บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

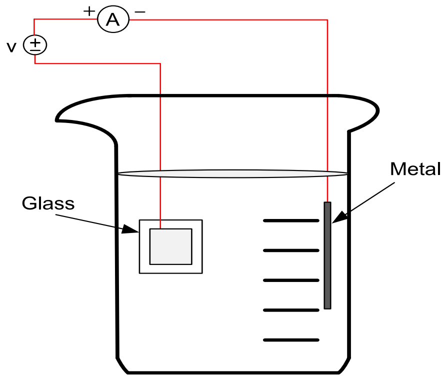
ในบทนี้จะแสดงการทดลองกระจกอิเล็กโทรโครมิคทางด้านสมบัติทางไฟฟ้าการใช้เทคโนโลยีอิเล็กโทรโครมิค (Electrochromic) ด้วยการใช้แรงดันไฟฟ้าในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้า ทำให้สามารถปรับความเข้มของสีในเนื้อสารอิเล็กโตโครมิคที่เคลือบบนกระจกที่ชั้นนำไฟฟ้าโปร่งแสง ดังนั้นการปรับความเข้มสีสามารถกระทำได้ด้วยการให้แรงดันย้อนกลับจากสารอิเล็กโทรโครมิค (Electrochromic) ที่เคลือบอยู่บนกระจกโปร่งแสง

ในการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า เราจะทำการทดลอง 4 การทดลอง ดังนี้

1. การทดลองที่ 1 การไบอัสแรงดันกระแสตรงและไบอัสย้อนกลับ ด้วยขั้วโลหะ
2. การทดลองที่ 2 การไบอัสแรงดันกระแสตรง และไบอัสย้อนกลับ ด้วยขั้วโลหะในสารละลาย และการสลับขั้วแหล่งจ่าย
3. การทดลองที่ 3การไบอัสแรงดันกระแสตรงและไบอัสย้อนกลับ ด้วยขั้วโลหะในสารละลาย HCl ในโมลที่ต่างกันและสลับขั้วแรงดันไบอัส
4. การทดลองที่ 4การตอบสนองของสัญญาณกระแสสลับ
5. การทดลองที่ 5การลดทอนปริมาณของแสงที่ลอดผ่านกระจก

4.1 การทดลองที่ 1 การไบอัสแรงดันกระแสตรงและไบอัสย้อนกลับ ด้วยขั้วโลหะ

การทดลองการไบอัสแรงดันกระแสตรงและไบอัสย้อนกลับ ด้วยขั้วโลหะเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกระจก โดยการจ่ายแรงดันจาก DC Supply ให้ขั้ว + ต่อเข้าที่ขั้วโลหะ ขั้ว - ต่อกระจกอิเล็กโทรโครมิค นำกระจกและขั้วโลหะจุ่มในสารละลาย HCl ดังแสดงในรูปภาพที่ 4.1 และทำการปรับแรงดัน จาก 0 ถึง 1.5 โวลต์ บันทึกค่ากระแสที่ไหลผ่านในการทดลอง และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกระจก ดังตารางที่ 4.1

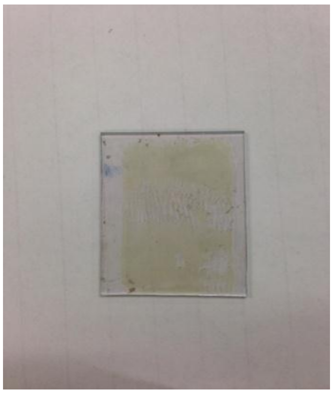


ภาพที่ 4.1 แสดงวงจรการทดลองที่ 1

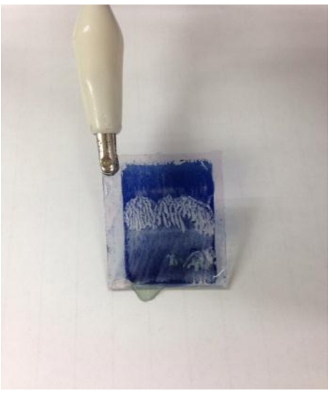
(ก) กระจกเมื่อให้แรงดัน 0.5 V

(ข) กระจกเมื่อให้แรงดัน 0.8 V

ภาพที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนสีที่เพิ่มขึ้นของกระจก EC เมื่อเพิ่มแรงดันจาก 0 - 1.5 V



(ก) แสดงกระจกก่อนจ่ายแรงดันไบอัส

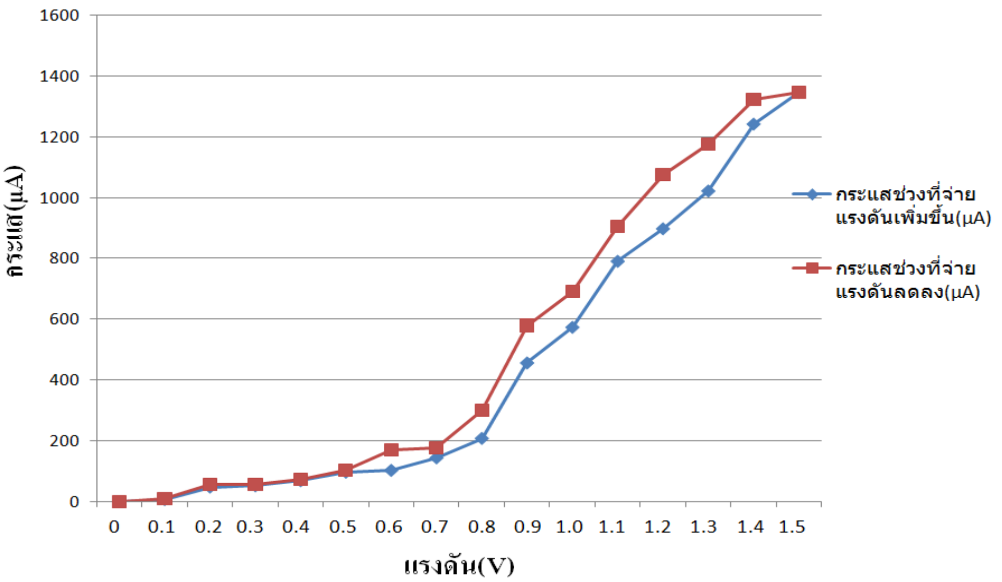


(ข) แสดงกระจกหลังจ่ายแรงดันไบอัส

ภาพที่ 4.3 แสดงกระจกอิเล็กโทรโครมิคก่อนและหลัง จ่ายแรงดันไบอัส

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองที่ 1

แรงดัน (V)	กระจกแผ่นที่ 1		กระจกแผ่นที่ 2		กระจกแผ่นที่ 3		กระจกแผ่นที่ 4		กระจกแผ่นที่ 5	
	กระแสช่วงที่จ่ายแรงดันเพิ่มขึ้น (μA)	กระแสช่วงที่จ่ายแรงดันลดลง (μA)	กระแสช่วงที่จ่ายแรงดันเพิ่มขึ้น (μA)	กระแสช่วงที่จ่ายแรงดันลดลง (μA)	กระแสช่วงที่จ่ายแรงดันเพิ่มขึ้น (μA)	กระแสช่วงที่จ่ายแรงดันลดลง (μA)	กระแสช่วงที่จ่ายแรงดันเพิ่มขึ้น (μA)	กระแสช่วงที่จ่ายแรงดันลดลง (μA)	กระแสช่วงที่จ่ายแรงดันเพิ่มขึ้น (μA)	กระแสช่วงที่จ่ายแรงดันลดลง (μA)
0.1	7	10	25	102.3	35	103.08	7	73.34	2	30
0.2	48	57	45	148.6	38	65.17	66	133.44	39	56
0.3	52	57	76	177.84	17	161.25	138	170.02	40	90
0.4	69	74	123	210	3	193.03	176	111.9	70	140
0.5	97	102	261	364	10	307	1340	307	80	111
0.6	103	169	378	478	5	135.02	614	590	101	120
0.7	144	177	526	722	121	519	160	680	121	137
0.8	208	300	689	867	184	284	181	710	148	157
0.9	456	579	792	939	57	616	223	470	177	190
1	573	692	862	980	247	772	172	490	167	201
1.1	790	905	920	1120	92	141.14	254	573	180	239
1.2	897	1075	1023	1214	185	265	455	625	322	340
1.3	1021	1176	1230	1324	116	81	173	690	359	289
1.4	1241	1321	1450	1498	445	503	466	792	402	492
1.5	1345	1345	1547	1547	1189	1189	828	828	825	825



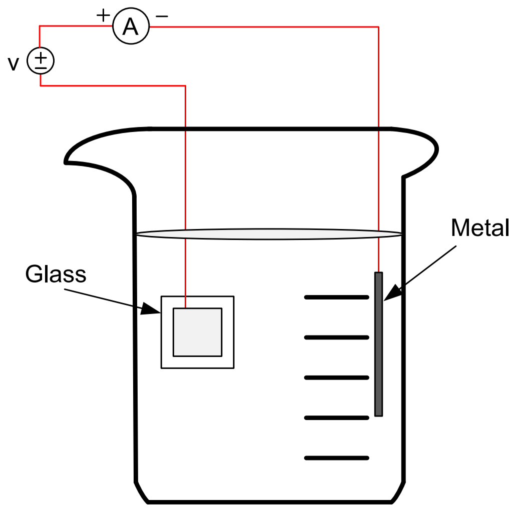
ภาพที่ 4.4 แสดงกระแสที่วัดค่าได้จากการทดลองที่ 1

เมื่อกระจกได้รับแรงดัน จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพคือเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีฟ้า ดังแสดงดังภาพที่ 4.2 เนื่องจาก ประจุที่เก็บอยู่ที่ชั้นเก็บประจุก็จะถูกผลักให้เข้าไปในชั้นอิเล็กโตรไลท์และนำพาไปรวมตัวกับสารที่จะเกิดปฏิกิริยา ที่มีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่อยู่ในชั้น อิเล็กโทรโครมิคเกิดการดูดกลืนแสงหรือสะท้อนแสง ทำให้ฟิล์มชั้นนี้เปลี่ยนสีเป็นสีเข้มขึ้น และจะมีสีฟ้าเข้มมากขึ้นเมื่อจ่ายแรงดันเพิ่มขึ้น แต่เมื่อลดแรงดันลงสีของกระจกก็ยังอยู่เหมือนเดิมกับที่จ่ายแรงดันเพิ่มขึ้น เนื่องมาจาก สารอิเล็กโทรโครมิคนั้นมีความสามารถในการจำสีในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ทำให้สีของกระจกยังคงความเข้มอยู่ได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.3 (ข)

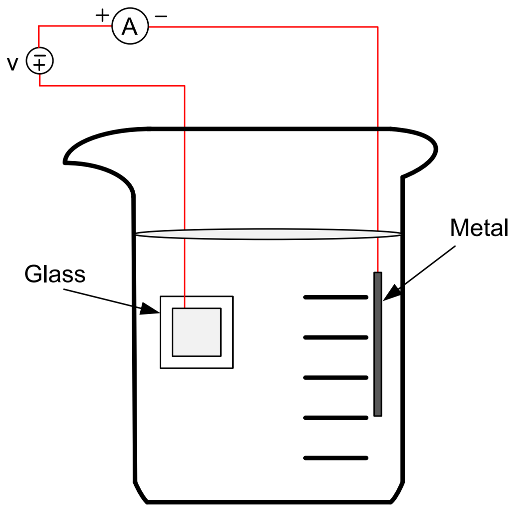
4.2 การทดลองที่ 2 การไบอัสแรงดันกระแสตรง ด้วยขั้วโลหะในสารละลาย และการสลับขั้วแหล่งจ่าย

การทดลองนี้ จะต่อวงจรเหมือนกับการทดลองที่ 1 แต่จะเพิ่มการกลับขั้วแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง(DC Supply)ให้ขั้ว + ต่อที่กระจก และขั้ว - ต่อที่ขั้วโลหะ ดังภาพที่ 4.5 วัดค่ากระแสเหมือนการทดลองที่ 1 ดังภาพที่ 4.6 และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกระจก

โดยการทดลองจะทดลองการเพิ่มแรงดัน 0-1.5 โวลต์ บันทึกค่ากระแส และสังเกตการทดลอง และทำการสลับขั้วแหล่งจ่ายไฟฟ้า ทดลองการเพิ่มแรงดัน 0-1.5 โวลต์ บันทึกค่ากระแสและสังเกตการทดลอง

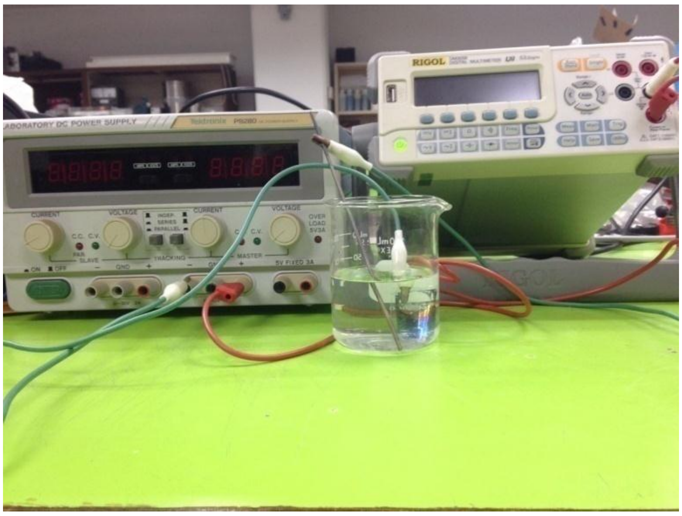


(ก)วงจรการต่อไบอัสตรง(Forward)



(ข)วงจรการต่อไบอัสย้อนกลับ (Reverse)

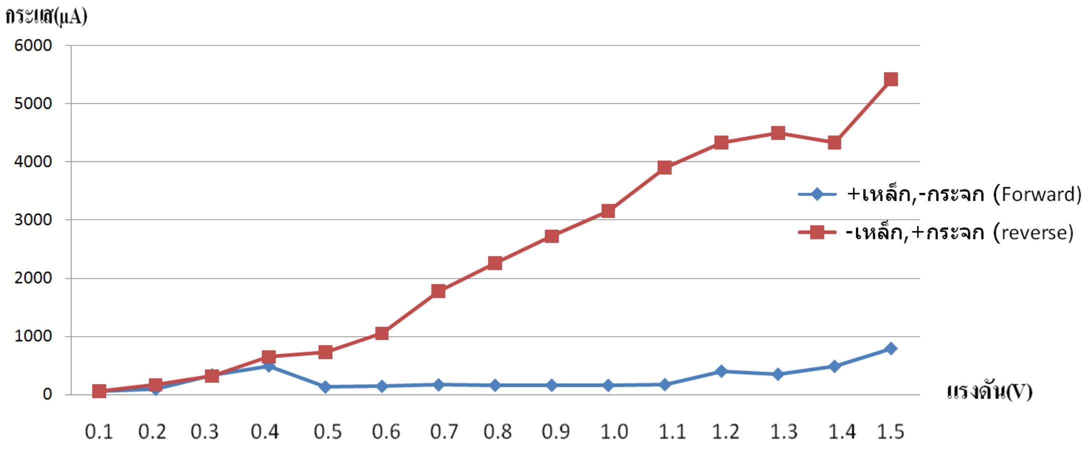
ภาพที่ 4.5 แสดงการต่อวงจรไบอัสกระแสตรงแบบไบอัสตรงและไบอัสย้อนกลับ



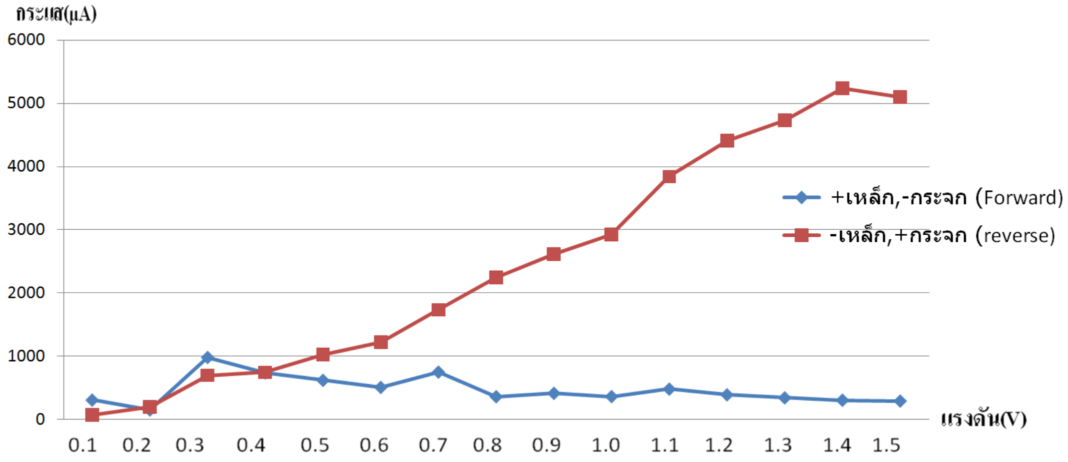
ภาพที่ 4.6 แสดงชุดการต่อวงจรการทดลองวัดกระแส-แรงดัน

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองที่ 2

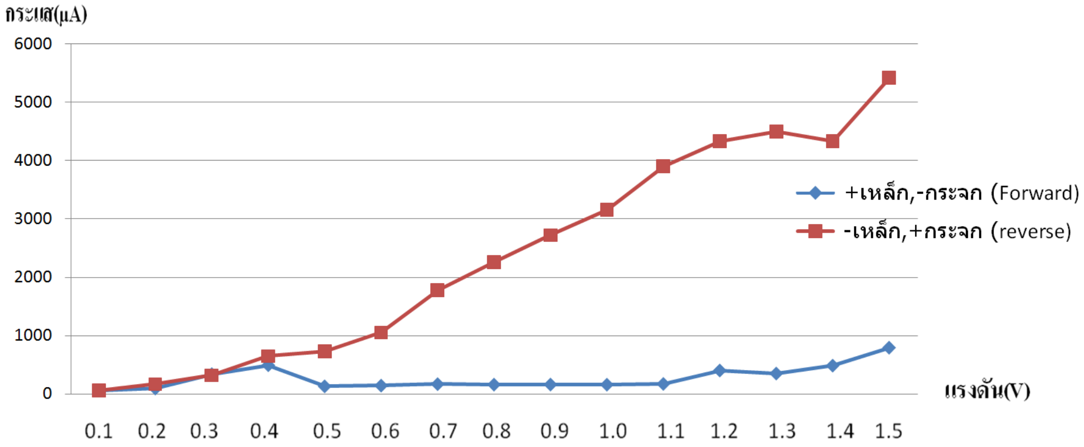
V	กระจกชิ้นที่ 1(2.6Kohm)		กระจกชิ้นที่ 2 (6.4Kohm)		กระจกชิ้นที่ 3 (4.8Kohm)	
	I(mA)		I(mA)		I(mA)	
	+เหล็ก, -กระจก	-เหล็ก, +กระจก	+เหล็ก, -กระจก	-เหล็ก, +กระจก	+เหล็ก, -กระจก	-เหล็ก, +กระจก
	Forward	Reverse	Forward	Reverse	Forward	Reverse
0.1	20	**220**	3121	672	10862	752
0.2	34	360	1563	1952	895	1260
0.3	49	400	985	695	341	3146
0.4	54	600	741	742	493	6412
0.5	69	612	623	1023	133	7423
0.6	80	1268	512	1224	145	10479
0.7	125	1495	753	17342	170	17762
0.8	259	1542	365	22496	162	22514
0.9	298	1579	419	26147	163	27159
1	347	1642	367	29267	161	31547
1.1	389	2315	485	38412	174	38952
1.2	469	2391	395	44126	403	43267
1.3	532	2641	347	47321	351	44901
1.4	689	3419	310	52410	486	43256
1.5	754	3789	297	50987	792	54143



(ก) ตัวอย่างที่ 1



(ข) ตัวอย่างที่ 2



(ค) ตัวอย่างที่ 3

ภาพที่ 4.7 แสดงการให้ไบอัสตรงและย้อนกลับจากตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3

เมื่อทำการเพิ่มแรงดันที่แหล่งจ่าย ขั้ว + ต่อเข้าที่ขั้วโลหะ ขั้ว - ต่อกระจกอิเล็กโทรโครมิค กระจกจะเริ่มเปลี่ยนสีจากสีขุ่นเป็นสีฟ้า และจะมีสีฟ้าเข้มขึ้นเมื่อจ่ายแรงดันเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเราทำการสลับขั้วแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ให้ขั้ว + ต่อที่กระจก และขั้ว - ต่อที่ขั้วโลหะ สีฟ้าของกระจกจะเริ่มมีสีจากลงเป็นสีฟ้าอ่อน และเมื่อเพิ่มแรงดันมากขึ้นกระจกจะกลับมาเป็นสีขุ่นเหมือนเดิม ดังภาพที่ 4.7

4.3 การทดลองที่ 3การไบอัสแรงดันกระแสตรงและไบอัสย้อนกลับ ด้วยขั้วโลหะในสารละลาย HCl ในโมล่าที่ต่างกันและสลับขั้วแรงดันไบอัส

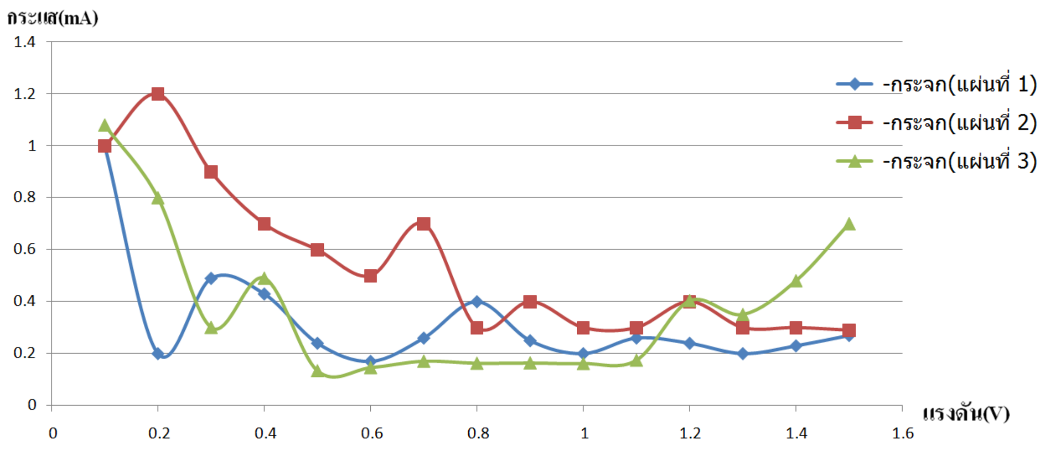
มีการควบคุมความเข้มข้นสารละลายที่ใช้ในการทดสอบว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกระจกอิเล็กโทรโครมิคหรือไม่ และ การสลับขั้วแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง(DC Supply) จะมีผลต่อกระจกหรือไม่

โดยการทดลองจะใช้สารละลาย HCl ขนาดความเข้มข้น 0.1 โมล, 0.01 โมลและ 0.001 โมล การทดลองจะต่อวงจรเหมือนกับการทดลองที่ 1 ทดลองการเพิ่มแรงดัน 0-1.5 โวลต์ บันทึกค่ากระแส และสังเกตการทดลอง และทำการสลับขั้วแหล่งจ่ายไฟฟ้า ทดลองการเพิ่มแรงดัน 0-1.5 โวลต์ บันทึกค่ากระแส และสังเกตการทดลอง

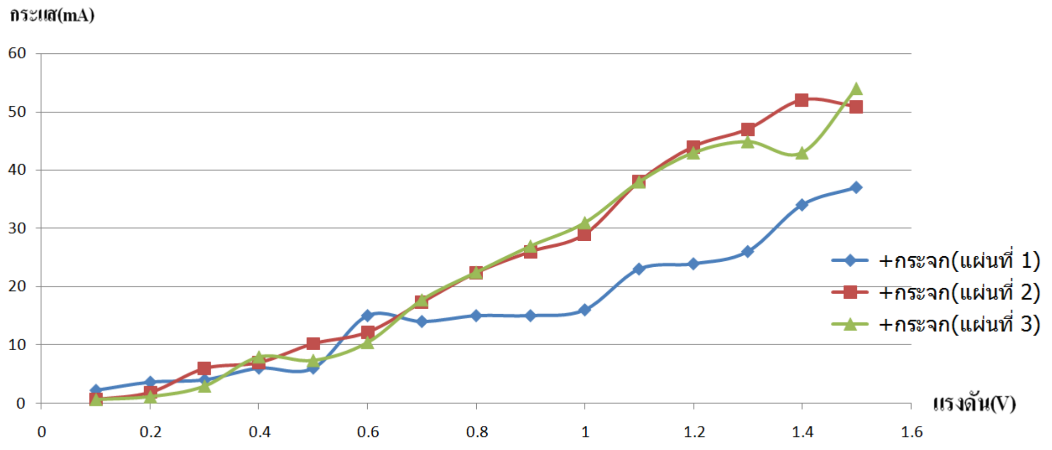
ผลการทดลองที่ 3 เมื่อทำการปรับความเข้มข้นของสารละลาย HCl ความเข้น 0.1, 0.01 และ 0.001 โมล

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองที่ 3 สารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.1 โมล

แรงดัน (V) 0	กระจกแผ่นที่ 1 (2.6 KΩ)		กระจกแผ่นที่ 2 (6.4 KΩ)		กระจกแผ่นที่ 3 (4.8 KΩ)	
	I (mA)		I (mA)		I (mA)	
	+เหล็ก, -กระจก	-เหล็ก, +กระจก	+เหล็ก, -กระจก	-เหล็ก, +กระจก	+เหล็ก, -กระจก	-เหล็ก, +กระจก
	Forward0	Reverse	Forward0	Reverse	Forward0	Reverse
0.1	1	2.2	1	0.67	1.08	0.7
0.2	0.2	3.6	1.2	1.9	0.8	1.2
0.3	0.49	4	0.9	6	0.3	3
0.4	0.43	6	0.7	7	0.49	8
0.5	0.24	6	0.6	10.23	0.133	7.4
0.6	0.17	15	0.5	12.2	0.145	10.47
0.7	0.26	14	0.7	17.34	0.17	17.76
0.8	0.4	15	0.3	22.4	0.162	22.5
0.9	0.25	15	0.4	26	0.163	27
1	0.2	16	0.3	29	0.161	31
1.1	0.26	23	0.3	38	0.174	38
1.2	0.24	23.9	0.4	44	0.403	43
1.3	0.2	26	0.3	47	0.35	44.9
1.4	0.23	34	0.3	52	0.48	43
1.5	0.27	37	0.29	50.9	0.7	54



ภาพที่ 4.8 แสดงการให้ไบอัสตรงในสารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.1 โมล

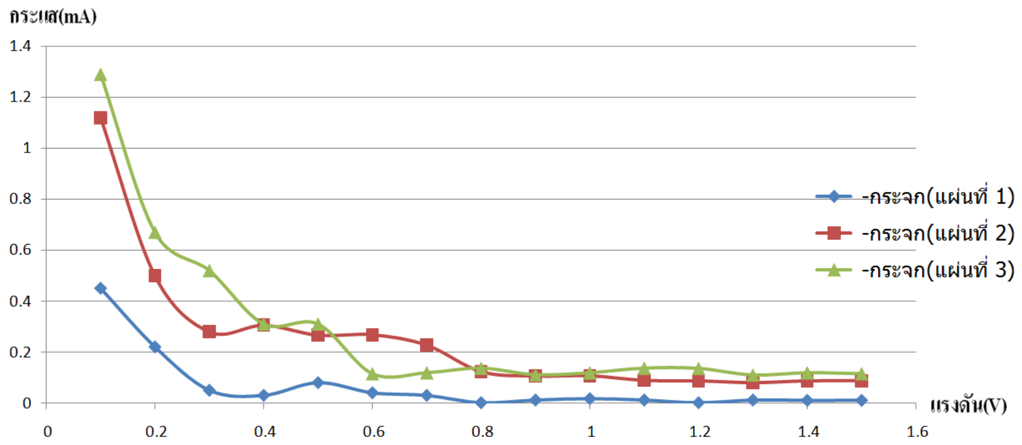


ภาพที่ 4.9 แสดงการให้ไบอัสย้อนกลับในสารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.1 โมล

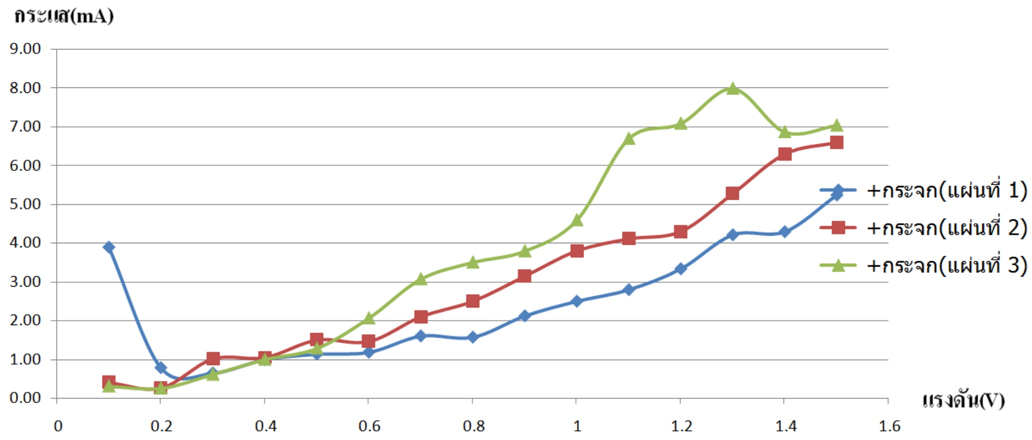
ผลการทดลอง ความเข้มข้นที่ 0.1 โมลเมื่อจ่ายแรงดันให้กับวงจร สีของกระจกจะมีความเข้มมากขึ้น จะเปลี่ยนจากสีขุ่นเป็นสีฟ้าและมีความเข้มมากขึ้นเมื่อเพิ่มแรงดันดังแสดงในภาพที่ 4.8 และ 4.9 เมื่อทำการสลับขั้นแหล่งจ่ายไฟ กระจกจากสีที่เข้มอยู่จะเริ่มกลับมาเป็นสีขุ่นดังเดิม เนื่องจากประจุที่อยู่ในชั้นนี้ก็จะถูกผลักกลับไปเก็บไว้ที่ชั้นฟิล์มเก็บประจุเหมือนเดิมซึ่งจะเป็นการลดความเข้มของสีที่ชั้นของ Electrochromic เหมือนการทดลองที่ 2

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองที่ 3 สารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.01 โมล

แรงดัน (V)	กระจกแผ่นที่ 1 (6 KΩ)		กระจกแผ่นที่ 2 (3 KΩ)		กระจกแผ่นที่ 3 (2 KΩ)	
	I (mA)		I (mA)		I (mA)	
	+เหล็ก, -กระจก	-เหล็ก, +กระจก	+เหล็ก, -กระจก	-เหล็ก, +กระจก	+เหล็ก, -กระจก	-เหล็ก, +กระจก
	Forward	Reverse	Forward	Reverse	Forward	Reverse
0.1	45.05	0.39	1.12	0.401	2.29	0.314
0.2	22.01	0.78	0.5	0.258	0.67	0.259
0.3	5.07	0.64	0.28	1.013	0.52	0.619
0.4	3.04	0.99	0.306	1.046	0.31	1.002
0.5	8.06	1.13	0.267	1.5	0.31	1.29
0.6	4.17	1.18	0.269	1.46	0.115	2.071
0.7	3.18	1.6	0.228	2.1	0.119	3.077
0.8	1.25	1.57	0.124	2.5	0.137	3.507
0.9	1.17	2.12	0.107	3.147	0.111	3.8
1	1.7	2.5	0.108	3.8	0.119	4.6
1.1	1.18	2.8	0.09	4.11	0.137	6.7
1.2	1.2	3.34	0.088	4.3	0.136	7.09
1.3	1.11	4.22	0.081	5.28	0.11	7.99
1.4	1.04	4.3	0.088	6.3	0.119	6.87
1.5	1.07	5.25	0.089	6.6	0.115	7.04



ภาพที่ 4.10 แสดงการให้ไบอัสตรงในสารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.01 โมล

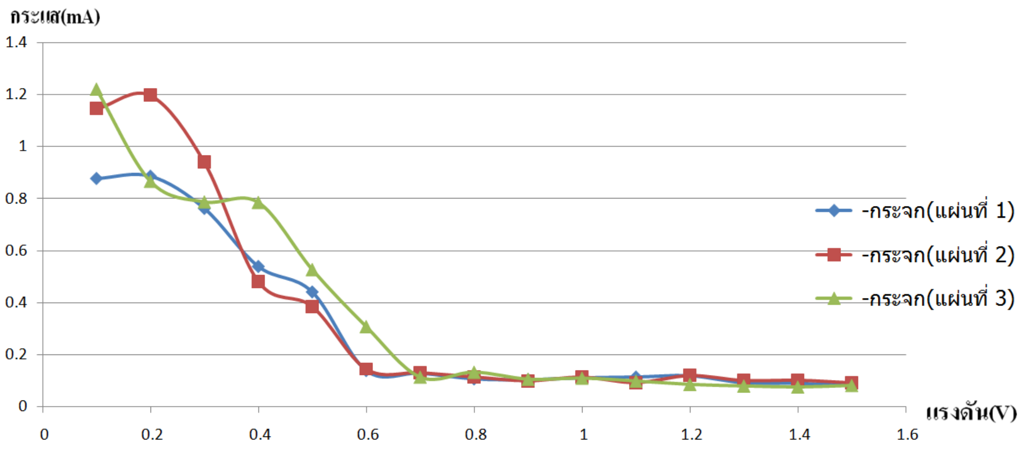


ภาพที่ 4.11 แสดงการให้ไบอัสย้อนกลับในสารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.01 โมล

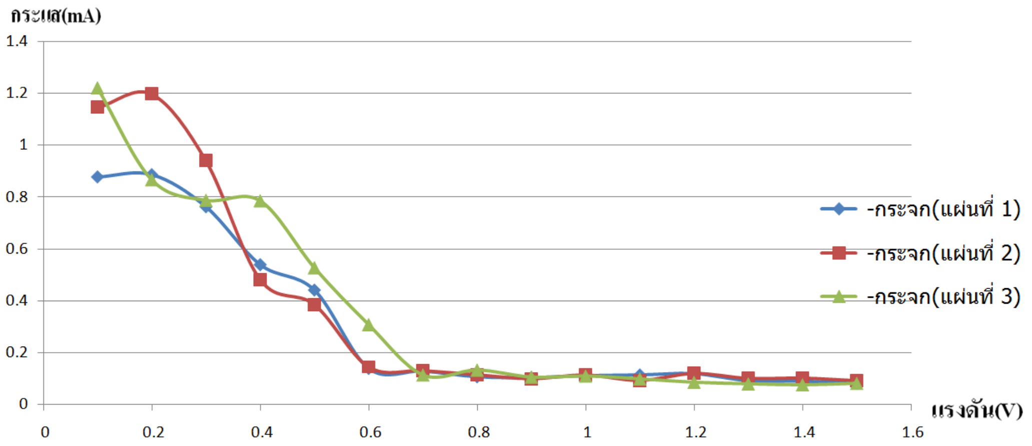
ผลการทดลอง ความเข้มข้นของสารละลาย ที่ 0.01 โมล จะเหมือนกับการทดลองที่ความเข้มข้นของสารละลายที่ 0.1 โมล แต่มีข้อแตกต่างคือ ความเข้มของสีจะลดลงกระแสที่ไหลในวงจรจะต่ำลง และการเปลี่ยนสีของกระจกจะช้ากว่า ดังแสดงในภาพที่ 4.10 และ 4.11

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองที่ 3 สารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.001 โมล

แรงดัน (V)	กระจกแผ่นที่ 1 (2.33 KΩ)		กระจกแผ่นที่ 2 (5.4 KΩ)		กระจกแผ่นที่ 3 (2 KΩ)	
	I (mA)		I (mA)		I (mA)	
	+เหล็ก, -กระจก	-เหล็ก, +กระจก	+เหล็ก, -กระจก	-เหล็ก, +กระจก	+เหล็ก, -กระจก	-เหล็ก, +กระจก
	Forward	Reverse	Forward	Reverse	Forward	Reverse
0.1	0.877	0.198	1.145	0.145	1.22	0.121
0.2	0.886	0.401	1.197	0.135	0.866	0.191
0.3	0.762	0.552	0.94	0.44	0.787	0.403
0.4	0.539	0.619	0.482	0.5	0.785	0.409
0.5	0.441	0.115	0.386	0.508	0.527	0.616
0.6	0.139	0.765	0.146	0.857	0.308	0.636
0.7	0.129	0.882	0.132	0.99	0.114	0.747
0.8	0.107	0.916	0.116	0.984	0.133	0.934
0.9	0.104	1.104	0.101	1.143	0.106	1.041
1	0.111	1.2	0.115	1.122	0.11	1.298
1.1	0.114	1.226	0.094	1.16	0.099	1.312
1.2	0.119	1.4	0.121	1.189	0.086	1.268
1.3	0.092	1.553	0.102	1.443	0.08	1.772
1.4	0.09	1.775	0.103	1.994	0.076	1.711
1.5	0.082	1.86	0.093	1.876	0.082	1.971



ภาพที่ 4.12 แสดงการให้ไบอัสตรงในสารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.001 โมล



ภาพที่ 4.13 แสดงการให้ไบอัสย้อนกลับในสารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.001 โมล

ผลการทดลอง ความเข้มข้นของสารละลาย ที่ 0.001 โมล จะเหมือนกับการทดลองที่ความเข้มข้นของสารละลายที่ 0.1 และ 0.01 โมล แต่มีข้อแตกต่างคือ การเปลี่ยนแปลงของกระจกจะน้อยมาก จะมีสีเข้มขึ้นเพียงนิดเดียว ใกล้เคียงกับตอนที่ยังไม่ได้จ่ายแรงดันให้กับวงจร กระแสที่ไหลในวงจร จะต่ำมาก ดังแสดงในรูปภาพที่ 4.12 และ 4.13

สรุปผลการทดลองที่ 3

การทดลองสมบัติทางไฟฟ้า โดยควบคุมสารละลายที่ใช้ทดลอง ความเข้มข้น 0.1, 0.01 และ 0.001 โมล มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี เนื่องจากสารละลายทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าระหว่างขั้วโลหะกับกระจก ความเข้มข้นสารละลาย มีผลให้กระแสสารมารถวิ่งผ่านวงจรได้เร็วขึ้นหรือช้าลง ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย

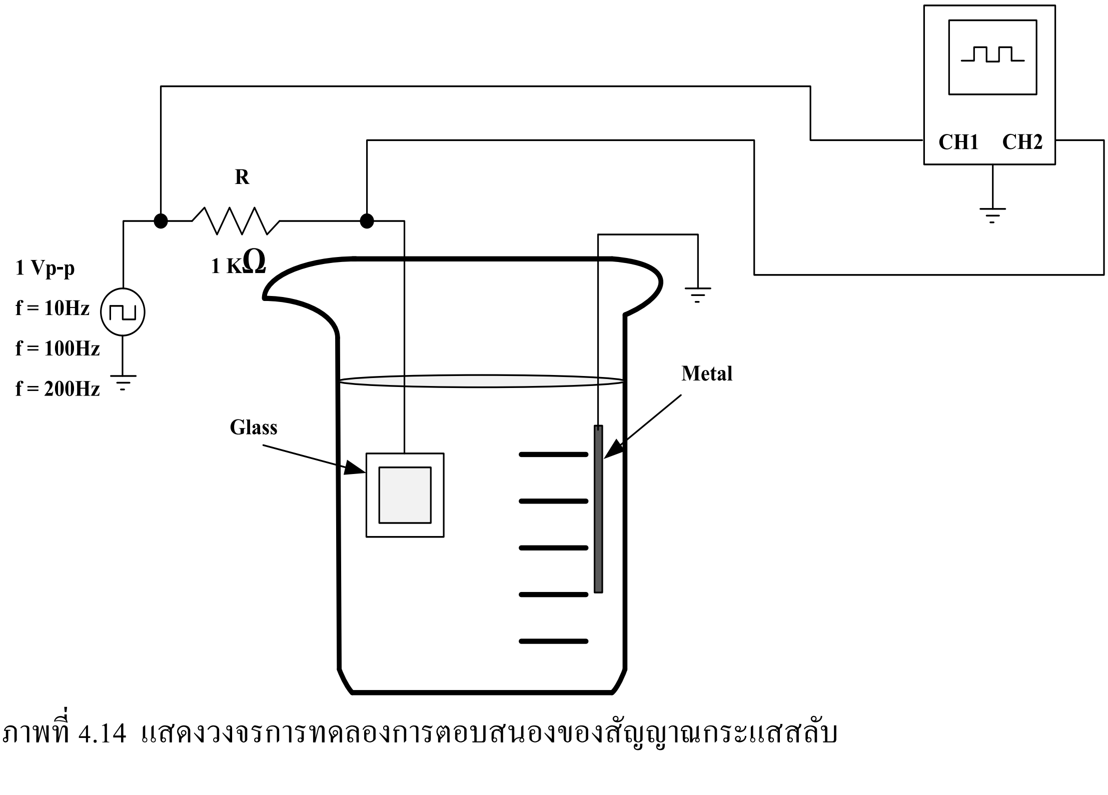
4.4 การทดลองที่ 4 การตอบสนองของสัญญาณกระแสสลับ (Frequency Response)

การทดสอบสัญญาณกระแสไฟฟ้าสลับเป็นการให้แรงดันไบอัสตรงและย้อนกลับสลับกันที่ความถี่ต่ำๆ เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองทางด้านกระแสตรง ซึ่งการให้สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับจะเป็นการพิจารณาถึงการตอบสนองของการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาหรือการแลกเปลี่ยนอิออนซึ่งในที่นี้พบว่าความสามารถของการปรับเปลี่ยนสีมีสภาพการเปลี่ยนของสีที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ด้วยการให้แรงดันไบอัสจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ Function Generator

การทดลองนี้เป็นการทดลองการตอบสนองของกระจกอิเล็กโทรโครมิคต่อสัญญาณกระแสสลับในสารละลายสองชนิด คือ สารละลาย HCl (ไฮโดรคลอริก) และสารละลายH_2SO_4 (กรดซัลฟิวริก) มีผลต่อกระจกอิเล็กโทรโครมิคอย่างไร และในสารละลาย HCl นั้น ในขนาดที่ความเข้มข้นต่างกันมีผลอย่างไร

ให้ต่อวงจรตามภาพที่ 3.3และทดลองใช้สารละลาย HCl ความเข้มข้น ขนาด 0.25 และ 0.1 โมล จากทำนั้นทำการเพิ่มความถี่ที่ Function Generator (เครื่องกำเนิดสัญญาณ) ที่ 10 Hz, 100 Hz และ 200 Hz ตามลำดับ

จากนั้นทำการเปลี่ยนขั้วโลหะ เป็นกระจกอิเล็กโทรโครมิค และทำตามขั้นตอนก่อนหน้านี้อีกครั้งหนึ่ง และสังเกตการทดลองและบันทึกผล

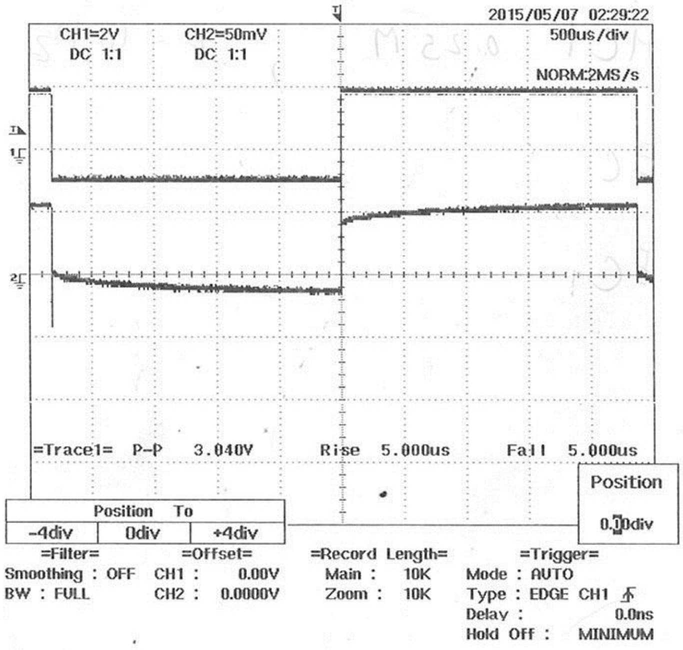


ภาพที่ 4.14 แสดงวงจรการทดลองการตอบสนองของสัญญาณกระแสสลับ

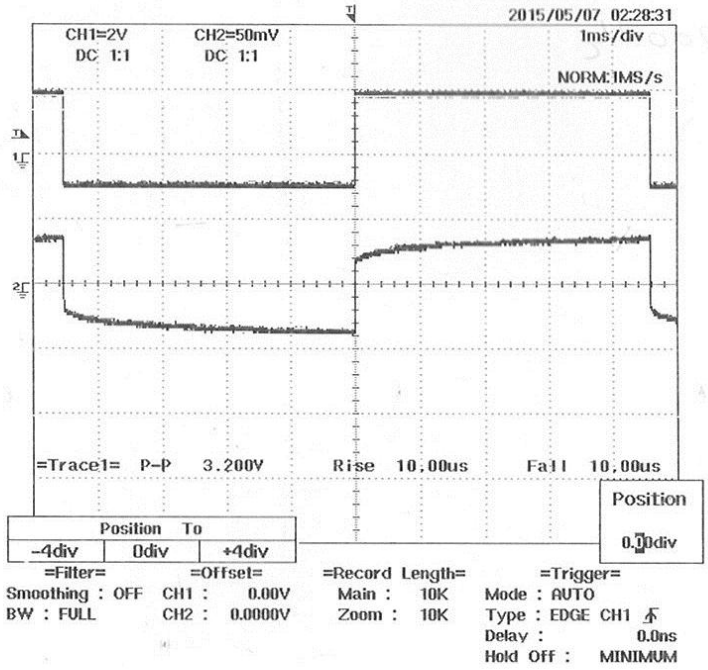
ภาพที่ 4.15 แสดงการทดลองการตอบสนองของสัญญาณกระแสสลับ ระหว่าง EC กัน ขั้วโลหะ

ภาพที่ 4.16 แสดงการทดลองการตอบสนองของสัญญาณกระแสสลับระหว่าง EC กับ EC

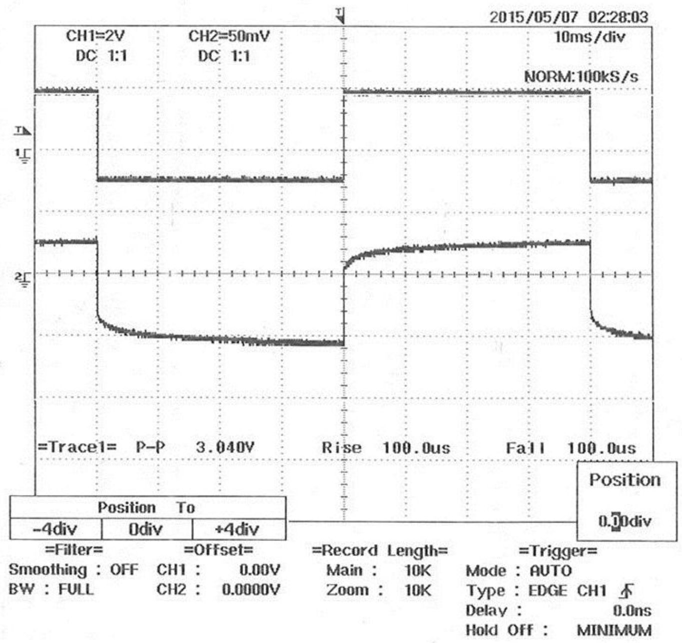
รูปสัญญาณที่ได้จากการทดลอง สารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.25 โมล ระหว่างกระจกอิเล็กโทรโครมิค กับ กระจกอิเล็กโทรโครมิค



ภาพที่ 4.17 แสดงผลการให้ความถี่ 10 Hz ระหว่าง EC กับ EC ใน HCl 0.25 โมล



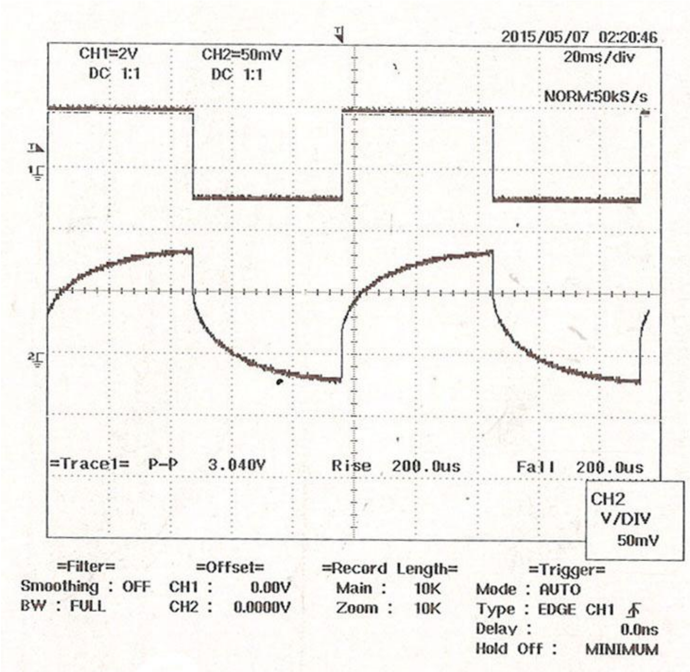
ภาพที่ 4.18 แสดงผลการให้ความถี่ 100 Hz ระหว่าง EC กับ EC ใน HCl 0.25 โมล



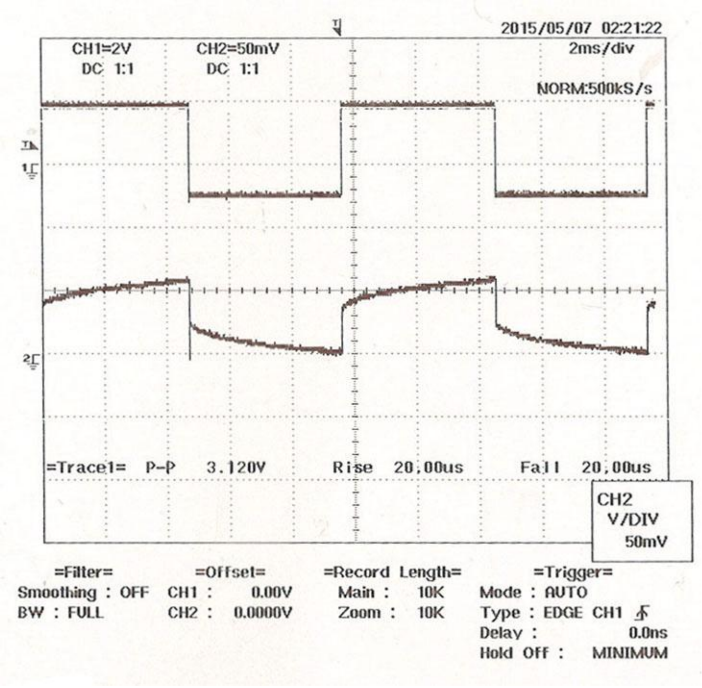
ภาพที่ 4.19 แสดงผลการให้ความถี่ 200 Hz ระหว่าง EC กับ EC ใน HCl 0.25 โมล

จากการทดลองเมื่อให้สัญญาณกระแสสลับ ระหว่าง กระจกอิเล็กโทรโครมิคสองแผ่น ในสารละลาย HCl จำนวนความเข้มข้น 0.25 โมล ในความถี่ 10 Hz 100Hz และ 200 Hz จากภาพที่ 4.17, 4.18 และ 4.19 จะสังเกตได้ว่ารูปคลื่นด้าน Reverse (รูปคลื่นโค้งลง) นั้นจะกว่าด้าน Forward (รูปคลื่นโค้งขึ้น) ทำให้กระจกจะเปลี่ยนสถานะเป็นสีเข้มทั้งสองแผ่น เนื่องจากคลื่นสัญญาณกระแสสลับจะสลับจะสลับขั้วอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้กระจกเปลี่ยนสถานะเป็นสีเข้มทั้งสองแผ่น และเปลี่ยนสถานะช้าเนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ทดสอบมีความเข้มข้นต่ำ สังเกตจากเส้นที่อยู่ระหว่างรูปคลื่น เส้นที่อยู่ตรงกลางคือช่วงที่กระจกกำลังเปลี่ยนสถานะเป็นสีเข้ม

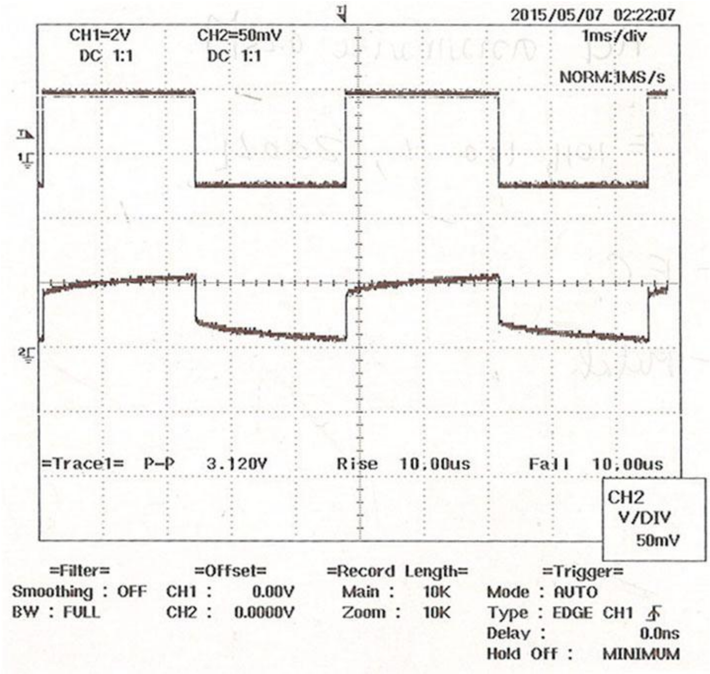
รูปสัญญาณที่ได้จากการทดลอง สารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.25โมล ระหว่างกระจกอิเล็กโทรโครมิค กับ ขั้วโลหะ



ภาพที่ 4.20 แสดงผลการให้ความถี่ 10 Hz ระหว่าง EC กับ ขั้วโลหะใน HCl 0.25 โมล



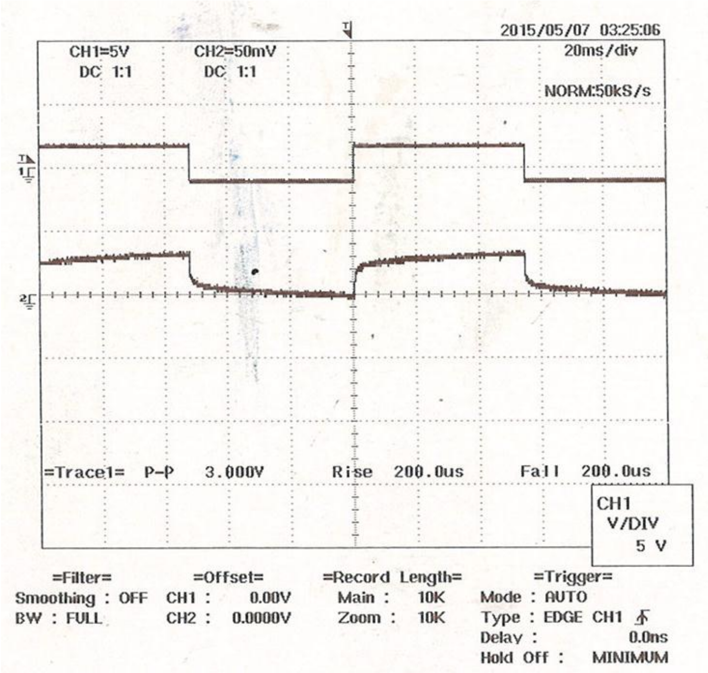
ภาพที่ 4.21 แสดงผลการให้ความถี่ 100 Hz ระหว่าง EC กับ ขั้วโลหะใน HCl 0.25 โมล



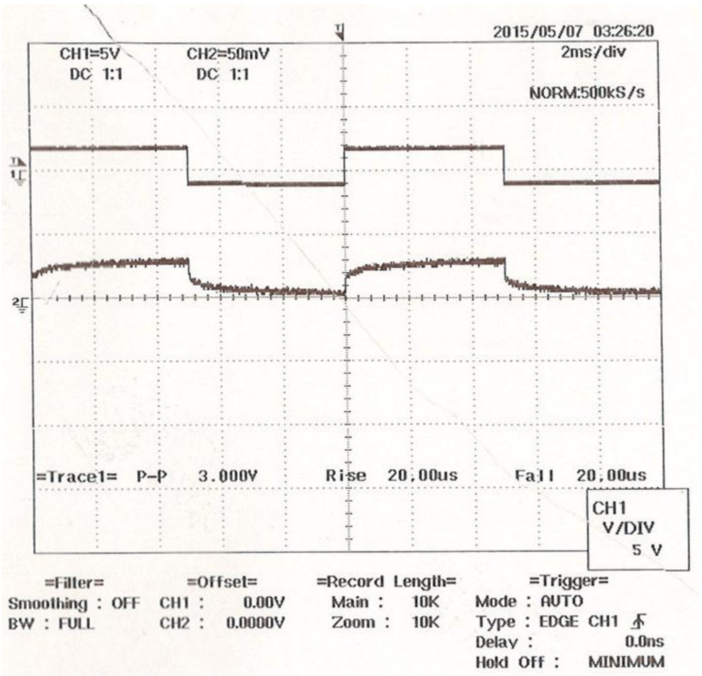
ภาพที่ 4.22 แสดงผลการให้ความถี่ 200 Hz ระหว่าง EC กับ ขั้วโลหะ ใน HCl 0.25 โมล

จากการทดลองเมื่อให้สัญญาณกระแสสลับ ระหว่าง กระจกอิเล็กโทรโครมิคกับขั้วโลหะ ในสารละลาย HCl จำนวนความเข้มข้น 0.25 โมล ในความถี่ 10 Hz 100Hz และ 200 Hz ภาพที่ได้ จะสังเกตได้ว่าภาพที่ได้จะคล้ายคลึงกัน กับการทดลองระหว่าง EC กับ ECกระจกจะเปลี่ยนสถานะเป็นสีเข้มแต่ช้ากว่า การทดลอง EC กับ EC เนื่องจากคลื่นสัญญาณที่ได้จากการทดลองบอกเราว่า ช่วงเปลี่ยนสถานะจะยาวกว่าทดลอง EC กับ EC ในความเข้มข้นเท่ากัน

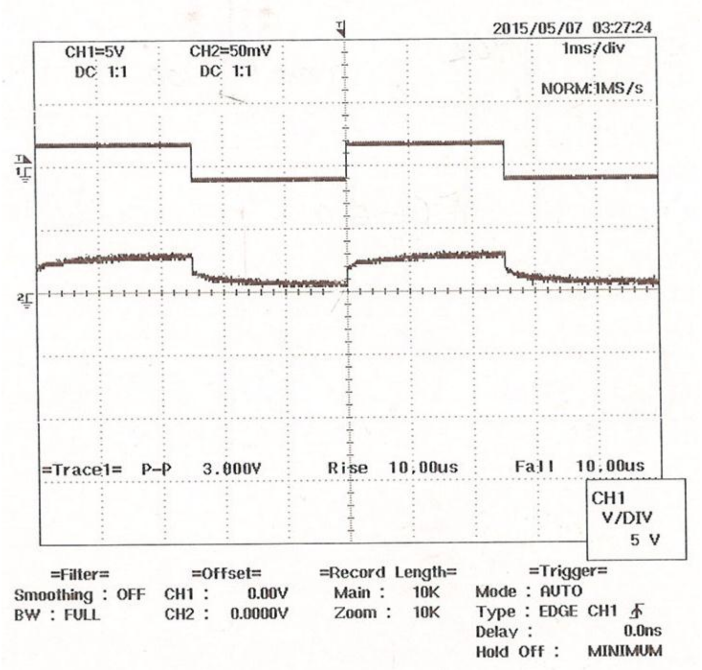
รูปสัญญาณที่ได้จากการทดลอง สารละลาย HCl ความเข้มข้น 1โมล ระหว่างกระจกอิเล็กโทรโครมิค กับ กระจกอิเล็กโทรโครมิค



ภาพที่ 4.23 แสดงผลการให้ความถี่ 10 Hz ระหว่าง EC กับ EC ใน HCl 1 โมล



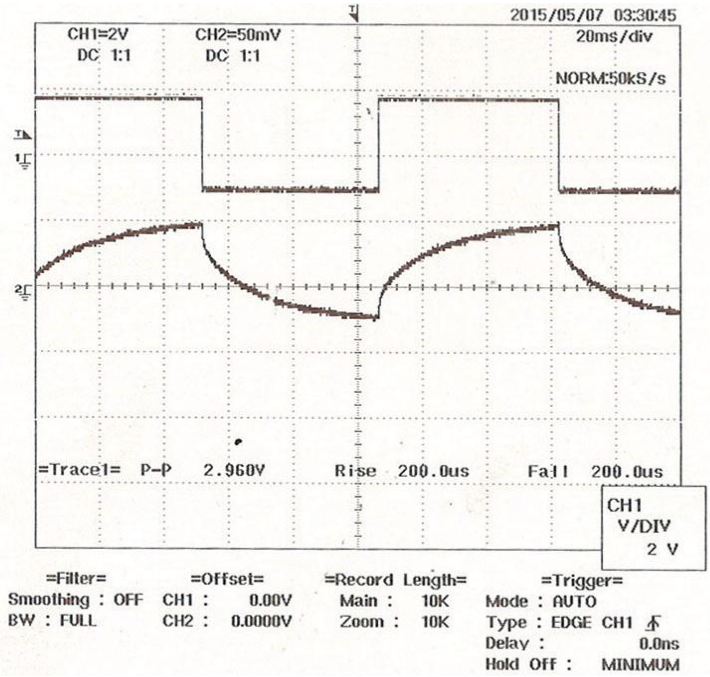
ภาพที่ 4.24 แสดงผลการให้ความถี่ 100 Hz ระหว่าง EC กับ EC ใน HCl 1 โมล



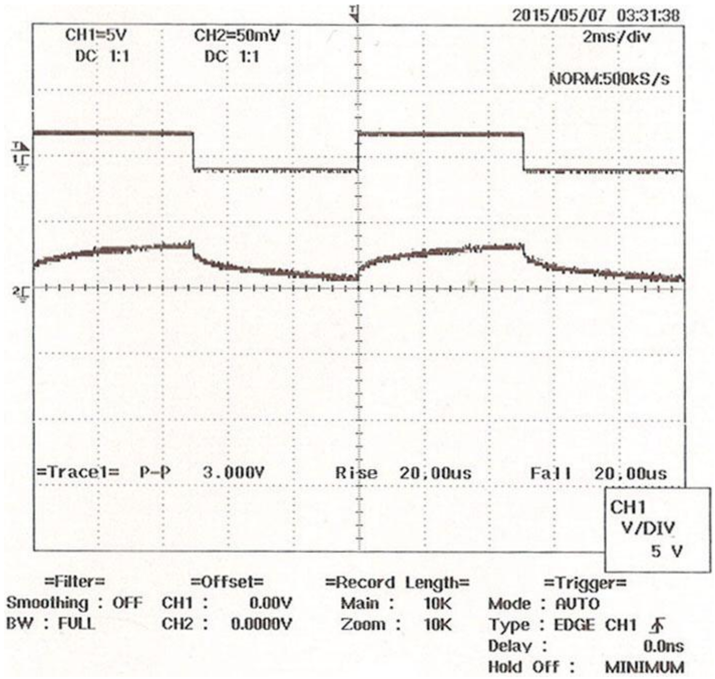
ภาพที่ 4.25 แสดงผลการให้ความถี่ 200 Hz ระหว่าง EC กับ ECใน HCl 1 โมล

จากการทดลองเมื่อให้สัญญาณกระแสสลับ ระหว่าง กระจกอิเล็กโทรโครมิคสองแผ่น ในสารละลาย HCl จำนวนความเข้มข้น 1โมล ในความถี่ 10 Hz 100Hz และ 200 Hz จะสังเกตได้ว่า การเปลี่ยนสถานะของกระจกจะเร็วมากในสารละลาย HCl ความเข้มที่ข้นที่ 0.25 โมล มาก มีช่วงระยะเวลาการเปลี่ยนสถานะที่สั้น กระจกจะเปลี่ยนสถานะเป็นสีเข้มทั้งสองแผ่น เนื่องจากคลื่นสัญญาณกระแสสลับจะสลับจะสลับขั้วอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้กระจกเปลี่ยนสถานะเป็นสีเข้มทั้งสองแผ่น

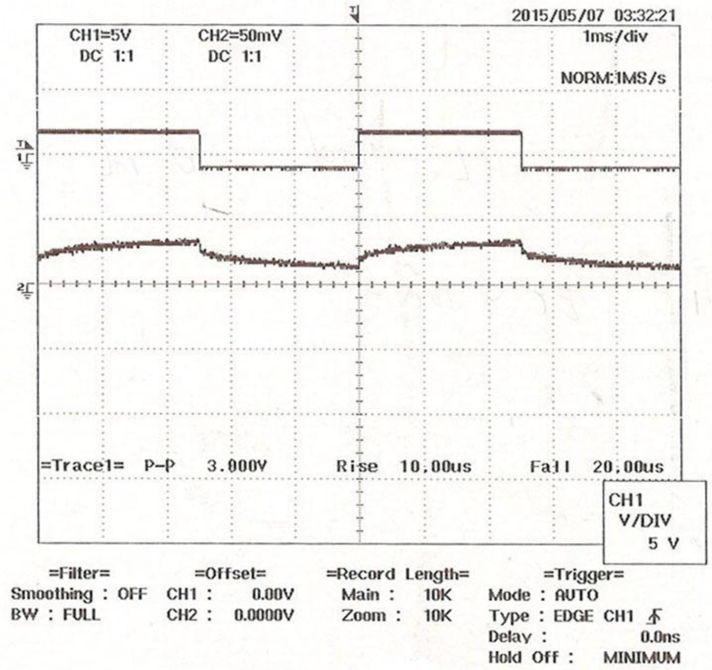
รูปสัญญาณที่ได้จากการทดลอง สารละลาย HCl ความเข้มข้น 1โมล ระหว่างกระจกอิเล็กโทรโครมิค กับ ขั้วโลหะ



ภาพที่ 4.26 แสดงผลการให้ความถี่ 10 Hz ระหว่าง EC กับ ขั้วโลหะ ใน HCl 1 โมล



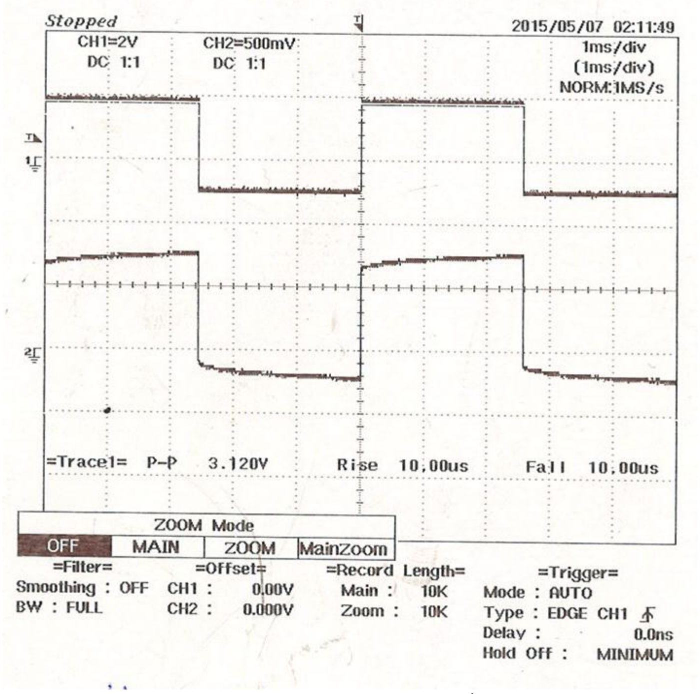
ภาพที่ 4.27 แสดงผลการให้ความถี่ 100 Hz ระหว่าง EC กับ ขั้วโลหะ ใน HCl 1 โมล



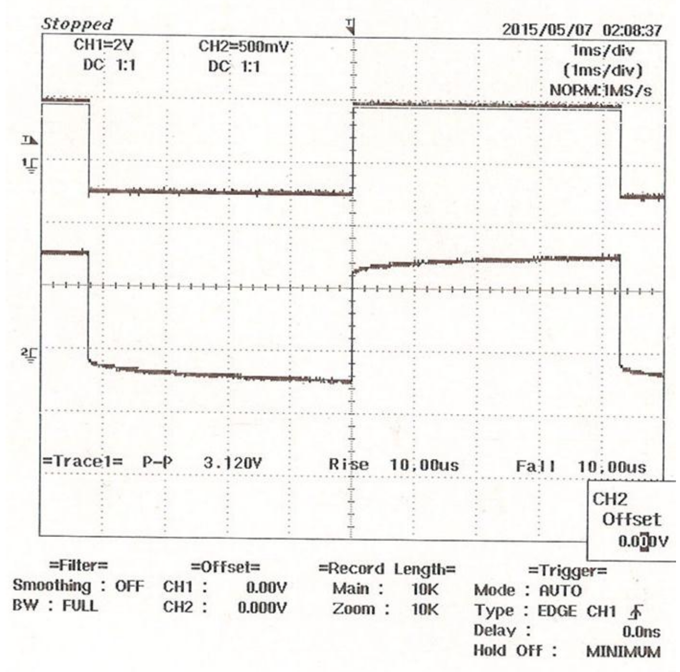
ภาพที่ 4.28 แสดงผลการให้ความถี่ 200 Hz ระหว่าง EC กับ ขั้วโลหะ ใน HCl 1 โมล

จากการทดลองเมื่อให้สัญญาณกระแสสลับ ระหว่าง กระจกอิเล็กโทรโครมิคกับขั้วโลหะ ในสารละลาย HCl จำนวนความเข้มข้น 1 โมล ในความถี่ 10 Hz 100Hz และ 200 Hz ภาพที่ได้จะสังเกตได้ว่าภาพที่ได้จะเหมือนกับการทดลอง ระหว่าง EC กับ ขั้วโลหะกระจกจะเปลี่ยนสถานะเป็นสีเข้มเร็วกว่า การทดลองในความเข้มข้นที่ 0.25 โมล แต่จะเปลี่ยนสถานะช้ากว่าการทดลองระหว่าง EC กับ EC ในความเข้มข้นที่ 1 โมล เนื่องจากการทดลองระหว่างกระจก EC สองแผ่น จะมีความต้านทานที่ชั้นฟิล์มอยู่ใกล้เคียงกันจึงทำให้การเปลี่ยนสถานะเร็วกว่า การทดลองระหว่าง EC กับ ขั้วโลหะ ซึ่งขั้วโลหะมีความต้านทานสูงกว่ากระจกอิเล็กโทรโครมิคอยู่มาก

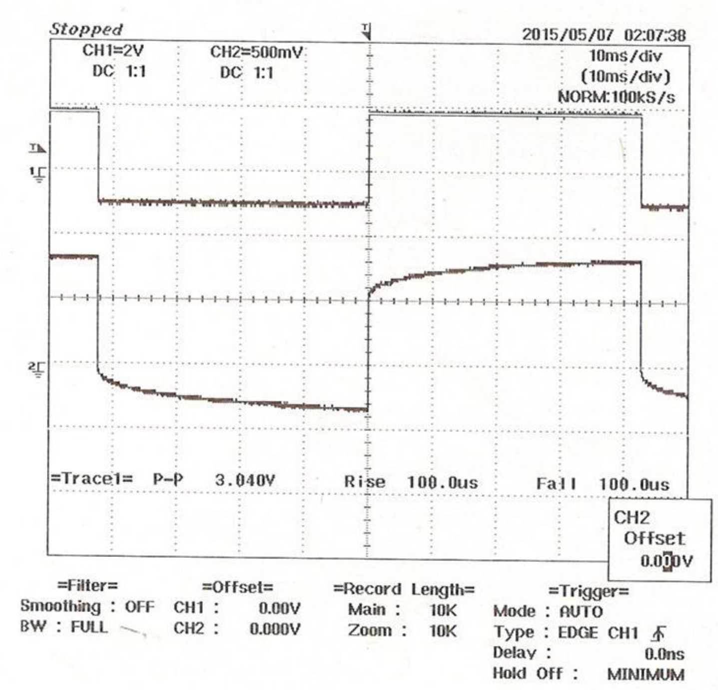
รูปสัญญาณที่ได้จากการทดลอง สารละลาย H_2SO_4 ความเข้มข้น 1 โมล ระหว่างกระจกอิเล็กโทรโครมิค กับ ขั้วโลหะ



ภาพที่ 4.29 แสดงผลการให้ความถี่ 10 Hz ระหว่าง EC กับ ขั้วโลหะ ใน H_2SO_4



ภาพที่ 4.30 แสดงผลการให้ความถี่ 100 Hz ระหว่าง EC กับ ขั้วโลหะ ใน H_2SO_4

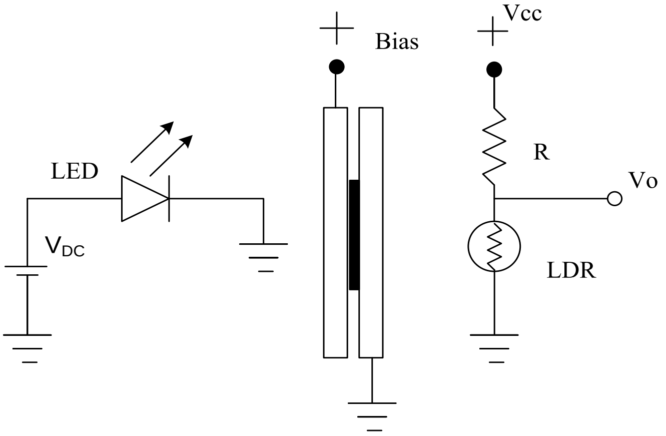


ภาพที่ 4.31 แสดงผลการให้ความถี่ 200 Hz ระหว่าง EC กับ ขั้วโลหะใน H_2SO_4

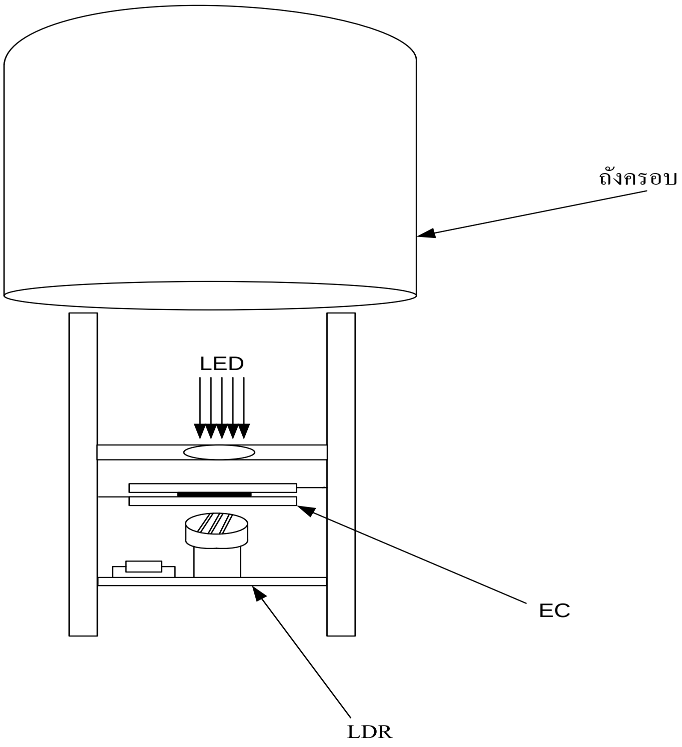
จากการทดลองเมื่อให้สัญญาณกระแสสลับ ระหว่าง กระจกอิเล็กโทรโครมิคกับขั้วโลหะในสารละลาย H_2SO_4ในความถี่ 10 Hz 100Hz และ 200 Hz รูปสัญญาณที่ได้สามารถบอกเราได้ว่ากระจกนั้นสามารถเปลี่ยนสถานะได้ เนื่องจากด้าน forward มีค่ามากกว่าด้าน reverse และเปลี่ยนสถานะช้าเพราะรูปคลื่นแสดงให้เห็นว่า ช่วงระยะเวลาการเปลี่ยนสถานะจะใช้เวลามากทำให้กระจกเปลี่ยนสถานะได้ช้า การทดลองนี้ทำให้เราได้ทราบว่า สารละลาย HCl เหมาะแก่การเปลี่ยนสถานะของกระจกอิเล็กโทรโครมิค ที่มีทังสเตนเป็นชั้นฟิล์มบางสำหรับการเปลี่ยนสถานะสีของกระจก

4.5 การทดลองที่ 5 การลดทอนปริมาณของแสงที่ลอดผ่านกระจก

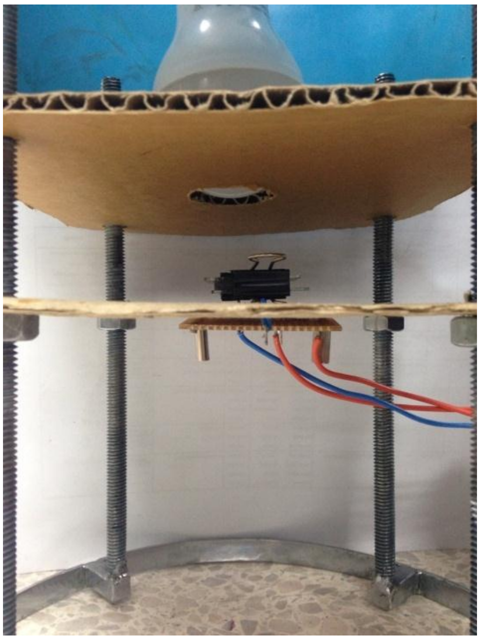
การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาความสามารถของกระจกอิเล็กโทรโครมิคในการลดทอนแสง โดยใช้ แผ่นกระจกอิเล็กโทรโครมิคสองแผ่นมาประกบกัน โดยให้ด้านที่เคลือบชั้นฟิล์มอิเล็กโทรโครมิคหันเข้าหากัน และต่อวงจรดังภาพที่ 4.16 การทดลองนี้มีวิธีการทดลองคือเปิดไฟที่หลอด LED แล้วไบอัสแรงดันขนาด 0 ถึง 1.5 โวลต์ และวัดค่าแรงดันที่ได้จาก LDR เพื่อหาประสิทธิภาพในการลดทอนแสงของกระจกว่ามีมากน้อยเพียงใด



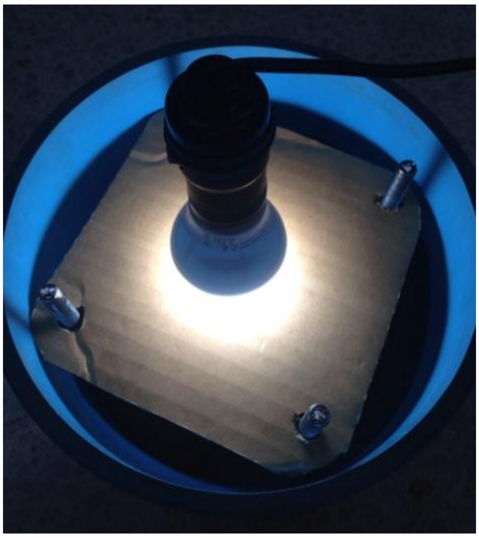
ภาพที่ 4.32 แสดงการต่อวงจรการทดลองการลดแสงของ อิเล็กโทรโครมิค



ภาพที่ 4.33 แสดงการออกแบบการทดลองที่ 5



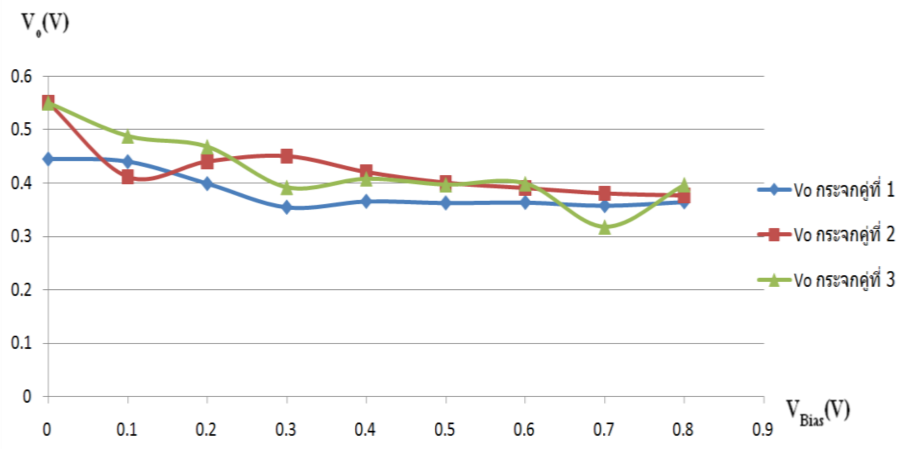
ภาพที่ 4.34 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่ 5



ภาพที่ 4.35 แสดงการทดลองที่ 5

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองที่ 5

V_B	กระจกคู่ที่ 1	กระจกคู่ที่ 2	กระจกคู่ที่ 3
	V_o	V_o	V_o
0	0.445	0.55	0.55
0.1	0.44	0.411	0.488
0.2	0.399	0.44	0.571
0.3	0.355	0.455	0.392
0.4	0.366	0.468	0.408
0.5	0.363	0.46	0.397
0.6	0.364	0.47	0.399
0.7	0.358	0.472	0.318
0.8	0.365	0.491	0.397



ภาพที่ 4.36 แสดงผลการการทดลองที่ 5

การให้ V_{Bias} เพิ่มที่ EC จะทำให้ ความเข้มของสีนั้นเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น โดยเมื่อทำการให้แสงผ่านกระจกจะพบความเข้มแสงนั้นต่ำลงจากการทดสอบผ่านวงจรตามภาพที่ 4.32 โดยแรงดันที่วัดออกจาก LDR นั้นจะลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญตามลำดับ