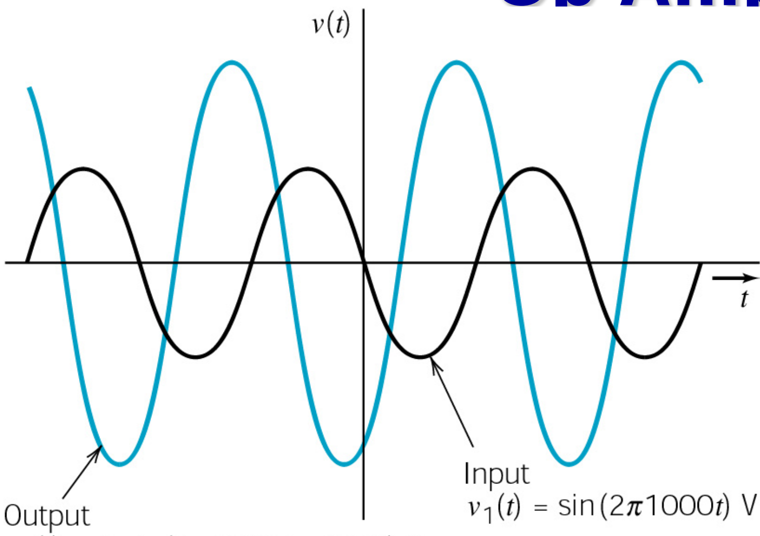
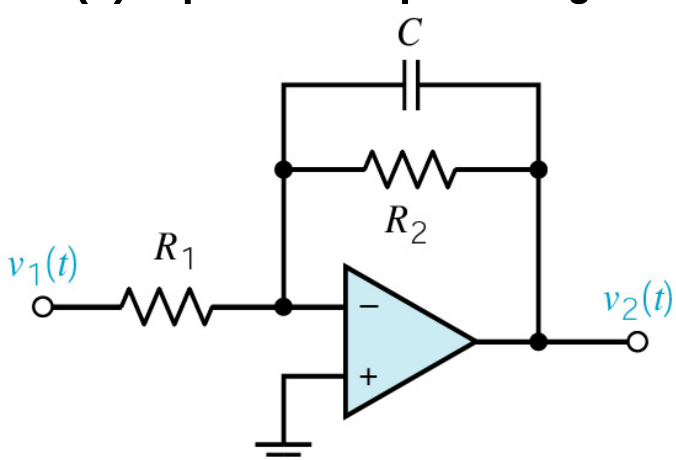
Op Amp Circuit



(a) Input and output voltages



(b) Proposed circuit Richard C. Dorf & James A. Svoboda, Introduction to Electric Circuits, 8th edition, John Wiley & Sons, 2010, p. 471

그림**(a)**와 같은 **input**으로 **output**을 얻고 싶다면 **Op amp**를 이용한 회로 **(b)**에서 저항과 **capacitor**를 어떻게 설계해야 하는가**?**

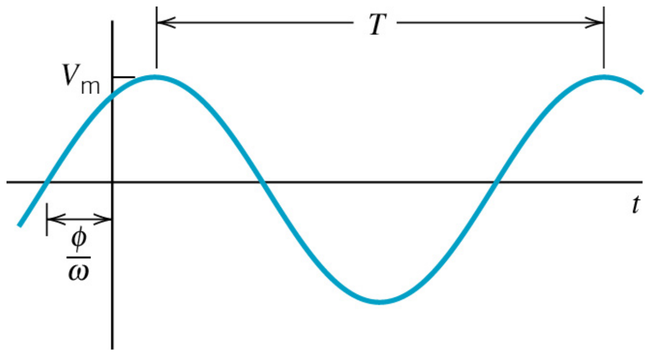
KCL

$$\frac{0-v_1}{R_1}+\frac{0-v_2}{R_2}+C\frac{d(0-v_2)}{dt}=0$$

$$\frac{v_2}{R_2}+C\frac{dv_2}{dt}=-\frac{v_1}{R_1}$$

입력이 정현파일 때의 선형 전기회로에서의 정상상태 응답을 구해 본다.

Steady-State Sinusoidal Analysis



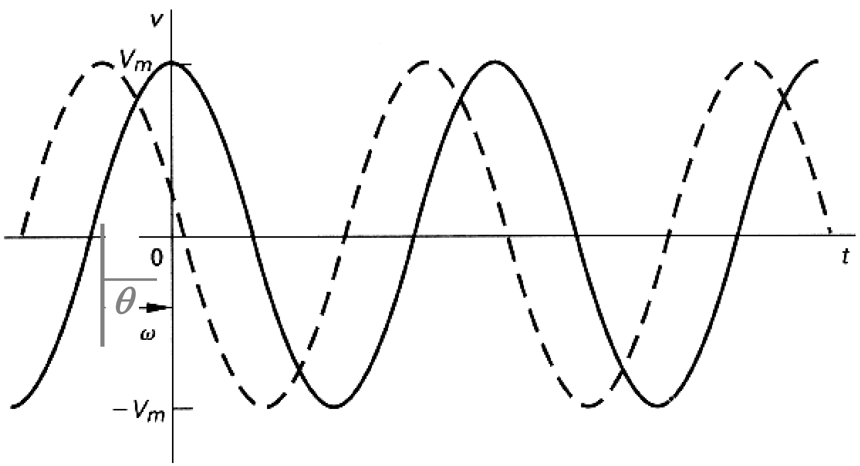
- 대부분 전력 시스템은 **sinusoidal steady-state**에서 가동.
- 비 정현파 전원에 의한 거동을 예측 가능.
- 전기 시스템 설계를 단순화.

$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \phi)$$

V_m : peak value ω : angular frequency (rad/s)

ϕ : phase angle, degrees or rads

$$\omega = 2\pi f, \qquad f = \frac{1}{T} \quad (\text{Hz})$$



Root-Mean-Square Values

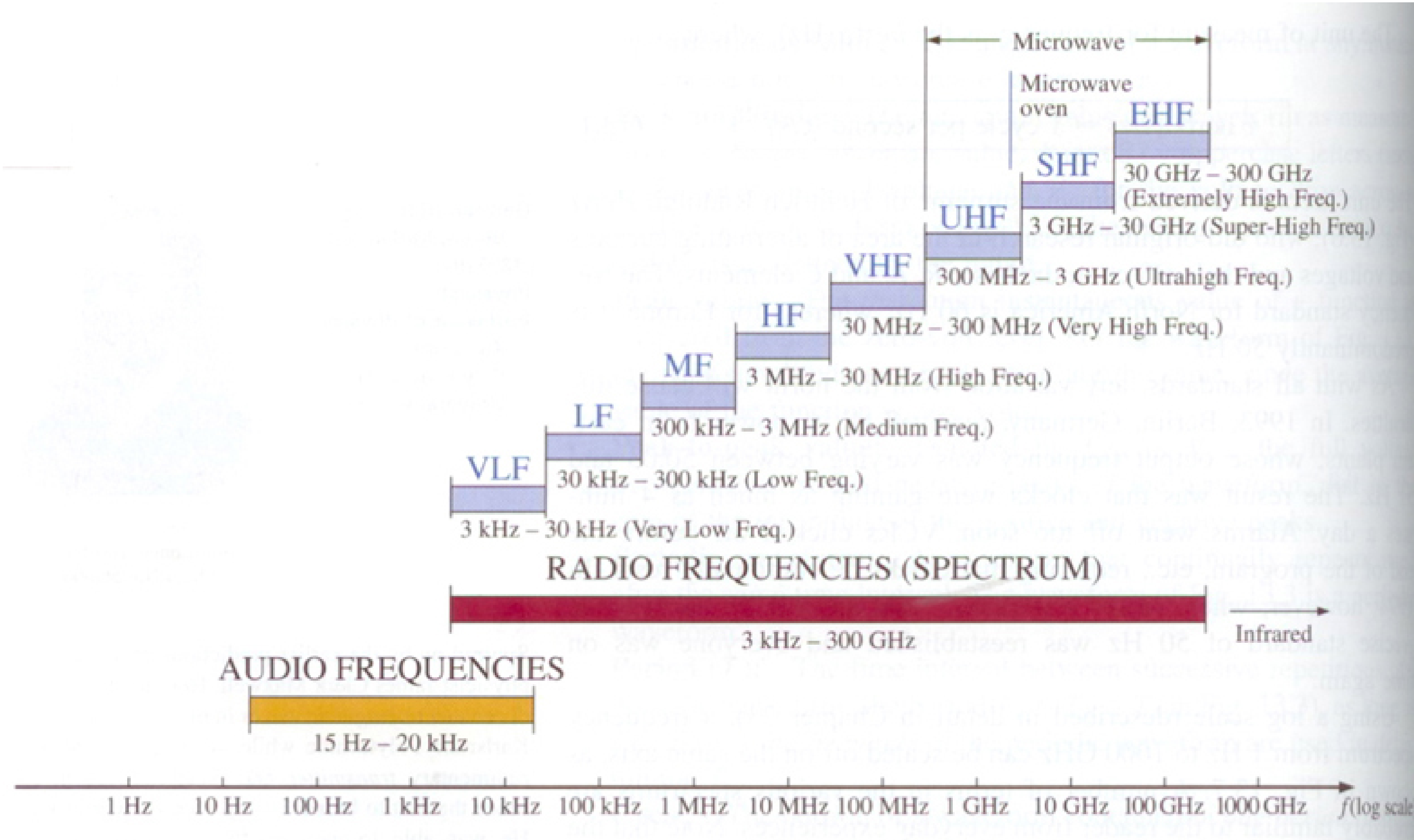
$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} (V_m \cos(\omega t + \theta))^2 \, dt}$$

$$= \sqrt{\frac{V_m^2}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} \frac{1+\cos 2(\omega t + \theta)}{2} \, dt}$$

$$= V_m / \sqrt{2}$$

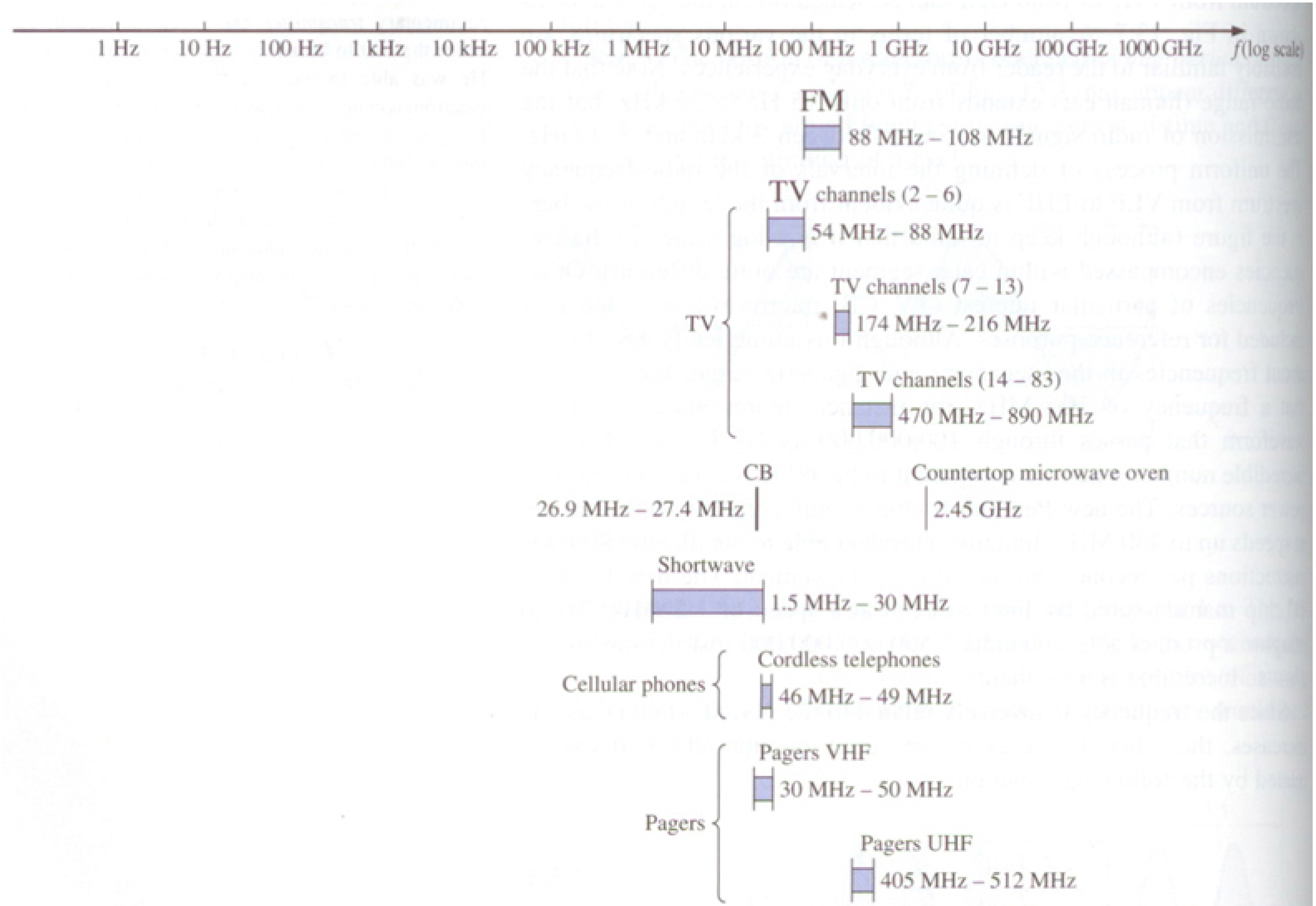
$$60 \text{ Hz} - 220 \text{ V}, \; V_m = 220 \times \sqrt{2} = 308 \text{ V}$$

Applications of Frequency Bands (I)



Robert L. Boylestad, Introductory Circuit Analysis, 10th edition, Prentice Hall, 2002, p. 526

Applications of Frequency Bands (II)



Robert L. Boylestad, Introductory Circuit Analysis, 10th edition, Prentice Hall, 2002, p. 526

Sinusoidal Steady-State Solution

$$i = -\underbrace{\frac{V_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \cos(\theta - \phi) e^{-t/\frac{L}{R}}}_{\text{Transient component}} + \underbrace{\frac{V_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \cos(\omega t + \theta - \phi)}_{\text{Steady-state component}}$$

- **Sinusoidal steady-state Solution의 특징**

1. Sinusoidal function

2. ***R, L, C*** 가 상수이면**,** 구동 주파수와 응답 주파수가 같다**.**

⇒ **phasor** 도입**.**

3. 크기는 달라진다**.**

⇒ $V_m / \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$

4. 위상도 달라진다**.**

⇒ $\theta - \phi$

Phasor

- 정현적 정상 상태의 해석을 위해서 **Phasor**를 도입.

$$\cos\theta = \mathrm{Re}(e^{j\theta}), \quad \sin\theta = \mathrm{Im}(e^{j\theta})$$

$$\text{즉, } V = V_m \cos(\omega t + \theta) = V_m \,\mathrm{Re}(e^{j(\omega t + \phi)})$$

Phasor transform *P* 를 이용하면 phasor quantity *V* 는

$$\mathbf{V} = V_m e^{j\theta} = P\{V_m \cos(\omega t + \theta)\} = V_m \cos\theta + jV_m \sin\theta = V_m \angle\theta$$

$$P^{-1} : inverse\ \ phasor\ \ transform$$

$$P^{-1}\{V_m e^{j\theta}\} = \mathrm{Re}\{V_m e^{j\theta} e^{j\omega t}\}$$

Example

$$v_1(t) = 20\cos(\omega t - 30^\circ),\ \ v_2(t) = 20/\sqrt{3}\cos(\omega t + 60^\circ)$$

$$v(t) = v_1(t) + v_2(t)$$

$$\mathbf{V_1} = 20\angle -30^\circ,\ \ \mathbf{V_2} = 20/\sqrt{3}\ \ \angle 60^\circ$$

$$\mathbf{V} = 20\{\cos(-30^\circ) + j\sin(-30^\circ)\} + 20/\sqrt{3}\,(\cos 60^\circ + j\sin 60^\circ)$$

$$= 20(\sqrt{3}/2 - j/2) + 20/\sqrt{3}(1/2 + j\sqrt{3}/2) = \frac{40}{3}\sqrt{3} = \frac{40}{3}\sqrt{3}\angle 0^\circ$$

$$v(t) = 40\sqrt{3}/3\ \ \cos\omega t.$$

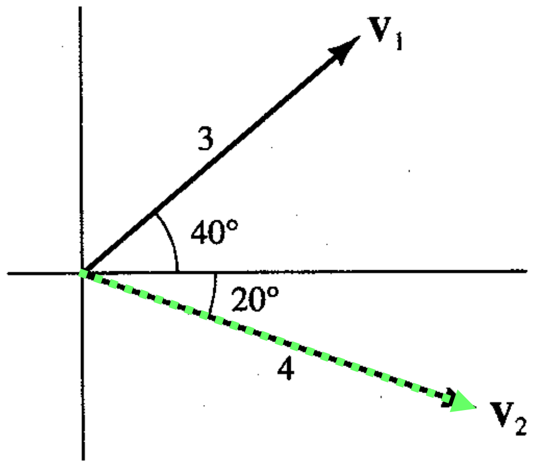
Phase Relation

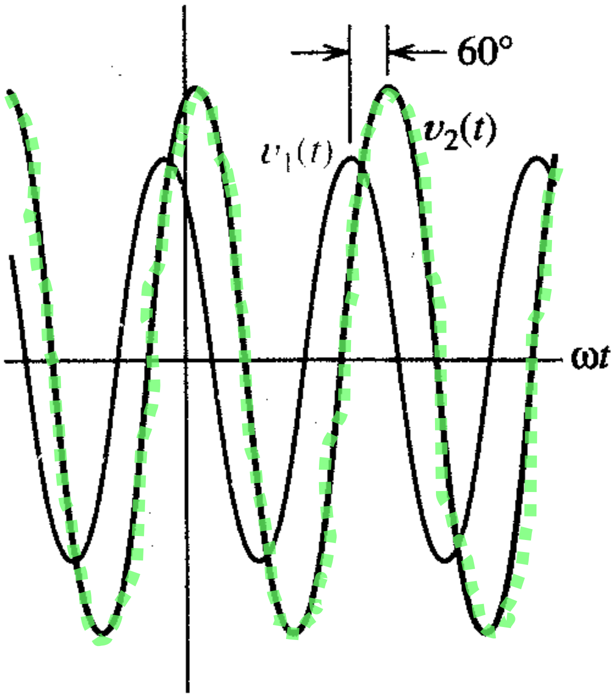
$$v_1(t) = 3\cos(\omega t + 40^\circ)\,, \quad v_2(t) = 4\cos(\omega t - 20^\circ)$$

$$\mathbf{V_1} = 3\angle 40^\circ, \quad \mathbf{V_2} = 4\angle -20^\circ$$

V_1 leads V_2 by 60° (V_1 은 V_2보다 60도 앞선다)

V_2 lags V_1 by 60° (V_2 는 V_1보다 60도 뒤진다)





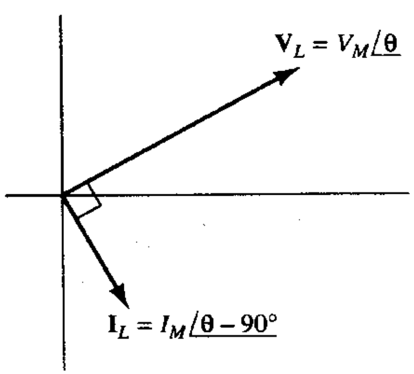
Inductance

$$v = L\frac{di}{dt}$$
$$= L\frac{d}{dt}(I_m\cos(\omega t+\theta))$$
$$= -\omega L\, I_m \sin(\omega t+\theta)$$
$$= -\omega L\, I_m \cos(\omega t+\theta-90^\circ)$$

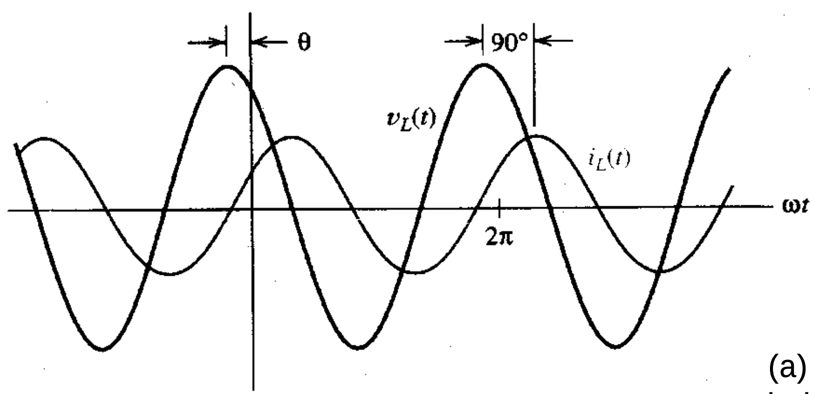
$$\mathbf{V} = -\omega L\, I_m \angle \theta - 90^\circ$$
$$= -\omega L\, I_m\, e^{j(\theta-90^\circ)}$$
$$= -\omega L\, I_m\, e^{-j90^\circ} e^{j\theta}$$
$$= j\omega L\, I_m e^{j\theta}$$
$$= j\omega L\, I_m \angle\theta = j\omega L\mathbf{I}$$

따라서, $\mathbf{V} = \omega L I_m \angle \theta + 90^\circ = j\omega L\mathbf{I}$

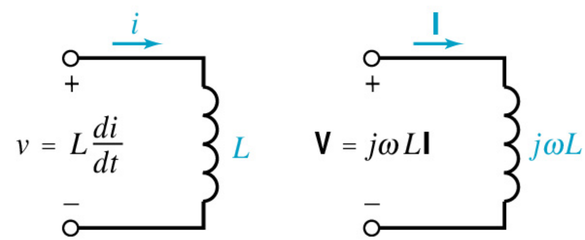
The current lags the voltage by 90°.



(a) Phasor diagram



(b) Current and voltage versus time



(a) (b)

(a) The time domain *v-i* relationship for an inductor
(b) The phasor relationship for an inductor

Richard C. Dorf & James A. Svoboda, Introduction to Electric Circuits, 8th edition, John Wiley & Sons, 2010, p. 431

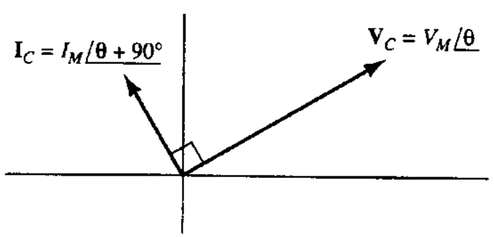
Capacitance

$$i = C\frac{dv}{dt}$$
$$= C\frac{d}{dt}(V_m\cos(\omega t+\theta))$$
$$= -\omega C V_m \sin(\omega t+\theta)$$
$$= -\omega C V_m \cos(\omega t+\theta-90^\circ)$$

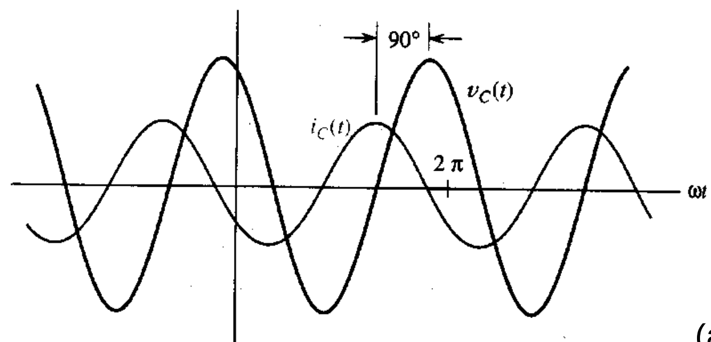
$$\mathbf{I} = -\omega C V_m e^{j(\theta-90^\circ)}$$
$$= j\omega C V_m e^{j\theta}$$
$$= j\omega C\mathbf{V}$$

따라서, $\mathbf{V} = \dfrac{\mathbf{I}}{j\omega C} = \dfrac{I_m}{\omega C}\angle\theta-90^\circ$

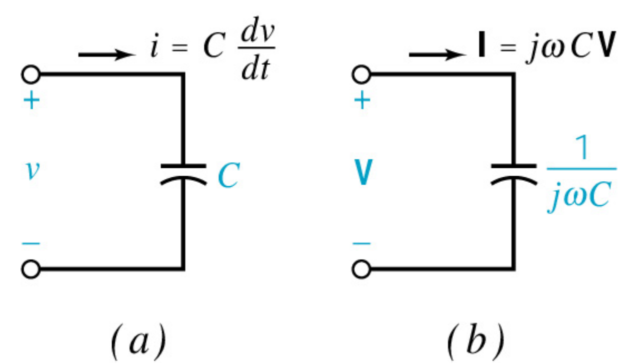
The current leads the voltage by 90°.



(a) Phasor diagram



(b) Current and voltage versus time

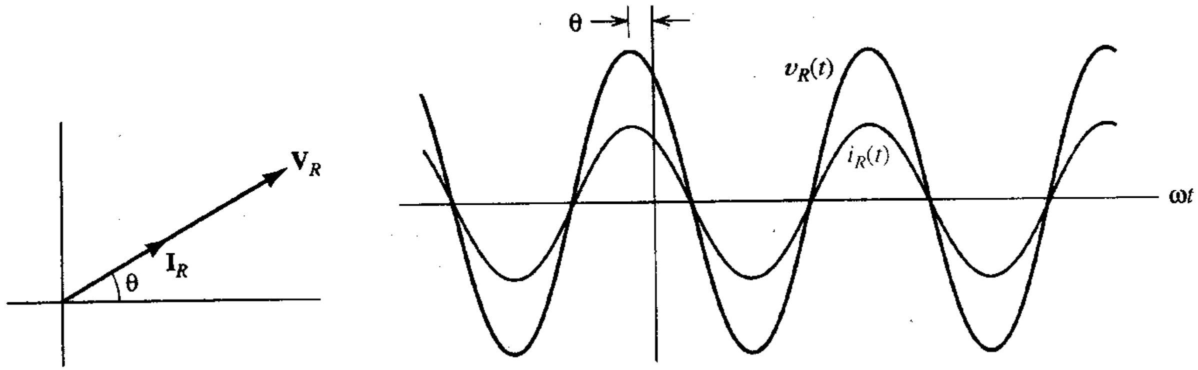


(a) The time domain *v-i* relationship for a capacitor
(b) The phasor relationship for a capacitor

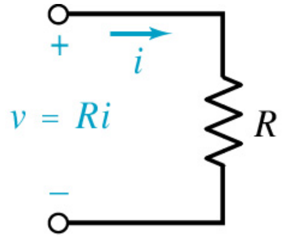
Richard C. Dorf & James A. Svoboda, Introduction to Electric Circuits, 8th edition, John Wiley & Sons, 2010, p. 432

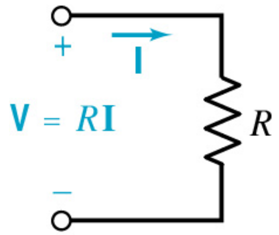
Resistance

$\boldsymbol{V} = R\,\boldsymbol{I}$



(a) Phasor diagram (b) Current and voltage versus time





(a) (b)

(a) The v-i time domain relationship for R
(b) The phasor relationship for.

Richard C. Dorf & James A. Svoboda, Introduction to Electric Circuits, 8th edition, John Wiley & Sons, 2010, p. 430

Impedance and Admittance

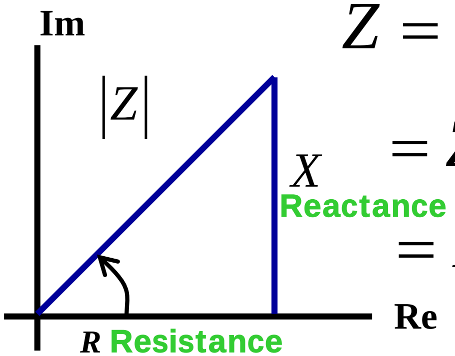
Impedance $\mathbf{Z} = \mathbf{V} / \mathbf{I}$, $Z(\Omega)$

$$Z = \frac{V_m \angle \phi}{I_m \angle \beta} = \frac{V_m}{I_m} \angle \phi - \beta$$

$$Z = |Z| \angle \theta \rightarrow \text{polar form}$$

$$= Z e^{j\theta} \rightarrow \text{exponential form}$$

$$= R + jX \rightarrow \text{rectangular form}$$



Adimittance

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{|Z| \angle \theta} = |Y| \angle -\theta$$

$$= \frac{1}{R + jX} = \frac{R - jX}{R^2 + X^2} = G + jB$$

G **: conductance**

B **: susceptance**

	Resistive	Inductive Inductive	Capacitive
Reactance		ωL	$\dfrac{-1}{\omega C}$
Impedance	R	$j\omega L$	$\dfrac{1}{j\omega C}$

Differential Equation with Phasor

– 회로 미분 방정식의 정현적 정상 상태 해를 phasor를 이용해서 풀 수 있다.
정현적 정상 상태 해 $i_{ss}(t) = \mathrm{Re}\,(I_m e^{j\beta} e^{j\omega t})$ 로 추정할 수 있다.
가령, 다음의 미분 방정식에 대입하면,

$$L\frac{di}{dt} + Ri = v_s = V_m \cos(\omega t + \theta)$$

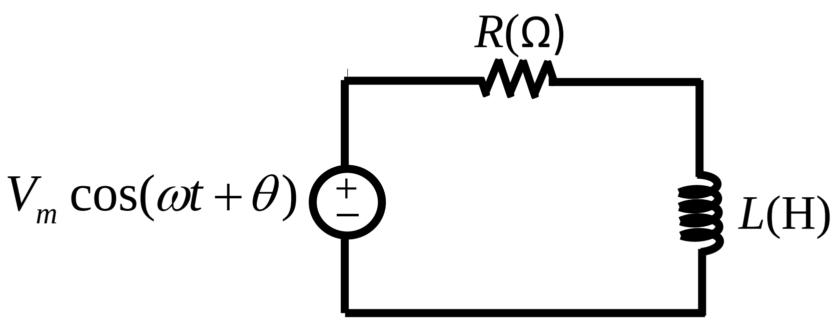
$$L\,\mathrm{Re}\left\{I_m e^{j\beta}\, j\omega\, e^{j\omega t}\right\} + R\,\mathrm{Re}\left\{I_m e^{j\beta} e^{j\omega t}\right\} = \mathrm{Re}\left\{V_m e^{j\theta} e^{j\omega t}\right\}$$

$$\mathrm{Re}\left\{(j\omega L + R) I_m e^{j\beta} e^{j\omega t}\right\} = \mathrm{Re}\left\{V_m e^{j\theta} e^{j\omega t}\right\}$$

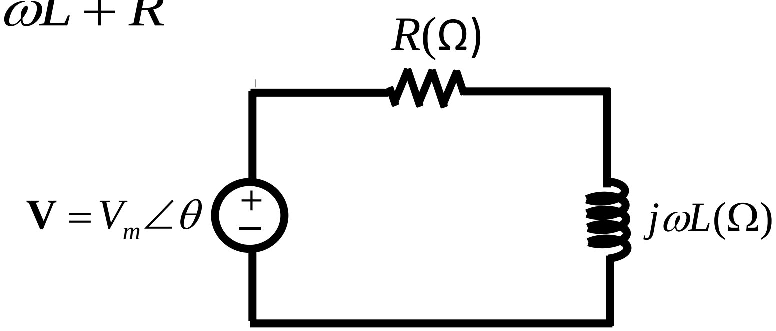
임의의 시간에 대해서 성립해야 하므로

$$(j\omega L + R) I_m e^{j\beta} = V_m e^{j\theta},\ I_m e^{j\beta} = \frac{V_m e^{j\theta}}{j\omega L + R}$$

$\sum \mathbf{V}_j = 0$ 이 성립.



Time domain



Frequency domain

Kirchhoff's Laws in the Frequency Domain

KVL in the frequency domain

V_1, V_2,....., V_n : closed path의 전압들.

$V_1 + V_2 + ... + V_n = 0$: KVL in the time domain.

Sinusoidal steady state 에서는

$$V_{m1}\cos(\omega t+\theta_1)+V_{m2}\cos(\omega t+\theta_2)+\cdots+V_{mn}\cos(\omega t+\theta_n)=0$$

$$\mathrm{Re}\left\{V_{m1}e^{j(\omega t+\theta_1)}\right\}+\mathrm{Re}\left\{V_{m2}e^{j(\omega t+\theta_2)}\right\}+\cdots+\mathrm{Re}\left\{V_{mn}e^{j(\omega t+\theta_n)}\right\}=0$$

$$\mathrm{Re}\left\{e^{j\omega t}(V_{m1}e^{j\theta_1}+V_{m2}e^{j\theta_2}+\cdots+V_{mn}e^{j\theta_n})\right\}=0$$

$$\mathrm{Re}\left\{e^{j\omega t}(\mathbf{V}_1+\mathbf{V}_2+\cdots\mathbf{V}_n)\right\}=0$$

$$\therefore \sum \mathbf{V}_j = 0$$ **: KVL in the frequency domain**

KCL in the frequency domain $\sum \mathbf{I}_j = 0$

Analytic Techniques in the Frequency Domain

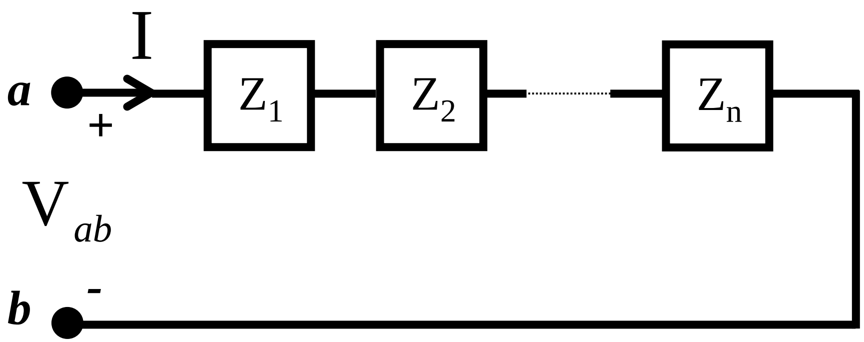
$V = \mathrm{Z} I$ 를 이용.

Z : impedance

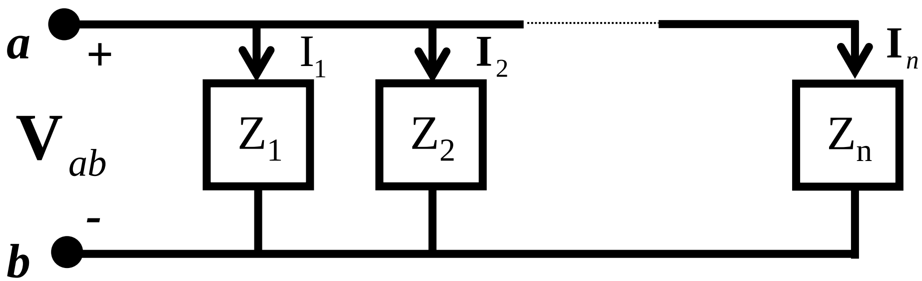
저항 회로를 해석할 때와 같은 방법을 사용.

1. Series-parallel simplification
2. Delta-to-Wye transformation
3. Node-voltage analysis
4. Mesh-current analysis
5. Superposition
6. Thévenin-Norton equivalent circuits
7. Source transformation

Series and Parallel Simplification



$$\mathbf{V}_{ab} = Z_1\mathbf{I} + Z_2\mathbf{I} + \cdots + Z_n\mathbf{I}$$
$$= (Z_1 + \cdots\cdots + Z_n)\mathbf{I}$$
$$= Z_{ab}$$
$$\therefore Z_{ab} = Z_1 + Z_2 + \cdots + Z_n$$



$$\mathbf{V}_{ab} = Z_1\mathbf{I}_1 = Z_2\mathbf{I}_2 = Z_3\mathbf{I}_3 = \cdots\cdots = Z_n\mathbf{I}_n$$
$$\mathbf{I} = \mathbf{I}_1 + \mathbf{I}_2 + \cdots + \mathbf{I}_n$$
$$= \mathbf{V}_{ab}\left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \cdots + \frac{1}{Z_n}\right)$$
$$\therefore \frac{1}{Z_{ab}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \cdots + \frac{1}{Z_n}$$

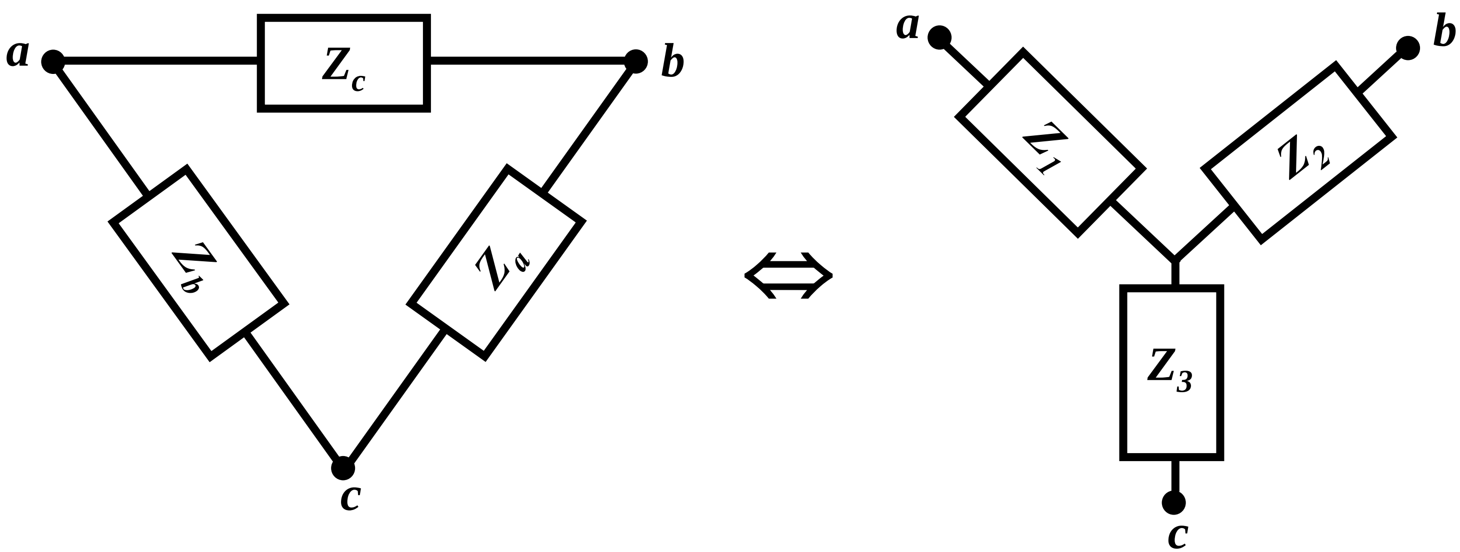
$$\frac{1}{Z} = Y,$$
$$= G + jB$$

Admittance 단위 : Siemens.

$$Y_{ab} = Y_1 + Y_2 + \cdots + Y_n$$

R	*G (=1/R , conductance)*	—
L	*1 / jωL (inductive admittance)*	*-1 / ωL (inductive susceptance)*
C	*jωC (capacitive admittance)*	*ωC (capacitive susceptance)*

Delta-to-Wye Transformation



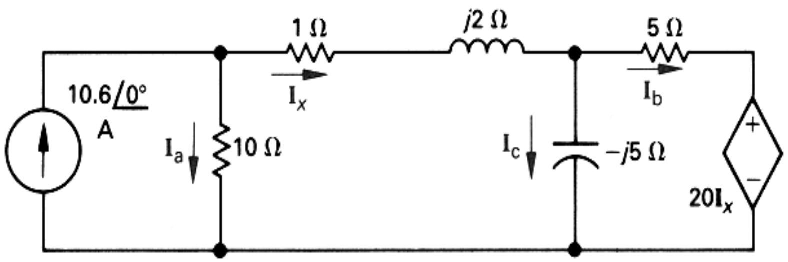
$$Z_a = \frac{(Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_3 Z_1)}{Z_1} \qquad Z_1 = \frac{Z_b Z_c}{Z_a + Z_b + Z_c}$$

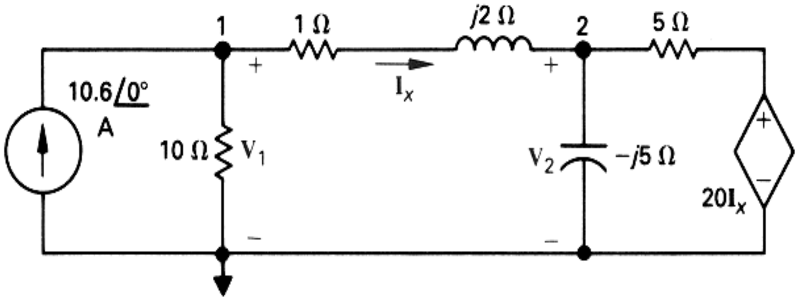
$$Z_b = \frac{\sum X}{Z_2} \qquad Z_2 = \frac{Z_c Z_a}{\sum}$$

$$Z_c = \frac{\sum X}{Z_3} \qquad Z_3 = \frac{Z_a Z_b}{\sum}$$

Node-Voltage Method

Example





위 회로에서 I_a, I_b, I_c 를 구하라.

아래의 회로에서

$$\mathbf{I}_a = \frac{\mathbf{V}_1}{10},\ \mathbf{I}_b = \frac{\mathbf{V}_2 - 20\mathbf{I}_x}{5},\ \mathbf{I}_c = \frac{\mathbf{V}_2}{-j5}$$

$$\mathbf{I}_x = \frac{\mathbf{V}_1 - \mathbf{V}_2}{1 + j2}$$ 이다.

V_1, V_2 를 구하면 I_a, I_b, I_c 를 구할 수 있다.

KCL에서

$$node\,1 \quad (-10.6) + \frac{\mathbf{V}_1}{10} + \frac{\mathbf{V}_1 - \mathbf{V}_2}{1 + j2} = 0$$

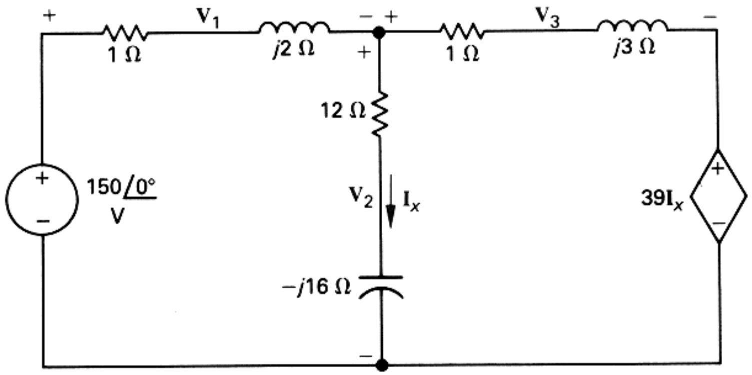
$$node\ 2 \quad \frac{\mathbf{V}_2 - \mathbf{V}_1}{1 + j2} + \frac{\mathbf{V}_2}{-j5} + \frac{\mathbf{V}_2 - 20\mathbf{I}_x}{5} = 0$$

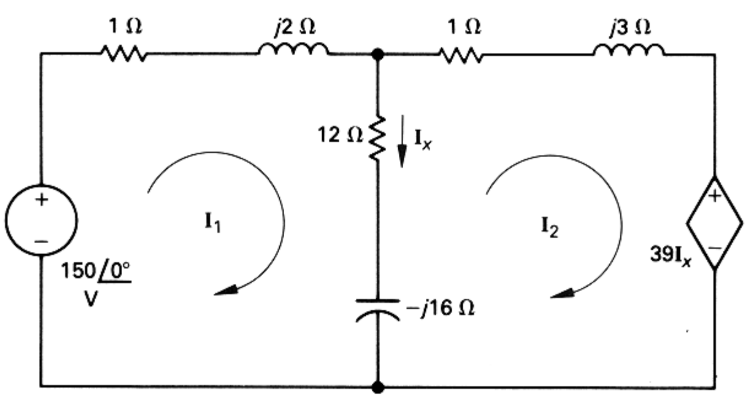
$$\mathbf{I}_x = \frac{\mathbf{V}_1 - \mathbf{V}_2}{1 + j2}$$

세 식에서 V_1, V_2 , I_x 를 구할 수 있다.

Mesh-Current Method

Example





$\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2, \mathbf{V}_3$를 구하라.

아래의 회로에서

$\mathbf{V}_1 = (1+j2)\mathbf{I}_1,\ \mathbf{V}_2 = (12-j16)(\mathbf{I}_1 - \mathbf{I}_2),$
$\mathbf{V}_3 = (1+j3)\mathbf{I}_2$이다.

$\mathbf{I}_1, \mathbf{I}_2$를 구하면 $\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2, \mathbf{V}_3$를 구할 수 있다.

$$loop\,1 \quad (-150) + (1+j2)\mathbf{I}_1 + (12-j16)(\mathbf{I}_1 - \mathbf{I}_2) = 0$$

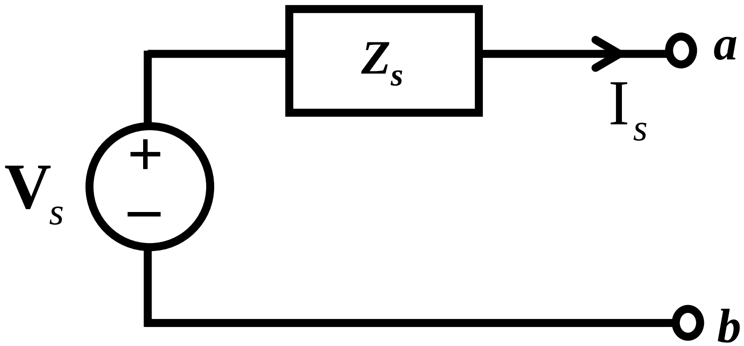
$$loop\,2 \quad (1+j3)\mathbf{I}_2 + 39\mathbf{I}_x + (12-j16)(\mathbf{I}_2 - \mathbf{I}_1) = 0$$

$$\mathbf{I}_x = \mathbf{I}_1 - \mathbf{I}_2$$

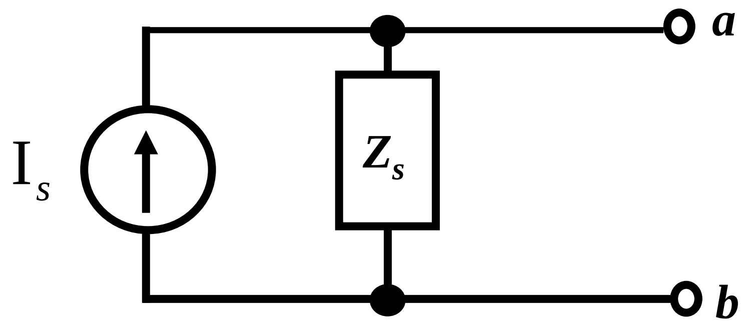
세 식에서 $\mathbf{I}_1, \mathbf{I}_2, \mathbf{I}_x$를 구할 수 있다.

Source Tr. and Thévenin-Norton Equivalent Circuits

Source transformation in the frequency domain

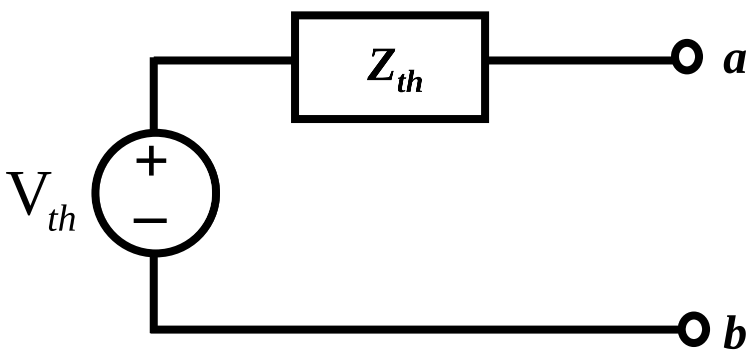


$$V_s = Z_s I_s$$

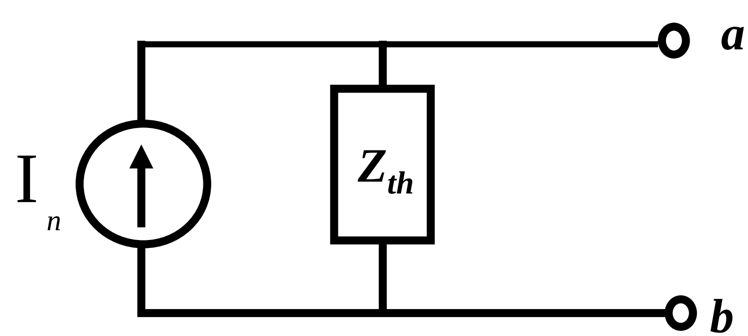


$$I_s = V_s / Z_s$$

Thévenin equivalent circuit

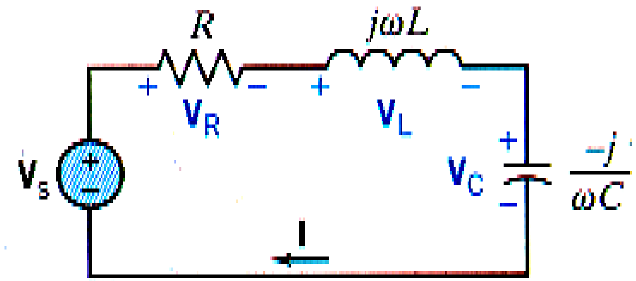


Norton equivalent circuit

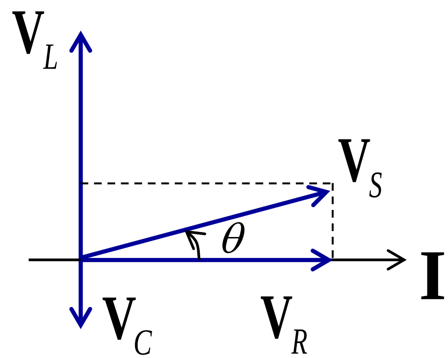


Phasor Diagrams

Phasor가 복소수이므로 복소 평면에 크기와 위상으로 나타낼 수 있고 이것을 이용해서 전압과 전류 관계를 알 수 있음.



An RLC circiut



$$\mathbf{V}_R = R\mathbf{I} = RI\angle 0^{\circ}$$

$$\mathbf{V}_L = j\omega L\mathbf{I} = \omega LI\angle 90^{\circ}$$

$$\mathbf{V}_C = \frac{-j\mathbf{I}}{\omega C} = \frac{I}{\omega C}\angle -90^{\circ}$$

$$\mathbf{V}_S = \mathbf{V}_R + \mathbf{V}_L + \mathbf{V}_C$$

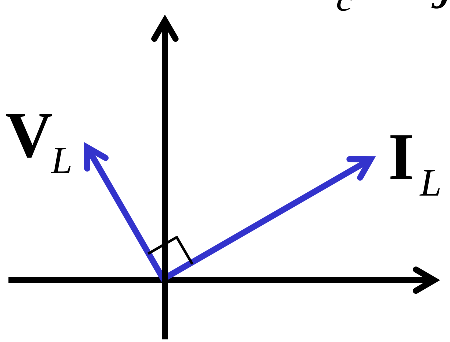
인덕터에서 $\mathbf{V}_L = j\omega L\mathbf{I}_L$즉, $\mathbf{V}_L = \omega L\mathbf{I}_m\angle(\theta_i + 90^{\circ})$

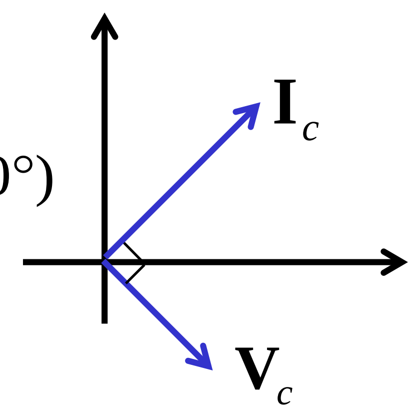
전류는 전압보다 90º 뒤진다.

캐패시터에서 $\mathbf{I}_c = j\omega C\mathbf{V}_c$즉, $\mathbf{I}_c = \omega LV_m\angle(\theta_v + 90^{\circ})$

$$\mathbf{V}_c = \frac{\mathbf{I}_c}{j\omega C} = \frac{I_m}{\omega C}\angle(\theta_i - 90^{\circ})$$

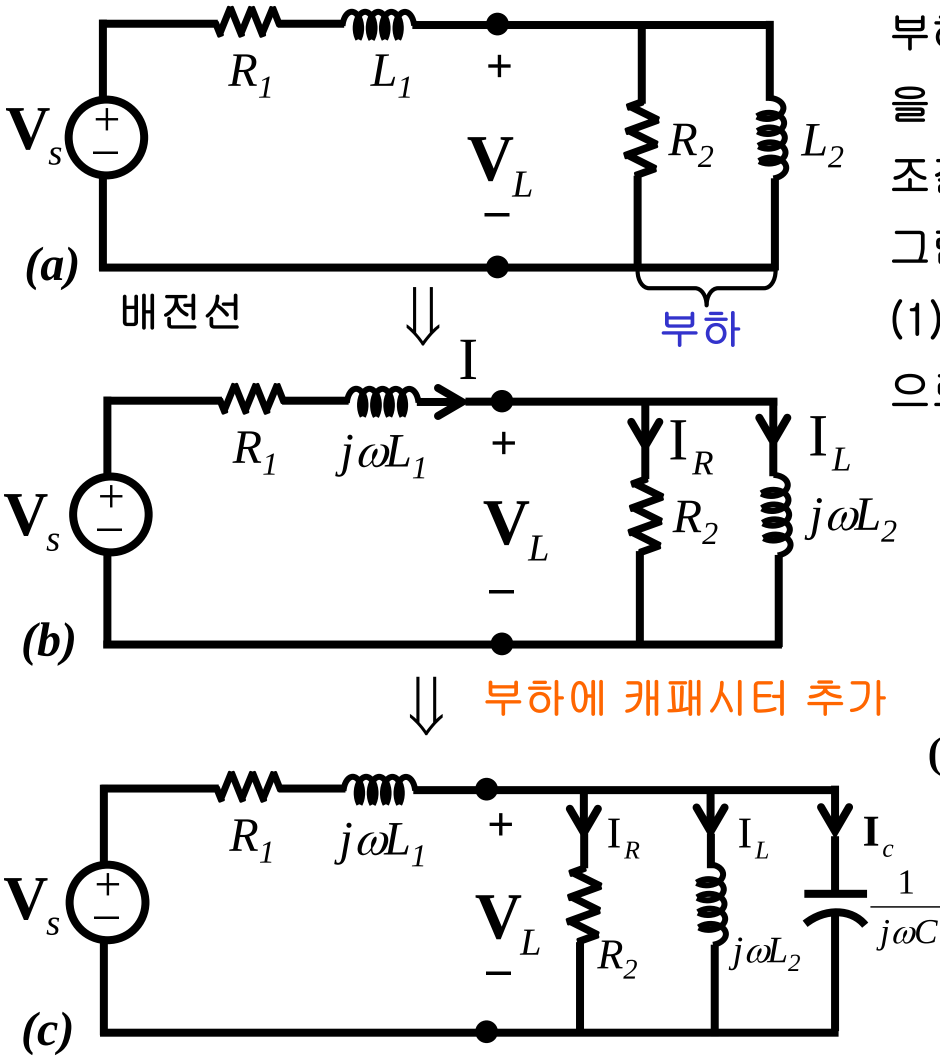
전류는 전압보다 90º 앞선다 ,





Richard C. Dorf & James A. Svoboda, Introduction to Electric Circuits, 8th edition, John Wiley & Sons, 2010, p. 454

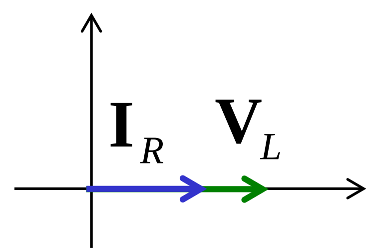
Phase Compensation(I)



부하에 캐패시터 부하를 추가시켰을 때의 영향을 조사. 여기서 V_L 의 크기가 일정하도록 V_s 를 조절한다고 가정.

그림 (b)에서

(1) V_L 의 크기가 일정하도록 하므로 V_L 을 기준으로 함.

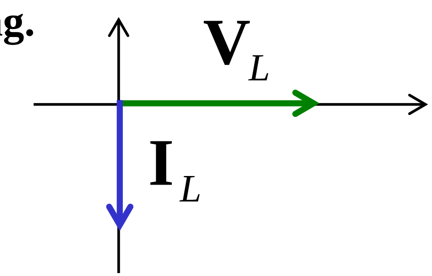


$$\mathbf{I}_R = \frac{\mathbf{V}_L}{R_2}$$

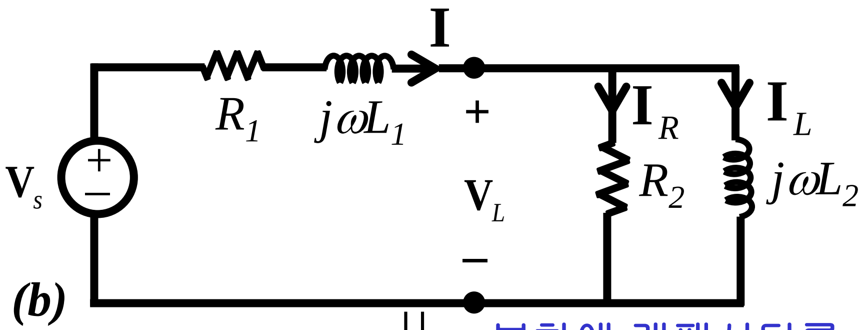
위상 일치

(2) I_L 은 인덕터에 흐르는 전류이므로 V_L 에 비해서 90º lagging.

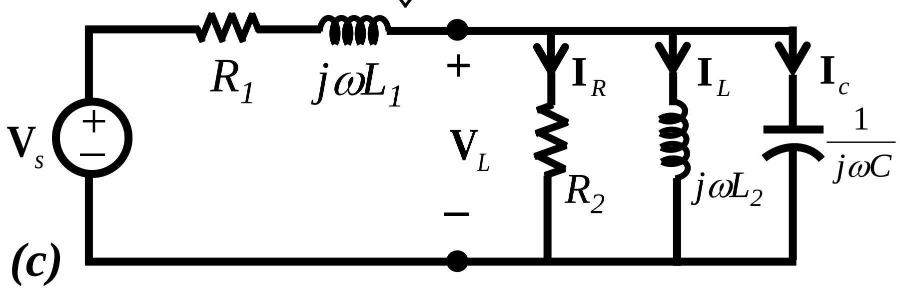
$$\mathbf{V}_L = j\omega L_2 \mathbf{I}_L$$



Phase Compensation (II)

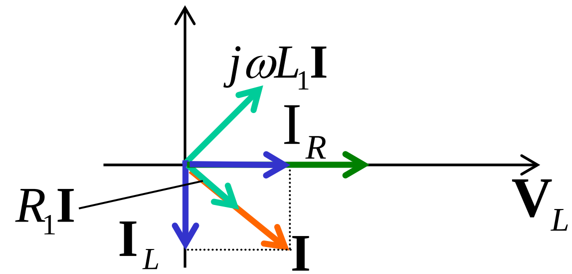


⇓ 부하에 캐패시터를 추가



캐패시터를 추가하면 전(全) 전류가 준다 (I_L 과 I_C 가 반대방향). 배전선의 전압강하가 감소. 부하(대부분 저항과 인덕터)가 증가해서 I_R 과 I_L 이 커지면 V_L 을 일정하게 하기 위해서 V_s를 증가시켜야 함. 이 때 부하에 캐패시터를 추가해서 전 전류를 감소시켜 V_s 를 크게 하지 않고 V_L 을 일정하게 함.

(3) $I = I_R + I_L$ 이며, 배전선에서의 전압 강하는 $I\,(R_1 + j\omega L)$ 이다.



(4) $\mathbf{V}_s = \mathbf{V}_L + (R_1 + j\omega L_1)\mathbf{I}$

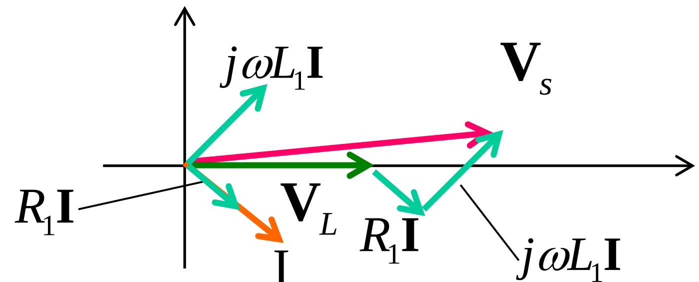
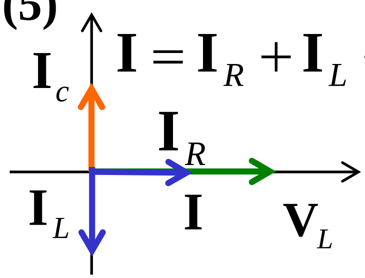


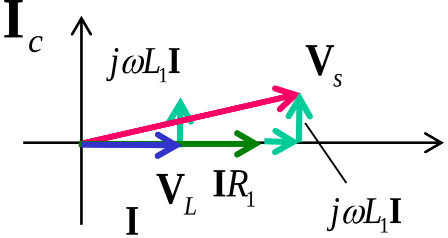
그림 (c)에서

(5)

$$\mathbf{I} = \mathbf{I}_R + \mathbf{I}_L + \mathbf{I}_c$$



(6)



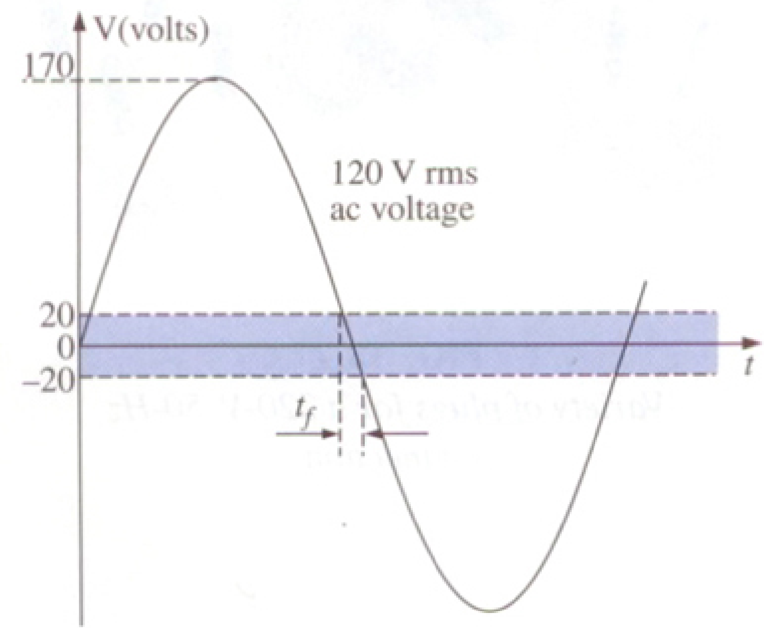
Safety Concerns – High voltages and dc versus ac

1. 120 V_{rms} ac 와 220 V_{rms} ac

- **120 V ac** 의 충격은 견딜 만**(?)** 하다.
- 그러나**, 220 V ac** 의 충격은 아주 짧은 시간에 두꺼운 고무창의 신발을 신고 있지 않다면 그렇지 못하다.
- **10 mA** 의 지속적인 전류는 심장을 멎게 할 수 있다.
- 따라서, 전기기구를 다룰 때에는 파워가 끊어져 있을 것이라고 가정하지 말고, 눈으로 확인하라. 그리고, 작업 시작 전에 전압계로 전압을 확인하라.

2. 120 V_{rms} ac 와 120 V dc

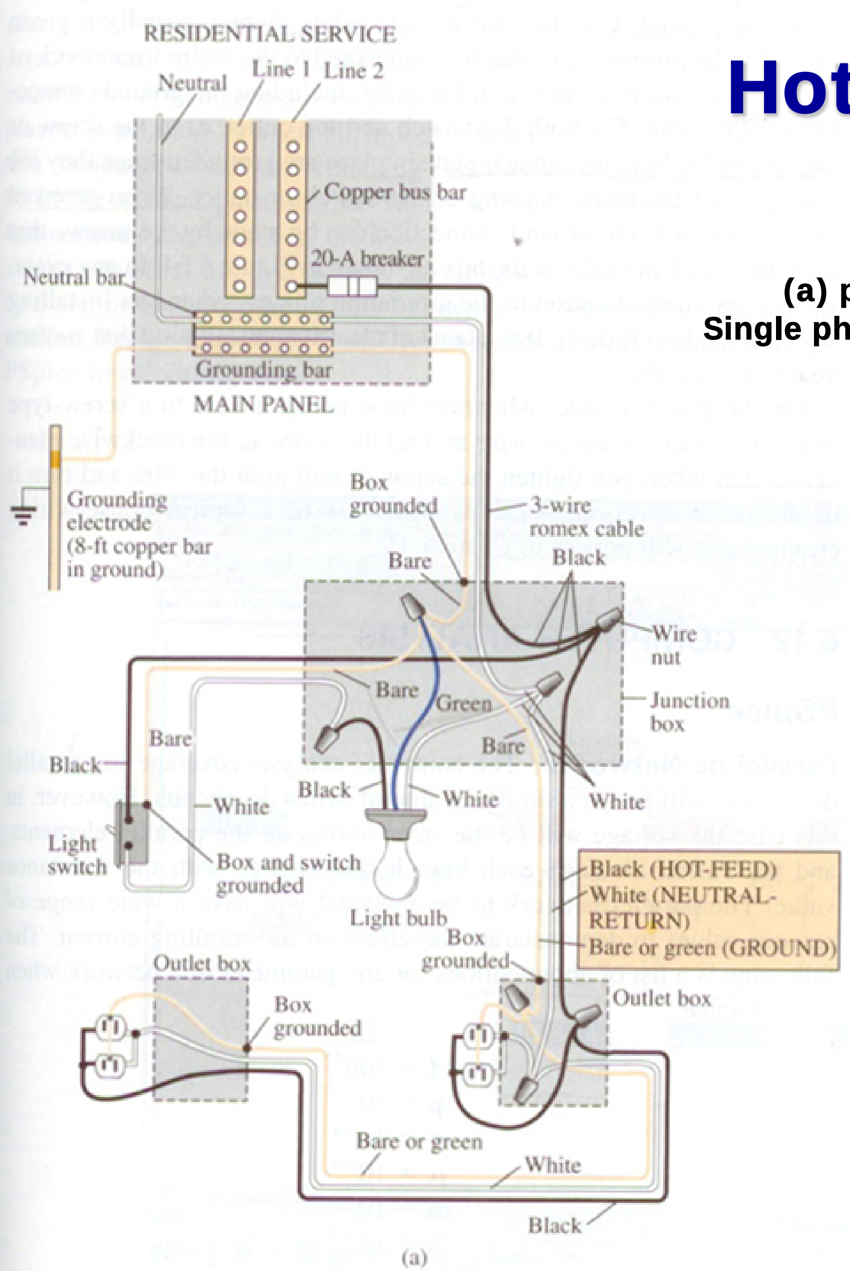
- 영화를 보면 **hot wire** 를 잡고 놓지 못하는 것을 볼 수 있다.
- 그런데**, 120 V ac** 와 **120 V dc** 는 경우가 다르다.
- 그림과 같이 **ac** 의 경우, 낮은 전압이 가해지는 시간이 있고, 이 때 **hot wire** 로 부터 떨어질 수 있다.
- 그림에서와 같이 **20 V** 이하가 되는 시간이 약 **8.3 ms** 인데 이 때 떨어질 수 있다.
- **dc** 의 경우는 계속적으로 높은 전압이 유지되므로 떨어질 수 없다.



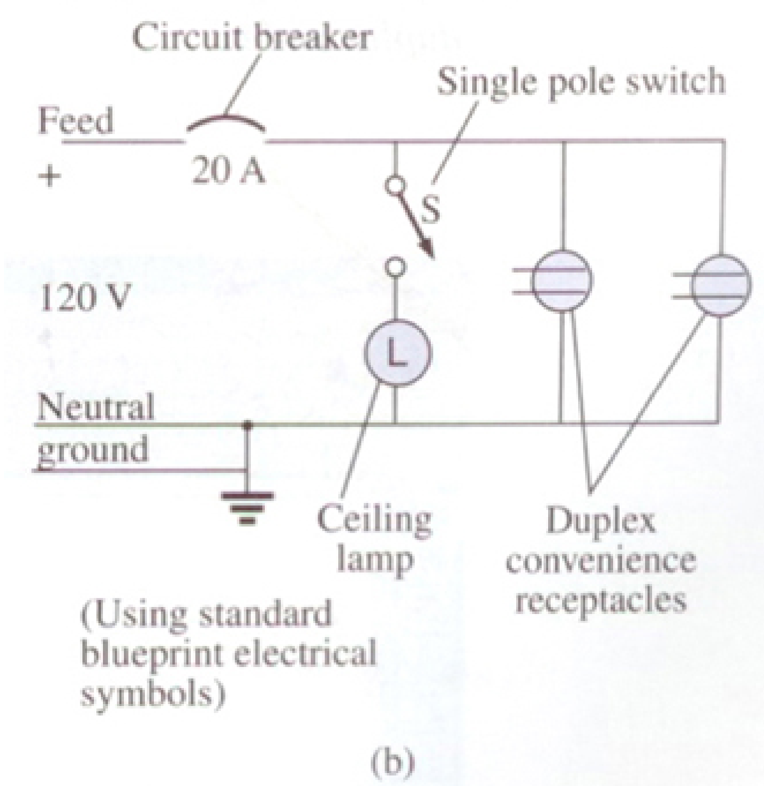
Interval of time when sinusoidal voltage is near zero volts.

Robert L. Boylestad, Introductory Circuit Analysis, 10th edition, Prentice Hall, 2002, p. 556

Hot Wire



(a) physical details
Single phase of house wiring



(b) schematic representation
Single phase of house wiring

Robert L. Boylestad, Introductory Circuit Analysis, 10th edition, Prentice Hall, 2002, p. 199

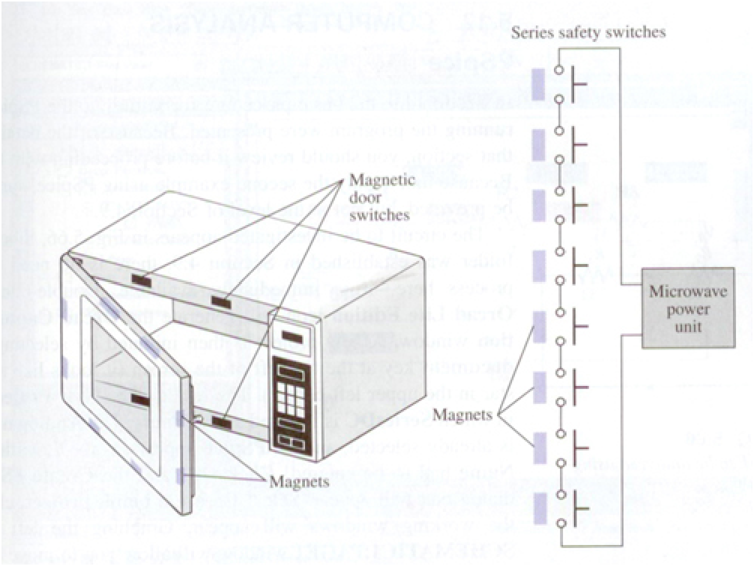
Safety Concerns – dc Voltages and High Frequency

3. Low dc voltages

- 자동차 배터리로부터의 **12 V dc** 도 위험하다.
- 전압은 낮지만 수 **A** 의 전류를 흘릴 수 있는 전원이다.
- 몸**(**피부**,** 접촉부**)**의 저항이 낮으면 많은 전류가 몸을 통해 흐를 수 있다.
- 젖은 손이나 반지 등이 자동차 배터리의 양극에 접촉되면 많은 전류가 몸을 통해 흘러 위험하게 된다.

4. High frequency supplies

- **2.45 GHz, 120 V** 의 **microwave oven** 은 몹시 위험한 기기이다.
- 그림과 같이 철저히 차폐를 하게 되어 있지만 믿을 것은 못 된다.
- 따라서**,** 요리 중에는 **15 cm** 이상 떨어져서 보는 것이 좋다.
- 더 좋은 것은 다른 일을 하는 것이다.
- 같은 이유에서 라디오 송신탑 근처에는 접근하지 말라는 경고가 있다.
- **540 kHz** 를 송출하는 송신기에 **3 m** 정도 접근하면 심하게 다칠 수 있다.
- 형광등을 송신탑에 가까이 가져가면 형광등 내 분자들이 여기하여 발광하는 것을 볼 수 있지만 절대 하지 말 것.



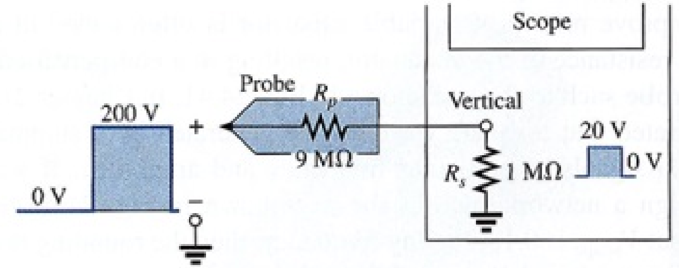
Series safety switches in a microwave oven.

Robert L. Boylestad, Introductory Circuit Analysis, 10th edition, Prentice Hall, 2002, p. 153

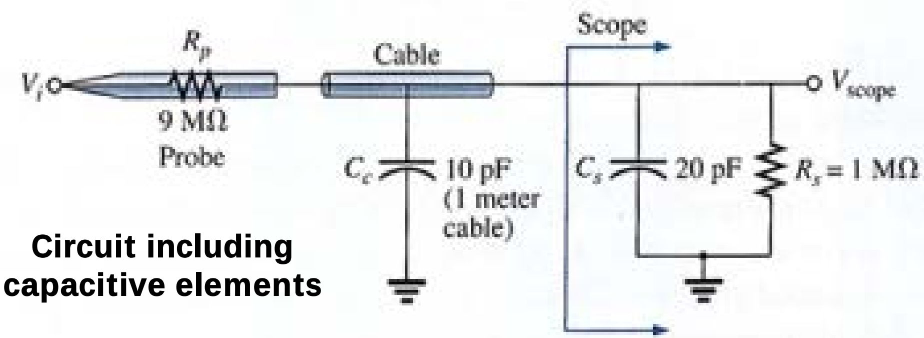
Oscilloscope Attenuator and Compensating Probe (I)

X 10 attenuator probe

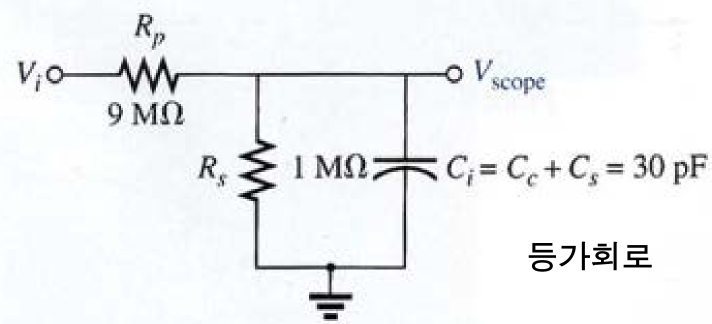
- 입력 전압을 **1/10** 로 줄여서 읽는다.
- 오실로스코프의 내부저항이 **1 MΩ** 이므로 **9 MΩ** 저항을 사용하여 분압한다.
- 오실로스코프 내부에는 저항 만이 아니라 커패시턴스**(20 pF)**도 있고**, 1 m** 정도의 프루브에는 **10 pF** 정도의 커패시턴스도 있다**.**



X 10 attenuator probe

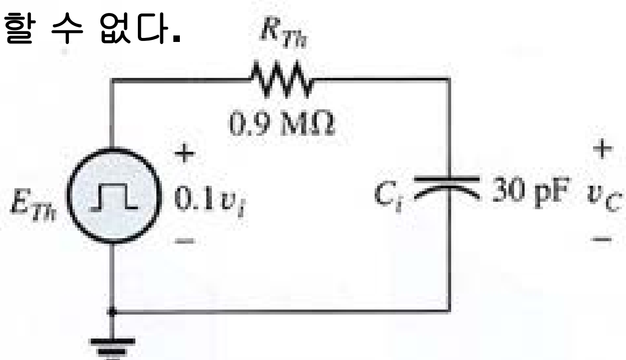


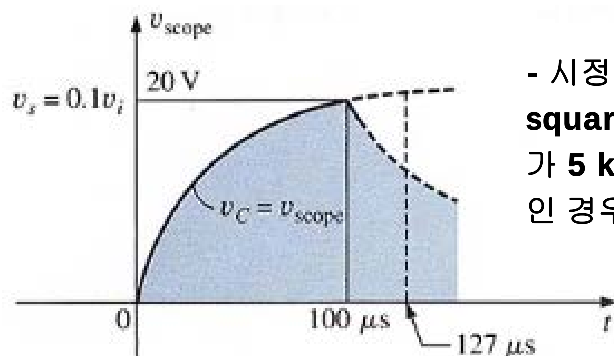
Circuit including capacitive elements



등가회로

- 테브냉 등가회로에 **square wave**가 입력이 되면 오실로스코프의 전압 파형은 그림과 같이 왜곡되어 제대로 측정을 할 수 없다**.**





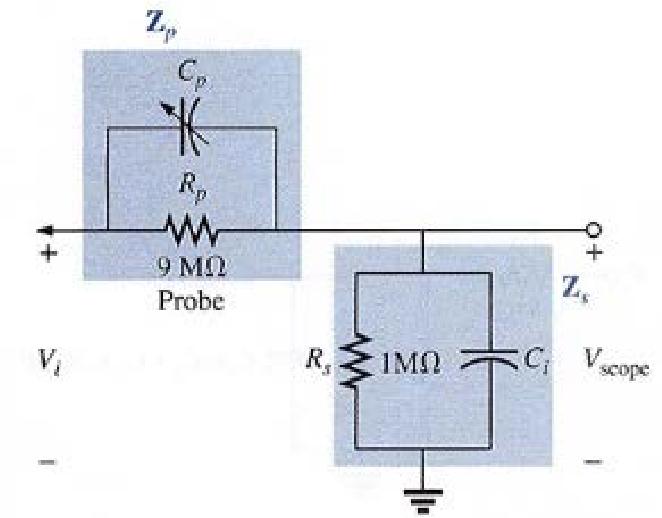
- 시정수는 **27 μs** 이고 **square wave**의 주파수가 **5 kHz(**주기 **0.2 ms)** 인 경우이다**.**

Robert L. Boylestad, Introductory Circuit Analysis, 10th edition, Prentice Hall, 2002, p. 1111-1112

Oscilloscope Attenuator and Compensating Probe (II)

Compensated attenuator probe

Compensated 10:1 attenuator probe



- **square wave**는 여러 정현파의 합성이므로 주파수 영역에서 페이저를 이용하여 해석할 수 있다.
- 프루브에 커패시턴스를 삽입하고 이 값을 조정하면 왜곡을 없앨 수 있다.
- 오실로스코프 전압은 전압 분배에 의해 각 임피던스 값으로 분압된다.

$$\mathbf{V}_{\text{scope}} = \frac{\mathbf{Z}_{\text{scope}}}{\mathbf{Z}_{\text{scope}} + \mathbf{Z}_{\text{probe}}} \mathbf{V}_{\text{input}}$$

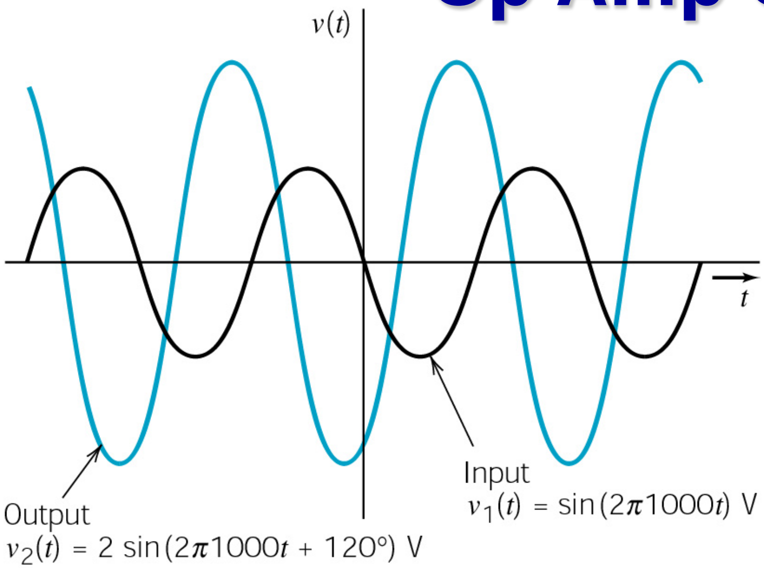
$$\mathbf{Z}_{\text{scope}} = \frac{R_{scope} / j\omega C_{scope}}{R_{scope} + 1/ j\omega C_{scope}} = \frac{R_{scope}}{j\omega R_{scope} C_{scope} + 1} \quad \text{and} \quad \mathbf{Z}_{\text{probe}} = \frac{R_{probe} / j\omega C_{probe}}{R_{probe} + 1/ j\omega C_{probe}} = \frac{R_{probe}}{j\omega R_{probe} C_{probe} + 1}$$

- 프루브의 커패시턴스를 아래의 조건에 맞도록 조정하면 스코프 전압은 저항에 의해 분압이 되어 왜곡되지 않고 분압된다.

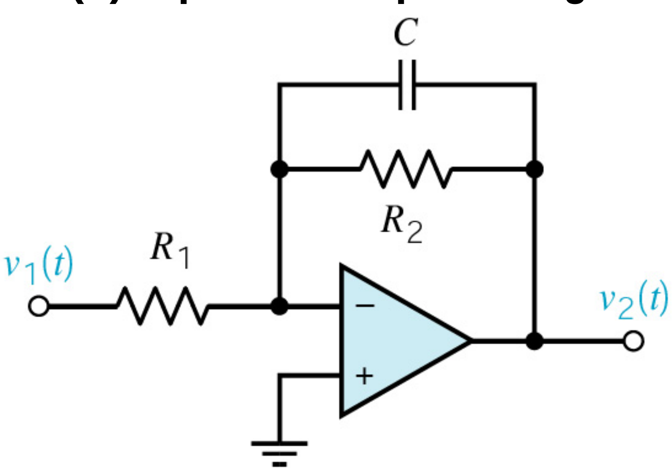
$$R_{scope} C_{scope} = R_{probe} C_{probe} \Rightarrow \mathbf{V}_{\text{scope}} = \frac{R_{scope}}{R_{scope} + R_{probe}} \mathbf{V}_{\text{input}}$$

Robert L. Boylestad, Introductory Circuit Analysis, 10th edition, Prentice Hall, 2002, p. 1112

Op Amp Circuit (I)



(a) Input and output voltages



(b) Proposed circuit

그림**(a)**와 같은 **input**으로 **output**을 얻고 싶다면 **Op amp**를 이용한 회로 **(b)**에서 저항과 **capacitor**를 어떻게 설계해야 하는가?

입력이 정현파일 때의 선형 전기회로에서의 정상상태 응답을 구해 본다.

Phasor 를 이용하여 설계한다.

$$v_1 = \sin(2\pi 1000t),$$

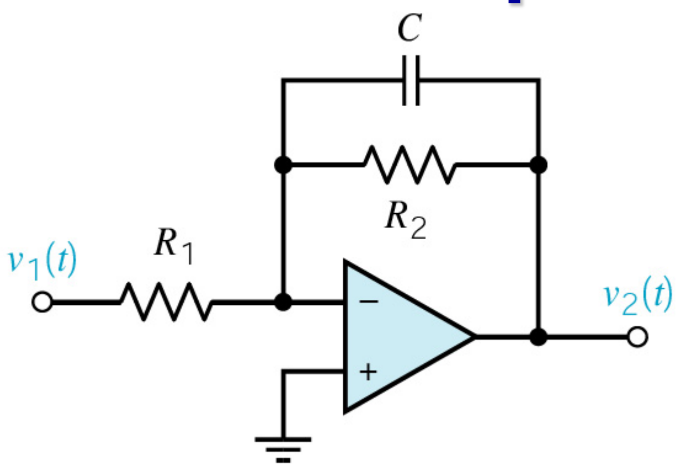
$$v_2 = 2\sin(2\pi 1000t + 120^0)$$

$$\mathbf{V}_1 = 1\angle -90^0$$

$$\mathbf{V}_2 = 2\angle 30^0$$

Richard C. Dorf & James A. Svoboda, Introduction to Electric Circuits, 8th edition, John Wiley & Sons, 2010, p. 471

Op Amp Circuit (II)



$$\frac{\mathbf{V}_2}{\mathbf{V}_1} = -\frac{\mathbf{Z}_2}{\mathbf{Z}_1}$$

$$\mathbf{Z}_1 = R_1$$

$$\mathbf{Z}_2 = \frac{R_2 / j\omega C}{R_2 + 1/j\omega C} = \frac{R_2}{j\omega C R_2 + 1}$$

$$\therefore \frac{\mathbf{V}_2}{\mathbf{V}_1} = -\frac{\mathbf{Z}_2}{\mathbf{Z}_1} = -\frac{R_2/R_1}{j\omega C R_2 + 1}$$

그런데 입력과 출력 전압은 아래와 같은 관계에 있으므로

$$\mathbf{V}_1 = 1\angle -90^0$$

$$\mathbf{V}_2 = 2\angle 30^0$$

$$\frac{\mathbf{V}_2}{\mathbf{V}_1} = 2\angle 120^0$$

윗 식에서 **gain** 이 **2,** 위상이 **120** 도가 되어야 한다.
식이 두 개이고 변수 **3**개 **(**저항 **2** 개**,** 캐패시터 **1** 개 **)**이니 방정식으로는 안 풀린다.

적당한 소자 조합을 구한다.
적당하다는 의미는 가격이나 구하기가 용이하면서 설계 조건을 만족하는 것이다.

Richard C. Dorf & James A. Svoboda, Introduction to Electric Circuits, 8th edition, John Wiley & Sons, 2010, p. 471