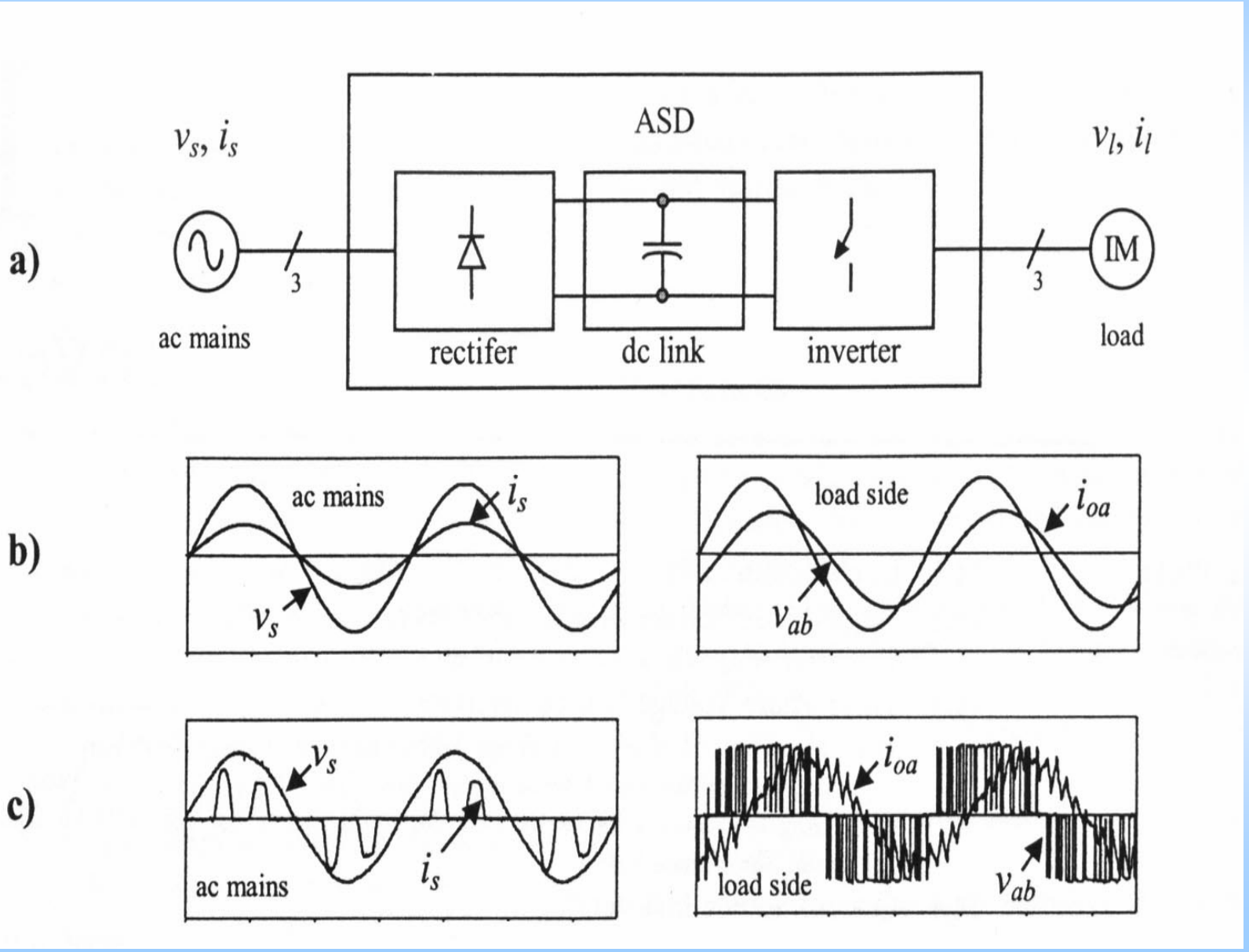
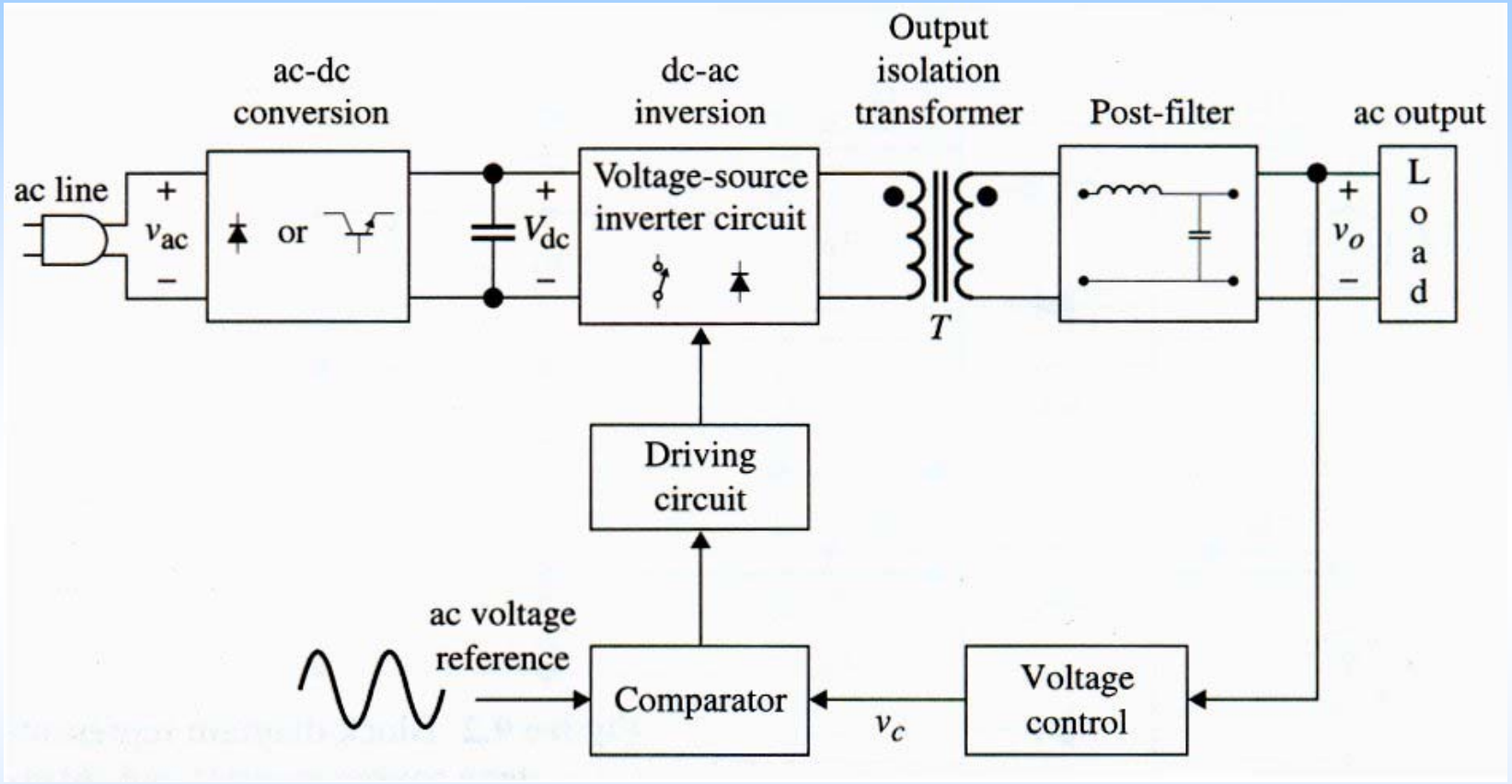
หน่วยที่ 9

วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

(dc to ac converter)

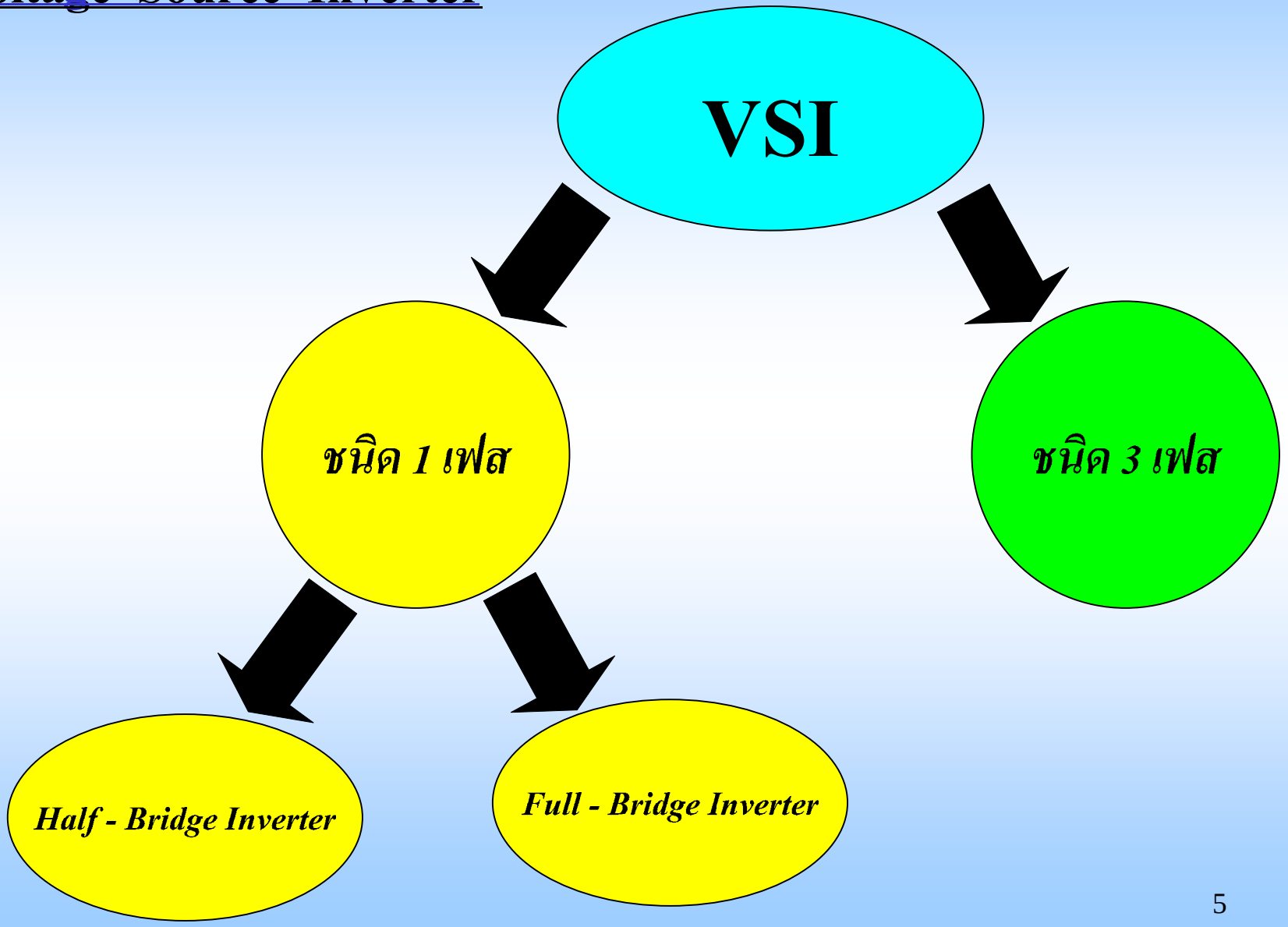
9.1 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์


a)
v_s, i_s
ASD
v_l, i_l
3
3
IM
ac mains
rectifer
dc link
inverter
load
b)
ac mains
i_s
v_s
load side
i_{oa}
v_{ab}
c)
v_s
ac mains
i_s
i_{oa}
load side
v_{ab}

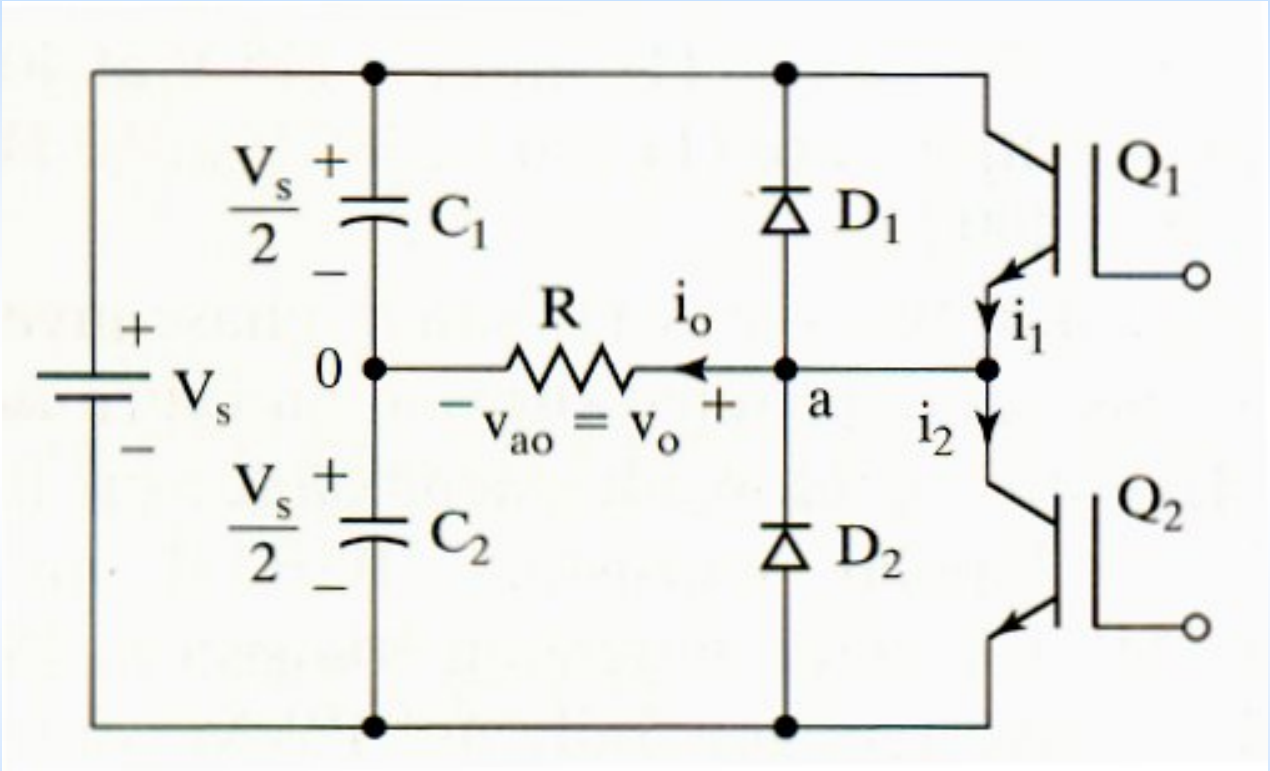


Block diagram ของ Inverter

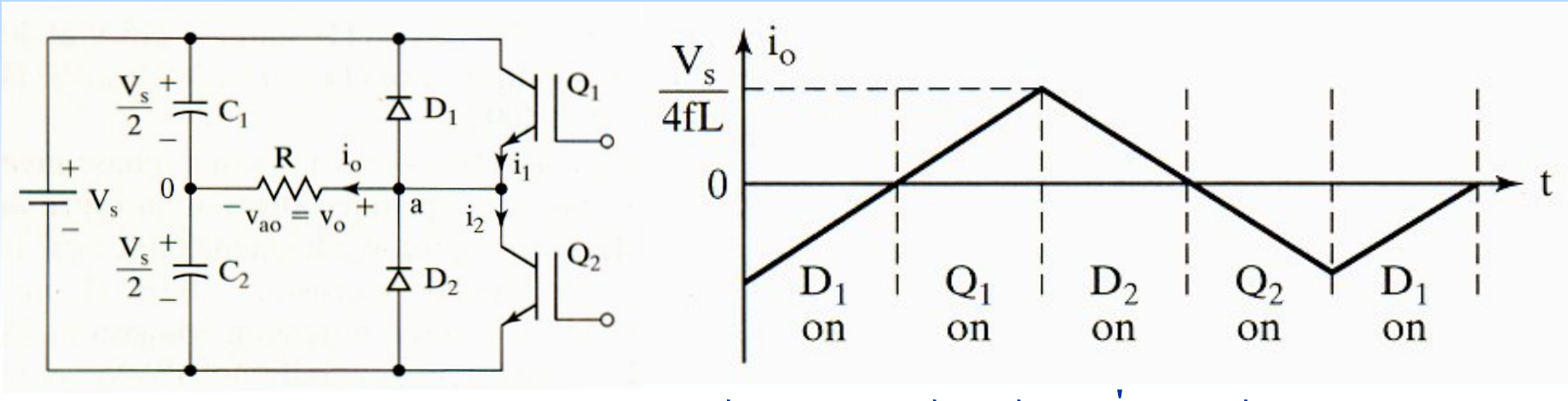
Voltage Source Inverter



9.1.1 วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์



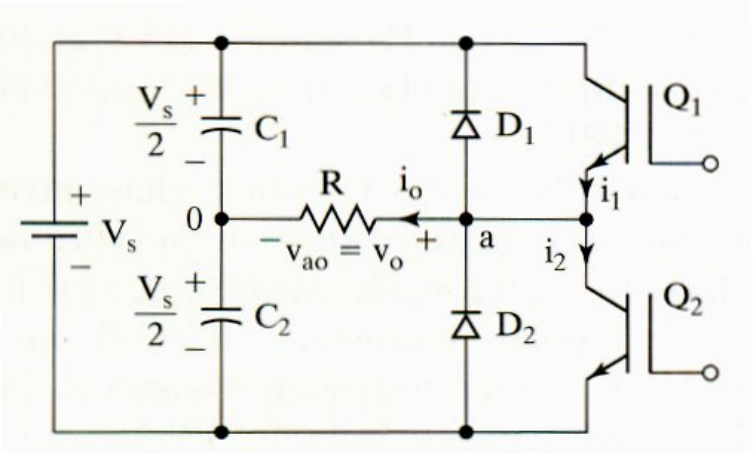
วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์

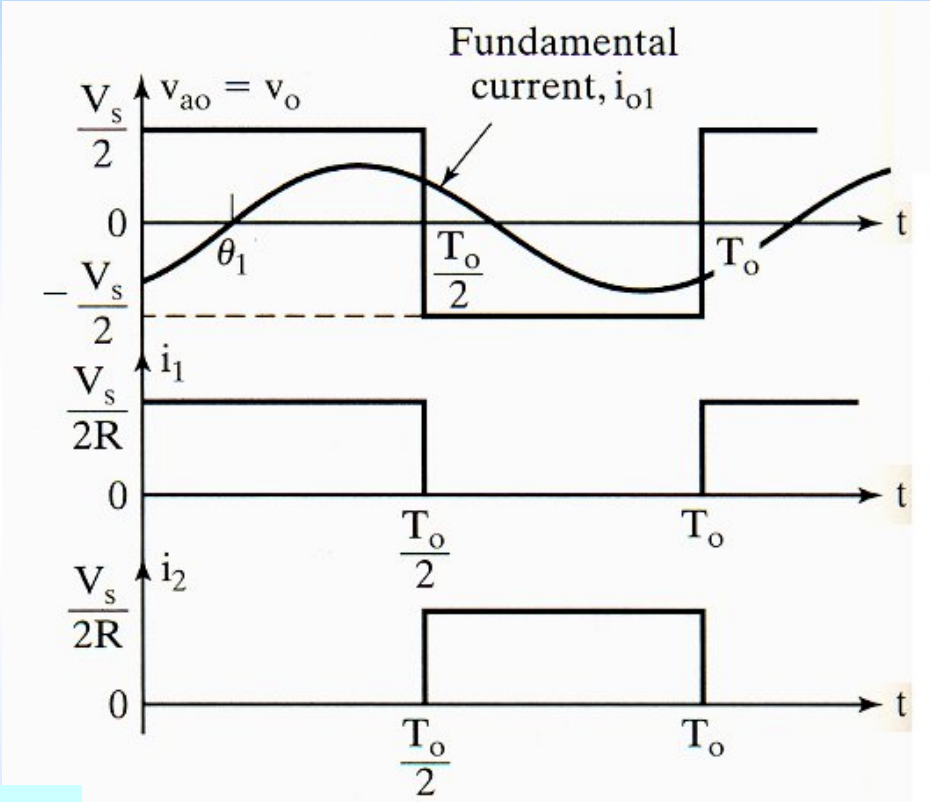


ตารางจังหวะการทำงานแต่ละสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์

Stage	State #	v_o	Components Conducting
Q1 is on *Q2* is off	1	$v_S/2$	*Q1* if $i_o > 0$ *D1* if $i_o < 0$
Q2 is on *Q1* is off	2	$-v_S/2$	*D2* if $i_o > 0$ *Q2* if $i_o < 0$
Q1 and *Q2* are is off	3	$-v_S/2$ $v_S/2$	*D2* if $i_o > 0$ *D1* if $i_o < 0$

วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์

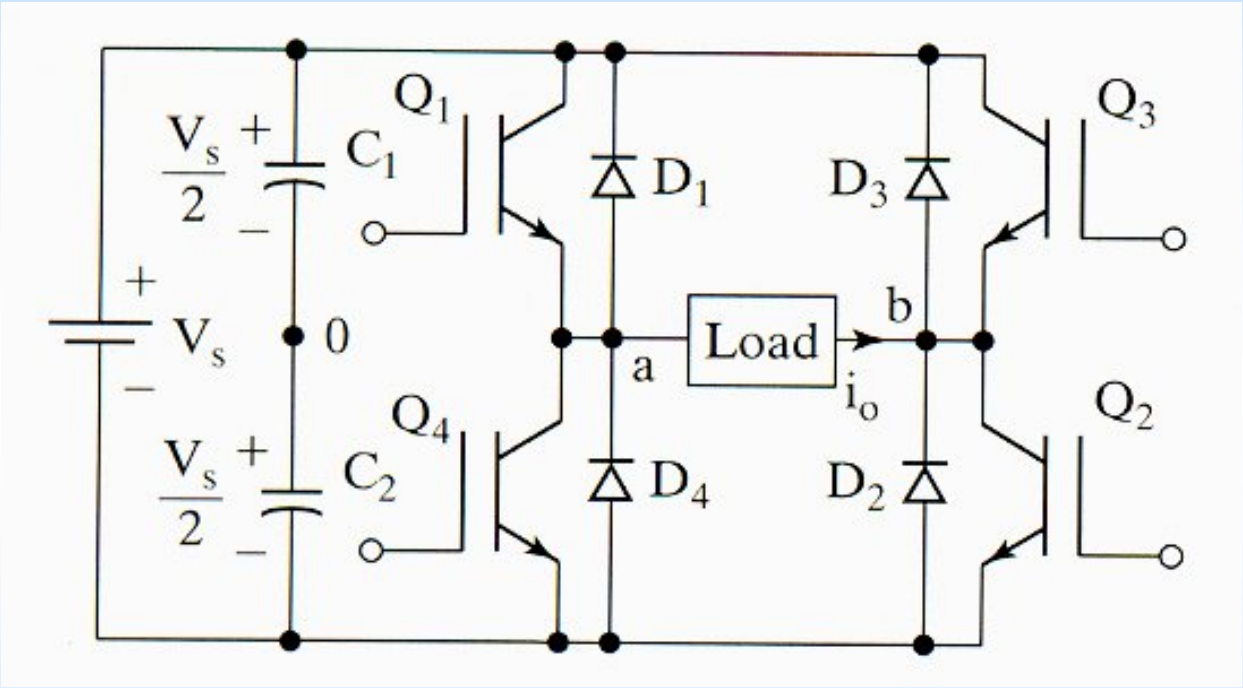




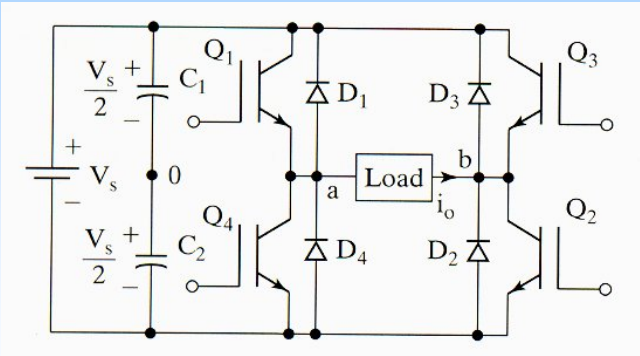
แรงดันเอาต์พุต RMS

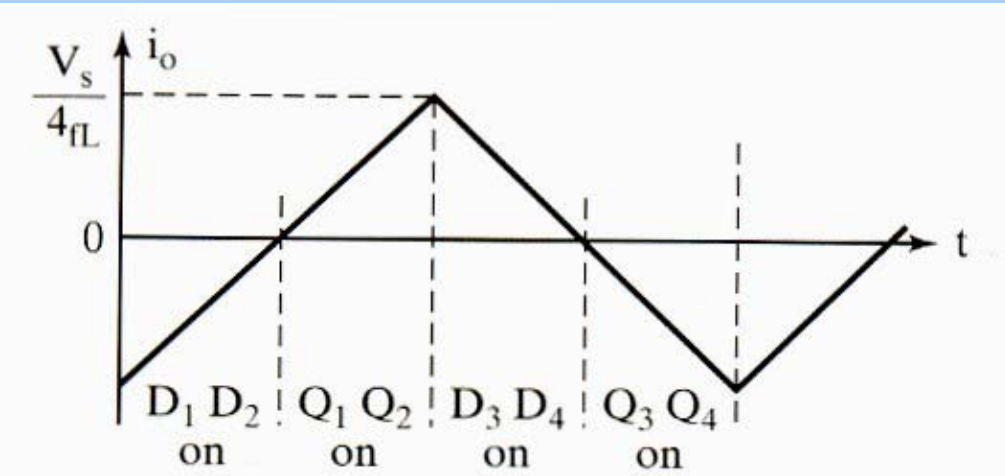
$$V_O = \sqrt{\frac{2}{T_O}\int_0^{T_O/2}\frac{V_S^2}{4}dt} = \frac{V_S}{2}$$

9.1.2 วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดบริดจ์



อินเวอร์เตอร์ชนิดบริดจ์

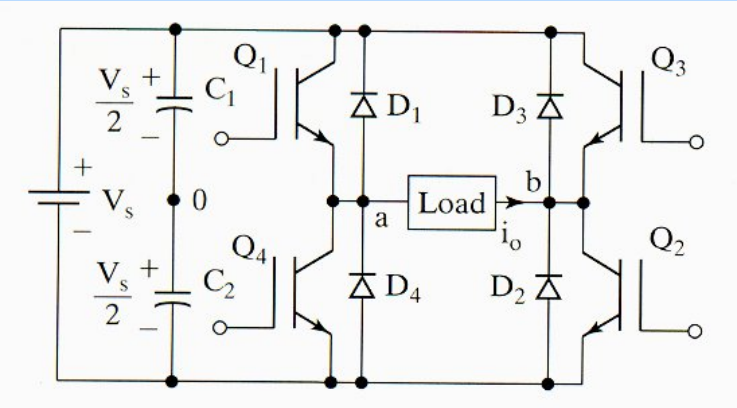


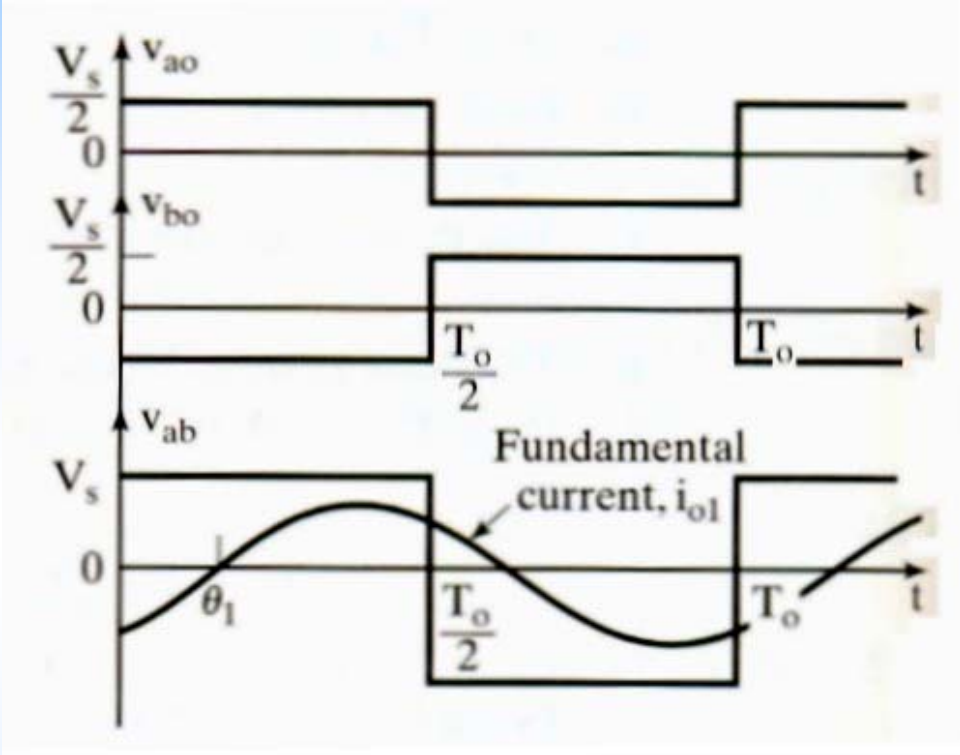


ตารางจังหวะการทำงานของสวิตซ์แต่ละตัวของอินเวอร์เตอร์ชนิดบริดจ์

Stage	State #	v_{aN}	v_{bN}	v_o	Components Conducting
Q1 and *Q2* are on and *Q3* and *Q4* are off	1	$v_S/2$	$-v_S/2$	v_S	*Q1* and *Q2* if $i_o > 0$ *D1* and *D2* if $i_o < 0$
Q3 and *Q4* are on and *Q1* and *Q4* are off	2	$-v_S/2$	$v_S/2$	$-v_S$	*D3* and *D4* if $i_o > 0$ *Q3* and *Q4* if $i_o < 0$
Q1 and *Q3* are on and *Q2* and *Q4* are off	3	$v_S/2$	$v_S/2$	0	*Q1* and *D3* if $i_o > 0$ *D1* and *Q3* if $i_o < 0$
Q2 and *Q4* are on and *Q1* and *Q3* are off	4	$-v_S/2$	$-v_S/2$	0	*D4* and *Q2* if $i_o > 0$ *Q4* and *D2* if $i_o < 0$
Q1, *Q2*, *Q3* and *Q4* are all off	5	$-v_S/2$ $v_S/2$	$-v_S$ v_S	$-v_S/2$ $-v_S/2$	*D3* and *D4* if $i_o > 0$ *D1* and *D2* if $i_o < 0$

อินเวอร์เตอร์ชนิดบริดจ์

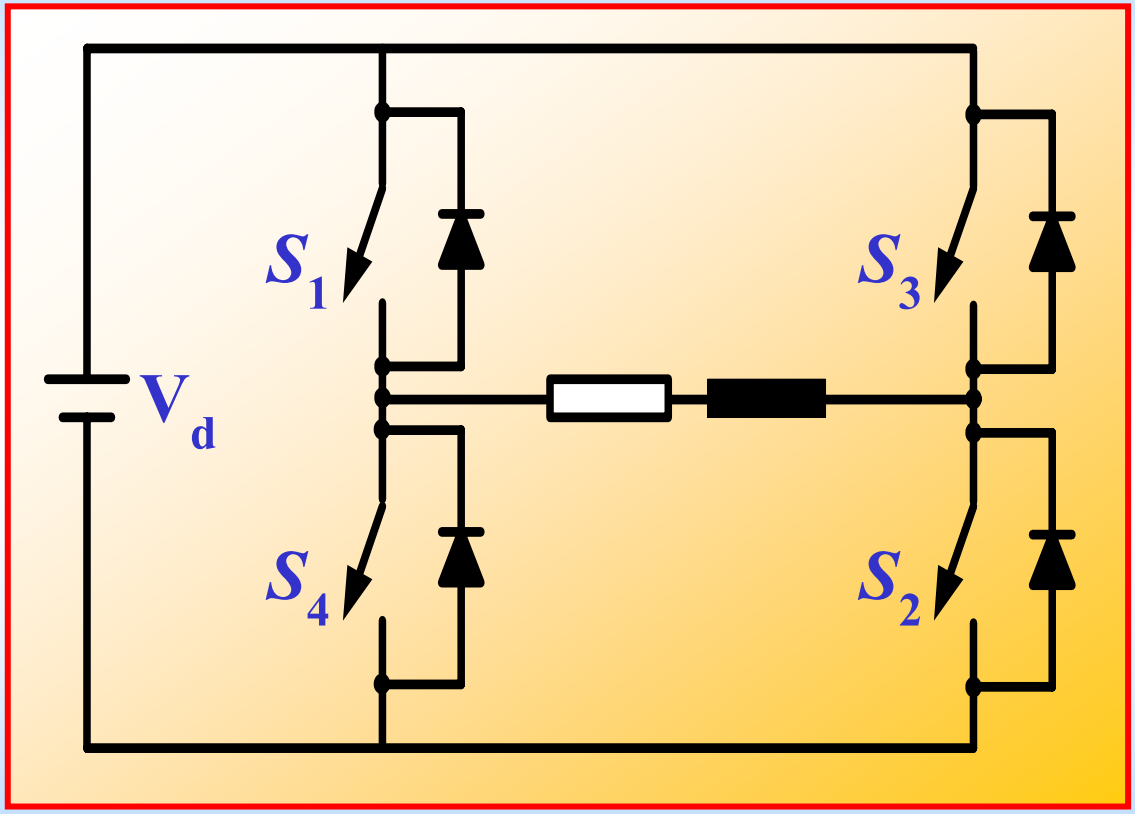


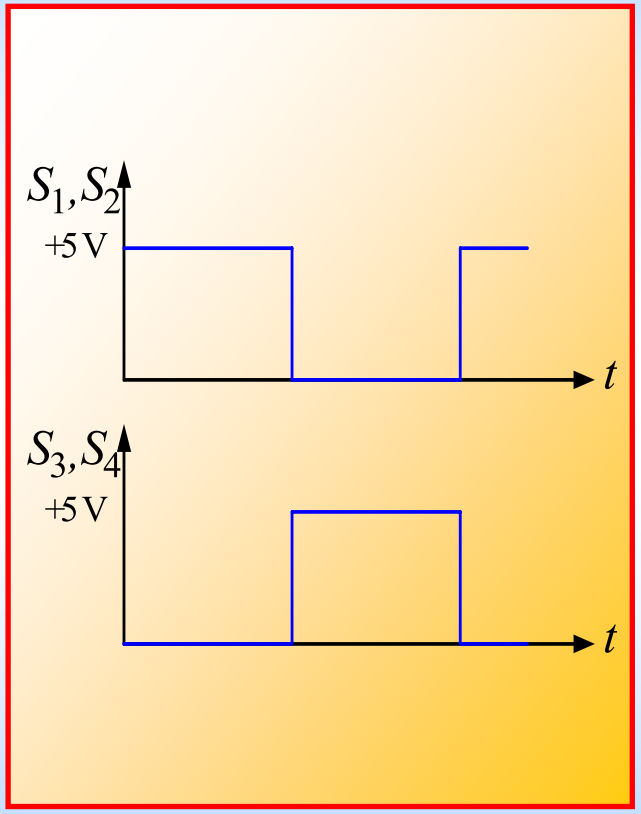


แรงดัน RMS เอาต์พุต

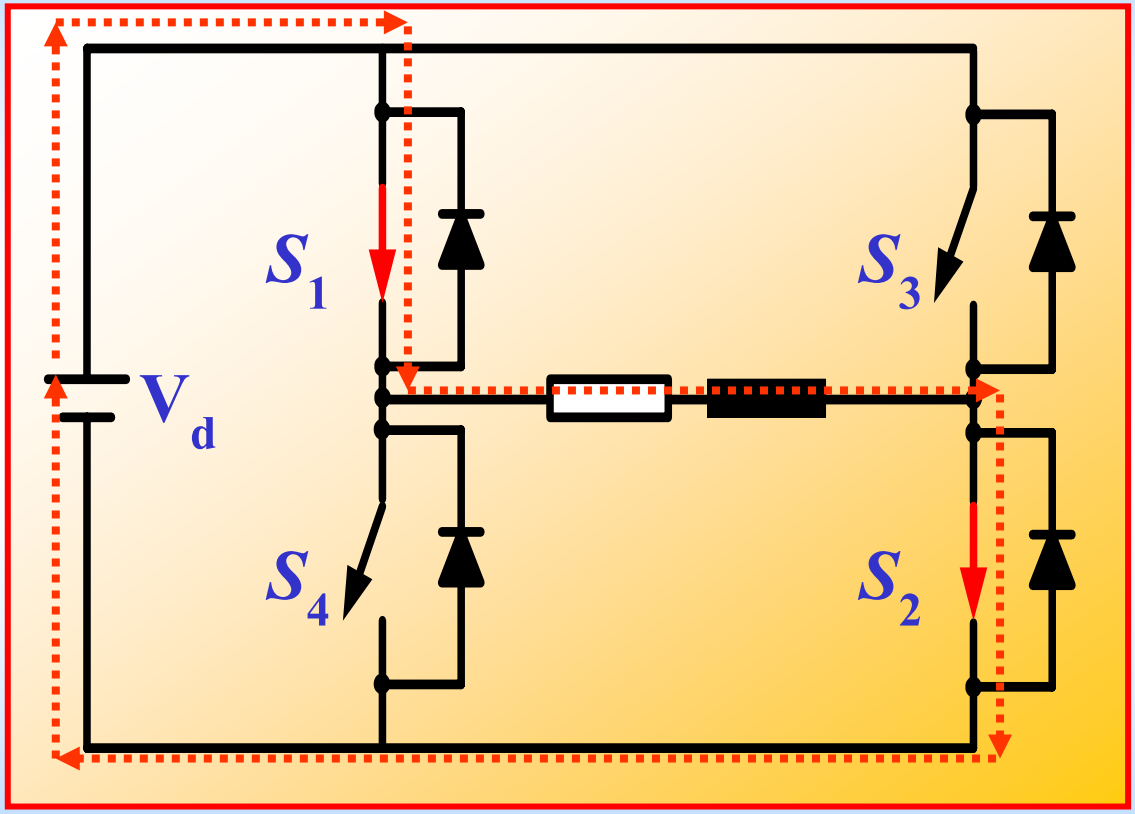
$$V_O = \left[\frac{2}{T_O}\int_O^{T_O/2} V_S^2\, dt\right]^{1/2} = V_S$$

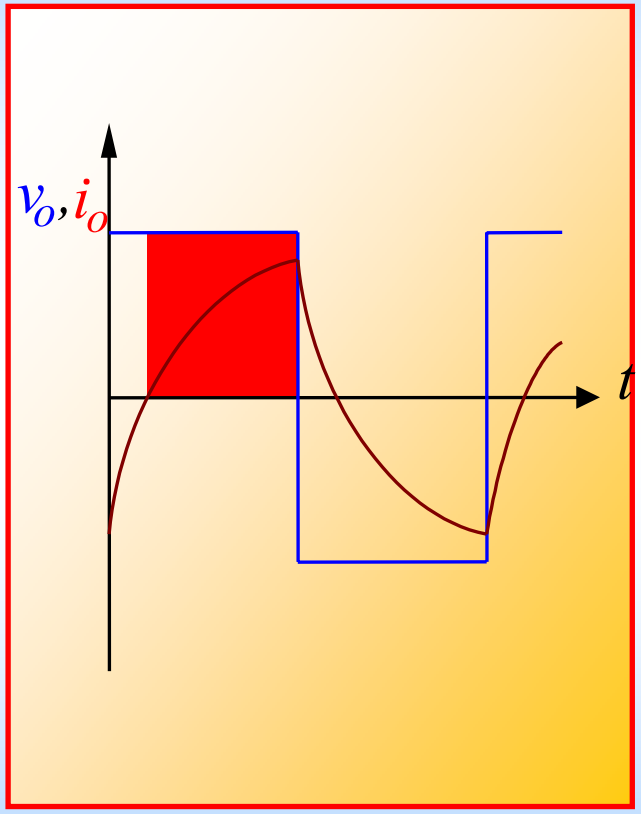
โหมดการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส แบบ Square Wave





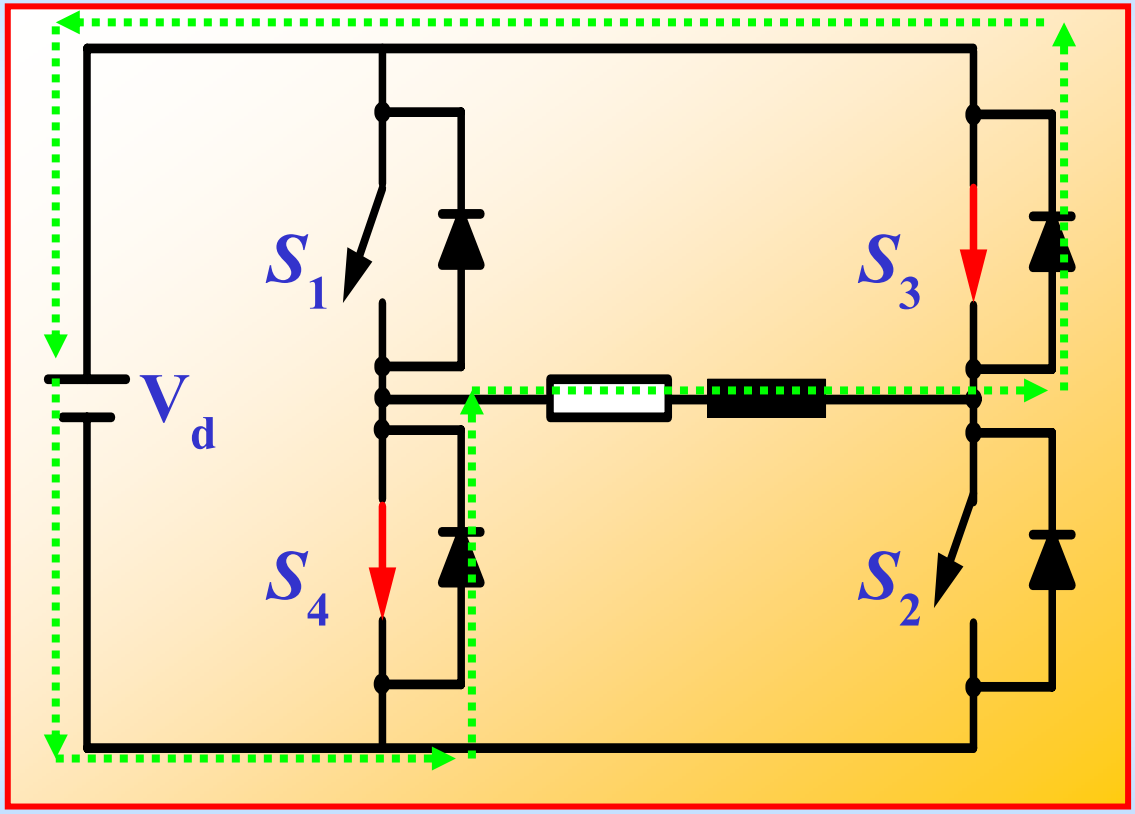
Mode 1

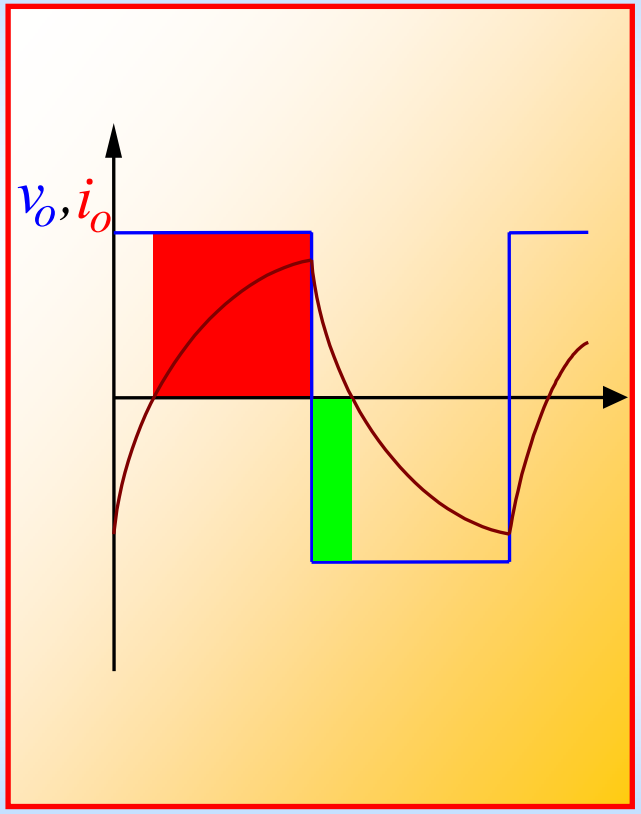




แรงดัน (+) กระแส (+)

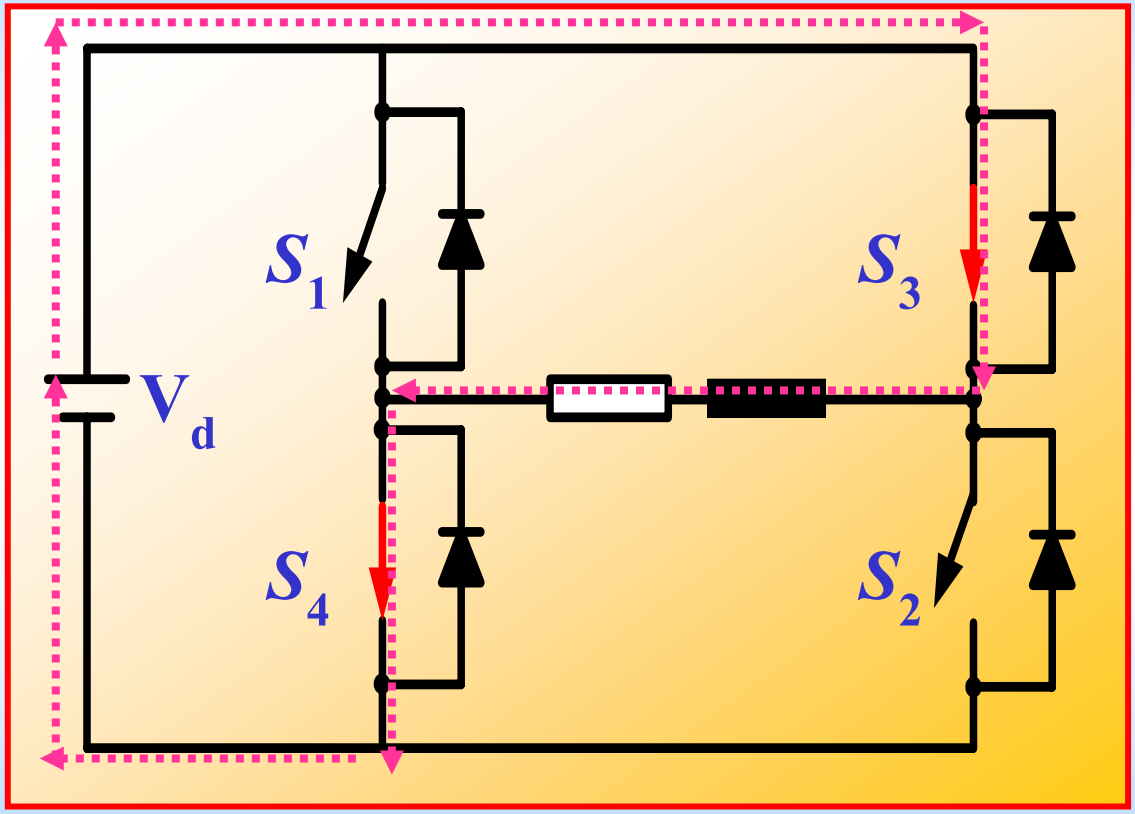
Mode 2

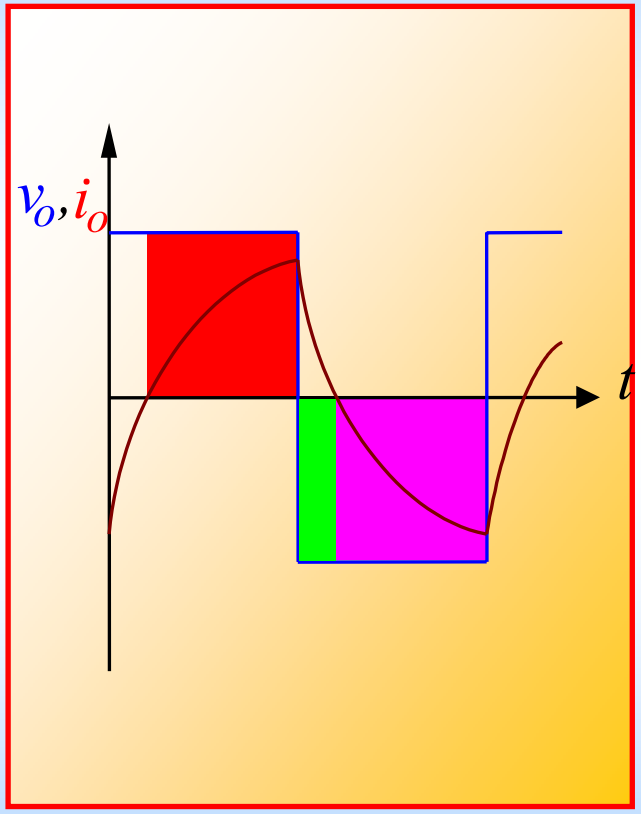




แรงดัน (-) กระแส (+)

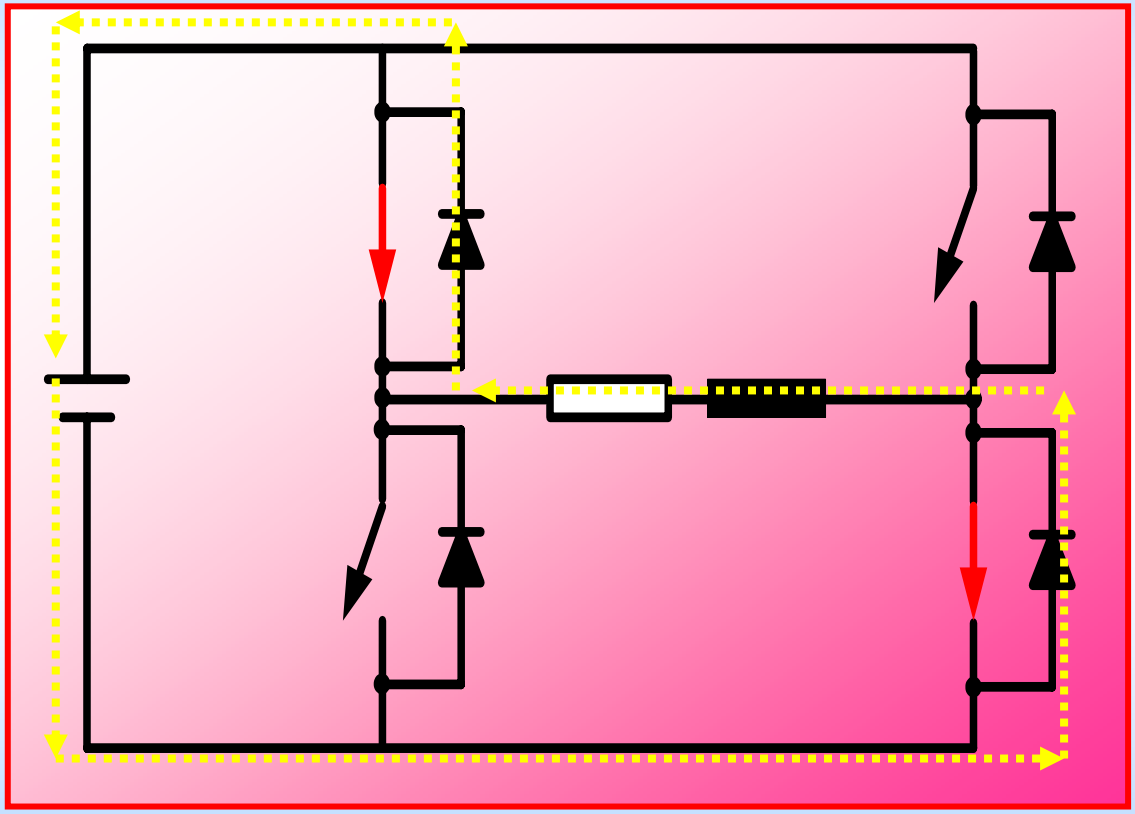
Mode 3

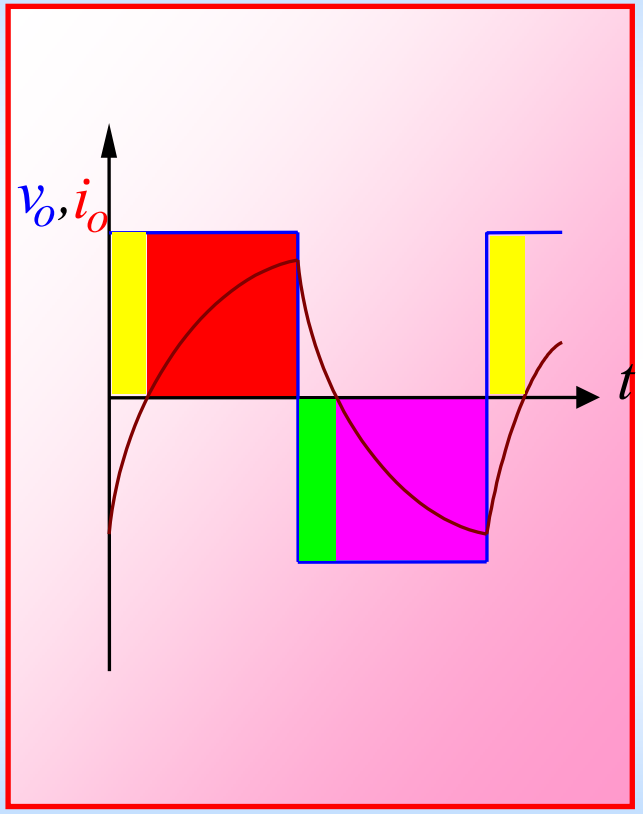




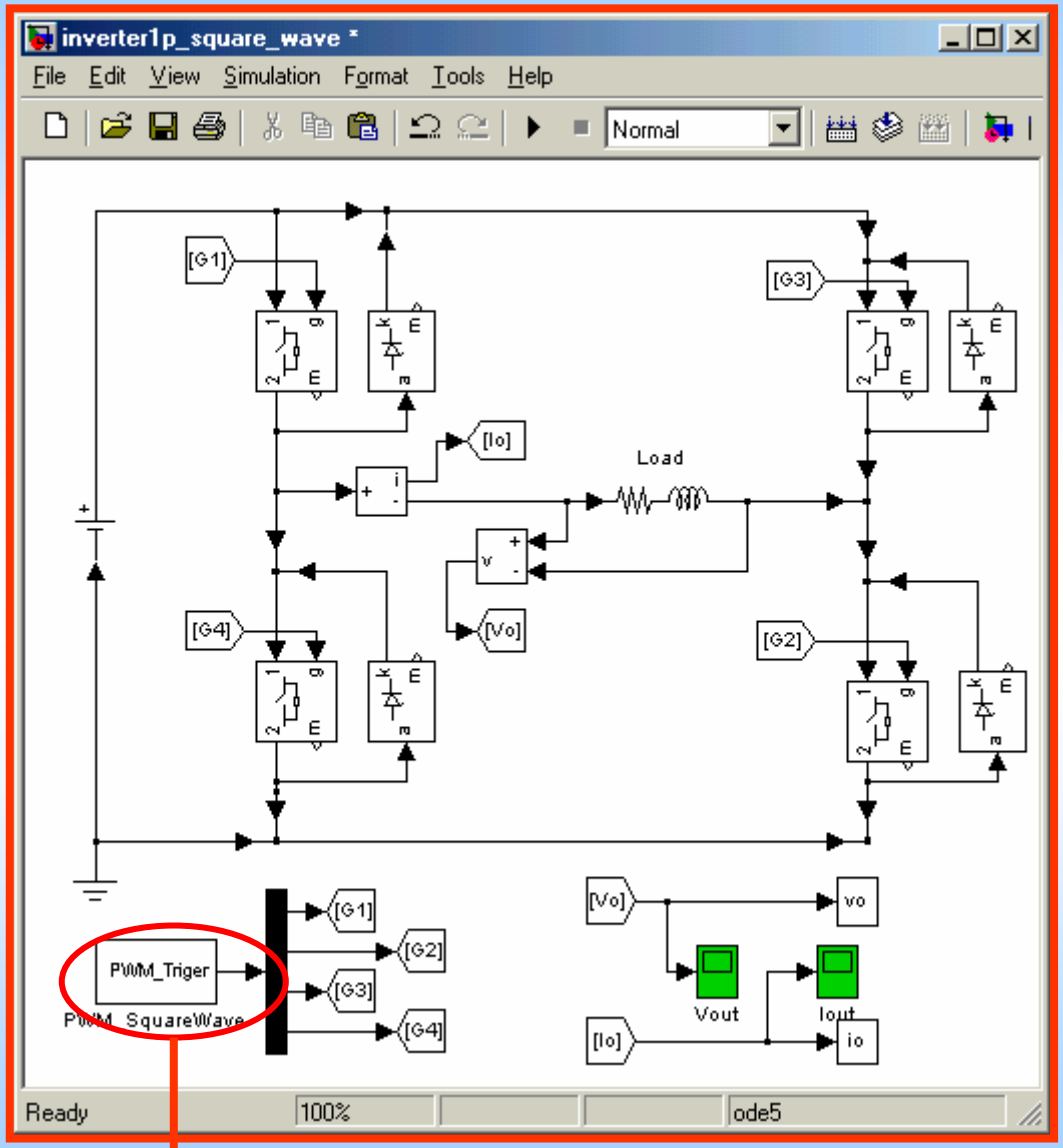
แรงดัน (-) กระแส (-)

Mode 4





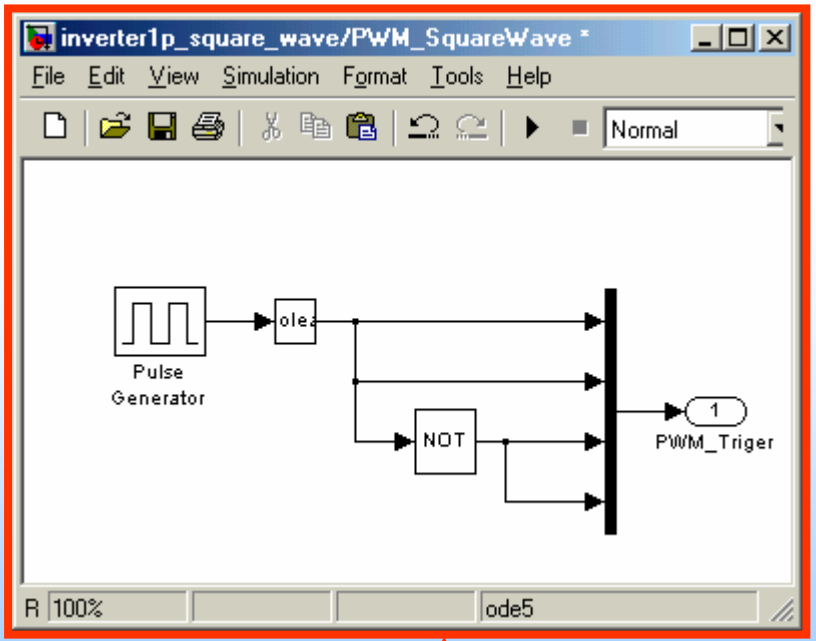
แรงดัน (+) กระแส (-)

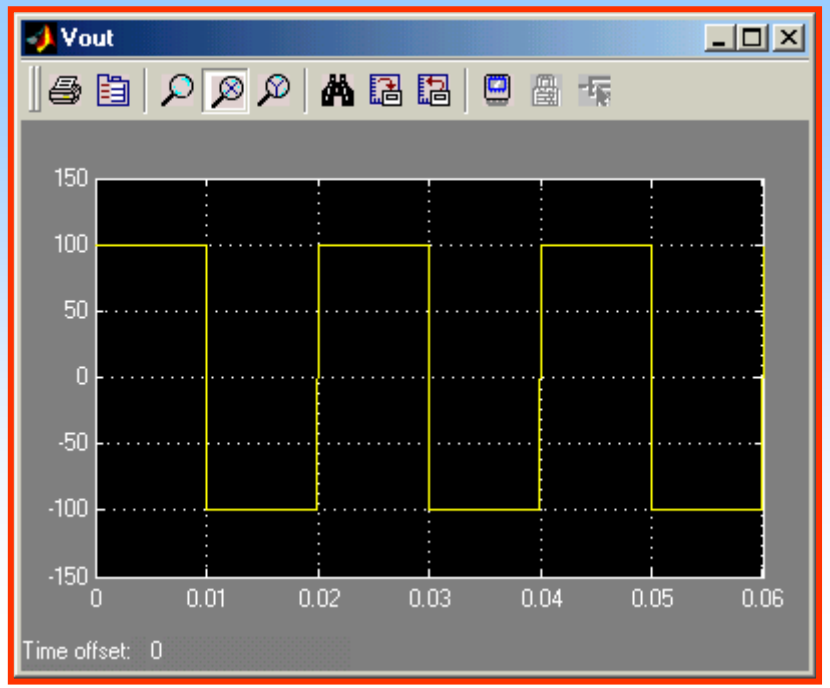


วงจรจำลองอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

แบบ Square Wave

Vdc=100 V. R=20 Ω L=50 mH




Vout
150
100
50
0
-50
-100
-150
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
Time offset: 0

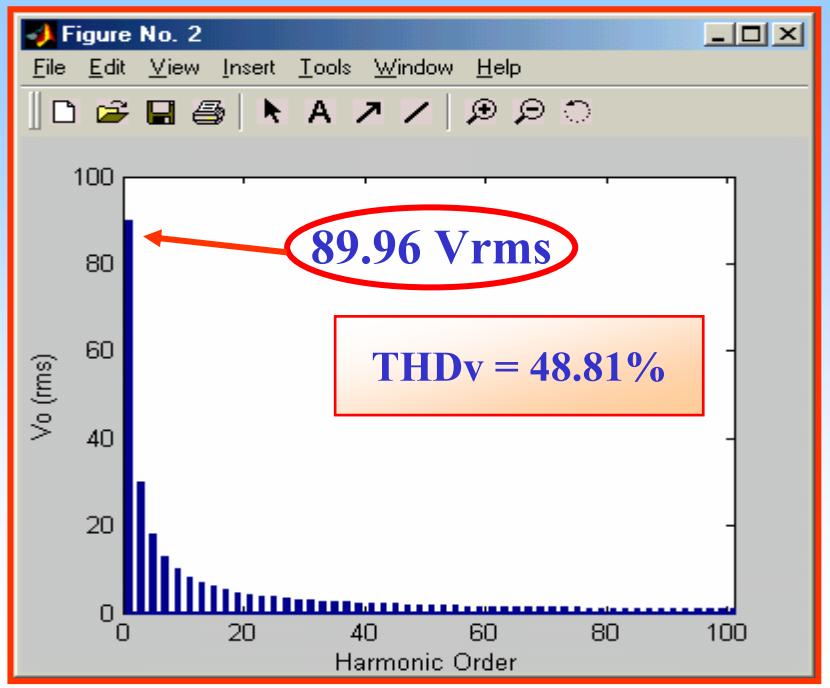
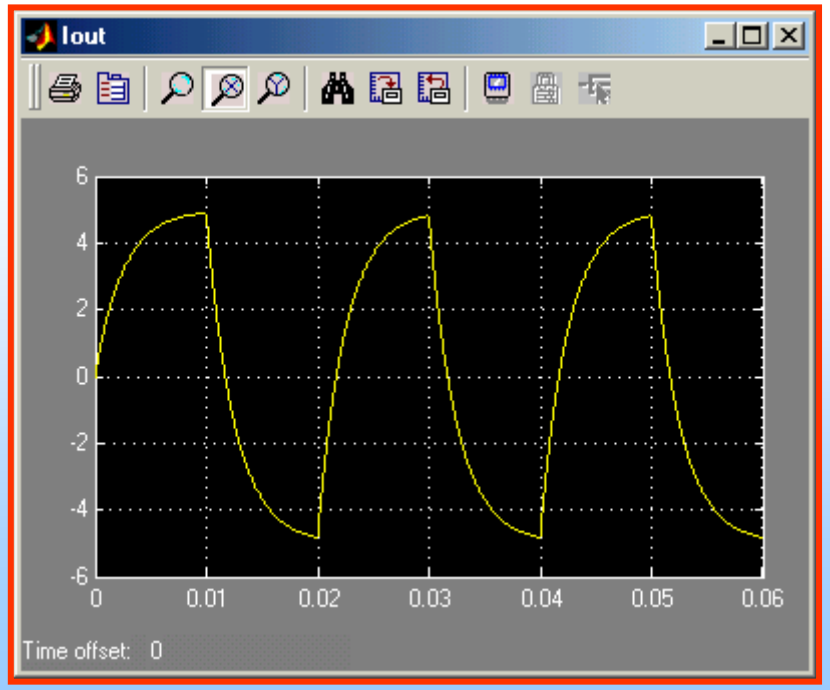


Figure No. 2
File Edit View Insert Tools Window Help
100
80
60
40
20
0
Vo (rms)
89.96 Vrms
THDv = 48.81%
0
20
40
60
80
100
Harmonic Order


Iout
6
4
2
0
-2
-4
-6
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
Time offset: 0

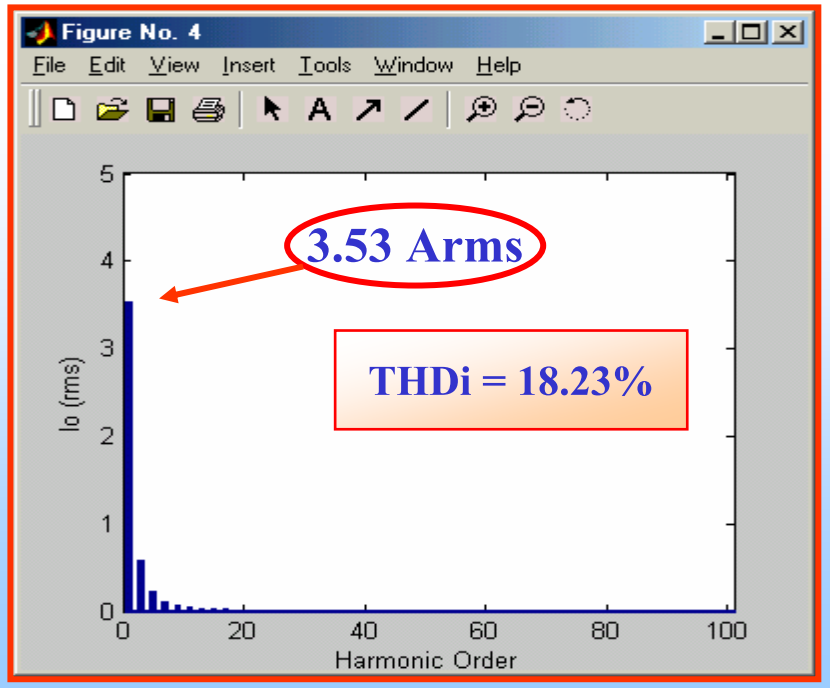
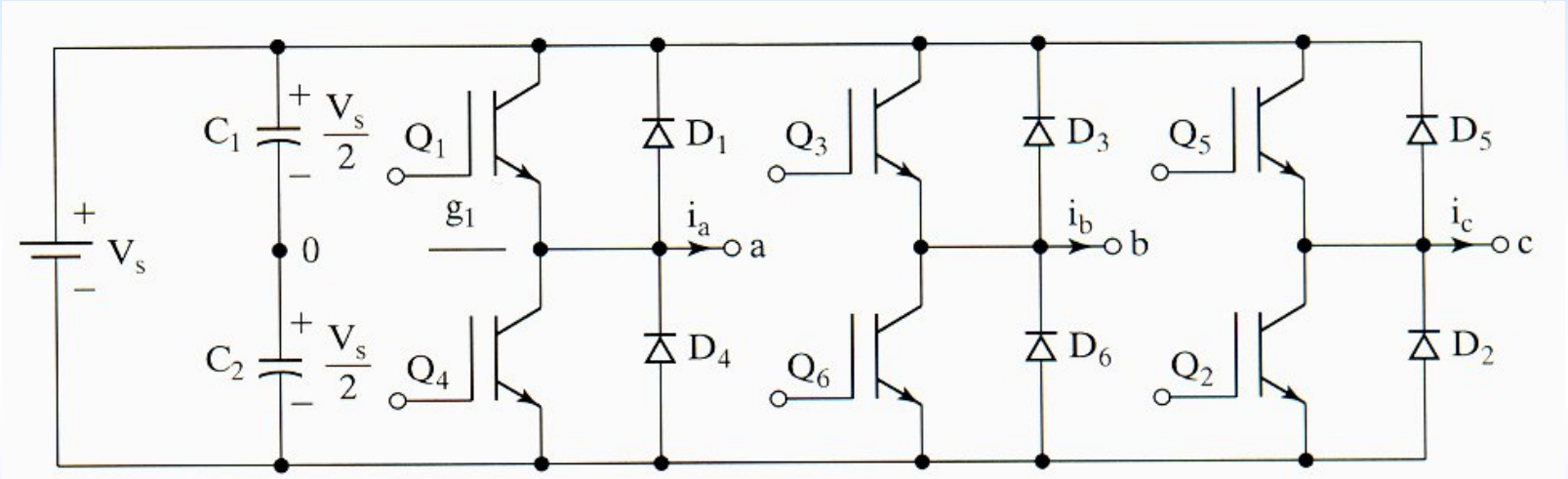
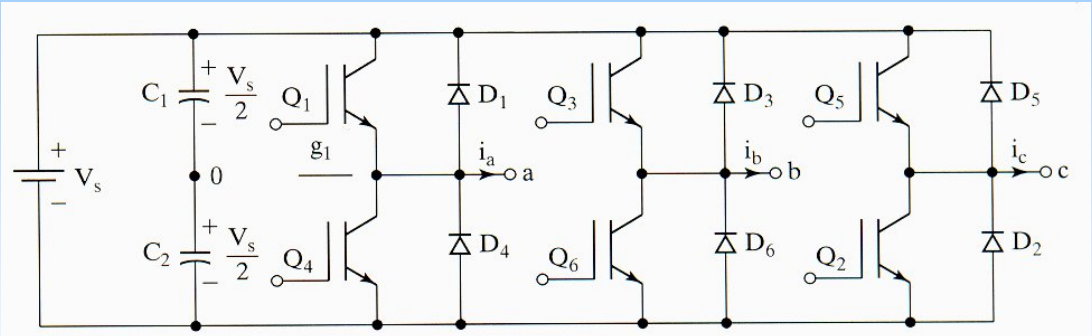


Figure No. 4
File Edit View Insert Tools Window Help
5
4
3
2
1
0
Io (rms)
3.53 Arms
THDi = 18.23%
0
20
40
60
80
100
Harmonic Order

9.1.3 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส



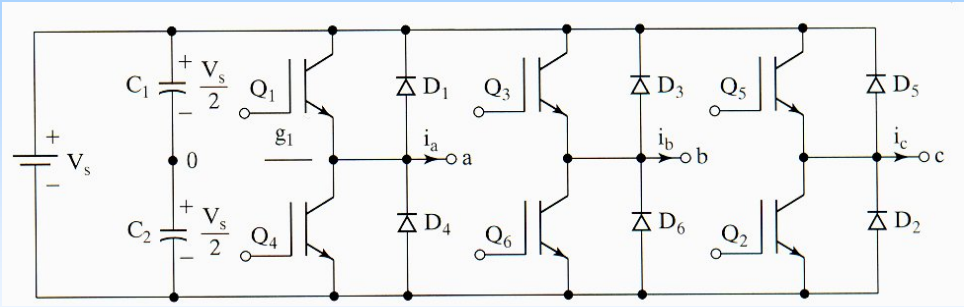
วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส



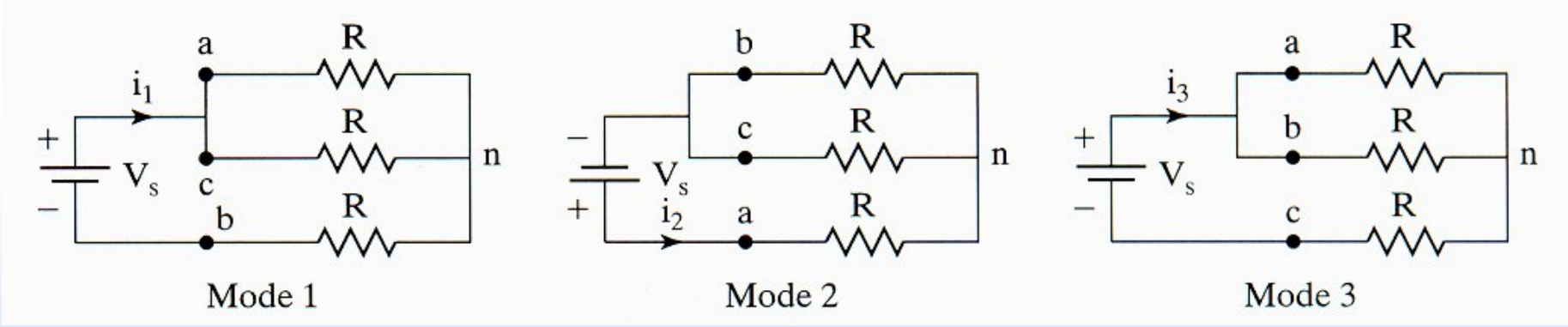
ตารางจังหวะการทำงานแต่ละสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

State	State No.	Switch States	v_{ab}	v_{bc}	v_{ca}	Space Vector
S_1, S_2, and S_6 are on and S_4, S_5, and S_3 are off	1	100	V_S	0	$-V_S$	$\mathbf{V_1} = 1 + j0.577 = 2/\sqrt{3}\ \angle 30°$
S_2, S_3, and S_1 are on and S_5, S_6, and S_4 are off	2	110	0	V_S	$-V_S$	$\mathbf{V_2} = j1.155 = 2/\sqrt{3}\ \angle 90°$
S_3, S_4, and S_2 are on and S_6, S_1, and S_5 are off	3	010	$-V_S$	V_S	0	$\mathbf{V_3} = -1 + j0.577 = 2/\sqrt{3}\ \angle 150°$
S_4, S_5, and S_3 are on and S_1, S_2, and S_6 are off	4	011	$-V_S$	0	V_S	$\mathbf{V_4} = -1 - j0.577 = 2/\sqrt{3}\ \angle 210°$
S_5, S_6, and S_4 are on and S_2, S_3, and S_1 are off	5	001	0	$-V_S$	V_S	$\mathbf{V_5} = -j1.155 = 2/\sqrt{3}\ \angle 270°$
S_6, S_1, and S_5 are on and S_3, S_4, and S_2 are off	6	101	V_S	$-V_S$	0	$\mathbf{V_6} = 1 - j0.577 = 2/\sqrt{3}\ \angle 330°$
S_1, S_3, and S_5 are on and S_4, S_6, and S_2 are off	7	111	0	0	0	$\mathbf{V_7} = 0$
S_4, S_6, and S_2 are on and S_1, S_3, and S_5 are off	8	000	0	0	0	$\mathbf{V_0} = 0$

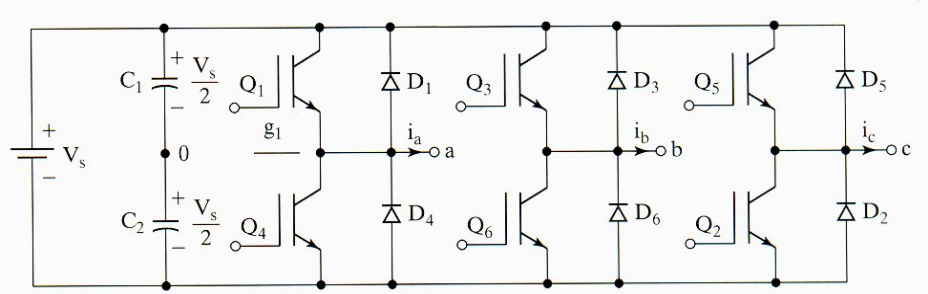
วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส



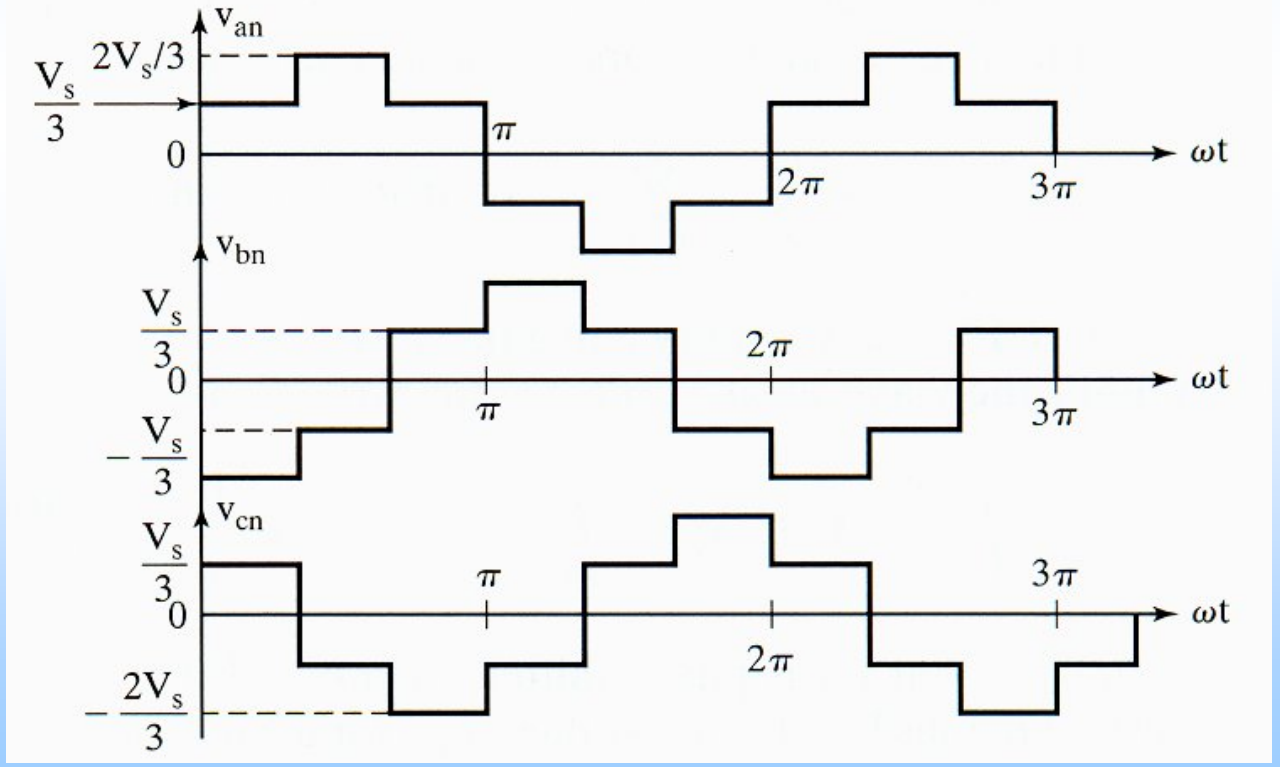
แสดงวงจรแต่ละจังหวะการทำงานของสวิตช์



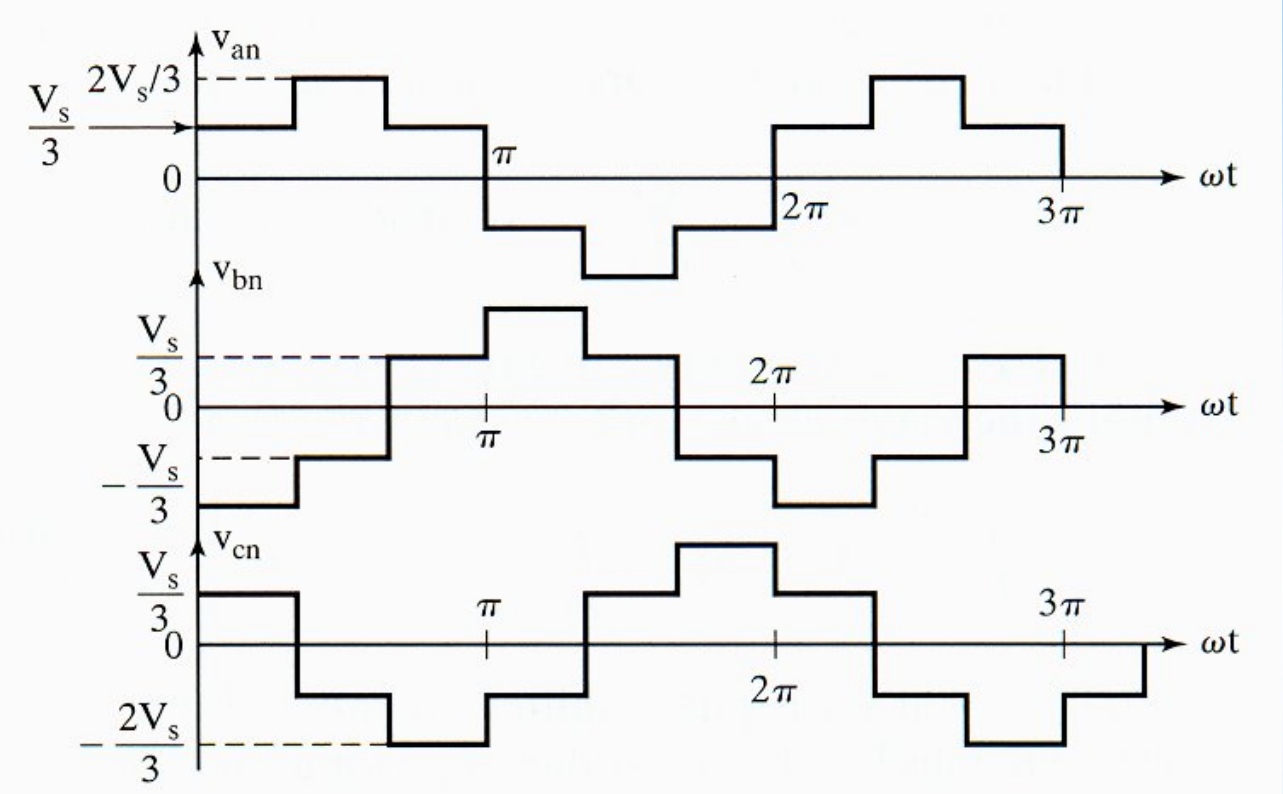
วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส



รูปคลื่นแรงดันเฟสของวงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟส



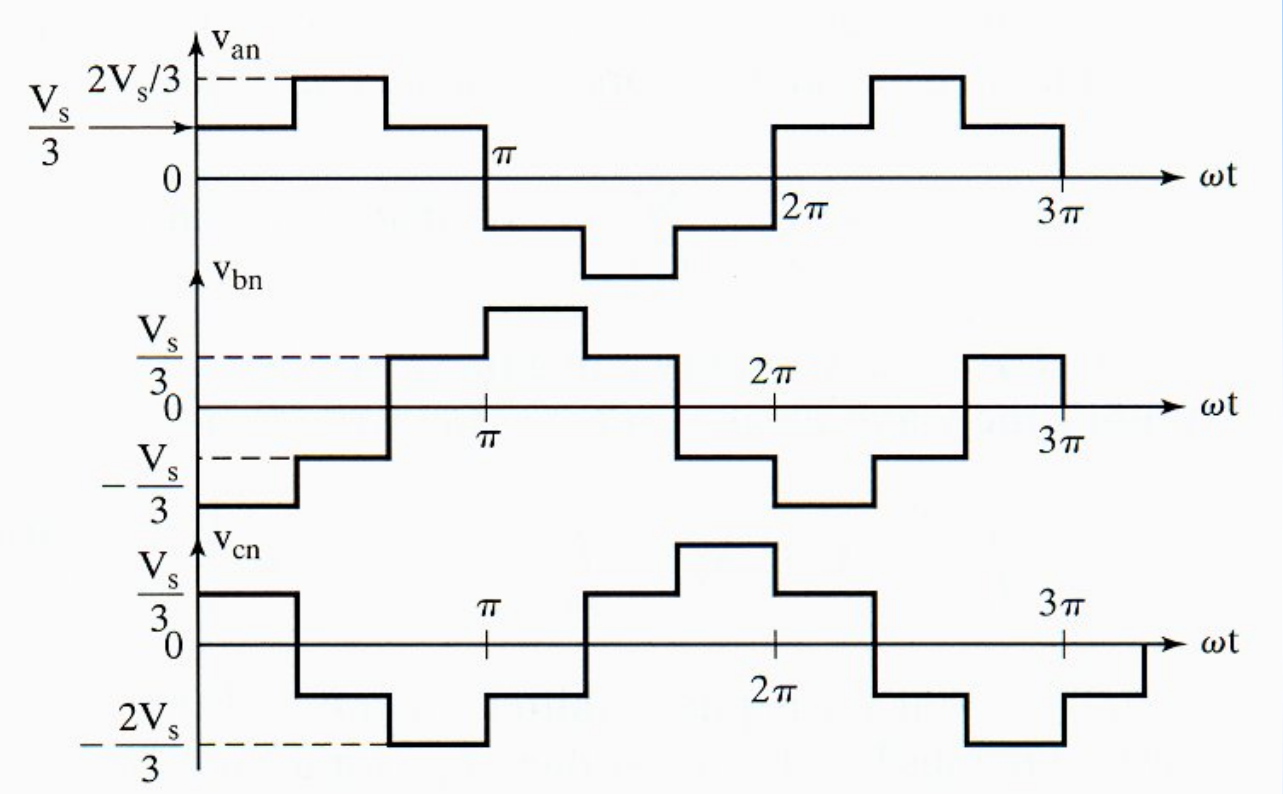
วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส



ค่าแรงดัน RMS ระหว่างสาย

$$V_L = \left[\frac{2}{2\pi}\int_0^{2\pi/3} V_S^{\,2}\, d(\omega t)\right]^{1/2} = \sqrt{\frac{2}{3}}V_S = 0.8165V_S$$

วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส



ค่าแรงดัน RMS เฟส

$$V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{2}\,V_S}{3} = 0.4714V_S$$

9.2 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว

9.2 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว

เทคนิคที่ใช้ในการควบคุมแรงดันไฟฟ้ามีดังนี้

1. Single - Pulse - Width Modulation
2. Multiple - Pulse - Width Modulation
3. Sinusoidal Pulse - Width Modulation
4. Modified Sinusoidal Pulse - Width Modulation
5. Phase - Displacement control

9.2.1 Single - Pulse - Width Modulation

เมื่อ

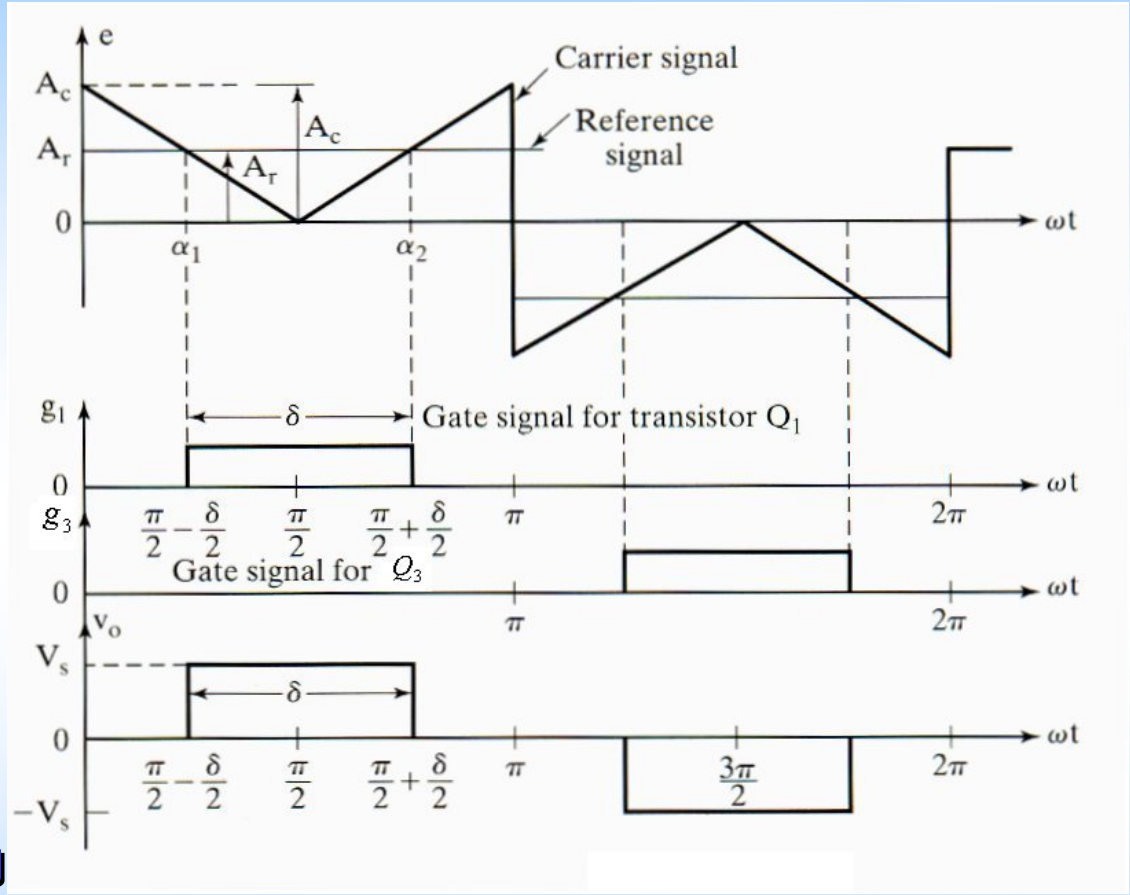
M **คือ modulation index**

$$M = \frac{A_r}{A_c}$$

d **คือความกว้างของ pulse**

$$d = \frac{\delta}{\omega} = t_2 - t_1$$

$$= MT_S$$



แรงดันเอาต์พุต RMS มีค่าเท่ากับ

$$V_O = \left[\frac{2}{2\pi}\int_{(\pi-\delta)/2}^{(\pi+\delta)/2} V_S^2\, d(\omega t)\right]^{1/2} = V_S\sqrt{\frac{\delta}{\pi}}$$

9.2.2 Multiple - Pulse - Width Modulation

เมื่อ

p **คือ จำนวน pulse**

$$p = \frac{f_c}{2 f_o} = \frac{m_f}{2}$$

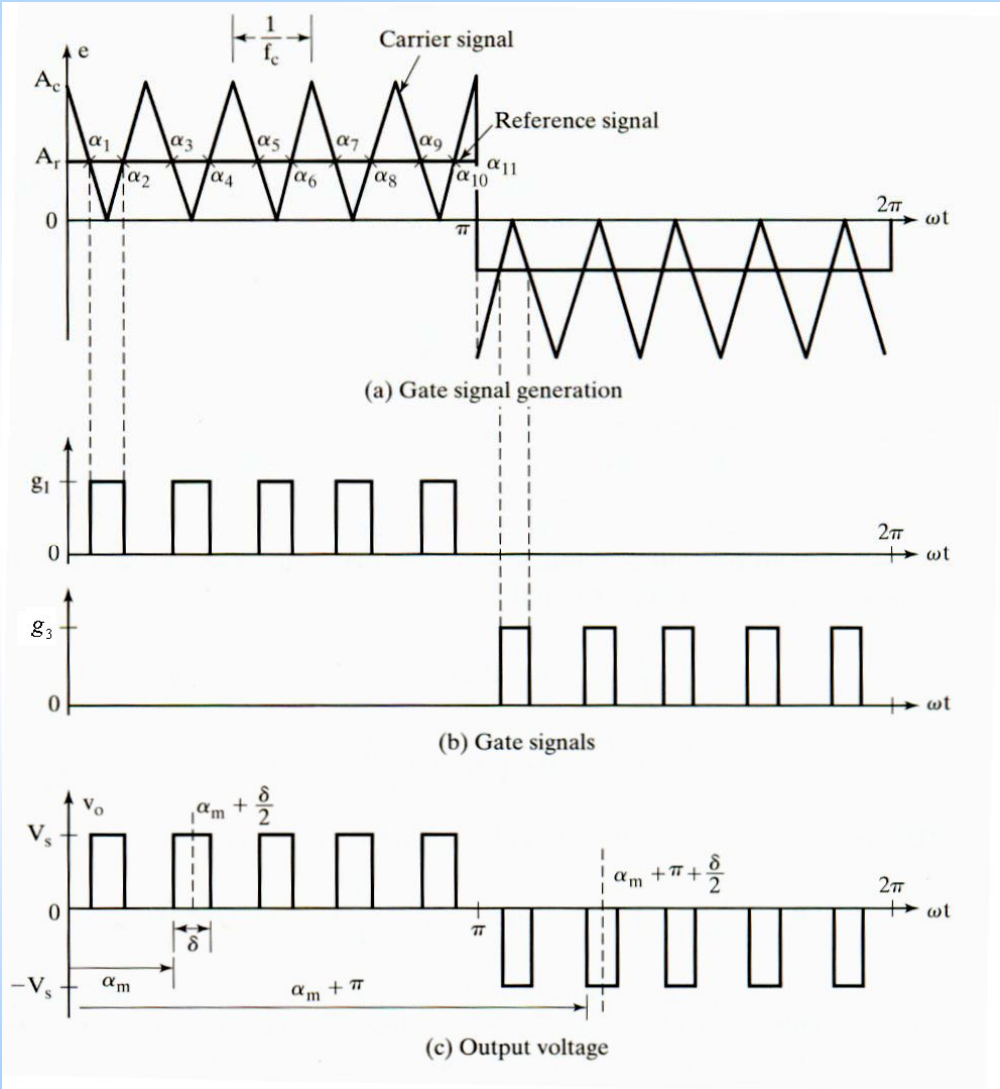
d **คือความกว้างของ pulse**

$$d = \frac{\delta}{\omega} = t_{m+1} - t_m$$

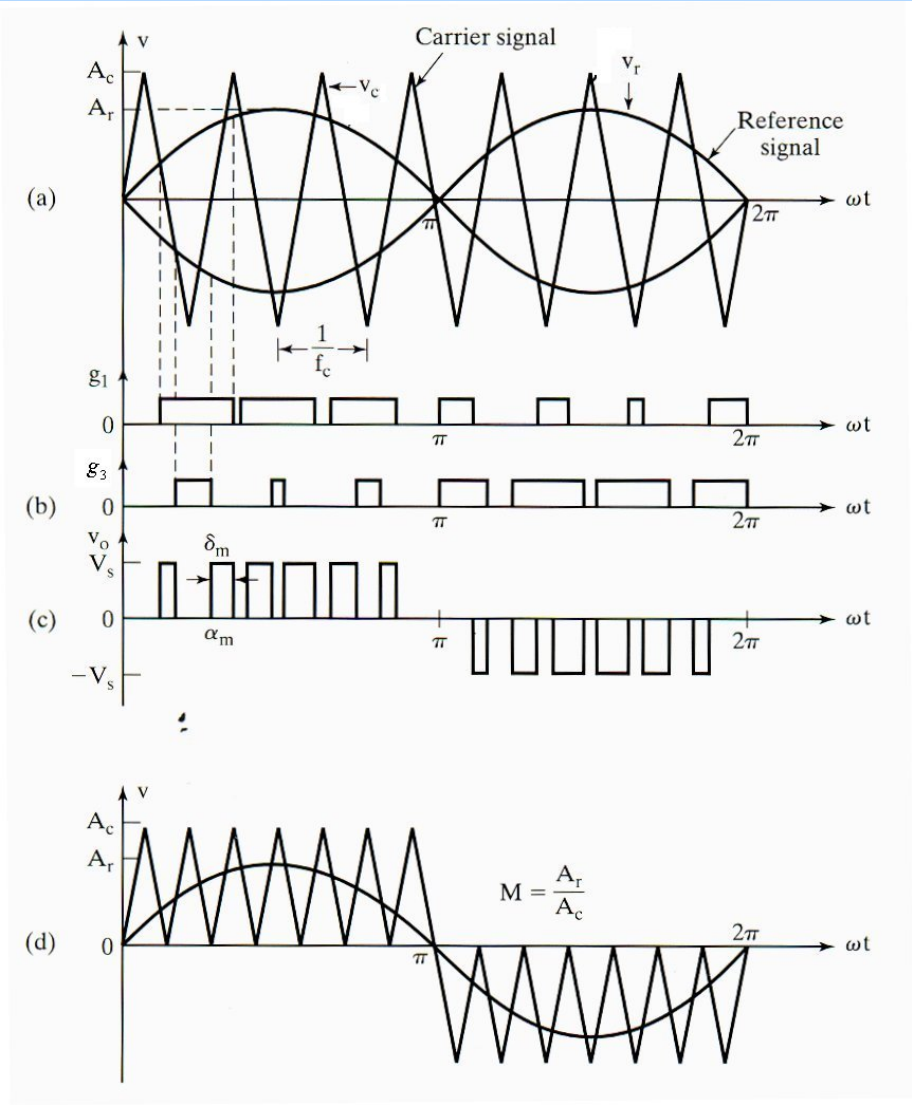
$$= MT_S$$

แรงดันเอาต์พุต RMS มีค่าเท่ากับ

$$V_O = V_S \sqrt{\frac{p\delta}{\pi}}$$



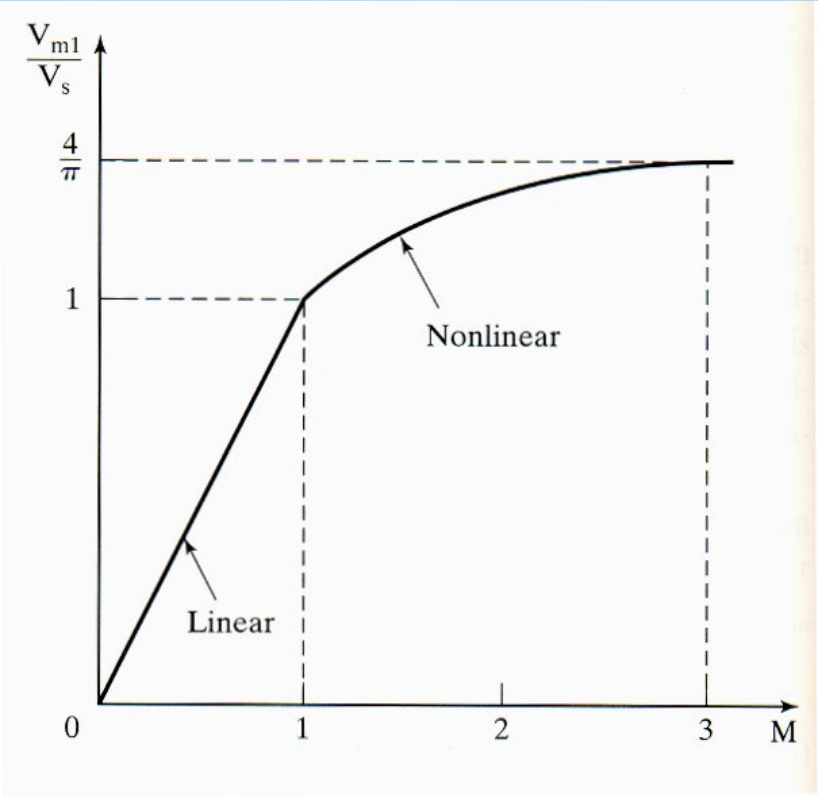
9.2.3 Sinusoidal Pulse - Width Modulation (SPWM)



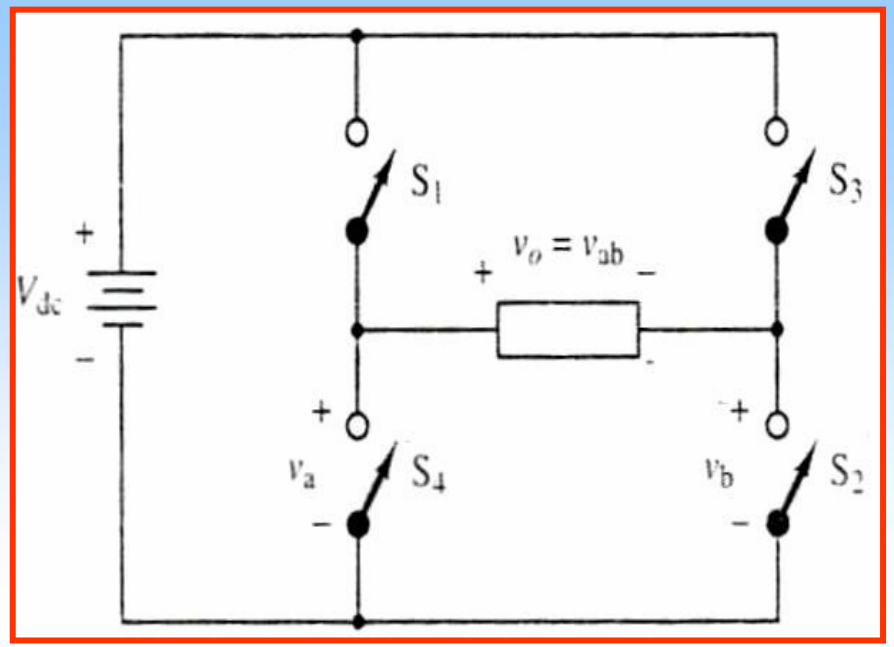
แรงดันเอาต์พุต RMS มีค่าเท่ากับ

$$V_O = V_S \left(\sum_{m=1}^{2p} \frac{\delta_m}{\pi} \right)^{1/2}$$

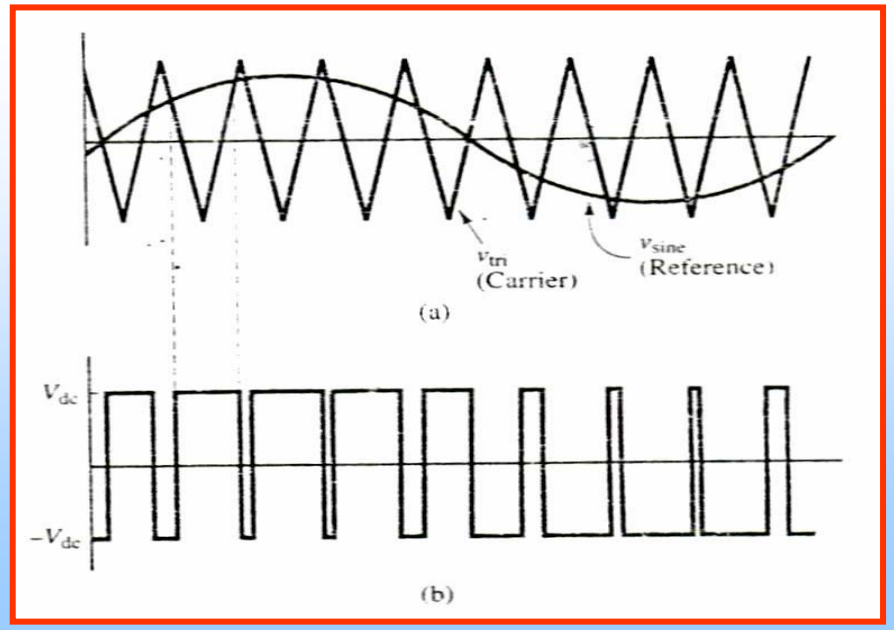
9.2.3 Sinusoidal Pulse - Width Modulation (SPWM)



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันยอดเอาต์พุตที่ความถี่หลักมูล
กับดัชนีการมอดูเลต



วงจรกำลัง VSI หนึ่งเฟสเต็มบริดจ์

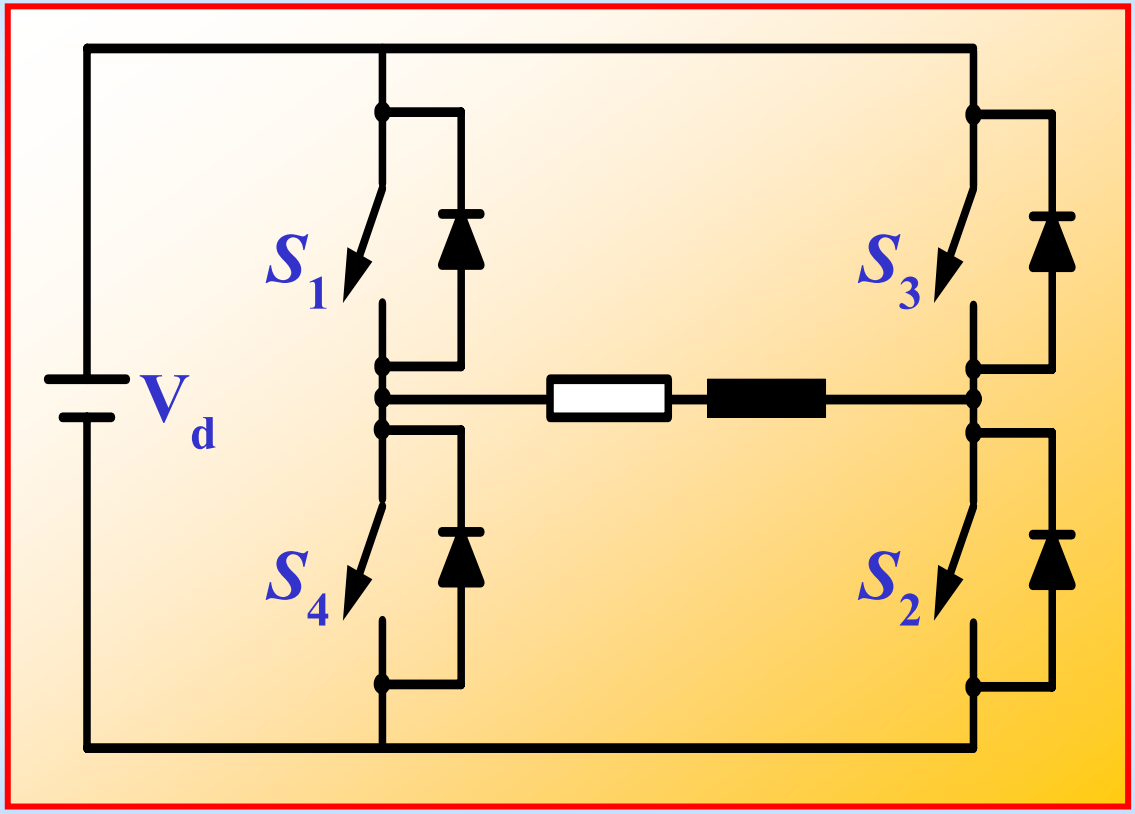


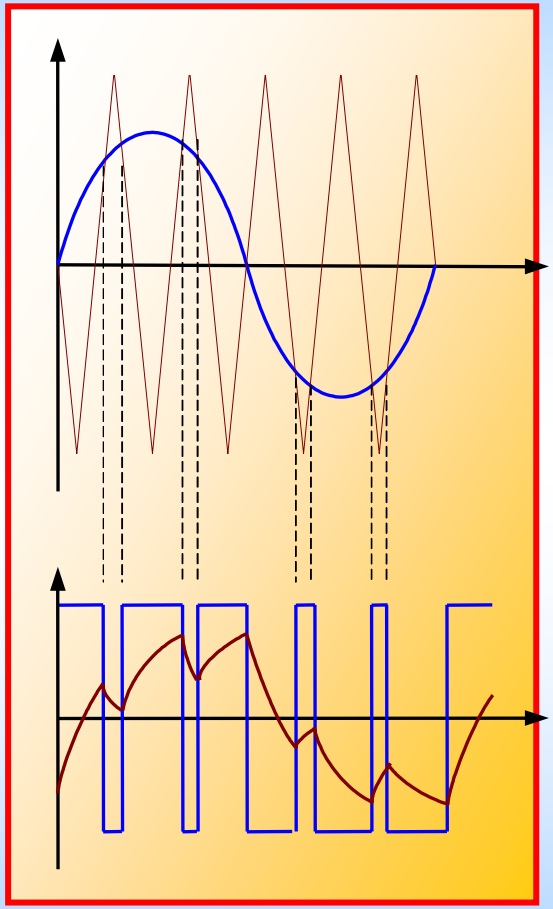
การม็อดดูเลชั่น

(a) คลื่นอ้างอิงและพาหะ

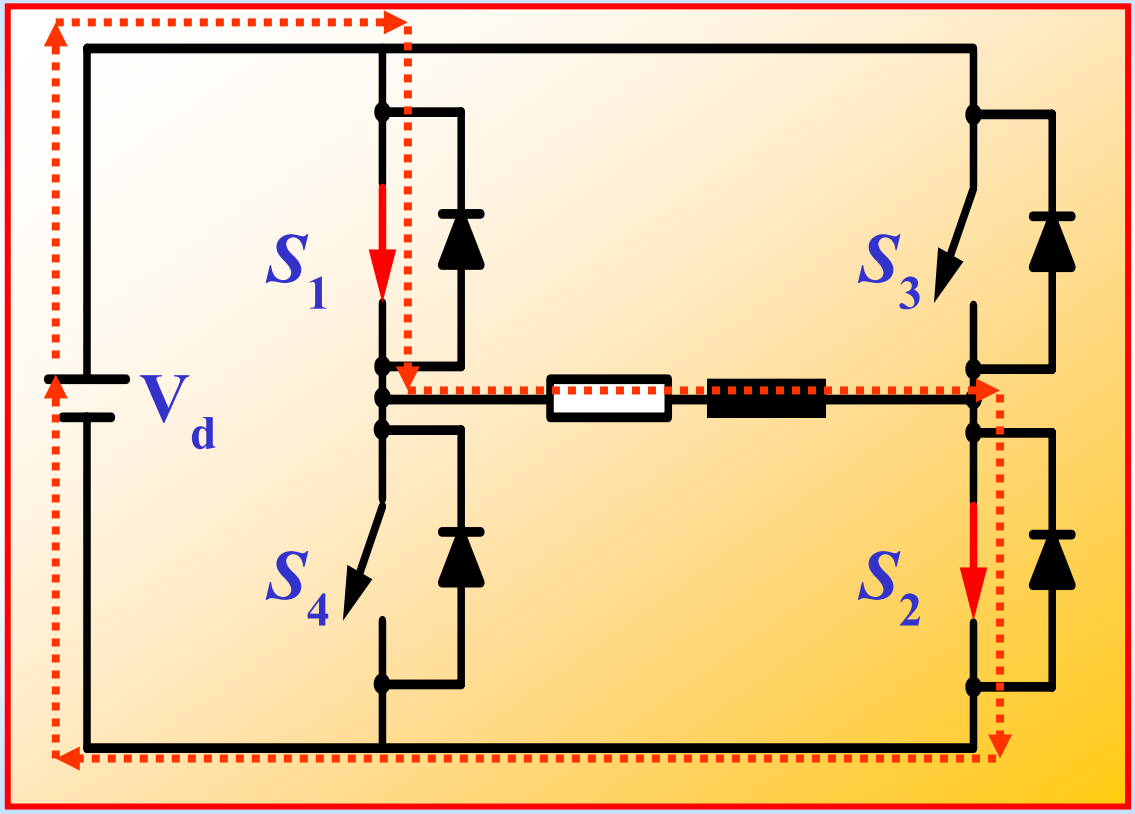
(b) เอาท์พุท

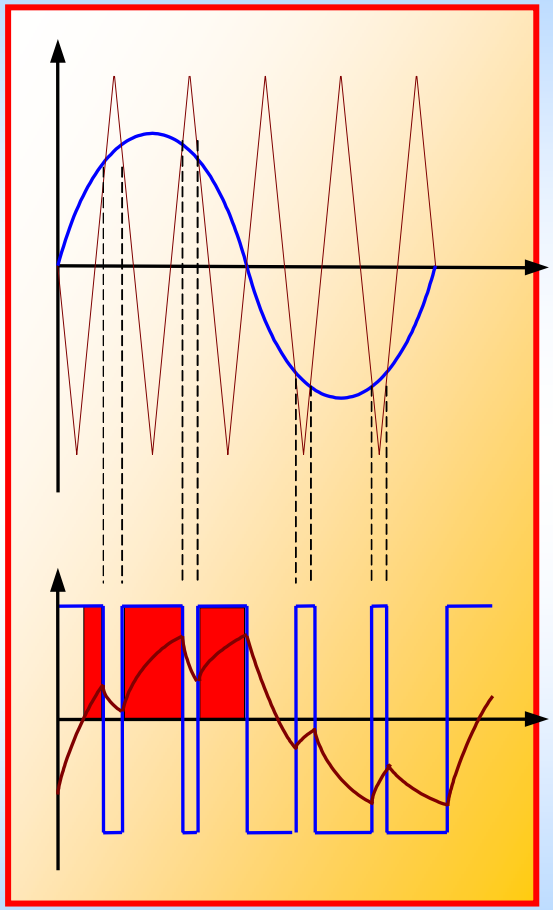
โหมดการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส แบบ Bipolar





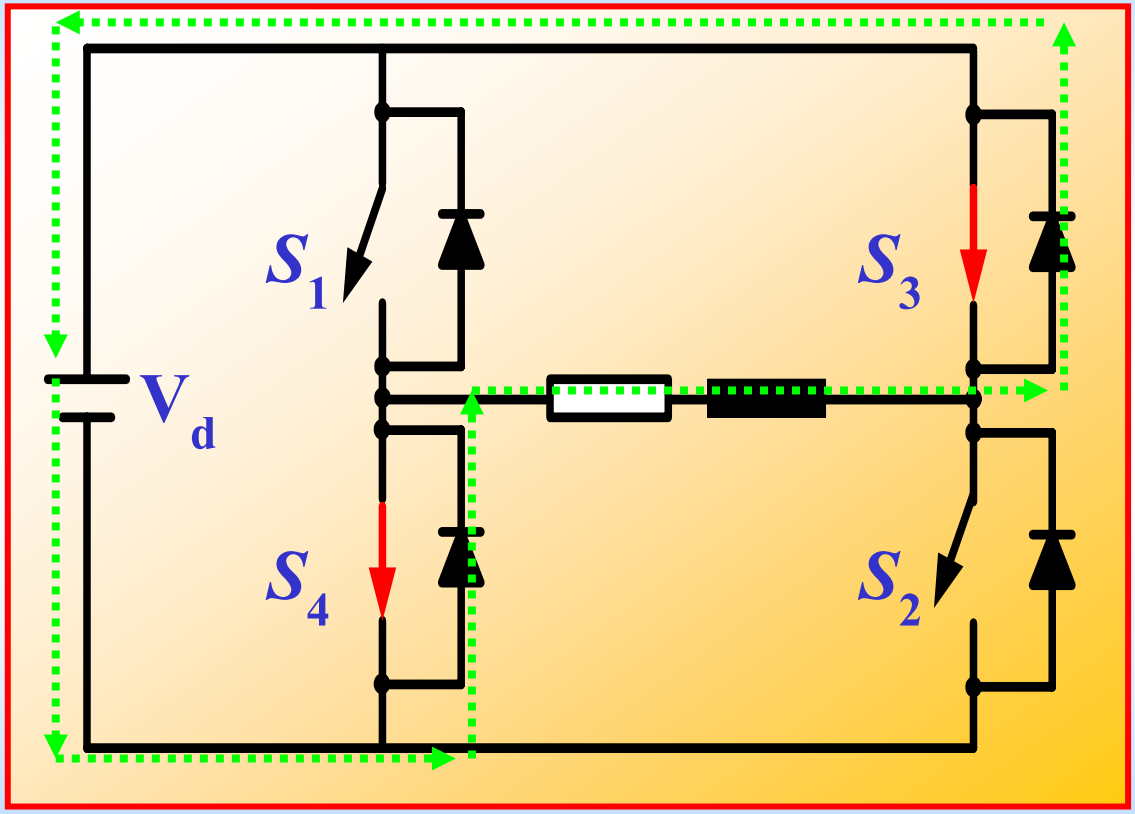
Mode 1

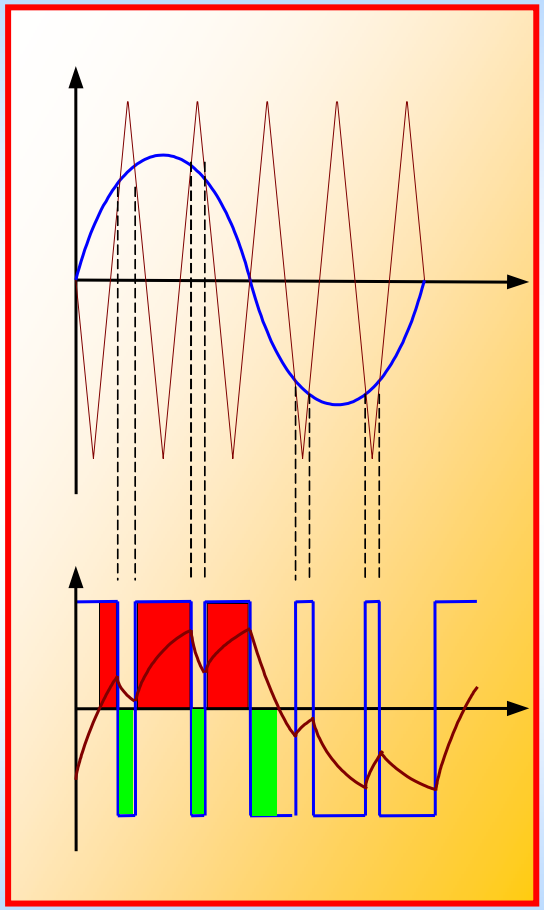




แรงดัน (+) กระแส (+)

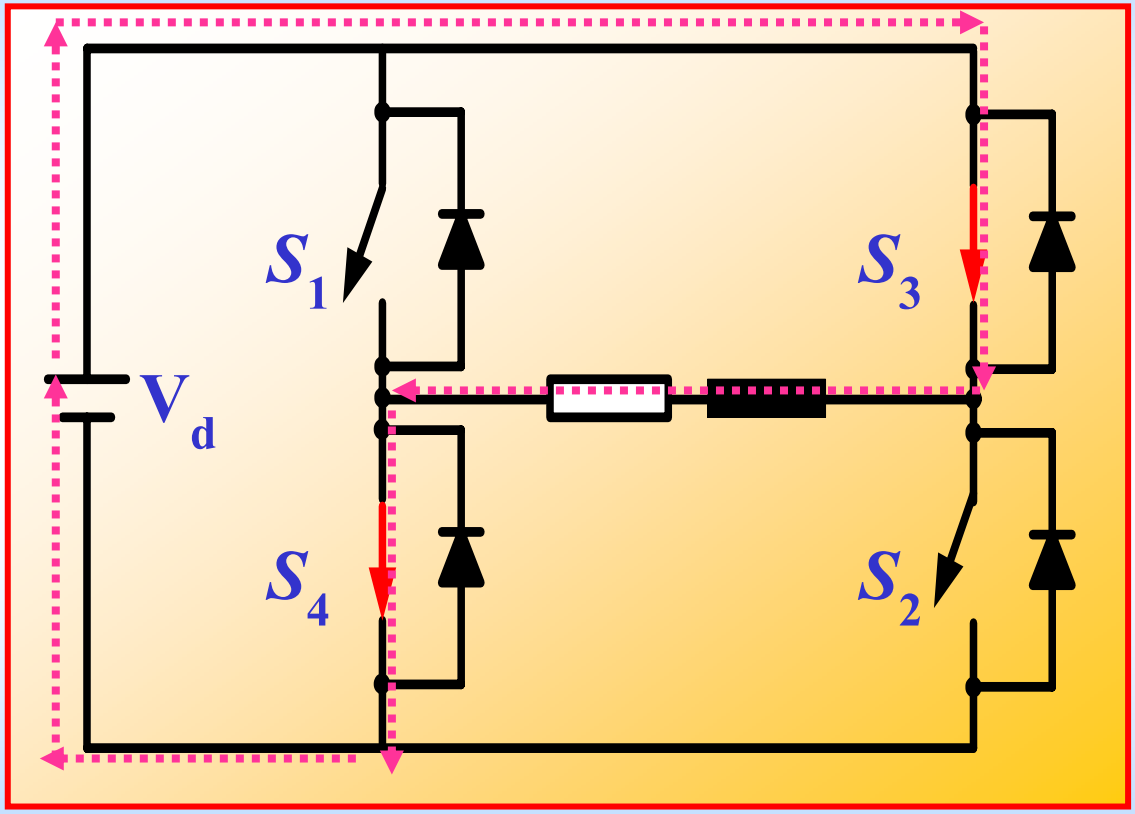
Mode 2

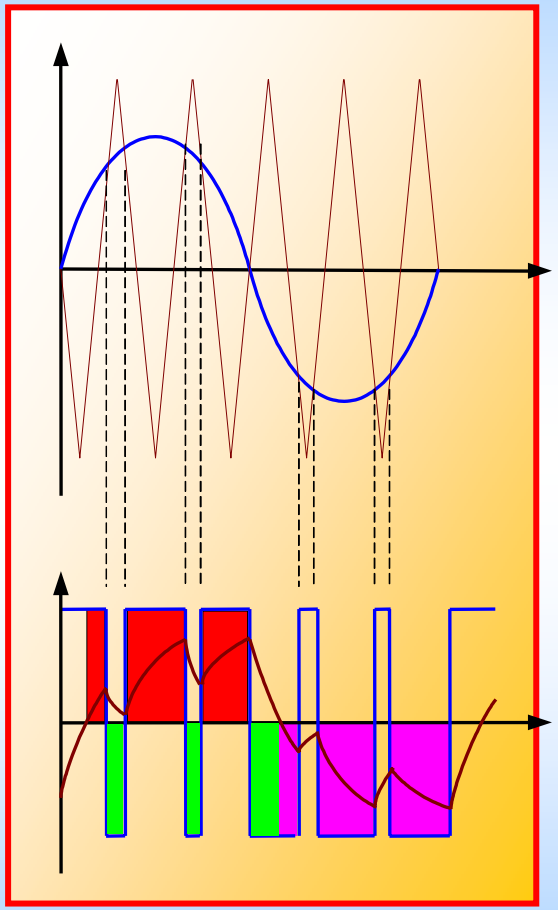




แรงดัน (-) กระแส (+)

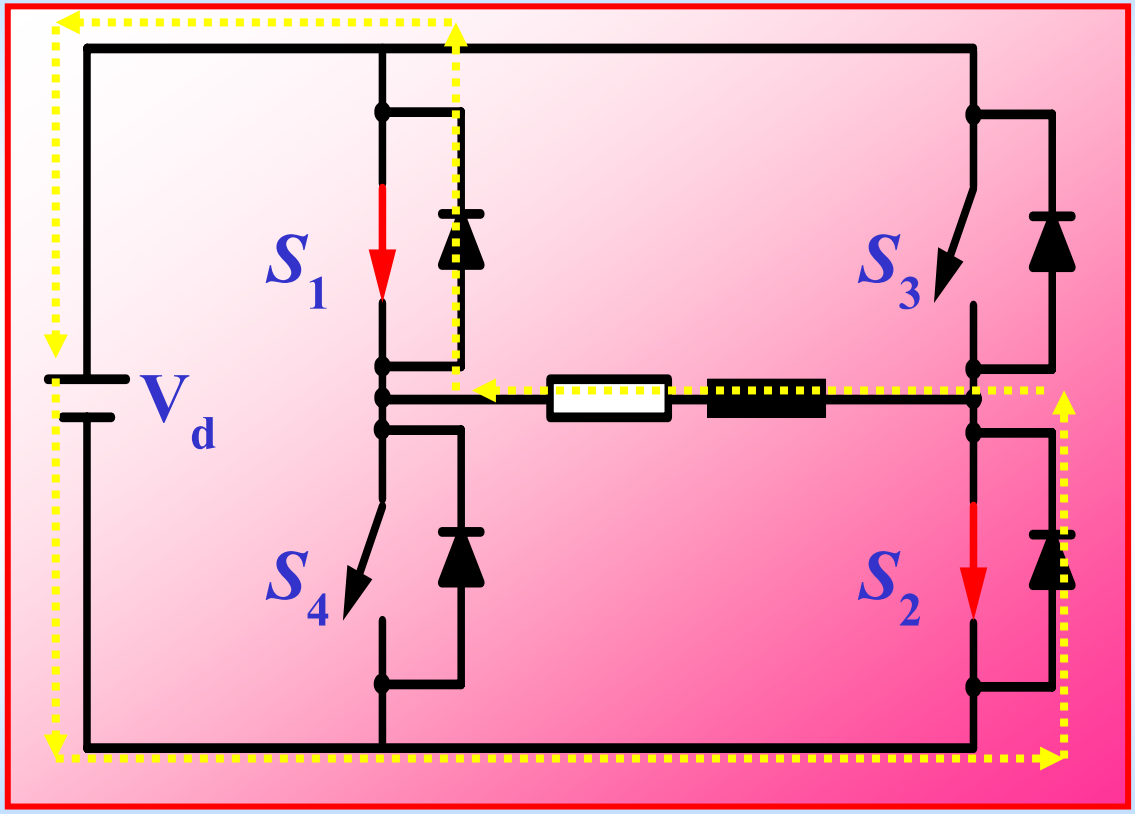
Mode 3

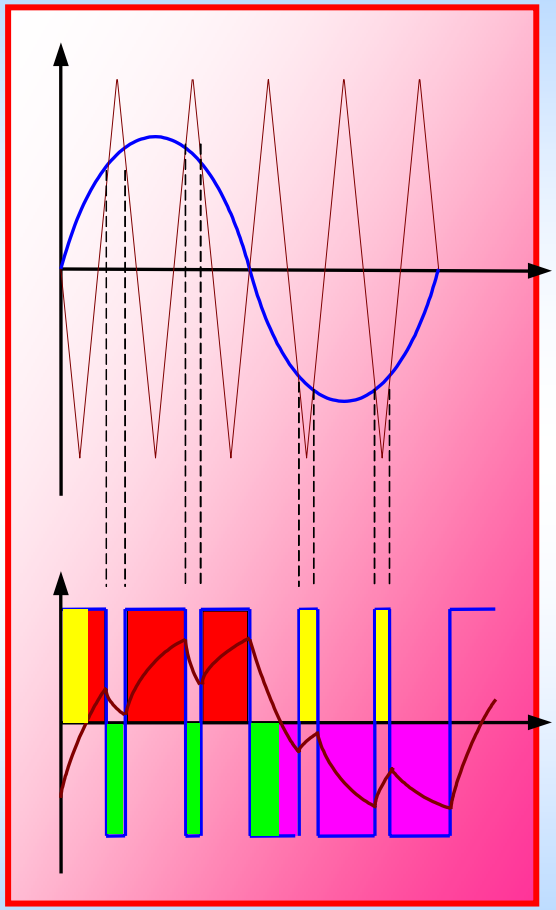




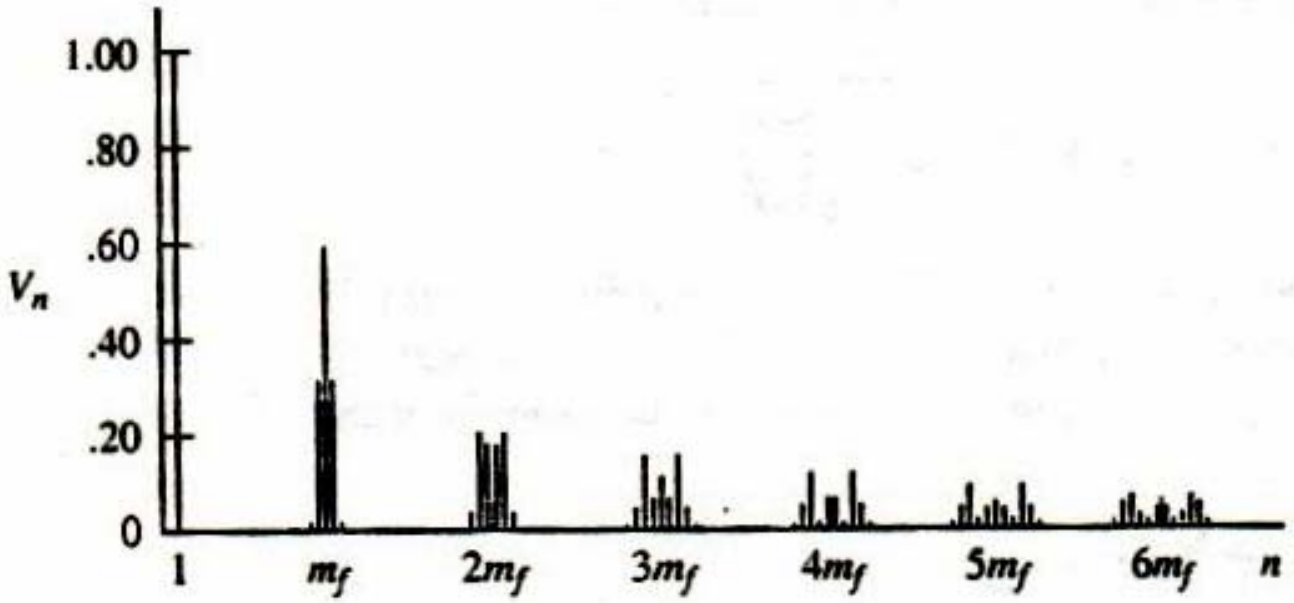
แรงดัน (-) กระแส (-)

Mode 4





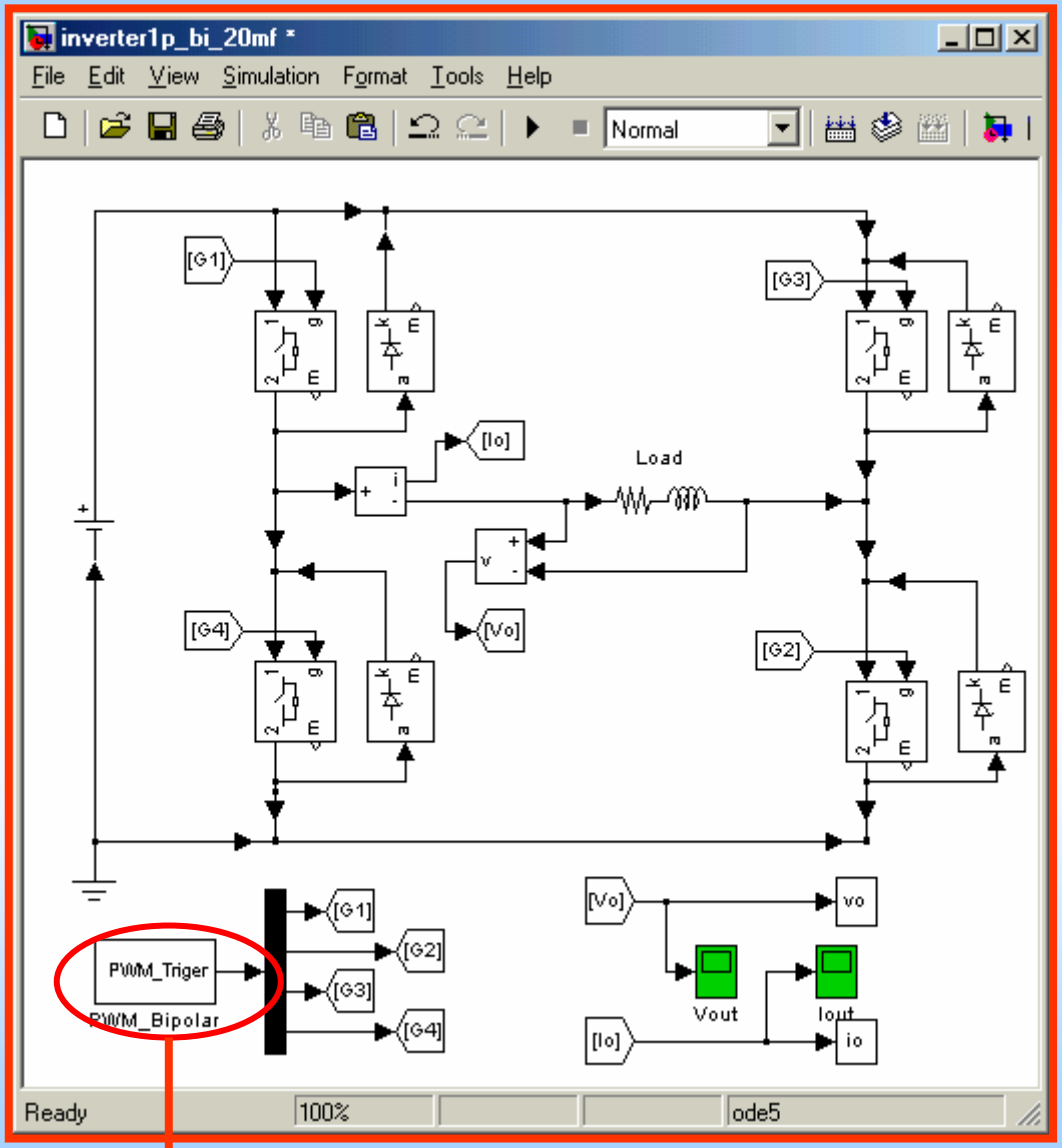
แรงดัน (+) กระแส (-)



สเปกตรัมแรงดันฮาร์มอนิคเมื่อ m_a=1

NORMALIZED FOURIER COEFFICIENTS V_n/V_{dc} FOR BIPOLAR PWM

	$m_a = 1$	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
$n = 1$	1.00	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10
$n = m_f$	0.60	0.71	0.82	0.92	1.01	1.08	1.15	1.20	1.24	1.27
$n = m_f \pm 2$	0.32	0.27	0.22	0.17	0.13	0.09	0.06	0.03	0.02	0.00

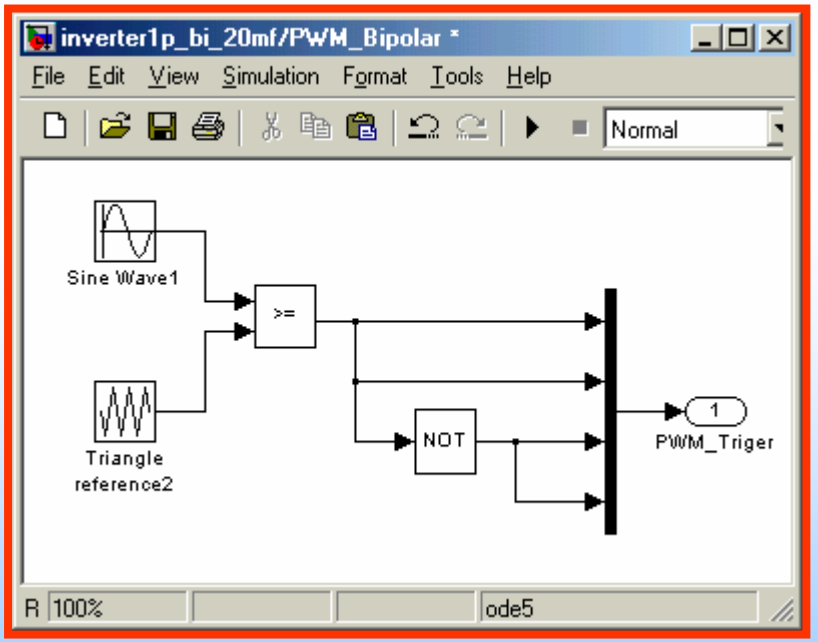


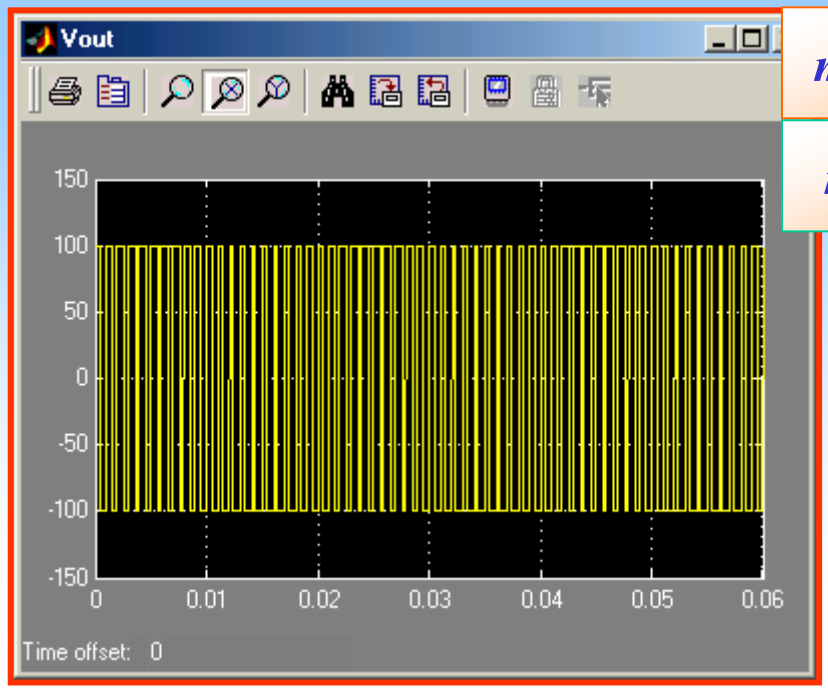
วงจรจำลองอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

แบบ Bipolar

Vdc=100 V. R=20 Ω L=50 mH

m_a = 0.5, 0.8 m_f = 20, 40




Vout
150
100
50
0
-50
-100
-150
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
Time offset: 0

ma = 0.5

mf = 20

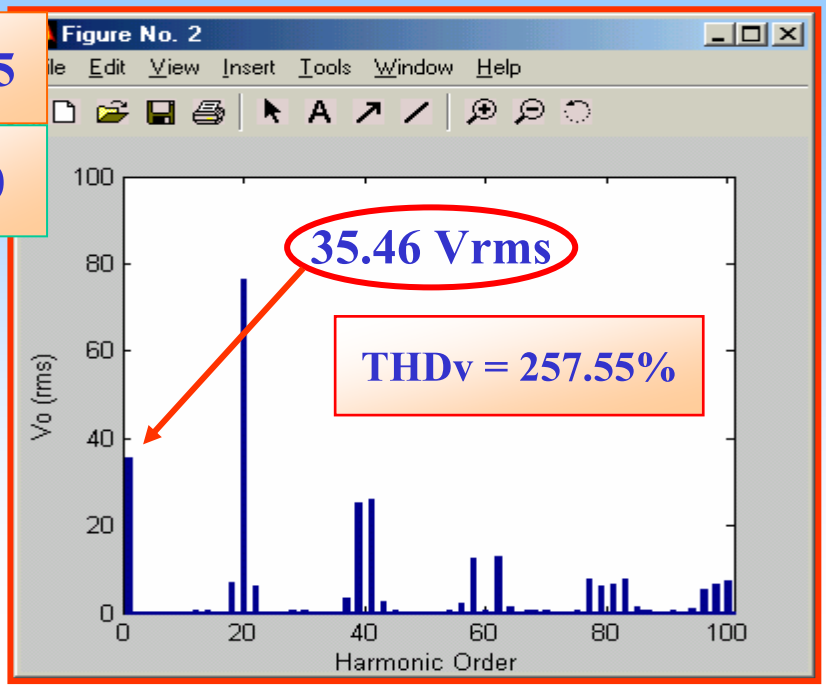
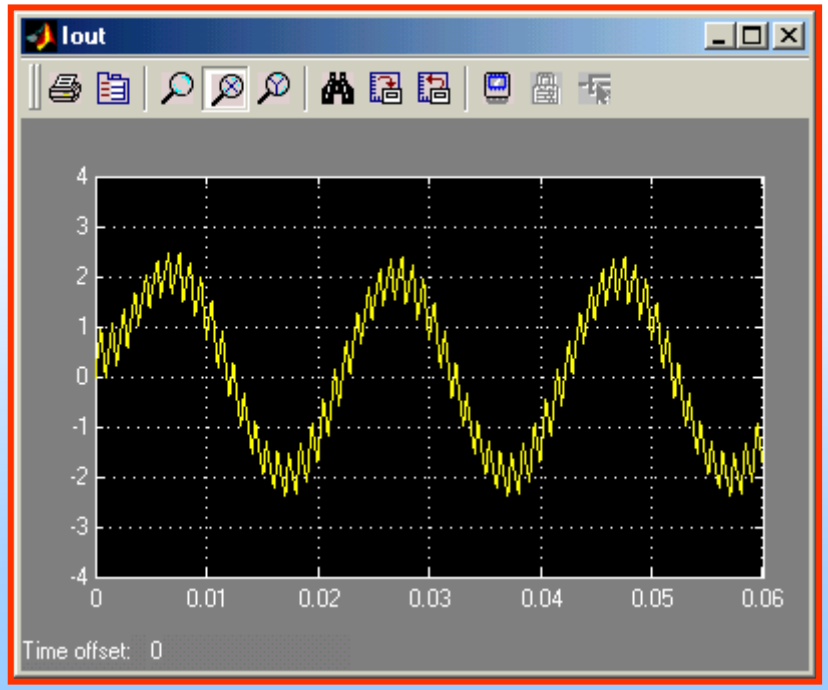


Figure No. 2
File Edit View Insert Tools Window Help
35.46 Vrms
THDv = 257.55%
Vo (rms)
Harmonic Order
0
20
40
60
80
100


Iout
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
Time offset: 0

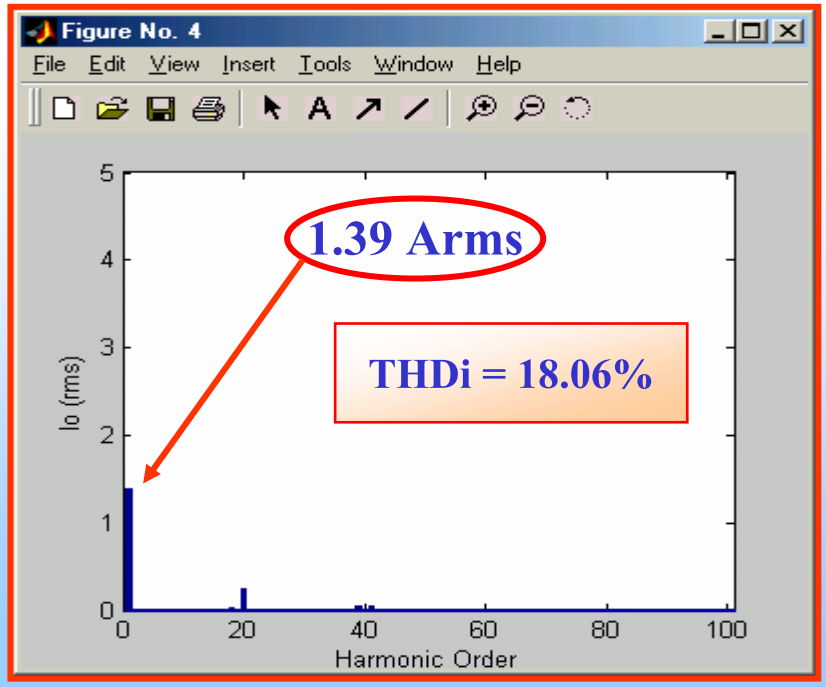
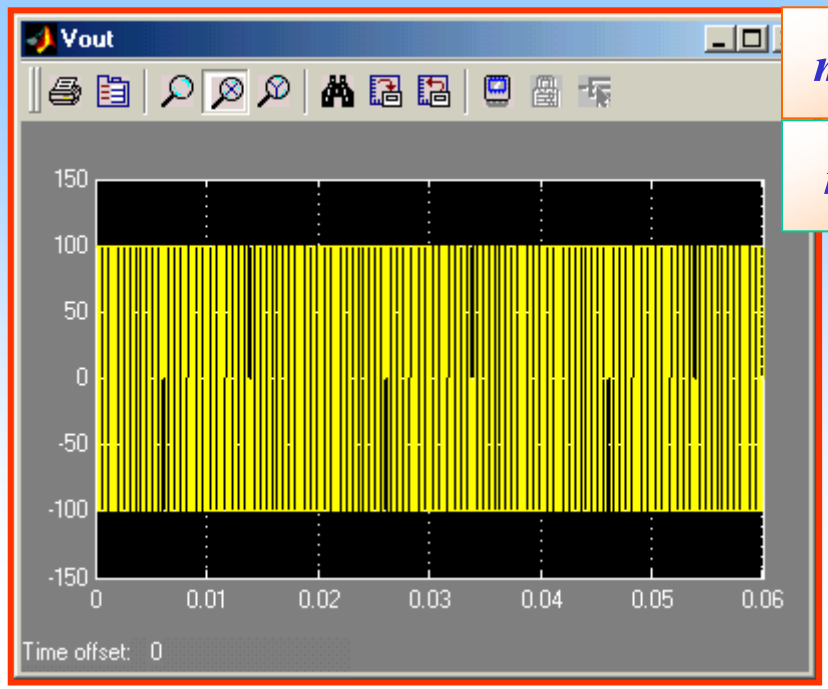


Figure No. 4
File Edit View Insert Tools Window Help
1.39 Arms
THDi = 18.06%
Io (rms)
Harmonic Order
0
1
2
3
4
5
0
20
40
60
80
100


Vout
150
100
50
0
-50
-100
-150
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
Time offset: 0

ma = 0.5

mf = 40

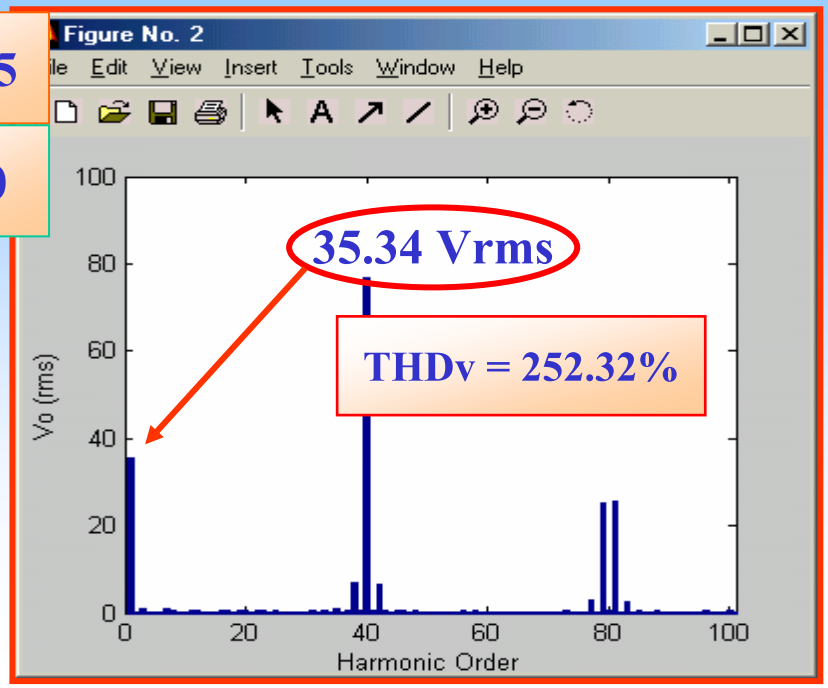
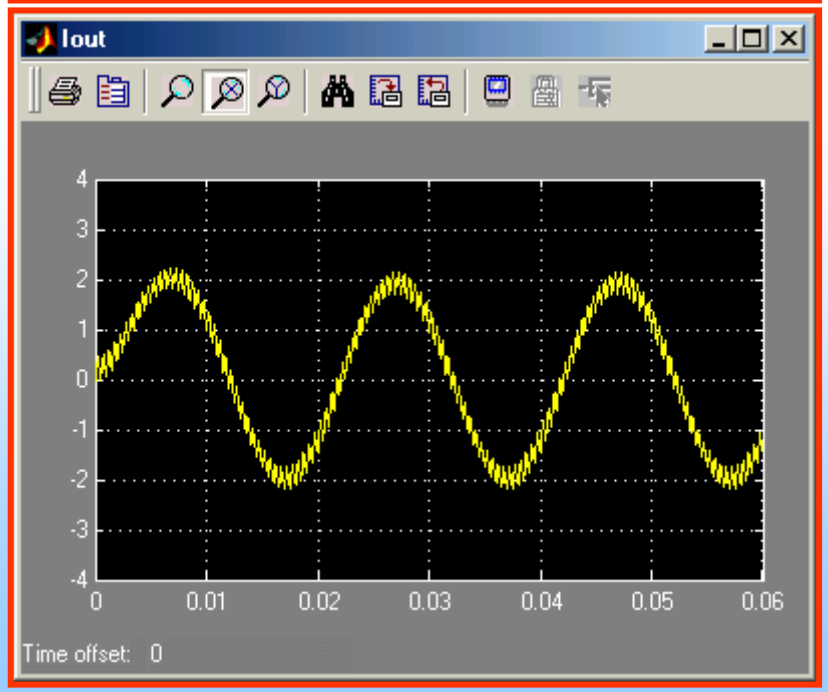


Figure No. 2
File Edit View Insert Tools Window Help
35.34 Vrms
THDv = 252.32%
Vo (rms)
Harmonic Order
0
20
40
60
80
100


Iout
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
Time offset: 0

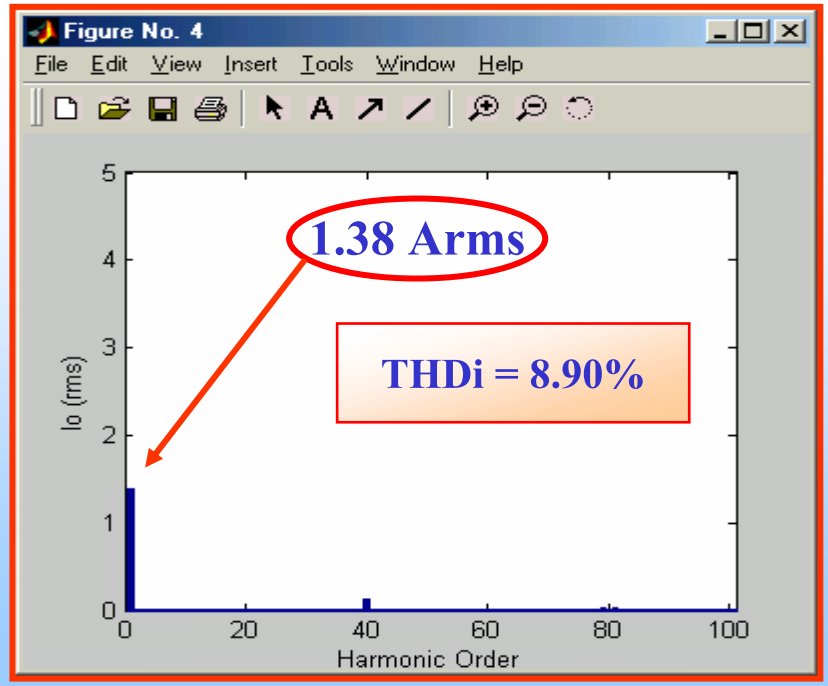
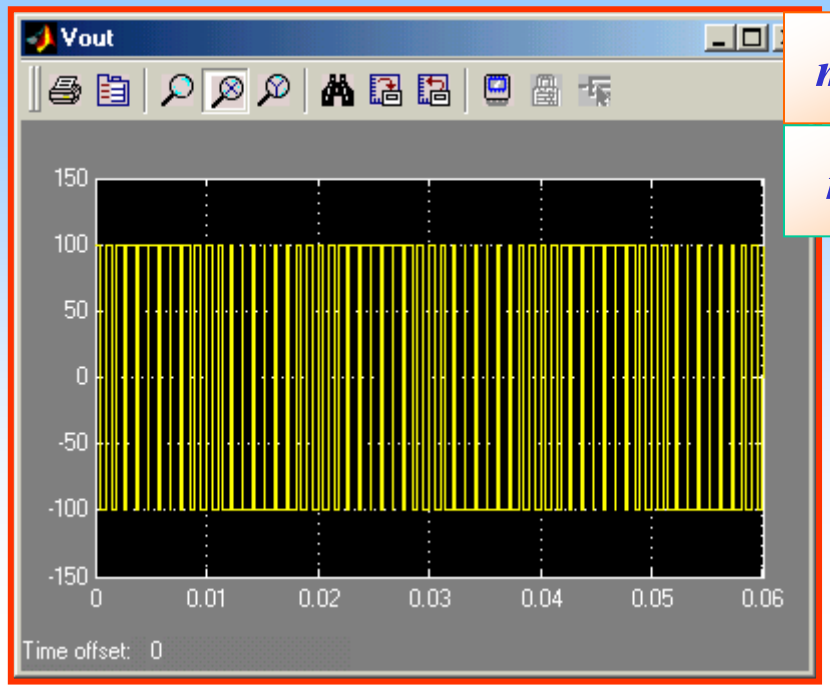


Figure No. 4
File Edit View Insert Tools Window Help
1.38 Arms
THDi = 8.90%
Io (rms)
Harmonic Order
0
1
2
3
4
5
0
20
40
60
80
100


Vout
150
100
50
0
-50
-100
-150
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
Time offset: 0

ma = 0.8

mf = 20

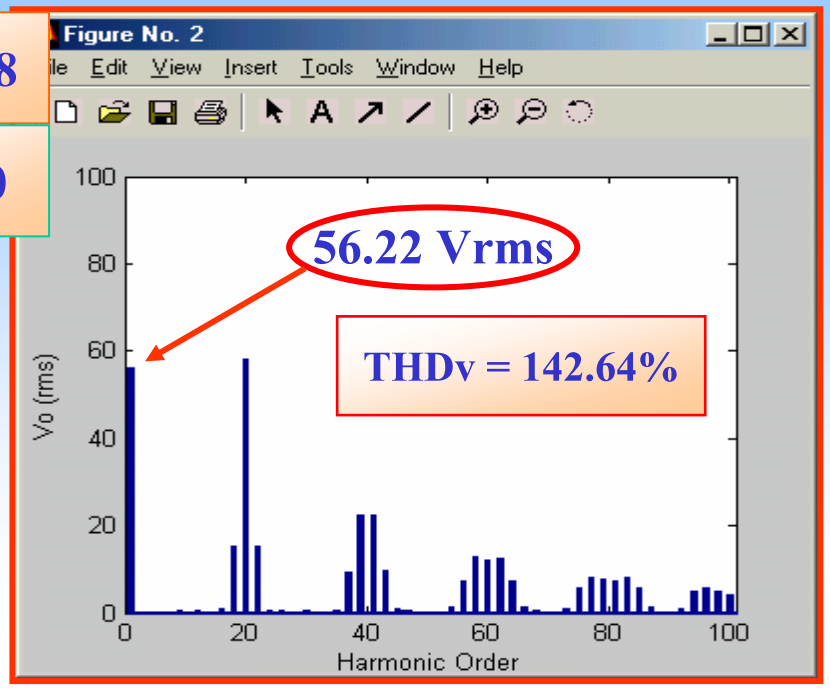
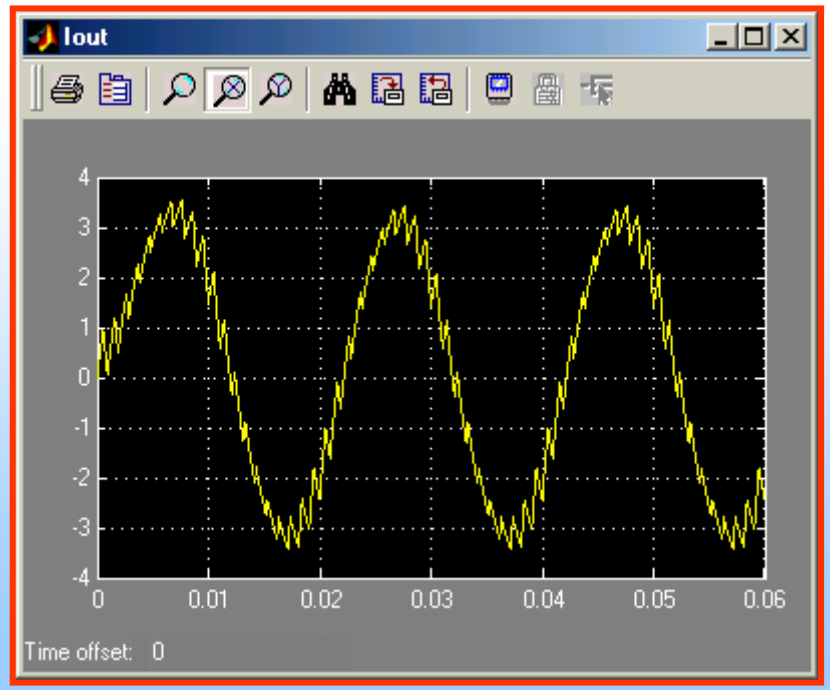


Figure No. 2
File Edit View Insert Tools Window Help
100
80
60
40
20
0
Vo (rms)
0
20
40
60
80
100
Harmonic Order
56.22 Vrms
THDv = 142.64%


Iout
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
Time offset: 0

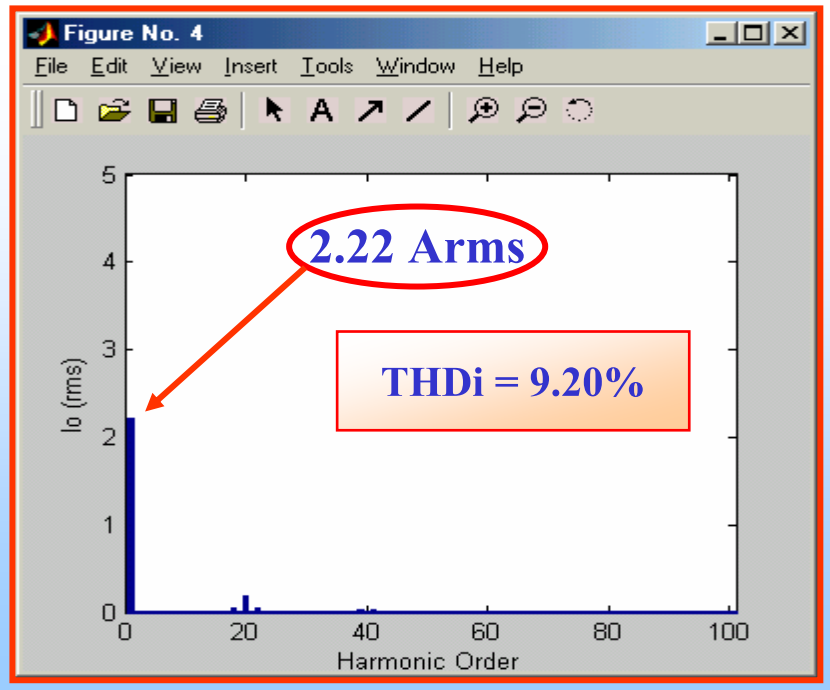
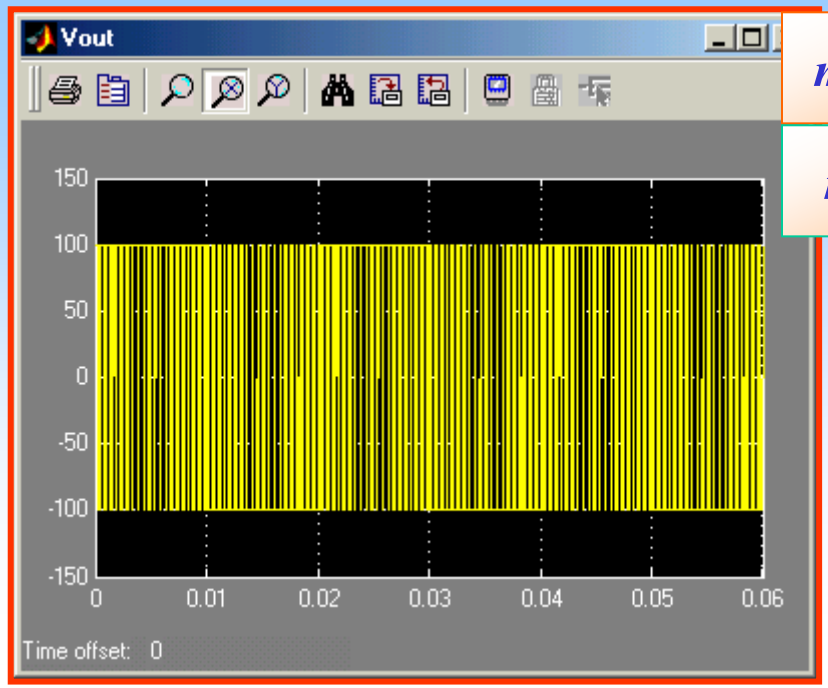


Figure No. 4
File Edit View Insert Tools Window Help
5
4
3
2
1
0
Io (rms)
0
20
40
60
80
100
Harmonic Order
2.22 Arms
THDi = 9.20%


Vout
150
100
50
0
-50
-100
-150
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
Time offset: 0

ma = 0.8

mf = 40

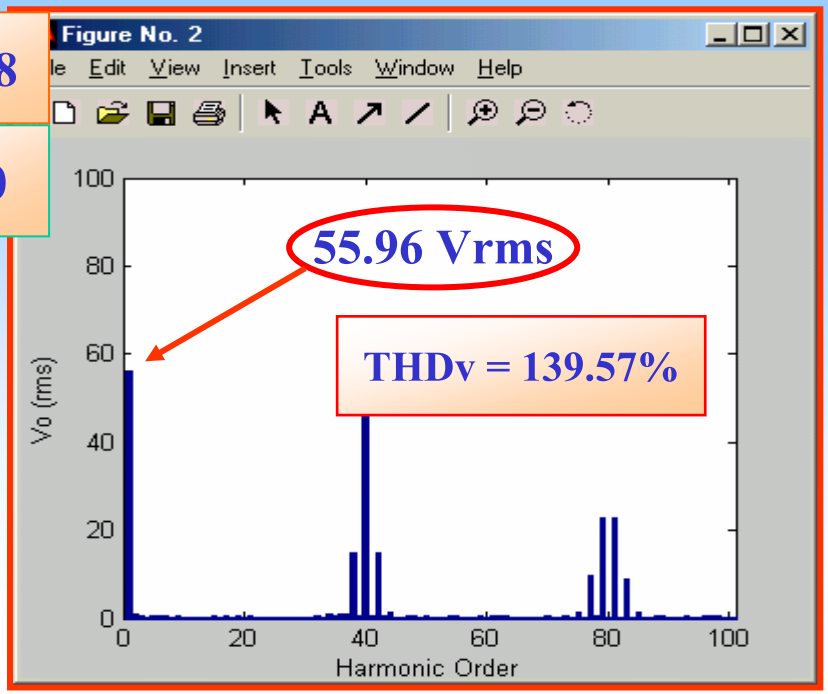
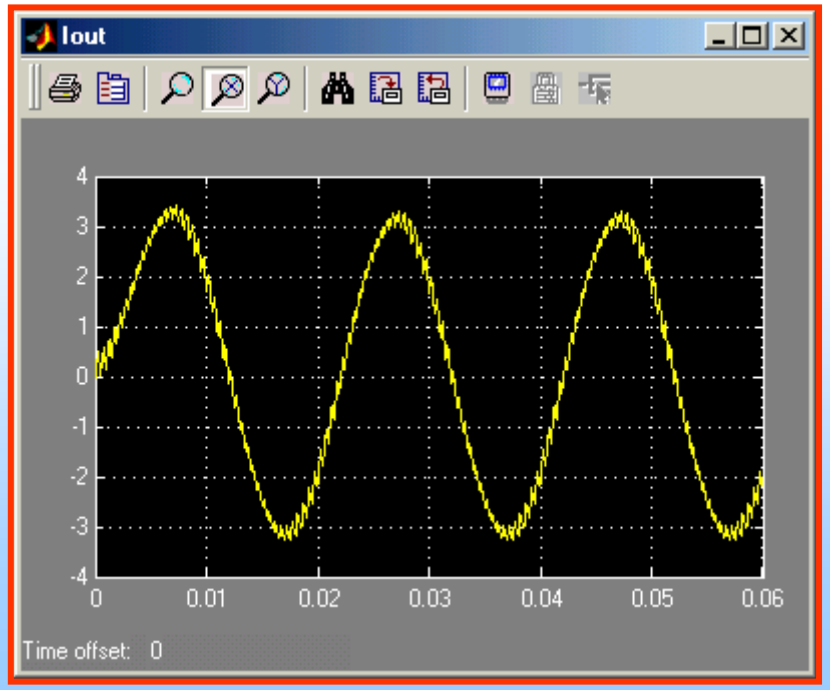


Figure No. 2
Edit View Insert Tools Window Help
100
80
60
40
20
0
Vo (rms)
0
20
40
60
80
100
Harmonic Order
55.96 Vrms
THDv = 139.57%


Iout
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
Time offset: 0

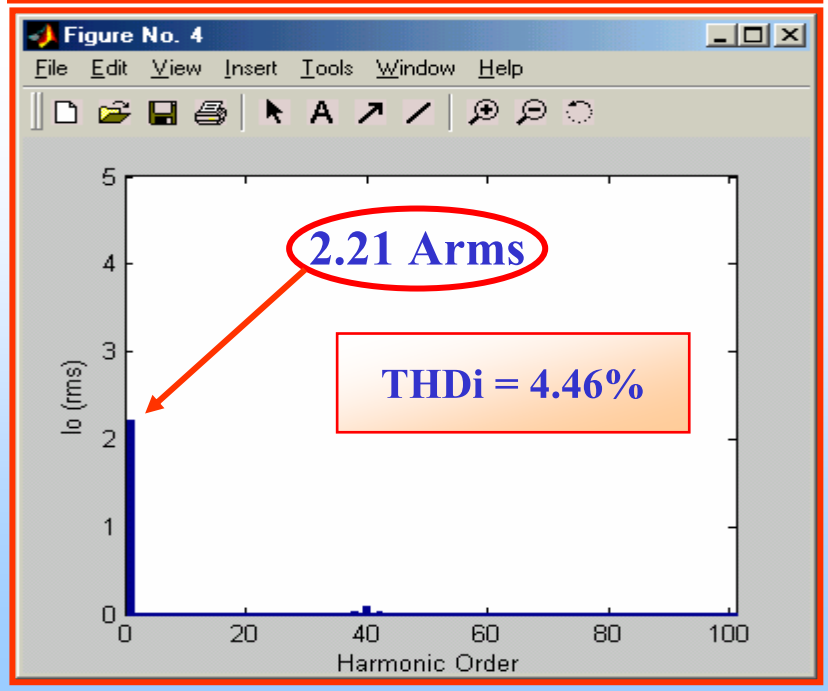


Figure No. 4
File Edit View Insert Tools Window Help
5
4
3
2
1
0
Io (rms)
0
20
40
60
80
100
Harmonic Order
2.21 Arms
THDi = 4.46%

ตัวอย่าง Full – bridge inverter ใช้ในการผลิตความถี่ 60 Hz แรงดันตกคร่อมระหว่างโหลด R – L โดยใช้สัญญาณ Bipolar PWM แรงดันดีซีอินพุทที่บริดจ์เป็น 100 V ขนาดของอัตราส่วนการมอดดูเลชั่น (ma) เท่ากับ 0.8 และอัตราส่วนความถี่การมอดดูเลชั่น (mf) เท่ากับ 21 [$f_{tri} = (21)(60) = 1260$ Hz] โหลดมีค่าความต้านทาน R = 10 Ω และค่าความเหนี่ยวนำ L = 20 mH *จงหา*

ก) ขนาดขององค์ประกอบความถี่ 60 Hz ของแรงดันเอาท์พุทและกระแสโหลด

ข) กำลังงานที่ถูกดูดกลืนโดยโหลดตัวต้านทาน

ค) ค่า THD ของกระแสโหลด

FOURIER SERIES QUANTITIES FOR THE PWM INVERTER

n	f_n (Hz)	V_n (V)	Z_n (Ω)	I_n (A)	$I_{n,\,rms}$ (A)	P_n (W)
1	60	80.0	12.5	6.39	4.52	204.0
19	1140	22.0	143.6	0.15	0.11	0.1
21	1260	81.8	158.7	0.52	0.36	1.3
23	1380	22.0	173.7	0.13	0.09	0.1

วิธีทำ ก) ขนาดของแรงดันที่ความถี่ฟันดาเมนทอล 60 Hz เป็น

$$V_1 = m_a V_{dc} = (0.8)(100) = 80 \text{ V}$$

ขนาดของกระแสหาได้โดยการวิเคราะห์ทางเฟสเซอร์

$$I_n = \frac{V_n}{Z_n} = \frac{V_n}{\sqrt{R^2 + (n\omega_0 L)^2}}$$

สำหรับความถี่ฟันดาเมนทอล

$$I_1 = \frac{80}{\sqrt{10^2 + [(1)(2\pi 60)(0.02)]^2}} = 6.39 \text{ A}$$

ข) m_f = 21 ฮาร์มอนิกส์อันดับที่ 1 ที่ n = 21, 19 และ 23

$$V_{21} = (0.82)(100) = 82\ \text{V}$$

$$V_{19} = V_{23} = (0.22)(100) = 22\ \text{V}$$

กระแสฮาร์มอนิกส์แต่ละตัวหาได้จาก

$$I_n = \frac{V_n}{Z_n} = \frac{V_n}{\sqrt{R^2 + (n\omega_0 L)^2}}$$

กำลังไฟฟ้าที่แต่ละความถี่หาได้จาก

$$P_n = (I_{n,rms})^2 R = \left(\frac{I_n}{\sqrt{2}}\right)^2 R$$

ข) m_f = 21 ฮาร์มอนิกส์อันดับที่ 1 ที่ n = 21, 19 และ 23

$$V_{21} = (0.82)(100) = 82\ \text{V}$$

$$V_{19} = V_{23} = (0.22)(100) = 22\ \text{V}$$

กระแสฮาร์มอนิกส์แต่ละตัวหาได้จาก

$$I_n = \frac{V_n}{Z_n} = \frac{V_n}{\sqrt{R^2 + (n\omega_0 L)^2}}$$

กำลังไฟฟ้าที่แต่ละความถี่หาได้จาก

$$P_n = (I_{n,rms})^2 R = \left(\frac{I_n}{\sqrt{2}}\right)^2 R$$

ขนาดของแรงดัน, กระแส และกำลังไฟฟ้าที่ความถี่เหล่านี้สรุปเป็นตารางได้

n	f_n (Hz)	V_n (V)	Z_n (Ω)	I_n (A)	$I_{n,rms}$ (A)	P_n (W)
1	60	80.0	12.5	6.39	4.52	204.0
19	1140	22.0	143.6	0.15	0.11	0.1
21	1260	81.8	158.7	0.52	0.36	1.3
23	1380	22.0	173.7	0.13	0.09	0.1

กำลังไฟฟ้าที่ถูกดูดกลืนโดยโหลดตัวต้านทาน

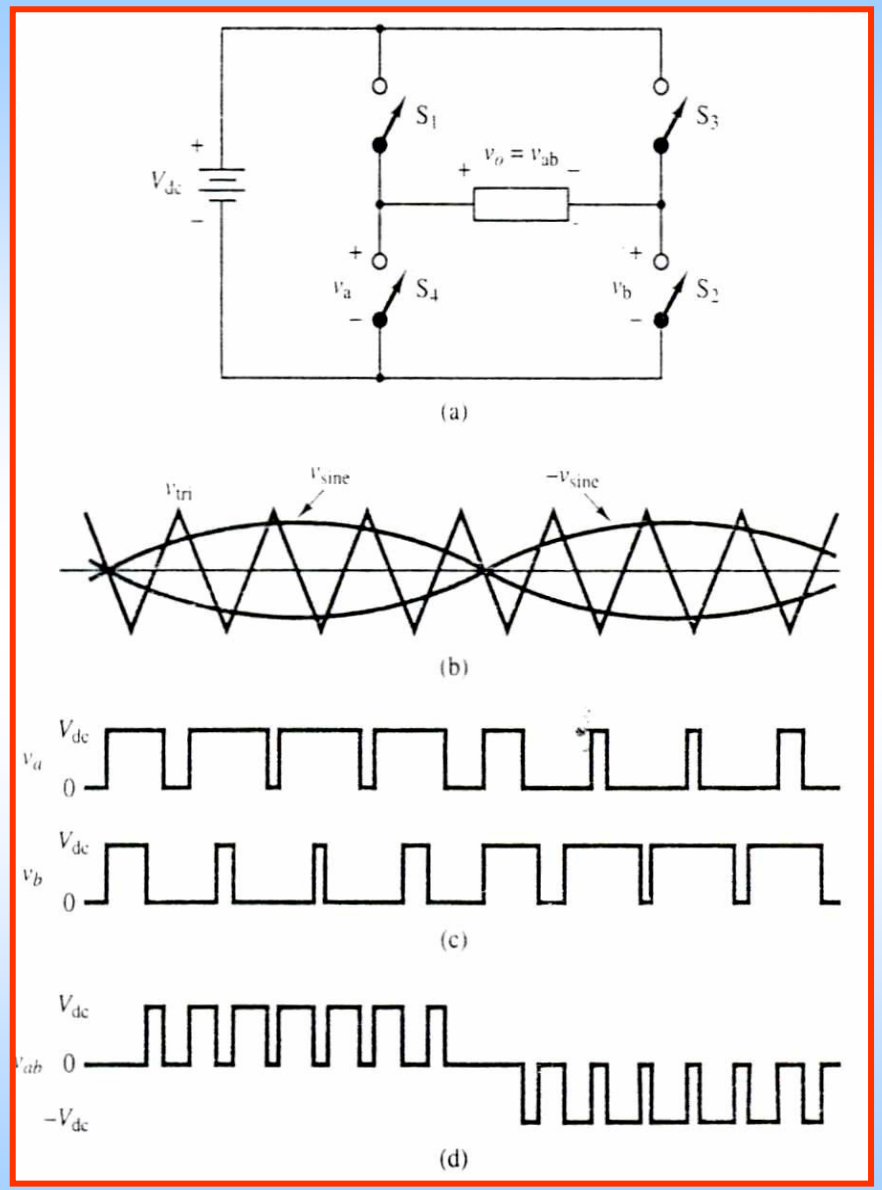
$$P = \sum P_n \approx 204.0 + 0.1 + 1.3 + 0.1 = 205.5\,\mathrm{W}$$

ฮาร์มอนิกส์อันดับสูงสามารถละเลยได้

ค) %THD ของกระแสโหลดหาได้โดย

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty}\left(I_{n,rms}\right)^2}}{I_{1,rms}}$$

$$\approx \frac{\sqrt{(0.11)^2 + (0.36)^2 + (0.09)^2}}{4.52} = 0.087 = 8.7\%$$



S_1 ON เมื่อ $V_{sine} > V_{tri}$

S_2 ON เมื่อ $-V_{sine} < V_{tri}$

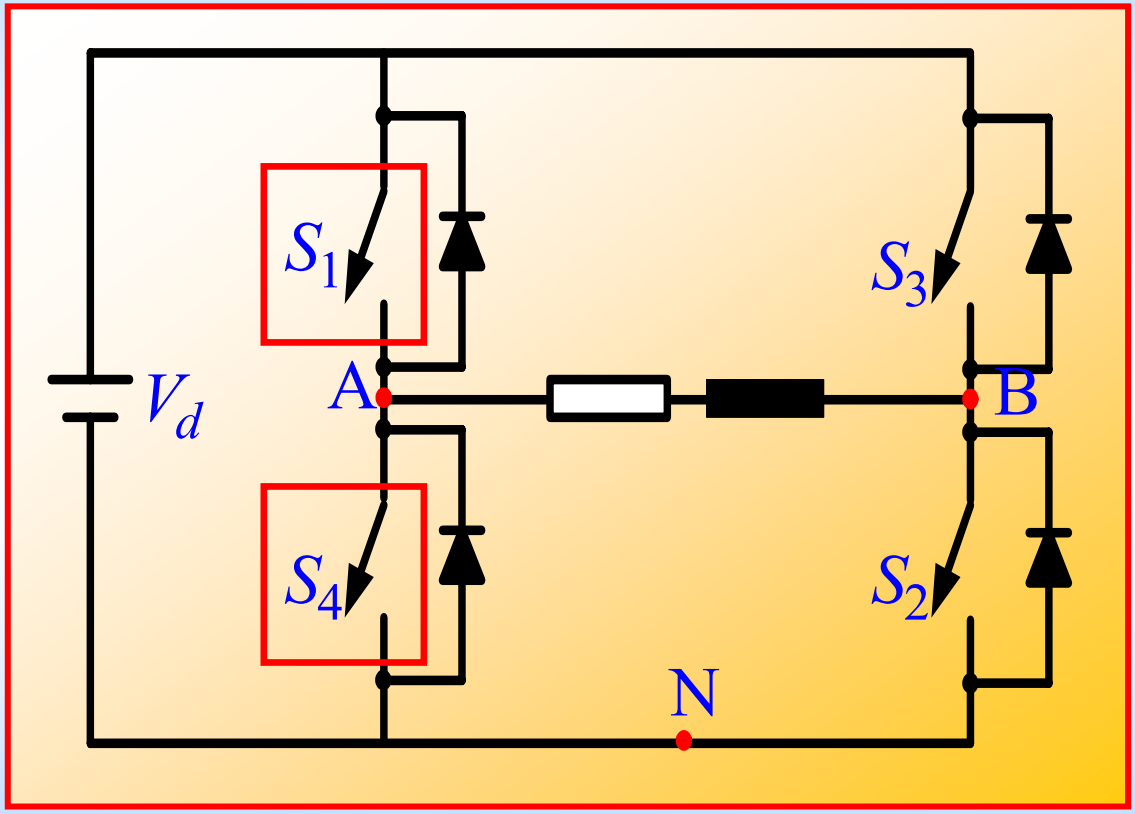
S_3 ON เมื่อ $-V_{sine} > V_{tri}$

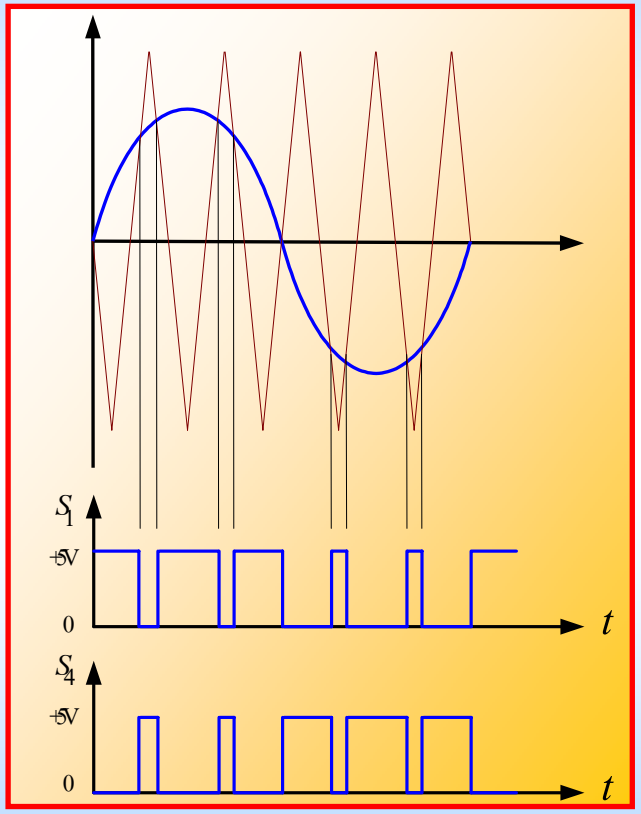
S_4 ON เมื่อ $V_{sine} < V_{tri}$

Full bridge Inverter

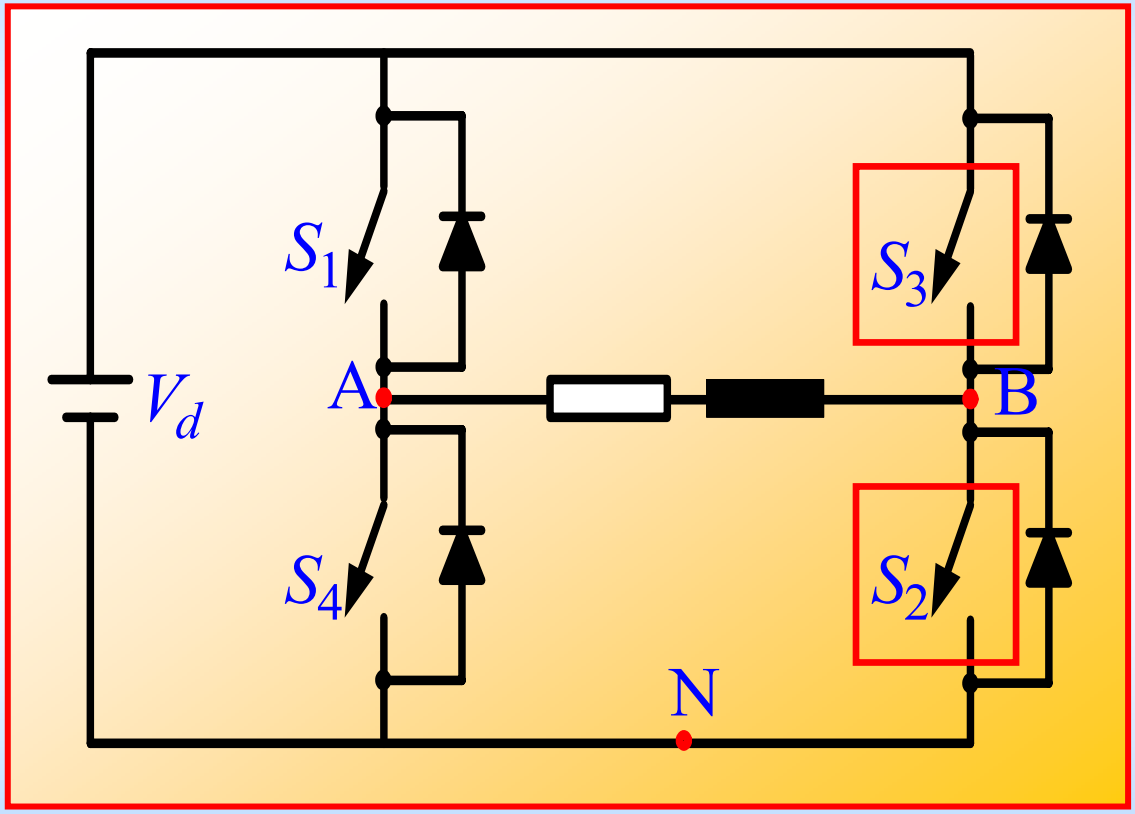
สำหรับ Unipolar PWM

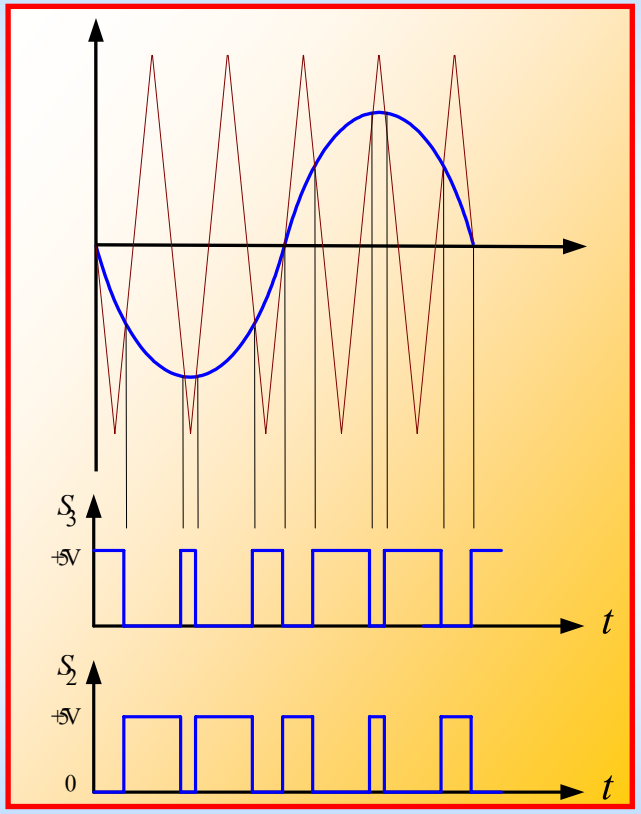
โหมดการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส แบบ Unipolar

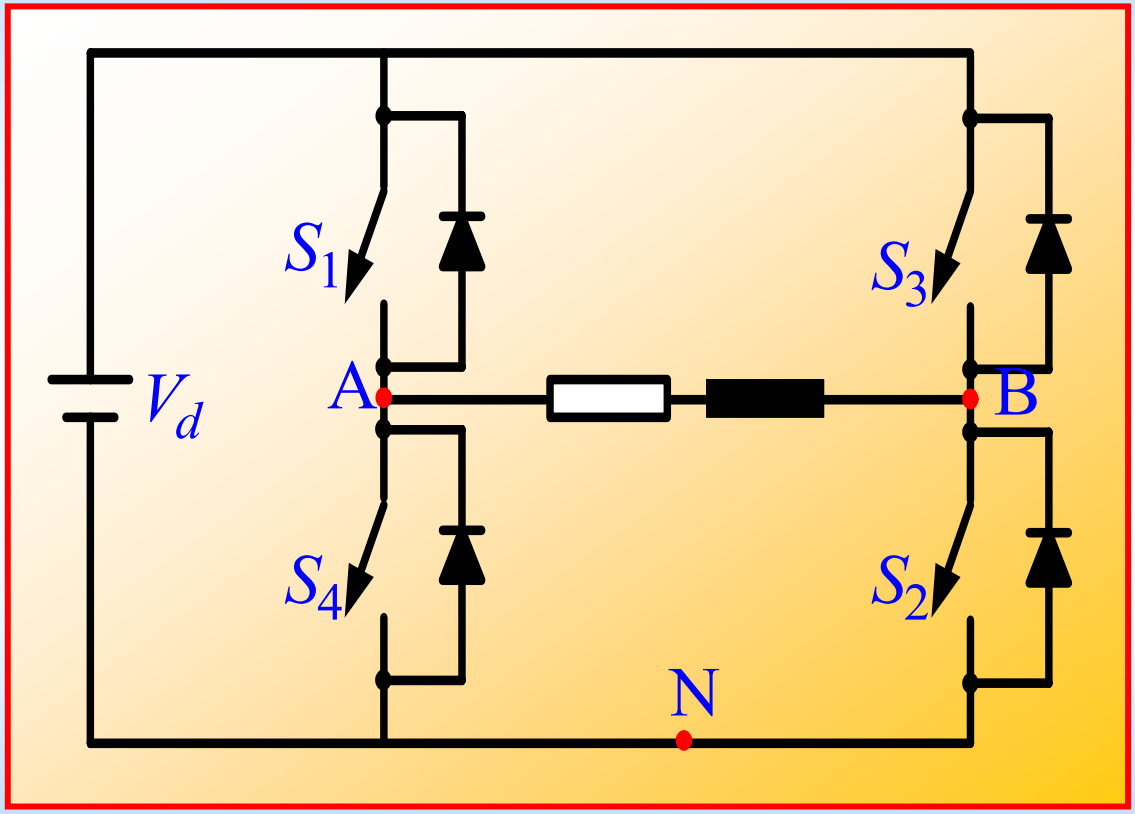


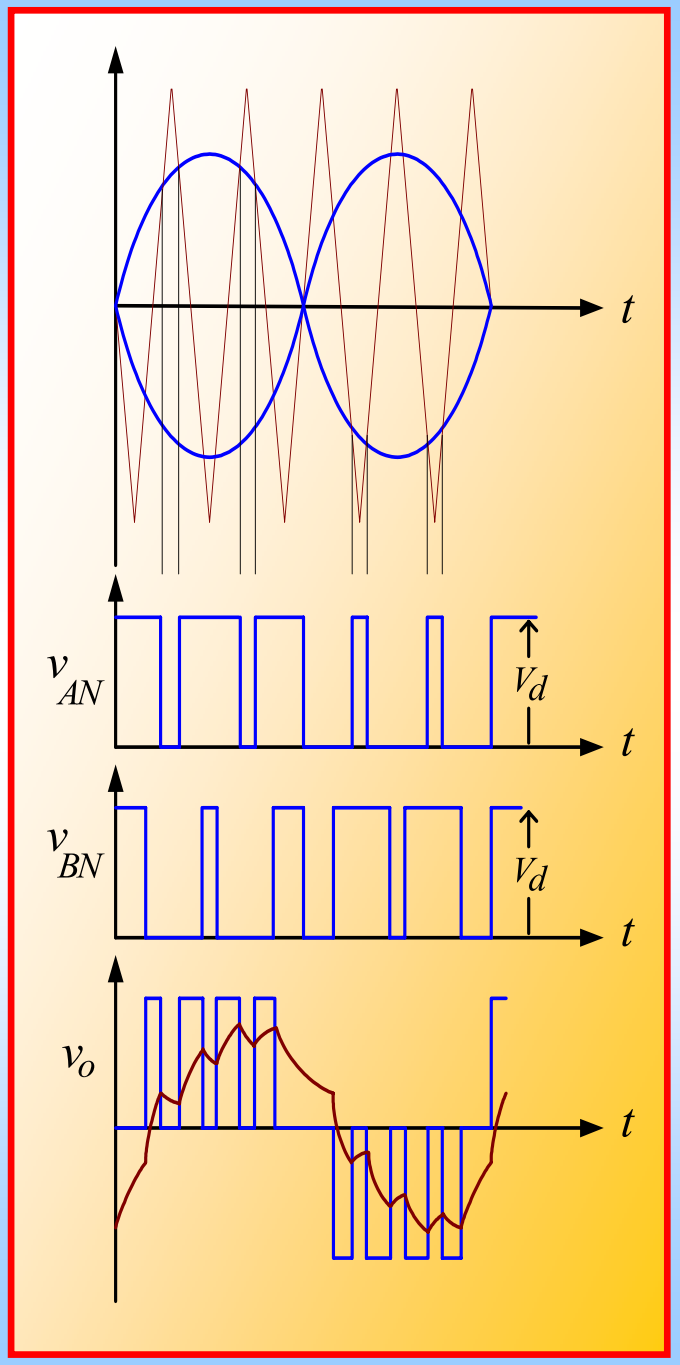


โหมดการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส แบบ Unipolar

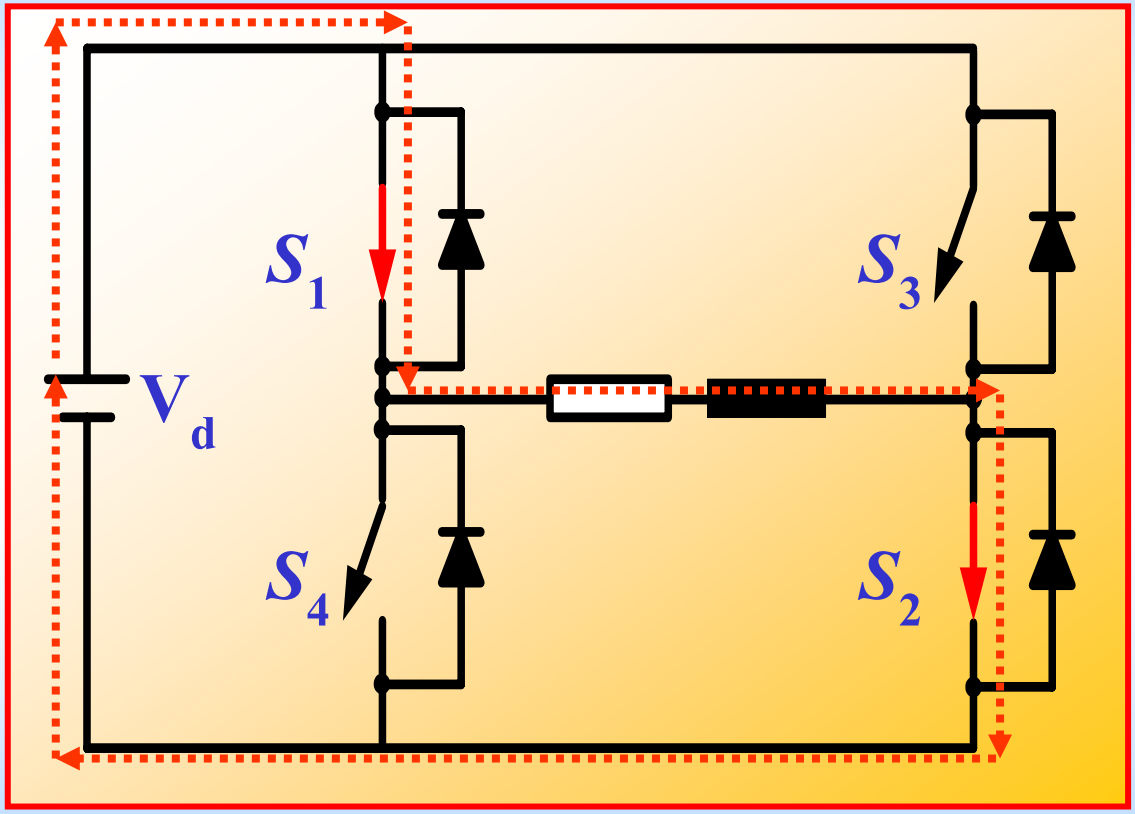


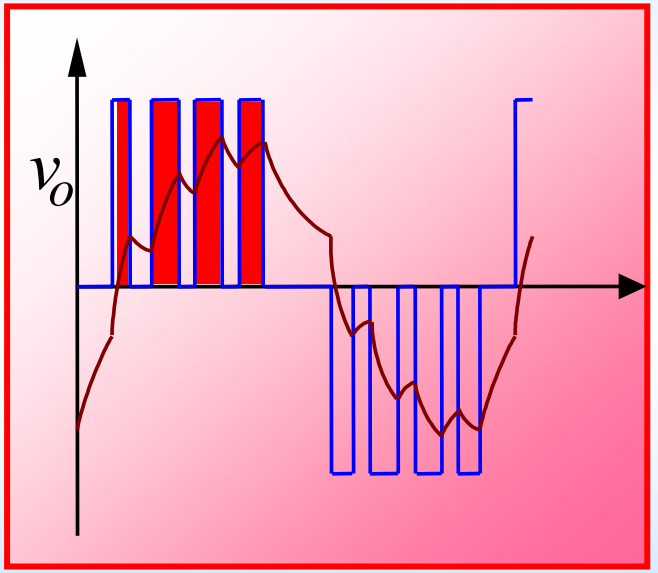



S_1
S_3
V_d
A
B
S_4
S_2
N


t
v_{AN}
V_d
t
v_{BN}
V_d
t
v_o
t

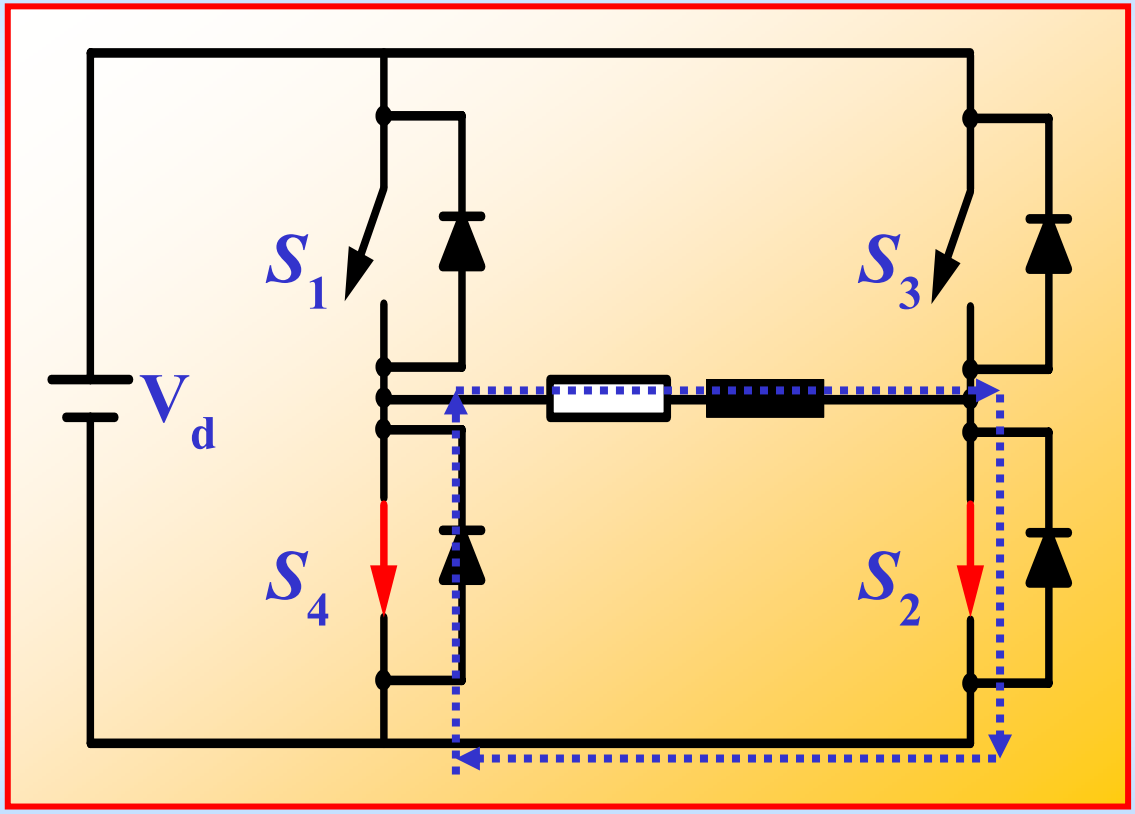
Mode 1

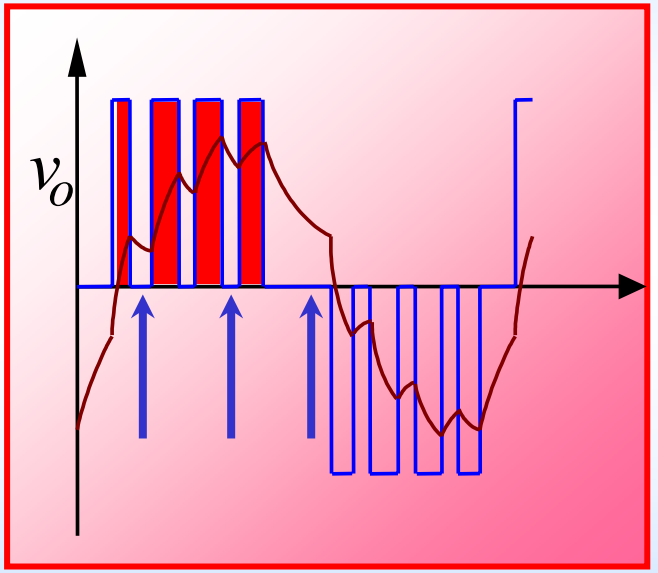




แรงดัน (+) กระแส (+)

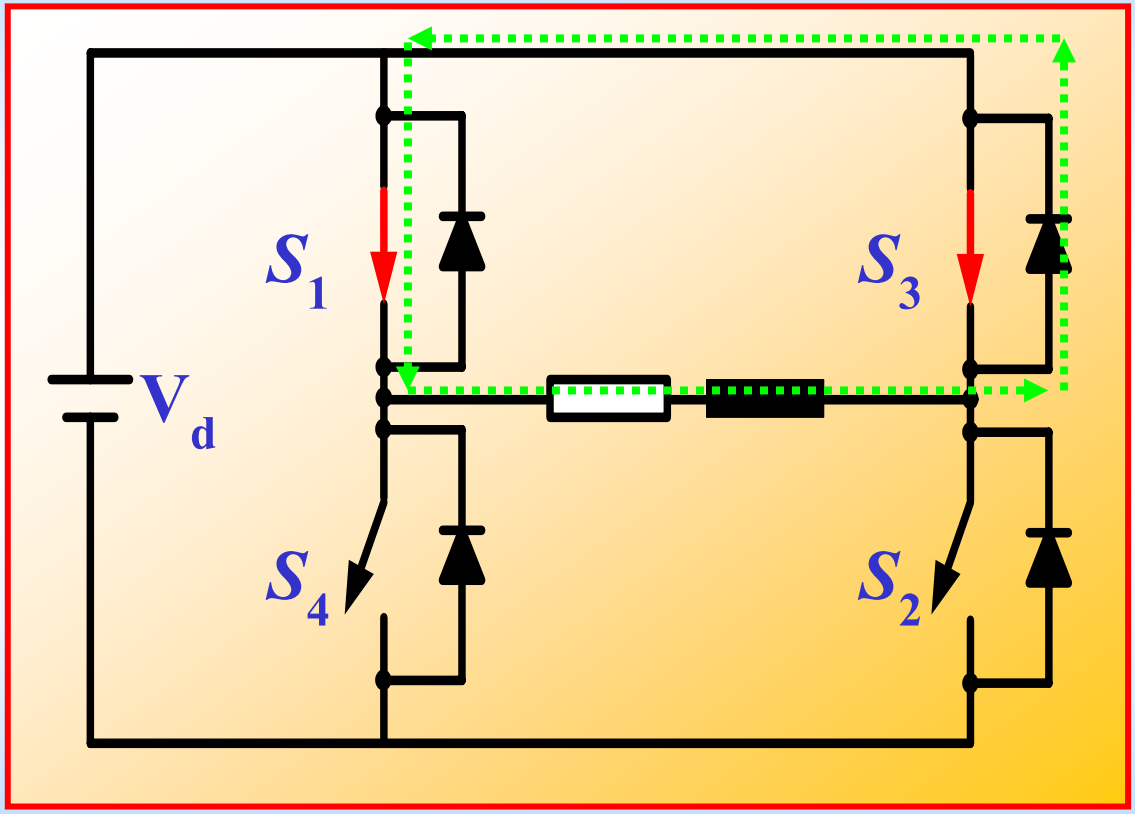
Mode 2

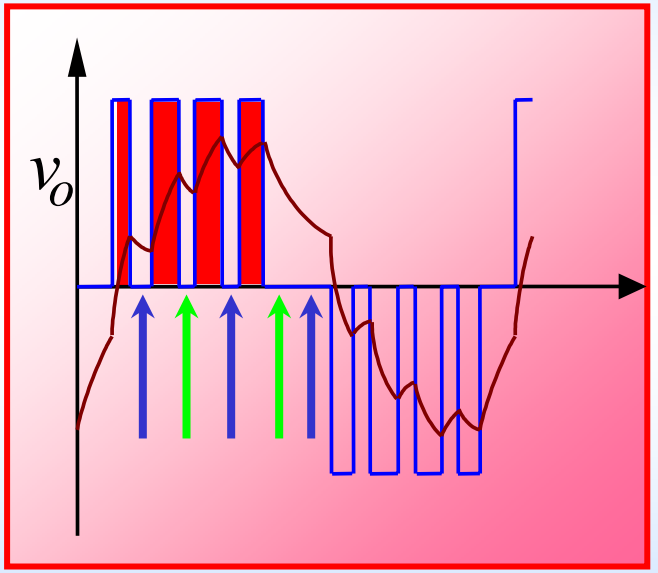




แรงดัน (0) กระแส (+)

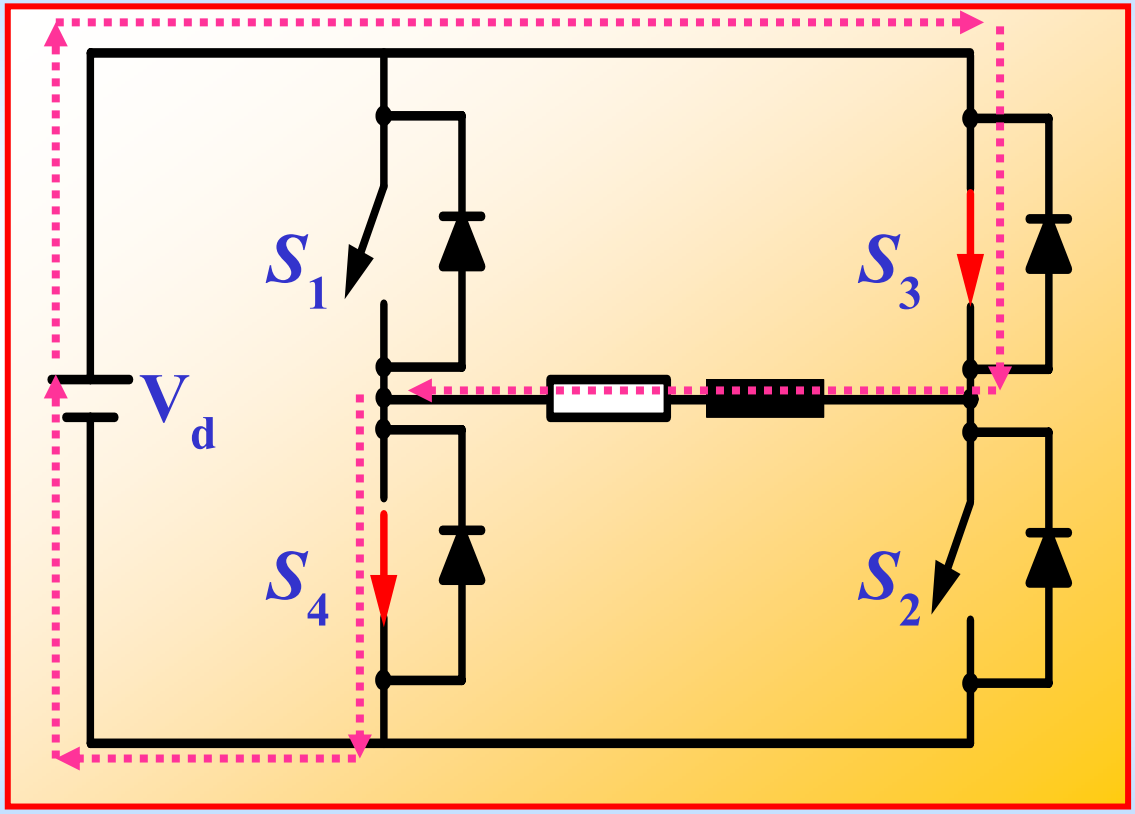
Mode 3

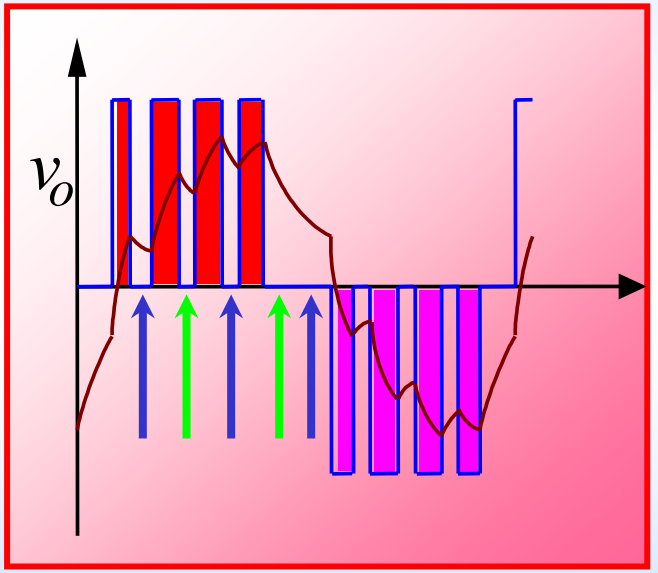




แรงดัน (0) กระแส (+)

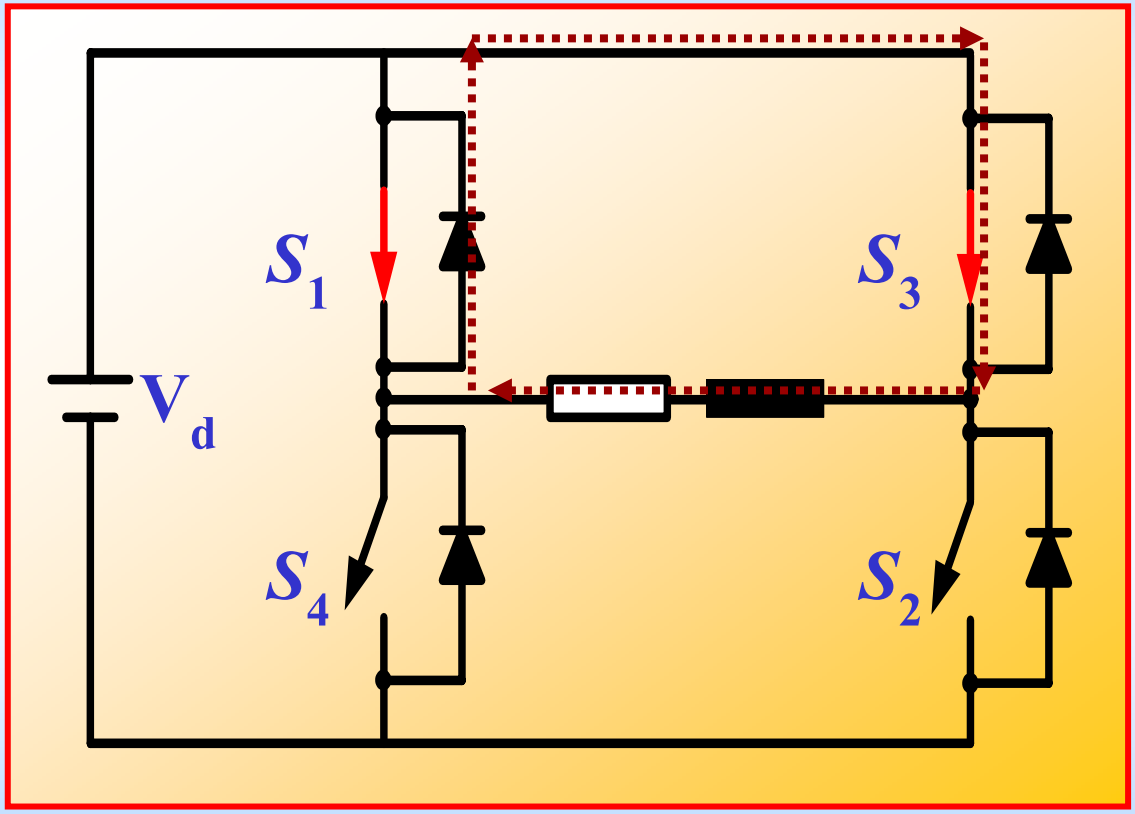
Mode 4

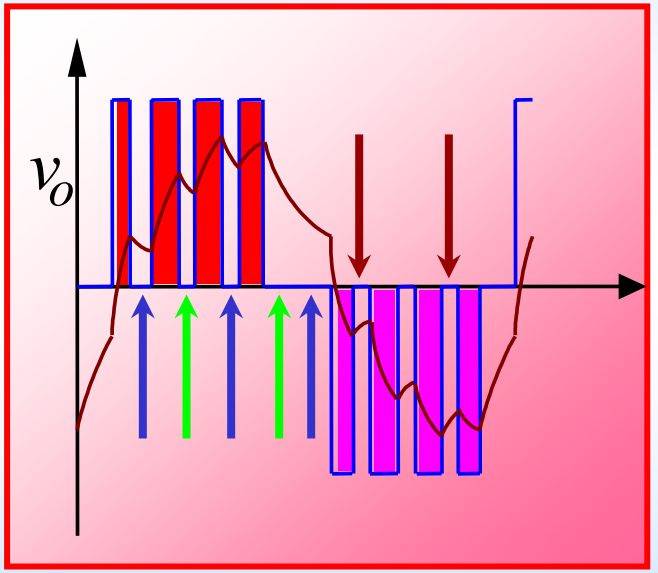




แรงดัน (-) กระแส (-)

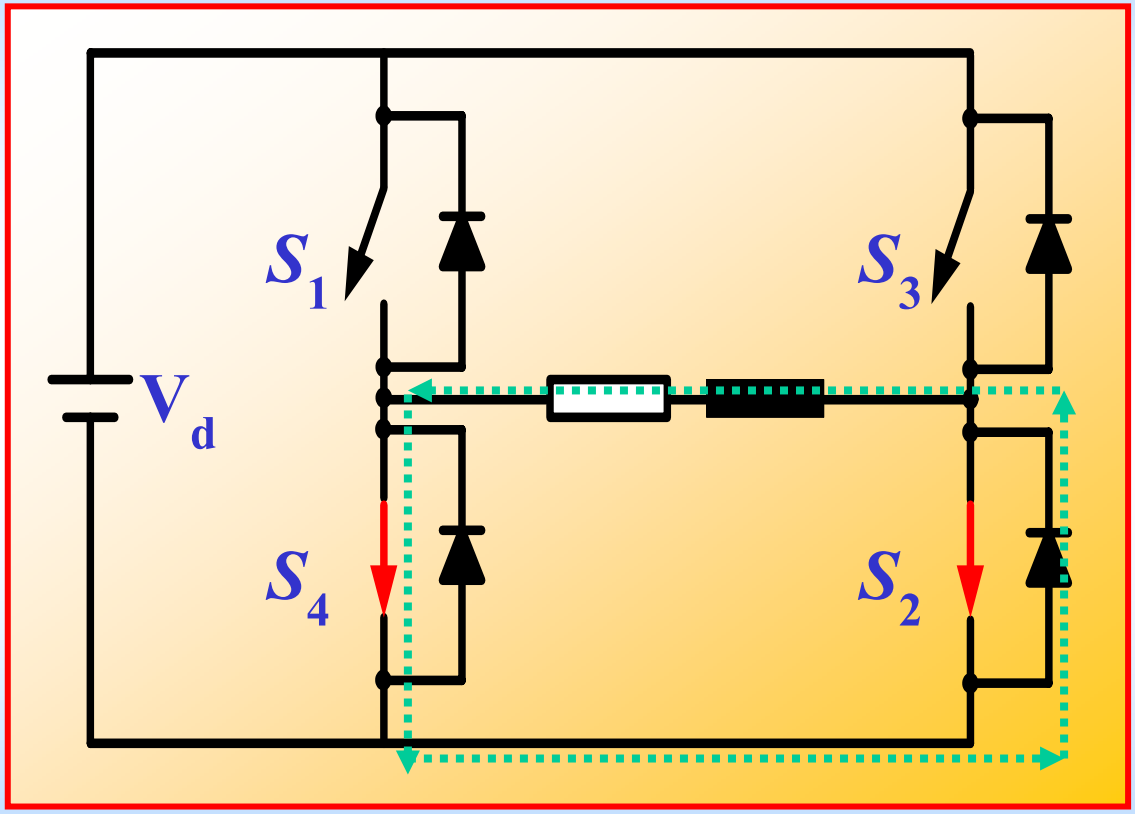
Mode 5

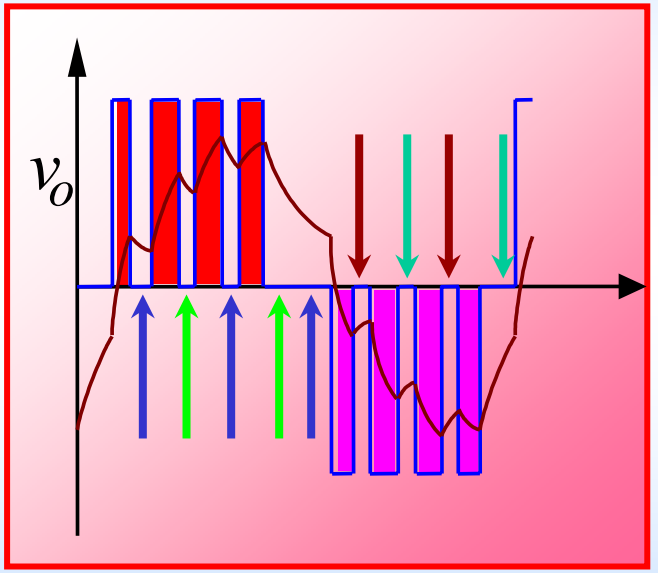




แรงดัน (0) กระแส (-)

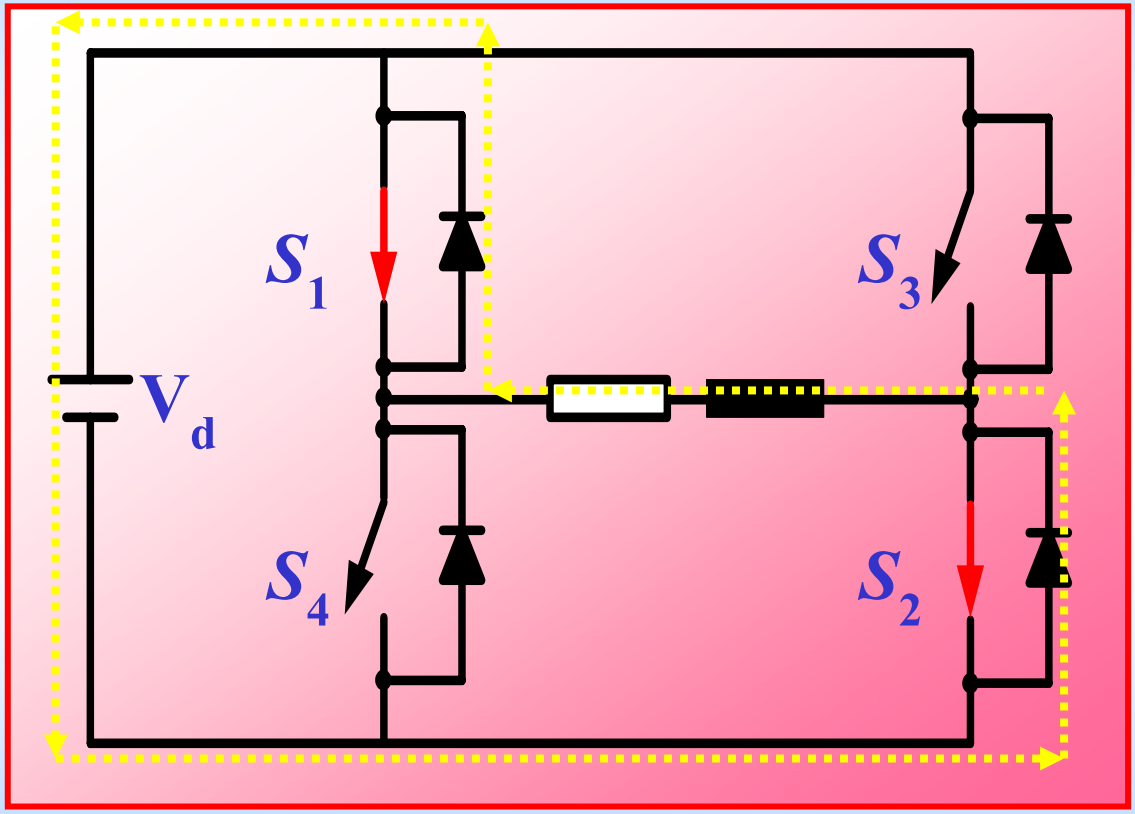
Mode 6

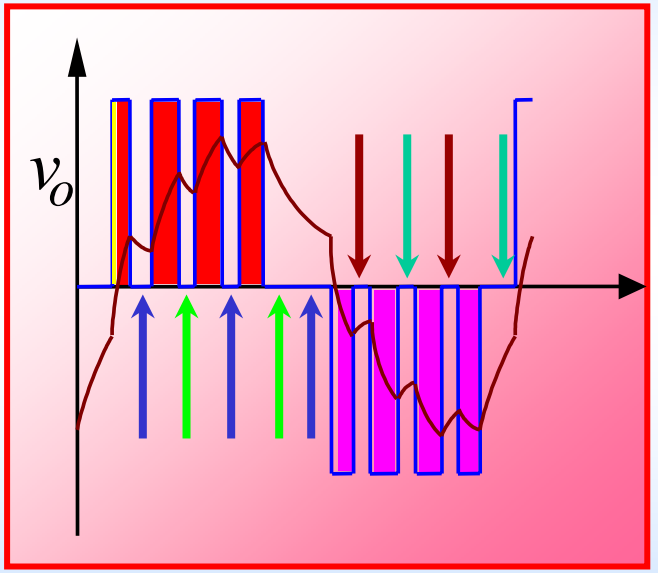




แรงดัน (0) กระแส (-)

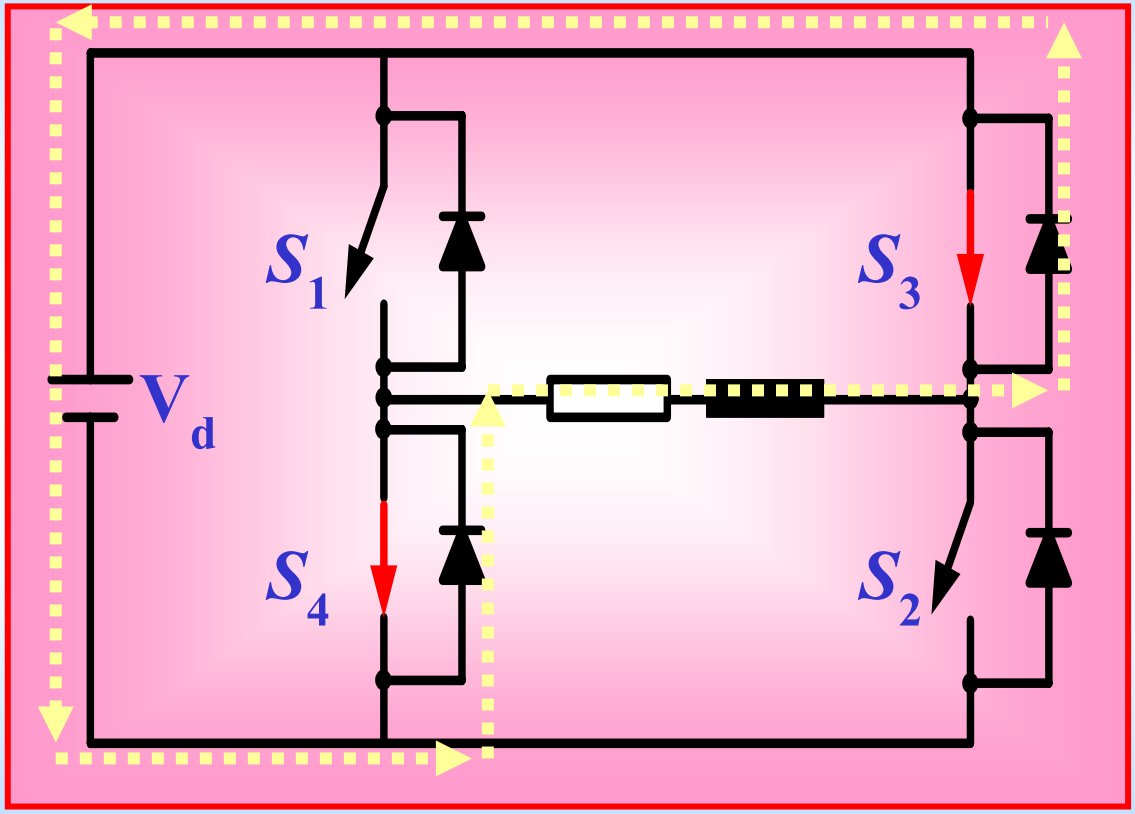
Mode 7

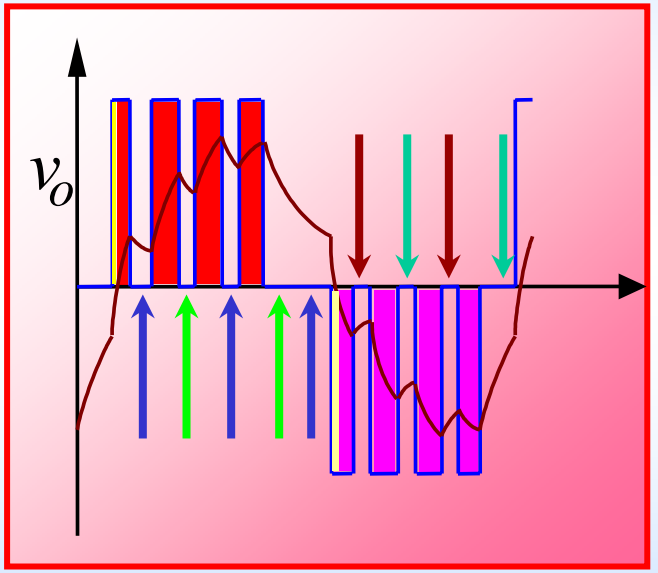




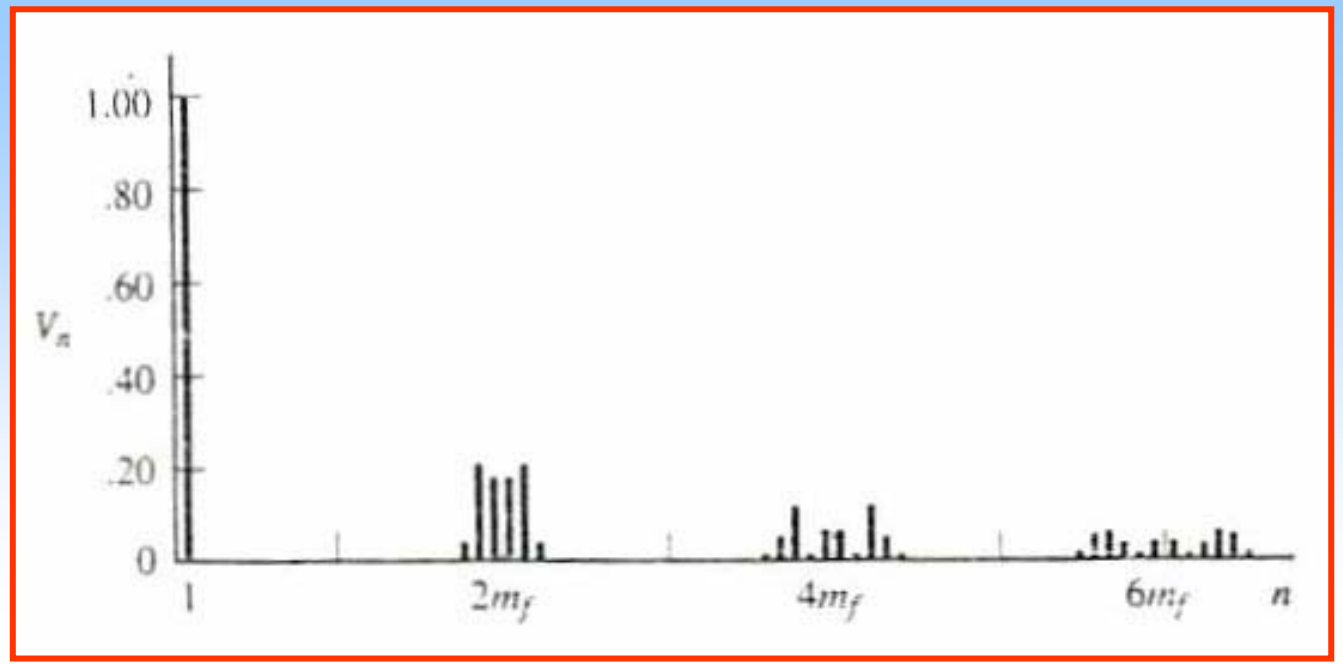
แรงดัน (+) กระแส (-)

Mode 8





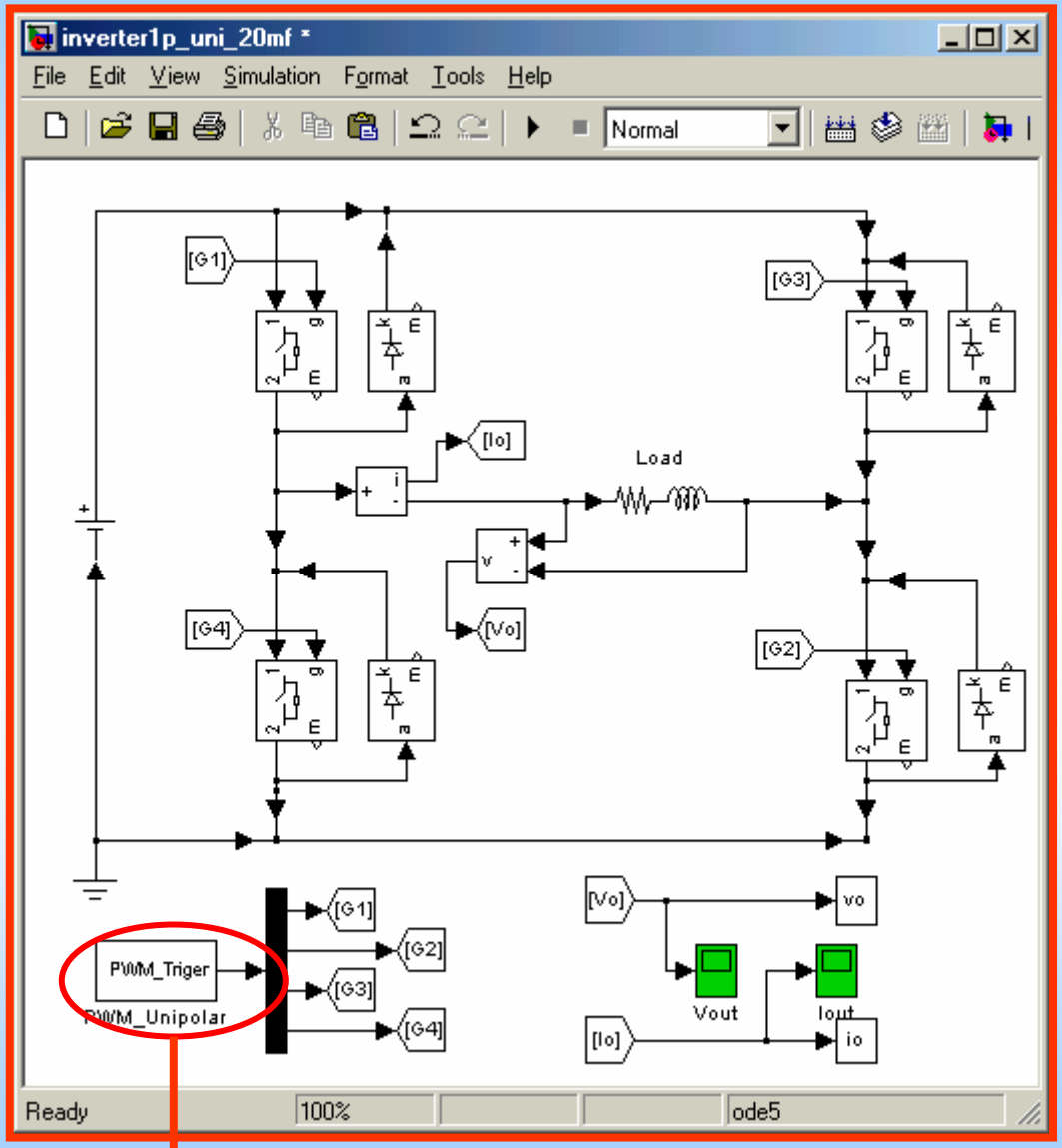
แรงดัน (-) กระแส (+)



สเปกตรัมแรงดันฮาร์มอนิคเมื่อ m_a=1

NORMALIZED FOURIER COEFFICIENTS V_n/V_{dc} FOR UNIPOLAR PWM

	m_a = 1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
$n = 1$	1.00	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10
$n = 2m_f \pm 1$	0.18	0.25	0.31	0.35	0.37	0.36	0.33	0.27	0.19	0.10
$n = 2m_f \pm 3$	0.21	0.18	0.14	0.10	0.07	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00

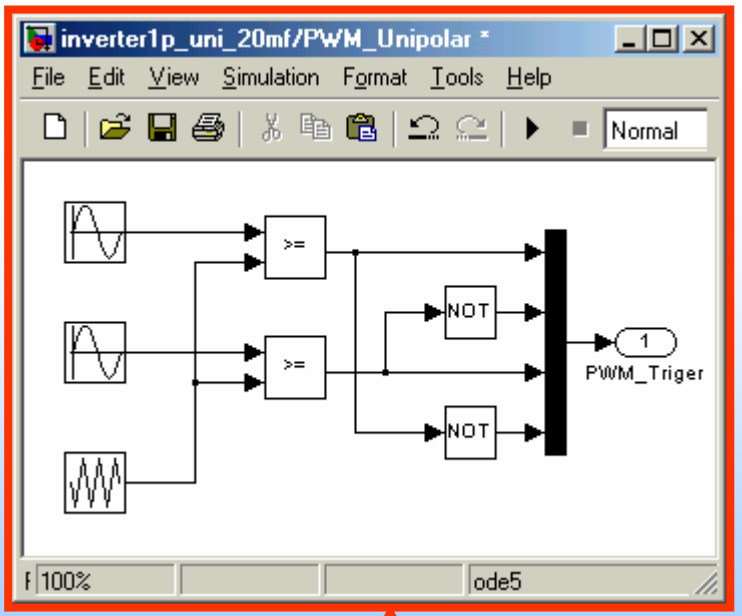


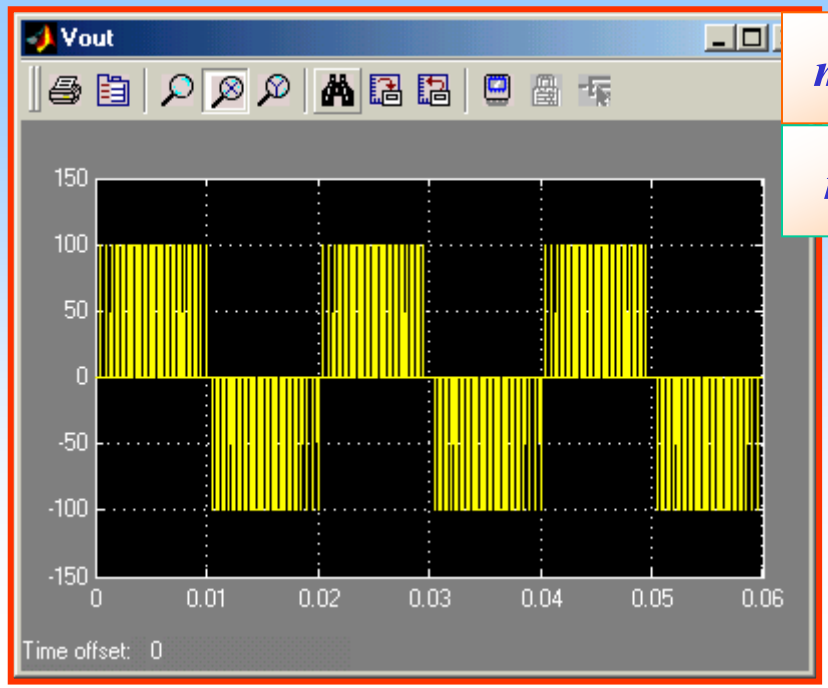
วงจรจำลองอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

แบบ Unipolar

Vdc=100 V. R=20 Ω L=50 mH

m_a = 0.5, 0.8 m_f = 20, 40




Vout
150
100
50
0
-50
-100
-150
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
Time offset: 0

ma = 0.5

mf = 20

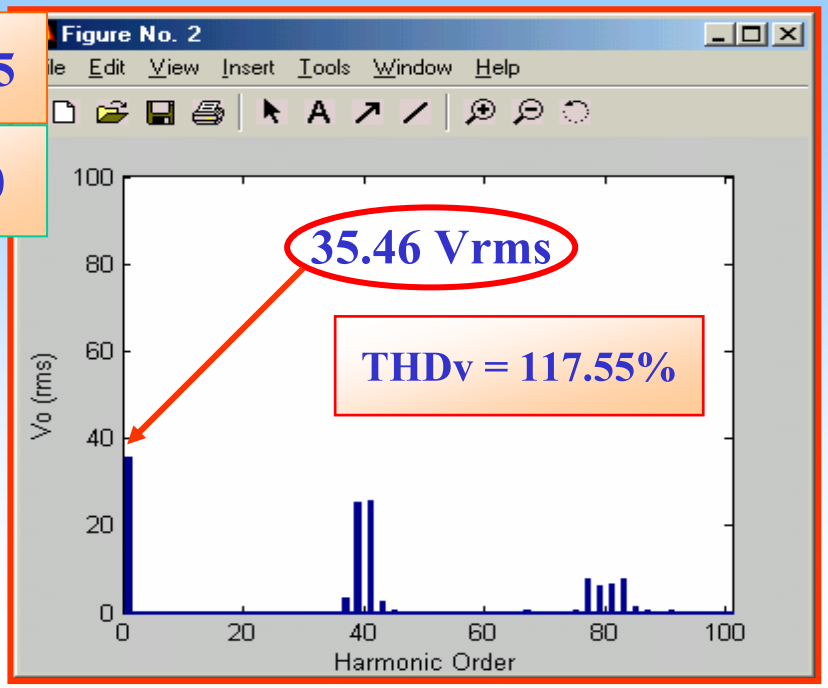
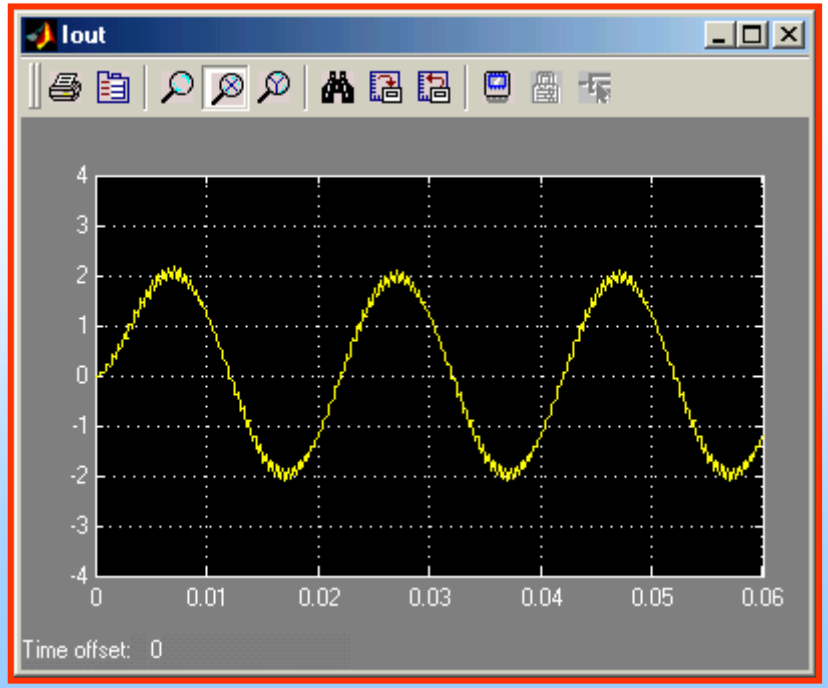


Figure No. 2
File Edit View Insert Tools Window Help
100
80
60
40
20
0
Vo (rms)
0
20
40
60
80
100
Harmonic Order
35.46 Vrms
THDv = 117.55%


Iout
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
Time offset: 0

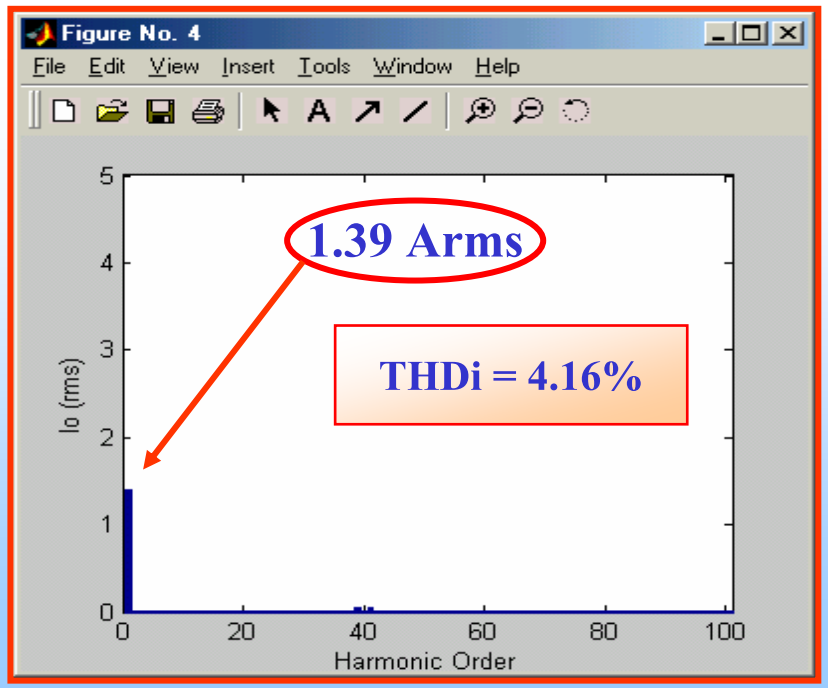
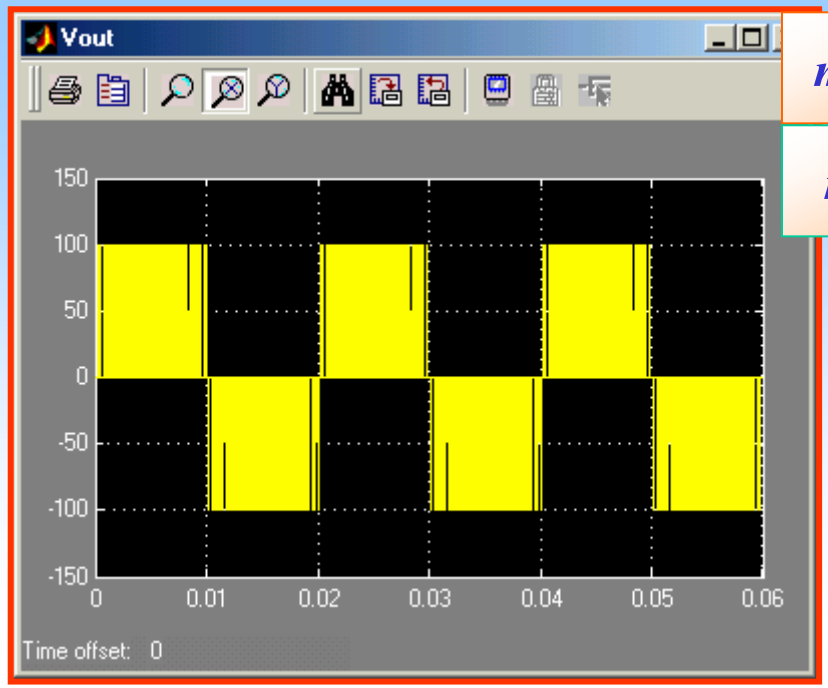


Figure No. 4
File Edit View Insert Tools Window Help
5
4
3
2
1
0
Io (rms)
0
20
40
60
80
100
Harmonic Order
1.39 Arms
THDi = 4.16%


Vout
150
100
50
0
-50
-100
-150
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
Time offset: 0

ma = 0.5

mf = 40

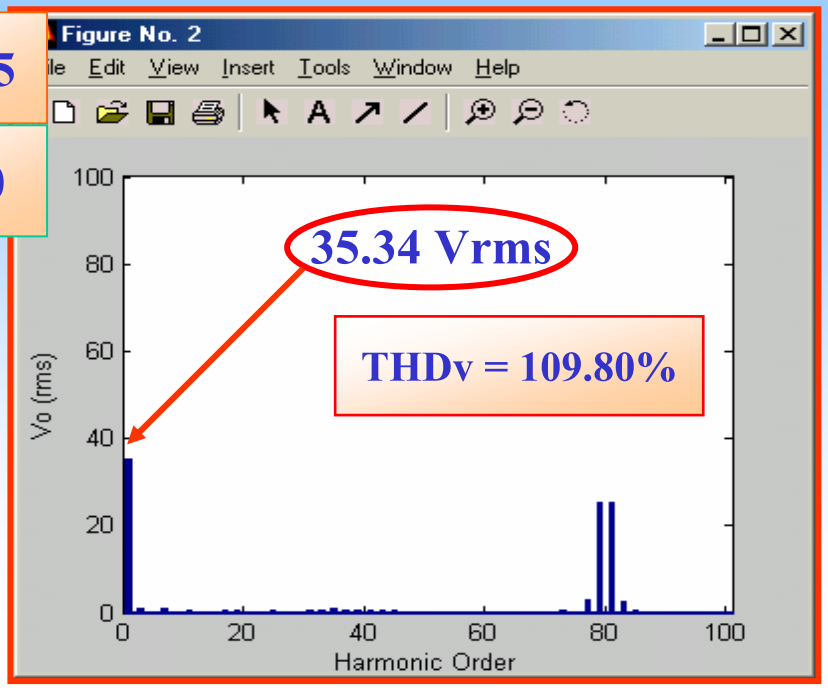
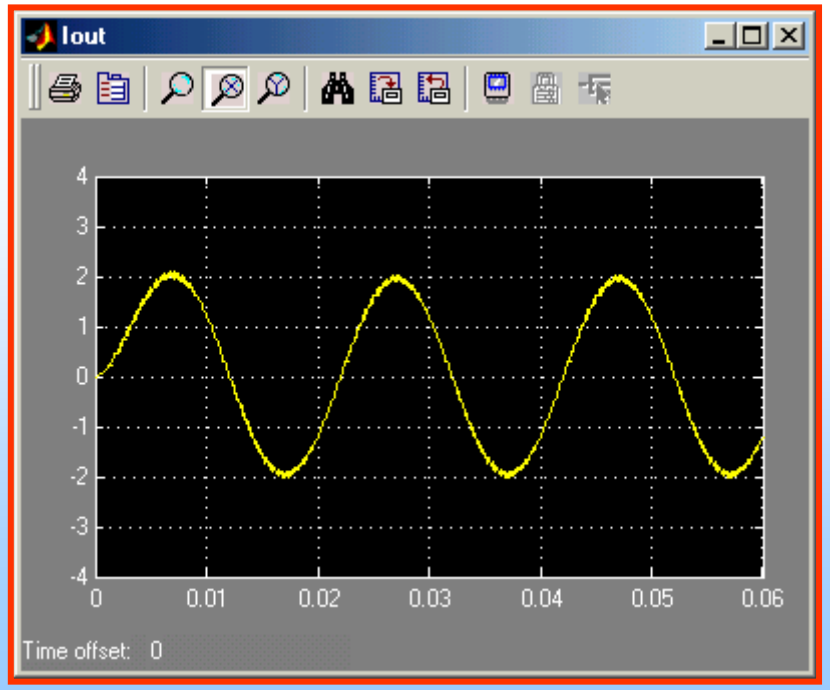


Figure No. 2
File Edit View Insert Tools Window Help
100
80
60
40
20
0
Vo (rms)
0
20
40
60
80
100
Harmonic Order
35.34 Vrms
THDv = 109.80%


Iout
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
Time offset: 0

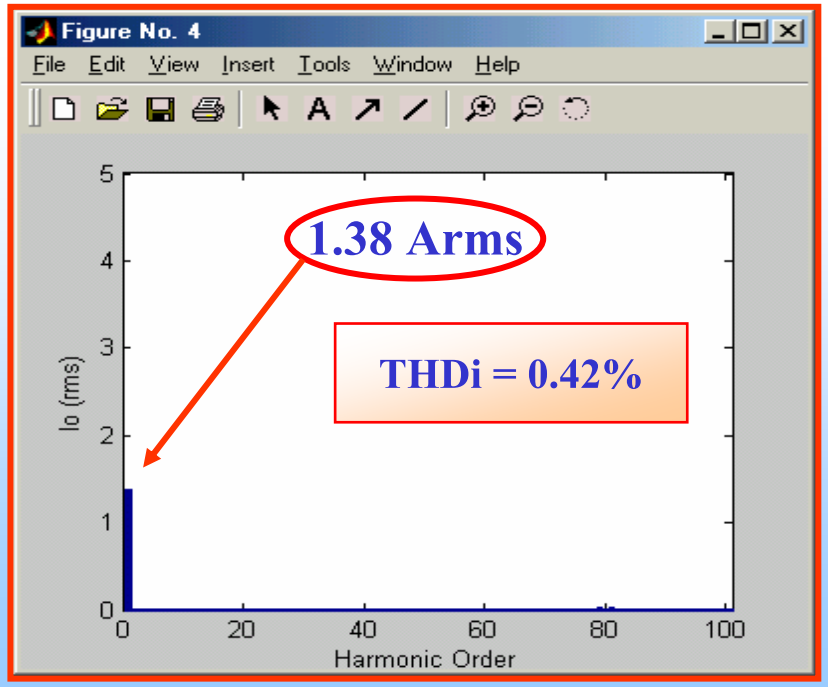
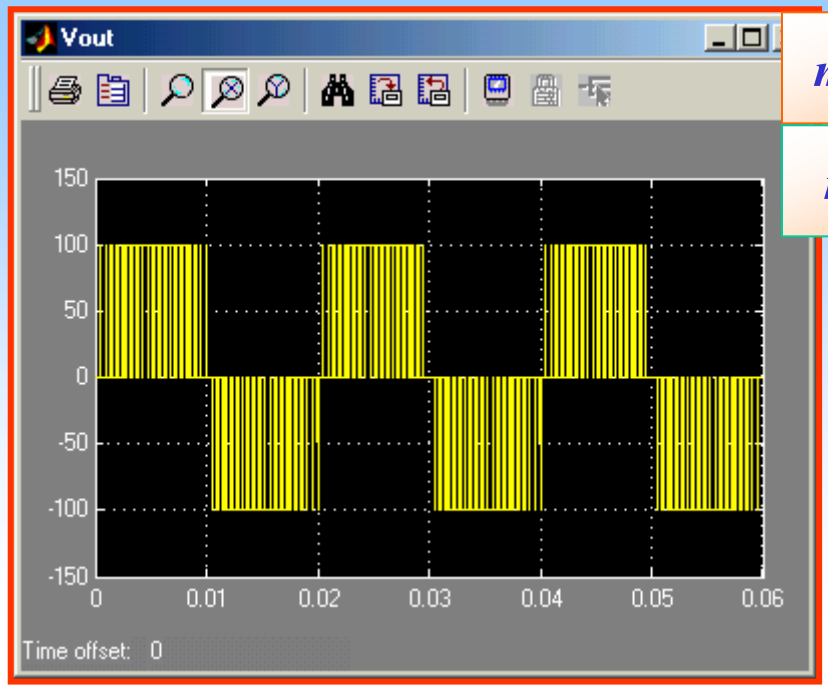


Figure No. 4
File Edit View Insert Tools Window Help
5
4
3
2
1
0
Io (rms)
0
20
40
60
80
100
Harmonic Order
1.38 Arms
THDi = 0.42%


Vout
150
100
50
0
-50
-100
-150
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
Time offset: 0

ma = 0.8

mf = 20

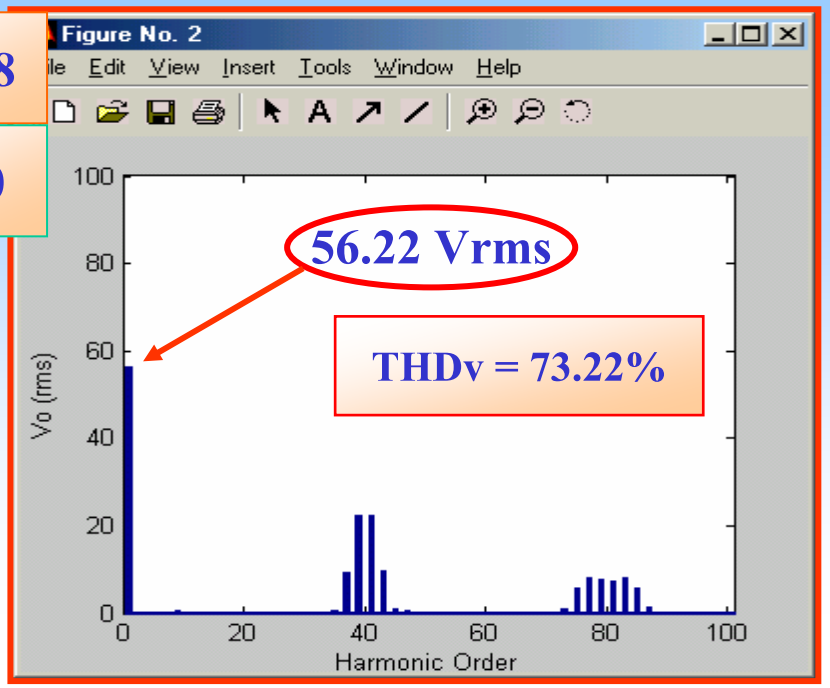
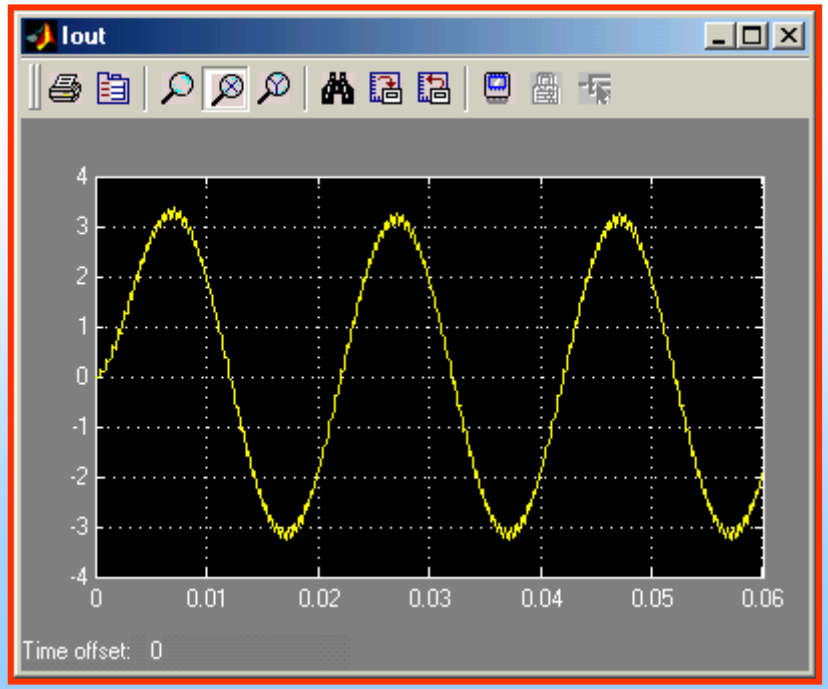


Figure No. 2
File Edit View Insert Tools Window Help
100
80
60
40
20
0
Vo (rms)
56.22 Vrms
THDv = 73.22%
0
20
40
60
80
100
Harmonic Order


Iout
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
Time offset: 0

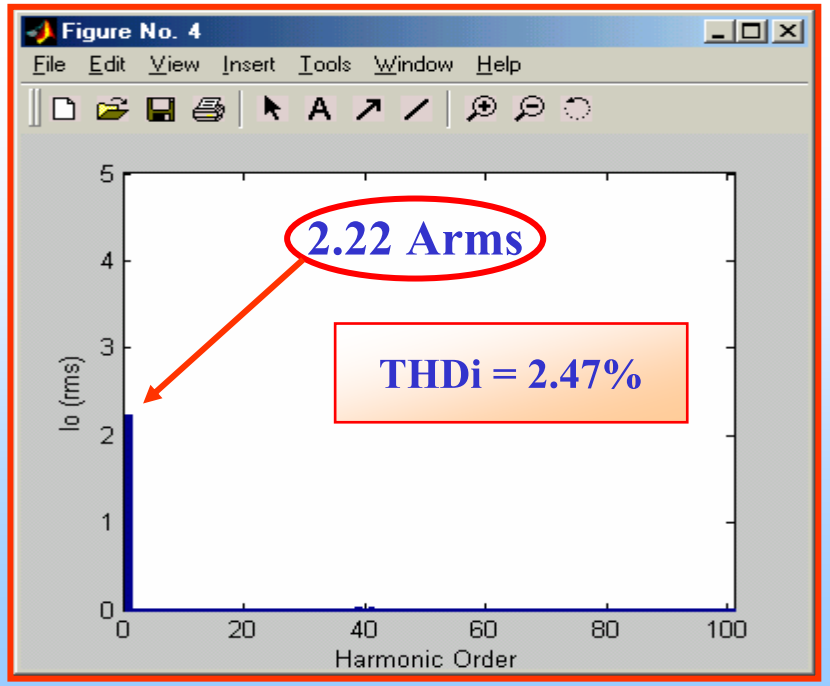
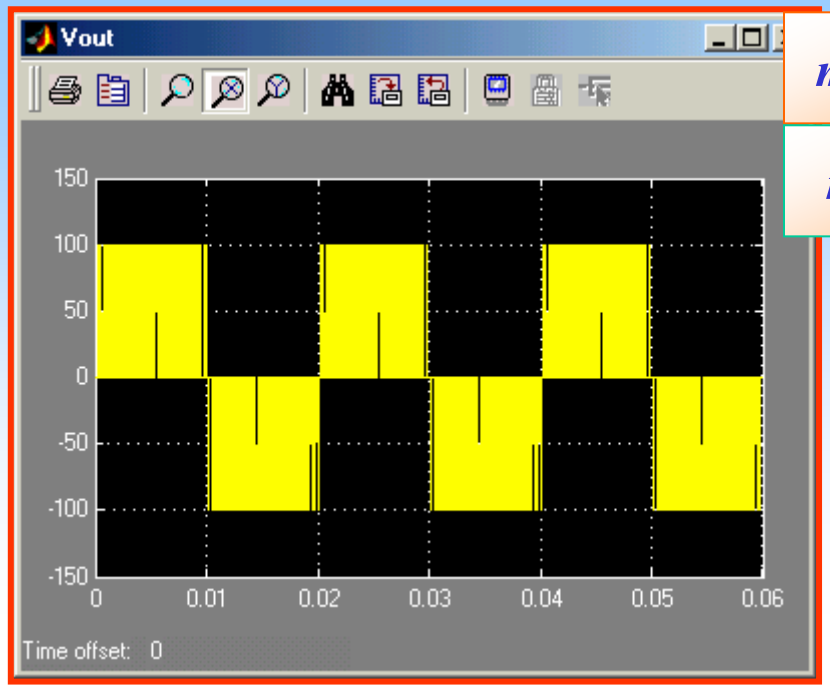


Figure No. 4
File Edit View Insert Tools Window Help
5
4
3
2
1
0
Io (rms)
2.22 Arms
THDi = 2.47%
0
20
40
60
80
100
Harmonic Order


Vout
150
100
50
0
-50
-100
-150
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
Time offset: 0

ma = 0.8

mf = 40

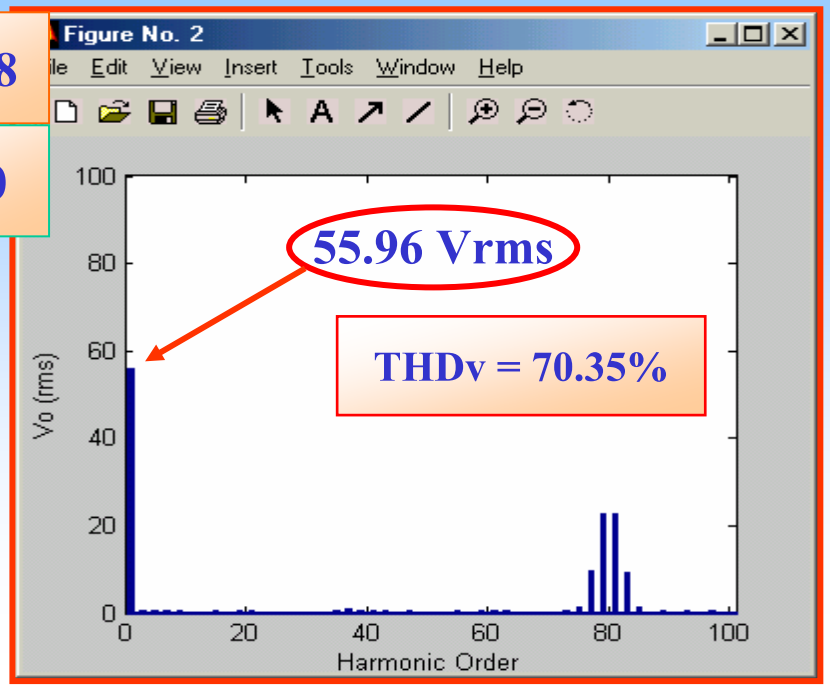
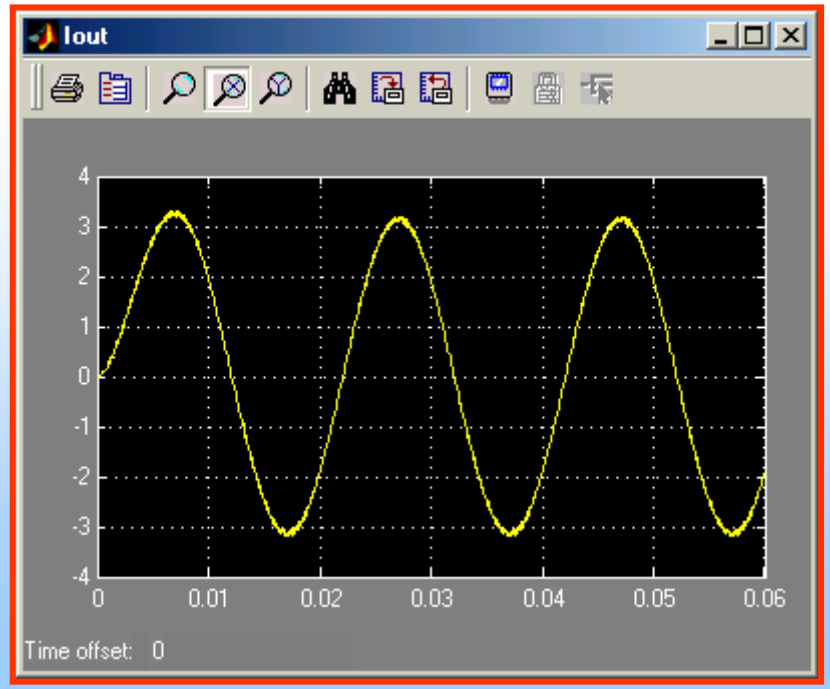


Figure No. 2
File Edit View Insert Tools Window Help
55.96 Vrms
THDv = 70.35%
Vo (rms)
Harmonic Order
0
20
40
60
80
100


Iout
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
Time offset: 0

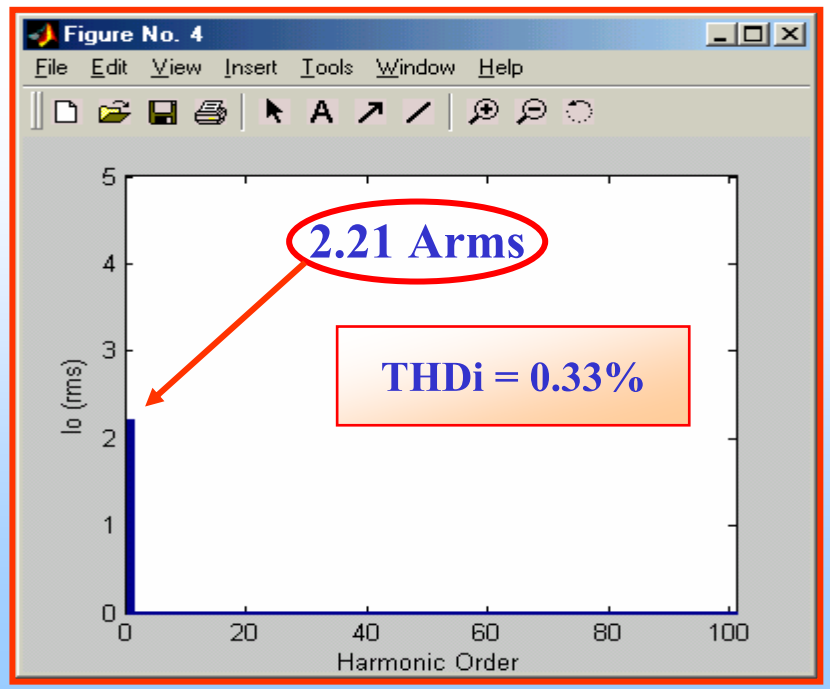
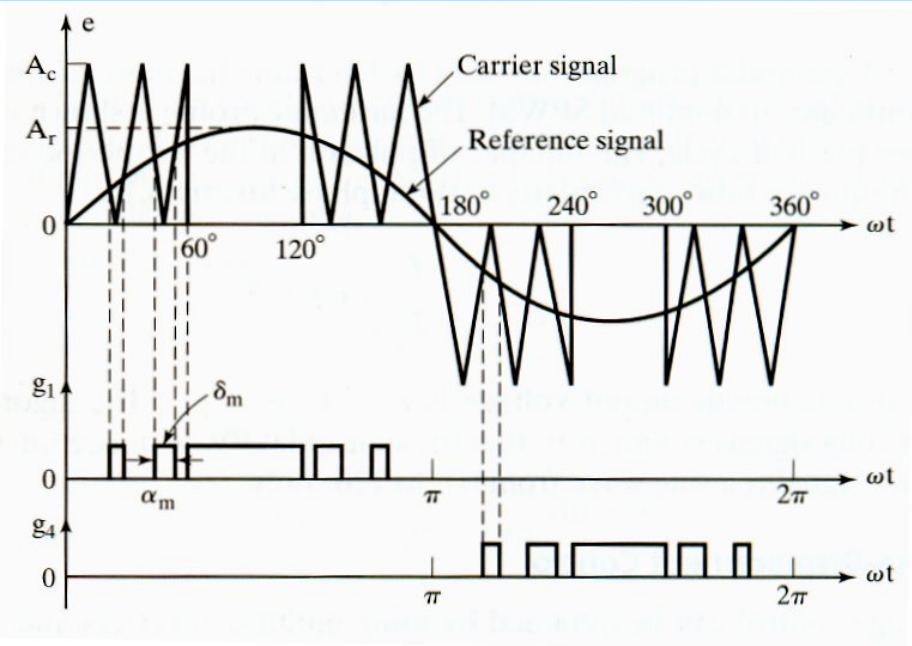


Figure No. 4
File Edit View Insert Tools Window Help
2.21 Arms
THDi = 0.33%
Io (rms)
Harmonic Order
0
1
2
3
4
5
0
20
40
60
80
100

9.2.4 Modified Sinusoidal Pulse - Width Modulation (MSPWM)



โดยการป้อนคลื่นพาห์ในช่วงมุม

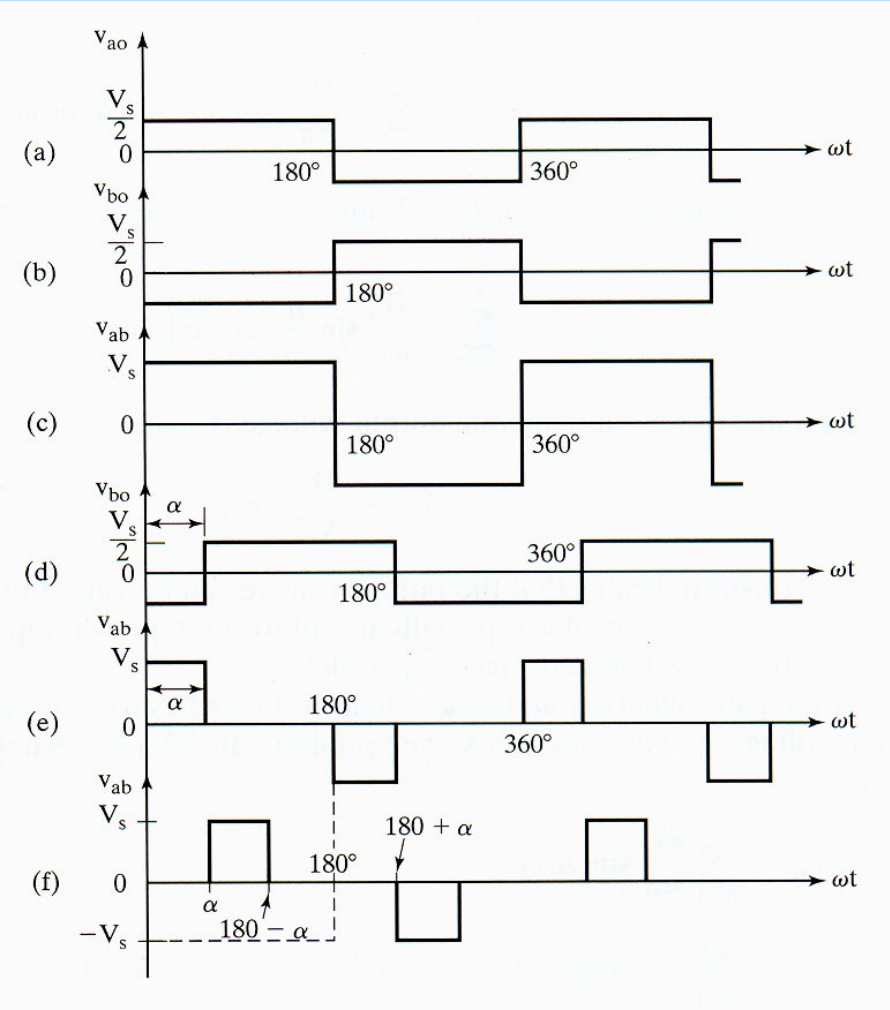
$0^{\circ} \rightarrow 60^{\circ}$

และช่วงมุม

$120^{\circ} \rightarrow 180^{\circ}$

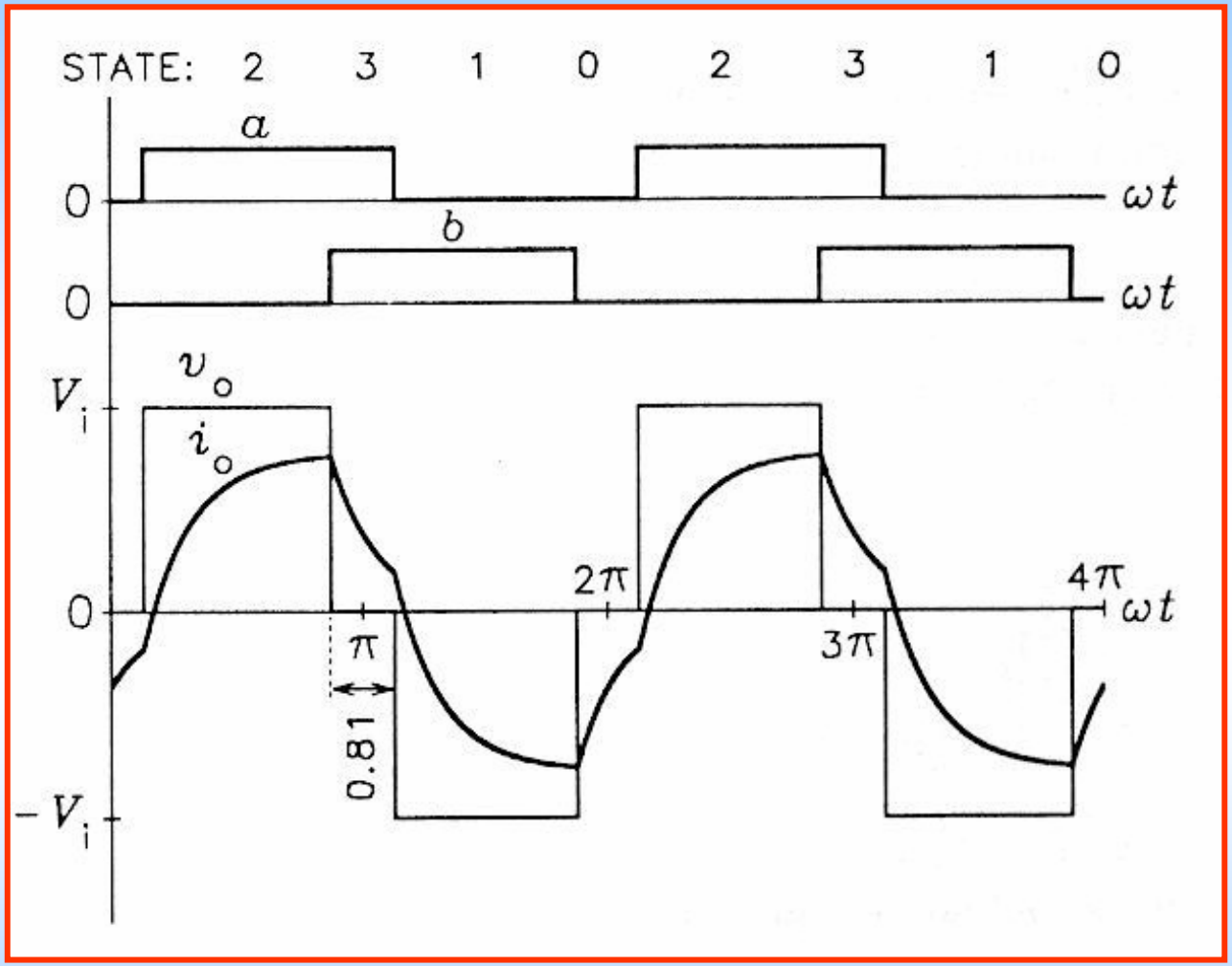
มีผลทำให้แรงดันเอาต์พุต RMS มีค่าสูงขึ้น

9.2.5 Phase - Displacement control



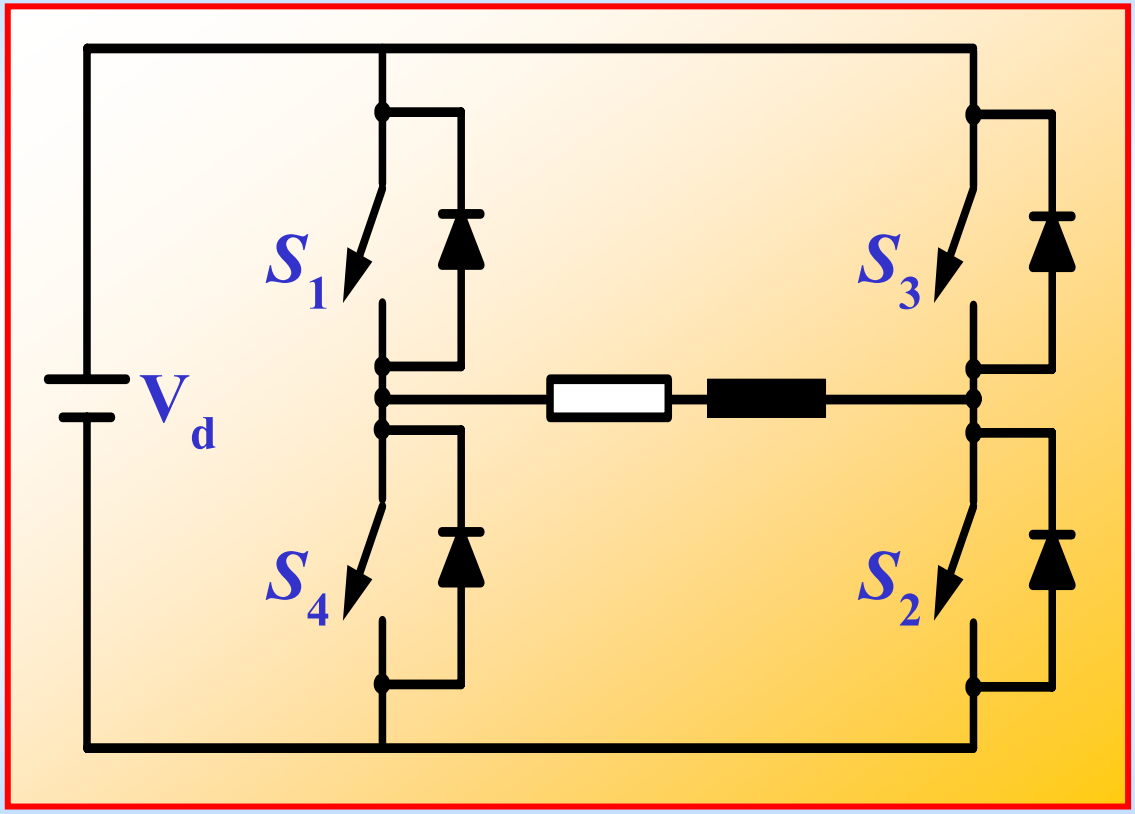
แรงดันเอาต์พุต RMS มีค่าเท่ากับ

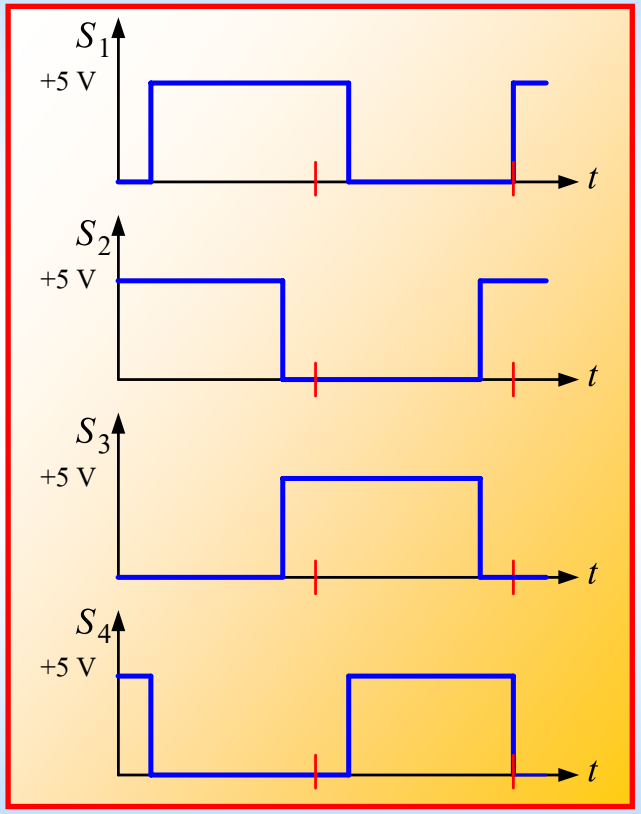
$$V_O = V_S\sqrt{\frac{\alpha}{\pi}}$$



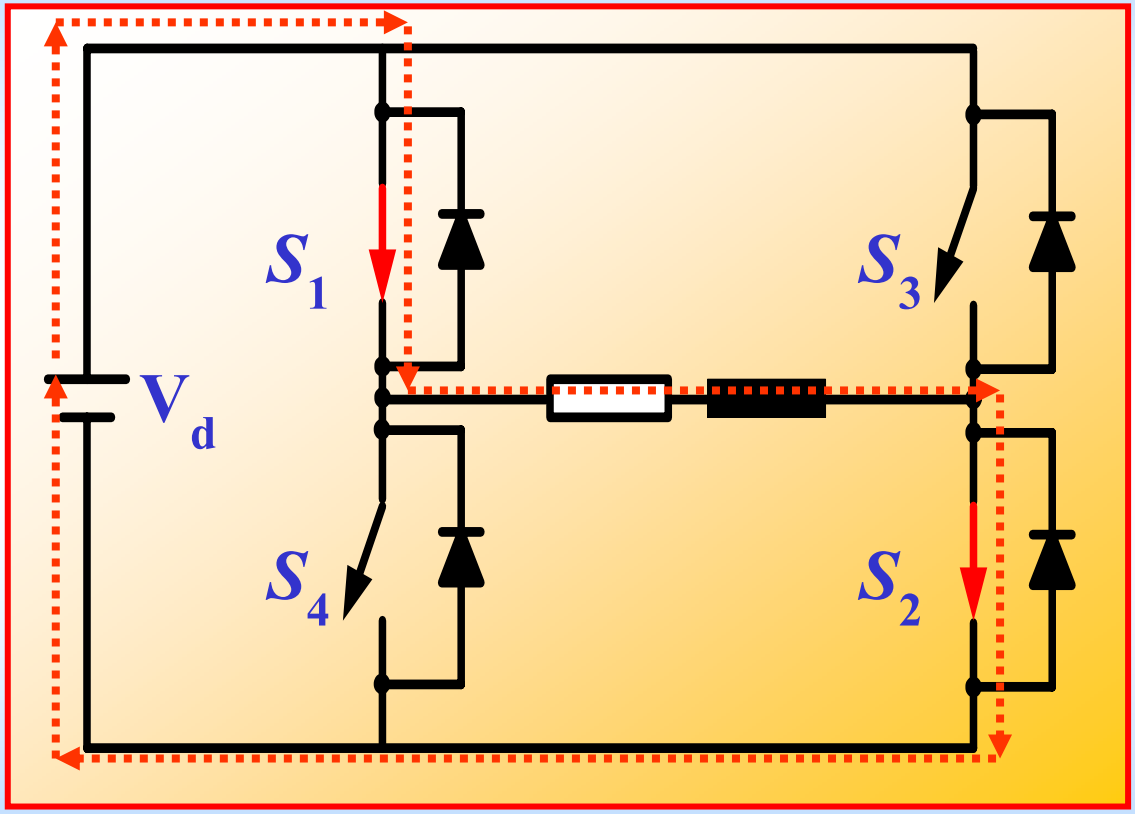
States, ตัวแปรสวิทชิ่งและรูปคลื่นแรงดันและกระแสรูป Quasi – Square wave

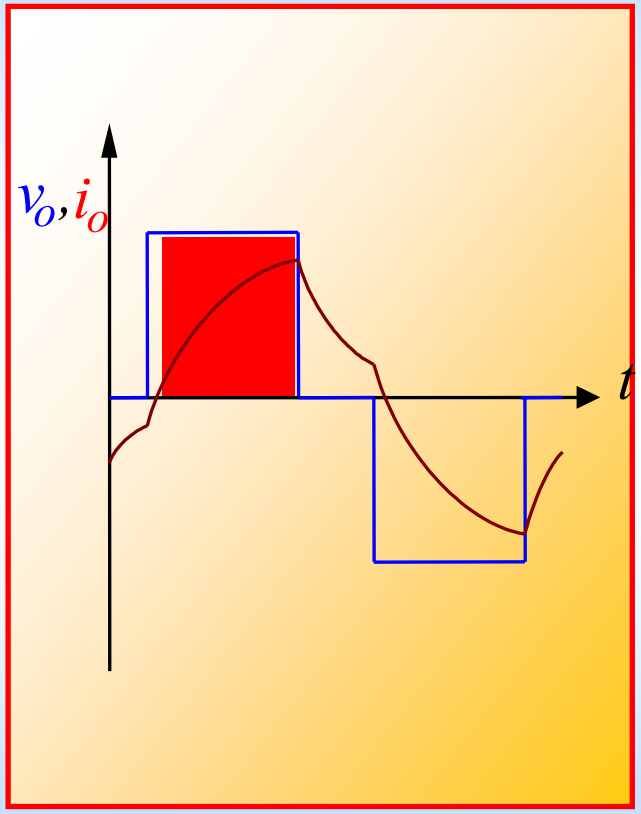
โหมดการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส แบบ Quasi Square Wave





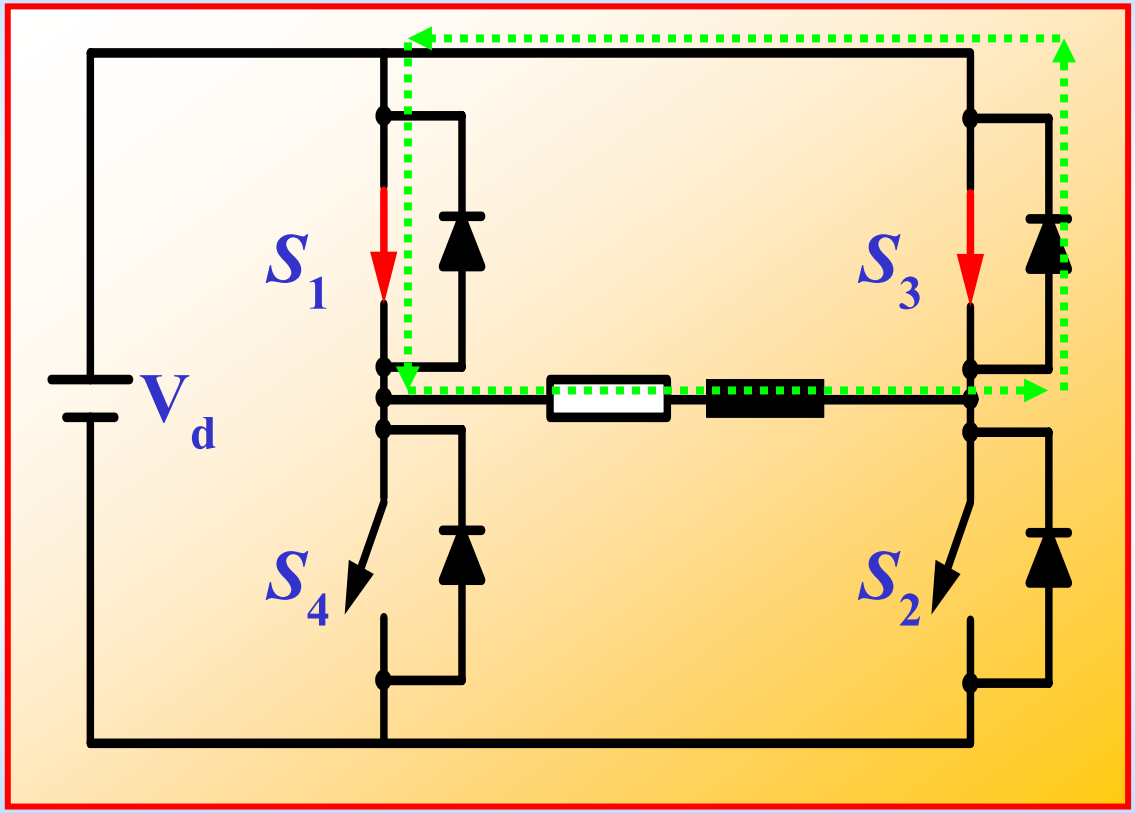
Mode 1

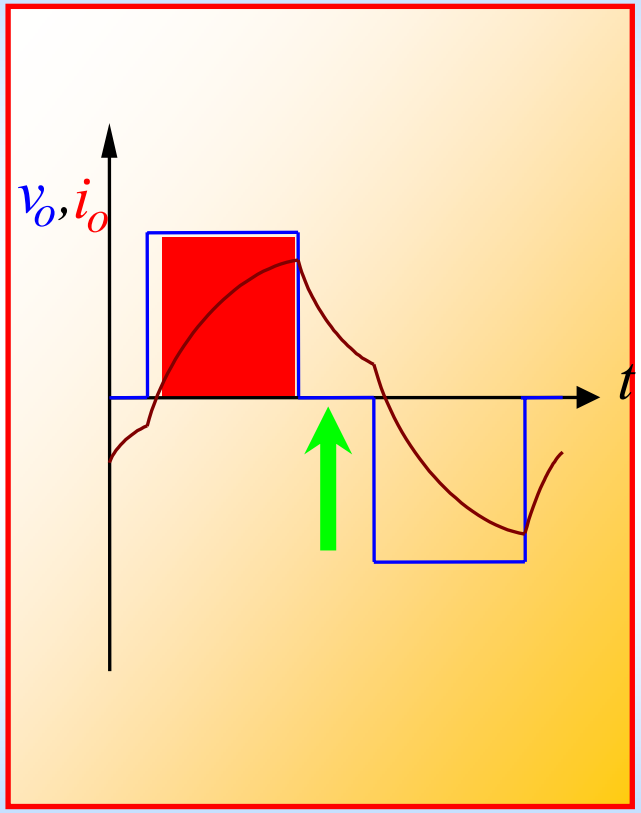




แรงดัน (+) กระแส (+)

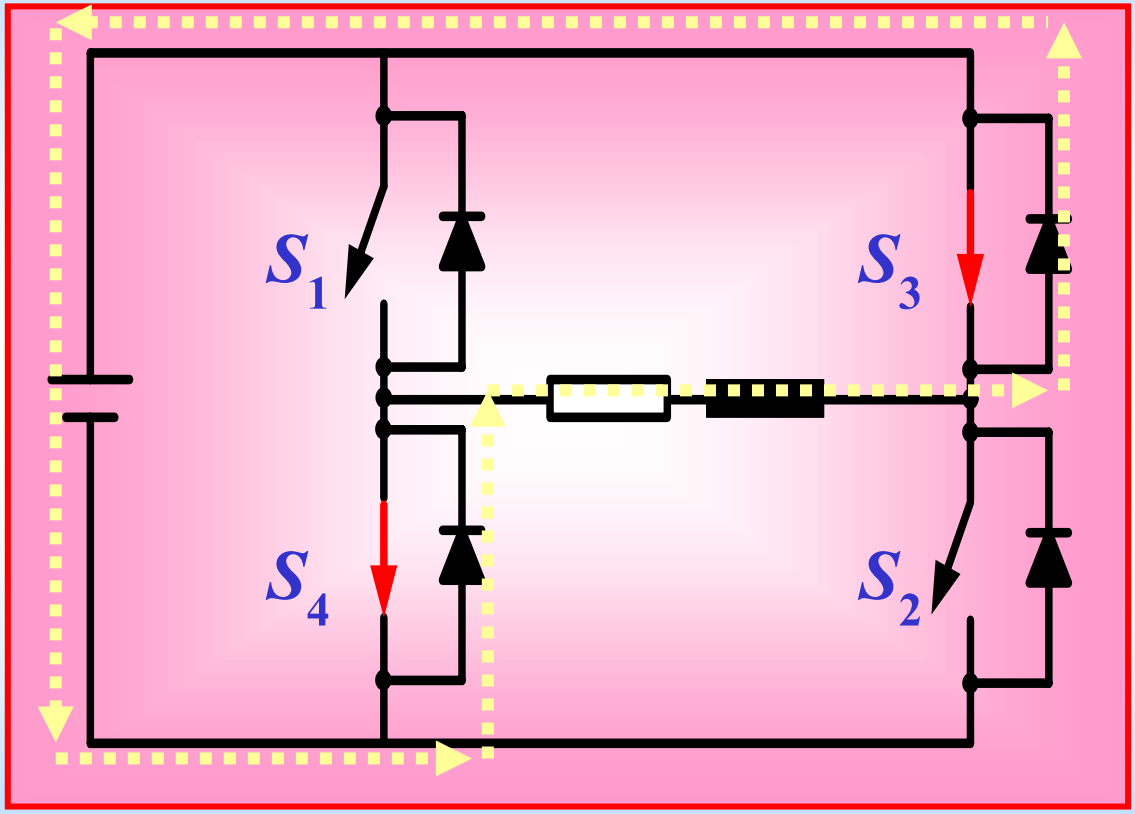
Mode 2

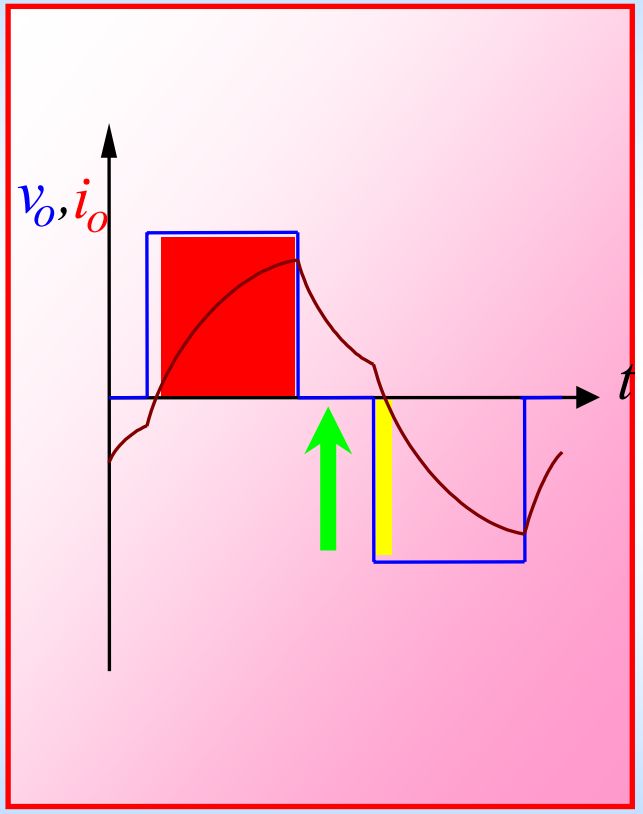




แรงดัน (0) กระแส (+)

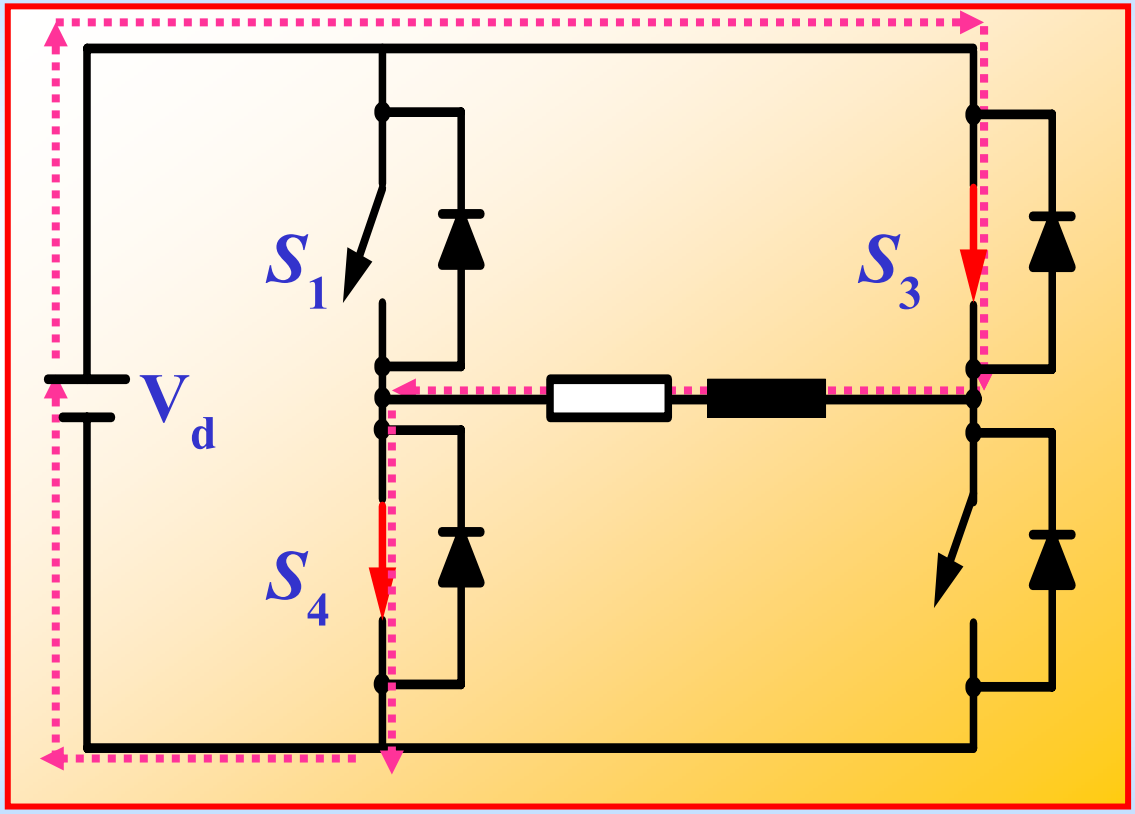
Mode 3

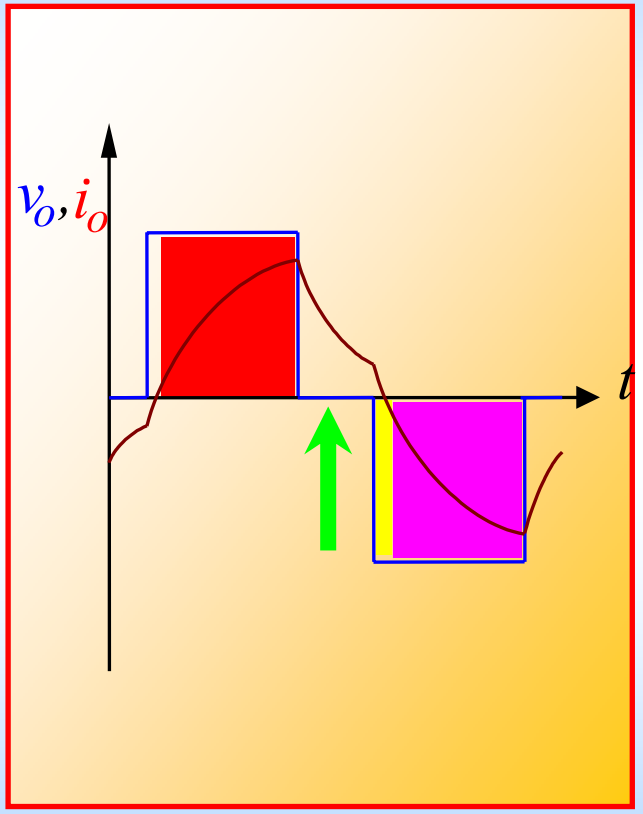




แรงดัน (-) กระแส (+)

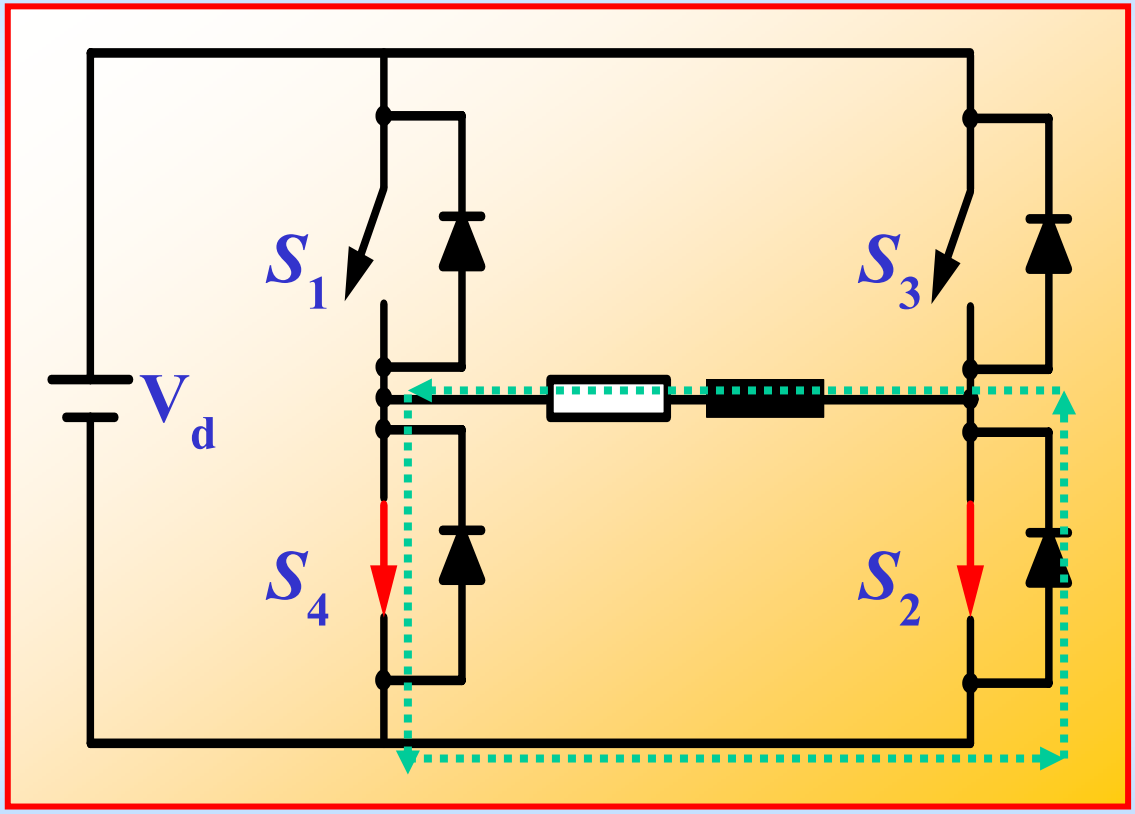
Mode 4

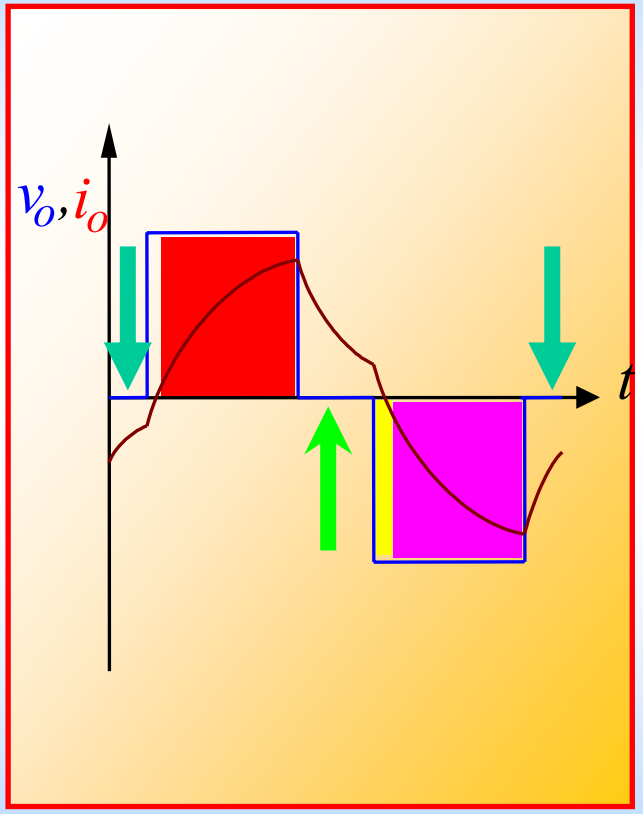




แรงดัน (-) กระแส (-)

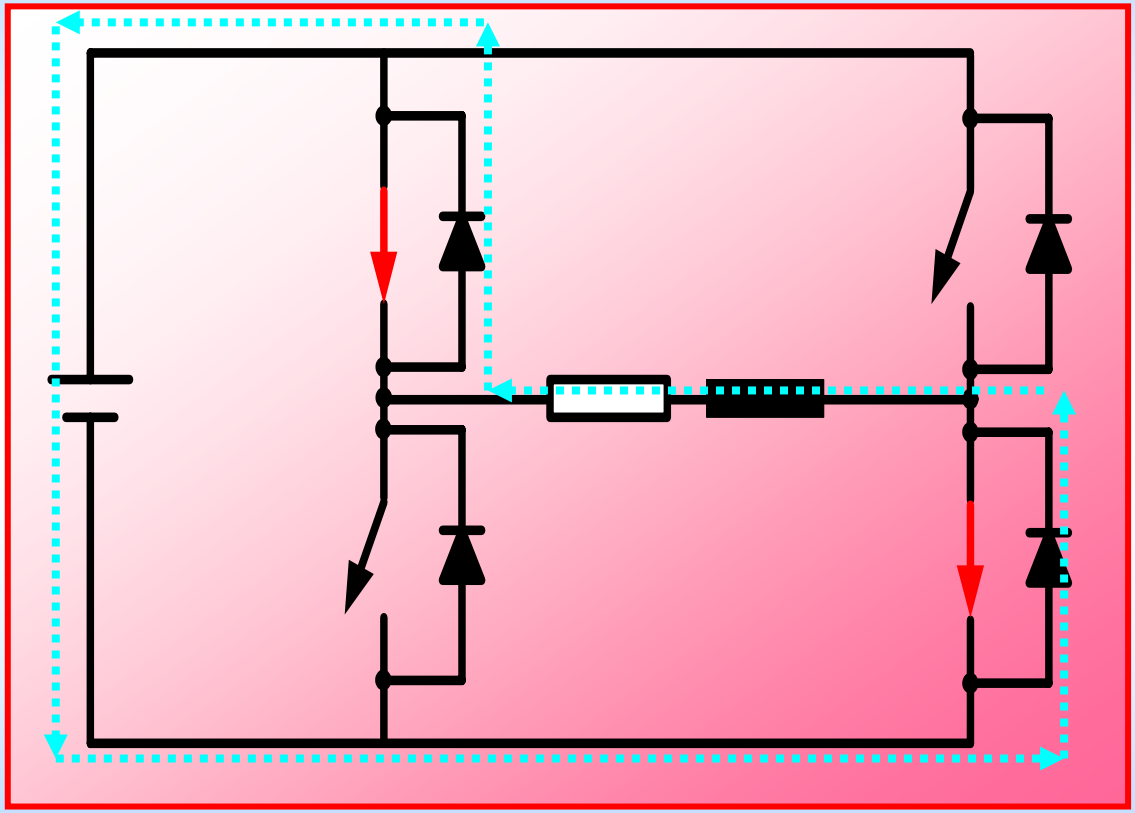
Mode 5

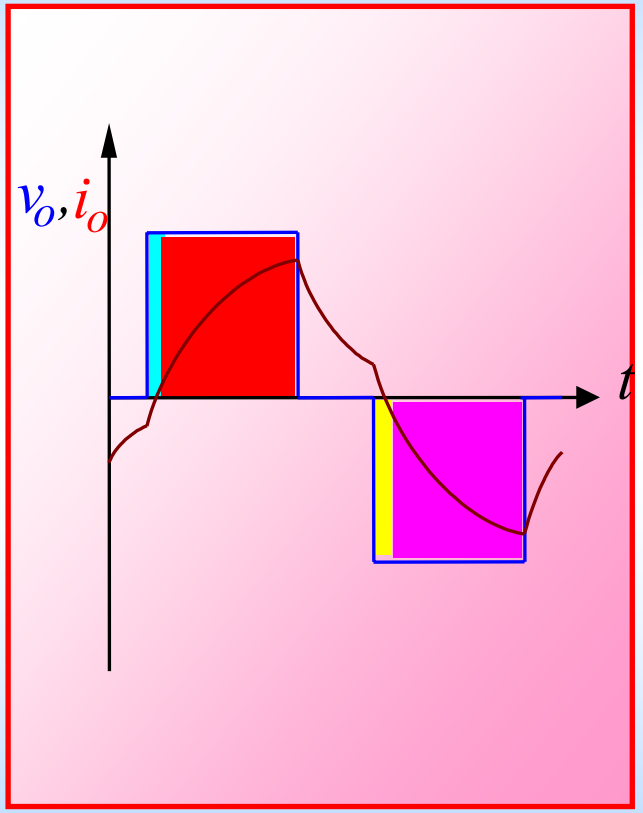




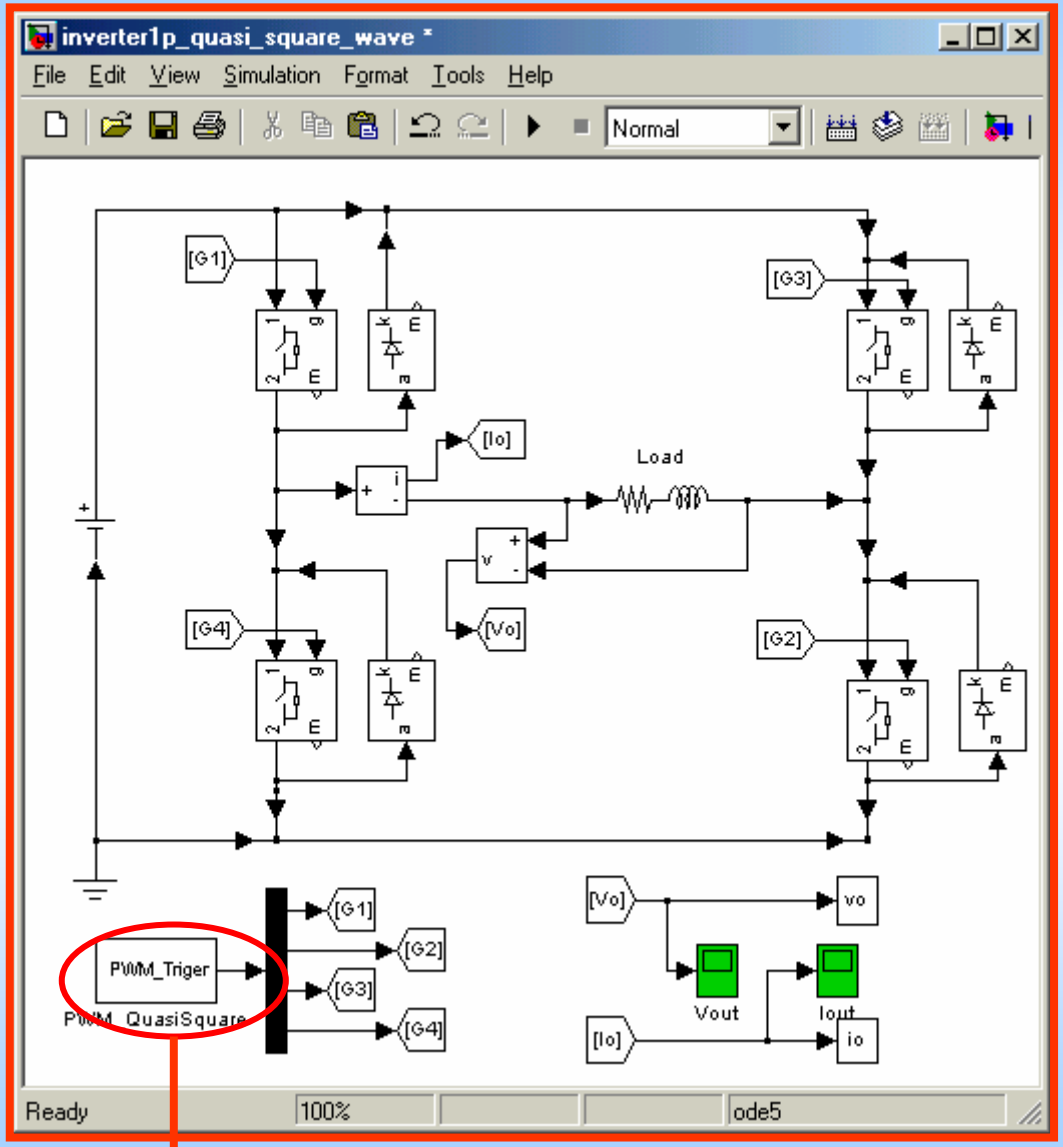
แรงดัน (0) กระแส (-)

Mode 6





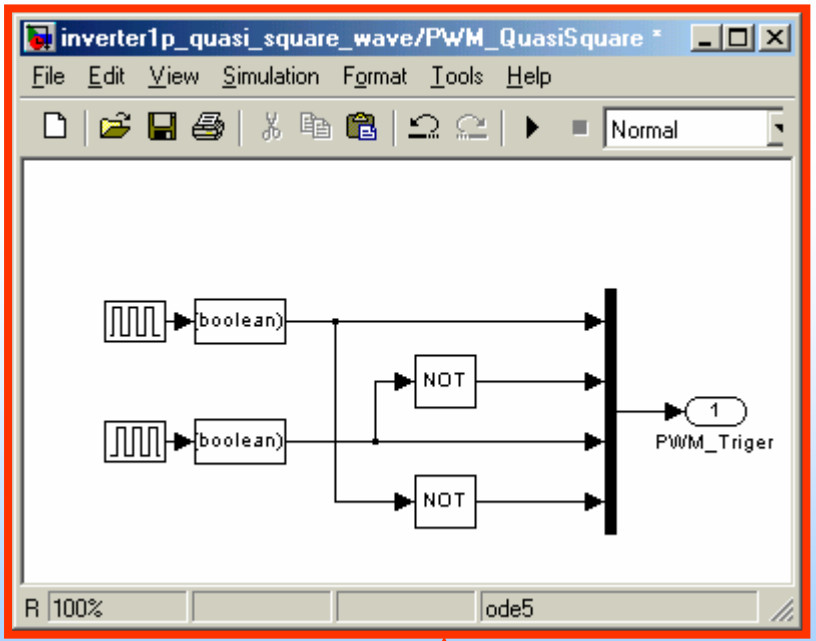
แรงดัน (+) กระแส (-)

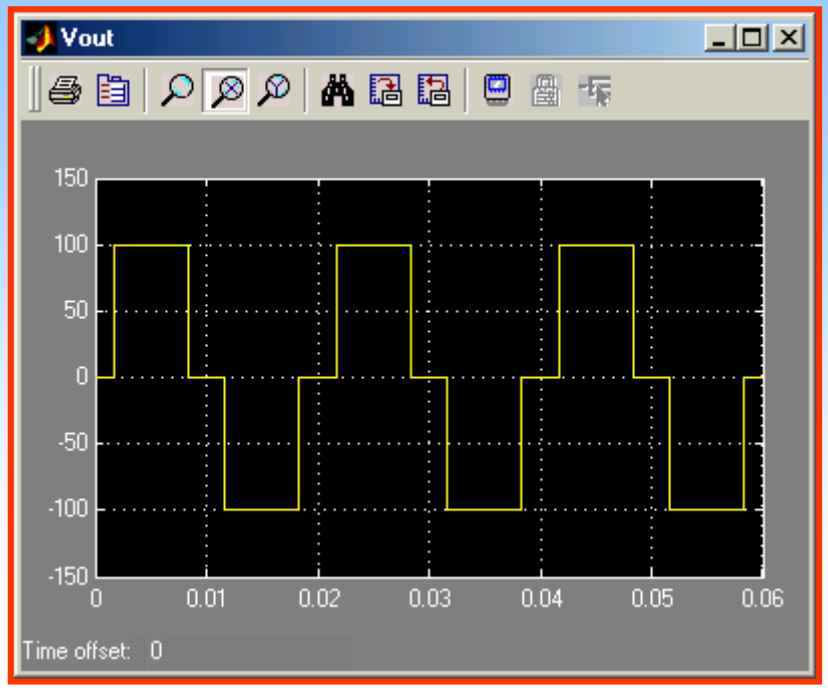


วงจรจำลองอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

แบบ Quasi Square Wave

Vdc=100 V. R=20 Ω L=50 mH




Vout
150
100
50
0
-50
-100
-150
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
Time offset: 0

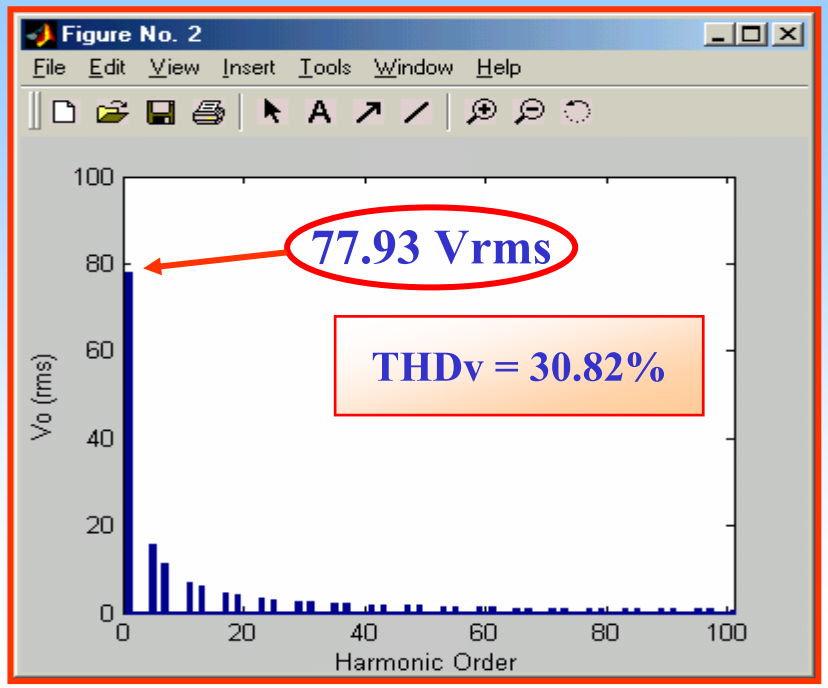
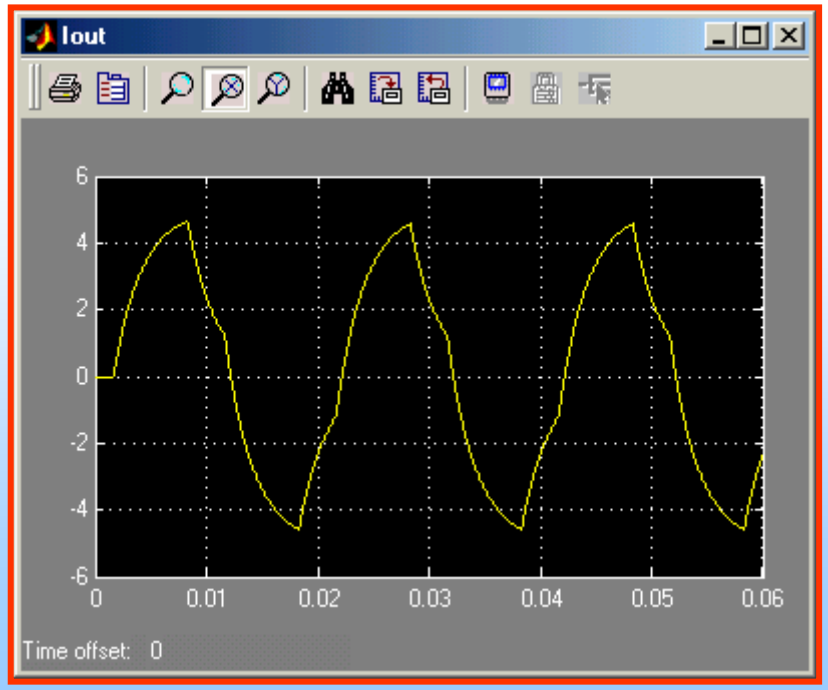


Figure No. 2
File Edit View Insert Tools Window Help
100
80
60
40
20
0
Vo (rms)
77.93 Vrms
THDv = 30.82%
0
20
40
60
80
100
Harmonic Order


Iout
6
4
2
0
-2
-4
-6
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
Time offset: 0

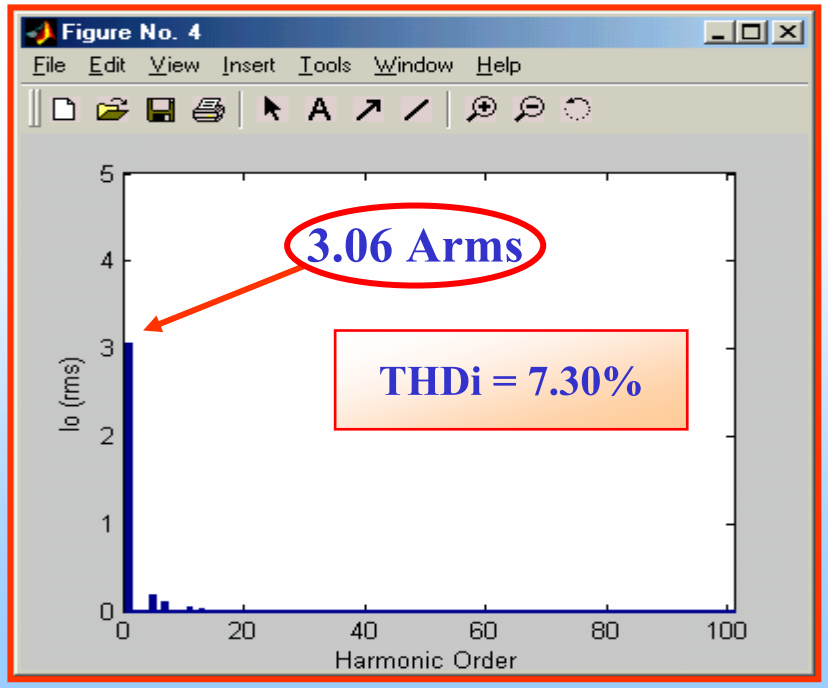
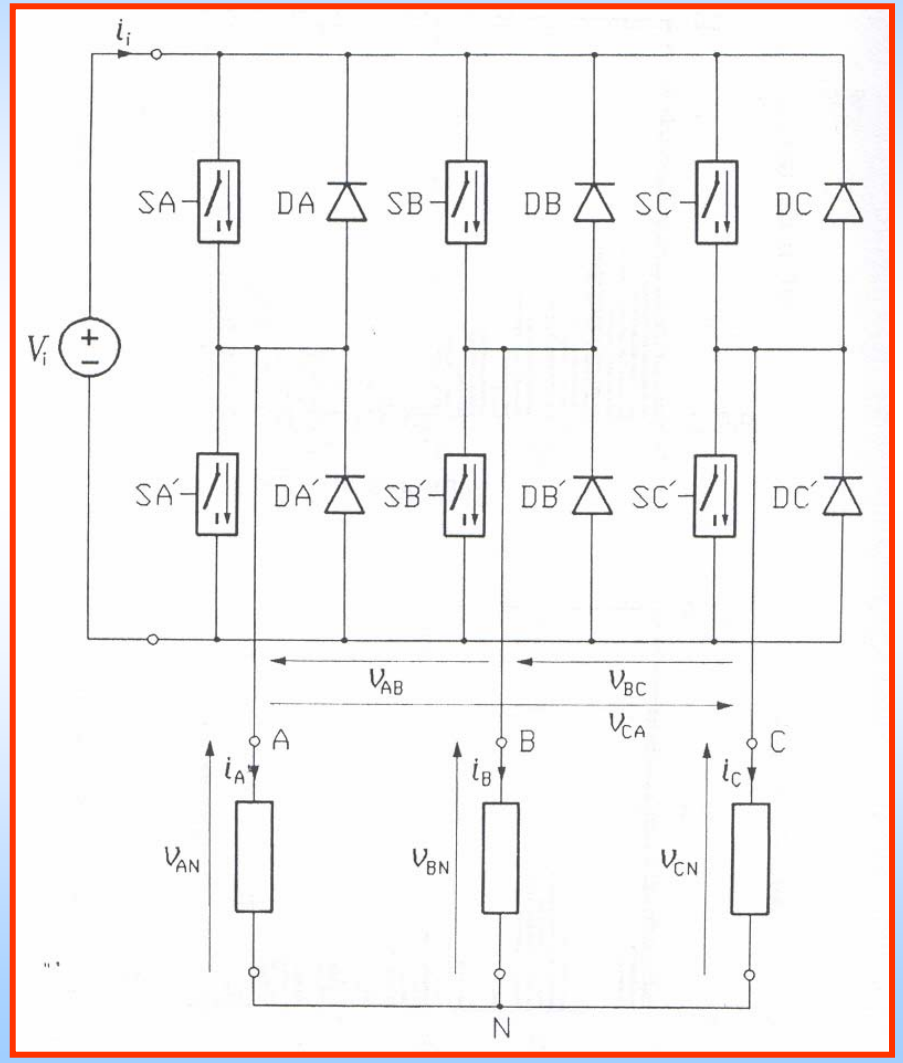


Figure No. 4
File Edit View Insert Tools Window Help
5
4
3
2
1
0
Io (rms)
3.06 Arms
THDi = 7.30%
0
20
40
60
80
100
Harmonic Order

9.3 การควบคุมแรงดันสำหรับอินเวอร์เตอร์สามเฟส

อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส



$$\begin{bmatrix} v_{AB} \\ v_{BC} \\ v_{CA} \end{bmatrix} = V_i \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$$

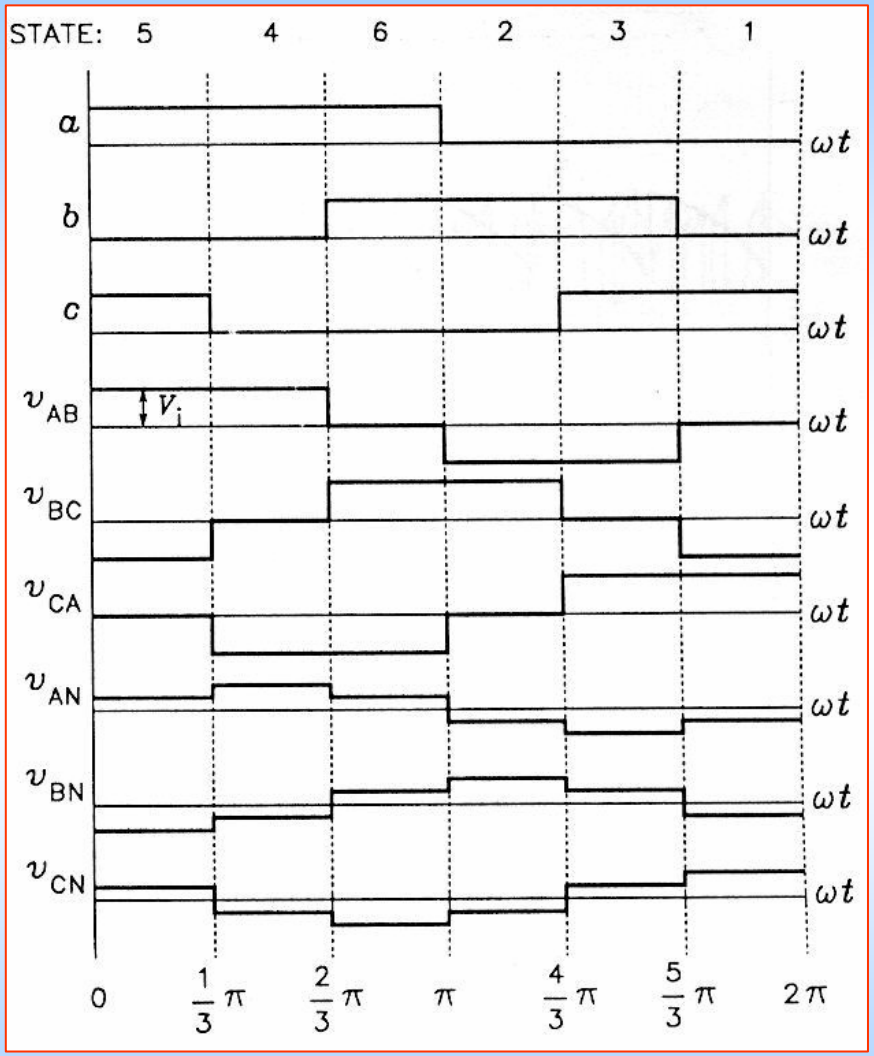
$$\begin{bmatrix} v_{AN} \\ v_{BN} \\ v_{CN} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{AB} \\ v_{BC} \\ v_{CA} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} v_{AN} \\ v_{BN} \\ v_{CN} \end{bmatrix} = \frac{V_i}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$$

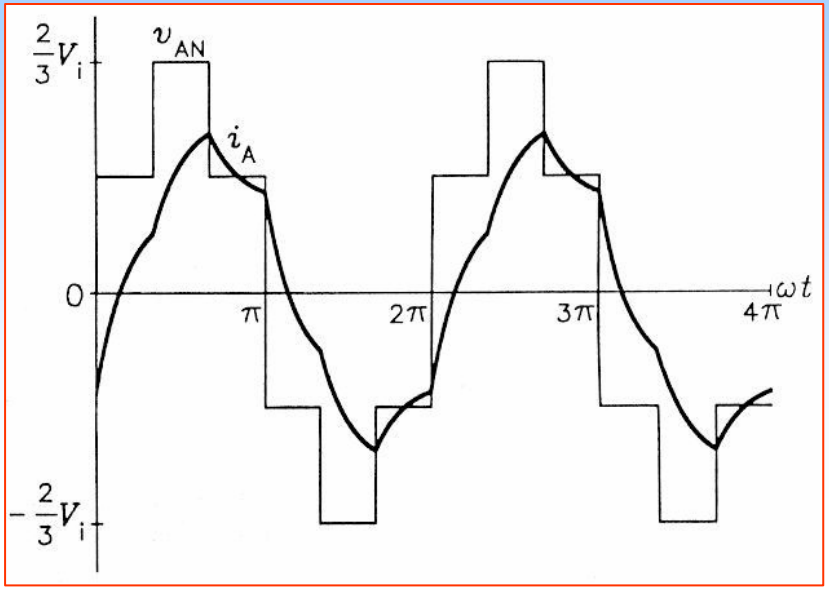
States และแรงดันเอาท์พุทของ 3เฟส VSI

States and Output Voltages of the Three-Phase Voltage-Source Inverter

State	*abc*	v_{AB}/V_i	v_{BC}/V_i	v_{CA}/V_i	v_{AN}/V_i	v_{BN}/V_i	v_{CN}/V_i
0	000	0	0	0	0	0	0
1	001	0	−1	1	−⅓	−⅓	⅔
2	010	−1	1	0	−⅓	⅔	−⅓
3	011	−1	0	1	−⅔	⅓	⅓
4	100	1	0	−1	⅔	−⅓	−⅓
5	101	1	−1	0	⅓	−⅔	⅓
6	110	0	1	−1	⅓	⅓	−⅔
7	111	0	0	0	0	0	0



States และแรงดันเอาท์พุทของ 3เฟส VSI

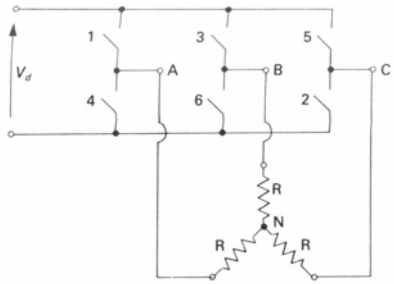


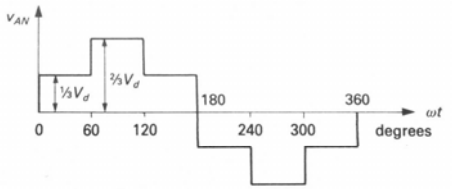
รูปคลื่นแรงดันและกระแสเอาท์พุทใน อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

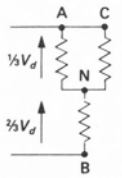
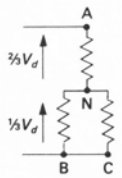
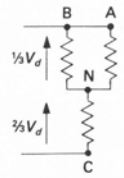
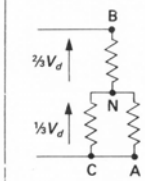
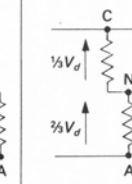
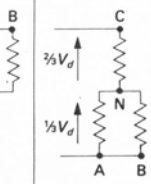
ฟูเรียร์ของแรงดันเอาท์พุท

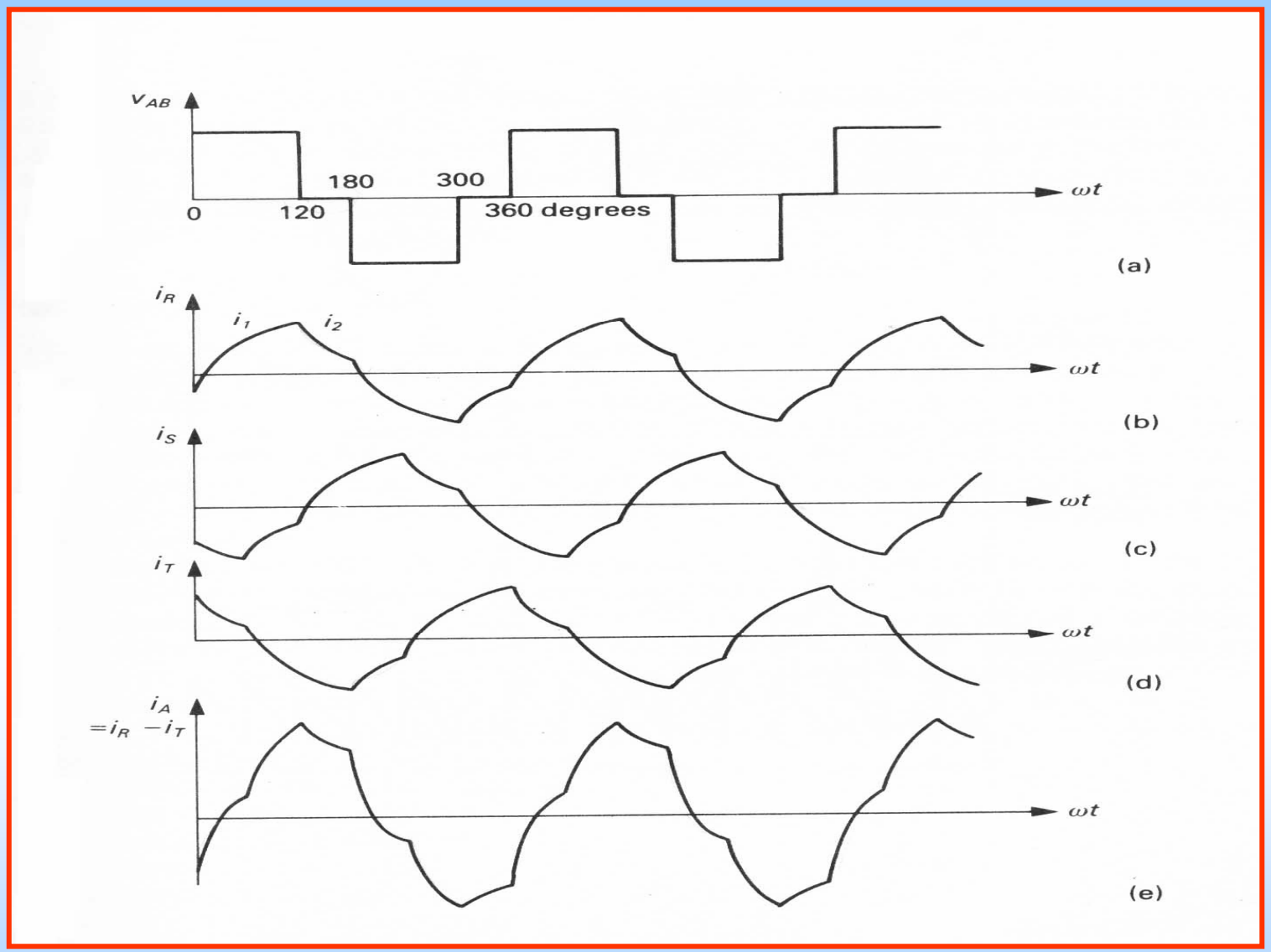
$$v_{AN} = \frac{2}{\pi} V_i \left[Sin\,\omega t + \frac{1}{5} Sin\,5\omega t + \frac{1}{7} Sin\,7\omega t + \frac{1}{11} Sin\,11\omega t + \frac{1}{13} Sin\,13\omega t + \ldots \right]$$

$$v_{AB} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} Vi \left[Sin\,\omega t - \frac{1}{5} Sin\,5\omega t - \frac{1}{7} Sin\,7\omega t + \frac{1}{11} Sin\,11\omega t + \frac{1}{13} Sin\,13\omega t + \ldots \right]$$

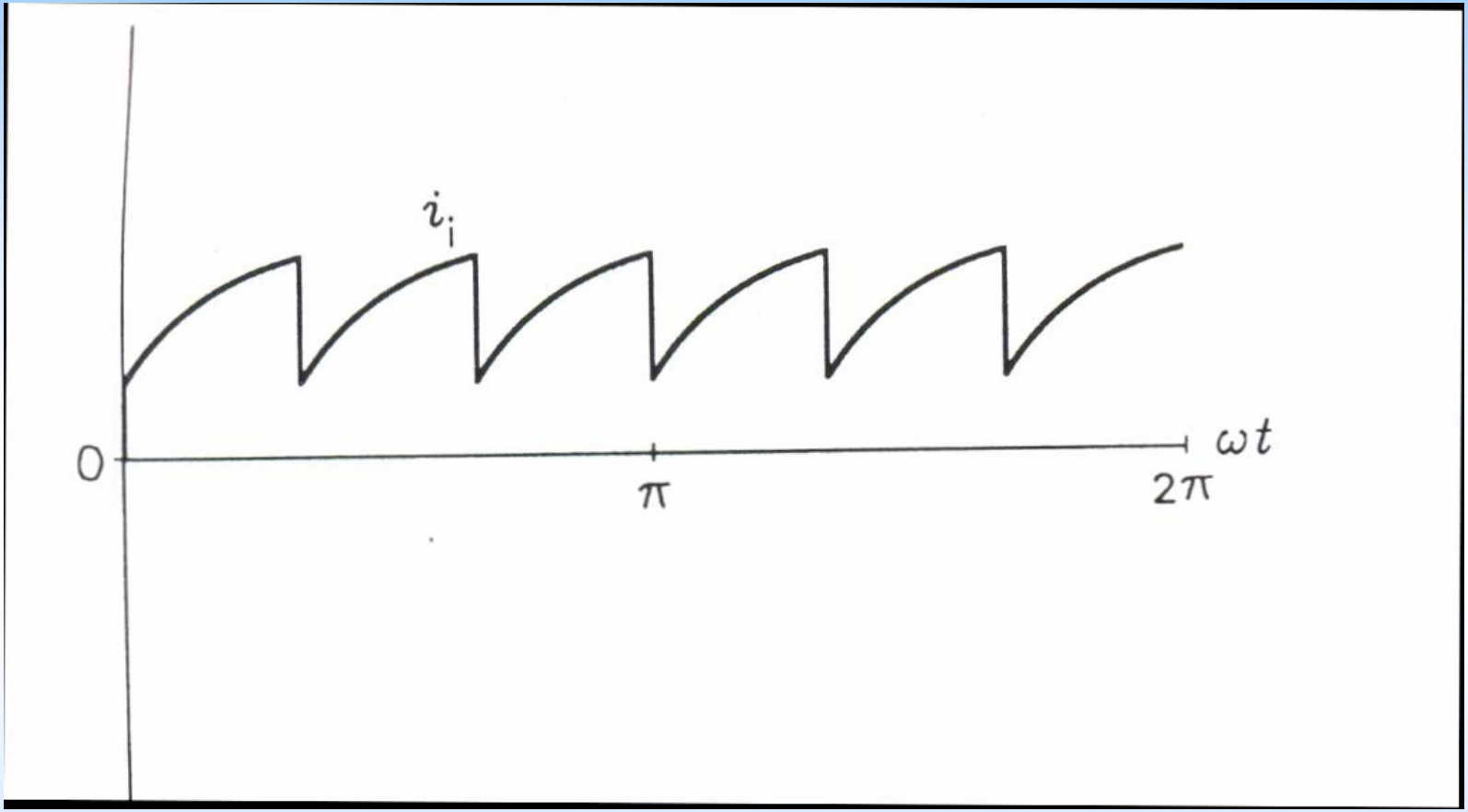




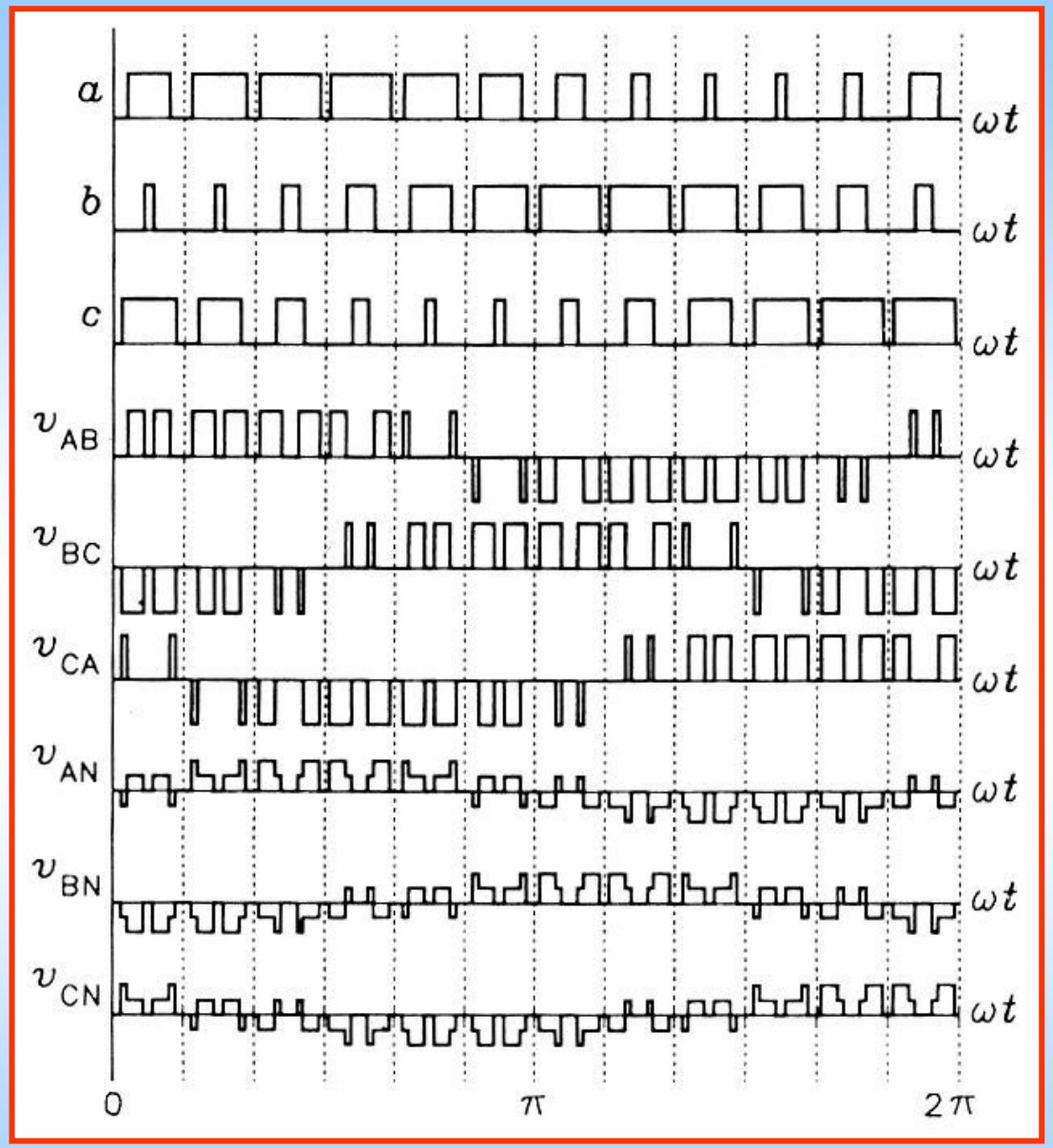
Interval 1 0 → 60 degrees 5,6,1 closed	Interval 2 60 → 120 degrees 6,1,2 closed	Interval 3 120 → 180 degrees 1,2,3 closed	Interval 4 180 → 240 degrees 2,3,4 closed	Interval 5 240 → 300 degrees 3,4,5 closed	Interval 6 300 → 360 degrees 4,5,6 closed
					
$v_{AN} = \frac{1}{3}V_d$ $v_{BN} = -\frac{2}{3}V_d$ $v_{CN} = \frac{1}{3}V_d$	$v_{AN} = \frac{2}{3}V_d$ $v_{BN} = -\frac{1}{3}V_d$ $v_{CN} = -\frac{1}{3}V_d$	$v_{AN} = \frac{1}{3}V_d$ $v_{BN} = \frac{1}{3}V_d$ $v_{CN} = -\frac{2}{3}V_d$	$v_{AN} = -\frac{1}{3}V_d$ $v_{BN} = \frac{2}{3}V_d$ $v_{CN} = -\frac{1}{3}V_d$	$v_{AN} = -\frac{2}{3}V_d$ $v_{BN} = \frac{1}{3}V_d$ $v_{CN} = \frac{1}{3}V_d$	$v_{AN} = -\frac{1}{3}V_d$ $v_{BN} = -\frac{1}{3}V_d$ $v_{CN} = \frac{2}{3}V_d$



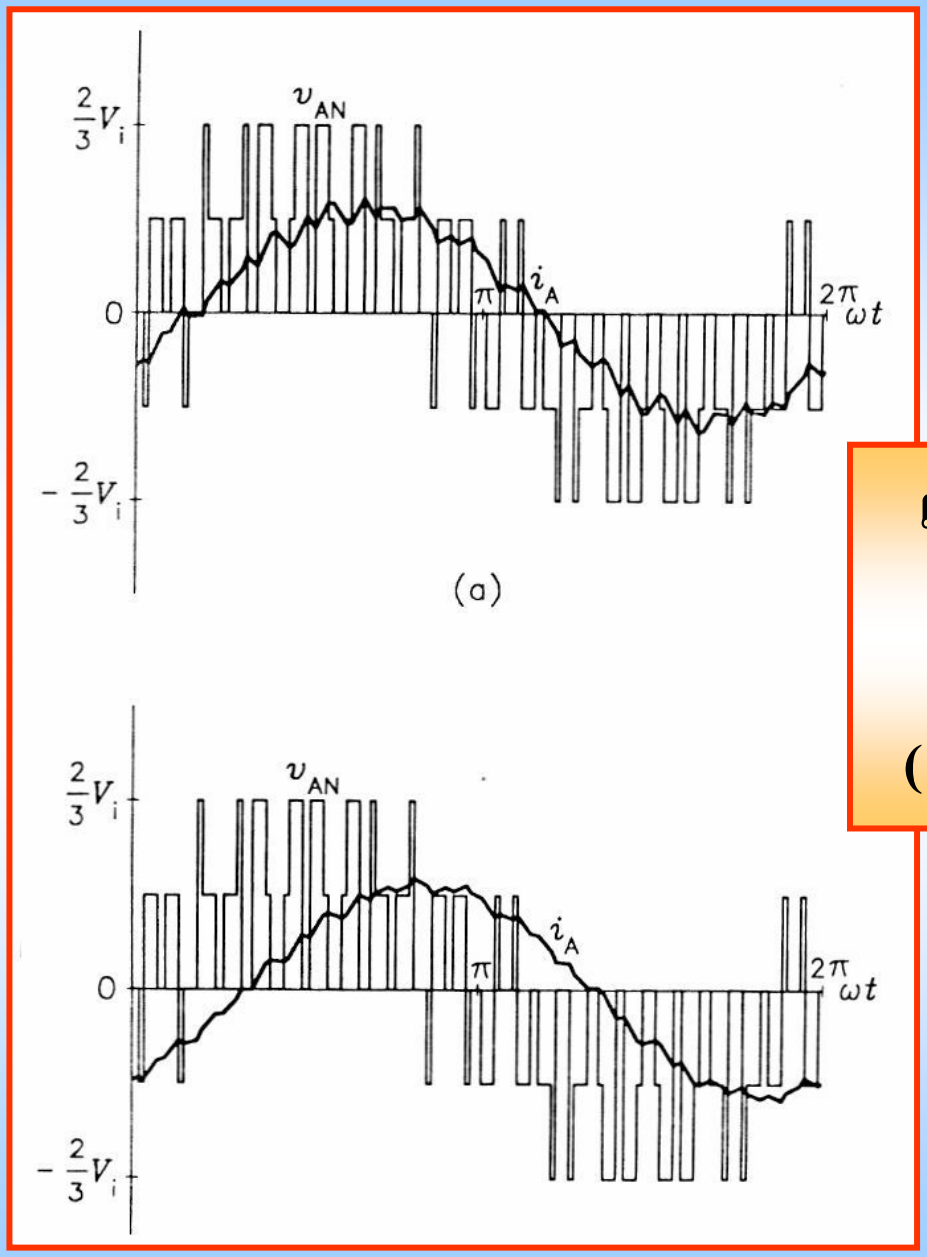
แรงดันระหว่างไลน์ และกระแสไลน์ของมอเตอร์ภายใต้การขับเคลื่อน



รูปคลื่นกระแสอินพุท

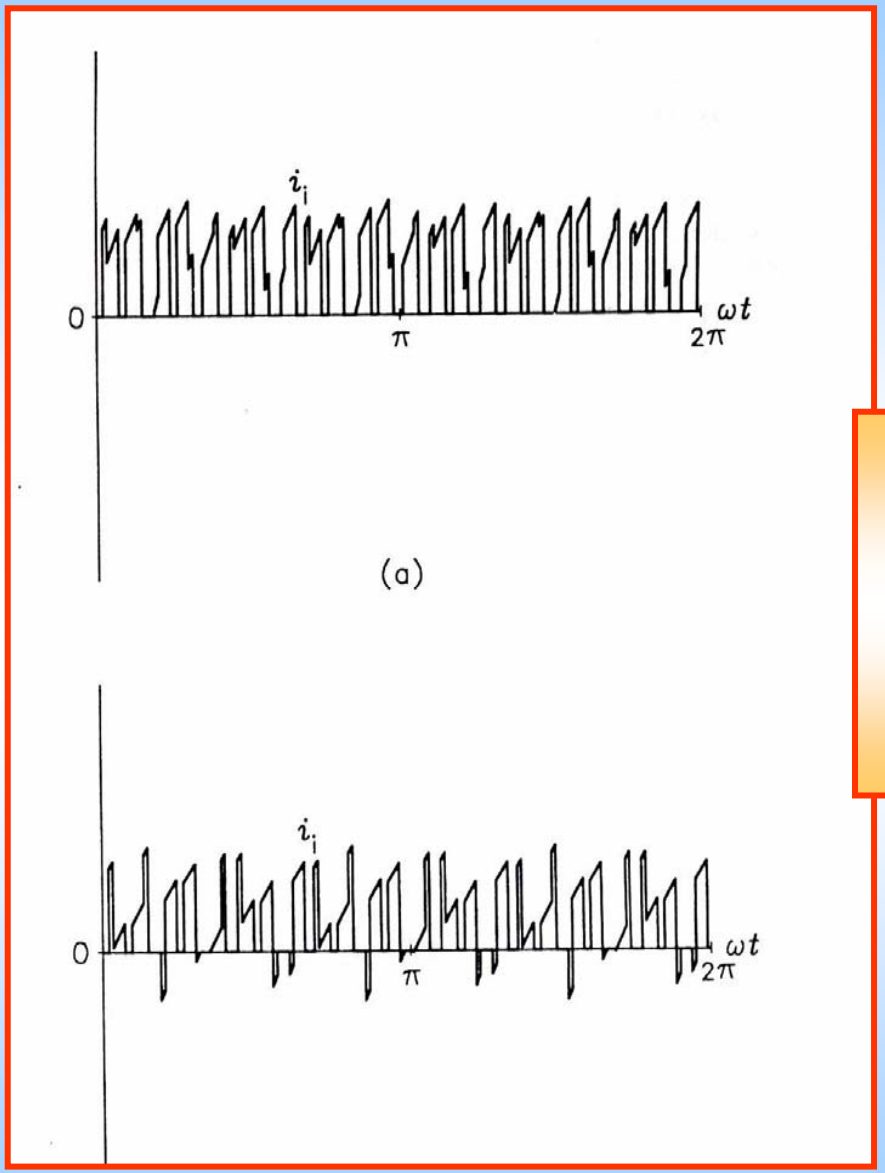


ตัวแปรการสวิทช์ ,รุปคลื่นแรงดันเอาท์พุทใน 3 เฟส VSI ในโหมด PWM



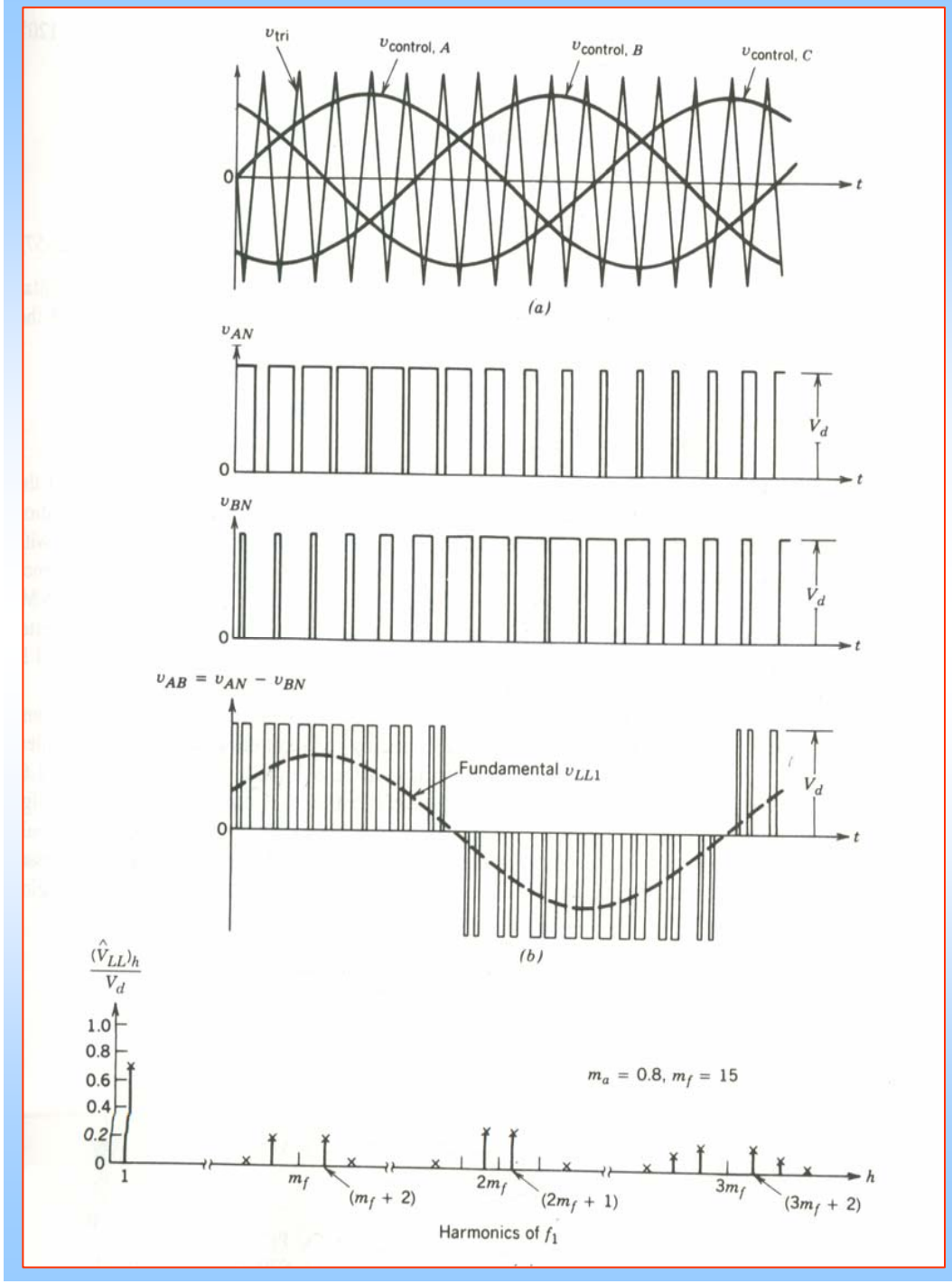
แรงดันและกระแสของ 3 เฟส VSI ในโหมด PWM

(a) มุมโหลด 30 ^{0} (b) มุมโหลด 60 ^{0}



รูปคลื่นกระแสอินพุทของ 3 เฟส VSI ในโหมด PWM

(a) มุมโหลด 30 ^{0} (b) มุมโหลด 60 ^{0}



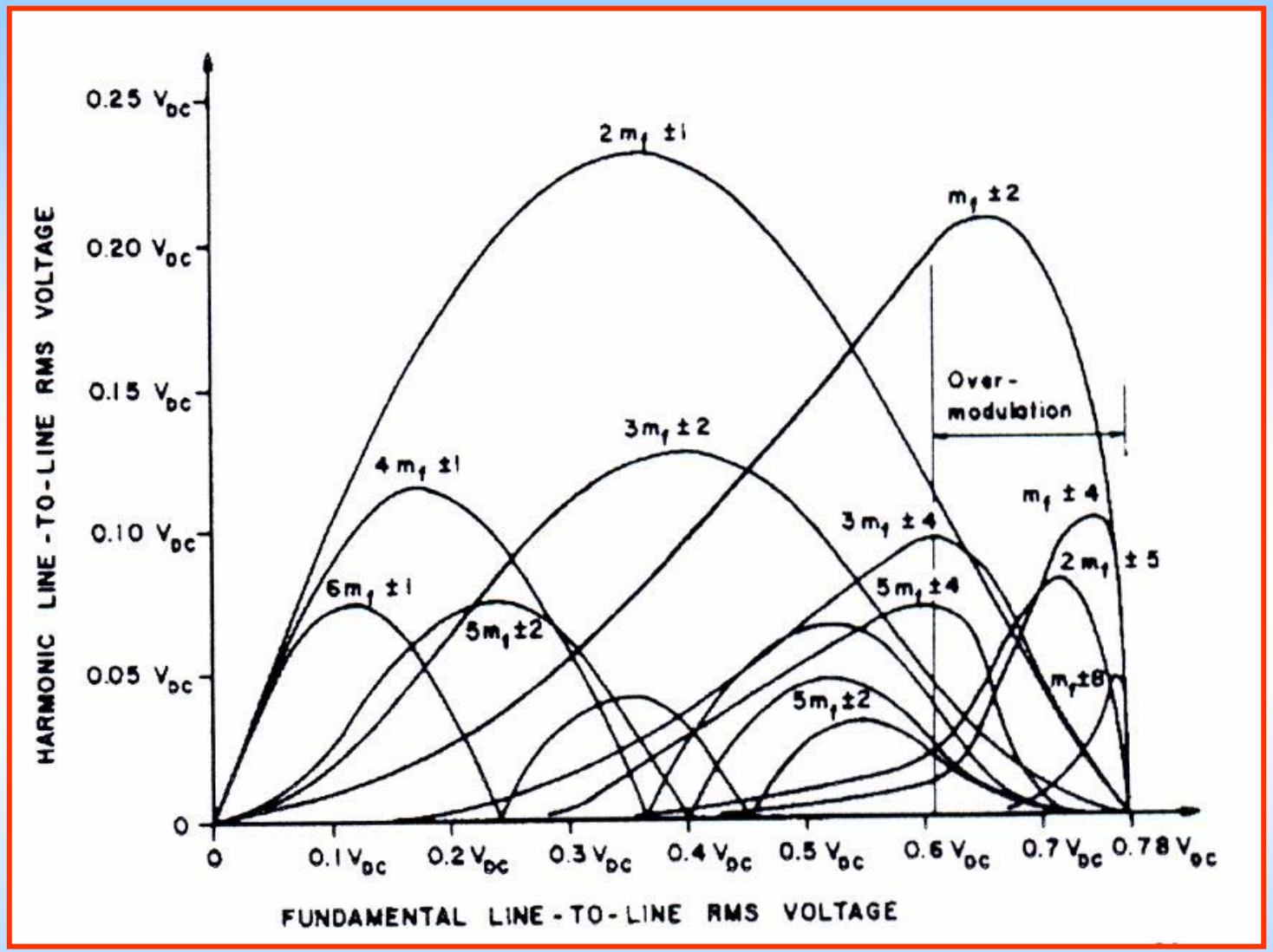
เทคนิค PWM ที่ใช้คลื่นพาหะ

(Natural Sampling)

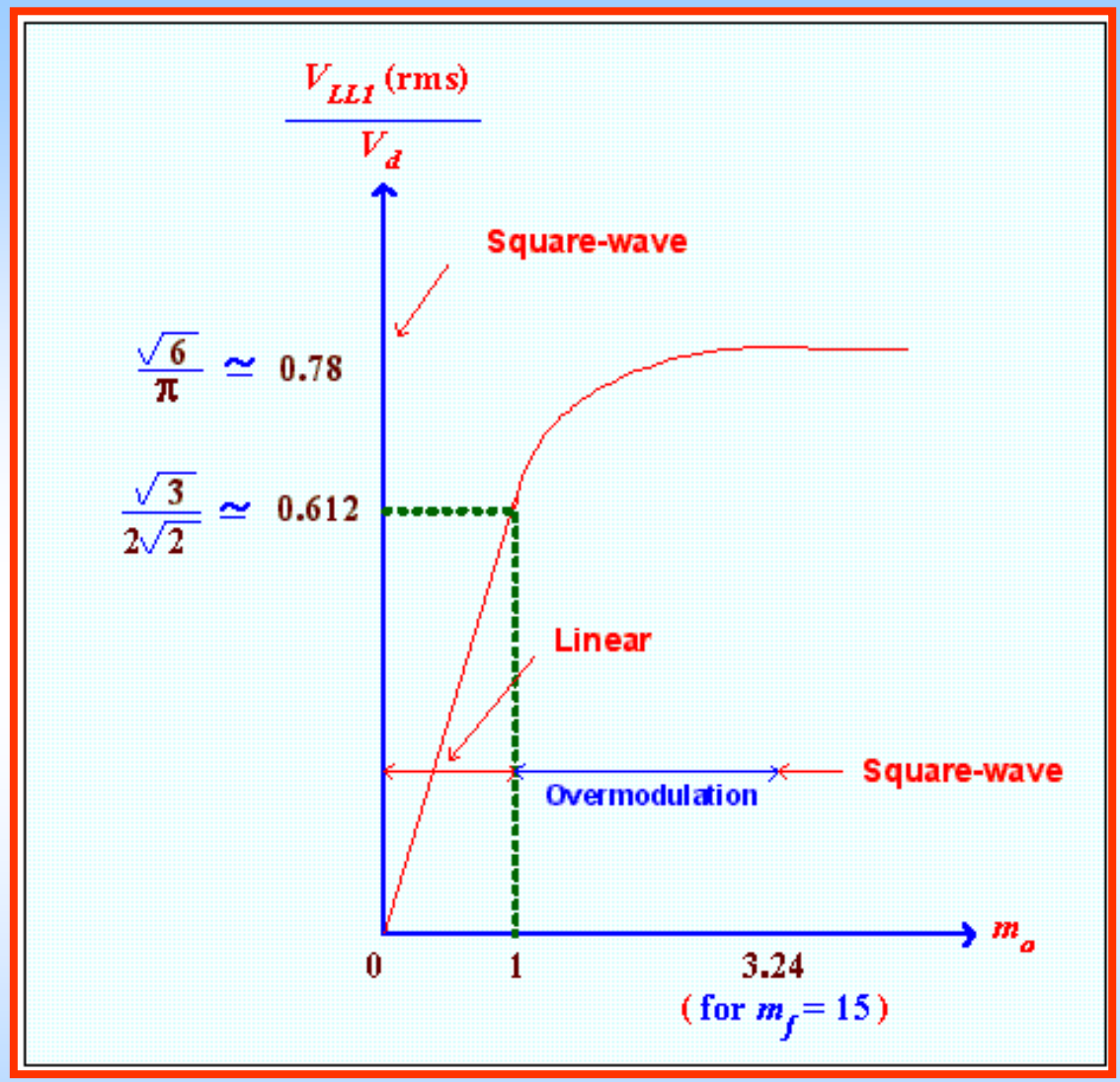
แรงดันเอาท์พุทที่ Normalized

h \ m_a	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	0.122	0.245	0.367	0.490	0.612
$m_f \pm 2$	0.010	0.037	0.080	0.135	0.195
$m_f \pm 4$				0.005	0.011
$2m_f \pm 1$	0.116	0.200	0.227	0.192	0.111
$2m_f \pm 5$				0.008	0.020
$3m_f \pm 2$	0.027	0.085	0.124	0.108	0.038
$3m_f \pm 4$		0.007	0.029	0.064	0.096
$4m_f \pm 1$	0.100	0.096	0.005	0.064	0.042
$4m_f \pm 5$			0.021	0.051	0.073
$4m_f \pm 7$				0.010	0.030

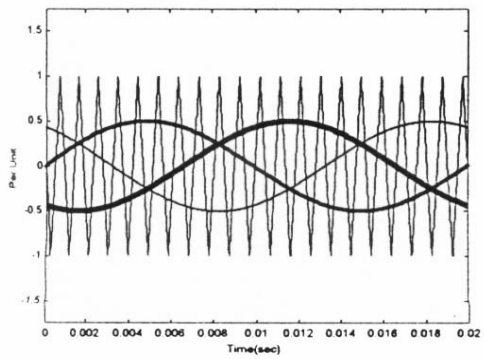
Note: $(V_{LL})_h/V_d$ are tabulated as a function of m_a where $(V_{LL})_h$ are the rms values of the harmonic voltages.

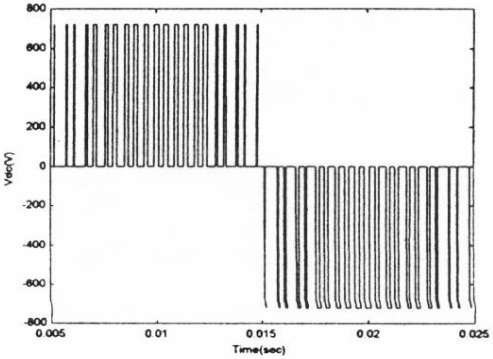


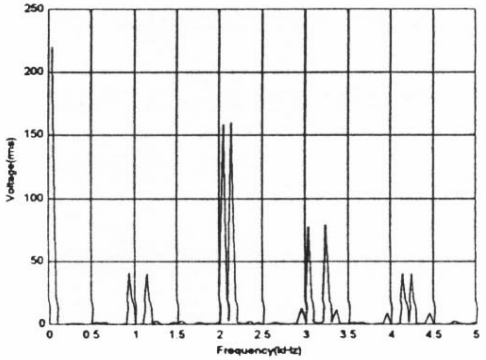
แรงดันฮาร์มอนิค

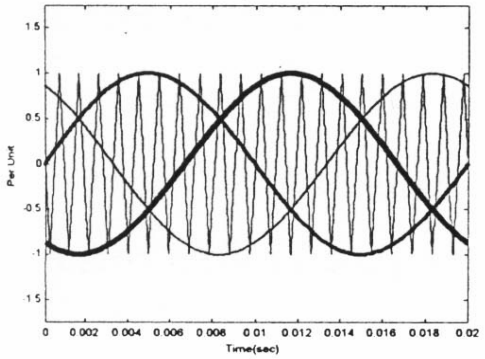


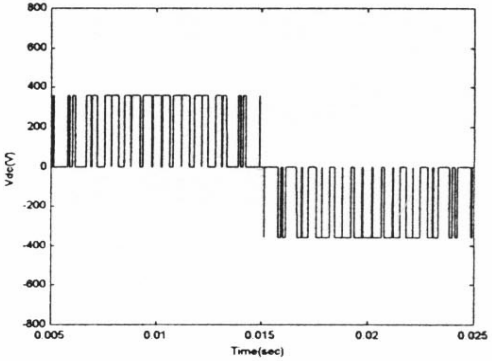
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาท์พุทฟันดาเมนทอลกับดัชนีการมอดดูเลต

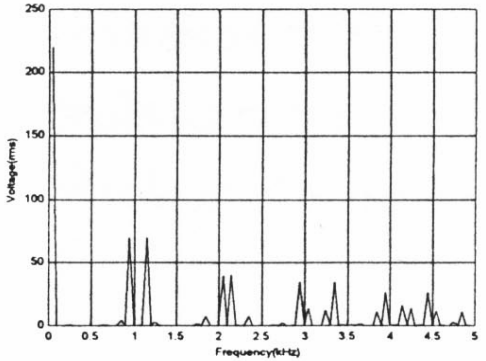


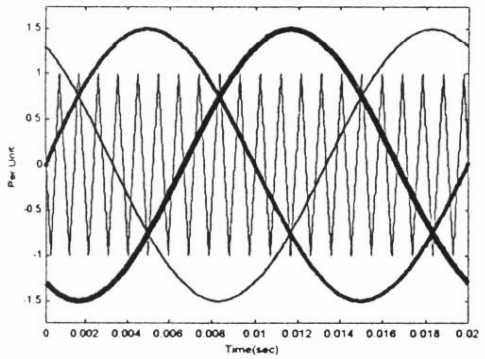


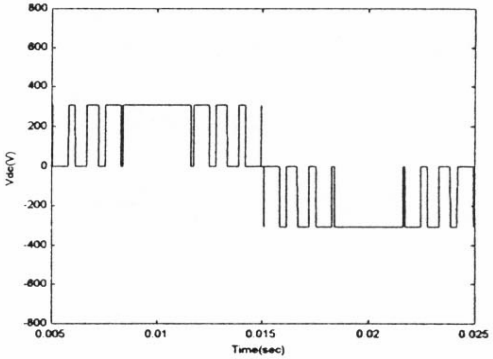


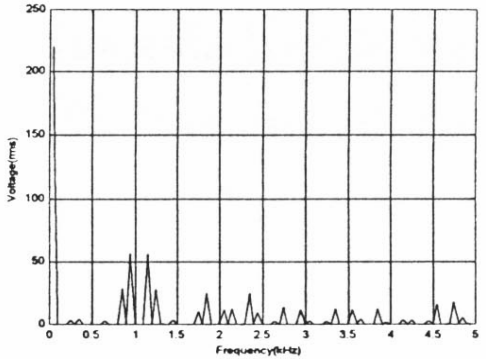




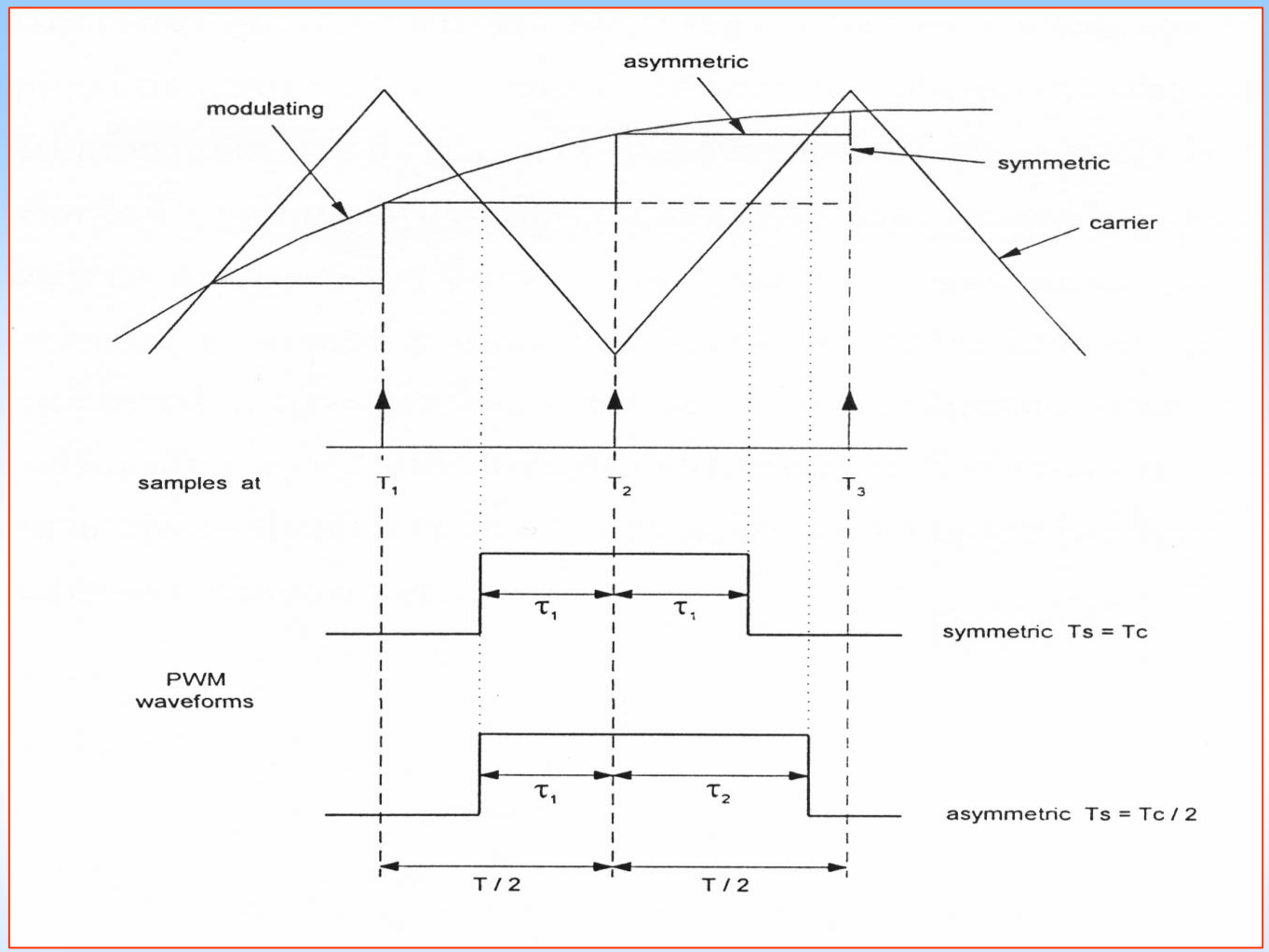






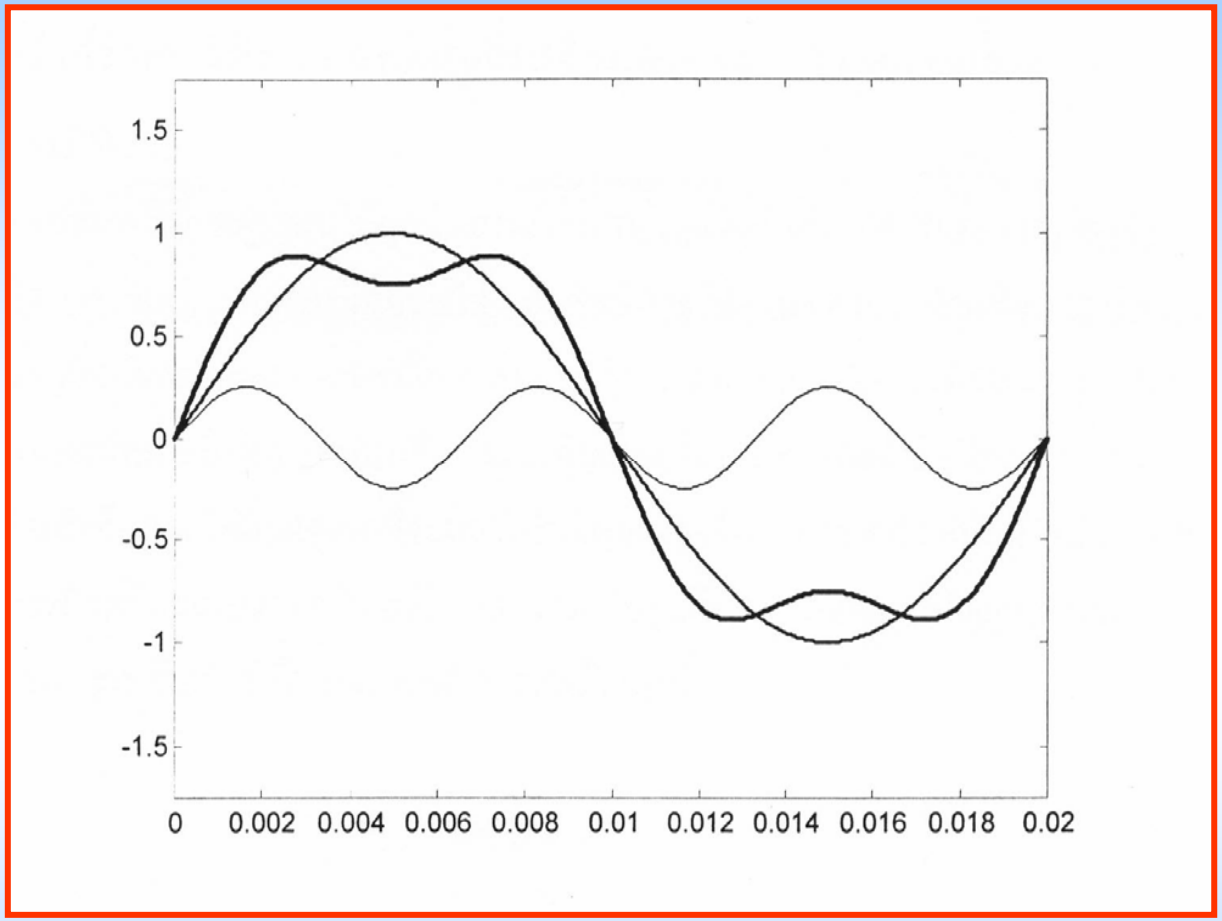


(ก) อัตราการม็อดดูเลท (ข)แรงดันไลน์เอาท์พุท (ค)สเปกตรัมแรงดันเอาท์พุท

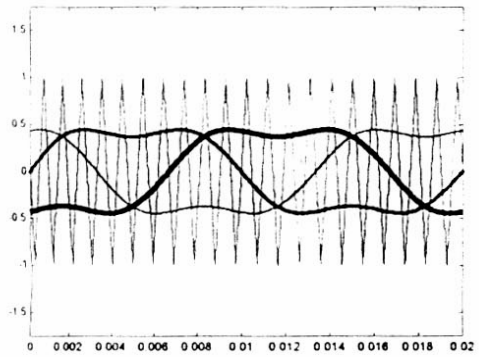


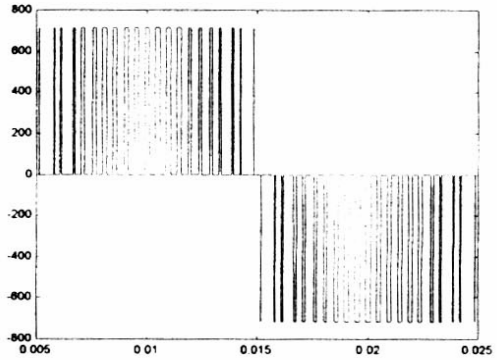
$$\tau_1 = \frac{T_c}{4}\left(1 - m_a Sin\omega_m t_n\right)$$

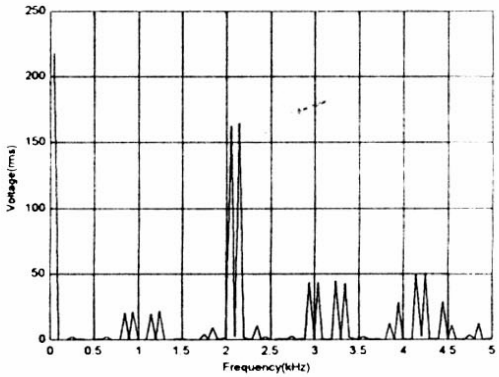
$$\tau_2 = \frac{T_c}{4}\left(1 + m_a Sin\omega_m t_{n+1}\right)$$

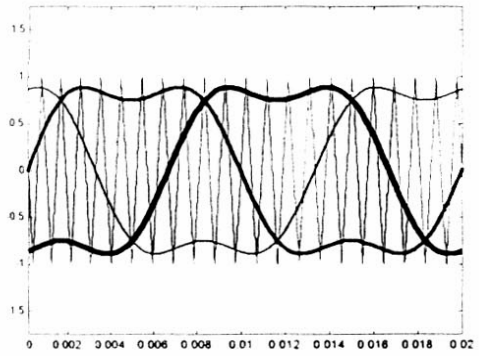


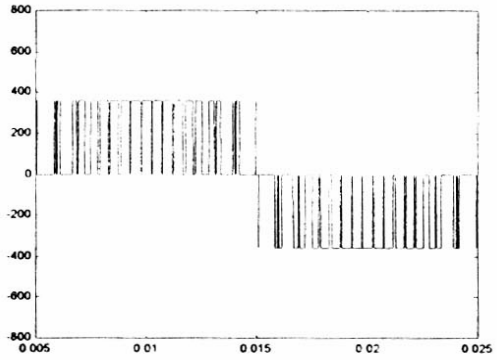
$$v_t = m_a \left[Sin\left(\omega_m t + \frac{1}{4} Sin3\omega_m t \right) \right]$$

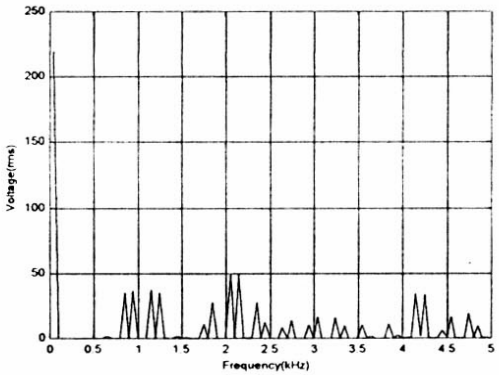


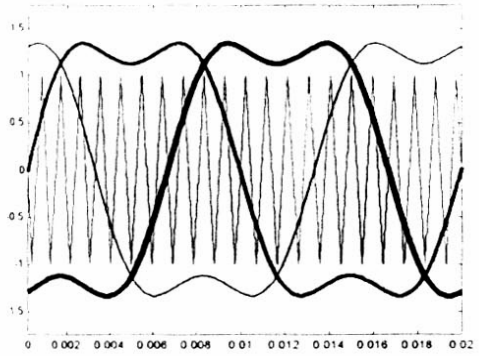


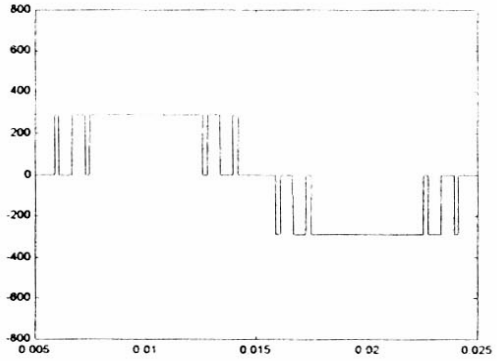


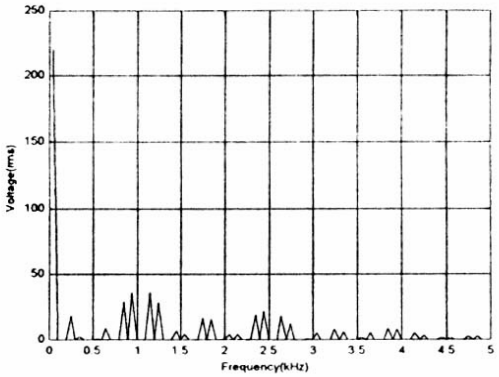




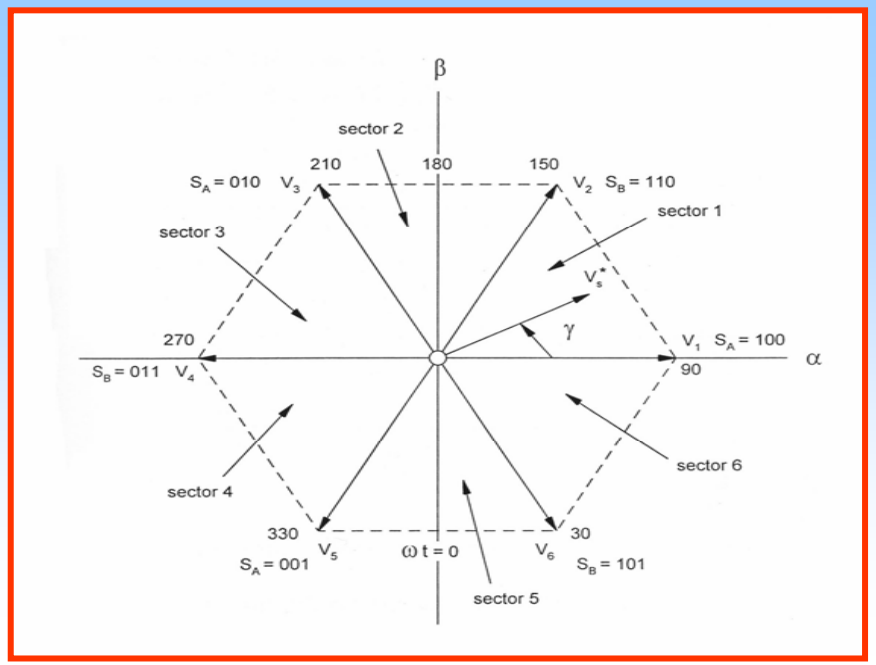








(ก) อัตราการม็อดดูเลท (ข)แรงดันไลน์เอาท์พุท (ค)สเปกตรัมแรงดันเอาท์พุท



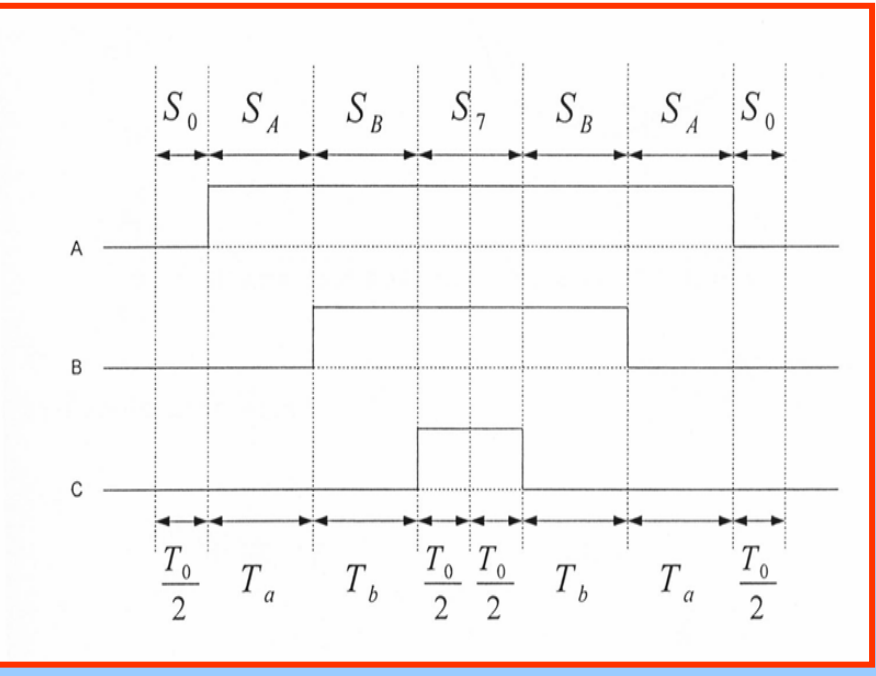
Sector ของ SVPWM

$$T_a = \frac{\sqrt{2}|v_s|}{V_{dc}} T\ Sin\left(60^0 - \gamma\right)$$

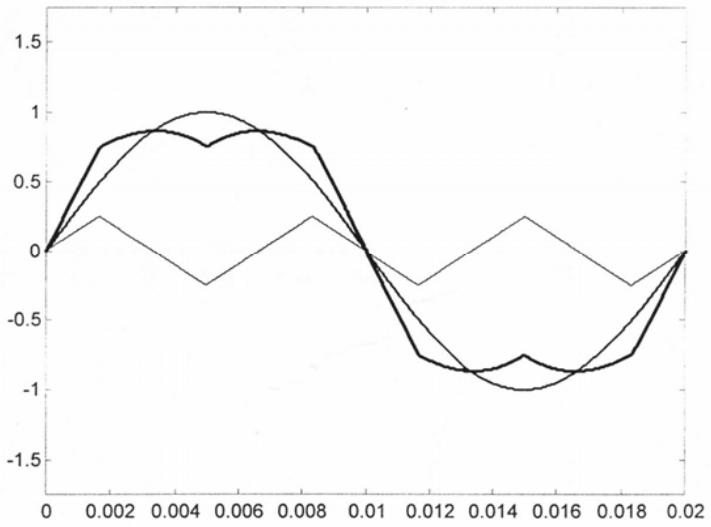
$$T_a = \frac{\sqrt{2}|v_s|}{V_{dc}} T\ Sin\left(\gamma\right)$$

$$0 \le \gamma \le 60^0$$

$$T = T_a + T_b + T_0$$

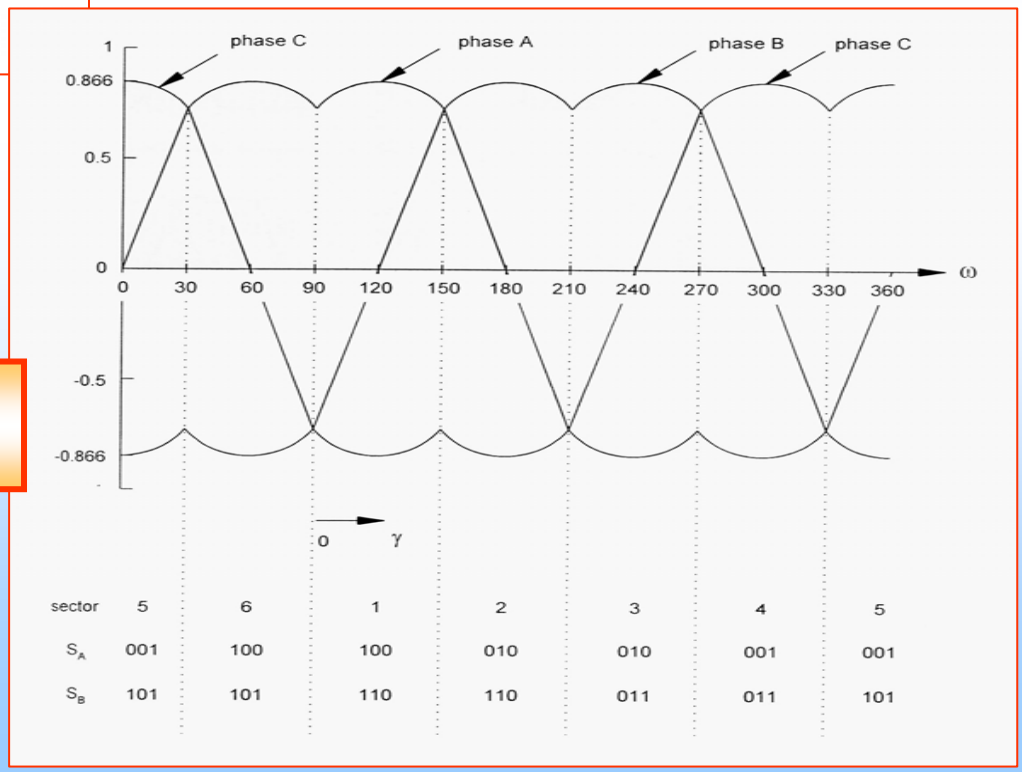


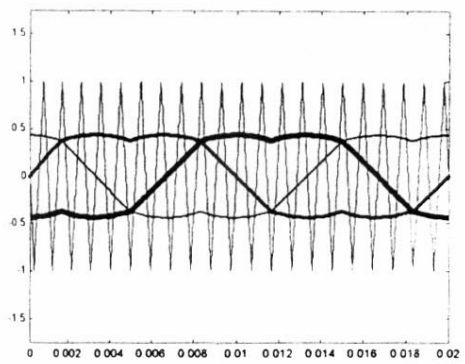
รูปแบบของสภาวะ การสวิทช์ของ SVPWM ใน Sector ที่ 1

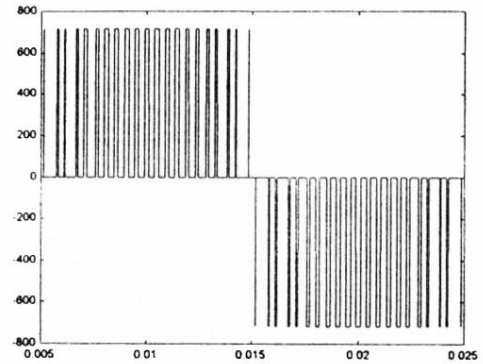


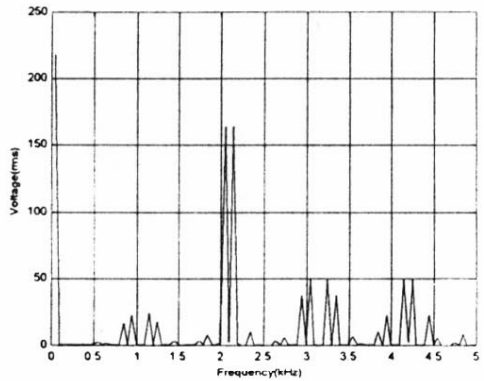
แรงดันสเปซเวคเตอร์ต่อเฟส

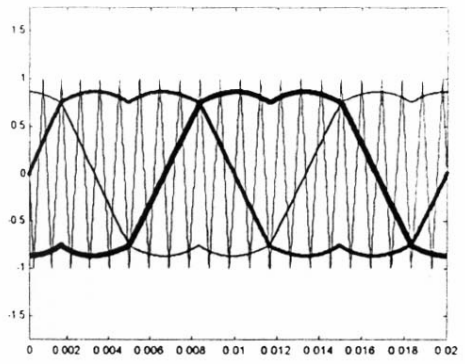
รูปคลื่นแรงดันสเปซเวคเตอร์ 3 เฟส

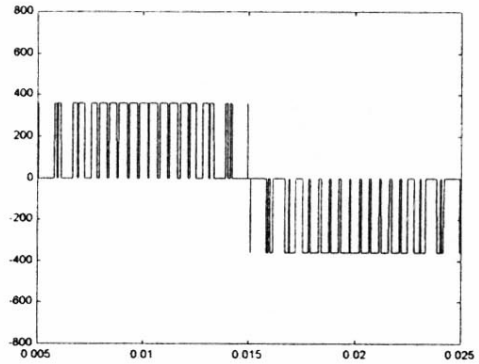


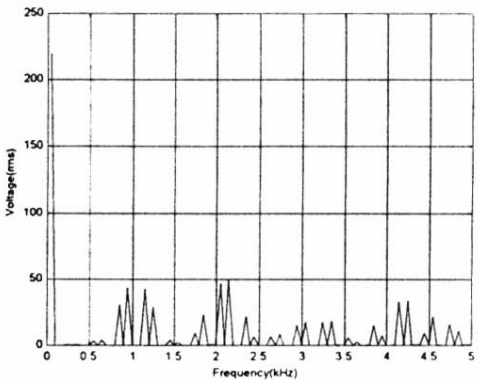

1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
0 0.002 0.004 0.006 0.008 0.01 0.012 0.014 0.016 0.018 0.02

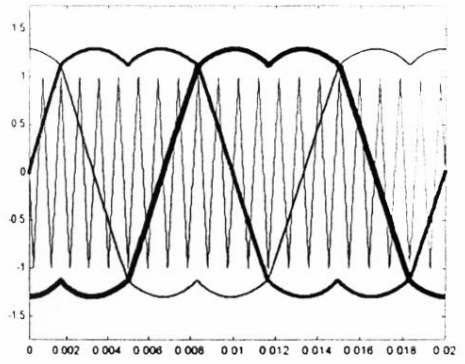

800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0.005 0.01 0.015 0.02 0.025

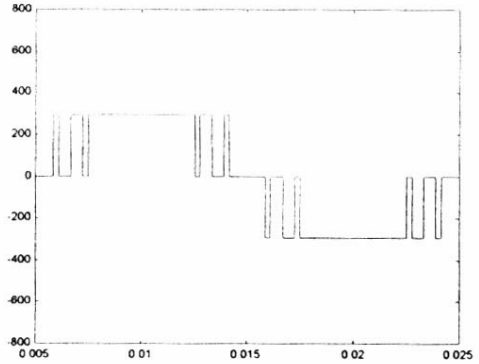

250
200
150
100
50
0
Voltage(rms)
0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5
Frequency(kHz)

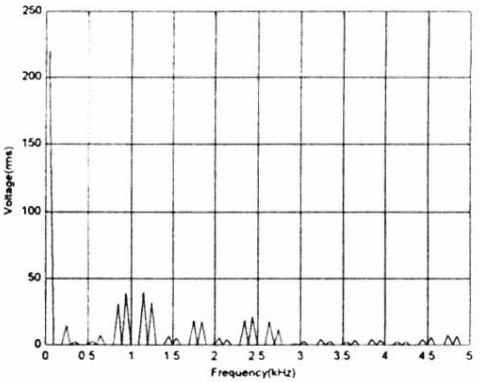

1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
0 0.002 0.004 0.006 0.008 0.01 0.012 0.014 0.016 0.018 0.02


800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0.005 0.01 0.015 0.02 0.025


250
200
150
100
50
0
Voltage(rms)
0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5
Frequency(kHz)


1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
0 0.002 0.004 0.006 0.008 0.01 0.012 0.014 0.016 0.018 0.02


800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0.005 0.01 0.015 0.02 0.025


250
200
150
100
50
0
Voltage(rms)
0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5
Frequency(kHz)