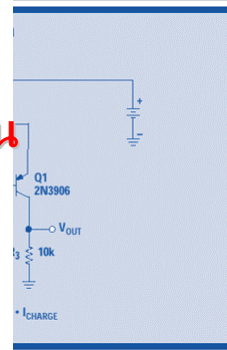
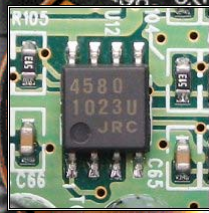


วงจรอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนตรี ศิริปรัชญานันท์

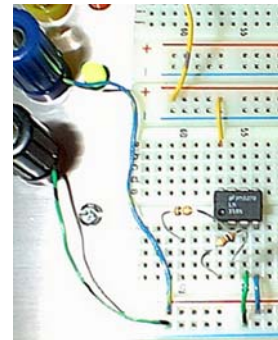
30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

1

เนื้อหา

- แนะนำสู่ออปแอมป์
- วงจรเปรียบเทียบแรงดัน
- วงจรขยายสัญญาณ
- วงจรขยายสัญญาณผลต่าง
- วงจรบวกและลบสัญญาณ
- วงจรดิฟเฟอเรนเชียลเอเตอร์และอินทิเกรเตอร์
- วงจรกำเนิดสัญญาณ
- วงจรกรองสัญญาณ

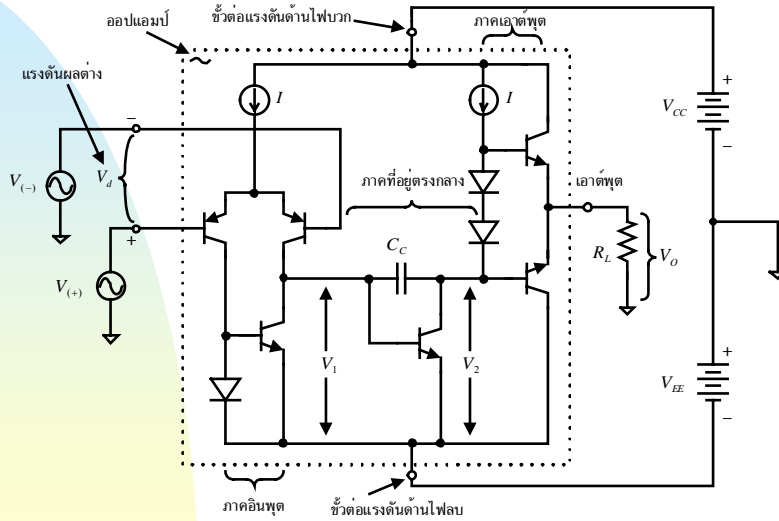


30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

2

บทนำสู่ออปแอมป์

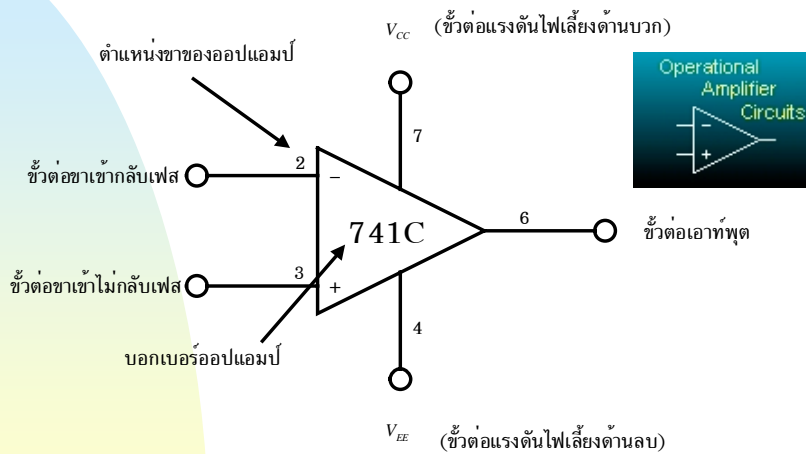


30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

3

สัญลักษณ์ของออปแอมป์

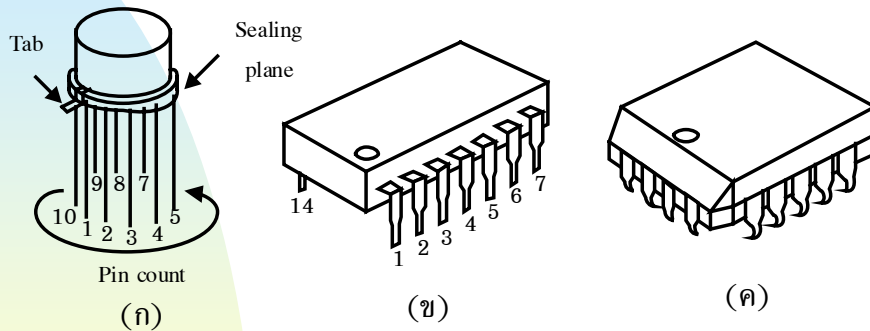


30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

4

รูปร่างออปแอมป์

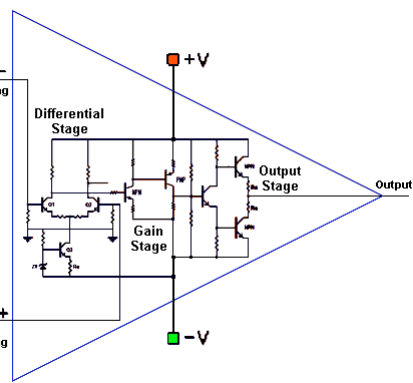


รูปที่ 3 รูปร่างโดยทั่วไปของวงจรรวม (ไอซี)
 (ก) ตัวถังโลหะแบบ TO-5 ขนาด 10 ขา
 (ข) DIP ขนาด 14 ขา
 (ค) ชิปสี่เหลี่ยมขนาด 18 ขา (SMT)

ความหมายและรหัสบนตัวออปแอมป์

ตารางที่ 1 รหัสอักษรของโรงงานผู้ผลิตของออปแอมป์

โรงงานผู้ผลิต	ตัวย่อ
Burr – Brown	BB
Fairchild	UA
Intersil	ICA
Motorola	MC
National	LM
Semiconductor	
RCA	CA
TI	SN
Signetics	NE/NS



ความหมายและรหัสบนตัวออปแอมป์

ตารางที่ 2 รหัสอักษรช่วงอุณหภูมิในการทำงานของออปแอมป์

อุณหภูมิในการทำงาน	รหัส
-55 ถึง +125 °C	M
-25 ถึง +80 °C	I
0 ถึง +70 °C	C



30/8/2004 ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์ 7

ความหมายและรหัสบนตัวออปแอมป์

M - Military range เป็นออปแอมป์ที่มีช่วงอุณหภูมิในการทำงานอยู่ระหว่าง -55 ถึง +125 องศาเซลเซียส ซึ่งออปแอมป์ชนิดนี้จะใช้ในทางการทหาร ซึ่งจะมีช่วงอุณหภูมิทำงานกว้างสามารถใช้งานในที่ซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกันมากได้ดีทำให้ออปแอมป์ชนิดนี้จะมีราคาสูงมาก

I - Industrial range ออปแอมป์ชนิดนี้มีช่วงอุณหภูมิการทำงานอยู่ระหว่าง -25 ถึง +80 องศาเซลเซียส ซึ่งจะใช้ในทางการอุตสาหกรรม โดยจะมีช่วงอุณหภูมิการทำงานในการทำงานแคบกว่าแบบแรก ทำให้มีราคาถูกลงมา

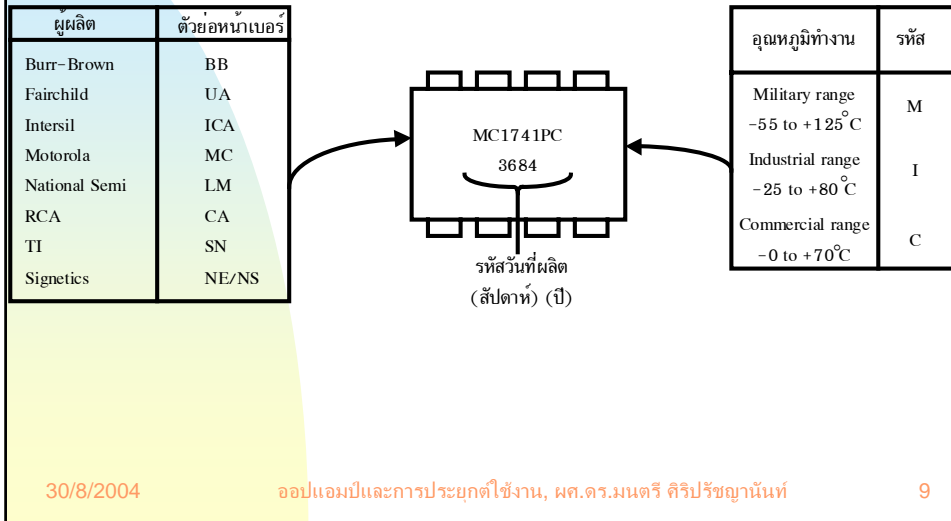
C - Commercial range เป็นออปแอมป์ที่มีช่วงอุณหภูมิการทำงานอยู่ระหว่าง 0 ถึง +70 องศาเซลเซียส ออปแอมป์ชนิดนี้ใช้ในทางการค้า หรือใช้ในลักษณะงานทั่วไปไม่พิเศษมากนัก ซึ่งราคาของออปแอมป์ชนิดนี้ก็จะมีความต่ำกว่าออปแอมป์สองแบบแรก

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

8

การดู เดือน ปี ที่ผลิต



การดู เดือน ปี ที่ผลิต

ตัวอย่าง การอ่านรหัสบนตัวออปแอมป์ใน รูปที่ 4 แสดงออปแอมป์รูปร่าง DIP ขนาด 8 ขา ตัวอักษร 2 ตัวแรกจะหมายถึงบริษัทผู้ผลิตในตัวอย่างจะเป็น ออปแอมป์ที่ผลิตโดยบริษัท โมโตโรล่า ส่วนตัวเลข 1741(หรือ 741) แสดงถึงเป็นออปแอมป์ชนิดทั่วไป (General Purpose Op amp) ถัดมาเป็นตัวอักษร P หมายถึงตัวถังเป็นพลาสติก ส่วนท้ายสุดเป็นตัวอักษร C หมายถึง เป็นออปแอมป์ที่ทำงานในช่วงอุณหภูมิ 0 ถึง 70 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นออปแอมป์ที่ใช้กันในการค้าหรือใช้ในลักษณะงานทั่วไป

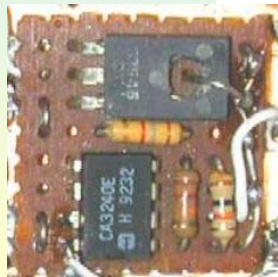
สำหรับบรรทัดที่สองของรหัสบนตัวออปแอมป์จะหมายถึง เดือน ปี ที่ทำการผลิต ตามรูปที่ 4 รหัสสองตัวแรกเป็นตัวเลข 36 หมายถึงว่าออปแอมป์ตัวนี้ถูกผลิตในสัปดาห์ที่ 36 ส่วนตัวเลขสองตัวหลังเป็นเลข 84 หมายถึงผลิตขึ้นในปี 1984 ซึ่งบรรทัดทั้งสองนี้ทำให้เราทราบถึงความเก่าใหม่ของออปแอมป์ตัวนั้นๆได้ การอ่าน เดือน ปี ที่ผลิตในตัวอย่างสรุปได้ว่าออปแอมป์ตัวนี้ถูกผลิตขึ้นในสัปดาห์ที่ 36 ของปี 1984 นั่นเอง

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

10

การดู เดือน ปี ที่ผลิต

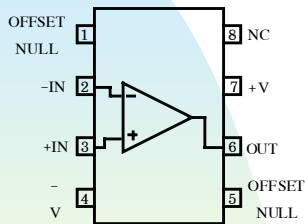


30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

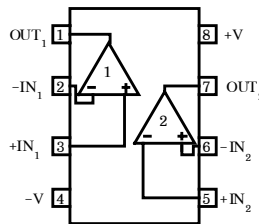
11

แบบภายในของออปแอมป์



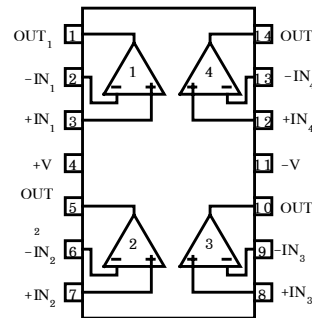
(ก)

Single Op-Amp



(ข)

Dual Op-Amp



(ค)

Quad Op-Amp

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

12

ชนิดของออปแอมป์

- กำลังงานต่ำ
- แรงดันต่ำ
- สัญญาณรบกวนต่ำ
- ความเร็วสูง
- ความแม่นยำสูง
- หน้าที่พิเศษ
- ใช้งานพิเศษ



30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

13

แหล่งค้นคว้าข้อมูลของออปแอมป์

- Datasheet
- Internet
 - ◆ WWW.questlink.com



30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

14

Chipcenter.com - Search - Microsoft Internet Explorer

Address: <http://www.questlink.com/dataSheetSearch.#html>

Research & Compare

SEARCH QUESTLINK
 Search Type:
 Part Number:
 Search for: Go

Here are your search results for query: "lm741"
 There were 4 RootPartNumbers found (indicated in green).

To view a Company's profile, click its name below.

[Fairchild Semiconductor](#)
 LM741
 SINGLE OPERATIONAL AMPLIFIER
[View Data Sheet & Product Brief](#)
[View Product Category](#)

[Intersil Corporation](#)
 LM741
 0.9mV/°C SINGLE AND DUAL, HIGH GAIN OP. AMPS FOR MILITARY, INDUSTRIAL AND COMMERCIAL APPLICATIONS
[View Data Sheet & Product Brief](#)
[View Product Category](#)

[LM741C](#)
 0.9mV/°C SINGLE AND DUAL, HIGH GAIN OP. AMPS FOR MILITARY, INDUSTRIAL AND COMMERCIAL APPLICATIONS
[View Data Sheet & Product Brief](#)
[View Product Category](#)

[National Semiconductor Corporation](#)
 LM741
 OPERATIONAL AMPLIFIER
[View Data Sheet & Product Brief](#)
[View Product Category](#)

Electronics Marketplace
[The Fastest Embedded Processor Ever - Xtensa V](#)
 Test drive Tensilica's Xtensa V embedded 32-bit processor, the fastest ever according to EEMBC Certification Labs.

[CLICK HERE FOR DETAILS](#)

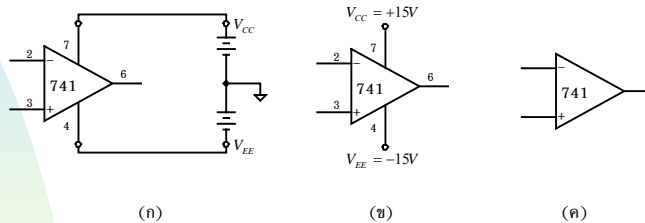
NetSeminar Services

ลักษณะสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติ

$R_{in} = \infty \Omega$
 $I_{in(-)} = 0A$
 $I_{in(+)} = 0A$
 V_{CC}
 V_{EE}
 I_o
 V_o
 R_o
 R_{in}
 $A_{OL} V_d$
 $R_o = 0 \Omega$
 $A_{OL} = \infty$

30/8/2004 ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์ 16

แหล่งจ่ายไฟของออปแอมป์



รูปที่ 9 วิธีการแสดงการต่อแหล่งจ่ายไฟเข้ากับออปแอมป์

(ก) แสดงการต่ออย่างสมบูรณ์

(ข) แสดงการต่ออย่างง่าย

ไม่แสดงการต่อ

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

17

สาเหตุที่ทำให้ออปแอมป์เสียหาย

1. ต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงผิดขั้ว ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์ที่ไม่สามารถกลับขั้วของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงได้
2. จ่ายระดับแรงดันไฟเลี้ยงเกินค่าสูงสุด ตามปกต้ออปแอมป์ทุกเบอร์มีขีดจำกัดของแรงดันไฟเลี้ยงสูงสุด ถ้าจ่ายแรงดันเกินพิกต้ออปแอมป์จะเกิดความร้อนจนเสียหายได้ ยกตัวอย่างเช่น ออปแอมป์เบอร์ 741 สามารถทนแรงดันไฟเลี้ยงสูงสุดได้ $\pm 18V$

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

18

การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์ในวงจร เปรียบเทียบแรงดัน

1. $V_o = +V_{sat}$ เมื่อ $V_i = V_{(+)}$ มีค่ามากกว่า $V_{ref} = V_{(-)}$

2. $V_o = -V_{sat}$ เมื่อ $V_i = V_{(+)}$ มีค่าน้อยกว่า $V_{ref} = V_{(-)}$

หรือถ้ากล่าวสั้น ๆ ได้เป็น

$$V_o = +V_{sat} ; V_{(+)} > V_{(-)}$$

$$= -V_{sat} ; V_{(+)} < V_{(-)}$$

เมื่อ V_o เป็นแรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์

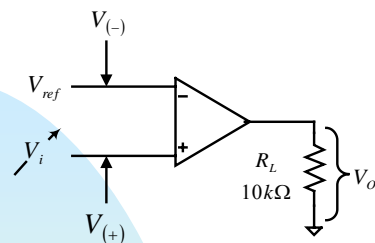
$V_{(+)}$ เป็นแรงดันขาเข้าไม่กลับเฟส (+) ของออปแอมป์

$V_{(-)}$ เป็นแรงดันขาเข้ากลับเฟส (-) ของออปแอมป์

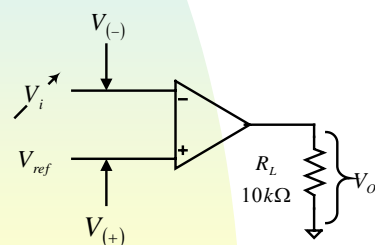
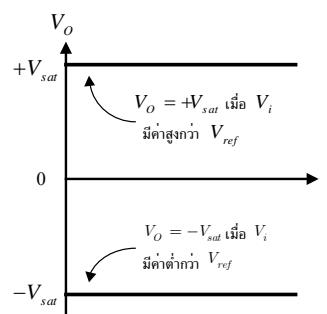
30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

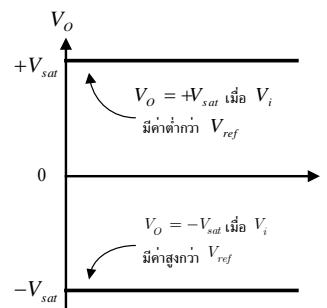
19



(ก)



(ข)

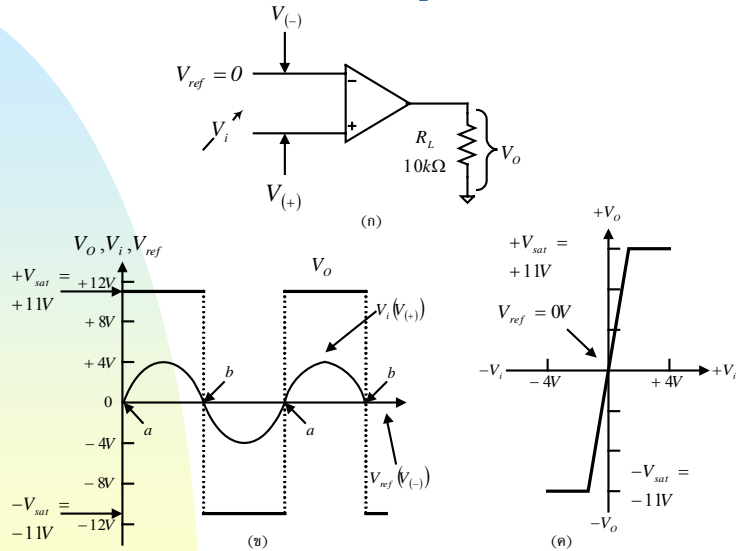


30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

20

วงจรตรวจจับผ่านศูนย์



30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

21

วงจรตรวจจับผ่านศูนย์

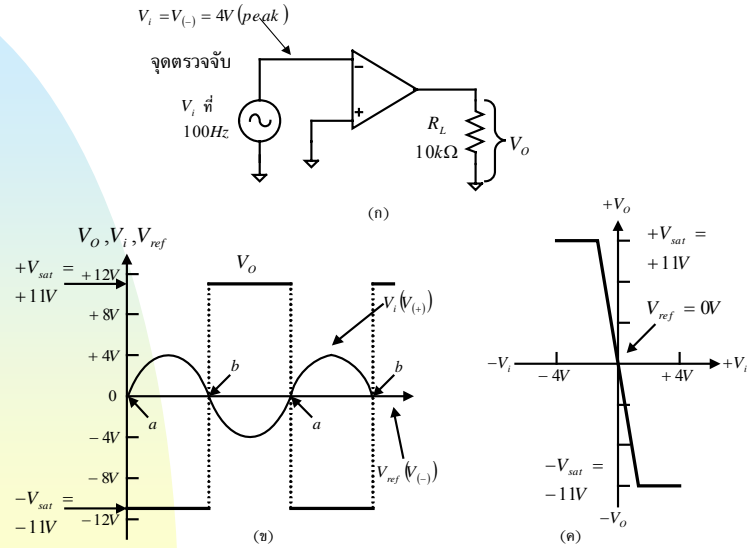
1. $V_o = +V_{sat}$ เมื่อ V_i มากกว่า V_{ref} (0V)
2. เมื่อ V_o เปลี่ยนจาก $-V_{sat}$ เป็น $+V_{sat}$, V_i กำลังผ่านจุดศูนย์(จุด a) และค่าบวก
3. $V_o = -V_{sat}$ เมื่อ V_i น้อยกว่า V_{ref} (0V)
4. เมื่อ V_o เปลี่ยนจาก $+V_{sat}$ เป็น $-V_{sat}$, V_i กำลังผ่านจุดศูนย์(จุด b)และไปยังค่าลบ

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

22

วงจรตรวจจับผ่านศูนย์แบบกลับเฟส

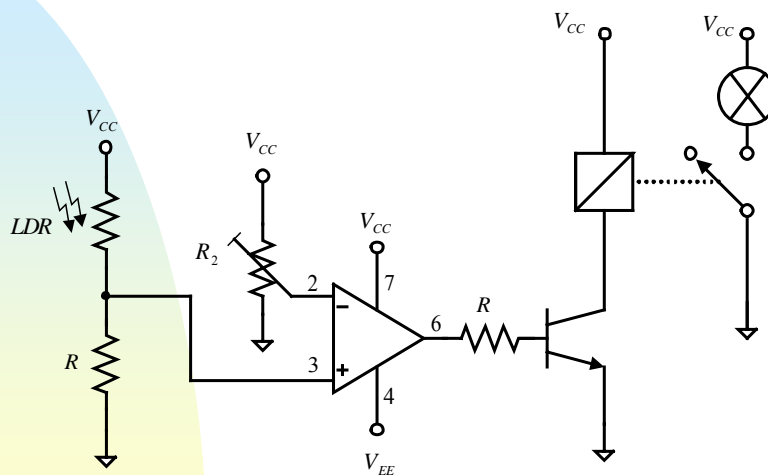


30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

23

การประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรเปิดปิดไฟอัตโนมัติ



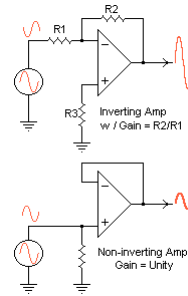
30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

24

การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์ในวงจรรขยายสัญญาณ

- วงจรรขยายแบบกลับเฟส
- วงจรรขยายแบบไม่กลับเฟส
- วงจรตามแรงดัน

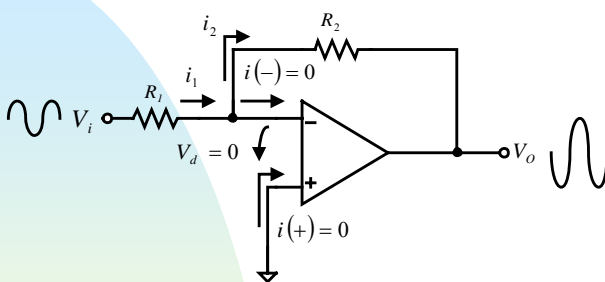


30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

25

วงจรรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส



$$i_1 = i_2$$

$$\frac{V_i - 0}{R_1} = \frac{0 - V_o}{R_2}$$

$$V_i/R_1 = -V_o/R_2$$

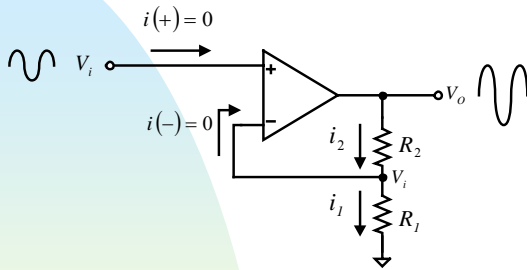
$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_2}{R_1}$$

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

26

วงจรรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส



$$A_{CL} = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

27

ตัวอย่าง วงจรรขยายแบบไม่กลับเฟส ตามรูปที่ 4.2 มี $R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 100k\Omega$ และใช้ออปแอมป์เบอร์ 741

$$\begin{aligned} A_{CL} &= 1 + \frac{R_2}{R_1} \\ &= 1 + \frac{100K\Omega}{1K\Omega} \\ A_{CL} &= 101 \end{aligned}$$

จาก Data Sheet ออปแอมป์ 741 มี A_{OL} โดยเฉลี่ย 200,000 เท่า ดังนั้น

$$\begin{aligned} A_L &= \frac{A_{OL}}{A_{CL}} \\ &= \frac{200,000}{101} \\ &\approx 2,000 \end{aligned}$$

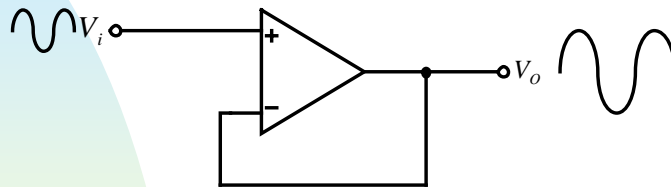
และจาก Data Sheet เช่นเดียวกัน 741 มี Z_o เท่ากับ 75Ω ดังนั้น Z_o ของวงจรรขยายสามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} Z_o &= \frac{Z_{oi}}{A_L} \\ &= \frac{75 \Omega}{2000} \\ Z_o &= 0.04 \Omega \end{aligned}$$

30/8/2004

28

วงจรตามแรงดัน

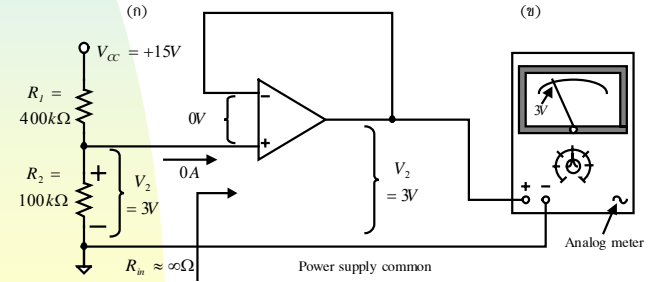
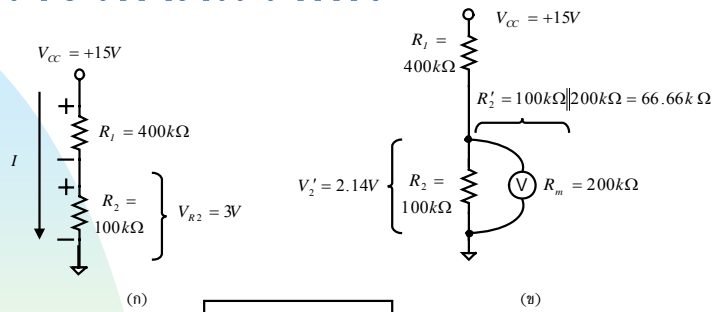


30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

29

วงจรตามแรงดัน

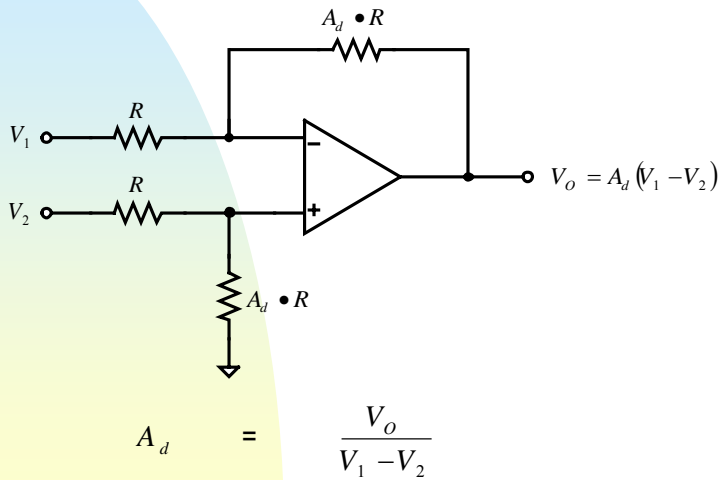


30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

30

การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์ในวงจรขยายสัญญาณผลต่าง

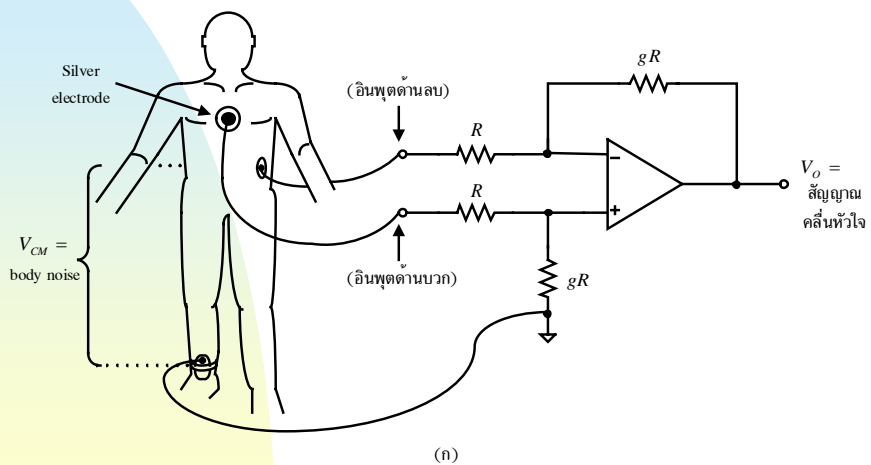


30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

31

การใช้งานวงจรขยายสัญญาณผลต่าง

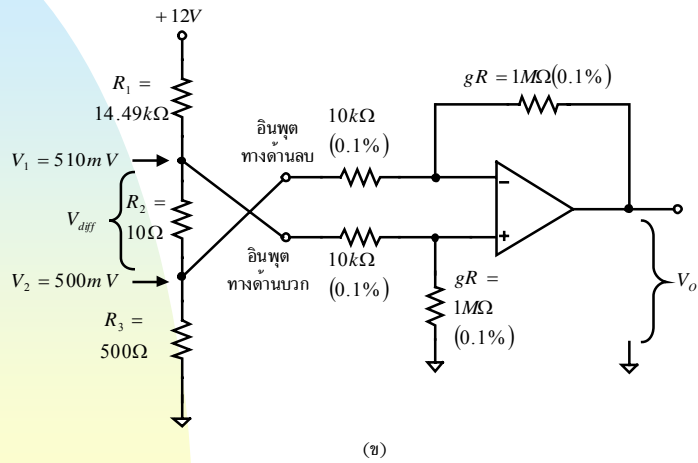


30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

32

การใช้งานวงจขยายสัญญาณผลต่าง

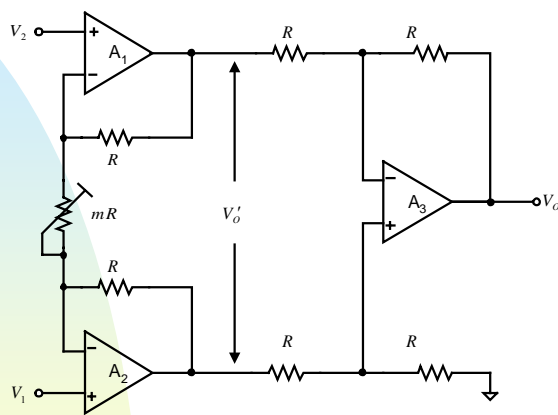


30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

33

วงจขยายสัญญาณเครื่องมือวัด



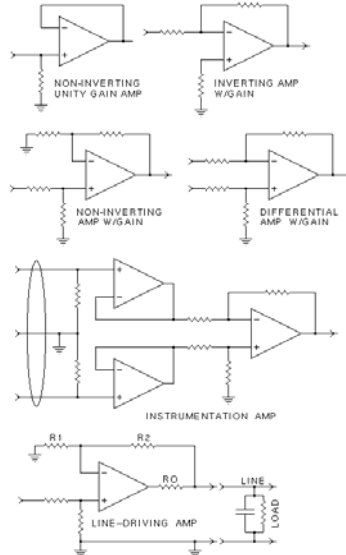
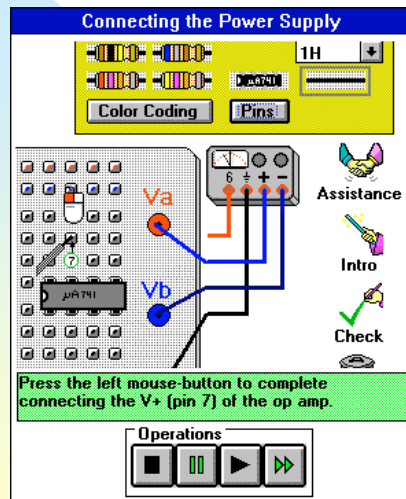
$$A_d = 1 + \frac{2}{m}$$

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

34

วงจรรขยายสัญญาณเครื่องมือวัด

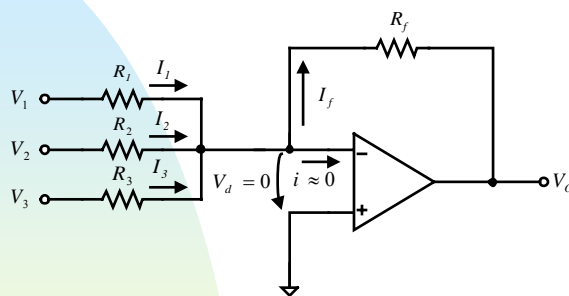


30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

35

การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์ในวงจรบวกและลบสัญญาณ



$$V_o = - \frac{R_f}{R} [V_1 + V_2 + V_3]$$

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

36

$$V_o = -\frac{R_f}{R} [V_1 + V_2 + V_3]$$

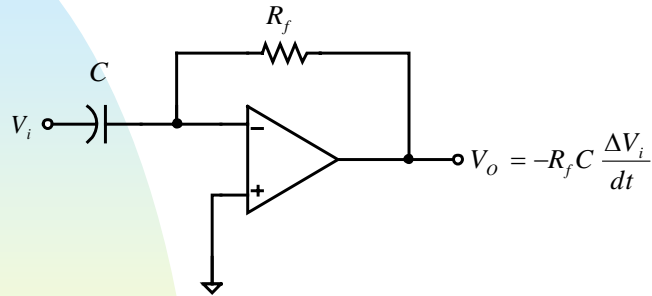
$$V_o = V_1 + V_2 + V_3$$

30/8/2004 ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์ 37

วงจรลบสัญญาณ

30/8/2004 ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์ 38

การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์ในวงจรดีฟเฟอเรนทีเอเตอร์



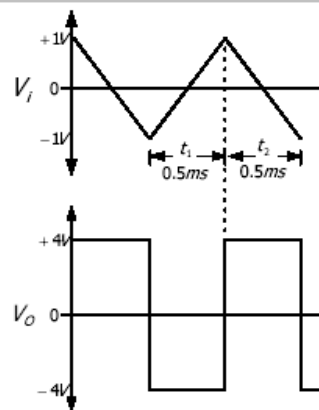
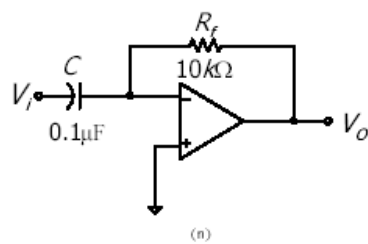
$$V_o = -R_f C \left[\frac{dV_i}{dt} \right]$$

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

39

ตัวอย่าง สัญญาณอินพุต เป็นรูปคลื่นสามเหลี่ยมความถี่ 1 kHz แอมพลิจูด 1 V_p จงหาค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรเตอร์ ดังรูปที่ 7.2 (ก)



รูปที่ 7.2 ตัวอย่างการคำนวณวงจรอินทิเกรเตอร์

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

40

ในการวิเคราะห์แบ่งช่วงเวลาในการวิเคราะห์ออกเป็นช่วงเวลา t_1 และ t_2 สำหรับช่วงเวลา t_1 ความชันมีค่าเป็นบวก

$$\text{slope}(t_1) = \frac{\Delta V_i}{\Delta t} = \frac{2 \text{ V}}{0.5 \text{ ms}} = 4000 \text{ V/s}$$

ในทำนองเดียวกัน ความชันมีค่าเป็นลบในช่วงเวลา t_2 หาได้จาก

$$\text{slope}(t_2) = \frac{-2 \text{ V}}{0.5 \text{ ms}} = -4000 \text{ V/s}$$

เราสามารถหาค่า V_o ได้โดยการใช้สมการ (7.2) นั่นคือจะได้

$$\begin{aligned} V_o(t_1) &= -(10 \text{ K}\Omega)(0.1 \text{ }\mu\text{F})(4000 \text{ V/s}) \\ &= -4 \text{ V} \end{aligned}$$

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

41

และ V_o ในช่วงเวลา t_2 จะได้

$$\begin{aligned} V_o(t_2) &= -(10 \text{ K}\Omega)(0.1 \text{ }\mu\text{F})(-4000 \text{ V/s}) \\ &= +4 \text{ V} \end{aligned}$$

ดังนั้นรูปร่างของสัญญาณเอาต์พุต V_o จะเป็นลักษณะสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีแอมพลิจูด $\pm 4 \text{ V}$ ตาม รูปที่ 7.2 (ข)

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

42

การชดเชยความถี่ของวงจรดีฟเฟอเรนทีเอเตอร์

ปัญหาหนึ่งในการใช้งานวงจรดีฟเฟอเรนทีเอเตอร์ในรูปที่ 7.1 คือ วงจรจะมีความไวต่อสัญญาณรบกวนมากเมื่อความถี่ใช้งานสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากค่ารีแอกแตนซ์ (Reactance, X_C) ของตัวเก็บประจุจะลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น ตามสูตร $X_C = 1/2\pi R_f C$ ดังนั้นจึงต้องทำการจำกัดค่าอัตราขยายลูปปิด (A_{CL}) ของวงจร ซึ่งสามารถทำได้โดยการต่อตัวต้านทาน R_S เข้าไปตามวงจร ดังรูปที่ 7.3(ก) เพื่อให้วงจรดีฟเฟอเรนทีเอเตอร์มีอัตราขยายลูปปิดที่จำกัด เมื่อความถี่ใช้งานสูงขึ้น ทั้งนี้เพื่อป้องกันการขยายสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูงนั่นเอง แต่ความถี่ใช้งานอินพุตสูงสุดก็ลดลงหรือถูกจำกัดเช่นเดียวกัน โดยความถี่ใช้งานต้องต่ำกว่า f_2 เมื่อ

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

43

$$f_2 = \frac{1}{2\pi R_S C} \quad (7.5)$$

ความถี่ f_2 นี้ต้องสูงกว่า f_1 นั่นคือ

$$f_2 > \frac{1}{2\pi R_f C} \quad (7.6)$$

หรือ

$$\frac{1}{2\pi R_S C} > \frac{1}{2\pi R_f C} \quad (7.7)$$

ถ้าความถี่ใช้งานมีค่ามากกว่า f_2 ค่ารีแอกแตนซ์ของตัวเก็บประจุจะมีขนาดเล็กมากเมื่อเปรียบเทียบกับ R_S ซึ่งทำให้วงจรนั้นมีพฤติกรรมเหมือนกับวงจรของแบบกลับเฟสตาม รูปที่ 7.3 (ข) และจะมีอัตราลูปปิด (A_{CL}) เป็น

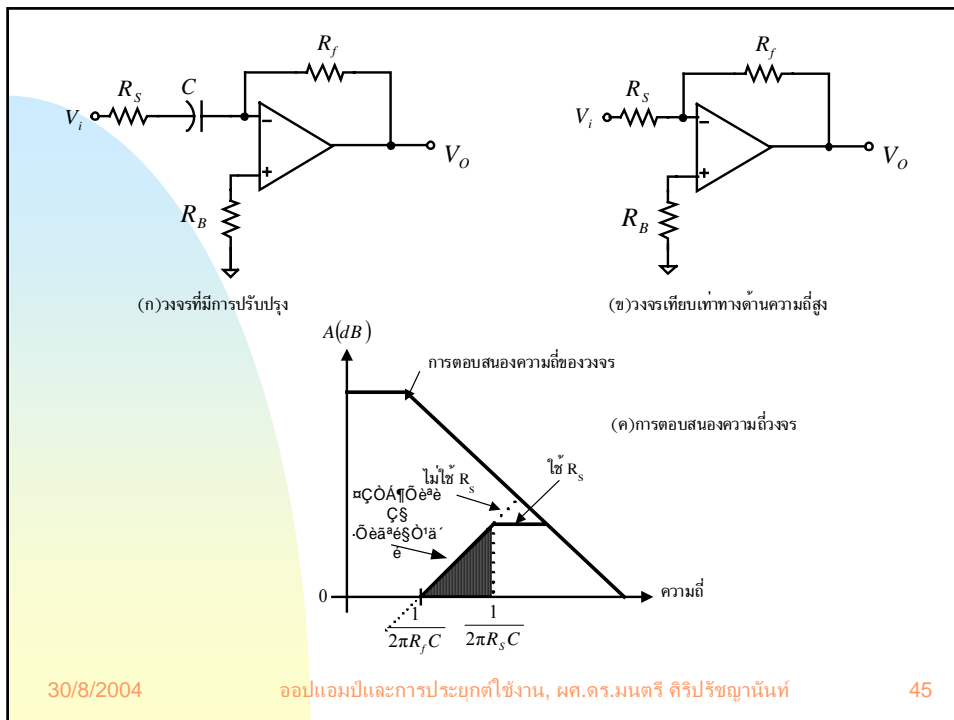
$$A_{CL} = \frac{-R_f}{R_S} \quad (7.8)$$

ส่วนในรูปที่ 7.3 (ค) เป็นกราฟการตอบสนองทางความถี่ของวงจรดีฟเฟอเรนทีเอเตอร์ที่มี R_S และไม่มี R_S

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

44



ตัวอย่าง ให้ออกแบบวงจรดิฟเฟอเรนเชียลอินเวอร์ตอร์ที่มีการชดเชยความถี่ตามวงจรรูปที่ 7.3(ก) ที่สามารถใช้งานได้ความถี่สูงถึง 2 kHz กำหนดให้ค่าผลคูณ Gain-Bandwidth ของออปแอมป์มีค่า 1 MHz

เมื่อต้องการความถี่ใช้งานสูงถึง 2 kHz ควรออกแบบให้มีการจำกัดความถี่ใช้งาน (f_2) ที่สูงกว่า 10 เท่า คือ 20 kHz

เลือกค่า C มาตรฐานเท่ากับ 0.033 μF

ดังนั้นจากสมการ (7.5)

$$R_s = \frac{1}{2\pi f_2 C}$$

$$R_s = \frac{1}{2\pi (20 \text{ kHz})(0.033 \mu\text{F})} = 241 \Omega$$

เลือกค่า R มาตรฐาน 240 Ω

ที่ความถี่สูงกว่า 20 kHz อัตราขยายลูปปิด (A_{CL}) ควรถูกจำกัดให้มีค่า
คงที่ โดย A_{CL} ที่เหมาะสมสามารถได้จาก

$$A_{CL} = \frac{G_{BW}}{f_2} = \frac{1 \text{ MHz}}{20 \text{ kHz}} = 50$$

ดังนั้น

$$R_f = A_{CL} R_s = (50)(240 \Omega)$$

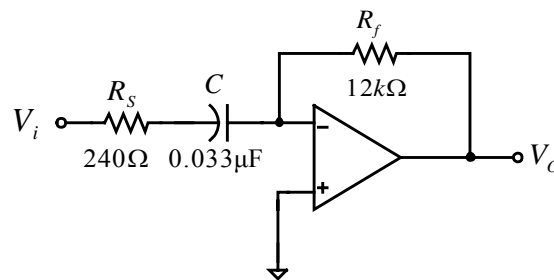
$$R_f = 12 \text{ K}\Omega$$

เราจะได่วงจรรที่ออกแบบสมบูรณ์แล้วในรูปที่ 7.4

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

47



ส่วนความถี่ใช้งานต่ำสุด สามารถหาได้จากสมการ (7.4)

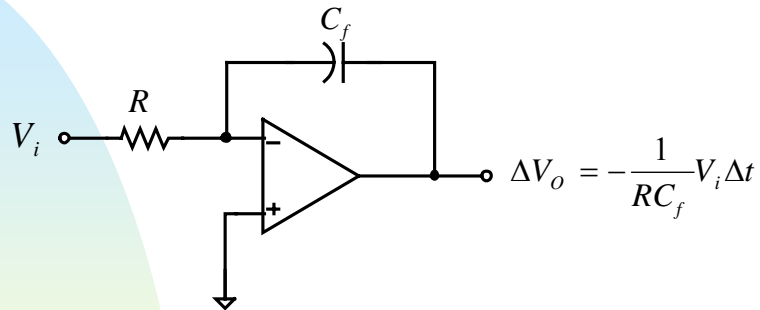
$$f_1 = \frac{1}{2\pi R_f C} = \frac{1}{2\pi(12 \text{ K}\Omega)(0.033 \mu\text{F})} = 402 \text{ Hz}$$

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

48

วงจรรวมอินทิเกรเตอร์



$$V_o = \int_{t_1}^{t_2} V_i dt$$

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

49

การชดเชยความถี่ในวงจรรวมอินทิเกรเตอร์

วงจรรวมอินทิเกรเตอร์จะมีปัญหาคล้ายกับวงจรรดิเฟอเรนทีเอร์คือค่ารีแอคแตนซ์ของตัวเก็บประจุเปลี่ยนแปลงตามความถี่ เมื่อความถี่ใช้งานต่ำลงมาก ค่ารีแอคแตนซ์ก็จะมีค่าสูงขึ้น จนทำให้วงจรมีอัตราขยายแรงดันสูงมากจนถึงจุดอิ่มตัวได้ เราจึงต้องมีการจำกัดอัตราขยายแรงดันลูบปิด (A_{CL}) ที่ความถี่ต่ำกว่า f_2 ซึ่งทำได้โดยการต่อตัวต้านทาน R_f ขนานกับตัวเก็บประจุ ตามรูปที่ 7.6 (ก) และในรูปที่ 7.6 (ข) เป็นวงจรรเทียบเท่าที่ความถี่ต่ำ พบว่าจะไม่มีตัวเก็บประจุ เนื่องจากตัวเก็บประจุมีค่ารีแอคแตนซ์สูงมาก

เมื่อต่อ R_f แล้วที่ความถี่ต่ำ A_{CL} หาได้จาก

$$A_{CL} = \frac{-R_f}{R} \quad (7.12)$$

และความถี่ใช้งานต่ำสุด (Minimum frequency) หรือ f_1 หาได้จาก

$$f_1 = \frac{1}{2\pi R_f C_f} \quad (7.13)$$

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

50

ความถี่ f_1 ต้องมีค่าน้อยกว่า f_2 นั่นคือ

$$f_1 < \frac{1}{2\pi R C_f}$$

หรือ

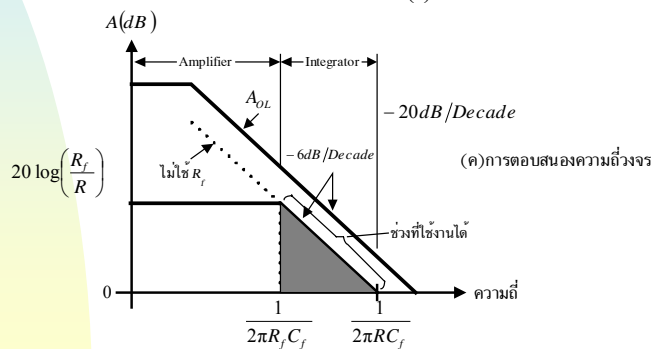
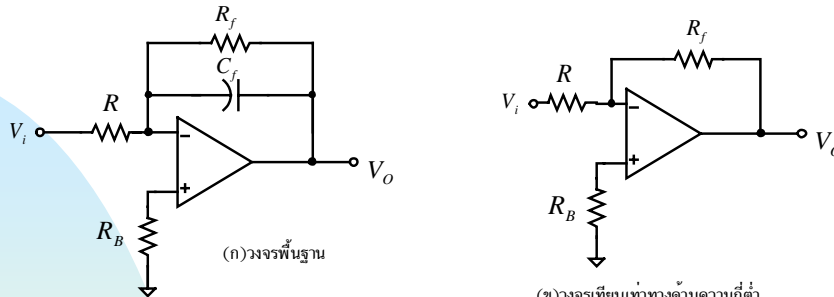
$$\frac{1}{2\pi R_f C_f} < \frac{1}{2\pi R C_f} \quad (7.14)$$

ในการออกแบบใช้งานจริง ควรกำหนด f_1 ให้มีค่าน้อยกว่า 1 ใน 10 ของความถี่ใช้งาน ส่วนความถี่ใช้งานคือช่วง f_1 ถึง f_2

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

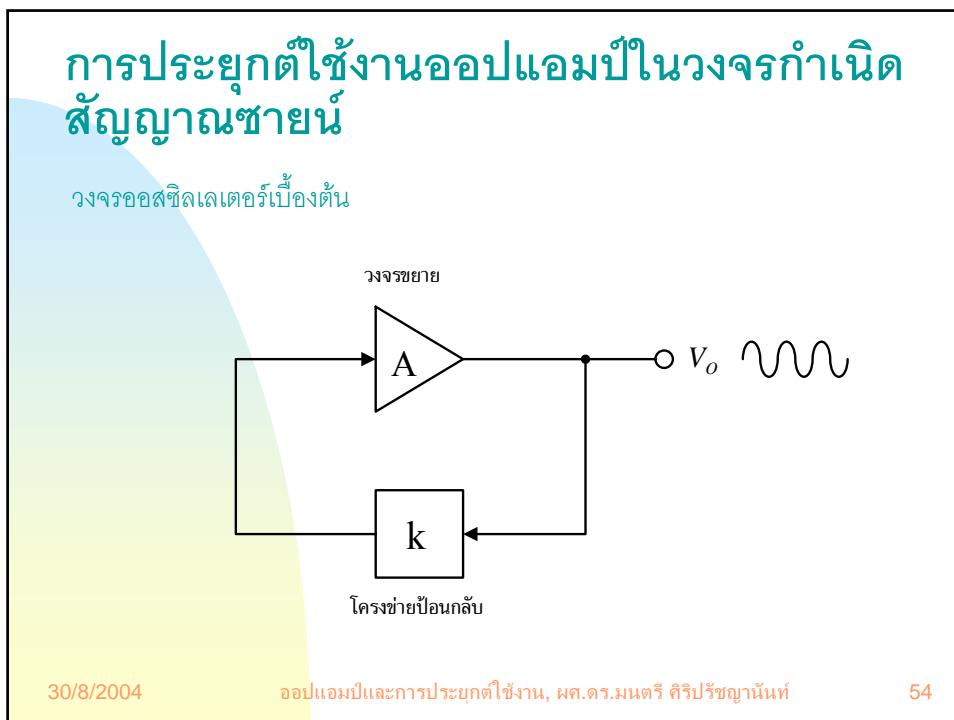
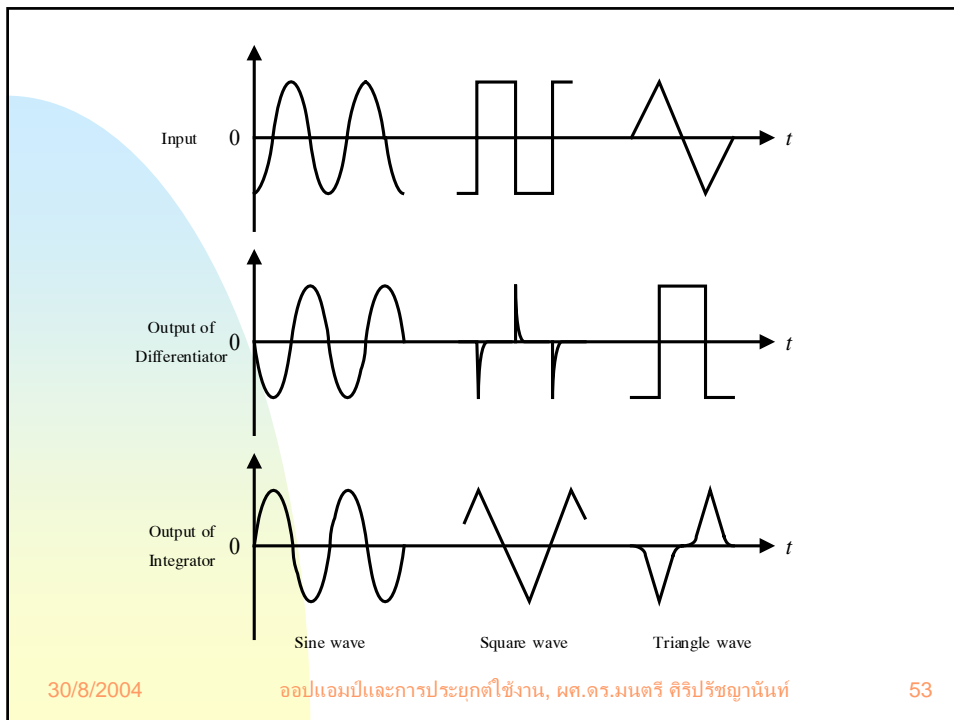
51



30/8/2004

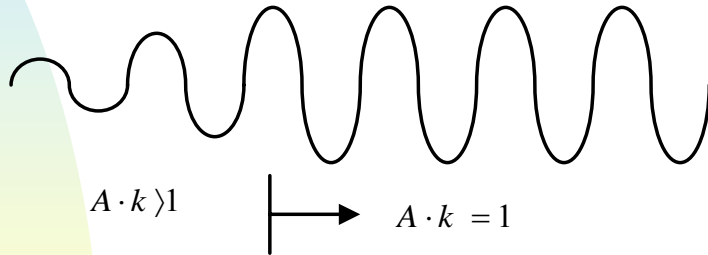
ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

52



สัญญาณที่เกิดขึ้น

สภาวะเริ่มต้น (Initial state) \longleftrightarrow สภาวะคงตัว (Steady state)



30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

55

ชนิดของวงจรออสซิลเลเตอร์

- แบบเลื่อนเฟส
- แบบ Wein-bridge
- แบบ Twin-T
- แบบอื่นๆ

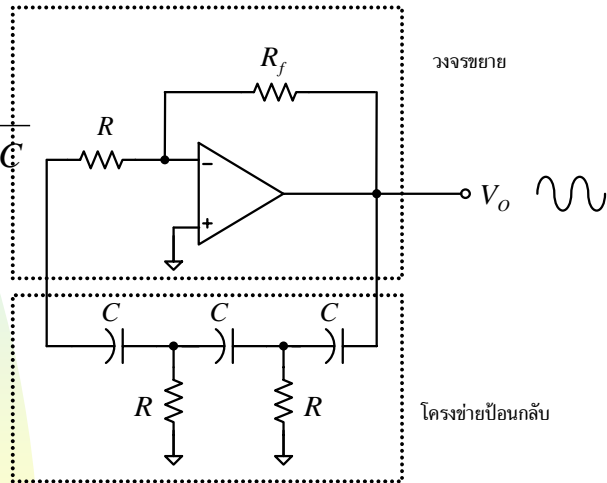
30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

56

วงจรรอสซิลเลเตอร์แบบเลื่อนเฟส

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$$



วงจรรอสซิลเลเตอร์แบบเลื่อนเฟส

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

57

วงจรรอสซิลเลเตอร์แบบเลื่อนเฟส

ตัวอย่าง กำหนดค่า $C = 0.1\mu F$ จงคำนวณหาค่าตัวต้านทานในวงจรเพื่อให้สัญญาณชวยความถี่ 1 kHz ที่เอาต์พุต
กำหนดค่า $C = 0.1\mu F$ คำนวณหาค่า R ในโครงข่ายป้อนกลับจากสมการ (15.2)

$$R = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}fC} = \frac{1}{2\pi(\sqrt{6})(1\text{ kHz})(0.1\mu F)}$$

$$R = 650 \Omega \quad (\text{ใช้ค่ามาตรฐาน } 650 \Omega)$$

ดังนั้น คำนวณหาค่า R_f ของวงจรรขยายได้ว่า

$$\begin{aligned} R_f &= (29)(R) \\ &= (29)(680 \Omega) = 19.7 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

ใช้ R_f ค่ามาตรฐาน 20 kΩ

30/8/2004

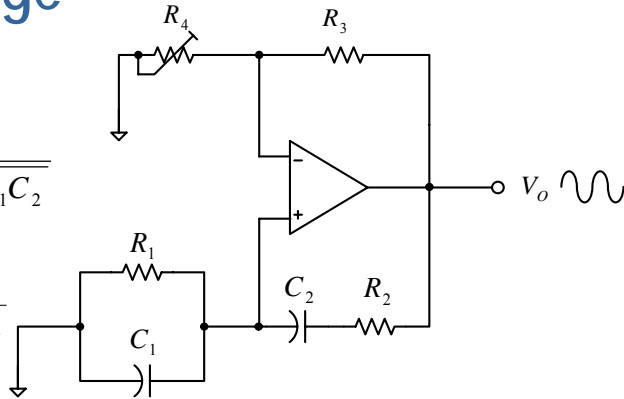
ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

58

วงจรออสซิลเลเตอร์แบบ Wien-bridge

$$f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

$$A_{CL} = 3 = 1 + \frac{R_3}{R_4}$$



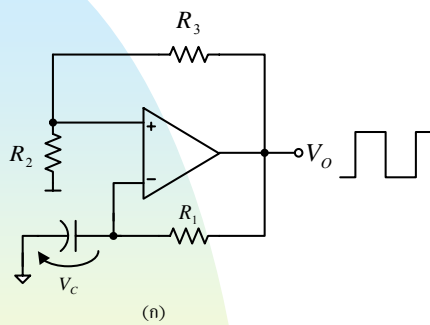
วงจรออสซิลเลเตอร์แบบวินบริดจ์

30/8/2004

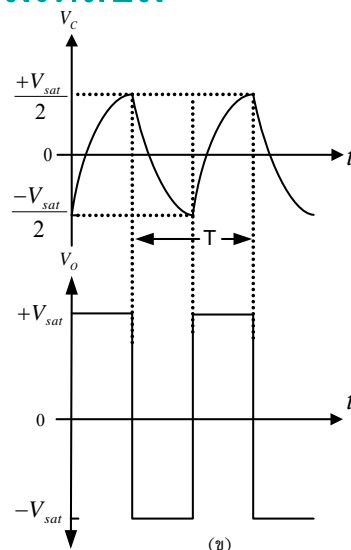
ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

59

การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์ในวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม



$$f_o = \frac{1}{2 R_1 C_1 \ln \left[1 + \frac{2R_2}{R_3} \right]}$$

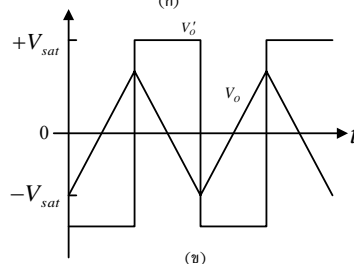
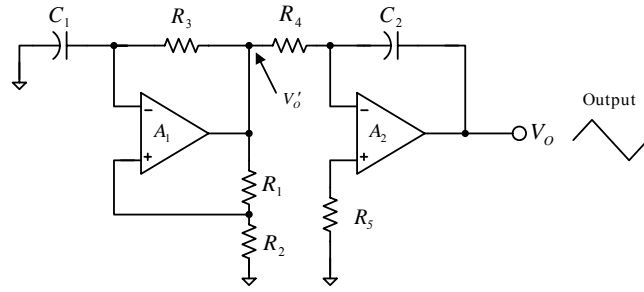


30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

60

วงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยม

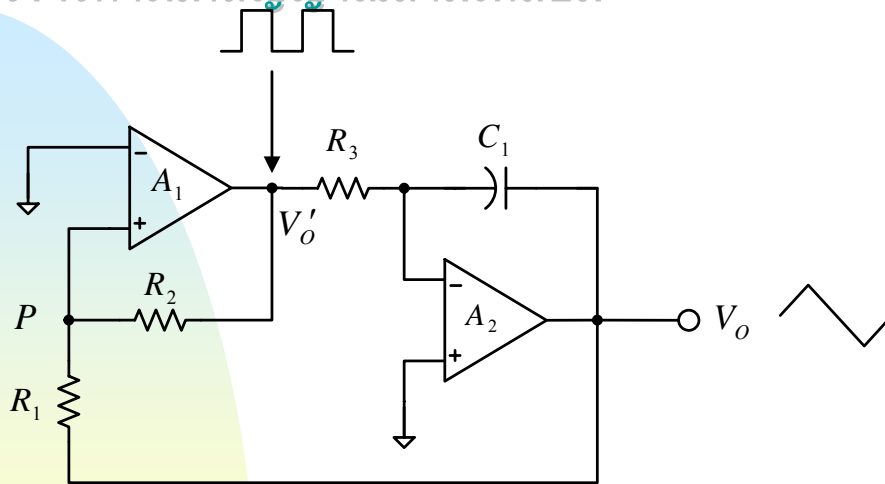


30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

61

วงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยม



วงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยมที่ใช้วงจรสมิตทริกเกอร์ร่วมกับ
วงจรอินทิเกรเตอร์

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

62

วงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยม

$$V_{o\ p-p} = \frac{R_1}{R_2} V_{sat}$$

$$f_o = \frac{R_2}{4 R_1 R_3 C_1}$$

ตัวอย่าง จากวงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยมใน รูปที่ 16.4 จงออกแบบวงจรเพื่อให้ได้ความถี่ 1 kHz และได้แอมพลิจูดจากยอดถึงยอดของสัญญาณสามเหลี่ยม 12 V ถ้าใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง $\pm 15 V$

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

63

วงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยม

เมื่อเราใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง $\pm 15 V$ V_{sat} จะมีค่าประมาณ $\pm 13 V$

กำหนด $R_1 = 1 k\Omega$ และ $C_1 = 0.1 \mu F$ จากสมการ (16.5)

คำนวณหาค่า R_2 ได้

$$R_2 = R_1 \frac{V_{sat}}{V_{o\ p-p}} = 1 k\Omega \frac{\pm 13 V}{\pm 6 V}$$

$$R_2 = 2.17 k\Omega$$

เลือกค่ามาตรฐาน $R_2 = 2.2 k\Omega$ คำนวณหาค่า R_3 ได้จากสมการ (16.6)

$$R_3 = \frac{R_2}{4 R_1 C_1 f_o} = \frac{2.2 k\Omega}{(4)(1 k\Omega)(0.1 \mu F)(1 kHz)}$$

$$R_3 = 5.5 k\Omega$$

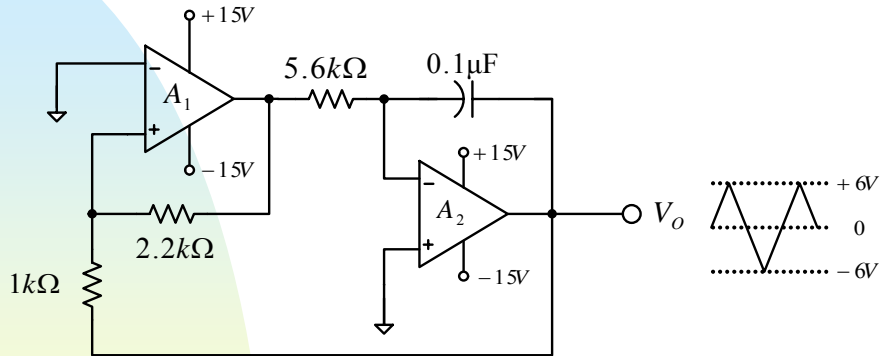
เลือกค่ามาตรฐาน $R_3 = 5.6 k\Omega$

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

64

วงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยม



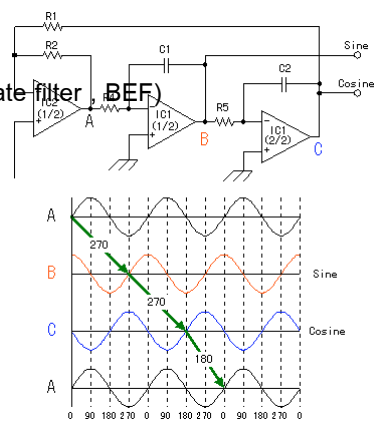
30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

65

การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์ในวงจรกรองความถี่

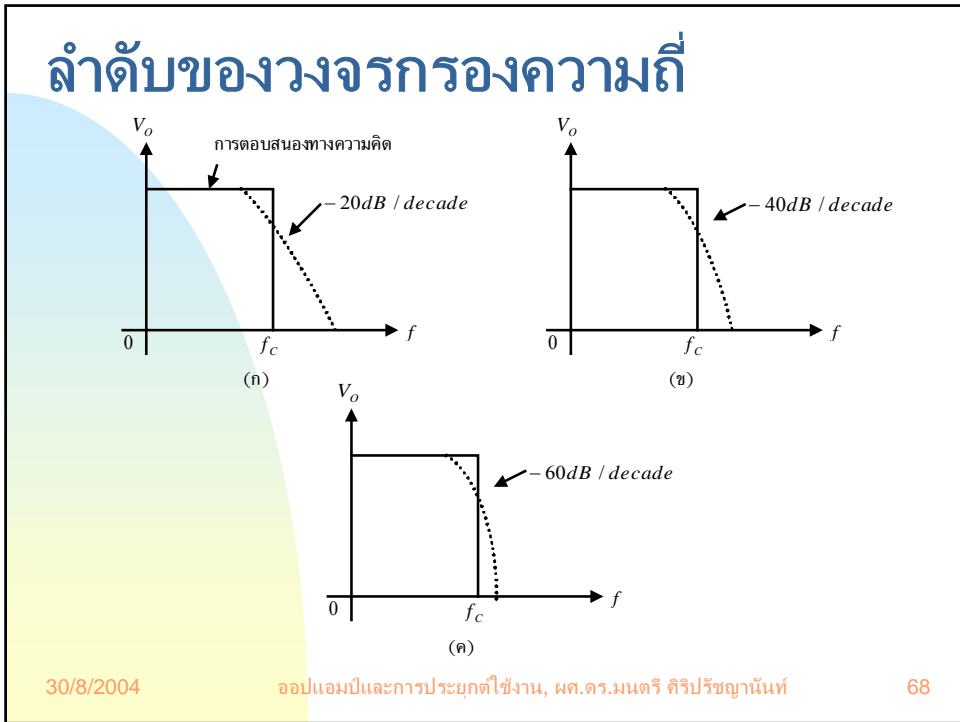
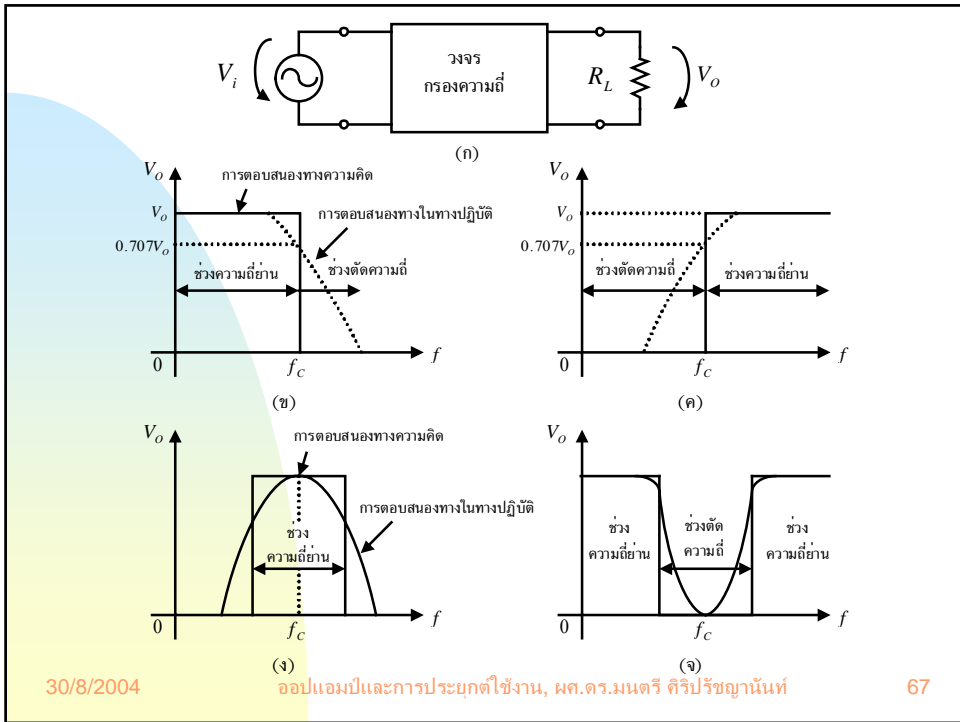
- วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter , LPF)
- วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High pass filter , HPF)
- วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Band pass filter , BPF)
- วงจรตัดแถบความถี่ (Notch filter หรือ Band Eliminate filter , BEF)



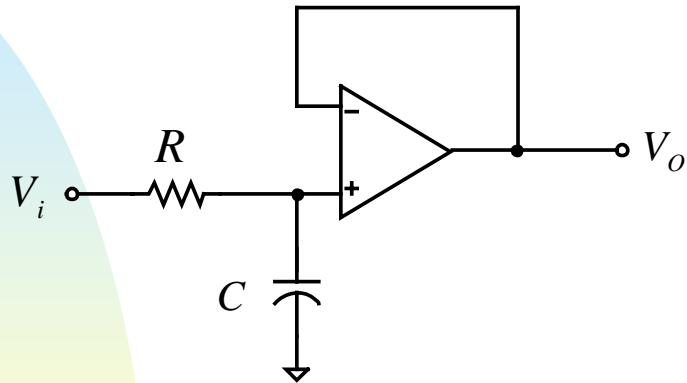
30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

66



วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 1



$$f_c = \frac{0.1591}{RC}$$

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

69

ตัวอย่าง ถ้า $R = 10 \text{ k}\Omega$ และ $C = 0.015 \text{ }\mu\text{F}$ จงคำนวณหาความถี่ตัด (f_c) และถ้า $V_i = 200 \text{ mV}$ V_o จะมีค่าเท่าใดที่ความถี่ f_c

คำนวณหาค่า f_c ตามสมการ (17.1)

$$f_c = \frac{0.1591}{(10 \text{ k}\Omega)(0.015 \text{ }\mu\text{F})} = 1061 \text{ Hz}$$

$$f_c \approx 1 \text{ kHz}$$

ที่ความถี่ $f = f_c = 1 \text{ kHz}$ V_o มีค่าเท่ากับ $0.707 V_i$ (จากรูปที่ 17.1(ข))

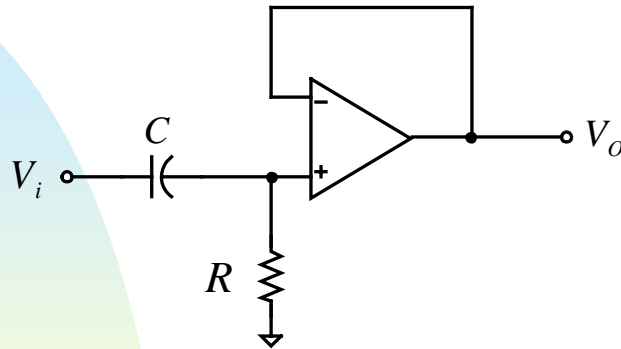
$$\text{ดังนั้น } V_o = 0.707 (200 \text{ mV}_p) = 141 \text{ mV}_p$$

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

70

วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่ 1

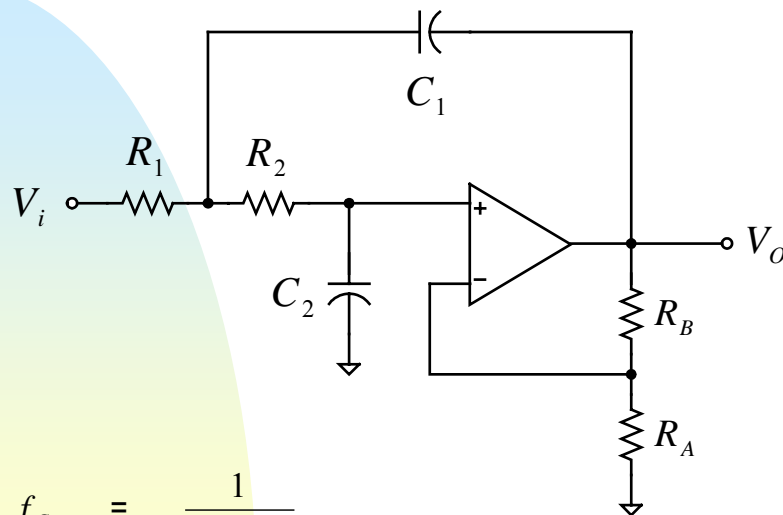


30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

71

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 2



$$f_c = \frac{1}{2\pi R C}$$

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

72

ตัวอย่าง ออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 2 ให้มีความถี่ตัด (f_c) อยู่
700 Hz

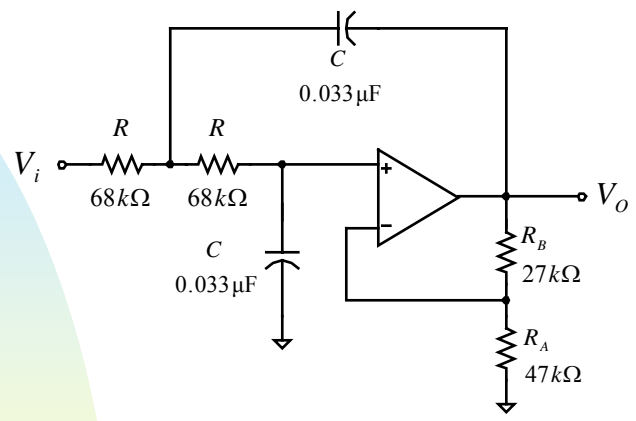
เลือกค่าตัวเก็บประจุมาตรฐาน 0.0033 μF

คำนวณหาค่า R จากสมการ (17.2)

$$R = \frac{1}{2\pi f_c C} = \frac{1}{2\pi (700 \text{ Hz})(0.0033 \mu F)}$$

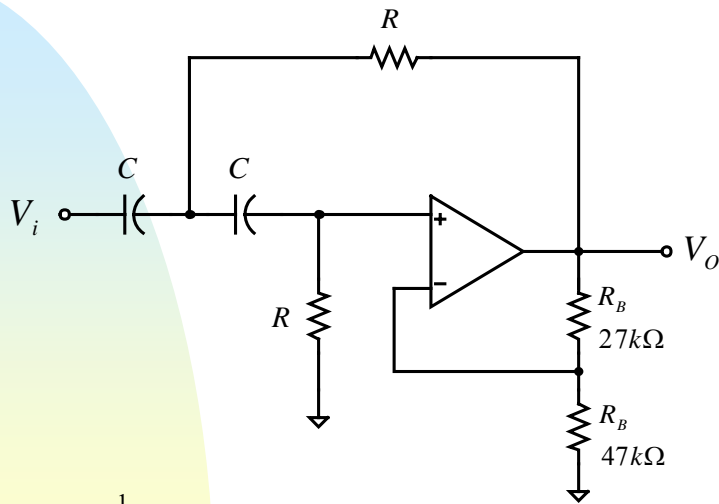
$$R = 68,898 \Omega$$

เลือกค่า R มาตรฐาน คือ 68 $k\Omega$ ได้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 2 แสดง
รูปที่ 17.6



รูปที่ 17.6 วงจรของความถี่ต่ำผ่านซึ่งมีความถี่ตัด 700 Hz
จากตัวอย่าง เราสามารถเลือกค่า C มาตรฐาน 0.1 μF จะได้ R ค่ามาตรฐาน 22 $k\Omega$ ก็ได้

วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่ 2



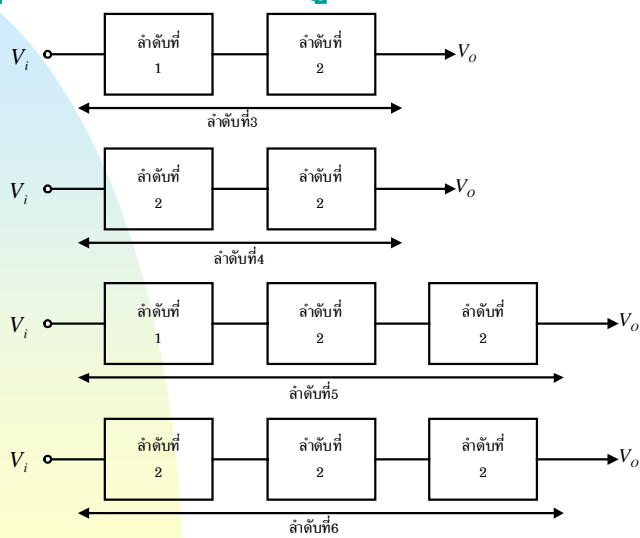
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

75

การสร้างวงจรของความถี่ต่ำและสูงผ่านในลำดับที่สูงขึ้น



30/8/2004

ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน, ผศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

76