

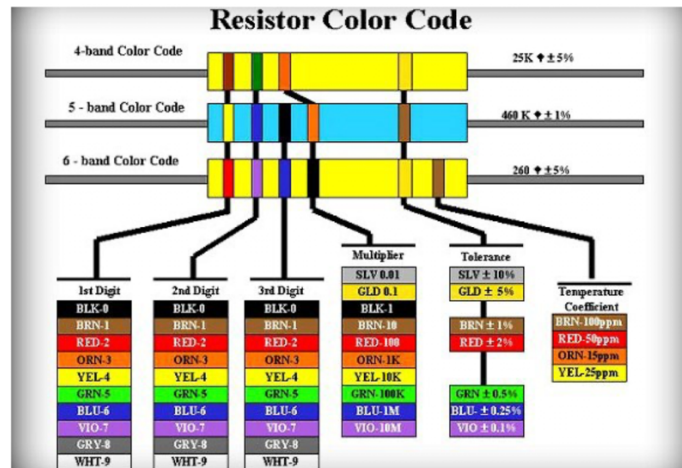
Pre-lab report Module 1 (Exp 1/2)

20210203 노육진

EXP1. 준비문제 (예비보고서 문제)

(문제 1) 저항값과 캐패시터 값 읽기 (15pt)

1) 저항에 있는 색깔 띠가 의미하는 바를 조사하시오.



저항에 있는 색깔 띠는 주로 4개 혹은 5개로 나타나며, 각 줄은 저항의 유효숫자, 배수 혹은 오차를 의미한다. 처음 2줄 혹은 3줄은 10진수의 유효숫자를 의미한다. 검정(0)에서 흰색(9)까지 밝아질수록 높은 숫자를 나타낸다. 뒤에서 두번째 줄은 유효숫자에 곱해질 배수(10^n)값을 의미하며, 최종적인 저항의 저항 값은 유효숫자와 배수의 곱이다($a \times 10^n$). 이 때, n의 값을 의미하는 색깔은 전과 같다. 하지만 추가적으로 금색과 은색은 각각 10^{-1} , 10^{-2} 을 의미한다. 마지막 줄은 저항의 허용오차를 의미한다. 예를 들어 금색, 은색, 무색은 각각 $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 20\%$ 를 의미한다. 6색 띠의 경우 마지막 줄은 온도 계수를 의미한다. 온도 계수는 온도가 1°C 변할 때마다 저항값이 백만분율(ppm, parts per million) 단위로 얼마나 변하는지를 의미한다. 갈색, 적색, 주황색, 노란색 순서대로 100ppm, 50ppm, 15ppm, 25ppm을 의미한다.

2) $1\text{k}\Omega$ 4색 저항의 색상 코드를 결정하시오

$1\text{k}\Omega$ 를 유효숫자와 배수의 곱으로 나타내면 다음과 같다 10×10^2 . 따라서 첫 세 줄은 (갈색, 검정, 빨강)이다. 오차를 의미하는 네번째 줄은 대체로 금색 혹은 은색으로 나타낸다. 따라서 (갈색, 검정, 빨강, 금색) 혹은 (갈색, 검정, 빨강, 은색)이 일반적일 것이다.

3) 세라믹 캐패시터 값을 읽는 법을 조사하시오.

세라믹 캐패시터에는 3자리의 10진수 값이 쓰여 있다. 첫 두자리 숫자는 캐패시터 용량(C)의 유효 숫자이고 세번째 숫자는 역시 배수(10^n)이다. 캐패시터의 용량은 유효숫자와 배수의 곱으로 나타나며 단위는 피코패럿(pF)이다. 알파벳이 있는 경우, 이 알파벳은 오차를 의미하며 주요 오차 코드로는 J($\pm 5\%$), K($\pm 10\%$), M($\pm 20\%$)이 있다. 숫자가 2개만 있는 경우, 두 숫자 모두 유효숫자로 간주한다.

(문제 2) 오실로스코프 기능 파악 (15pt)

1) Trigger 기능에 대해서 간략히 조사한 후 Trigger 기능과 필요성에 대해 설명하시오.

Trigger 기능은 오실로스코프에서 계속해서 변화하는 파형을 화면에 안정적으로 읽기 쉽게 표시하기 위해 파형을 측정하는 기준점을 설정하는 기능이다. Trigger 기능은 Trigger의 위치를 조정하고, slope를 상승 구간 혹은 하강 구간으로 설정하여 작동이 가능하다. Trigger 기능은 파형 측정을 시작하는 기준점을 설정해 신호의 특정 지점을 포착하여 파형을 멈춘 것처럼 만들어 준다. 이로 인해 사용자가 더 정확한 파형 관찰 및 측정을 가능하게 해주기 때문에 오실로스코프의 필수적 기능이다.

2) 1x probe, 10x probe의 차이점에 대해서 설명하시오.

1x probe의 경우 function generator에서 생성된 신호의 전압을 그대로 오실로스코프에 전달한다. 하지만 10x probe의 경우 신호의 전압을 1/10로 축소시켜 오실로스코프에 전달한다. 이는 오실로스코프가 고전압 신호를 측정할 때 입력 회로를 보호하고, 입력 임피던스를 높여 회로에 대한 부하 효과를 줄이는 장점이 있다.

3) 오실로스코프의 AC-GND-DC 설정을 설명하시오.

AC-GND-DC 설정은 입력 신호를 화면에 어떻게 표현할지 결정하는 입력 커플링 방식이다.

- GND 커플링: GND로 설정하면 오실로스코프의 내부 회로가 입력 신호로부터 분리되고, 대신 접지(0V)에 연결된다. 화면에는 수평의 직선(trace)이 나타나는데, 이것이 0V 기준선이다. 사용자는 이 기준선을 화면 중앙이나 원하는 위치로 조정한 후 다른 모드로 변경하여 신호의 전압을 정확하게 측정할 수 있다.

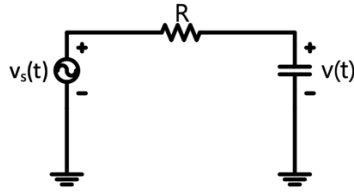
- AC 커플링: 신호의 DC 성분은 차단하고 AC 성분만 표시한다.

AC 커플링은 신호가 내부 캐패시터를 통과하게 하여 DC 성분을 걸러낸다. 그 결과 순수한 AC 성분만이 0V를 기준으로 진동하는 것처럼 보인다. 이 기능은 큰 DC 전압에 실려 있는 작은 AC 신호를 확대하여 정밀하게 관찰하고 싶을 때 유용하다.

- DC 커플링: 신호의 모든 성분을 그대로 표시합니다.

DC 커플링은 입력된 신호를 아무런 필터링 없이 그대로 화면에 보여준다. 예를 들어, 2.5V의 DC 전압 위에 2.5V 진폭의 사인파가 더해진 신호가 있다면, DC 모드에서는 파형이 0V에서 5V 사이에서 진동하는 모습 전체가 나타난다.

(문제 3) 기본적인 RC 회로와 시정수 (60pt)



[그림1-1] 캐패시터 한 개를 포함하는 R-C 회로

1) [그림1-1]와 같이 캐퍼시터가 한 개 포함된 RC회로에 대하여 KVL 식을 구하여라

$$v_s(t) = i(t)R + v(t)$$

2) 소문제 1에서 구한 KVL식을 통하여 [식1-1]의 미분방정식을 유도하여라.

$$\frac{dv(t)}{dt} + \frac{1}{RC}v(t) = \frac{1}{RC}v_s(t) \quad [\text{식1-1}]$$

1)의 KVL식에 캐패시터 용량과 전류에 관한 식 $i(t) = C \frac{dv(t)}{dt}$ 를 대입하면 $v_s(t) = RC \frac{dv(t)}{dt} + v(t)$ 이다. 양변을 RC에 대해 나누면 [식1-1]이 도출된다.

3) Homogenous solution과 particular solution의 개념을 설명하고, 이를 통해 미분 방정식의 일반해를 구하는 방법을 설명하라

- Homogenous solution: 미분 방정식의 우변을 0으로 놓고 구한 해이다.

- Particular Solution: general solution에 포함된 임의의 상수가 초기조건을 만족하는 특정 값으로 결정될 때, 그 일반해를 particular solution이라고 한다.

미분 방정식의 일반해는 homogenous solution과 particular solution을 합하여 구한다.

4) 캐퍼시터 양단의 초기전압 $v(0)$ 가 0이고, 입력전압 $v_s(t)$ 에 크기가 E인 계단입력 (step input)을 인가했을 때, 캐퍼시터 양단의 전압 $v(t)$ 를 구하여라. (소문제 3에서 설명한 개념을 이용)

- Homogenous solution: $\frac{dv(t)}{dt} + \frac{1}{RC}v(t) = 0$ 의 해를 $v_h(t) = Ae^{st}$ 라고 할 때, $Ase^{st} + \frac{A}{RC}e^{st} = 0$ 를 만족하므로 $s = -\frac{1}{RC}$ 이다.

$$v_h(t) = Ae^{-\frac{t}{RC}}$$

- Particular Solution: 크기가 E인 step input을 인가했을 경우 $t \geq 0$ 일 때 $v_p(t) = x$ 이라고 하면 [식 1-1]에서 $\frac{x}{RC} = \frac{E}{RC}$ 이므로 $x = E$ 이다. $t < 0$ 인 경우 동일한 방법으로 $v_p(t) = 0$ 이다.

따라서 일반해는 $v(t) = v_h(t) + v_p(t) = Ae^{-\frac{t}{RC}} + Eu(t)$ ($u(t)$ 는 크기가 1인 step function이다.)

이때 초기조건이 $v(0) = 0$ 이므로 $A + E = 0$ 이다. $\therefore A = -E$

$$\therefore v(t) = E(u(t) - e^{-\frac{t}{RC}})$$

5) 시간이 시정수 $\tau=RC$ 일 때의 캐패시터 양단의 전압 $v(\tau)$ 과 E 의 관계는 어떻게 되는가?

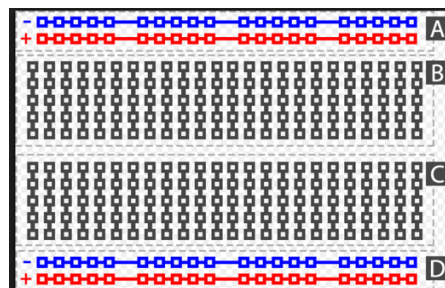
시간이 시정수라는 것은 $e^{-\frac{t}{RC}}$ 의 지수가 -1이 되는 것을 의미한다. 따라서 시정수일 때 전압은 최종 전압(E)의 $1 - e$ (약 63.2%)까지 충전된다. $\therefore v(\tau) = E(1 - e) \approx 0.63E$

6) [그림 1-1]의 회로에서 $R = 1k\Omega$, $C = 0.1\mu F$ 일 때 시정수 τ 를 구하라.

시정수는 R 과 C 의 곱으로 구할 수 있다. $\tau = RC = 1 \times 10^3 \times 0.1 \times 10^{-6}s = 10^{-4}s$

(문제 4)Breadboard의 연결(10pt)

1) Breadboard의 연결(구조)에 대해서 설명하라.



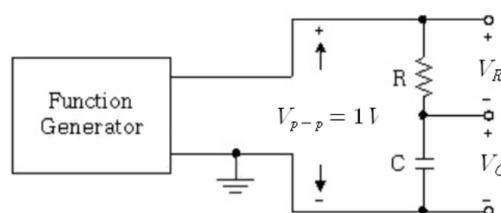
Breadboard의 구조는 크게 Power Rails와 Terminal Strips로 나뉜다.

- Power Rails: Breadboard의 양쪽 가장자리에 위치하며 빨간색(+)과 파란색(-)으로 표시된다. 모든 구멍은 내부에 하나의 긴 전선으로 연결되어 있다. Power Rails는 회로 전체에 전원과 접지를 공급할 때 사용한다.

- Terminal Strips: Breadboard의 중앙 영역에 위치한다. Power Rails과는 반대로 각 구멍이 수직으로 짧게 연결되어 있다. 다양한 부품(저항, 캐패시터 등)을 꽂아 회로를 구성하는 공간이다. Power Rails와 Terminal Strips를 연결하는 전선을 통해 Terminal Strips에 전압을 공급할 수 있다.

EXP2. 준비문제

(1) [그림 2-1]의 RC 회로에서 V_R , V_C 의 phasor diagram을 그리고, 입력 전압과 출력 전류(R 에 흐르는 전류)의 위상차를 구하라. Function generator에 부하로 연결된 회로의 복소 impedance를 구하라. ($R = 1k\Omega$, $C = 0.1 \mu F$, $f = 100Hz, 1kHz, 10kHz$)



[그림 2-1]

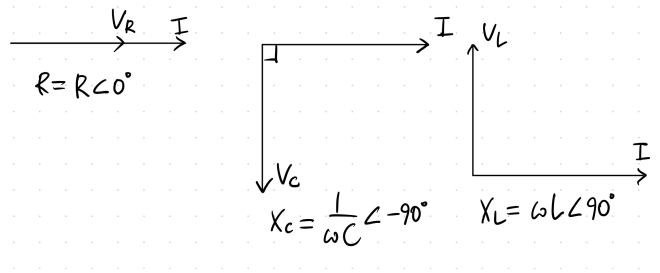


그림 1 R, C, L이 가지는 phasor diagram

RC 회로에서의 V_R , V_C 의 phasor diagram은 위와 같고, 입력 전압(V)은 저항에 걸리는 전압과 캐패시터 전압의 벡터 합과 같다. 따라서 입력 전압과 출력 전류의 위상 차이는 $\theta = \tan^{-1}(-\frac{V_C}{V_R}) = -\tan^{-1}(\frac{1}{\omega RC})$ 로 구할 수 있다.

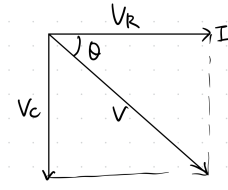


그림 2 RC circuit에서의 phasor diagram

복소 impedance는 $Z = R + jX_C = R - j\frac{1}{\omega C}$ 로 구할 수 있다. 주어진 값($R = 1k\Omega$, $C = 0.1 \mu F$, $f = 100\text{Hz}$, 1kHz , 10kHz)을 대입하여 구하면 다음과 같다.

- 100Hz: $\theta = \tan^{-1}(\frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 1k\Omega \cdot 0.1\mu F}) \approx 86.4^\circ$, $X_C = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 0.1\mu F} \approx 15.92k\Omega \rightarrow Z = (1 - j15.92)k\Omega$

- 1kHz: $\theta = \tan^{-1}(\frac{1}{2\pi \cdot 1000 \cdot 1k\Omega \cdot 0.1\mu F}) \approx 57.9^\circ$, $X_C = \frac{1}{2\pi \cdot 1000 \cdot 0.1\mu F} \approx 1.59k\Omega \rightarrow Z = (1 - j1.59)k\Omega$

- 10kHz: $\theta = \tan^{-1}(\frac{1}{2\pi \cdot 10k \cdot 1k\Omega \cdot 0.1\mu F}) \approx 9.0^\circ$, $X_C = \frac{1}{2\pi \cdot 10k \cdot 0.1\mu F} \approx 0.159k\Omega \rightarrow Z = (1 - j0.159)k\Omega$

(2) 그림 2-2 의 RL 회로에 대해서 (1)을 반복하라.

($R = 1k\Omega$, $L = 15\text{mH}$, $f = 1\text{kHz}$, 10kHz , 100kHz)

소문제 1에서의 inductor phasor diagram을 참고하면, 위상 차이와 복소 impedance를 구하는 방법은 다음과 같다.

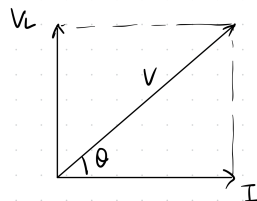


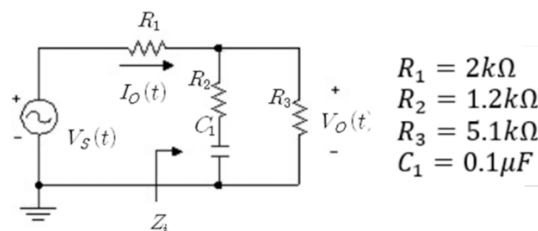
그림 3 RL circuit에서의 phasor diagram

$$\theta = \tan^{-1}(\frac{V_L}{V_R}) = \tan^{-1}(\frac{\omega L}{R}), Z = R + jX_L = R + j\omega L$$

같은 방식으로 주어진 값($R = 1k\Omega$, $L = 15mH$, $f = 1kHz, 10kHz, 100kHz$)을 대입하여 구하면 다음과 같다.

- 1kHz: $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{2\pi \cdot 1k \cdot 15mH}{1k\Omega}\right) \approx 5.4^\circ$, $X_L = 2\pi \cdot 1k \cdot 15mH \approx 94.2\Omega \rightarrow Z = (1 + j0.094)k\Omega$
- 10kHz: $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{2\pi \cdot 10k \cdot 15mH}{1k\Omega}\right) \approx 43.3^\circ$, $X_L = 2\pi \cdot 10k \cdot 15mH \approx 942\Omega \rightarrow Z = (1 + j0.942)k\Omega$
- 100kHz: $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{2\pi \cdot 100k \cdot 15mH}{1k\Omega}\right) \approx 83.9^\circ$, $X_L = 2\pi \cdot 100k \cdot 15mH \approx 9.42k\Omega \rightarrow Z = (1 + j9.42)k\Omega$

(3) Phasor를 이용하여, 실험 3 [그림 2-3]의 표 2-3 값을 계산하라.



[그림 2-3] 조금 복잡한 RC 회로의 임피던스

회로의 Z_i 는 R_2 와 C_1 의 직렬 impedance와 R_3 와의 병렬 impedance로 구한 Z_m 과 R_1 의 직렬 impedance로 구할 수 있다.

$$Z_m = (R_2 + X_{C_1}) || R_3 = \frac{\left(R_2 + \frac{1}{j\omega C}\right) R_3}{R_2 + R_3 + \frac{1}{j\omega C}}, \quad Z_i = R_1 + Z_m$$

위의 impedance를 이용하면 전체 전류와 출력 전압을 계산할 수 있다.

$$I_o = \frac{V_S}{Z_i}, \quad (KVL \text{에 의해}) V_S = V_{R_1} + V_O \rightarrow I_o(R_1 + Z_m) = I_o R_1 + V_O \rightarrow V_O = I_o \times Z_m$$

frequency	100Hz	1kHz	10kHz
V_O [V]	$1.43 \angle -5.2^\circ$	$0.71 \angle -13.7^\circ$	$0.65 \angle -4.5^\circ$
I_o [mA]	$0.30 \angle 12.2^\circ$	$0.66 \angle 7.3^\circ$	$0.67 \angle 2.2^\circ$
$ Z_i $ [kΩ]	6.69	3.03	2.97
$\arg(Z_i)$ [°]	-12.2	-7.3	-2.2

(4) RLC 공진 회로에서 공진 상태, 대역폭, Q-factor 에 대해 간략하게 요약하라.

- 공진 상태: inductor의 reactance X_L 과 캐패시터의 reactance X_C 라고 하자. $X_L = X_C$ 일 때 서로의 효과가 생쇄되는 상태를 공진 상태라고 한다. 직렬 공진 회로에서는 impedance가 최소가 되고 병렬 공진 회로에서는 최대가 된다.

- 대역폭: 공진 주파수를 중심으로 했을 때, 회로의 주파수 응답의 크기가 $-3dB$ 이상인 주파수의 범위를 말한다.
- Q-factor: 공진이 얼마나 예리한지를 나타내는 지표이다. 공진 주파수를 대역폭으로 나누어 구할 수 있다($Q = \frac{f_0}{BW}$). Q가 클수록 에너지 손실이 적고 대역폭이 좁아져 예리하다.

Reference

- (1) [EE305]Exp_1_Guide_2025Fall_Kor_revised
- (2) [EE305]Exp_2_Guide_2025Fall_Kor