รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

โคทม อารียา. การคุมค่าความเร็วมอเตอร์. เอกสารประกอบการเรียนวิชาการขับเคลื่อนมอเตอร์, กทม. : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.

เอกชัย ลีลารัศมี. คู่มือการใช้ Lec 5.0 โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์เชิงเส้นแบบท่อน. กทม. : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

ภาษาอังกฤษ

Bird, B. M., and King, K. G. An Introduction to Power Electronics. New York: john wiley & Sons, 1985.

Cho, B. H., Fred C. Y. Lee, Measurement of Loop Gain with the Digital Modulator. IEEE Transaction on Power Electronics, vol.PE-1 no.1, January, 1986.

Chrysis, G. High Frequency Switching Power Supplies: Theory and Design. New York: McGraw-Hill Book Company, 1984.

Daniel M.Mitchell, An Analytical Investigation of Current-Injected Control for Constant-Frequency Switching Regulator. IEEE Transaction on Power Electronics, vol.PE-1 no.3, July, 1986.

_____. DC-DC Switching Regulator Analysis. New York: McGraw-Hill Book Company, 1988.

Dewan, S. B.,Slemon, G. R., and Straughen, A. Power Semiconductor Drives. Toronto: Jhon Wiley & Sons, 1984.

Kieth H. Billing, Handbook of Switchmode Power Supplies. New York: McGraw-Hill Publishing Copany, 1989.

Math CAD manual, Massachusettes: Math Soft Inc., 1987.

Middlebrook, R. D., and Slobodan Cuk, Advance in Switched- Mode Power Conversion. 3 vols. California: Tesla Co., 1981.

Middlebrook, R. D. Topics in Multiple Loop Regulator and Current-Mode Programming. IEEE Transaction on Power Electronics, vol.PE-2 no.2, April, 1987.

_____. Modelling Current-Programmed Buck and Boost Regulator. IEEE Transaction on Power Electronics, vol.4 no.1 January, 1989.

Motorola Inc. Rectify and Zener Diode Data. 1984.

Ralph E. Tarter, Principles of Solid-State Power Conversion. Indiana: Howard W. Sams & Co.,1985.

Riley B. Raymond, Cho B. H., and Fred C. Y. Lee, Analysis and Interpretation of Loop Gains of Multiloop-Controlled Switching Regulator. IEEE Transaction on Power Electronics, vol.3 no.4, October, 1988.

Ruddf P. Severns, and Gordon Bloom (Ed), Modern DC-TO-DC Switchmode Power Converter Circuit, New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1984.

Siemens, Ferrite Data Book. 1986.

TUTSIM Manual, California: Applied i, 1986.

William H. Hayt, Jr. Engineering Electromagnetics. Fourth edition. Singapore: McGraw-Hill Book Company, 1985.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

List โปรแกรม TUTSIM

1. จำลองการทำงานของชุดวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงเมื่อทำงานในภาคกระแส

```
                1  TIM
49.998E+3       2  GAI   1
                3  FIX   2
                4  SUM   2    -3          ;sawtooth
-1.0000         5  CON
 1.0000         6  CON
 0.45000        7  REL   5     5     6     ;clock
                      4
                8  NAN   7    10          ;output Q
 1.0000         9  ADL   8
               10  NAN   8    35          ;complement output Q
               11  AND   8     7          ;duty cycle to switch
 1.0000        12  ADL  11
 0.1000        13  CON
11.0000        14  CON
 1.0000        15  REL  14    14    13     ;switch
                     12
10.0000        16  GAI
 0.0000        17  LIM  16                ;input voltage
103.3300
 4.4440        20  CON
               21  MUL   4    20          ;compensating ramp
10.0000        30  CON                    ;command
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
-10.0000        31  LIM  30   -21          ;command sub by ramp
 10.0000
                 32  SUM  31   -34          ;compare current
999.980E+3       33  GAI  32    36
  2.0000         34  ATT  40                ;attenuate IL
 -9.1000         35  LIM  33
  9.1000
 510.0000        36  ATT  37
   0.0000        37  ADL  35
 500.0000        40  FIO  17   -41          ;inductor current
   0.50000
   0.00000
   0.40000       41  PID  40   -43          ;output voltage
264.000e-6
   0.00000
   1.0000
   0.0000
   0.0000
   1.0000        42  ATT  41                ;output current
   0.0000        43  ADL  42
```

2. จำลองการทำงานของระบบที่ได้จากการชนานเมื่อทำงานในแรงดัน

```
                 1  TIM
 49.998E+3       2  GAI   1
                 3  FIX   2
                 4  SUM   2   -3           ;sawtooth
 -1.0000         5  CON
  1.0000         6  CON
  0.45000        7  REL   5    5    6      ;clock
                           4
                 8  NAN   7   10           ;output Q (module 1)
```

```
  1.0000        9  ADL    8
                10  NAN    8   35          ;complement output Q
                11  AND    8    7          ;duty cycle to switch
  1.0000        12  ADL   11
  0.1000        13  CON
 11.0000        14  CON
  1.0000        15  REL   14   14   13      ;switch
                        12
 10.0000        16  GAI   15
  0.0000        17  LIM   16               ;input voltage
103.3300
  4.4440        20  CON
                21  MUL    4   20          ;compensating ramp
-10.0000        31  LIM   55  -21          ;command sub by ramp
 10.0000
                32  SUM   31  -34          ;compare current
999.980E+3      33  GAI   32   36
  2.0000        34  ATT   40               ;attenuate IL
 -9.1000        35  LIM   33
  9.1000
510.0000        36  ATT   37
  0.0000        37  ADL   35
500.0000        40  FIO   17  -41          ;inductor current
  0.50000
  0.00000
  0.40000       41  PID   40  140  240     ;output voltage
264.000e-6            -43
  0.00000
  1.0000
  0.0000
  0.0000
```

```
  0.6670      42  FIO   41              ;output current
667.00E-6
  0.0000
  0.0000      43  ADL   42
  7.9000      50  ATT   41
  5.8000      51  CON
  4.9000      52  GAI   50  -51         ;P regulator
735.000e-06   53  GAI   52
  0.0000      54  LMI   53              ;I regulator
-11.0000
 11.0000
-11.0000      55  LIM   52   54         ;command from PI reg.
            108  NAN    7  110         ;output Q (module 2)
  1.0000    109  ADL  108
            110  NAN  108  135         ;complement output Q
            111  AND  108    7         ;duty cycle to switch
  1.0000    112  ADL  111
  1.0000    115  REL   14   14   13    ;switch
                      112
 10.0000    116  GAI  115
  0.0000    117  LIM  116              ;input voltage
103.3300
-10.0000    131  LIM   55  -21         ;command sub by ramp
 10.0000
            132  SUM   31 -134         ;compare current
999.980E+3  133  GAI  132  136
  2.0000    134  ATT  140              ;attenuate IL
 -9.1000    135  LIM  133
  9.1000
510.0000    136  ATT  137
  0.0000    137  ADL  135
```

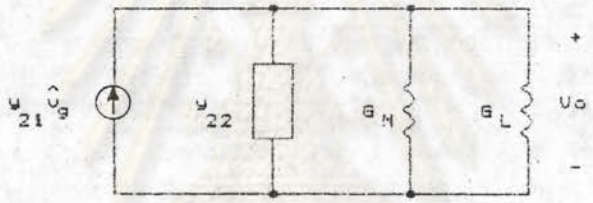
```
500.0000      140  FIO  117  -41        ;inductor current
  0.50000
  0.00000
              208  NAN    7  210        ;output Q (module 3)
  1.0000      209  ADL  208
              210  NAN  208  235        ;complement output Q
              211  AND  208    7       ;duty cycle to switch
  1.0000      212  ADL  211
  1.0000      215  REL   14   14   13   ;switch
                        212
 10.0000      216  GAI  215
  0.0000      217  LIM  216             ;input voltage
103.3300
-10.0000      231  LIM   55  -21        ;command sub by ramp
 10.0000
              232  SUM   31 -234        ;compare current
999.980E+3    233  GAI  232  236
  2.0000      234  ATT  240             ;attenuate IL
 -9.1000      235  LIM  233
  9.1000
510.0000      236  ATT  237
  0.0000      237  ADL  235
500.0000      240  FIO  217  -41        ;inductor current
  0.50000
  0.00000
```

ภาคผนวก ข.

การคำนวณ

1. <u>การคำนวณหา line current regulation</u>

การคำนวณหา line current regulation นี้ จะหาทั้งกรณี +/- 10 % ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับปกติ (220 โวลต์) โดยแรงดันออกมีค่าคงที่ 30 โวลต์ การคำนวณจะหาจากแบบจำลองของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.3 ซึ่งมีแบบจำลองดังในรูปที่ ผ.1 โดยคำนึงถึงเฉพาะที่ความถี่ต่ำ ทำให้ละเลยตัวเก็บประจุด้านขาออก



รูปที่ ผ.1 วงจรของแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณหา line current regulation

$$\Delta(y_{21} v_g) = V_o.(\Delta y_{22} + \Delta G_N)$$

$$y_{21} \Delta V_g + v_g \Delta y_{21} = V_o \Delta y_{22} + V_o \Delta G_N \qquad (ผ.1)$$

พจน์ $v_g \Delta y_{21}$ ละเลยทิ้งเนื่องจาก $\Delta y21$ มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเป็นช่วงกว้าง ดังนั้น จึงทำการอินทิเกรตสมการ (ผ.1) จะได้

$$\int_{v_{g1}}^{v_{gf}} y_{21}(v_g)dv_g = V_o \int_{y_{221}}^{y_{22f}} dy_{22} + V_o \int_{o}^{G_N} dG_N$$

$$GN = \frac{1}{V_o} \left[\int_{v_{g1}}^{v_{gf}} y_{21}(v_g)dv_g - V_o \int_{y_{221}}^{y_{22f}} dy_{22} \right]$$

กรณีการเปลี่ยนแปลงของ +10%

V_{g1} = 96.6 V

V_{gt} = 106.2 V

y_{22i} = 0.123 S

y_{22f} = 0.123 S

G_N = 0.006 S

ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงกระแสออกเนื่องจากการเปลี่ยนแรงดันขาเข้า +10% มีค่าเท่ากับ 0.18 แอมแปร์ สำหรับทุกค่าแรงดันคำสั่งกระแส

กรณีการเปลี่ยนแปลงของ -10%

V_{g1} = 96.6 V

V_{gf} = 87 V

y_{22i} = 0.123 S

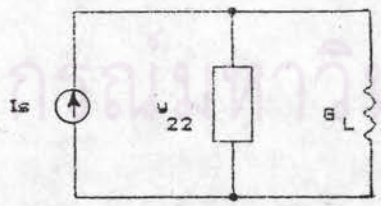
y_{22f} = 0.123 S

G_N = -0.007 S

ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงกระแสออกเนื่องจากการเปลี่ยนแรงดันขาเข้า -10% มีค่าเท่ากับ 0.21 แอมแปร์ สำหรับทุกค่าแรงดันคำสั่งกระแส

2. การคำนวณหา load current regulation

การคำนวณหา load current regulation เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันออกจาก 0 โวลต์ เป็น 30 โวลต์ โดยมีวงจรดังรูปที่ ผ.2 โดยคำนึงถึงเฉพาะค่าไฟตรง ทำให้ละเลยตัวเก็บประจุด้านขาออก



รูปที่ ผ.2 วงจรของแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณหา load current regulation

จากรูปวงจรจะได้

$$dI_o = y_{22}(v_o)\, dv_o$$

$$I_o = \int_o^{30} y_{zz}(v_o)\, dv_o$$

I_o = 4.5 แอมแปร์

ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงกระแสเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโหลด จาก 0 โวลต์ เป็น 30 โวลต์ มีค่า 4.5 แอมแปร์ สำหรับทุกค่าแรงดันคำสั่งกระแส

3. <u>การคำนวณหาการกระเพื่อมของกระแสในตัวเหนี่ยวนำ และการกระเพื่อมของแรงดันออก</u>

การคำนวณหาการกระเพื่อมของกระแสในตัวเหนี่ยวนำ และการกระเพื่อมของแรงดันออกได้จากสมการ (3.13) และ (3.17)

จากสมการ (3.13)

$$L = \frac{[(1-D)xV_o]}{[\Delta I_L \times f]}$$

$$\Delta I_L = \frac{[(1-D)xV_o]}{[L \times f]} \qquad (ผ.2)$$

โดยที่ $D = \frac{V_o}{V_s}$

จะได้ $\Delta I_L = \frac{(V_o - V_o^2\ V_s)}{L.f}$ (ผ.3)

และจากสมการ (3.17)

$$C = \frac{\Delta I_L}{(8x\Delta V_o xf)}$$

$$\Delta V_o = \frac{\Delta I_L}{8xCxf} \qquad (ผ.4)$$

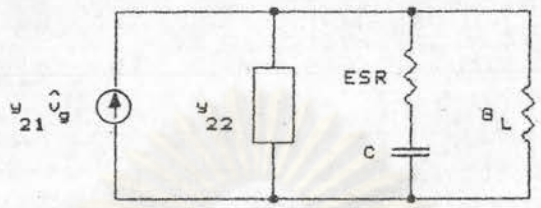
แทนค่าสมการ (ผ.3) ลงในสมการ (ผ.4) จะได้

$$\Delta V_o = \frac{(V_o - V_o^2\ Vs)}{8xLxCxf^2} \qquad (ผ.5)$$

จากสมการ (ผ.3) และ (ผ.4) แทนค่า V_o จาก 20 โวลต์ ถึง 30 โวลต์ จะได้กราฟของการกระเพื่อมของกระแสในตัวเหนี่ยวนำ และการกระเพื่อมของแรงดันออกดังรูปที่ 5.6

4. <u>การคำนวณหาการกระเพื่อมของกระแสออกที่ความถี่ 100 เฮิรตซ์</u>

การคำนวณหาการกระเพื่อมของกระแสออกที่ความถี่ 100 เฮิรตซ์ ที่แรงดันออก 30 โวลต์ มีรูปวงจรแบบจำลองดังรูปที่ ผ.3



รูปที่ ผ.3 วงจรแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณหาการกระเพื่อมของกระแสออกที่ความถี่ 100 เฮิรตซ์

โดย $y = \dfrac{1}{(ESR + 1/sC)}$

จากรูปวงจร

$$y_{21} v_g = [y_{22}(v_g) + y + GL] v_o$$

$$v_o = \frac{y_{21}(v_g)}{[y_{22}(v_g) + y + GL]} \cdot v_g$$

$$dv_o = \left\{ \frac{y_{21}(v_g)}{y_{22}(v_g) + y + GL} \right\} dv_g$$

$$v_o = \int_{min}^{max} \left[\frac{y_{21}(v_g)}{y_{22}(v_g) + y + GL} \right] .dv_g$$

โดยที่ $i_o = \dfrac{v_o}{R_L}$

$$i_o = \frac{1}{R_L} \int_{min}^{max} \left[\frac{y_{21}(v_g)}{y_{22}(v_g) + y + GL} \right] .dv_g$$

โดยที่

RL	=	7.5	Vmin	=	100.2 V	Vmax	= 103 V
RL	=	3.75	Vmin	=	97.2 V	Vmax	= 103 V
RL	=	2.5	Vmin	=	94.3 V	Vmax	= 103 V
RL	=	1.875	Vmin	=	91.3 V	Vmax	= 103 V
RL	=	1.5	Vmin	=	88.3 V	Vmax	= 103 V

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

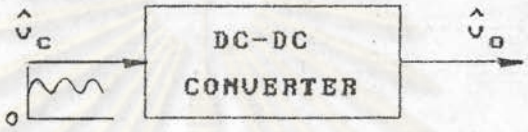
แทนค่าต่าง ๆ จะได้กราฟของการกระเพื่อมของกระแสออกที่ความถี่ 100 เฮิรตซ์ ดังรูปที่ 5.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

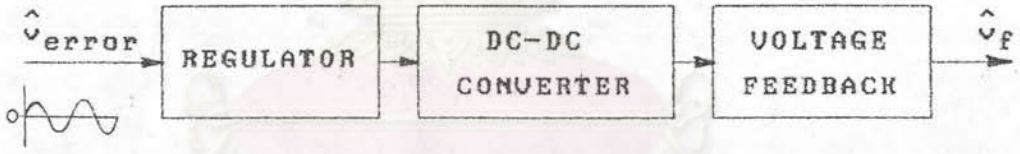
วงจรการทดลองหาผลตอบเชิงความถี่

1. วงจรการทดลองหาผลตอบเชิงความถี่ของแรงดันควบคุมกระแส($\hat{v}_c$) กับแรงดันออก($\hat{v}_o$)



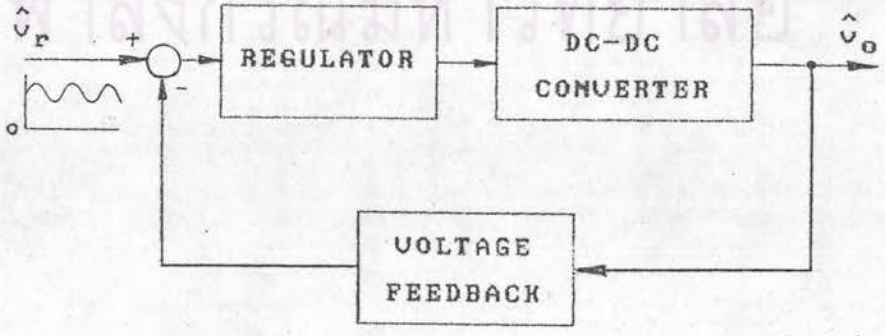
รูปที่ ผ.4 วงจรทดลองหาผลตอบเชิงความถี่ $\hat{v}_o/\hat{v}_c$

2. วงจรการทดลองหาผลตอลเชิงความถี่ของอัตราขยายวงรอบเปิดแรงดัน ($\hat{v}_f/\hat{v}_{error}$)



รูปที่ ผ.5 วงจรทดลองหาผลตอบเชิงความถี่ $\hat{v}_f/\hat{v}_{error}$

3. วงจรการทดลองหาผลตอบเชิงความถี่ของอัตราขยายวงรอบปิดแรงดัน ($\hat{v}_o/\hat{v}_r$)



รูปที่ ผ.6 วงจรทดลองหาผลตอบเชิงความถี่ $\hat{v}_o/\hat{v}_r$

ประวัติผู้เขียน

นายต่อศักดิ์ พ่วงมหา เกิดเมื่อวันที่ 25 กรกฎาคม พ.ศ.2509 ที่เขตป้อมปราบฯ กรุงเทพฯ จบการศึกษาขั้นอุดมศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้รับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ในปีการศึกษา 2530 และเข้าต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปัจจุบันทำงานที่ บริษัท วรจักรอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย