

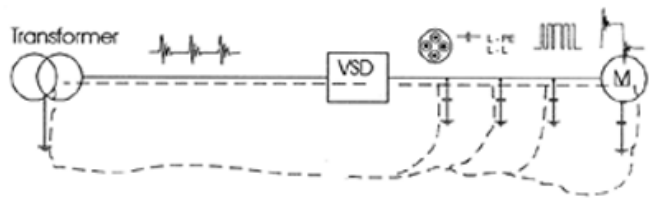
## ฮาร์มอนิก จากการทำงานของอินเวอร์เตอร์ Harmonics and Noise from Inverter

หลังจากที่ผู้เขียนได้ลงบทความเกี่ยวกับเรื่องฮาร์มอนิกที่เกิดจากการทำงานของไทรฟ์ ซึ่งในบทความดังกล่าวนี้ ผู้เขียนได้กล่าวถึงเฉพาะฮาร์มอนิกที่เกิดจากการทำงานของไทรฟ์ทางด้านอินพุต ก็ได้มีผู้อ่านบางท่านสอบถาม เข้ามาเกี่ยวกับเรื่องฟิลเตอร์ที่ใช้แก้ไขปัญหาเรื่องฮาร์มอนิกแบบต่าง ๆ เช่น dv/dt Filter, LC Filter หรือแม้กระทั่ง การใช้สายชิลด์ ผู้เขียนจึงเห็นควรที่จะต้องชี้แจงเรื่องฮาร์มอนิกที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของไทรฟ์เพิ่มเติม ในบทความนี้ผู้เขียนจึงขอก้าวเพิ่มในหัวเรื่องที่เกี่ยวข้องกับฮาร์มอนิกและสัญญาณรบกวนที่เกี่ยวข้องกับไทรฟ์ ในสองเรื่องคือ ฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นทางด้านเอาต์พุตและการป้องกัน กับ วงจรคอนเวอร์เตอร์ในฐานะของ Noise Receiver ซึ่งน่าจะทำให้ผู้อ่านที่ยังมองภาพของฮาร์มอนิกไม่ชัดและยังติดขัดในแนวทางแก้ปัญหา ได้เห็นภาพและแยกแยะปัญหาของฮาร์มอนิกได้ชัดเจนมากขึ้น

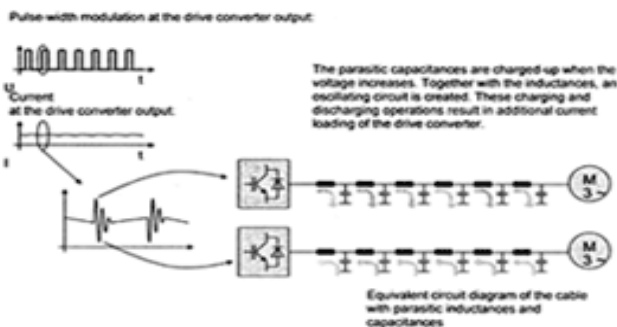
### 1. ฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นทางด้านเอาต์พุตและการป้องกัน

บทความเรื่องฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นจากการทำงานของระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ตามที่ผู้เขียนได้เขียนถึง ก่อนหน้านั้นนั้น จะเป็นเรื่องฮาร์มอนิกเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับด้านอินพุตของไทรฟ์เท่านั้น แต่ในความเป็นจริงแล้วทางด้านเอาต์พุตของไทรฟ์ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ก็มีปัญหาของฮาร์มอนิกที่สร้างความปวดเศียรเวียนเกล้าให้กับผู้ใช้งาน เป็นอย่างมากเช่นเดียวกัน ถึงแม้กระแสทางด้านเอาต์พุตจะมีความเป็นคลื่นรูปซายน์อยู่มากก็ตาม เมื่อเทียบกับด้าน อินพุต แต่เนื่องจากแรงดันด้านเอาต์พุตไม่เป็นซายน์ แต่เป็นรูปคลื่น PWM ทั้งแบบสมมาตร (กรณีควบคุมแบบ V/F) และแบบสุม (กรณีควบคุมแบบเวกเตอร์หรือไดเรกทอริก) ทำให้เกิดฮาร์มอนิกของแรงดันขึ้นมาแทนและฮาร์มอนิก แรงดันนี้จะก่อให้เกิดผลเสียตามมา 4 ประการคือ

1. แม้ความถี่มูลฐานของแรงดันฮาร์มอนิกเหล่านี้จะมีค่าต่ำ เช่น ไม่เกิน 100 Hz หรือในภาวะปกติก็มักจะไม่เกิน 50 Hz แต่ความถี่ของสัญญาณมอดูเลตกรณี V/F หรือความถี่จากการสวิตช์ ON-OFF ในกรณีของเวกเตอร์ และ ไดเรกทอริกมักจะมีค่าเป็นหลัก kHz ความถี่สูงดังกล่าวนี้ได้ส่งผลให้คาปาซิเตอร์ที่อยู่ระหว่างสายกับสาย (L-L) และระหว่างสายกับกราวด์ (L-PE) มีบทบาทขึ้นมาทันที เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ของคาปาซิเตอร์จะลดลงเมื่อ ความถี่เพิ่มขึ้นตามสมการ  $Z_C = 1/2\pi fC$  และเมื่ออิมพีแดนซ์ของคาปาซิเตอร์ลดลงก็จะเริ่มมีกระแสรั่วไหล ระหว่างสายกับสายและกระแสรั่วไหลจากสายลงกราวด์ ทั้งในส่วนของสายเคเบิลเองและในส่วนของมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1 และเนื่องจาก C จะมีไปตลอดความยาวของสายดังนั้นยิ่งสายยาวมากขึ้น  $Z_C$  ก็จะยิ่งน้อยลง กระแสรั่วไหลในส่วนก็จะยิ่งมากขึ้น



รูปที่ 1 กระแสรั่วไหลผ่านคาปาซิเตอร์ธรรมชาติ



รูปที่ 2 กระแสออสซิลเลตเนื่องจากผลของ LC

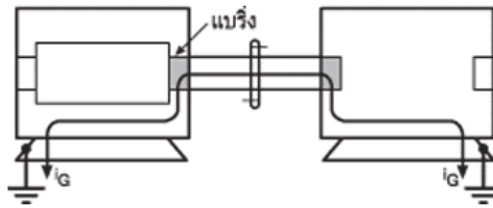
2. ในกรณีที่สายยาวมาก ๆ นอกจากค่าคาปาซิเตอร์ที่จะมีบทบาทมากขึ้นแล้ว ค่าอินดักแตนซ์ก็เป็นอีกตัวหนึ่งที่จะ มีบทบาทเพิ่มเข้ามาและการเข้ามาของอินดักแตนซ์นั้นจะยิ่งทำให้สถานการณ์ที่แย่อยู่เนื่องจากค่าคาปาซิแตนซ์ ที่มากขึ้นเป็นทุนอยู่แล้ว ยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นไปอีก เพราะค่าอินดักแตนซ์ที่มากขึ้นจะฟอร์มตัวเข้ากับ คาปาซิแตนซ์ ทำให้สภาวะการออสซิลเลตจากกระแส ดังแสดงในรูปที่ 2 ทำให้กระแสเดิมที่มากขึ้นเนื่องจาก ค่าอิมพีแดนซ์ของคาปาซิแตนซ์ที่ลดลงแล้ว ขนาดสูงสุดของกระแสยังถูกเพิ่มขนาดขึ้นเนื่องจากผลของการ ออสซิลเลต ผลของทั้งข้อ 1 และ 2 ได้ส่งผลให้ภาคอินเวอร์เตอร์ของไทรฟ์ต้องรับภาระกระแสไหลดที่เพิ่มมากขึ้น อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

3. การที่มีกระแสไหลลงดิน ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ตามมาอีก 2 อย่างคือ

3.1 ถ้าเอาไขควงเช็คไฟไปเช็คที่มอเตอร์จะพบว่ามีไฟรั่ว ถ้าจับก็โดนดูด ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจาก กระแสรั่วลงดินผ่านคาปาซิแตนซ์ที่อยู่ในฉนวนของขดลวดในมอเตอร์นั่นเอง กระแสรั่วไหลของมอเตอร์นี้ก็จะสร้างความเสียหายให้กับมอเตอร์ในรูปแบบต่าง ๆ ที่เห็นได้บ่อย ๆ ก็มีเช่น

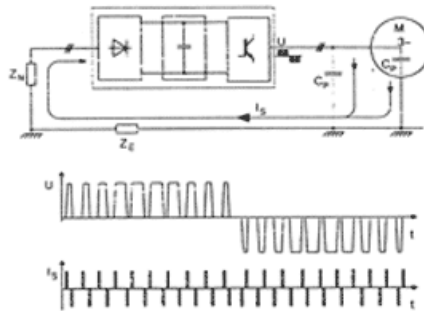
3.1.1 สร้างสัญญาณรบกวนการทำงานของตัวตรวจจับความเร็วรอบส่งผลให้ระบบควบคุมทำงานผิดพลาด

3.1.2 ถ้ากระแสไหลผ่านแบร็งของมอเตอร์ก็จะทำให้แบร็งของมอเตอร์เสียหายเร็วขึ้น และถ้าผ่านแบร็งของมอเตอร์ลงเพลลาและไปผ่านแบร็งของโหลดลงกราวด์ แบร็งของโหลดก็จะเสียหายไปด้วย ซึ่งลักษณะการไหลของกระแสจะเป็นดังรูป 3 แต่ปัญหานี้แก้ได้โดย ต้องใส่ฉนวนแบร็งเข้าไป และใช้ Coupling ที่เป็นฉนวนคั่นกลาง



รูปที่ 3 กระแสไหลลงกราวด์ผ่านแบร็ง

3.2 เนื่องจากว่า จุดปักกราวด์ของมอเตอร์มักห่างจากหม้อแปลงเป็นระยะทางพอสมควร ซึ่งหมายถึงว่ากราวด์บริเวณนั้นมักไม่เป็นศูนย์จริง แต่ก็มีอิมพีแดนซ์ของกราวด์อยู่ค่าหนึ่งแทนด้วย  $Z_E$  ดังรูปที่ 4 เมื่อกระแสไหลผ่าน  $Z_E$  และครบรูปผ่าน  $Z_N$  ก็จะทำให้เกิดแรงดัน  $V_E$  ขึ้นที่กราวด์ของมอเตอร์และทำให้กราวด์บริเวณนั้นถูกยกขึ้นด้วยแรงดัน  $V_E$  และเนื่องจากกระแส  $I_S$  เป็นกระแสที่เต็มไปด้วย ฮาร์โมนิกส์ ทำให้  $V_E$  ที่กราวด์ของมอเตอร์เป็น  $V_E$  ที่เต็มไปด้วยฮาร์โมนิกส์ เมื่อเป็นเช่นนี้ หากอุปกรณ์ไฟฟ้าใดต่อกราวด์เข้ากับบริเวณนั้น อุปกรณ์ไฟฟ้านั้นก็จะรับเอาฮาร์โมนิกส์ ผ่านกราวด์นั้นไปด้วย และกลับกลายเป็นว่าการปักกราวด์เป็นสิ่งที่ก่อให้เกิดผลร้ายต่ออุปกรณ์นั้นเสียเอง



รูปที่ 4 กระแสไหลผ่านอิมพีแดนซ์ของดิน ทำให้เกิด Harmonics Ground Voltage

4. จากรูปที่ 2 ในกรณีที่สายยาวมาก ๆ การออสซิลเลตของกระแสจะทำให้เกิดแรงดันโวลท์ที่มีค่าสูงตามการออสซิลเลตของกระแสและถ้าสูงถึงค่า ๆ หนึ่ง แรงดันนี้ก็จะสามารถทำลายฉนวนของมอเตอร์ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมอเตอร์ที่มีสภาพเก่า ส่งผลให้มอเตอร์เกิดความเสียหายได้ง่ายขึ้น

**การแก้ไขกรณีกระแสรั่วไหลส่งผลให้ใคร่รับการระมากขึ้น**

1. ใช้ Output Reactor ต่อระหว่างใคร่กับสายเคเบิล เพราะถ้าพิจารณาจากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าการต่อ L เข้าไปจะช่วยหน่วงกระแส  $I_S$  ทำให้แอมพลิจูดของกระแสมีค่าน้อยลง ตารางที่ 1 แสดงระยะสายสูงสุดที่ต่อระหว่างใคร่กับมอเตอร์กรณีไม่ต่อ Reactor ซึ่งเมื่อเทียบกับตารางที่ 2 ซึ่งเป็นกรณีที่ใช้ Reactor จะพบว่าเมื่อใช้ Reactorแล้วจะทำให้สามารถวางมอเตอร์ไว้ไกลจากใคร่ได้มากขึ้น



2. ใช้ dv/dt Filter กรณีนี้จะช่วยให้เกิดผลดีใน 2 ทางคือ

2.1 การมี dv/dt Filter จะทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันมีค่าลดลง ส่งผลให้กระแส ที่ไหลลงกราวด์ลดลงผ่าน C ตามสมการ  $i_c = Cdv/dt$

2.2 การใส่ dv/dt Filter จะช่วยลด Voltage Strength ที่เป็นผลเสียต่อฉนวนของมอเตอร์ ทำให้ฉนวนของมอเตอร์มีอายุการใช้งานยืนยาวขึ้น

3. ใช้ Sinusoidal Filter กรณีนี้จะทำให้รูปคลื่นของแรงดันกลายเป็นคลื่นรูปไซน์ ซึ่งจะทำให้ปัญหาต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นหายไปอย่างสิ้นเชิง ซึ่งในท้ายบทความนี้ผู้เขียนได้แสดงผลการทดลองจริงเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของ Sinusoid Filter ไว้ให้ดูด้วย แต่อย่างไรก็ตาม Sinusoid Filter ก็มีข้อเสียอื่นตามมา เช่น Sinusoid Filter จะทำให้เกิด Voltage Drop มากกว่าปกติและยังอาจทำให้คุณสมบัติของการควบคุมแบบเวกเตอร์และไดเรกทออร์กลดประสิทธิภาพลงไป

**ตารางที่ 1** แสดงระยะสายสูงสุดที่ต่อระหว่างไดรฟ์กับมอเตอร์กรณีไม่ต่อ Reactor

Output	Rated Voltage	Non-shielded Cables	Shielded Cables
to 4 kW	200 V to 600 V	50 m	35 m
5.5 kW	200 V to 600 V	70 m	50 m
7.5 kW	200 V to 600 V	100 m	67 m
11 kW	200 V to 600 V	110 m	75 m
15 kW	200 V to 600 V	125 m	85 m
18.5 kW	200 V to 600 V	135 m	90 m
22 kW	200 V to 600 V	150 m	100 m
30 kW to 200 kW	380 V to 690 V	150 m	100 m
250 kW to 630 kW	380 V to 690 V	200 m	135 m
710 kW and 1300 kW	380 V to 690 V	Unlimited	
900 kW to 1100 kW	380 V to 690 V	200 m	135 m
250 kW to 2300 kW	380 V to 690 V	150 m	100 m



ตารางที่ 2 แสดงระยะสายสูงสุด กรณีที่ใช้ Reactor

Number of reactors in series		1	2	3	1	2	3
Converter/ Inverter Rating	Rated Voltage	Reactor <sup>2)</sup> Non-shielded Cables			Reactor <sup>2)</sup> Shielded Cables		
to 4 kW	200 V to 600 V	150 m	1)	1)	100 m	1)	1)
5.5 kW	200 V to 600 V	200 m	1)	1)	135 m	1)	1)
7.5 kW	200 V to 600 V	225 m	450 m	1)	150 m	300 m	1)
11 kW	200 V to 600 V	240 m	480 m	1)	160 m	320 m	1)
15 kW	200 V to 600 V	260 m	520 m	1)	175 m	350 m	1)
18.5 kW	200 V to 600 V	280 m	560 m	1)	190 m	375 m	1)
22 kW	200 V to 600 V	300 m	600 m	900 m	200 m	400 m	600 m
30 kW to 200 kW	380 V to 690 V	300m	600 m	900 m	200 m	400 m	600 m
250 kW to 630 kW	380 V to 690 V	400 m	800 m	1200 m	270 m	530 m	800 m
1100 kW	380 V to 690 V	400 m	800 m	1200 m	270 m	530 m	800 m
250 kW to 2300 kW <sup>3)</sup>	380 V to 690 V	3200 m	600 m	900 m	200 m	400 m	600 m
900 kW to 1500 kW <sup>4)</sup>	380 V to 690 V	350 m	450 m	600 m	200 m	300 m	450 m

<sup>1)</sup> Cannot be used, <sup>2)</sup> In the case of sizes M, N and Q, 2 inverters are connected in parallel and the number of reactors for the permissible cable lengths is thus necessary for each inverter, <sup>3)</sup> Applies to sized E, F, G, J, K, L, N and Q, <sup>4)</sup> Applies to size M

ตารางที่ 3 แสดงผลของการใช้ dv/dt Filter

Converter/ Inverter	dv/dt- filter	dv/dt- filter and reactor	dv/dt- filter and 2 reactors <sup>2)</sup>	dv/dt- filter	dv/dt-filter and reactor	dv/dt-filter and 2 reactors <sup>2)</sup>
Rated Current	Non-shielded Cables			Shielded Cables		
走 22 A	150 m	1)	1)	100 m	1)	1)
走 370 A <sup>4)</sup>	150 m	300 m	450 m	100 m	200 m	300 m
走 225 A <sup>5)</sup>	150 m	300 m	450 m	100 m	200 m	300 m
510 A to 1300 A <sup>4)</sup>	150 m	375 m	1)	100 m	250 m	1)
297 A to 1230 A <sup>5)</sup>	150 m	375 m	1)	100 m	250 m	1)
走 1400 A <sup>6)</sup>	3)	3)	3)	3)	3)	3)

<sup>1)</sup> Cannot be used, <sup>2)</sup> Voltage limiting is no longer effective for supply voltages of > 500 V, <sup>3)</sup> Not available at present, <sup>4)</sup> Rated supply voltage 380 V to 480 V, <sup>5)</sup> Rated supply voltage 500 V to 690 V, <sup>6)</sup> Rated supply voltage 380 V to 690 V

ตารางที่ 4 แสดงผลของการใช้ Sinusoid Filter

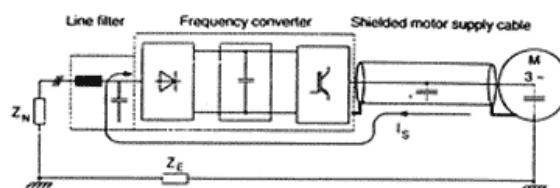
Output	380 V to 480 V	500 V to 600 V	380 V to 480 V	500 V to 600 V
	Non-shielded Cables		Shielded Cables	
to 4 kW	250 m	350 m	170 m	250 m
5.5 kW	320 m	475 m	210 m	320 m
7.5 kW	400 m	550 m	270 m	400 m
11 kW	500 m	700 m	330 m	500 m
15 kW	600 m	900 m	400 m	600 m
18.5 kW to 132 kW	A	B	0.67 * A	A

$$A = 600 \text{ m} + 7.5 \text{ kW} * (P-15 \text{ kW}) \quad B = 900 \text{ m} + 10 \text{ kW} * (P-15 \text{ kW})$$

P: Rated motor output of the converter or inverter

#### การแก้ปัญหากรณีกระแสไหลลงกราวด์และทำให้เกิด $V_E$ ที่มีฮาร์มอนิกส์

วิธีแก้ที่ดีที่สุดสำหรับกรณีนี้ก็คือการใช้ Shielded Cable เพื่อให้ซีลด์คลุมสายเคเบิลเอาไว้ แล้วต่อปลายทั้งสองข้างของส่วนซีลด์ เข้ากับมอเตอร์และไดรฟ์ดังรูปที่ 5 วิธีนี้จะทำให้กระแส  $I_S$  ย้ายมาไหลผ่านซีลด์แทน และกระแสที่ไหลผ่านกราวด์ก็จะหมดไป ปัญหาเรื่องฮาร์มอนิกส์ที่กราวด์ไปรบกวนการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ที่อยู่บริเวณใกล้เคียง และปีกกราวด์ใกล้กันก็จะหมดไป หรืออย่างน้อยถูกแก้ไขให้ดีขึ้น แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือเมื่อมีซีลด์เข้ามา ค่า C ระหว่างสายกับกราวด์ก็จะมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้กระแสรั่วไหลมีมากขึ้น และไดรฟ์รับภาระมากขึ้น เพียงแต่คราวนี้กระแสรั่วไหลจะไหลกลับทางซีลด์แทน หากสังเกตข้อมูลในตารางที่ 1-4 ก็พบว่า ถ้าใช้สายซีลด์จะทำให้ระยะเดินสายสูงสุดจากไดรฟ์ไปมอเตอร์มีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะเมื่อมีซีลด์ ค่า C มากขึ้น ทำให้มีระยะเท่ากัน กระแสจะรั่วไหลมากกว่า จึงต้องลดระยะสายลงมา เพื่อให้กระแสอยู่ในพิกัดที่ไดรฟ์รับได้



รูปที่ 5 การใช้ Shielded Cable ต่อเข้ากับมอเตอร์และไดรฟ์

#### ผลการทดลองการทดสอบประสิทธิภาพของ LC Filter (Sinusoidal Filter)

##### อุปกรณ์ที่ใช้

##### 1. อินเวอร์เตอร์

Input 380-480V  $\pm 10\%$  3 $\phi$  AC 24A 47-63Hz

Output 0-input V 3 $\phi$  AC 18.4A 0-650Hz 7.5kW

##### 2. LC-Filter

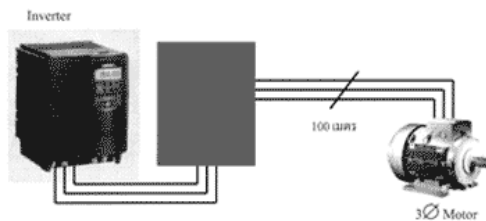
380-480V  $\pm 10\%$  3 $\phi$  AC 32.6A 0-150 Hz

Max Switching Frequency = 4 kHz

3. 3 $\phi$  Induction Motor 400VD/690VY 5.5kW 11.1/6.4A 2,915RPM
4. Analog & Digital Oscilloscope HAMEG รุ่น HM407
5. สาย VCT 4x4 mm<sup>2</sup> 750V ยาว 100 เมตร

#### แนวทางการทดลอง

1. ตั้ง Switching Frequency ของ Drive ไว้คงที่ที่ 4 kHz
2. วัตถุประสงค์กระแสและแรงดันที่ความถี่พื้นฐาน 3 ค่าคือ 25 Hz, 50 Hz และ 75 Hz
3. วัตถุประสงค์กระแสและแรงดันในสองกรณีคือมี Filter และไม่มี Filter
4. กรณีไม่มี Filter วัตถุประสงค์สองจุดคือ ที่ขั้วของอินเวอร์เตอร์และที่ขั้วของมอเตอร์
5. กรณีมี Filter วัตถุประสงค์ 1 จุดคือ ที่ขั้วของมอเตอร์

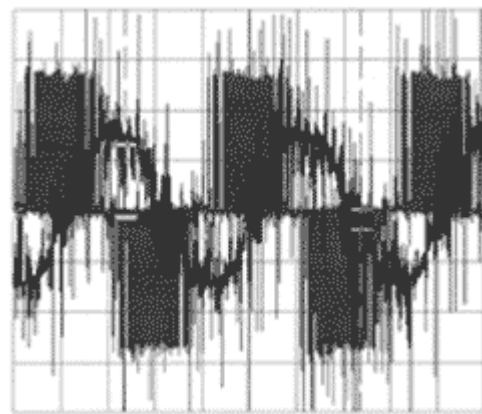
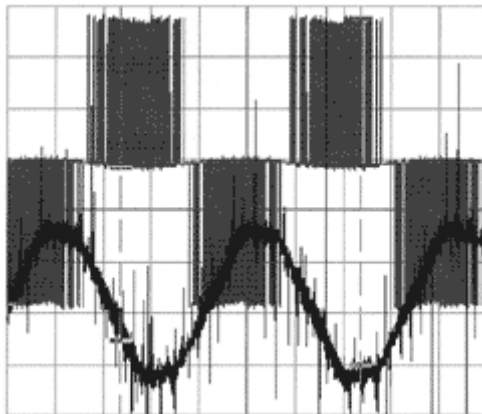


รูปแสดงลักษณะการทดลอง

#### ผลการทดลอง

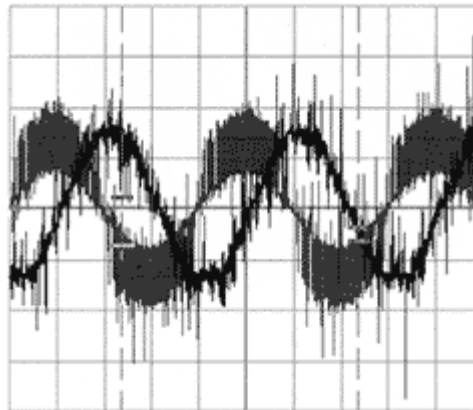
จากการทดลองวัตถุประสงค์กระแสและแรงดันตามจุดต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นได้ผลการวัดดังนี้

1. อินเวอร์เตอร์ทำงานที่ความถี่ 25 Hz
  - 1.1 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ขั้วอินเวอร์เตอร์
  - 1.2 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ขั้วมอเตอร์กรณีไม่มี Filter



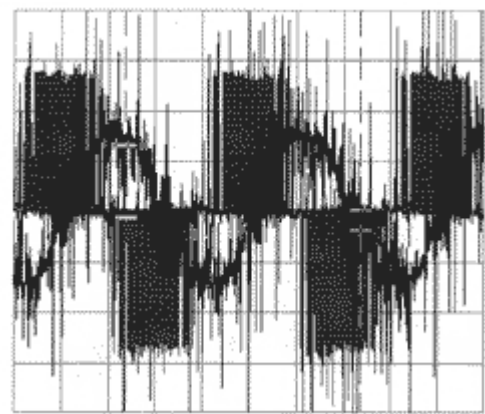
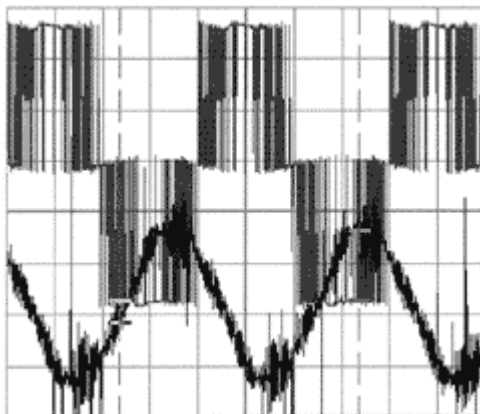


1.3 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ขั้วมอเตอร์กรณีใส่ LC-Filter

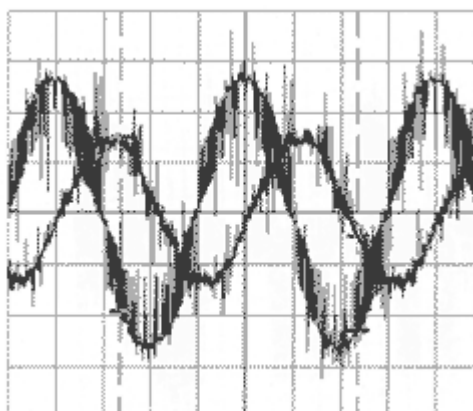


2. อินเวอร์เตอร์ทำงานที่ความถี่ 50 Hz

2.1 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ขั้วอินเวอร์เตอร์ 2.2 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ขั้วมอเตอร์กรณีไม่มี Filter

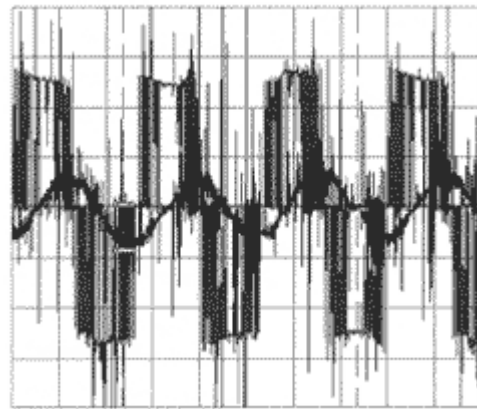
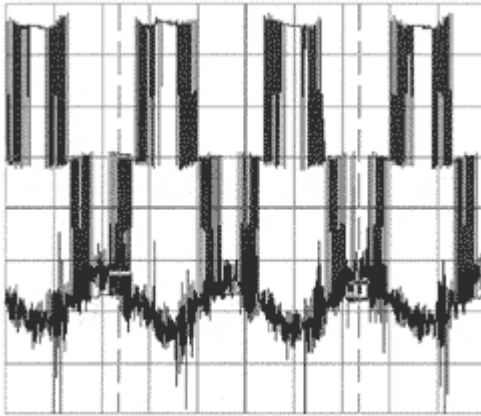


2.3 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ขั้วมอเตอร์กรณีใส่ LC-Filter

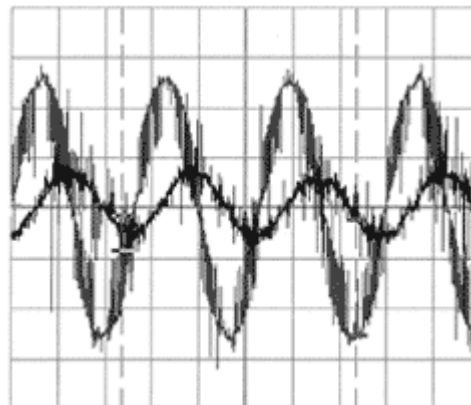


### 3. อินเวอร์เตอร์ทำงานที่ความถี่ 75 Hz

#### 3.1 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ขั้วอินเวอร์เตอร์ 3.2 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ขั้วมอเตอร์กรณีไม่มี Filter



#### 3.3 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ขั้วมอเตอร์กรณีใส่ LC-Filter



### สรุปผลการทดลอง

#### เปรียบเทียบรูปคลื่นแรงดัน

จากผลการทดลอง จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าในกรณีที่ไม่มี LC-Filter นั้นแรงดันจะมีลักษณะเป็น PWM และจะมี Spike ที่ยอดคลื่นสูงมากขึ้นเมื่อวัดที่ขั้วมอเตอร์ เทียบกับเมื่อวัดที่อินเวอร์เตอร์ที่จะสังเกตได้ว่า ไม่มี Spike เกิดขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากค่า L และ C ที่อยู่ในสาย ตอบสนองต่อความถี่สวิตชิ่งที่อยู่ในรูปคลื่น PWM ซึ่งจะมีมาก ยิ่งขึ้นเมื่อสายยาวขึ้น แต่เมื่อใส่ LC Filter รูปคลื่นแรงดันที่ขั้วมอเตอร์จะมีรูปร่างใกล้เคียงรูปคลื่นชายนมากขึ้น และ Spike จะหายไป

#### เปรียบเทียบรูปคลื่นกระแส

จะเห็นว่ารูปร่างของกระแสในกรณีใส่ LC-Filter มีรูปร่างที่ใกล้เคียงรูปคลื่นชายนมากขึ้น (ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนเมื่อความถี่สูงขึ้น) ทั้งนี้เป็นไปตามการคาดการณ์ทางทฤษฎีที่เมื่อรูปคลื่นแรงดันใกล้เคียงชายน มากขึ้นรูปคลื่นกระแสก็จะใกล้เคียงชายนมากขึ้น



### ผลดีจากการที่รูปคลื่นแรงดันมีรูปร่างใกล้เคียงขายน้่มากขึ้น

1. ลด  $dv/dt$  และ Spike Voltage ซึ่งเป็นอันตรายต่อฉนวน
2. ลดกระแสรั่วไหลผ่าน C ระหว่างสายกับสาย และสายกราวด์กรณีสายยาวมากเกินไปเกินกำหนด ซึ่งจะเป็นผลดีในเรื่องการลดฮาร์มอนิกส์ กระแสรั่วไหลลงกราวด์ และลดภาระโหลดของอินเวอร์เตอร์เนื่องจากกระแสรั่วไหล

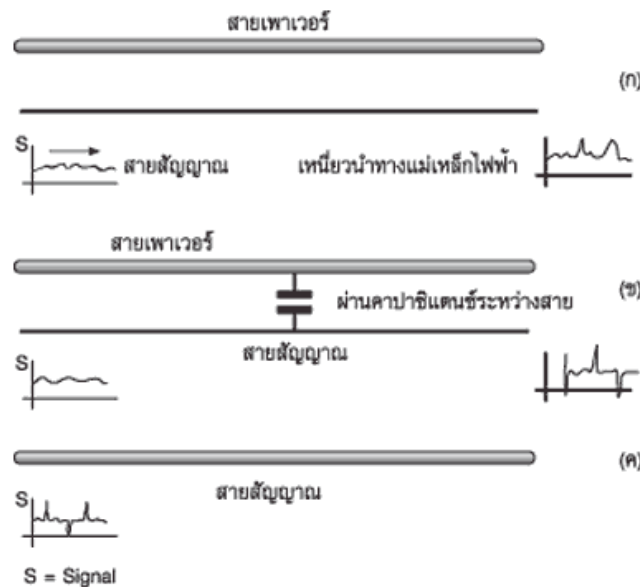
### ผลดีจากการที่รูปคลื่นกระแสมีรูปร่างใกล้เคียงขายน้่มากขึ้น

1. ลดความร้อนเนื่องจากฮาร์มอนิกส์ในตัวมอเตอร์
2. ลดการสร้างสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

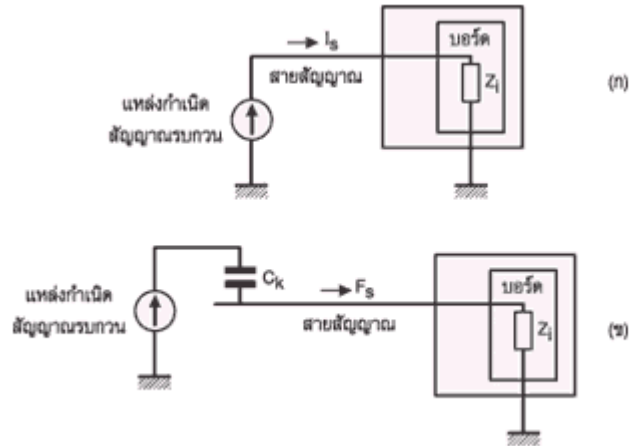
## 2. วงจรคอนเวอร์เตอร์ในฐานะของ Noise Receiver

บทความเรื่องฮาร์มอนิกส์ที่ผ่านมาข้างต้นได้แสดงให้เห็นถึงการที่คอนเวอร์เตอร์อยู่ในฐานะของผู้ที่ทำให้เกิด ฮาร์มอนิกส์อันจะนำไปสู่การรบกวนการทำงานทั้งของตนเองและของระบบอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียง แต่ในหัวข้อนี้จะขอกกล่าวถึงวงจรคอนเวอร์เตอร์ในฐานะของวงจรที่ได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวน

โดยปกติแล้วสัญญาณรบกวน (Noise) สามารถเข้าสู่วงจรคอนเวอร์เตอร์ได้ใน 3 รูปแบบคือ มาพร้อมกับกระแสไฟฟ้า, ผ่านการเหนี่ยวนำ และผ่านเข้ามาทางคาปาซิแตนซ์ที่อยู่ระหว่างตัวนำ ซึ่งการเข้ามาดังกล่าว มักจะเกิดขึ้นกับสายสัญญาณของไดรฟ์ที่ในทางปฏิบัติอาจจะถูกวางไว้ในสภาพแวดล้อมที่เต็มไปด้วยแหล่งกำเนิด สัญญาณรบกวน เช่น สายเพาเวอร์ที่มีฮาร์มอนิกส์ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 6 และเขียนเป็นวงจรสมมูลได้ดังแสดง ในรูปที่ 7



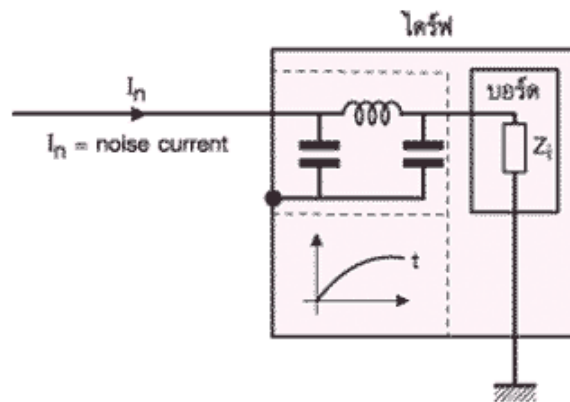
รูปที่ 6 ก. แสดงผลกระทบจากการเหนี่ยวนำ ข. แสดงผลกระทบจากการรั่วไหลผ่านคาปาซิแตนซ์ ค. แหล่งกำเนิดสัญญาณมี Noise ปนมาแต่เริ่ม



รูปที่ 7 ก. สัญญาณเข้ามาโดยการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า และมาพร้อมกับกระแสไฟฟ้าโดยตรง  
 ข. สัญญาณรบกวนเข้ามาโดยรั่วไหลผ่านคาปาซิแตนซ์ระหว่างสาย

วิธีป้องกันและแก้ไข

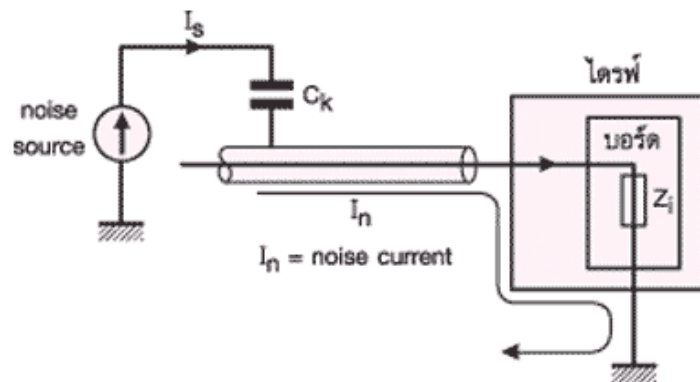
1. ใช้ Low Pass Filter เพื่อกรองสัญญาณรบกวน (ซึ่งมักมีความถี่สูง) ออกไป ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 Input Filter กรองความถี่สูงออก

วิธีนี้ถือเป็นวิธีแก้ไข เนื่องจากจะยอมให้สัญญาณรบกวนเข้ามาในสายก่อนแล้วจึงทำการแก้ไข โดยจากรูปเมื่อมีสัญญาณรบกวนเข้ามาทางสายสัญญาณ สัญญาณรบกวนจะถูกกรองออกไปโดยฟิลเตอร์ ซึ่งอาจจะเป็นอะนาล็อก (LC Circuit) หรือดิจิตอลฟิลเตอร์ (Smoothing) ก็ได้ โดยฟิลเตอร์จะยอมให้ผ่านเฉพาะสัญญาณที่มีความถี่ต่ำ ดังนั้นการแก้ปัญหาด้วยวิธีนี้จะใช้ได้เฉพาะเมื่อสัญญาณที่มากับสายสัญญาณมีลักษณะเป็นอะนาล็อก แต่ถ้าสัญญาณในสายเป็นสัญญาณดิจิตอล เช่นจาก Pulse Encoder หรือสัญญาณ 16 บิต, 32 บิต จาก PLC การฟิลเตอร์ด้วยวิธีนี้ อาจจะทำให้วงจรควบคุมตีความหมายของสัญญาณผิดเพี้ยน การแก้ปัญหาจึงต้องเปลี่ยนไปใช้วิธีป้องกันแทน

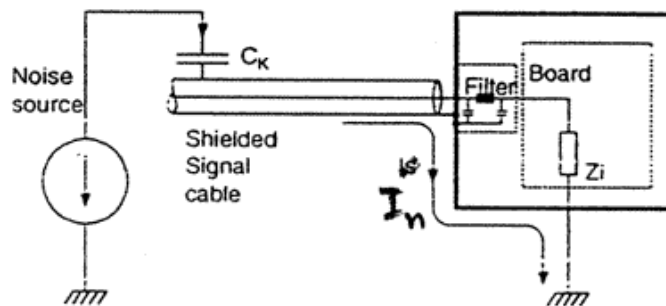
2. ใช้สายชิลด์ เพื่อป้องกันไม่ให้สัญญาณรบกวนเข้ามาที่สายสัญญาณโดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงการต่อสายชิลด์

จากรูป เมื่อใช้สายชิลด์ สัญญาณรบกวนจะถูกเปลี่ยนทางให้ไหลผ่านส่วนที่เป็นชิลด์ลงกราวด์แทน ทำให้สายสัญญาณจริงไม่ถูกรบกวนและ S ไม่ถูกเปลี่ยนรูปร่าง วิธีนี้จึงเหมาะกับกรณี S มีลักษณะเป็นสัญญาณดิจิตอล

อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติอาจจะใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกันดังแสดงในรูปที่ 10 แต่ถ้าสัญญาณ S เป็นดิจิตอล ฟิลเตอร์ที่ใช้ในแบบที่หนึ่งต้องมีแบนด์วิดท์ที่ไม่กระทบต่อรูปร่างของสัญญาณดิจิตอล เพื่อไม่ให้เกิดการตีความหมายของข้อมูลผิดพลาด



รูปที่ 10 การใช้ทั้งวิธีแก้ไขและป้องกัน