

## บทที่ 8

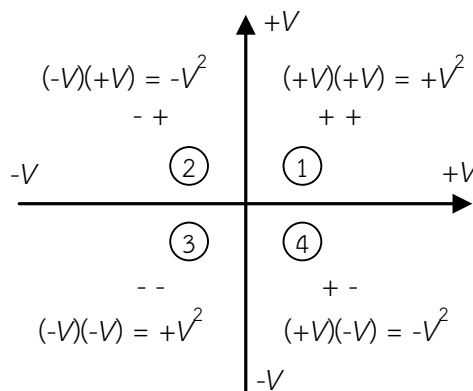
### วงจรคูณสัญญาณแบบอนาล็อก (Analog multiplier circuit)

#### 8.1 บทนำ

วงจรคูณแบบอนาล็อกมีความสำคัญ และถูกนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารแบบอนาล็อก ซึ่งวงจรต้องมีความเป็นเชิงเส้น เนื่องจากการออกแบบวงจรสื่อสารต้องหลีกเลี่ยงตัวแปรที่สำคัญในการสื่อสารคือ ความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่เกิดการมอดูเลตจากฮาร์โมนิกส์ที่สาม (Third intermodulation distortion: IM 3) ปัจจุบันมีการผลิตวงจรคูณแบบเชิงเส้นที่เป็นตัวไอซี ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบ AM และ FM เนื้อหาในเรื่องของวงจรคูณแบบอนาล็อกจะกล่าวถึง จำนวนควอดแดรนต์ของการคูณ คุณลักษณะการถ่ายโอนของวงจรคูณ ขนาดตัวคูณของวงจรคูณ และวงจรพื้นฐานการประยุกต์ใช้งานวงจรคูณ เช่น วงจรกำลังสอง วงจรหาร วงจรถอดรหัสดิจิตอล และวงจรหาค่าเฉลี่ย

#### 8.2 จำนวนควอดแดรนต์ของการคูณ (Multiplier Quadrants)

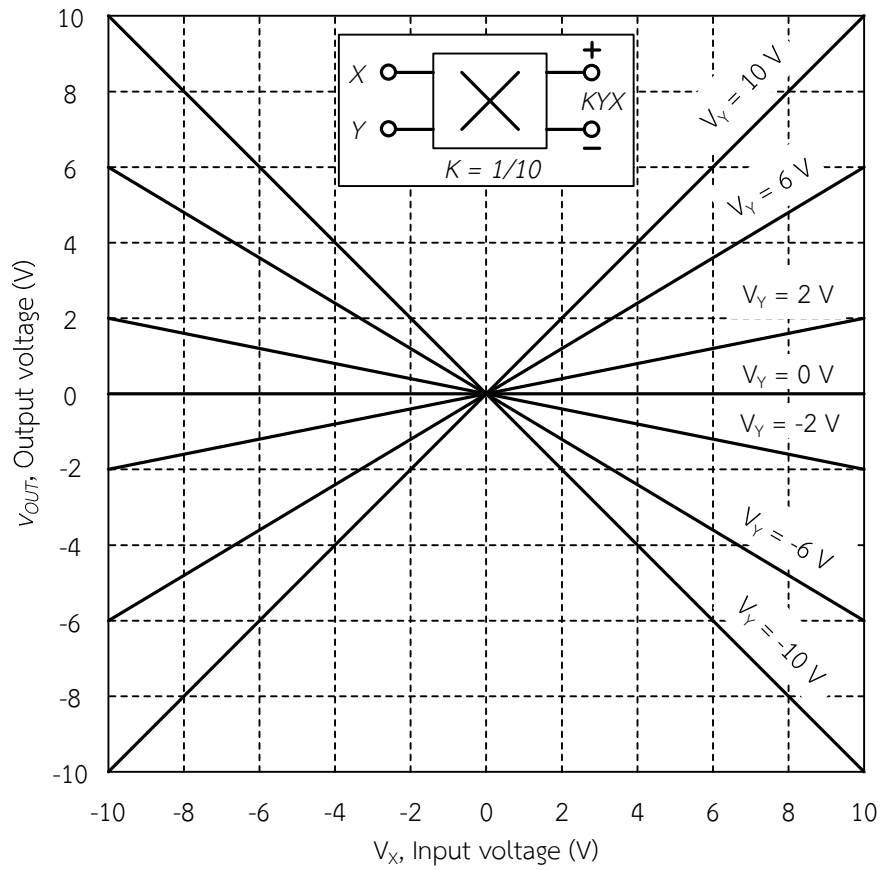
การออกแบบจำนวนของวงจรคูณมี 3 วงจรดังนี้ 1. วงจรคูณหนึ่งควอดแดรนต์ 2. วงจรคูณ 2 ควอดแดรนต์ และ 3. วงจรคูณ 4 ควอดแดรนต์ การแบ่งควอดแดรนต์จะขึ้นอยู่กับขั้วที่อินพุตที่มีการใช้ร่วมกันในการคูณ รูปที่ 8.1 แสดงกราฟการคูณแต่ละควอดแดรนต์ วงจรคูณสี่ควอดแดรนต์ที่สามารถกระทำการคูณกันได้ทั้งสี่ขั้วเพื่อสร้างสัญญาณเอาต์พุตผลคูณทั้งสี่ขั้วได้



ภาพที่ 8.1 ขั้วและการคูณ 4 ควอดแดรนต์

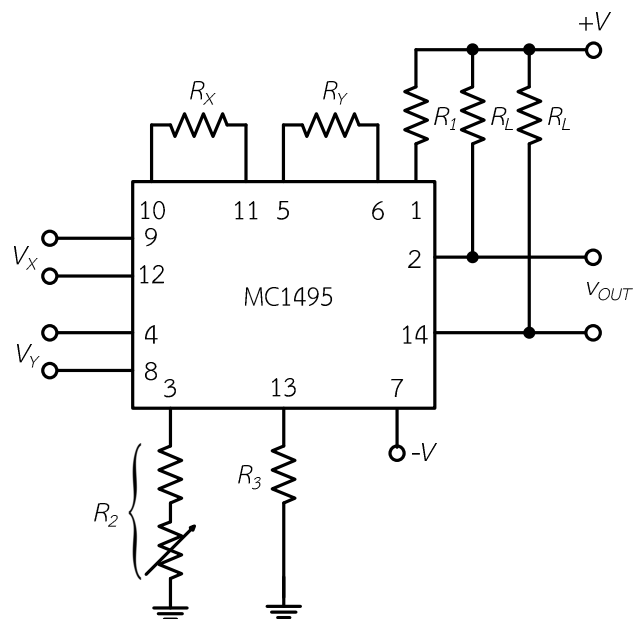
#### 8.3 คุณลักษณะถ่ายโอนวงจรคูณ (The Multiplier Transfer Characteristic)

ภาพที่ 8.2 แสดงคุณลักษณะการถ่ายโอนของวงจรคูณ 4 ควอดแดรนต์ ซึ่งใช้ไอซีวงจรคูณแบบเชิงเส้น เราสามารถหาแรงดันเอาต์พุตได้จากกราฟคุณลักษณะฟังก์ชันถ่ายโอน ด้วยการหาจุดตัดระหว่างแรงดันอินพุต  $V_X$  และ  $V_Y$  ของกราฟ ซึ่งแกนนอนคือค่าแรงดัน  $V_X$  และเส้นแนวเอียงคือค่าแรงดัน  $V_Y$



ภาพที่ 8.2 กราฟคุณลักษณะของวงจรคูณ 4 ควอดแดรนต์

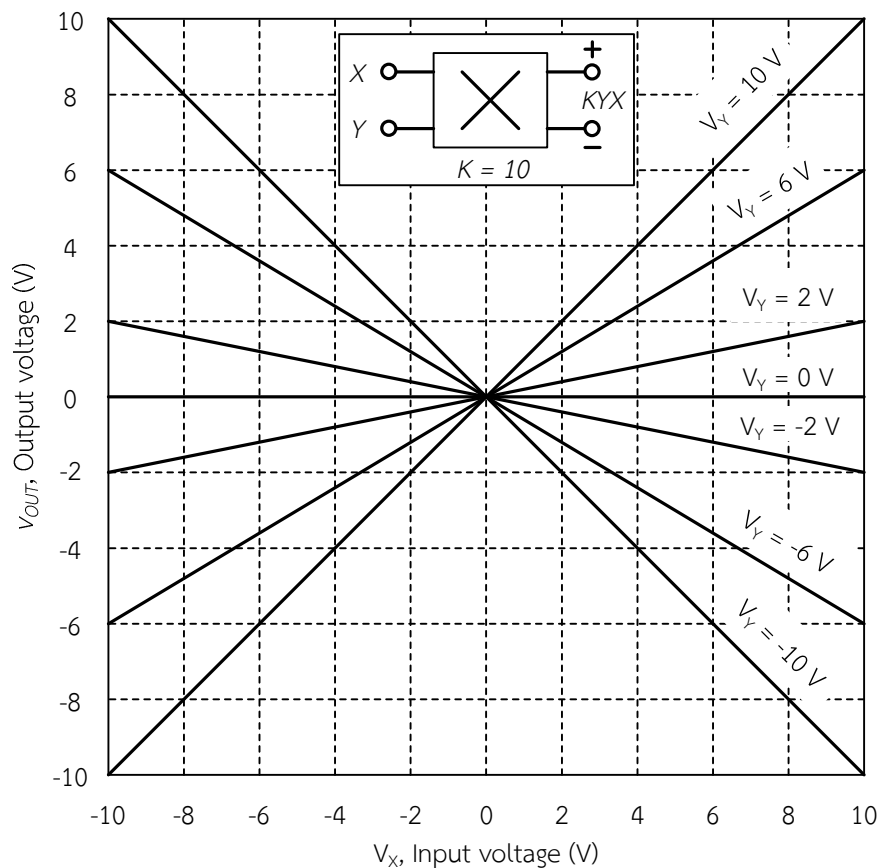
ตัวอย่างที่ 8.1 ภาพที่ 8.3 แสดงวงจรคูณแบบเชิงเส้นด้วยไอซี MC1495



ภาพที่ 8.3 วงจรคูณแบบเชิงเส้นด้วยไอซี MC1495

**แบบฝึกหัดที่ 8.1** จงหาค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรคูณ 4 ควอดแดรนต์แบบเชิงเส้นซึ่งมีคุณลักษณะตามกราฟในรูปที่ 8.2 กำหนดให้แรงดันอินพุต  $V_X = -4\text{ V}$  และ  $V_Y = +10\text{ V}$

**วิธีทำ** รูปที่ 8. กราฟคุณลักษณะของวงจรคูณ 4 ควอดแดรนต์ เมื่อแรงดันอินพุต  $V_X = -4\text{ V}$  และ  $V_Y = +10\text{ V}$  ดังนั้น แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ  $-4\text{ V}$  ซึ่งค่าตัวประกอบการคูณมีค่าเท่ากับ 0.01

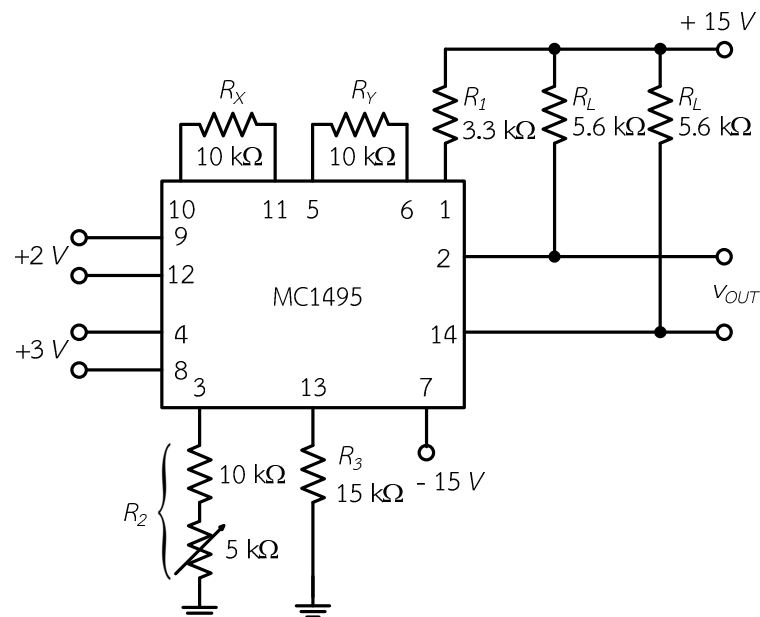


ภาพที่ 8.4 กราฟคุณลักษณะของวงจรคูณ 4 ควอดแดรนต์

**แบบฝึกหัดที่ 8.2** ถ้า  $V_X = -6\text{ V}$  และ  $V_Y = +6\text{ V}$  หาค่าแรงดัน  $V_{OUT}$

#### 8.4 ขนาดตัวคูณของวงจรคูณ (The Scale Factor, $K$ )

ขนาดตัวคูณของวงจรคูณ  $K$  คือ ค่าที่ทำให้แรงดันเอาต์พุตเกิดการลทอน ซึ่งขนาดตัวคูณจะเป็นค่าคงที่ ขนาดตัวคูณของวงจรคูณที่ใช้ IC สามารถปรับค่าได้ค่าละ 0.1 รูปที่ 8.5 แสดงวงจรคูณแบบเชิงเส้นที่ใช้ IC MC1495 ซึ่งค่าความต้านทานภายนอกเป็นตัวกำหนดขนาดตัวคูณ เราสามารถหาค่าขนาดตัวคูณได้จากสมการ



ภาพที่ 8.5 วงจรควบคุมแบบเชิงเส้นที่ใช้ MC1495 ด้วยการกำหนดขนาดจากวงจรภายนอก

$$K = \frac{2R_L}{R_X R_Y I_{R2}} \quad 8.1$$

กระแส  $I_{R2}$  ถูกกำหนดด้วยค่าความต้านทานภายนอกและภายใน ซึ่งมีค่าเท่ากับ

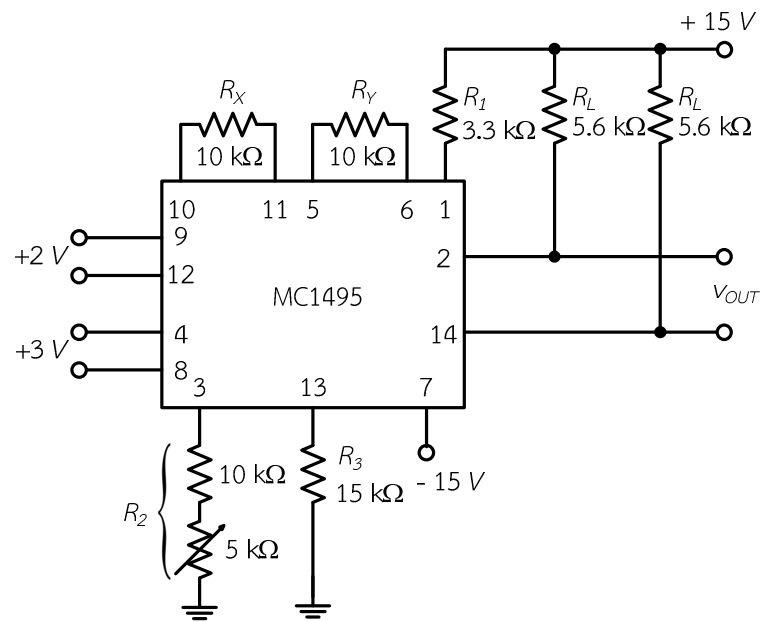
$$I_{R2} = \frac{|-V| - 0.7V}{R_2 + 500\Omega} \quad 8.2$$

เมื่อ  $R_2$  คือ ค่าความต้านทานคงที่รวมกับค่าความต้านทานปรับค่าได้ ซึ่งค่าความต้านทานปรับค่าได้ทำหน้าที่ปรับกระแส  $I_{R2}$

แรงดันเอาต์พุตของวงจรควบคุมแบบเชิงเส้นที่มีการกำหนดขนาดด้วยค่า  $K$  มีค่าเท่ากับ

$$V_{OUT} = K V_X V_Y \quad 8.3$$

**ตัวอย่างที่ 8.2** รูปที่ 8.6 แสดงวงจรควบคุมด้วย IC MC1495 สมมติให้ตัวต้านทานปรับค่าได้มีค่าเท่ากับ  $5\text{ k}\Omega$  และปรับค่า  $R_2 = 2.5\text{ k}\Omega$  จงการตัวประกอบขนาด และแรงดันเอาต์พุต



ภาพที่ 8.6 วงจรศูนย์แบบเชิงเส้นที่ใช้ MC1495

วิธีทำ คำนวณหาค่า  $I_{R2}$  ตามสมการ

$$I_{R2} = \frac{|-V| - 0.7V}{R_2 + 500\Omega} = \frac{15V - 0.7V}{12.5k\Omega + 500\Omega} = 1.1mA \quad 8.4$$

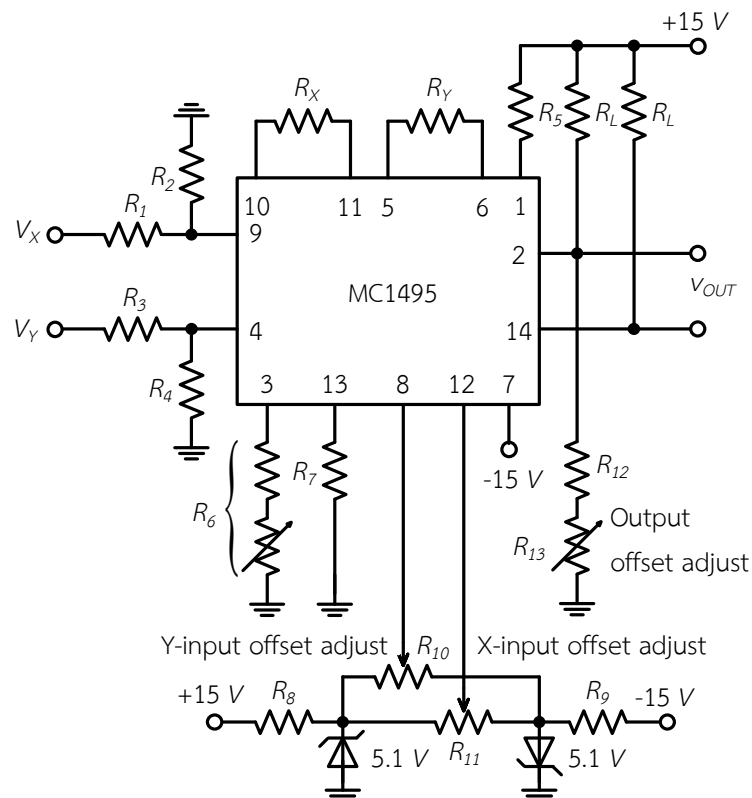
ขนาดของตัวคูณเท่ากับ

$$K = \frac{2R_L}{R_X R_Y I_{R2}} = \frac{2 \times 5.6k\Omega}{10k\Omega \times 10k\Omega \times 1.1mA} = 0.102 \quad 8.5$$

แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ

$$V_{OUT} = K V_X V_Y = 0.102 \times 2V \times 3V = 0.611V \quad 8.6$$

แบบฝึกหัดที่ 8.3 ถ้าค่าความต้านทานปรับค่าในรูปที่ 8.7 เท่ากับ  $5k\Omega$  จงหาค่าแรงดัน  $V_{OUT}$



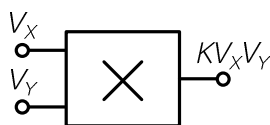
ภาพที่ 8.7 วงจรคูณซึ่งใช้ IC MC1495 ด้วยค่าประกอบขนาดคู่ และวงจรปรับค่าออฟเซต

### 8.5 วงจรพื้นฐานการประยุกต์ใช้งานวงจรคูณ

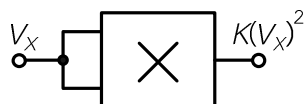
การประยุกต์ใช้งานวงจรคูณแบบเชิงเส้นคือ วงจรกำลังสอง วงจรหาร วงจรถอดรากที่สอง วงจรค่าเฉลี่ยกำลังสอง และวงจรอื่น ๆ

#### 8.5.1 วงจรกำลังสอง

ภาพที่ 8.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมวงจรคูณ ซึ่งเราสามารถทำให้เป็นวงจรกำลังสองได้ด้วยการป้อนสัญญาณเข้าที่อินพุตทั้งสองขา ภาพที่ 8.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมวงจรกำลังสอง



ภาพที่ 8.8 บล็อกไดอะแกรมวงจรคูณ



ภาพที่ 8.9 บล็อกไดอะแกรมวงจรกำลังสอง

#### 8.5.2 วงจรหาร

รูปที่ 8.10 แสดงวงจรหารที่ประยุกต์ใช้ด้วยการต่อวงจรคูณป้อนกลับจากเอาต์พุตของออปแอมป์ การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้ เนื่องจากขาลบของออปแอมป์ (-) เปรียบเสมือน

กราวด์ ซึ่งมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น กระแส  $I_1$  เท่ากับ  $I_2$  แรงดันที่ต้านคร่อม  $R_1$   $V_1 = KV_Y V_{OUT}$  กระแส  $I_1$  มีค่าเท่ากับ

$$I_1 = \frac{KV_Y V_{OUT}}{R_1} \quad 8.7$$

เมื่อแรงดันที่ตกคร่อม  $R_2$  เท่ากับ  $V_X$  ดังนั้น กระแสที่ไหลผ่าน  $R_2$  เท่ากับ

$$I_2 = \frac{V_X}{R_2} \quad 8.8$$

เนื่องจาก  $I_1 = -I_2$

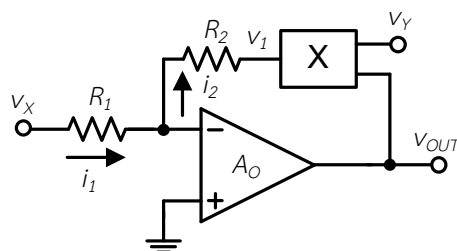
$$\frac{KV_Y V_{OUT}}{R_1} = -\frac{V_X}{R_2} \quad 8.9$$

แรงดัน  $V_{OUT}$  เท่ากับ

$$V_{OUT} = -\frac{V_X R_1}{KV_Y R_2} \quad 8.10$$

ถ้า  $R_1 = KR_2$

$$V_{OUT} = -\frac{V_X}{V_Y} \quad 8.11$$



ภาพที่ 8.10 วงจรหาร (Divide circuit)

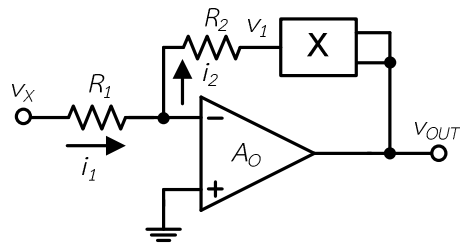
### 8.5.3 วงจรถอดรากที่สอง (Square Root Circuit)

ภาพที่ 8.11 แสดงวงจรถอดรากที่สองซึ่งคือกรณีพิเศษของวงจรหาร เมื่อ  $V_{OUT}$  ถูกต่อกับสองอินพุตของวงจรคูณแล้วป้อนกลับไปยังขาลบของออปแอมป์ แรงดัน  $V_1$  มีค่าเท่ากับ

$$V_1 = KV_{OUT}^2 \quad 8.12$$

แรงดัน  $V_{OUT}$  เท่ากับ

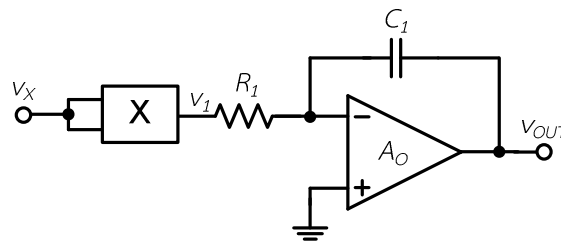
$$V_{OUT} = \sqrt{V_X} \quad 8.10$$



ภาพที่ 8.11 วงจรรากที่สอง (Square root circuit)

#### 8.5.4 วงจรค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square Circuit)

ภาพที่ 8.12 แสดงวงจรค่าเฉลี่ยกำลังสอง ซึ่งใช้เป็นการประยุกต์ใช้วงจรกำลังสองต่อกับ วงจรอินทิเกรต ซึ่งวงจรอินทิเกรตทำหน้าที่หาค่าเฉลี่ยของสัญญาณกำลังสอง แรงดัน  $V_1$  มีค่าเท่ากับ



ภาพที่ 8.12 วงจรค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean square circuit)

$$V_1 = Kv^2 \quad 8.12$$

แรงดัน  $V_{OUT}$  เท่ากับ

$$v_{OUT} = \int Kv^2 dt \quad 8.10$$

#### เอกสารอ้างอิง

1. Thomas L. Floyd and David Buchla “Fundamental of Analog Circuits”