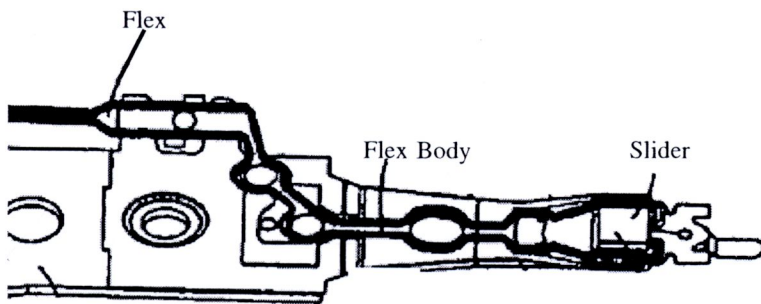


บทที่ 3

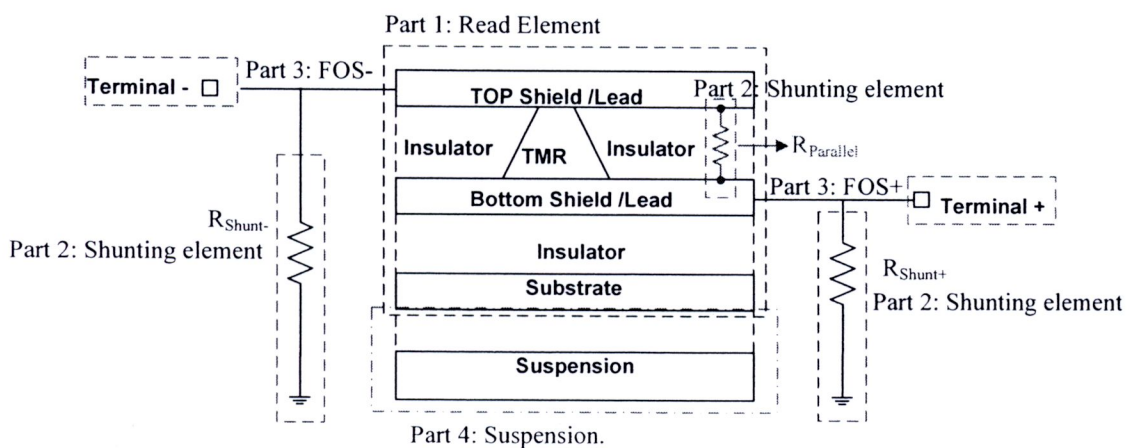
การทดลอง

3.1 การออกแบบ แบบจำลองของหัวอ่าน TMR ในระดับการผลิต HGA

ในการนำเอาหัวบันทึกไปใช้งานนั้น จะต้องประกอบหัวบันทึกในรูปของสไลเดอร์ (Slider) และนำเอาสไลเดอร์ไปประกอบเข้ากับ FOS ซึ่งถูกประกอบเข้ากับแขนรอง (Suspension) ที่ทำหน้าที่เสมือนเป็นกราวด์ของระบบตามที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 ซึ่งเมื่อประกอบหัวบันทึก และ FOS เข้าไว้ด้วยกัน แล้วจะถูกเรียกว่า เฮดกิมบอลแอสเซมบลี หรือ เอชจีเอ (HGA) โดยที่สายนำสัญญาณนั้นจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับขั้วเขียน และขั้วอ่านของหัวบันทึก ดังภาพที่ 3.1



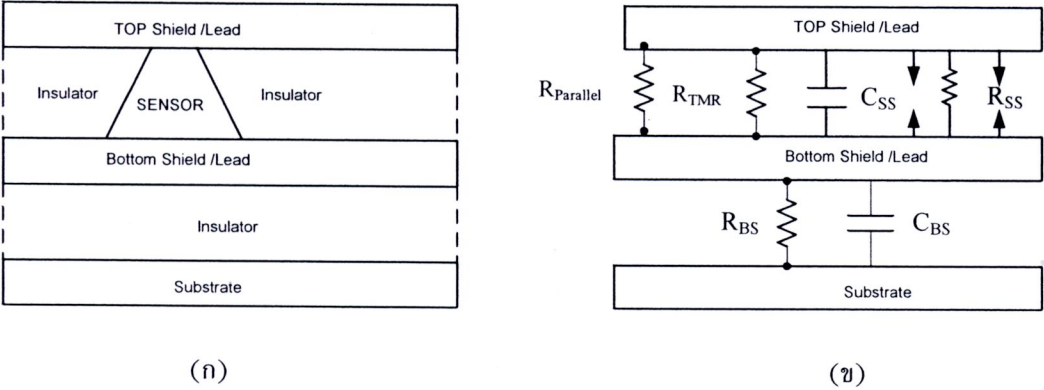
ภาพที่ 3.1 องค์ประกอบของเฮดกิมบอลแอสเซมบลี [60]



ภาพที่ 3.2 ส่วนประกอบของ HGA ประกอบของไปด้วย หัวอ่านข้อมูล ส่วนต่อขนาน ส่วนสายนำสัญญาณ และ ส่วน Suspension หรือ กราวด์

ส่วนประกอบที่สำคัญของ HGA หลังจากที่ได้เชื่อมต่อเข้ากับหัวอ่านแล้ว จะประกอบไปด้วย ส่วนประกอบหลักสี่ส่วน คือ 1) หัวอ่านข้อมูล 2) ส่วนต่อขนาน 3) ส่วนสายนำสัญญาณ และ 4) ส่วนแขวนรอง (Suspension) ตามที่แสดงในภาพที่ 3.2

1) ส่วนหัวอ่านข้อมูล ทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากแผ่นบันทึกข้อมูล โครงสร้างของหัวอ่านข้อมูล ที่มี โครงสร้างในลักษณะของตัวนำทางไฟฟ้าที่ถูกคั่นโดยชั้นฉนวน สามารถแปลงโครงสร้างของหัวอ่านข้อมูล เป็น แบบจำลองของตัวเก็บประจุขนานกับความต้านทาน ตามที่แสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 (ก) โครงสร้างของหัวอ่านข้อมูล ประกอบไปด้วย ส่วนฐาน ส่วนป้องกันทางไฟฟ้า ส่วน ป้องกันทางแม่เหล็ก และ ส่วนอ่านข้อมูล
(ข) แบบจำลองไฟฟ้าของหัวอ่านข้อมูล ประกอบไปด้วย

- R_{TMR} คือ ค่าความต้านทานของส่วนอ่านข้อมูล
- $R_{Parallel}$ คือ ค่าความต้านทานต่อขนานกับความต้านทานของส่วนอ่านข้อมูล
- C_{SS} คือ การเก็บประจุระหว่างส่วนชีลด์ด้านบนและด้านล่าง
- R_{SS} คือ ค่าความต้านทานระหว่างส่วนชีลด์ด้านบนและด้านล่าง
- C_{BS} คือ ตัวเก็บประจุระหว่างส่วนชีลด์ด้านล่างและส่วนฐาน
- R_{BS} คือ แทนค่าความต้านทานระหว่างส่วนชีลด์ด้านล่างและส่วนฐาน

ขนาดของ R_{TMR} และ $R_{Parallel}$ เป็นข้อมูลที่ได้ จาก บริษัทผู้ผลิต ในส่วนของขนาดตัวเก็บประจุ และ ความต้านทาน ของชั้นฉนวนที่คั่นระหว่าง ส่วนป้องกันด้านบน และ ด้านล่าง รวมถึงชั้นฉนวนที่คั่นระหว่าง ส่วน ป้องกันด้านล่างไปยังฐาน สามารถคำนวณได้โดยอาศัย ขนาดของพื้นที่หน้าตัด และความหนาของชั้นฉนวน ตามที่แสดงในสมการที่ (3.1) และ (3.2) ตามลำดับ

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \tag{ 3.1 }$$

โดยที่

- C คือ ขนาดของตัวเก็บประจุ (pF)
- ϵ คือ ค่าสภาพการดูดซับของวัสดุ

A คือ พื้นที่หน้าตัด ของหัวอ่านข้อมูล (mm)
d คือ ความหนาของชั้นฉนวน (mm)

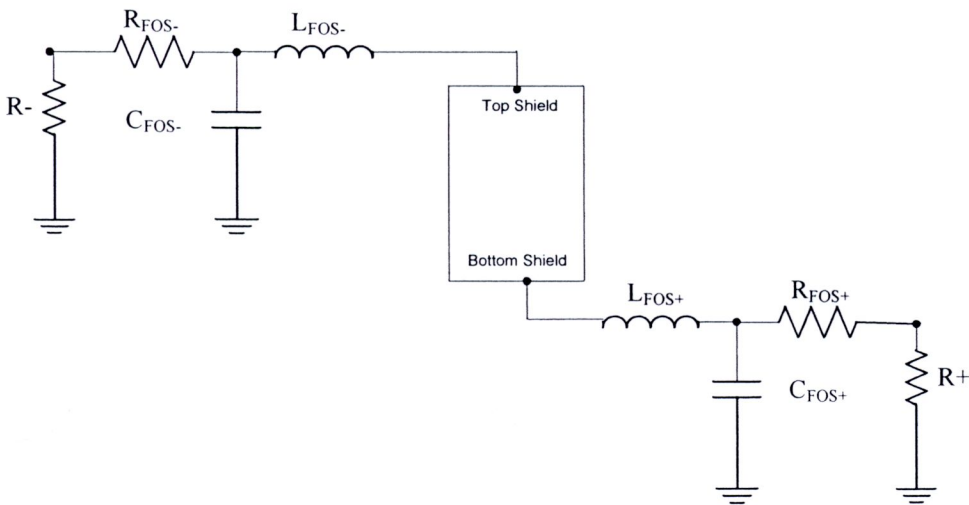
$$R = \frac{\rho L}{A} \tag{3.2}$$

โดยที่

R คือ ความต้านทาน (Ω)
 ρ คือ สภาพความนำทางไฟฟ้า
A คือ พื้นที่หน้าตัดของหัวอ่านข้อมูล (mm)
L คือ ความหนาของชั้นฉนวน (mm)

2) ส่วนต่อขานาน ส่วนอ่านข้อมูลแผ่นฟิล์มบางทางแม่เหล็กประเภท TMR นั้นง่ายต่อการทะลาย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมี ส่วนต่อขานาน ซึ่งใช้ตัวต้านทานต่อขานานระหว่าง ส่วนป้องกันด้านบน ด้านล่าง และ กราวด์ เพื่อลดการทะลายที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ค่าความต้านทานขานานที่ถูกใช้ในตัวอย่างหัวบันทึกนี้ มีขนาด 5 k Ω

3) ส่วนสายนำสัญญาณ ทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณจากหัวอ่านข้อมูล ไปยังส่วนประกอบอื่นๆ ซึ่งต้องมีแรงดันที่ใช้การไบแอสโดยหัวอ่านข้อมูลรุ่นที่ใช้ในการศึกษานี้ จะทำการไบแอส จากฉนวนด้านล่าง ไปยังฉนวนด้านบน เนื่องจากหัวอ่านข้อมูลจะทำงานได้โดยอาศัยการไบแอสเชิงกระแส ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้แบบจำลองของสายส่งแบบ T เป็นแบบจำลองของส่วนสายนำสัญญาณ และเนื่องจากสายนำสัญญาณที่ใช้ไม่ได้ถูกขานานดังนั้น ขนาดของความต้านทานของส่วนปลายทั้งสองด้าน จึงสมมุติให้มีค่าสูงมาก (ประมาณ1000 M Ω) ดังแสดงในภาพที่ 3.4

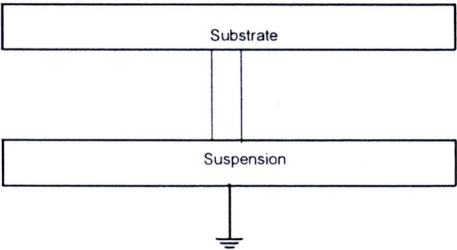


ภาพที่ 3.4 แบบจำลองไฟฟ้าสายนำสัญญาณ

ซึ่งแบบจำลองของสายนำสัญญาณที่แสดงในภาพที่ 3.4 นั้นประกอบไปด้วย

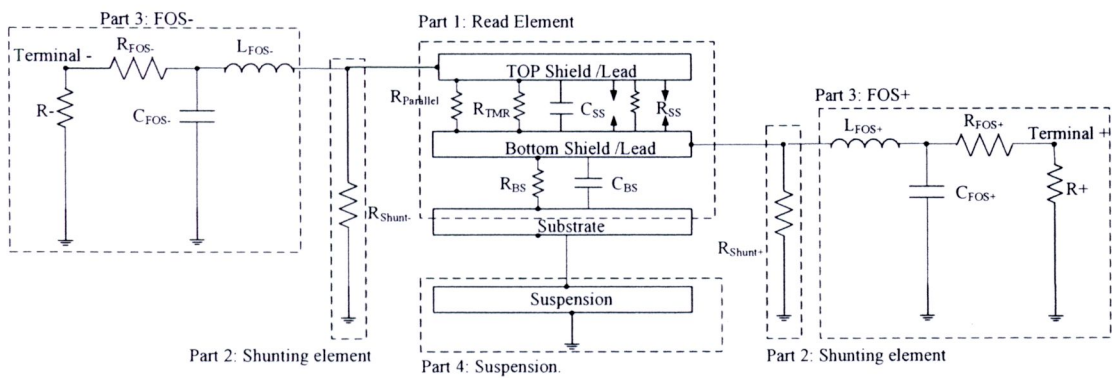
- L_{FOS+} และ L_{FOS-} คือ การเหนี่ยวนำ ของสายนำสัญญาณด้านล่าง และด้านบนตามลำดับ
- R_{FOS+} และ R_{FOS-} คือ ความต้านทาน ของสายนำสัญญาณด้านล่าง และด้านบนตามลำดับ
- C_{FOS+} และ C_{FOS-} คือ การเก็บประจุ ของสายนำสัญญาณด้านล่าง และด้านบนตามลำดับ
- R_{FOS+} และ R_{FOS-} คือ ความต้านทานของส่วนปลายสายนำสัญญาณด้านบนและด้านล่าง ตามลำดับ

4) ส่วนแขนรอง (Suspension) หัวอ่านข้อมูลและส่วนต่อขนาน ที่ถูกเชื่อมต่อโดยตรงเข้ากับสายนำสัญญาณ ที่วางบนส่วนแขนรอง [58] ดังนั้น ระหว่างส่วนแขนรองและ ส่วนฐานของหัวอ่านข้อมูล จะแสดงโครงสร้าง เสมือนได้เป็นการลัดวงจรทางไฟฟ้า ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 แบบจำลองไฟฟ้าระหว่างส่วนฐานและแขนรอง ประมาณได้เป็นการลัดวงจรทางไฟฟ้า

เมื่อนำแบบจำลองเชิงวงจรไฟฟ้าของส่วนประกอบทั้ง 4 มาเชื่อมต่อเข้าไว้ด้วยกัน จะทำให้ได้แบบจำลองวงจรไฟฟ้า สำหรับหัวบันทึกข้อมูลแบบ TMR ในระดับการผลิต HGA ดังภาพที่ 3.6

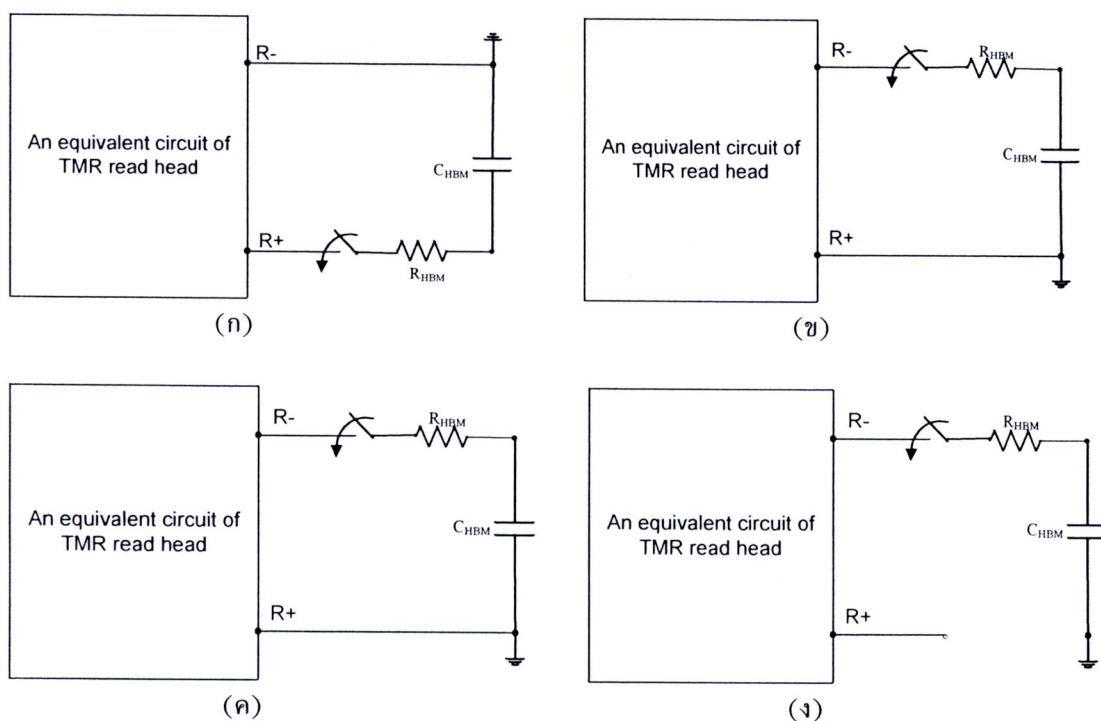


ภาพที่ 3.6 แบบจำลองไฟฟ้าสำหรับหัวบันทึกข้อมูลแบบ TMR ในระดับการผลิต HGA

3.2 การทดลองโดยอาศัยแบบจำลอง

การศึกษผลจากการคายประจุที่มีต่อหัวอ่านแบบ TMR โดยอาศัยแบบจำลองทางไฟฟ้า ซึ่งในการศึกษานั้น จะศึกษาผลจากการคายประจุโดยอาศัย HBM MM และ CDM โดยที่ HBM ประกอบไปด้วย ค่าความต้านทานขนาด1.5kOhm ต่อ อนุกรมกับค่าความเก็บประจุขนาด 100 pF [52] สำหรับ MMประกอบไปด้วย ค่าการเหนี่ยวนำ 500 nH ต่อ อนุกรมกับค่าความเก็บประจุขนาด 200 pF [54] โดยในการศึกษาผลของ

การคายประจุไฟฟ้าสถิต ที่มีต่อหัวอ่านโดยอาศัยแบบจำลอง HBM และ MM จะทำการศึกษาผลของการคายประจุที่มีต่อหัวบันทึก ที่เกิดขึ้น จากกรณีการคายประจุที่ต่างกัน สี่กรณีคือ คือ 1) คายประจุคร่อมระหว่างขั้ว R+ และ ขั้ว R- กรณีที่ 2) คายประจุคร่อมระหว่างขั้ว R- และ ขั้ว R+ กรณีที่ 3) คายประจุคร่อมระหว่างขั้ว R+ และกราวด์ และกรณีที่ 4) คายประจุคร่อมระหว่างขั้ว R- และกราวด์ ในขณะที่ การศึกษาถึงผลของ CDM จะทำการศึกษาโดย สมมติใช้ ช่องว่างระหว่างส่วนป้องกันด้านล่าง และ ส่วนฐาน มีประจุสะสมอยู่และ ถูกคายประจุ จาก 1) ขั้ว R+ ไปยังกราวด์ และ 2) ขั้ว R- ไปยังกราวด์ ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 วงจรที่ใช้สำหรับศึกษาการคายประจุไฟฟ้าสถิต
 (ก) คายประจุคร่อมระหว่างขั้ว R+ และ ขั้ว R-
 (ข) คายประจุคร่อมระหว่างขั้ว R- และ ขั้ว R+
 (ค) คายประจุคร่อมระหว่างขั้ว R+ และกราวด์
 (ง) คายประจุคร่อมระหว่างขั้ว R- และกราวด์

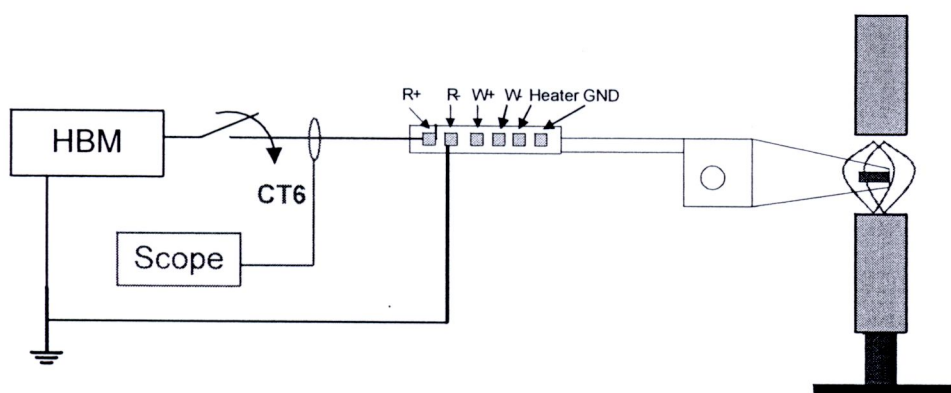
สำหรับการจำลองความเสียหาย โดยอาศัยแบบจำลองเพื่อศึกษาผลจากการคายประจุไฟฟ้าสถิตในแต่ละกรณี จะทำการจำลองการคายประจุโดยทำการป้อนแรงดันการคายประจุไฟฟ้าสถิต (V_{ESD}) ให้กับ C_{HBM} แล้วทำการวัดขนาดของกระแสสูงสุด ที่ไหลผ่าน R_{TMR} หลังจากนั้นจะทำการเพิ่ม V_{ESD} จนกระทั่ง วัดขนาดของกระแสที่ไหลผ่าน R_{TMR} (I_{TMR}) ได้มากกว่า 4 mA ซึ่งเป็นขนาดของกระแสที่ทำให้หัวบันทึก (เฉพาะรุ่นที่นำมาใช้เป็นต้นแบบสำหรับสร้างแบบจำลอง) เกิดความเสียหายจึงหยุดการทดลอง

3.3 การทดลองโดยอาศัยการทดลอง

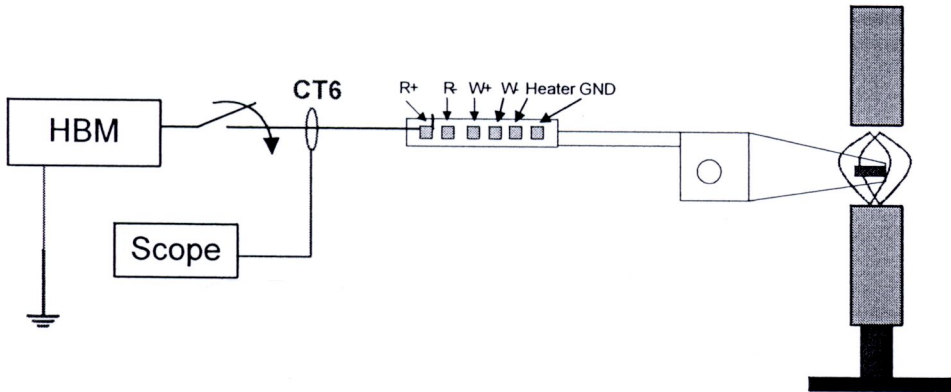
การทดลองนี้เป็นการทดลอง เพื่อศึกษาผลกระทบจากการคายประจุที่มีต่อหัวบันทึก ที่ใช้หัวอ่านประเภท TMR โดยตัวอย่างของหัวบันทึกที่นำมาทดลองนี้ เป็นหัวบันทึกประเภทเขียนและอ่านข้อมูลตามแนวตั้ง หรือ Current Perpendicular Magnetic Recording Head โดยในการทดลอง ได้ทำการทดสอบผลจากการคายประจุภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ กัน สี่เงื่อนไข คือ

- 1) คายประจุคร่อมระหว่างขั้ว R+ และ R-
- 2) คายประจุคร่อมระหว่างขั้ว R- และ R+
- 3) คายประจุคร่อมระหว่างขั้ว R+ และกราวด์ และ
- 4) คายประจุคร่อมระหว่างขั้ว R+ และกราวด์

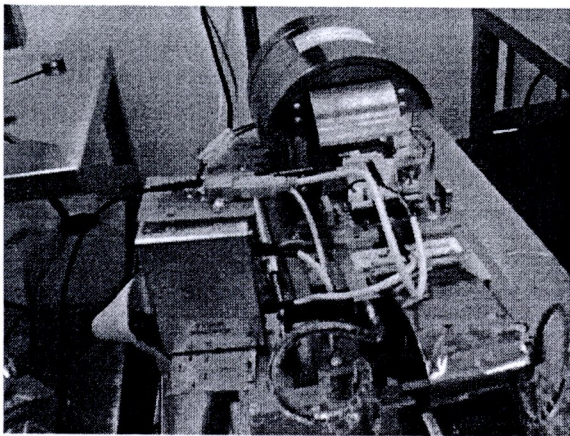
ในระหว่างการทดสอบการคายประจุ ของแต่ละเงื่อนไข กระแสที่ได้จากการคายประจุจะถูกวัดโดยอาศัย Digital Storage Oscilloscope รุ่น TDS 6124 C หลังจากการคายประจุที่แต่ละระดับแรงดันค่าพารามิเตอร์ต่างๆ อันได้แก่ Resistance, Amplitude, Asymmetry, Barkhausen Jump, Hysteresis และ Transfer Curve จะถูกวัดโดยอาศัย เครื่อง QST ของ ISI รุ่น 2002 ดังแสดงในภาพที่ 3.8 -3.13



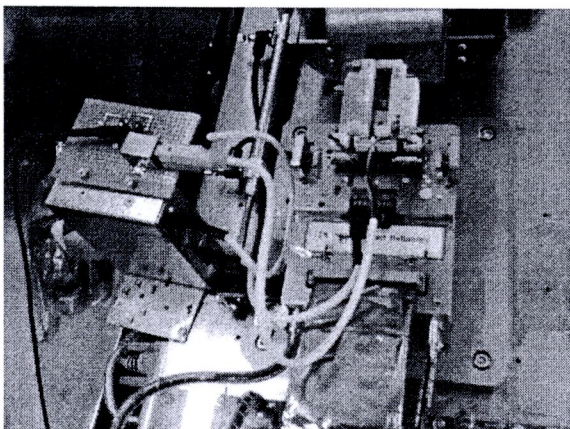
ภาพที่ 3.8 การจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับใช้ ทดสอบผลจากการคายประจุไฟฟ้าสถิต โดยการคายประจุคร่อมระหว่างขั้ว R+(-) และ R-(+) โดยเริ่มต้นทำการทดสอบที่ระดับแรงดันขนาด 1 V เพิ่มแรงดันครั้งละ 0.5 V จนกระทั่งขนาดของแรงดันจากการคายประจุไฟฟ้าสถิตมีขนาด 5 V หลังจากนั้น จะทำการปรับขนาดของแรงดันการคายประจุไฟฟ้าสถิต ครั้งละ 0.25 V จนกระทั่งค่า Resistance ของหัวอ่านมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า 20% (เป็นค่าที่ถูกใช้ประมาณความเสียหายทางกายภาพที่ได้จากภาคอุตสาหกรรม) จึงสิ้นสุดการทดสอบ ในการทดลองครั้งนี้อาศัยหัวบันทึกสำหรับการทดสอบ เงื่อนไขละ 10 หัว



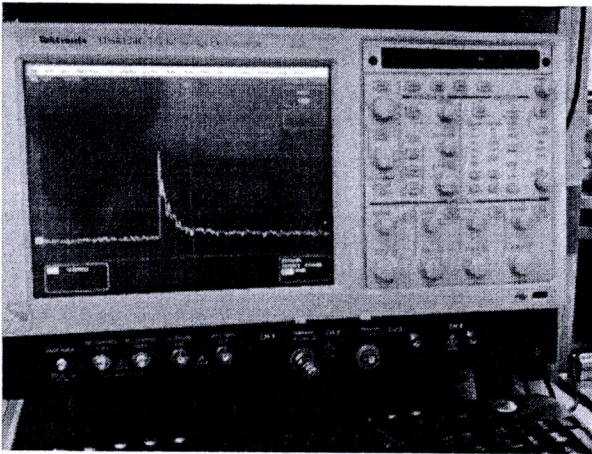
ภาพที่ 3.9 การจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับใช้ ทดสอบผลจากการคายประจุไฟฟ้าสถิต โดยการคายประจุคร่อมระหว่างขั้ว R+ (-) และกราวด์ โดยเริ่มต้นทำการทดสอบที่ระดับแรงดันขนาด 5 V เพิ่มแรงดันครั้งละ 1 V จนกระทั่งขนาดของแรงดันจากการคายประจุไฟฟ้าสถิตมีขนาด 20 V หลังจากนั้น จะทำการปรับขนาดของแรงดันการคายประจุไฟฟ้าสถิต ครั้งละ 0.5 V จนกระทั่งค่า Resistance ของหัวอ่านมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า 20% จึงสิ้นสุดการทดสอบ ในการทดลองครั้งนี้อาศัยหัวบันทึกสำหรับการใช้ในการทดสอบ เงื่อนไข 10 หัว



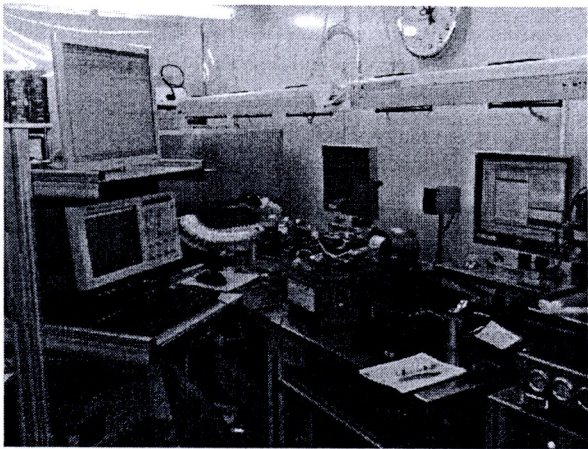
ภาพที่ 3.10 เครื่อง QST ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3.11 Switching ที่ถูกใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3.12 Scope ที่ถูกใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3.13 ภาพรวมของการทดลอง

เกณฑ์ที่ถูกใช้สำหรับการประมาณความเสียหาย จะถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ เกณฑ์ที่ถูกใช้สำหรับประมาณความเสียหายทางกายภาพ(Physical Failure) และ ทางแม่เหล็ก (Magnetic Failure) โดยเกณฑ์ที่ถูกใช้ประมาณความเสียหายแต่ละประเภทนี้ ใช้ค่าที่ได้จากภาคอุตสาหกรรม

ตารางที่ 3.1 เกณฑ์สำหรับประมาณความเสียหาย

ตัวแปร	เกณฑ์ประมาณความเสียหาย	รูปแบบ	ประเภทความเสียหาย
Resistance (Ω)	20%	เปลี่ยนแปลง	เสียหายทางกายภาพ
Amplitude (μV)	20%	เปลี่ยนแปลง	เสียหายทางแม่เหล็ก
Asymmetry (%)	15%	เปลี่ยนแปลง	เสียหายทางแม่เหล็ก
Barkh Jump (%)	15%	เพิ่มขึ้น	เสียหายทางแม่เหล็ก