

บทที่ 4

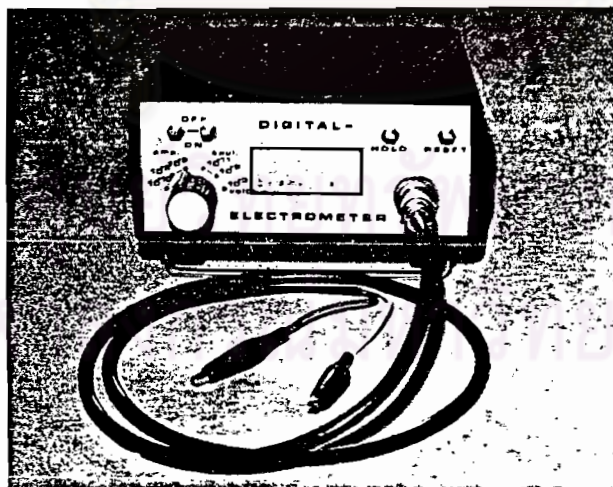
การทดลองและผลการทดลอง

จากที่ได้สร้างอิเล็กทรอนิกส์มิเตอร์ชนิดตัวเลขขึ้นแล้ว ได้นำอิเล็กทรอนิกส์มิเตอร์ดังกล่าวมาทำการทดลองเพื่อวัดศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและประจุไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบกับผลที่วัดได้จากเครื่องวัดซึ่งใช้เป็นมาตรฐาน นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดกับค่าที่ได้จากการคำนวณอีกด้วย

4.1 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองนี้แบ่งเครื่องมือวัดออกเป็น 2 ประเภทคือ เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเอง อันได้แก่อิเล็กทรอนิกส์มิเตอร์ชนิดตัวเลขและเครื่องมือวัดที่ใช้เป็นมาตรฐาน ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดของเครื่องมือวัดโดยสังเขปดังนี้

4.1.1 อิเล็กทรอนิกส์มิเตอร์ชนิดตัวเลข



รูป 4.1 อิเล็กทรอนิกส์มิเตอร์ชนิดตัวเลข

อิเล็กทรอนิกส์เทอร์มินัลตัว เลขที่สร้างขึ้นนี้มีสวิตช์ปิด-เปิด 2 ตัว เวลาใช้งานจะต้องเปิด สวิตช์ทั้ง 2 ตัว มีสวิตช์สำหรับเลือกปริมาณและช่วงสเกลที่ต้องการวัดอยู่ในสวิตช์เดียวกัน ปริมาณ ไฟฟ้าและช่วงสเกลที่อิเล็กทรอนิกส์เทอร์มินัล เครื่องนี้วัดได้มีดังนี้

ศักย์ไฟฟ้า วัดได้ 1 ช่วงคือ $\pm 1999 \times 10^{-3}$ โวลต์

กระแสไฟฟ้า วัดได้ 3 ช่วงคือ $\pm 1999 \times 10^{-6}$ แอมแปร์, $\pm 1999 \times 10^{-8}$ แอมแปร์ และ $\pm 1999 \times 10^{-10}$ แอมแปร์

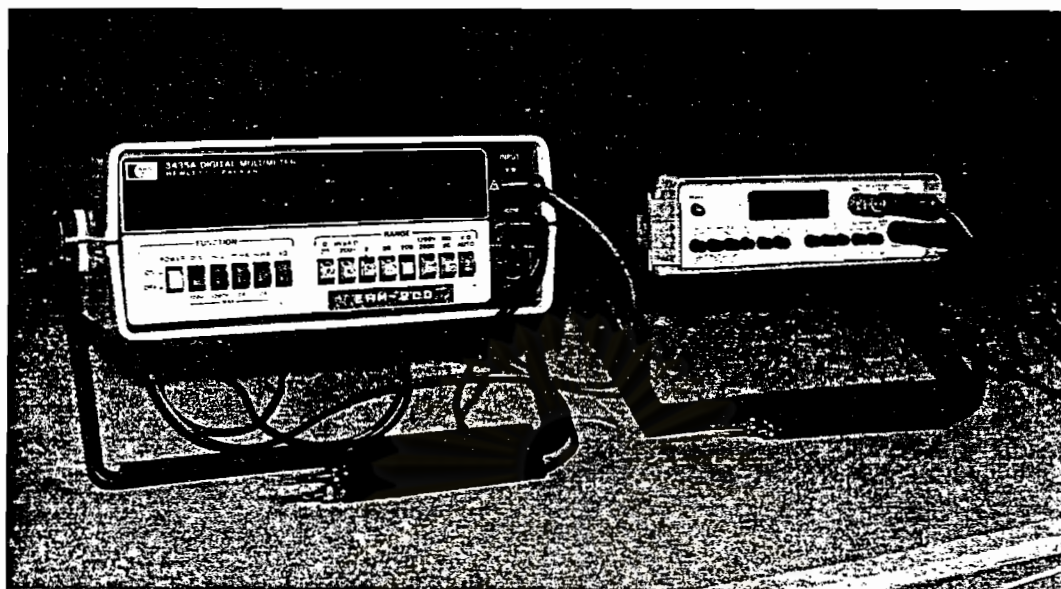
ประจุไฟฟ้า วัดได้ 2 ช่วงคือ $\pm 1999 \times 10^{-9}$ คูลอมบ์ และ $\pm 1999 \times 10^{-11}$ คูลอมบ์

มีส่วนแสดงผลเป็นตัวเลขขนาด $3 \frac{1}{2}$ หลัก ค่าต่ำสุดที่แสดงได้คือ 0 และค่าสูงสุดคือ ± 1999 สวิตช์ซีเอ็มมีไว้สำหรับใช้ในกรณีวัดประจุไฟฟ้า มีสวิตช์โฮลด์เพื่อให้ตัวเลขที่วัดได้ค้างอยู่บนภาค แสดงผล เนื่องจากในบางกรณีค่าที่วัดได้อาจมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ส่วนสายอินพุตนั้นเป็น สายชิลด์ (Shield) และมีขั้วต่อสายดินอยู่ ด้านหลังของเครื่อง

4.1.2 เครื่องมือวัดที่ใช้เป็นมาตรฐาน

ในการทดลองนี้ใช้เครื่องมือวัดที่ใช้เป็นมาตรฐาน 2 เครื่องคือ Digital Multimeter แบบ 3435 A ผลิตโดยบริษัท Hewlett Packard และ Digital Multimeter แบบ 3020 ผลิตโดยบริษัท Kontron Electronic

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก. Hewlett Packard

ข. Kontron Electronic

รูป 4.2 เครื่องมือวัดที่ใช้เป็นมาตรฐาน

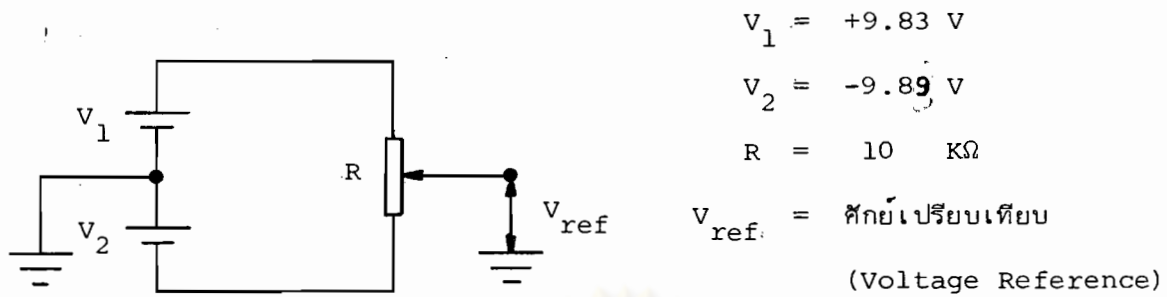
ในที่นี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของเครื่องวัดทั้งสองเฉพาะส่วนที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เท่านั้น

DMM แบบ 3435 A ผลิตโดยบริษัท Hewlett Packard เป็นเครื่องมือวัดที่แสดงผลเป็นตัวเลขโดยใช้ระบบ LED สามารถวัดศักย์ไฟฟ้าได้ในช่วง ± 200 mV. ถึง ± 1200 V. และวัดกระแสไฟฟ้าได้ในช่วง ± 200 μ A ถึง ± 2 A

DMM แบบ 3020 ผลิตโดยบริษัท Kontron Electronic เป็นเครื่องมือวัดที่แสดงผลเป็นตัวเลขโดยใช้ระบบ LED เช่นกัน สามารถวัดศักย์ไฟฟ้าได้ในช่วง ± 200 mV ถึง ± 1200 V และวัดกระแสไฟฟ้าได้ในช่วง ± 200 μ A ถึง ± 2 A

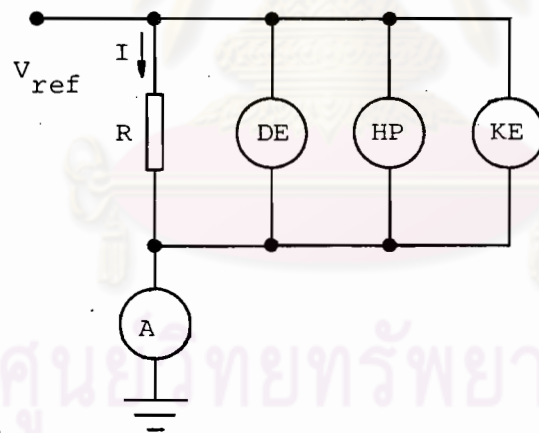
4.2 การวัดศักย์ไฟฟ้า

ในการทดลองเพื่อวัดศักย์ไฟฟ้านั้น ต้องการทดลองวัดค่าศักย์ไฟฟ้าทั้งบวกและลบ จึงต้องวงจรจ่ายศักย์ไฟฟ้า (Voltage Supply) เพื่อให้สามารถเลือกใช้ค่าศักย์ไฟฟ้าได้ทั้งบวกและลบ ตามวงจรในรูป 4.3



รูป 4.3 วงจรจ่ายศักย์ไฟฟ้าที่นำมาใช้ในการวัดศักย์ไฟฟ้า

ในการทดลองวัดศักย์ไฟฟ้าจะใช้ V_{ref} เป็นศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับวงจรที่ทำการทดลอง โดยให้เครื่องมือวัดทั้ง ๓ เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายทั้งสองของตัวต้านทาน ดังรูป. 4.4 โดยมีแอมมิเตอร์ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานดังกล่าวเพื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ไปคำนวณหาศักย์ไฟฟ้าเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัด ดังตารางที่ 4.2.1 และรูป 4.6



$V_{\text{ref}} =$ ศักย์เปรียบเทียบ

DE = อิเล็กโตรมิเตอร์ชนิดตัวเลข

HP = DMM (Hewlett Packard)

KE = DMM (Kontron Electronic)

A = แอมมิเตอร์

R = 16.03 KΩ

รูป 4.4 วงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการวัดศักย์ไฟฟ้า

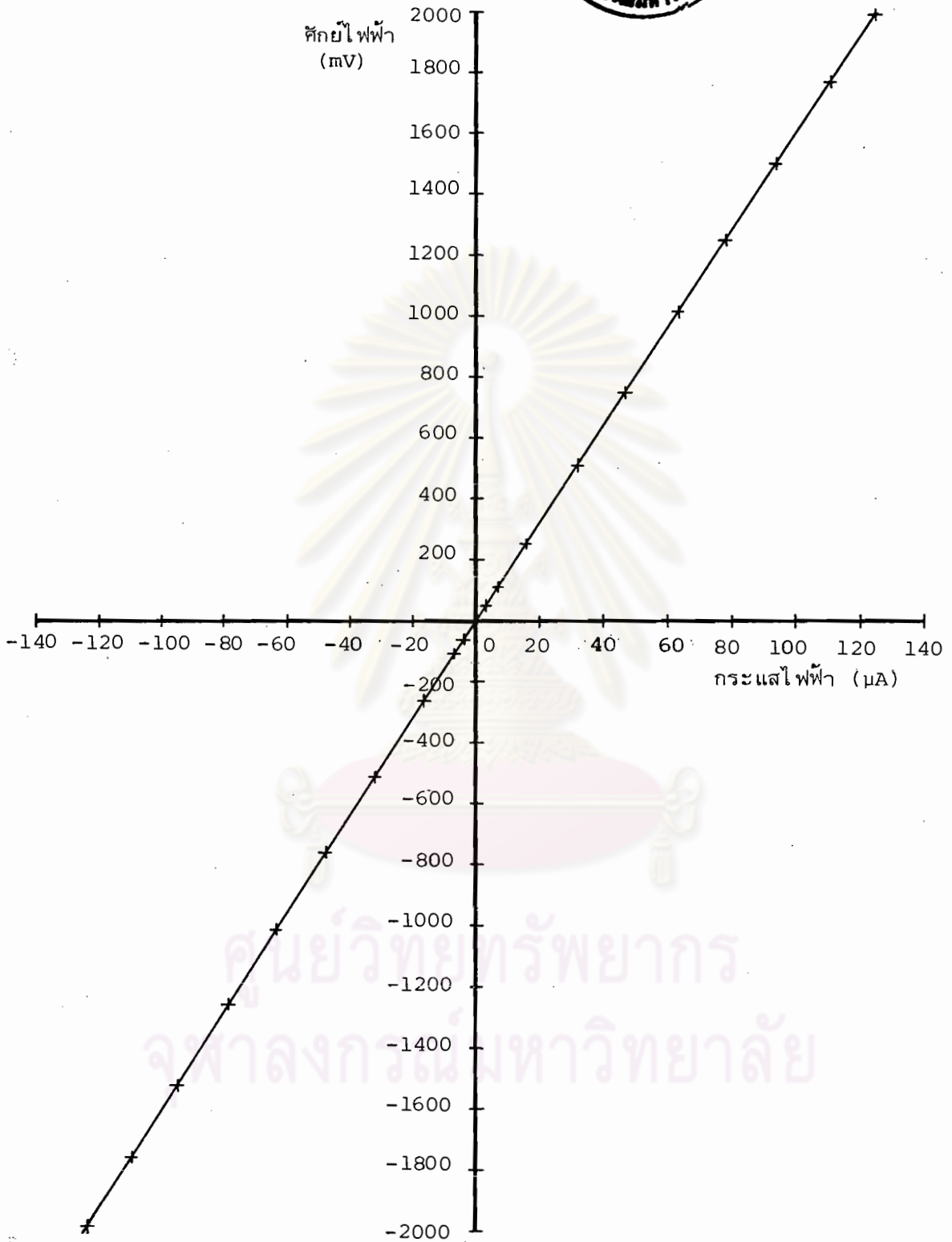


รูป 4.5 แสดงการต่อเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวัดศักย์ไฟฟ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2.1 แสดงปริมาณศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการวัดและการคำนวณ

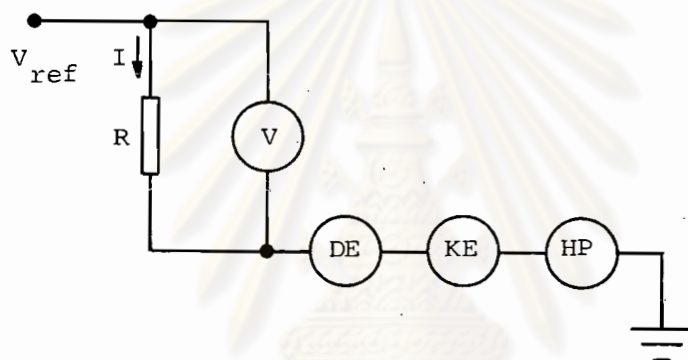
I ($\mu\text{A.}$)	V _{cal} (mV.)	V _{DE} ($\times 10^{-3}\text{V.}$)	V _{KE} (mV.)	V _{HP} (mV.)
124.6	1997.3	1994	1995	1995
110.5	1771.3	1771	1772	1771
93.8	1503.6	1502	1504	1503
78.3	1255.1	1254	1255	1255
63.5	1017.9	1015	1016	1016
46.9	751.8	750	751	750
32.2	516.2	513	514	513
16.3	261.3	256	258	257
6.9	110.6	107	108	108
3.3	52.9	49	51	50
0.0	0.0	0	0	0
-3.8	-60.9	-57	-57	-58
-6.6	-105.8	-104	-103	-104
-16.3	-261.3	-259	-258	-259
-31.8	-509.8	-508	-508	-508
-47.4	-759.8	-758	-758	-758
-62.9	-1008.3	-1007	-1008	-1008
-78.4	-1256.8	-1256	-1256	-1257
-94.7	-1518.0	-1518	-1518	-1518
-109.5	-1755.3	-1755	-1755	-1755
-123.5	-1979.7	-1980	-1981	-1981



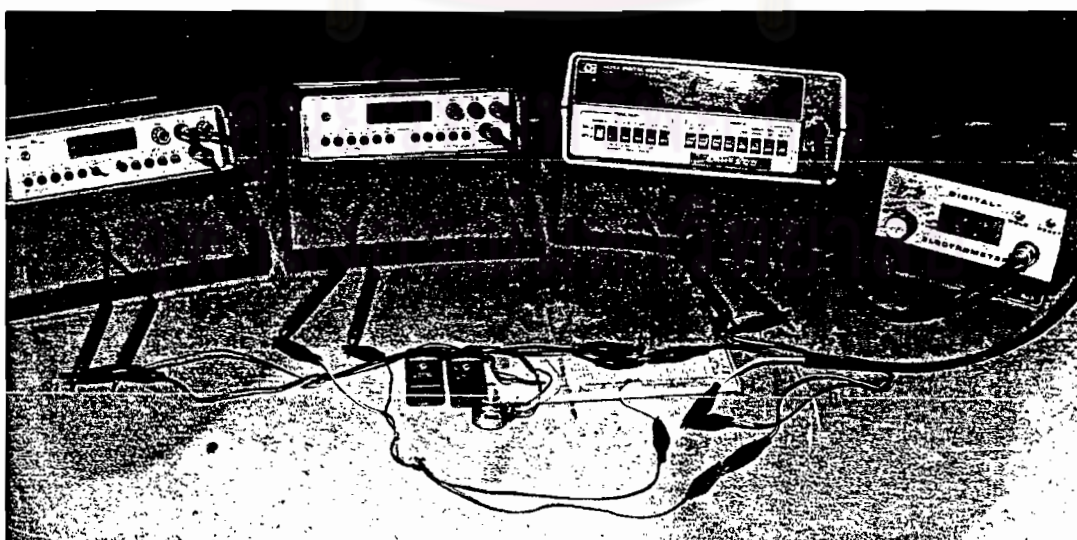
รูป 4.6 กราฟแสดงปริมาณศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการวัดและการคำนวณ

4.3 การวัดกระแสไฟฟ้า

เนื่องจากอิเล็กทรอนิกส์มีเตอร์ชนิดตัวเลขที่สร้างขึ้นนี้ออกแบบให้สามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้ 3 ช่วงคือ $\pm 1999 \times 10^{-6} \text{ A}$ $\pm 1999 \times 10^{-8} \text{ A}$ และ $\pm 1999 \times 10^{-10} \text{ A}$ โดยใช้วงจรจ่ายศักย์ไฟฟ้า เช่นเดียวกับรูปที่ 4.3 เพื่อนำศักย์ไฟฟ้าเปรียบเทียบกับอนให้กับวงจรที่ใช้ทำการทดลอง สำหรับวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองวัดกระแสไฟฟ้าในช่วง $\pm 1999 \times 10^{-6} \text{ A}$ และ $\pm 1999 \times 10^{-8} \text{ A}$ ดังแสดงไว้ในรูป 4.7 โดยตัวต้านทาน (R) ที่ใช้มีค่า 4.23 K Ω และ 4.53 K Ω ตามลำดับ

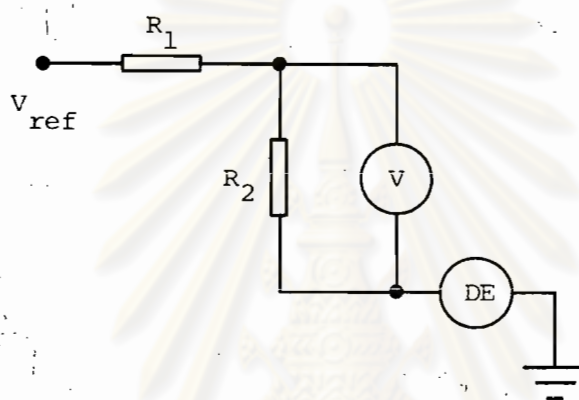


รูป 4.7 วงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการวัดกระแสไฟฟ้าในช่วง $\pm 1999 \times 10^{-6} \text{ A}$ และ $\pm 1999 \times 10^{-8} \text{ A}$



รูป 4.8 แสดงการต่อเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวัดกระแสไฟฟ้าในช่วง $\pm 1999 \times 10^{-6} \text{ A}$ และ $\pm 1999 \times 10^{-8} \text{ A}$

ส่วนการทดลองวัดกระแสไฟฟ้าในช่วง $\pm 1999 \times 10^{-10}$ A นั้น เนื่องจากเครื่องมือวัดที่ใช้เป็นมาตรฐานไม่สามารถวัดกระแสไฟฟ้าในช่วงต่ำเช่นนี้ได้ ดังนั้นจึงทำการทดลองวัดโดยใช้อิเล็กทรอนิกส์ชนิดตัวเลขที่สร้างขึ้น แล้วนำผลที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้วงจรไฟฟ้าดังรูป 4.9



$$R_1 = 43.179 \text{ M}\Omega$$

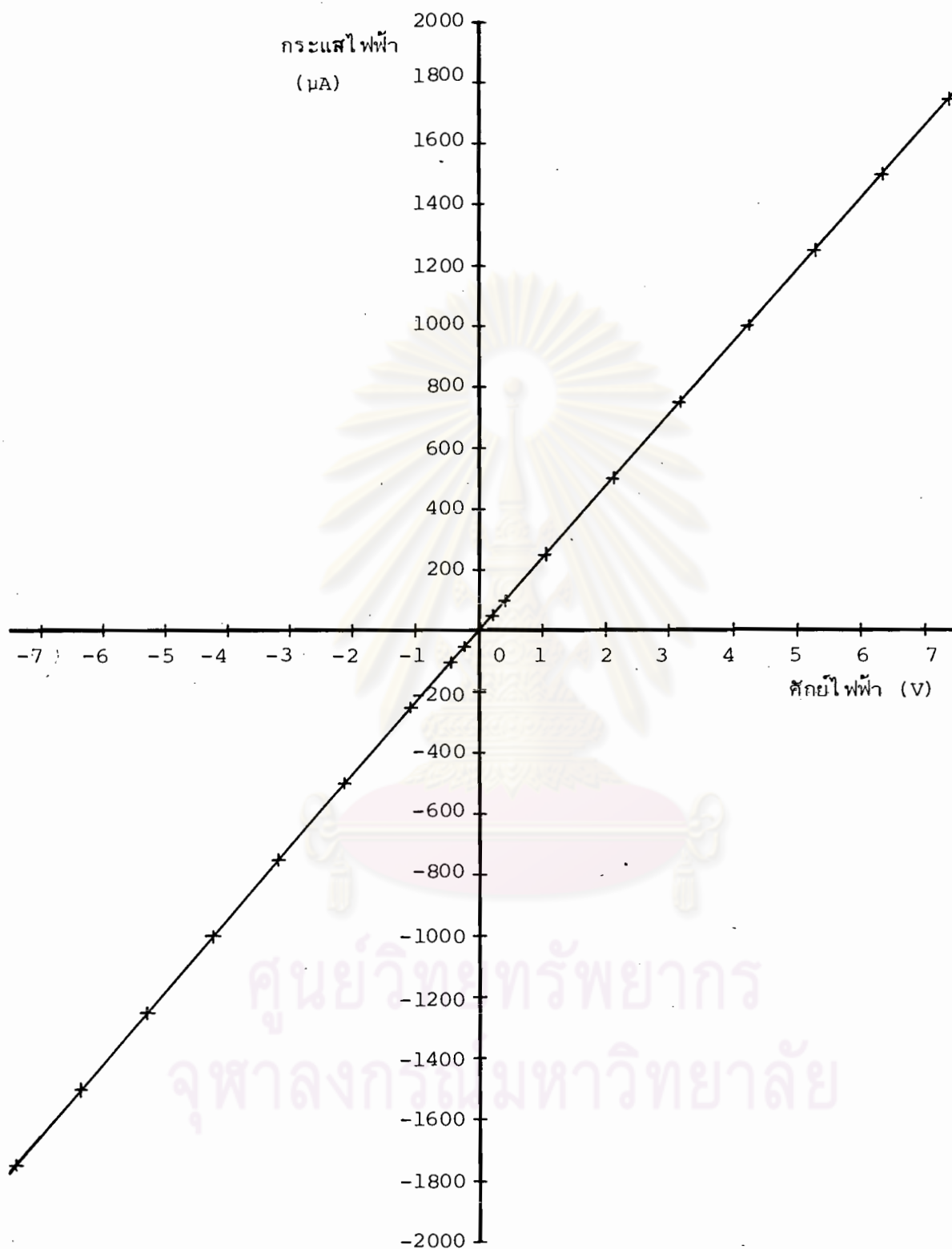
$$R_2 = 1.231 \text{ M}\Omega$$

รูป 4.9 วงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการวัดกระแสไฟฟ้าในช่วง $\pm 1999 \times 10^{-10}$ A

สำหรับผลที่ได้จากการทดลองวัดกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 ช่วง แสดงไว้ในตารางที่ 4.3.1 - 4.3.3 และรูป 4.10 - 4.12 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3.1 แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าในช่วง $\pm 1999 \times 10^{-6}$ แอมแปร์
ซึ่งได้จากการวัดและการคำนวณ

V (V.)	I_{cal} ($\mu A.$)	I_{DE} ($\times 10^{-6} A.$)	I_{KE} ($\mu A.$)	I_{HP} ($\mu A.$)
8.23	1945.63	1949	1951	1947
7.39	1747.05	1750	1752	1749
6.35	1501.18	1501	1503	1501
5.29	1250.59	1250	1251	1250
4.25	1004.73	1004	1004	1004
3.20	756.50	753	753	753
2.14	505.91	502	501	502
1.09	257.68	253	251	253
0.45	106.38	102	100	102
0.23	54.37	51	49	51
0.00	0.00	0	0	0
-0.23	-54.37	-50	-50	-50
-0.46	-108.75	-103	-103	-103
-1.09	-257.68	-253	-253	-253
-2.13	-503.55	-501	-503	-501
-3.19	-754.14	-752	-755	-752
-4.25	-1004.73	-1002	-1006	-1002
-5.31	-1255.32	-1253	-1257	-1253
-6.37	-1505.91	-1505	-1510	-1505
-7.40	-1749.41	-1751	-1757	-1751
-8.41	-1988.18	-1989	-1996	-1989

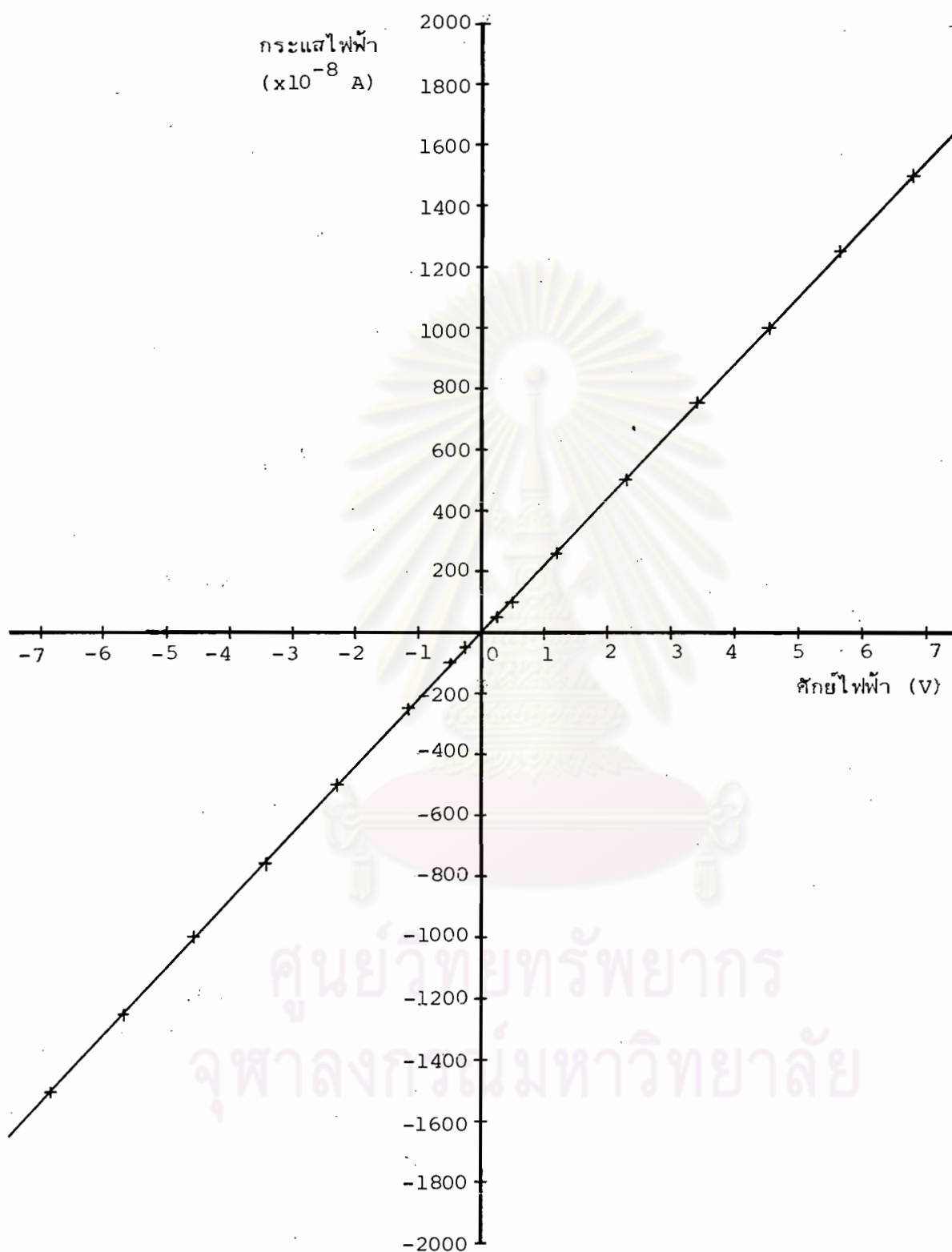


รูป 4.10 กราฟแสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าในช่วง $\pm 1999 \times 10^{-6}$ A

ซึ่งได้จากการวัดและการคำนวณ

ตารางที่ 4.3.2 แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าในช่วง $\pm 1999 \times 10^{-8}$ แอมแปร์
ซึ่งได้จากการวัดและการคำนวณ

V (V.)	I_{cal} ($\times 10^{-8}$ A.)	I_{DE} ($\times 10^{-8}$ A.)	I_{KE} (μ A.)	I_{HP} (μ A.)
8.82	1947.02	1949	19.5	19.5
7.95	1754.97	1754	17.5	17.5
6.81	1503.31	1502	15.0	15.0
5.66	1249.45	1250	12.5	12.5
4.55	1004.42	1003	10.0	10.0
3.42	754.97	754	7.5	7.5
2.28	503.31	500	4.9	5.0
1.18	260.49	259	2.5	2.6
0.49	108.17	106	1.0	1.0
0.24	52.98	52	0.4	0.5
-0.01	-2.21	-2	-0.1	-0.0
-0.24	-52.98	-51	-0.6	-0.5
-0.47	-103.75	-102	-1.2	-1.0
-1.14	-251.66	-250	-2.6	-2.5
-2.28	-503.31	-502	-5.2	-5.0
-3.42	-754.97	-754	-7.7	-7.6
-4.54	-1002.21	-1002	-10.2	-10.0
-5.67	-1251.66	-1250	-12.7	-12.5
-6.82	-1505.52	-1504	-15.2	-15.1
-7.94	-1752.76	-1753	-17.7	-17.6
-8.97	-1980.13	-1980	-20.0	-19.8

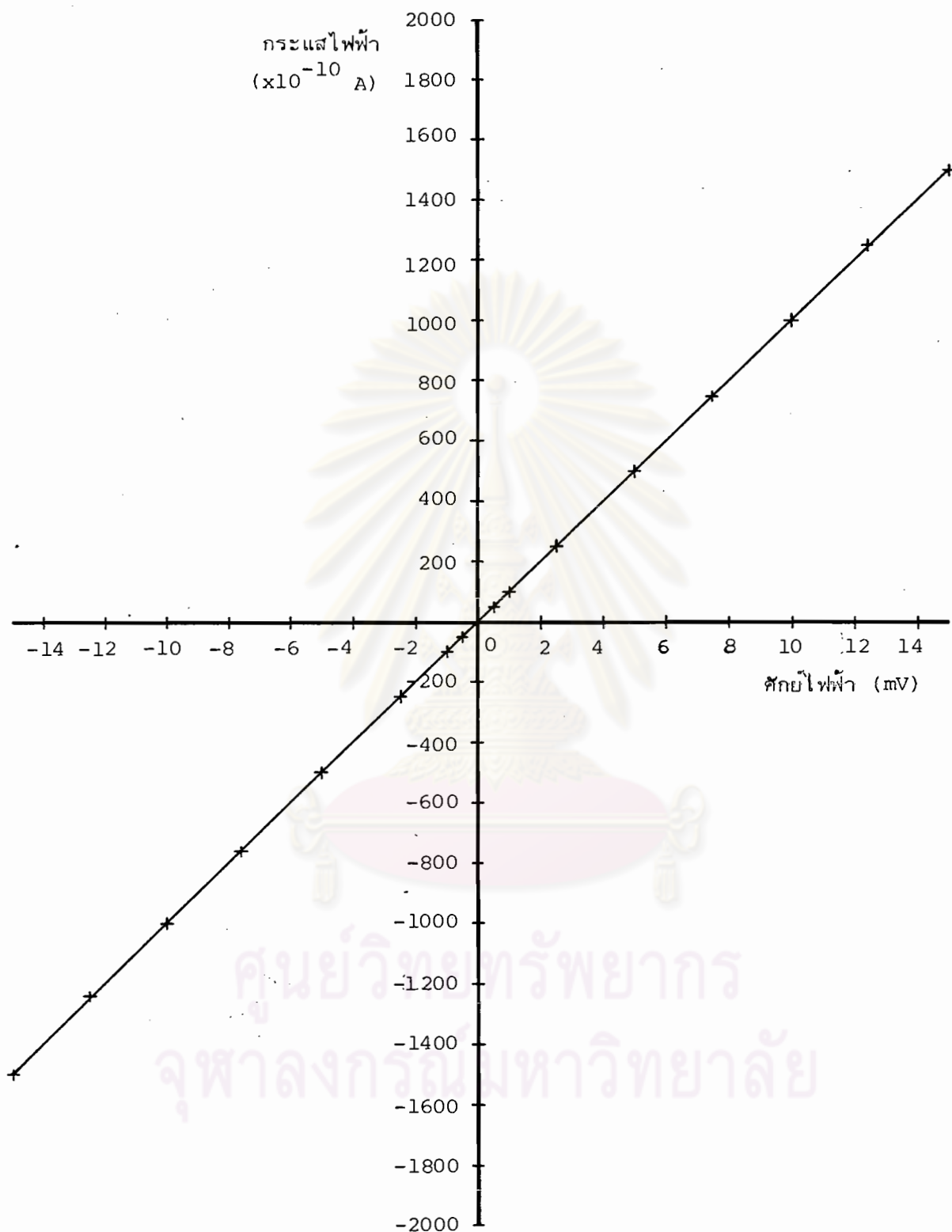


รูป 4.11 กราฟแสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าในช่วง $\pm 1999 \times 10^{-8}$ A

ซึ่งได้จากการวัดและการคำนวณ

ตารางที่ 4.3.3 แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้า ในช่วง $\pm 1999 \times 10^{-10}$ แอมแปร์
ซึ่งได้จากการวัดและการคำนวณ

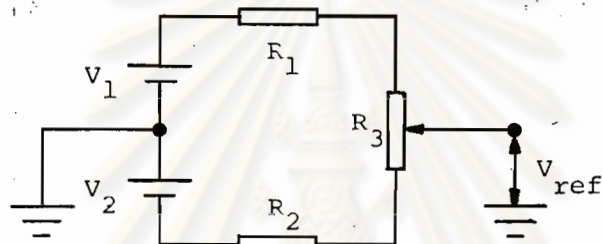
V (mV.)	I_{cal} ($\times 10^{-10}$ A.)	I_{DE} ($\times 10^{-10}$ A.)
19.8	1997.82	1995
17.4	1755.66	1751
14.9	1503.41	1502
12.4	1251.16	1252
10.0	1009.00	1004
7.5	756.75	753
5.0	504.50	500
2.5	252.25	251
1.1	110.99	109
0.5	50.45	52
0.0	0.00	1
-0.5	-50.45	-52
-1.0	-100.90	-103
-2.5	-252.25	-252
-5.1	-514.59	-509
-7.6	-766.84	-759
-10.0	-1009.00	-1008
-12.4	-1251.16	-1254
-14.9	-1503.41	-1501
-17.4	-1755.66	-1756
-19.8	-1997.82	-1994



รูป 4.12 กราฟแสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าในช่วง $\pm 1999 \times 10^{-10}$ A
ซึ่งได้จากการวัดและการคำนวณ

4.4 การวัดประจุไฟฟ้า

เนื่องจากเครื่องมือวัดที่ใช้ เป็นมาตรฐานไม่สามารถวัดปริมาณประจุไฟฟ้าได้ และอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งผลิตจากต่างประเทศก็ยังไม่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศ ดังนั้นในการทดลองเพื่อวัดประจุไฟฟ้านี้ จะใช้อิเล็กทรอนิกส์ชนิดตัว เลขที่สร้างขึ้น ทำการทดลองเพื่อนำผลที่ได้จากการวัดมาเปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณ การต่อวงจรจ่ายศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองนี้แสดงไว้ในรูป 4.13 ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรดังกล่าวได้แสดงค่าไว้ในตารางที่ 4.4.1

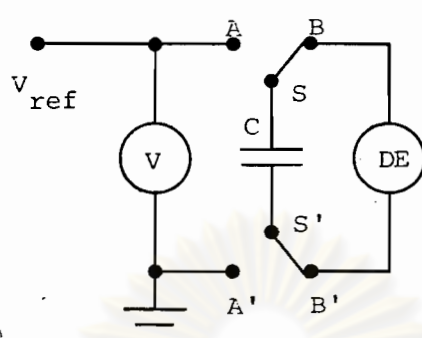


รูป 4.13 วงจรจ่ายศักย์ไฟฟ้าที่นำมาใช้ในการวัดประจุไฟฟ้า

ตารางที่ 4.4.1 แสดงค่าของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรจ่ายศักย์ไฟฟ้า เพื่อนำมาใช้วัดประจุไฟฟ้าในช่วง $+ 1999 \times 10^{-9}$ คูลอมบ์ และ $+ 1999 \times 10^{-11}$ คูลอมบ์

ปริมาณประจุไฟฟ้าที่วัด (คูลอมบ์)	V_1 (V)	V_2 (V)	R_1 (K Ω)	R_2 (K Ω)	R_3 (K Ω)
$+ 1999 \times 10^{-9}$	+9.83	-9.89	4.7	4.7	10
$+ 1999 \times 10^{-11}$	+9.83	-9.89	17	17	10

ในการวัดประจุไฟฟ้าค่าต่าง ๆ จะทำการทดลองตามวงจรไฟฟ้าดังรูป 4.14



รูป 4.14 วงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการวัดประจุไฟฟ้า



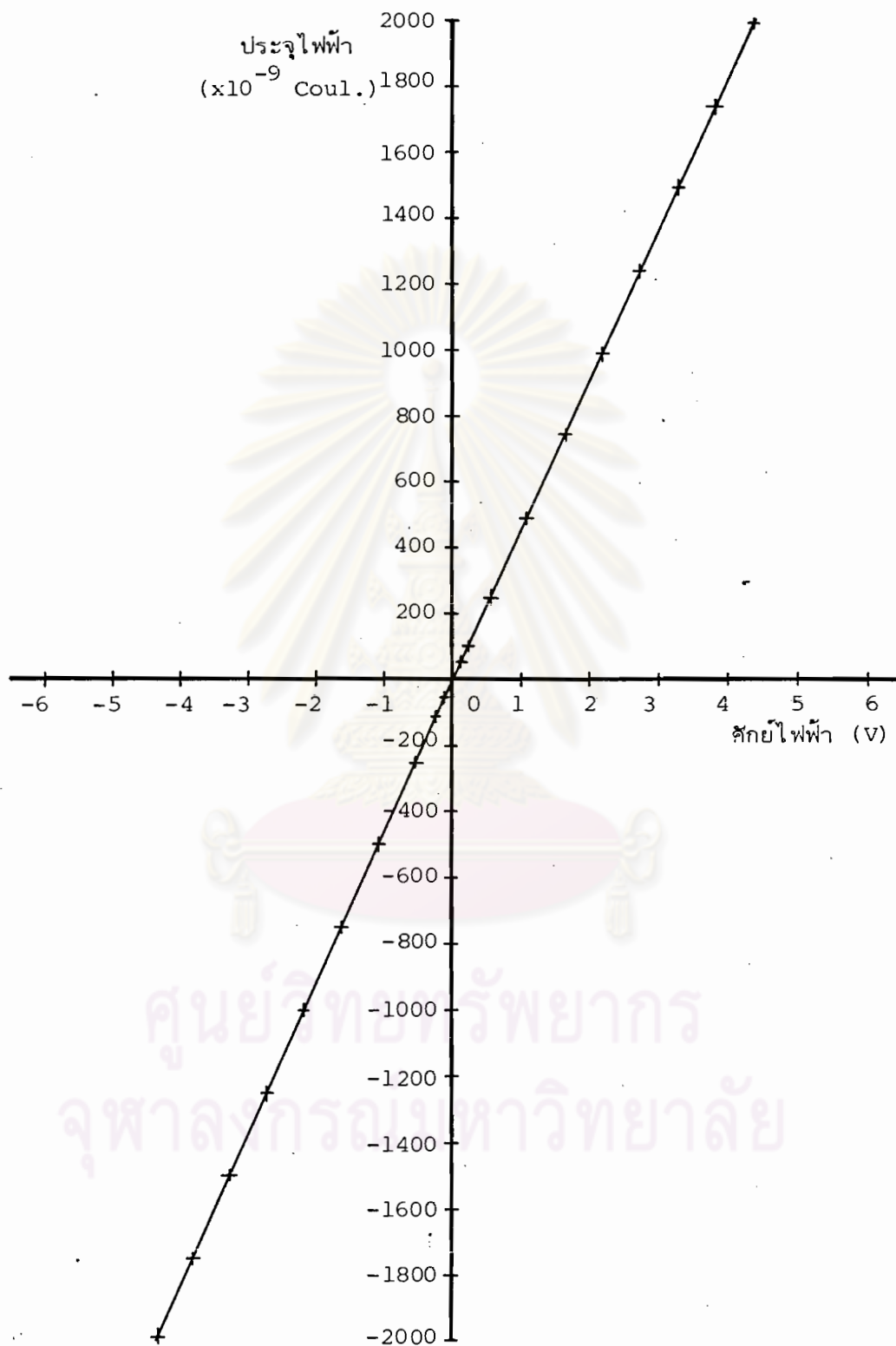
รูป 4.15 แสดงการต่อเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดประจุไฟฟ้า

ในการทดลองจะเลือกใช้ V_{ref} ค่าหนึ่ง แล้วสับสวิตช์ S และ S' (ซึ่งอยู่ในตัวเดียวกัน คือ เป็นสวิตช์ รีเลย์แบบ 2 ทาง 2 คอนแทก) ไปที่ตำแหน่ง A และ A' ตามลำดับ จะทำให้เกิดการประจุไฟฟ้าเข้าไปในตัวเก็บประจุ (C) ในขณะเดียวกันจะวัดความต่างศักย์ (V) คร่อมขั้วทั้งสองของตัวเก็บประจุเพื่อนำไปคำนวณหาค่าประจุไฟฟ้าที่เก็บอยู่ภายในตัวเก็บประจุ หลังจากนั้นจึงสับสวิตช์ S และ S' มาที่ตำแหน่ง B และ B' ตามลำดับ จะเกิดการคายประจุไฟฟ้าจากตัวเก็บประจุไปยังอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้อิเล็กทรอนิกส์สามารถวัดค่าประจุไฟฟ้าที่เก็บอยู่ในตัวเก็บประจุได้ จากนั้นจึงเปลี่ยนค่า V_{ref} ไปเรื่อย ๆ เพื่อทำการทดลองวัดค่าประจุไฟฟ้าค่าต่าง ๆ สำหรับวงจรไฟฟ้าที่ใช้วัดประจุไฟฟ้าในช่วง $\pm 1999 \times 10^{-9}$ และ $\pm 1999 \times 10^{-11}$ คูลอมป์ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (C) ที่ใช้มีขนาด $0.458 \mu F$ และ $0.0106 \mu F$ ตามลำดับ เนื่องจากการวัดประจุไฟฟ้าในช่วง $\pm 1999 \times 10^{-11}$ คูลอมป์ ซึ่งเป็นค่าต่ำมาก ดังนั้นจึงต้องใช้สวิตช์โฮลด์ เพื่อให้ค่าประจุไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าคงที่ค้างอยู่บนภาคแสดงผล เนื่องจากค่าที่วัดได้จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะช่วยให้ค่าที่วัดได้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น สำหรับผลที่ได้จากการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4.2 - 4.4.3 และรูป 4.16-4.17 ดังต่อไปนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4.2 แสดงปริมาณประจุไฟฟ้าในช่วง $\pm 1999 \times 10^{-9}$ คูลอมป์
ซึ่งได้จากการวัดและการคำนวณ

V (V.)	Q_{cal} ($\times 10^{-9}$ Coul.)	Q_{DE} ($\times 10^{-9}$ Coul.)
4.34	1987.72	1991
3.80	1740.40	1741
3.26	1493.08	1493
2.71	1241.18	1240
2.16	989.28	989
1.63	746.54	744
1.07	490.06	489
0.54	247.32	247
0.23	105.34	102
0.12	54.96	55
0.00	0.00	0
-0.12	-54.96	-55
-0.24	-109.92	-107
-0.56	-256.48	-257
-1.09	-499.22	-497
-1.64	-751.12	-752
-2.19	-1003.02	-1004
-2.74	-1254.92	-1253
-3.28	-1502.24	-1500
-3.82	-1749.56	-1747
-4.34	-1987.72	-1989

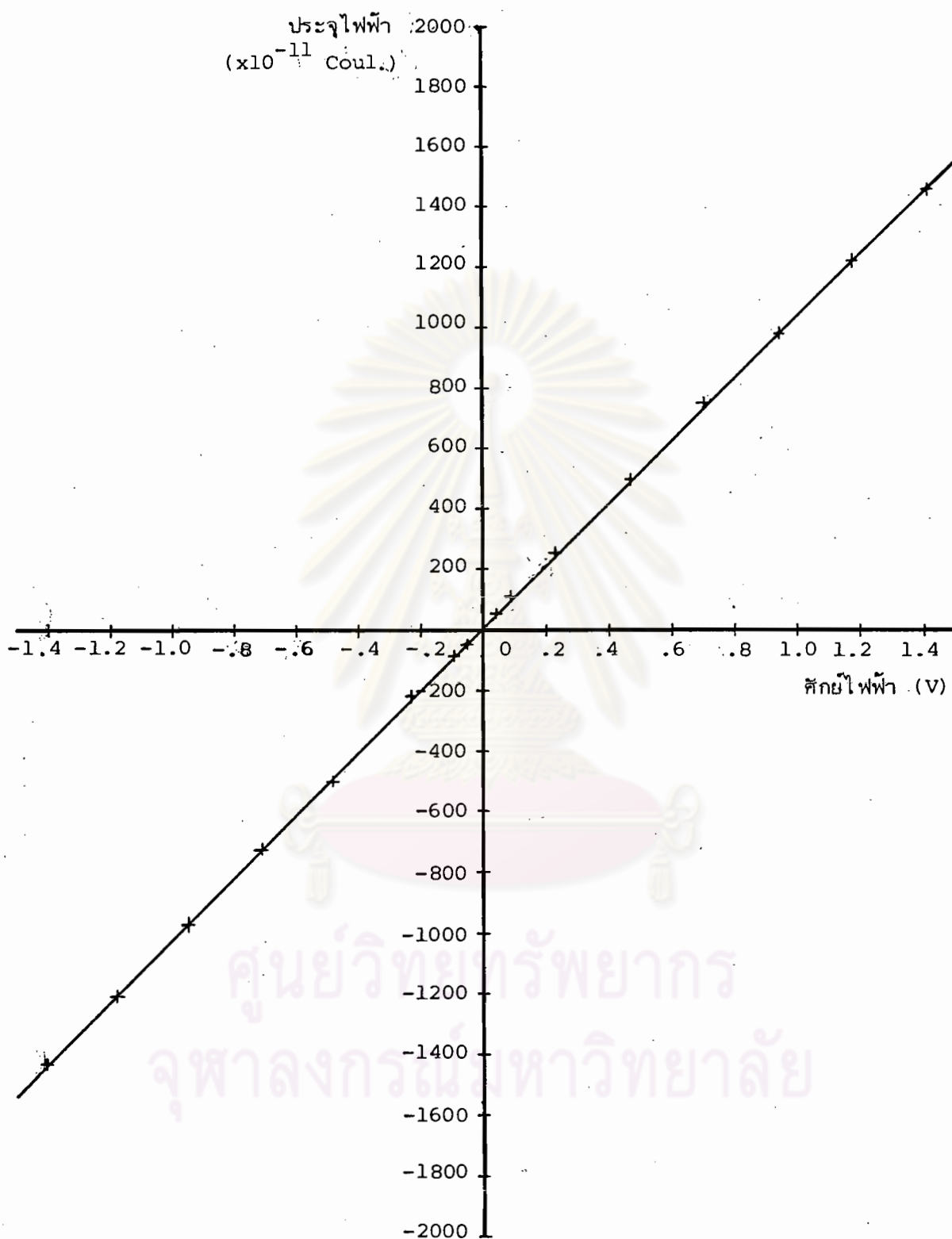


รูป 4.16 กราฟแสดงปริมาณประจุไฟฟ้าในช่วง $\pm 1999 \times 10^{-9}$ คูลอมบ์
ซึ่งได้จากการวัดและการคำนวณ

ตารางที่ 4.4.3 แสดงปริมาณประจุไฟฟ้าในช่วง $+ 1999 \times 10^{-11}$ คูลอมป์

ซึ่งได้จากการวัดและการคำนวณ

V (V.)	Q_{cal} ($\times 10^{-11}$ Coul.)	Q_{DE} ($\times 10^{-11}$ Coul.)
1.881	1993.86	1965
1.648	1746.88	1690
1.417	1502.02	1462
1.179	1249.74	1225
0.945	1001.70	982
0.706	748.36	755
0.476	504.56	495
0.235	249.10	256
0.092	97.52	114
0.046	48.76	47
0.000	0.00	0
-0.047	-49.82	-51
-0.096	-101.76	-88
-0.230	-243.80	-227
-0.479	-507.74	-499
-0.710	-752.60	-723
-0.948	-1004.88	-977
-1.178	-1248.68	-1209
-1.413	-1497.78	-1431
-1.651	-1750.06	-1698
-1.850	-1961.00	-1900



รูป 4.17 กราฟแสดงปริมาณประจุไฟฟ้าในช่วง $\pm 1999 \times 10^{-11}$ coulomb
ซึ่งได้จากการวัดและการคำนวณ