EOMJI WORLD

회로이론 for NCS

용어정리

- 전류 I [A] → 단위 시간당 이동한 전하량
- 전압 V [V] → 전기적 위치에너지 차

  단위정전하가 회로의 두 점 사이를 이동시 얻거나 잃는 에너지

  저항 양단자에서 전류가 흐를수 있게 하는 원동력
- 주파수 f [Hz]

  → 교류전압 또는 전류가 1초마다 반복하는 수
- 전력 P [W] → 단위시간당 한 일

EOMJI WORLD

1 전류와 전압

(1) 전하량 : 전기적인 양, 단위 [C]

	전하량 Q[C]	질량 m[kg]
양성자	$+1.602\times10^{-19}$	1.673×10^{-27}
중성자	0	1.675×10^{-27}
전자	-1.602×10^{-19}	9.11×10^{-31}

*단위전하량 $1[C]=e\times n$

$$n=\frac{1}{e}=\frac{1}{1.602\times10^{-19}}=6.24\times10^{18}\ [개]$$

→ 전자 6.24×10^{18} [개]가 모이면 1[C]

(2) 전류 I[A] 단위 시간당 이동한 전하량

① 직류 $I=\frac{Q}{t}$ [A] [C/S] → $Q=I\times t$

② 교류 $i(t)=\frac{dq(t)}{dt}$ [A] → $q(t)=\int i(t)dt$

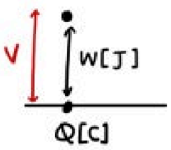
(3) 전압 V[V] 전기적 위치에너지 차

: 단위 점전하가 회로의 두 점 사이를 이동시 얻거나 잃는 에너지

: 저항 양단자에서 전류가 흐를수 있게 하는 원동력

① 직류 $V=\frac{W}{Q}$ [V] [J/C] → $W=QV$

② 교류 $v=\frac{dw}{dq}$ [V] → $w=\int v\,dq$

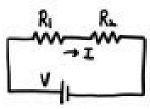


일 $W=Q\cdot V$

: Q[C]의 전하가 V[V]만큼의 에너지가 있으면 W[J] 만큼 일 할수 있음

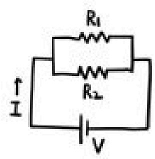
✱ 저항의 접속 ✱

[직렬]



$R_{total}=R_1+R_2$

[병렬]



$R_{total}=\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}$

(1) 키르히호프의 제1법칙 전류법칙 KCL → $\Sigma I=0$

임의의 점에서 들어오는 전류 = 나가는 전류

(2) 키르히호프의 제2법칙 전압법칙 KVL → $\Sigma V=0$

임의의 폐회로에서 기전력의 합은 전압강하의 합과 같다

3 옴의 법칙

⇒ $V=I\cdot R$

4 배율기와 분류기

: 저항을 연결하여 전압계 / 전류계의 측정 범위를 넓혀주는 것

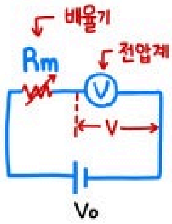
(1) 배율기

→ 'm 배'의 전압을 측정하고 싶으면?

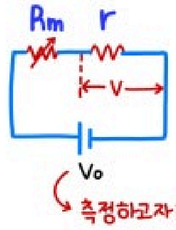
$V=mV_0$

"직렬에선 I 일정"을 이용하여

Rm (가변저항)의 값을 직렬로 추가



⇨



측정하고자 하는 전압

$$I=\frac{V_0}{R_m+r}=\frac{V}{r}$$: 직류 → 전류일정

$$V_0=\frac{V}{r}(R_m+r)=\frac{V\cdot R_m}{r}+\frac{V\cdot r}{r}=V\left(\frac{R_m}{r}+1\right)$$

→ $\frac{V_0(\text{측정해야 할 값})}{V(\text{전압계의 지시 값})}=\frac{R_m}{r}+1=m$ (배율비)

⇨ $R_m=(m-1)r$

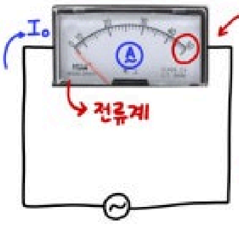
m 배를 측정하고 싶다면 배율기 저항을 r 의 (m-1) 값을 주면됨

blog.naver.com/thumb_jw

전류와 전압, 키르히호프 법칙, 옴의 법칙, 배율기와 분류기

197 195

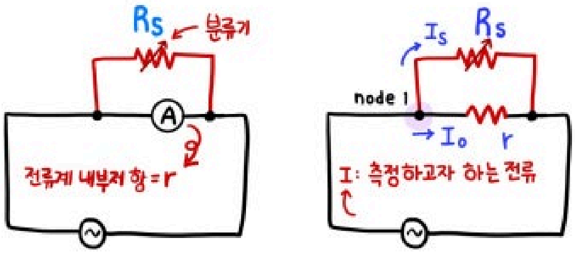
EOMJI WORLD



최대 50[A]의 전류까지 측정 가능

→ 'm 배'의 전류를 측정하고 싶으면?
$I=mI_0$

"병렬에선 V일정"을 이용하여 R_s(가변저항)의 값을 병렬로 추가



$V=I_0 r=I_s R_s$: 병렬 → 전압 일정

KCL에 의해 node 1에서 $I_s=I-I_0$ 이므로

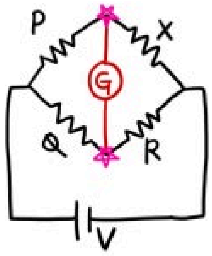
$I_0 r=(I-I_0)R_s$

$R_s=\frac{I_0 r}{I-I_0}$ 이고, 분모·분자 I_0로 나누면

$R_s=\frac{r}{\frac{I}{I_0}-1}$ ⇒ $\frac{I}{I_0}=m$ (분류비) 라고하면

→ $R_s=\frac{r}{m-1}$: R_s는 전류계와 병렬연결

5 휘스톤 브릿지

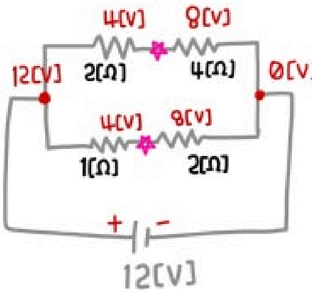


Ⓖ는 검류계인데,

Ⓖ에 전류가 흐르지 않을 조건은?

$P\cdot R = X\cdot Q$

[왜?] if) P=2, X=4, Q=1, R=2 / V=12[V]



✡부분의 전위차가 0 이므로 전류계를 달아도 전류가 흐르지 X

(1) 전력 P[W]

전기가 단위시간당 한 일의 양

$P=\frac{W}{t}$ [W] → $W=P\cdot t$

[W]=[J/S] [J]=[W·sec]

전력 = 일 × 시간

* $P=\frac{W}{t}=\frac{V\cdot Q}{t}=\frac{VIt}{t}$ ⇨ $P=VI$ 전력 = 전압 × 전류

W=V·Q Q=I·t

(2) 전력량 W[J][W·sec][V·C]

우리는 [kWh] 단위를 많이 쓰지?!

전력 x 시간 (일정 시간동안 가해진 전력의 양)

$W=P\cdot t$ [J][W·sec] $=V\cdot I\cdot t=I^2R\cdot t=\frac{V^2}{R}\cdot t$

(3) 열량 H[cal]

$1[J]=0.24[cal]=\frac{1}{4.18}[cal]$

$\therefore H=0.24W=0.24P\cdot t$ [cal]

$=0.24VI\cdot t=0.24I^2R t=0.24\frac{V^2}{R}\cdot t$

* kWh (전력량) 1[J]=1[W·sec]=0.24[cal]

= 3600[kW·sec]

= 3600 × 0.24 [kcal] = 860 [kcal]

⇨ 1[kWh] = 860 [kcal]

* 효율 구하기 (η = 출력 / 입력)

① 전기보일러의 효율 { 입력: 전기에너지, 출력: 물의 온도 상승

$\therefore \eta=\frac{C\cdot m\cdot \theta}{860P\cdot t}$

C: 비열 [kcal/kg·°C]
m: 질량 [kg]
θ: 온도변화 [°C]

② 화력발전기의 효율 { 입력: 석탄(열에너지), 출력: 전기에너지

$\eta=\frac{860P\cdot t}{m\cdot H}$

m: 석탄의 질량 [kg]
H: 발열량 [kcal/kg]

휘스톤 브릿지 / 전력 전력량 열량 /

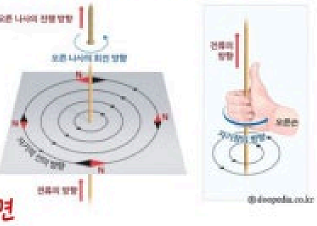
197 195

EOMJI WORLD

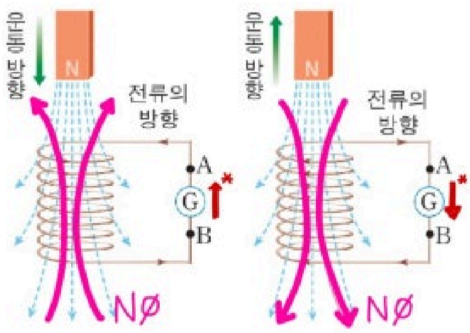
① 정현파 교류 발생원리

(1) 앙페르의 오른나사 법칙 : 전류와 자속의 방향성

전류가 흐르는 도체 주위에는
자계가 발생하며,
자계의 방향을
오른 나사의 회전방향으로 잡으면
전류의 방향은 그 나사의 진행방향이 된다



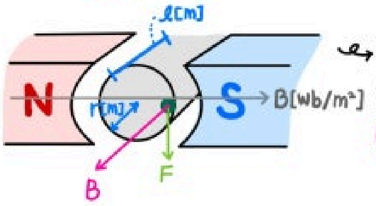
(2) 페러데이-렌쯔의 법칙



· 코일의 감긴 횟수 = N회
* 쇄교자속 = NØ → 이 자속의 변화량은 전압을 발생시킴.
* 전류(유도기전력)은 자속의 증가를 방해하는 방향으로 발생함.

$$e = -N\frac{d\phi}{dt}$$

렌쯔 · 패러데이

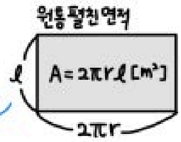


↪ 플레밍의 오른손 법칙에 의해, 유기기전력의 방향은 ⊙ 방향

*유기기전력의 크기

$$e = \frac{d\phi}{dt}$$

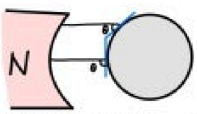
원통 펼친 면적



$$\boxed{\phi = B\cdot A = B\cdot 2\pi r\ell}$$

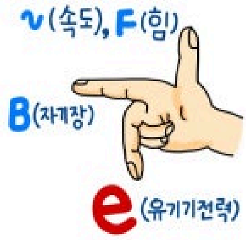
$$e = B\cdot\ell\frac{d\,2\pi r}{dt} = B\cdot\ell\cdot v\ [V]$$

$$\boxed{\therefore e = B\cdot\ell\cdot v\cdot \sin\theta\,[V]}$$ ☆



θ에 따라 자속의 크기가 다름

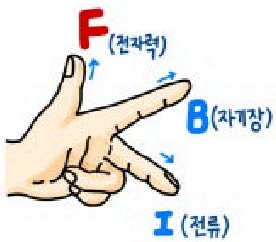
(3) 플레밍의 오른손 법칙(발전기에서)



자기장에서 도선이 움직일 때

유도기전력의 방향은 자기장의 방향과 도선이 움직이는 방향으로 결정됨
(e, B, F)

(4) 플레밍의 왼손법칙 (전동기에서)

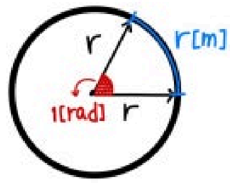


자기장속에 있는 도선에 전류가 흐를 때,

도선이 받는 힘의 방향은 자기장의 방향과 도선에 흐르는 전류의 방향으로 결정됨
(F, B, I)

(5) 호도법

$$\theta = \frac{\ell}{r}[rad]$$



$0° = 0\ [rad]$ $90° = \frac{\pi}{2}[rad]$
$30° = \frac{\pi}{6}[rad]$ $180° = \pi[rad]$
$60° = \frac{\pi}{3}[rad]$ $360° = 2\pi[rad]$

(6) 각속도 ω[rad/sec]

$$\omega = \frac{2\pi}{T}[rad/s]$$

$$\omega = 2\pi f$$

(7) 주파수 f[Hz] ⇒ 1[sec] 동안에 발생하는 사이클 수 단위

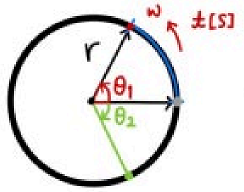
$$f = \frac{1}{T}[Hz]$$

blog.naver.com/thumb_jw

앙페르의 오른나사 법칙

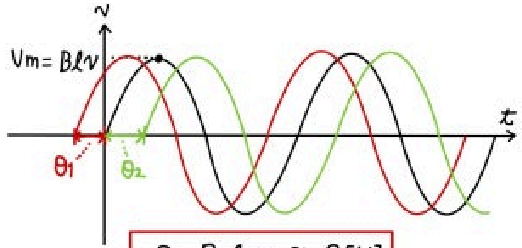
호도법 각속도 주파수

EOMJI WORLD



$\theta = \omega t = 2\pi f t$

*** 위상 및 위상차**



$\therefore e = B \cdot l \cdot v \cdot \sin\theta\,[V]$

순시값 → $v(t) = V_m \cdot \sin(\omega t)\,[V]$

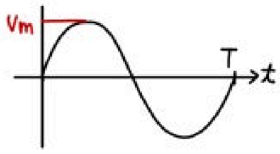
진상(빠름) → $v(t) = V_m \cdot \sin(\omega t + \theta_1)$

지상(느림) → $v(t) = V_m \cdot \sin(\omega t - \theta_2)$

2 정현파 교류의 표시

(1) 순시값

$v(t) = V_m \cdot \sin \omega t\,[V]$



(2) 최대값 V_m

(3) 평균값 (=직류값)

반주기만 평균냄.

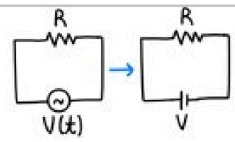
$$V_{avg} = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)\,dt = \frac{1}{\pi}\int_0^\pi V_m \cdot \sin\theta\, d\theta$$

$$= \frac{V_m}{\pi}\left[-\cos\theta\right]_0^\pi = \frac{V_m}{\pi}[1+1] = \frac{2}{\pi}V_m$$

$\therefore V_{avg} = \frac{2}{\pi}V_m$

blog.naver.com/thumb_jw

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v(t)^2\, dt}$$



$$= \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} V_m^2 \cdot \sin^2\theta \cdot d\theta}$$

$$= \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi}\int_0^{2\pi}\left(\frac{1-\cos 2\theta}{2}\right)d\theta}$$

$$= \sqrt{\frac{V_m^2}{4\pi}\left[\theta - \frac{1}{2}\sin 2\theta\right]_0^{2\pi}} = \sqrt{\frac{V_m^2}{4\pi}\times 2\pi} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$\therefore v(t) = \underbrace{\sqrt{2}\,V}_{V_m} \cdot \sin\omega t\,[V]$ (V → 실효값!)

$\therefore V_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}}V_m$

(5) 파고율과 파형률

① 파고율 = $\frac{\text{최대값}}{\text{실효값}}$; 파형이 얼마나 높은지

② 파형률 = $\frac{\text{실효값}}{\text{평균값}}$

* I_{avg} : 가동코일형 Ⓐ

I_{rms} : 열선계기형 Ⓐ

3 각 파형별 각종 값

	Vrms	Vavg	파고율	파형률
정현파	$\frac{1}{\sqrt{2}}V_m$	$\frac{2}{\pi}V_m$	$\sqrt{2} = 1.41$	$\frac{\sqrt{2}}{2\pi} = 1.11$
반파 정현파	$\frac{1}{2}V_m$	$\frac{1}{\pi}V_m$	2	$\frac{\pi}{2} = 1.57$
구형파	V_m	V_m	1	1
반파 구형파	$\frac{1}{\sqrt{2}}V_m$	$\frac{1}{2}V_m$	$\sqrt{2} = 1.41$	$\sqrt{2} = 1.41$
삼각파 (톱니파)	$\frac{1}{\sqrt{3}}V_m$	$\frac{1}{2}V_m$	$\sqrt{3} = 1.73$	$\frac{2}{\sqrt{3}} = 1.15$

*** 실효값 구하기 ***

① $\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v(t)^2\, dt}$ ② $\frac{1}{\sqrt{2}}V_m$

③ 파형률 × 평균값 ④ $\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$ × 평균값 (= 1.11 × 평균값)

순시값 최대값 평균값 실효값

197 195

EOMJI WORLD

(1) 순시값

$v(t) = \sqrt{2}V\sin(\omega t + \theta_1)$ ⇒ $V = 100\sqrt{2}\sin(\omega t + 30°)$

↳ 실효값

(2) 극형식법 $V\angle\theta_1$ ⇒ $100\angle 30°$

(3) 삼각함수법

$V\{\cos\theta_1 + j\sin\theta_1\}$ ⇒ $100\cos 30° + j\,100\sin 30°$

(4) 복소수법

$v = a + jb$ ⇒ $50\sqrt{3} + j50$

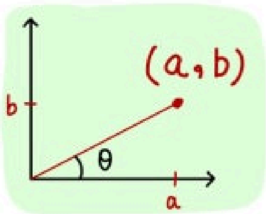
(5) 지수함수의 표시

오일러의 공식

$\varepsilon^{j\theta} = \cos\theta + j\sin\theta$ ⇒ $100\,\varepsilon^{j30}$

복소수 : $a + jb$

극형식 : $\sqrt{a^2+b^2}\angle\tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$



(6) 극형식의 곱셈·나눗셈

$\vec{A} = 50\angle 60°$ $\vec{B} = 10\angle 15°$

① 곱셈 $\vec{A}\cdot\vec{B} = 500\angle 75°$: 크기는 곱하고 각도는 더함

② 나눗셈 $\frac{\vec{A}}{\vec{B}} = 5\angle 45°$: 크기는 나누고 각도는 뺌

(7) 정현파의 합성

$e_1 = 100\sqrt{2}\sin(\omega t + 30°)$
$e_2 = 50\sqrt{2}\sin(\omega t + 60°)$

$e_1 = 100\angle 30° \rightarrow 100\cos 30° + j100\sin 30°$ ⇒ $50\sqrt{3} + j50$
$e_2 = 50\angle 60° \rightarrow 50\cos 60° + j50\sin 60°$ ⇒ $25 + j25\sqrt{3}$

$e_1 + e_2 = \sqrt{A^2+B^2}\angle\tan^{-1}\left(\frac{B}{A}\right)$

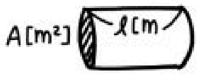
$Z = \frac{\dot{V}}{\dot{I}} = \frac{V\angle\theta_1}{I\angle\theta_2} = \frac{V}{I}\angle(\theta_1 - \theta_2)$ [Ω]

[제3장] R-L-C 교류회로

1 수동소자

(1) 저항 R[Ω] 옴

: 전류를 방해하며, 열로서 에너지를 소모하는 소자



→ $R = \rho\frac{\ell}{A}$ [Ω]

* $\rho = \frac{R\cdot A}{\ell}$ [Ω·m²/m] [Ω·m] [Ω·mm²/m]

* σ : 도전도 (전류가 얼마나 잘 흐르는지)
* ρ : 고유저항 (전류가 얼마나 못흐르는지)

$\boxed{\rho = \frac{1}{\sigma}}$

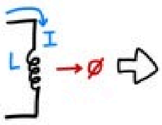
(2) 컨덕턴스 G[℧], [S] 지멘스

$G = \frac{1}{R} = \frac{\sigma A}{\ell}$: 저항의 역수!

* 옴의법칙 $V = IR \rightarrow V = \frac{I}{G}$

(3) 인덕턴스 L[H] 헨리

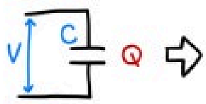
: 코일 → 전류를 자속의 형태로 변화시키는 소자



⇨ $\phi = LI$

(4) 캐패시턴스 C[F] 패럿

: 축전지 → 전압을 전하량의 형태로 변화시키는 소자
(전하량을 저장하는 그릇의 크기)



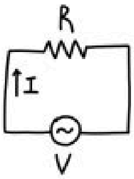
⇨ $Q = CV$

정현파의 벡터 표시법

197 195

저항 컨덕턴스 인덕턴스 커패시턴스

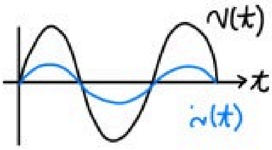
(1) R만의 회로 → 전압과 전류 동상



$i_R = \frac{V}{R}$

$v(t) = \sqrt{2}V\sin\omega t$

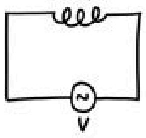
$i(t) = \frac{\sqrt{2}V}{R}\sin\omega t$



(2) L만의 회로 → 전류가 전압보다 90° 느리다 (지상)

$X_L = \omega L\,[\Omega]$

L[H]



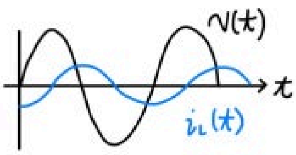
$i_L = \frac{V}{jX_L} = \frac{V}{j\omega L} = \frac{V}{j2\pi fL}$

$\therefore I_L = -j\frac{V}{X_L}$

↳ ⊖는 위상이 느림을 의미함

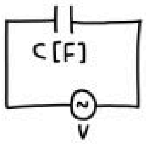
$v(t) = \sqrt{2}V\sin\omega t$

$i_L(t) = \sqrt{2}I_L\sin(\omega t - 90°)$



(3) C만의 회로 → 전류가 전압보다 90° 빠르다 (진상)

$X_C = \frac{1}{\omega C}\,[\Omega]$



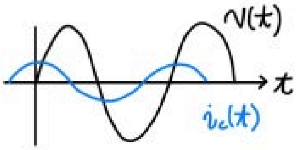
$i_C = \frac{V}{-jX_C} = \frac{V}{-j\frac{1}{\omega C}} = j\omega CV$

$\therefore I_C = +j\frac{V}{X_C} =$

↳ ⊕는 위상이 빠름을 의미함

$v(t) = \sqrt{2}V\sin\omega t$

$i_C(t) = \sqrt{2}I_C\sin(\omega t + 90°)$



- 저항 R[Ω]
  → 에너지를 '열'로 소모
- 리액턴스(X)

→ 임피던스 $Z = R + jX$

- 인덕턴스 L[H]
  ⇒ 전류를 자속의 형태로 변화시켜 저장
  ⇒ $jX_L = j\omega L = j2\pi fL\,[\Omega]$
  ↳ 유도성 리액턴스
- 캐패시턴스 C[F]
  ⇒ 전압을 전하량의 형태로 저장
  ⇒ $jX_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j2\pi fC}\,[\Omega]$
  ↳ 용량성 리액턴스

* $W_R = I^2Rt\,[J]$ → R의 에너지 소모

* $W_L = \frac{1}{2}LI^2\,[J]$ → L의 에너지 저장

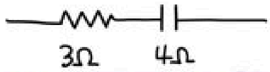
* $W_C = \frac{1}{2}CV^2\,[J]$ → C의 에너지 저장

> ※ 임피던스의 역수 Y 어드미턴스
>
> $Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{R+jX} = G + jB$
>
> * G : 컨덕턴스
> * B : 서셉턴스

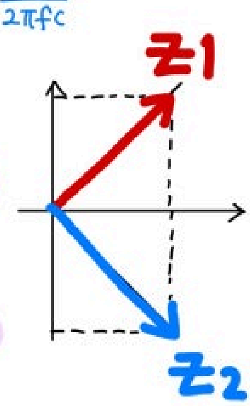
* review *

- 임피던스 $Z = R + jX$ = 저항 + j리액턴스
- 유도성리액턴스 $+jX_L$ → $\omega L = 2\pi fL$
- 용량성 리액턴스 $-jX_C$ → $\frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$

$Z_1 = 3 + j4 \rightarrow \sqrt{3^2+4^2} = 5$



$Z_2 = 3 - j4 \rightarrow \sqrt{3^2+4^2} = 5$



- 저항(R) → "동상"
- 유도성(L) → 전류가 90° "느리다"
- 용량성(C) → 전류가 90° "빠르다"

RL직렬회로 RC직렬회로

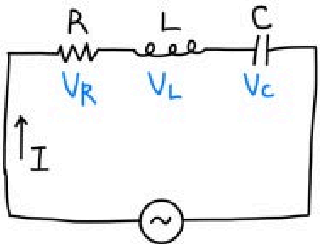
EOMJI WORLD

RL병렬회로 RC병렬회로

EOMJI WORLD

197 195

(1) R-L-C 직렬공진 회로



① 공진시 임피던스 (최소)

$$Z = R + j(X_L - X_C) = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

이 때 허수부가 0 이므로 $Z = R$

② 공진주파수 : 리액턴스가 0 이되게 하는 f값

$$2\pi f L = \frac{1}{2\pi f C} \qquad f^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC} \qquad \therefore f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

③ 전압확대율, 양호도 Q

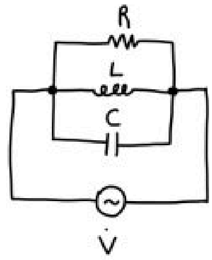
: 전원전압 V에 대한 L 및 C 양단의 단자전압 V_L, V_C 비율

$$Q = \frac{V_L}{V_R} = \frac{V_C}{V_R} \text{ 에서}$$

$$Q^2 = \frac{V_L \cdot V_C}{V_R^2} = \frac{X_L \cdot X_C}{R^2} = \frac{\omega L \times \frac{1}{\omega C}}{R^2} = \frac{1}{R^2} \times \frac{L}{C}$$

$$\therefore Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} \text{ (직렬회로)}$$

(2) R-L-C 병렬공진 회로



① 공진시 임피던스 (최대) / 어드미턴스 최소

$$* \; Y = \frac{1}{R} - j\left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)$$

이 때 허수부가 0 일때 어드미턴스 최소

② 공진주파수 : 리액턴스가 0 이되게 하는 f값

$$\frac{1}{X_L} = \frac{1}{X_C} \rightarrow \frac{1}{2\pi f L} = 2\pi f C$$

$$f^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC} \qquad \therefore f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

③ 전류확대율, 양호도 Q

: 전원전류 I에 대한 L 및 C 에 흐르는 전류 I_L, I_C 의 비율

$$Q = \frac{I_L}{I_R} = \frac{I_C}{I_R} \text{ 에서}$$

$$Q^2 = \frac{I_L \cdot I_C}{I_R^2} = \frac{R^2}{X_L \cdot X_C} = \frac{R^2}{\omega L \times \frac{1}{\omega C}} = R^2 \times \frac{C}{L}$$

$$\therefore Q = R\sqrt{\frac{C}{L}} \text{ (병렬 회로)}$$

blog.naver.com/thumb_jw

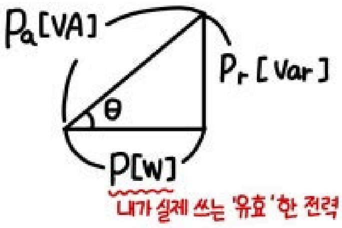
공진회로

197 195

EOMJI WORLD

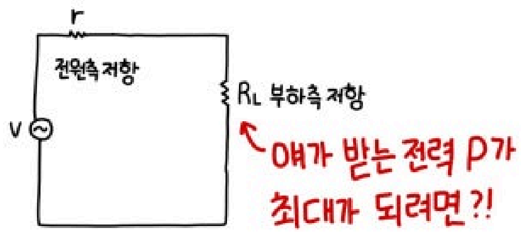
[제4장] 교류전력

① 각 회로 소자에서의 교류 전력



② 최대전력전송

(1) 직류 회로



① 전체 저항

$$Z = r + R_L$$

② 전류

$$I = \frac{V}{r + R_L}$$

③ 부하측에서 소비된 전력 P [W]

$$P = I^2 R_L = \frac{V^2}{(r + R_L)^2} \times R_L$$

$$P(r) = \frac{V^2}{(r+R_L)^2} \times R_L$$

$$\left(\frac{f}{g}\right)' = \frac{f'g - fg'}{g^2}$$

이게 최대가 되려면 $P'(r) = 0$ 값 찾으면 됨

$$P'(r) = V^2 \cdot R_L \times \frac{1}{(r+R_L)^4} \times \{-2(r+R_L)\} \rightarrow r = R \text{ 일때!}$$

$$\boxed{P_{max} = \frac{V^2}{4R}} \Big|_{P(R)}$$

(2) 교류 회로

① 전체 임피던스

$$Z = (R_S + R_L) + j(X_S + X_L)$$

② 전류

$$I = \frac{V}{\sqrt{(R_S+R_L)^2 + (X_S+X_L)^2}}$$

③ 부하측에서 소비된 전력 P [W]

$$P = I^2 R_L$$

$$= \frac{V^2}{(R_S+R_L)^2 + (X_S+X_L)^2} \times R_L$$

이게 최대가 되려면

① $R_S = R_L$ (직류 회로와 同)

② 분모가 최소. 즉, 허수부가 0 이면 됨

→ 켤레 복소수 관계!

$$P_{max} = \frac{V^2}{(R_L+R_L)^2 + \cancel{(X_S+X_L)^2}} \times R_L$$

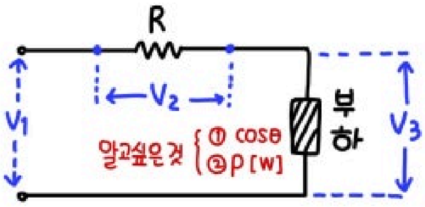
$$\therefore \boxed{P_{max} = \frac{V^2}{4R}} \ (R: \text{부하측 저항})$$

blog.naver.com/thumb_jw

197 195

EOMJI WORLD

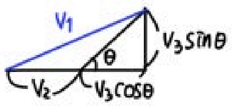
(1) 3전압계법



V_1 : 공급(전체) 전압 $\dot{V_1} = \dot{V_2} + \dot{V_3}$

V_2 : 저항 R에 걸리는 전압

V_3 : 부하에 걸리는 전압 $\dot{V_3} = V_3\cos\theta + V_3\sin\theta$



$V_1^2 = (V_2 + V_3\cos\theta)^2 + (V_3\sin\theta)^2$

$V_1^2 = V_2^2 + V_3^2 + 2V_2V_3\cos\theta$

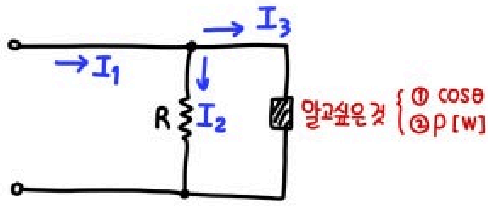
① $\cos\theta = \dfrac{V_1^2 - V_2^2 - V_3^2}{2V_2V_3}$

② 소비전력

$P = V_3 I\cos\theta = V_3 \cdot \dfrac{V_2}{R} \cdot \dfrac{V_1^2 - V_2^2 - V_3^2}{2V_2V_3}$

$\therefore P = \dfrac{V_1^2 - V_2^2 - V_3^2}{2R}$

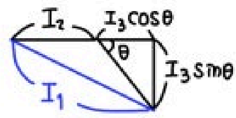
(2) 3전류계법



I_1 : 공급(전체) 전류 $\dot{I_1} = \dot{I_2} + \dot{I_3}$

I_2 : 저항 R에 흐르는 전류

I_3 : 부하에 흐르는 전류 $I_3 = I_3\cos\theta + I_3\sin\theta$



$I_1^2 = (I_2 + I_3\cos\theta)^2 + (I_3\sin\theta)^2$

$I_1^2 = I_2^2 + I_3^2 + 2I_2I_3\cos\theta$

① $\cos\theta = \dfrac{I_1^2 - I_2^2 - I_3^2}{2I_2I_3}$

② 소비전력

$P = V I_3\cos\theta = (I_2R) \times I_3 \times \dfrac{I_1^2 - I_2^2 - I_3^2}{2I_2I_3}$

$\therefore P = \dfrac{R}{2}(I_1^2 - I_2^2 - I_3^2)$

blog.naver.com/thumb_jw

3전압계법 3전류계법

197 195

EOMJI WORLD

1 자기인덕턴스·상호인덕턴스

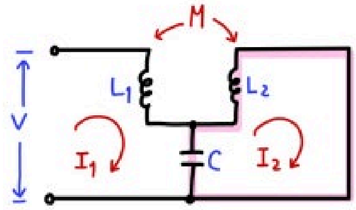
2 인덕턴스의 접속 (자기학 11장참고)

3 캠벨 브리지 : 상호인덕턴스를 구하는 회로

: C나 f를 가변하여 $I_2=0$을 만든후 M을 구함

$$\therefore M = \frac{1}{\omega^2 C}$$

[이해용 유도과정]



KVL에 의해 $V_{L_2} + V_m + V_c = 0$ 이다. ··· ⓐ

· V_m: 차동결합에 의한 전압강하

$$\begin{cases} V_{L_2} = j\omega L_2 I_2 \\ V_m = -j\omega M I_1 \\ V_c = \frac{1}{j\omega C}(I_2 - I_1) \end{cases} \rightarrow ⓐ \text{ 에 대입하면}$$

$$j\omega L_2 I_2 - j\omega M I_1 - j\frac{1}{\omega C}(I_2 - I_1) = 0$$

$$\omega L_2 I_2 - \omega M I_1 - \frac{1}{\omega C}(I_2 - I_1) = 0$$

$$I_1\underbrace{\left(\frac{1}{\omega C} - \omega M\right)}_{①} + I_2\underbrace{\left(-\frac{1}{\omega C} + \omega L_2\right)}_{②} = 0$$

C와 f를 조정하여 ②를 0으로 만들었다고 가정하면

$$I_1\left(\frac{1}{\omega C} - \omega M\right) = 0 \rightarrow \frac{1}{\omega C} - \omega M = 0$$

$$\therefore M = \frac{1}{\omega^2 C}$$

4 벡터궤적

1 선형회로망과 전원

(1) 선형회로망

: R, L, C, G 등의 회로소자가 전압·전류등에 변화 하여도 그 본래의 값이 변화하지 않는 것을 선형소자라고 하며, 이들 선형소자로 구성된 회로를 선형회로망 이라 한다.

(2) 전압원

- 부하전류와 관계 없이 항상 일정한 전압을 공급하는 전원
- 이상적인 전압원의 조건: 내부 임피던스 $Z = 0$

(3) 전류원

- 부하변동과 관계없이 항상 일정한 전류를 공급하는 전원
- 이상적인 전류원의 조건: 내부 임피던스 $Z = \infty$

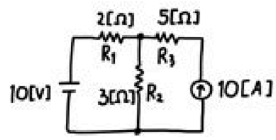
2 회로망의 정리

(1) 중첩의 정리(선형회로망)

둘 이상의 전압원이나 전류원이 존재할때, 특정 부하에 흐르는 전류(또는전압)을 구할수 있는 방법

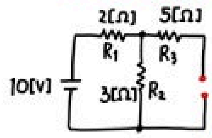
<순서> 1st. 한개의 전원만 남기고 모두 없애기
(전압원 단락, 전류원 개방)
2nd. 남겨둔 전원으로 해석하기
3rd. 나머지 전원들도 1st ~ 2nd 반복하기
4th. 중첩하기

<예제>



각각의 전압에 걸리는 전압은?

1st. 전류원개방



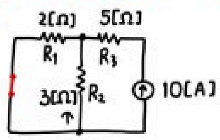
2nd. 회로해석

$V_{R_1} = 4[V]$

$V_{R_2} = 6[V]$

$V_{R_3} = 0[V]$

3rd. 전압원단락 → 해석



$I_{R_1} = 6[A]$ $V_{R_1} = 12[V]$

$I_{R_2} = 4[A]$ $V_{R_2} = 12[V]$

$I_{R_3} = 10[A]$ $V_{R_3} = 50[V]$

4th. 중첩하기

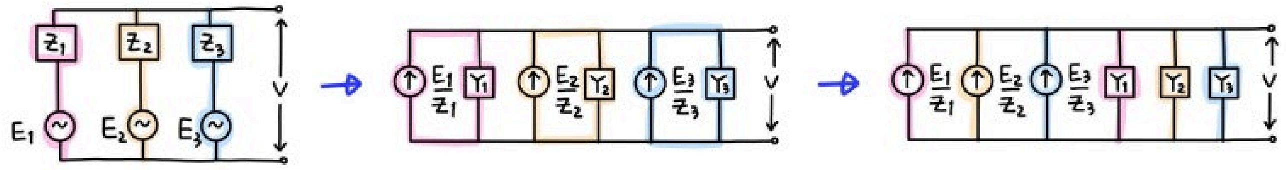
$V_{R_1} = 16[V]$ $V_{R_2} = 18[V]$ $V_{R_3} = 50[V]$

인덕턴스 및 벡터궤적

197 195

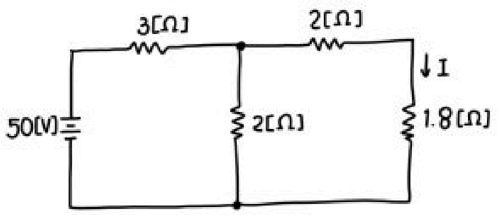
EOMJI WORLD

(2) 밀만의 정리 : 전압원이 병렬로 접속되어 있을 때

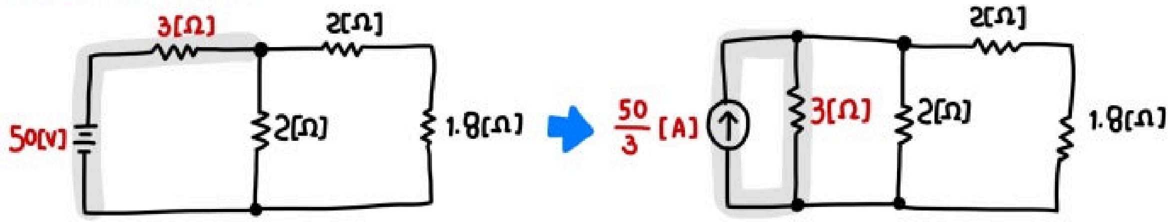


(3) 테브난 - 노튼의 정리

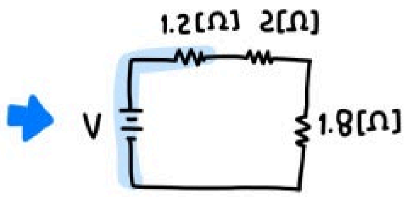
<예제> I 구하기



1st. 전압원 → 전류원



2nd. 병렬 합쳐준 후 다시 전압원으로



* $V_{th} = IR = \frac{50}{3} \times 1.2 = 20\,[V]$

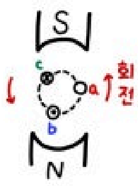
3rd. I 구하기

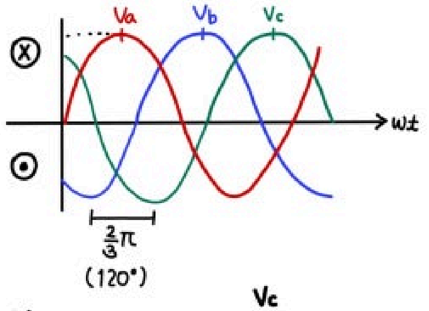
$R_{th} = 5[\Omega]$ 이므로 총전류 $I = \frac{20}{5} = 4[A]$

EOMJI WORLD

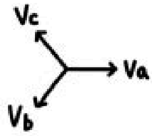
1 평형 3상교류

(1) 다상교류





(2) 각 상의 전압



① $\dot{V}_a = \sqrt{2}\,V\sin\omega t = V\angle 0° = V$

② $\dot{V}_b = \sqrt{2}\,V\sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi) = V\angle -120° = V\angle 240° = a^2 V$

③ $\dot{V}_c = \sqrt{2}\,V\sin(\omega t - \frac{4}{3}\pi) = V\angle -240° = V\angle 120° = aV$

$\Rightarrow \dot{V}_a + \dot{V}_b + \dot{V}_c = V(1+a^2+a) = 0$

3상 평형의 합은 항상 0 이다.

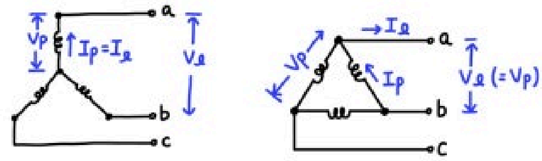
* 벡터연산자 a

$a = 1\angle 120° = \cos 120° + j\sin 120° = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$

$a^2 = 1\angle 240° = \cos 240° + j\sin 240° = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$

$a^3 = 1\angle 0° = 1 \quad \therefore 1+a+a^2 = 0$

V_p : 상전압 I_p : 상전류 V_ℓ : 선간전압 I_ℓ : 선전류



- $V_\ell = \sqrt{3}\,V_p\angle 30°$
- $I_\ell = I_p$

[Y결선]

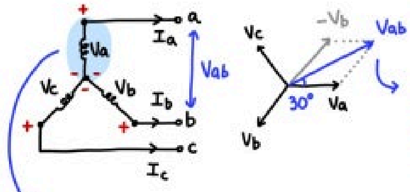
- $V_\ell = V_p$
- $I_\ell = \sqrt{3}\,I_p\angle -30°$

[Δ결선]

유효전력 $= 3I_p^2R = 3V_pI_p\cos\theta = \sqrt{3}\,V_\ell I_\ell\cos\theta$

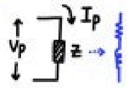
무효전력 $= 3I_p^2X = 3V_pI_p\sin\theta = \sqrt{3}\,V_\ell I_\ell\sin\theta$

피상전력 $= 3I_p^2Z = \sqrt{3}\,V_\ell I_\ell$



* $V_\ell = \sqrt{3}\,V_p\angle 30°$

선간전압 V_ℓ이 크기는 $\sqrt{3}$ 배크고 위상은 30° 앞선다.



$I_p = \frac{V_p}{Z}$

① 유효전력 $= 3I_p^2R = 3I_p\frac{V_p}{Z}R = 3V_pI_p\frac{R}{Z} = 3V_pI_p\cos\theta$

② 무효전력 $= 3I_p^2X = 3I_p\frac{V_p}{Z}X = 3V_pI_p\frac{X}{Z} = 3V_pI_p\sin\theta$

③ 피상전력 $= 3I_p^2Z = 3I_p\frac{V_p}{Z}Z = 3V_pI_p$

↓ 선간전압 V_ℓ, 선전류 I_ℓ로 나타내면 $V_\ell = \sqrt{3}V_p$ 이므로

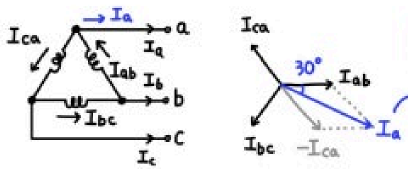
유효전력 $= \sqrt{3}\,V_\ell I_\ell\cos\theta$

무효전력 $= \sqrt{3}\,V_\ell I_\ell\sin\theta$

피상전력 $= \sqrt{3}\,V_\ell I_\ell$

(4) Δ 결선(환형결선)

고리



* $I_\ell = \sqrt{3}\,I_p\angle -30°$

선전류 I_ℓ가 크기는 $\sqrt{3}$ 배크고 위상은 30° 뒤진다.

① 유효전력 $= 3I_p^2R = 3I_p\frac{V_p}{Z}R = 3V_pI_p\frac{R}{Z} = 3V_pI_p\cos\theta$

② 무효전력 $= 3I_p^2X = 3I_p\frac{V_p}{Z}X = 3V_pI_p\frac{X}{Z} = 3V_pI_p\sin\theta$

③ 피상전력 $= 3I_p^2Z = 3I_p\frac{V_p}{Z}Z = 3V_pI_p$

↓ 선간전압 V_ℓ, 선전류 I_ℓ로 나타내면 $I_\ell = \sqrt{3}I_p$ 이므로

유효전력 $= \sqrt{3}\,V_\ell I_\ell\cos\theta$

무효전력 $= \sqrt{3}\,V_\ell I_\ell\sin\theta$

피상전력 $= \sqrt{3}\,V_\ell I_\ell$

(5) n상대칭

Y: $V_\ell = 2\sin\frac{\pi}{n}\cdot V_p\angle\frac{\pi}{2}(1-\frac{2}{n})$

Δ: $I_\ell = 2\sin\frac{\pi}{n}\cdot I_p\angle\{-\frac{\pi}{2}(1-\frac{2}{n})\}$

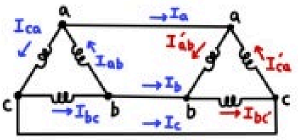
blog.naver.com/thumb_jw

평형n상 교류

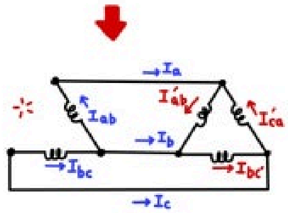
197 195

EOMJI WORLD

2 V결선



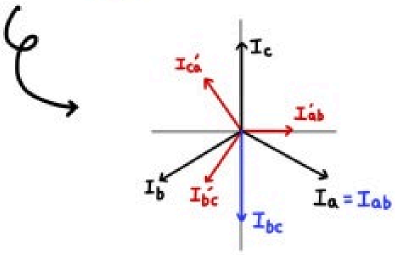
Δ-Δ결선 운전 중, 1Ø이 고장났을 때 단상전원 2대를 V결선하면, 3Ø 전원 공급이 가능하다.



$I_a = I_{ab}' - I_{ca}'$

$I_b = I_{bc}' - I_{ab}' = I_{bc} - I_{ab}$

$I_c = I_{ca}' - I_{bc}'$



* 변압기용량 $P_V = \sqrt{3} P_1$ [VA] (P_1 : Δ결선 시 1대용량)

* 출력 $P_V = \sqrt{3}\, VI\cos\theta$ [W] (V, I : 선간전압, 선전류)

(1) 출력비

$$\text{출력비} = \frac{\text{V결선 출력}}{\text{Δ결선 출력}} = \frac{\sqrt{3}\, VI\cos\theta}{3VI\cos\theta} = 57.7[\%]$$

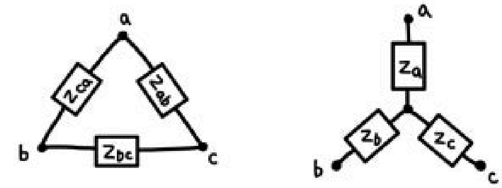
(2) 이용률

$$\text{이용률} = \frac{\text{V결선허용용량}}{\text{2대허용용량}} = \frac{\sqrt{3}\, VI}{2VI} = 86.6[\%]$$

(3) 결선 별 비교

결선법	V_l	I_l	3Ø 출력	
V결선	V_p	I_l	$\sqrt{3} V_l I_l$	$\sqrt{3} V_p I_p$
Δ결선	V_p	$\sqrt{3} I_l$	$\sqrt{3} V_l I_l$	$3 V_p I_p$
Y결선	$\sqrt{3} V_p$	I_p	$\sqrt{3} V_l I_l$	$3 V_p I_p$

3 부하의 Y ↔ Δ 변환

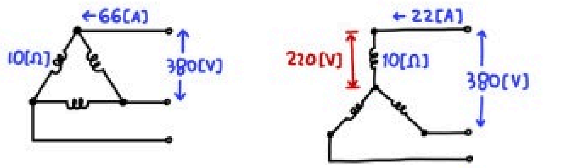


$$Z_{ab} = \frac{Z_a Z_b + Z_b Z_c + Z_c Z_a}{Z_c} \qquad Z_a = \frac{Z_{ca} \cdot Z_{ab}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}}$$

$$Z_{bc} = \frac{Z_a Z_b + Z_b Z_c + Z_c Z_a}{Z_a} \qquad Z_b = \frac{Z_{ca} \cdot Z_{bc}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}}$$

$$Z_{ca} = \frac{Z_a Z_b + Z_b Z_c + Z_c Z_a}{Z_b} \qquad Z_c = \frac{Z_{bc} \cdot Z_{ab}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}}$$

* 결선에 따른 전류 비교 (변압기 2는 동일)



· $V_l = V_p = 380[V]$

· $I_p = \frac{V_p}{Z} = \frac{380}{10} = 38[\Omega]$

· $I_l = \sqrt{3} I_p = 38\sqrt{3} = 66[A]$

· $V_l = \sqrt{3} V_p \rightarrow V_p = \frac{V_l}{\sqrt{3}} = 220[V]$

· $I_p = \frac{V_p}{Z} = \frac{220}{10} = 22[\Omega]$

· $I_l = I_p = 22[\Omega]$

부하전류: Δ결선이 3배

$I_\Delta = 3I_Y$, $P_\Delta = 3P_Y$

* 3Ø 평형 회로의 임피던스

· Y → Δ 변환 : $Z_{ab} = 3Z_a$

· Δ → Y 변환 : $Z_a = \frac{1}{3} Z_{ab}$

· $I_Y = \frac{1}{3} I_\Delta$

· $P_Y = \frac{1}{3} P_\Delta$

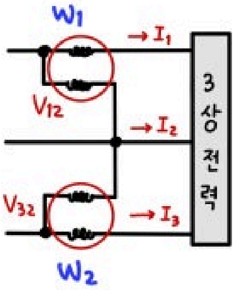
blog.naver.com/thumb_jw

EOMJI WORLD

- 결선 특징

결선	특징
Y - Y	- 상전압이 선간전압의 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 배이므로 절연이 용이하며 고전압에 유리하다. - 중성점을 접지할 수 있어 이상전압 방지대책이 용이하다. but - 코로나에 의한 열화가 감소한다. - 중성점을 접지하면 제 3고조파가 흘러 통신선에 유도장해가 발생한다.(유도대책: Y - Y - △) - 제 3고조파 전류의 통로가 없어 기전력 파형이 왜형파가 된다.
△ - △	- 통신선에 유도장해가 없다.(고조파순화전류가 내부에만 흐른다.) - 제 3고조파 전류가 △결선 내부를 순환하므로 기전력의 파형이 왜곡되지 않는다. - 각 변압기의 상전류는 선전류의 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 배가 되어 대전류에 적당하다. - 1개 고장시에도 지속적인 운전이 가능하다.(V - V 결선 운전) - 중성점을 접지할 수 없으므로 지락사고의 검출이 곤란하다. - 권수비가 다른 변압기를 결선하면 순환전류가 흘러 권선에 소손이 일어날 수 있다. - 각 상의 임피던스가 불평형일 경우 변압기 내부에 순환전류가 흐를 수가 있다.
△ - Y, Y - △	- 한쪽 Y결선의 중성점을 접지할 수 있다. - Y결선의 상전압이 선간전압의 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 배이므로 절연에 유리하다. - △결선이 있어 제 3고조파의 장해가 적고, 기전력 파형이 왜곡되지 않는다. - 1, 2차간 선간전압에 30° 의 위상차가 있다. - 중성점 접지로 인해 유도장해가 발생한다.
V - V	- 1개의 변압기 고장시에도 3상 부하 전력공급이 가능하다. - 출력비는 $\frac{\sqrt{3}\,VI}{3\,VI} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.577$이다. - 이용률은 $\frac{\sqrt{3}\,VI}{2\,VI} = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.866$이 된다. - 2차 단자 전압이 불평형이 될 수 있다.

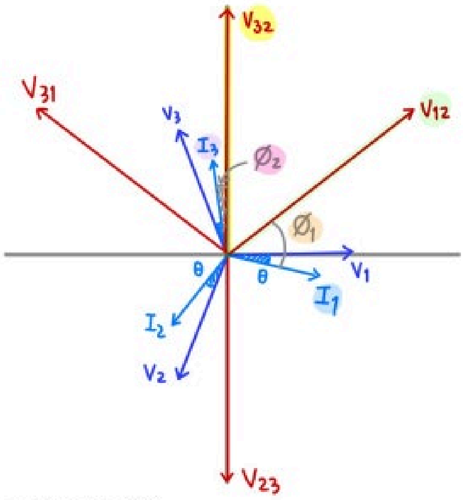
EOMJI WORLD



전압·전류 위상차 : θ

w_1이 측정하는 전력 : $P_1 = V_{12} I_1 \cos\varnothing_1$

w_2가 측정하는 전력 : $P_2 = V_{32} I_3 \cos\varnothing_2$



$$P_1 = V \cdot I \cdot \cos(30+\theta)$$
$$= V \cdot I \cdot (\cos 30^\circ \cos\theta - \sin 30^\circ \cdot \sin\theta)$$
$$= VI\left\{\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\theta - \frac{1}{2}\sin\theta\right\}$$
$$= \frac{1}{2} VI(\sqrt{3}\cos\theta - \sin\theta)$$

$$P_2 = V \cdot I \cdot \cos(30-\theta)$$
$$= V \cdot I \cdot (\cos 30^\circ \cdot \cos\theta + \sin 30^\circ \sin\theta)$$
$$= VI\left\{\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\theta + \frac{1}{2}\sin\theta\right\}$$
$$= \frac{1}{2} VI(\sqrt{3}\cos\theta + \sin\theta)$$

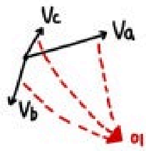
① 유효전력 $P = W_1 + W_2 = \sqrt{3}\, VI\cos\theta$ [W]

② 무효전력 $P_r = \sqrt{3}(W_1 - W_2) = \sqrt{3}\, VI\sin\theta$ [VAR]

③ 피상전력 $P_a = \sqrt{P^2 + P_r^2} = 2\sqrt{P_1^2 + P_2^2 - P_1 P_2}$ [VA]

④ 역률 $\cos\theta = \dfrac{P}{P_a} = \dfrac{P_1 + P_2}{2\sqrt{P_1^2 + P_2^2 - P_1 P_2}}$

① 불평형 3상회로의 해석



이런식의 불평형 3상 전압의 벡터를 해석할 때 정상분, 역상분, 영상분으로 나누어서 해석

이 각각의 상에 영상·정상·역상분이 다 들어있음

(1) 영상·정상·역상분

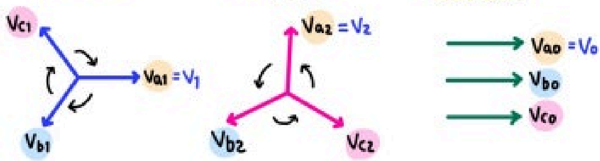
① 영상분 V_0 : 각 불평형 3상 전압의 공통성분, 접지선에만 존재

② 정상분 V_1 : 전원과 동일한 상회전 방향을 가진성분

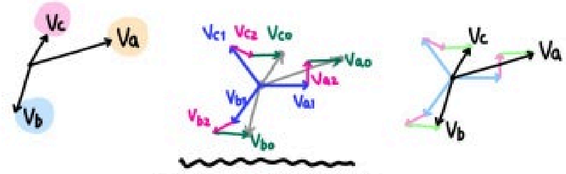
③ 역상분 V_2 : 전원과 반대의 상회전 방향을 가진성분

(2) 각 상에서의 영상·정상·역상분

① 정상분 ② 역상분 ③ 영상분



① 정상분	② 역상분	③ 영상분
$V_{a1} = V_1$	$V_{a2} = V_2$	$V_{a0} = V_{b0} = V_{c0} = V_0$
$V_{b1} = a^2 V_1$	$V_{b2} = a V_2$	
$V_{c1} = a V_1$	$V_{c2} = a^2 V_2$	



정상·역상·영상분으로 분해 가능

·a상전압 $V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} = V_0 + V_1 + V_2$ …①

·b상전압 $V_b = V_{b0} + V_{b1} + V_{b2} = V_0 + a^2 V_1 + a V_2$ …②

·c상전압 $V_c = V_{c0} + V_{c1} + V_{c2} = V_0 + a V_1 + a^2 V_2$ …③

blog.naver.com/thumb_jw

3상 전력의 측정

197 195

EOMJI WORLD

197 195

EOMJI WORLD

197 195

EOMJI WORLD

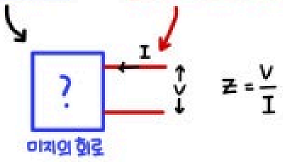
197 195

RLC 직렬 임피던스

1 리액턴스의 2단자망 회로 구성

(1) 2단자망

: 임의의 수동선형 회로망에서 외부로 나온 단자가 2개인 회로망



$Z = \frac{V}{I}$

(2) 일반화된 임피던스 $j\omega = S$

① $R \rightarrow Z_R(S) = R$

② $L \rightarrow Z_L(S) = j\omega L = SL$

③ $C \rightarrow Z_C(S) = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{SC}$

④ R-L-C 직렬회로의 임피던스

$$Z = R + SL + \frac{1}{SC}$$

⑤ R-L-C 병렬회로의 임피던스

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{SL} + \frac{1}{\frac{1}{SC}}} = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{LS} + SC}$$

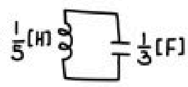
[예제] $Z(S) = \frac{5S+3}{S}$ 로 표시되는 2단자회로는?

Sol) $Z(S) = \frac{5S+3}{S} = 5 + \frac{1}{\frac{1}{3}S}$ ⇨

$5[\Omega]$ $\frac{1}{3}[F]$

[예제] $Z(S) = \frac{3S}{S^2+15}$ 로 표시되는 2단자회로는?

Sol) $Z(S) = \frac{3S}{S^2+15} = \frac{1}{\frac{1}{3}S + \frac{1}{\frac{1}{5}S}}$ ⇨



분모차수가 더 높음 → 병렬

(3) 2단자망 회로에서의 영점과 극점

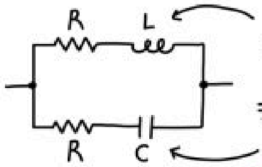
① 영점 : 분자 = 0 , 단락상태 ($Z = 0$)

② 극점 : 분모 = 0 , 개방상태 ($Z = \infty$)

blog.naver.com/thumb_jw

(1) 정저항 회로

: R, L, C 가 다 있긴 하지만, L C 공진으로 인해 저항만 있다고 해석할 수 있는 회로



$Z_1 = j\omega L$

$Z_2 = \frac{1}{j\omega C}$

정저항 회로가 되기 위한 조건 $R = \sqrt{\frac{L}{C}}\ [\Omega]$

[유도]

$$Z = \{(R+Z_1) // (R+Z_2)\}$$

$$Z = \frac{(R+Z_1)(R+Z_2)}{R+Z_1+R+Z_2} \rightarrow Z = \frac{R^2+(Z_1+Z_2)R+Z_1Z_2}{2R+Z_1+Z_2}$$

$$Z = R\frac{R+Z_1+Z_2+\frac{Z_1Z_2}{R}}{2R+Z_1+Z_2}$$

이 때 $Z = R$ 이 되려면 이 부분이 1 이 되어야 함

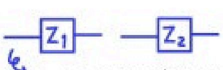
$$R+\cancel{Z_1}+\cancel{Z_2}+\frac{Z_1Z_2}{R} = 2R+\cancel{Z_1}+\cancel{Z_2}$$

$$R^2 = Z_1Z_2 = j\omega L \times \frac{1}{j\omega C} = \frac{L}{C} \qquad \therefore R = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

(2) 역회로

직렬 ⟷ 병렬

L ⟷ C



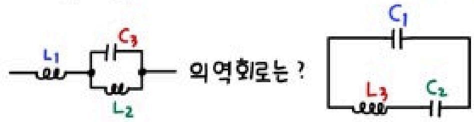
$Z_1Z_2 = K^2$ OR $\frac{Y_1}{Y_2} = K^2$

2개의 2단자 회로망의 임피던스 곱이 정수가 되면 이 두 회로의 Z_1, Z_2는 K 에 관해서 역회로의 관계라고 한다 (이 때 K > 0)

ex)

[성립식] $\frac{L_1}{C_1} = \frac{L_2}{C_2} = K^2$ [문제풀때 이용] $L_1C_2 = L_2C_1$

ex)



$$\frac{L_1}{C_1} = \frac{L_2}{C_2} = \frac{L_3}{C_3} = K^2$$

2단자망

197 195

EOMJI WORLD

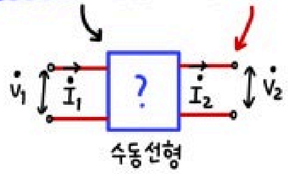
3 4단자망의 기본식

배우는 이유 (6분~)

(1) 4단자회로

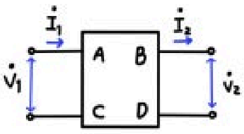
송신 2 + 수신 2

: 임의의 수동선형 회로망에서 외부로 나온 단자가 4개인 회로망



(2) 4단자 기본 방정식

$\dot{V}_1 = A\dot{V}_2 + B\dot{I}_2$, $\dot{I}_1 = C\dot{V}_2 + D\dot{I}_2$



$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

(3) 4단자정수 (전송파라미터)

: 1차측 V, I를 2차측 V, I로 표현하기 위한 파라미터

$\dot{A} = \left.\dfrac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2}\right|_{I_2=0}$: 개방 전압이득

$\dot{B} = \left.\dfrac{\dot{V}_1}{\dot{I}_2}\right|_{V_2=0}$: 단락 임피던스 [Ω]

$\dot{C} = \left.\dfrac{\dot{I}_1}{\dot{V}_2}\right|_{I_2=0}$: 개방 어드미턴스 [℧]

$\dot{D} = \left.\dfrac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2}\right|_{V_2=0}$: 단락 전류이득

$I_2=0$ 이면 단락 $(R=\infty)$ $\quad Z = \dfrac{V}{I}$ 꼴 : 임피던스

$V_2=0$ 이면 개방 $(R=0)$ $\quad Y = \dfrac{I}{V}$ 꼴 : 어드미턴스

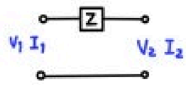
(4) 4단자 정수의 성질 $\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$ ★항등식★

① $AD-BC=1$

② 대칭 4단자망 일 경우 $A=D$

(5) 소자의 4단자 정수

① 직렬 임피던스 단일소자

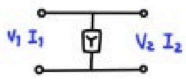


$V_1 = 1\cdot V_2 + Z I_1$

$I_1 = 0\cdot V_2 + 1\cdot I_2$

➡ $\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$

② 병렬 어드미턴스 단일소자

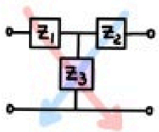


$V_1 = 1\cdot V_2 + 0\cdot I_1$

$I_1 = Y\cdot V_2 + 1\cdot I_2$

➡ $\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$

③ T형회로의 4단자 정수 (T형 ➔ Y결선)



$$\begin{bmatrix} 1+\dfrac{Z_1}{Z_3} & \dfrac{Z_1Z_2+Z_2Z_3+Z_3Z_1}{Z_3} \\ \dfrac{1}{Z_3} & 1+\dfrac{Z_2}{Z_3} \end{bmatrix}$$

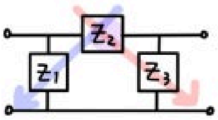
Y→Δ 변환 꼴과 같음

[유도]

$$\begin{bmatrix} 1 & Z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_3} & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & Z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+\frac{Z_1}{Z_3} & Z_1 \\ \frac{1}{Z_3} & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & Z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1+\frac{Z_1}{Z_3} & Z_2+\frac{Z_1Z_2}{Z_3}+Z_1 \\ \frac{1}{Z_3} & \frac{Z_2}{Z_3}+1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+\frac{Z_1}{Z_3} & \frac{Z_1Z_2+Z_2Z_3+Z_3Z_1}{Z_3} \\ \frac{1}{Z_3} & 1+\frac{Z_2}{Z_3} \end{bmatrix}$$

④ π형회로의 4단자정수 (π형 ➔ Δ결선)



$$\begin{bmatrix} 1+\dfrac{Z_2}{Z_3} & Z_2 \\ \dfrac{Z_1+Z_2+Z_3}{Z_1Z_3} & 1+\dfrac{Z_2}{Z_1} \end{bmatrix}$$

Δ→Y 변환 꼴의 역수와 같음

[유도]

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_1} & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & Z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_3} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_2 \\ \frac{1}{Z_1} & \frac{Z_2}{Z_1}+1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_3} & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1+\frac{Z_2}{Z_3} & Z_2 \\ \frac{1}{Z_1}+\frac{Z_2Z_3}{Z_1}+\frac{1}{Z_3} & \frac{Z_2}{Z_1}+1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+\frac{Z_2}{Z_3} & Z_2 \\ \frac{Z_1+Z_2+Z_3}{Z_1Z_3} & 1+\frac{Z_2}{Z_1} \end{bmatrix}$$

blog.naver.com/thumb_jw

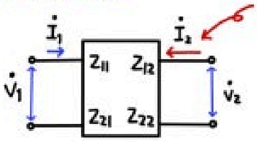
EOMJI WORLD

EOMJI WORLD

π형 회로의 Y파라미터

(1) Z 파라미터 (임피던스 파라미터)

: 전압을 전류로 표현하는 것



- $\dot{V}_1 = \dot{Z}_{11}\dot{I}_1 + \dot{Z}_{12}\dot{I}_2$
- $\dot{V}_2 = \dot{Z}_{21}\dot{I}_1 + \dot{Z}_{22}\dot{I}_2$

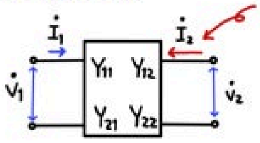
$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

* $\dot{Z}_{11} = \left.\dfrac{\dot{V}_1}{\dot{I}_1}\right|_{\dot{I}_2=0}$: 출력개방 구동점 임피던스
* $\dot{Z}_{12} = \left.\dfrac{\dot{V}_1}{\dot{I}_2}\right|_{\dot{I}_1=0}$: 입력개방 역방향전달 임피던스
* $\dot{Z}_{21} = \left.\dfrac{\dot{V}_2}{\dot{I}_1}\right|_{\dot{I}_2=0}$: 입력개방 순방향전달 임피던스
* $\dot{Z}_{22} = \left.\dfrac{\dot{V}_2}{\dot{I}_2}\right|_{\dot{I}_1=0}$: 입력개방 구동점 임피던스

* 대칭회로망 $Z_{11} = Z_{22}$

(2) Y 파라미터 (어드미턴스 파라미터)

: 전류를 전압으로 표현하는 것



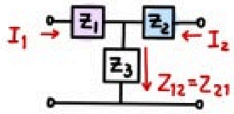
- $\dot{I}_1 = \dot{Y}_{11}\dot{V}_1 + \dot{Y}_{12}\dot{V}_2$
- $\dot{I}_2 = \dot{Y}_{21}\dot{V}_1 + \dot{Y}_{22}\dot{V}_2$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

* $\dot{Y}_{11} = \left.\dfrac{\dot{I}_1}{\dot{V}_1}\right|_{\dot{V}_2=0}$: 단락 구동점 어드미턴스
* $\dot{Y}_{12} = \left.\dfrac{\dot{I}_1}{\dot{V}_2}\right|_{\dot{V}_1=0}$: 단락 역방향전달 어드미턴스
* $\dot{Y}_{21} = \left.\dfrac{\dot{I}_2}{\dot{V}_1}\right|_{\dot{V}_2=0}$: 단락 순방향전달 어드미턴스
* $\dot{Y}_{22} = \left.\dfrac{\dot{I}_2}{\dot{V}_2}\right|_{\dot{V}_1=0}$: 단락 구동점 어드미턴스

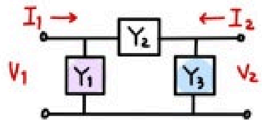
* 대칭회로망 $Y_{11} = Y_{22}$

(3) T형회로의 Z파라미터



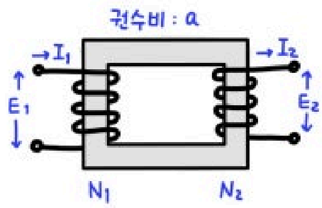
$$\begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_1+Z_3 & Z_3 \\ Z_3 & Z_2+Z_3 \end{bmatrix}$$

(4) π형회로의 Y 파라미터



$$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1+Y_2 & -Y_2 \\ -Y_2 & Y_2+Y_3 \end{bmatrix}$$

(5) 이상적인 변압기의 4단자 정수



$a = \dfrac{N_1}{N_2} = \dfrac{V_1}{V_2} = \dfrac{I_2}{I_1}$ 에서

$V_1 = aV_2 + 0 \cdot I_2$

$I_1 = 0V_2 + \dfrac{1}{a}I_2$

$\rightarrow \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & \frac{1}{a} \end{bmatrix}$

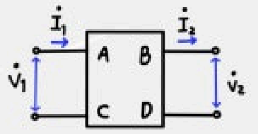
blog.naver.com/thumb_jw

z파라미터 y파라미터

197 195

EOMJI WORLD

[4단자 정수]

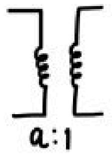


$\dot{V}_1 = A\dot{V}_2 + B\dot{I}_2$

$\dot{I}_1 = C\dot{V}_2 + D\dot{I}_2$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

• 이상적인 변압기의 4단자 정수



$A = a$

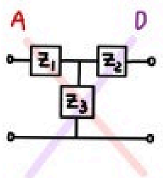
$B = 0$

$C = 0$

$D = \frac{1}{a}$

$$\begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & 1/a \end{bmatrix}$$

• T형회로의 4단자 정수



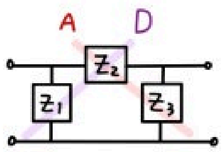
$A = 1 + \frac{Z_1}{Z_3}$

$B = \frac{Z_1Z_2 + Z_2Z_3 + Z_3Z_1}{Z_3}$ (차수 Z^1)

$C = \frac{1}{Z_3}$

$D = 1 + \frac{Z_2}{Z_3}$

• π형회로의 4단자 정수



$A = 1 + \frac{Z_2}{Z_3}$

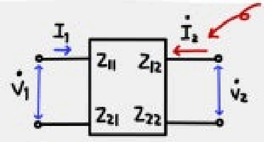
$B = Z_2$

$C = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3}{Z_1Z_3}$ (차수 Z^{-1})

$D = 1 + \frac{Z_1}{Z_3}$

★ 4단자 정수는 크로스

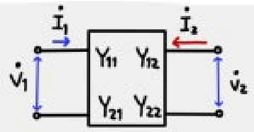
[Z 파라미터, Y 파라미터]



• $\dot{V}_1 = \dot{Z}_{11}\dot{I}_1 + \dot{Z}_{12}\dot{I}_2$

• $\dot{V}_2 = \dot{Z}_{21}\dot{I}_1 + \dot{Z}_{22}\dot{I}_2$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

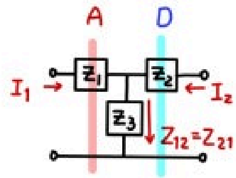


• $\dot{I}_1 = \dot{Y}_{11}\dot{V}_1 + \dot{Y}_{12}\dot{V}_2$

• $\dot{I}_2 = \dot{Y}_{21}\dot{V}_1 + \dot{Y}_{22}\dot{V}_2$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

• T형회로의 Z파라미터



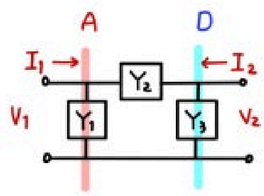
$A = Z_1 + Z_3$

$B = Z_3$

$C = Z_3$

$D = Z_2 + Z_3$

• π형회로의 Y 파라미터



$A = Y_1 + Y_2$

$B = -Y_2$ } 부호주의

$C = -Y_2$

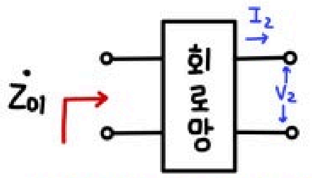
$D = Y_3 + Y_2$

★ Z, Y 파라미터는 평행선으로 암기

blog.naver.com/thumb_jw

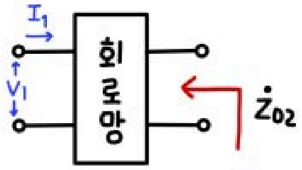
197 195

EOMJI WORLD



$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

1차 영상 임피던스 : 1차측에서 바라본 회로망의 임피던스와 같은 값



$$\begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D & B \\ C & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix}$$

2차 영상 임피던스 : 2차측에서 바라본 회로망의 임피던스와 같은 값

(1) 영상 임피던스

$Z_{01} = \sqrt{\frac{AB}{CD}}$ $Z_{02} = \sqrt{\frac{DB}{CA}}$

암기 TIP (역행렬 만드는 것처럼! $A \leftrightarrow D$, − 는 소거)

* 대칭회로망($A=D$) $Z_{01} = Z_{02} = \sqrt{\frac{B}{C}}$ [Ω]

* $\frac{Z_{01}}{Z_{02}} = \frac{A}{D}$ * $Z_{01} \times Z_{02} = \frac{B}{C}$

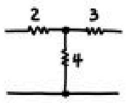
(2) 영상 전달 정수 (θ)

* $\theta = \alpha + j\beta$ α : 감쇄정수 [v/m] , β : 위상정수 [rad/m]

* 영상전달 정수 θ

- $\theta = \ln(\sqrt{AD} + \sqrt{BC})$
- $\theta = \cosh^{-1}\sqrt{AD}$
- $\theta = \sinh^{-1}\sqrt{BC}$
- $\theta = \tanh^{-1}\frac{\sqrt{BC}}{\sqrt{AD}}$

ex)



에서 Z_{01} 과 Z_{02} 는?

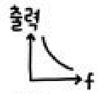
- $A = 1 + \frac{2}{4} = \frac{3}{2}$ $\therefore Z_{01} = \sqrt{\frac{AB}{CD}} = \sqrt{\frac{\frac{3}{\cancel{2}} \times \frac{13}{\cancel{2}}}{\frac{1}{4} \times \frac{7}{\cancel{4}}}} = \sqrt{\frac{156}{7}}$
- $B = \frac{8+12+6}{4} = \frac{13}{2}$
- $C = \frac{1}{4}$
- $D = 1 + \frac{3}{4} = \frac{7}{4}$ $\therefore Z_{02} = \sqrt{\frac{DB}{CA}} = \sqrt{\frac{\frac{7}{4} \times \frac{13}{2}}{\frac{1}{4} \times \frac{3}{2}}} = \sqrt{\frac{91}{3}}$

- $A = \sqrt{\frac{A}{D}} \times \sqrt{AD} = \sqrt{\frac{Z_{01}}{Z_{02}}} \cosh\theta$
- $B = \sqrt{\frac{B}{C}} \times \sqrt{BC} = \sqrt{Z_{01} \cdot Z_{02}} \sinh\theta$
- $C = \sqrt{\frac{C}{B}} \times \sqrt{BC} = \frac{1}{\sqrt{Z_{01} Z_{02}}} \sinh\theta$
- $D = \sqrt{\frac{D}{A}} \times \sqrt{AD} = \sqrt{\frac{Z_{02}}{Z_{01}}} \times \cosh\theta$

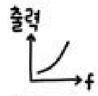
$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{Z_{01}}{Z_{02}}} \cosh\theta & \sqrt{Z_{01} \cdot Z_{02}} \sinh\theta \\ \frac{1}{\sqrt{Z_{01} Z_{02}}} \sinh\theta & \sqrt{\frac{Z_{02}}{Z_{01}}} \times \cosh\theta \end{bmatrix}$$

(4) 필터회로

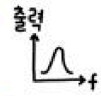
① Low-pass filter



② High-pass filter



③ Band-pass filter



④ Band-reject filter

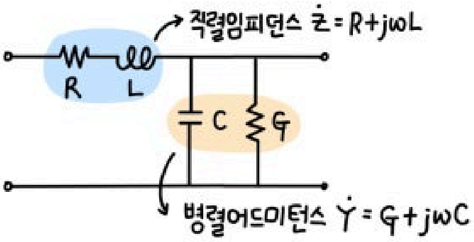
⑤ 정 k형 필터

조건 : $Z_1 Z_2 = \frac{L}{C} = k^2$ $\therefore k = \sqrt{\frac{L}{C}}$

영상 파라미터와 필터 회로

197 195

⑥ 분포정수회로 (장거리송전선로)



(1) 선로정수 및 4단자정수

- 직렬임피던스 $\dot{Z} = R+j\omega L\ [\Omega]$
- 병렬어드미턴스 $\dot{Y} = G+j\omega C\ [\mho]$
- 4단자 정수
  - $A = D = \cosh\gamma\ell$
  - $B = Z_0 \sinh\gamma\ell$
  - $C = \frac{1}{Z_0}\sinh\gamma\ell$

$$\begin{bmatrix} \cosh\gamma\ell & Z_0\sinh\gamma\ell \\ \frac{1}{Z_0}\sinh\gamma\ell & \cosh\gamma\ell \end{bmatrix}$$

(2) 특성임피던스

: 송전선로의 길이와 관계 없이 임의의 점 어디에서나 항상 일정한 값을 유지하는 전압·전류의 비

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}}$$

무손실 일때 ($R=G=0$)
무왜형 일때 ($RC=LG$)
$\rightarrow Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$

(3) 전파정수 : 진폭과 위상이 변하는 특성

$$\gamma = \sqrt{ZY} = \sqrt{(R+j\omega L)(G+j\omega C)} = \alpha + j\beta$$

α : 감쇠정수 [v/m]

: 무한장 선로에서 단위 길이당 전압의 크기가 감소하는 비율

β : 위상정수 [rad/m]

: 무한장 선로에서 단위 길이당 전압의 위상이 감소하는 비율

무손실 $\alpha = 0$ $\beta = \omega\sqrt{LC}$

무왜형 $\alpha = \sqrt{RG}$ $\beta = \omega\sqrt{LC}$

(4) 전파속도, 파장

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{\omega}{\beta}\ [m/s]$$

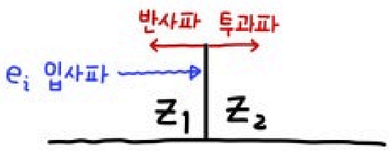
(공기中 $\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 3\times10^8\ [m/s]$)

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{2\pi}{\beta}$$

	무손실	무왜형
조건	$R=G=0$	$RC=LG$
$Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}}$	$\sqrt{\frac{L}{C}}$	$\sqrt{\frac{L}{C}}$
$\gamma = \alpha+j\beta$	• $\alpha=0$ • $\beta=\omega\sqrt{LC}$	• $\alpha=\sqrt{RG}$ • $\beta=\omega\sqrt{LC}$

(5) 정재파

: 선로 상에 입사파와 반사파가 존재하는 경우 두 개의 파가 합쳐져서 어느 방향으로도 진행하지 못하고 한 곳에서 출렁이는 파



① 반사파 : $\frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} e_i$ 반사계수 : $\rho = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$

② 투과파 : $\frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} e_i$ 투과계수 : $\tau = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$

③ 무반사 조건 $Z_1 = Z_2$

④ 정재파 비 : $S = \frac{1+\rho}{1-\rho}$

blog.naver.com/thumb_jw

전파속도 파장

정재파

EOMJI WORLD

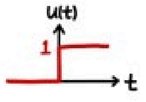
1 라플라스 변환

(1) 정의 $F(t) = \mathcal{L}\{f(t)\} = \int_0^\infty f(t)e^{-St}\,ds$

(2) 여러가지 함수의 라플라스 변환

① 단위계단 함수

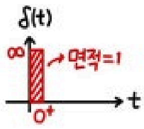
$u(t) \xrightarrow[\mathcal{L}]{} \frac{1}{S}$



$\cdot\ u(t) = \begin{cases} 0, & t<0 \\ 1, & t \geq 1 \end{cases}$

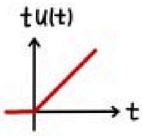
② 임펄스 함수

$\delta(t) \xrightarrow[\mathcal{L}]{} 1$



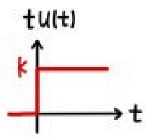
③ 경사(lamp) 함수

$f(t) = tu(t) \xrightarrow[\mathcal{L}]{} \frac{1}{S^2}$



④ 상수함수

$f(t) = ku(t) \xrightarrow[\mathcal{L}]{} \frac{k}{S}$



(ex) $f(t) = 3u(t)$ 일때 $\mathcal{L}\{f(t)\} = \frac{3}{S}$

⑤ n차 램프함수

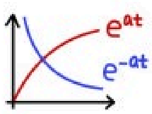
$f(t) = t^n \xrightarrow[\mathcal{L}]{} \frac{n!}{S^{n+1}}$

(ex) $\mathcal{L}\{t^3\} = \frac{3!}{S^{3+1}} = \frac{6}{S^4}$

⑥ 지수함수

$e^{at} \xrightarrow[\mathcal{L}]{} \frac{1}{S-a}$

$e^{-at} \xrightarrow[\mathcal{L}]{} \frac{1}{S+a}$



$\sin\omega t \xrightarrow[\mathcal{L}]{} \frac{\omega}{S^2+\omega^2}$

$\cos\omega t \xrightarrow[\mathcal{L}]{} \frac{S}{S^2+\omega^2}$

⑧ 쌍곡선 함수(hyperbolic function)

$f(t) = \sinh\omega t \xrightarrow[\mathcal{L}]{} \frac{\omega}{S^2-\omega^2}$

$f(t) = \cosh\omega t \xrightarrow[\mathcal{L}]{} \frac{S}{S^2-\omega^2}$

($t \geq 0$)

f(t)	F(S)	f(t)	F(S)
$u(t)$	$\frac{1}{S}$	$e^{\pm at}$	$\frac{1}{S\mp a}$
$\delta(t)$	1	$\sin\omega t$	$\frac{\omega}{S^2+\omega^2}$
t	$\frac{1}{S^2}$	$\cos\omega t$	$\frac{S}{S^2+\omega^2}$
t^n	$\frac{n!}{S^{n+1}}$	$\sinh\omega t$	$\frac{\omega}{S^2-\omega^2}$
t	$\frac{1}{S^2}$	$\cosh\omega t$	$\frac{S}{S^2-\omega^2}$

blog.naver.com/thumb_jw

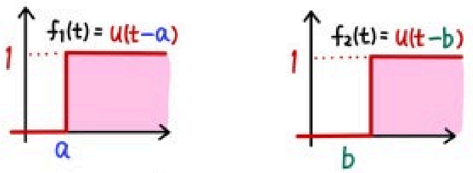
라플라스 변환

197 195

EOMJI WORLD

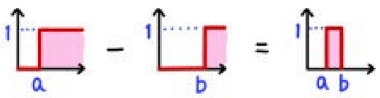
(1) 시간추이 정리

① delay 된 u(t)



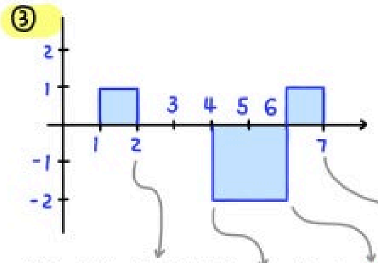
$\mathcal{L}\{u(t-a)\} = \frac{1}{s}e^{-as}$ $\mathcal{L}\{u(t-a)\} = \frac{1}{s}e^{-bs}$

② $f(t) = u(t-a) - u(t-b)$



$\mathcal{L}\{f(t)\} = \frac{1}{s}e^{-as} - \frac{1}{s}e^{-bs} = \frac{1}{s}(e^{-as} - e^{-bs})$

③



$f(t) = u(t-1) - u(t-2) - 2u(t-4) + 3u(t-6) + u(t-7)$

$\mathcal{L}\{f(t)\} = \frac{1}{s}(e^{-s} - e^{-2s} - 2e^{-4s} + 3e^{-6s} + e^{-7s})$

(2) 복소추이 정리 e^{*} 가 붙었을 때!

① $f(t)e^{-at}$ 의 라플라스 변환

$$\mathcal{L}\{f(t)e^{-at}\} = F(s)|_{s\to s+a}$$

② 예제

- $f(t) = t\cdot e^{-at} \xrightarrow{\mathcal{L}} F(s) = \frac{1}{(s+a)^2}$
- $f(t) = \sin\omega t\cdot e^{-at} \xrightarrow{\mathcal{L}} F(s) = \frac{\omega}{(s+a)^2+\omega^2}$
- $f(t) = \cos\omega t\cdot e^{+at} \xrightarrow{\mathcal{L}} F(s) = \frac{s-a}{(s-a)^2+\omega^2}$

① $t^n\cdot f(t)$ 의 라플라스 변환

$$\mathcal{L}\{t^n f(t)\} = (-1)^n \frac{d^n}{ds^n}F(s)$$

$\left(\frac{f}{g}\right)' = \frac{f'g - fg'}{g^2}$

② 예제

- $f(t) = t\cdot e^{-at} \xrightarrow{\mathcal{L}} F(s) = (-1)\frac{d}{ds}\left(\frac{1}{s+a}\right) = \frac{1}{(s+a)^2}$

  라플라스 변환 후 1번 미분, $(-1)^1$

- $f(t) = t\cdot\sin\omega t \xrightarrow{\mathcal{L}} F(s) = -\frac{d}{ds}\cdot\frac{\omega}{s^2+\omega^2} = \frac{2s\omega}{(s^2+\omega^2)^2}$
- $f(t) = t\cdot\cos\omega t \xrightarrow{\mathcal{L}} F(s) = -\frac{d}{ds}\cdot\frac{s}{s^2+\omega^2} = \frac{s^2-\omega^2}{(s^2+\omega^2)^2}$

(4) 실미분정리

① $f'(t)$ 의 라플라스 변환 * 초기값을 뺀다

$$\mathcal{L}\{f'(s)\} = \mathcal{L}\left\{\frac{df(t)}{dt}\right\} = sF(s) - f(0)$$

② 예제

- $\mathcal{L}\left\{\frac{d}{dt}\cos\omega t\right\} = s \times \frac{s}{s^2+\omega^2} - 1 = \frac{s^2}{s^2+\omega^2} - 1$

  $= \mathcal{L}\{-\omega\cdot\sin\omega t\} = -\omega \times \frac{\omega}{s^2+\omega^2} = \frac{-\omega^2}{s^2+\omega^2}$ ····same!

- $\frac{d}{dt}x(t) + x(t) = 2$ 의 라플라스 변환, $x(0^+) = 0$

  $\mathcal{L}\{$

  $sX(s) - x(0) + X(s) = \frac{2}{s}$, $x(0^+) = 0$

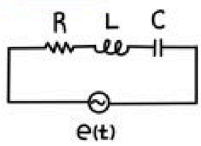
  $(s+1)X(s) = \frac{2}{s}$ $\therefore X(s) = \frac{2}{s(s+1)}$

(5) 실적분정리

① $\int f(t)dt$ 의 라플라스 변환 * 초기값을 더한다

$$\mathcal{L}\left\{\int f(t)dt\right\} = \frac{1}{s}F(s) + \int_{-\infty}^{0} f(t)dt$$

② 예제



$e(t) = Ri(t) + L\cdot\frac{d}{dt}i(t) + \frac{1}{C}\int i(t)dt$

$\mathcal{L}[e(t)] = E(s) = RI(s) + s\cdot LI(s) + \frac{1}{sC}I(s)$

blog.naver.com/thumb_jw

시간 추이 정리

197   195

실직준 정리

EOMJI WORLD

$t=0$ $t=\infty$

① 초기값 정리

$$\mathcal{L}\left\{\lim_{t\to 0} f(t)\right\} = \lim_{S\to\infty} S\cdot F(S)$$

② 최종값 정리

$$\mathcal{L}\left\{\lim_{t\to \infty} f(t)\right\} = \lim_{S\to 0} S\cdot F(S)$$

③ 예제

- $I(S) = \frac{2(S+1)}{S^2+2S+5}$ 의 초기값은?

[Sol] $\lim_{S\to\infty} S\left[\frac{2(S+1)}{S^2+2S+5}\right] = 2$

- $C(S) = \frac{5}{S(S^2+S+2)}$ 의 최종값은?

[Sol] $\lim_{S\to 0} S\left[\frac{5}{S(S^2+S+2)}\right] = \frac{5}{2}$

3 역라플라스 변환

TIP: 헷갈리면 선지 라플라스 해서 답 찾기!

[review] Laplace transform ($t\geq 0$)

f(t)	F(S)	f(t)	F(S)
$u(t)$	$\frac{1}{S}$	$e^{\pm at}$	$\frac{1}{S\mp a}$
$\delta(t)$	1	$\sin\omega t$	$\frac{\omega}{S^2+\omega^2}$
t	$\frac{1}{S^2}$	$\cos\omega t$	$\frac{S}{S^2+\omega^2}$
t^n	$\frac{n!}{S^{n+1}}$	$\sinh\omega t$	$\frac{\omega}{S^2-\omega^2}$
t	$\frac{1}{S^2}$	$\cosh\omega t$	$\frac{S}{S^2-\omega^2}$

(1) 정의 $\mathcal{L}^{-1}\{F(S)\} \rightarrow f(t)$

* F(S)가 주어지면 일단 '아는 모양'으로 변환 해야함 *

① $\mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{S}{S+b}\right\}$

1st. 아는 모양 $\frac{S}{S+b} = 1 - b\times\frac{1}{S+b}$

2nd. 계산 $\mathcal{L}^{-1}\left\{1 - b\times\frac{1}{S+b}\right\} = \delta(t) - be^{-bt}$

② $\mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{1}{(S+a)^2}\right\}$

1st. 아는 모양 이미 앎! $\frac{1}{S^2}$ 평행이동 한거

2nd. 계산 $\mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{1}{(S+a)^2}\right\} = t\times e^{-at}$

③ $\mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{S}{(S+a)^2+b^2}\right\}$

1st. 아는 모양

$$\frac{S+a-a}{(S+a)^2+b^2} = \frac{S+a}{(S+a)^2+b^2} - \frac{a}{b}\times\frac{b}{(S+a)^2+b^2}$$

2nd. 계산

$$\mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{S+a}{(S+a)^2+b^2} - \frac{a}{b}\times\frac{b}{(S+a)^2+b^2}\right\}$$

$$= \cos bt\cdot e^{-at} - \frac{a}{b}\sin bt\cdot e^{-at}$$

$$= e^{-at}\left(\cos bt - \frac{a}{b}\sin bt\right)$$

(3) 변형TIP

① $\frac{1}{A\cdot B} = \frac{1}{(B-A)}\left(\frac{1}{A} - \frac{1}{B}\right)$

(ex) $\mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{1}{(S-1)(S-3)}\right\}$

$$= -\frac{1}{2}\left\{\mathcal{L}^{-1}\left(\frac{1}{S-1}\right) - \mathcal{L}^{-1}\left(\frac{1}{S-3}\right)\right\} = \frac{1}{2}u(t)(e^{3t} - e^{t})$$

② 헤비사이드 부분분수

$$\frac{2S+3}{S^2+3S+2} = \frac{2S+3}{(S+1)(S+2)} = \frac{A}{S+1} + \frac{B}{S+2}$$

$A+B=2$, $2A+B=3$ → $A=1$, $B=1$

$$\therefore \frac{2S+3}{S^2+3S+2} = \frac{1}{S+1} + \frac{1}{S+2}$$

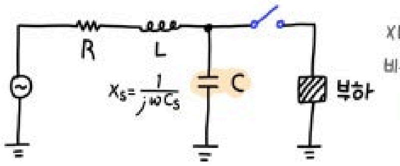
③ 완전제곱식 $\frac{3}{S^2+4S+5} = \frac{3}{(S+2)^2+1^2}$

blog.naver.com/thumb_jw

초기값 정리 최종값정리

197 195

EOMJI WORLD



XLPE 와 같은 절연물의 비유전율이 높기 때문에 대지정전 용량을 크게 만드는 요인이 됨

- 부하 –o–o–

X_s 값이 매우 커서 C쪽으로는 의미 있는 전류가 흐르지 않음

- 무부하 –o⁄ o–

C에 걸린 임피던스로 인해 C로 의미있는 전류가 흐름

R : 에너지 소모

L : 전류 연속 (전류 → 자속)

C : 전압 연속 (전압 → 전하)

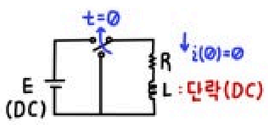
직류($f=0$)에서

$\omega L = 0$: 단락

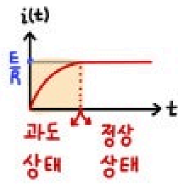
$\frac{1}{\omega C} = \infty$: 개방

1 R-L 직렬회로

(1) S.W. ON



$\therefore I = \frac{E}{R}$



L은 전류 연속 이므로 L에 의한 과도 상태가 발생함

$$i(t) = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$$

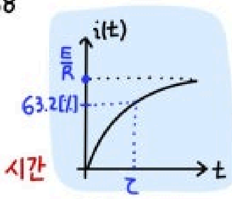
* 특성근 $P = -\frac{R}{L}$

$\tau = \frac{1}{|P|}$

① 시정수 (e^{-1} 을 만들어주는 t 의 값) $\tau = \frac{L}{R}$ [초]

$i(\tau) = \frac{E}{R}(1 - e^{-1})$, $e^{-1} = 0.368$

$\therefore i(\tau) = 0.632\frac{E}{R}$



② τ의 의미

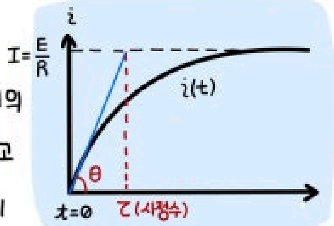
정상상태의 63.2[%]에 도달하는 시간

: L이 크면 과도상태를 벗어나는데 오랜시간이 걸림

(→ $\tau \propto L$ 라고 유추 가능!)

* τ 의 다른 해석

만약 $i(t)$가 $t=0$ 에서의 기울기로 계속 증가 한다고 가정했을 때 τ초 후에 최대 전류 $\frac{E}{R}$에 도달 하게될 것인데, 이 τ가 시정수



③ $i(t) = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$

i) $t = 0^+$ $i(0^+) = 0$ ($\because e^0 = 1$)

ii) $t = \infty$ $i(\infty) = \frac{E}{R}$ ($\because e^{-\infty} = 1$)

④ L에 걸리는 전압 $V_L(t)$

$V_L = L \cdot \frac{d}{dt} i(t) = E - V_R$

* $V_R = E\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$ 이므로 ($\because V_R = R\,i(t)$)

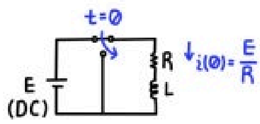
$V_L = E - V_R = Ee^{-\frac{R}{L}t}$

$\therefore V_L(t) = Ee^{-\frac{R}{L}t}$ [V] , S.W. ON

i) $t = 0^+$ $V_L(0^+) = E$ ← SW를 ON 하는 순간 공급 전압이 다 L 에 걸림

ii) $t = \infty$ $V_L(\infty) = 0$

(2) S.W. OFF



저항 R에서 소모되며 점점 감소

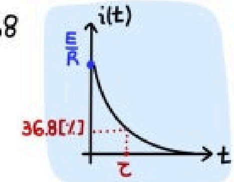
$i(t) = \frac{E}{R}\left(e^{-\frac{R}{L}t}\right)$

① 시정수 (e^{-1} 을 만들어주는 t 의 값) $\tau = \frac{L}{R}$ [초]

$i(\tau) = \frac{E}{R}e^{-1}$, $e^{-1} = 0.368$

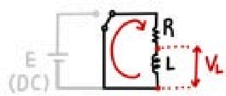
$\therefore i(\tau) = 0.368\frac{E}{R}$

(τ: 변화량이 63.2[%])



② L에 걸리는 전압 $V_L(t)$

$i'(t) = \frac{E}{R} \times e^{-\frac{R}{L}t} \times \left(-\frac{R}{L}\right)$



$V_L = L \cdot i'(t) = -Ee^{-\frac{R}{L}t}$

$\therefore V_L(t) = -Ee^{-\frac{R}{L}t}$ [V] , S.W. OFF

i) $t = 0^+$ $V_L(0^+) = -E$

ii) $t = \infty$ $V_L(\infty) = 0$

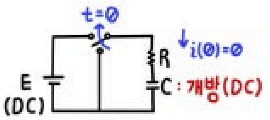
blog.naver.com/thumb_jw

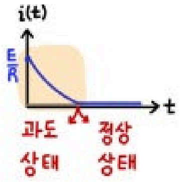
과도현상

197 195

EOMJI WORLD

(1) S.W. ON





C가 점점 전하를 충전 → 충전 됨에 따라 전류 감소

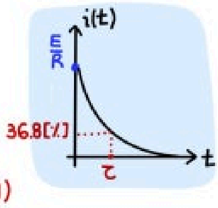
C 에의한 과도 상태가 발생함

$i(t) = \frac{E}{R}\left(e^{-\frac{1}{RC}t}\right)$ * 특성근 $P = -\frac{1}{RC}$ $\tau = \frac{1}{|P|}$

① 시정수 (e^{-1} 을 만들어주는 t 의값) $\tau = RC$ [초]

$i(\tau) = \frac{E}{R}(e^{-1})$, $e^{-1} = 0.368$

$\therefore i(\tau) = 0.368\frac{E}{R}$



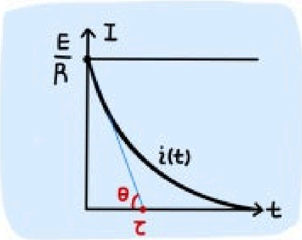
② τ의 의미

63.2[%] 만큼 변화 (100[%] → 36.8[%])

C가 크면 과도상태를 벗어나는데 오랜시간이 걸림

* τ 의 다른 해석

만약 i(t)가 t=0 에서의 기울기로 계속 감소 한다고 가정 했을 때 τ 초 후에 i(t)=0 에 도달 하게될 것인데, 이 τ가 시정수



③ $i(t) = \frac{E}{R}\left(e^{-\frac{1}{RC}t}\right)$

i) $t = 0^+$ $i(0^+) = \frac{E}{R}$

ii) $t = \infty$ $i(\infty) = 0$

④ C에 걸리는 전압 $V_C(t) = \frac{1}{C}\int i(t)\,dt = E - V_R$

* $V_R = E \cdot e^{-\frac{1}{RC}t}$ 이므로 ($\because V_R = i(t)R$)

$V_c = E - V_R = E\left(1 - e^{-\frac{1}{RC}t}\right)$

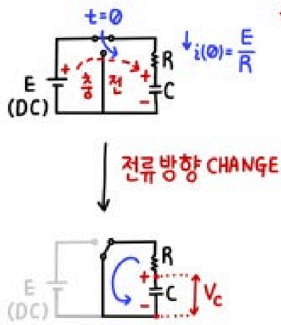
$\therefore V_c = E\left(1 - e^{-\frac{1}{RC}t}\right)$, S.W. ON

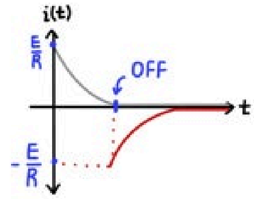
i) $t = 0^+$ $V_c(0^+) = 0$

ii) $t = \infty$ $V_c(\infty) = E$ ← 결국 ($t=\infty$) E는 C에 다 걸림!

(2) S.W. OFF

* C가 새로운 전원 역할!





① $i(t) = -\frac{E}{R}\left(e^{-\frac{1}{RC}t}\right)$

i) $t = 0^+$ $i(0^+) = -\frac{E}{R}$

ii) $t = \infty$ $i(\infty) = 0$

② C에 걸리는 전압 $V_C(t) = \frac{1}{C}\int i(t)\,dt$

$V_c = E\,e^{-\frac{1}{RC}t}$

i) $t = 0^+$ $V_c(0^+) = E$

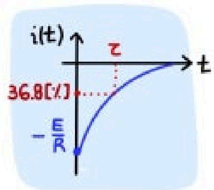
ii) $t = \infty$ $V_c(\infty) = 0$

③ 시정수 (e^{-1} 을 만들어주는 t 의값) $\tau = \frac{L}{R}$

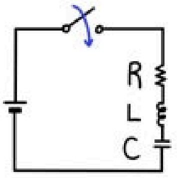
$i(\tau) = -\frac{E}{R}e^{-1}$, $e^{-1} = 0.368$

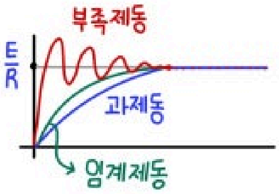
$\therefore i(\tau) = -0.368\frac{E}{R}$

(τ: 변화량이 63.2[%])



blog.naver.com/thumb_jw





[운동역학으로 이해 하기]

(1) 부족제동

: 추를 공기 중에서 놓으면 왔다 갔다 하다가 점점 멈춤

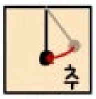
위치E ⟷ 운동E 공기 마찰력

L ⟷ C R

$$R^2 < 4\frac{L}{C} \text{ (부족제동)}$$

(2) 과제동

: 추를 찐득한(?) 액체에서 놓으면 왔다 갔다 없이 한번에 멈춤



L ⟷ C 왔다갔다 하기엔 R이 넘 큰거임

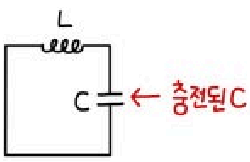
$$R^2 > 4\frac{L}{C} \text{ (과제동)}$$

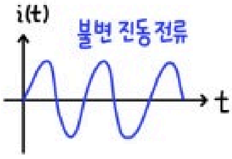
(3) 임계 제동

: 추가 진동 없이 제자리로 돌아올 때 중력 = 마찰력

$$R^2 = 4\frac{L}{C} \text{ (임계 제동)}$$

4 L-C 직렬회로





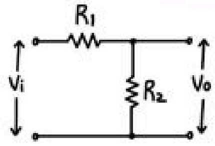
* $V_c = 2E$

→ 추가 진공 중에 있는 거임!!

그럼 마찰력이 없으므로 계속 진동!

1 요소

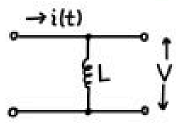
(1) 비례요소 $G(S) = k$



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

$$G(S) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_2}{R_1+R_2} = k \quad : \text{비례요소}$$

(2) 미분 요소 $G(S) = k \cdot S$

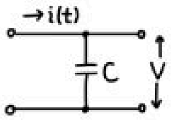


$$V = L \cdot \frac{d}{dt} i(t)$$

$$\xrightarrow{\mathcal{L}} V(S) = sLI(S)$$

$$G(S) = \frac{V(S)}{I(S)} = sL = kS \quad : \text{미분 요소}$$

(3) 적분요소 $G(S) = \frac{k}{S}$

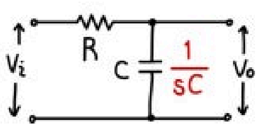


$$v = \frac{1}{C}\int i(t) \cdot dt$$

$$\xrightarrow{\mathcal{L}} V(S) = \frac{1}{sC} I(S)$$

$$G(S) = \frac{V(S)}{I(S)} = \frac{1}{sC} = \frac{k}{S}$$

(4) 1차 지연요소 $G(S) = \frac{1}{1+TS}$



$$V_o = \frac{\frac{1}{sC}}{R+\frac{1}{sC}} \times V_i$$

$$G(S) = \frac{V_c}{V_i} = \frac{1}{1+sCR}\bigg|_{CR=T} = \frac{1}{1+Ts}$$

(5) 2차 지연요소 $G(S) = \frac{\omega_n^2}{S^2 + 2\omega_n \zeta S + \omega_n^2}$

(6) 부동작 요소 $G(S) = k e^{-Ts}$

$$f(t) = u(t-a) \rightarrow F(S) = \frac{1}{S}\underbrace{e^{-as}}_{G(S)}$$

197 195

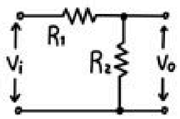
EOMJI WORLD

(1) 개별소자

	저항	인덕터	커패시터
f(t)	R	$j\omega L$	$\frac{1}{j\omega C}$
F(s)	R	sL	$\frac{1}{sC}$

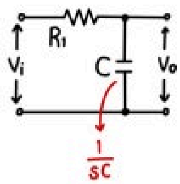
(2) 예제

①



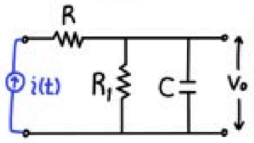
$$G(S)=\frac{出}{入}=\frac{R_2}{R_1+R_2}$$

②



$$G(S)=\frac{\frac{1}{sC}}{R+\frac{1}{sC}}=\frac{1}{sCR+1}$$

③

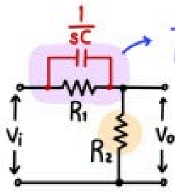


$$i_c=\frac{R_1}{R_1+\frac{1}{sC}}i$$

$$V_o=\frac{R_1}{R_1+\frac{1}{sC}}i\times\frac{1}{sC}=\frac{R_1}{sCR_1+1}i$$

$$\therefore G(S)=\frac{R_1}{sCR_1+1}$$

(1) 진상보상 : 입력전압 보다 출력 전압이 앞서는 회로

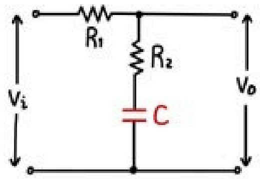


$$\frac{\frac{R_1}{sC}}{R_1+\frac{1}{sC}}=\frac{R_1}{sCR_1+1}$$

$$\therefore G(s)=\frac{R_2}{\frac{R_1}{sCR_1+1}+R_2}=\frac{R_2+sCR_1R_2}{R_1+R_2+sCR_1R_2}$$

$$=\frac{s+\underbrace{\frac{R_2}{CR_1R_2}}_{b}}{s+\underbrace{\frac{R_1+R_2}{CR_1R_2}}_{a}}\rightarrow G(S)=\frac{S+b}{S+a},\ a>b$$

(2) 지상보상 : 입력전압 보다 출력 전압이 뒤지는 회로



$$G(s)=\frac{R_2+\frac{1}{sC}}{R_1+R_2+\frac{1}{sC}}=\frac{sCR_2+1}{sC(R_1+R_2)+1}=\frac{sT_2+1}{sT_1+1}$$

$T_1=sC(R_1+R_2)$

$T_2=sCR_2$, $T_1>T_2$

blog.naver.com/thumb_jw

비례요소 적분요소 미분요소 1차지연요소 2차지연요소 부동작 요소

197 195