

# 2102447 ETRON ENG LAB

ELECTRONICS ENGINEERING LABORATORY

(ปฏิบัติการวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์)

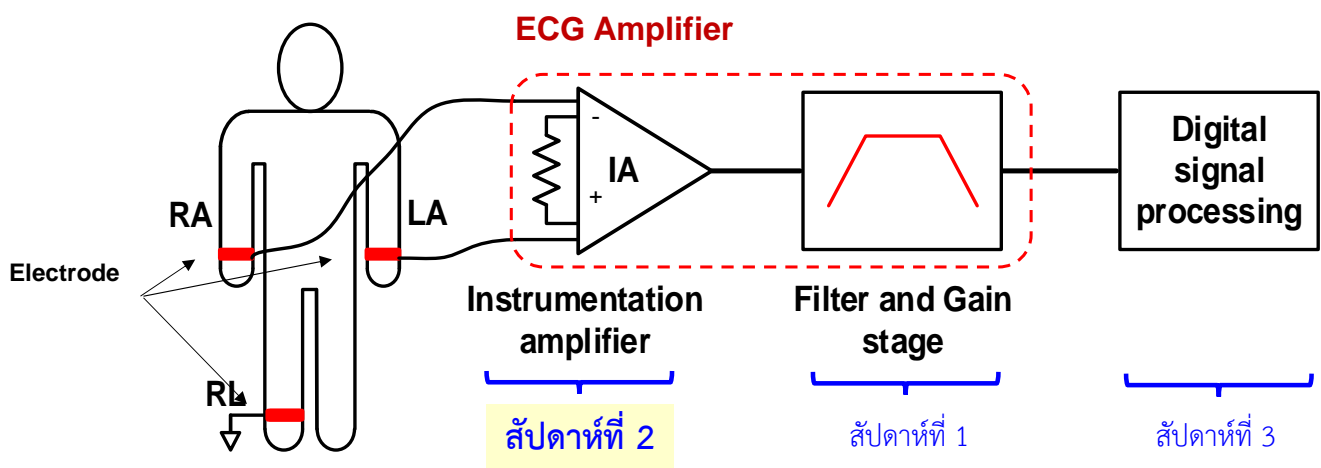
ภาคการศึกษาต้น

ปีการศึกษา 2567

ผศ. ดร.อาภรณ์ ชีรมงคลรัมย์

ผศ. ดร.อภิวัฒน์ เล็กอุทัย

## บล็อกไดอะแกรมของการตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ



**RA** = Right-Arm

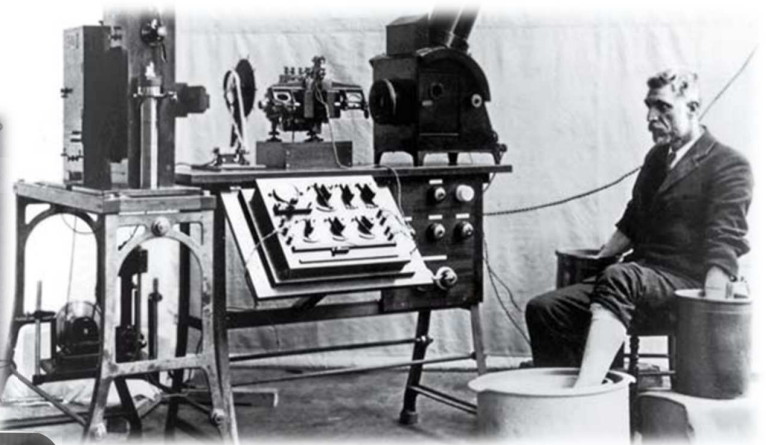
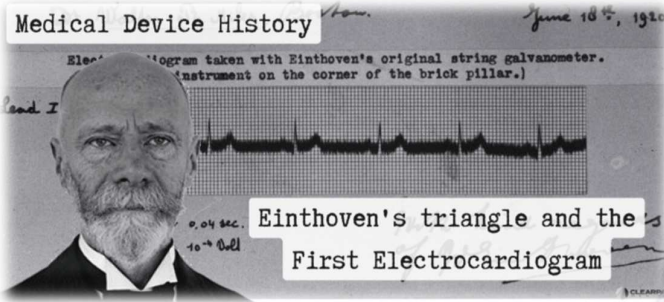
**LA** = Left-Arm

**RL** = Right-Leg → common ของวงจร

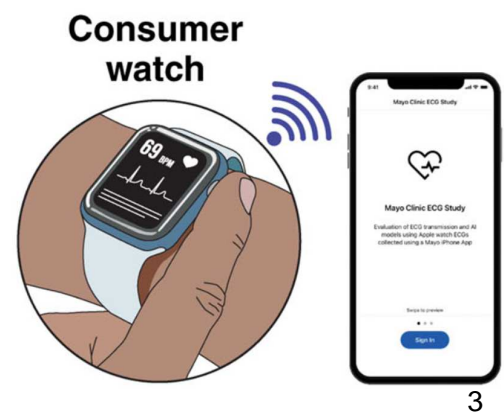
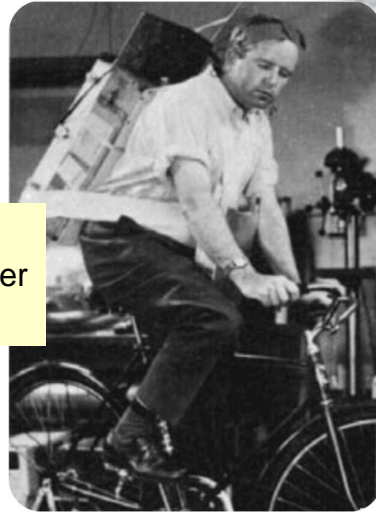
หมายเหตุ: ควรทำงานที่ได้รับมอบหมายให้เสร็จในเวลาสี่สัปดาห์

# ECG Machine from the Early 1900s → Today

**W. Einthoven**  
Nobel Prize (1924)



**N.J. Holter (1947)**  
First radio-ECG recorder  
(weight ~40kg)



## Characteristics of Biopotential Signals

→ สัญญาณโหมตต่างขนาดเล็กมากที่ “ชี้” อยู่บนสัญญาณโหมตร่วมขนาดใหญ่

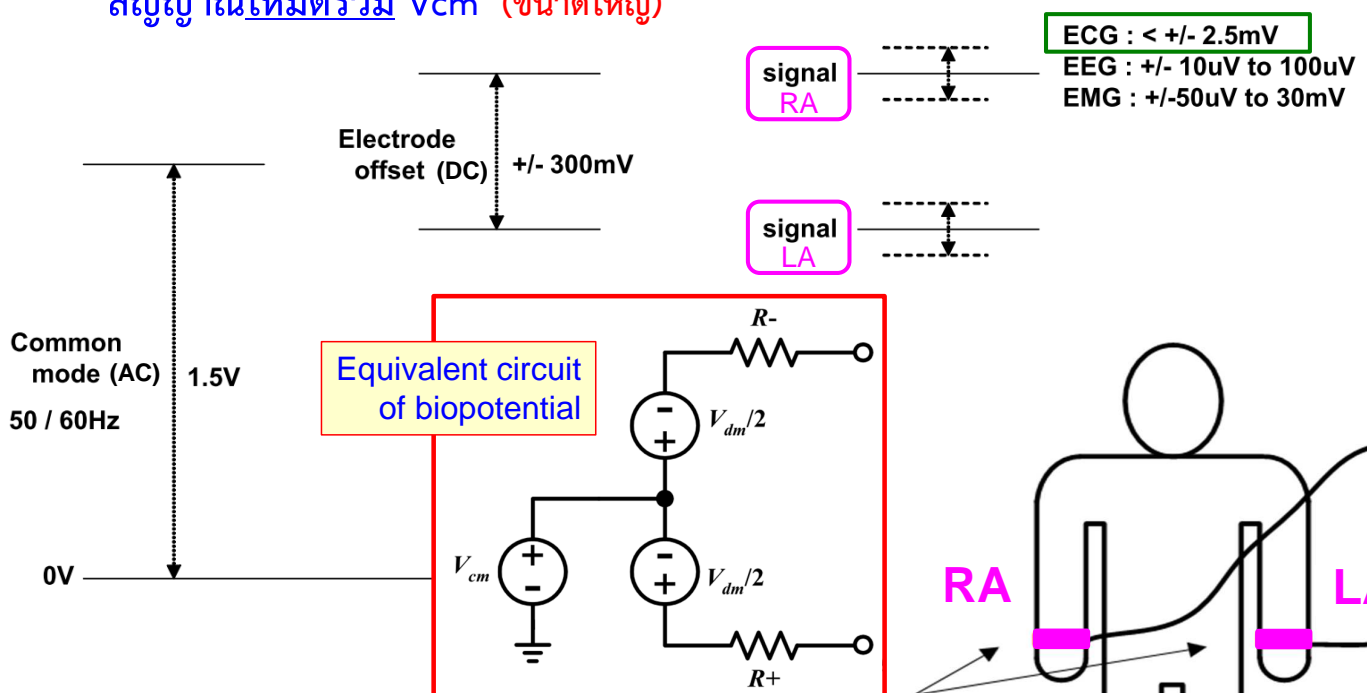
~~Common mode “AC”~~

~~+ Common mode “DC”~~

Differential mode ✓

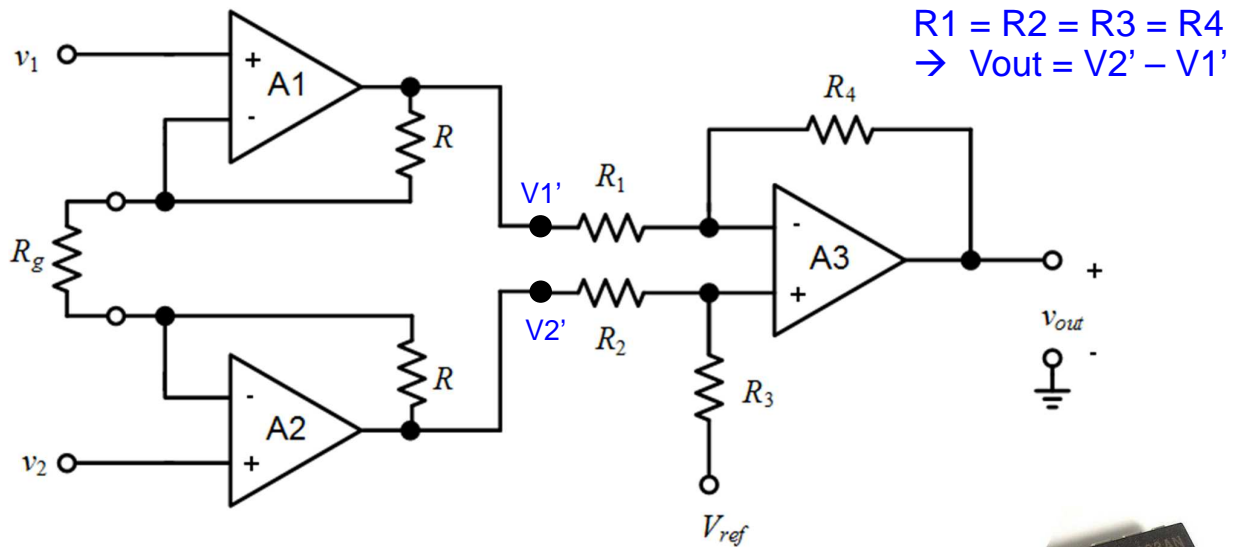
สัญญาณโหมตร่วม  $V_{cm}$  (ขนาดใหญ่)

สัญญาณโหมตต่าง  $V_{dm}$  (ขนาดเล็ก)

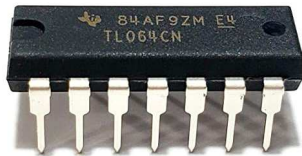


# Instrumentation Amplifier แบบ 3 OpAmp

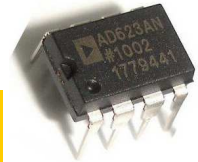
(1) Voltage-follower + (2) Differential amplifier



→ TL064  
 (~20B)



→ AD623  
 (~200B)

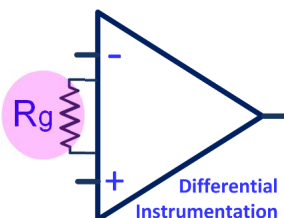
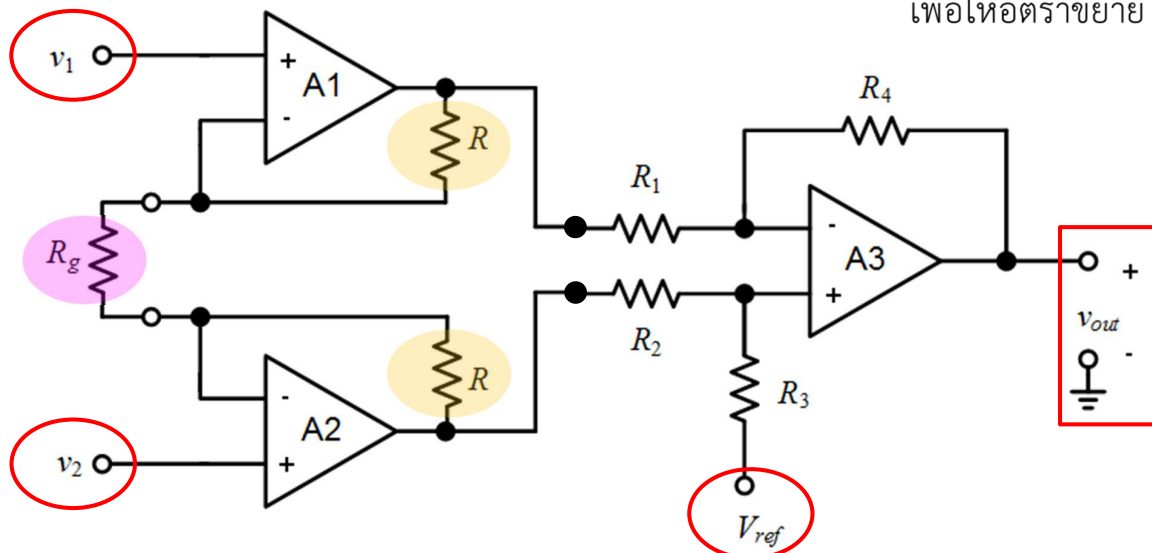


5

(1) Voltage-follower

(2) Differential amplifier\*

โดยปกติจะเลือกให้ค่า  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$   
 เพื่อให้อัตราขยาย เท่ากับ 1



ทั้งวงจร IA แทนด้วยสัญลักษณ์

$$v_{out} = \left(1 + \frac{2R}{R_g}\right)(v_2 - v_1) + V_{ref}$$

$Adm = 5$

$V_{ref} = 0$

6

# Common-Mode Rejection Ratio (CMRR)

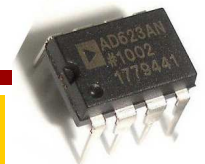
→ Ratio of the differential gain ( $A_{dm}$ ) over the common-mode gain ( $A_{cm}$ ), measured in **dB**.

$$CMRR = 20 \log_{10} \left( \frac{A_{dm}}{A_{cm}} \right)$$

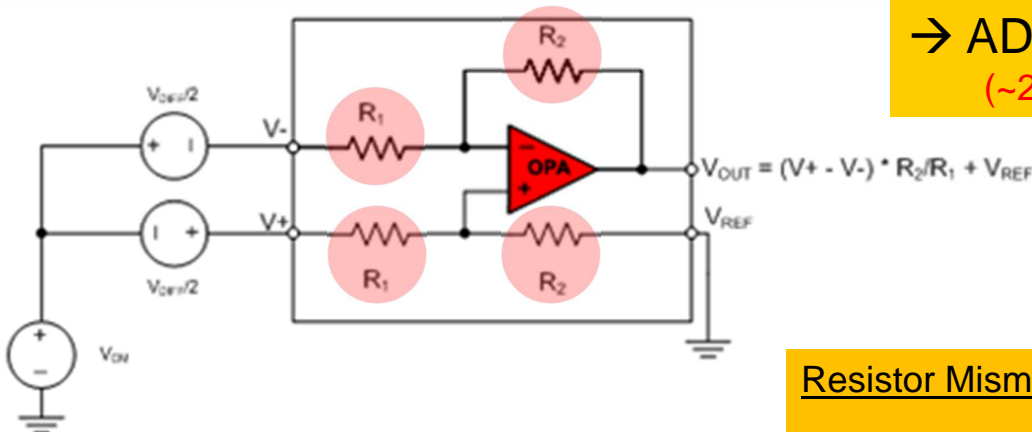
- ในอุดมคติ CMRR  $\rightarrow \infty$  เนื่องจาก  $A_{dm} = 1 + 2R/R_g$  และ  $A_{cm} = 0$
- ในทางปฏิบัติ CMRR  $< \infty$  เป็นตัวบอกประสิทธิภาพของ Instrumentation Amp
- CMRR ควรมีค่าอย่างน้อย 10,000 เท่า ( $> 80$  dB)

7

## CMRR & Resistor Mismatch



→ AD623  
(~200B)

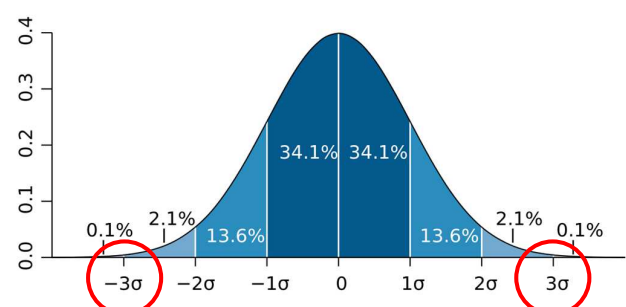


Worst case ( $6\sigma$ ) CMRR from Diff-Amp resistor matching

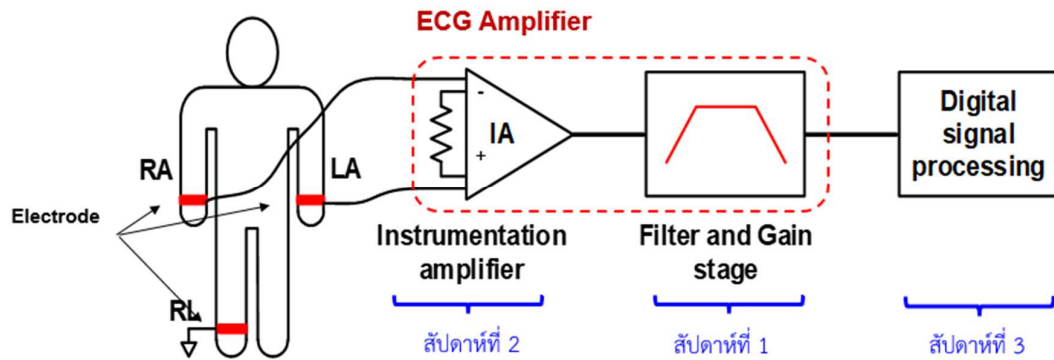
Resistor Tolerance	Worst Case ( $6\sigma$ ) CMRR
1%	34dB
0.50%	40dB
0.10%	54dB
0.01%	74dB

### Resistor Mismatch

→  $A_{cm} \uparrow \rightarrow CMRR \downarrow$



# Assignment



การทดลองที่ 1: ต่อวงจรและวัดค่า  $A_{dm}$ ,  $A_{cm}$ , CMRR

→ ชีทแล็บ

การทดลองที่ 2: นำวงจร Instrumentation Amp ต่อกับ Bandpass Filter แล้ววัด Frequency Response (รวม)

การทดลองที่ 3: วัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ + บันทึกสัญญาณจาก Scope ไว้ใช้ต่อในสัปดาห์หน้า

9

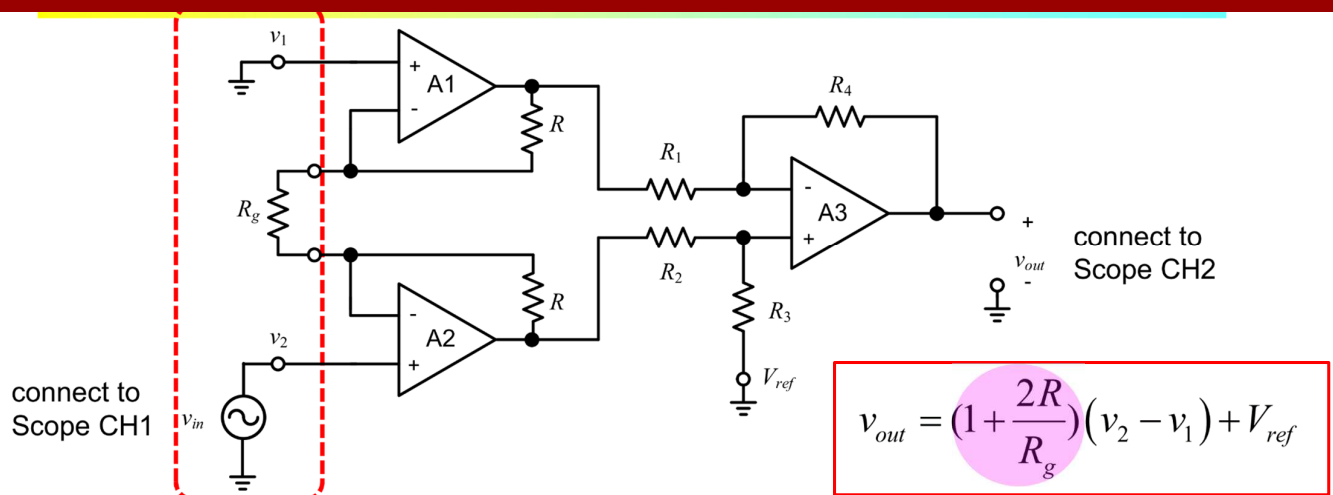
## IA Module: Experimental section

- ให้ออกแบบและจำลองวงจรขยายแบบอินสตรูเมนเตชัน ที่ใช้ออปแอมป์ 3 ตัว กำหนดให้วงจรขยายแบบอินสตรูเมนเตชัน มีอัตราขยาย เท่ากับ 5
- ใช้แรงดันอ้างอิง ( $V_{ref}$ ) เท่ากับ 0 โวลต์
- แรงดันของแหล่งจ่าย (เหมือนแล็บ #1):  $\pm 9\text{ V}$
- ค่าความต้านทานที่ใช้ในวงจร ( $\pm 5\%$ ):  $10\text{ k}\Omega - 500\text{ k}\Omega^{***}$
- ไอซีของออปแอมป์ที่ใช้ในการทดลอง: TL064

ตัวต้านทาน	ค่าที่ออกแบบไว้ (k $\Omega$ )	ค่าที่วัดด้วยมัลติมิเตอร์ (k $\Omega$ )
2 x $R$		
$R_g$		
$R_1$		
$R_2$		
$R_3$		
$R_4$		

10

# Exp 1: วงจรสำหรับวัดอัตราขยายโหมดต่าง ( $A_{dm}$ )

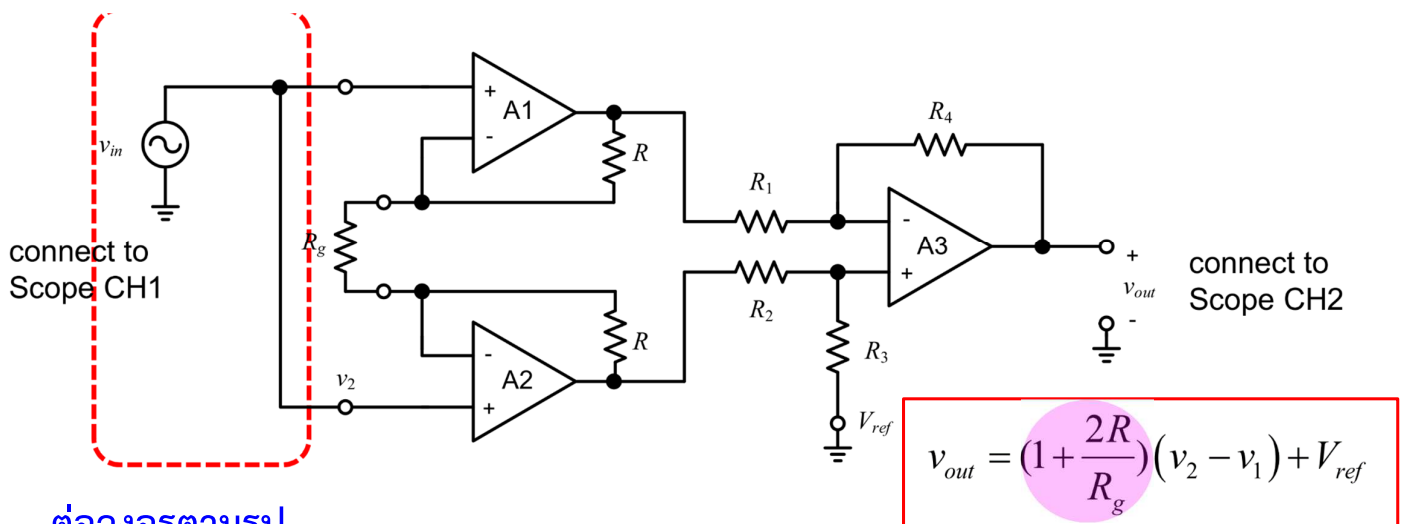


ต่อวงจรขยายอินสตรูเมนต์เช่น โดยใช้ค่าความต้านทานที่ได้ออกแบบไว้

- ตั้ง  $v_{in}$  เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณไซน์ ความถี่ 1000 Hz
- ปรับค่าแรงดันของ  $v_{in}$  ตามที่กำหนดในการทดลอง ใช้ออสซิลโลสโคปวัดแรงดันค่ายอดของ  $v_{in}$  และ  $v_{out}$
- พล็อตกราฟระหว่าง  $v_{out}$  กับ  $v_{in}$
- หาอัตราขยายผลต่างจากความชันของกราฟ

11

# Exp 1: วงจรสำหรับวัดอัตราขยายโหมดร่วม ( $A_{cm}$ )



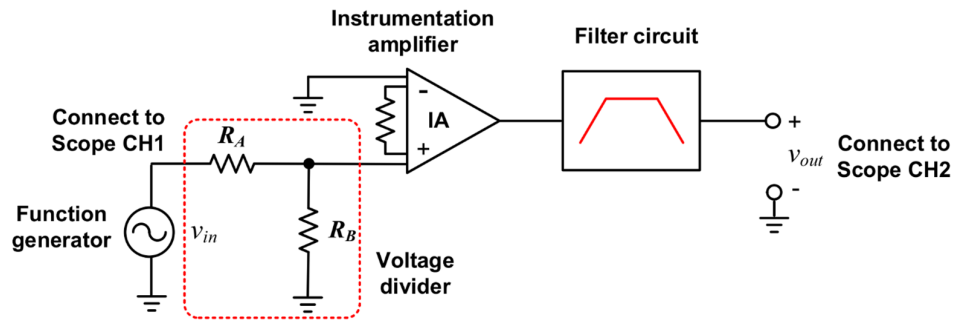
ต่อวงจรตามรูป

- ตั้ง  $v_{in}$  เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณไซน์ ความถี่ 50 Hz ตั้งขนาดของสัญญาณ
- เพิ่มขนาดของสัญญาณไซน์ของสัญญาณขาเข้า  $v_{in}$  จนกระทั่งสามารถสังเกตเห็นสัญญาณขาออก  $v_{out}$  ที่ขั้วออก วัดขนาดจากยอดถึงยอด (Peak-to-peak value) ของสัญญาณขาเข้าและขาออกเพื่อใช้คำนวณหาอัตราขยายผลร่วม
- นำค่า  $A_{dm}$  และ  $A_{cm}$  ที่วัดได้ไปคำนวณค่า CMRR

12



## Exp 2: วงจรวัดผลตอบสนองเชิงความถี่ (รวม)

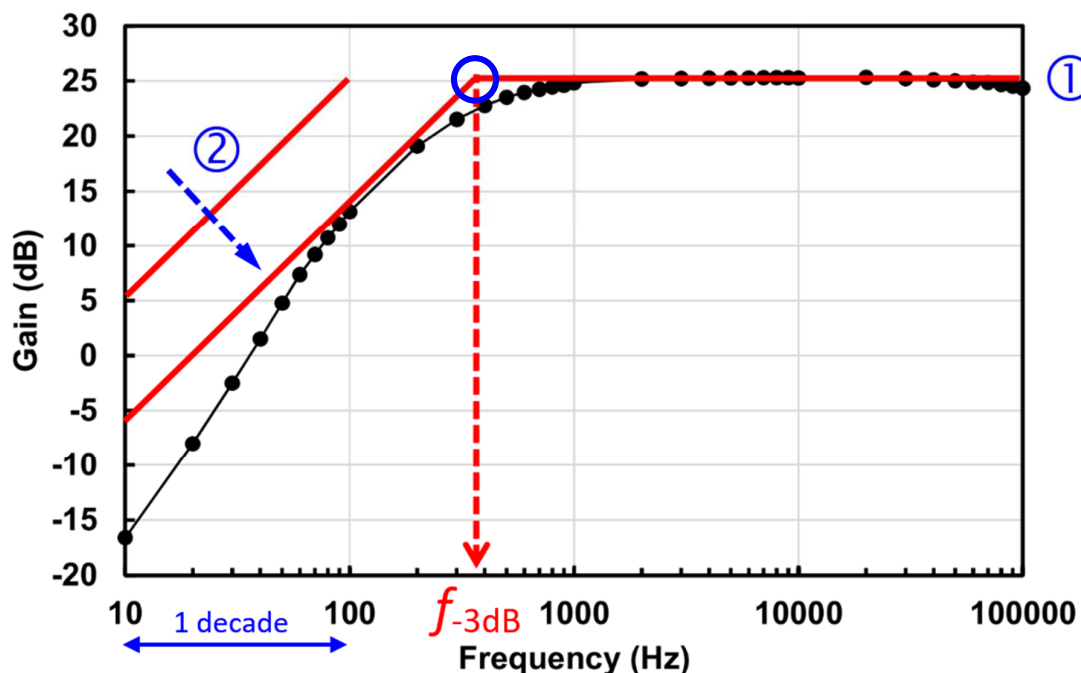


- สร้างวงจรขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยนำวงจรขยายแบบอินสตรูเมนเตชันมาต่อเข้ากับวงจรกรองที่ได้จากการทดลองในสัปดาห์แรก
- ต่อวงจรแบ่งแรงดัน ที่มีอัตราส่วนการแบ่งแรงดันประมาณ 50 เท่า คำนวณค่าความต้านทานที่ต้องนำมาใช้ สาเหตุที่ต้องแบ่งแรงดันเนื่องจากเครื่องกำเนิดสัญญาณที่ใช้ในห้องปฏิบัติการฯ สามารถกำเนิดสัญญาณได้ขนาดเล็กสุด 100 mVpp ซึ่งถ้าป้อนเข้าวงจรโดยตรงจะเกิดการอ้อมตัวของวงจรได้  $Atten = \frac{R_B}{R_A + R_B}$
- ต่อขาเข้าของวงจรขยายแบบอินสตรูเมนเตชันเข้ากับเครื่องกำเนิดสัญญาณ ผ่านทางวงจรแบ่งแรงดัน
- วัดแรงดันขาเข้าและขาออก โดยต่อ CH1 ของ DSO เข้ากับขาเข้าของวงจรขยาย และ CH2 เข้ากับขาออกของวงจรกรอง
- ป้อนสัญญาณไซน์ที่ความถี่ตั้งแต่ 0.1 – 1000 Hz คำนวณค่าอัตราขยาย  $Gain(dB) = 20 \log \left( \frac{V_{out}}{V_{in} \times Atten} \right)$
- พล็อตกราฟของอัตราขยายเทียบกับความถี่

13

## วิธีการหาค่าความถี่ตัดผ่าน ( $f_{cut-off}$ ) จากกราฟ\*

\* ไม่ใช้นิยาม -3dB

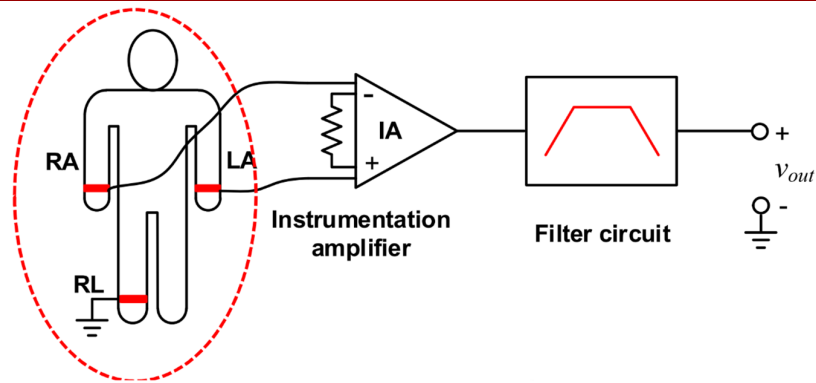


เป็นจุดตัดระหว่างเส้นกำกับ (asymptote) 2 เส้นดังนี้

- (1) เส้นกำกับในแนวบนให้สัมผัสกับแนวจุดข้อมูลที่วัดได้ (ซึ่งเป็นอัตราขยายในช่วง pass band)
- (2) เส้นตรงอีกเส้นในช่วง stop band ที่มีความชันเป็นบวกหรือลบ แล้วแต่กรณี

14

# Exp 3: วัดและบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ



ใช้วงจรขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

- ให้สมาชิกในกลุ่ม 1 คนเป็น อาสาสมัคร ในการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ
- นำสายสัญญาณและขั้วอิเล็กทรอนิกส์ที่เตรียมให้ ต่อเข้ากับแขนซ้าย (LA) แขนขวา (RA) และขาขวา (RL) ต่อขาออกของวงจรเข้ากับสโคป CH1
- ปรับสเกลแกนนอนของสโคป ให้เห็นรูปคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ประมาณ 2-4 รูปคลื่น
- ปรับสเกลแกนตั้งของสโคป ให้เห็นรูปคลื่นไฟฟ้าหัวใจอย่างสวยงามและชัดเจน
- บันทึกรูปคลื่นสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจลงใน USB flash-drive โดยบันทึกแบบเป็นไฟล์ (1) รูปภาพ (นามสกุล .png หรือ .jpg) และ บันทึกเป็น (2) ไฟล์ข้อมูล (นามสกุล .CSV)

15

## ส่งรายงานใน CourseVille

Sec วันศุกร์ ส่งงานภายใน

\* ให้ส่งรายงานในรูปแบบ pdf

วันพฤหัสบดีที่ 12 ก.ย. 67 เวลา 23.59น

\* ใส่ชื่อกลุ่ม สมาชิกให้ครบถ้วน

<p>my CV S2G3ชาวไทยสเลอปี</p> <ul style="list-style-type: none"><li>◦ Natwara Wongrujirawanich</li><li>◦ Proudniapat Yugtanond</li><li>◦ Nantiya Tanasupawat</li></ul>	<p>my CV S2G8 สจ.โป้ส่งลุย</p> <ul style="list-style-type: none"><li>◦ Sarith Rapeearpakul</li><li>◦ Natthaphat Suwanmanee</li><li>◦ Theeramate I-nala</li></ul>	<p>my CV S2G10ธุระผู้ใหญ่</p> <ul style="list-style-type: none"><li>◦ Pawit Rungtivasuwan</li><li>◦ Sathonthorn Somnam</li><li>◦ Naratorn Boonprasit</li></ul>
<p>my CV S2G5 ผมวัดตะเหอบัญชี</p> <ul style="list-style-type: none"><li>◦ Kanisorn Ananwattanawit</li><li>◦ Yanathip Bangvirunrak</li><li>◦ Thanabordee Kritpiphat</li></ul>	<p>my CV S2G12ตามนั้นครับ</p> <ul style="list-style-type: none"><li>◦ Panapon Pimpunchat</li><li>◦ Pichak Tusanapeerapon</li><li>◦ Supakit Chongsiriratanakul</li></ul>	<p>my CV S2G7 AskchatGPT</p> <ul style="list-style-type: none"><li>◦ Chayuth Thanakitkoses</li><li>◦ Soontorn Saelim</li><li>◦ Thanakorn Srimongkol</li></ul>
<p>my CV S2G6กลุ่มนี้ได้อาพลับไม่แบก แดกทั้งกลุ่ม</p>		

16