บทที่ 3

การทดลอง

3.1 หลักการหาค่าเวลาสปินแล็ททิซรีแล็คเซชัน[16]

จากหัวข้อ 2.2 สมการแสดงการเปลี่ยนแปลงของจำนวน n ต่อเวลาคือ

$$\frac{dn}{dt} = \frac{n_o - n}{T_1} \qquad (3.1)$$

จำนวน n จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแม็กนีไทเซชัน (Magnetization) M_z ซึ่งหมายถึงปริมาณโมเมนต์แม่เหล็กสัพธ์ต่อปริมาตร ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของแม็กนีไทเซชันต่อเวลาจึงมีสมการแบบเดียวกันกับสมการ (3.1) ด้วยคือ

$$\frac{dM_z}{dt} = \frac{M_o - M_z}{T_1} \qquad (3.2)$$

ซึ่งมีคำตอบของสมการเป็น

$$M_z = M_o \left[1 - 2 \exp(-t/T_1) \right] \qquad (3.3)$$

โดยมีเงื่อนไขเริ่มต้นว่า $M_z = -M_o$ ที่ $t = 0$

สมการ (3.3) และเงื่อนไขเริ่มต้นเป็นสมการแสดงสปินแล็ททิซรีแล็คเซชัน เมื่อตั้งต้นด้วยการให้ M_z ทำมุม 180 องศากับแกน z แล้วค่า M_z จะเริ่มกลับเข้าสู่สภาวะสมดุลย์เดิมคือกลับไปมีค่า $M_z = M_o$ ในแกน z เพราะว่ามีการถ่ายเท

พลังงานจากระบบสปินไปสู่ระบบแล็ททิซ

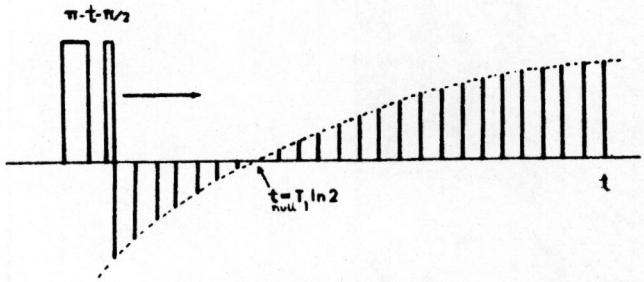
เนื่องจาก M_z มีการเปลี่ยนแปลงจาก $-M_o$ ไปสู่ $+M_o$ ดังนั้น ย่อมมีเวลาขณะหนึ่งคือ $t = t_{null}$ ที่ M_z เท่ากับศูนย์ซึ่งจะทำให้สมการ (3.3) กลายเป็น

$$0 = M_o \left[1 - 2 \exp(-t_{null}/T_1) \right]$$

หรือ $$T_1 = t_{null}/\ln 2 \qquad (3.4)$$

ดังนั้นถ้าสามารถวัดค่า t_{null} ได้จากการทดลองก็จะทำให้สามารถหาค่าเวลาสปินแล็ททิซรีแล็คเซชัน T_1 ได้จากสมการ (3.4)

สำหรับการทดลองเริ่มต้นด้วยการให้พัลส์ 180 องศา ซึ่งจะทำให้ M_z บิดไปเป็นมุม 180 องศากับแกน z คือจากค่า M_o ไปมีค่า $-M_o$ เนื่องจากมีสปินแล็ททิซรีแล็คเซชัน M_z จะเริ่มเปลี่ยนแปลงกลับไปสู่สภาวะเดิมคือจากค่า $-M_o$ ไปสู่ค่า M_o หลังจากนั้นที่เวลา t ต่าง ๆ กันก็ให้พัลส์ 90 องศาอีก ถ้าเวลา t สั้นมาก ๆ เทียบกับ T_1 พัลส์ 90 องศาจะบิด M_z ซึ่งมีค่าเกือบสูงสุดไปอยู่ในระนาบ XY ซึ่งจะทำให้เกิดสัญญาณในขดลวดทดลองเกือบสูงสุด แต่ถ้า t ยาวมาก ๆ เมื่อเทียบกับ T_1 พัลส์ 90 องศาจะบิด M_z ซึ่งมีค่าเกือบเท่ากับ M_o ในแกน z ไปอยู่ในระนาบ XY ซึ่งก็จะทำให้เกิดสัญญาณในขดลวดทดลองเกือบสูงสุดเหมือนกัน และจะมีเวลาหนึ่งคือ t_{null} ซึ่งจะทำให้ไม่มีสัญญาณในขดลวดทดลอง หลังจากให้พัลส์ 90 องศาดังในรูปที่ 3.1 ดังนั้นเมื่อวัดค่า t_{null} จากการทดลองได้แล้วก็นำไปหาค่าเวลาสปินแล็ททิซรีแล็คเซชันได้โดยใช้สมการ (3.4)



รูปที่ 3.1 แสดงขนาดของสัญญาณในขดลวดทดลองหลังจากให้อนุกรมพัลส์ 180-t-90 ที่ t ต่าง ๆ กัน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองส่วนใหญ่เป็นชุดเดียวกันกับที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ของ Trivijitkasem P.[17] ยกเว้นกล่องสารทดลอง (Sample Cell) พร้อมชุดควบคุมอุณหภูมิ และชุดวัดอุณหภูมินั้น เหมือนกับในวิทยานิพนธ์ของ Towta S.[18] ซึ่งได้รับการดัดแปลงเพิ่มเติมอีกเล็กน้อย ในการวัดเวลาสปินแล็ททิซรีแล็คเซชันนี้ได้วัดที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน โดยการวัดตั้งต้นที่อุณหภูมิซึ่งผลึกเหลวอยู่ในสถานะไอโซโทรปิค แล้วค่อย ๆ ลดอุณหภูมิลงมาจนอยู่ในช่วงอุณหภูมิสถานะคอเลสเทอริค แผนภาพเครื่องมืออยู่ในรูปที่ 3.2

3.3 หลักการทดลอง

สารทดลองคือผลึกเหลวถูกบรรจุอยู่ในหลอดทดลองที่อยู่ภายในขดลวดทดลอง ซึ่งมีหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก $\vec{H}_1(t)$ และทำหน้าที่วัดสัญญาณจากสารทดลองด้วย (ดูในหัวข้อที่ 2.4) ขดลวดสัญญาณนี้อยู่ภายในกล่องสารทดลองซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิและวัดอุณหภูมิของสารทดลองได้ กล่องสารทดลองนี้วางอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก (Electromagnet) ซึ่งทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก $\vec{H}_o$

เครื่องกำเนิดคลื่นวิทยุ (R.F. Oscillator) ทำหน้าที่สร้างคลื่นที่ความถี่ 10.25 เมกกา เฮิทซ์สำหรับส่งไปยังขดลวดสัญญาณ เพื่อเปลี่ยนเป็นสนามแม่เหล็ก $H_1(t)$ แต่คลื่นนี้จะถูกส่งออกไปได้ก็ต่อเมื่อมีพัลส์บวกจากเครื่องขยายสัญญาณพัลส์ (Pulse Amplifier) มาบังคับ

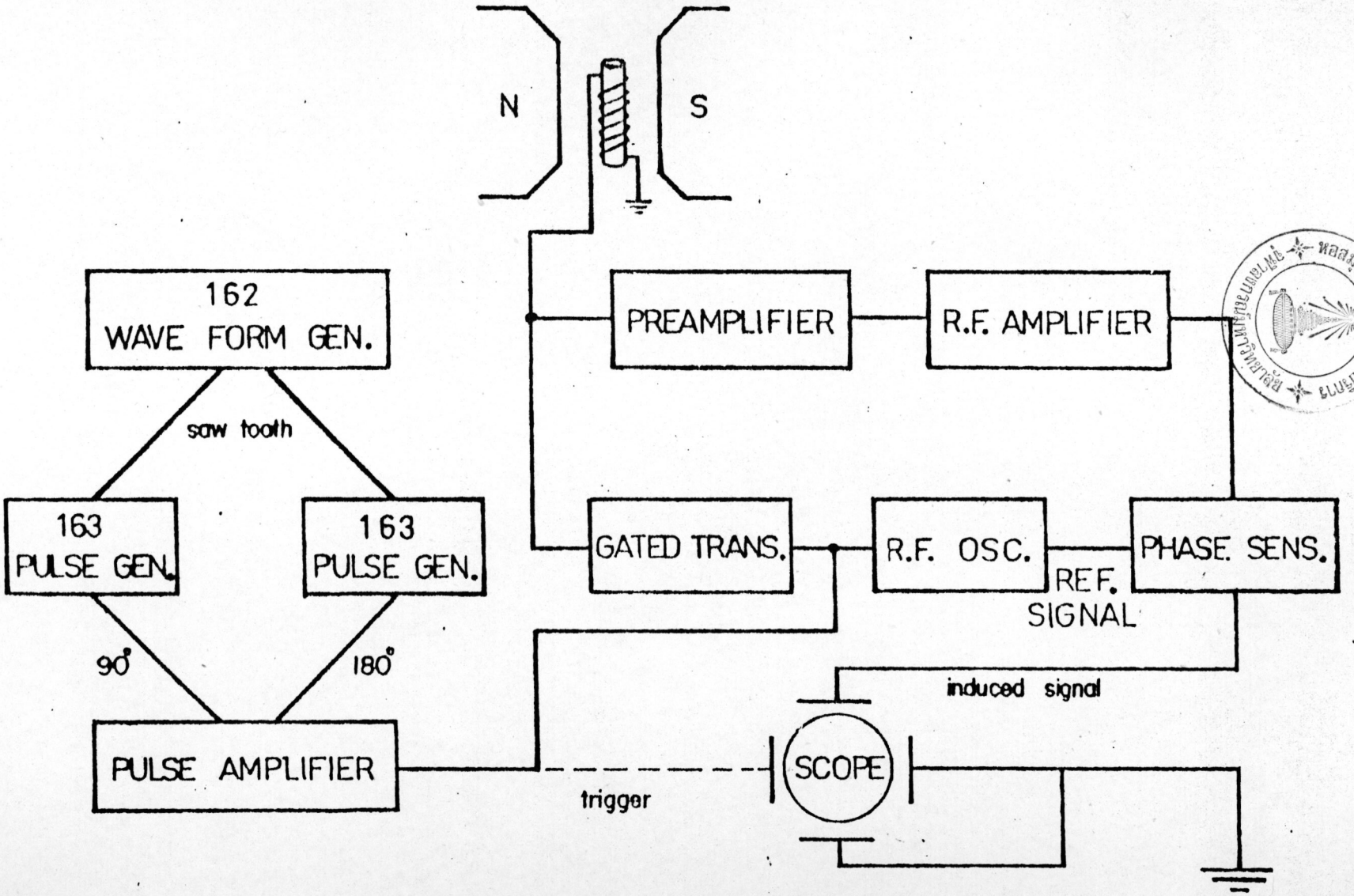
เครื่องกำเนิดพัลส์ (Pulse Generator) สองเครื่องทำหน้าที่สร้างพัลส์บวก (Positive Square Pulse) ซึ่งสามารถเลือกความกว้างของพัลส์ได้ โดยเครื่องหนึ่งเลือกให้สร้างพัลส์ 90 องศาและอีกเครื่องหนึ่งเลือกให้สร้างพัลส์ 180 องศา

เครื่องกำเนิดรูปคลื่น (Wave Form Generator) ทำหน้าที่สร้างคลื่นฟันเลื่อย สำหรับส่งไปให้แก่เครื่องกำเนิดพัลส์เพื่อบังคับให้เครื่องกำเนิดพัลส์ทั้งสองส่งพัลส์ 90 องศา และพัลส์ 180 องศาออกไปที่ระยะเวลาห่างกันเท่ากับ t ต่าง ๆ กันได้ เพราะเครื่องกำเนิดพัลส์สามารถปรับได้ว่าจะให้ส่งพัลส์ออกไปที่ระยะเวลาใดของคลื่นฟันเลื่อย

พัลส์ 90 องศาและ 180 องศาจากเครื่องกำเนิดพัลส์จะถูกส่งไปขยายที่เครื่องขยายพัลส์ หลังจากนั้นพัลส์ที่ถูกขยายแล้วนี้จะถูกส่งไปยังเครื่องปิดเปิดคลื่นวิทยุ (Gated R.F. Transmitter) เพื่อบังคับให้คลื่น 10.25 เมกกา เฮิทซ์ออกจากเครื่องกำเนิดวิทยุผ่านเครื่องปิดเปิดคลื่นวิทยุแล้วส่งไปยังขดลวดสัญญาณต่อไป

สัญญาณจากสารทดลองที่ขดลวดสัญญาณวัดได้จะถูกส่งไปยัง ปรีแอมปลิฟาย เออร์ (R.F. Preamplifier) ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้ได้ขนาดใหญ่ขึ้น แล้วส่งไปขยายเพิ่มอีกที่เครื่องขยายคลื่นวิทยุ (R.F. Amplifier) หลังจากนี้สัญญาณที่ถูกขยายแล้วนี้จะถูกส่งเข้าสู่ดีเท็คเตอร์ (Phase Sensitive Detector) เพื่อกำจัดคลื่นวิทยุออกจากสัญญาณโดยการให้ผสมกับคลื่นความถี่ 10.25 เมกกา เฮิทซ์ที่ส่งมาจากเครื่องกำเนิดคลื่นวิทยุก่อนแล้วกรองเอาคลื่นวิทยุทิ้งไป แล้วส่งสัญญาณที่ได้เข้าสู่ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ซึ่งมีสัญญาณบังคับ (Trigger) ส่งมาจากเครื่องขยายพัลส์ ในการทดลองนั้นทำโดยการ

ปรับระยะเวลาระหว่างพัลส์ 90 องศากับพัลส์ 180 องศาจนกว่าจะทำให้ไม่มีสัญญาณเหนี่ยวนำในขดลวดหลังจากให้พัลส์ 90 องศา ซึ่งระยะเวลานั้นคือ t_{null} แล้ววัดค่า t_{null} จากออสซิลโลสโคปเพื่อนำไปคำนวณหาค่า T_1 ต่อไปจากการใช้สมการ (3.4)



รูปที่ 3.2 แผนภาพเครื่องมือที่ใช้วัดค่า T_1