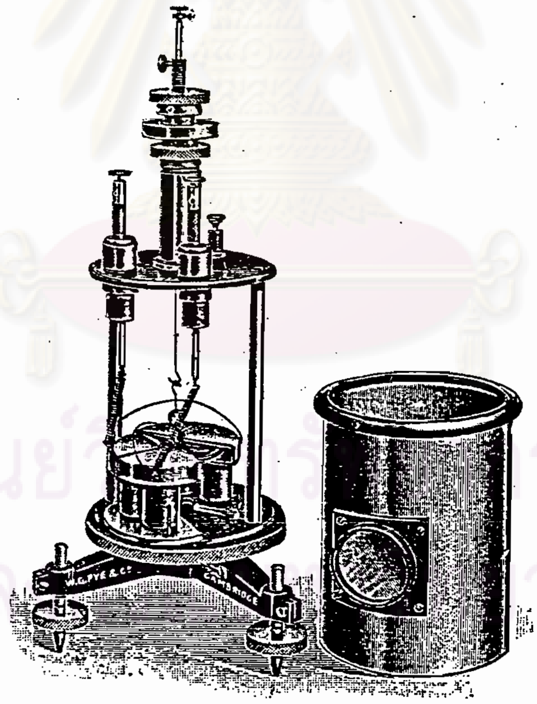
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 2

## อิเล็กโตรมิเตอร์

อิเล็กโตรมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดประจุไฟฟ้า ซึ่งการทำงานโดยทั่วไปจะต้องคำนวณปริมาณประจุไฟฟ้า โดยเทียบจากแรงดึงดูดที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นโลหะซึ่งวางอยู่ในสนามไฟฟ้า ได้มีการออกแบบและสร้างอิเล็กโตรมิเตอร์ออกมาใช้หลายแบบ ซึ่งกล่าวโดยสังเขปได้ดังนี้

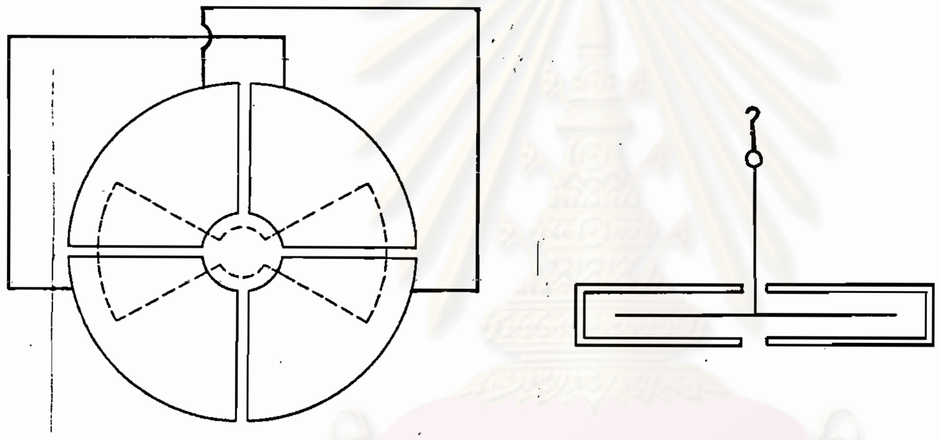
2.1 <u>อิเล็กโตรมิเตอร์แบบควอทแดรนท์</u> (Quadrant Electrometer)



รูป 2.1 อิเล็กโตรมิเตอร์แบบควอทแดรนท์

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.1 ลักษณะโดยทั่วไป อิเล็กโตรมิเตอร์แบบควอทแดรนท์ ประกอบด้วยกล่องโลหะรูปทรงกระบอกกลวง (ส่วนมากทำด้วยทองเหลือง) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7 - 13 เซนติเมตร สูงประมาณ 1 เซนติเมตร แบ่งออกเป็น 4 ควอทแดรนท์เท่า ๆ กัน แต่ละควอทแดรนท์ห่างกันประมาณ 0.5 - 1 มิลลิเมตร โดยวางอยู่บนฉนวนไฟฟ้าที่ดี เช่น แท่งอำพัน ซึ่งยึดอยู่กับที่บนฐาน (ดังรูป 2.1) ควอทแดรนท์ที่อยู่ตรงกันข้ามจะต่อถึงกันด้วยสายไฟฟ้า และต่อไปยังขั้วไฟฟ้าภายนอก กล่องโลหะดังกล่าวจะช่วยป้องกันไม่ให้สนามไฟฟ้าภายนอกเข้าไปรบกวนควอทแดรนท์ทั้ง 4 และส่วนประกอบอื่น ๆ ที่อยู่ภายใน



ก. มองจากด้านบน ข. มองจากด้านข้าง

รูป 2.2 อิเล็กโตรมิเตอร์แบบควอทแดรนท์

ภายในกล่องโลหะกลวง จะมีเข็มซึ่งทำด้วยอลูมิเนียมหรือเงิน มีความหนาประมาณ 0.015 มิลลิเมตร มีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมฐานโค้ง แขวนอยู่กึ่งกลางระหว่างควอทแดรนท์ทั้ง 4 ด้วยเส้นใยที่ทำด้วยควอทซ์ซึ่งทำให้เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยการฉาบด้วยโลหะ หรือชุบด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) หรือทำด้วย phosphor bronze มีกระจกเงาแผ่นเล็ก ๆ แขวนอยู่กับเส้นใยดังกล่าว ส่วนบนของเส้นใยจะมีขอเกี่ยวเพื่อให้สามารถหมุนหรือเลื่อนกระจกขึ้นลงให้อยู่ในตำแหน่งและทิศทางที่ต้องการได้ ปลายอีกด้านหนึ่งของเส้นใยจะต่อกับขั้วไฟฟ้าซึ่งอยู่ภายนอก

อุปกรณ์ที่ใช้ในการอ่านค่าที่วัดได้ ประกอบด้วยเลนส์นูนซึ่งมีทางยาวโฟกัสประมาณ 1 เมตรติดอยู่กับกล่องโลหะที่ครอบอุปกรณ์ทั้งหมดไว้ มีสเกลวางห่างออกไปประมาณ 1 เมตร และมีกล้องสำหรับมองการเบี่ยงเบนของกระจกเงาติดอยู่บนสเกล โดยด้านหน้าของกล้องจะมีเส้นตรงในแนวดิ่งขีดเป็นเครื่องหมายไว้ เมื่อเข็มที่อยู่ภายในควอทแดรนท์เบนไปจะทำให้กระจกเงาเบี่ยงเบนตามไปด้วย เครื่องหมายที่อยู่หน้ากล้องจะเคลื่อนไปตามสเกล ทำให้สามารถอ่านค่าการเบี่ยงเบนของเข็มได้

2.1.2 <u>การนำไปใช้งาน</u> ในการนำอิเล็กโตรมิเตอร์แบบควอทแดรนท์ไปใช้งานนั้น จะต้องสร้างกราฟสำหรับเทียบค่า (Calibration Curve) เสียก่อน โดยการให้ศักย์ไฟฟ้าคงที่ค่าหนึ่งแก่เข็ม แล้วต่อควอทแดรนท์ทั้งสองคู่ให้มีความต่างศักย์ไฟฟ้าค่าหนึ่ง จะทำให้เข็มเบี่ยงเบนไปจากตำแหน่งศูนย์ จากนั้นจึงเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างควอท-แดรนท์ทั้งสองไปเรื่อย ๆ แล้วบันทึกการเบี่ยงเบนที่อ่านได้ทุกครั้ง นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟ ก็จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างควอทแดรนท์ทั้งสองคู่กับระยะที่เข็มเบี่ยงเบนไป (สำหรับศักย์ไฟฟ้าที่เข็มคงที่ค่าหนึ่ง) กราฟที่ได้ก็คือกราฟสำหรับเทียบค่านั่นเอง

ในการนำอิเล็กโตรมิเตอร์แบบควอทแดรนท์ไปวัดประจุไฟฟ้านั้น จะต้องถ่ายเทประจุไฟฟ้าเข้าไปในควอทแดรนท์คู่หนึ่ง โดยให้ศักย์ไฟฟ้าที่เข็มคงที่ค่าเดิม นำค่าการเบี่ยงเบนของเข็มที่อ่านได้ไปเทียบเป็นศักย์ไฟฟ้าแล้วจึงคำนวณปริมาณประจุไฟฟ้าอีกทีหนึ่ง

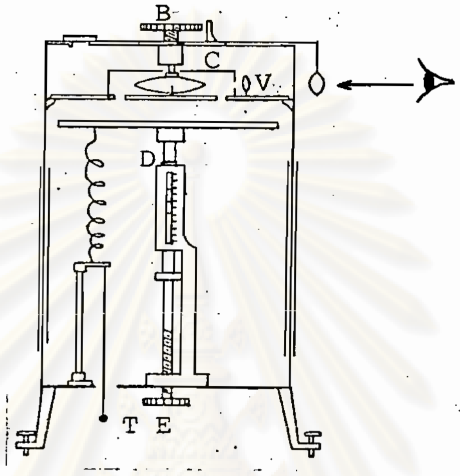
อิเล็กโตรมิเตอร์แบบควอทแดรนท์ยังแบ่งเป็นชนิดต่าง ๆ ได้อีกหลายชนิด ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ความไวที่ต้องการและอื่น ๆ แต่ทุกชนิดจะมีหลักการทำงานในทำนองเดียวกับที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

จะเห็นได้ว่าอิเล็กโตรมิเตอร์แบบควอทแดรนท์มีข้อเสียหลายประการ ซึ่งอาจกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

1. มีส่วนประกอบที่ซับซ้อนมาก
2. การจัดส่วนประกอบต่าง ๆ ให้อยู่ในตำแหน่งสมดุลย์ (ตำแหน่ง ศูนย์) เป็นไปได้ยาก
3. ลักษณะของเข็มเป็นแบบที่ถูกต้านด้วยอากาศได้ง่าย ทำให้การเบี่ยงเบนของเข็มผิดไปจากความเป็นจริง

4. ความถูกต้องของข้อมูลที่ได้ขึ้นอยู่กับผู้ทำการทดลองอย่างยิ่ง เช่น การอ่านการเบี่ยงเบนของเข็ม และการสร้างกราฟสำหรับเทียบค่า เป็นต้น

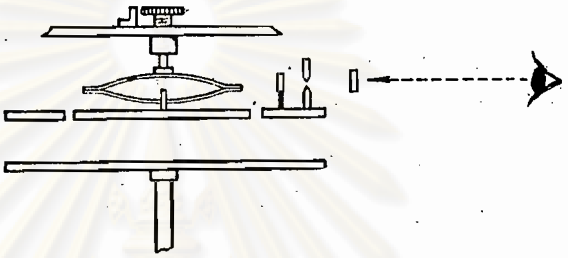
## 2.2 <u>อิเล็กโตรมิเตอร์แบบแผ่นดูด</u> (Attracted-disc Electrometer)




รูป 2.3 อิเล็กโตรมิเตอร์แบบแผ่นดูด

2.2.1 <u>ลักษณะโดยทั่วไป</u> อิเล็กโตรมิเตอร์แบบแผ่นดูด ประกอบด้วยแผ่นโลหะ 2 แผ่น วางขนานกันโดยแผ่นหนึ่งถูกยึดให้อยู่กับที่ด้วยฉนวนไฟฟ้า D ซึ่งเป็นแท่งแก้ว เรียกแผ่นโลหะนี้ว่า แผ่นนิ่ง (Fixed Plate) สามารถปรับระดับของแผ่นนิ่งได้โดยการหมุนสกรู E ส่วนอีกแผ่นหนึ่งติดอยู่กับสปริง (ดังรูป 2.3) เรียกแผ่นนี้ว่า แผ่นเคลื่อนที่ (Moving Plate) สปริงที่ยึดแผ่นเคลื่อนที่จะติดอยู่กับแท่งแก้วซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าสามารถปรับระดับให้สูงต่ำได้โดยหมุนสกรู B ซึ่งเป็นไมโครมิเตอร์ (Micrometer) แผ่นเคลื่อนที่จะต้องอยู่กึ่งกลางของแผ่นนิ่งพอดี มีกล่อง C ซึ่งทำด้วยฉนวนวางครอบแผ่นเคลื่อนที่ไว้ เพื่อป้องกันการรบกวนแผ่นเคลื่อนที่ นอกจากนี้ยังมีแผ่นโลหะรูปวงแหวนล้อมรอบแผ่นเคลื่อนที่โดยมีระยะห่างกันเล็กน้อยเรียกแผ่นโลหะนี้ว่าวงแหวน-ควบคุม (Guard Ring) วงแหวนควบคุมจะอยู่ในระดับเดียวกับแผ่นเคลื่อนที่ และมีสายไฟฟ้าต่อถึงกัน เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของวงแหวนควบคุมและของแผ่นนิ่งจะต้องมีค่าเท่ากัน วงแหวนควบคุมจะถูกยึดอยู่กับด้านข้างของครอบแก้วและมีสายไฟฟ้าต่อจากแผ่นนิ่งไปยังขั้วไฟฟ้า T ซึ่งอยู่ภายนอก

มีอุปกรณ์ซึ่งจัดไว้สำหรับสังเกตการเคลื่อนที่ของแผ่นเคลื่อนที่ ดังรูป 2.4 ประกอบด้วยเส้นขนเล็ก ๆ ติดอยู่กึ่งกลางแผ่นเคลื่อนที่ โดยจะอยู่ที่จุดโฟกัสของเลนส์อันหนึ่ง นอกจากนี้ยังมีเดือยปลายแหลม 2 อันติดอยู่กับวงแหวนควบคุม ภาพของเส้นขนและจุดปลายของเดือยทั้งสองจะมองได้จากเลนส์ที่อยู่ภายนอก เมื่อแผ่นเคลื่อนที่อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ จะมองเห็นเส้นขนอยู่กึ่งกลางระหว่างปลายของเดือยทั้งสองพอดี



รูป 2.4 แสดงส่วนประกอบที่ใช้สังเกตการเคลื่อนที่ของแผ่นเคลื่อนที่

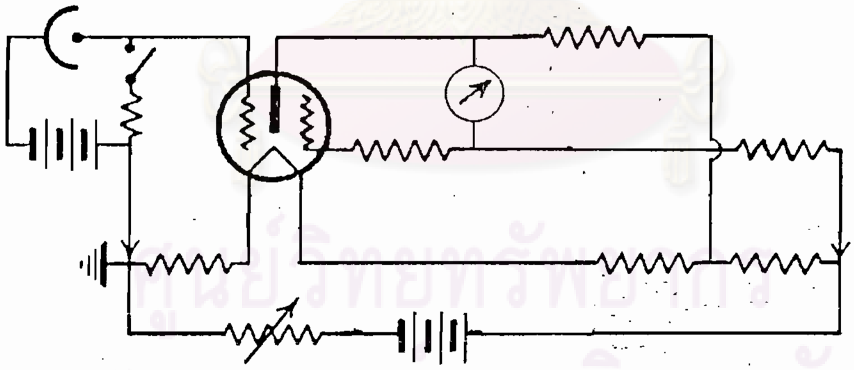
2.2.2 <u>การนำไปใช้งาน</u> ในการนำอิเล็กโตรมิเตอร์แบบแผ่นดูดไปใช้งาน จะต้องสร้างกราฟสำหรับเทียบค่าเช่นกัน โดยในขั้นแรกจะต่อแผ่นนิ่ง แผ่นเคลื่อนที่และวงแหวนควบคุมลงกราวด์ เพื่อปรับระดับของแผ่นเคลื่อนที่ให้อยู่ในตำแหน่งศูนย์ แล้วจึงต่อความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ทราบค่าแล้วให้กับแผ่นนิ่งและแผ่นเคลื่อนที่ แผ่นเคลื่อนที่จะถูกดึงดูดให้เลื่อนเข้ามาใกล้แผ่นนิ่ง แล้วจึงหมุนไมโครมิเตอร์เพื่อยกให้แผ่นเคลื่อนที่กลับมาอยู่ในตำแหน่งศูนย์ บันทึกระยะที่แผ่นเคลื่อนที่ถูกดึงดูดให้เลื่อนลง โดยอ่านจากไมโครมิเตอร์ เปลี่ยนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าไปเรื่อย ๆ พร้อมกับบันทึกระยะจากไมโครมิเตอร์ไว้ทุกครั้ง แล้วนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะที่แผ่นเคลื่อนที่ถูกดึงดูดให้เลื่อนลงกับความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นนิ่งและแผ่นเคลื่อนที่ ซึ่งกราฟที่ได้ก็คือ กราฟสำหรับเทียบค่านั่นเอง

ในการนำอิเล็กโตรมิเตอร์แบบแผ่นดูดไปใช้วัดประจุไฟฟ้านั้น จะต้องต่อแผ่นโลหะแผ่นใดแผ่นหนึ่งลงกราวด์ แล้วถ่ายเทประจุไฟฟ้าให้กับแผ่นโลหะอีกแผ่นหนึ่ง จะมีแรงดึงดูดเกิดขึ้นระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง ทำให้แผ่นเคลื่อนที่ถูกดึงดูดให้เลื่อนต่ำลง นำระยะที่อ่านได้จากไมโครมิเตอร์ไปเทียบหาค่าศักย์ไฟฟ้าจากกราฟสำหรับเทียบค่า แล้วจึงคำนวณหาค่าประจุไฟฟ้าอีกทีหนึ่ง

อิเล็กโตรมิเตอร์แบบแผ่นดูดยังแบ่งเป็นชนิดต่าง ๆ ได้อีกหลายชนิด ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและความไวที่ต้องการ เป็นต้น แต่ทุกชนิดจะมีหลักการทำงานในทำนองเดียวกับที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะเห็นได้ว่าอิเล็กโตรมิเตอร์แบบแผ่นดูดมีข้อเสียหลายประการคล้ายคลึงกับอิเล็กโตรมิเตอร์แบบควอทแดรนท์ซึ่งกล่าวไว้แล้วในตอนต้น

## 2.3 อิเล็กโตรมิเตอร์แบบหลอดสูญญากาศ (Vacuum Tube Electrometer)

ได้มีการพัฒนาและสร้างอิเล็กโตรมิเตอร์โดยใช้วงจรไฟฟ้าซึ่งมีลักษณะเป็นวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) ซึ่งสามารถลดปัญหาต่าง ๆ ที่พบในอิเล็กโตรมิเตอร์ทั้งสองแบบแรกได้มาก ส่วนประกอบที่สำคัญของอิเล็กโตรมิเตอร์แบบหลอดสูญญากาศนี้คือ หลอดสูญญากาศซึ่งได้รับการออกแบบและสร้างเป็นพิเศษให้มีกระแสกริด (Grid Current) ต่ำมากและมีความต้านทานทางอินพุทสูง (High Input Impedance) เพื่อใช้สำหรับวัดกระแสไฟฟ้า หรือประจุไฟฟ้าปริมาณต่ำ ๆ ได้ โดยเรียกหลอดสูญญากาศที่ออกแบบเป็นพิเศษนี้ว่าหลอดอิเล็กโตรมิเตอร์ วงจรขยายสัญญาณดังกล่าวแสดงไว้ในรูป 2.5



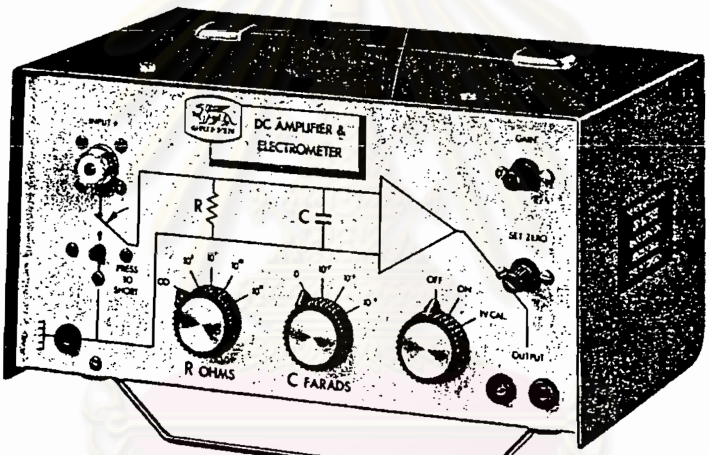
รูป 2.5 วงจรขยายสัญญาณที่ใช้หลอดอิเล็กโตรมิเตอร์

เนื่องจากวงจรขยายสัญญาณที่ใช้เป็นแบบที่ใช้หลอดสูญญากาศ ซึ่งแม้ว่าจะออกแบบเป็นพิเศษดังได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น แต่การทำงานของหลอดจะไม่เสถียรเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป กล่าวคือ เมื่อหลอดมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้กำลังขยายเปลี่ยนไปและกระแสกริดอาจเปลี่ยนไป นอกจากนี้วงจรดังกล่าวยังต้องใช้ไฟเลี้ยงวงจรมากและต้นทุนการผลิตสูง เนื่องจากต้องออกแบบและผลิตหลอดสูญญากาศเป็นพิเศษ

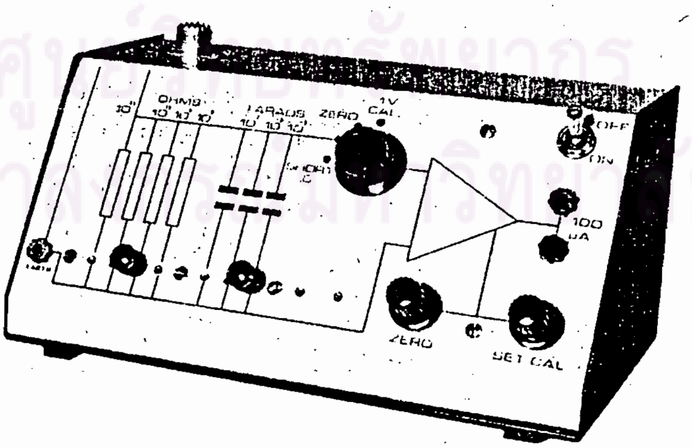
2.4 <u>อิเล็กโตรมิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์</u> (Electronic Electrometer)

ในปัจจุบันได้มีการนำ ออปเปอเรชันแนล แอมปลิไฟเออร์ (Operational-amplifier) มาใช้ในการสร้างอิเล็กโตรมิเตอร์ ดังแสดงในรูป 2.6

ก.




ข.




ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูป 2.6 อิเล็กโตรมิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์

อิเล็กโตรมิเตอร์ในรูป 2.6 ก. สามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้ในช่วง $10^{-8}$ ถึง $10^{-11}$ แอมแปร์และวัดประจุไฟฟ้าได้ในช่วง $10^{-7}$ ถึง $10^{-9}$ คูลอมบ์

สำหรับอิเล็กโตรมิเตอร์ในรูป 2.6 ข. สามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้ในช่วง $10^{-8}$ ถึง $10^{-11}$ แอมแปร์และวัดประจุไฟฟ้าได้ในช่วง $10^{-4}$ ถึง $10^{-6}$ คูลอมบ์

การทำงานของอิเล็กโตรมิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์นี้มีความเสถียรสูงกว่าแบบหลอดมาก แต่วงจรภายในของอิเล็กโตรมิเตอร์มีลักษณะเป็นวงจรขยายสัญญาณ เมื่อนำไปใช้งานต้องต่อวงจรดังกล่าวกับเครื่องมือวัดชนิดที่บอกค่าโดยใช้สเกล (Analog Meter) ดังนั้นความเที่ยงตรงของการวัด นอกจากจะขึ้นอยู่กับการทำงานของวงจรแล้ว ยังขึ้นอยู่กับเครื่องมือวัดที่ใช้และการอ่านค่าจากสเกลอีกด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย