stat_exc_G(Kstab,Tw,T1,T2,m1,m2,m3,w,v);
        end
    ini_con(count,:)=con;
  end
  [constraints,check_re,check_im,obj]=cutconmod(eig_val,ini_con);
  N=size(constraints,1);
  B=set_B_1st(eig_val,dominant,N); % set up the constraints B
```

```
  del_lamda=1;
  damp_ratio=d_ratio(eig_val(dominant));
  ration=0;
  oldK=K;  oldA=A; oldeig=eig_val;
  roundlp=1;
  while del_lamda>=0
    [UPB,LWB,ration]=set_up_dw(K,del_lamda,ration,damp_ratio);%set the upper
and lower bound
    del_K=lp(obj',constraints,B,LWB,UPB,K);
    del_lamda=obj*del_K;
    K=K+del_K;
    Kstab=K(1); Tw=K(2); T1=K(3); T2=K(4);
    if types==1
          A=A_simple(A,Kstab,Tw,T1,T2,T3,H,Kd,K1,K2,K3,K4,K5,K6);
        elseif types==2
        A=A_gen_stat_exc_A(A,Kstab,Tw,T1,T2,T3,H,Kd,K1,K2,K3,K4,K5,K6);
        elseif types==3
          A=A_gen_stat_exc_C(A,Kstab,Tw,T1,T2,T3,H,Kd,K1,K2,K3,K4,K5,K6);
        elseif types==4
          A=A_gen_stat_exc_G(A,Kstab,Tw,T1,T2,T3,H,Kd,K1,K2,K3,K4,K5,K6);
        end
    eig_val=eig(A);
    del_lam_re=real(oldeig(dominant)-eig_val(dominant));
    if del_lamda>=0
      roundlp=roundlp+1;
      del_lamda=1;
      A=oldA; eig_val=oldeig; K=oldK;
    end
    if roundlp>2
      break;
    end
  end
  dominant=max_re(eig_val);
  damp_ratio=d_ratio(eig_val(dominant));
  if roundlp<=2 & damp_ratio<dec_d_ratio
      [l_eig,eig_val,r_eig]=f_eig(A);
    num_eig=size(eig_val,1);
        %  disp('damping ratio=');
      disp(damp_ratio);
    pl_dratio(xm,1)=xm; pl_dratio(xm,2)=damp_ratio;
      pl_reeva(xm,1)=xm; pl_reeva(xm,2)=real(eig_val(dominant));
  else
    break;
  end
end
disp(damp_ratio);
pl_dratio(xm,1)=xm; pl_dratio(xm,2)=damp_ratio;
pl_reeva(xm,1)=xm; pl_reeva(xm,2)=real(eig_val(dominant));
disp(xm); subplot(2,1,1);
plot(pl_dratio(:,1),pl_dratio(:,2),'k-');
```

```
xlabel('iteration'); ylabel('damping ratio');
subplot(2,1,2); plot(pl_reeva(:,1),pl_reeva(:,2),'k:');
xlabel('iteration'); ylabel('real part of dominant eigenvalue');
```

โปรแกรมที่ใช้สำหรับหาค่าเมตริกซ์ A ของแบบจำลองวงจรกระตุ้นอย่างง่าย

```
function[A]=simple(H,Kd,K1,K2,K3,K4,K5,K6,T3,Kstab,Tw,T1,T2)
Tr=0.02;%input('          Tr=');
Ka=200;%input('          Ka=');
A=zeros(6,6);
A(1,1)=-Kd/(2*H);  A(1,2)=-K1/(2*H);  A(1,3)=-K2/(2*H);
A(2,1)=2*pi*60;
A(3,2)=-K3*K4/T3;  A(3,3)=-1/T3;  A(3,4)=-K3*Ka/T3;  A(3,6)=K3*Ka/T3;
A(4,2)=K5/Tr;  A(4,3)=K6/Tr;  A(4,4)=-1/Tr;
A(5,1)=-Kstab*Kd/(2*H);  A(5,2)=-Kstab*K1/(2*H);  A(5,3)=-Kstab*K2/(2*H);  A
(5,5)=-1/Tw;
A(6,1)=-Kstab*Kd*T1/(2*H*T2); A(6,2)=-Kstab*K1*T1/(2*H*T2); A(6,3)=-
Kstab*K2*T1/(2*H*T2); A(6,5)=(1-T1/Tw)/T2;  A(6,6)=-1/T2;
return
```

โปรแกรมที่ใช้สำหรับหาค่าเมตริกซ์ A ของแบบจำลองวงจรกระตุ้นประเภท General Electric NA 143

```
function[constr]=sensi_stat_exc_A(Kstab,Tw,T1,T2,m1,m2,m3,w,v)
constr=zeros(1,4);
constr(1)=(w(7)+w(8)*T1/T2)*m1*v(1)+(w(7)+w(8)*T1/T2)*m2*v(2)+(w(7)+w
(8)*T1/T2)*m3*v(3);
constr(2)=(1/Tw^2*(w(8)*T1/T2+w(7)))*v(7);
constr(3)=Kstab*w(8)/T2*(m1*v(1)+m2*v(2)+m3*v(3))-w(8)*v(7)/(T2*Tw);
constr(4)=-Kstab*w(8)*T1/T2^2*(m1*v(1)+m2*v(2)+m3*v(3))+w(8)/T2^2*(-(1-
T1/Tw)*v(7)+v(8));
return
```

โปรแกรมที่ใช้สำหรับหาค่าเมตริกซ์ A ของแบบจำลองวงจรกระตุ้นประเภท Westinghouse Brushless

```
function[constr]=sensi_stat_exc_C(Kstab,Tw,T1,T2,m1,m2,m3,w,v)
constr=zeros(1,4);
constr(1)=(w(7)+w(8)*T1/T2)*m1*v(1)+(w(7)+w(8)*T1/T2)*m2*v(2)+(w(7)+w
(8)*T1/T2)*m3*v(3);
constr(2)=1/Tw^2*(w(8)*T1/T2+w(7))*v(7);
constr(3)=Kstab*w(8)/T2*(m1*v(1)+m2*v(2)+m3*v(3))-w(8)*v(7)/(T2*Tw);
constr(4)=-Kstab*w(8)*T1/T2^2*(m1*v(1)+m2*v(2)+m3*v(3))+w(8)/T2^2*(-(1-
T1/Tw)*v(7)+v(8));
```

```
return
```

โปรแกรมที่ใช้สำหรับหาค่าเมตริกซ์ A ของแบบจำลองวงจรกระตุ้นประเภท General Electric SCR

```
function[constr]=sensi_stat_exc_G(Kstab,Tw,T1,T2,m1,m2,m3,w,v)
constr=zeros(1,4);
constr(1)=(w(6)+w(7)*T1/T2)*m1*v(1)+(w(6)+w(7)*T1/T2)*m2*v(2)+(w(6)+w
(7)*T1/T2)*m3*v(3);
constr(2)=1/Tw^2*(w(7)*T1/T2+w(6))*v(6);
constr(3)=Kstab*w(7)/T2*(m1*v(1)+m2*v(2)+m3*v(3))-w(7)*v(6)/(T2*Tw);
constr(4)=-Kstab*w(7)*T1/T2^2*(m1*v(1)+m2*v(2)+m3*v(3))+w(7)/T2^2*(-(1-
T1/Tw)*v(6)+v(7));
return
```

โปรแกรมที่ใช้สำหรับค่าความไวของค่าเจาะจงของแบบจำลองวงจรกระตุ้นอย่างง่าย

```
function[constr]=sensi(Kstab,Tw,T1,T2,a51,a52,a53,a61,a62,a63,w,v)
constr=zeros(1,4);
constr(1)=(w(5)*a51+w(6)*a61*T1/T2)*v(1)+(w(5)*a52+w(6)*a62*T1/T2)*v(2)+(w
(5)*a53+w(6)*a63*T1/T2)*v(3);
constr(2)=(w(5)/Tw^2-w(6)*T1/T2)*v(5);
constr(3)=w(6)*a61*Kstab*v(1)/T2+w(6)*a62*Kstab*v(2)/T2+w(6)*a63*Kstab*v
(3)/T2-w(6)*v(5)/(T2*Tw);
constr(4)=-w(6)*a61*Kstab*T1*v(1)/T2^2-w(6)*a62*Kstab*T1*v(2)/T2^2-w
(6)*a63*Kstab*T1*v(3)/T2^2-w(6)*(1-T1/Tw)*v(5)/T2^2+w(6)*v(6)/T2^2;
return
```

โปรแกรมที่ใช้สำหรับค่าความไวของค่าเจาะจงของแบบจำลองวงจรกระตุ้นประเภท General Electric NA 143

```
function[constr]=sensi_stat_exc_A(Kstab,Tw,T1,T2,m1,m2,m3,w,v)
constr=zeros(1,4);
constr(1)=(w(7)+w(8)*T1/T2)*m1*v(1)+(w(7)+w(8)*T1/T2)*m2*v(2)+(w(7)+w
(8)*T1/T2)*m3*v(3);
constr(2)=(1/Tw^2*(w(8)*T1/T2+w(7)))*v(7);
constr(3)=Kstab*w(8)/T2*(m1*v(1)+m2*v(2)+m3*v(3))-w(8)*v(7)/(T2*Tw);
constr(4)=-Kstab*w(8)*T1/T2^2*(m1*v(1)+m2*v(2)+m3*v(3))+w(8)/T2^2*(-(1-
T1/Tw)*v(7)+v(8));
return
```

โปรแกรมที่ใช้สำหรับค่าความไวของค่าเจาะจงของแบบจำลองวงจรกระตุ้นประเภท Westinghouse Brushless

```
function[constr]=sensi_stat_exc_C(Kstab,Tw,T1,T2,m1,m2,m3,w,v)
constr=zeros(1,4);
constr(1)=(w(7)+w(8)*T1/T2)*m1*v(1)+(w(7)+w(8)*T1/T2)*m2*v(2)+(w(7)+w
(8)*T1/T2)*m3*v(3);
constr(2)=1/Tw^2*(w(8)*T1/T2+w(7))*v(7);
constr(3)=Kstab*w(8)/T2*(m1*v(1)+m2*v(2)+m3*v(3))-w(8)*v(7)/(T2*Tw);
constr(4)=-Kstab*w(8)*T1/T2^2*(m1*v(1)+m2*v(2)+m3*v(3))+w(8)/T2^2*(-(1-
T1/Tw)*v(7)+v(8));
return
```

โปรแกรมที่ใช้สำหรับค่าความไวของค่าเจาะจงของแบบจำลองวงจรกระตุ้นประเภท General Electric SCR

```
function[constr]=sensi_stat_exc_G(Kstab,Tw,T1,T2,m1,m2,m3,w,v)
constr=zeros(1,4);
constr(1)=(w(6)+w(7)*T1/T2)*m1*v(1)+(w(6)+w(7)*T1/T2)*m2*v(2)+(w(6)+w
(7)*T1/T2)*m3*v(3);
constr(2)=1/Tw^2*(w(7)*T1/T2+w(6))*v(6);
constr(3)=Kstab*w(7)/T2*(m1*v(1)+m2*v(2)+m3*v(3))-w(7)*v(6)/(T2*Tw);
constr(4)=-Kstab*w(7)*T1/T2^2*(m1*v(1)+m2*v(2)+m3*v(3))+w(7)/T2^2*(-(1-
T1/Tw)*v(6)+v(7));
return
```

ประวัติผู้เขียน

นายรุ่งโรจน์ รุ่งเรือง เกิดวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2519 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2541