

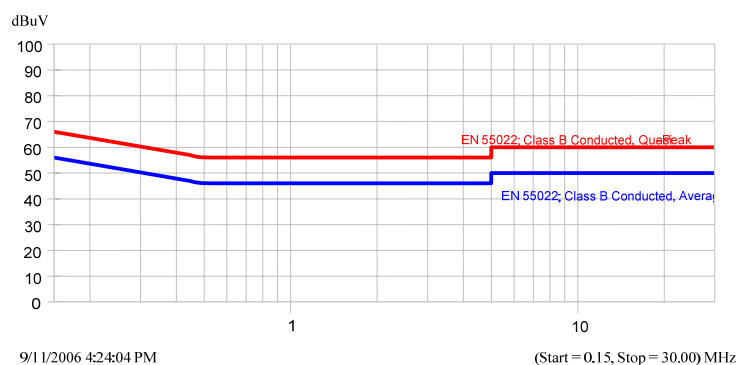
บทที่ 6

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

บทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยผลการทดลองจะเป็นไปตามรูปแบบการทดลองในบทที่ 5 ในขณะที่การวิเคราะห์ในบทนี้จะเป็นการวิเคราะห์ผลการทดลองและมีการเปรียบเทียบกับผลการจำลองโดยใช้โปรแกรม ORCAD PSPICE ระหว่างวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีรูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง ที่มีความแตกต่างกัน โดยจะเป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ในโหมดต่างๆ ซึ่งในบทที่ 6 นี้จะประกอบด้วย 3 หัวข้อ คือ หัวข้อที่ 6.1 จะกล่าวถึงการทดลองด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า และหัวข้อที่ 6.2 การเปรียบเทียบความสามารถในการลดทอนสัญญาณรบกวน ของวงจรกรองสัญญาณรบกวนของการพันทั้ง สามแบบ และหัวข้อที่ 6.3 จะเป็นการสรุปผลการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

6.1 การทดลองด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีรูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างแตกต่างกันของการพันทั้ง 3 แบบ โดยการทดสอบจะสอดคล้องกับรูปแบบการทดลองที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 5.3.3 จะสรุปเงื่อนไขต่างๆ ในการทดสอบ การติดตั้งสำหรับวัดสัญญาณรบกวน ดังในรูปที่ 5.4 โดยการทดสอบ จะเป็นการทดสอบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำเท่านั้น สำหรับรูปแบบและการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำนั้นได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.3.2 ที่ว่าด้วยวิธีการวัดและทดสอบสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ และในรูปที่ 6.1 แสดงเส้นขีดจำกัดมาตรฐานของ CISPR 22 Class B ที่ใช้ในการทดสอบ โดยที่เส้นสีแดงบนจะเป็นเส้นขีดจำกัดการวัดแบบ quasi peak และเส้นสีน้ำเงินล่างจะเป็นเส้นขีดจำกัดการวัดแบบ average



รูปที่ 6.1 เส้นขีดจำกัดมาตรฐานของ CISPR 22 Class B

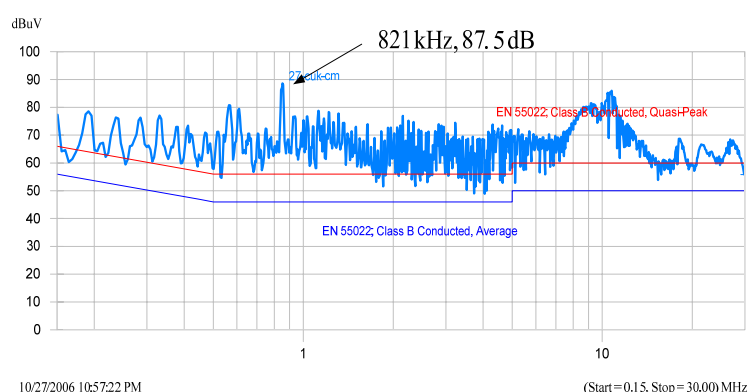
ส่วนขั้นตอนการทดสอบที่ใช้ในงานวิจัย จะแสดงดังในรูปที่ 5.6 โดยพิถีในการทดสอบ จะกล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 1.5 ที่ว่าด้วยขอบเขตของการวิจัย ส่วนวงจรที่ใช้ในการทดสอบจะเป็น วงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ จะกล่าวไว้ในบทที่ 4

6.1.1 ผลการทดสอบวัดสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์

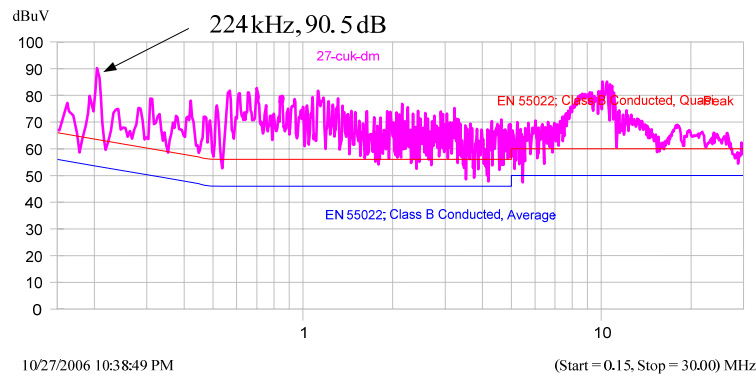
ในหัวข้อนี้เป็นการแสดงผลการทดสอบวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ ที่ได้จากวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ ขณะที่ไม่วางจากรองสัญญาณรบกวน โดยจะแสดงผลการ ทดสอบดังแสดงในรูปที่ 6.2 ถึงรูปที่ 6.4

จากรูปที่ 6.2 จะแสดงสัญญาณรบกวนโหมคผลร่วมขณะที่ไม่วางจากรองสัญญาณ รบกวน ซึ่งในรูปที่ 6.2 จะมีความสำคัญต่อการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โหมคผลร่วม เพราะรูปที่ 6.2 จะนำไปสู่การออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนเพื่อหาค่าจุด เปลี่ยนความถี่โหมคผลร่วมในบทที่ 4 และจากการออกแบบในบทที่ 4 จะได้จุดเปลี่ยนความถี่ โหมคผลร่วมที่ความถี่ 821 kHz และมีค่าสัญญาณรบกวนเท่ากับ 87.5 dB

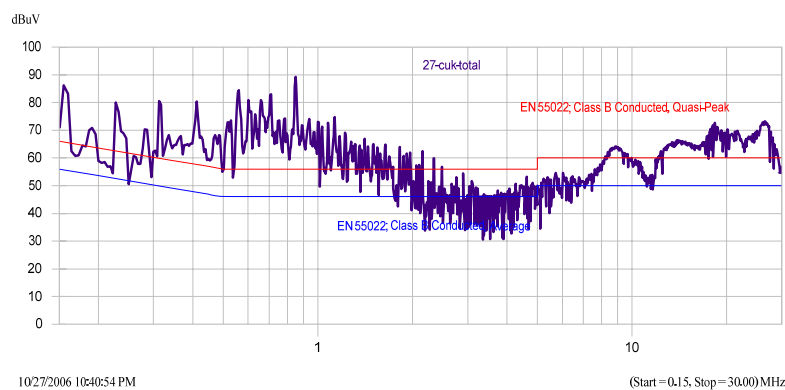
จากรูปที่ 6.3 จะแสดงสัญญาณรบกวนโหมคผลต่างขณะที่ไม่วางจากรองสัญญาณ รบกวน ซึ่งในรูปที่ 6.3 จะมีความสำคัญต่อการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โหมคผลต่าง เพราะรูปที่ 6.3 จะนำไปสู่การออกแบบการวางจากรองเพื่อหาค่าจุดเปลี่ยนความถี่ โหมคผลต่างในบทที่ 4 และจะได้จุดเปลี่ยนความถี่โหมคผลต่าง ที่ความถี่ 224 kHz และมีค่า สัญญาณรบกวนเท่ากับ 90.5 dB ส่วนรูปที่ 6.4 จะแสดงสัญญาณรบกวนโหมคผลรวม ขณะที่ไม่วางจากรองสัญญาณรบกวน



รูปที่ 6.2 สัญญาณรบกวนโหมคผลร่วมขณะที่ไม่วางจากรอง



รูปที่ 6.3 สัญญาณรบกวนโหมดผลต่างขณะที่ไม่ใส่วงจรกรอง

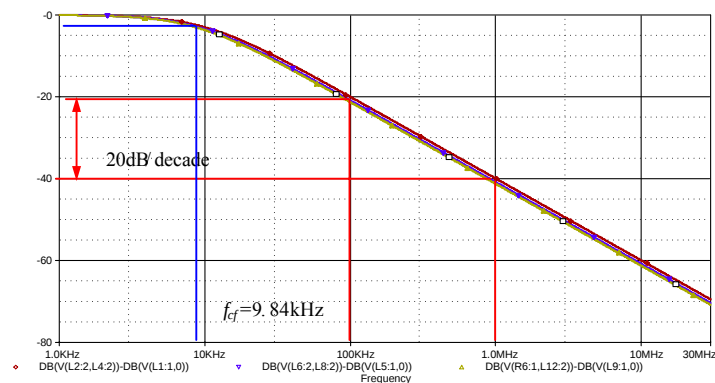


รูปที่ 6.4 สัญญาณรบกวนโหมดผลรวมขณะที่ไม่ใส่วงจรกรอง

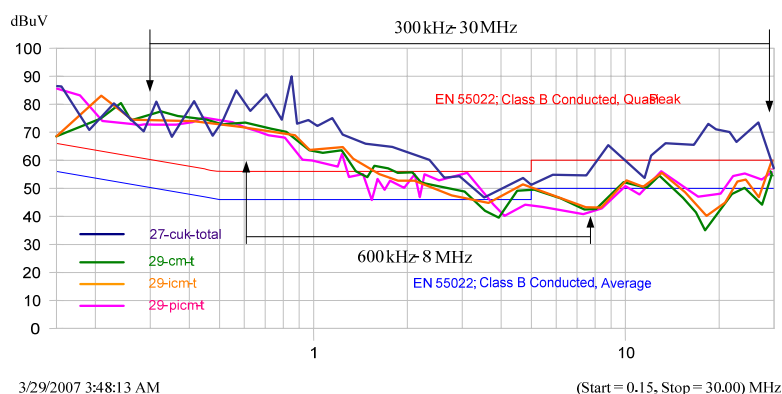
6.1.2 ผลการทดสอบตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบ

ในหัวข้อนี้จะเป็นแสดงผลการทดสอบตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบ โดยจะนำตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่างที่ได้จากการออกแบบมาทำการทดสอบหาความชันและอัตราการลดทอนเพื่อดูว่ามีค่าเท่าไร และผลที่ได้จากการจำลองจะแสดงดังในรูปที่ 6.5 แล้วจากนั้นทำการทดสอบความสามารถในการลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ ว่าตัวเหนี่ยวนำที่ออกแบบสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้เท่าไร และผลที่ได้จากการจำลองจะแสดงดังในรูปที่ 6.6

จากในรูปที่ 6.5 จะแสดงผลการจำลองการทำงานการหาความชันและอัตราการลดทอนของตัวเหนี่ยวนำของการพันทั้ง 3 แบบ และจากผลจะเห็นว่าความชันของอัตราการลดทอนจะมีค่าเท่ากับ 20 dB/decade ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี และค่าจุดเปลี่ยนความถี่ที่ได้จากการจำลองจะมีค่าเท่ากับ 9.84 kHz



รูปที่ 6.5 อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนของตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบที่ได้จากการจำลองการทำงาน



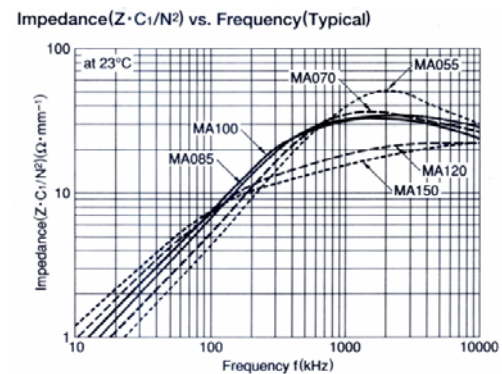
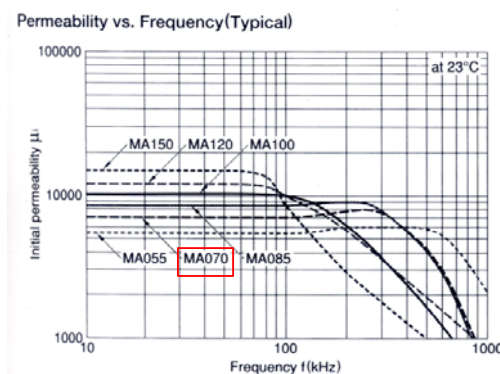
รูปที่ 6.6 เปรียบเทียบความสามารถในการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบ

จากรูปที่ 6.6 จะเป็นการเปรียบเทียบผลการทดสอบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม ที่ได้จากการทดสอบตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบ โดยมีวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน และจากรูปจะเห็นว่าตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบ จะมีความสามารถในการลดสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมได้ในย่านความถี่สูงตั้งแต่ 300 kHz – 30 MHz และการพันแบบ PICM นั้นสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้ดีในย่านความถี่ 600 kHz – 8 MHz

❖ สรุปผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

- ในการใช้ตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบ สำหรับการลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจะสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้ในระดับหนึ่ง และในย่านความถี่สูง ยังมีสัญญาณรบกวนสูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐานกำหนด

- จากรูปแบบการพันของทั้ง 3 แบบที่ทำการทดสอบจะเห็นว่ามีความสามารถในการลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกัน เพราะค่าเหนี่ยวนำที่ใช้มีค่าใกล้เคียงกัน
- ค่าเหนี่ยวนำโหมดผลต่างจะมีผลต่อการลดทอนสัญญาณรบกวนในย่านความถี่ต่ำ ช่วงความถี่ระหว่าง 150 kHz – 2 MHz แต่จะไม่มีผลมากนักเนื่องจากค่าเหนี่ยวนำของค่าเหนี่ยวนำโหมดผลต่างมีค่าน้อย ดังนั้นในการเลือกแกนเหล็กชนิดผงโลหะสำหรับตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่าง สำหรับการพันแบบ PICM ควรจะเลือกให้มีค่าความซาบซึมสูงๆ เพื่อที่จะให้มีค่าเหนี่ยวนำโหมดผลต่างมีค่ามากเมื่อเทียบกับปริมาตรที่เท่ากัน
- ในการเลือกแกนเหล็กชนิดเฟอร์ไรต์สำหรับตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวม ควรจะเลือกแกนเหล็กที่มีค่าความซาบซึมต่อความถี่สูงๆ และหาได้จากข้อมูลของผู้ผลิตดังในรูปที่ 6.7 และในการเลือกแกนเหล็กชนิดผงโลหะสำหรับตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่าง ควรจะเลือกเนื้อสารแกนเหล็กให้เหมาะกับการใช้งาน และหาได้จากข้อมูลของผู้ผลิตดังในรูปที่ 6.8
- จากรูปที่ 6.6 สัญญาณรบกวนโหมดผลรวมในย่านความถี่ต่ำ จะมีค่าสัญญาณรบกวนสูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐานกำหนดอยู่มาก เป็นเพราะในการลดสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมในย่านความถี่ต่ำจำเป็นต้องใช้ตัวเก็บประจุ C_x ช่วยในการลดทอนสัญญาณรบกวน



(ก) ค่าความซาบซึมต่อความถี่ (ผนวก ข)

(ข) ค่าอิมพีแดนซ์ต่อความถี่ (ผนวก ข)

รูปที่ 6.7 คุณสมบัติของแกนเหล็กชนิดเฟอร์ไรต์

Typical Application	-2	-8	-14	-18	-26	-30	-34	-35	-38	-40	-45	-52
Light Dimmer Chokes					X				X	X	X	
60 Hz Differential mode EMI Line Chokes					X				X	X	X	X
DC Chokes: < 50 kHz or low Et/n					X	X	X	X	X	X	X	
DC Chokes: < 50 kHz or low Et/n		X	X	X		X	X	X				X
Power Factor Correction Chokes: <50 kHz					X	X	X	X		X		
Power Factor Correction Chokes: >50 kHz	X	X	X	X		X	X	X				
Resonant Inductor:>50 kHz		X	X									

รูปที่ 6.8 คุณสมบัติของแกนเหล็กชนิดผงโลหะ

6.1.3 ผลการจำลองและทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

ในการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีรูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำ โหมดผลร่วมและโหมดผลต่างที่แตกต่างกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอรูปแบบการพันทั้ง 3 แบบ และในการทดสอบจะทำการวัดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ โดยจะวัดผลสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม โหมดผลต่าง และโหมดผลรวม ในรูปแบบของสัญญาณรบกวนเพื่อนำไปหาค่าอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวน และในการจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนจะเป็นการจำลองการทำงานวงจรกรองเพื่อหาค่าอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวน แล้วนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองจริง

ในส่วนเงื่อนไขในการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวน จะมีเงื่อนไขการทดสอบทั้งหมด 3 เงื่อนไข ดังนี้

6.1.3.1 การทดสอบที่ 1 ที่จุดเปลี่ยนความถี่ (cut-off frequency) เดียวกัน

6.1.3.2 การทดสอบที่ 2: กำหนดค่ากระแสรั่วไหลสูงสุด ($C_Y = 3300 \text{ pF}$)

6.1.3.3 การทดสอบที่ 3: กำหนดค่า C_X ให้มีค่าเท่ากับการออกแบบ ($C_X = 0.68 \text{ }\mu\text{F}$)

การจำลองการทำงานดังในรูปที่ 6.5 จะเป็นการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีรูปแบบการพันที่แตกต่างกัน โดยจะสร้างโมเดลต้นแบบแทนแกนเหล็กที่ใช้ในการทดสอบและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้จะแสดงไว้แล้วในบทที่ 5 ซึ่งในการจำลองการทำงานนั้นเพื่อจะหาค่าอัตราการลดทอนสัญญาณ โหมดผลรวมระหว่างมีวงจรกรองสัญญาณรบกวนกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน

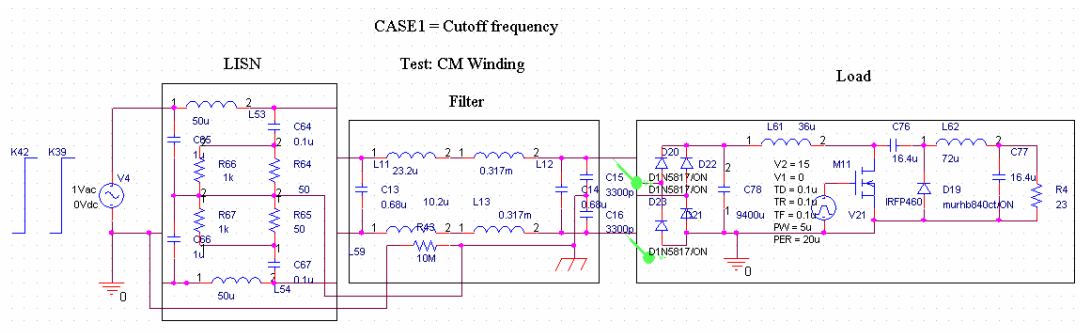
6.1.3.1 การทดสอบที่ 1 ที่จุดเปลี่ยนความถี่ (cut-off frequency) เดียวกัน

จากหัวข้อที่ 6.1.1 จะแสดงผลการทดสอบสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ขณะที่ไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน และในหัวข้อนี้จะแสดงผลการจำลองและทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนขณะที่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน โดยมีเงื่อนไข คือ วงจรกรองสัญญาณรบกวนของการพันทั้ง 3 แบบจะออกแบบที่จุดเปลี่ยนความถี่เดียวกันทั้งโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง ดังแสดงวิธีการไว้แล้วในบทที่ 4 ที่ว่าด้วยขั้นตอนการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า และผลจากการจำลองและทดลองการทำงานจะมี ดังนี้

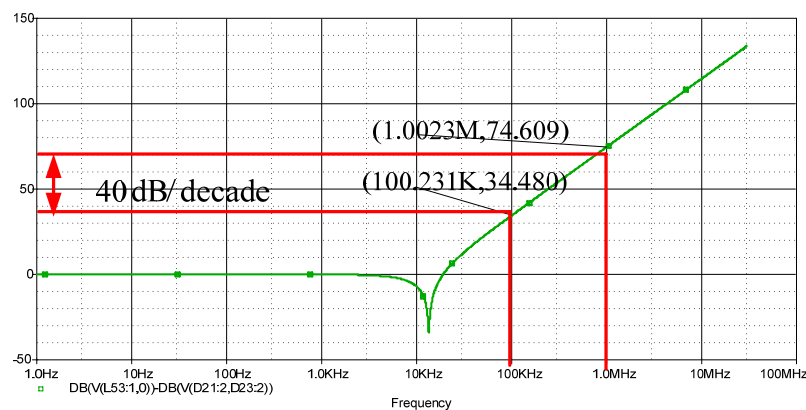
1. ผลการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ CM

ในรูปที่ 6.9 จะแสดงวิธีการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ CM โดยการจำลองนั้นจะประกอบด้วย วงจรรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (LISN) และวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ CM ซึ่งในส่วนของตัวเหนี่ยวนำ L12 และ L13 จะมีลักษณะการทำงานเป็นแบบแกนเหล็กรวมกัน โดยที่พารามิเตอร์ K42 จะแทนแกนเหล็กชนิดเฟอร์

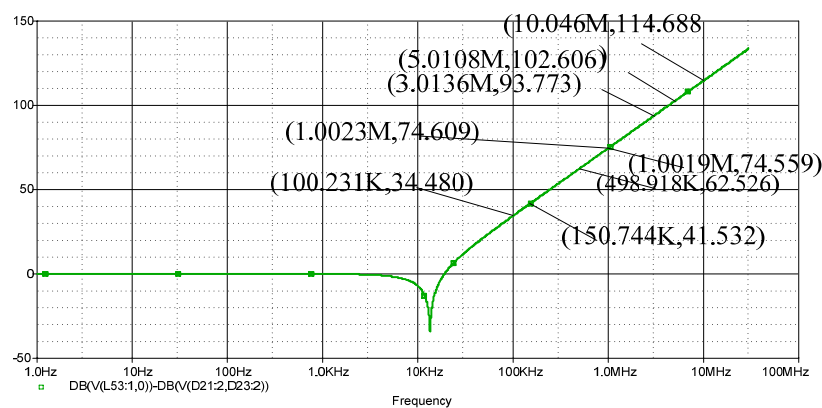
ไรต์และพารามิเตอร์ K39 จะแทนคุณลักษณะของแกนเหล็กชนิดผงโลหะ และโหลดที่ใช้ในการทดสอบ คือวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ และผลที่ได้จากการจำลองการทำงานจะแสดงดังในรูปที่ 6.10 และ 6.11 จะแสดงอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจากการจำลองสำหรับการพันแบบ CM ซึ่งในรูปที่ 6.10 จะแสดงการหาค่าความชันและอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมคผลรวม และค่าความชันจะมีค่าเท่ากับ 40 dB/decade และจากในรูปที่ 6.11 จะแสดงอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมคผลรวมที่ความถี่ต่างๆ



รูปที่ 6.9 จำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนโหมคผลรวมที่มีการพันแบบ CM

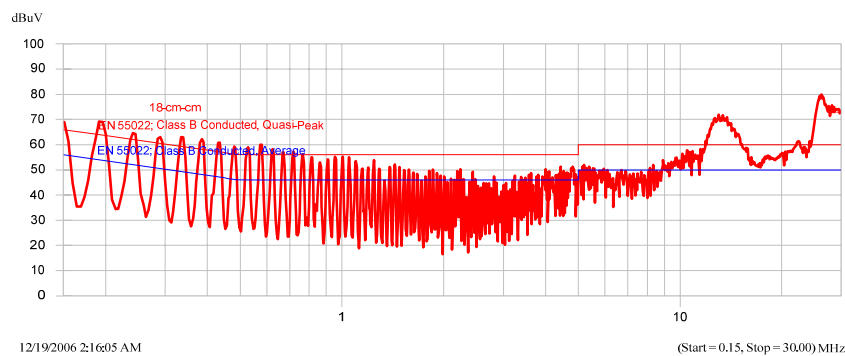


รูปที่ 6.10 อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมคผลรวมสำหรับการพันแบบ CM

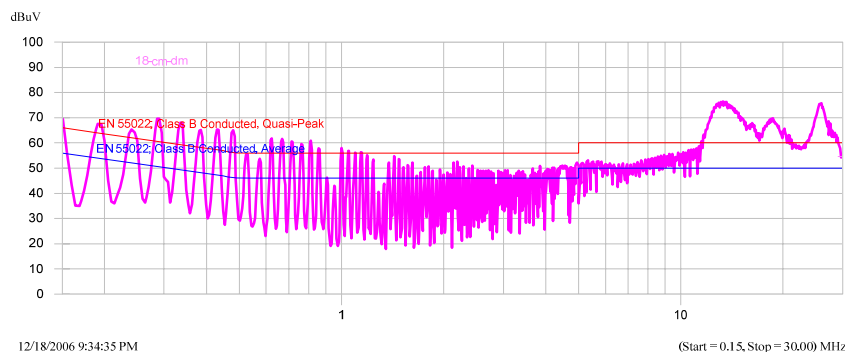


รูปที่ 6.11 อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมคผลรวมที่ความถี่ต่างๆ

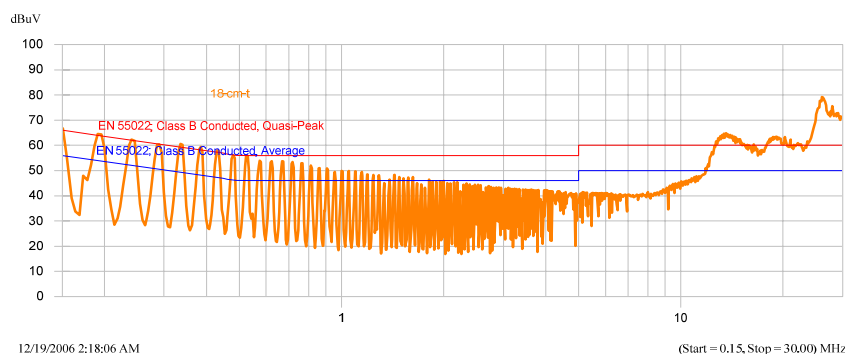
ในรูปที่ 6.12 จะแสดงผลการทดสอบวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ระยะที่มีกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ CM โดยรูปที่ 6.12 (ก) และ (ข) จะแสดงผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม และผลจากการทดสอบ ที่ย่านความถี่ 200 kHz – 700 kHz และความถี่สูงกว่า 10 MHz ยังมีผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่สูงกว่าเส้นจำกัดมาตรฐานเล็กน้อย และผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างที่ย่านความถี่ 200 kHz – 1 MHz และความถี่สูงกว่า 10 MHz ผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างยังสูงกว่าเส้นจำกัดมาตรฐาน และในรูปที่ 6.12 (ค) จะแสดงผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม โดยที่ย่านความถี่สูงกว่า 10 MHz ยังมีผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมสูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐาน



(ก) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวม



(ข) สัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง

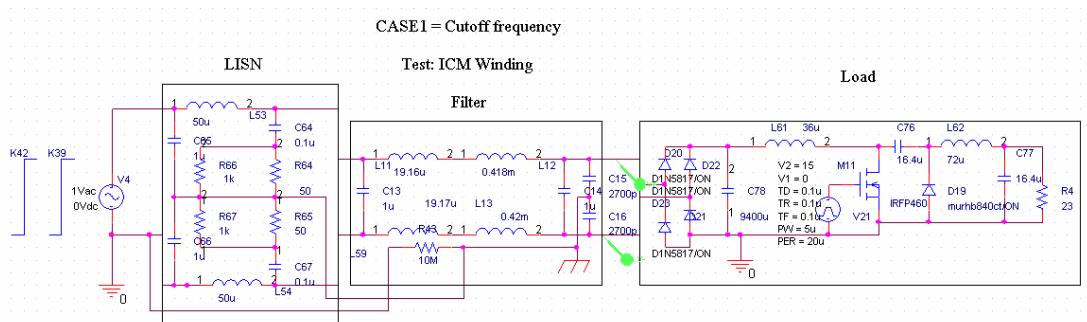


(ค) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวม

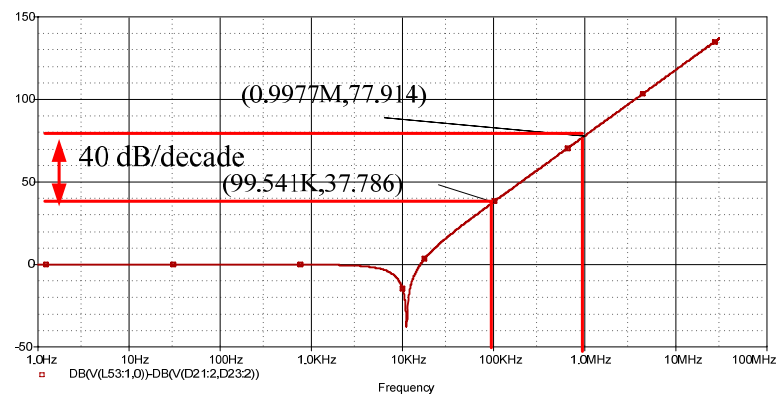
รูปที่ 6.12 ผลการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ CM

2. ผลการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ ICM

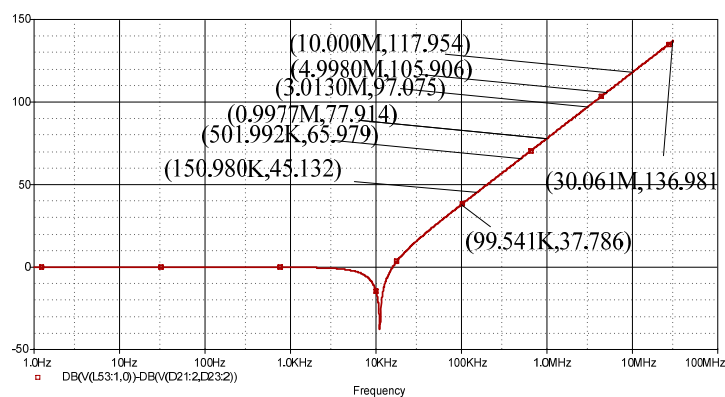
ในรูปที่ 6.13 จะแสดงวิธีการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ ICM โดยที่การจำลองนั้นจะเหมือนกับการจำลองแบบ CM และผลที่ได้จากการจำลองจะแสดงดังในรูปที่ 6.14 และ 6.15 จะเป็นการหาค่าความชันและอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนจากการจำลองสำหรับการพันแบบ CM และจากรูปที่ 6.14 จะแสดงการหาค่าความชันจะมีค่าเท่ากับ 40 dB/decade และในรูปที่ 6.15 จะแสดงอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่ความถี่ต่างๆ



รูปที่ 6.13 จำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่มีการพันแบบ ICM

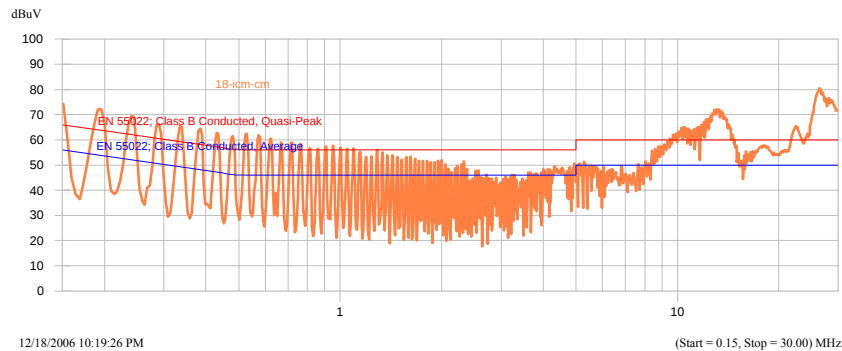


รูปที่ 6.14 อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่มีการพันแบบ ICM

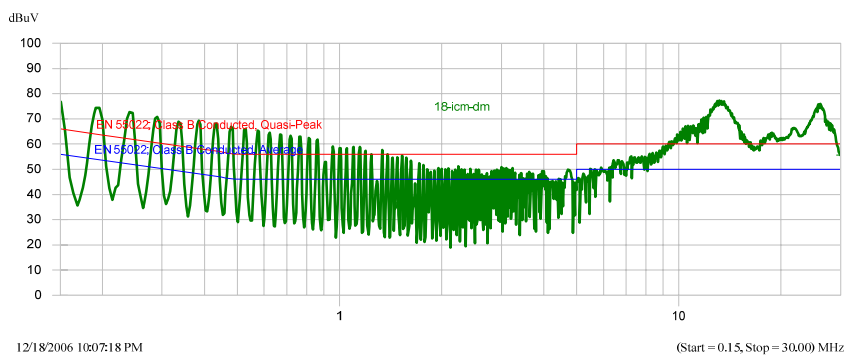


รูปที่ 6.15 อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่ความถี่ต่างๆ

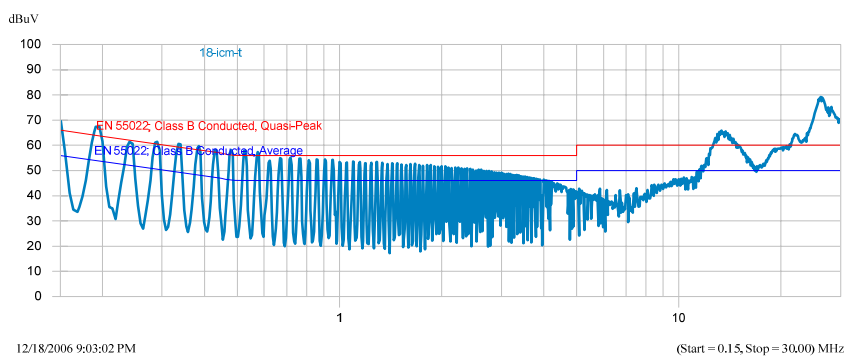
จากรูปที่ 6.16 จะแสดงผลการทดสอบวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ขณะที่มีกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ ICM โดยรูปที่ 6.16 (ก) ถึง (ค) จะแสดงผลของสัญญาณรบกวนของโหมดทั้ง 3 โหมดการทำงาน และที่ความถี่ 150 kHz – 1 MHz และความถี่สูงกว่า 10 MHz ยังมีผลของสัญญาณรบกวนสูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐาน



(ก) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวม



(ข) สัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง

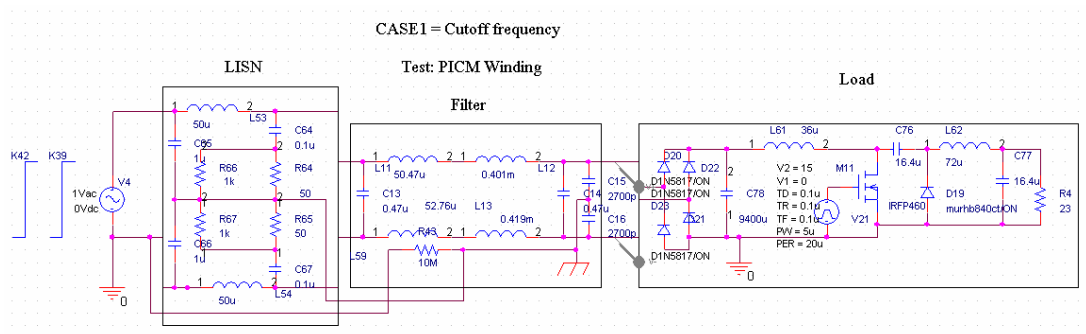


(ค) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวม

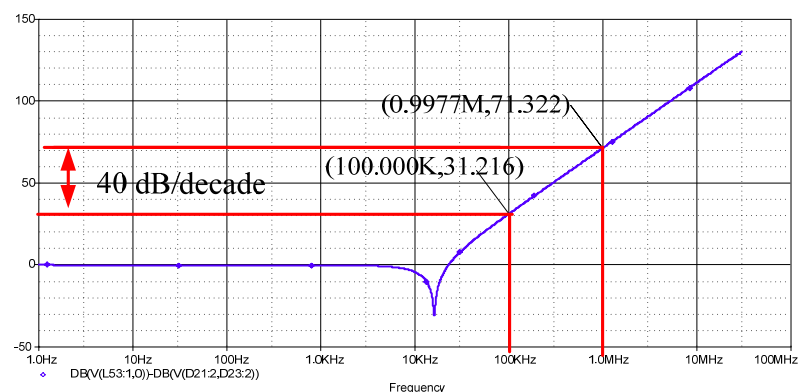
รูปที่ 6.16 ผลการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่มีการพันแบบ ICM

3. ผลการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ PICM

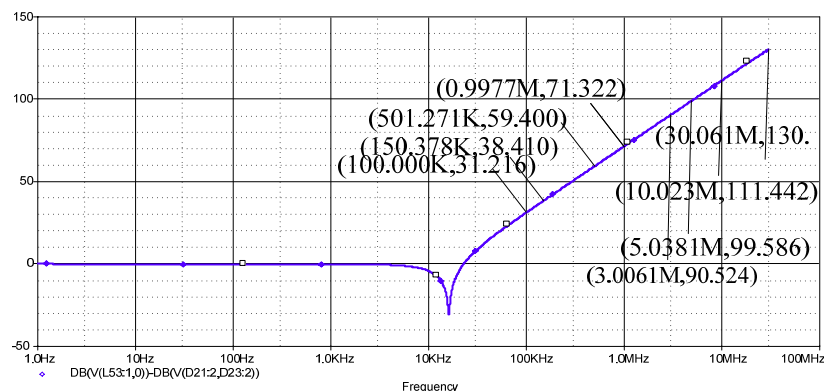
จากรูปที่ 6.17 จะแสดงวิธีการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ ICM โดยที่การจำลองนั้นจะเหมือนกับการจำลองแบบ CM และผลที่ได้จากการจำลองจะแสดงดังในรูปที่ 6.18 และ 6.19 จะแสดงการหาค่าความชันและอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนจากการจำลองสำหรับการพันแบบ CM ซึ่งในรูปที่ 6.17 จะแสดงการหาค่าความชัน จะมีค่าเท่ากับ 40 dB/decade และในรูปที่ 6.18 จะแสดงอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่มีความถี่ต่างๆ



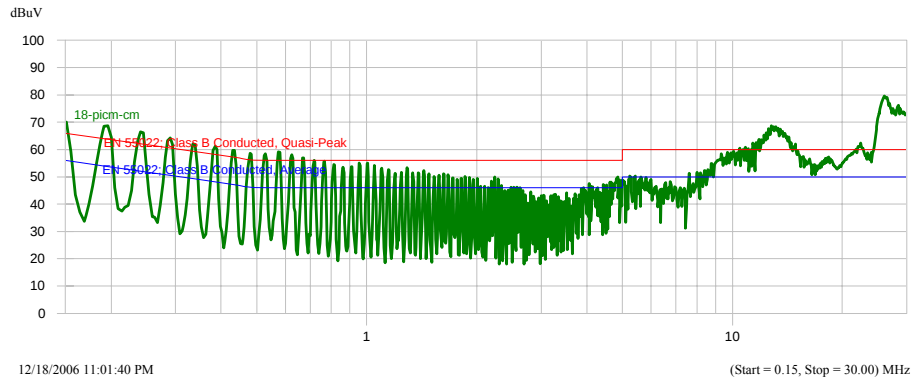
รูปที่ 6.17 จำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ PICM



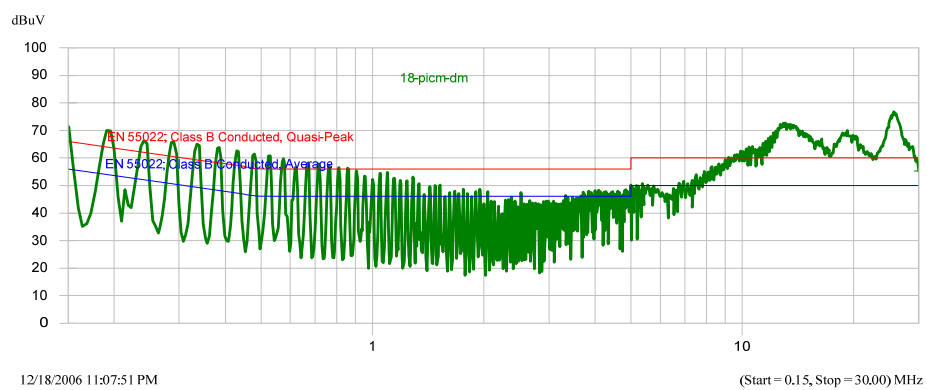
รูปที่ 6.18 อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ PICM



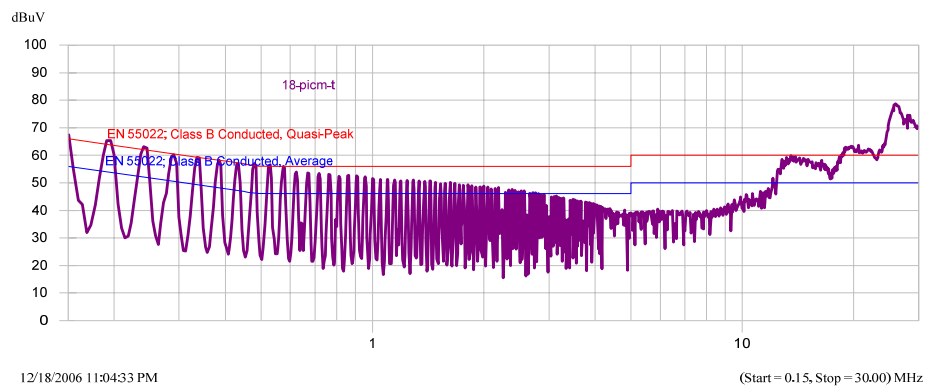
รูปที่ 6.19 อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่มีความถี่ต่างๆ



(ก) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวม



(ข) สัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง



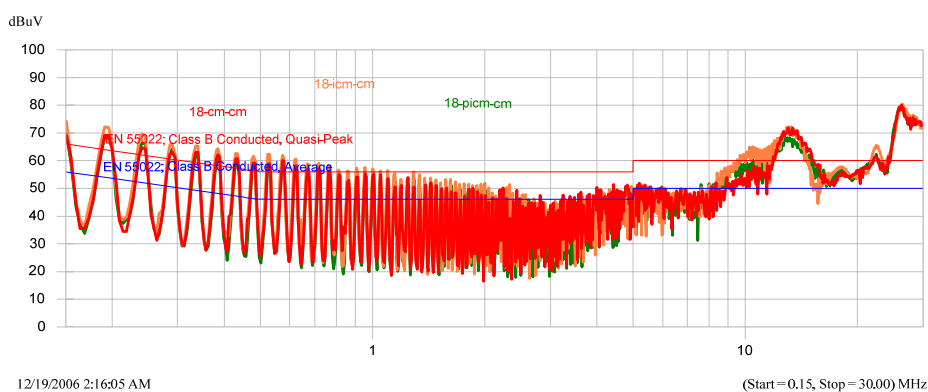
(ค) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวม

รูปที่ 6.20 ผลการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ PICM

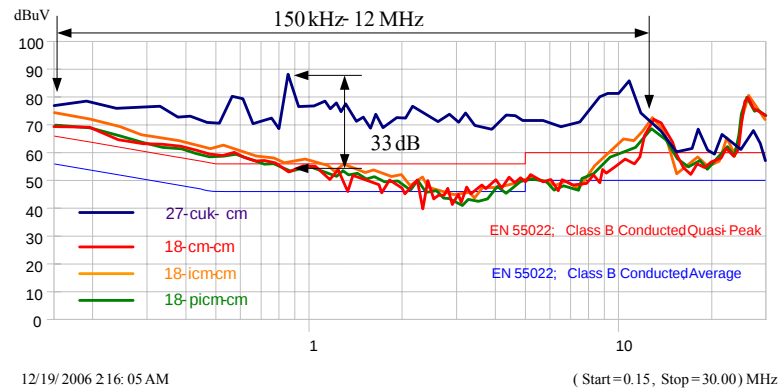
จากรูปที่ 6.20 จะแสดงผลการทดสอบวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ขณะที่มีกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ PICM โดยรูปที่ 6.20 (ก) ถึง (ค) จะแสดงผลของสัญญาณรบกวนทั้ง 3 โหมดการทำงาน

4. การเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในเงื่อนไขการทดลองที่ 1

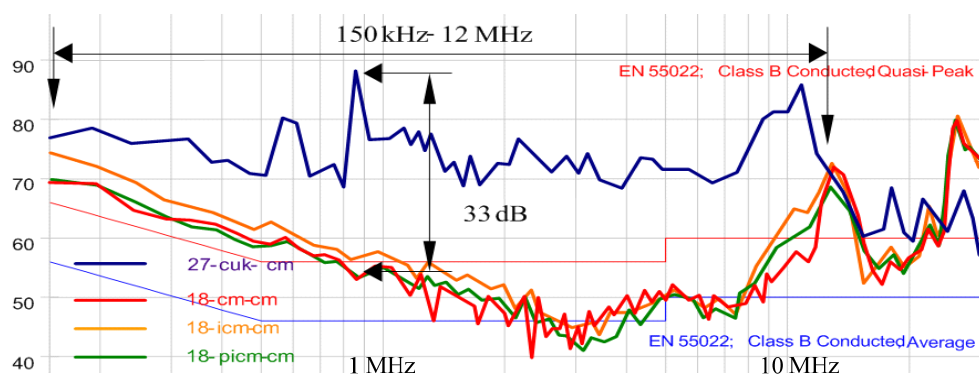
ในหัวข้อนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลการทดสอบการทำงานของวงจรชุดคอนเวอร์เตอร์
ขณะที่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน และจากรูปที่ 6.21 จะแสดงสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม
ของการพันทั้ง 3 แบบ และจะทำการพล็อตค่าสูงสุดของสัญญาณรบกวนของการพันทั้ง 3 แบบ
ดังแสดงในรูปที่ 6.22 และจะทำการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3
แบบ กับสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมขณะที่ไม่มีวงจรกรอง ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณรบกวนโหมด
ผลรวมขณะที่ไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวนจะมีระดับสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่สูงมาก
และสูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐานกำหนด และเมื่อใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน จะเห็นว่าระดับ
สัญญาณรบกวนโหมดผลรวมจะมีค่าลดลงตลอดทั้งย่านการทำงานและในย่านความถี่ 150 kHz-
12 MHz สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มาก และที่จุดเปลี่ยนความถี่โหมดผลรวม ที่ความถี่
821 kHz สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมได้สูงสุด เท่ากับ 33 dB จากวงจรกรอง
สัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ PICM



รูปที่ 6.21 สัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ



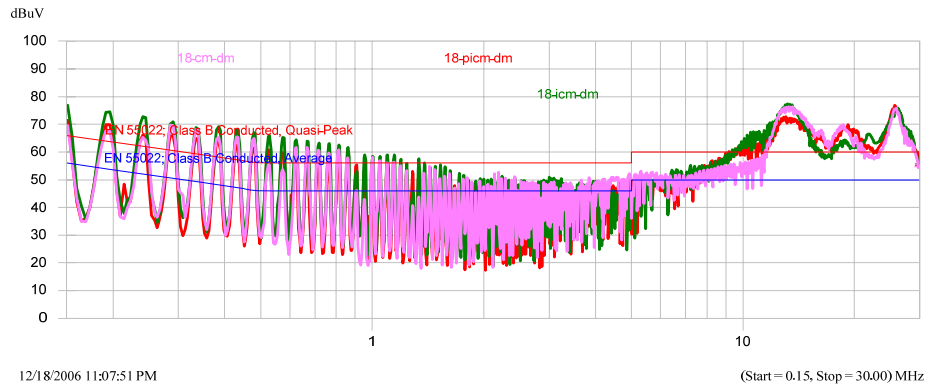
(ก) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ



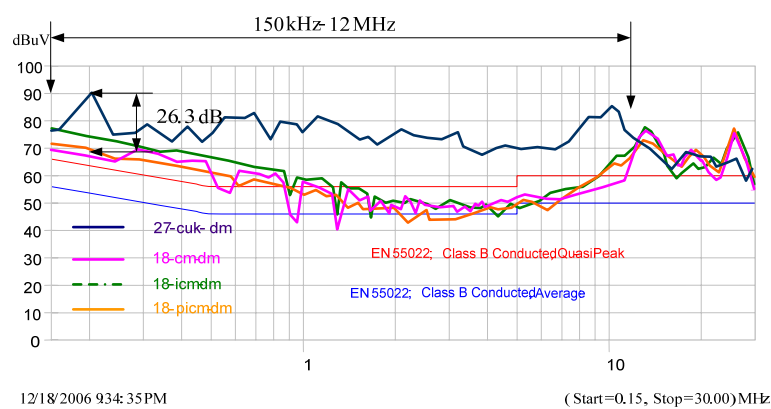
(ข) ขยายสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ

รูปที่ 6.22 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม

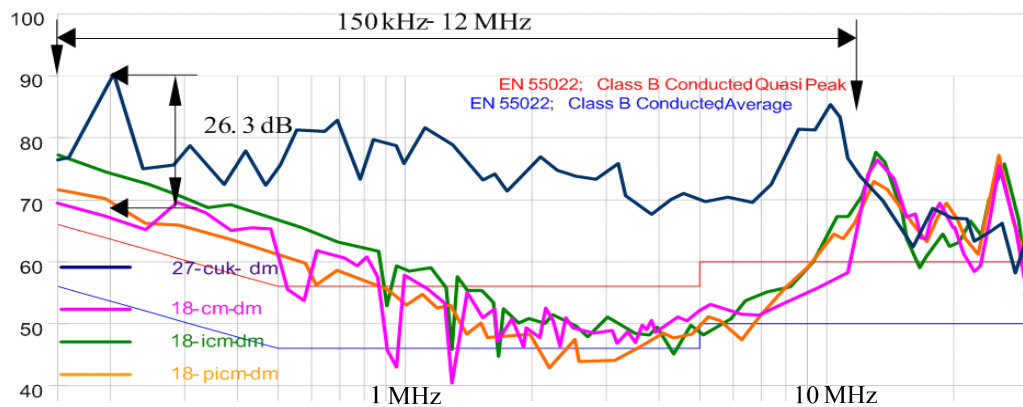
จากรูปที่ 6.23 จะแสดงสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบ และจากรูป จะทำการพล็อตค่าสูงสุดของสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างดังแสดงในรูปที่ 6.24 จะทำการ เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบ กับสัญญาณรบกวนโหมด ผลต่างขณะที่ไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน จะเห็นว่าสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างขณะที่ไม่มี วงจรกรองสัญญาณรบกวนจะมีระดับสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างที่สูงมาก และสูงกว่าเส้น ขีดจำกัดมาตรฐานกำหนด และเมื่อใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนแล้ว ระดับสัญญาณรบกวน โหมดผลต่างจะมีค่าลดลงเกือบตลอดทั้งย่านการทำงาน และในย่านความถี่ 150 kHz-12 MHz สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มาก และที่จุดเปลี่ยนความถี่โหมดผลต่าง ที่ความถี่ 224 kHz สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างได้เท่ากับ 26.3 dB จากวงจรกรองสัญญาณ รบกวนที่มีการพันแบบ CM



รูปที่ 6.23 สัญญาณรบกวนโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบ



(ก) สัญญาณรบกวนโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบ

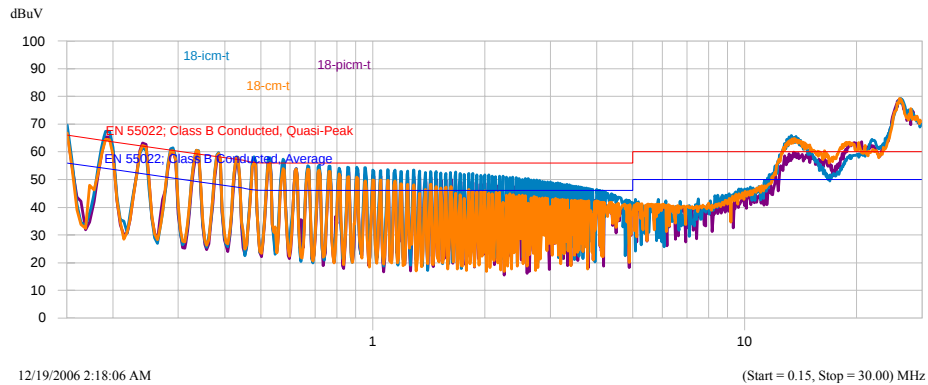


(ข) ขยายสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบ

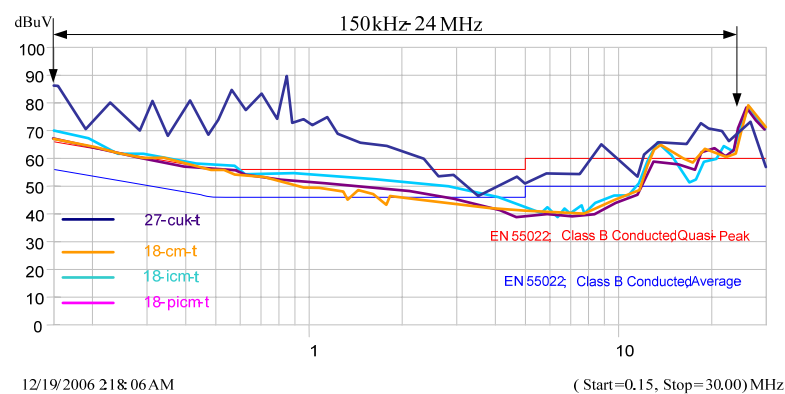
รูปที่ 6.24 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง

จากรูปที่ 6.25 จะแสดงสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ และจากรูป จะทำการพล็อตค่าสูงสุดของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมดังแสดงในรูปที่ 6.26 จะทำการ เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ กับสัญญาณรบกวนโหมด ผลรวมขณะที่ไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน จะเห็นว่าสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมขณะที่ไม่มี

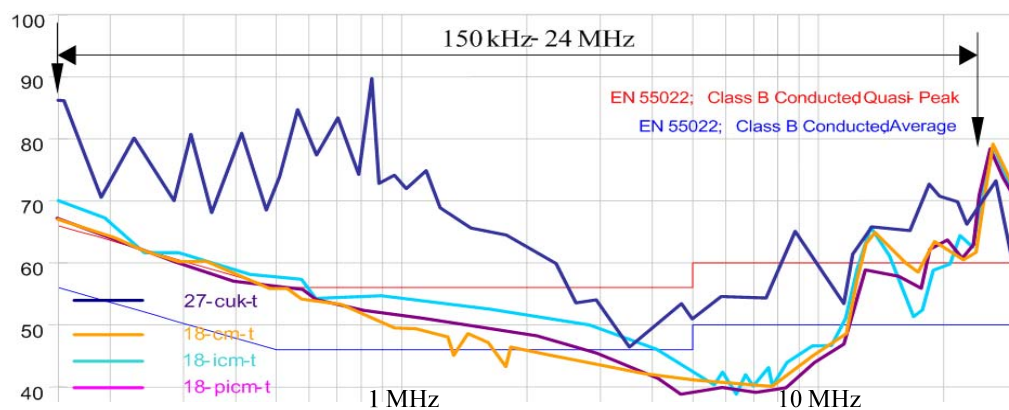
วงจรกรองสัญญาณรบกวนจะมีระดับสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่สูงมาก และเมื่อใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนแล้ว ระดับสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม นั้นมีค่าลดลงตลอดทั้งย่านความถี่ 150 kHz- 30 MHz



รูปที่ 6.25 สัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ



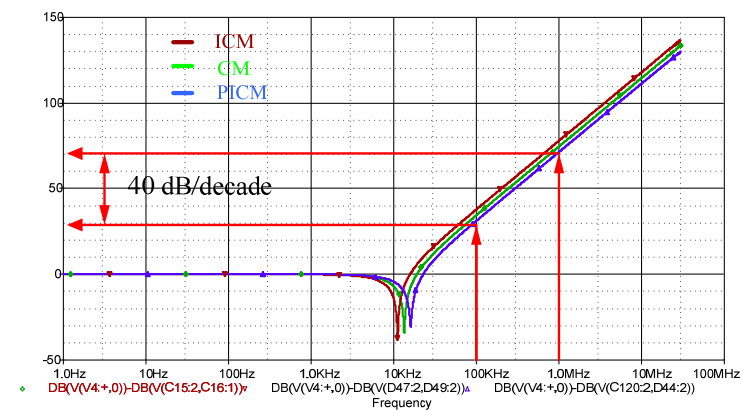
(ก) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ



(ข) ขยายสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม

รูปที่ 6.26 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม

จากรูปที่ 6.27 จะแสดงการเปรียบเทียบอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนทั้ง 3 แบบการจำลอง และจากรูปจะมีความชันเท่ากันทั้ง 3 แบบการจำลอง



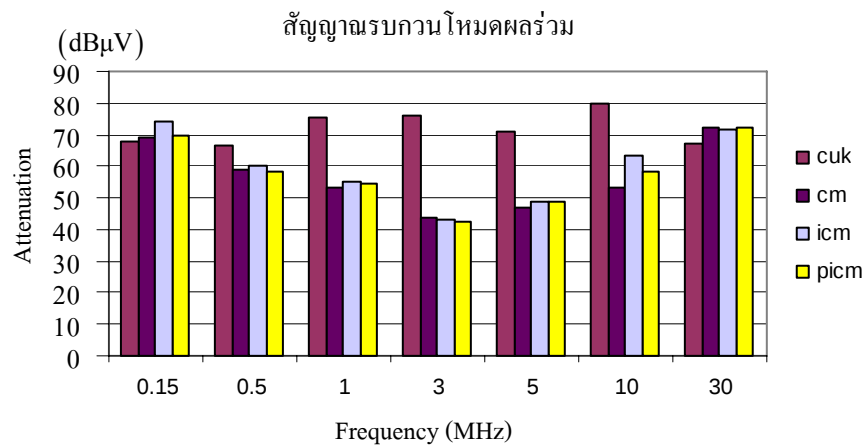
รูปที่ 6.27 อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนทั้ง 3 แบบการจำลอง

ตารางที่ 6.1 ผลการทดสอบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดต่างๆ ในเงื่อนไขการทดสอบที่ 1

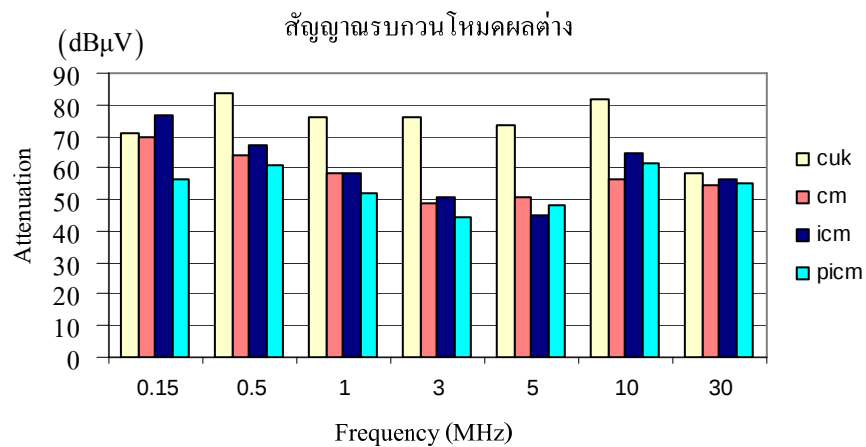
รูปแบบการพัน	การวัดสัญญาณรบกวน (dB)	ความถี่ (MHz)						
		0.15	0.5	1	3	5	10	30
Cuk converter (without filter)	CM	67.6	66.5	75.7	75.9	71.3	80.0	66.9
	DM	70.9	83.4	76.0	76.1	73.5	81.8	58.4
	Total	70.9	55.0	73.0	45.2	46.2	59.4	56.7
การพันแบบ CM	CM	69.1	59.2	53.3	44.0	47.0	53.5	72.0
	DM	69.5	64.1	58.1	49.1	51.0	56.4	54.3
	Total	66.8	54.9	47.0	40.2	37.7	44.3	70.8
การพันแบบ ICM	CM	74.2	60.4	55.1	43.0	48.5	63.2	71.4
	DM	76.8	67.0	58.4	50.9	45.1	63.2	71.4
	Total	69.6	56.7	53.4	48.8	42.8	44.6	69.0
การพันแบบ PICM	CM	70.0	58.6	54.8	42.6	48.9	58.0	72.0
	DM	56.5	60.7	52.5	44.4	47.9	61.5	55.2
	Total	67.5	56.9	51.5	41.8	38.8	43.6	69.6

จากตารางที่ 6.1 จะแสดงผลการทดสอบวงจรชุดคอนเวอร์เตอร์ขณะที่มีวงจรกรองกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน ในเงื่อนไขการทดสอบที่ 1 ซึ่งจะแสดงผลของสัญญาณรบกวนทั้ง 3 โหมด คือ โหมดผลรวม โหมดผลต่าง และโหมดผลรวม และจากตารางจะแสดงค่าสัญญาณ

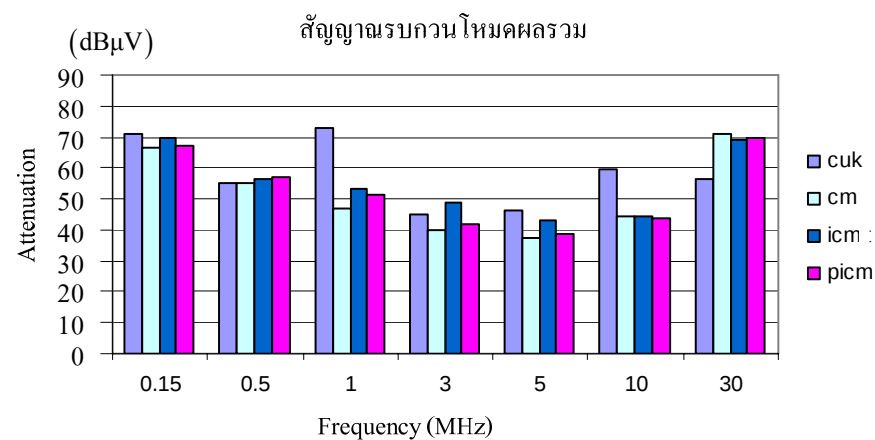
รบกวนที่ความถี่ต่างๆ และสามารถพล็อตกราฟได้ดังในรูปที่ 6.28 - 6.30 จะแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดการทำงานต่างๆ ขณะมีวงจรกรองกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน



รูปที่ 6.28 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมขณะมีวงจรกรองกับไม่มีวงจรกรอง



รูปที่ 6.29 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างขณะมีวงจรกรองกับไม่มีวงจรกรอง



รูปที่ 6.30 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมขณะมีวงจรกรองกับไม่มีวงจรกรอง

จากรูปที่ 6.28 จะเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมขณะมีวงจรกรองสัญญาณรบกวนกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน และจากการทดสอบพบว่าวงจรกรองสัญญาณรบกวนทั้ง 3 แบบสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากในย่านความถี่ 1 MHz – 10 MHz ประมาณ 20 dB และจากรูปที่ 6.29 จะเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างขณะมีวงจรกรองสัญญาณรบกวนกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน และผลจากการทดสอบแล้วพบว่าที่ความถี่ 500 kHz – 10 MHz จะสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากถึง 31.7 dB สำหรับการพันแบบ PICM

จากรูปที่ 6.30 จะเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมขณะมีวงจรกรองสัญญาณรบกวนกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน และผลจากการทดสอบพบว่าที่ความถี่ 1 MHz จะสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากถึง 26 dB สำหรับการพันแบบ CM และน้อยที่สุด 19.6 dB สำหรับการพันแบบ ICM

ตารางที่ 6.2 ผลการจำลองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดต่างๆ ในเงื่อนไขการทดสอบที่ 1

รูปแบบการพัน	การวัดสัญญาณรบกวน (dB)	ความถี่ (MHz)						
		0.15	0.5	1	3	5	10	30
การพันแบบ CM	Total	41	62	74	93	102	114	134
การพันแบบ ICM	Total	45	65	77	97	105	117	136
การพันแบบ PICM	Total	38	59	71	90	99	111	130

จากตารางที่ 6.2 จะแสดงผลการจำลองการทำงานของวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ขณะที่มีวงจรกรองกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน ในเงื่อนไขการทดสอบที่ 1 ซึ่งจะแสดงผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่ความถี่ต่างๆ และจากการจำลองจะพบว่าวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ ICM สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมได้ดีที่สุด

5. เปรียบเทียบอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่จุดเปลี่ยนความถี่

จากตารางที่ 6.3 จะแสดงผลการทดสอบวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าขณะที่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวนกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน และจากตารางจะเป็นการเปรียบเทียบผลการวัดที่จุดเปลี่ยนความถี่ จะเห็นว่าที่จุดเปลี่ยนความถี่โหมดผลรวมขณะไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน จะมีระดับสัญญาณรบกวนเท่ากับ 87.5 dB และเมื่อใส่วงจรกรองสัญญาณ

รบกวนของการพันทั้ง 3 แบบแล้ว พบว่าวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ PICM จะสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมคผลร่วมได้มากที่สุด เท่ากับ 33 dB

เมื่อพิจารณาจุดเปลี่ยนความถี่โหมคผลต่าง ขณะไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน จะที่มีระดับสัญญาณรบกวนเท่ากับ 90.5 dB และเมื่อใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนของการพันทั้ง 3 แบบแล้ว พบว่าวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ CM จะสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมคผลต่างได้มากที่สุด เท่ากับ 26.3 dB

ตารางที่ 6.3 อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่จุดเปลี่ยนความถี่ของการพันทั้ง 3 แบบ

รูปแบบการพัน	โหมคการวัด	จุดเปลี่ยนความถี่ (MHz)	สัญญาณรบกวน (dB)	ความสามารถในการลดทอน (dB)
Cuk converter (without filter)	CM	0.821	87.5	-
	DM	0.224	90.5	-
การพันแบบ CM	CM	0.821	54.8	32.7
	DM	0.224	64.2	26.3
การพันแบบ ICM	CM	0.821	56.0	31.5
	DM	0.224	72.8	17.7
การพันแบบ PICM	CM	0.821	54.5	33
	DM	0.224	66.1	24.4

ตารางที่ 6.4 เปรียบเทียบผลการทำสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนทั้ง 3 แบบ

รูปแบบการพัน	เงื่อนไขที่ 1 ที่จุดเปลี่ยนความถี่		
	โหมคการทำงาน (dB)	CM	DM
	ความถี่ (MHz)	0.821	0.224
แบบ CM	คำนวณ	56	64
	ทดสอบ	54.8	64.2
	IL(dB)	1.8	0.2
แบบ ICM	คำนวณ	56	64
	ทดสอบ	56.0	72.8
	IL(dB)	0	-13.2
แบบ PICM	คำนวณ	56	64
	ทดสอบ	54.5	66.1
	IL(dB)	1.5	2.1

จากตารางที่ 6.4 จะเป็นการเปรียบเทียบผลการทำสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนทั้ง 3 แบบ โดยจะเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณกับการทดสอบ และจากตารางการทดสอบจะเห็นว่าวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ ICM จะมีความสามารถในการกรองสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าประมาณ 13.2 dB และเมื่อพิจารณาที่โหมดผลรวมจะเห็นว่าจากการทดสอบการพันแบบ CM จะมีความสามารถในการลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าประมาณ 1.8 dB

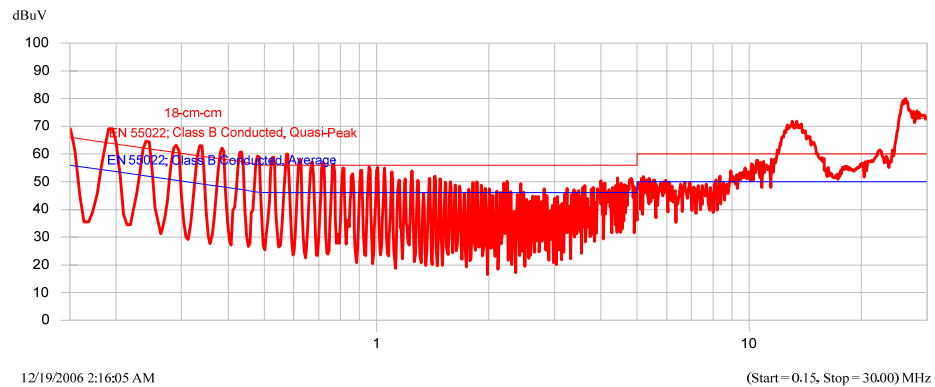
❖ สรุปผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบในเงื่อนไขที่ 1

- ผลการทดสอบเงื่อนไขที่ 1 ที่ว่าการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่จุดเปลี่ยนความถี่เดียวกัน สามารถสรุปได้ว่าเมื่อพิจารณาโหมดผลรวม ที่จุดเปลี่ยนความถี่ที่ความถี่ 821 kHz การพันแบบ PICM จะสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากที่สุด ถึง 33 dB และเมื่อพิจารณาโหมดผลต่าง ที่จุดเปลี่ยนความถี่ที่ความถี่ 224 kHz การพันแบบ CM จะสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากที่สุด ถึง 32.7 dB
- จากการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีรูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่างที่แตกต่างกัน จะมีความสามารถในการลดทอนสัญญาณรบกวนในโหมดผลรวม โหมดผลต่าง และโหมดผลรวม ได้ใกล้เคียงกัน เนื่องจากการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนจะออกแบบที่จุดเปลี่ยนความถี่เดียวกัน
- จากการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนทั้ง 3 แบบ จะเห็นว่าที่ความถี่สูงตั้งแต่ 10 MHz - 30 MHz ยังมีผลของสัญญาณรบกวนที่สูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐานกำหนด เป็นผลมาจากค่าพารามิเตอร์แฝงของวงจรหรือ เป็นผลมาจากการวางตัวอุปกรณ์
- จากการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนทั้ง 3 แบบ จะเห็นว่าค่าความชันและอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมจะมีค่าเท่ากัน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองยังมีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากจำลองการทำงานยังไม่ได้รวมผลของค่าพารามิเตอร์แฝงของวงจรกรองสัญญาณรบกวน และวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ที่นำมาทำการทดสอบ

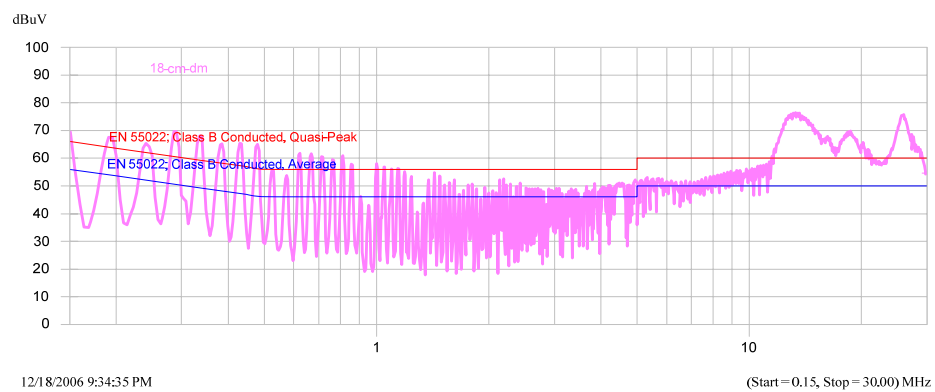
6.1.3.2 การทดสอบที่ 2: กำหนดค่ากระแสรั่วไหลสูงสุด ($C_T = 3300 \text{ pF}$)

จากหัวข้อที่ 5.3.3 ในการทดสอบเงื่อนไขที่ 2 นี้ จะทำการทดสอบเพื่อดูผลของตัวเหนี่ยวนำ L_{CM} ที่มีค่าเหนี่ยวนำและรูปแบบการพันที่แตกต่างกันว่าจะมีผลอย่างไรต่อการทำงานในโหมดผลรวม ดังนั้น เงื่อนไขในการทดสอบนี้จึงกำหนดให้ตัวเก็บประจุ C_T มีค่าเก็บประจุสูงสุดที่มาตรฐานยอมรับได้ จะคำนวณได้จากบทที่ 4 และจากการคำนวณจะได้ค่าเก็บประจุ C_T

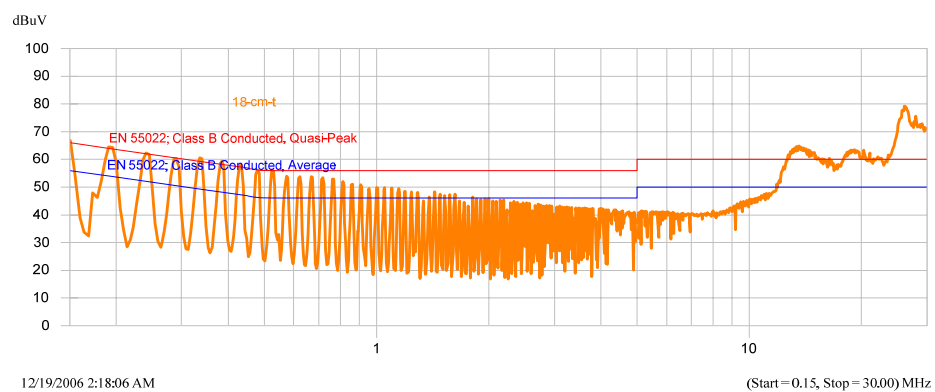
รบกวนโหมดผลรวม ซึ่งจะเห็นว่าที่ความถี่สูงกว่า 10 MHz ยังมีผลของสัญญาณรบกวนที่สูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐาน



(ก) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวม



(ข) สัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง

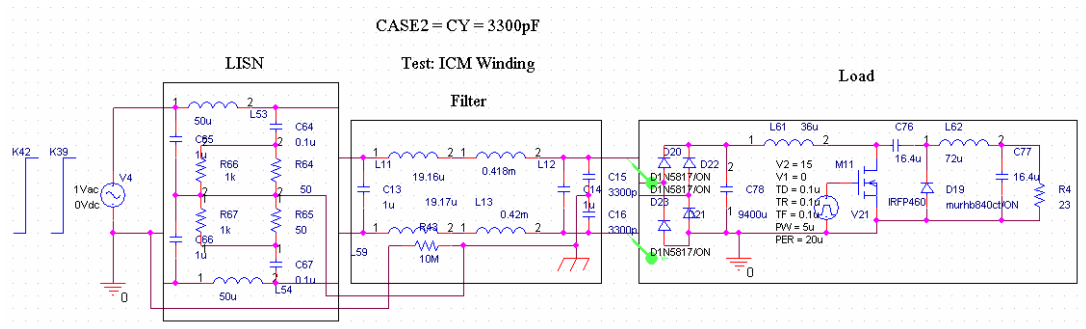


(ค) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวม

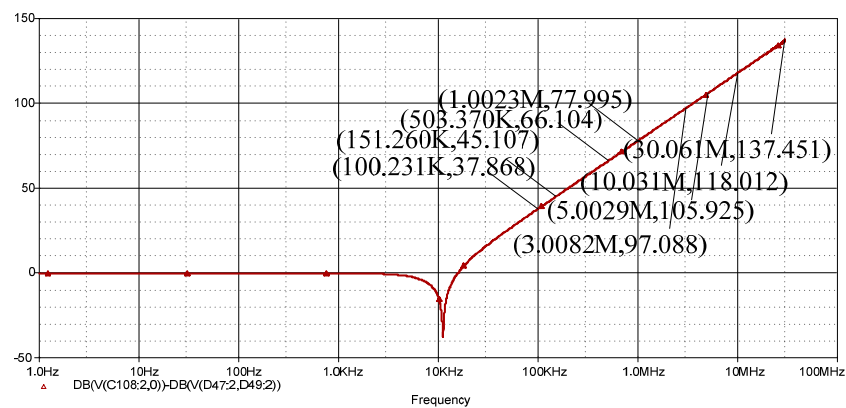
รูปที่ 6.33 ผลการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ CM

2. ผลการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ ICM

จากรูปที่ 6.34 จะแสดงวิธีการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ ICM โดยที่การจำลองนั้นจะเหมือนกับการจำลองแบบ CM แต่ค่าที่ใช้ในการจำลองการทำงานจะมีค่าเท่ากับการทดสอบวัดจริง และผลที่ได้จากการจำลองจะแสดงดังในรูปที่ 6.35 จะแสดงอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่ความถี่ต่างๆ สำหรับการพันแบบ ICM ซึ่งในรูปที่ 6.35 จะมีค่าความชัน จะมีค่าเท่ากับ 40 dB/decade

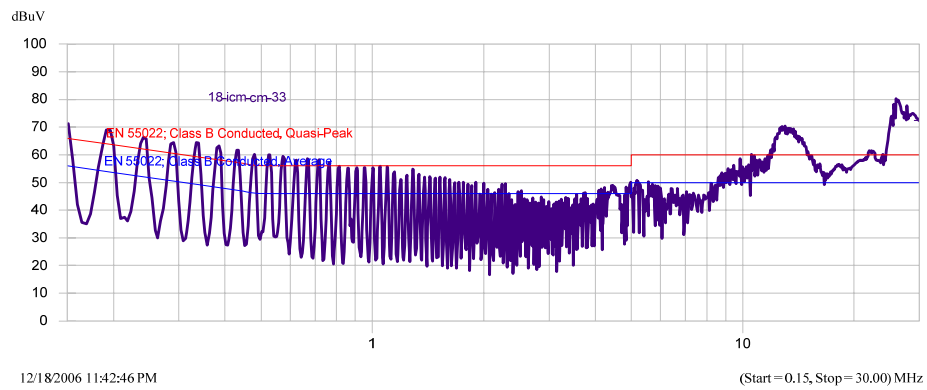


รูปที่ 6.34 จำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ ICM

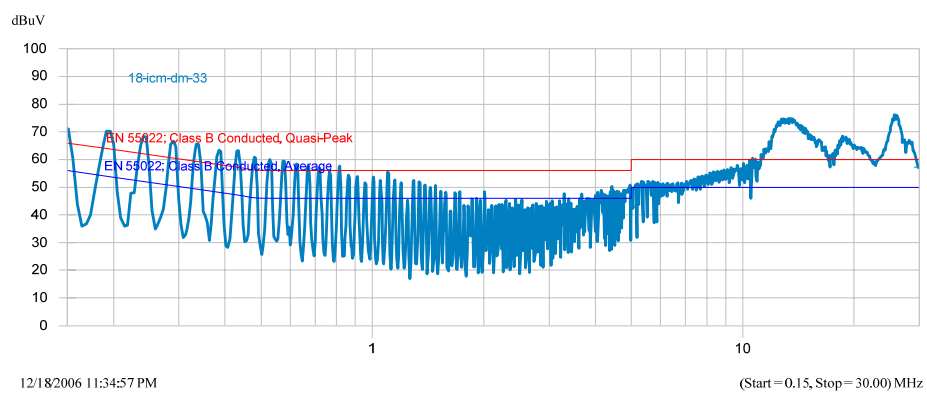


รูปที่ 6.35 อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่ความถี่ต่างๆ

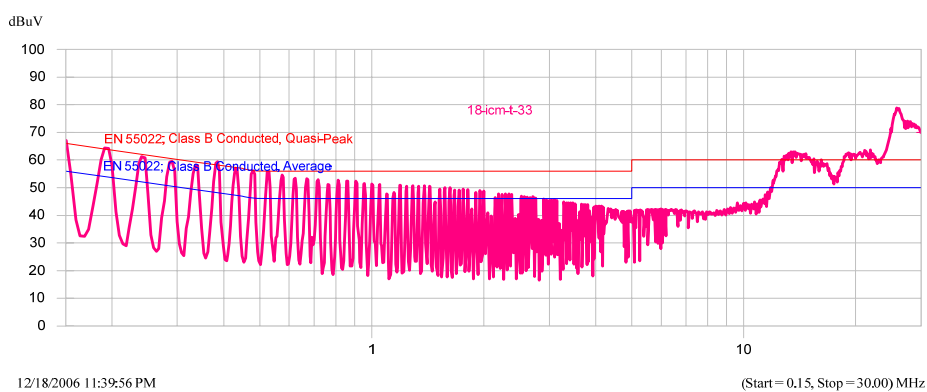
จากรูปที่ 6.36 จะแสดงผลการทดสอบวัดวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ขณะที่มีกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ ICM โดยรูปที่ 6.36 (ก) และ (ข) จะแสดงผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมและผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง และในรูปที่ 6.36 (ค) จะแสดงผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม จะเห็นว่าที่ความถี่ 150 kHz – 800 kHz และที่ความถี่สูงกว่า 10 MHz ยังมีผลของสัญญาณรบกวนที่สูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐาน



(ก) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวม



(ข) สัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง

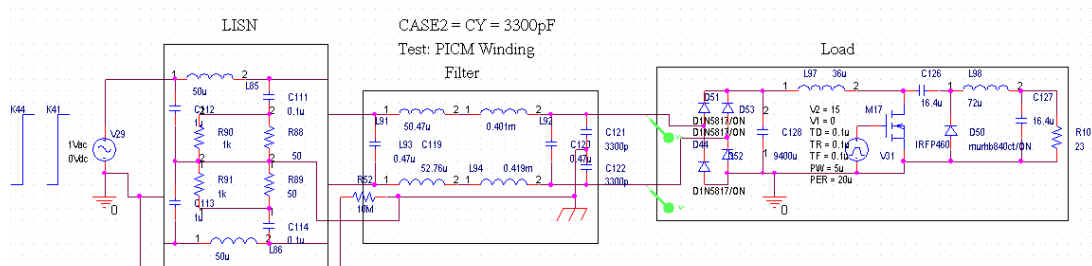


(ค) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวม

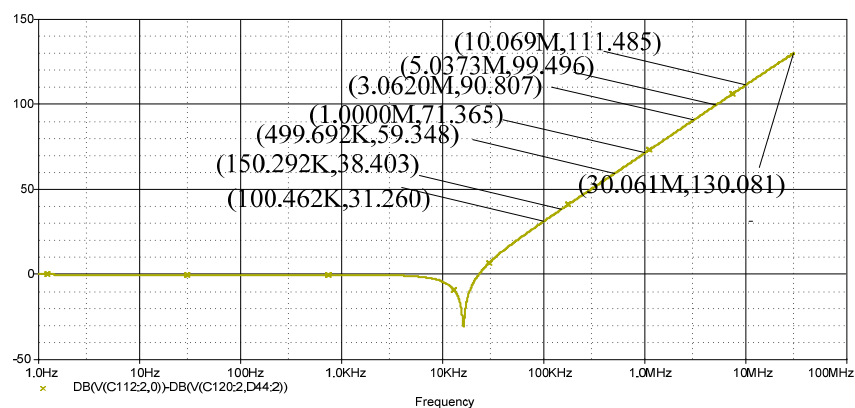
รูปที่ 6.36 ผลการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ ICM

3. ผลการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ PICM

ในรูปที่ 6.37 จะแสดงวิธีการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ PICM โดยที่การจำลองนั้นจะเหมือนกับการจำลองแบบ CM และผลที่ได้จากการจำลองจะแสดงในรูปที่ 6.38 และจากรูปจะแสดงอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่ความถี่ต่างๆ สำหรับการพันแบบ PICM และจากรูปค่าความชันจะมีค่าเท่ากับ 40 dB/decade

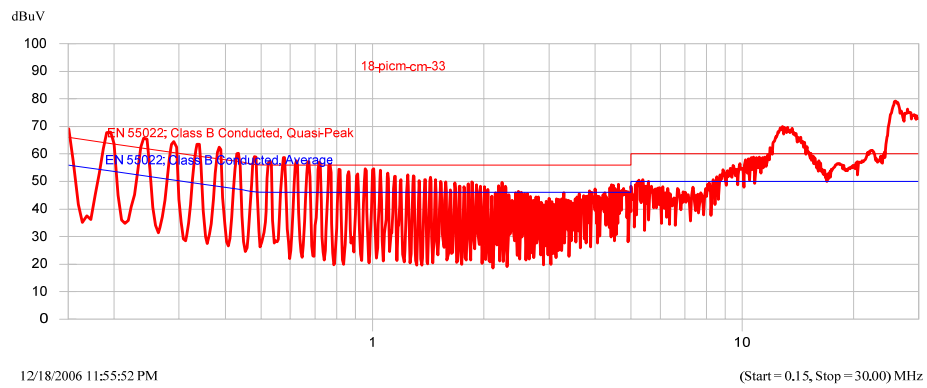


รูปที่ 6.37 จำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่มีการพันแบบ PICM

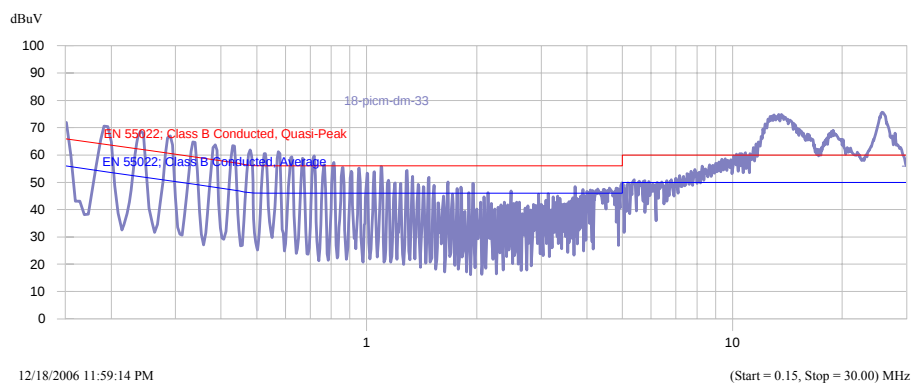


รูปที่ 6.38 อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่ความถี่ต่างๆ

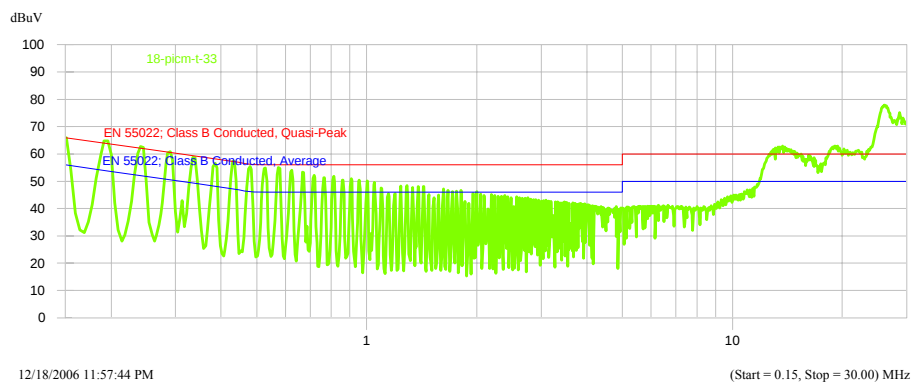
ในรูปที่ 6.39 จะแสดงผลการทดสอบวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ขณะที่มีกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ PICM โดยรูปที่ 6.39 (ก) และ (ข) จะแสดงผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมและผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง และรูปที่ 6.39 (ค) จะแสดงผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม ซึ่งจะเห็นว่าที่ความถี่ 150 kHz – 800 kHz และที่ความถี่สูงกว่า 10 MHz ยังมีผลของสัญญาณรบกวนยังสูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐาน



(ก) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวม



(ข) สัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง

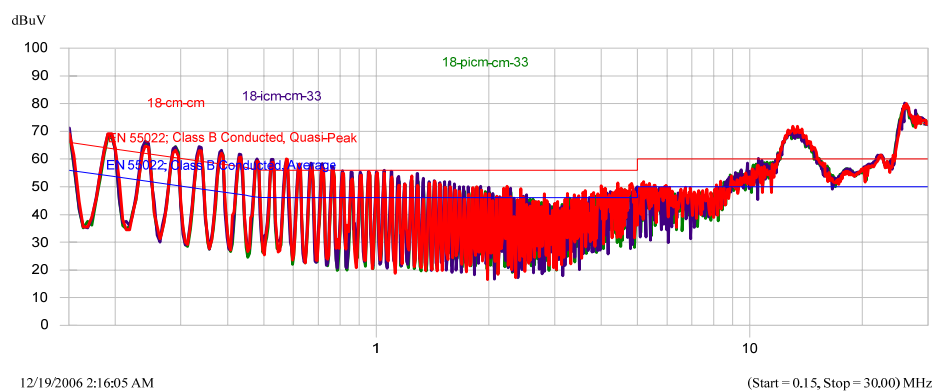


(ค) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวม

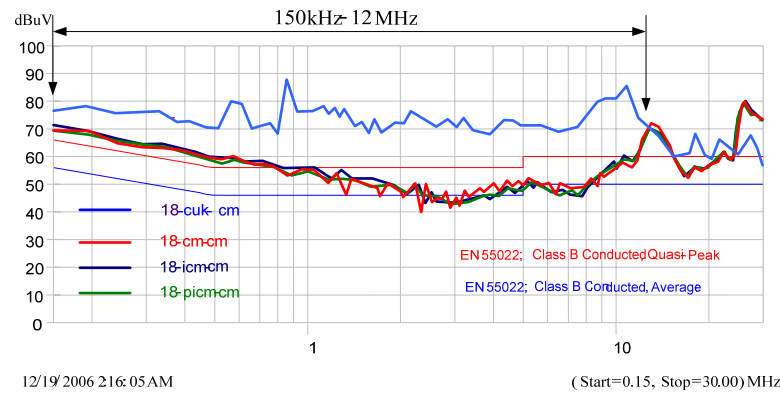
รูปที่ 6.39 ผลการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ PICM

4. การเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในเงื่อนไขการทดลองที่ 2

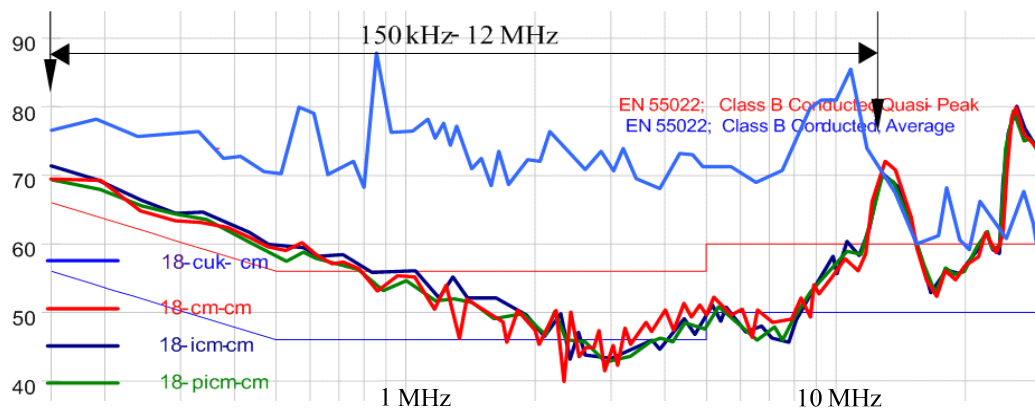
ในหัวข้อนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลการทดสอบการทำงานของวงจรชุดคอนเวอร์เตอร์ ที่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน ในเงื่อนไขการทดลองที่ 2 และจากรูปที่ 6.40 จะแสดงสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ ซึ่งจากรูปเห็นว่า เป็นการยากที่จะอธิบายผลการทดสอบ ดังนั้น จึงทำการพล็อตค่าสูงสุดคั้งของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 6.41 และจากรูปจะเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ กับสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมขณะที่ไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน จะเห็นว่าสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมขณะที่ไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน จะมีระดับสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่สูงมาก และสูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐานกำหนด และเมื่อใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนแล้ว จะเห็นว่าระดับสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมมีค่าลดลงเกือบตลอดทั้งย่านการทำงาน และในย่านความถี่ 150 kHz-12 MHz นั้นสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มาก



รูปที่ 6.40 สัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ

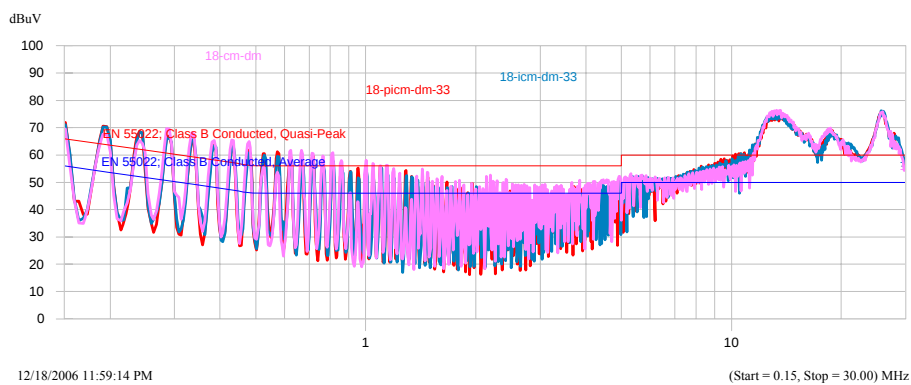


(ก) สัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมของการพันทั้ง 3 แบบ



(ข) ขยายสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมของการพันทั้ง 3 แบบ

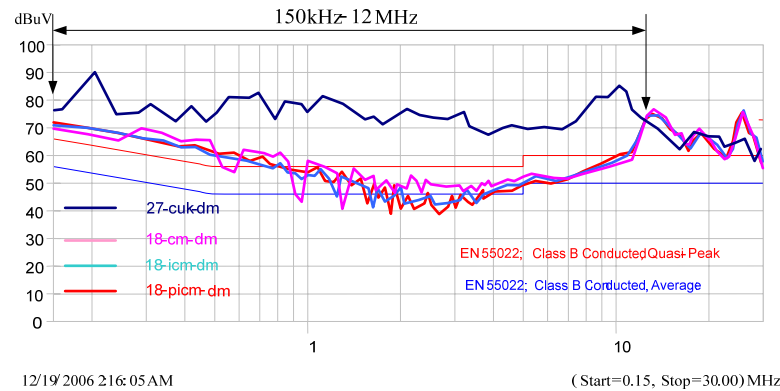
รูปที่ 6.41 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม



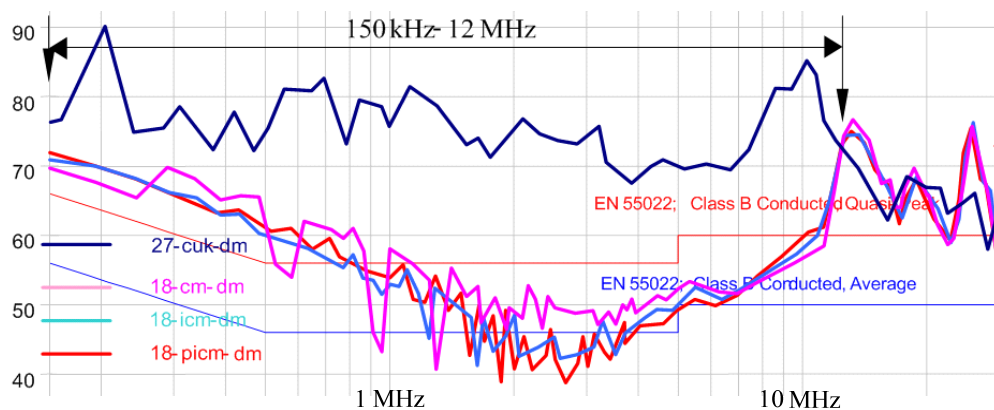
รูปที่ 6.42 สัญญาณรบกวนโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบ

จากรูปที่ 6.42 จะแสดงสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบ และจากรูป จะทำการพล็อตค่าสูงสุดของสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง ดังแสดงในรูปที่ 6.43 จะเป็นการ เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบ กับสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง ขณะที่ไม่มียางกรองสัญญาณรบกวน จะเห็นว่าสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างขณะที่ไม่มียาง กรองสัญญาณรบกวนจะมีระดับสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างที่สูงมาก และสูงกว่าเส้นขีดจำกัด

มาตรฐานกำหนด และเมื่อใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนแล้ว ระดับสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง จะมีค่าลดลงเกือบตลอดทั้งย่านการทำงาน และในย่านความถี่ 150 kHz-12 MHz สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มาก



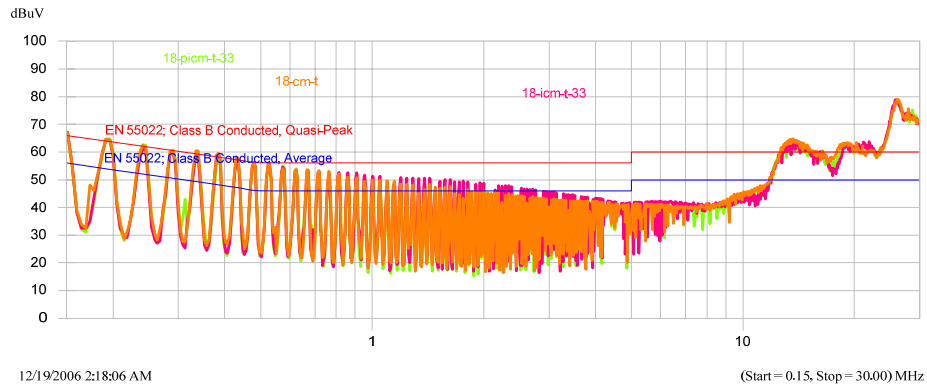
(ก) สัญญาณรบกวนโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบ



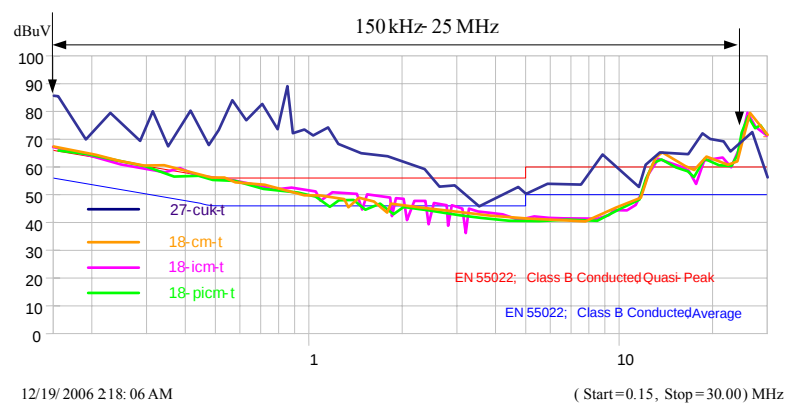
(ข) สัญญาณรบกวนโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบ

รูปที่ 6.43 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง

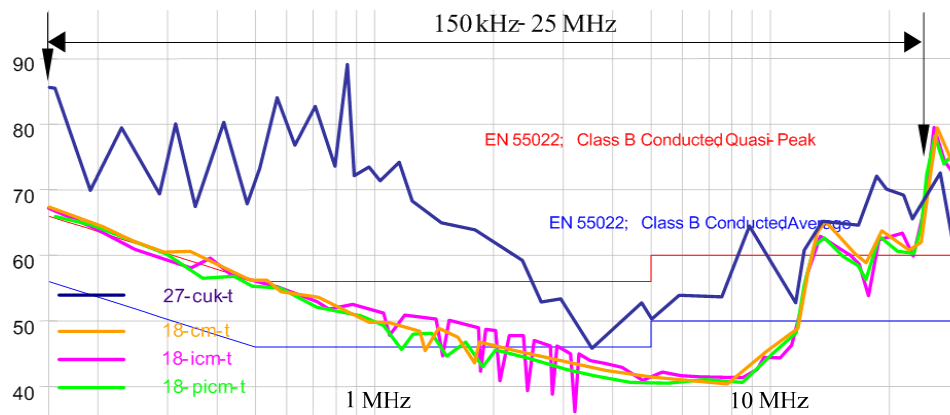
จากรูปที่ 6.44 จะแสดงสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ และจากรูป จะทำการพล็อตค่าสูงสุดของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม ดังแสดงในรูปที่ 6.45 จะเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ กับสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมขณะที่ไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน จะเห็นว่าสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมขณะที่ไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวนจะมีระดับสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่สูง และสูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐานกำหนด แต่เมื่อใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนแล้ว ระดับสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม จะมีค่าลดลงตลอดทั้งย่านความถี่ 150 kHz- 30 MHz และจากรูปที่ 6.42 จะแสดงการเปรียบเทียบอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมทั้ง 3 แบบการจำลอง ซึ่งจะมีค่าความชันเท่ากับ 40 dB/decade ทั้ง 3 แบบการจำลอง



รูปที่ 6.44 สัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ

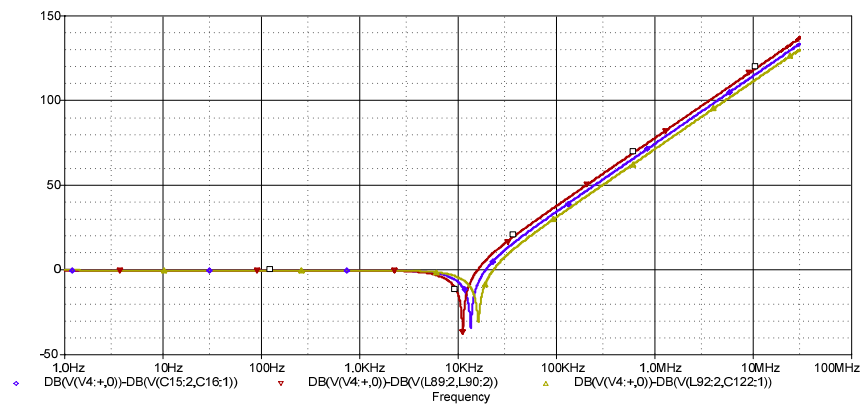


(ก) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ



(ข) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ

รูปที่ 6.45 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม

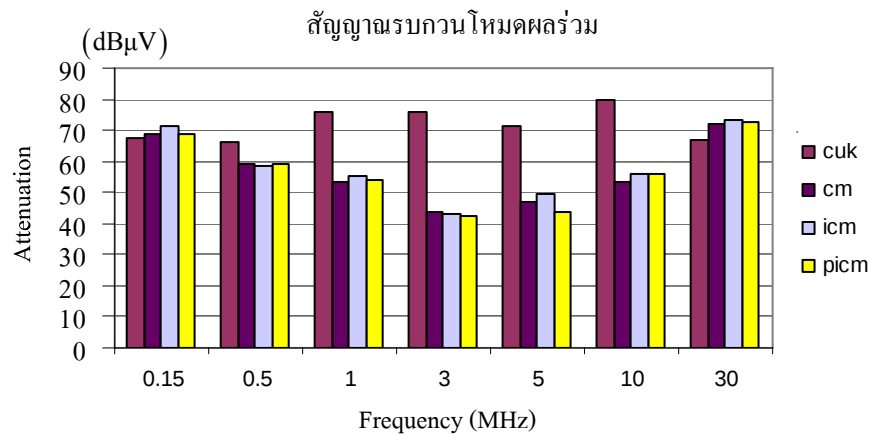


รูปที่ 6.46 อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการจำลองทั้ง 3 แบบ

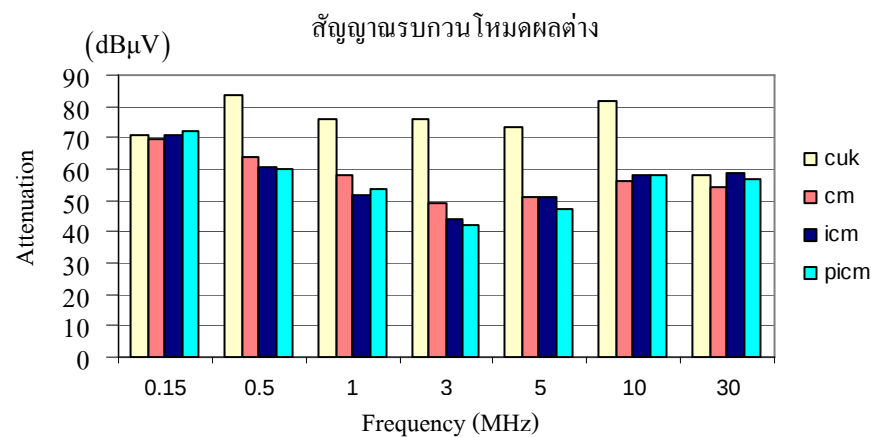
ตารางที่ 6.5 สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปแบบการพันต่างๆ ในเงื่อนไขการทดสอบที่ 2

รูปแบบการพัน	การวัดสัญญาณรบกวน (dB)	ความถี่ (MHz)						
		0.15	0.5	1	3	5	10	30
การพันแบบ CM	CM	69.1	59.2	53.3	44.0	47.0	53.5	72.0
	DM	69.5	64.1	58.1	49.1	51.0	56.4	54.3
	Total	66.8	54.9	47.0	40.2	37.7	44.3	70.8
การพันแบบ ICM	CM	74.2	60.4	55.1	43.0	48.5	63.2	71.4
	DM	76.8	67.0	58.4	50.9	45.1	63.2	71.4
	Total	69.6	56.7	53.4	48.8	42.8	44.6	69.0
การพันแบบ PICM	CM	69.1	59.1	54.2	42.7	43.5	56.0	72.9
	DM	71.9	60.3	53.3	41.9	47.5	58.2	56.6
	Total	70.0	54.5	50.1	42.9	39.8	44.3	70.9

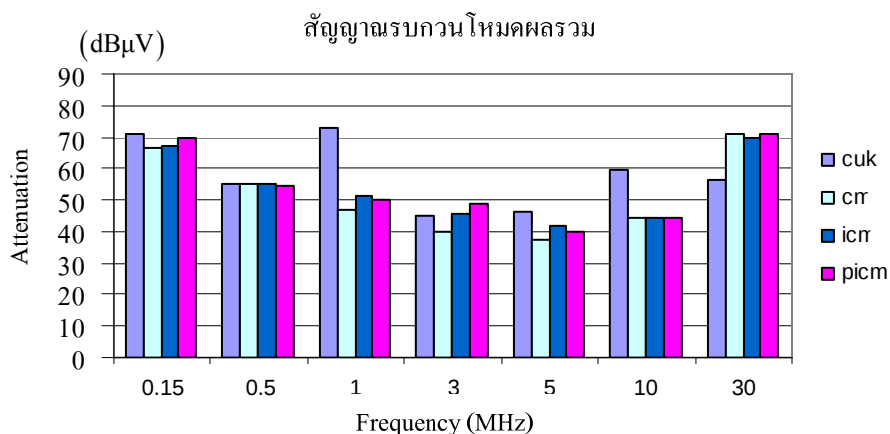
จากตารางที่ 6.5 จะแสดงผลการทดสอบวงจรชุดคอนเวอร์เตอร์ขณะที่มีวงจรกรองกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน ในเงื่อนไขการทดสอบที่ 2 ซึ่งจะแสดงผลการทดสอบของสัญญาณรบกวนของทั้ง 3 โหมด คือ โหมดผลรวม โหมดผลต่าง และโหมดผลรวม และจากตารางจะแสดงค่าสัญญาณรบกวนทั้ง 3 โหมด ที่ความถี่ต่างๆ และสามารถพล็อตกราฟได้ดังในรูปที่ 6.47-6.49 และจากรูปจะเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดต่างๆ ขณะมีวงจรกรองสัญญาณรบกวนกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน



รูปที่ 6.47 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมขณะมีวงจรกรองกับไม่มีวงจรกรอง



รูปที่ 6.48 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างขณะมีวงจรกรองกับไม่มีวงจรกรอง



รูปที่ 6.49 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมขณะมีวงจรกรองกับไม่มีวงจรกรอง

จากรูปที่ 6.47 จะเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมขณะมีวงจรกรองสัญญาณรบกวนกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน และจากการทดสอบ พบว่าวงจรกรองสัญญาณรบกวนของการพันทั้ง 3 แบบ สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากในย่านความถี่

1 MHz – 10 MHz ประมาณ 20 dB และสำหรับการพันแบบ PICM สามารถที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนได้สูงที่สุด 33.2 dB ที่ความถี่ 3 MHz และจากรูปที่ 6.48 จะเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างขณะมีวงจรกรองสัญญาณรบกวนกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน และผลจากการทดสอบแล้วพบว่าที่ความถี่ 500 kHz – 10 MHz จะสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากถึง 34.2 dB สำหรับการพันแบบ PICM

จากรูปที่ 6.49 จะเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมขณะมีวงจรกรองสัญญาณรบกวนกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน และผลจากการทดสอบพบว่าที่ความถี่ 1 MHz และความถี่ 10 MHz จะสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากถึง 26 dB สำหรับการพันแบบ CM

❖ สรุปผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบในเงื่อนไขที่ 2

- ผลการทดสอบเงื่อนไขที่ 2 ที่กำหนดให้ตัวเก็บประจุ C_Y มีค่าเก็บประจุสูงสุดที่มาตรฐานยอมรับได้ คือ 3300 pF และจะทำการทดสอบเพื่อดูผลของตัวเหนี่ยวนำ L_{CM} ที่มีค่าเหนี่ยวนำและรูปแบบการพันที่แตกต่างกันว่าจะมีผลอย่างไรต่อการทำงานในโหมดผลรวมสามารถสรุปได้ว่า การพันแบบ PICM นั้นสามารถที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนได้สูงที่สุด 33.2 dB ที่ความถี่ 3 MHz เนื่องจากค่าเหนี่ยวนำ L_{CM} และผลของตัวเหนี่ยวนำ L_{DM} ที่เกิดจากรูปแบบการพันจะมีค่าเหนี่ยวนำจะมีค่ามากกว่าการพันทั้ง 2 แบบ ดังสมการที่ 4.43 และจากรูปที่ 4.15 ทำให้ การพันแบบ PICM สามารถที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนได้สูง

- เมื่อพิจารณาโหมดผลต่าง ผลจากการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีรูปแบบการพันแบบ PICM สามารถที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนได้สูงที่สุดในย่านความถี่ 500 kHz - 10 MHz

- จากการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนของการพันทั้ง 3 แบบ แม้ว่าที่กำหนดให้ตัวเก็บประจุ C_Y มีค่าเก็บประจุสูงสุดที่มาตรฐานยอมรับได้ จะเห็นว่าที่ความถี่สูงตั้งแต่ 10 MHz - 30 MHz ยังมีผลของสัญญาณรบกวนที่สูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐานกำหนด เป็นผลมาจากค่าพารามิเตอร์แฝงของวงจรหรือ เป็นผลมาจากการวางตัวอุปกรณ์

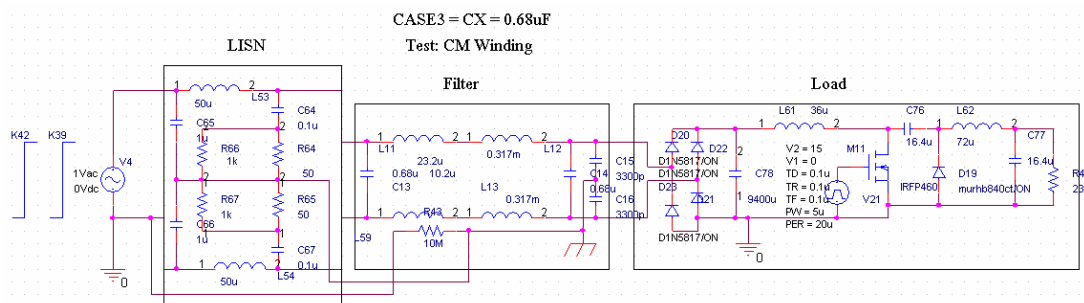
- จากการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมทั้ง 3 แบบ จะเห็นว่าค่าความชันและอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมจะมีค่าเท่ากัน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองยังมีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากในการจำลองการทำงานยังไม่ได้รวมผลของค่าพารามิเตอร์แฝงของวงจรกรองสัญญาณรบกวน และวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ที่นำมาทำการทดสอบ

6.1.3.3 การทดสอบที่ 3: กำหนดค่า C_X ให้มีค่าเท่ากับการออกแบบ ($C_X = 0.68 \mu\text{F}$)

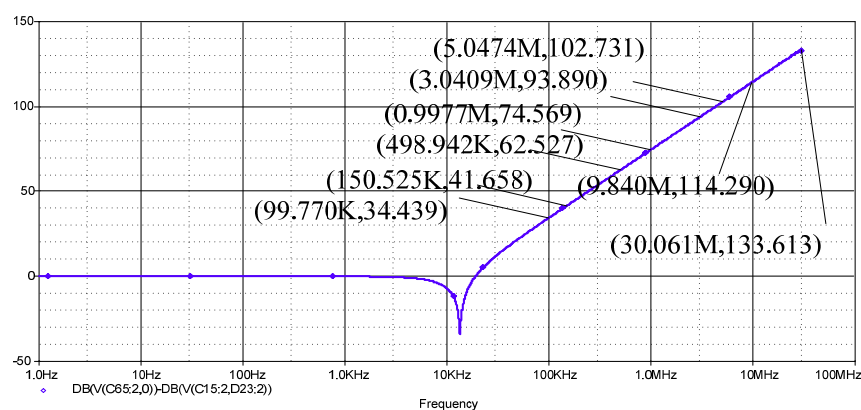
จากหัวข้อที่ 5.3.3 ในการทดสอบเงื่อนไขที่ 3 นี้จะทำการทดสอบเพื่อดูผลของตัวเหนี่ยวนำ L_{DM} ที่มีค่าเหนี่ยวนำแตกต่างกันเนื่องจากรูปแบบการพันนั้น ว่าจะมีผลอย่างไรต่อการทำงานในโหมดผลต่าง ดังนั้นเงื่อนไข ในการทดสอบนี้จึงกำหนดให้ตัวเก็บประจุ C_X มีค่าเก็บประจุเท่ากับการออกแบบในบทที่ 4 และจากการออกแบบจะได้ค่าเก็บประจุ C_X จะมีค่าเท่ากับ $0.68 \mu\text{F}$ และในหัวข้อนี้จะแสดงผลการทดสอบวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ ในเงื่อนไขการทดสอบที่ 3

1. ผลการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ CM

ในรูปที่ 6.50 จะแสดงวิธีการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ CM โดยที่การจำลองจะประกอบด้วย วงจรรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (LISN) และวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ CM ซึ่งในส่วนของตัวเหนี่ยวนำ L_{12} และ L_{13} จะมีลักษณะการทำงานเป็นแบบแกนเหล็กรวมกัน โดยพารามิเตอร์ K42 และ K39 จะแทนคุณลักษณะของแกนเหล็กที่ใช้ในการวิจัย และผลที่ได้จากการจำลองการทำงานจะมีค่าความชันเท่ากับ 40 dB/decade และอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่ความถี่ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 6.51

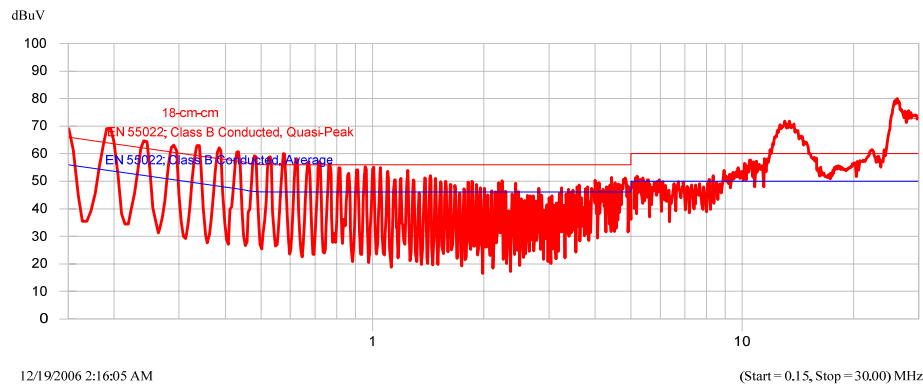


รูปที่ 6.50 จำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่มีการพันแบบ CM

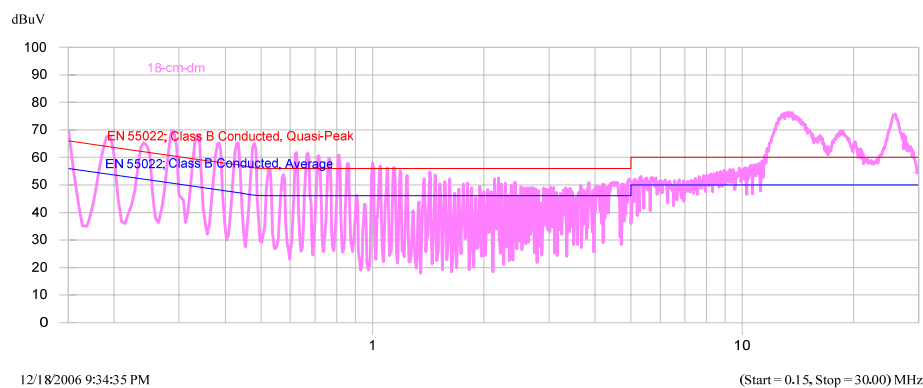


รูปที่ 6.51 อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่ความถี่ต่างๆ

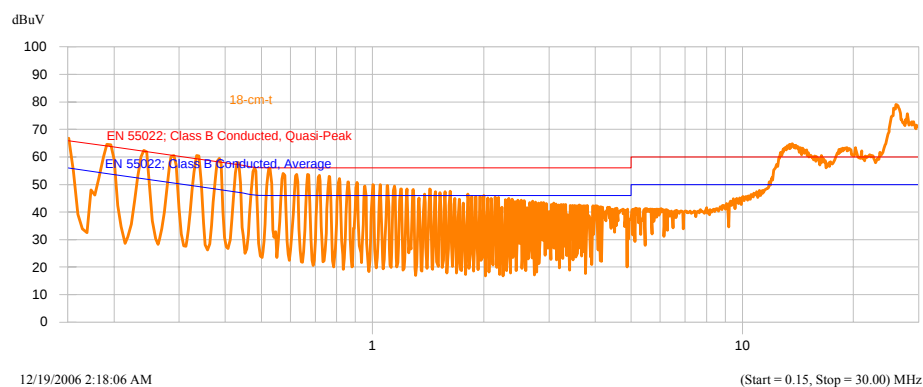
ในรูปที่ 6.52 จะแสดงผลการทดสอบวัดวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ขณะที่มีร่องสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ CM ในเงื่อนไขการทดสอบที่ 3 โดยรูปที่ 6.52 (ก) และ (ข) จะแสดงผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมและผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง จะเห็นว่าที่ความถี่ 150 kHz – 700 kHz และที่ความถี่สูงกว่า 10 MHz ยังมีผลของสัญญาณรบกวนที่สูงกว่าเส้นจำกัดมาตรฐาน และในรูปที่ 6.52 (ค) จะแสดงผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม จะเห็นว่าที่ความถี่สูงกว่า 10 MHz ผลของสัญญาณรบกวนที่สูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐาน



(ก) สัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม



(ข) สัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง

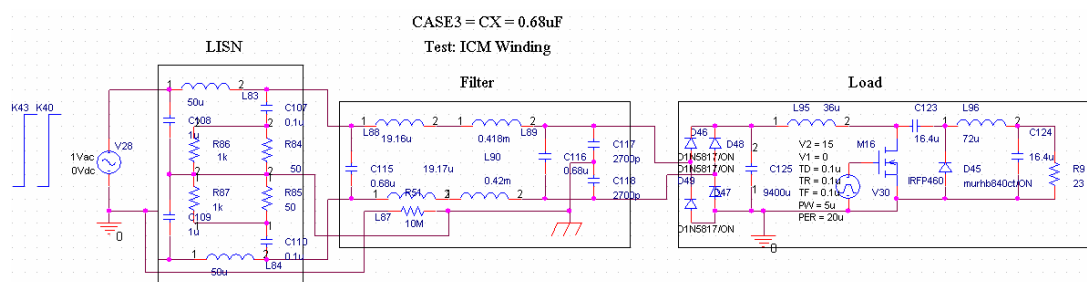


(ค) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวม

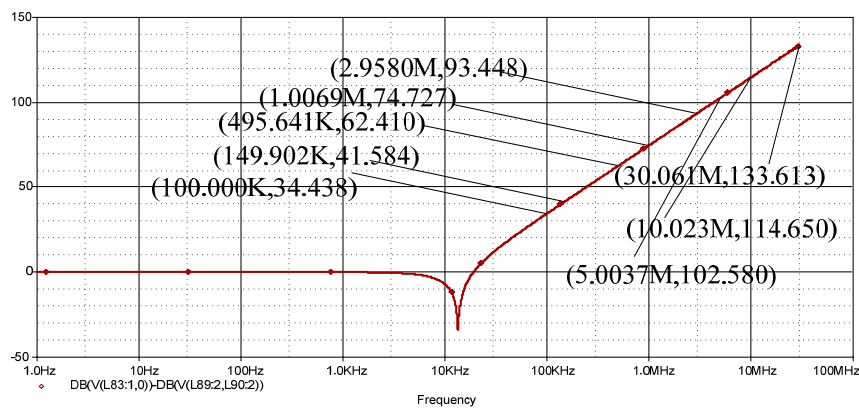
รูปที่ 6.52 ผลการทดสอบวงจรร่องสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ CM

2. ผลการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ ICM

ในรูปที่ 6.53 จะแสดงวิธีการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ ICM โดยที่การจำลองจะประกอบด้วย วงจรรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (LISN) และวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ ICM ซึ่งในส่วนนี้ ตัวเหนี่ยวนำ L89 และ L90 จะมีลักษณะการทำงานเป็นแบบแกนเหล็กรวมกัน โดยพารามิเตอร์ K43 และ K40 จะแทนคุณลักษณะของแกนเหล็กที่ใช้ในการวิจัย และผลที่ได้จากการจำลองการทำงานจะมีค่าความชันเท่ากับ 40 dB/decade และอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่ความถี่ต่างๆดังแสดงในรูปที่ 6.54

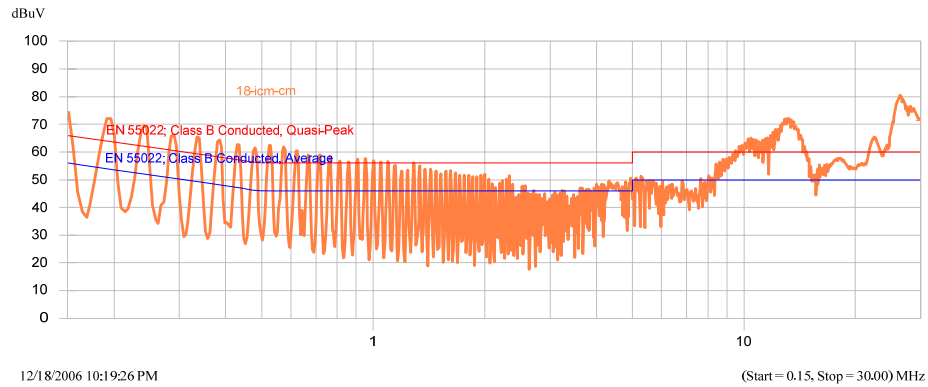


รูปที่ 6.53 จำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่มีการพันแบบ ICM

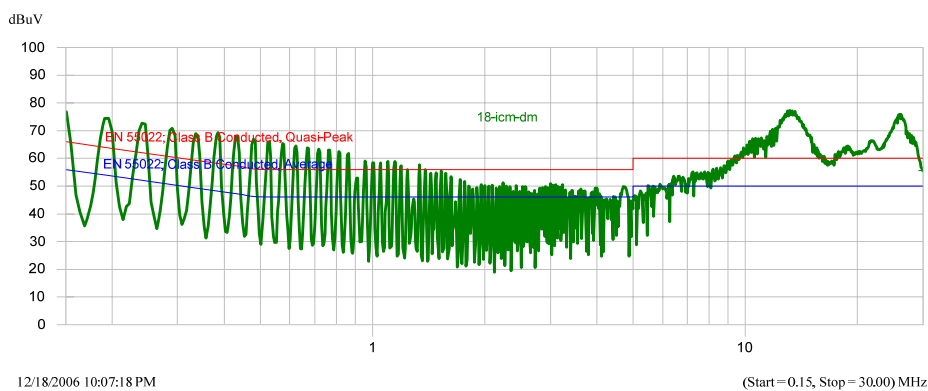


รูปที่ 6.54 อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่ความถี่ต่างๆ

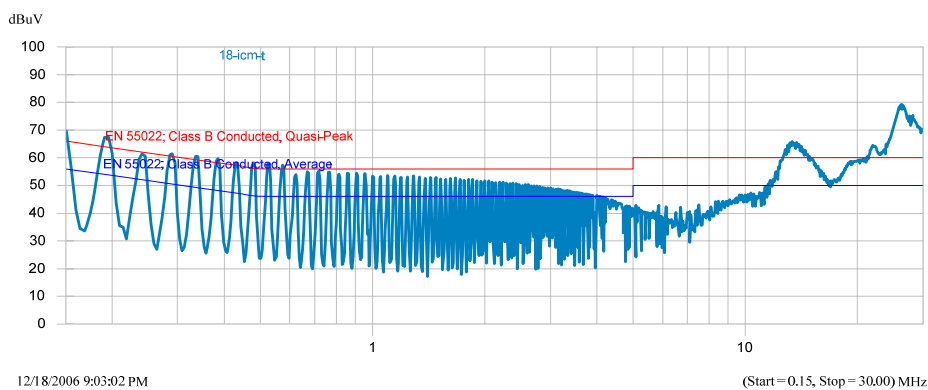
ในรูปที่ 6.55 จะแสดงผลการทดสอบวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ซึ่งขณะที่มีกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ ICM ในเงื่อนไขการทดสอบที่ 3 โดยรูปที่ 6.55 (ก) และ (ข) จะแสดงผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมและผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง จะเห็นว่าที่ความถี่ 150 kHz – 1 MHz และที่ความถี่สูงกว่า 10 MHz ยังมีผลของสัญญาณรบกวนที่สูงกว่าเส้นจำกัดมาตรฐาน และในรูปที่ 6.55 (ค) จะแสดงผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม โดยที่ความถี่สูงกว่า 10 MHz ผลของสัญญาณรบกวนสูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐาน



(ก) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวม



(ข) สัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง



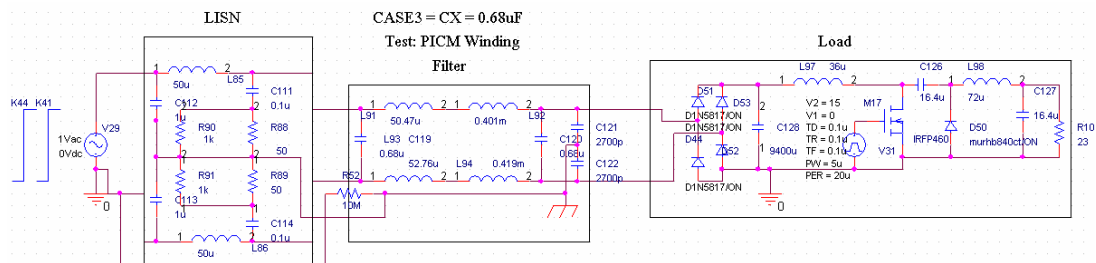
(ค) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวม

รูปที่ 6.55 ผลการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ ICM

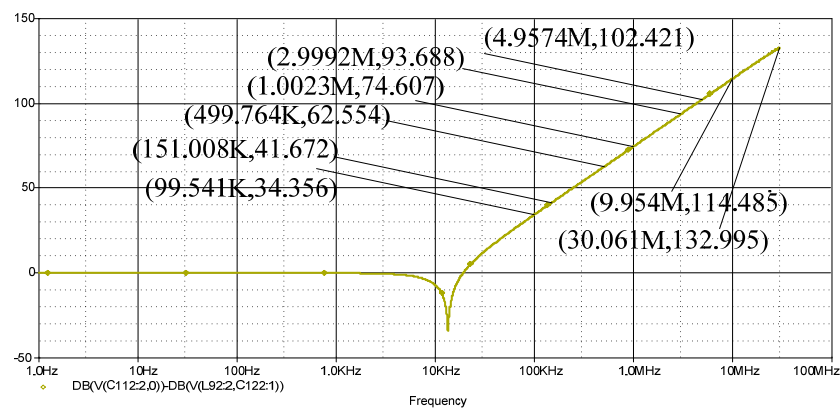
3. ผลการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ PICM

ในรูปที่ 6.56 จะแสดงวิธีการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ ICM โดยที่การจำลองจะประกอบด้วย วงจรรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (LISN) และวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ ICM ซึ่งในส่วนนี้ ตัวเหนี่ยวนำ L92 และ L94 จะมีลักษณะ

การทำงานเป็นแบบแกนเหล็กรวมกัน โดยมีพารามิเตอร์ K44 และ K41 จะมีลักษณะการทำงานเป็นแบบแกนเหล็กรวมกัน และผลที่ได้จากการจำลองการทำงานจะมีค่าความชันเท่ากับ 40 dB/decade และอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่ความถี่ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 6.57

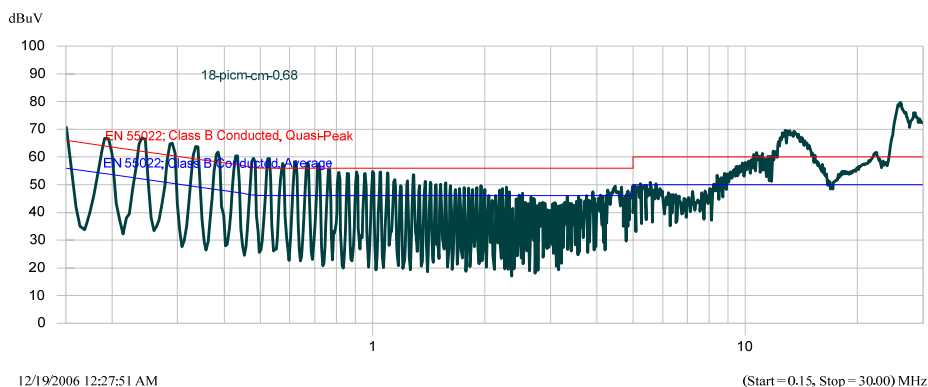


รูปที่ 6.56 จำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ PICM

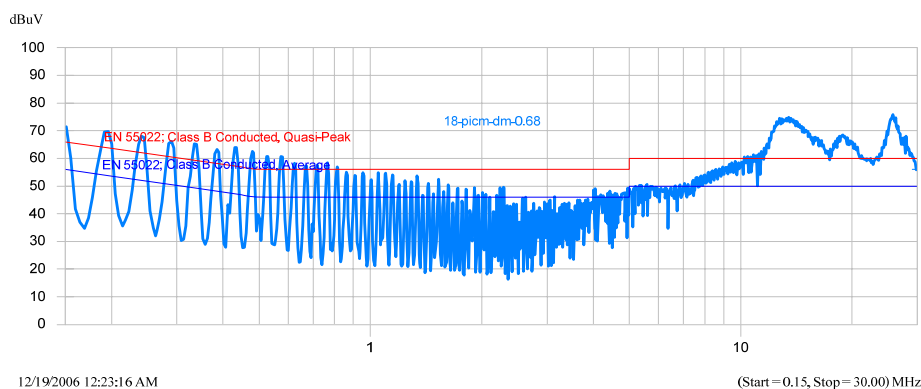


รูปที่ 6.57 อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่ความถี่ต่างๆ

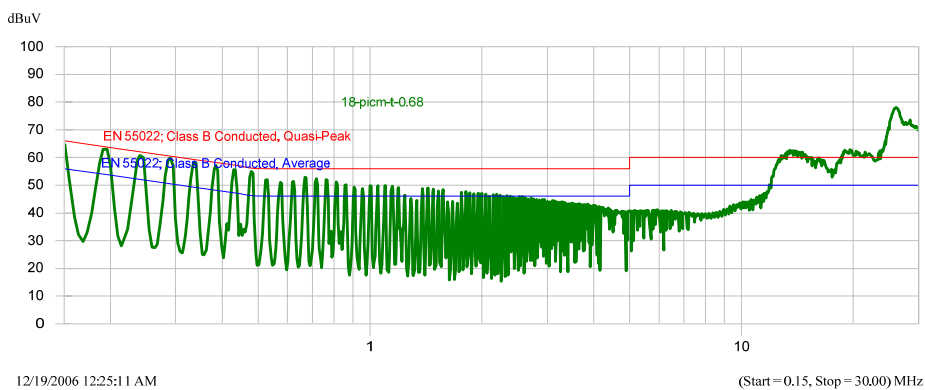
ในรูปที่ 6.58 จะแสดงผลการทดสอบวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ขณะที่มีกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ PICM ในเงื่อนไขการทดสอบที่ 3 โดยรูปที่ 6.58 (ก) และ (ข) จะแสดงผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมและผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง จะเห็นว่าที่ความถี่ 150 kHz – 700 kHz และที่ความถี่สูงกว่า 10 MHz ยังมีผลของสัญญาณรบกวนสูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐาน และในรูปที่ 6.58 (ก) จะแสดงผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม โดยที่ความถี่สูงกว่า 10 MHz ผลของสัญญาณรบกวนสูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐาน



(ก) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวม



(ข) สัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง



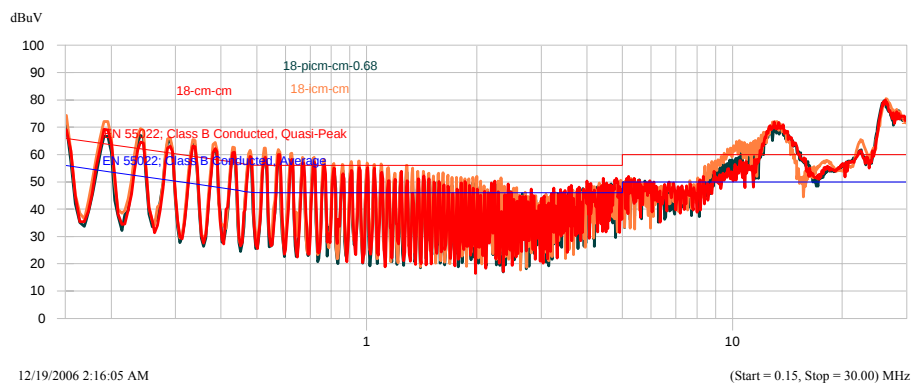
(ค) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวม

รูปที่ 6.58 ผลการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันแบบ ICM

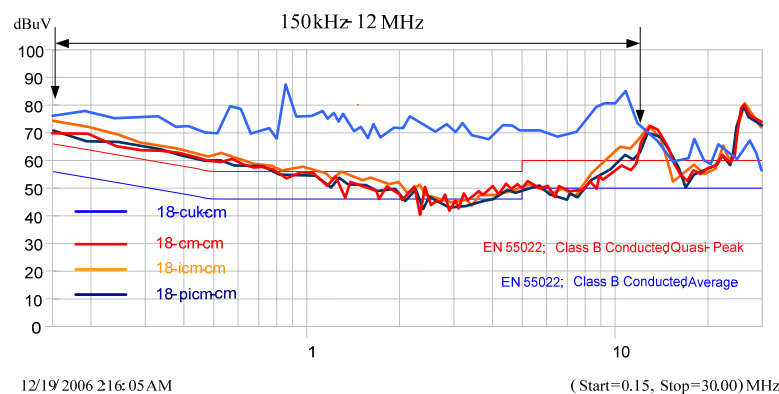
4. การเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในเงื่อนไขการทดลองที่ 3

ในหัวข้อนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลการทดสอบการทำงานของวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ ที่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน ในเงื่อนไขการทดลองที่ 3 และจากรูปที่ 6.59 จะแสดงสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ ซึ่งจากรูปเห็นว่าเป็นการยากที่จะอธิบายผลการทดสอบ ดังนั้น จึงทำการพล็อตค่าสูงสุดของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3

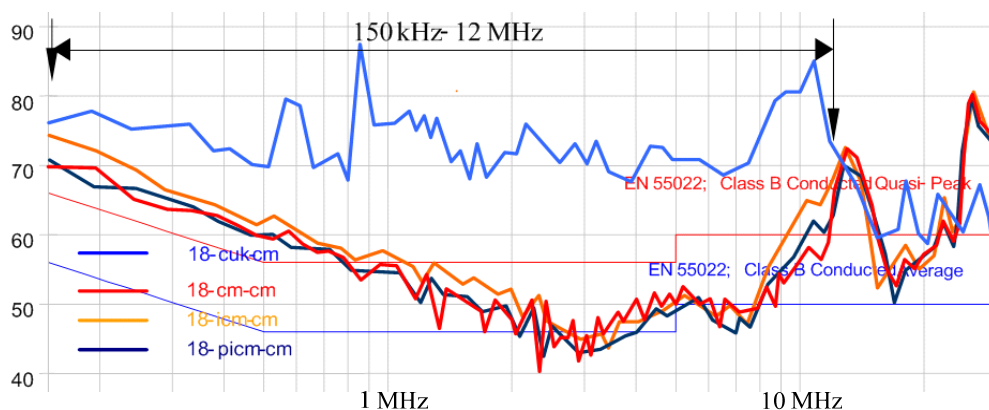
แบบดังแสดงในรูปที่ 6.60 จะเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมของการพันทั้ง 3 แบบ กับสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมขณะที่ไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน จะเห็นว่าสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมขณะที่ไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน จะมีระดับสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมที่สูงมาก และสูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐานกำหนด และจากรูปที่ 6.60 เมื่อใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนแล้ว จะเห็นว่าระดับสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมจะมีค่าลดลงเกือบตลอดทั้งย่านการทำงาน และในย่านความถี่ 150 kHz-12 MHz นั้นสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มาก



รูปที่ 6.59 สัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมของการพันทั้ง 3 แบบ

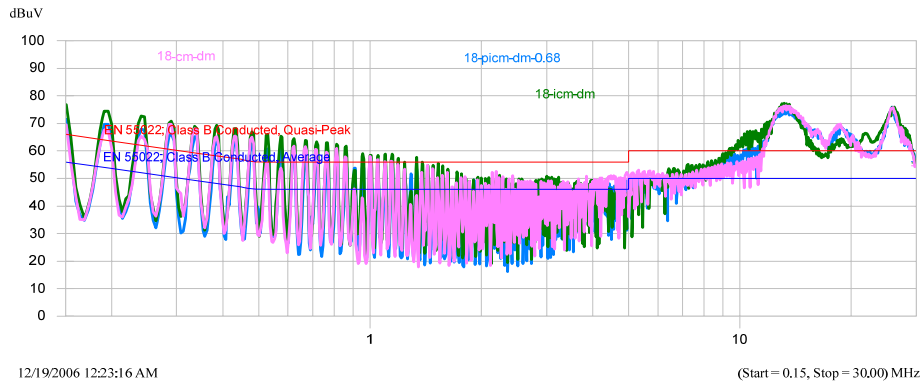


(ก) สัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมของการพันทั้ง 3 แบบ

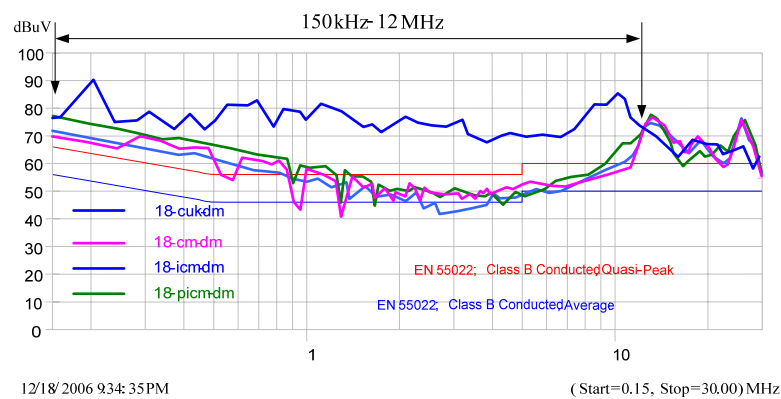


(ข) สัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมของการพันทั้ง 3 แบบ

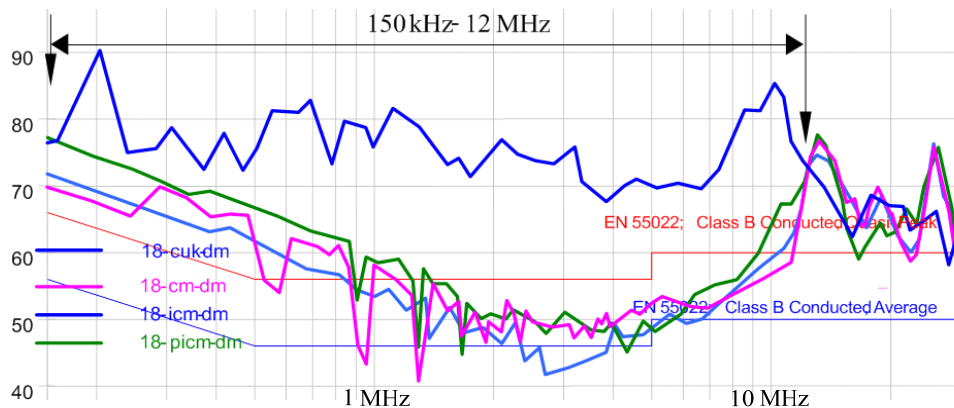
รูปที่ 6.60 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม



รูปที่ 6.61 สัญญาณรบกวนโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบ



(ก) สัญญาณรบกวนโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบ

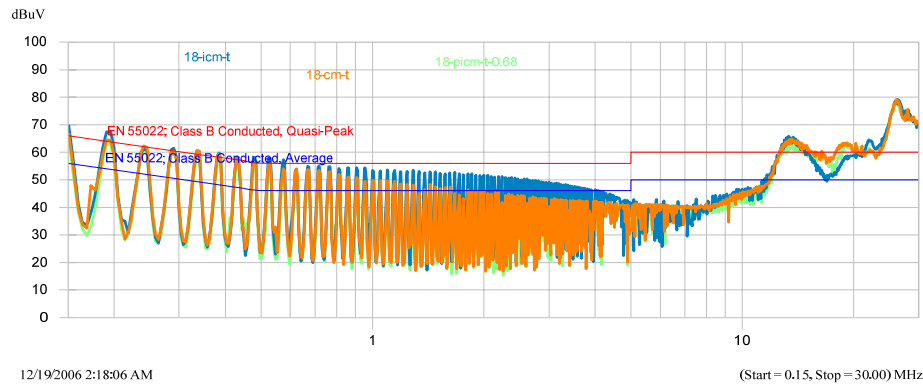


(ข) สัญญาณรบกวนโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบ

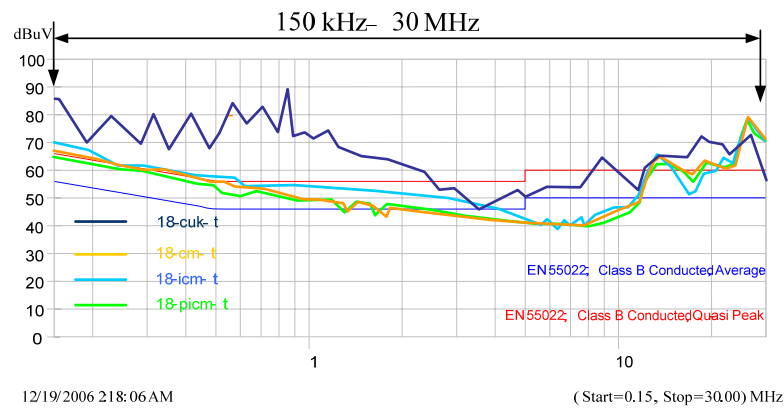
รูปที่ 6.62 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง

จากรูปที่ 6.61 จะแสดงสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบ และจากรูป จะทำการพล็อตค่าสูงสุดของสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง ดังแสดงในรูปที่ 6.62 จะเป็นการ เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างของการพันทั้ง 3 แบบ กับสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง ขณะที่ไม่มียางกรองสัญญาณรบกวน จะเห็นว่าสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างขณะที่ไม่มียาง

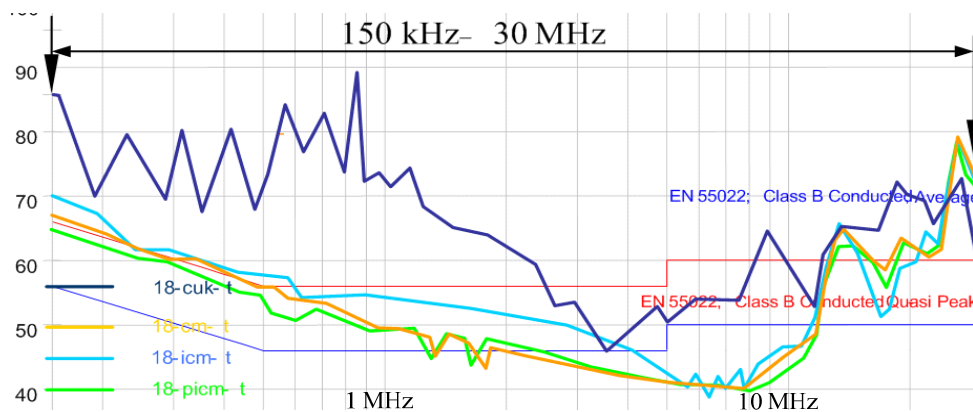
กรองสัญญาณรบกวนจะมีระดับสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างที่สูงมาก และสูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐานกำหนด และเมื่อใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนแล้ว จะเห็นว่าระดับสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง จะมีค่าลดลงเกือบตลอดทั้งย่านการทำงาน และในย่านความถี่ 150 kHz-12 MHz สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มาก



รูปที่ 6.63 สัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ



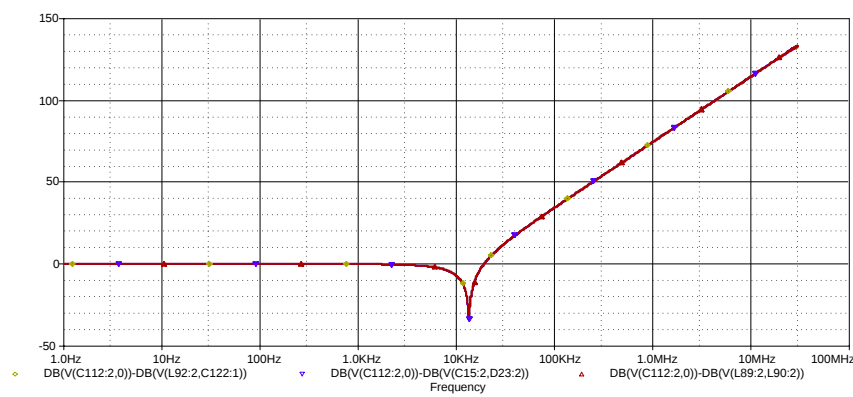
(ก) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ



(ข) สัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ

รูปที่ 6.64 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม

จากรูปที่ 6.63 จะแสดงสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ และจากรูป จะทำการพล็อตค่าสูงสุดของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม ดังแสดงในรูปที่ 6.64 จะเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมของการพันทั้ง 3 แบบ กับสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมขณะที่ไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมขณะที่ไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวนจะมีระดับสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่สูง และสูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐานกำหนด แต่เมื่อใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนแล้ว จะเห็นว่าระดับสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม มีค่าลดลงตลอดทั้งย่านความถี่ 150 kHz- 30 MHz และจากรูปที่ 6.65 จะแสดงการเปรียบเทียบอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนทั้ง 3 แบบการจำลอง ซึ่งจะมีค่าความชันเท่ากับ 40 dB/decade ทั้ง 3 แบบการจำลอง



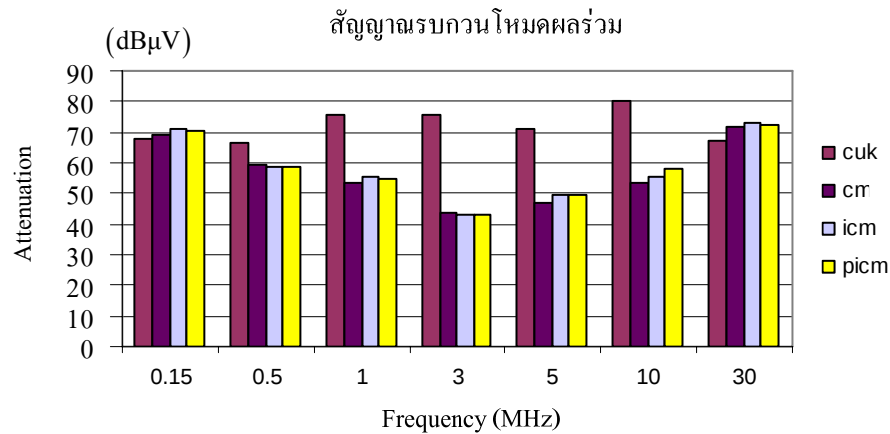
รูปที่ 6.65 อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมทั้ง 3 แบบการจำลอง

ตารางที่ 6.6 สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปแบบการพันต่างๆ

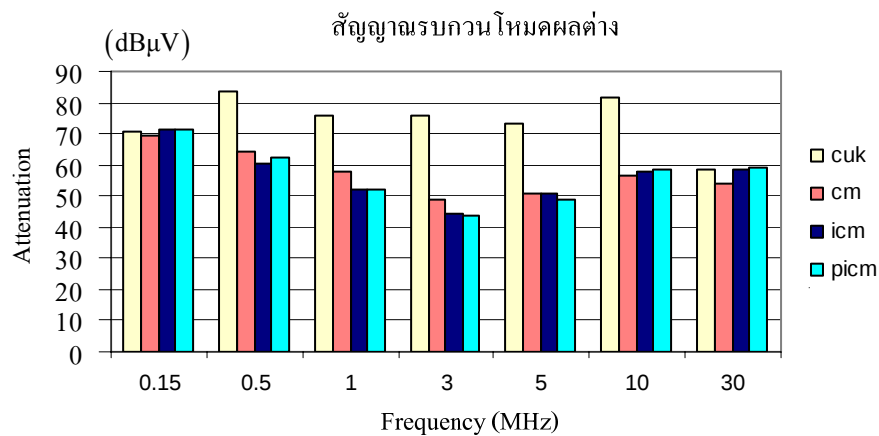
รูปแบบการพัน	การวัดสัญญาณรบกวน (dB)	ความถี่ (MHz)						
		0.15	0.5	1	3	5	10	30
การพันแบบ CM	CM	69.1	59.2	53.3	44.0	47.0	53.5	72.0
	DM	69.5	64.1	58.1	49.1	51.0	56.4	54.3
	Total	66.8	54.9	47.0	40.2	37.7	44.3	70.8
การพันแบบ ICM	CM	74.2	60.4	55.1	43.0	48.5	63.2	71.4
	DM	76.8	67.0	58.4	50.9	45.1	63.2	71.4
	Total	69.6	56.7	53.4	48.8	42.8	44.6	69.0
การพันแบบ PICM	CM	70.6	58.4	54.8	43.1	49.3	58.0	72.5
	DM	71.4	62.6	52.1	43.5	49.1	58.4	59.1
	Total	64.0	55.0	49.8	44.2	40.6	43.4	71.4

จากตารางที่ 6.6 จะแสดงผลการทดสอบวงจรชุดคอนเวอร์เตอร์ขณะที่มีวงจรกรองกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน ในเงื่อนไขการทดสอบที่ 3 ซึ่งจะแสดงผลของสัญญาณรบกวนทั้ง 3

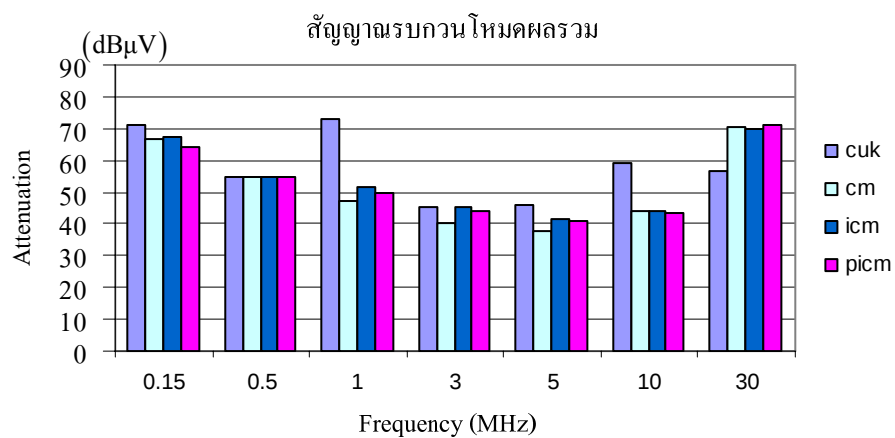
โหมค คือ โหมคผลรวม โหมคผลต่าง และโหมคผลรวม และจากตารางจะแสดงค่าสัญญาณรบกวนที่ความถี่ต่างๆ และสามารถพล็อตกราฟได้ดังในรูปที่ 6.66 - 6.68 จะแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมคต่างๆ ขณะมีวงจรกรองกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน



รูปที่ 6.66 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมคผลรวมขณะมีวงจรกรองกับไม่มีวงจรกรอง



รูปที่ 6.67 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมคผลต่างขณะมีวงจรกรองกับไม่มีวงจรกรอง



รูปที่ 6.68 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมคผลรวมขณะมีวงจรกรองกับไม่มีวงจรกรอง

จากรูปที่ 6.66 จะเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมขณะมีวงจรกรองสัญญาณรบกวนกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน และจากการทดสอบพบว่าวงจรกรองสัญญาณรบกวนของการพันทั้ง 3 แบบ สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมได้มากในย่านความถี่ 500 kHz – 10 MHz ประมาณ 10 – 20 dB และสำหรับการพันแบบ PICM สามารถที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนได้สูงที่สุด 32.8 dB ที่ความถี่ 3 MHz และจากรูปที่ 6.67 จะเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง ขณะมีวงจรกรองสัญญาณรบกวนกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน และผลจากการทดสอบแล้วพบว่าที่ความถี่ 500 kHz – 10 MHz จะสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างได้มากถึง 32.6 dB สำหรับการพันแบบ PICM

จากรูปที่ 6.68 จะเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมขณะมีวงจรกรองสัญญาณรบกวนกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน และผลจากการทดสอบแล้วพบว่าที่ความถี่ 1 MHz และความถี่ 10 MHz จะสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากถึง 26 dB สำหรับการพันแบบ CM แต่ที่ความถี่ 30 MHz ค่าสัญญาณรบกวนจากการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนของการพันทั้ง 3 แบบ จะมีค่ามากขึ้น

❖ สรุปผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบในเงื่อนไขที่ 3

- ผลการทดสอบเงื่อนไขที่ 3 ที่กำหนดค่าตัวเก็บประจุ C_x ให้มีค่าเท่ากับการออกแบบ ($C_x = 0.68 \mu\text{F}$) ทดสอบเพื่อ จะดูผลของตัวเหนี่ยวนำ L_{DM} ที่มีค่าเหนี่ยวนำแตกต่างกัน เนื่องจากรูปแบบการพัน ว่าตัวเหนี่ยวนำ L_{DM} จะมีผลอย่างไรต่อการทำงานในโหมดผลต่าง สามารถสรุปได้ว่า การพันแบบ PICM นั้นสามารถที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนได้สูงที่สุด 32.6 dB ที่ความถี่ 3 MHz เนื่องจากค่าเหนี่ยวนำโหมดผลต่าง L_{DM} และค่าเหนี่ยวนำรั่วไหล $L_{CM,leakage}$ ที่เกิดจากรูปแบบการพันจะมีค่าเหนี่ยวนำมากกว่าการพันทั้ง 2 แบบ

- เมื่อพิจารณาโหมดผลร่วม ผลจากการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนของการพันทั้ง 3 แบบสามารถที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากในย่านความถี่ 1 MHz - 10 MHz ดังในรูปที่ 6.67

- จากการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนของการพันทั้ง 3 แบบ แม้ว่า จะกำหนดค่าตัวเก็บประจุ C_x ให้มีค่าเท่ากับการออกแบบ จะเห็นว่าที่ความถี่สูงตั้งแต่ 10 MHz - 30 MHz ยังมีผลของสัญญาณรบกวนที่สูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐานกำหนด เป็นผลมาจากค่าพารามิเตอร์แฝงของวงจรหรือ เป็นผลมาจากการวางตัวอุปกรณ์

- จากการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนทั้ง 3 แบบ จะเห็นว่าค่าความชันของของอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนในโหมดต่างๆจะมีค่าเท่ากัน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองยังมีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากการจำลองการทำงานยังไม่ได้รวมผลของค่าพารามิเตอร์แฝงของวงจรกรองสัญญาณรบกวน และวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ที่นำมาทำการทดสอบ

6.2 การเปรียบเทียบความสามารถในการลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

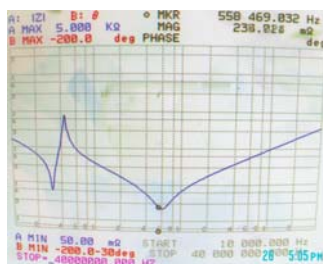
ในส่วนนี้เป็นการนำผลการทดสอบที่ได้จากการวัดมาทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบ เพื่อแสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างที่เกิดขึ้น โดยประเด็นที่มีการเปรียบเทียบนั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

1. เปรียบเทียบรูปแบบการผันและโครงสร้างของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า
2. เปรียบเทียบอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรกรองสัญญาณรบกวนขณะใส่กับไมใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน

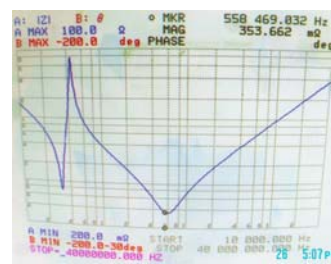
เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบในแต่ละหัวข้อแล้วจะทำการสรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบ เพื่อให้เกิดความเข้าใจในแต่ละประเด็น และในแต่ละเงื่อนไขที่ได้ทำการทดสอบโดยเริ่มจากการเปรียบเทียบรูปแบบการผันตัวเหนี่ยวนำโหมคผลร่วมและโหมคผลต่าง จากนั้นทำการเปรียบเทียบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละแบบ

6.2.1 การเปรียบเทียบรูปแบบการผันและโครงสร้างของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

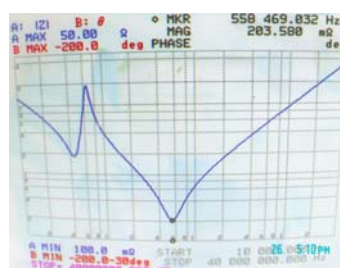
ในหัวข้อนี้จะเป็นการเปรียบเทียบรูปแบบการผัน และโครงสร้างของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับการทดสอบและวิเคราะห์รูปแบบการผันตัวเหนี่ยวนำโหมคผลร่วมและโหมคผลต่างได้ทำการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 6.1.2



(ก) วงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบ CM



(ข) วงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบ ICM



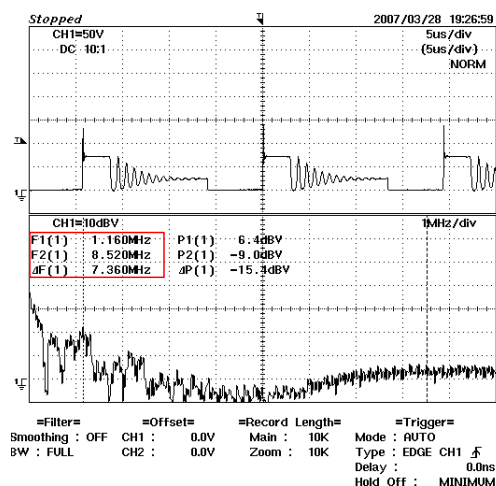
(ค) วงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบ PICM

รูปที่ 6.69 ค่าอิมพีแดนซ์ต่อความถี่ของวงจรกรองสัญญาณรบกวนทั้ง 3 แบบ

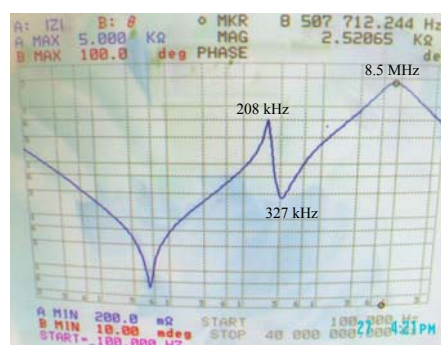
จากรูปที่ 6.69 จะเป็นผลการทดสอบหาค่าอิมพีแดนซ์ต่อความถี่ของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทั้ง 3 แบบ และจากการทดสอบแล้วพบว่าค่าความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรกรองสัญญาณรบกวนของการพันทั้ง 3 แบบจะมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 558 kHz

6.2.2 การเปรียบเทียบอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรกรองสัญญาณรบกวนขณะใส่กับไมใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน

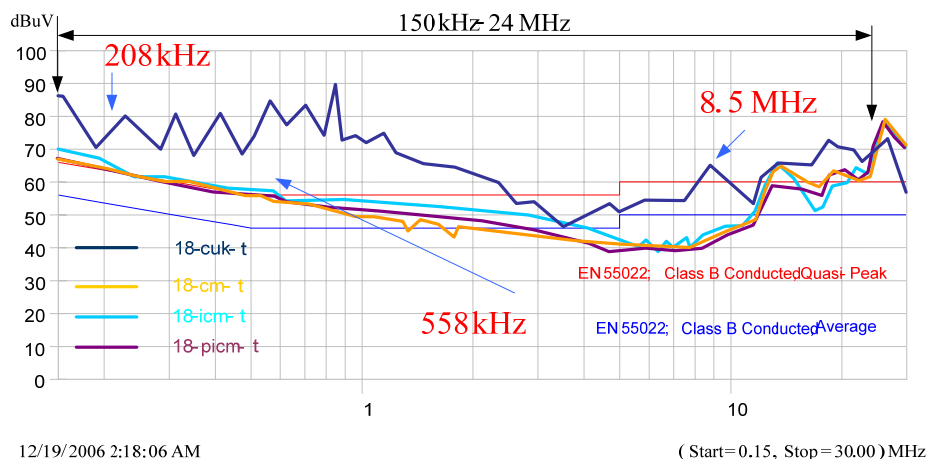
ในหัวข้อนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลของการลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าขณะใส่กับไมใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน โดยจะเริ่มจากการวิเคราะห์สัญญาณรบกวนที่เกิดจากวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ และจากรูปที่ 6.70 จะเป็นการวัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์มอสเฟต แล้วทำการแตกฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์มอสเฟต และผลการวัดจะเห็นว่าจะมีค่าสูงที่ความถี่ 1.16 MHz และ 8.52 MHz ที่เกิดจากการสวิตช์ของมอสเฟต



รูปที่ 6.70 แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์และฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์



รูปที่ 6.71 ค่าอิมพีแดนซ์ต่อความถี่ของวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 6.72 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมขณะมีวงจรกรองสัญญาณรบกวนกับไม่มี
วงจรกรองสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 6.71 จะเป็นการนำวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นจริงมาทำการทดสอบหาค่าอิมพีแดนซ์ต่อความถี่ และเมื่อพิจารณาในย่านความถี่ 150 kHz – 30 MHz จะเห็นว่าจะมีค่าอิมพีแดนซ์สูงที่ความถี่ 208 kHz กับ 8.5 MHz และเมื่อนำวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์มาทำการวัดสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมแล้วพบว่าจะมีสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่เกินกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐานกำหนด และจะมีค่าสูงที่ความถี่ประมาณ 850 kHz และที่ความถี่ประมาณ 8.5 MHz และเมื่อวิเคราะห์ผลการวัดสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม พบว่าที่ความถี่ 850 kHz นั้นอาจจะเกิดจากการสวิตช์ของมอเตอร์ และที่ความถี่ 8.5 MHz นั้นอาจเกิดจากการสวิตช์ของมอเตอร์หรือค่าเรโซแนนซ์ของวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ แล้วจากรูปจะแสดงผลสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมเมื่อใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทั้ง 3 แบบ พบว่าวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ใช้จะสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าได้เกือบตลอดย่านความถี่ 150 kHz – 30 MHz

6.3 สรุปผลการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

ในบทนี้จะเป็นการทดสอบทางด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ โดยเริ่มจากการทดสอบตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่างที่นำเสนอทั้ง 3 แบบ ว่าการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่างทั้ง 3 แบบสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือวงจรไฟฟ้าได้มากหรือน้อยและผลจากการทดสอบได้สรุปและวิเคราะห์ไว้แล้วในหัวข้อที่ 6.1.2 แล้วจากนั้นได้นำตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่างที่นำเสนอทั้ง 3 แบบมาใส่ในวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า แล้วทำการจำลองและทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทั้ง 3 แบบ และผลจากการทดสอบได้สรุปและวิเคราะห์ไว้แล้วในหัวข้อที่ 6.1.3