

실험 결과 보고서 (12주차)

학 번 :
이 름 :
제출일 : 2020.06.05
분 반 : 005
실험조 :

1. 실험 제목 Inductors

2. 실험 목적

- 가. LR 회로의 시간 상수를 측정하고 직렬 인덕턴스가 시간 상수에 미치는 영향을 시험한다.
나. 직렬 RLC회로의 빈도수와 공진주파수를 구하고 주파수 응답 곡선을 통해 과도현상을 분석한다.

3. 실험준비

- 가) 장비 셋팅 : orcad pspice program
나) 사용기구 및 부품: orcad pspice program
다) 팀원 역할 분담 내역: 조별 활동을 하지 않아서 분담된 역할이 없이 개인이 실험을 진행하였음. pspice 회로설계, 측정, 계산-

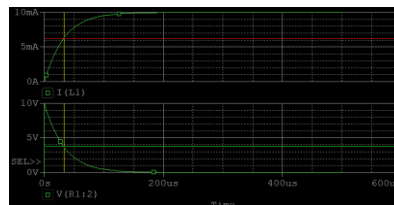
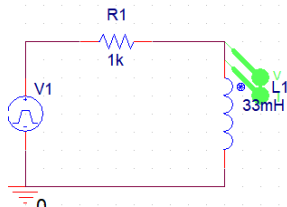
4. 실험결과

가) 실험과정

Orcad pspice 프로그램을 열어 새 프로젝트를 만들고, 회로를 구성한 뒤 실행(run)이 성공적으로 마쳐짐을 확인한다. RL회로의 시정수를 계산한 후, V-max와 시정수를 이용해 인덕터의 양단 전압과 인덕터에 흐르는 전류 그래프를 손으로 그려본다. 시뮬레이션을 하여 출력된 인덕터의 양단 전압과 전류의 그래프를 통해 커서를 이용하여 VL-max, IL-max, 시정수를 측정하고 계산값과 비교한다. 인덕터와 저항의 값을 바꾸어 가며 위 과정을 반복한다. RLC회로의 빈도수(α)와 공진주파수(ω_0)를 계산한 후, 시뮬레이션 결과 출력된 그래프와 함께 damping을 판단한다. 저항의 값을 바꾸어 가며 앞 과정을 반복한다. 실험결과는 다음과 같다.

나) 실험결과

1) Step Response 실험1

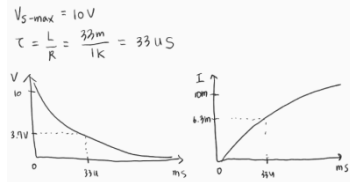


[그림1-1] RL 직렬 회로($R=1k\Omega$, $L=33mH$) [그림1-2] 그림1-1의 PSPICE 시뮬레이션 그래프

이 실험은 RL 직렬회로에서의 인덕터의 양단 전압, 전류의 관계와 저항과 인덕터에 따른 시정수를 분석하는 것이다. RL직렬 회로에서 직류전원을 투입했을 때, 인덕터의 양단 전압이 전원 전압의 37%가 되는 시간, 전류가 공급된 전류의 63%가 되는 시간은 시정수와 같다. 시정수 t 는 L/R 로 간단하게 구할 수 있다.

그림1-1의 회로는 10V를 공급하는 전원과 $1k\Omega$ 의 저항과 $33mH$ 의 인덕터로 구성되

어 있다. 시정수 t 는 L/R 로 계산할 수 있으므로, $t=33\mu s[500*10\mu]$ 이다. 시정수일 때 인덕터에 걸리는 전압은 공급된 전압 10V의 37%이므로 3.7V이고, 충전된 전류는 공급된 전류 10mA[10V/1k Ω]의 63%이므로 6.3mA이다. 계산한 값을 바탕으로 인덕터의 양단 전압(VL)과 전류(IL)를 손 그래프로 그리면 다음 그림 1-3과 같다.

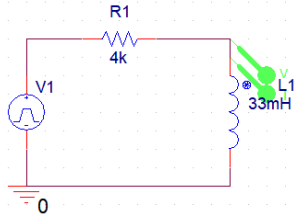
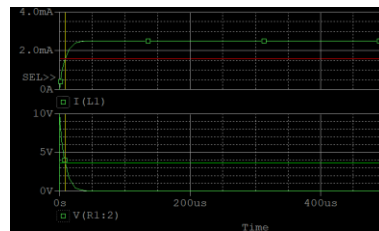


[그림 1-3] VL, IL의 손 그래프

Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
	X Values	32.759u	32.759u	0.000
CURSOR 2	V(R1:2)	3.7083	3.7083	0.000
CURSOR 1	I(L1)	6.2917m	6.2917m	0.000

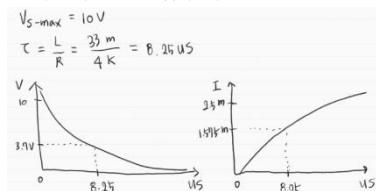
[그림 1-4] 시정수일 때 VL와 IL 분석 표

시정수의 단위가 μs 인 것을 고려하여 시뮬레이션 파일 생성 시 실행 시간을 500 μs 로 하여 시뮬레이션을 하였고, 인덕터의 양단 전압(VL)과 전류(IL) 그래프를 분석한 결과는 다음과 같다. 공급된 전압인 V_s 의 max는 9.932V로 측정되었고, 측정오차는 실행시간 단축과 커서 조정으로 줄일 수 있다고 판단하였다. 전류는 Y1(빨간색)커서로, 전압은 Y2(녹색)커서로 데이터값을 측정하였다. 인덕터의 양단 전압인 VL-max는 10V의 37%인 3.7V[10*0.37]와 최대한 가까운 값인 3.7083V으로 측정되었고, 인덕터에 충전된 전류 IL-max는 10mA의 63%인 6.3mA[10m*0.63]와 최대한 가까운 값인 6.2917mA으로 측정되었다. 이때의 시간은 그림 1-4와 같이 32.759 μs 로 측정되었다. 이는 앞에서 계산한 시정수인 33 μs 와 거의 일치하였다. 다음 3가지 실험 결과는 이 회로의 R과 L의 값을 바꾸어 분석한 것이다.

[그림 2-1] RL 직렬 회로(R=4k Ω , L=33mH)

[그림 2-2] 그림 2-1의 PSpice 시뮬레이션 그래프

그림 2-1의 회로는 4k Ω 의 저항과 33mH의 인덕터로 구성되어 있다. 시정수 t 는 L/R 로 계산할 수 있으므로, $t=8.25\mu s[33m/4k]$ 이다. 시정수일 때 인덕터의 양단 전압은 공급된 전압 10V의 37%이므로 3.7V이고, 충전된 전류는 공급된 전류 2.5mA[10V/4k Ω]의 63%이므로 1.575mA이다. 계산한 값을 바탕으로 인덕터의 양단 전압(VL)과 전류(IL)를 손 그래프로 그리면 다음 그림 2-3과 같다.



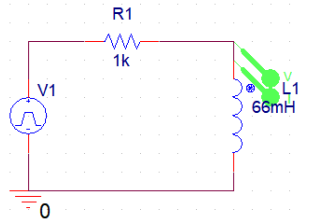
[그림 2-3] VL, IL의 손 그래프

Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
	X Values	8.6619u	8.6619u	-11.86E-21
CURSOR 2	V(R1:2)	3.6462	3.6462	0.000
CURSOR 1	I(L1)	1.5885m	1.5885m	0.000

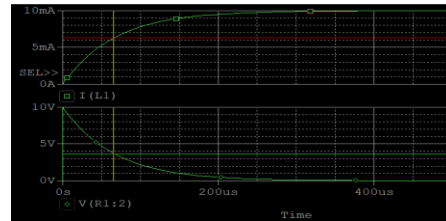
[그림 2-4] 시정수일 때 VL와 IL 분석 표

저항의 크기가 4배 늘어나니 총 전류도 1/4배로 줄어 인덕터에 충전된 전류의 양이 줄었다. 따라서 인덕터의 크기에 변화가 없음에도 시정수는 1/4배로 줄었다. 시뮬레이션 후 인덕터의 양단 전압(VL)과 전류(IL) 그래프를 분석한 결과는 다음과 같다. 인덕터의 양단 전압인 VL-max는 10V의 37%인 3.7V[10*0.37]와 최대한 가까운 값인

3.6462V으로 측정되었고, 인덕터에 충전된 전류 $I_L\text{-max}$ 는 2.5mA의 63%인 1.575mA[2.5mA*0.63]와 최대한 가까운 값인 1.5885mA으로 측정되었다. 이때의 시간은 그림 2-4와 같이 8.6619us로 측정되었다. 이는 앞에서 계산한 시정수인 8.25us와 거의 일치하였다.

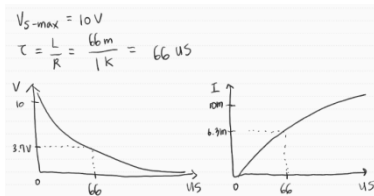


[그림3-1] RL 직렬 회로(R=1kΩ, L=66mH)



[그림3-2] 그림3-1의 PSPICE 시뮬레이션 그래프

그림3-1의 회로는 1kΩ의 저항과 66mH의 인덕터로 구성되어 있다. 시정수 t 는 L/R 로 계산할 수 있으므로, $t=66\mu\text{s}$ [66m/1k]이다. 시정수일 때 인덕터의 양단 전압은 공급된 전압 10V의 37%이므로 3.7V이고, 충전된 전류는 공급된 전류 10mA[10V/1kΩ]의 63%이므로 6.3mA이다. 계산한 값을 바탕으로 인덕터의 양단 전압(VL)과 전류(IL)를 손 그래프로 그리면 다음 그림 3-3과 같다.

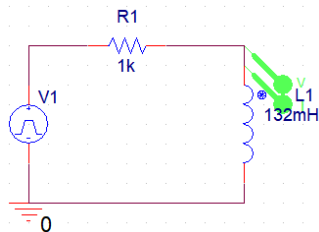


[그림3-3] VL, IL의 손 그래프

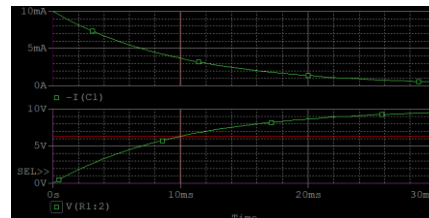
Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
	X Values	65.517u	65.517u	0.000
CURSOR 2	V(R1:2)	3.7051	3.7051	0.000
CURSOR 1	I(L1)	6.2949m	6.2949m	0.000

[그림3-4] 시정수일 때 VL과 IL 분석 표

인덕터의 크기가 2배 증가하니 전류가 흐르는 것을 방해하는 힘이 커져 인덕터에 일정량의 전류가 충전되기까지 걸리는 시간인 시정수도 2배로 늘게 된다. 시뮬레이션 후 인덕터의 양단 전압(VL)과 전류(IL) 그래프를 분석한 결과는 다음과 같다. 인덕터의 양단 전압인 VL-max는 10V의 37%인 3.7V[10*0.37]와 최대한 가까운 값인 3.7051V으로 측정되었고, 인덕터에 충전된 전류 $I_L\text{-max}$ 는 10mA의 63%인 6.3mA[10mA*0.63]와 최대한 가까운 값인 6.2949mA으로 측정되었다. 이때의 시간은 그림 2-4와 같이 65.517us로 측정되었다. 이는 앞에서 계산한 시정수인 66us와 거의 일치하였다.



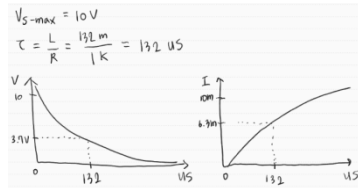
[그림4-1] RL 직렬 회로(R=1kΩ, L=132mH)



[그림4-2] 그림4-1의 PSPICE 시뮬레이션 그래프

그림4-1의 회로는 1kΩ의 저항과 132mH의 인덕터로 구성되어 있다. 시정수 t 는 L/R 로 계산할 수 있으므로, $t=132\mu\text{s}$ [132m/1k]이다. 시정수일 때 인덕터의 양단 전압은 공급된 전압 10V의 37%이므로 3.7V이고, 충전된 전류는 공급된 전류 10mA[10V/1kΩ]의 63%이므로 6.3mA이다. 계산한 값을 바탕으로 인덕터의 양단 전

압(VL)과 전류(IL)를 손 그래프로 그리면 다음 그림 4-3과 같다.



[그림4-3] VL, IL의 손 그래프

Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
	X Values	131.322u	131.322u	0.000
CURSOR 2	V(R1:2)	3.6984	3.6984	0.000
CURSOR 1	I(L1)	6.3016m	6.3016m	0.000

[그림4-4] 시정수일 때 VL와 IL 분석 표

인덕터의 크기가 4배 증가하니 전류가 흐르는 것을 방해하는 힘이 더 커져 인덕터에 일정량의 전류가 충전되기까지 걸리는 시간인 시정수도 4배로 늘게 된다. 시뮬레이션 후 인덕터의 양단 전압(VL)과 전류(IL) 그래프를 분석한 결과는 다음과 같다. 인덕터의 양단 전압인 VL-max는 10V의 37%인 3.7V[10*0.37]와 최대한 가까운 값인 3.6984V으로 측정되었고, 인덕터에 충전된 전류 IL-max는 10mA의 63%인 6.3mA[10m*0.63]와 최대한 가까운 값인 6.3016mA으로 측정되었다. 이때의 시간은 그림 2-4와 같이 131.322us로 측정되었다. 이는 앞에서 계산한 시정수인 132us와 거의 일치하였다.

실험1의 측정, 계산 결과를 총정리하면 다음 표와 같다.

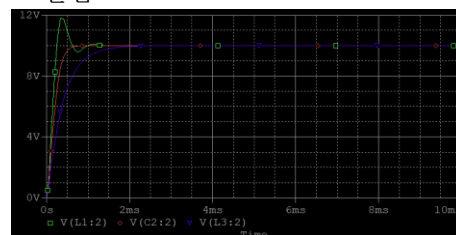
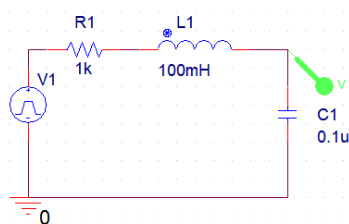
R[ohm]	L[mH]	시정수(τ)-계산	VL-max[V]	IL-max[mA]	시정수(τ)-VL	시정수(τ)-IL
1k	33	33us	3.7083	6.2917	32.759us	32.759us
4k	33	8.25us	3.6462	1.5885	8.6619us	8.6619us
1k	66	66us	3.7051	6.2949	65.517us	65.517us
1k	132	132us	3.6984	6.3016	131.322us	131.322us

[그림5-1] 실험1 데이터 분석 표

실험결과와 그림 5-1과 같이 인덕터에 걸리는 전압 VL-max가 공급된 전압의 37%이고, 인덕터에 충전되는 전류 IL-max가 총 전류의 63%일 때의 시간은 L을 R로 나눈 시정수 t와 같다는 것을 확인 할 수 있었다. 그리고 저항이 커지면 인덕터에 충전되는 전류가 반비례하여 줄게되고, 그에 따라 시정수도 줄어든다는 것을 알 수 있었다. 또 인덕터가 커지면 전류의 진행을 막는 힘이 세져 인덕터에 전류가 충전되기까지 걸리는 시간인 시정수도 함께 늘어난다는 것을 알게되었다. 따라서 시정수는 저항에 반비례하고, 인덕터에 비례한다는 $t=L/R$ 을 실험결과를 통해 증명할 수 있었다.

인덕터에 전류가 충전되었을 때 전류값이 충전전류의 63%인 이유는 RL회로에서의 전류가 $I(t)=(V/R)*(1-e^{-(Rt/L)})$ 식을 따르고, t가 시정수인 L/R와 같을 때, e의 지수는 -1이 되어 1/e는 0.37으로 계산되므로 IL의 값은 $(V/R)*0.63$ 이기 때문이다. 따라서 시정수일 때 인덕터에 전류가 모두 충전되고 그때의 전류는 충전전류의 63%이다. 전류에 의해 출력되는 전압은 $V(t)=V*e^{-(Rt/L)}$ 식을 따르고, t가 시정수와 같을 때 VL의 값은 $V*0.37$ 이기 때문에 인가된 전압의 37%이다.

2) step response of a series RLC circuit 실험2



[그림6-1] RLC 직렬 회로

[그림6-2] 그림6-1의 PSPICE 시뮬레이션 그래프

실험2에서는 직렬 RLC회로의 과도현상(전압이 인가되는 시점)에서 일어나는 진동감쇠의 정도가 저항의 값에 따라 달라지는 것을 확인하고, 그 정도를 세가지(overdamping, underdamping, criticaldamping)로 구분하는 실험을 하였다. 그림 6-1 RLC회로는 10V의 전압과, 1kΩ의 저항과 100mH의 인덕터와 0.1uF의 콘덴서로 구성되어있다. 진동을 흡수해서 억제시킨다는 damping의 정도는 감쇠지수(neper frequency= α)와 공진주파수(resonant frequency= ω)간의 관계에 따라 구분할 수 있는데, 감쇠지수가 공진주파수보다 크면 진동을 억제하려는 힘이 커지므로 overdamping이고, 감쇠지수와 공진주파수가 같으면 Critical damping이고, 감쇠지수보다 공진주파수가 크면 진동을 억제하려는 힘이 작아져 진동을 하므로 underdamping이다. 감쇠지수는 저항과 인덕터에 따르고 $[\alpha=R/2L]$, 공진주파수는 인덕터와 콘덴서에 따르므로 $[\omega=1/\sqrt{LC}]$, 그림6-1의 α 와 ω 를 계산하면 $\alpha=5k[1k/(2*100m)]$, $\omega=10k[1/\sqrt{100m*0.1u}]$ 으로 계산된다. 이 경우 공진주파수가 더 크므로 진동하는 underdamping에 해당한다. 저항의 값을 4kΩ으로 바꾸면, $\alpha=20k[4k/(2*100m)]$, $\omega=10k[1/\sqrt{(100m*0.1u)}]$ 으로 계산되고, 이 경우 감쇠지수가 공진주파수보다 크므로 overdamping에 해당한다 Critical damping은 감쇠지수와 공진주파수가 같은 경우에 일어나므로 저항에 따른 α 가 ω 인 10k와 같아야 하며, 즉 R이 2kΩ일 때 critical damping이 일어난다. 그림 6-2에서 초록색 그래프는 저항이 1kΩ인 경우, 즉 감쇠지수가 공진주파수보다 작을 때로 진동하는 형태의 underdamping을 보이고, 빨간색 그래프는 저항이 2kΩ인 경우, 즉 감쇠지수와 공진주파수가 같을 때로 진동과 비진동 형태 사이의 criticaldamping을 보이며, 파란색 그래프는 저항이 4kΩ인 경우, 즉 감쇠지수가 공진주파수보다 클 때로 진동이 억제된 형태의 overdamping을 보인다. 따라서 직렬 RLC회로에 최초로 전압을 인가하는 순간에 인덕터와 콘덴서로 인해 만들어진 에너지 진동을 빠르고 부드럽게 억제시키는 데에 저항의 영향을 받는다는 것을 알 수 있었고, 감쇠지수와 공진주파수의 관계를 통해 진동감쇠 정도를 구분할 수 있음을 확인하였다.

5. 고찰

이번 실험을 통해 어떠한 상수 전압이 인가된 RL회로에서 인덕터는 전류의 흐름을 방해하는 역할을 하며 인덕터의 크기가 커짐에 따라 인덕터에 전류가 충전되는 시간이 지연된다는 것을 특정 전압, 전류값이 측정되는 시간을 통해 확인 할 수 있었고, 그 시간이 시정수임을 실험결과를 통해 증명하였다. 실험1에서 값을 측정할 때 측정 방법을 제대로 숙지하지 못하여 데이터를 충분히 도출하지 못하였는데, 인덕터에 걸리는 전압과 전류를 측정하여 출력된 그래프를 커서를 이용하여 각각의 그래프를 분석해야 할 때, 실행화면에서 전압 또는 전류 그래프의 plot을 선택하여 두 커서를 각 그래프로 나누어서 따로 측정해야 함을 알고, 이 점에 유의하여 다시 데이터를 낸 결과 실험을 성공적으로 마무리 할 수 있었다. RLC회로에서 과도시점에 발생하는 damping에 대해서 실험결과로 출력된 그래프의 형태를 통해 이론을 자세히 이해할 수 있었으며, 실험2에 대한 실험 중 전압을 측정할 때 핀을 저항과 인덕터의 사이에 두어 그래프의 형태가 예상과 다르게 출력되어 실험결과를 이해하는데 어려움이 있었

는데, 인덕터와 콘덴서 사이에 핀을 두고 그때의 전압을 측정하였을 때 올바른 결과가 나오므로써 구하고자 하는 데이터를 측정할 때 회로 소자간의 관계를 이해해야 함을 다시 한번 깨달았고, 이론과 함께 회로를 분석하는데에 도움이 되었다. 이번 실험에서 VL-max, IL-max, 시정수를 측정할 때 약간의 오차가 발생하였는데 이것은 pspice 시뮬레이션 과정에서 생긴 측정 오차라고 할 수 있다. 이는 실행시간 범위의 수정과 커서의 조정으로 오차를 줄일 수 있을 것이라고 예상한다.