

## บทที่ 5

### ตัวอย่าง ผลการคำนวณ และการวิเคราะห์

ในบทนี้จะนำเสนอตัวอย่างของระบบที่ใช้วิเคราะห์การไหลของกระแสฮาร์มอนิก โดยจะนำเสนอวิธีการป้อนข้อมูลทั้งสองแบบตามที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 ระบบตัวอย่างที่จะเสนอประกอบด้วยระบบ 5 บัส ระบบทดสอบตัวอย่างของ IEEE 14 บัส และ IEEE 30 บัส แต่ละระบบที่ทดสอบจะมีการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบในหลาย ๆ กรณี เพื่อดูผลของการเปลี่ยนแปลงการไหลของกระแสฮาร์มอนิก เช่น การเพิ่มตัวกรองฮาร์มอนิก การเปลี่ยนการจัดขดลวดของหม้อแปลง เป็นต้น

#### 5.1 ระบบ 5 บัส

เป็นระบบตัวอย่างที่นำมาจาก [5] เนื่องจากตามข้อมูลของ [5] ค่าของระบบเป็นค่าต่อหน่วย จึงได้ป้อนข้อมูลเข้าโปรแกรมทางฐานข้อมูลที่ทำขึ้น และจะสร้างระบบจำลองขึ้นมาโดยวิธีการสร้างแผนภาพเส้นเดียว เพื่อที่จะนำระบบมาปรับปรุงองค์ประกอบต่าง ๆ

##### 5.1.1 กรณีพื้นฐาน

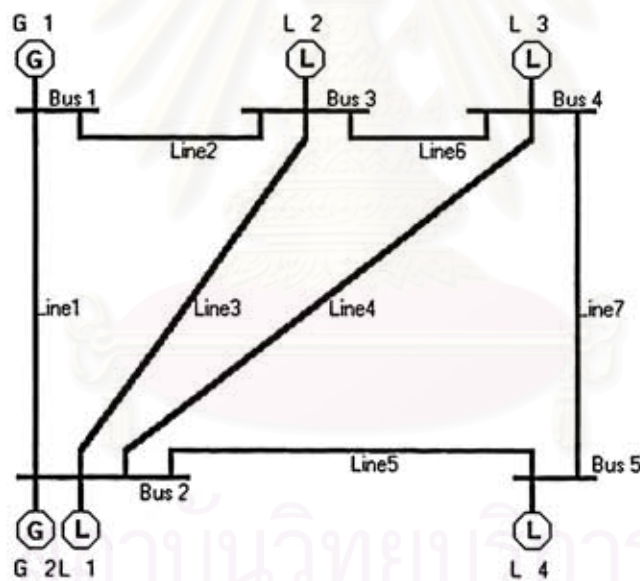
ข้อมูลเบื้องต้นของระบบ 5 บัส เป็นไปตามตารางที่ 5.1

Bus Code p	Assumed Bus Voltage	Generation		Load	
		Megawatts	Megavars	Megawatts	Megavars
1	1.06 + j0.0	0	0	0	0
2	1.0 + j0.0	40	30	20	10
3	1.0 + j0.0	0	0	45	15
4	1.0 + j0.0	0	0	40	5
5	1.0 + j0.0	0	0	60	10

ตารางที่ 5.1 (ก) ค่าแรงดันเริ่มต้นและค่ากำลังไฟฟ้าที่บัส

Bus Code p - q	Impedance $Z_{pq}$	Line Charging $y'_{pq}/2$
1 - 2	$0.02 + j0.06$	$0.0 + j0.030$
1 - 3	$0.08 + j0.24$	$0.0 + j0.025$
2 - 3	$0.06 + j0.18$	$0.0 + j0.020$
2 - 4	$0.06 + j0.18$	$0.0 + j0.020$
2 - 5	$0.04 + j0.12$	$0.0 + j0.015$
3 - 4	$0.01 + j0.03$	$0.0 + j0.010$
4 - 5	$0.08 + j0.24$	$0.0 + j0.025$

ตารางที่ 5.1 (ข) ค่าอิมพีแดนซ์และค่าคาปาซิแตนซ์รั่วลงดินของสายส่ง



รูปที่ 5.1 ระบบตัวอย่าง 5 บัส

### 5.1.2 กรณีที่มีแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิก

จากหัวข้อที่ 5.1.1 การป้อนข้อมูลเป็นแบบใช้ค่าต่อหน่วย และข้อมูลที่ใช้ป้อนจะรวมถึงค่าข้อมูลของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ที่บัสทั้งหมดยกเว้นเพียงสายส่งพลังงานมารวมเป็นข้อมูลของบัส ทำให้ไม่ทราบข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โหลด และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ต่ออยู่

6 - Pulse Converter 10 MW. 7.5 MVar.	Harmonic Current , % of Fundamental								
	5	7	11	13	17	19	23	25	THD
	17.50	11.00	4.50	2.90	1.50	1.00	0.90	0.80	21.46

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลของคอนเวอร์เตอร์ที่บัส 2

ดังนั้นในหัวข้อนี้ หากต้องการเพิ่มคอนเวอร์เตอร์ที่บัส 2 โดยข้อมูลของคอนเวอร์เตอร์เป็นไปตามตารางที่ 5.2 จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงวิธีการใส่ข้อมูลเป็นวิธีวาดแผนภาพเส้นเดี่ยวแทน ซึ่งจะต้องป้อนค่าข้อมูลของอุปกรณ์ทั้งหมดเพื่อที่จะทำให้ทราบค่ากระแสฮาร์มอนิกต่าง ๆ ที่ไหลเข้าไปในตัวอุปกรณ์แต่ละตัว ดังนั้นค่าที่คำนวณได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์โหลดไฟลิ่งจะแตกต่างไปจากค่าที่ได้ตามหัวข้อที่ 5.1.1 เนื่องจากเมตริกซ์ความนำที่สร้างได้จะแตกต่างกัน ดังสมการที่ (5.1) และ สมการ (5.2) โดยข้อมูลที่สมมติเป็นดังนี้

ชื่อ	ชื่อบัส	kV.
Bus 1	North	115
Bus 2	South	115
Bus 3	Lake	115
Bus 4	Main	115
Bus 5	Elm	115

(ก) ข้อมูลบัส

ชื่อ	บัส	MW.	MVar	$X''_d (\Omega)$
Gen 1	1	125	10	65
Gen 2	2	40	30	35

(ข) ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ชื่อ	บัส	MW.	MVar
Load 1	2	20	10
Load 2	3	45	15
Load 3	4	40	5
Load 4	5	60	10

(ค) ข้อมูลโหลด

ชื่อ	บัสต้นทาง	บัสปลายทาง	ระยะทาง (Km)	ชนิดของสาย	GMD (m)	สายควบ	$D_s$ (m)	Line Charging
Line 1	1	2	60	Partridge	1.5	4	0.6	0.1 $\mu$ F/m
Line 2	1	3	240	Partridge	1.5	4	0.6	0.1 $\mu$ F/m
Line 3	2	3	180	Partridge	1.5	4	0.6	0.1 $\mu$ F/m
Line 4	2	4	180	Partridge	1.5	4	0.6	0.1 $\mu$ F/m
Line 5	2	5	120	Partridge	1.5	4	0.6	0.1 $\mu$ F/m
Line 6	3	4	30	Partridge	1.5	4	0.6	0.1 $\mu$ F/m
Line 7	4	5	240	Partridge	1.5	4	0.6	0.1 $\mu$ F/m

(ง) ข้อมูลของสายส่งพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลตัวอย่างของระบบทดสอบ

$$Y_{BUS} = \begin{bmatrix} 6.2500 - j18.6950 & -5.0000 + j15.0000 & -1.2500 + j3.7500 & 0 & 0 \\ -5.0000 + j15.0000 & 10.8334 - j32.4150 & -1.6667 + j5.0000 & -1.6667 + j5.0000 & -2.5000 + j7.5000 \\ -1.2500 + j3.7500 & -1.6667 + j5.0000 & 12.9167 - j38.6950 & -10.0000 + j30.0000 & 0 \\ 0 & -1.6667 + j5.0000 & -10.0000 + j30.0000 & 12.9167 - j38.6950 & -1.2500 + j3.7500 \\ 0 & -2.5000 + j7.5000 & 0 & -1.2500 + j3.7500 & 3.7500 - j11.2100 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

เมตริกซ์  $Y_{BUS}$  ตามสมการที่ (5.1) เป็นค่าจาก [5] ซึ่งเป็น  $Y_{BUS}$  ที่สร้างจากข้อมูลของสายส่งพลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว แต่  $Y_{BUS}$  ที่คำนวณได้จากโปรแกรมที่สมมติค่าต่าง ๆ ตามตารางที่ 5.3 เป็นดังสมการที่ (5.2) เป็น  $Y_{BUS}$  ที่สร้างโดยรวมข้อมูลของสายส่งพลังงานไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า โหลด และคอนเวอร์เตอร์ จึงทำให้ค่าที่ได้แตกต่างกันมาก

$$Y_{BUS} = \begin{bmatrix} 16.4226 - j37.6479 & -13.1381 + j30.1203 & -3.2845 + j7.5301 & 0 & 0 \\ -13.1381 + j30.1203 & 28.4658 - j65.2563 & -4.3794 + j10.0401 & -4.3794 + j10.0401 & -6.5690 + j15.0602 \\ -3.2845 + j7.5301 & -4.3794 + j10.0401 & 33.9400 - j77.8056 & -26.2762 + j60.2406 & 33.9400 - j77.8056 \\ 0 & -4.3794 + j10.0401 & -26.2762 + j60.2406 & 33.9400 - j77.8056 & -3.2845 + j7.5301 \\ 0 & -6.5690 + j15.0602 & 0 & -3.2845 + j7.5301 & 9.8536 - j22.5887 \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

การคำนวณโหลดโพลีที่ได้ค่าแรงดันที่ความถี่หลักมูลที่บัสต่าง ๆ เป็นดังตารางที่ 5.4

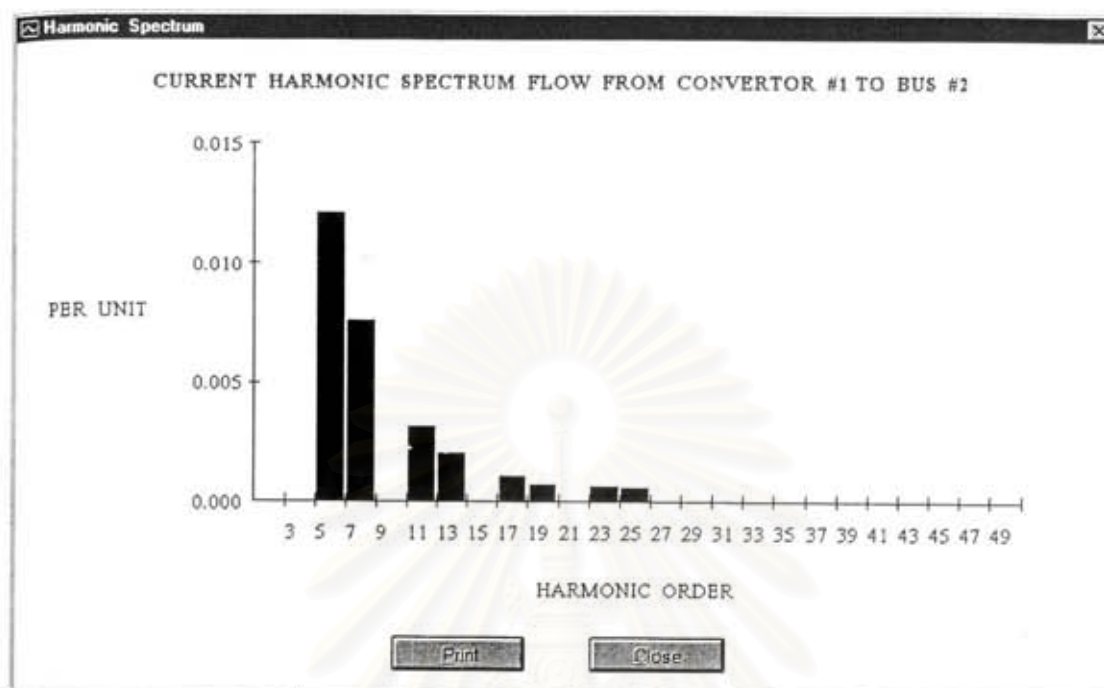
Bus Code	แรงดันบัส
1	$1.0600 + j0.0000 = 1.0600 \angle 0.00$
2	$1.0454 - j0.0237 = 1.0457 \angle -1.30$
3	$1.0313 - j0.0401 = 1.0321 \angle -2.23$
4	$1.0302 - j0.0428 = 1.0311 \angle -2.38$
5	$1.0267 - j0.0496 = 1.0275 \angle -2.77$

ตารางที่ 5.4 แรงดันบัสที่ได้จากโปรแกรม

ซึ่งจะได้ค่ากระแสที่ความถี่หลักมูลของคอนเวอร์เตอร์มีค่าเท่ากับ  $0.0543 - j0.0427$  หรือเท่ากับ  $0.0690 \angle -38.17$  p.u. ดังนั้นจะได้ค่ากระแสฮาร์มอนิกที่คอนเวอร์เตอร์ผลิตออกมาดังตารางที่ 5.5 โดยในที่นี้สมมติว่ามุมของกระแสฮาร์มอนิกที่คอนเวอร์เตอร์ปล่อยออกมามีค่าเท่ากับมุมของกระแสที่ความถี่หลักมูลแต่ทิศทางตรงกันข้าม (โดยกระแสฮาร์มอนิกไหลเข้าบัส)

Order	5	7	11	13	17	19	23	25
Magnitude	0.0121	0.0076	0.0031	0.0020	0.0010	0.0007	0.0006	0.0006
Degree	141.83	141.83	141.83	141.83	141.83	141.83	141.83	141.83

ตารางที่ 5.5 กระแสฮาร์มอนิกที่คอนเวอร์เตอร์ปล่อยออกมา



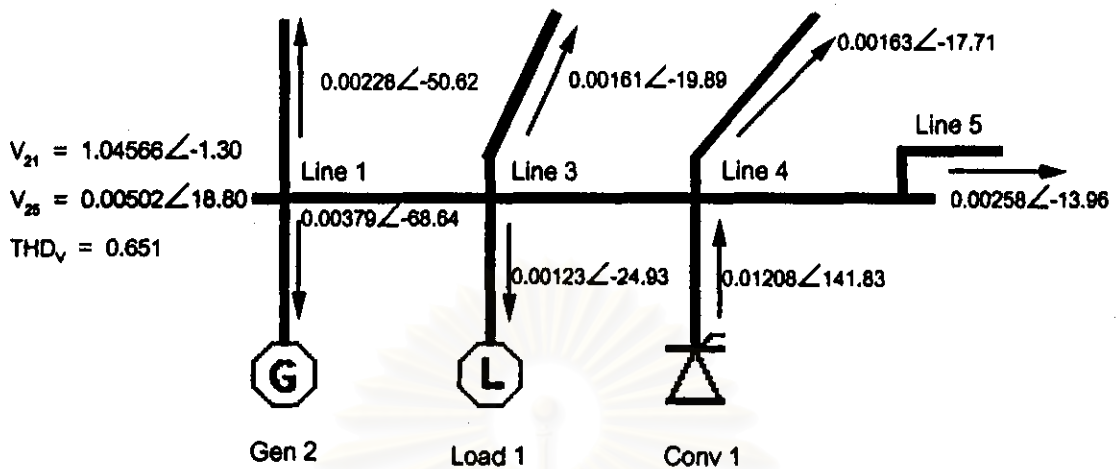
รูปที่ 5.2 กระแสฮาร์มอนิกที่คอนเวอร์เตอร์ปล่อยออกมา

ผลการคำนวณหาค่ากระแสฮาร์มอนิกที่ไหลในระบบ พิจารณาตัวอย่างที่ฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 โดยดูที่บัสที่ 2 ซึ่งเป็นบัสที่มีคอนเวอร์เตอร์ต่ออยู่ดังนี้

ชื่ออุปกรณ์	ไหลจาก	ไปสู่	ขนาด	หมายเหตุ
Conv 1	Conv 1	Bus 2	0.01208∠141.83	100% (ไหลเข้าบัส)
Gen 2	Bus 2	Gen 2	0.00379∠-68.64	31.37%
Load 1	Bus 2	Load 1	0.00123∠-24.93	10.18%
Line 1	Bus 2	Bus 1	0.00228∠-50.62	18.87%
Line 3	Bus 2	Bus 3	0.00161∠-19.89	13.33%
Line 4	Bus 2	Bus 4	0.00163∠-17.71	13.49%
Line 5	Bus 2	Bus 5	0.00258∠-13.96	21.36%

ตารางที่ 5.6 การไหลของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ในบัสที่ 2

สำหรับรายละเอียดของผลการคำนวณของระบบตัวอย่างกรณีที่มีบัสอื่น ๆ หรือที่ลำดับฮาร์มอนิกลำดับอื่น สามารถดูได้จากภาคผนวก ก. ท้ายวิทยานิพนธ์นี้



รูปที่ 5.3 การไหลของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ในบัสที่ 2

### 5.1.3 กรณีที่มีตัวกรองฮาร์มอนิก

กรณีนี้สมมติว่าเพิ่มการติดตั้งตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกที่บัสที่ 2 โดยข้อมูลของตัวกรองฮาร์มอนิกมีขนาดพิคตของคาปาซิเตอร์ 1 MVar และ 10 MVar ผลของการเปลี่ยนแปลงการไหลของกระแสฮาร์มอนิกเมื่อมีตัวกรองฮาร์มอนิก ซึ่งจะเปลี่ยนค่าความถี่ที่ต้องการกรอง และเปลี่ยนค่า Q Factor เป็นไปตามตารางที่ 5.7 (ก) ถึงตารางที่ 5.8 (ข) โดยที่ผลการวิเคราะห์จะแปรค่า Q Factor เท่ากับ 30, 40 และ 50 ซึ่งค่า Q Factor หมายถึงความคมของการกรอง

สำหรับตารางที่ 5.7 (ก) ขนาดพิคตของคาปาซิเตอร์ที่อยู่ในตัวกรองฮาร์มอนิกเป็น 1 MVar กรณีที่ 1 เป็นกรณีที่ไม่มีตัวกรองฮาร์มอนิกต่ออยู่

กรณีที่ 2 - กรณีที่ 10 เป็นกรณีที่ตั้งความถี่ที่ต้องการของตัวกรองฮาร์มอนิกไว้เพื่อกรองฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 และให้กระแสฮาร์มอนิกที่วิเคราะห์เป็นกระแสที่ลำดับฮาร์มอนิกที่ 5

สำหรับตารางที่ 5.7 (ข) ขนาดพิคตของคาปาซิเตอร์ที่อยู่ในตัวกรองฮาร์มอนิกเป็น 10 MVar กรณีที่ 1 เป็นกรณีที่ไม่มีตัวกรองฮาร์มอนิกต่ออยู่

กรณีที่ 2 - กรณีที่ 10 เป็นกรณีที่ตั้งความถี่ที่ต้องการของตัวกรองฮาร์มอนิกไว้เพื่อกรองฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 และให้กระแสฮาร์มอนิกที่วิเคราะห์เป็นกระแสที่ลำดับฮาร์มอนิกที่ 5

สำหรับตารางที่ 5.8 (ก) ขนาดพิกัดของคาปาซิเตอร์ที่อยู่ในตัวกรองฮาร์มอนิกเป็น 1 MVar กรณีที่ 1 เป็นกรณีที่ไม่มีตัวกรองฮาร์มอนิกต่ออยู่

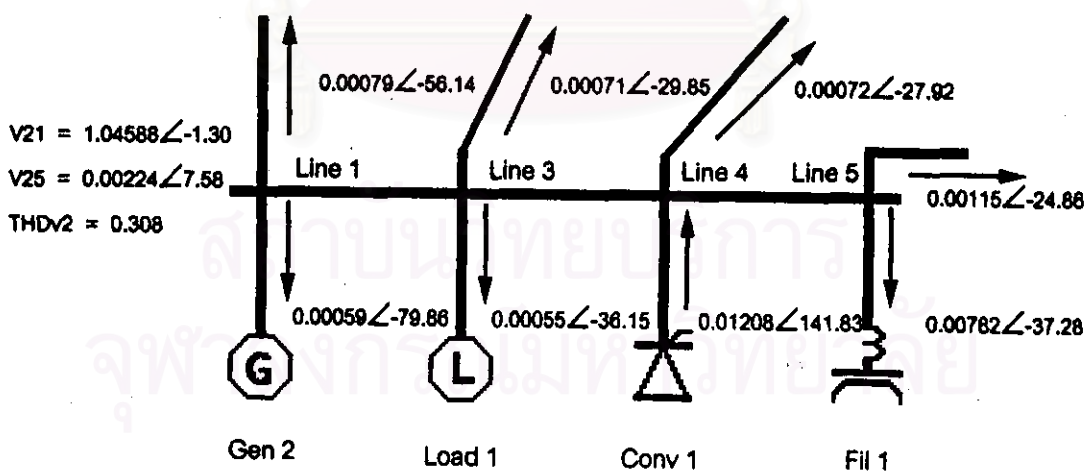
กรณีที่ 2 - กรณีที่ 10 เป็นกรณีที่ตั้งความถี่ที่ต้องการของตัวกรองฮาร์มอนิกไว้เพื่อกรองฮาร์มอนิกลำดับที่ 7 และให้กระแสฮาร์มอนิกที่วิเคราะห์เป็นกระแสที่ลำดับฮาร์มอนิกที่ 7

สำหรับตารางที่ 5.8 (ข) ขนาดพิกัดของคาปาซิเตอร์ที่อยู่ในตัวกรองฮาร์มอนิกเป็น 10 MVar กรณีที่ 1 เป็นกรณีที่ไม่มีตัวกรองฮาร์มอนิกต่ออยู่

กรณีที่ 2 - กรณีที่ 10 เป็นกรณีที่ตั้งความถี่ที่ต้องการของตัวกรองฮาร์มอนิกไว้เพื่อกรองฮาร์มอนิกลำดับที่ 7 และให้กระแสฮาร์มอนิกที่วิเคราะห์เป็นกระแสที่ลำดับฮาร์มอนิกที่ 7

สำหรับตารางที่ 5.9 (ก) ขนาดพิกัดของคาปาซิเตอร์ที่อยู่ในตัวกรองฮาร์มอนิกเป็น 1 MVar โดยตั้งความถี่ที่ต้องการของตัวกรองฮาร์มอนิกไว้เพื่อกรองฮาร์มอนิกลำดับที่ 7.

สำหรับตารางที่ 5.9 (ข) ขนาดพิกัดของคาปาซิเตอร์ที่อยู่ในตัวกรองฮาร์มอนิกเป็น 10 MVar โดยตั้งความถี่ที่ต้องการของตัวกรองฮาร์มอนิกไว้เพื่อกรองฮาร์มอนิกลำดับที่ 7



รูปที่ 5.4 การไหลของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ในบัสที่ 2 จากตารางที่ 5.7 (ก) กรณีที่ 10

กรณี	n	Q	THD <sub>v</sub> at Bus #2	Conv 1		Fil 1		Gen 2		Load 1		Line 1		Line 3		Line 4		Line 5	
				Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%
1	-	-	0.651	120781	100.00	-	-	37899	31.38	12260	10.15	22750	18.84	16057	13.29	16272	13.47	25728	21.30
2		30	0.444	120755	100.00	57003	47.21	9082	7.52	8394	6.95	12103	10.02	10823	8.96	11017	9.12	17605	14.58
3	4.85	40	0.392	120755	100.00	64865	53.72	8174	6.77	7555	6.26	10893	9.02	9741	8.07	9915	8.21	15844	13.12
4		50	0.350	120755	100.00	71453	59.17	7397	6.13	6837	5.66	9858	8.16	8816	7.30	8974	7.43	14340	11.88
5		30	0.425	120755	100.00	60578	50.17	8400	6.96	7764	6.43	11194	9.27	10010	8.29	10190	8.44	16283	13.48
6	4.90	40	0.377	120755	100.00	66775	55.30	7655	6.34	7076	5.86	10202	8.45	9123	7.55	9287	7.69	14840	12.29
7		50	0.338	120755	100.00	72389	59.95	6997	5.79	6467	5.36	9325	7.72	8339	6.91	8488	7.03	13564	11.23
8		30	0.382	120755	100.00	73036	60.48	6711	5.56	6203	5.14	8944	7.41	7998	6.62	8141	6.74	13009	10.77
9	4.95	40	0.341	120755	100.00	75420	62.46	6307	5.22	5829	4.83	8405	6.96	7516	6.22	7651	6.34	12226	10.12
10		50	0.308	120755	100.00	78188	64.75	5917	4.90	5469	4.53	7886	6.53	7052	5.84	7178	5.94	11471	9.50

ตารางที่ 5.7(ก) ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ( $\times 10^{-7}$ ) ในอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่บัสที่ 2 เทียบกับกระแสจากคอนเวอร์เตอร์ โดยตัวกรองตั้งความถี่ไว้เพื่อกรองฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 และขนาดพิกัดของคาปาซิเตอร์ในตัวกรองฮาร์มอนิกเท่ากับ 1 MVar



กรณี	n	Q	THD <sub>v</sub> at Bus #2	Conv 1		Fil 1		Gen 2		Load 1		Line 1		Line 3		Line 4		Line 5	
				Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%
1	-	-	0.651	75919	100.00	-	-	20060	26.42	8263	10.88	13377	17.62	10740	14.15	10926	14.39	17368	22.88
2		30	0.402	75903	100.00	44003	57.97	3836	5.05	4546	5.99	5906	7.78	5834	7.69	5956	7.85	9536	12.56
3	6.70	40	0.342	75903	100.00	49374	65.05	3345	4.40	3936	5.19	5113	6.74	5051	6.65	5157	6.79	8256	10.88
4		50	0.296	75903	100.00	53407	70.36	2934	3.87	3453	4.55	4486	5.91	4431	5.84	4524	5.96	7243	9.54
5		30	0.393	75903	100.00	44956	59.23	3607	4.75	4245	5.59	5514	7.26	5447	7.18	5561	7.33	8904	11.73
6	6.80	40	0.335	75903	100.00	49662	65.43	3165	4.17	3725	4.90	4839	6.38	4780	6.29	4880	6.43	7814	10.29
7		50	0.291	75903	100.00	53403	70.36	2803	3.69	3299	4.35	4285	5.65	4233	5.58	4322	5.69	6920	9.12
8		30	0.376	75903	100.00	49613	65.36	2957	3.89	3480	4.58	4521	5.96	4465	5.88	4559	6.00	7299	9.62
9	6.90	40	0.322	75903	100.00	52152	68.71	2693	3.55	3169	4.18	4117	5.42	4067	5.36	4152	5.47	6648	8.76
10		50	0.280	75903	100.00	54614	71.95	2454	3.23	2888	3.80	3752	4.94	3706	4.88	3784	4.99	6058	7.98

ตารางที่ 5.8 (ก) ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 7 ( $\times 10^{-7}$ ) ในอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่บัสที่ 2 เทียบกับกระแสจากคอนเวอร์เตอร์ โดยตัวกรองตั้งความถี่ไว้เพื่อกรองฮาร์มอนิกลำดับที่ 7 และขนาดพิกัดของคาปาซิเตอร์ในตัวกรองฮาร์มอนิกเท่ากับ 1 MVar

กรณี	n	Q	THD <sub>v</sub> at Bus #2	Conv 1		Fil 1		Gen 2		Load 1		Line 1		Line 3		Line 4		Line 5	
				Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%
1	-	-	0.651	75919	100.00	-	-	20060	26.42	8263	10.88	13377	17.62	10740	14.15	10926	14.39	17368	22.88
2		30	0.402	75903	100.00	44003	57.97	3836	5.05	4546	5.99	5906	7.78	5834	7.69	5956	7.85	9536	12.56
3	6.70	40	0.342	75903	100.00	49374	65.05	3345	4.40	3936	5.19	5113	6.74	5051	6.65	5157	6.79	8256	10.88
4		50	0.296	75903	100.00	53407	70.36	2934	3.87	3453	4.55	4486	5.91	4431	5.84	4524	5.96	7243	9.54
5		30	0.393	75903	100.00	44956	59.23	3607	4.75	4245	5.59	5514	7.26	5447	7.18	5561	7.33	8904	11.73
6	6.80	40	0.335	75903	100.00	49662	65.43	3165	4.17	3725	4.90	4839	6.38	4780	6.29	4880	6.43	7814	10.29
7		50	0.291	75903	100.00	53403	70.36	2803	3.69	3299	4.35	4285	5.65	4233	5.58	4322	5.69	6920	9.12
8		30	0.376	75903	100.00	49613	65.36	2957	3.89	3480	4.58	4521	5.96	4465	5.88	4559	6.00	7299	9.62
9	6.90	40	0.322	75903	100.00	52152	68.71	2693	3.55	3169	4.18	4117	5.42	4067	5.36	4152	5.47	6648	8.76
10		50	0.280	75903	100.00	54614	71.95	2454	3.23	2888	3.80	3752	4.94	3706	4.88	3784	4.99	6058	7.98

ตารางที่ 5.8 (ก) ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 7 ( $\times 10^{-7}$ ) ในอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่巴士ที่ 2 เทียบกับกระแสจากคอนเวอร์เตอร์ โดยตัวกรองตั้งความถี่ไว้เพื่อกรองฮาร์มอนิกลำดับที่ 7 และขนาดพิกัดของคาปาซิเตอร์ในตัวกรองฮาร์มอนิกเท่ากับ 1 MVar

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณี	n	Q	THD <sub>v</sub> at Bus #2	Conv 1		Fil 1		Gen 2		Load 1		Line 1		Line 3		Line 4		Line 5	
				Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%
1	-	-	0.651	75919	100.00	-	-	20060	26.42	8263	10.88	13377	17.62	10740	14.15	10926	14.39	17368	22.88
2		30	0.065	75756	100.00	70868	93.55	622	0.82	732	0.97	951	1.26	940	1.24	959	1.27	1536	2.03
3	6.70	40	0.050	75756	100.00	72110	95.19	488	0.64	575	0.76	747	0.99	738	0.97	753	0.99	1206	1.59
4		50	0.040	75756	100.00	72879	96.20	400	0.53	471	0.62	612	0.81	605	0.79	617	0.81	988	1.30
5		30	0.063	75756	100.00	70975	93.69	569	0.75	670	0.88	871	1.15	860	1.14	878	1.16	1406	1.86
6	6.80	40	0.049	75756	100.00	72077	95.14	459	0.61	541	0.71	702	0.93	694	0.92	708	0.93	1134	1.49
7		50	0.039	75756	100.00	72815	96.12	382	0.50	450	0.59	584	0.77	577	0.76	589	0.78	944	1.25
8		30	0.059	75756	100.00	71944	94.97	429	0.57	505	0.67	656	0.87	648	0.86	661	0.87	1058	1.39
9	6.90	40	0.046	75756	100.00	72466	95.66	374	0.49	440	0.58	572	0.76	565	0.75	577	0.76	924	1.22
10		50	0.038	75756	100.00	72937	96.28	328	0.43	386	0.51	501	0.66	495	0.65	505	0.67	809	1.07

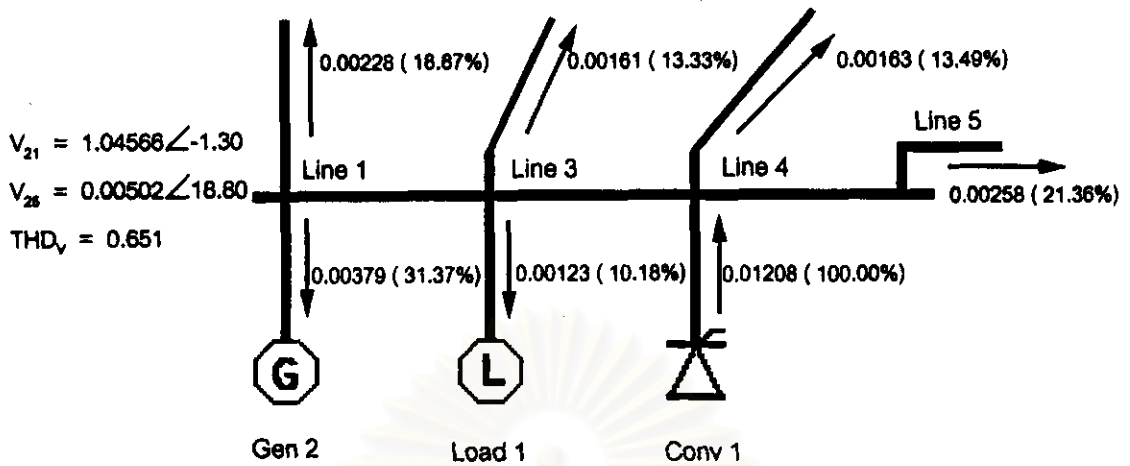
ตารางที่ 5.8 (ข) ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 7 ( $\times 10^{-7}$ ) ในอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่บัสที่ 2 เทียบกับกระแสจากคอนเวอร์เตอร์ โดยตัวกรองตั้งความถี่ไว้เพื่อกรองฮาร์มอนิกลำดับที่ 7 และขนาดพิกัดของคาปาซิเตอร์ในตัวกรองฮาร์มอนิกเท่ากับ 10 MVar

Harm. Order	Conv 1		Fil 1		Gen 2		Load 1		Line 1		Line 3		Line 4		Line 5	
	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0.01208	100.00	0.00849	70.28	0.00065	5.38	0.00060	4.97	0.00087	7.17	0.00077	6.41	0.00079	6.53	0.00126	10.43
7	0.00759	100.00	0.00546	71.95	0.00025	3.23	0.00029	3.80	0.00038	4.94	0.00037	4.88	0.00038	4.99	0.00061	7.98
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0.00311	100.00	0.00246	79.09	0.00009	2.75	0.00013	4.34	0.00016	5.00	0.00017	5.33	0.00017	5.45	0.00027	8.71
13	0.00200	100.00	0.00164	81.83	0.00005	2.41	0.00008	4.15	0.00009	4.60	0.00010	5.00	0.00010	5.11	0.00016	8.16
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0.00104	100.00	0.00089	86.24	0.00002	1.94	0.00004	3.77	0.00004	3.96	0.00005	4.38	0.00005	4.48	0.00007	7.14
19	0.00069	100.00	0.00061	87.97	0.00001	1.77	0.00002	3.58	0.00003	3.70	0.00003	4.10	0.00003	4.20	0.00005	6.70
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0.00062	100.00	0.00046	73.90	0.00001	1.22	0.00003	4.28	0.00002	3.95	0.00004	5.70	0.00004	5.93	0.00006	9.63
25	0.00055	100.00	0.00041	74.66	0.00001	1.14	0.00002	4.33	0.00002	3.86	0.00003	5.62	0.00003	6.17	0.00005	9.46
%lh	0.01481	100.00	0.01059	71.51	0.00070	4.73	0.00069	4.66	0.00096	6.48	0.00088	5.94	0.00090	6.08	0.00144	9.72

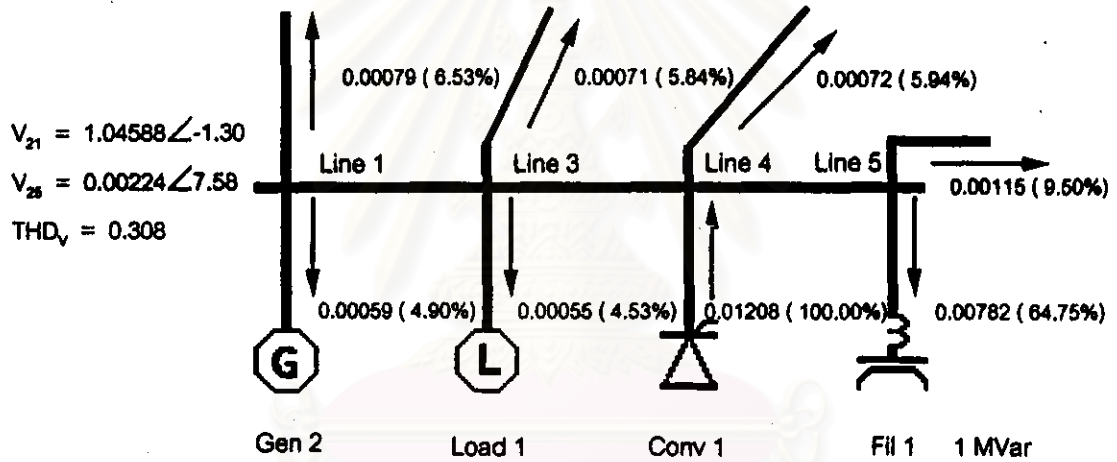
ตารางที่ 5.9 (ก) ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ ( $\times 10^{-7}$ ) ในอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่巴士ที่ 2 เทียบกับกระแสจากคอนเวอร์เตอร์ โดยตัวกรองตั้งความถี่ไว้เพื่อกรองฮาร์มอนิกลำดับที่ 7 และขนาดพิกัดของคาปาซิเตอร์ในตัวกรองฮาร์มอนิกเท่ากับ 1 MVar

Harm. Order	Conv 1		Fil 1		Gen 2		Load 1		Line 1		Line 3		Line 4		Line 5	
	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%	Mag.	%
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0.01205	100.00	0.01162	96.44	0.00009	0.74	0.00008	0.68	0.00012	0.98	0.00011	0.88	0.00011	0.90	0.00017	1.43
7	0.00758	100.00	0.00729	96.28	0.00003	0.43	0.00004	0.51	0.00005	0.66	0.00005	0.65	0.00005	0.67	0.00008	1.07
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0.00310	100.00	0.00303	97.77	0.00001	0.34	0.00002	0.54	0.00002	0.62	0.00002	0.66	0.00002	0.67	0.00003	1.08
13	0.00198	100.00	0.00196	98.15	0.00001	0.29	0.00001	0.50	0.00001	0.55	0.00001	0.60	0.00001	0.61	0.00002	0.98
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0.00103	100.00	0.00102	98.69	0.00000	0.22	0.00000	0.44	0.00001	0.45	0.00001	0.50	0.00001	0.51	0.00001	0.81
19	0.00069	100.00	0.00068	98.88	0.00000	0.20	0.00000	0.41	0.00000	0.42	0.00000	0.46	0.00000	0.48	0.00001	0.76
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0.00062	100.00	0.00060	96.72	0.00000	0.16	0.00000	0.56	0.00000	0.52	0.00000	0.74	0.00000	0.77	0.00001	1.26
25	0.00055	100.00	0.00053	96.86	0.00000	0.15	0.00000	0.56	0.00000	0.51	0.00000	0.73	0.00000	0.76	0.00001	1.23
%lh	0.01478	100.00	0.01426	96.48	0.00010	0.68	0.00009	0.61	0.00013	0.88	0.00012	0.81	0.00012	0.81	0.00019	1.29

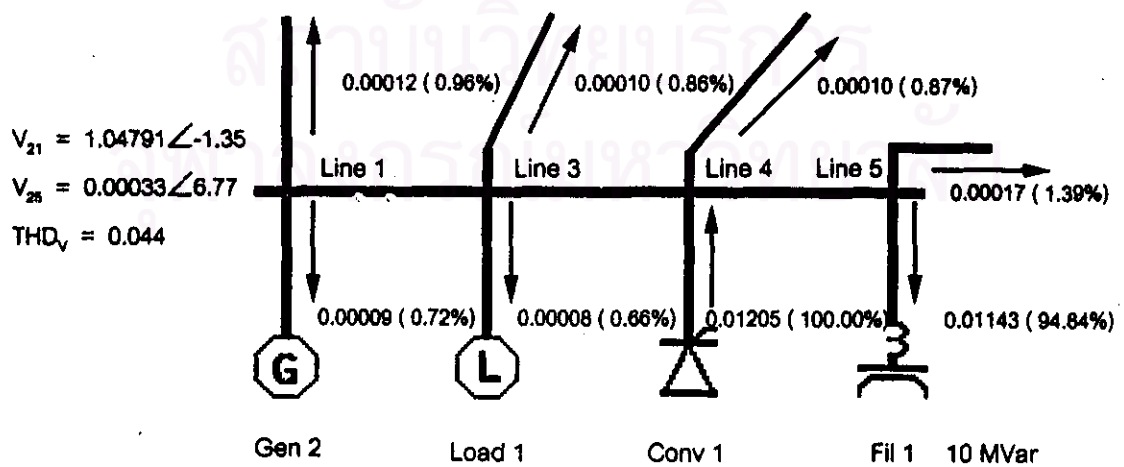
ตารางที่ 5.9 (ข) ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ ( $\times 10^{-7}$ ) ในอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่บัสที่ 2 เทียบกับกระแสจากคอนเวอร์เตอร์ โดยตัวกรองตั้งความถี่ไว้เพื่อกรองฮาร์มอนิกลำดับที่ 7 และขนาดพิกัดของคาปาซิเตอร์ในตัวกรองฮาร์มอนิกเท่ากับ 10 MVar



รูปที่ 5.5 การไหลของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ในบัสที่ 2 เมื่อไม่มีตัวกรองฮาร์มอนิก



รูปที่ 5.6 การไหลของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ในบัสที่ 2 จากตารางที่ 5.7 (ก) กรณีที่ 10



รูปที่ 5.7 การไหลของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ในบัสที่ 2 จากตารางที่ 5.7 (ข) กรณีที่ 10

จากตารางที่ 5.7 (ก) จนถึงตารางที่ 5.9 (ข) ค่า Mag. หมายถึงค่าขนาดของกระแสฮาร์มอนิกที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นค่าต่อหน่วย ส่วนค่า % หมายถึงสัดส่วนของปริมาณกระแสของอุปกรณ์ตัวนั้น ๆ เมื่อเทียบกับขนาดของกระแสฮาร์มอนิกที่คอนเวอร์เตอร์ปล่อยออกมา โดยให้ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกที่คอนเวอร์เตอร์ปล่อยออกมาเป็น 100 %

สำหรับฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 พบว่า เมื่อมีตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกอยู่โดยที่ขนาดพิคกิดของคาปาซิเตอร์เท่ากับ 1 MVar กระแสฮาร์มอนิกมากกว่าครึ่งหนึ่งจะไหลเข้าตัวกรอง ทำให้ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลไปยังบัสอื่น ๆ ในระบบลดลง และยังมีผลทำให้ค่าความผิดเพี้ยนทางฮาร์มอนิกรวมของแรงดันที่บัสที่ 2 ลดลงด้วยจากเดิม  $THD_v$  at Bus #2 มีค่า 0.651 เหลือเพียง 0.308 เมื่อเปลี่ยนขนาดพิคกิดของคาปาซิเตอร์เป็น 10 MVar ค่า  $THD_v$  at Bus #2 มีค่าเหลือเพียง 0.044 ( พิจารณารูปที่ 5.5 รูปที่ 5.6 และรูปที่ 5.7 ประกอบ )

เมื่อพิจารณาการแปรค่า Q Factor พบว่า เมื่อค่า Q Factor มีค่าสูงกระแสฮาร์มอนิกจะไหลเข้าตัวกรองฮาร์มอนิกได้มากขึ้น เนื่องจากนิยามของ Q Factor เป็นดังสมการที่ (5.3)

$$Q \text{ Factor} = \frac{X_L \text{ at } n}{R} \quad (5.3)$$

ดังนั้นเมื่อ Q Factor มีค่าสูงแสดงว่าค่า R ของตัวกรองฮาร์มอนิกมีค่าต่ำ กระแสฮาร์มอนิกจึงไหลเข้าได้มากกว่า

เมื่อพิจารณาการแปรค่าความถี่ที่ต้องการกรองพบว่า เมื่อค่า n เข้าใกล้ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่มีอยู่ในระบบมากขึ้น กระแสฮาร์มอนิกจะไหลเข้าตัวกรองมากขึ้นเช่นเดียวกัน จากตารางที่ 5.7 (ก) เมื่อ Q Factor เท่ากับ 30

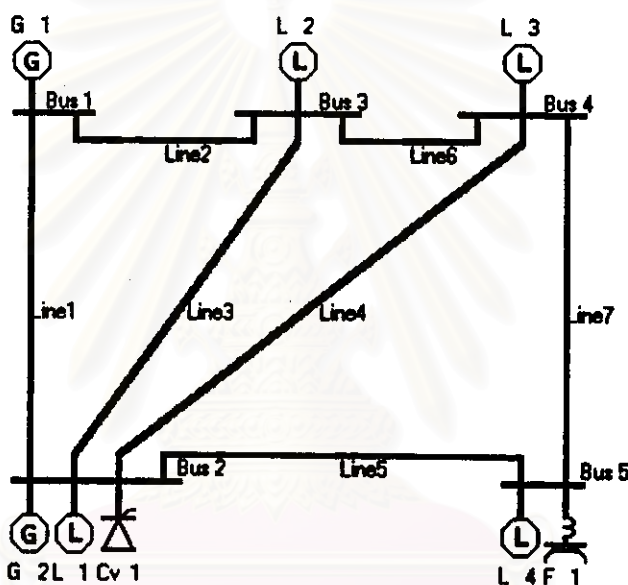
n	=	4.85	กระแสที่ไหลเข้าตัวกรองฮาร์มอนิก	=	47.21	%
n	=	4.90	กระแสที่ไหลเข้าตัวกรองฮาร์มอนิก	=	50.17	%
n	=	4.95	กระแสที่ไหลเข้าตัวกรองฮาร์มอนิก	=	60.48	%

สำหรับตารางที่ 5.8 (ก) เป็นกรณีที่ตั้งความถี่ที่ต้องการกรองของตัวกรองฮาร์มอนิกไว้สำหรับลำดับฮาร์มอนิกที่ 7 ผลที่ออกมาก็เป็นในทำนองเดียวกันกับเมื่อตอนพิจารณาลำดับฮาร์มอนิกที่ 5

โดยปกติแล้วค่า n ที่นิยมตั้งไว้คือ เท่ากับ 4.8 สำหรับการกรองฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 และเท่ากับ 6.7 สำหรับการกรองฮาร์มอนิกลำดับที่ 7

### 5.1.4 กรณีที่มีตัวกรองฮาร์มอนิกอยู่ที่บัสที่ 5

กรณีนี้สมมติว่ามีการติดตั้งตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกที่บัสที่ 5 โดยข้อมูลของตัวกรองฮาร์มอนิกมีลักษณะเดียวกับในหัวข้อที่ 5.1.3 คือมีขนาดพิกัดของคาปาซิเตอร์ 1 MVar และ 10 MVar ตั้งค่าความถี่ที่ต้องการกรองไว้ที่ 4.95 ค่า Q Factor เท่ากับ 50 ผลของการเปลี่ยนแปลงการไหลของกระแสฮาร์มอนิกเมื่อมีตัวกรองฮาร์มอนิกดังกล่าว เป็นตามตารางที่ 5.10 และ ตารางที่ 5.11



รูปที่ 5.8 ระบบ 5 บัสเมื่อมีตัวกรองฮาร์มอนิกที่บัสที่ 5

จากตารางที่ 5.10 และ ตารางที่ 5.11 พบว่าค่า  $THD_{v_2}$  ก่อนใส่ตัวกรองฮาร์มอนิกมีค่า 0.651 และ  $THD_{v_5} = 0.584$  เมื่อใส่ตัวกรองขนาด 1 MVar ที่บัสที่ 5 ค่า  $THD_{v_2} = 0.382$  และ  $THD_{v_5} = 0.226$  เมื่อเปลี่ยนเป็นตัวกรองขนาด 10 MVar ค่า  $THD_{v_2} = 0.280$  และ  $THD_{v_5} = 0.032$  นั่นคือหากขนาดพิกัดของคาปาซิเตอร์ใหญ่ขึ้น จะทำให้สามารถกรองกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ได้มากขึ้น ซึ่งผลดีที่เกิดขึ้นคือแรงดันบัสที่ความถี่หลักมูลมีค่าสูงขึ้นด้วย ในขณะที่ค่า  $THD_v$  ลดลง แต่ข้อควรระวังในการเพิ่มขนาดของคาปาซิเตอร์คือ อาจทำให้เกิดภาวะแรงดันเกินได้ที่บัสนั้น ๆ จนเป็นเหตุให้อุปกรณ์อื่นเสียหายได้

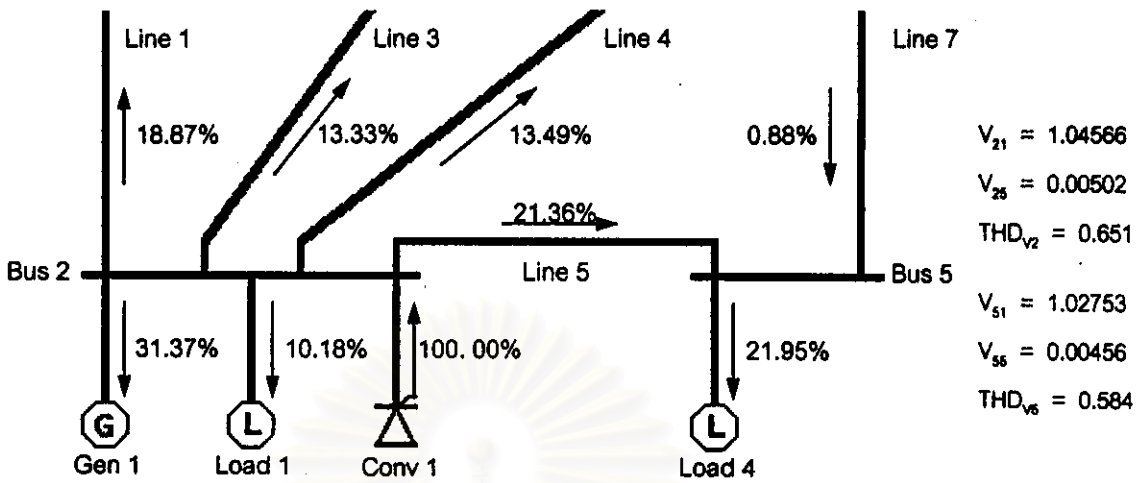


Harmonic Order	Fil 1			Load 4			Line 5			Line 7		
	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%
1	0.00562	87.22	100.00	0.34158	-12.24	100.00	0.52629	168.03	100.00	0.06407	177.02	100.00
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0.00571	-39.13	101.64	0.00095	-18.52	0.28	0.00513	145.20	0.97	0.00148	138.85	2.32
7	0.00359	-22.95	63.92	0.00080	-51.39	0.23	0.00337	151.69	0.64	0.00093	153.12	1.46
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0.00153	-25.22	27.32	0.00030	-65.24	0.09	0.00139	148.31	0.26	0.00038	149.57	0.60
13	0.00101	-25.84	17.92	0.00018	-70.44	0.05	0.00090	147.46	0.17	0.00025	148.80	0.38
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0.00054	-26.81	9.56	0.00008	-78.82	0.02	0.00046	146.45	0.09	0.00013	147.97	0.20
19	0.00036	-27.25	6.46	0.00005	-82.25	0.02	0.00031	146.12	0.06	0.00009	147.70	0.13
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0.00027	-55.75	4.76	0.00006	-55.91	0.02	0.00027	129.10	0.05	0.00007	104.92	0.11
25	0.00023	-57.14	4.15	0.00006	-57.28	0.02	0.00023	128.02	0.04	0.00006	101.97	0.09
Ih&THD	0.00703	-	125.13	0.00129	-	0.38	0.00064	-	1.21	0.00182	-	2.84

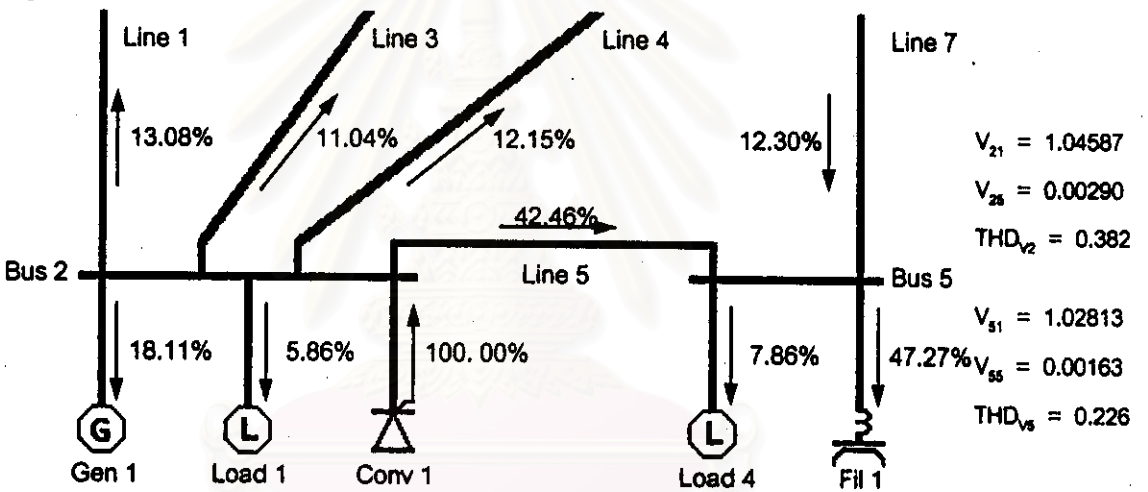
ตารางที่ 5.10 ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ ในอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ บัสที่ 5 เมื่อมีตัวกรองฮาร์มอนิกขนาด 1 MVar

Harmonic Order	Fil 1			Load 4			Line 5			Line 7		
	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%
1	0.05586	87.11	100.00	0.33981	-12.35	100.00	0.51771	174.59	100.00	0.06849	199.41	100.00
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0.00837	-42.13	14.99	0.00014	-21.52	0.04	0.00635	139.42	1.23	0.00216	134.60	3.15
7	0.00515	-41.01	9.23	0.00011	-69.45	0.03	0.00395	139.59	0.76	0.00131	134.79	1.91
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0.00201	-42.22	3.61	0.00004	-82.25	0.01	0.00155	138.41	0.30	0.00049	132.85	0.72
13	0.00128	-42.30	2.28	0.00002	-86.90	0.01	0.00099	138.30	0.19	0.00031	132.75	0.45
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0.00064	-42.07	1.15	0.00001	265.93	0.00	0.00050	138.45	0.10	0.00015	133.23	0.22
19	0.00043	-41.88	0.76	0.00001	263.13	0.00	0.00033	138.59	0.06	0.00010	133.62	0.14
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0.00037	-63.39	0.65	0.00001	-63.55	0.00	0.00029	122.62	0.06	0.00009	97.18	0.13
25	0.00032	-64.65	0.56	0.00001	-64.79	0.00	0.00025	121.71	0.05	0.00008	94.38	0.11
Ih&THD	0.01016	-	18.18	0.00019	-	0.05	0.00773	-	1.49	0.00260	-	3.80

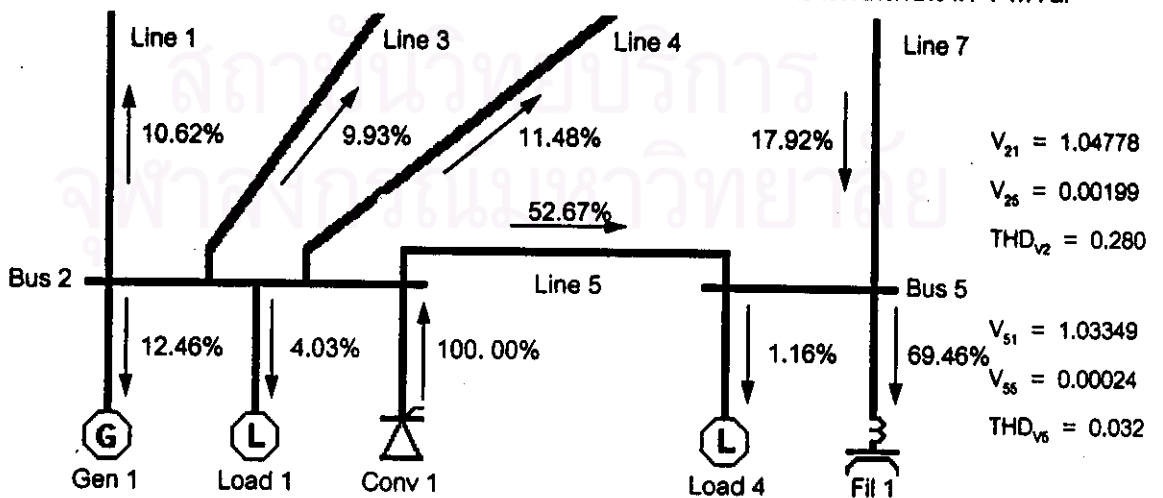
ตารางที่ 5.11 ปริมาณกระแสฮาร์โมนิกลำดับต่าง ๆ ในอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ บัสที่ 5 เมื่อมีตัวกรองฮาร์โมนิกขนาด 10 MVar



รูปที่ 5.9 การไหลของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ในบัสที่ 2 เมื่อไม่มีตัวกรองฮาร์มอนิก



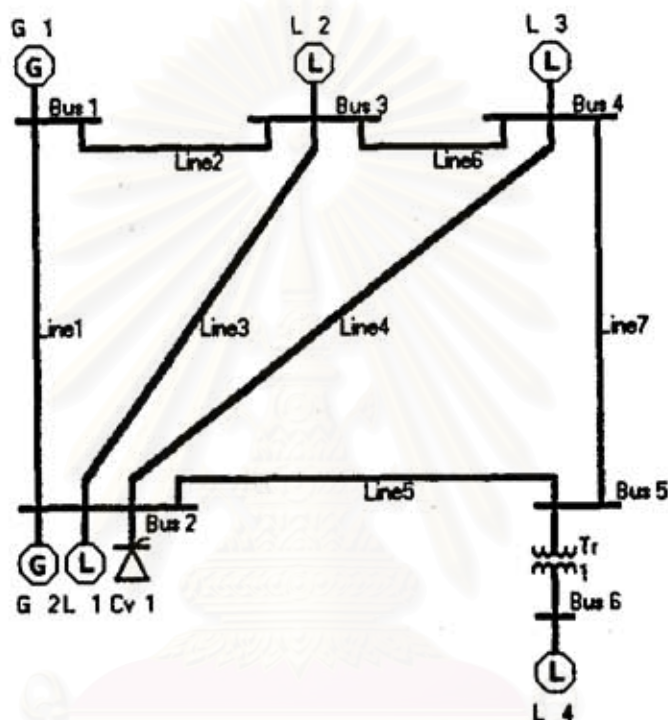
รูปที่ 5.10 การไหลของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ในบัสที่ 2 มีตัวกรองฮาร์มอนิกขนาด 1 MVar



รูปที่ 5.11 การไหลของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ในบัสที่ 2 มีตัวกรองฮาร์มอนิกขนาด 10 MVar

### 5.1.5 กรณีที่มีหม้อแปลงไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลของการต่อของขดลวดของหม้อแปลง โดยสมมติให้มีหม้อแปลงไฟฟ้าอยู่ที่บัสที่ 5 เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดที่ 4 (บัสที่ 6) ดังรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 ระบบตัวอย่างเมื่อมีหม้อแปลงไฟฟ้าที่บัสที่ 5

ตามที่กล่าวมาแล้วว่า ผลการต่อขดลวดของหม้อแปลงมีผลต่อการไหลของกระแสฮาร์มอนิก โดยเฉพาะลำดับฮาร์มอนิกที่เป็นทวีคูณเปิดฮาร์มอนิก เพื่อทดสอบเหตุการณ์ดังกล่าว จึงสมมติให้คอนเวอร์เตอร์ขนาด 10 MW, 7.5 MVar ที่อยู่ที่บัสที่ 2 ผลิตกระแสฮาร์มอนิกออกมาในลักษณะที่เรียกว่าไม่เป็นรูปแบบ (Non - Characteristic) คือกระแสฮาร์มอนิกที่ออกมาเป็นดังตารางที่ 5.12

Type of Converter	Harmonic Current , % of Fundamental						
	3	5	7	9	11	13	THD
Non-Characteristic Converter	30.00	17.50	11.00	7.50	4.50	2.90	37.58

ตารางที่ 5.12 ข้อมูลของคอนเวอร์เตอร์แบบไม่เป็นรูปแบบ

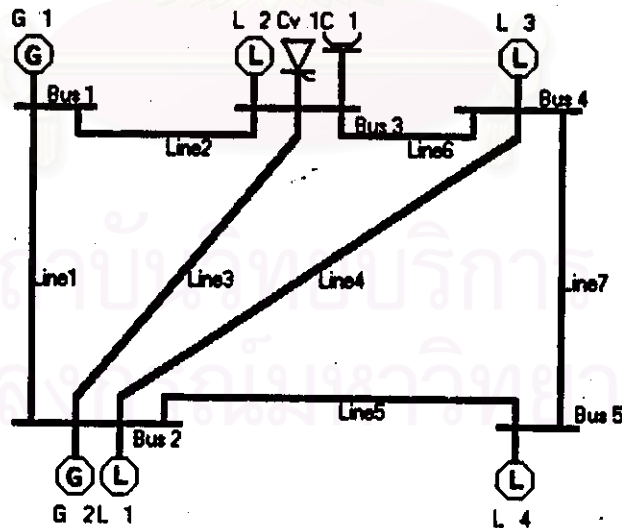
กรณี	Winding Configuration	Harm. Order	THD <sub>v</sub> Bus 5	THD <sub>v</sub> Bus 6	Line 5		Line 7		Trans 1	
					Mag.	Deg.	Mag.	Deg.	Mag.	Deg.
1	Y - Y 1 Neutral Grounded	3	1.101	0.493	12193	187.9	12203	7.7	-	-
		5			23263	160.1	764	39.6	22893	-21.6
		7			15161	153.7	898	27.0	14647	-29.1
		9			4076	158.7	4080	-21.4	-	-
		11			6191	147.7	556	7.7	5778	-35.9
		13			3958	146.2	391	1.2	3646	-37.3
2	Y - Y Both Neutral Grounded	3	0.952	0.865	40456	177.5	1259	154.7	41628	-32.5
		5			23263	160.1	764	39.6	22893	-21.6
		7			15161	153.7	898	27.0	14647	-29.1
		9			10376	150.0	801	16.13	9842	-33.4
		11			6191	147.7	556	7.7	5778	-35.9
		13			3958	146.2	391	1.2	3646	-37.3
3	Y - Δ Grounded Y	3	1.101	0.493	12193	187.9	12203	7.7	-	-
		5			23263	160.1	764	39.6	22893	-21.6
		7			15161	153.7	898	27.0	14647	-29.1
		9			4076	158.7	4080	-21.4	-	-
		11			6191	147.7	556	7.7	5778	-35.9
		13			3958	146.2	391	1.2	3646	-37.3
4	Y - Δ Ungrounded Y	3	1.101	0.493	12193	187.9	12203	7.7	-	-
		5			23263	160.1	764	39.6	22893	-21.6
		7			15161	153.7	898	27.0	14647	-29.1
		9			4076	158.7	4080	-21.4	-	-
		11			6191	147.7	556	7.7	5778	-35.9
		13			3958	146.2	391	1.2	3646	-37.3
5	Δ - Δ	3	1.101	0.493	12193	187.9	12203	7.7	-	-
		5			23263	160.1	764	39.6	22893	-21.6
		7			15161	153.7	898	27.0	14647	-29.1
		9			4076	158.7	4080	-21.4	-	-
		11			6191	147.7	556	7.7	5778	-35.9
		13			3958	146.2	391	1.2	3646	-37.3

ตารางที่ 5.13 ค่า THD<sub>v</sub> และปริมาณกระแสฮาร์มอนิก ( $\times 10^{-7}$ ) ในอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่บัส 5

ผลการคำนวณในตารางที่ 5.13 จะพบว่ามีเพียงกรณีเดียวเท่านั้นที่กระแสฮาร์มอนิกที่มีลำดับเป็นทวีปเบิลฮาร์มอนิก สามารถเหนี่ยวนำข้ามระหว่างขดลวดปฐมภูมิกับขดลวดทุติยภูมิได้ คือกรณีที่หม้อแปลงไฟฟ้าต่อขดลวดแบบ Y-Y และมีการต่อลงดินทั้งสองข้าง ในขณะที่การต่อขดลวดแบบอื่น ๆ กระแสทวีปเบิลฮาร์มอนิกจะไม่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสในสายได้ แต่อาจไหลวนเวียนอยู่ในวงรอบเคลตาได้ ดังนั้นลักษณะการต่อของขดลวดของหม้อแปลงจึงเป็นอีกเงื่อนไขหนึ่งในการพิจารณาการไหลของกระแสฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลัง ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.2

### 5.1.6. กรณีที่มีคาปาซิเตอร์

กรณีนี้สมมติว่าเปลี่ยนตำแหน่งติดตั้งคอนเวอร์เตอร์ไปที่บัสที่ 3 และต้องการพิจารณาผลของการติดตั้งคาปาซิเตอร์ โดยแยกเป็น 3 กรณีย่อยคือ กรณีที่ 1) ยังไม่มีคาปาซิเตอร์ที่บัสที่ 3 กรณีที่ 2) ติดตั้งคาปาซิเตอร์ขนาด 10 MVar ที่บัสที่ 3 และกรณีที่ 3) ติดตั้งคาปาซิเตอร์ขนาด 50 MVar ที่บัสที่ 3 ผลของการคำนวณแสดงในตารางที่ 5.14 ตารางที่ 5.15 และตารางที่ 5.16



รูปที่ 5.13 ตำแหน่งติดตั้งคาปาซิเตอร์

Harm. Order	Conv 1			Load 2			Line 2			Line 3			Line 6		
	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0.01277	138.37	100.00	0.00325	-21.52	25.48	0.00195	-61.19	15.28	0.00267	-57.50	20.89	0.00532	-38.82	41.67
7	0.00802	138.37	100.00	0.00224	-23.70	27.96	0.00110	-60.73	13.74	0.00154	-57.23	19.19	0.00337	-40.23	41.98
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0.00328	138.37	100.00	0.00101	-27.20	30.87	0.00040	-58.29	12.13	0.00057	-55.45	17.32	0.00137	-41.76	41.69
13	0.00212	138.37	100.00	0.00067	-28.59	31.77	0.00025	-57.02	11.67	0.00035	-54.47	16.77	0.00088	-42.12	41.47
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0.00109	138.37	100.00	0.00036	-30.82	32.98	0.00012	-54.77	11.09	0.00018	-52.69	16.05	0.00045	-42.46	41.08
19	0.00073	138.37	100.00	0.00024	-31.71	33.38	0.00008	-53.80	10.91	0.00012	-51.91	15.82	0.00030	-42.52	40.92
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0.00066	138.37	100.00	0.00028	-13.45	42.66	0.00006	-78.88	8.98	0.00009	-74.64	13.80	0.00029	-51.00	44.28
25	0.00058	138.37	100.00	0.00026	-13.69	43.85	0.00005	-79.62	8.68	0.00008	-75.55	13.39	0.00026	-51.77	43.98
% lh	0.01566	-	100.00	0.00417	-	26.66	0.00229	-	14.66	0.00316	-	20.19	0.00654	-	41.76

ตารางที่ 5.14 ปริมาณกระแสฮาร์โมนิกลำดับต่าง ๆ ในอุปกรณ์ที่ บัสที่ 3 เทียบกับกระแสจากคอนเวอร์เตอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

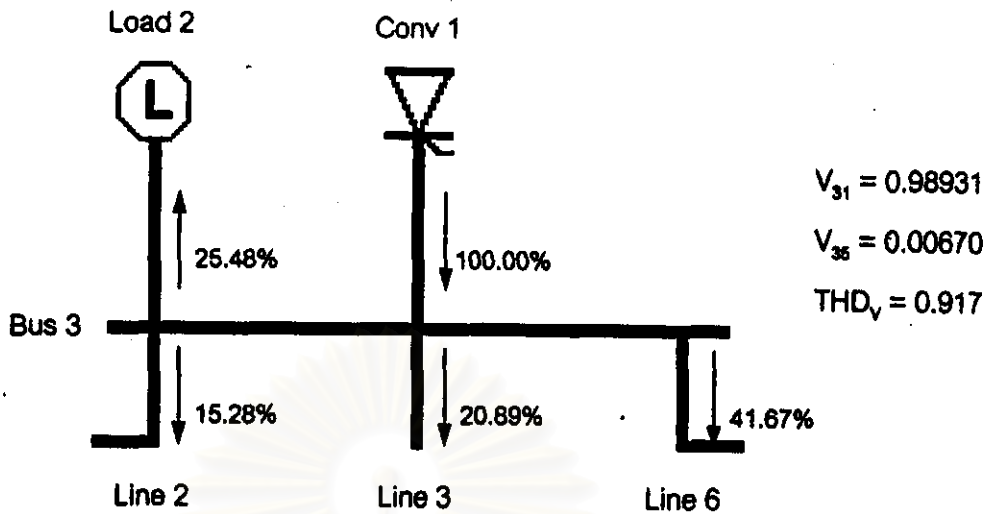
Harm. Order	Conv 1			Cap 1			Load 2			Line 2			Line 3			Line 6		
	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0.01266	138.19	100.00	0.00416	92.62	32.86	0.00404	-32.50	31.90	0.00242	-72.17	19.13	0.00331	-68.48	26.16	0.00660	-49.80	52.18
7	0.00795	138.19	100.00	0.00501	83.37	63.03	0.00324	44.58	40.75	0.00159	-81.62	20.02	0.00222	-78.11	27.96	0.00487	-61.12	61.18
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0.00325	138.19	100.00	0.00567	48.35	174.15	0.00202	-87.40	62.06	0.00079	241.51	24.38	0.00113	244.35	34.86	0.00273	258.04	83.83
13	0.00210	138.19	100.00	0.00453	13.96	216.21	0.00127	240.54	60.53	0.00017	212.11	7.93	0.00067	214.66	31.95	0.00166	227.01	79.01
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0.00108	138.19	100.00	0.00203	-17.11	186.84	0.00037	197.22	34.53	0.00013	173.27	11.62	0.00018	175.35	16.81	0.00047	185.58	43.00
19	0.00072	138.19	100.00	0.00121	25.12	167.51	0.00019	186.62	25.80	0.00006	164.53	8.42	0.00009	166.43	12.22	0.00023	175.81	31.16
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0.00065	138.19	100.00	0.00074	-14.52	114.31	0.00015	254.65	22.37	0.00003	189.22	4.71	0.00005	193.46	7.23	0.00015	217.10	23.22
25	0.00058	138.19	100.00	0.00066	-17.66	113.66	0.00012	251.58	20.47	0.00002	185.64	4.06	0.00004	189.71	6.24	0.00012	213.50	20.52
% lh	0.01552	-	100.00	0.01008	-	64.97	0.00572	-	36.85	0.00304	-	19.61	0.00421	-	27.10	0.00882	-	56.83

ตารางที่ 5.15 ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ ในอุปกรณ์ที่ บัสที่ 3 เมื่อมีคาปาซิเตอร์ขนาด 10 MVar เทียบกับกระแสจากคอนเวอร์เตอร์

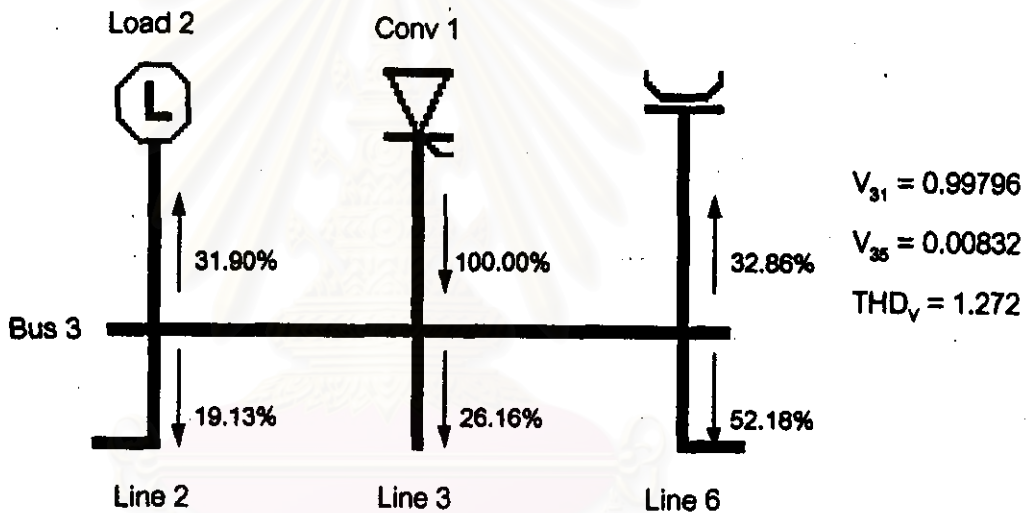


Harm. Order	Conv 1			Cap 1			Load 2			Line 2			Line 3			Line 6		
	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0.01225	137.49	100.00	0.02137	6.79	174.42	0.00415	241.66	33.87	0.00249	202.00	20.30	0.00340	205.68	27.78	0.00679	224.36	55.40
7	0.00770	137.49	100.00	0.01150	-19.72	149.37	0.00149	212.33	19.31	0.00073	175.29	9.49	0.00102	178.80	13.25	0.00237	195.79	28.99
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0.00315	137.49	100.00	0.00390	-34.34	123.70	0.00028	189.92	8.82	0.00011	158.83	3.47	0.00016	161.67	4.95	0.00038	175.36	11.92
13	0.00203	137.49	100.00	0.00239	-36.99	117.97	0.00013	183.59	6.47	0.00005	155.16	2.43	0.00001	157.71	3.49	0.00018	170.06	8.62
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0.00105	137.49	100.00	0.00117	-39.66	111.31	0.00004	174.68	4.11	0.00001	150.73	1.38	0.00002	152.81	2.00	0.00005	163.04	5.12
19	0.00070	137.49	100.00	0.00077	-40.36	109.29	0.00002	171.37	3.37	0.00001	149.29	1.10	0.00001	151.18	1.60	0.00003	160.57	4.13
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0.00063	137.49	100.00	0.00066	-37.71	104.29	0.00003	231.46	4.08	0.00001	166.03	0.86	0.00001	170.27	1.32	0.00003	193.91	4.24
25	0.00056	137.49	100.00	0.00058	-38.22	103.82	0.00002	231.01	3.73	0.00000	165.08	0.73	0.00001	169.15	1.14	0.00002	192.94	3.75
% lh	0.01502	-	100.00	0.02475	-	164.73	0.00442	-	29.41	0.00260	-	17.28	0.00356	-	23.67	0.00715	-	47.64

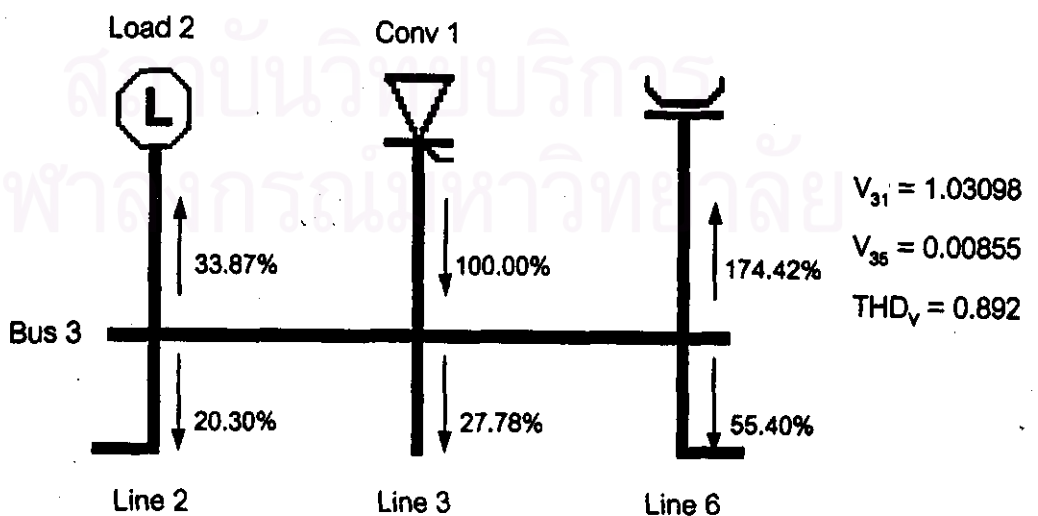
ตารางที่ 5.16 ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ ในอุปกรณ์ที่ บัสที่ 3 เมื่อมีค่าปาดเตอร์ขนาด 50 MVar เทียบกับกระแสจากคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 14 การไหลของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ที่บัสที่ 3 เมื่อไม่มีคาปาซิเตอร์



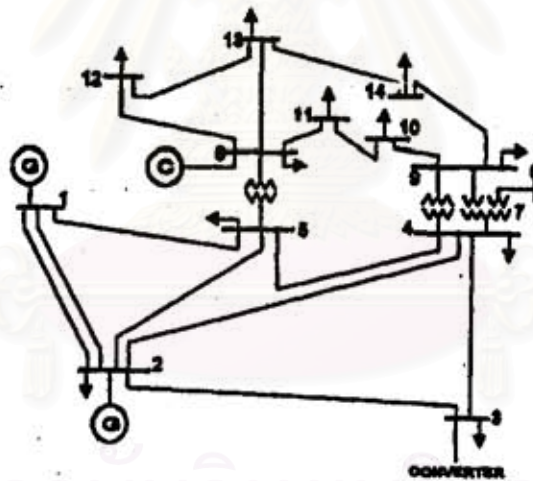
รูปที่ 15 การไหลของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ที่บัสที่ 3 เมื่อมีคาปาซิเตอร์ขนาด 10 MVar



รูปที่ 16 การไหลของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ที่บัสที่ 3 เมื่อมีคาปาซิเตอร์ขนาด 50 MVar

จากตารางที่ 5.14 ถึงตารางที่ 5.16 และรูปที่ 14 ถึงรูปที่ 16 พบว่าการติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่บัสที่ 3 มีผลทำให้แรงดันบัสที่ความถี่หลักมูลมีค่าเพิ่มขึ้น จึงนิยมใช้คาปาซิเตอร์ในการปรับปรุงแรงดันบัสที่มีค่าต่ำให้มีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อพิจารณาผลของการติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่ความถี่ฮาร์มอนิกจะพบว่าเมื่อขนาดของคาปาซิเตอร์เป็น 10 MVar มีกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ไหลเข้าคาปาซิเตอร์ 32.86 % เมื่อเทียบกับคอนเวอร์เตอร์ อาจจะยังไม่ีผลมากนัก แต่เมื่อขนาดของคาปาซิเตอร์เพิ่มขึ้นเป็น 50 MVar จะมีกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ไหลเข้าคาปาซิเตอร์ถึง 174.42% เมื่อเทียบกับคอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากเกิดเรโซแนนซ์ขึ้นระหว่างคาปาซิเตอร์กับระบบไฟฟ้า ปริมาณกระแสขนาดนี้อาจมีผลทำให้คาปาซิเตอร์เกิดการเสียหายขึ้นได้ ดังนั้นในการติดตั้งคาปาซิเตอร์ในระบบไฟฟ้าที่มีฮาร์มอนิกปนอยู่ จึงต้องพิจารณาเรื่องฮาร์มอนิกด้วย เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดการระเบิดของคาปาซิเตอร์ได้

## 5.2 ระบบ IEEE 14 บัส



รูปที่ 5.17 ระบบ IEEE 14 บัส

### 5.2.1 ข้อมูลของระบบ

ข้อมูลเบื้องต้นของระบบ IEEE 14 บัส เป็นดังตารางที่ 5.17

No.	Name	Volt	Phase	PI	QI	Pg	Qg	Vdes	Qmax	Qmin
1	Bus 1	1.060	0.00	0.0	0.0	232.4	-16.9	1.060	0.0	0.0
2	Bus 2	1.045	-4.98	21.7	12.7	40.0	42.4	1.045	50.0	-40.0
3	Bus 3	1.010	-12.72	94.2	19.0	0.0	23.4	1.010	40.0	0.0
4	Bus 4	1.019	-10.33	47.8	-3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 5.17 (ก) ข้อมูลของบัสในระบบ IEEE 14 บัส

No.	Name	Volt	Phase	PI	QI	Pg	Qg	Vdes	Qmax	Qmin
5	Bus 5	1.020	-8.78	7.6	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	Bus 6	1.070	-14.22	11.2	7.5	0.0	12.2	1.070	24.0	-6.0
7	Bus 7	1.062	-13.37	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	Bus 8	1.090	-13.36	0.0	0.0	0.0	17.4	1.090	24.0	-6.0
9	Bus 9	1.056	-14.94	29.5	16.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Bus10	1.051	-15.10	9.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	Bus11	1.057	-14.79	3.5	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	Bus12	1.055	-15.07	6.1	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	Bus13	1.050	-15.16	13.5	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	Bus14	1.036	-16.04	14.9	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 5.17 (ก) (ต่อ) ข้อมูลของบัสในระบบ IEEE 14 บัส

No.	From Bus	To Bus	R (pu)	X (pu)	B (pu)	No.	From Bus	To Bus	R (pu)	X (pu)	B (pu)
1	1	2	0.01938	0.05917	0.0528	11	6	11	0.09498	0.19890	0.0
2	1	5	0.05403	0.22304	0.0492	12	6	12	0.12291	0.25581	0.0
3	2	3	0.04699	0.19797	0.0438	13	6	13	0.06615	0.13027	0.0
4	2	4	0.05811	0.17632	0.0374	14	7	8	0.0	0.17615	0.0
5	2	5	0.05695	0.17388	0.0340	15	7	9	0.0	0.11001	0.0
6	3	4	0.06701	0.17103	0.0346	16	9	10	0.03181	0.08450	0.0
7	4	5	0.01335	0.04211	0.0128	17	9	14	0.12711	0.27038	0.0
8	4	7	0.0	0.20912	0.0	18	10	11	0.08205	0.19207	0.0
9	4	9	0.0	0.55618	0.0	19	12	13	0.22092	0.19988	0.0
10	5	6	0.0	0.25202	0.0	20	13	14	0.17093	0.34802	0.0

ตารางที่ 5.17 (ข) ข้อมูลของสายส่งในระบบ IEEE 14 บัส

ในตารางที่ 5.18 จะเป็นข้อมูลของการคำนวณโหลดโพล์ที่ได้จากโปรแกรม ซึ่งผลที่ได้มีความแตกต่างจากระบบของ IEEE เนื่องจากขั้นตอนและขอบเขตของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น กล่าวคือ การคำนวณโหลดโพล์ในวิทยานิพนธ์นี้จะกำหนดให้ทุกบัสเป็นโหลดบัส ยกเว้นเพียงบัสที่ 1 ที่เป็นบัสอ้างอิง จึงไม่มีการคิดแบบบัสควบคุมแรงดัน ผลการคำนวณที่ได้จึงต่างจากแหล่งข้อมูลที่อ้างอิง

หมายเลขบัส	จากโปรแกรม	
	Volt	Phase
1	1.0600	0.00
2	1.0276	-4.63
3	1.0127	-7.97
4	0.9862	-10.40
5	0.9951	-9.22
6	0.9992	-18.12
7	0.9832	-21.75
8	0.9763	-31.70
9	0.9721	-22.76
10	0.9725	-22.49
11	0.9835	-21.09
12	1.0001	-18.90
13	0.9957	-19.68
14	0.9309	-23.45

ตารางที่ 5.18 แรงดันบัสที่ความถี่หลักมูลจากการคำนวณ

### 5.2.2 กรณีที่มีแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิก

สมมติว่ามีแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิก ขนาด 10 MW. 7.5 MVar โดยมีลักษณะการกำเนิดกระแสฮาร์มอนิกดังตารางที่ 5.19 ติดตั้งไว้ที่บัสที่ 3 จากนั้นเมื่อทำการคำนวณหาการไหลของกระแสฮาร์มอนิกในระบบตัวอย่าง จะได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 5.20 ซึ่งเป็นข้อมูลที่บัสที่ 3 ส่วนรายละเอียดของผลการคำนวณสามารถดูได้จากภาคผนวก ข. ท้ายวิทยานิพนธ์นี้

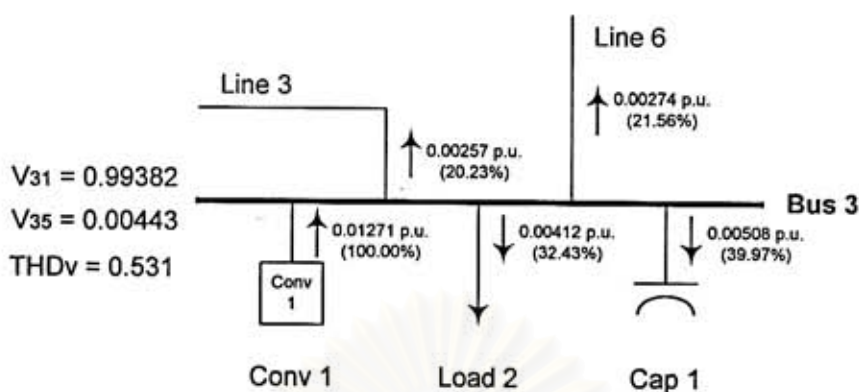
6 - Pulse Converter 10 MW. 7.5 MVar.	Harmonic Current , % of Fundamental								
	5	7	11	13	17	19	23	25	THD
	17.50	11.00	4.50	2.90	1.50	1.00	0.90	0.80	21.46

ตารางที่ 5.19 ข้อมูลของคอนเวอร์เตอร์ที่บัส 3

Harm. Order	Conv 1			Cap 1			Load 2			Line 3			Line 6		
	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0.01271	134.45	100.00	0.00508	-67.62	39.97	0.00412	-4.35	32.43	0.00257	-58.61	20.23	0.00274	-53.01	21.56
7	0.00799	134.45	100.00	0.00426	-63.30	53.28	0.00233	-5.14	29.18	0.00113	-54.59	14.14	0.00125	-50.12	15.60
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0.00327	134.45	100.00	0.00229	-56.62	69.96	0.00070	-8.13	21.30	0.00025	-48.16	7.70	0.00029	-45.10	8.81
13	0.00211	134.45	100.00	0.00159	-53.94	75.28	0.00038	-10.02	18.04	0.00013	-46.00	5.94	0.00014	-43.41	6.88
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0.00109	134.45	100.00	0.00090	-50.77	82.65	0.00014	-13.88	13.09	0.00004	-43.12	3.77	0.00005	-41.24	4.45
19	0.00073	134.45	100.00	0.00062	-49.73	85.25	0.00008	-15.71	11.26	0.00002	-42.14	3.08	0.00003	-40.54	3.66
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0.00065	134.45	100.00	0.00061	-56.64	93.53	0.00011	32.86	16.62	0.00002	-33.46	2.79	0.00002	-32.97	3.58
25	0.00058	134.45	100.00	0.00055	-55.77	94.42	0.00009	33.77	15.51	0.00001	-32.24	2.46	0.00002	-32.47	3.17
% lh	0.01559	-	100.00	0.00732	-	46.94	0.00481	-	30.83	0.00282	-	18.11	0.00303	-	19.43

ตารางที่ 5.20 ปริมาณกระแสฮาร์โมนิกลำดับต่าง ๆ ในอุปกรณ์ที่ บัสที่ 3 เทียบกับกระแสจากคอนเวอร์เตอร์

สถาบันวิจัยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.18 การไหลของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ที่ บัสที่ 3

### 5.2.3 กรณีที่มีตัวกรองฮาร์มอนิก

เมื่อเพิ่มตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกเข้าไปที่บัสที่ 3 โดยกำหนดข้อมูลต่าง ๆ ของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกดังนี้ คือ

1. ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่กักของคาปาซิเตอร์ 10 MVar
2. ตั้งค่าความถี่ที่ต้องการกรองไว้ที่ 4.8
3. กำหนดให้ค่า Q Factor เท่ากับ 50

ผลการคำนวณที่ได้ ปรากฏว่าค่าแรงดันที่ได้จากการคำนวณโหลดไฟลด์ มีค่าเพิ่มขึ้นไปจากกรณีที่ยังไม่ติดตั้งตัวกรองฮาร์มอนิก ดังการเปรียบเทียบในตารางที่ 5.21

หมายเลข บัส	เมื่อมีคอนเวอร์เตอร์		เมื่อเพิ่มตัวกรองฮาร์มอนิก	
	Volt	Phase	Volt	Phase
1	1.0600	0.00	1.0600	0.00
2	1.0208	-4.82	1.0299	-6.05
3	0.9938	-8.68	1.0338	-12.85
4	0.9755	-10.81	0.9949	-12.57
5	0.9861	-9.55	1.0007	-10.97
6	0.9891	-18.66	1.0061	-19.87
7	0.9717	-22.40	0.9916	-23.66
8	0.9644	-32.60	0.9851	-33.44
9	0.9607	-23.42	0.9801	-24.62
10	0.9612	-23.15	0.9802	-24.33
11	0.9728	-21.70	0.9908	-22.88
12	0.9899	-19.46	1.0071	-20.65
13	0.9853	-20.26	1.0027	-21.44
14	0.9193	-24.13	0.9389	-25.24

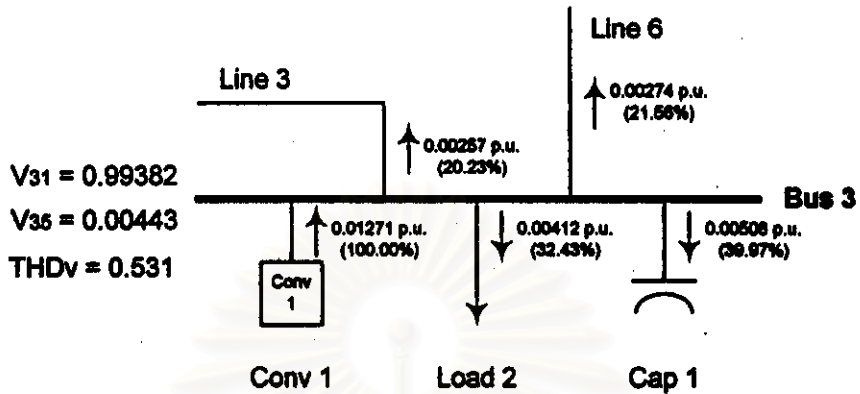
ตารางที่ 5.21 เปรียบเทียบแรงดันเมื่อเพิ่มตัวกรองฮาร์มอนิก

Harm. Order	Conv 1			Fil 1			Cap 1			Load 2			Line 3			Line 6		
	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0.01222	130.28	100.00	0.01139	-44.68	93.27	0.00053	239.08	4.33	0.00043	-57.65	3.51	0.00027	248.09	2.19	0.00029	253.69	2.34
7	0.00768	130.28	100.00	0.00732	-43.23	95.41	0.00049	228.25	6.38	0.00027	-73.59	3.50	0.00013	236.96	1.69	0.00014	241.43	1.87
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0.00314	130.28	100.00	0.00302	-41.58	96.14	0.00032	229.04	10.11	0.00010	-82.77	3.08	0.00003	237.20	1.11	0.00004	240.26	1.27
13	0.00202	130.28	100.00	0.00195	-40.69	96.31	0.00024	229.80	11.97	0.00006	-86.28	2.86	0.00002	237.74	0.94	0.00002	240.33	1.09
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0.00105	130.28	100.00	0.00101	-38.85	96.37	0.00016	231.50	15.66	0.00003	268.39	2.48	0.00001	239.15	0.72	0.00001	241.03	0.84
19	0.00070	130.28	100.00	0.00067	-37.93	96.28	0.00012	232.38	17.49	0.00002	266.41	2.61	0.00000	239.97	0.63	0.00001	241.57	0.74
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0.00063	130.28	100.00	0.00059	-37.30	93.35	0.00013	232.95	20.52	0.00002	-37.55	3.66	0.00000	256.13	0.62	0.00000	256.62	0.78
25	0.00056	130.28	100.00	0.00052	-36.34	93.02	0.00012	233.89	22.22	0.00002	-36.57	3.65	0.00000	257.42	0.57	0.00000	257.19	0.75
% lh	0.01498	-	100.00	0.01409	-	94.04	0.00868	-	5.79	0.00052	-	3.47	0.00030	-	2.00	0.00032	-	2.16

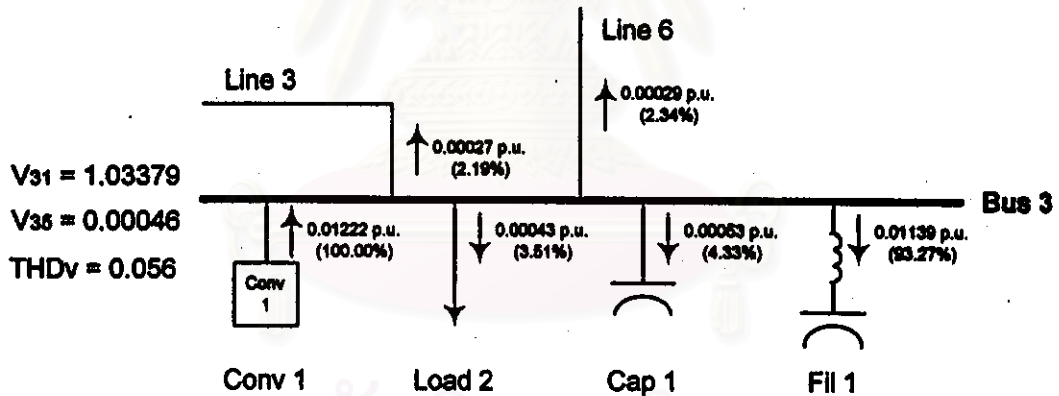
ตารางที่ 5.22 ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ ในอุปกรณ์ที่ บัสที่ 3 เมื่อเพิ่มตัวกรองฮาร์มอนิกเทียบกับกระแสจากคอนเวอร์เตอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 5.18 การไหลของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ที่ บัสที่ 3



รูปที่ 5.19 การไหลของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ที่บัสที่ 3 เมื่อเพิ่มตัวกรองฮาร์มอนิก

จากรูปที่ 5.18 และรูปที่ 5.19 พบว่า เมื่อเพิ่มตัวกรองฮาร์มอนิกขนาด 10 MVar เข้าไปที่บัสที่ 3 จะทำให้แรงดันบัสที่ความถี่หลักมูลมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม 0.99382 p.u. เป็น 1.03379 p.u. และทำให้ค่า THD<sub>v3</sub> ลดลงจากเดิม 0.531 เหลือเพียง 0.056 เท่านั้น ซึ่งกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 และลำดับอื่น ๆ เกือบทั้งหมดจะไหลเข้าตัวกรองฮาร์มอนิก เหลือเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่กระจายไปยังส่วนอื่น ๆ ของระบบ

## 5.3 ระบบ IEEE 30 บัส

### 5.3.1 ข้อมูลของระบบ

เนื่องจากข้อจำกัดของการคำนวณโหลดเฟลวที่ไม่สามารถคำนวณหาค่าแรงดันบัสได้ในกรณีที่มีบัสเป็นบัสควบคุมแรงดัน แต่ในที่นี้ต้องการที่จะทดสอบการคำนวณฮาร์มอนิกเฟลวสำหรับระบบที่ใหญ่ขึ้นไป ดังนั้นกรณีนี้จะนำเอาผลการคำนวณโหลดเฟลวที่เรียบร้อยแล้วมาเป็นข้อมูลป้อนเข้าเพื่อที่จะคำนวณในขั้นตอนของฮาร์มอนิกต่อไป ซึ่งข้อมูลที่วิเคราะห์โหลดเฟลวแล้วของระบบ IEEE 30 บัสเป็นดังตารางที่ 5.23

หมายเลขบัส	Volt	Phase	หมายเลขบัส	Volt	Phase
1	1.0600	0.00	16	1.0448	-15.88
2	1.0428	-5.50	17	1.0395	-16.19
3	1.0205	-7.99	18	1.0281	-16.88
4	1.0116	-9.65	19	1.0255	-17.05
5	1.0100	-14.40	20	1.0296	-16.85
6	1.0101	-11.38	21	1.0325	-16.47
7	1.0023	-13.15	22	1.0331	-16.46
8	1.0100	-12.13	23	1.0271	-16.66
9	1.0508	-14.43	24	1.0214	-16.82
10	1.0449	-16.03	25	1.0172	-16.39
11	1.0820	-14.43	26	0.9995	-16.81
12	1.0571	-15.29	27	1.0231	-15.86
13	1.0710	-15.29	28	1.0067	-12.00
14	1.0423	-16.18	29	1.0033	-17.09
15	1.0376	-16.27	30	0.9918	-17.98

ตารางที่ 5.23 แรงดันที่บัสของระบบ IEEE 30 บัส

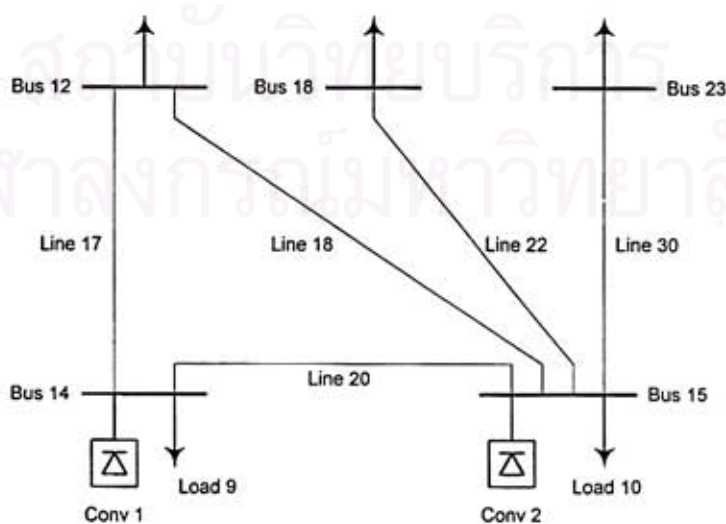
### 5.3.2 การวิเคราะห์การไหลของกระแสฮาร์โมนิกเมื่อมีแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกมากกว่า 1 แหล่ง

เมื่อขนาดของระบบมีขนาดใหญ่มากขึ้น แนวโน้มของแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกย่อมมีมากขึ้นด้วย ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่าแหล่งกำเนิดดังกล่าวเป็นชนิดเดียวกันหรืออาจจะต่างชนิดกันก็ได้ ดังนั้นในที่นี้จึงสมมติว่ามีแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิก 2 แหล่ง โดยสมมติข้อมูลของคอนเวอร์เตอร์ทั้งสองเป็นดังนี้ ( ค่า  $I_n$  ในตารางที่ 5.24 เป็นค่าสมมติให้สูงกว่าข้อมูลจริง ทั้งนี้เพื่อการทดสอบการทำงานของระบบจำลองเท่านั้น )

ลำดับ	ขนาด (MW/MVar.)	ตำแหน่ง บัสที่	ปริมาณกระแสฮาร์โมนิกเทียบกับกระแสที่ความถี่หลักมูล								THD
			5	7	11	13	17	19	23	25	
1	10 / 7.5	14	47.4	27.0	4.1	4.6	2.9	1.5	0.0	0.0	54.99
2	10 / 7.5	15	49.5	14.5	14.1	9.7	5.8	6.6	2.8	2.0	56.15

ตารางที่ 5.24 ข้อมูลของคอนเวอร์เตอร์ในระบบ IEEE 30 บัส

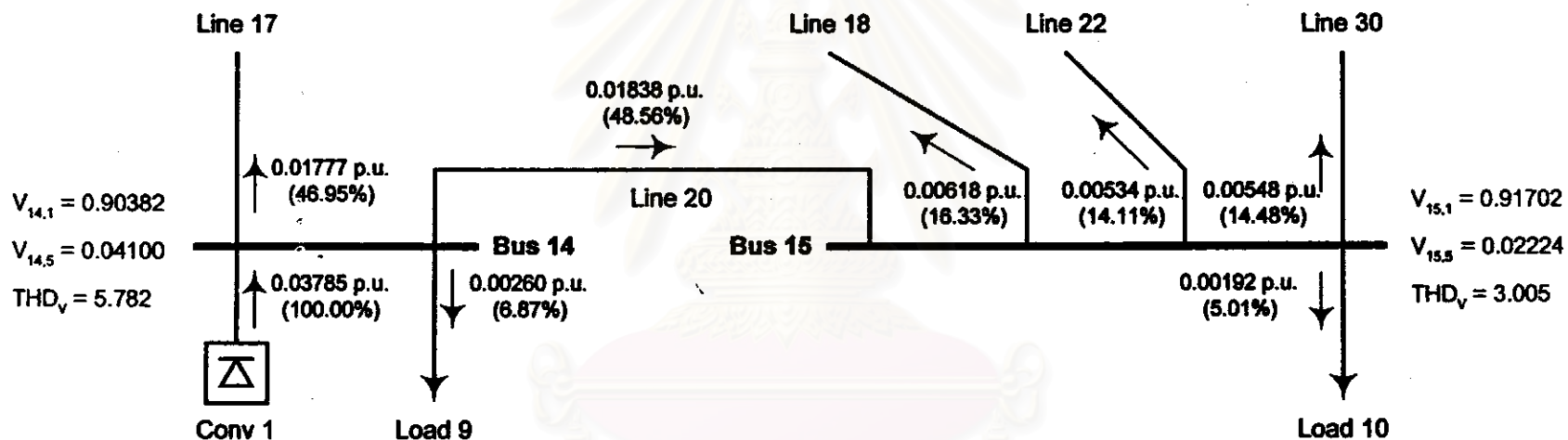
คอนเวอร์เตอร์ทั้งสองกำหนดให้เป็นแบบ 6 พัลส์และกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกออกมาจนถึงฮาร์โมนิกลำดับที่ 25 โดยติดตั้งที่บัสที่ 14 และบัสที่ 15 ซึ่งบัสทั้งสองต่อถึงกันด้วยสายส่งเส้นที่ 20 ทั้งนี้เพื่อดูการไหลของกระแสฮาร์โมนิกจากบัสทั้งสองว่ามีการไหลแบบหักล้างหรือเสริมกันในสายส่งเส้นที่ 20 นี้ จึงแยกเป็นหัวข้อย่อยต่อไป



รูปที่ 5.20 ตำแหน่งที่ติดตั้งของคอนเวอร์เตอร์ทั้งสองตัว

### 5.3.2.1 กรณีที่มีแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกตัวที่ 1 ที่บัสที่ 14

ผลการคำนวณการไหลของกระแสฮาร์โมนิก เป็นตามตารางที่ 5.25



รูปที่ 5.21 การไหลของกระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 5 เมื่อมีคอนเวอร์เตอร์ 1 ที่บัสที่ 14

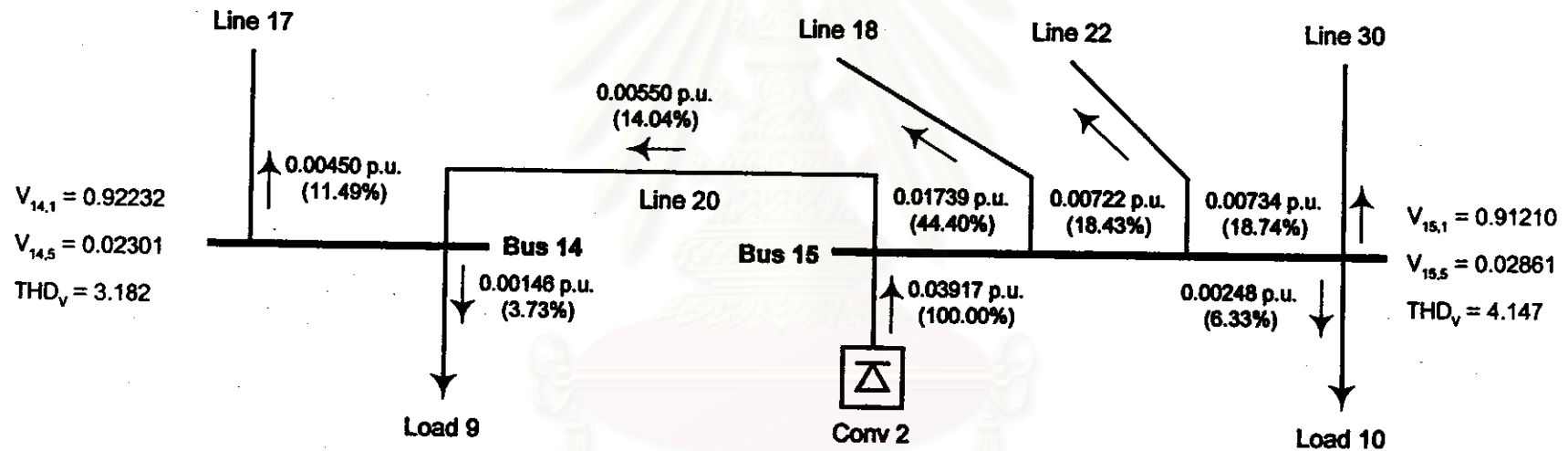
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Harmonic Order	Conv 1			Load 9			Line 17			Line 20		
	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0.03785	124.02	100.00	0.00260	-10.56	6.87	0.01777	-62.85	46.95	0.01838	-55.14	48.56
7	0.02156	124.02	100.00	0.00178	-13.22	8.26	0.00998	-62.60	46.29	0.01034	-56.30	47.96
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0.00327	124.02	100.00	0.00033	-20.17	10.09	0.00148	-62.08	45.26	0.00153	-57.34	46.79
13	0.00367	124.02	100.00	0.00039	-23.35	10.63	0.00164	-61.78	44.69	0.00170	-57.55	46.32
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0.00232	124.02	100.00	0.00027	-28.65	11.64	0.00102	-61.15	43.97	0.00106	-57.68	45.69
19	0.00120	124.02	100.00	0.00014	-30.81	11.67	0.00053	-60.85	44.17	0.00055	-57.68	45.83
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
%lh	0.04391	-	100.00	0.00321	-	7.31	0.02053	-	46.75	0.02125	-	48.39

ตารางที่ 5.25 ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ ในอุปกรณ์ที่ บัสที่ 14 เทียบกับกระแสของคอนเวอร์เตอร์ตัวที่ 1

### 5.3.2.2 กรณีที่มีแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกตัวที่ 2 ที่บัสที่ 15

ผลการคำนวณการไหลของกระแสฮาร์โมนิก เป็นตามตารางที่ 5.26



รูปที่ 5.22 การไหลของกระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 5 เมื่อมีคอนเวอร์เตอร์ 2 ที่ บัสที่ 15

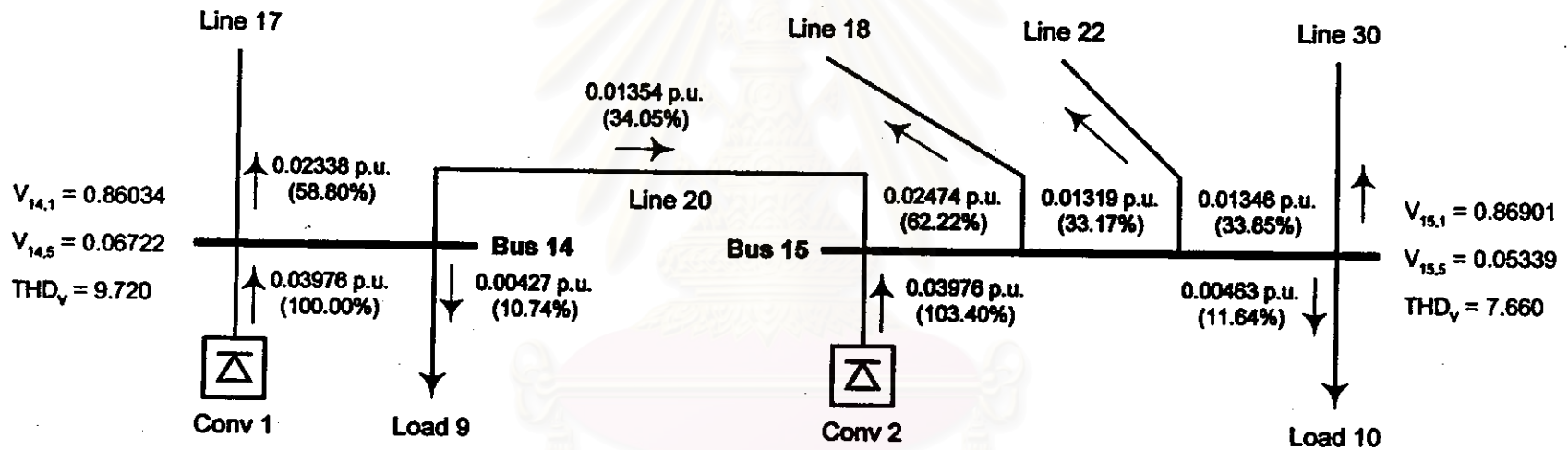
สถาบันวิจัยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Harmonic Order	Conv 2			Load 9			Line 17			Line 20		
	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0.03917	124.21	100.00	0.00146	-12.44	3.73	0.00450	-65.54	11.49	0.00550	126.73	14.04
7	0.01147	124.21	100.00	0.00048	-16.27	4.18	0.00130	-67.11	11.33	0.00165	126.03	14.39
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0.01116	124.21	100.00	0.00053	-23.98	4.75	0.00122	-67.63	10.93	0.00164	125.28	14.70
13	0.00768	124.21	100.00	0.00038	-27.17	4.95	0.00082	-67.32	10.68	0.00114	125.07	14.84
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0.00459	124.21	100.00	0.00024	-32.25	5.23	0.00048	-66.35	10.46	0.00068	124.80	14.81
19	0.00522	124.21	100.00	0.00027	-34.25	5.17	0.00053	-65.81	10.15	0.00080	124.71	15.33
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0.00222	124.21	100.00	0.00022	-9.15	9.91	0.00023	263.62	10.36	0.00033	125.73	14.86
25	0.00158	124.21	100.00	0.00017	-10.78	10.76	0.00016	261.59	10.13	0.00024	125.86	15.19
%lh	0.04364	-	100.00	0.00173	-	3.96	0.00497	-	11.39	0.00618	-	14.16

ตารางที่ 5.26 ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ ในอุปกรณ์ที่ บัสที่ 14 เทียบกับกระแสของคอนเวอร์เตอร์ตัวที่ 2

5.3.2.3 กรณีที่มีแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิกตัวที่ 1 ที่บัสที่ 14 และตัวที่ 2 ที่บัสที่ 15

ผลการคำนวณการไหลของกระแสฮาร์มอนิก เป็นตามตารางที่ 5.27



รูปที่ 5.23 การไหลของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 เมื่อมีคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ตัว

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

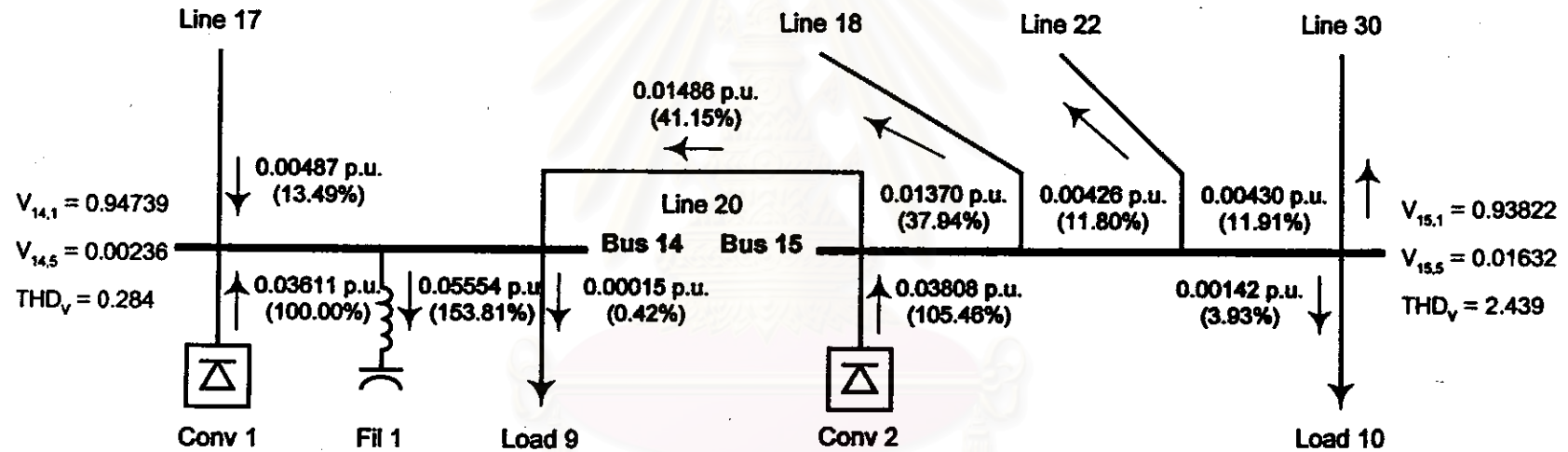


Harmonic Order	Conv 1			Load 9			Line 17			Line 20		
	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0.03976	121.96	100.00	0.00427	-13.29	10.74	0.02338	-65.45	58.80	0.01354	-58.00	34.05
7	0.02265	121.96	100.00	0.00238	-15.93	10.51	0.01185	-65.18	52.32	0.00913	-58.80	40.31
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0.00344	121.96	100.00	0.00091	-24.57	26.45	0.00283	-66.64	82.27	0.00014	156.30	4.07
13	0.00386	121.96	100.00	0.00081	-27.28	20.98	0.00259	-65.68	67.10	0.00060	-64.82	15.54
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0.00243	121.96	100.00	0.00053	-32.39	21.81	0.00157	-64.86	64.61	0.00040	-64.25	16.46
19	0.00126	121.96	100.00	0.00044	-35.12	34.92	0.00111	-65.41	88.10	0.00025	128.22	19.84
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	0.00023	-11.20	-	0.00025	261.57	-	0.00035	123.68	-
25	-	-	-	0.00017	-12.83	-	0.00017	259.54	-	0.00025	123.81	-
%lh	0.04613	-	100.00	0.00509	-	11.03	0.02657	-	57.60	0.01636	-	35.46

ตารางที่ 5.27 ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ ในอุปกรณ์ที่ บัสที่ 14 เมื่อมีคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ตัว

5.3.2.4 กรณีที่มีแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิกทั้ง 2 ตัว และมีตัวกรองที่บัสที่ 14

สมมติว่า มีตัวกรองฮาร์มอนิกที่มีขนาดกำลังรีแอกตีฟที่กักของคาปาซิเตอร์เท่ากับ 10 MVar ตั้งค่าความถี่ที่ต้องการกรองไว้ที่ 4.85 กำหนดให้ค่า Q Factor เท่ากับ 50 ผลการคำนวณการไหลของกระแสฮาร์มอนิก เป็นตามตารางที่ 5.28



รูปที่ 5.24 การไหลของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 เมื่อมีคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ตัว และมีตัวกรองที่ บัสที่ 14

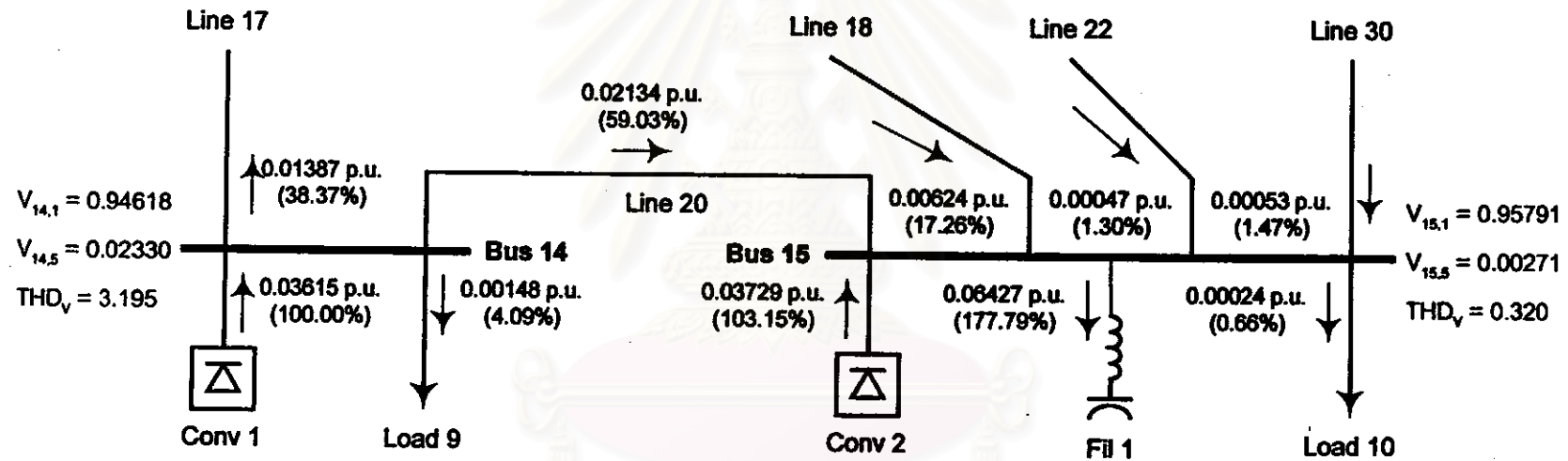
สถาบันวิจัยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Harm. Order	Conv 1			Fil 1			Load 9			Line 17			Line 20		
	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0.03611	109.60	100.00	0.05554	-67.29	153.81	0.00015	-79.62	0.42	0.00487	117.17	13.49	0.01486	118.68	41.15
7	0.02057	109.60	100.00	0.02604	-68.13	126.59	0.00007	258.82	0.34	0.00134	123.06	6.51	0.00426	118.84	20.71
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0.00312	109.60	100.00	0.00819	-68.19	262.50	0.00002	248.88	0.64	0.00112	111.13	35.90	0.00397	113.56	127.24
13	0.00350	109.60	100.00	0.00690	-68.54	197.14	0.00001	244.40	0.29	0.00073	111.99	20.86	0.00268	113.51	76.57
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0.00221	109.60	100.00	0.00417	-68.69	188.69	0.00001	237.42	0.45	0.00041	112.08	18.55	0.00156	113.29	70.59
19	0.00114	109.60	100.00	0.00335	-68.35	293.86	0.00001	234.97	0.88	0.00045	111.03	39.47	0.00176	112.98	154.39
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	0.00094	-81.96	-	0.00000	-82.35	-	0.00019	89.60	-	0.00075	100.21	-
25	-	-	-	0.00066	-82.83	-	0.00000	-83.19	-	0.00013	88.32	-	0.00053	99.42	-
%lh	0.04189	-	100.00	0.06251	-	149.22	0.00017	-	0.41	0.00527	-	12.58	0.01638	-	39.10

ตารางที่ 5.28 ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ ในอุปกรณ์ที่ บัสที่ 14 เมื่อมีคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ตัว และมีตัวกรองฮาร์มอนิกที่ บัสที่ 14

5.3.2.5 กรณีที่มีแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกทั้ง 2 ตัว และมีตัวกรองที่บัสที่ 15

ผลการคำนวณการไหลของกระแสฮาร์โมนิก เป็นตามตารางที่ 5.29



รูปที่ 5.25 การไหลของกระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 5 เมื่อมีคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ตัว และมีตัวกรองที่ บัสที่ 15

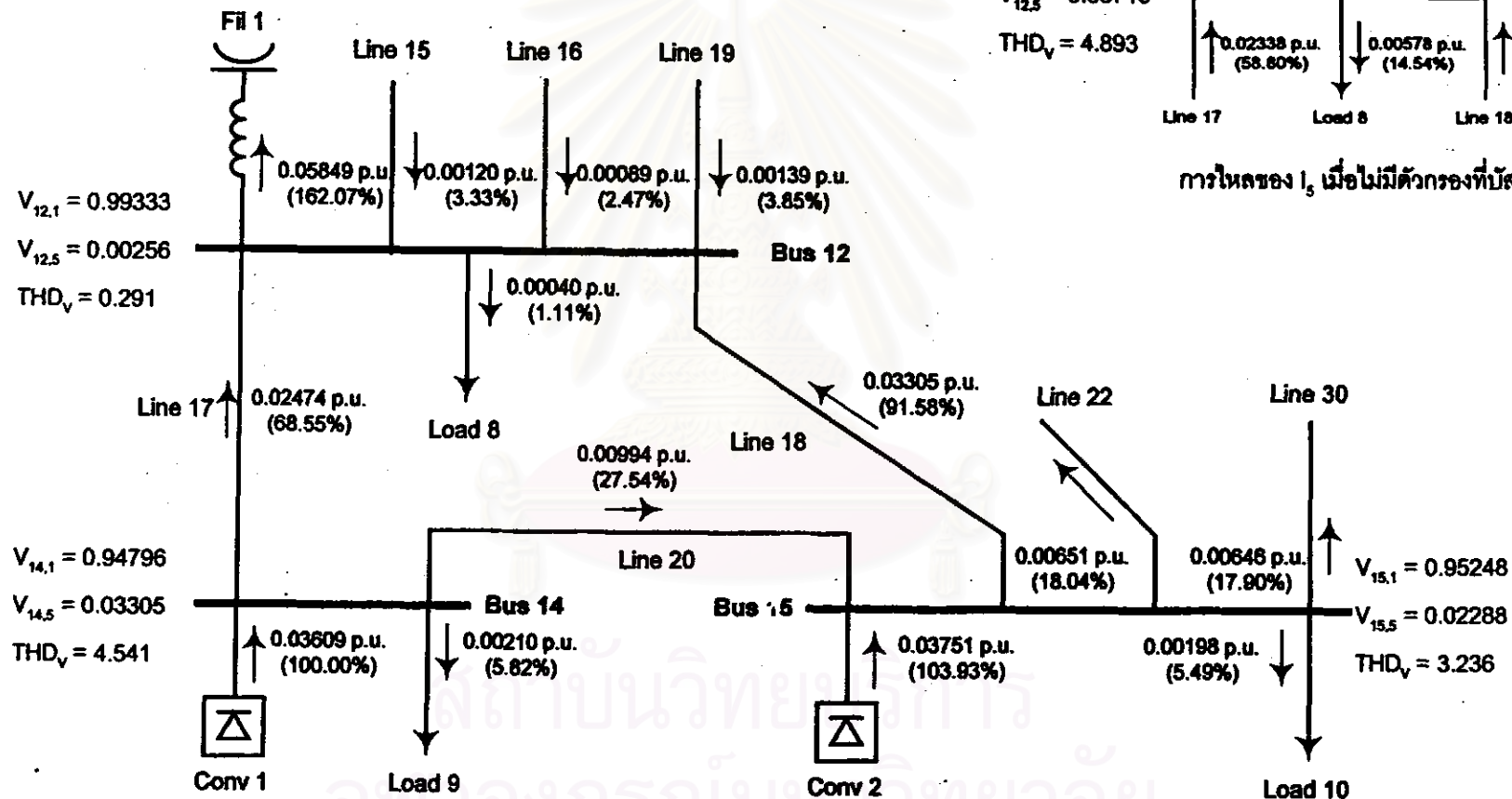
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Harmonic Order	Conv 1			Load 9			Line 17			Line 20		
	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0.03615	115.60	100.00	0.00148	-21.11	4.09	0.01387	-71.79	38.37	0.02134	-62.34	59.03
7	0.02059	115.60	100.00	0.00104	-21.22	5.05	0.00776	-70.53	37.69	0.01212	-63.85	58.86
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0.00313	115.60	100.00	0.00021	-31.05	6.71	0.00117	-71.15	37.38	0.00179	-63.70	57.19
13	0.00351	115.60	100.00	0.00025	-31.88	7.12	0.00131	-69.90	37.32	0.00200	-64.74	56.98
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0.00221	115.60	100.00	0.00018	-36.65	8.14	0.00082	-69.08	37.10	0.00124	-65.15	56.11
19	0.00114	115.60	100.00	0.00010	-40.69	8.77	0.00042	-69.64	36.84	0.00064	-64.40	56.14
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	0.00000	-77.22	-	0.00000	195.56	-	0.00001	57.66	-
25	-	-	-	0.00000	-78.21	-	0.00000	194.17	-	0.00000	58.44	-
%lh	0.04195	-	100.00	0.00185	-	4.41	0.01602	-	38.19	0.02472	-	58.93

ตารางที่ 5.29 ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ ในอุปกรณ์ที่ บัสที่ 14 เมื่อมีคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ตัว และมีตัวกรองฮาร์มอนิกที่ บัสที่ 15

5.3.2.6 กรณีที่มีแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิกทั้ง 2 ตัว และมีตัวกรองที่บัสที่ 12

ผลการคำนวณการไหลของกระแสฮาร์มอนิก เป็นตามตารางที่ 5.30



Line 15	Line 16	Line 19
$V_{12,1} = 0.90450$	$V_{12,5} = 0.03719$	$THD_V = 4.893$
↑ 0.02162 p.u. (54.38%)	↑ 0.01298 p.u. (32.65%)	↑ 0.00891 p.u. (22.41%)
Bus 12		
↑ 0.02338 p.u. (58.80%)	↓ 0.00578 p.u. (14.54%)	↑ 0.02474 p.u. (62.22%)
Line 17	Load 8	Line 18

การไหลของ  $I_5$  เมื่อไม่มีตัวกรองที่บัสที่ 12

รูปที่ 5.26 การไหลของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 เมื่อมีคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ตัว และมีตัวกรองที่ บัสที่ 12

Harmonic Order	Conv 1			Load 9			Line 17			Line 20		
	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%	Mag.	Phase	%
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0.03609	116.85	100.00	0.00210	-16.72	5.82	0.02474	-66.76	68.55	0.00994	-62.93	27.54
7	0.02056	116.85	100.00	0.00133	-18.75	6.47	0.01225	-67.26	59.58	0.00739	-63.53	35.94
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0.00312	116.85	100.00	0.00467	-26.57	149.68	0.00316	-67.50	101.28	0.00041	122.22	13.14
13	0.00350	116.85	100.00	0.00045	-29.43	12.86	0.00281	-67.51	80.29	0.00032	-70.44	9.14
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0.00221	116.85	100.00	0.00031	-34.84	14.03	0.00170	-67.28	76.92	0.00024	-69.11	10.86
19	0.00114	116.85	100.00	0.00024	-37.55	21.05	0.00126	-67.25	110.53	0.00033	119.16	28.95
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	0.00012	-0.49	-	0.00032	-86.61	-	0.00035	113.05	-
25	-	-	-	0.00009	-1.85	-	0.00023	-88.28	-	0.00025	112.94	-
%lh	0.04187	-	100.00	0.00260	-	6.21	0.02802	-	66.92	0.01241	-	29.64

ตารางที่ 5.30 ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ ในอุปกรณ์ที่ บัสที่ 14 เมื่อมีคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ตัว และมีตัวกรองฮาร์มอนิกที่ บัสที่ 12

กรณี	Line 17	ทิศทาง	Line 20	ทิศทาง
Conv 1 Only	0.01777∠-62.85	ไหลออกจากบัส	0.01838∠-55.14	ไหลออกจากบัส
Conv 2 Only	0.00450∠-65.54	ไหลออกจากบัส	0.00550∠126.73	ไหลเข้าบัส
Conv 1+ Conv 2	0.02338∠-65.45	ไหลออกจากบัส	0.01354∠-58.00	ไหลออกจากบัส
Filter at Bus 14	0.00487∠98.38	ไหลเข้าบัส	0.01486∠118.68	ไหลเข้าบัส
Filter at Bus 15	0.01387∠-71.79	ไหลออกจากบัส	0.02134∠-62.34	ไหลออกจากบัส
Filter at Bus 12	0.02474∠-66.76	ไหลออกจากบัส	0.00994∠-62.93	ไหลออกจากบัส

ตารางที่ 5.31 การไหลของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ในกรณีต่าง ๆ

กรณี	$V_{14,1}$	$V_{14,5}$	$THD_{V14}$	$V_{15,1}$	$V_{15,5}$	$THD_{V15}$
Conv 1 Only	0.90382	0.04100	5.782	0.91702	0.02224	3.005
Conv 2 Only	0.92232	0.02301	3.182	0.91210	0.02861	4.147
Conv 1+ Conv 2	0.86034	0.06722	9.720	0.86901	0.05339	7.660
Filter at Bus 14	0.94739	0.00236	0.284	0.93822	0.01632	2.439
Filter at Bus 15	0.94618	0.02330	3.195	0.95791	0.00271	0.320
Filter at Bus 12	0.94796	0.03305	4.541	0.95248	0.02288	3.236

ตารางที่ 5.32 เปรียบเทียบค่าแรงดันบัสและค่า  $THD_v$  ในกรณีต่าง ๆ

จากผลการคำนวณตั้งแต่หัวข้อที่ 5.3.2.1 ถึงหัวข้อที่ 5.3.2.6 ตารางที่ 5.28 และตารางที่ 5.29 วิเคราะห์ได้ว่า เมื่อมีคอนเวอร์เตอร์อยู่ที่บัสที่ 14 กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 จะไหลออกจากบัสที่ 14 กระจายไปยังส่วนอื่น ๆ ของระบบและไหลไปยังบัสที่ 15 โดยผ่านสายส่งที่ 20 เมื่อคอนเวอร์เตอร์ติดตั้งที่บัสที่ 15 ก็จะมีกระแสฮาร์มอนิกไหลจากบัสที่ 15 มายังบัสที่ 14 โดยผ่านทางสายส่งที่ 20 เช่นกัน แต่เมื่อมีคอนเวอร์เตอร์อยู่ในระบบทั้งสองตัวคือที่บัสที่ 14 และบัสที่ 15 กระแสฮาร์มอนิก จากคอนเวอร์เตอร์ก็กระจายเข้าสู่ระบบ ส่วนในสายส่งที่ 20 ปรากฏว่ากระแสฮาร์มอนิกส่วนหนึ่งจะไหลจากบัสที่ 14 ไปยังบัสที่ 15 ซึ่งตามจริงแล้วก็คือมีกระแสฮาร์มอนิกจากคอนเวอร์เตอร์ทั้งสองไหลอยู่ภายในสายส่งที่ 20 แต่ปรากฏให้เห็นเป็นผลรวมของกระแสฮาร์มอนิกนั่นเอง

เมื่อมีการติดตั้งตัวกรองฮาร์มอนิกเพิ่มเข้าไปที่บัสที่ 14 โดยยังมีคอนเวอร์เตอร์ทั้งสองอยู่ ผลปรากฏว่า กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 จะไหลเข้าสู่ตัวกรองทั้งกระแสฮาร์มอนิกจากบัสที่ 15 ที่มาทางสายส่งที่ 20 รวมทั้งมีกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ไหลมาจากบัสที่ 12 ด้วย ซึ่งผ่านทางสาย



ส่งที่ 17 เนื่องจากที่บัสที่ 12 เชื่อมต่อกับที่ 15 ทางสายส่งที่ 18 (ดูรูปที่ 5.16) และมีผลทำให้ค่า  $THD_v$  ที่บัสที่ 14 ลดลงจากเดิม 9.720 เหลือเพียง 0.284 ในขณะที่ค่า  $THD_v$  ที่บัสที่ 15 ก็ลดลงเช่นกันจาก 7.660 เหลือ 2.439

เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งของตัวกรองฮาร์มอนิกไปไว้ที่บัสที่ 15 กระแสฮาร์มอนิกจะไหลไปที่บัสที่ 15 เช่นกัน คือกระแสฮาร์มอนิกจากคอนเวอร์เตอร์ตัวที่ 1 ไหลผ่านสายส่งที่ 20 ไปที่บัสที่ 15 และส่วนหนึ่งไหลผ่านสายส่งที่ 17 ไปยังบัสที่ 12 ด้วย ส่วนค่า  $THD_v$  ที่บัสที่ 14 ลดลงจาก 9.720 เหลือ 3.195 ในขณะที่ค่า  $THD_v$  ที่บัสที่ 15 ลดลงจาก 7.660 เหลือเพียง 0.320

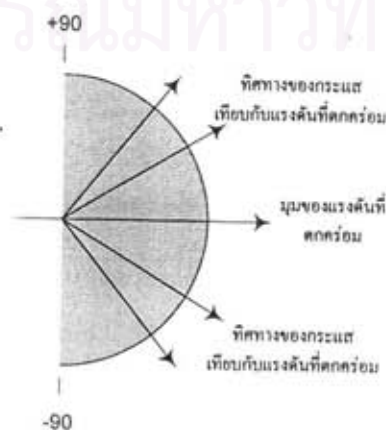
สำหรับกรณีสุดท้ายที่มีการติดตั้งตัวกรองฮาร์มอนิกไว้ที่ บัสที่ 12 ปรากฏว่ากระแสฮาร์มอนิกทั้งจากบัสที่ 14 และบัสที่ 15 ต่างไหลไปที่บัสที่ 12 โดยผ่านสายส่งที่ 17 และสายส่งที่ 18 สำหรับสายส่งที่ 20 มีกระแสฮาร์มอนิกไหลจากบัสที่ 14 ไปยังบัสที่ 15 แต่ค่า  $THD_v$  ของทั้งบัสที่ 14 และบัสที่ 15 ลดลงไปไม่มากนักคือ ที่บัสที่ 14 เหลือ 4.541 บัสที่ 15 เหลือ 3.236

ดังนั้นในกรณีตัวอย่างที่กล่าวมานี้ การติดตั้งตัวกรองฮาร์มอนิกที่ตำแหน่งบัสที่ 14 จะให้ผลที่ดีกว่าที่ตำแหน่งอื่น เนื่องจากว่าค่า  $THD_v$  ที่บัสที่ 14 และบัสที่ 15 มีค่าต่ำที่สุด

## 5.4 สรุป

ผลการคำนวณที่ได้โดยการใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ทำให้สามารถที่หาปริมาณกระแสฮาร์มอนิกที่บัสต่าง ๆ ที่มีอยู่ในระบบและปริมาณกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลในสายส่งพลังงานไฟฟ้าได้ ทั้งยังสามารถหาปริมาณกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลในอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ด้วย

สำหรับทิศทางการไหลของกระแสฮาร์มอนิก ก็สามารถวิเคราะห์ได้ เนื่องจากโดยปกติการไหลของกระแสไฟฟ้าจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง เมื่อเทียบกับแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างสองจุดดังกล่าวนี้ จะมีมุมที่นำหน้าไม่เกิน  $90^\circ$  และล่าช้าไม่เกิน  $90^\circ$  ดังรูปที่ 5.23



รูปที่ 5.23 การหาทิศทางการไหลของกระแสฮาร์มอนิก

หากมุมของกระแสไฟฟ้าเมื่อเทียบกับมุมของแรงดันที่ตกคร่อม มีค่าอยู่ระหว่าง  $-90^\circ$  ถึง  $+90^\circ$  ก็แสดงว่ากระแสไฟฟ้าไหลจากจุดที่หนึ่งไปยังจุดที่สอง แต่ถ้าปรากฏว่ามุมของกระแสไฟฟ้าเมื่อเทียบกับมุมของแรงดันที่ตกคร่อมมีค่าอยู่นอกขอบเขตนี้ ก็แสดงได้ว่ากระแสไฟฟ้าจะไหลจากจุดที่สองไปยังจุดที่หนึ่งนั่นเอง



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย