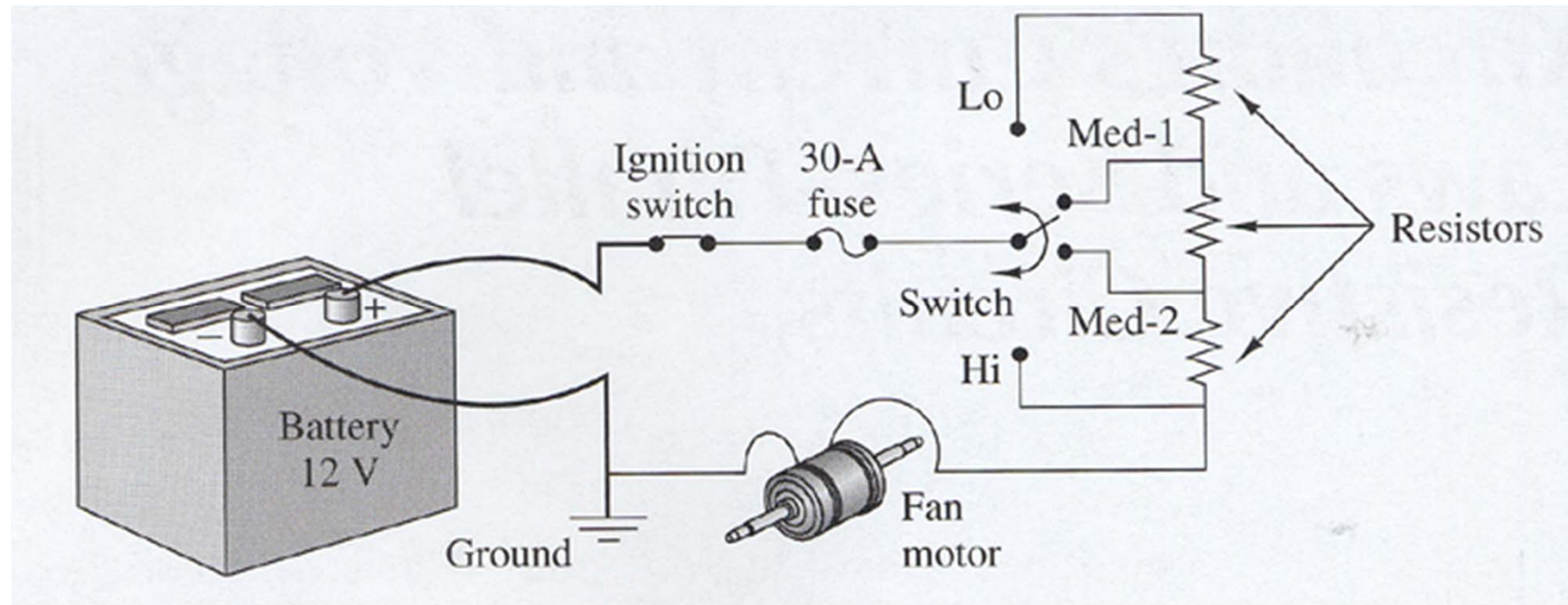


Car Heater Fan Speed-Control Application



- 차의 풍량 조절을 위해 손잡이를 돌리면 저항 값이 바뀐다.
- 전동기의 전류가 바뀌면서 풍량이 바뀐다.
- 이런 저항 회로를 해석하기 위하여 **KCL**, **KVL** 등의 회로이론을 도입하여 회로를 다룬다.

Maxwell Equations

미분형

적분형

Gauss 법칙

$$\vec{\nabla} \cdot (\epsilon \vec{E}) = \rho$$

$$\oint_S \epsilon \vec{E} \cdot d\vec{S} = \int_V \rho dV$$

자속 보존의 법칙

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

Ampere의 둘레법칙

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial(\epsilon \vec{E})}{\partial t}$$

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{S} + \frac{\partial \int_S \epsilon \vec{E} \cdot d\vec{S}}{\partial t}$$

Faraday의

전자유도법칙

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}}{\partial t}$$

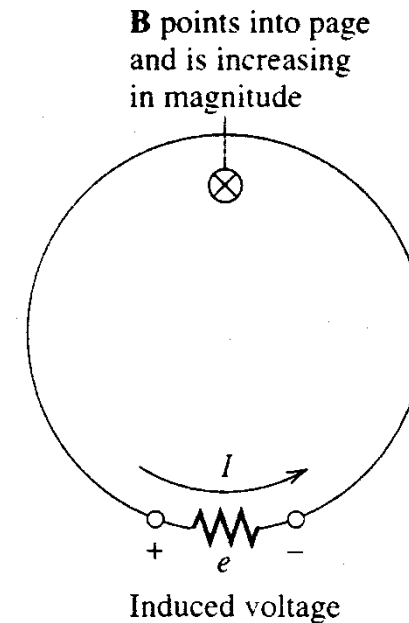
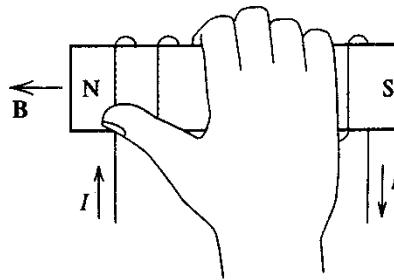
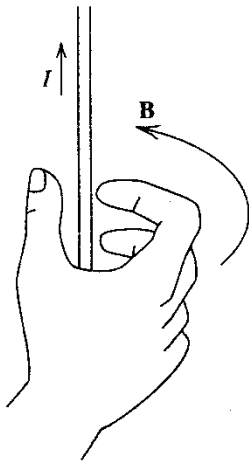
전하 보존의 법칙

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

$$\oint_S \vec{J} \cdot d\vec{S} + \frac{\partial \int_V \rho dV}{\partial t} = 0$$

암페어 둘레 법칙과 패러데이 전자 유도 법칙

- 암페어가 발견한 암페어 둘레 법칙은 전류가 흐르는 도선 주위에는 자계(磁界)가 형성된다는 것이다.
- 이때 자계의 방향은 오른손을 사용하여 정할 수 있는데 오른손의 엄지 손가락을 도선의 전류방향에 맞추면 다른 손가락의 방향이 자계의 방향을 나타낸다.
- 패러데이 전자 유도 법칙은 도선으로 코일을 만든 후 코일면을 통과하는 자속을 시간적으로 변화(예를 들어, 자석을 가까이 했다 멀리했다 하는 것)시키면 코일의 양단에는 전압이 발생되는 것을 의미한다.
- 이 전압을 유기(誘起)전압이라 한다.



회로 이론의 가정

- 회로 이론은 전자기학의 일부.
- 가정을 통해 이론을 단순화.
- 회로 이론을 적용할 때에는 가정을 만족하는 지를 따져야 한다.

가정

(1) 전파(傳播) 효과가 무시될 만큼 계가 작다.

즉, 계가 순간적으로, 동시에 변화한다 → 집중정수 계.

(2) 계에 알짜 전하는 없다.

(3) 계의 구성 부품 간에 자기적인 결합은 없다.

전하 보존의 법칙

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad \oint \vec{J} \cdot d\vec{s} + \frac{\partial \int_V \rho dv}{\partial t} = 0$$

- 가정 (2) 는 회로에 알짜 전하가 없으므로 제 2 항의 전하 밀도가 영이다.

$$\rho = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

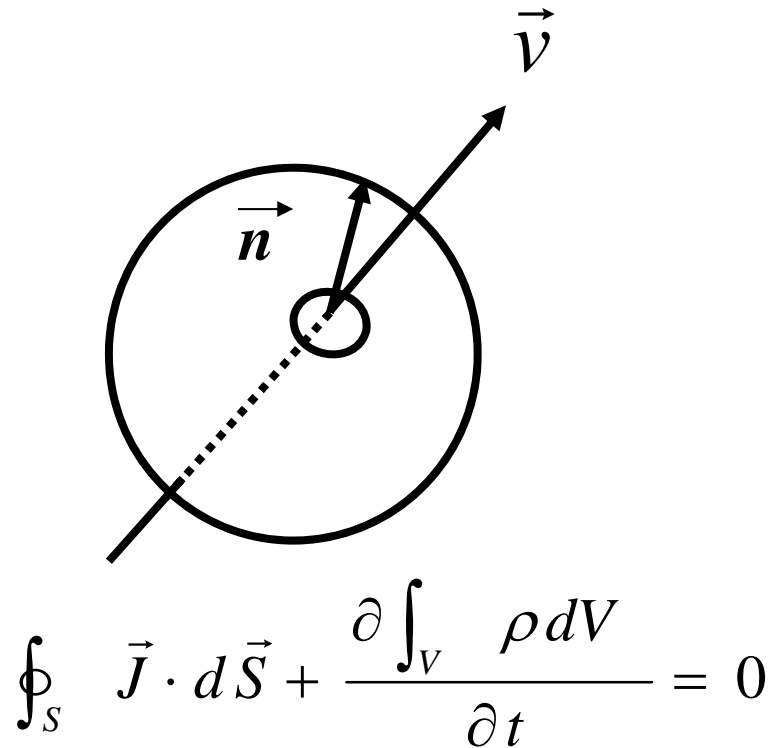
따라서, $\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = 0$.

이것의 의미는 무엇인가?

발산(**divergence**)이 영이라는 것의 의미는?

Divergence

- 발산(Divergence)은 부피 개념이다.
- 어떤 영역의 부피를 통과하며 나가는 알짜 양을 나타내는 것이 발산이다.
- 어떤 영역으로 들어오는 양과 나가는 양이 같으면 발산은 영이다.
- 들어오는 양보다 나가는 양이 많으면 발산은 양이다.



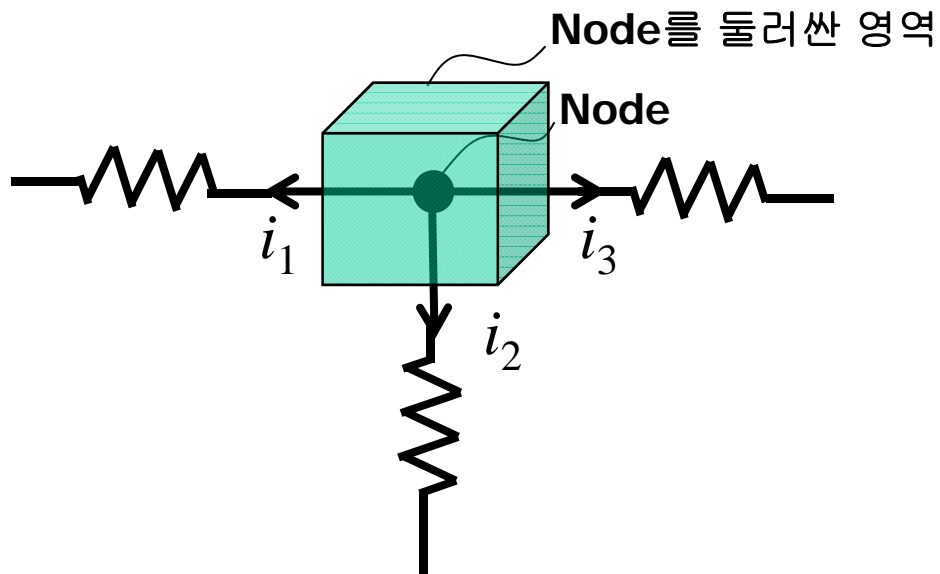
$\vec{\nabla} \cdot \vec{v}$: 발산 (스칼라양)

- 서울대라는 울타리(영역) 안으로 들어오는 학생이 나가는 학생보다 많으면 발산은 음이 된다.
- 만약, 서울대 울타리 안에서 사람이 소멸하거나 생겨나지 않는다면(전하가 보존되는 것과 같다면) 서울대 울타리 안의 사람 밀도는 계속(시간적으로) 증가할 것이다.
- 이것을 나타내는 것이 연속 방정식, 전하 보존의 법칙 이다.

Kirchhoff's Current Law (KCL)

- 회로에 알짜 전하는 없음. 양의 전하와 음의 전하가 같은 양으로 존재.
- 전하 보존의 법칙에서 제 2 항이 영.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = 0 \Rightarrow \oint_S \vec{J} \cdot d\vec{S} = 0$$



- 회로에서는 전류가 존재하는 곳이 도선뿐이다.
- 따라서, 영역의 표면 면적분이 도선에 흐르는 전류의 합으로 표현된다.

$$\oint_S \vec{J} \cdot d\vec{S} = 0 \Rightarrow \sum_j i_j = 0$$

Faraday의 전자유도 법칙

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial \int_s \vec{B} \cdot d\vec{s}}{\partial t}$$

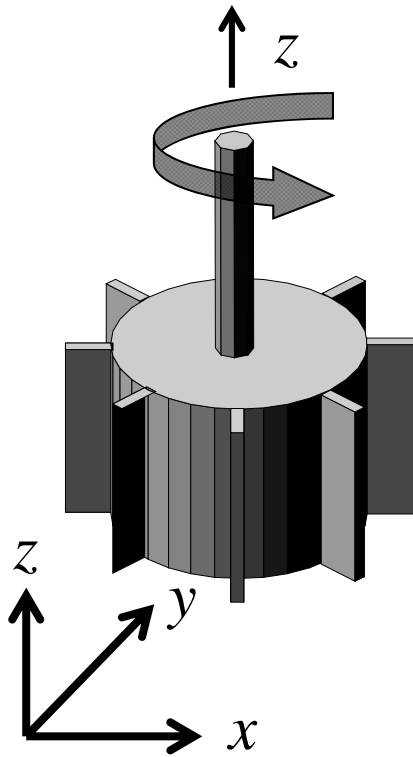
- 가정 **(3)** 은 구성 부품간의 자기적인 결합이 없으므로 회로가 만드는 면을 통과하는 자속의 시간적인 변화가 영이다.

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0.$$

- 따라서, $\vec{\nabla} \times \vec{E} = 0.$
- 회전(rotation)이 영이라는 것은 무엇을 의미하는가?

Rotation

- 회전(Rotation)은 면 개념이다.
- 바람 개비 모양의 수차(水車)를 흐르는 물에 담갔을 때 수차가 돈다면 수차의 축 방향 회전이 영이 아니다.
- 즉, x - y 평면상으로 흐르는 물에 수차를 담갔다면 z 방향 회전 성분이 있다는 것이다.



$$(\vec{\nabla} \times \vec{v})_z \neq 0 \quad \vec{\nabla} \times \vec{v} : \text{회전 (벡터량)}$$

회전은 벡터이므로 수차를 x - y 평면, y - z 평면, z - x 평면에 담가서 각 축이 회전하는 양을 보고 이를 그 방향 성분으로 하면 회전($\vec{\nabla} \times \vec{v}$)을 나타내는 것이다. 수차를 회전시키는 힘은 수차 둘레에 있는 날개에 가해지는 힘을 적분한 것과 같다.

Stoke's theorem

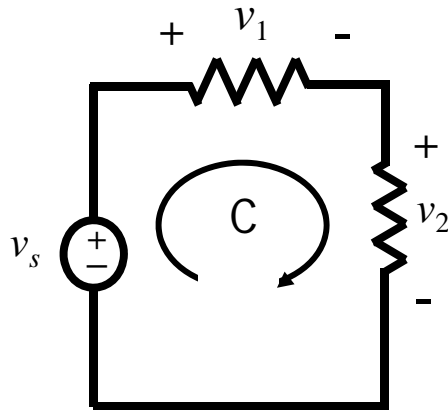
$$\int_S \vec{\nabla} \times \vec{v} \cdot d\vec{S} = \oint_C \vec{v} \cdot d\vec{l}$$

Kirchhoff's Voltage Law (KVL)

- 회로에 가해지는 자계의 시간적인 변화는 없다.

Faraday의 전자 유도 법칙에서 우변이 영.

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0 \Rightarrow \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$



- 회로가 만드는 면을 통과하는 자계의 시간적인 변화가 영이면 회로를 따라서 전계를 적분하면 영이 된다.
- 그런데, 전계가 존재하는 곳은 소자에서만 이므로 회로의 선적분은 소자에서의 전압 강하의 합으로 표현된다.

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \Rightarrow \sum_j v_j = 0$$

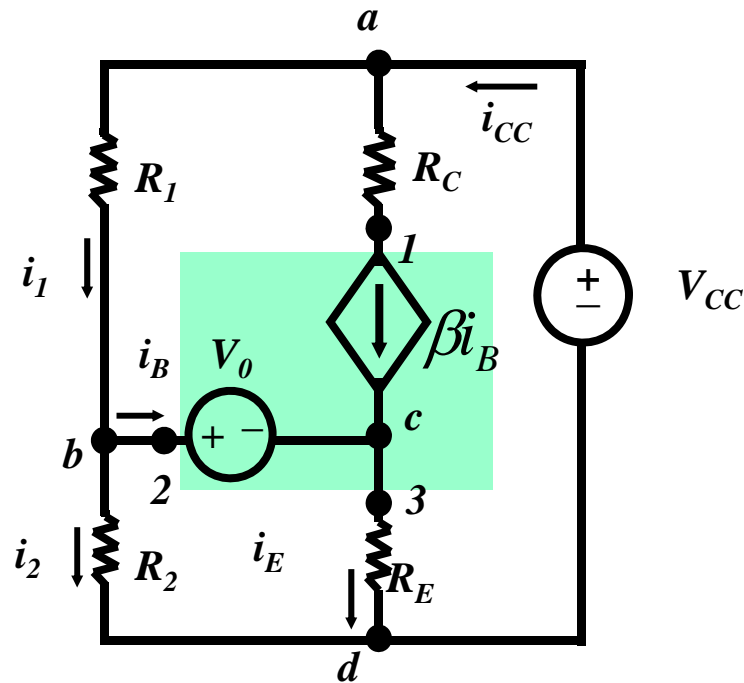
- 회로에서 전계를 선적분할 때, 전압이 떨어지는 것을 양으로 하였다.
- 즉, 전압 강하(Voltage drop)가 양이다. 따라서, 그림의 회로의 경우, 다음과 같이 된다.

$$v_1 + v_2 + (-v_s) = 0$$

회로의 해석 예(KCL, KVL)

Transistor : βi_B , 전류증폭.

V_0 , Transistor의 전압강하.



트랜지스터를 dependent
source로 치환한 회로

$$\text{node a: } (-i_{cc}) + i_1 + i_c = 0$$

$$\text{node b: } (-i_1) + i_2 + i_B = 0$$

$$\text{node c: } (-\beta i_B) + (-i_B) + i_E = 0$$

$$i_c = \beta i_B$$

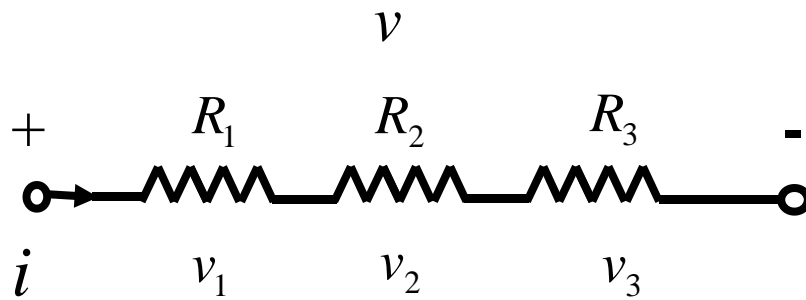
$$\text{closed path (bcdcb): } V_0 + R_E i_E + (-R_2 i_2) = 0$$

$$\text{closed path (badb): } (-R_1 i_1) + V_{cc} + (-R_2 i_2) = 0$$

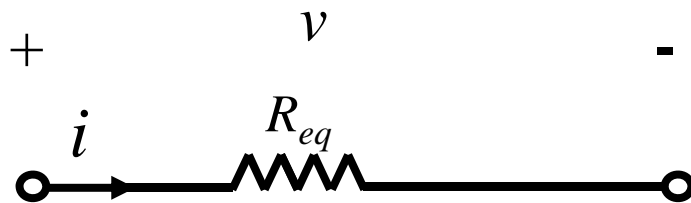
node에서는 KCL,

closed path에서는 KVL을 적용한다.

직렬 저항 회로



$$\begin{aligned} v &= v_1 + v_2 + v_3 \\ &= R_1 i + R_2 i + R_3 i \\ &= (R_1 + R_2 + R_3) i \end{aligned}$$



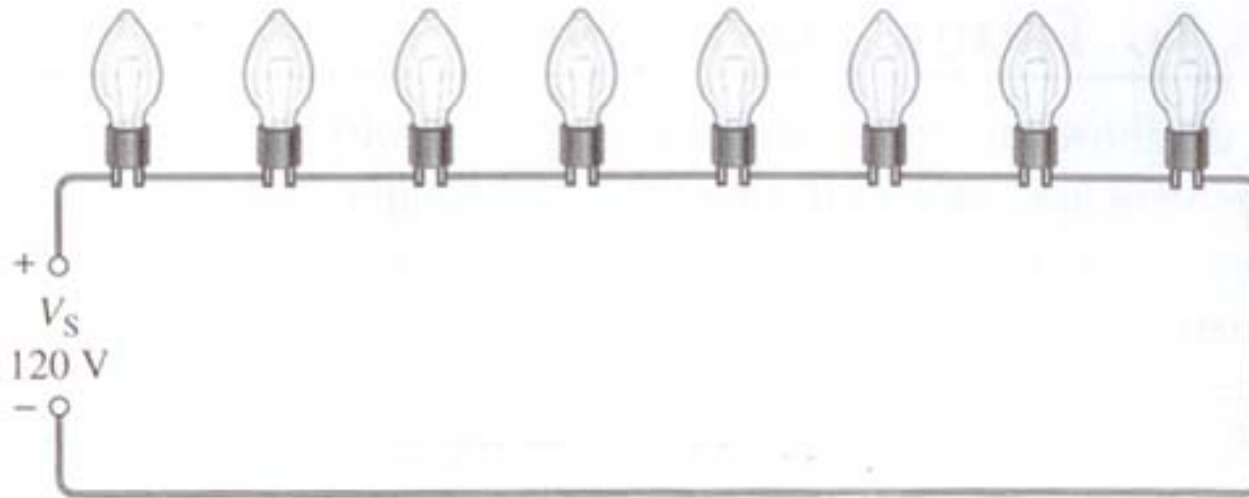
$$\begin{aligned} v &= R_{eq} i \\ \therefore R_{eq} &= R_1 + R_2 + R_3 \end{aligned}$$

Trouble Shooting

- **Trouble shooting** : The application of logical thinking combined with a thorough knowledge of circuit or system operation to correct a malfunction.
- **APM : Analysis, Planning and Measuring**
- **Analysis** : Analyze clues or symptoms of the failures.
 1. 동작한 적이 있는가?
 2. 동작한 적이 있다면 어떤 조건에서 실패했는지?
 3. 실패의 징후는 무엇인지?
 4. 가능성 있는 실패의 원인은 무엇인지?
- **Planning** : Formulate a logical plan of attack.
 - A working knowledge of the circuit is a prerequisite.
 - Take a time to review circuit diagrams (schematics), operating instructions, and other proper information.
- **Measuring** : Narrow the possible failures by making carefully thought out measurements.
 - These measurements usually confirm the direction you are taking in solving the problem, or they may point to a new direction that you should take.

An APM Example

- 전구가 켜지지 않는 경우.
장식용 전구(**12 V**) 8 개가 직렬로 연결되어 있고, **120 V** 를 전원으로 쓰고 있다.
잘 동작하고 있는 전구들을 새로운 장소로 옮겼더니 전구에 불이 들어오지 않았다.
- 어떻게 문제(trouble)을 찾을 것인가?



A string of bulbs connected to a voltage source

Thomas L. Floyd, Electronics Fundamentals: Circuits, Devices and Applications, 7th edition, Prentice Hall, 2007, p. 96, Figure 3.23

Trouble Shooting: Analysis and Planning

- **The Analysis Thought Process**

- 새로 옮긴 장소에 전원이 안 들어오는 경우.
 - 도선을 연결한 것이 헛거워서 빠진 경우.
 - 전구가 타버렸거나 소켓에서 빠진 경우.
- 그런데, 잘 동작한 적이 있기 때문에
- 원래의 회로가 잘 못 연결되었을 경우는 제외
 - 또한 한 곳 이상의 끊김(**break**)이 있을 수는 없다. 예를 들면, 전구가 타거나 잘 못 연결 되는 등으로 인한 끊김.

- **The Planning Thought Process**

1. 새로 옮긴 장소에서 전원 전압을 측정한다.

전압이 영이라면 회로차단기를 점검하고 왜 회로차단기가 동작했는지 생각한다.

2. 전압이 영이 아닌 것으로 측정되면 전선 회로에 문제가 있다.

전등의 저항 또는 전압을 측정한다.

The Planning Thought Process 가 모든 경우를 예상할 수 없으므로 측정을 하면서 그때 그때 수정해야 한다.

Trouble Shooting: Measuring

- The Measuring Process

1. 새로 옮긴 곳의 전원 전압을 측정.

전원 전압이 영이 아니라고 가정.

2. 전류가 영이므로 전구가 탔거나 전구가 소켓에서 빠졌거나 도선이 끊어졌거나 일 것이다.

3. **Multimeter** 로 저항을 측정하면서 사고 지점을 찾는다.

- Half-splitting method

A good resistance reading indicates this part of the circuit is OK.

An infinite resistance reading indicates this part of the circuit is open.

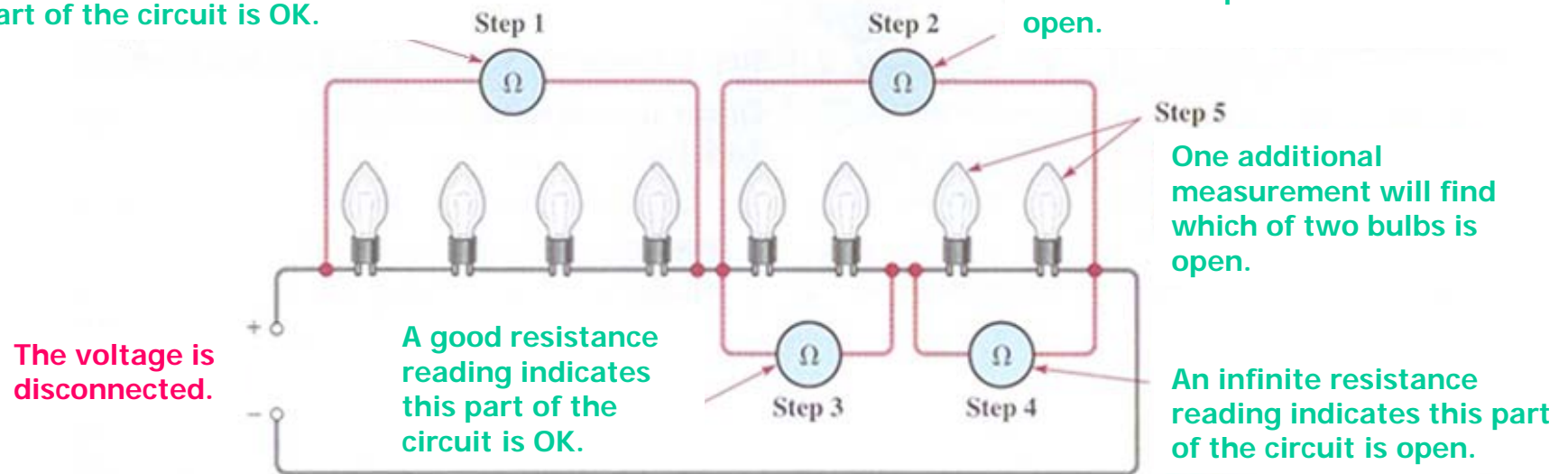


Illustration of the half-splitting method of troubleshooting.

The numbered steps indicate the sequence in which the multimeter is moved from one position to another.

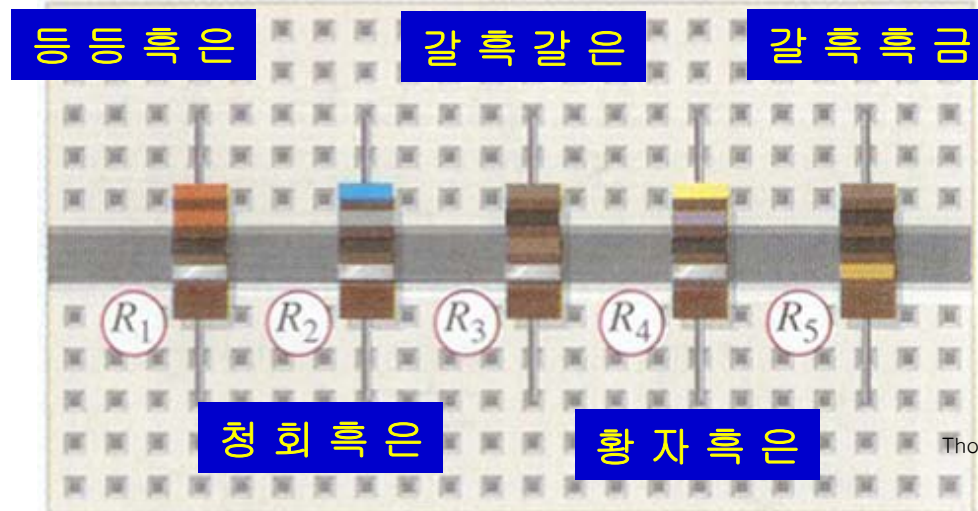
Thomas L. Floyd, Electronics Fundamentals: Circuits, Devices and Applications, 7th edition, Prentice Hall, 2007, p. 97, Figure 3.24

Series Resistors in Protoboard (I)



- **Protoboard** 에서 모든 저항들이 직렬로 연결되도록 배선하라.
- 그리고 총 저항 값은 얼마인가?

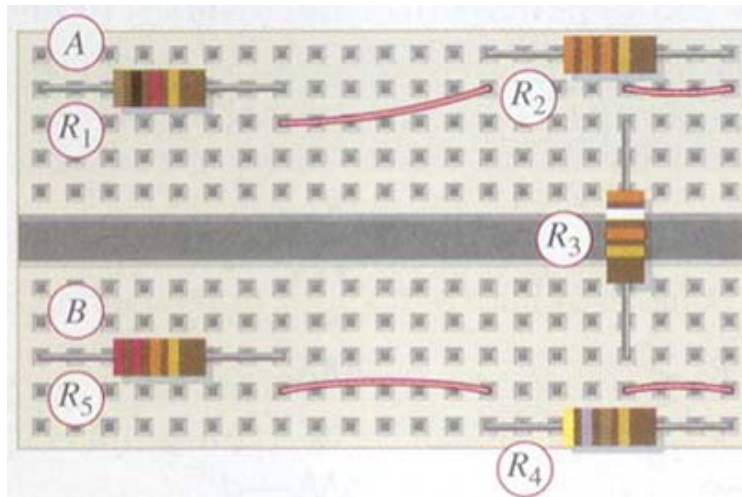
Thomas L. Floyd, Electronics Fundamentals: Circuits, Devices and Applications, 7th edition, Prentice Hall, 2007, p. 113, Figure 4.3



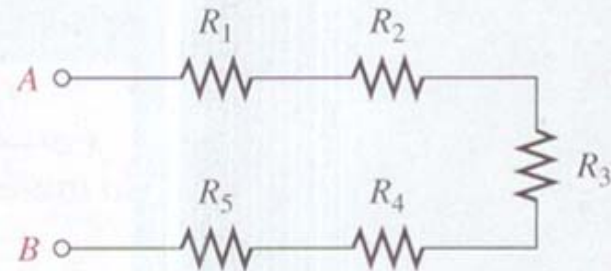
- **Protoboard** 에서 모든 저항들이 직렬로 연결되도록 배선하라.
- 그리고 총 저항 값은 얼마인가?

Thomas L. Floyd, Electronics Fundamentals: Circuits, Devices and Applications, 7th edition, Prentice Hall, 2007, p. 116, Figure 4.9

Series Resistors in Protoboard (II)

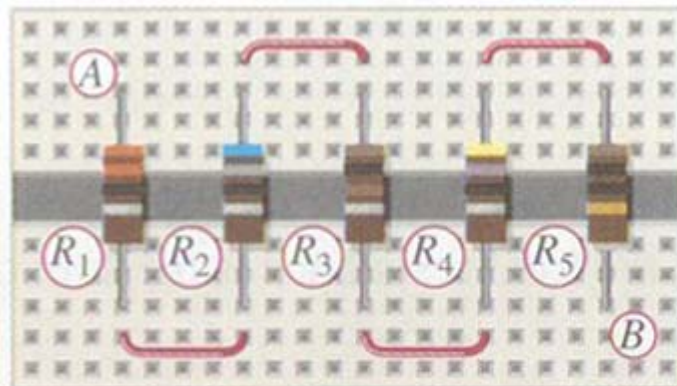


(a) Assembly diagram

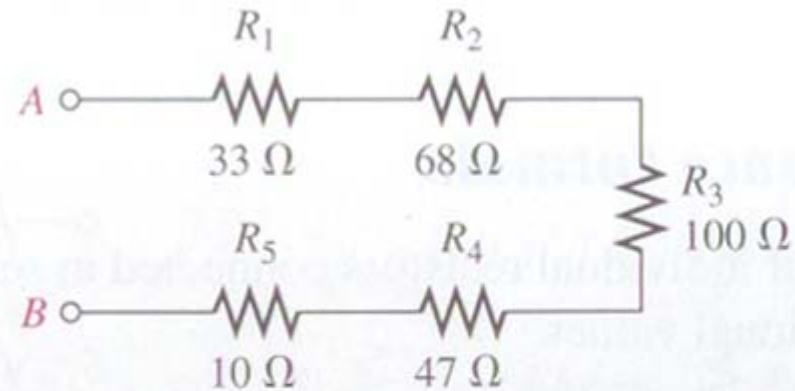


(b) Schematic

Thomas L. Floyd, Electronics Fundamentals: Circuits, Devices and Applications, 7th edition, Prentice Hall, 2007, p. 113, Figure 4.4



(a) Circuit assembly

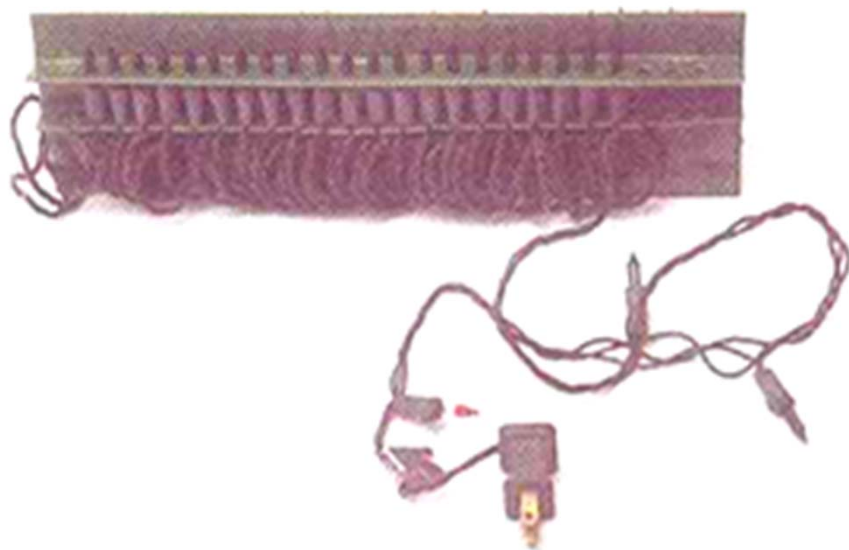


(b) Schematic

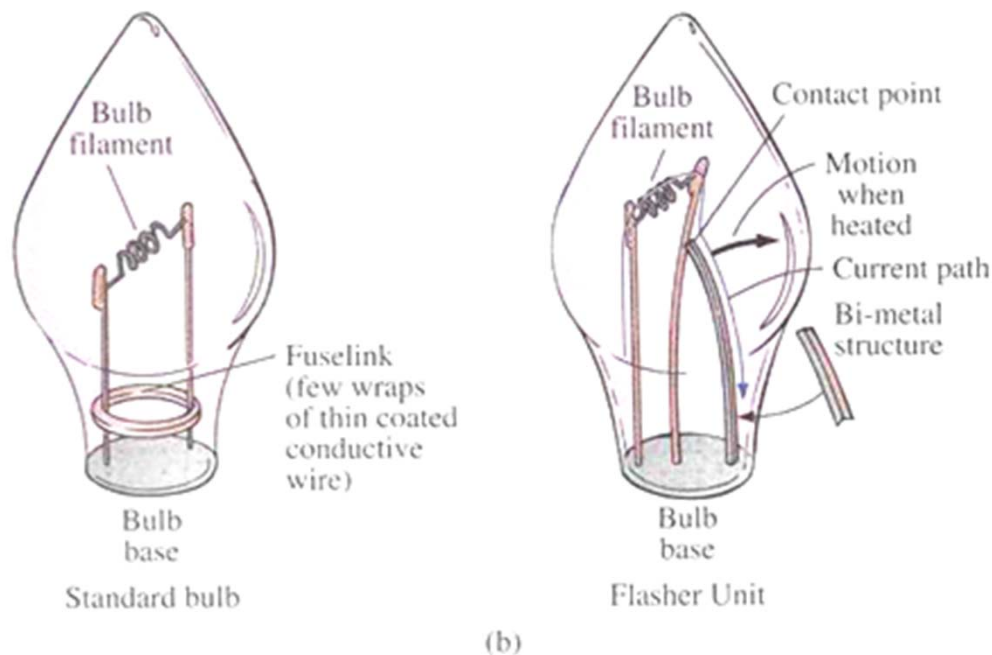
Thomas L. Floyd, Electronics Fundamentals: Circuits, Devices and Applications, 7th edition, Prentice Hall, 2007, p. 116, Figure 4.10

Holiday Lights – Series Circuits (I)

- Bulb 정격 : 2.5 V at 0.2 A
- 50 개가 직렬로 연결.
- $50 \times 2.5 \text{ V} = 125 \text{ V}$.
- 소모전력 $50 \times 2.5 \times 0.2 = 25 \text{ W}$
- 전구(그림 (b) flasher unit)가 반짝이는(켜졌다 꺼졌다 하는) 원리를 그림을 보고 설명해 볼 것.



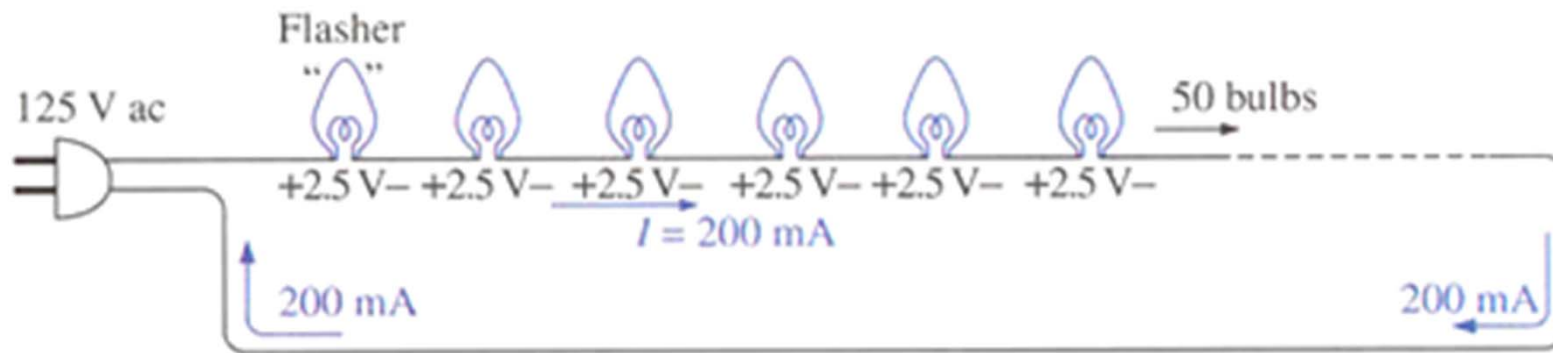
- 직렬로 연결된 전구 중 하나의 전구의 filament 가 끊어졌을 때 직렬로 연결된 모든 전구를 사용할 수 없다. 그러나, 그림의 전구 (a) 와 (b) 를 사용하면 다시 전류를 흐르게 할 수 있다. 그 원리는?



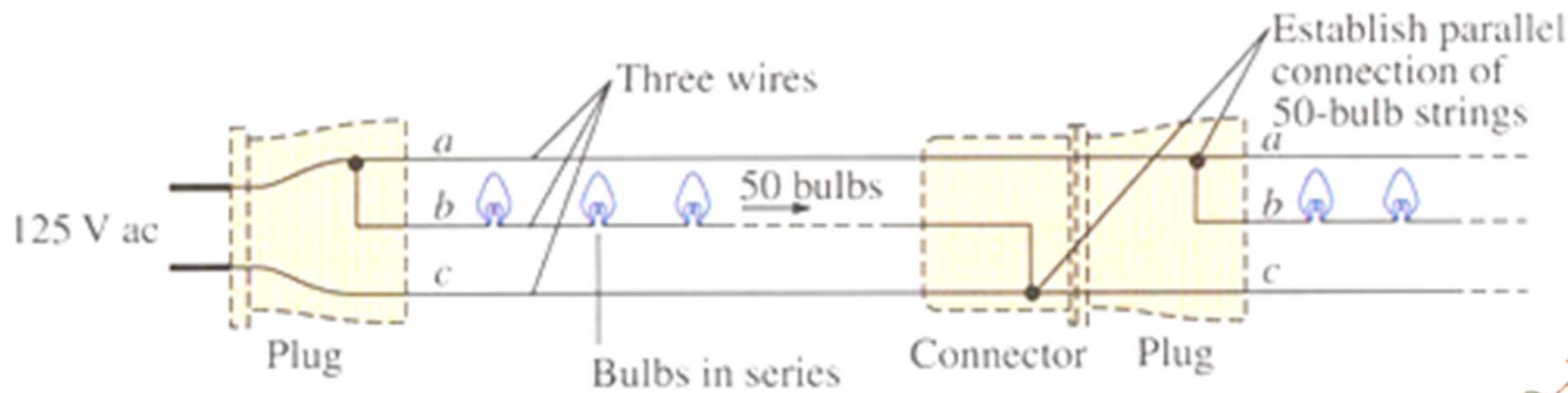
Holiday lights: (a) 50 unit set; (b) bulb construction

Robert L. Boylestad, Introductory Circuit Analysis, 10th edition, Prentice Hall, 2002, p. 151, Figure 5.62

Holiday Lights – Series Circuits (II)



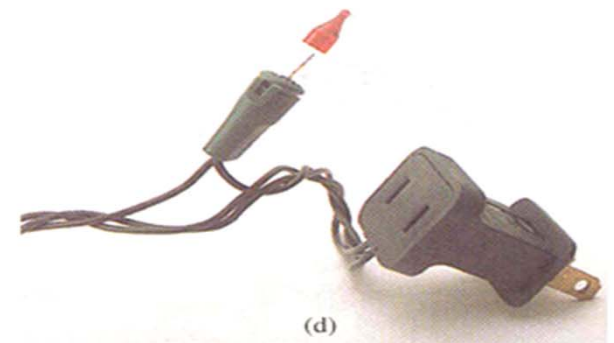
(a)



(b)

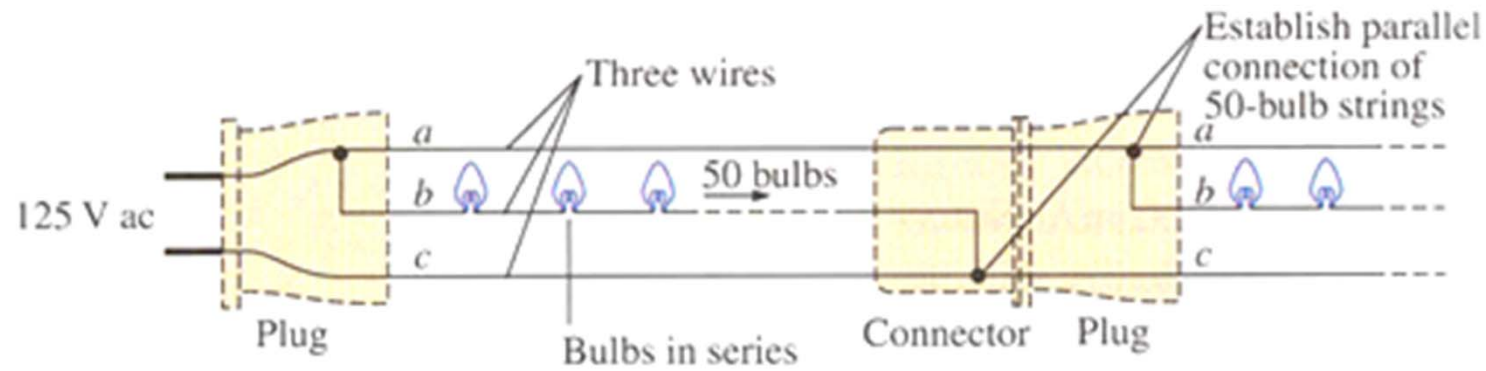
(a) Single-set wiring diagram; (b) special wiring arrangement;
(c) redrawn schematic; (d) special plug and flasher unit

Robert L. Boylestad, Introductory Circuit Analysis, 10th edition, Prentice Hall, 2002, p. 152, Figure 5.63

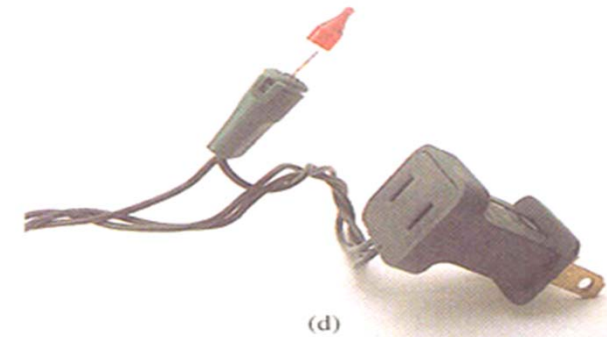
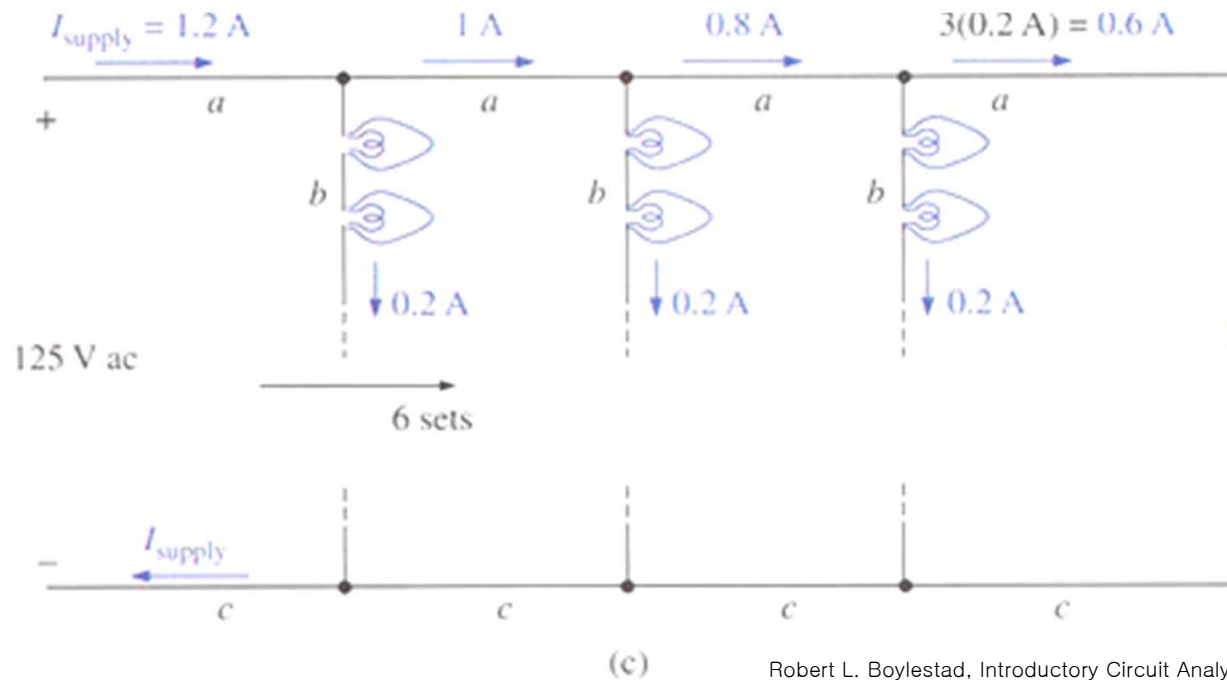


(d)

Holiday Lights – Series Circuits (III)



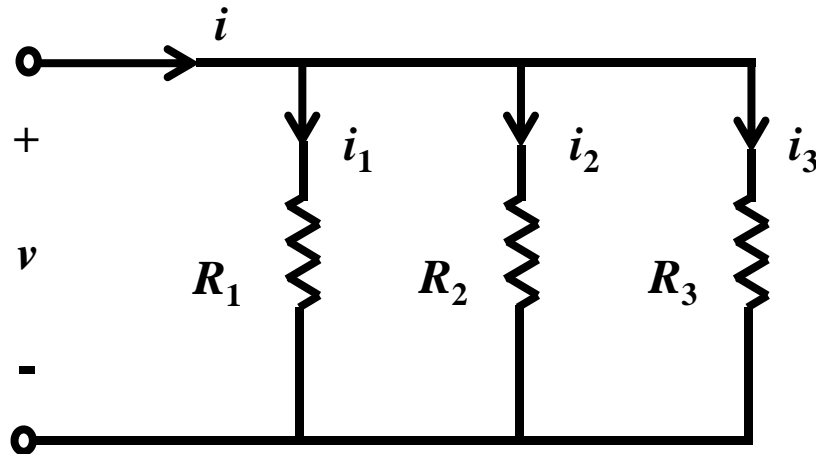
(b)



- (b) special wiring arrangement;
- (c) redrawn schematic;
- (d) special plug and flasher unit

Robert L. Boylestad, Introductory Circuit Analysis, 10th edition, Prentice Hall, 2002, p. 152, Figure 5.63

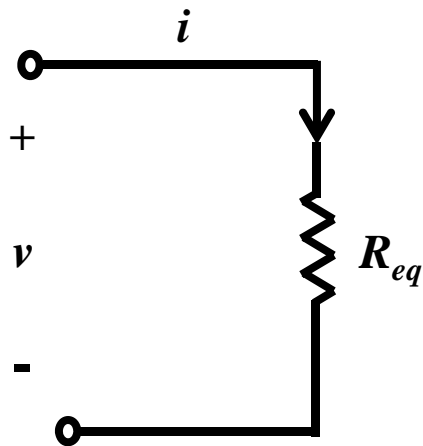
병렬 저항 회로



$$v = R_1 i_1 = R_2 i_2 = R_3 i_3$$

$$i_1 = \frac{v}{R_1}, \quad i_2 = \frac{v}{R_2}, \quad i_3 = \frac{v}{R_3}$$

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$
$$= \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) v$$



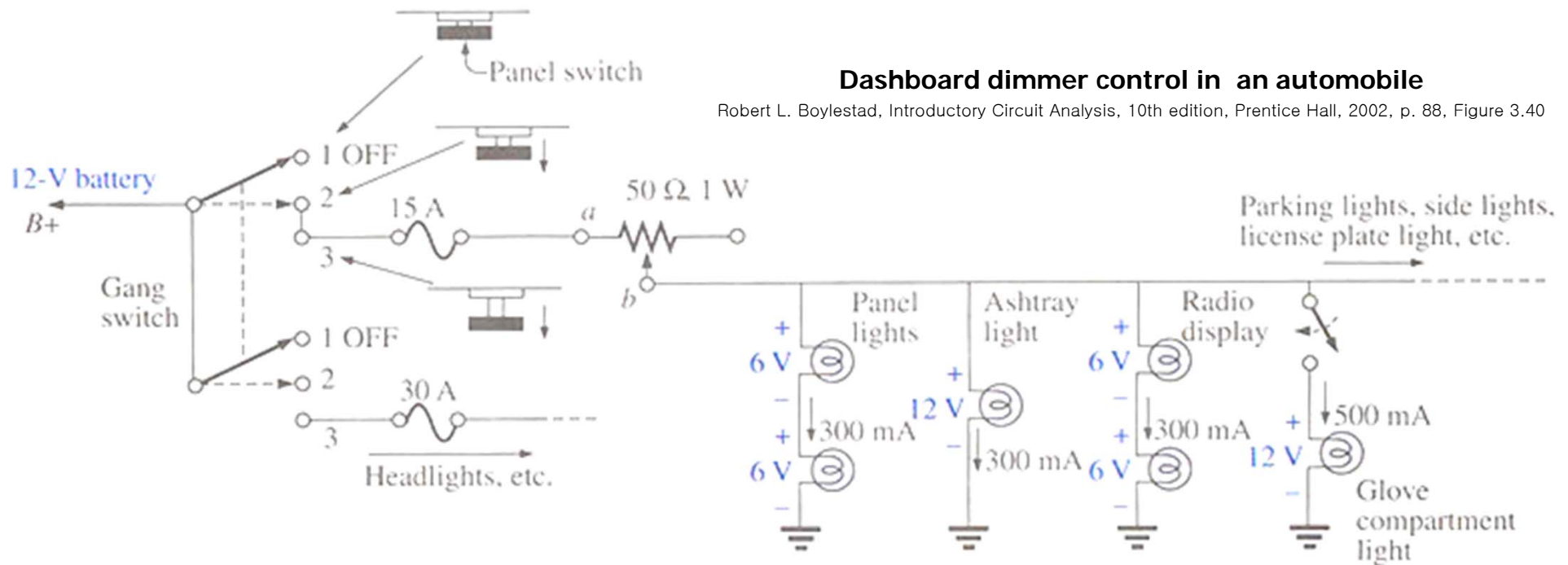
$$v = R_{eq} i, \quad i = \frac{v}{R_{eq}}$$

$$\therefore \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$G_{eq} = G_1 + G_2 + G_3$$

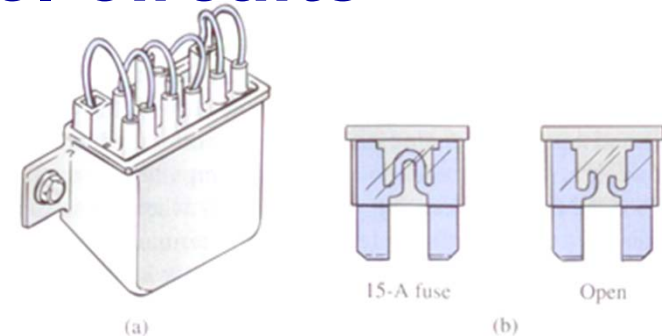
Dimmer Control in Automobile – Parallel Circuits

- 누름 스위치를 누르면 켜진다.
- 이 스위치는 $50\ \Omega$ rheostat와 dashboard의 여러 조명으로 연결된다.
- Rheostat의 위치를 a 에서 뒤로 움직이면 저항이 커지면서 전류가 작아지고 조명이 어두워진다.
- Panel light 는 큰 (12 V) bulb를 사용하지 않고, 두 개의 작은 (6 V) bulb 를 사용했다.
 - 이유: panel의 특정한 위치에 부드럽고, 균일한 조명을 발생한다.
- 12 V bulb 의 저항 = $12\text{ V} / 300\text{ mA} = 40\ \Omega$.
- 6 V bulb 의 저항 = $6\text{ V} / 300\text{ mA} = 20\ \Omega$.



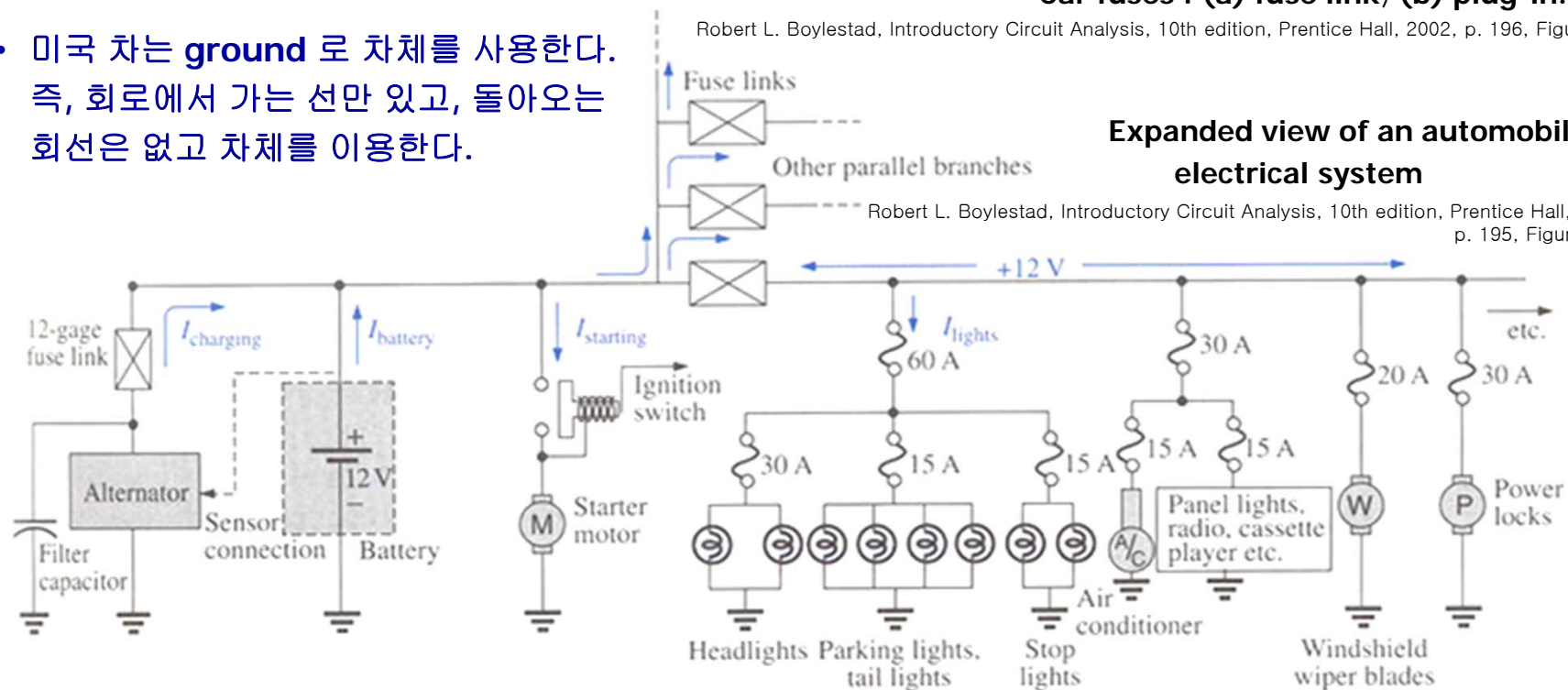
Car System – Parallel Circuits

- 자동차의 전기 시스템은 직류 시스템.
- 시동을 걸 때, **500 A** 이상의 대전류가 **starter motor**로 흐른다.
- **Battery** 정격전류는 **700 ~ 1,000 A** 정도이다.
- **Fuse link** : **100 A** 이상의 전류가 흐르면 개방(**open**)된다.
- **Fuse** : 각 소자의 전류를 제한한다.
- 미국 차는 **ground** 로 차체를 사용한다.
즉, 회로에서 가는 선만 있고, 돌아오는 회선은 없고 차체를 이용한다.



Car fuses : (a) fuse link; (b) plug-in.

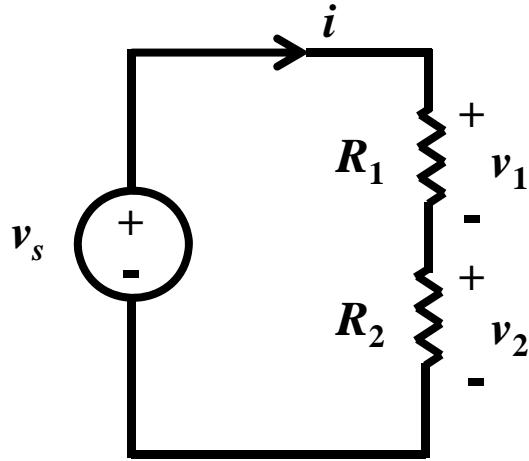
Robert L. Boylestad, Introductory Circuit Analysis, 10th edition, Prentice Hall, 2002, p. 196, Figure 6.61



Expanded view of an automobile's electrical system

Robert L. Boylestad, Introductory Circuit Analysis, 10th edition, Prentice Hall, 2002, p. 195, Figure 6.60

분압(分壓) 회로



$$v_s = R_1 i + R_2 i$$

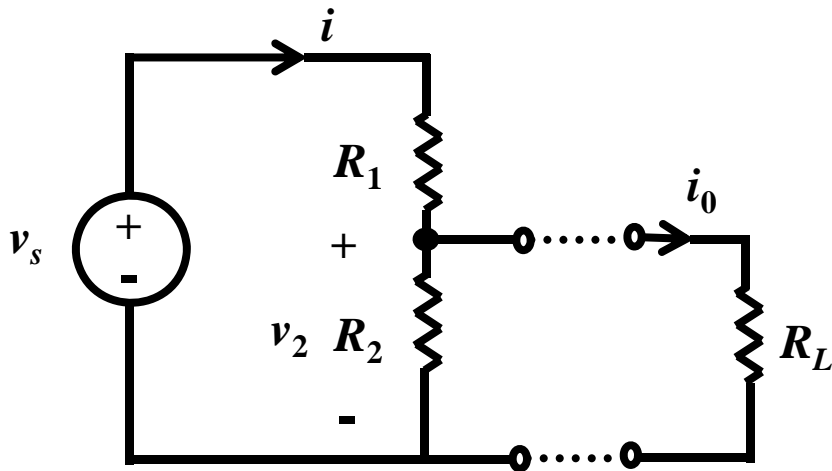
$$v_2 = R_2 i = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_s$$

$$v_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_s, \quad v_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_s$$

따라서, 전압은 저항의 비율로 나뉘어진다.

R_L 을 연결하기 전에는

$$v_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_s$$



R_L 을 연결 후 $v_2 = ?$

$R_2 \rightarrow R_2$ 와 R_L 이 병렬 연결.

$$R_{eq} = \frac{R_2 R_L}{R_2 + R_L}$$

$$v_2 = \frac{R_{eq}}{R_{eq} + R_1} v_s, \quad R_L \rightarrow \infty \text{이면 } R_{eq} = R_2$$

Voltmeter – Loading Effect

- 10 kΩ의 저항과 voltmeter를 병렬로 연결하면 등가 저항은 ?

Voltmeter로는 DMM (11 MΩ)과 VOM(50 kΩ on 2.5 V scale)을 각각 이용하라.

DMM

$$R_T = 10 \text{ k}\Omega // 11 \text{ M}\Omega = 9.99 \text{ k}\Omega$$

VOM

$$R_T = 10 \text{ k}\Omega // 50 \text{ k}\Omega = 8.33 \text{ k}\Omega$$

- VOM은 ohm / volt rating으로 등급 지워진다.

이것은 전압계가 병렬로 연결될 때 병렬로 연결되는 저항 값을 나타낸다.

예를 들어, 20,000 Ω/V의 VOM으로 측정할 때 전압의 측정 범위에 따라 삽입 저항이 바뀐다.

$$2.5 \text{ V scale: } 2.5 \text{ V} \times 20,000 \text{ }\Omega/\text{V} = 50 \text{ k}\Omega$$

$$100 \text{ V scale: } 100 \text{ V} \times 20,000 \text{ }\Omega/\text{V} = 2 \text{ M}\Omega$$

$$250 \text{ V scale: } 250 \text{ V} \times 20,000 \text{ }\Omega/\text{V} = 5 \text{ M}\Omega$$

Voltmeter – Ohm/Volt Rating

- 그림의 전압을 측정하라.

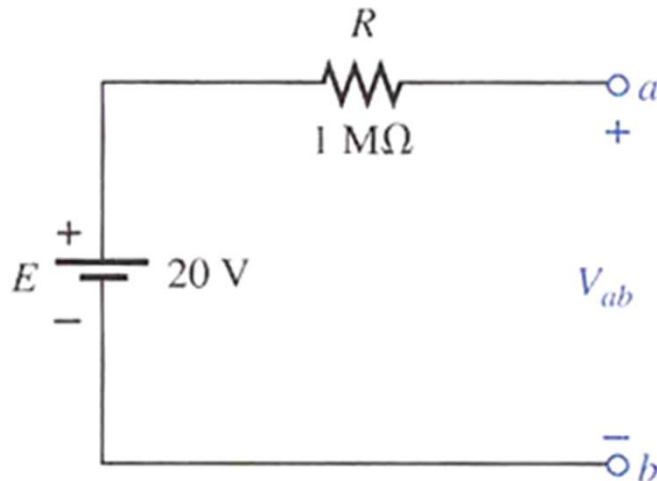
Voltmeter 로는 **DMM** (내부저항 $11\text{ M}\Omega$)과 **VOM** ($20,000\ \Omega / \text{V}$) 을 각각 이용하여 측정하라.

(a) 개방시 단자 간 전압은?

(b) 내부 저항이 $11\text{ M}\Omega$ 인 **DMM** 으로 측정하면 전압은?

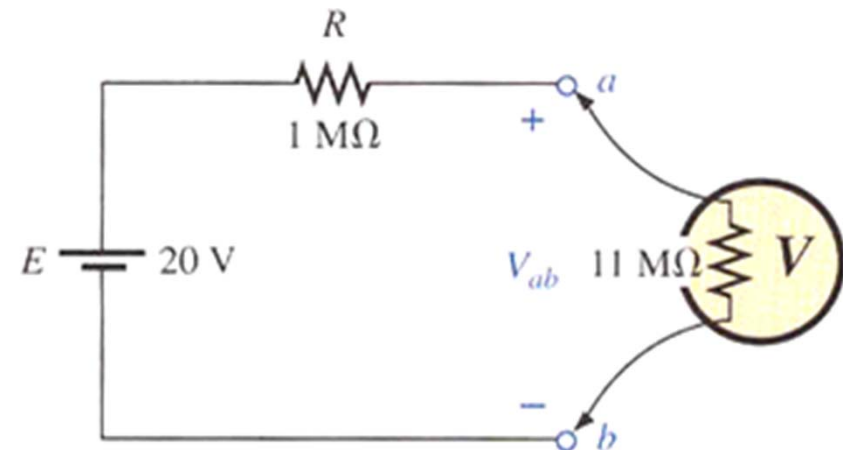
(c) **VOM** ($20,000\ \Omega / \text{V}$) 으로 측정하면 전압은?

Scale을 20 V 와 100 V 로 해서 각각 측정해보라.



Example 6.26

Robert L. Boylestad, Introductory Circuit Analysis, 10th edition,
Prentice Hall, 2002, p. 192, Figure 6.55

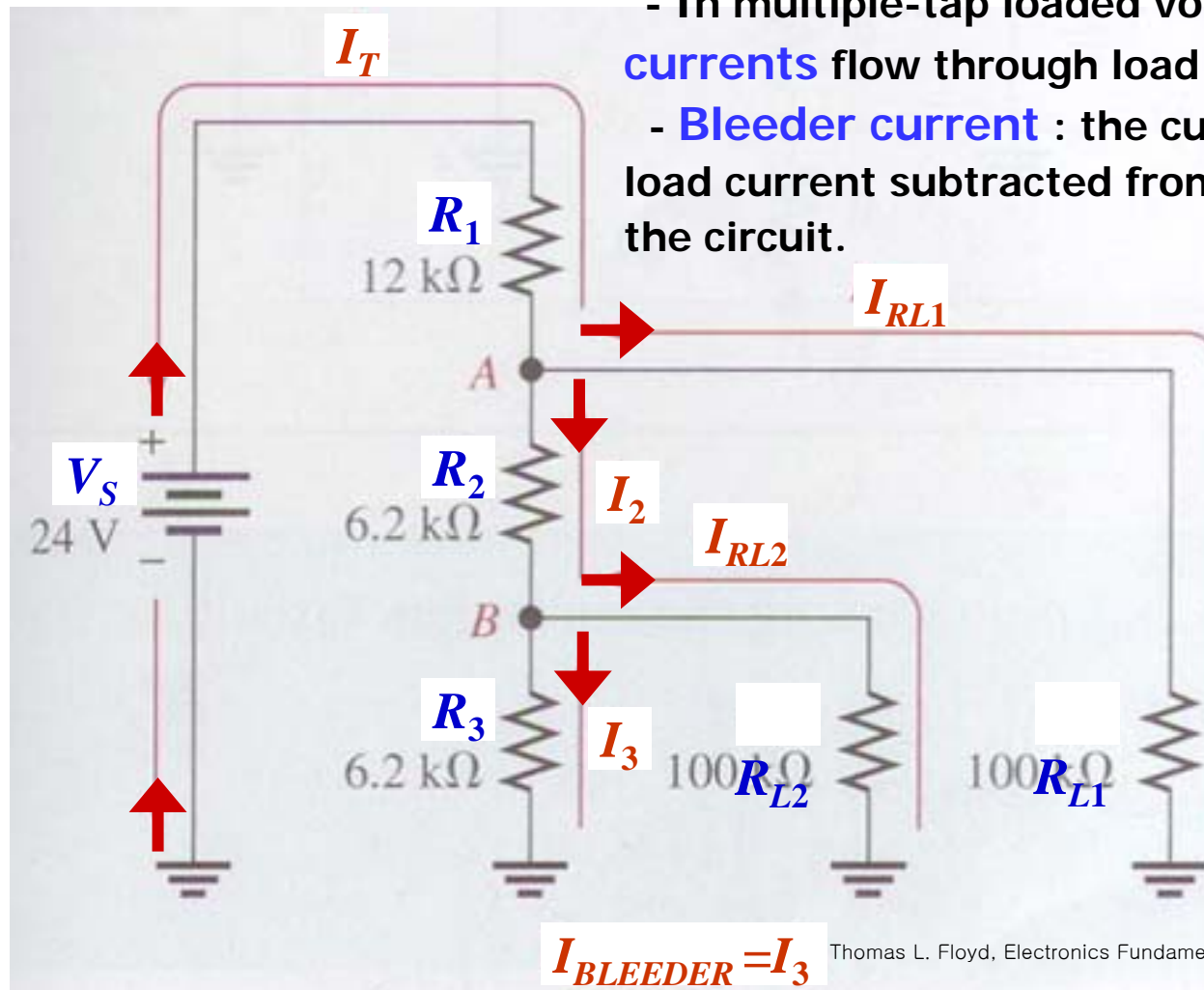


Applying a DMM to the circuit of Fig 6.55

Robert L. Boylestad, Introductory Circuit Analysis, 10th edition,
Prentice Hall, 2002, p. 192, Figure 6.56

Voltage Dividers with Resistive Loads (I)

- Load current and bleeder current
 - In multiple-tap loaded voltage circuit, **load currents** flow through load resistors.
 - **Bleeder current** : the current left after the total load current subtracted from the total current in the circuit.



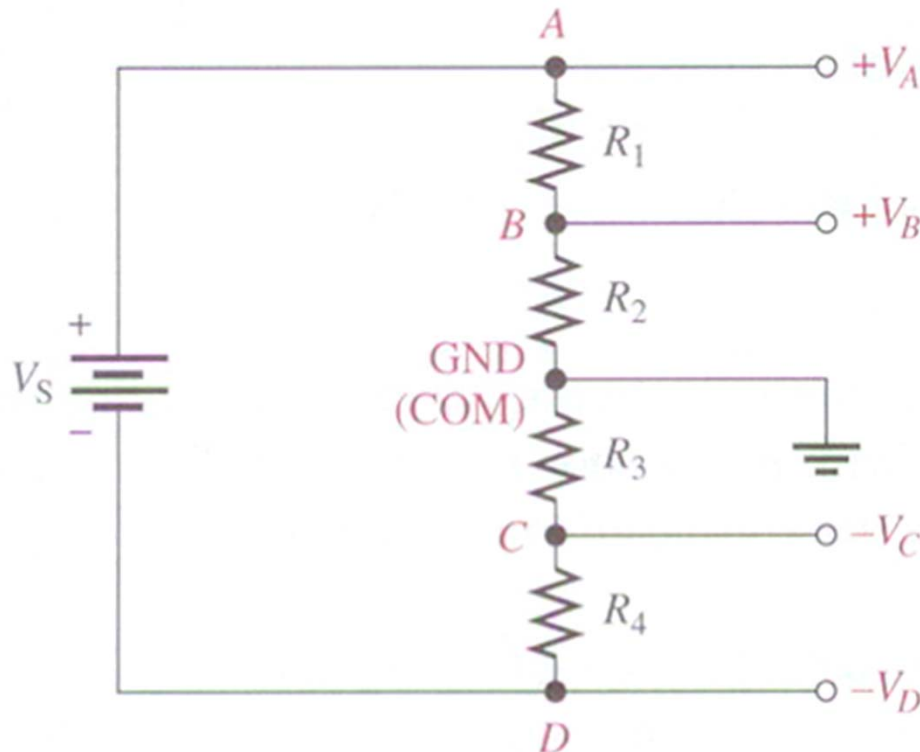
Currents in a two-tap loaded voltage divider.

Thomas L. Floyd, Electronics Fundamentals: Circuits, Devices and Applications, 7th edition, Prentice Hall, 2007, p. 229, Figure 6.30

Voltage Dividers with Resistive Loads (II)

- **Bipolar voltage dividers**

- Both positive and negative voltages from a single source.
- Neither the positive nor the negative terminal of the source is connected to reference ground or common.
- V_A, V_B : positive, V_C, V_D : negative

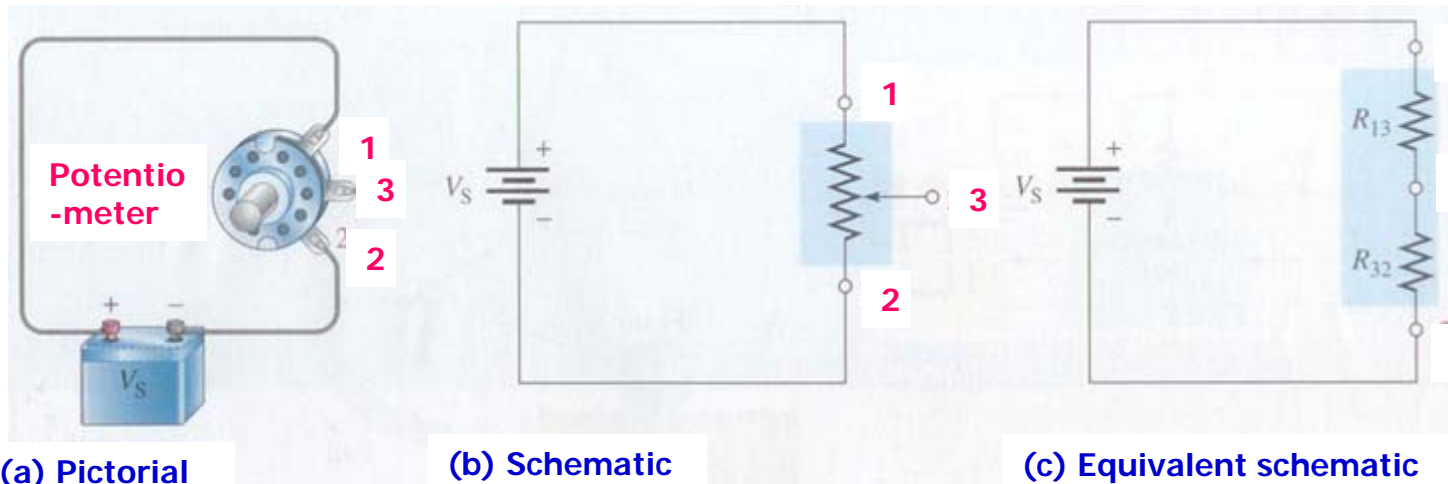


A bipolar voltage divider. The positive and negative voltages are with respect to ground.

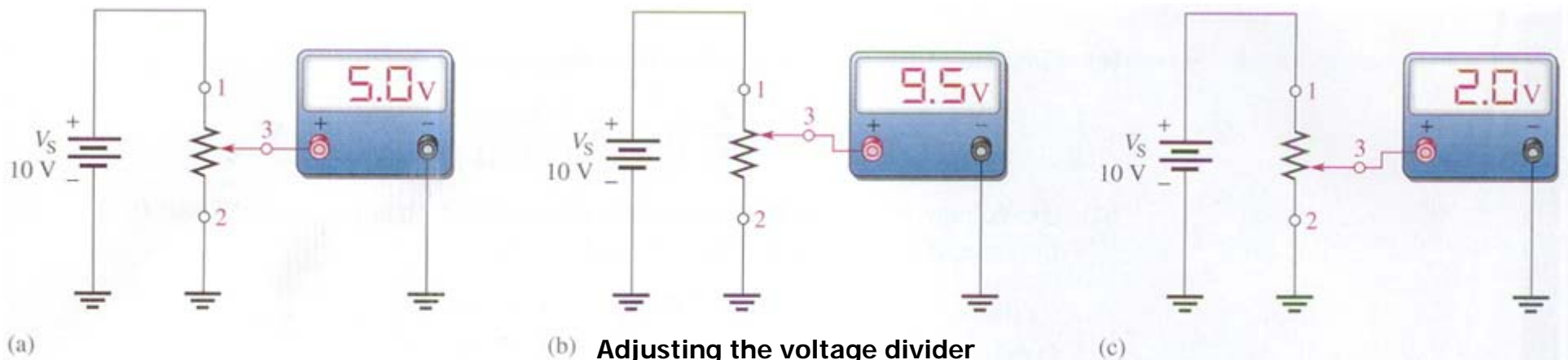
Thomas L. Floyd, Electronics Fundamentals: Circuits, Devices and Applications, 7th edition, Prentice Hall, 2007, p. 231, Figure 6.32

Potentiometer as Adjustable Voltage Divider

- The adjustable terminal or wiper is labeled 3.
- R_{13} (resistance between terminal 1 and terminal 3) is one part, and
- R_{32} (resistance between terminal 3 and terminal 2) is the other part.



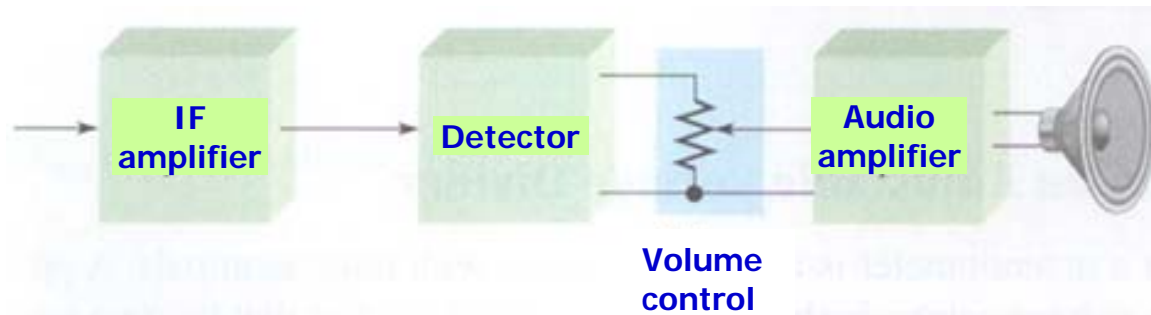
The potentiometer used as a voltage divider.
Floyd 책 135쪽 그림 4.43



Thomas L. Floyd, Electronics Fundamentals: Circuits, Devices and Applications, 7th edition, Prentice Hall, 2007, p. 136, Figure 4.44

Applications of Potentiometer (I)

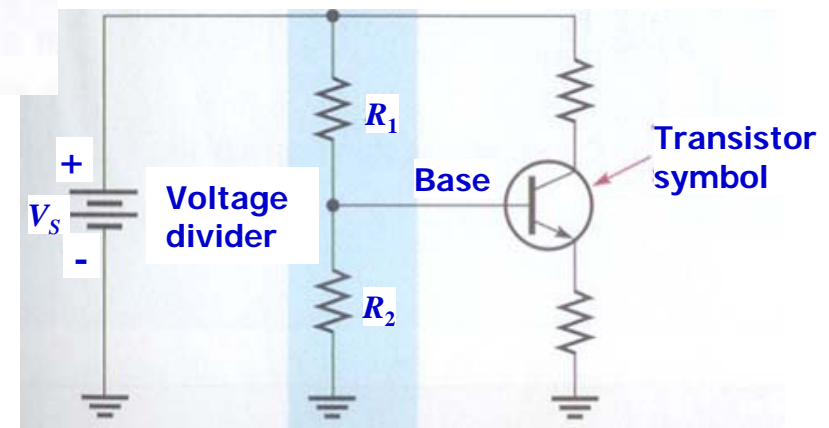
- **Volume control of radio receiver**
 - Since the loudness of sound is dependent on the amount of voltage associated with audio signal, you can increase or decrease the volume by adjusting the potentiometer, that is, turning the knob of the volume control on the set.



A variable voltage divider used for volume control in a radio receiver.

Thomas L. Floyd, Electronics Fundamentals: Circuits, Devices and Applications, 7th edition, Prentice Hall, 2007, p. 136, Figure 4.45

- **Transistor amplifier**
 - Another application for voltage divider is in setting the dc operating voltage (bias) in transistor amplifiers.



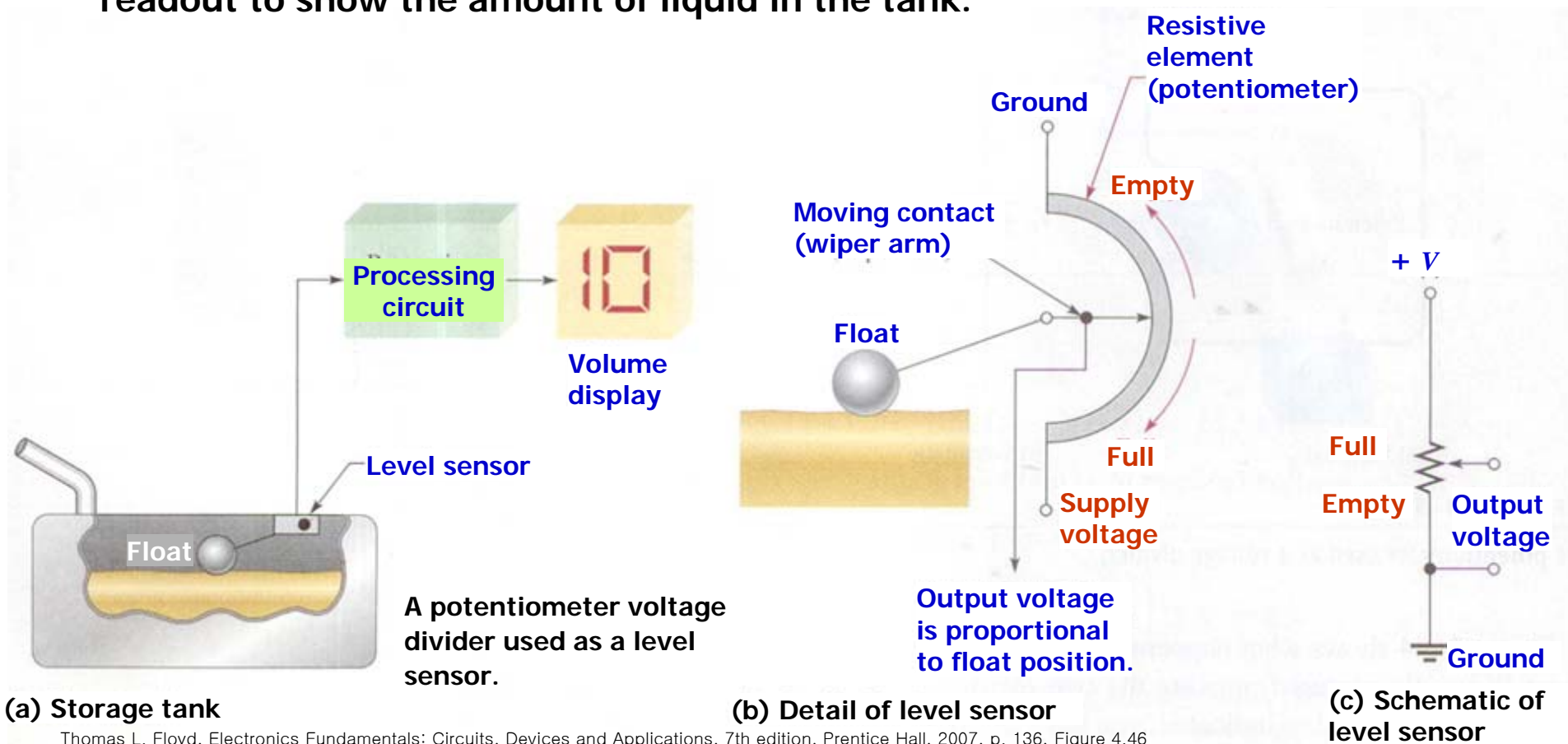
The voltage divider used as a bias circuit for a transistor amplifier.

Thomas L. Floyd, Electronics Fundamentals: Circuits, Devices and Applications, 7th edition, Prentice Hall, 2007, p. 136, Figure 4.47

Applications of Potentiometer (II)

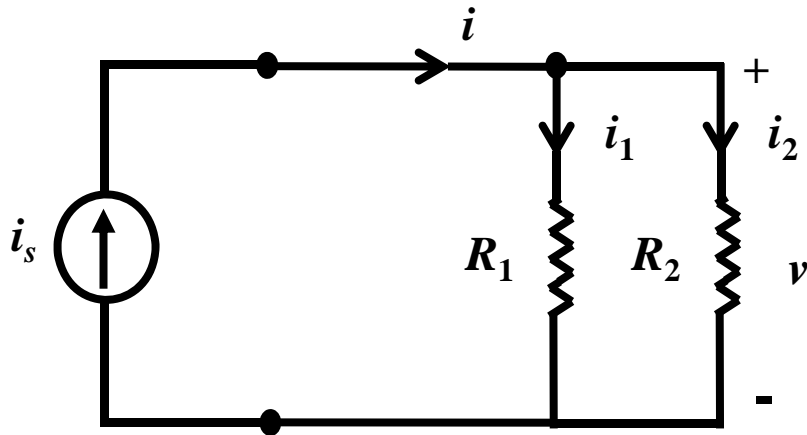
- **Level sensor in a storage tank**

- The output voltage varies proportionally with the position on the wiper arm.
- The output voltage goes to the indicator circuitry, which controls a digital readout to show the amount of liquid in the tank.



Thomas L. Floyd, Electronics Fundamentals: Circuits, Devices and Applications, 7th edition, Prentice Hall, 2007, p. 136, Figure 4.46

분류(分流) 회로



$$v = i_1 R_1 = i_2 R_2$$

$$\begin{aligned} i_s = i &= i_1 + i_2 = G_1 v + G_2 v \\ &= (G_1 + G_2) v \end{aligned}$$

여기서 $G_1 = 1/R_1$, $G_2 = 1/R_2$

따라서, i_s 는 병렬회로 R_1 과 R_2 로 나누어져 흐른다.

$$i_2 = \frac{v}{R_2} = G_2 \cdot \frac{i_s}{(G_1 + G_2)} = \frac{G_2}{G_1 + G_2} \cdot i_s \quad i_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} \cdot i_s$$

Circuit Elements - Independent Sources

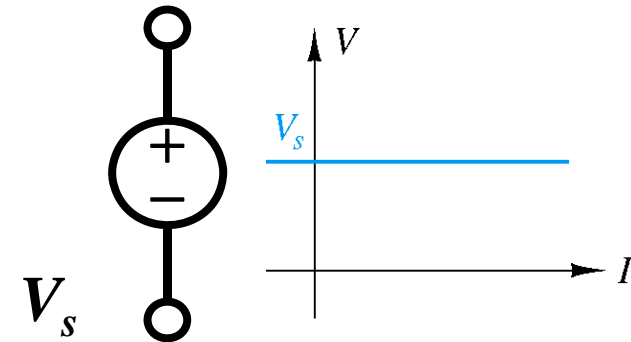
- Voltage and current sources

Source : non-electric energy 를 electric energy로 변환.

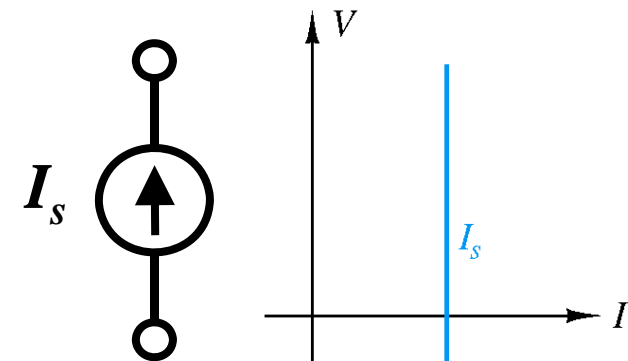
independent : 회로내의 전류와 전압에 관계없이 불변.

dependent : 회로내의 전류와 전압에 따라 변화.

- **Ideal independent voltage source** : 전압원 내의 전류 값에 관계없이 지시된 전압 v_s 를 유지.



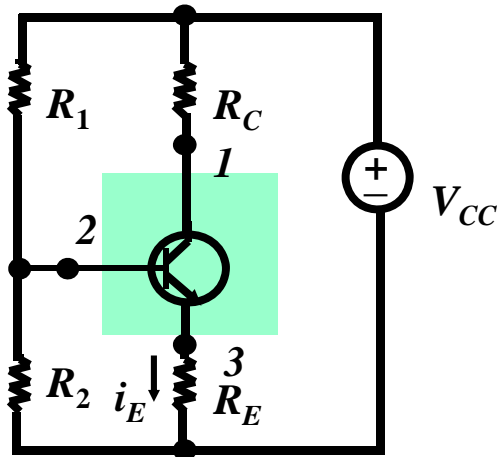
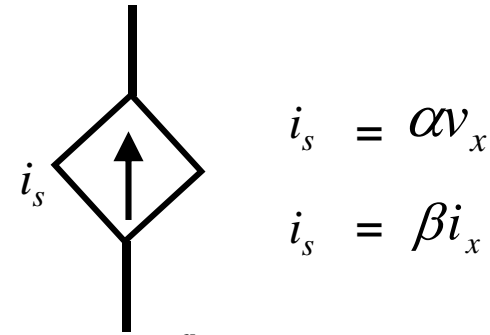
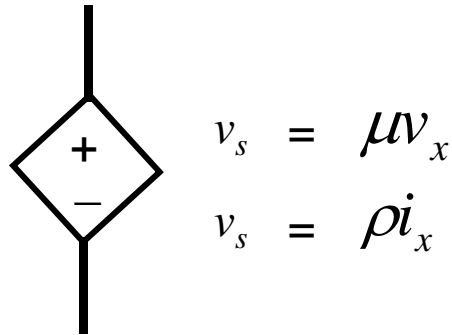
- **Ideal independent current source** : 전류원 내의 전압 값에 관계없이 지시된 전류 i_s 를 유지.



Circuit Elements - Dependent Sources

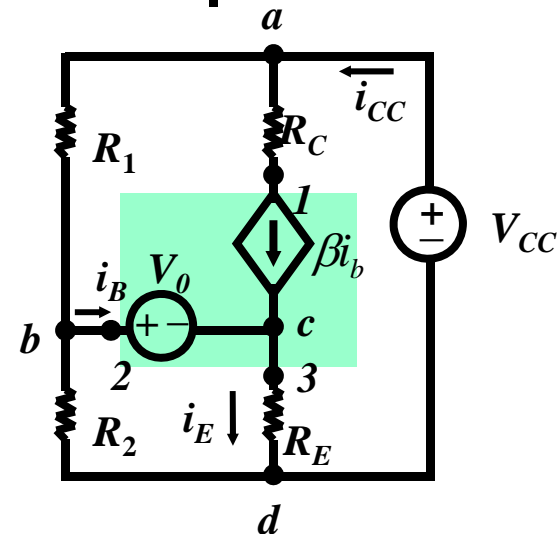
- Ideal dependent voltage and current sources.

회로의 다른 곳의 전압 또는 전류 (v_x , i_x)에 의해서 변화.



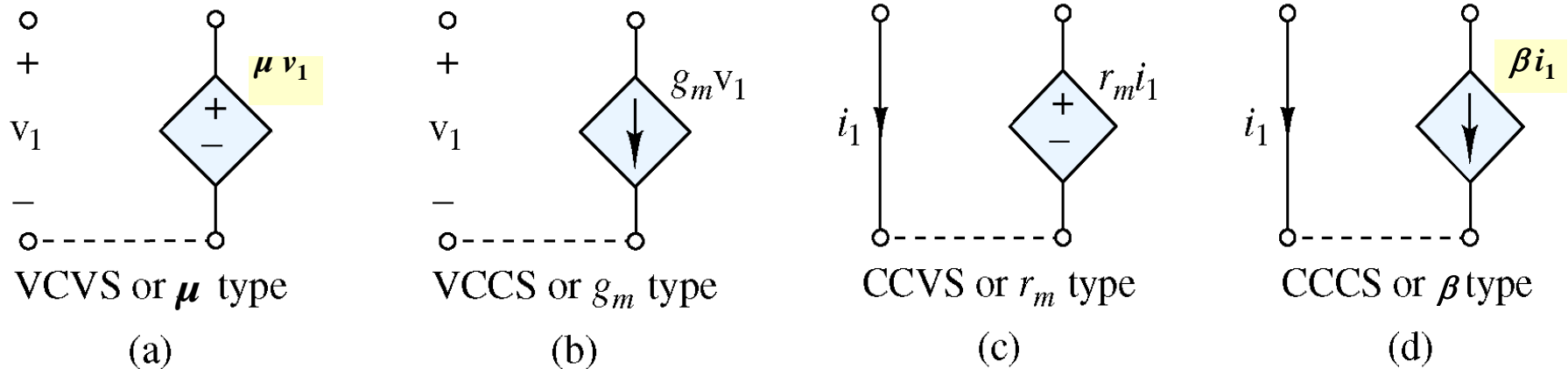
트랜지스터 증폭회로

\Rightarrow



트랜지스터를 dependent source로 치환한 회로

Dependent Sources



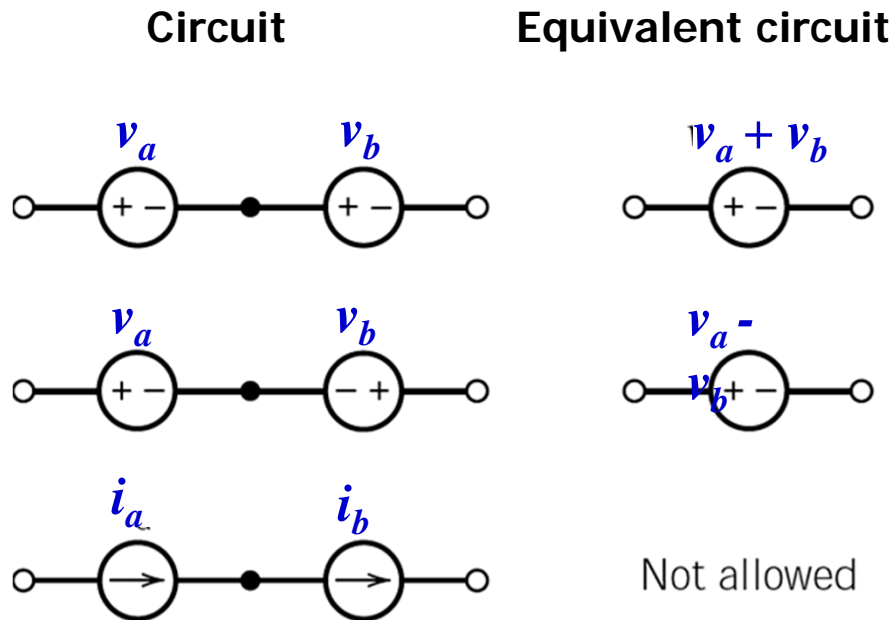
Raymond A. DeCarlo and Pen-Min Lin, Linear Circuit Analysis, 7th edition, Oxford University Press, New York, 2001, p. 63

Figure 2.29 Designations for the various controlled sources.

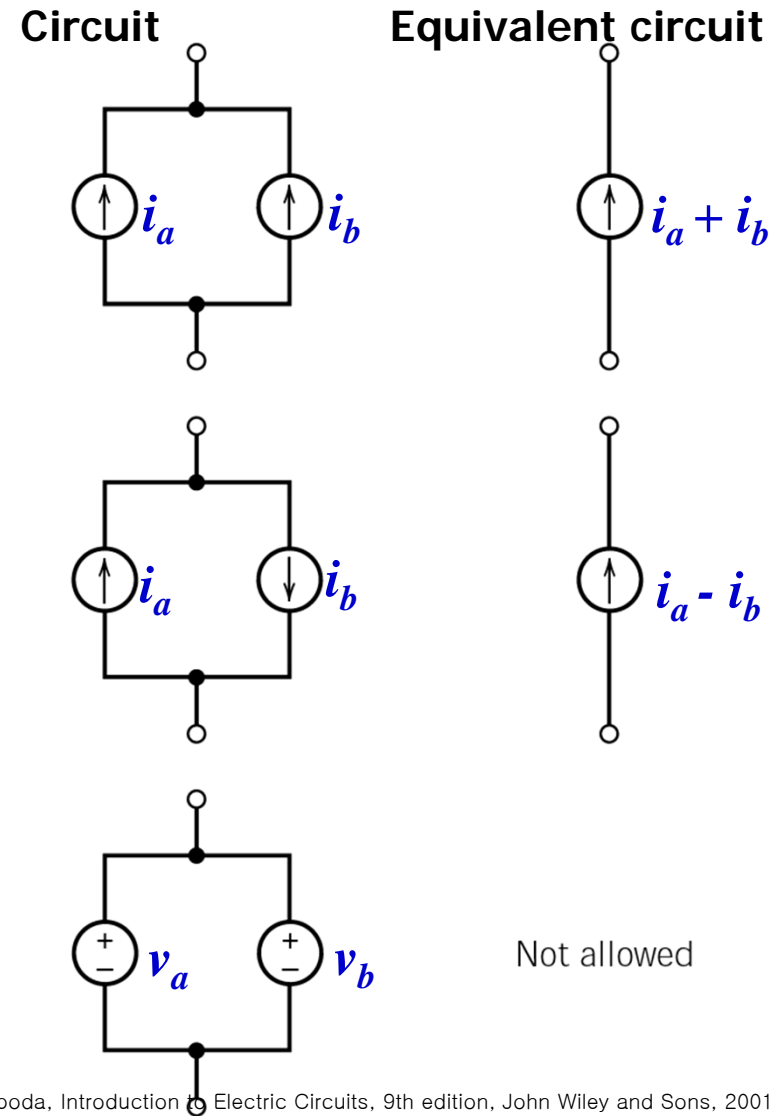
type	parameter	unit	appellation
VCVS	μ	dimensionless	voltage gain
VCCS	g_m	Siemens	transfer conductance
CCVS	r_m	Ohm	transfer resistance
CCCS	β	dimensionless	current gain

- Dependent source : potential of generating power \Rightarrow **Active** element

직렬 전압원과 병렬 전류원



- 직렬 전압원과 병렬 전류원은 가능.
- 직렬 전류원과 병렬 전압원은 불가능.



Richard C. Dorf and James A. Svoboda, Introduction to Electric Circuits, 9th edition, John Wiley and Sons, 2001, p. 73

Ideal Independent Sources

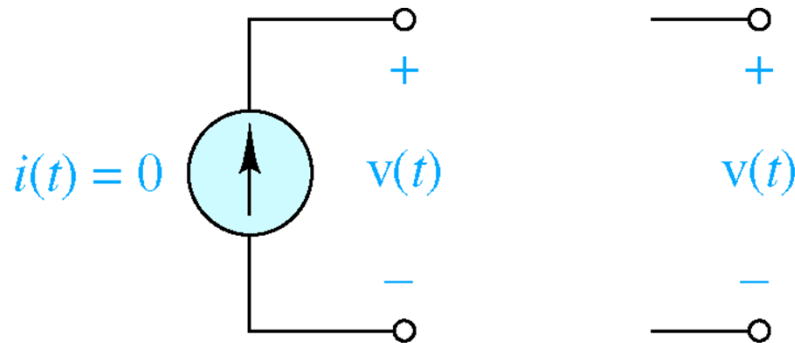


Figure 2.7 Ideal current source with $i(t) = 0$ is an open circuit.

Raymond A. DeCarlo and Pen-Min Lin, Linear Circuit Analysis, 7th edition, Oxford University Press, New York, 2001, p. 47

전류원의 내부 저항은 무한대.

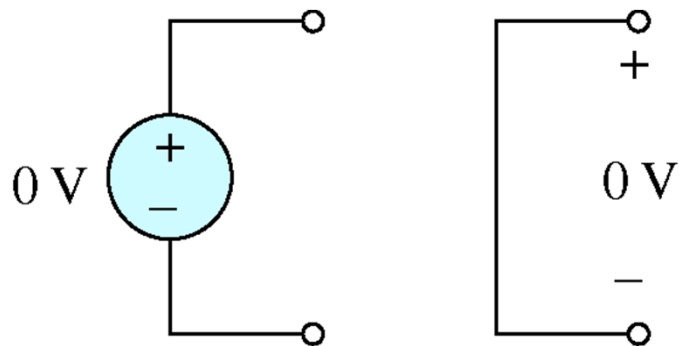


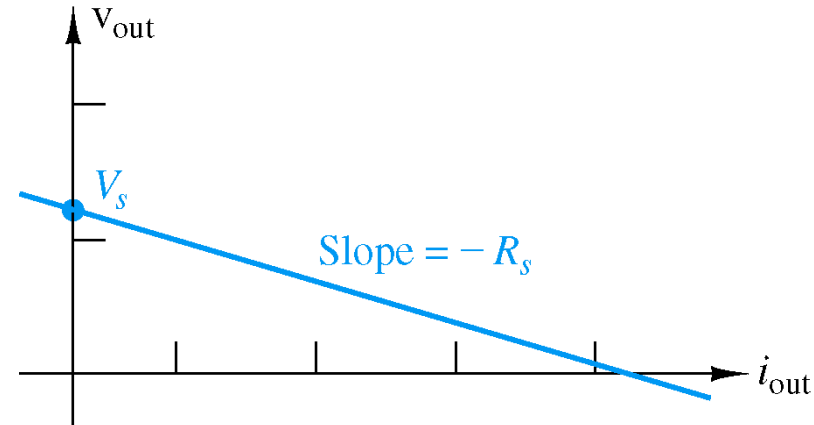
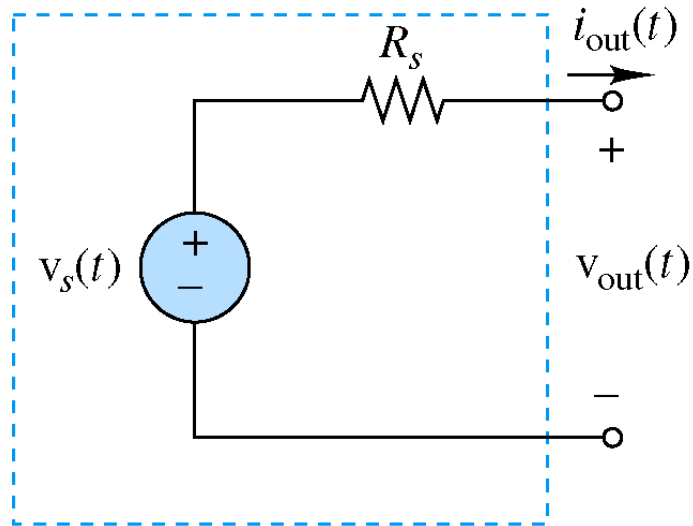
Figure 2.17 A 0-V voltage source is equivalent to a short circuit.

Raymond A. DeCarlo and Pen-Min Lin, Linear Circuit Analysis, 7th edition, Oxford University Press, New York, 2001, p. 52

전압원의 내부 저항은 0.

Voltage Sources: Non-ideal and Ideal

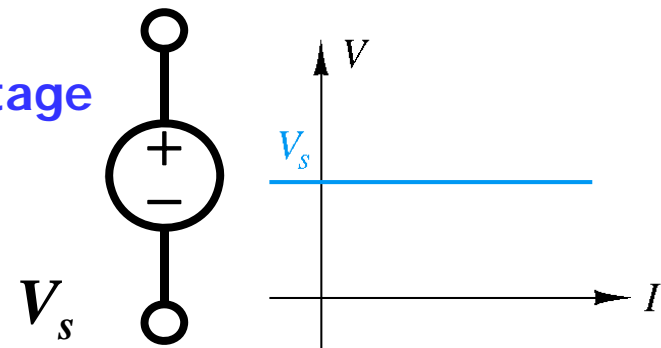
- Non-ideal voltage source



$$v_{out} = -R_s i_{out} + V_s$$

- 실제 전압원은 내부 저항이 영이 아님.
- 따라서, 외부 부하에 따라 전압원의 출력 전압이 변화한다.
- 이상적인 전압원은 내부 저항이 영이다.
- 따라서, 외부 부하와 관계없이 전압원의 출력 전압은 일정하다.

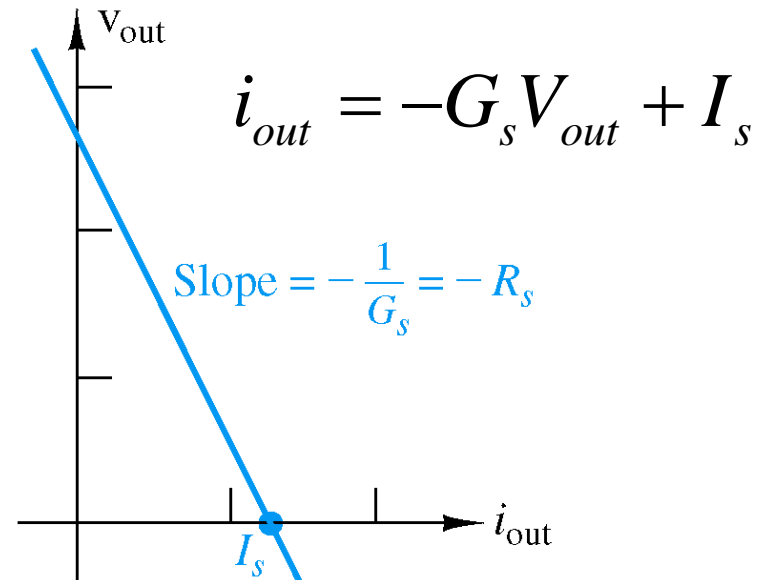
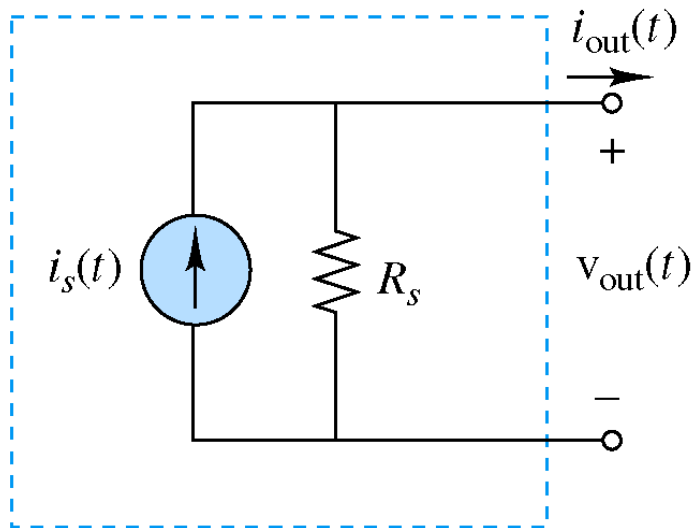
- Ideal voltage source



Raymond A. DeCarlo and Pen-Min Lin, Linear Circuit Analysis, 7th edition, Oxford University Press, New York, 2001, p. 70-71

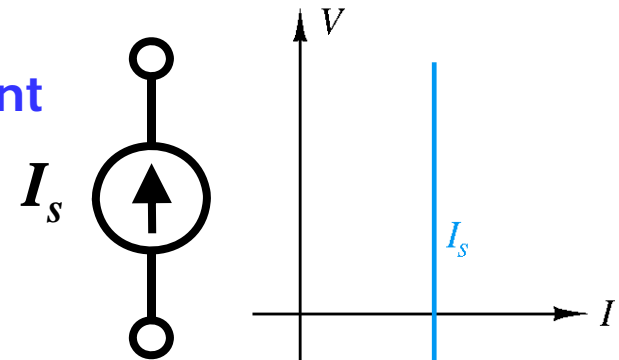
Current Sources: Non-ideal and Ideal

- Non-ideal current source



- 실제 전류원은 내부 저항이 무한대가 아님.
- 따라서, 외부 부하에 따라 전류원의 출력 전류가 변화한다.
- 이상적인 전류원은 내부 저항이 무한대이다.
- 따라서, 외부 부하와 관계없이 전류원의 출력 전류는 일정하다.

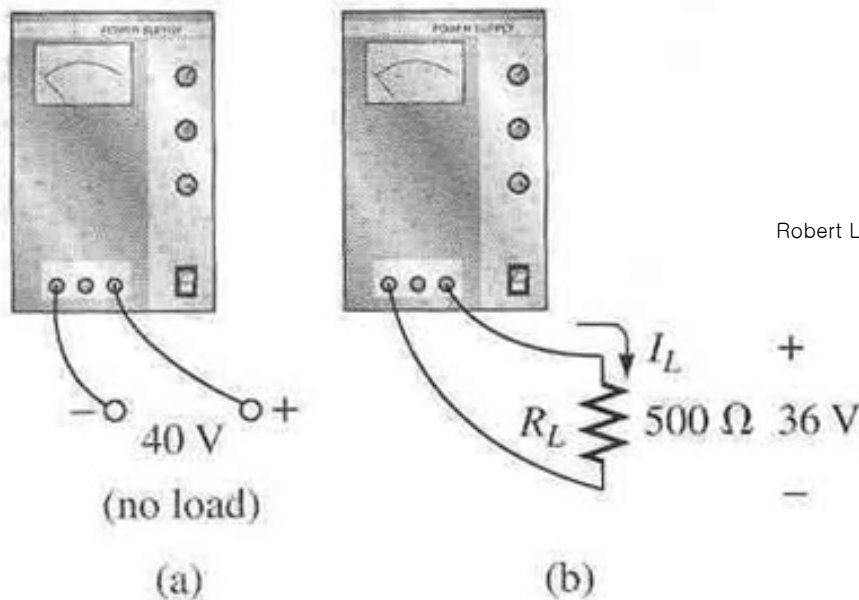
- Ideal current source



Raymond A. DeCarlo and Pen-Min Lin, Linear Circuit Analysis, 7th edition, Oxford University Press, New York, 2001, p. 70-71

Internal Resistance of Source

- 부하가 연결되기 전에 전압원의 전압이 **40 V** 이었다.
- **500 Ω** 의 저항을 연결하니 전압이 **36 V**로 떨어졌다.
- 왜 이런 현상이 일어나는가?
- 전원의 내부저항은 얼마인가?
- **500 Ω** 보다 큰 부하 저항을 연결할 때와 작은 저항을 연결할 때 전압은 어떻게 변할 것인가?



Example 5.51

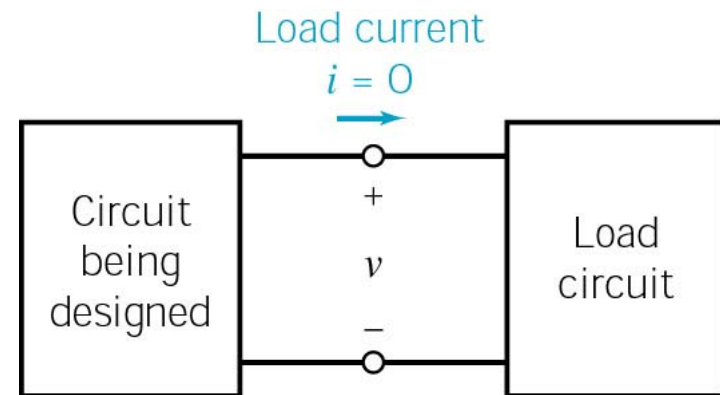
Robert L. Boylestad, Introductory Circuit Analysis, 10th edition, Prentice Hall, 2002, p. 147, Figure 5.54

Adjustable Voltage Source (I)

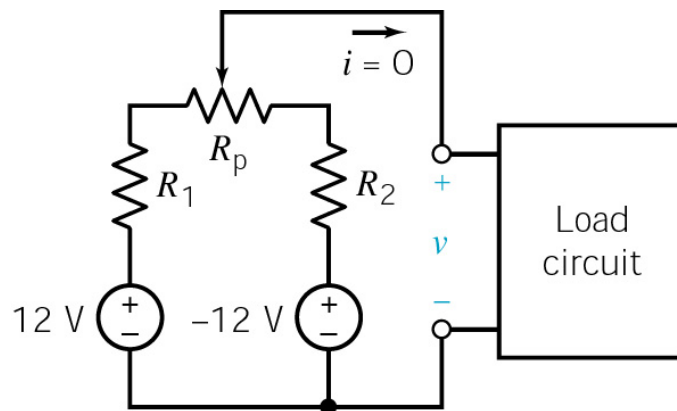
- 회로에서 전압이 조정되는 전압원이 필요하다.
- 사양 :
 - - 5 V 와 +5 V 사이의 전압이어야 한다.
 - 부하전류는 무시할 만큼 작다.
 - 회로는 가능한 한 적은 전력을 사용해야 한다.
- 사용 가능한 부품
 - Potentiometers : 10 k Ω , 20 k Ω , and 50 k Ω .
 - 저항: 10 Ω 에서 1 M Ω 사이의 표준 1 % 저항들.
 - 두 전압원 : 12 V 1 개, -12 V 1 개, 정격 전류는 각각 100 mA.

Adjustable Voltage Source (II)

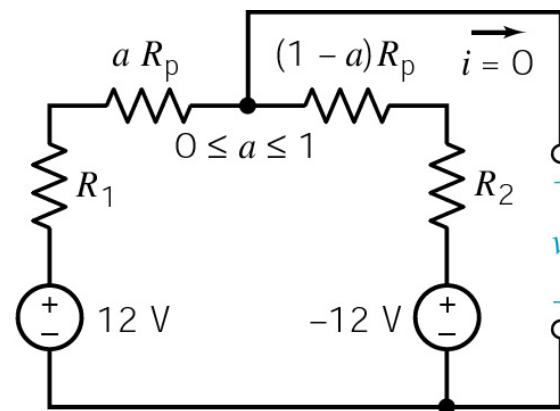
- v 는 -5 V 와 $+5\text{ V}$ 사이의 전압이어야 한다.
- i 는 영이다.
- 저항 1과 저항 2의 저항 값을 같게 하고, 가변 저항을 사용한다.
- 분압 회로를 이용하여 v 를 구한다.
- 소모 전력과 전류를 구한다.



The circuit being designed provides an adjustable voltage, v to the load circuit.



(a)



(b)

(a) A proposed circuit for producing the variable voltage, v , and (b) the equivalent circuit after the potentiometer is modeled.

Richard C. Dorf and James A. Svoboda, Introduction to Electric Circuits, 9th edition, John Wiley and Sons, 2001, p. 84-85