

การลดสัญญาณรบกวนด้วย Common mode coil

น.ท. ศักดา นฤนันทา

อาจารย์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

เราเคยสังเกตและสงสัยกันบ้างไหมว่า สายนำสัญญาณของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความถี่สูง ๆ มักจะมีตุ่มหรือพลาสติกทรงกระบอกสีต่าง ๆ หุ้มรอบบริเวณปลายสายนำสัญญาณ ใกล้กับตัวอุปกรณ์นั้น ๆ เช่น สายจอมนิเตอร์ คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ กล้องถ่ายรูป เป็นต้น ซึ่งตุ่มที่กล่าวถึงนี้เราเรียกว่า Common mode coil (CMC) หรือ Ferrite bead หรือ Ferrite choke มีลักษณะเป็นโลหะกลวงประเภท ferrite ที่มีคุณสมบัติกึ่งแม่เหล็ก ทำจาก iron-oxide ผสมกับโลหะชนิดอื่น ๆ โดยนำมาประกบกับสายนำสัญญาณแล้วหุ้มพลาสติกทับอีกชั้นหนึ่ง CMC นี้มีคุณสมบัติในการกำจัดหรือลดสัญญาณรบกวนในสายนำสัญญาณ โดยมันจะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถแพร่เข้ามาและเหนี่ยวนำให้กับลวดตัวนำในสายนำสัญญาณ ณ จุดที่มีมันอยู่แต่จะเปลี่ยนรูปไปเป็นความร้อนบน CMC เอง ดังนั้น เราจึงเห็น CMC มักจะต่ออยู่บริเวณด้านปลายของสายนำสัญญาณเสมอ ตัวอย่างอุปกรณ์ที่เห็นได้ชัดคือคอมพิวเตอร์ที่เราใช้กันอยู่ทุกวันนี้ จัดเป็นอุปกรณ์ที่แพร่คลื่นรบกวนได้อย่างมาก บนเมนบอร์ดภายในคอมพิวเตอร์นั้นจะมีวงจรนาฬิกาหรือออสซิลเลเตอร์ที่มีความถี่ตั้งแต่ 300MHz ไปจนถึง 1,000MHz แป้นคีย์บอร์ดเองก็มีหน่วยประมวลผลและวงจรนาฬิกา แผงควบคุมการแสดงผลหรือการ์ดจอ ก็มีวงจรนาฬิกาของมันเองเพื่อควบคุมการแสดงผลบนจอมนิเตอร์ ซึ่งวงจรนาฬิกาเหล่านี้ มีศักยภาพในการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ที่มันใช้อยู่ และเป็นคลื่นที่ไปรบกวนกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ที่ไวต่อการรับคลื่นเหล่านี้

นอกจากนี้แหล่งกำเนิดคลื่นรบกวนอาจเกิดจาก สายนำสัญญาณที่ทำตัวเสมือนกับสายอากาศให้กับสัญญาณที่วิ่งอยู่ในสายนำสัญญาณเอง โดยจะแพร่คลื่นออกไปรบกวนอุปกรณ์ที่รับสัญญาณได้ เช่น วิทยุและโทรทัศน์ และในขณะเดียวกัน สายนำสัญญาณก็สามารถที่จะรับสัญญาณมาจากที่อื่นได้เช่นกัน ดังนั้นเราจะมาศึกษากันว่า CMC สามารถลดการรบกวนของสัญญาณในสายนำสัญญาณได้อย่างไร โดยใช้ทฤษฎีพื้นฐานพิสูจน์เป็นสมการ เพื่ออธิบายการทำงานของ CMC

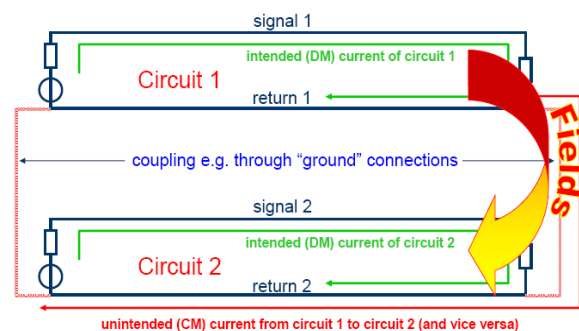
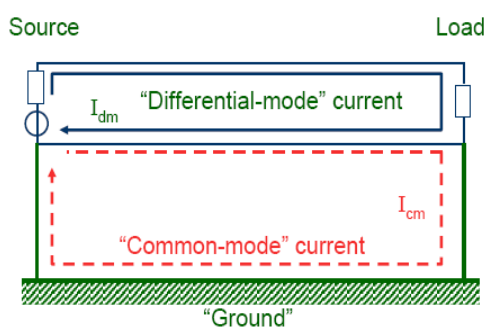
กระแสไฟฟ้าทั้งหมดวิ่งเป็นลูป

จากกฎของ Kirchhoff ในข้อที่เกี่ยวกับกระแสไฟฟ้านั้น ได้นิยามไว้ว่า ผลรวมของกระแสไฟฟ้าในแต่ละโหนดของวงจรใด ๆ มีค่ารวมกันเท่ากับศูนย์ ($\sum I = 0$) ซึ่งเป็นจริงเสมอที่ทุกโหนดในวงจร และ

นิยามนี้ก็เป็นจริงกับทุก ๆ ตำแหน่งบนลวดตัวนำด้วย แต่ถ้าเราพิจารณาให้ดีแล้วจะเห็นว่า เมื่อกระแสไหลออกจากแหล่งกำเนิดและวิ่งไปบนลวดตัวนำแล้ว ก็ไม่มีจุดใดบนลวดตัวนำที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดประจุขึ้นมาอีก ดังนั้นจากข้อสังเกตนี้ก็พอจะบอกให้เราทราบว่า ภายในวงจรใด ๆ ก็ตามจะต้องมีเส้นทางย้อนกลับให้แก่กระแสภายในวงจรเสมอ และด้วยเหตุนี้ ในทุกวงจรไฟฟ้าจะต้องมีลวดตัวนำอย่างน้อย ๒ เส้นโดยกระแสไฟฟ้าจะไหลออกจากแหล่งกำเนิดไปบนลวดตัวนำเส้นหนึ่ง และจะมีกระแสไฟฟ้าไหลในทิศตรงข้ามอีกเส้นหนึ่ง ซึ่งเราเรียกกระแสไฟฟ้าลักษณะนี้ว่า “Differential mode current (DMC)” แต่ในความเป็นจริงแล้ว กระแสไฟฟ้าที่ไหลย้อนกลับนี้มักจะมีมากกว่าหนึ่งเส้นทางเสมอ เนื่องจากลักษณะและการต่อเชื่อมวงจรจากส่วนต่าง ๆ ของทั้งระบบไปยังกราวด์ (Ground) นั้นเอง

Common mode currents

กระแสไฟฟ้าที่ไหลไปตามเส้นทางย้อนกลับ ที่ไม่ใช่เส้นทางลวดตัวนำที่กำหนดไว้ (ตามกฎของ Kirchhoff) เช่น กระแสที่ไหลกลับผ่านลวดตัวนำเส้นอื่น หรือผ่านกราวด์ดังรูปที่ ๑ จะทำให้ผลรวมสัมบูรณ์ของกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากค่ากระแสไฟฟ้าเดิม ซึ่งกระแสไฟฟ้าส่วนเกินที่ไหลเข้ามาในลักษณะนี้ เรียกว่า “Common mode Current (CMC)” ดังจะเห็นแล้วว่า นอกจากกระแสไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ไปบนลวดตัวนำทั้งสองเส้นที่กล่าวมาแล้ว ยังมีเส้นทางอื่นที่กระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับมาด้วย ทำให้ไม่เป็นไปตามกฎของ Kirchhoff ซึ่งปัญหาที่เกี่ยวกับการรบกวนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่ จะเกิดจาก CMC ที่เป็นผลมาจากลักษณะการเชื่อมต่อของสายนำสัญญาณ และสัญญาณรบกวนที่เกิดจาก CMC นี้ มักจะไหลเข้าไปในวงจรของ DMC ซึ่งปรากฏการณ์นี้ ก็คือ การรบกวนในสายนำสัญญาณของวงจรดังรูปที่ ๑

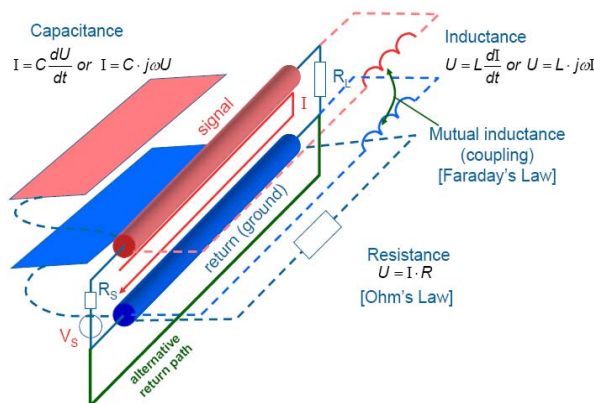


รูปที่ ๑ เส้นทางไหลของ Common mode current รูปที่ ๒ เส้นทางเกิดการรบกวนสัญญาณของ Common mode current

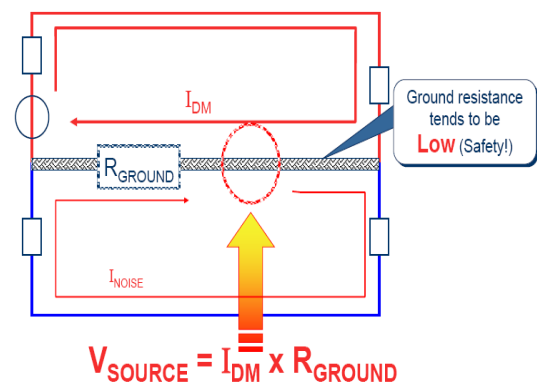
การรบกวนสัญญาณในรูปที่ ๒ จะเกิดขึ้นเมื่อมีเส้นทางอื่นให้กระแสไฟฟ้า DMC ในวงจร ๑ นี้ไหลไปรบกวนกับ DMC ในวงจร ๒ ภายในระบบเดียวกัน ซึ่งเหตุการณ์นี้จะเกิดเมื่อ CMC ไหลผ่านจุดเชื่อมต่อตัวนำระหว่างวงจร ๑ กับวงจร ๒ เช่น กราวด์ที่เชื่อมต่อกัน เป็นต้น และความเป็นไปได้ก็อีกอย่างคือ กระแสไฟฟ้าหรือความต่างศักย์ไฟฟ้าในวงจร ๑ ผลิตสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้า แล้วไปเหนี่ยวนำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าที่ไม่ต้องการในวงจร ๒ ได้ (หรือจากวงจร ๒ ไปวงจร ๑) ดังนั้น การเชื่อมต่อภายในระบบมักจะเป็นปัจจัยที่สำคัญของการส่งผ่านสัญญาณรบกวนนั่นเอง

องค์ประกอบ RLC ภายในวงจร

ลักษณะการเชื่อมต่อสายนำสัญญาณ จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงพฤติกรรมของแม่เหล็กไฟฟ้าในระบบได้ ซึ่งวงจรสมมูลของสายนำสัญญาณ เราสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของอิมพีแดนซ์ได้ ๓ ลักษณะ ดังรูปที่ ๓ กล่าวคือ



รูปที่ ๓ วงจรสมมูลของการเชื่อมต่อในสายนำสัญญาณ



รูปที่ ๔ Resistance crosstalk

๑. Resistance ทันทีที่กระแสไหลผ่านตัวนำ เราสามารถวัดศักย์ไฟฟ้าตามจุดต่าง ๆ บนสายนำสัญญาณได้ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าจะเป็นไปตาม กฎของโอห์ม

๒. Capacitance แสดงถึงผลกระทบที่เกิดจากสนามไฟฟ้า โดยที่เราทราบว่า capacitor นั้นประกอบด้วยแผ่นตัวนำสองแผ่น และมีความต่างศักย์ตกคร่อมระหว่างแผ่นตัวนำนั้น แต่ในสถานการณ์ที่เรา กำลังกล่าวถึงนี้หมายถึง เส้นทางเดินของกระแสไฟฟ้าเส้นหนึ่งซึ่งแทนด้วยแผ่นตัวนำแผ่นหนึ่ง และแผ่นตัวนำอีกแผ่นหนึ่ง อาจจะเป็นเส้นทางเดินของกระแสไฟฟ้าภายนอกวงจร หรือระบบก็ได้ เช่น สายกราวด์ หรือกล่องโลหะที่บรรจุวงจรนี้อยู่ สิ่งที่เราสังเกตได้จากผลของความเป็น capacitance นี้ก็คือ เมื่อศักย์ไฟฟ้าของแผ่นตัวนำหนึ่งเปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับศักย์ไฟฟ้าของแผ่นตัวนำอีกแผ่นหนึ่ง ทำให้เกิดความต่างศักย์ของแผ่นตัวนำทั้งสอง ยิ่งถ้าการเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์นี้มีความถี่มากเท่าใด

ปริมาณกระแสไฟฟ้าก็จะมากขึ้นด้วย ความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าของ capacitor จะขึ้นอยู่กับความถี่ โดยมีสมการที่มี $j\omega$ เป็นองค์ประกอบ

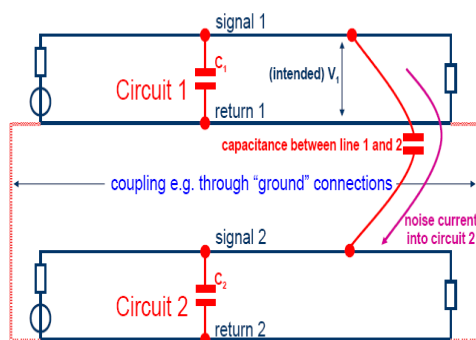
๓. Inductance แสดงถึงผลกระทบที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก ที่เกิดขึ้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลใน วงจรปิด ส่งผลให้มีปริมาณของฟลักซ์สนามแม่เหล็กจำนวนหนึ่งเกิดขึ้นในวงจร และเส้นฟลักซ์เหล่านี้ ลักษณะเป็นเส้นปิด ล้อมรอบสายนำสัญญาณ และเส้น ฟลักซ์ทุกเส้นจะไม่ตัดกัน ความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้า ของ inductor จะขึ้นอยู่กับความถี่เช่นเดียวกัน

Inductance และ Capacitance นี้เป็นผลกระทบที่เกิดในลักษณะเสริมกันและกัน นั่นคือ Mutual inductance และ Mutual capacitance ซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานของการเกิดการรบกวนระหว่างวงจรสอง วงจรที่แยกกันอยู่ (โดยเป็นไปตามกฎของ Faraday และ Gauss)

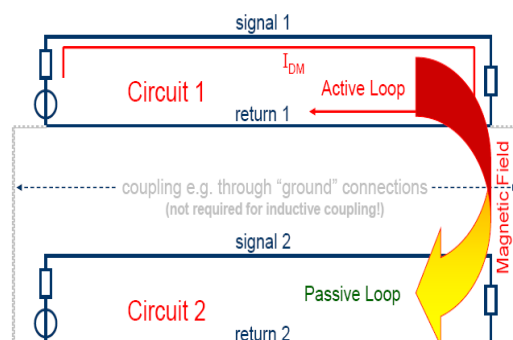
การรบกวนสัญญาณที่มีผลมาจาก Resistance

ถ้าวงจรไฟฟ้าสองวงจร มีลวดตัวนำเป็นเส้นทางไหลกลับ ของกระแสไฟฟ้าต่อเชื่อมรวมกันอยู่ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรหนึ่ง สามารถส่งผลกระทบต่อกระแสไฟฟ้าอีกวงจรหนึ่งได้ เราเรียก ปรากฏการณ์นี้ว่า Crosstalk ดังรูปที่ ๔ ซึ่งแสดงถึงตัวอย่างที่เกิด crosstalk นั่นคือ เมื่อลวดตัวนำที่เป็น เส้นทางไหลกลับของกระแสไฟฟ้ามีค่าความต้านทานเกิดขึ้น ผลคุณระหว่างกระแสไฟฟ้าในแหล่งกำเนิด กับค่าความต้านทานลวดตัวนำนี้ จะมีค่าเท่ากับศักย์ไฟฟ้าที่ปรากฏในวงจรทั้งสอง โดยค่าศักย์ไฟฟ้าใน วงจรที่เป็นแหล่งกำเนิดของกระแสไฟฟ้านี้ ก็คือค่าศักย์ไฟฟ้าสูญเสีย (voltage loss) ที่เกิดจากการ เชื่อมต่อวงจร ในขณะที่อีกวงจรหนึ่ง ค่าศักย์ไฟฟ้านี้คือแหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้าของสัญญาณรบกวน

ค่าความต้านทานไม่ได้ขึ้นอยู่กับความถี่ ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าของสัญญาณรบกวน จะสัมพันธ์กับ กระแสไฟฟ้าของสัญญาณรบกวนแบบเชิงเส้น นั่นคือ ปริมาณของกระแสไฟฟ้ารบกวนในวงจรที่ถูก รบกวนนั้น จะขึ้นอยู่กับปริมาณของความต้านทานที่เกิดขึ้น โดยส่วนใหญ่แล้ว ลวดตัวนำที่เป็นเส้นทาง ย้อนกลับของกระแสไฟฟ้า มักจะเป็นสายกราวด์ของระบบที่มีวงจรทั้งสองนี้เชื่อมต่ออยู่



รูปที่ ๔ Capacitive crosstalk



รูปที่ ๖ Inductive crosstalk

ผลกระทบที่เกิดจาก Capacitive EMI effect

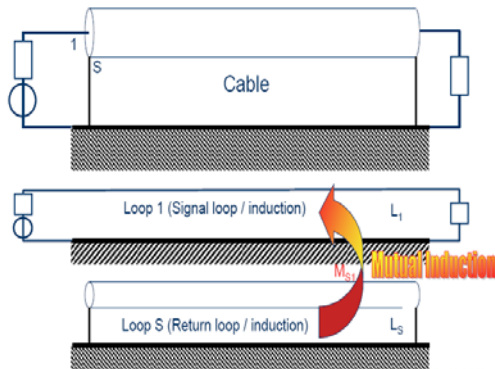
การรบกวนสัญญาณที่มีผลมาจาก capacitance นั้นจะเกิดในรูปของสนามไฟฟ้าระหว่างสายนำสัญญาณของวงจรทั้งสอง จากสมการของ Gauss's Theorem ใช้อธิบายขบวนการที่เกิดขึ้นนี้ ถ้าระดับศักย์ไฟฟ้าของสายนำสัญญาณในวงจร ๑ เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับสายนำสัญญาณในวงจร ๒ สนามไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนเช่นเดียวกัน (จากสมการ $E = V/d$) โดยจะไปเหนี่ยวนำให้ประจุไฟฟ้าในสายนำสัญญาณวงจร ๒ เคลื่อนที่ไป ซึ่งก็คือกระแสไฟฟ้านั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ ๕ เราอาจกล่าวได้ว่ากระแสไฟฟ้ารบกวนนั้นไหลจากวงจร ๑ ไปยังวงจร ๒ ก็ได้ ผลที่เกิดจาก Capacitive crosstalk นี้จะเกิดในระบบที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูง ๆ แต่ถ้าในระบบที่มีค่ากระแสไฟฟ้าสูง ๆ แต่อิมพีแดนซ์ต่ำ ๆ สนามแม่เหล็กจะมีอิทธิพลมากกว่า และจะเกิด Inductive crosstalk ขึ้น

ผลกระทบที่เกิดจาก Inductive EMI effect

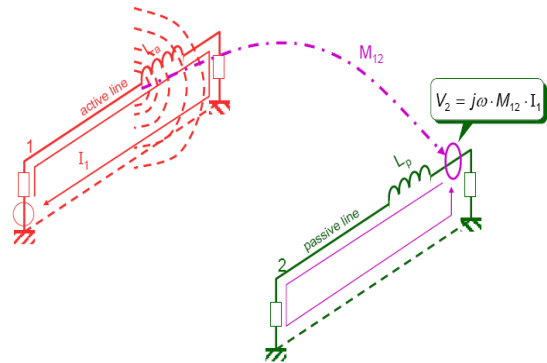
สัญญาณรบกวนที่มีผลมาจาก inductance จะเกิดขึ้นในรูปของสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ ๖ วงจร ๑ มีกระแสไฟฟ้าแบบ DMC ไหลในวงจร ถ้าลวดตัวนำที่เป็นสายนำสัญญาณ และลวดตัวนำที่เป็นเส้นทางไหลกลับของกระแสไฟฟ้า มีระยะห่างกันพอสมควรแล้ว จะส่งผลให้กระแสไฟฟ้าในวงจร ๑ แพร่คลื่นแม่เหล็กออกมา โดยวงจร ๒ เป็นตัวรับสนามแม่เหล็กนี้ แล้วเหนี่ยวนำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมาจากเดิม ถึงแม้ว่าวงจรทั้งสองจะไม่มี การเชื่อมต่อกราวด์ถึงกันก็ตาม เราเรียกว่า Inductive crosstalk

ลวดตัวนำและสกรีนทำหน้าที่เป็นตัวแปลงไฟฟ้า

เราสามารถที่จะพิจารณาสายนำสัญญาณ เป็นเสมือนหม้อแปลงไฟฟ้า (transformer) ได้ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ ๗ โดยลวดตัวนำแกนกลางและสกรีนนั้น ต่ออยู่กับเส้นทางย้อนกลับของกระแสไฟฟ้าที่อยู่ภายนอก ซึ่งอาจเป็นผนังของกล่องโลหะที่สายนำสัญญาณนี้เชื่อมต่ออยู่ก็ได้ โดยลวดตัวนำแกนกลางหมายเลข ๑ นั้นเป็นลวดตัวนำที่มีสัญญาณไหลผ่าน และต่ออยู่กับแหล่งกำเนิด โหลด และผนังของกล่องโลหะ ที่ประกอบกันเป็นเสมือนวงจรของสัญญาณ (วงจร ๑) โดยมีค่า inductance L_1 ที่สามารถวัดได้ ส่วนสกรีนซึ่งต่ออยู่กับผนังของกล่องโลหะเช่นกัน จะก่อตัวเป็นเสมือนวงจรไหลย้อนกลับของกระแสไฟฟ้า (วงจร S) และมีค่า inductance L_s เมื่อใดก็ตามที่กระแสไฟฟ้าในวงจร S มีการเปลี่ยนแปลง มันจะเหนี่ยวนำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าในวงจร ๑ ตามกฎของ Faraday เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า mutual inductance และสามารถแทนด้วยแหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้าได้



รูปที่ ๗ แบบจำลองสายนำสัญญาณ

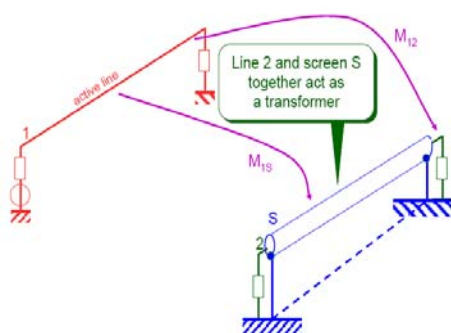


รูปที่ ๘ crosstalk ที่เกิดระหว่างวงจร

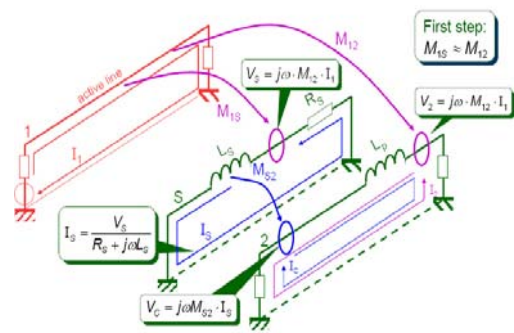
การเกิด Crosstalk ระหว่างวงจร

ในทางปฏิบัติโดยทั่วไป เราจะใช้สายนำสัญญาณที่ประกอบด้วยลวดตัวนำอย่างน้อยสองเส้นมัดรวมกันเป็นเกลียวเพื่อทำให้ลูปมีขนาดเล็กที่สุด ซึ่งจะเป็นการลดสนามรบกวนที่แผ่ออกมาจากสายนำสัญญาณได้ และผลดีอีกอย่างก็คือ ทำให้เกิดการชิลด์ในสายนำสัญญาณ โดยมีสกรีนตัวนำหุ้มรอบลวดตัวนำสัญญาณไว้ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือ สาย Coaxial นั่นเอง ถ้าสายนำสัญญาณนี้ปราศจากการชิลด์ด้วยสกรีนแล้ว สายนำสัญญาณสองเส้นที่วางอยู่ใกล้กันจะเกิดการ crosstalk ขึ้น อันเนื่องมาจาก mutual induction นั่นเอง

จากรูปที่ ๘ เป็นการจำลองให้เห็นถึงการเกิด crosstalk ระหว่างสายนำสัญญาณ ๒ เส้นที่ต่อเนื่องเป็นลูปและมีกราวด์ร่วมกัน สนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมาจากวงจร ๑ (active) จะไปเหนี่ยวนำให้เกิดแหล่งกำเนิดคลื่นรบกวน (ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้าเสมือน) ในสายนำสัญญาณวงจร ๒ (passive) ตามกฎของ Faraday และแหล่งกำเนิดคลื่นรบกวนนี้จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้ารบกวน ที่ไหลไปยังโหลดที่ต่ออยู่



รูปที่ ๙ สายนำสัญญาณที่มีสกรีนห่อหุ้ม



รูปที่ ๑๐ การเกิด mutual inductance ระหว่างลวดตัวนำ



ขั้นต่อไปคือ การเพิ่มการชิลด์ (คือ สกรีนเครื่องหมาย S) ในรูปที่ ๙ ให้แก่สายนำสัญญาณที่ต้องการปกป้อง คือสายนำสัญญาณหมายเลข ๒ ถ้าสกรีนนี้ไม่ได้ต่อเข้ากับกราวด์ หรือต่อเข้ากับกราวด์เพียงข้างเดียวแล้ว การป้องกันการรบกวนจากแหล่งกำเนิดคลื่นรบกวนในสายนำสัญญาณหมายเลข ๑ ก็จะไม่ได้ผล เมื่อเราต่อสกรีนเข้ากับกราวด์ทั้งสองข้างแล้ว เราจะได้ลวดตัวนำรูปแบบวงจรรปิด และตัวสกรีนก็就会被เหนี่ยวนำให้เกิดแหล่งกำเนิดคลื่นรบกวนผ่านมาทาง mutual inductance และเกิดกระแสไฟฟ้ารบกวนเช่นเดียวกับสายนำสัญญาณ (หมายเลข ๒) ดังนั้นทั้งสกรีนและสายนำสัญญาณหมายเลข ๒ จะประกอบกันขึ้นเป็นเสมือนหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) กระแสไฟฟ้ารบกวนในสกรีนก็จะเหนี่ยวนำผ่าน mutual inductance อีกครั้งในสายนำสัญญาณหมายเลข ๒ ซึ่งการเหนี่ยวนำครั้งหลังนี้ จะมีผลในทางกำบังการรบกวนจากสายนำสัญญาณหมายเลข ๑ ที่แท้จริง

ผลกระทบที่เกิดจากการชิลด์

ในรูปที่ ๑๐ ตัวนำที่ทำหน้าที่ชิลด์ ก็คือสกรีน S สำหรับสายนำสัญญาณทุกเส้นรวมทั้งสกรีนนี้ประกอบกันเป็นวงจรรปิดและต่ออยู่กับกราวด์ ขบวนการของการเกิดการป้องกันมีดังนี้

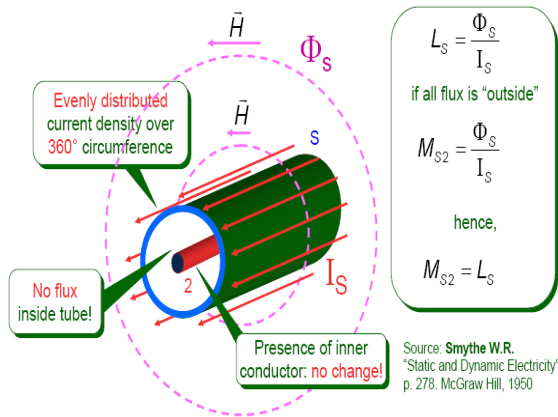
ก. สายนำสัญญาณ ๑ เหนี่ยวนำให้เกิด ศักย์ไฟฟ้ารบกวนในสายนำสัญญาณ ๒ แทนด้วย V_2 และในสกรีน S แทนด้วย V_s

ข. ในเมื่อสกรีนนี้มียาวเท่ากับสายนำสัญญาณ ๒ แล้ว ดังนั้น mutual inductance ระหว่างสายนำสัญญาณ ๑ และ ๒ (M_{12}) จะมีค่าเท่ากับ mutual inductance ระหว่างสายนำสัญญาณ ๑ และสกรีน (M_{1s})

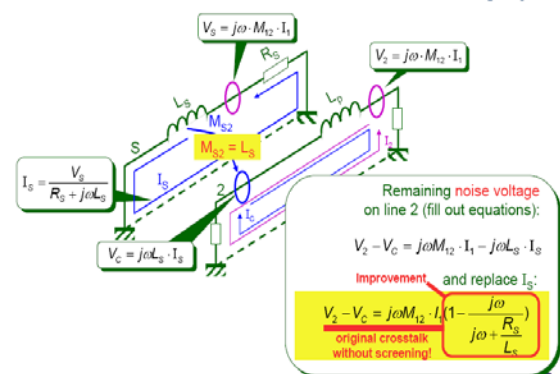
ค. ศักย์ไฟฟ้ารบกวนในสกรีน (V_s) ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้ารบกวน (I_s) เราสามารถแสดงปริมาณศักย์ไฟฟ้ารบกวน และอิมพีแดนซ์ของสกรีน ในรูปของค่า inductance L_s และ resistance R_s (นั่นคือ $V_s = I_s(R_s + j\omega L_s)$)

ง. กระแสรบกวน I_s ในสกรีน จะผลิตสนามแม่เหล็กที่ไปเหนี่ยวนำวงจรรปิดของสายนำสัญญาณ ๒ ทำให้เกิดแหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้า V_c (นั่นคือ $V_c = j\omega M_{s2} I_s$)

การป้องกันการรบกวนจะสมบูรณ์ได้ก็ต่อเมื่อ V_2 และ V_c มีค่าเท่ากัน (นั่นคือ $V_2 = j\omega M_{12} I_1$)



รูปที่ ๑๑



รูปที่ ๑๒

ภายในท่อโลหะจะไม่มีสนามใด ๆ

ขั้นตอนต่อไปเราจะพิจารณาถึง ค่า mutual inductance M_{s2} (ความเหนี่ยวนำร่วม) ระหว่าง สกรีน S และสายนำสัญญาณ ๒ ดังรูปที่ ๑๑ ซึ่งก็คือ ปริมาณของฟลักซ์ในวงจรของสายนำสัญญาณ ๒ ที่เป็นผลมาจากกระแสไฟฟ้าในสกรีน S ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสกรีนทรงกระบอกนี้จะกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอไปตามเส้นรอบวงของทรงกระบอก โดยเราสามารถพิสูจน์ได้ว่าไม่มีสนามใด ๆ ปรากฏอยู่ภายในเนื้อสกรีนทรงกระบอกนี้ นั่นหมายถึง สนามทั้งหมดที่สัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้าในสกรีนนี้ จะอยู่ภายนอกผิวของสายนำสัญญาณ ฟลักซ์ที่อยู่ภายนอก Φ_s เมื่อหารด้วยกระแสไฟฟ้าของสกรีน I_s จะมีค่าเท่ากับ ค่า inductance ของสกรีน L_s และจากความสัมพันธ์ของฟลักซ์และกระแสไฟฟ้านี้เอง เรากล่าวได้ว่า $M_{s2} = L_s$ แต่ในทางปฏิบัติแล้วค่านี้เป็นเพียงแค่ค่าการประมาณเท่านั้น และ M_{s2} นี้ก็มีค่าน้อยกว่า L_s

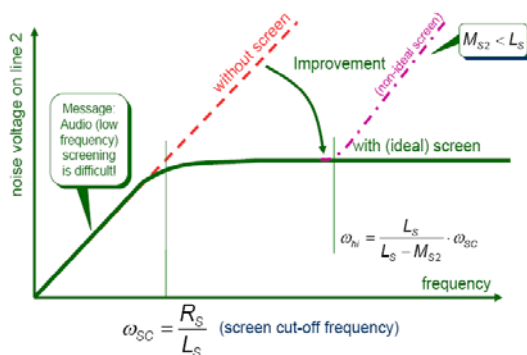
วงจรในรูปที่ ๑๒ สมมติให้เป็นวงจรในอุดมคติ เราสามารถแทนที่ M_{s2} ด้วยค่า L_s จากนั้นคำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้ารบกวนที่เหลือจากผลต่างของ $V_2 - V_c$ ซึ่งผลที่ได้ก็คือ ค่าศักย์ไฟฟ้ารบกวนเริ่มต้นในสายนำสัญญาณที่ ๒ คุณด้วย ค่า “Screen Effect” ดังแสดงในสมการ (๑)

$$V_2 - V_c = j\omega M_{12} I_1 \left(1 - \frac{j\omega}{j\omega + \frac{R_s}{L_s}} \right) \quad (๑)$$

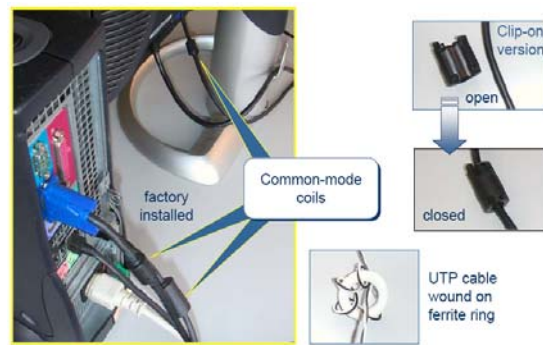
ทำการพล็อตค่า ศักย์ไฟฟ้ารบกวนที่ได้เทียบกับความถี่ จากสมการ (๑) ดังแสดงในรูปที่ ๑๓ จะเห็นว่าที่ความถี่ต่ำ ๆ ตัวสกรีนนั้นไม่ได้ช่วยอะไรมาก แต่จะเริ่มมีผลที่ตั้งแต่ความถี่ cut-off

($\omega_{SC} = \frac{R_S}{L_S}$) เป็นต้นไป และศักย์ไฟฟ้ารบกวนก็จะยังคงอยู่ในระดับคงที่ แต่ในทางปฏิบัติแล้วค่า M_{S2} มีค่าน้อยกว่า L_S ดังนั้น จากกราฟจะเห็นว่า ศักย์ไฟฟ้ารบกวนจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามความถี่ โดยเริ่มต้นที่ความถี่เท่ากับ

$$\omega_{hi} = \frac{L_S}{L_S - M_{S2}} \omega_{SC} \quad (๒)$$

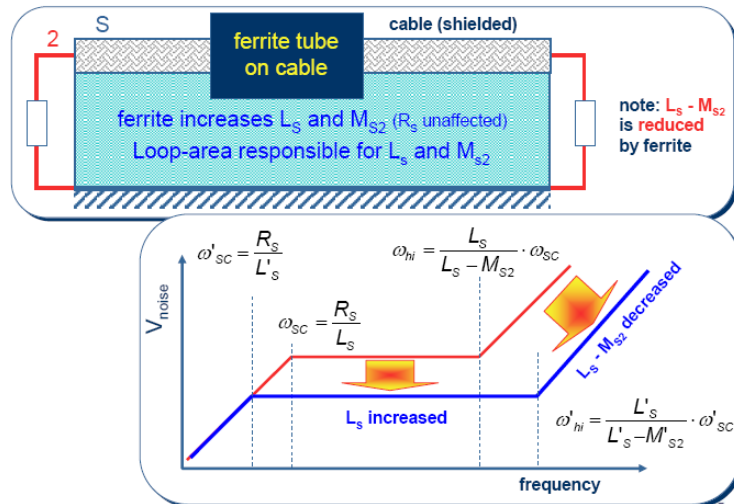


รูปที่ ๑๓



รูปที่ ๑๔

จากกราฟและสมการที่ได้ข้างต้น จะเห็นได้ว่า ถ้าเราเพิ่มความกว้างของระดับสัญญาณรบกวนที่เป็นแบบเชิงเส้นมากขึ้น ก็จะเป็นผลดีต่อระบบหรือวงจรที่เกี่ยวข้อง อุปกรณ์ที่จะช่วยปรับปรุงระดับสัญญาณรบกวนดังกล่าวได้นั้น ก็คือ Common mode coil หรือ Choke ซึ่งเป็นโลหะ ferrite ทรงกระบอกประกบอยู่รอบสายนำสัญญาณ ดังรูปที่ ๑๔ เรามักจะเห็นอยู่ทั่วไปบนสายนำสัญญาณที่ใช้กับคอมพิวเตอร์ CMC นี้มีลักษณะเป็นอุปกรณ์ประเภท passive ที่หน้าที่คล้ายกับ impedance ให้แก่สัญญาณที่มีความถี่สูง ทำให้กระแสไฟฟ้าที่เป็นผลมาจากสัญญาณรบกวนไหลผ่านไม่ได้ หรือจำกัดให้กระแสไฟฟ้าในสายนำสัญญาณเองไหลผ่านในลวดตัวนำเท่านั้น นอกจากนี้ยังมี CMC ที่เป็นแบบประเภทหนีบ เพื่อใช้เป็นการแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนเฉพาะหน้าได้ หรืออาจทำด้วย toroid ซึ่งเราจะพันสายนำสัญญาณรอบ toroid นี้ ๒ - ๓ รอบเพื่อแก้ปัญหาได้เช่นกัน



รูปที่ ๑๕

จากรูปที่ ๑๕ ตัว CMC นี้จะไปเพิ่มค่า L_s และ M_{s2} ในขณะที่ลดผลต่างระหว่างค่า L_s และ M_{s2} จากสมการที่ (๒) ได้ เมื่อค่า L_s เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความถี่ cut-off ของสกรีนลดลง และเมื่อผลต่างระหว่าง L_s และ M_{s2} ลดลงแล้วค่าของความถี่ high-pass (ω_{hi}) ก็เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ช่วงของระดับสัญญาณ ที่เป็นแบบเชิงเส้นขยายกว้างมากขึ้น นั่นหมายถึงการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในการป้องกันการรบกวนของสายนำสัญญาณ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อความถี่ของสัญญาณถึงจุด ๆ หนึ่งที่มีความถี่ high-pass ω'_{hi} ใหม่แล้ว ระดับสัญญาณรบกวนก็จะไม่เป็นแบบเชิงเส้นอีกต่อไป ทั้งนี้ค่าความถี่ใหม่นี้จะเป็นเท่าใดขึ้นอยู่กับค่าคงตัวของ coil ที่นำมาใช้

เอกสารอ้างอิง

Kraus, J.D., **Electromagnetics**. 4th ed., New York: McGraw Hill, 1992.

Pozar, D.M., **Microwave Engineering**. 3rd ed., U.S.A.: John Wiley & Sons, 2005.

Ulaby, F.T, **Fundamentals of Applied Electromagnetics**, New Jersey: Prentice Hall, 2001.

“Choke Explained”. [Online]. Available : <http://www.aikenamps.com/Chokes.html>

“Common Mode Choke Theory”. [Online]. Available : <http://www.butlerwinding.com/inductors/common-mode2.html>