

ฟิสิกส์ของอุปกรณ์กึ่งตัวนำ

[20 คะแนน]

ตอนที่ 0. ตรวจสอบอุปกรณ์

[0.5 คะแนน]

เลขที่ของแผงวงจรที่ใช้ (ระบุอยู่ที่มุมล่างซ้ายด้านหลังแผงวงจร): TPhO_____

0.1 ความต้านทานของสายไฟทั้งสิบเส้น

เส้นที่	ความต้านทาน (Ω)	เส้นที่	ความต้านทาน (Ω)
1	0.8	6	0.8
2	0.8	7	0.8
3	0.8	8	0.8
4	0.6	9	0.8
5	0.9	10	0.6

0.2 ความต่างศักย์คร่อมปลายสายไฟทั้งสองของรางถ่าน

รางถ่านอันที่ 1: $\Delta V = \dots\dots\dots 3.31 \text{ V} \dots\dots\dots$

รางถ่านอันที่ 2: $\Delta V = \dots\dots\dots 3.31 \text{ V} \dots\dots\dots$

0.3 ความต้านทานระหว่างจุด A และ จุด B บนแผงวงจร

$R_{AB} = \dots\dots\dots 2.97 \text{ k}\Omega \dots\dots\dots$

ตอนที่ 1. วงจรแบ่งความต่างศักย์ (Voltage Divider Circuit)

[1.5 คะแนน]

1.1 ค่าความต่างศักย์ระหว่างจุดต่าง ๆ กับจุด B

	ความต่างศักย์ (V)	ค่าคลาดเคลื่อน (V)
ΔV_{AB}	3.28	0.05
ΔV_{1B}	3.12	0.05
ΔV_{2B}	2.96	0.05
ΔV_{3B}	2.79	0.05
ΔV_{4B}	2.63	0.05
ΔV_{5B}	2.46	0.05
ΔV_{6B}	2.30	0.05
ΔV_{7B}	2.13	0.04
ΔV_{8B}	1.97	0.04
ΔV_{9B}	1.81	0.04

	ความต่างศักย์ (V)	ค่าคลาดเคลื่อน (V)
ΔV_{10B}	1.64	0.04
ΔV_{11B}	1.48	0.04
ΔV_{12B}	1.31	0.04
ΔV_{13B}	1.15	0.04
ΔV_{14B}	0.988	0.007
ΔV_{15B}	0.822	0.006
ΔV_{16B}	0.658	0.005
ΔV_{17B}	0.493	0.004
ΔV_{18B}	0.328	0.004
ΔV_{19B}	0.164	0.003

ตอนที่ 2. สมบัติของซีเนอร์ไดโอด (Characteristics of Zener Diode)

[7.0 คะแนน]

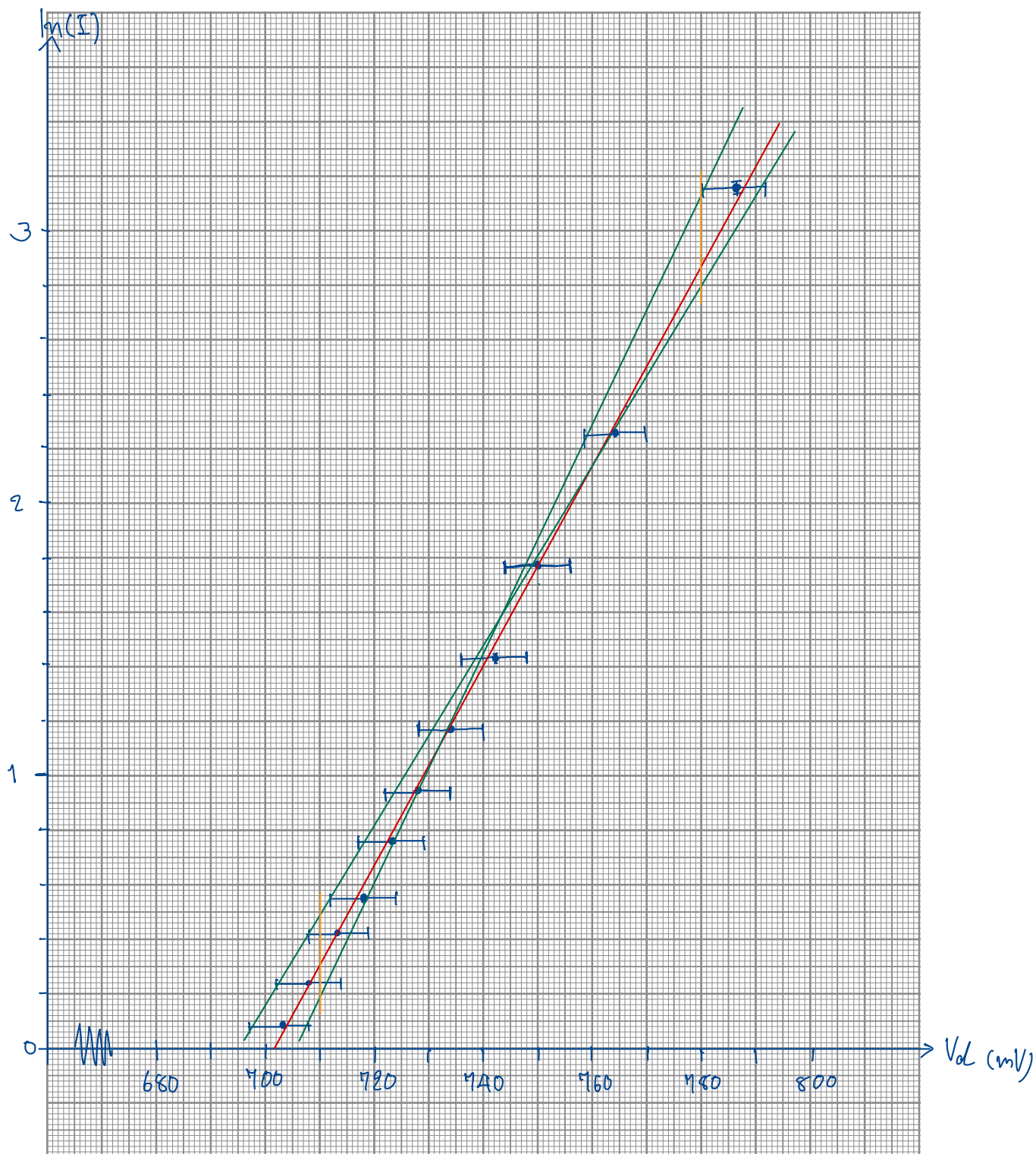
2.1 ตารางบันทึกผลการทดลองสำหรับการต่อซีเนอร์ไดโอดแบบไบแอสตรง

V_R (V)	ΔV_R (V)	V_d (V)	ΔV_d (V)	I (mA)	ΔI (mA)	$\ln(I)$	$\Delta \ln(I)$
2.35	0.05	0.786	0.006	23.5	0.7	3.16	0.03
0.948	0.007	0.764	0.006	9.48	0.2	2.25	0.02
0.586	0.005	0.750	0.006	5.86	0.1	1.77	0.02
0.418	0.004	0.742	0.006	4.18	0.08	1.43	0.02
0.322	0.004	0.734	0.006	3.22	0.07	1.17	0.02
0.259	0.003	0.728	0.006	2.59	0.06	0.952	0.02
0.214	0.003	0.723	0.006	2.14	0.05	0.761	0.02
0.180	0.003	0.718	0.006	1.80	0.05	0.588	0.03
0.152	0.003	0.713	0.006	1.52	0.05	0.419	0.03
0.127	0.003	0.708	0.006	1.27	0.04	0.239	0.03
0.109	0.003	0.703	0.006	1.09	0.04	0.0862	0.04
0.0915	0.0009	0.698	0.005				
0.0765	0.0008	0.693	0.005				
0.0587	0.0007	0.686	0.005				
0.0420	0.0006	0.676	0.005				
0.0242	0.0005	0.660	0.005				
0.0063	0.0003	0.620	0.005				
0.0001	0.0003	0.492	0.004				
0.0000	0.0003	0.328	0.004				
0.0000	0.0003	0.163	0.003				

หมายเหตุ ผู้ตรวจสามารถตรวจสอบค่าที่ได้จากการวัดจากเฉลยนี้ ค่าที่นักเรียนวัดได้อย่างถูกต้องควรใกล้เคียงกับเฉลย เนื่องจากอุปกรณ์ทุกชุดมีสมบัติใกล้เคียงกันมาก

2.2 วิเคราะห์สมบัติของซีเนอร์ไดโอดเมื่อไบแอสตรง

2.2a กราฟการทดลอง



2.2b การคำนวณหาค่า n

สมการเส้นตรงที่ใช้สำหรับวิเคราะห์

$$\ln(I) = \frac{q}{nk_B T} V_d + \ln(I_s)$$

คำนวณค่า n จาก $\frac{q}{\text{slope} \times k_B T}$

การคำนวณความชันของกราฟ

$$\text{slope} = \frac{2.86 - 0.30}{780 - 710} \frac{1}{\text{mV}} = 0.0366 \text{ mV}^{-1}$$

$$\text{slope}_{\text{max}} = \frac{3.12 - 0.18}{780 - 710} \frac{1}{\text{mV}} = 0.0420 \text{ mV}^{-1}$$

$$\text{slope}_{\text{min}} = \frac{2.80 - 0.48}{780 - 710} \frac{1}{\text{mV}} = 0.0331 \text{ mV}^{-1}$$

$$\text{slope} \pm \Delta \text{slope} = 0.037 \pm 0.004 \text{ mV}^{-1}$$

การคำนวณหาค่า n

$$n = \frac{q}{\text{slope} \times k_B T}$$

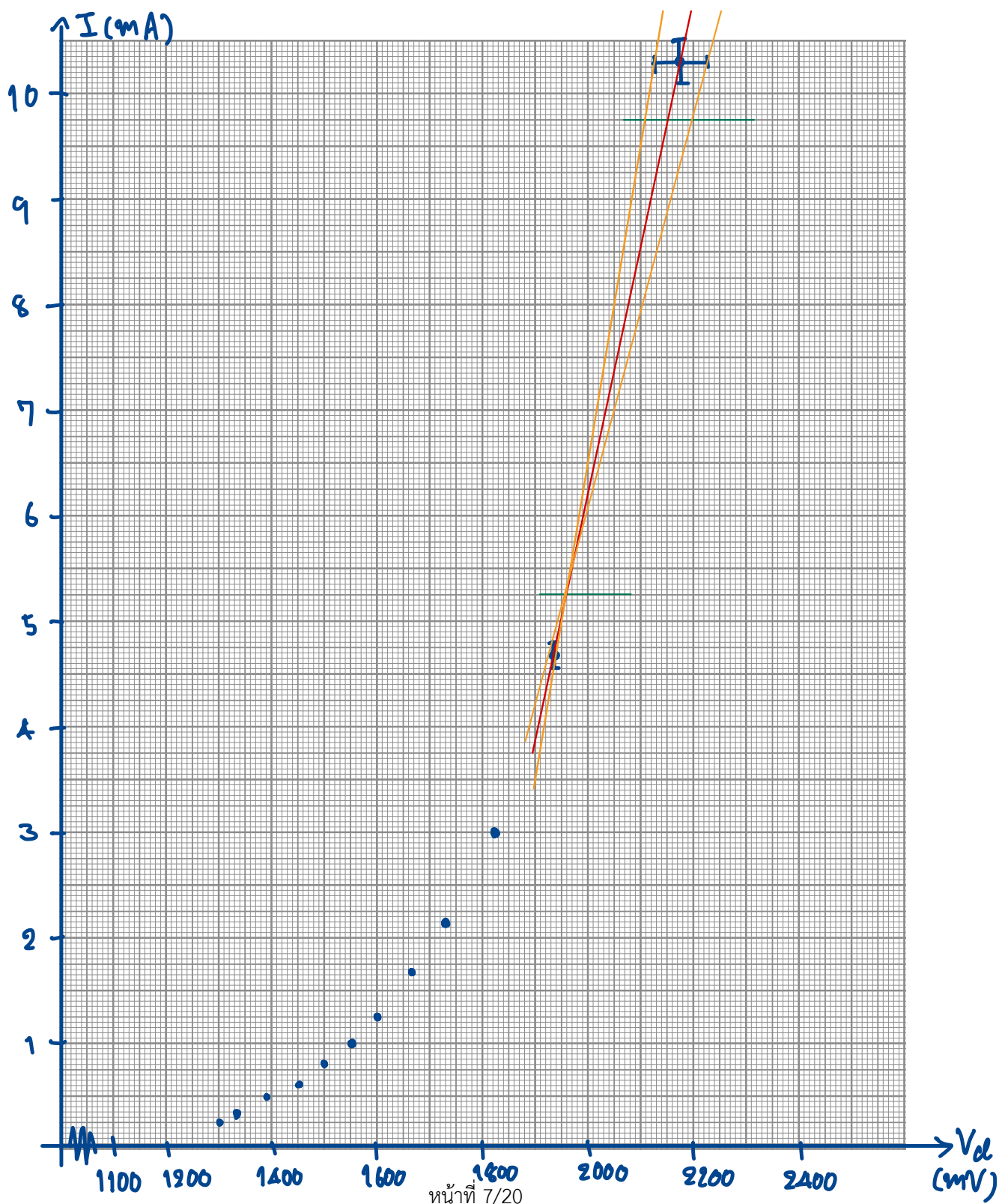
Ideality factor $n \pm \Delta n = 1.1 \pm 0.1$ หน่วย

2.3 วิเคราะห์สมบัติของซีเนอร์ไดโอดเมื่อไบแอสผันกลับ

2.3a ตารางบันทึกผลการทดลอง

V_R (mV)	ΔV_R (mV)	V_d (mV)	ΔV_d (mV)	I (mA)	ΔI (mA)
1030	7	2170	50	10.3	0.2
468	4	1944	12	4.68	0.09
299	3	1820	11	2.99	0.06
214	3	1734	11	2.14	0.05
162	3	1665	10	1.62	0.05
126	3	1605	10	1.26	0.04
100	3	1550	10	1.00	0.04
79.3	0.9	1499	9	0.793	0.02
62.3	0.7	1446	9	0.623	0.01
48.0	0.6	1390	9	0.480	0.01
35.6	0.5	1330	9	0.356	0.009
25.0	0.5	1260	8	0.250	0.008

2.3b กราฟสมบัติของซีเนอร์ไดโอดเมื่อไบแอสผันกลับ



2.4 คำนวณหาค่า dynamic resistance

การคำนวณหาค่า R_d

$$R_d = \frac{1}{\text{slope}} = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{2150 - 2000 \text{ mV}}{9.50 - 6.25 \text{ mA}} = 46.2 \Omega$$

$$R_{d,\min} = \frac{1}{\text{slope}_{\max}} = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{2110 - 1990 \text{ mV}}{9.50 - 6.25 \text{ mA}} = 36.9 \Omega$$

$$R_{d,\max} = \frac{1}{\text{slope}_{\min}} = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{2200 - 2010 \text{ mV}}{9.50 - 6.25 \text{ mA}} = 58.5 \Omega$$

$$\Delta R_d = (R_{d,\max} - R_{d,\min})/2 = 11 \Omega$$

$$R_d = 46 \pm 11 \Omega \approx 50 \pm 10 \Omega$$

หรือถ้าคิดจากจุดข้อมูลเลยจะได้ $40 \pm 13 \Omega$

ค่านี้จะคิดจากจุดข้อมูลหรือจากเส้นตรงก็ได้เพราะใช้จุดแค่สองจุดในการคำนวณ

Dynamic resistance $R_d \pm \Delta R_d = \dots\dots\dots 46 \pm 11 \dots\dots\dots$ หน่วย $\dots\dots\dots \Omega \dots\dots\dots$

ตอนที่ 3. สมบัติของ JFET (Characteristics of JFET)

[11 คะแนน]

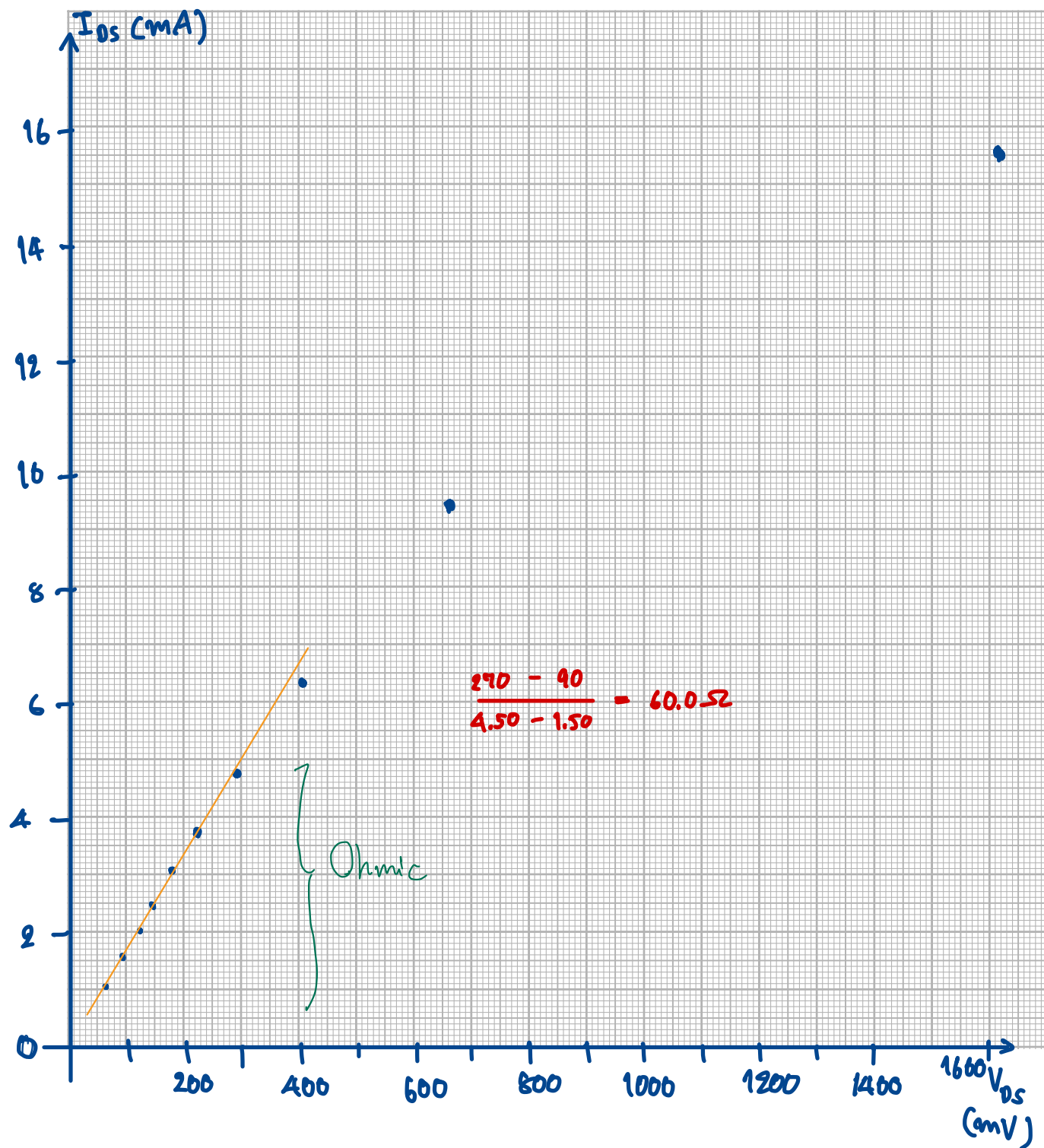
3.1 ต่อย่างจร (ไม่ต้องใส่คำตอบ)

3.2 กราฟคุณลักษณะเอาต์พุตที่ $V_{GS} = 0 \text{ V}$

3.2a ตารางบันทึกผลการทดลอง

$V_R \text{ (mV)}$	$V_{DS} \text{ (mV)}$	$I_{DS} \text{ (mA)}$
1563	1618	15.6
950	659	9.50
642	404	6.42
477	288	4.77
375	222	3.75
305	177	3.05
251	144	2.51
206	118	2.06
164.2	92.5	1.64
111.1	62.3	1.11

3.2b กราฟคุณสมบัติของเอาน์พุตที่ $V_{GS} = 0\text{ V}$



3.2c คำนวณหาค่า R_0

การคำนวณหาค่า R_0

$$R_0 = \frac{1}{\text{slope}} = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{270 - 90 \text{ mV}}{4.50 - 1.50 \text{ mA}} = 60.0 \Omega$$

$R_0 = \dots\dots\dots 60.0 \dots\dots\dots$ หน่วย $\dots\dots\dots \Omega \dots\dots\dots$

3.3a ตารางบันทึกผลการทดลอง (ไม่จำเป็นต้องใช้ครบทุกตาราง)

$V_{GS} =$ -326mV	V_R (mV)	V_{DS} (mV)	I_{DS} (mA)
	875	830	8.75
	612	496	6.12
	460	351	4.60
	363	267	3.63
	296	213	2.96
	242	173	2.42
	200	140	2.00
	156	109	1.56
	106.4	72.7	1.06

$V_{GS} =$ -652mV	V_R (mV)	V_{DS} (mV)	I_{DS} (mA)
	711	1221	7.11
	557	681	5.57
	432	463	4.32
	346	347	3.46
	283	273	2.83
	233	219	2.33
	191	175	1.91
	150	135	1.50
	99.7	87.9	0.997

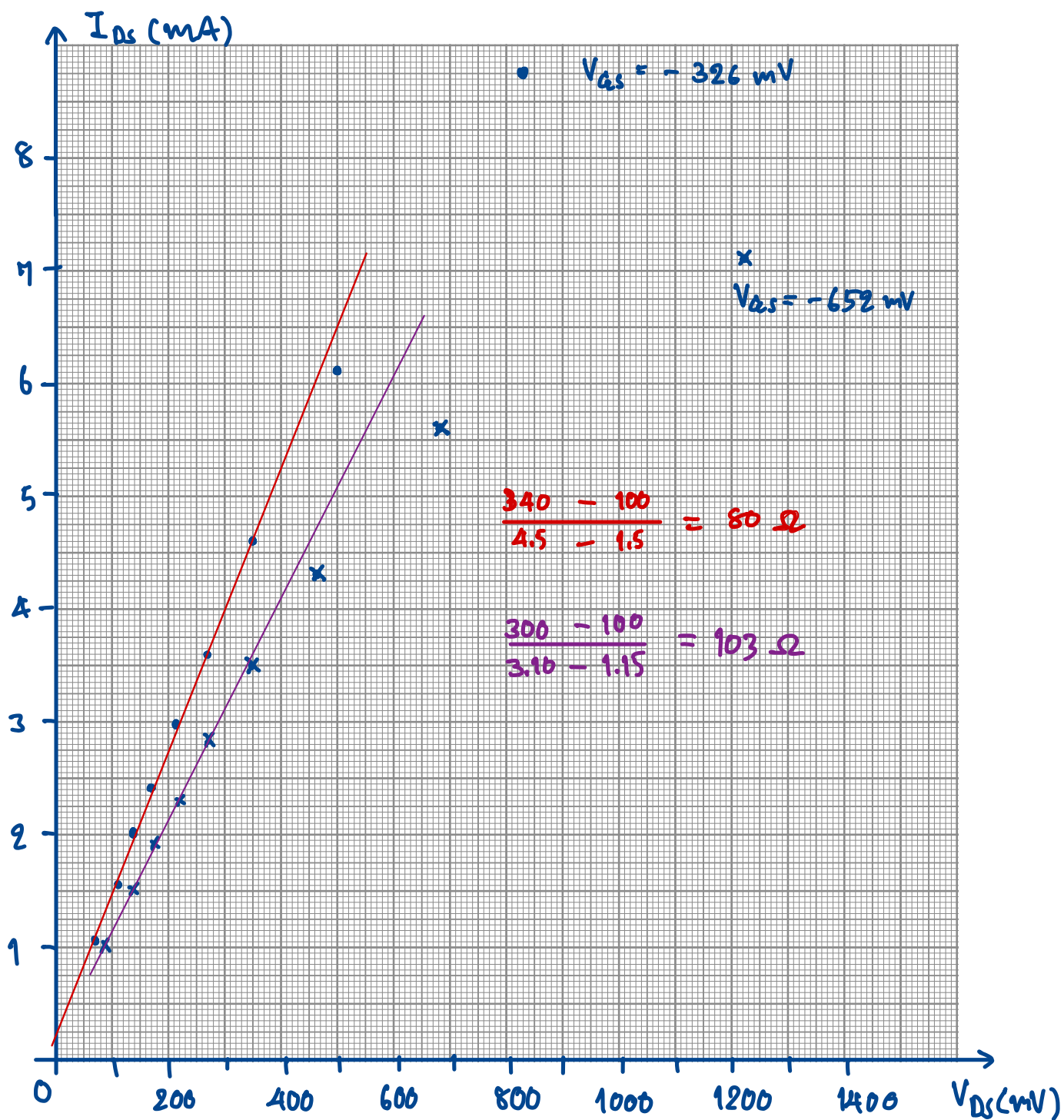
$V_{GS} =$ -978mV	V_R (mV)	V_{DS} (mV)	I_{DS} (mA)
	388	1256	3.88
	350	807	3.50
	300	554	3.00
	253	410	2.53
	211	317	2.11
	174	246	1.74
	136	183	1.36
	88.8	113.3	0.888

$V_{GS} =$ -1303 mV	V_R (mV)	V_{DS} (mV)	I_{DS} (mA)
	134	1323	1.34
	127	1013	1.27
	118	747	1.18
	107	525	1.07
	90.2	339	0.902
	61.9	176	0.619

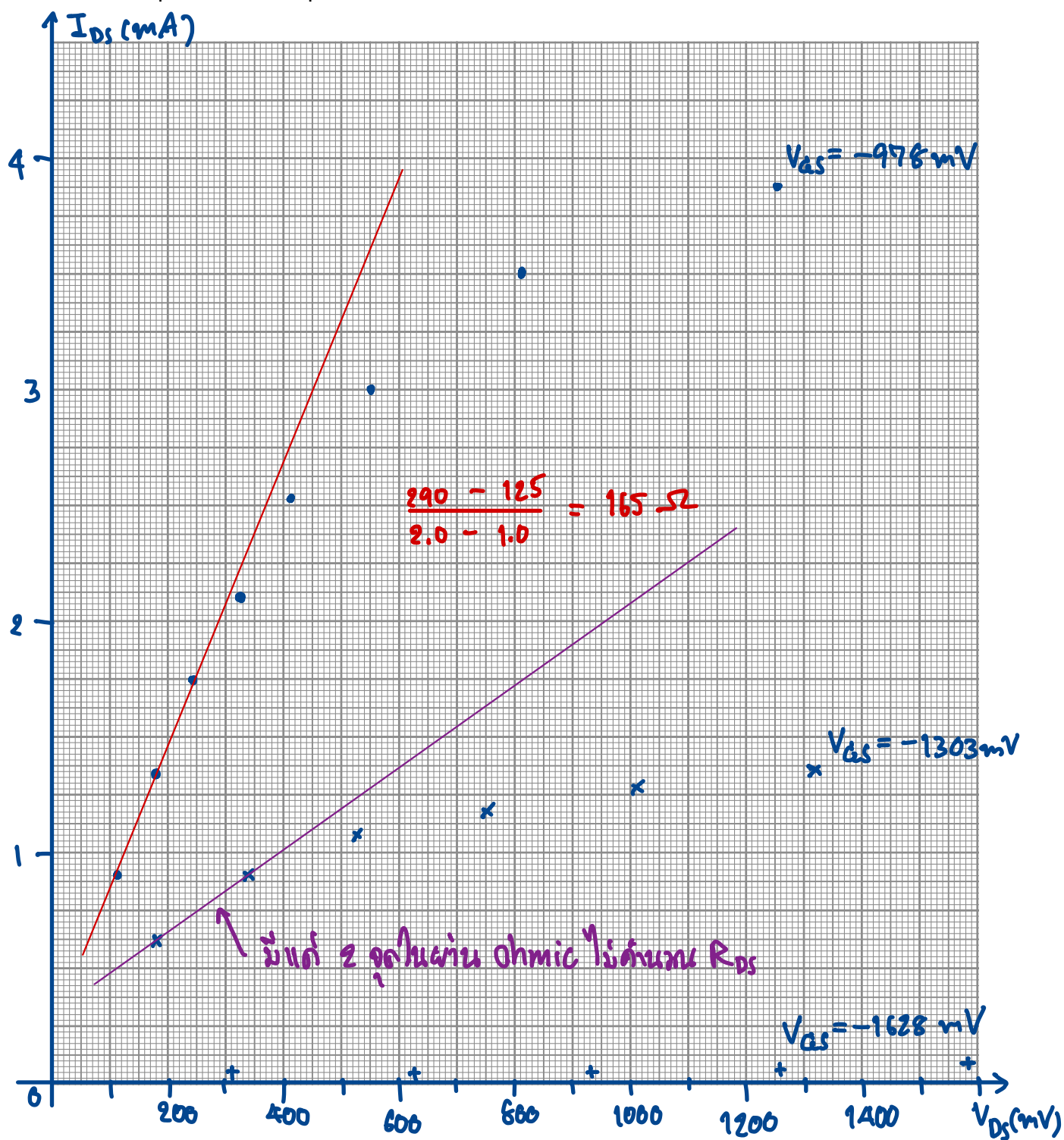


$V_{GS} =$ -1628 mV	V_R (mV)	V_{DS} (mV)	I_{DS} (mA)
	8.0	1580	0.080
	7.3	1264	0.073
	6.5	944	0.065
	5.4	630	0.054
	4.0	315	0.040

3.3b กราฟคุณสมบัติของเอ๊าท์พุต (1)



3.3b กราฟคุณสมบัติของเอ๊าท์พุต (2)



3.4a คำนวณหา R_{DS}

แสดงวิธีการคำนวณหาค่า R_{DS}

$$V_{GS} = -326 \text{ mV}; R_{DS} = \frac{340-100 \text{ mV}}{4.50-1.50 \text{ mA}} = 80\Omega$$

$$V_{GS} = -652 \text{ mV}; R_{DS} = \frac{300-100 \text{ mV}}{3.10-1.15 \text{ mA}} = 103\Omega$$

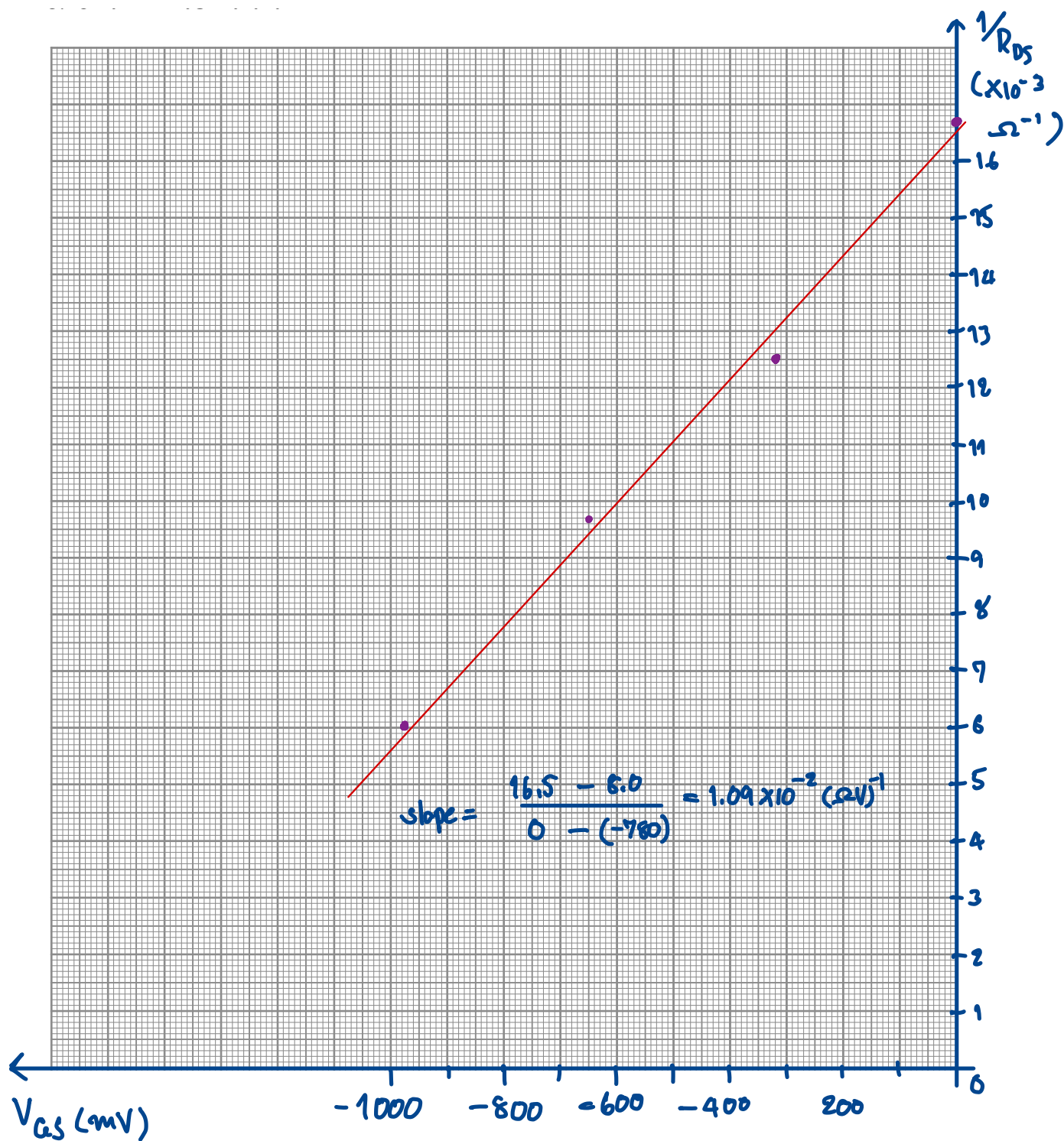
$$V_{GS} = -978 \text{ mV}; R_{DS} = \frac{290-125 \text{ mV}}{2.00-1.00 \text{ mA}} = 165\Omega$$



3.4b สรุปค่า R_{DS}

V_{GS} (mV)	R_{DS} (Ω)	$1/R_{DS}$ (Ω^{-1})
0	60.0	0.0167
-326	80.0	0.0125
-652	103	0.00971
-978	165	0.00606

3.4c กราฟสำหรับการวิเคราะห์



3.4d วิเคราะห์หาค่า V_P และ R_0

สมการเส้นตรงที่ใช้

$$\frac{1}{R_{DS}} = -\frac{1}{R_0 V_P} V_{GS} + \frac{1}{R_0}$$

หาค่า R_0 จาก ... 1/y-intercept

หาค่า V_P จาก - slope $\times$ y-intercept

วิเคราะห์หาความชันกราฟและจุดตัดแกน Y

$$\text{slope} = \frac{16.5 - 8.0}{0 - (-780)} \frac{10^{-3} \Omega^{-1}}{mV} = 1.09 \times 10^{-2} (\Omega V)^{-1}$$

$$y - \text{intercept} = 16.5 \times 10^{-3} \Omega^{-1}$$

วิเคราะห์หา V_P และ R_0

$$R_0 = (16.5 \times 10^{-3})^{-1} \Omega = 60.6 \Omega$$

$$V_P = -16.5 \times 10^{-3} \times 1.09 \times 10^{-2} V = -1.80 V$$

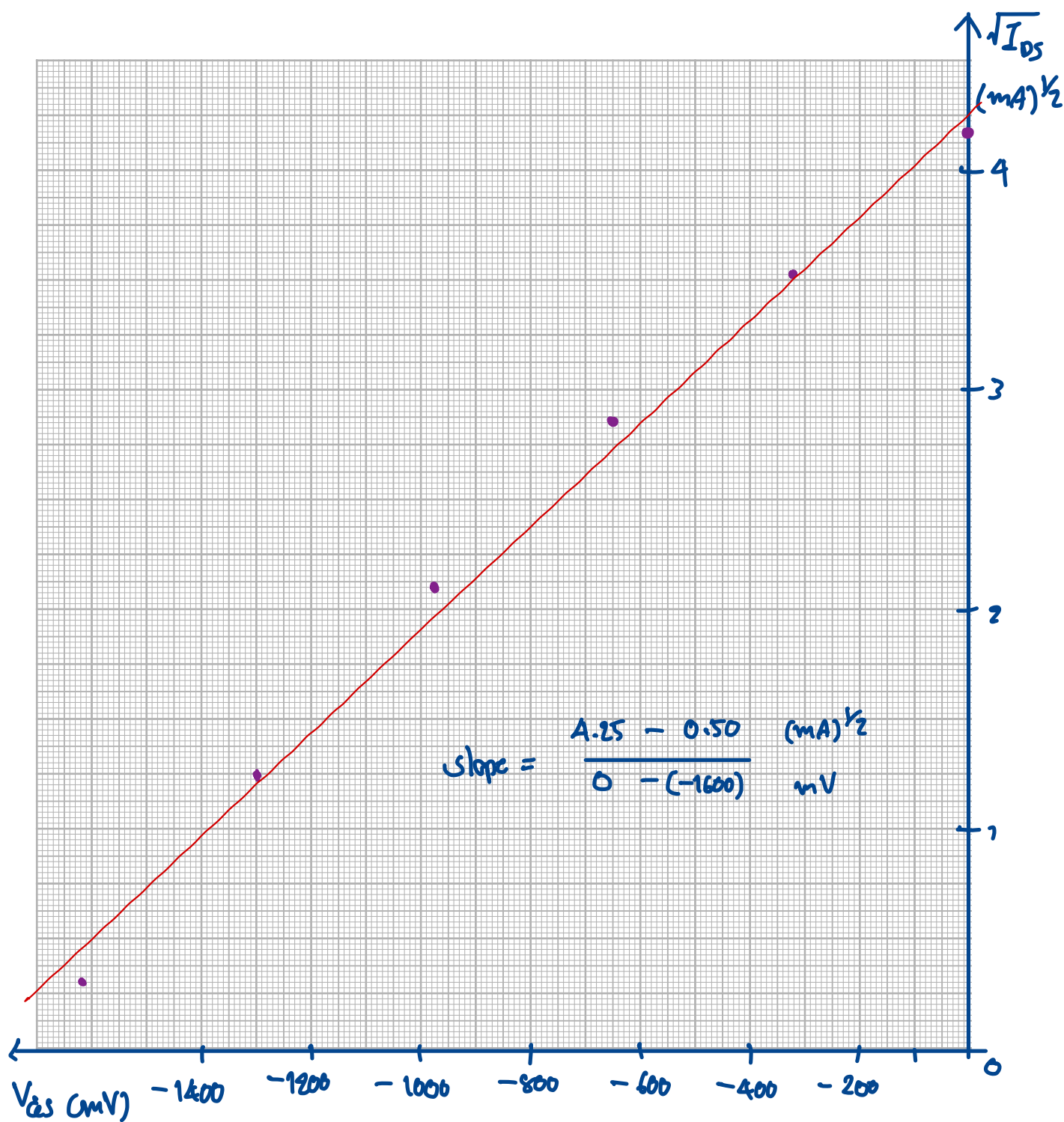
$$R_0 = \dots 60.6 \dots \text{หน่วย} \dots \Omega \dots$$

$$V_P = \dots -1.80 \dots \text{หน่วย} \dots V \dots$$

3.5a ตารางบันทึกผลการทดลอง

V_{GS} (mV)	V_R (mV)	I_{DS} (mA)	$\sqrt{I_{DS}}$ (mA) ^{0.5}
0	174	17.4	4.17
-324	124	12.4	3.52
-655	80.7	8.07	2.84
-978	43.7	4.37	2.09
-1302	15.5	1.55	1.24
-1626	1.0	0.10	0.32

3.5b กราฟสำหรับวิเคราะห์



3.5c การวิเคราะห์หา I_{DSS} และ V_P

สมการเส้นตรงที่ใช้สำหรับวิเคราะห์

$$\sqrt{I_{DS}} = -\frac{V_{GS}}{V_P} \sqrt{I_{DSS}} + \sqrt{I_{DSS}}$$

$$\text{slope} = -\frac{V_{GS}}{V_P}; \quad \text{y-intercept} = \sqrt{I_{DSS}}$$

หาค่า I_{DSS} จาก : $(\text{y-intercept})^2$

หาค่า V_P จาก : $-(\text{y-intercept})/\text{slope}$

วิเคราะห์หา I_{DSS} และ V_P

$$\text{y-intercept} = 4.25 \sqrt{mA}$$

$$\text{slope} = \frac{4.25 - 0.50}{0 - (-1600)} \frac{\sqrt{mA}}{mV} = 2.34 \times 10^{-3} \frac{\sqrt{mA}}{mV}$$

$$I_{DSS} = 4.25^2 mA = 18.1 mA$$

$$V_P = -4.25 / (2.34 \times 10^{-3}) mV = -1.82 \times 10^3 mV = -1.82V$$

$$I_{DSS} = \dots\dots\dots 18.1 \dots\dots\dots \text{หน่วย} \dots\dots\dots mA \dots\dots\dots$$

$$V_P = \dots\dots\dots -1.82 \dots\dots\dots \text{หน่วย} \dots\dots\dots V \dots\dots\dots$$