รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ปราโมทย์ เดชะอำไพ. ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 1994.

พลสิทธิ์ นนทลี. อุปกรณ์ตรวจรู้แรงสำหรับงานควบคุมแขนกล. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

ภาษาอังกฤษ

Aghili, F., Buehler, M., Hollerbach, J. M. Sensing The Torque in a Robot's Joint. Mechanical Engineering (September 1998) : 66-69.

Beckwith, T. G., Marangoni, R. D., Lienhard, J. H., V. Mechanical Measurements(5th ed.). : Addison-Wesley Publishing, 1993.

Perry, C. C., Lissner, H. R. The Strain Gage Primer. : Mcgraw-Hill Book, 1962.

Reddy, J. N. An Introduction to The Finite Element Method. : Mcgraw-Hill Book, 1987.

Uchiyama, M., Nakayamura, Y., and Hakomori, K. Evaluation of Robot Force Sensor Structure Using Singular Value Decomposition. Advanced Robotics 5, No. 1 (1991) : 39-52.

Uchiyama M., Bayo, E., Palma-Villalon, E. A Systematic Design Procedure to Minimize a Performance Index for Robot Force Sensors. Transaction of the ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control 113 (September 1991) : 388-394.

ภาคผนวก ก.
การกำจัดสัญญาณรบกวนในการวัดค่าความเครียด

บ่อยครั้งที่การวัดค่าความเครียดจะต้องทำอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กปรากฏอยู่ซึ่งจะก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นในระบบการวัด ถ้าเราไม่ทำการควบคุมและป้องกันสัญญาณรบกวนให้ดี ก็จะทำให้วัดได้ค่าที่ผิดพลาดไป ยิ่งถ้าอัตราส่วนของค่าสัญญาณที่ต้องการวัดต่อค่าสัญญาณรบกวนมีค่าต่ำ ก็จะยิ่งทำให้เกิดความผิดพลาดได้มากขึ้น

แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน

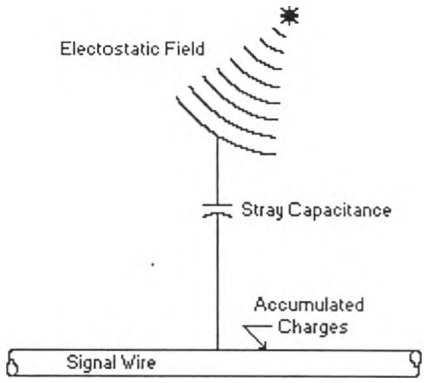
อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกๆอย่างไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ที่ผลิตกระแสไฟฟ้า บริโภคไฟฟ้า หรือเป็นเพียงตัวส่งผ่านไฟฟ้า ก็เป็นแหล่งที่สามารถก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนได้ทั้งนั้น ยิ่งระดับของโวลเตจ หรือ กระแสไฟฟ้า มีค่ามาก ก็จะยิ่งสร้างสัญญาณรบกวนมาก และยิ่งวงจรสเตรนเกจอยู่ใกล้กับแหล่งสัญญาณรบกวนมาก ก็จะยิ่งมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นมาก ตัวอย่างของแหล่งสัญญาณรบกวนได้แก่

- สายไฟที่มีกระแส AC ไหลผ่าน
- มอเตอร์ และ starter
- หม้อแปลง
- รีเลย์
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- เครื่องจักรที่มีการหมุนหรือการแกว่ง
- เครื่องเชื่อมไฟฟ้า
- หลอดไฟฟ้า
- เครื่องส่งวิทยุ
- พายุแม่เหล็กไฟฟ้า
- หัวแร้ง

สัญญาณรบกวนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ electrostatic noise และ electromagnetic noise ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว แหล่งสัญญาณรบกวนก็มักจะส่งสัญญาณรบกวนออกมาทั้ง 2 ประเภท

Electrostatic noise

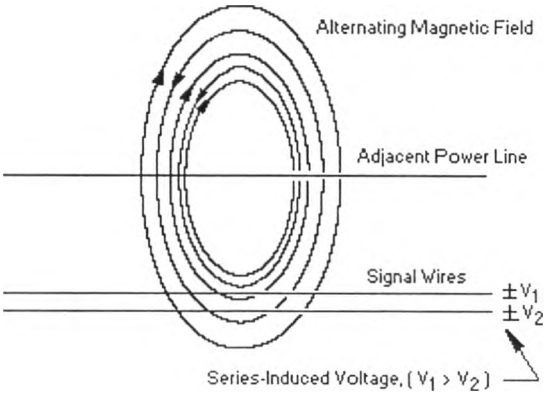
electrostatic noise เกิดขึ้นในบริเวณที่มีศักย์ไฟฟ้า โดยไม่จำเป็นที่จะต้องมีการไหลของกระแสไฟฟ้าก็ได้ ดังแสดงไว้ในรูป ก alternating electrical field จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นในระบบของสเตรนเกจโดยผ่านปรากฏการณ์ capative coupling แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนประเภทนี้ที่เห็นได้ทั่วไปก็คือ หลอดไฟฟลูออเรสเซนท์



รูป ก การเกิด electrostatic noise

Electromagnetic noise

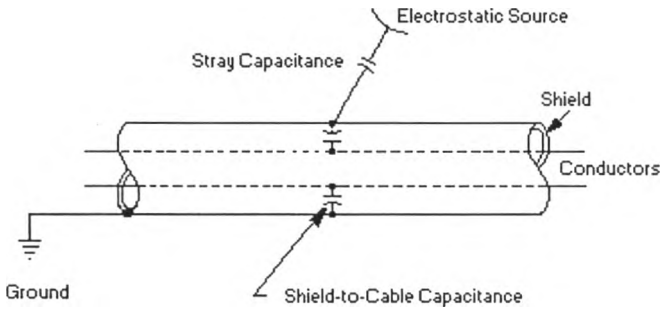
Magnetic field เกิดขึ้นเนื่องจากการที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำ ได้แก่ มอเตอร์ หม้อแปลง หรือมีแม่เหล็กอยู่ในบริเวณนั้น ได้แก่ สนามแม่เหล็กโลก เมื่อความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็กที่ตัดผ่านสายสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงก็จะก่อให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นที่สายสัญญาณซึ่งจะทำให้สัญญาณไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในสายสัญญาณมีค่าเปลี่ยนแปลงไป



รูป ข การเกิด electromagnetic noise

การกำจัด electrostatic noise

วิธีที่ง่ายที่สุดในการจัดการ electrostatic noise ก็คือ การใช้ conductive shield หลักการของมันก็คือมันจะคอยจับประจุไฟฟ้าที่จะเข้ามาสู่สายสัญญาณแล้วถ่ายเทประจุไฟฟ้าเหล่านั้นไปที่ ground แต่ถ้า conductive shield ไม่มีการต่อกับ ground แล้วก็จะทำให้ประจุไฟฟ้าเหล่านั้นยังสามารถที่จะเข้าไปสู่สายสัญญาณได้โดยผ่าน shield to cable capacitance ดังรูป ค



รูป ค Electrostatic shielding

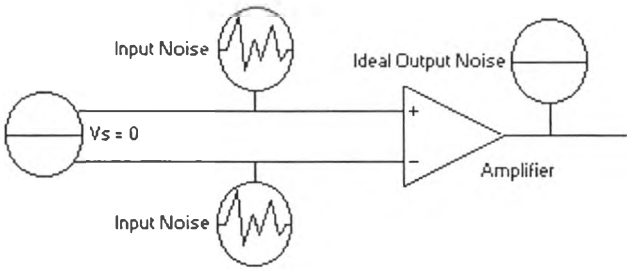
วิธีการ shield ที่นิยมใช้มี 2 แบบ คือ braided wire กับ conductive foil โดยที่ braided wire สามารถที่จะครอบคุมสายสัญญาณได้เพียง 95 % ส่วน conductive foil สามารถครอบคุมสายสัญญาณได้ 100 % แต่จะมีค่าความต้านทานสูงกว่าแบบ braided wire ถ้าใช้สายแบบที่มีสายเส้นเล็กกว่าอยู่ภายในหลายๆเส้นโดยความยาวของสายมีขนาดตั้งแต่ 50 ฟุตหรือ 15 เมตรขึ้นไป ก็อาจจะมีปัญหาในเรื่อง cross talk ขึ้นมาได้ ทางแก้ก็คือต้องใช้สายไฟที่มีการ shield ของสายเส้นเล็กแยกต่างหากกันไปเป็นคู่ๆ

แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนอีกแหล่งหนึ่งที่มักถูกมองข้ามไปก็คือกระแสไฟฟ้าจากชิ้นงานรั่วลงสู่ ground ของวงจรสเตรนเกจโดยผ่านตัวสเตรนเกจหรือสายไฟ ชิ้นงานที่ติดสเตรนเกจถึงแม้ว่าจะถูก ground แล้วแต่ก็อาจจะยังมีกระแสไฟฟ้าไหลวนอยู่ในชิ้นงานได้ซึ่งกระแสไฟฟ้าดังกล่าวอาจจะไหลเข้าสู่วงจรสเตรนเกจได้ วิธีการแก้ไขก็คือจะต้อง ground ชิ้นงานที่จะติดสเตรนเกจให้ดีเพื่อทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในชิ้นงานมีค่าน้อยที่สุด และก่อนที่จะต่อสายไฟเข้ากับสเตรนเกจ ควรที่จะทดสอบความต้านทานระหว่างสเตรนเกจกับชิ้นงานเสียก่อนด้วย megohm meter โดยควรที่จะมีค่าตั้งแต่ 100 megohm ขึ้นไป ถ้าอ่านได้น้อยกว่านี้ แสดงว่าการติดสเตรนเกจอาจจะทำได้ไม่ดี

การกำจัด electromagnetic noise

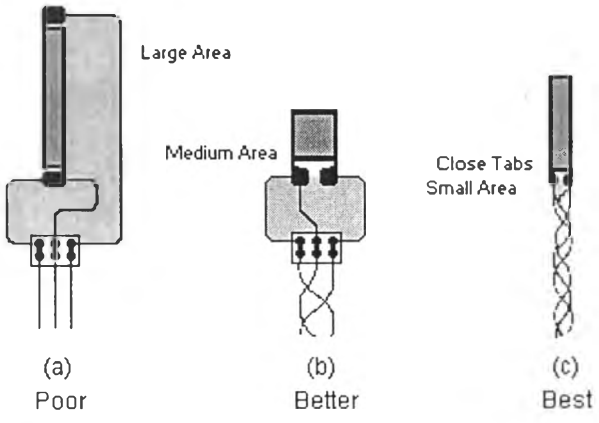
วิธีการที่ดีที่สุดในการกำจัด electromagnetic noise คือการทำให้เกิด noise voltage ขึ้นที่ขาอินพุททั้งสองข้างของ amplifier เท่าๆกัน ดังรูป ง โดยที่ amplifier จะต้องมี common

mode rejection characteristic ที่ดีด้วย การต่อสายไฟเข้ากับขาของสเตรนเกจและผลของสาย power line ที่อยู่ใกล้ๆก็เป็นเรื่องสำคัญ จากรูป ข จะเห็นได้ว่ายิ่งอยู่ห่างจากสาย power line ความเข้มข้นของ magnetic field ก็จะยิ่งน้อยลง ระดับของ noise voltage V1 และ V2 จึงขึ้นอยู่กับระยะทางที่สายไฟอยู่ห่างจาก power line การพันสายไฟทั้ง 2 เส้นเข้าด้วยกันทำให้ระยะทางโดยเฉลี่ยของสายไฟทั้ง 2 เส้นเท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้เกิด noise voltage ที่สายไฟทั้ง 2 เส้นเท่าๆกันซึ่งก็จะมีผลทำให้หักล้างกันไป ในทางทฤษฎีแล้วอัตราส่วนระหว่างจำนวนรอบในการพันต่อหน่วยความยาวของสายไฟถ้ามีค่ายิ่งมากก็จะยิ่งดี แต่ถ้าอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มี magnetic gradient สูงๆแล้ว การใช้วิธีการพันสายแบบธรรมดาอาจจะยังไม่เพียงพอ จำเป็นที่จะต้องใช้วิธีการสานสายพันกัน ดังรูป ซ

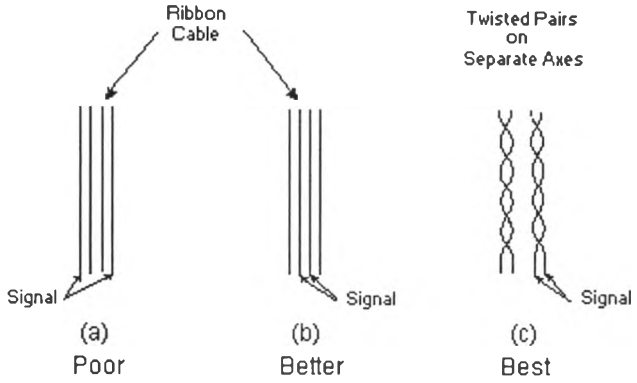


รูป ง Noise cancellation by amplifier common mode rejection

การต่อสายไฟเข้ากับขาของสเตรนเกจควรจะต่อเข้ากับ solder tab ของสเตรนเกจโดยตรง แทนที่จะต่อเข้าที่ auxilliary terminal จากรูป จ เราจะเห็นได้ว่าควรที่จะพยายามทำให้ loop area มีขนาดเล็กซึ่งจะทำให้มีการ pick up noise น้อย และด้วยเหตุผลเดียวกัน ถ้าเราใช้ ribbon cable ก็จะทำให้ noise pickup เกิดขึ้นได้มาก แต่ถ้าจำเป็นที่จะต้องใช้ก็ควรจัดให้ดีดังรูป ฉ เพื่อที่จะลดการ pick up noise

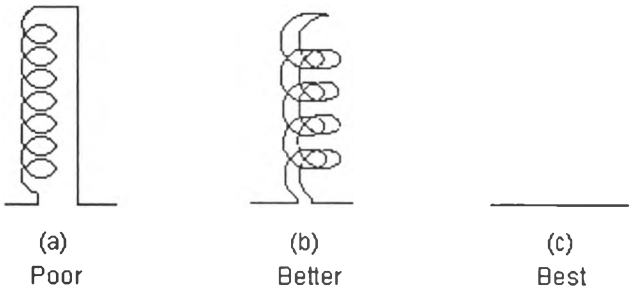


รูป จ Gage selection and wiring technique



รูป ฉ Cables comparison

ถ้าสายไฟยาวเกินไปก็จะต้องมีวิธีการจัดการที่ถูกต้อง ดังแสดงไว้ในรูป ช



รูป ช การกำจัดสายส่วนเกิน

ในแง่ของ magnetic noise problem แล้ว grounded conductive shield ไม่สามารถใช้เป็น magnetic shield ได้เพราะ magnetic shield ทำงานโดยอาศัยหลักการที่แตกต่างจากที่ใช้ใน electrostatic noise problem หลักการของ magnetic shield คือการ bend หรือ shunt magnetic field รอบๆสายสัญญาณ วัสดุที่ใช้ทำ magnetic shield ได้แก่ เหล็ก หรือ ferro-magnetic metal magnetic noise problem ที่พบได้บ่อยคือ สัญญาณรบกวนระดับความถี่ 50-60 Hz จากสาย power line ซึ่งจะป้องกันได้โดยใช้เหล็กหนาอย่างน้อย 2.5 มม. มาทำเป็น magnetic shield แต่ถ้าใช้วัสดุที่ถูกสร้างขึ้นมาเป็นพิเศษเช่น mu metal ขนาดความหนาที่ต้องใช้ก็จะลดลงมาก

การป้องกันสัญญาณรบกวนในสภาพแวดล้อมที่มีสัญญาณรบกวนมาก

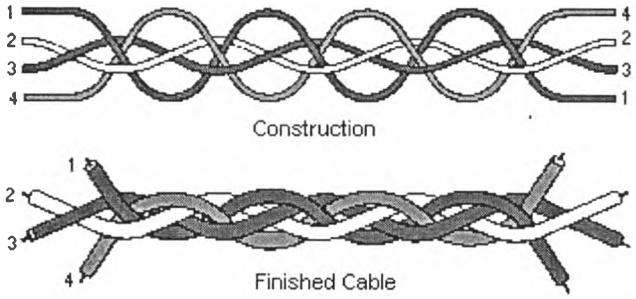
สำหรับ electrostatic field

โดยทั่วไปแล้ว ถ้าทำ shielding เพื่อป้องกัน audio frequency electrostatic noise (ต่ำกว่า 20 kHz) แล้วละก็ เราไม่ควรที่จะต่อ ground เข้ากับ shield มากกว่า 1 จุด ด้วยเหตุผลที่ว่าที่ ground point ตำแหน่งต่างๆอาจจะมีศักย์ไฟฟ้าต่างกัน และถ้าเป็นเช่นนั้นก็จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน shield ได้เกิดเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ground loop ซึ่งสามารถทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นในสายสัญญาณได้โดยเป็นปรากฏการณ์เดียวกับที่เกิดขึ้นในหม้อแปลง แต่ในกรณีที่เป็นสายสัญญาณยาวๆวิ่งผ่านสภาพแวดล้อมที่มีสัญญาณรบกวนมากๆ ถ้าค่า impedance จากปลายข้างหนึ่งถึงปลายอีกข้างหนึ่งของ shield มีค่ามาก ประจุไฟฟ้าที่ถูกจับโดย shied ก็จะหาทางไหลไปสู่ ground ได้ไม่ง่ายนัก ทำให้ shield กลายเป็น shield ที่เต็มไปด้วยสัญญาณรบกวน วิธีการแก้ไขก็คือ การต่อ ground ที่ปลายสายทั้ง 2 ข้างและหรือจุดต่างๆระหว่างนั้นด้วย โดยเฉพาะกับจุดที่ใกล้กับแหล่งของ electrostatic noise สำหรับกรณีของ radio-frequency interference (RFI) problem ที่ระดับความถี่นี้ shield หรือบางส่วนของ shield ระหว่าง ground point อาจจะแสดงพฤติกรรมในลักษณะเป็นเสาอากาศได้ วิธีการแก้ไขก็คือต้องทดลองต่อ ground หลายๆตำแหน่งเพื่อหาจุดที่เหมาะสมจนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

ถึงแม้ว่าสายไฟจะเป็นจุดหลักที่สัญญาณรบกวนจะเข้ามาสู่วงจร แต่สัญญาณรบกวนก็สามารถเข้าที่ตัวสเตรนเกจได้ ดังนั้นถ้าจำเป็นก็ควรที่สร้างกล่อง aluminum foil เพื่อเป็น electrostatic shield ครอบส่วนที่เป็นสเตรนเกจและสายไฟส่วนที่ไม่มี shield

สำหรับ electromagnetic field

ภายใต้ electromagnetic field แล้ว สายไฟเป็นจุดที่สัญญาณรบกวนสามารถแทรกเข้ามาสู่ระบบได้ง่ายที่สุด ในบริเวณที่มี electromagnetic field เข้มข้น เช่น ใกล้กับมอเตอร์หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การใช้เทคนิคของการพันสายไฟนั้นยังไม่เพียงพอที่จะป้องกันไม่ให้สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบ ด้วยเหตุผลที่ว่าถึงแม้ว่าสัญญาณรบกวนที่เข้าสู่สายไฟทั้ง 2 เส้นจะเท่ากัน แต่ amplifier noise output จะมีค่าเป็น 0 ก็ต่อเมื่อ amplifier มี infinite common mode rejection characteristic เท่านั้นซึ่งเป็นไปไม่ได้ การที่จะลดขนาดของ common mode noise voltage ทำได้โดยการสานสายไฟทั้ง 4 เส้นพันกันดังรูป ซ สายไฟที่อยู่ในลักษณะนี้จะไม่ไวต่อ magnetic field gradient ทั้งในทิศทางขนานหรือตั้งฉากกับความยาวของสายไฟ



รูป ซ Woven cable to reduce severe electromagnetic radiation and pickup

ภายใต้ electromagnetic field แล้ว ที่ตัวสเตรนเกจจะมีสัญญาณรบกวนเข้ามาน้อยมาก อย่างไรก็ตามรูปแบบสเตรนเกจที่แตกต่างกันก็จะมีความไวต่อสัญญาณรบกวนแตกต่างกัน ความแตกต่างนั้นมีสาเหตุมาจากขนาดของ loop area โดยสเตรนเกจที่มีขนาดเล็กกว่า มี grid line อยู่ชิดๆกันมากกว่า ก็จะ pick up สัญญาณรบกวนได้น้อยกว่า

ประวัติผู้เขียน

นายไพศาล เต็งเจริญชัย เกิดวันที่ 4 พฤศจิกายน 2514 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2535 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปีการศึกษา 2538