บทที่ 7

การใช้โปรแกรมและตัวอย่างการคำนวณ

7.1 การจัดเตรียมข้อมูล

โปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบวงจรไฟฟ้านี้ ได้เขียนขึ้นโดยใช้ภาษาเบสิค (Basic Language) สำหรับใช้กับเครื่องคิจิตอลไมโครคอมพิวเตอร์ ความต้องการเกี่ยวกับโปรแกรมคือ การจัดเตรียมข้อมูลจะต้องอยู่ในรูปแบบที่ง่ายผู้ใช้สามารถป้อนข้อมูลได้โดยตรงจากแป้นพิมพ์ (Keyboard)

ข้อมูลที่ต้องเตรียมมีอยู่ 4 ชุดด้วยกันคือ

1. ข้อมูลเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้าโดยทั่วไปและข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมโปรแกรม
2. ข้อมูลเกี่ยวกับเอลเมนท์
3. ข้อมูลเกี่ยวกับตัวพารามิเตอร์และเวลา
4. ข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งจ่ายแรงดันอิสระหรือกระแสอิสระและนอนลิเนียร์เอลเมนท์

7.1.1 ข้อมูลเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้าโดยทั่วไปและข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมโปรแกรม

NUMBER EDGE	จำนวนเอลเมนท์ของวงจร
NUMBER NODE	จำนวนโหนดของวงจร
NO INDEPENDENT VOLTAGE	จำนวนแหล่งจ่ายแรงดันอิสระ
NO INDEPENDENT CURRENT	จำนวนแหล่งจ่ายกระแสอิสระ
INDEPENDENT SOURCE VECTOR	เวคเตอร์ของแหล่งจ่ายอิสระ จะต้องกำหนดเวคเตอร์ของแหล่งจ่ายแรงดันอิสระก่อนเวคเตอร์ของแหล่งจ่ายกระแสอิสระ
NUMBER BIAS SOURCE	จำนวนแหล่งจ่ายไบอัสให้กับวงจรไฟฟ้า
BIAS SOURCE VECTOR	เวคเตอร์ของแหล่งจ่ายไบอัสให้กับวงจรไฟฟ้า

7.1.2 ข้อมูลเกี่ยวกับ เอล เมนท์

N1	โหนดต้นทางกำหนดจากทิศทางลูกศรซึ่งชี้ออกจากโหนด
N2	โหนดปลายทางกำหนดจากทิศทางลูกศรซึ่งชี้เข้าหาโหนด
TYPE	ชนิดของ เอล เมนท์ ใช้อักษรย่อเพียงตัวเดียวถึงชนิดของ เอล เมนท์นั้นๆ R คือความต้านทาน, L คืออินดักเตอร์ C คือคาปาซิเตอร์, N คือนอนลิเนียร์ เอล เมนท์ S คือแหล่งจ่ายแรงดันหรือกระแสอิสระ
OHM/H/F	ค่าของ เอล เมนท์ใดๆ มีหน่วยเป็น โอห์ม, เฮ็นรี่, ฟาราด
VOLT	แรงดันไฟฟ้าสมมติเริ่มต้น มีหน่วยเป็นโวล์ท
AMP	กระแสไฟฟ้าสมมติเริ่มต้นมีหน่วยเป็นแอมแปร์

7.1.3 ข้อมูลเกี่ยวกับพารามิเตอร์และเวลา

ส่วนข้อมูลการออกแบบวงจรไฟฟ้าต่อสัญญาณไฟตรง

NUMBER PARAMETER	จำนวนพารามิเตอร์
ELEMENT	เวคเตอร์ของพารามิเตอร์
MAX	ค่าสูงสุดของพารามิเตอร์
MIN	ค่าต่ำสุดของพารามิเตอร์
NUMBER DESIRED VOLTAGE	จำนวน เอล เมนท์ที่ต้องการให้มีแรงดันตามต้องการ
NUMBER DESIRED CURRENT	จำนวน เอล เมนท์ที่ต้องการให้มีกระแสตามต้องการ
DESIRED VOLTAGE VECTOR	เวคเตอร์ของแรงดันคร่อม เอล เมนท์ที่ต้องการ
DESIRED CURRENT VECTOR	เวคเตอร์ของกระแสใน เอล เมนท์ที่ต้องการ

ส่วนข้อมูลการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าในโดเมนของเวลา

INITIAL TIME	เวลาที่เริ่มต้นวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า
STEP SIZE	ขนาดของขั้นเวลา (time step)

ส่วนข้อมูลการออกแบบวงจรไฟฟ้าในโดเมนของเวลา

NO.DESIRED TIME POINTS	จำนวนจุดของเวลาที่ต้องการ
TIME	เวลาที่จุดต่างๆ ที่ต้องการ
VOLT	แรงดันของเอลเมนท์ที่ต้องการ ณ เวลาที่กำหนด
AMP	กระแสของเอลเมนท์ที่ต้องการ ณ เวลาที่กำหนด

7.1.4 ข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งจ่ายแรงดัน-กระแสอิสระและนอนลิเนียร์เอลเมนท์

ส่วนข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งจ่ายแรงดันและกระแสอิสระ

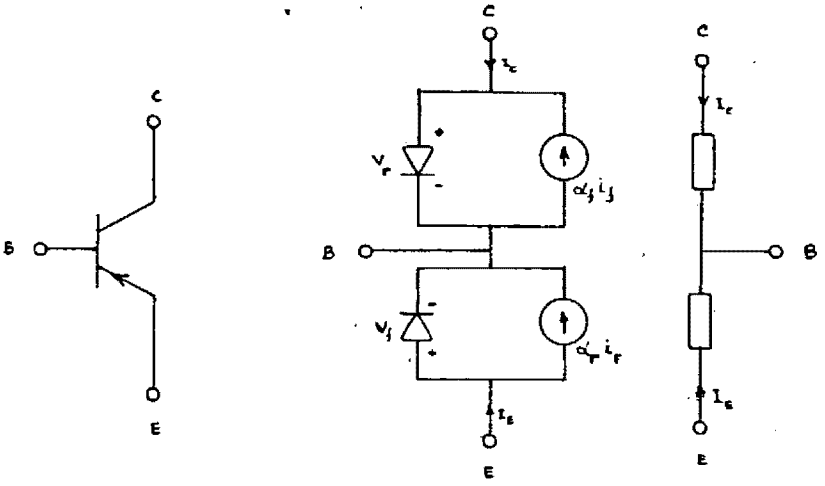
สมการของแหล่งจ่ายแรงดันและกระแสอิสระได้จัดเตรียมไว้ในโปรแกรมย่อยสับรูทีนซึ่งมีรูปสมการดังนี้คือ

$$FM = K1+K2*SIN(314.16*T)$$

FM คือเวคเตอร์ประกอบด้วยสมการของแหล่งจ่ายแรงดันและ/หรือกระแส ซึ่งอยู่ในรูปของเวคเตอร์ FM(I) โดยที่ I คือจำนวนรวมของแหล่งจ่ายแรงดันและ/หรือกระแส โดยการป้อนข้อมูล K1 และ K2 ทางแป้นพิมพ์ เราก็สามารถกำหนดชนิดของแหล่งจ่ายแรงดันและ/หรือกระแสได้ตามต้องการ

ส่วนข้อมูลเกี่ยวกับนอนลิเนียร์เอลเมนท์

ถ้า RLC>0 จะต้องจัดเตรียมสมการนอนลิเนียร์เอลเมนท์โดยผู้ใช้โปรแกรม เอลเมนท์ชนิดนอนลิเนียร์มีอยู่มากมายหลายชนิด ตัวอย่างเช่น ทรานซิสเตอร์และไดโอดเป็นต้น เราสามารถเขียนสมการของนอนลิเนียร์ชนิดนี้ โดยใช้โมเดลของอิเบอร์-มอลล์ (Eber-Moll model) ดังรูปที่ 7-1



รูปที่ 7.1 โมเดลของอีเบอร์-มอลล์สำหรับทรานซิสเตอร์ชนิดพี-เอ็น-พี

$$i_C = i_r - \alpha_f i_f \qquad i_E = i_f - \alpha_r i_r$$

$$i_f = 10^{-9}(e^{V_f V_T} - 1) \qquad i_r = 10^{-9}(e^{V_r V_T} - 1)$$

$$i_C = 10^{-9}(e^{V_r V_T} - 1) - \alpha_f * 10^{-9}(e^{V_f V_T} - 1)$$

$$i_E = 10^{-9}(e^{V_f V_T} - 1) - \alpha_r * 10^{-9}(e^{V_r V_T} - 1)$$

โดยพิจารณาจากสมการทั้งสองข้างต้น V_r และ V_f เป็นแรงดันคร่อมโมเดลทั้งสองซึ่งกำหนดค่าเริ่มต้นโดยผู้ใช้โปรแกรมและคำนวณได้จากเมตริกซ์ของ VOLT ตามหัวข้อ 7.2

α_f, α_r และ V_T คือพารามิเตอร์ซึ่งเป็นคุณสมบัติตามชนิดของทรานซิสเตอร์หรือไดโอดซึ่งกำหนดได้โดยผู้ใช้โปรแกรม ตัวอย่างเช่นกำหนดให้ $\alpha_f = 0.99$, $\alpha_r = 0.5$, $V_T = 40$ โดยการป้อนข้อมูลเครื่องดิจิตอลคอมพิวเตอร์ ตามข้อความบนจอเทอร์มินัลดังนี้

ALPHA F = 0.99

ALPHA R = 0.5

VT = 40

หลังจากเครื่องดิจิตอลคอมพิวเตอร์ได้รับข้อมูลข้างต้นและผ่านขั้นตอนบางอย่างแล้ว ข้อมูลที่ได้รับจะเป็นดังนี้

$$i_e = 10^{-9}(e^{40V_r} - 1) - 0.99 * 10^{-9}(e^{40V_f} - 1)$$

$$i_E = 10^{-9}(e^{40V_f} - 1) - 0.5 * 10^{-9}(e^{40V_r} - 1)$$

7.2 สัญญลักษณ์ที่ใช้เกี่ยวกับโปรแกรม

EDGE	จำนวน เอล เมนท์รวมของวงจร
NODE	จำนวนโหนดรวมของวงจร
VV	จำนวนแหล่งจ่ายแรงดันอิสระ
RLC	จำนวน เอล เมนท์ชนิดนอนลิเนียร์
MA	อินซิเดนซ์เมตริกส์
SS	เวค เตอร์แสดงตำแหน่งของแหล่งจ่ายแรงดัน
	อิสระและแหล่งจ่ายกระแสอิสระ
MCKT	เวค เตอร์แสดงชนิดของ เอล เมนท์
	มีค่าลบหนึ่งถ้า เอล เมนท์นั้น เป็นความต้านทาน
	มีค่าศูนย์ถ้า เอล เมนท์นั้น เป็นอินดัก เตอร์
	มีค่าบวกหนึ่งถ้า เอล เมนท์นั้น เป็นคาปาซิเตอร์
CKT	เวค เตอร์แสดงค่าของ เอล เมนท์
	ถ้า เอล เมนท์ไม่ใช่ความต้านทาน, อินดัก เตอร์, คาปาซิเตอร์
	เวค เตอร์มีค่า เป็นศูนย์
VOLT	เวค เตอร์ประกอบด้วยแรงดันของ เอล เมนท์ภายในวงจร
CURT	เวค เตอร์ประกอบด้วยกระแสของ เอล เมนท์ภายในวงจร
MRLC	เวค เตอร์แสดง เอล เมนท์ชนิดนอนลิเนียร์
NB	จำนวนแหล่งจ่ายไบอัสกระแสตรง
NP	จำนวนพารามิเตอร์
NVD	จำนวน เอล เมนท์ที่ต้องมีแรงดันตามต้องการ
NID	จำนวน เอล เมนท์ที่ต้องมีกระแสตามต้องการ
NA	จำนวน เอล เมนท์ที่ต้องการกราฟของแรงดัน
NC	จำนวน เอล เมนท์ที่ต้องการกราฟของกระแส
NTD	จำนวนจุดของ เวลาที่กำหนดโดยผู้ใช้โปรแกรม
MPAR	เวค เตอร์แสดงตำแหน่งของพารามิเตอร์

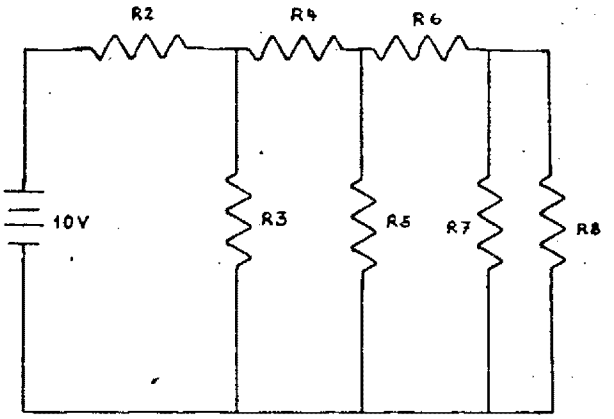
MVD	เวคเตอร์แสดงตำแหน่งของเอลเมนท์ที่ต้องการให้มีแรงดันตามที่กำหนด
MID	เวคเตอร์แสดงตำแหน่งของเอลเมนท์ที่ต้องการให้มีกระแสตามที่กำหนด
VD	เวคเตอร์ประกอบด้วยแรงดันที่กำหนดโดยผู้ใช้โปรแกรมข้อมูลเรียงตามลำดับความสัมพันธ์กับ NTD
ID	เวคเตอร์ประกอบด้วยกระแส มีความสำคัญเช่นเดียวกับ NTD
TD	เวคเตอร์ประกอบด้วยเวลาที่กำหนดโดยผู้ใช้โปรแกรมข้อมูลเรียงตามลำดับความสัมพันธ์กับ NTD

7.3 ตัวอย่างการใช้โปรแกรม

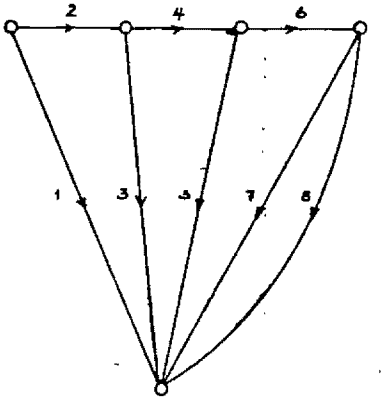
ตัวอย่างที่ 1 วิเคราะห์วงจรลิเนียร์ต่อสัญญาณไฟตรง วงจรประกอบด้วย 8 เอลเมนท์,5 โหนด ความต้านทานทุกตัวมีค่า 1 โอห์ม และมีแหล่งจ่ายแรงดันอิสระขนาด 10 โวล์ท 1 ตัว ตามที่แสดงในวงจรไฟฟ้าในรูปที่ 7.2 ก. และกราฟในรูป 7.2 ข. โดยการป้อนข้อมูลโดยตรงจากแป้นพิมพ์ ดังตารางที่ 7.1 ด้านล่างนี้ เราจะได้ผลลัพธ์ของวงจร ดังตารางที่ 7.2

```
EDGE NODE VV II RLC
 8    5   1  0  0

E  N1 N2 TYPE VOLT    M.AMP

1  5  1   S    0       10      -7E3
2  1  2   R    1E-3    7       7E3
3  2  5   R    1E-3    2       3E3
4  2  3   R    1E-3    3       3E3
5  3  5   R    1E-3    1       1E3
6  3  4   R    1E-3    1       1E3
7  4  5   R    1E-3    1       1E3
8  4  5   R    1E-3    1       1E3

VECTOR OF INDEPENDENT SOURCE 1
VALUE OF INDEPENDENT SOURCE 10
ALPHA F 0
ALPHA R 0
VT 0
```

ตารางที่ 7.1 ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 7.2 ก. วงจรไฟฟ้าแบบลิเนียร์



รูปที่ 7.2 ข. วงจรกราฟจากรูป 7.2 ก.

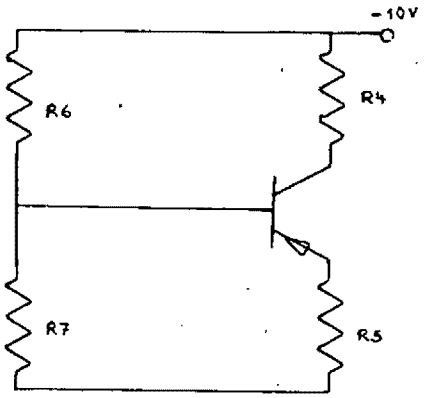
```
                NO.OF ITERATIONS = 1
VOLT(1) = 10 VOLT              CURT(1) =-6190.47169 MILLIAMP
VOLT(2) = 6.19047169 VOLT      CURT(2) = 6190.47169 MILLIAMP
VOLT(3) = 3.80952381 VOLT      CURT(3) = 3809.52381 MILLIAMP
VOLT(4) = 2.38095238 VOLT      CURT(4) = 2380.95238 MILLIAMP
VOLT(5) = 1.42857143 VOLT      CURT(5) = 1428.57143 MILLIAMP
VOLT(6) =  .95238095 VOLT      CURT(6) =  952.38095 MILLIAMP
VOLT(7) =  .47619047 VOLT      CURT(7) =  476.19047 MILLIAMP
VOLT(8) =  .47619047 VOLT      CURT(8) =  476.19047 MILLIAMP
```

ตารางที่ 7.2 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าต่อสัญญาณไฟตรงจากตัวอย่างที่ 1

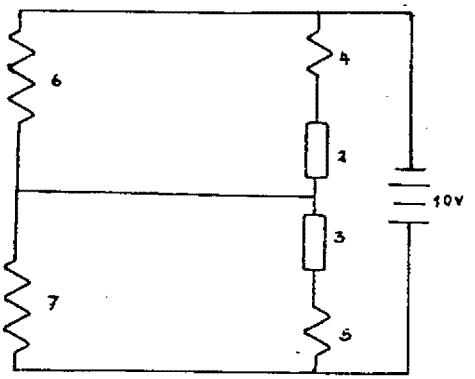
ตัวอย่างที่ 2 วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าดังรูปที่ 7.3 ก. ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์และความต้านทาน เป็นวงจรคอลเลคเตอร์ร่วม ซึ่งมีโมเดลและกราฟดังรูปที่ 7.3 ข. และรูปที่ 7.3 ค. ตามลำดับ จุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ไบอัสแรงดันและกระแสของวงจรนี้ โดยป้อนข้อมูลดังตารางที่ 7.3 ด้านล่าง เราจะได้แรงดันและกระแสของเอลเมนท์ต่างๆ ตามตารางที่ 7.4

```
EDGE NODE VV II RLC
 7    5   1  0  2

E N1 N2 TYPE K.OHM VOLT M.AMP
1 5  1   S   0     10   -1
2 2  3   N   0     -6   -.9
3 4  5   N   0     .6    .9
4 1  2   R   5     -6   -.9
5 4  5   R   .3    .2    .9
6 3  1   R   90    9    -1
7 5  3   R   6     .5   .09

VECTOR OF INDEPENDENT SOURCE 1
VALUE OF INDEPENDENT SOURCE 10
ALPHA F .99
ALPHA R .5
VT 40
```

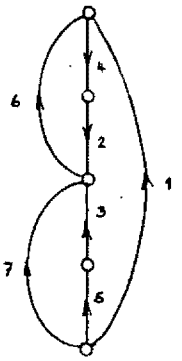
ตารางที่ 7.3 ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 7.3 ก. วงจรไฟฟ้าประกอบด้วยทรานซิสเตอร์และความต้านทาน



รูปที่ 7.3 ข. วงจรไฟฟ้าซึ่งเปลี่ยนทรานซิสเตอร์เป็นโมเดลของอีเบอร์มอลล์



รูปที่ 7.3 ค. กราฟของวงจรไฟฟ้าตามรูป 7.3 ก.

```
          NO.OF ITERATIONS = 15

VOLT(1) = 10 VOLT              CURT(1) =-0.89716128 MILLIAMP
VOLT(2) =-5.45755356 VOLT      CURT(2) =-0.79249432 MILLIAMP
VOLT(3) = 0.33982513 VOLT      CURT(3) = 0.80049681 MILLIAMP
VOLT(4) =-3.96247167 VOLT      CURT(4) =-.792494333 MILLIAMP
VOLT(5) =-.24002522  VOLT      CURT(5) =-.800498816 MILLIAMP
VOLT(6) = 9.42002522 VOLT      CURT(6) =  .10466694 MILLIAMP
VOLT(7) =  .57997478 VOLT      CURT(7) =  .09666246 MILLIAMP
```

ตารางที่ 7.4 แสดงโบอัลกระแสและแรงดันของเอลเมนท์ต่างๆ ดังรูป 7.3 ก.

ตัวอย่างที่ 3 ต้องการคำนวณ R5, R7 ของวงจรไฟฟ้าในรูปที่ 7.3 ก. เพื่อให้แรงดันที่ R5 เท่ากับ 0.24015 โดยการป้อนข้อมูลที่สมมุติเริ่มต้นให้กับเครื่องดิจิตอลคอมพิวเตอร์ ดังตารางที่ 7.5 หลังจากการคำนวณตามขั้นตอนในบทที่ 6 รวม 15 อิเตอเรชั่น ก็จะได้ค่าของ R5 และ R7เป็นผลลัพธ์ตามต้องการ ดังตารางที่ 7.6

```
EDGE  NODE  VV  II ICC
 7     5    1   0  0

E N1 N2 TYPE  K.OHM  VOLT  M.AMP
1  5  1  S     0      10    -1
2  2  3  N     0      -6    -1
3  4  3  N     0      0.3   0.9
4  1  2  R     5      -5    -1
5  5  4  R     0.25   0.4   0.9
6  3  1  R     90     9     0.4
7  5  3  R     5.5    0.7   0.1

VECTOR OF INDEPENDENT SOURCE 1

VALUE OF INDEPENDENT SOURCE 10

NUMBER OF PARAMETER 2

ELEMENT 5    MAX 5   MIN 0.05

ELEMENT 7    MAX 50  MIN 0.05

NUMBER OF DESIRED O/P VOLTAGE 1
ELEMENT 5 DESIRED VOLT  .24015
NUMBER OF DESIRED O/P CURRENT 0

ALPHA F 0.99
ALPHA R 0.5
VT 40
```

ตารางที่ 7.5 ข้อมูลสมมติเริ่มต้นสำหรับตัวอย่างที่ 3

```
DESIRED RESPONSE        WEIGHTING FACTOR

V(5) = 0.24015 VOLT     KV(5) = 1

              INITIAL GUESS CKT

CKT(5) = 0.25           CKT(7) = 5.5

THE TOTAL NUMBER OF MAJOR ITERATINS 1

TOTAL NUMBER OF ITERATIONS FOR SEARCHING LAMD 15

THE SQUARE ERROR 1.78345021E-07

THE FINAL CIRCUIT CKT
CKT(5) = .504513957

CKT(7) = 5.66143215

V(1) = 10  VOLT            I(1) = -.575230995 MILLIAMP

V(2) = -7.08141433 VOLT    I(2) = -.470414476 MILLIAMP

V(3) = .326785599  VOLT    I(3) = .475165627  MILLIAMP

V(4) = -2.35207238 VOLT    I(4) = -.470414476 MILLIAMP

V(5) = .23972769   VOLT    I(5) = .4751656276 MILLIAMP

V(6) = 9.43348672  VOLT    I(6) = .104816519  MILLIAMP

V(7) = .566513289  VOLT    I(7) = .100065368  MILLIAMP
```

ตารางที่ 7.6 เอาท์พุทของเครื่องดิจิตอลคอมพิวเตอร์สำหรับตัวอย่างที่ 3

ตัวอย่างที่ 4 วงจรเรคติไฟร์ครึ่งคลื่น (halfwave rectifier) ประกอบด้วยไดโอดซึ่งเป็นเอลเมนท์ชนิดนอนลิเนียร์ ดังรูปที่ 7.4 ก. และกราฟดังรูปที่ 7.4 ข. เอลเมนท์ต่างๆ ของวงจรมีข้อมูลเป็นดังนี้ คือ

แรงดันไฟสลับ (Vs) = 5 sin(100πt)

ตัวเก็บประจุ = 100μF

อินดักเตอร์ = 8 H

ความต้านทาน = 1KΩ

ต้องการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าที่ความต้านทานหรือแรงดันไฟฟ้าขาออก (out put valtage) ของวงจร ข้อมูลเริ่มต้น สำหรับตัวอย่างนี้แสดงไว้ดังตาราง 7.7

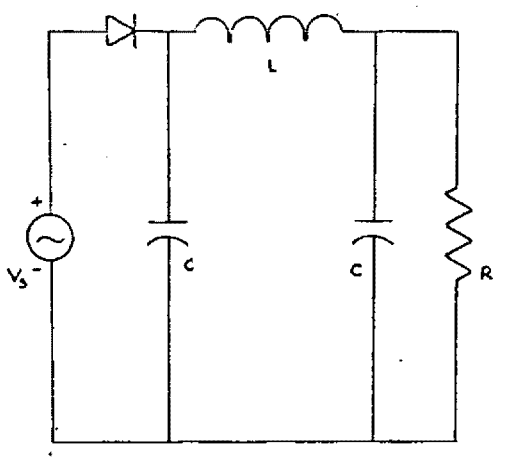
```
EDGE NODE VV II
 6    4   1  0

NUMBER VOLTAGE TO BE PLOTTED 1
NUMBER CURRENT TO BE PLOTTED 0
NUMBER DC BIAS SOURCE 0
INITIAL TIME 0
TIME STEP 5E-4
```

E	N1	N2	TYPE	OHM/H/F	VOLT	AMP
1	1	4	S	0	5	.02
2	1	2	N	0	.3	.02
3	2	4	C	100E-6	0	.02
4	2	3	L	8	4	0
5	3	4	C	100E-6	0	0
6	3	4	R	1E3	0	0

I16871300

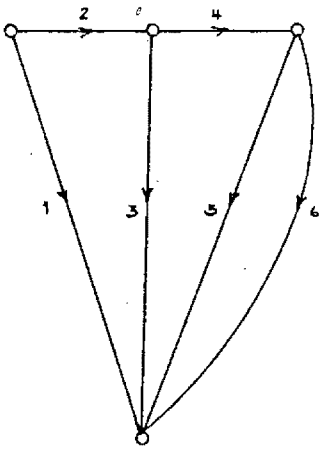
```
ALPHA F 1
ALPHA R 0
VT 38.4615
VECTOR VOLT TO BE PLOTTED 6
INDEPENDENT SOURCE VECTOR 1
FM =-K1+K2*SIN(314.16*T)
K1 = 0     K2 = 5
```

ตารางที่ 7.7 ข้อมูลเริ่มต้นสำหรับการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าดังรูปที่ 7.4 ก.



Vs = 5 sin(100πt)

รูปที่ 7.4 ก. วงจรเรคติไฟร์ครึ่งคลื่น



รูปที่ 7.4 ข. กราฟสำหรับรูปที่ 7.4 ก.

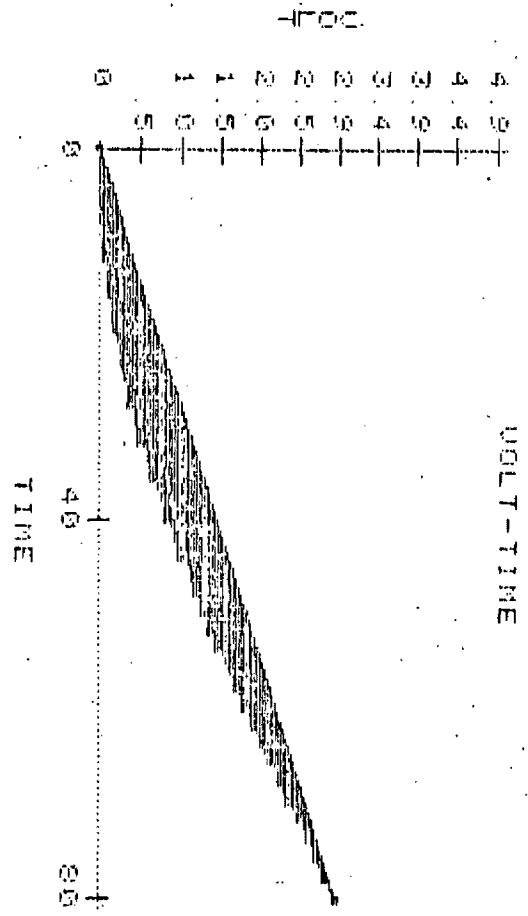
ตารางที่ 7.4 ผลลัพธ์ของโปรแกรมที่ 7.4 ต่อ

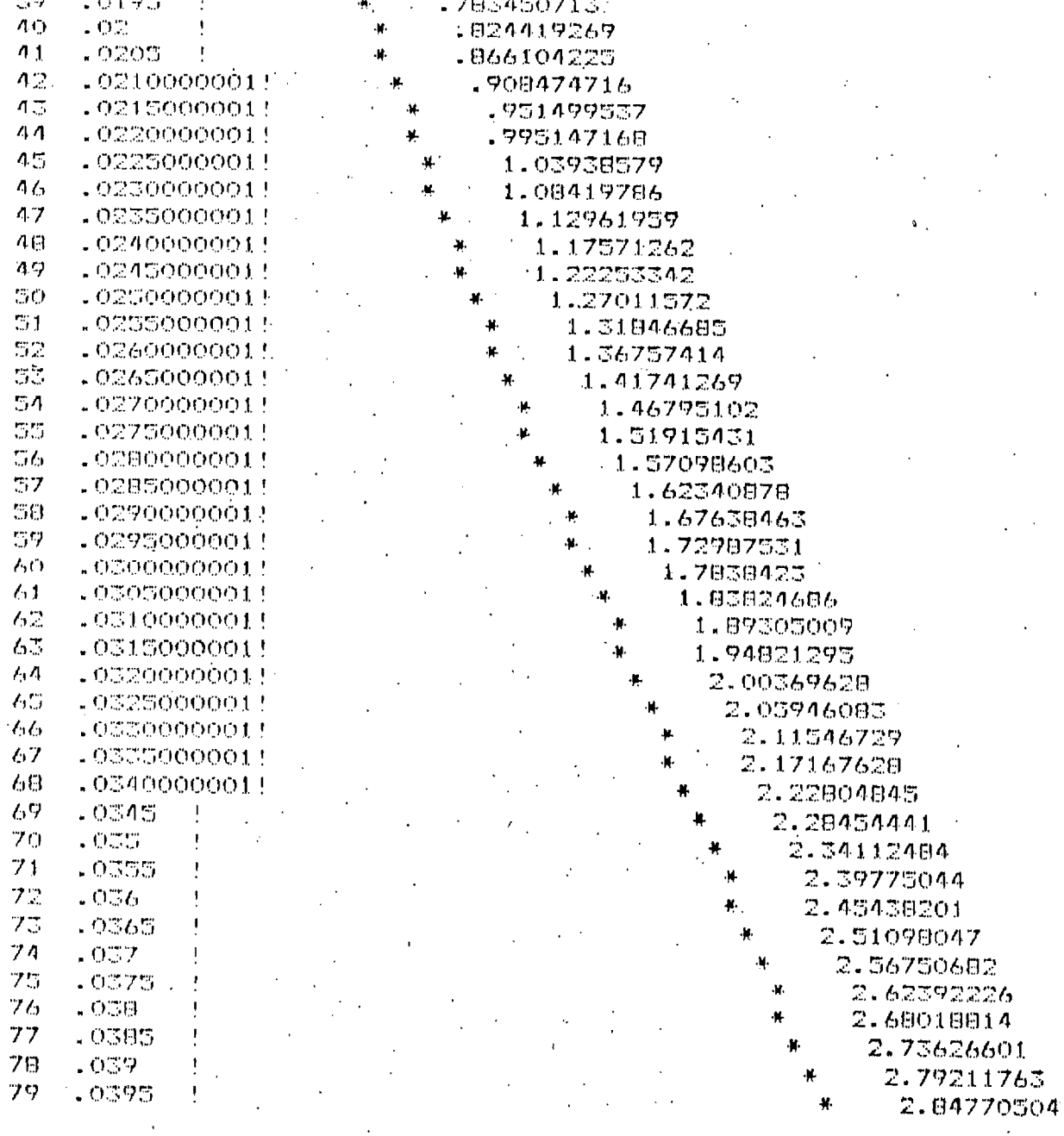
MINIMUM
0

	TIME	!	
0	0	!*	0
1	5E-04	!*	8.14344985E-06
2	1E-03	!*	1.61584365E-04
3	1.5E-03	!*	6.70177605E-04
4	2E-03	!*	1.73261928E-03
5	2.5E-03	!*	3.54369781E-03
6	3E-03	!*	6.27978647E-03
7	3.5E-03	!*	.010091641
8	4E-03	!*	.0150996049
9	4.5E-03	!*	.0213909307
10	5E-03	!*	.0290183825
11	5.5E-03	!*	.0380062803
12	6E-03	!*	.0483604958
13	6.5E-03	!*	.0600764179
14	7E-03	!*	.0731438153
15	7.5E-03	!*	.0873494171
16	8E-03	!*	.103278172
17	8.5E-03	!*	.12031383
18	9E-03	!*	.138639205
19	9.50000001E-03	!*	.158236293
20	.01	! *	.179086328
21	.0105	! *	.201169814
22	.011	! *	.224466547
23	.0115	! *	.248955629
24	.012	! *	.274615485
25	.0125	! *	.301423882
26	.013	! *	.329357936
27	.0135	! *	.358394138
28	.014	! *	.388508362
29	.0145	! *	.419675885
30	.015	! *	.451871403
31	.0155	! *	.48506905
32	.016	! *	.519242411
33	.0165	! *	.554364544
34	.017	! *	.590407996
35	.0175	! *	.62734482
36	.018	! *	.665146596
37	.0185	! *	.703784448
38	.019	! *	.743229064

MAXIMUM
2.90299052

V(6)




39 .0195 !
40 .02 !
41 .0205 !
42 .0210000001!
43 .0215000001!
44 .0220000001!
45 .0225000001!
46 .0230000001!
47 .0235000001!
48 .0240000001!
49 .0245000001!
50 .0250000001!
51 .0255000001!
52 .0260000001!
53 .0265000001!
54 .0270000001!
55 .0275000001!
56 .0280000001!
57 .0285000001!
58 .0290000001!
59 .0295000001!
60 .0300000001!
61 .0305000001!
62 .0310000001!
63 .0315000001!
64 .0320000001!
65 .0325000001!
66 .0330000001!
67 .0335000001!
68 .0340000001!
69 .0345 !
70 .035 !
71 .0355 !
72 .036 !
73 .0365 !
74 .037 !
75 .0375 !
76 .038 !
77 .0385 !
78 .039 !
79 .0395 !
.783450713
.824419269
.866104223
.908474716
.951499537
.995147168
1.03938579
1.08419786
1.12961959
1.17571262
1.22253342
1.27011572
1.31846685
1.36757414
1.41741269
1.46795102
1.51915431
1.57098603
1.62340878
1.67638463
1.72987531
1.7838423
1.83824686
1.89305009
1.94821295
2.00369628
2.05946083
2.11546729
2.17167628
2.22804845
2.28454441
2.34112484
2.39775044
2.45438201
2.51098047
2.56750682
2.62392226
2.68018814
2.73626601
2.79211763
2.84770504

ตัวอย่างที่ 5 วงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วมมีวงจรและกราฟดังรูปที่ 7.5 ก. และรูปที่ 7.5 ข. ตามลำดับ ต้องการวิเคราะห์แรงดันเอาท์พุทของวงจรนี้ต่อสัญญาณอินพุทแบบ Unit step ขนาด 10^{-4} แอมแปร์ การเตรียมข้อมูลสามารถจัดเตรียมได้ดังตารางที่ 7.9 เอาท์พุทของคอมพิวเตอร์ได้แสดงผลเป็นกราฟของแรงดันต่อเวลา ดังตารางที่ 7.10

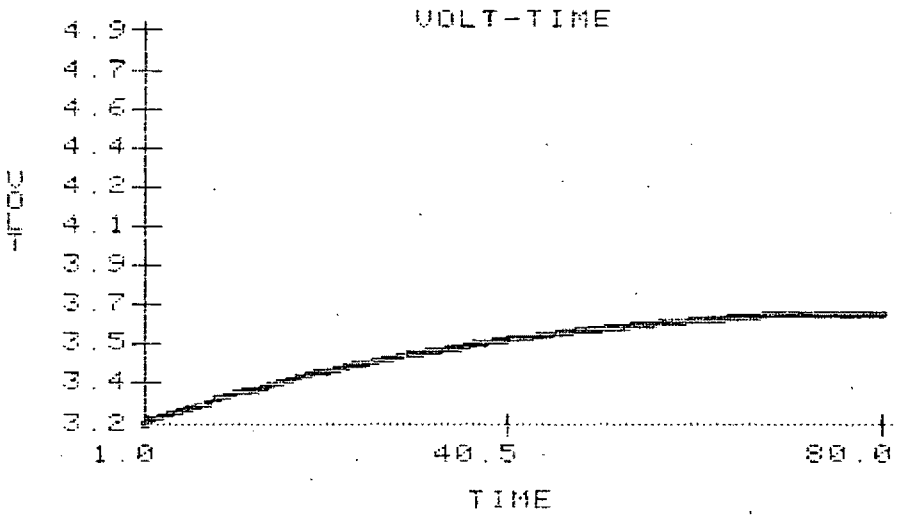
```
EDGE NODE VV II
 9    4   0  2

NUMBER VOLTAGE TO BE PLOTTED 1
NUMBER CURRENT TO BE PLOTTED 0
NUMBER DC BIAS SOURCE 0
INITIAL TIME 0
TIME STEP 5E-6
```

E	N1	N2	TYPE	OHM/H/F	VOLT	AMP
1	1	2	R	2E4	2	1E-4
2	2	4	R	3E3	1	1E-4
3	2	1	N	0	-2	-5E-4
4	2	3	N	0	.3	5E-4
5	3	4	R	300	.3	5E-4
6	3	4	C	1E-6	.3	1E-5
7	1	4	R	5E3	3	7E-4
8	4	1	S	0	3	2E-3
9	4	2	S	0	1	1E-4

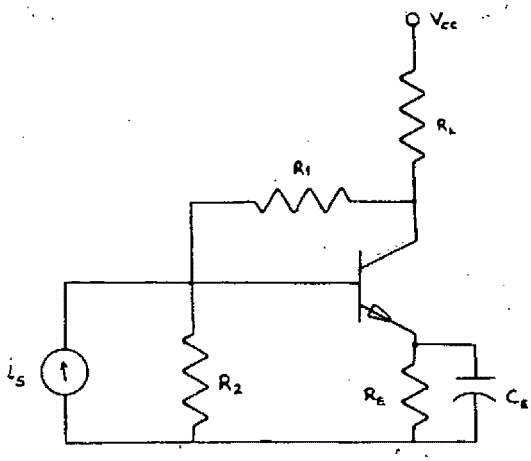
```
ALPHA F .98
ALPHA R .5
VT 38.4615
```

```
VECTOR VOLT TO BE PLOTTED 7
INDEPENDENT SOURCE VECTOR 9,8
FM = K1+K2*SIN(314.16*T)
K1 = 2E-3 K2 = 0
K1 = 1E-4 K2 = 0
```

ตารางที่7.9 ข้อมูลเริ่มต้นสำหรับการวิเคราะห์วงจรจากรูปที่ 7.5ก



แรงดันไฟฟ้าคร่อมความต้านทานที่เวลาต่างๆแสดงเป็นกราฟโดยย่อจากตัวอย่างที่5

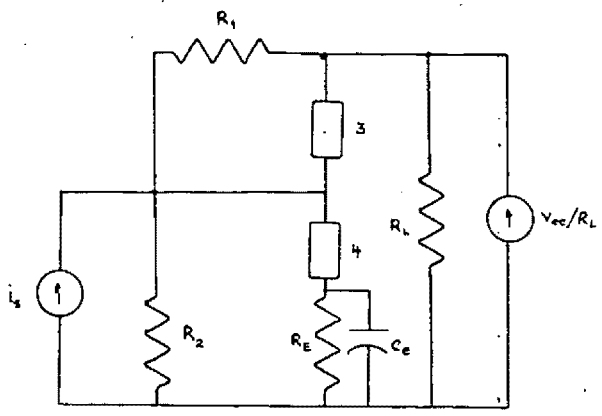


$i_S = 10^{-4}\ U(t)$, Vcc = 10 VOLT

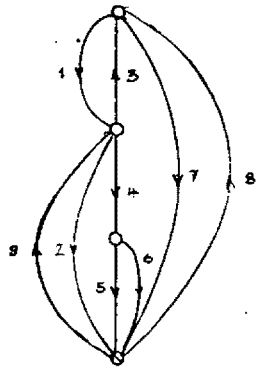
$R_L = 5K\Omega$, $R_E = 0.3K\Omega$, $c_E = 1\mu F$

$R_1 = 20K\Omega$ $R_2 = 3K\Omega$

รูปที่ 7.5 ก. วงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม



รูปที่ 7.5 ข. โมเดลของอีเบอร์-มอลล์จากวงจรตามรูปที่ 7.5 ก.



รูปที่ 7.5 ค. กราฟของวงจรตามรูปที่ 7.5 ข.

V(7) VERSUS TIME

MINIMUM 3.19710111 MAXIMUM 4.91848602

TIME

0	0	
1	5E-06	
2	1E-05	
3	1.5E-05	
4	2E-05	
5	2.5E-05	
6	3E-05	
7	3.5E-05	
8	4E-05	
9	4.5E-05	
10	5E-05	
11	5.5E-05	
12	6E-05	
13	6.5E-05	
14	7.00000001E-05	
15	7.50000001E-05	
16	8.00000001E-05	
17	8.50000001E-05	
18	9.00000001E-05	
19	9.50000001E-05	
20	1E-04	
21	1.05E-04	
22	1.1E-04	
23	1.15E-04	
24	1.2E-04	
25	1.25E-04	
26	1.3E-04	
27	1.35E-04	
28	1.4E-04	
29	1.45E-04	
30	1.5E-04	
31	1.55E-04	
32	1.6E-04	
33	1.65E-04	
34	1.7E-04	
35	1.75E-04	
36	1.8E-04	
37	1.85E-04	
38	1.9E-04	

	V(7)
*	4.91848602
*	3.19710111
*	3.21150281
*	3.22553129
*	3.23921106
*	3.25255168
*	3.2655616
*	3.27824904
*	3.29062199
*	3.3026883
*	3.3144556
*	3.32593131
*	3.33712268
*	3.3480368
*	3.35868055
*	3.36906065
*	3.37918365
*	3.38905595
*	3.39868378
*	3.4080732
*	3.41723016
*	3.4261604
*	3.43486957
*	3.44336314
*	3.4516465
*	3.45972483
*	3.46760324
*	3.47528668
*	3.48278
*	3.49008791
*	3.49721501
*	3.50416579
*	3.51094461
*	3.51755575
*	3.52400336
*	3.5302915
*	3.53642412
*	3.54240507
*	3.54823812

ตารางที่ 7.10 ผลการคำนวณที่ได้จากรูปที่ 7.5 ก.

```
39   1.95E-04!
40   2E-04   !
41   2.05E-04!
42   2.1E-04!
43   2.15E-04!
44   2.2E-04!
45   2.25E-04!
46   2.3E-04!
47   2.35E-04!
48   2.4E-04!
49   2.45E-04!
50   2.5E-04!
51   2.55E-04!
52   2.6E-04!
53   2.65E-04!
54   2.7E-04!
55   2.75E-04!
56   2.8E-04!
57   2.85E-04!
58   2.9E-04!
59   2.95E-04!
60   3E-04   !
61   3.05E-04!
62   3.1E-04!
63   3.15E-04!
64   3.2E-04!
65   3.25E-04!
66   3.3E-04!
67   3.35E-04!
68   3.4E-04!
69   3.45E-04!
70   3.5E-04!
71   3.55E-04!
72   3.6E-04!
73   3.65E-04!
74   3.7E-04!
75   3.75E-04!
76   3.8E-04!
77   3.85E-04!
78   3.9E-04!
79   3.95E-04!
```

```
*     3.55392693
*     3.55947507
*     3.56488604
*     3.57016322
*     3.57530994
*     3.58032942
*     3.58522482
*     3.58999921
*     3.59465558
*     3.59919687
*     3.60362591
*     3.60794549
*     3.61215832
*     3.61626704
*     3.62027423
*     3.6241824
*     3.62799399
*     3.63171141
*     3.63533699
*     3.63887298
*     3.64232162
*     3.64568506
*     3.64896541
*     3.65216472
*     3.655285
*     3.65832821
*     3.66129624
*     3.66419097
*     3.6670142
*     3.6697677
*     3.67245319
*     3.67507236
*     3.67762684
*     3.67762684
*     3.67762684
*     3.67762684
*     3.67762684
*     3.67762684
*     3.67762684
*     3.67762684
*     3.67762684
```

ตัวอย่างที่ 6 วงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม ดังรูป 7.5 ก. ต้องการคำนวณ R_L และ R_E เมื่อต้องการแรงดันเอาท์พุทที่เวลาต่างๆ ดังตารางที่ 7.11โดยการให้ข้อมูลตามตารางดังกล่าว หลังการคำนวณ 5 อิเทเรชั่น เราจะได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 7.12

```
NUMBER EDGE 9
NUMBER NODE 4
NO.INDEPENDENT VOLTAGE 0
NO.INDEPENDENT CURRENT 2

E  N1  N2  TYPE  OHM/H/F  VOLT   AMP
1  1   2    R    2E4      2      1E-4
2  2   4    R    3E3      1      1E-4
3  2   1    N    0        -2     -5E-4
4  2   3    N    0        .3     5E-4
5  3   4    R    100      .3     5E-4
6  3   4    C    1E-6     .3     1E-5
7  1   4    R    1E3      3      7E-4
8  4   1    S    0        3      2E-3
9  4   2    S    0        1      1E-4

INDEPENDENT SOURCE VECTOR 9,8
NO.OF DESIRE  TIME POINTS 5
NUMBER PARAMETER 2
ELEMENT 5 MAX 5E4  MIN 0.5
ELEMENT 7 MAX 5E4  MIN 0.5
DESIRED VOLTAGE VECTOR 7
INITIAL TIME 0
STEP SIZE 5E-6
```

```
TIME 1E-4  VOLT 3.38
TIME 2E-4  VOLT 3.53
TIME 3E-4  VOLT 3.63
TIME 4E-4  VOLT 3.69
TIME 5E-4  VOLT 3.73
NUMBER DESIRED CURRENT 0
FM = K1+K2*SIN(314.16*T)
K1 = 1E-4  K2 = 0
K1 = 2E-3  K2 = 0
```

ตารางที่ 7.11 อินพุทของการออกแบบวงจรต่อสัญญาณใดๆ โดยอัตโนมัติ

INITIAL GUESS CKT

CKT(5) = 100

CKT(57 = 1000

TIME POINTS	DESIRED RESPONSE
1E-4	VD(7) = 3.38
2E-4	VD(7) = 3.53
3E-4	VD(7) = 3.63
4E-4	VD(7) = 3.69
5E-4	VD(7) = 3.73

THE TOTAL NUMBER OF MAJOR ITERATIONS = 1

TOTAL NO.OF ITERATIONS OF SEARCHING LAMD = 5

THE SQUARE ERROR = 4.54011389E-03

THE FINAL CIRCUIT CKT

CKT(5) = 466.315109

CKT(7) = 3623.9822

ตารางที่ 7.12 ผลลัพธ์ของการออกแบบวงจรต่อสัญญาณใดๆ โดยอัตโนมัติ