실험물리학 2

1주차 예비 레포트

<기초 회로 및 트랜지스터의 기초>

이름: 김나현

학번: 20191286

분반: 2분반

담당 교수님: 정명화 교수님

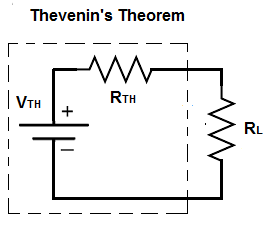
담당 조교님: 소현경 조교님

제출일자: 2020년 9월 9일 수요일

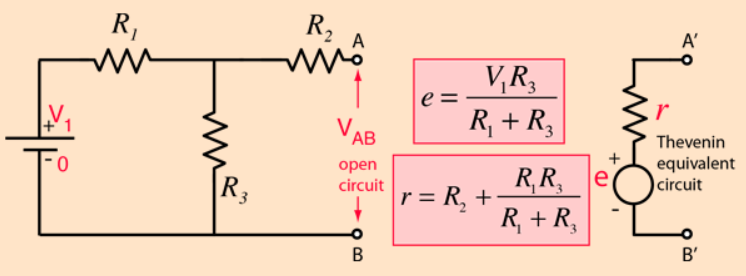
1. 실험 목표
2. 오실로스코프의 사용법과 테브낭의 정리(Thevenin’s Theorem), RLC filter 등을 통해 기본적인 회로들을 이해하고, 계측 장비들의 사용법을 습득한다.
3. BJT의 기본 작동원리를 3-wire 측정법을 이용하여 복습한다.
4. 실험 이론
5. 기초 회로
6. 테브낭의 정리(Thevenin’s Theorem)

테브낭 정리는 여러 전압원과 저항으로 연결된 복잡한 회로를 하나의 전압원과 직렬 저항으로 변환한, <그림 a>와 같은 등가회로로 표현할 수 있다는 정리이다. 이는 <그림 b>와 같은 상황에서 전압원을 연결하지 않은 상태로 A와 B 양단의 저항을 측정함으로써 등가저항을 구할 수 있고, 전압원을 연결한 후 A와 B 양단의 전압 차를 측정함으로써 등가전압을 구하여 부하저항을 연결하였을 때, 부하저항에 인가되는 전압과 전류를 계산할 때 <그림 a>와 같은 단순화된 회로를 통해 계산할 수 있다는 점에서 유용하고 편리하다. 본 실험에서는 <그림 2-1>의 회로에서 A와 B 지점 양단에 DMM과 같은 기기를 연결하여 전압과 저항을 측정할 수 있는데 이때 측정한 두 값을 각각 실험적으로 알게 된 등가전압 VTH와 등가저항 RTH이라고 할 수 있다. 이론적으로는 테브낭의 정리에 의해, <그림 2-1> 회로는 <그림 2-2>와 달리 부하저항 R4가 연결되지 않은 개회로이기 때문에 A와 B 양단에 걸리는 전압은 저항 R2에 걸리는 전압과 같고, 이 값을 등가전압 VTH라고 할 수 있으므로 전압원을 V라고 하면, 등가전압 VTH는 라는 식으로 구할 수 있다. 이때, 헷갈리지 않아야 할 것은 이론적으로 등가저항을 구할 때, 부하저항이 연결될 지점을 기준으로 생각하여 저항 R1가 저항 R2과 병렬로 연결되어 있으며 저항 R3과 저항 R1, R2는 직렬로 연결되어 있다고 생각하며 구해야 한다는 것이다. 따라서 등가저항을 구하는 식은 이 아니라, 이라고 생각해야 하는 것이다. 등가저항과 등가전압을 각각 계산하였으면 <그림 2-2>와 같이 부하저항을 연결하여도 <그림 a> 회로처럼 등가회로를 구성하여 어렵지 않게 부하저항에 걸리는 전압이나 흐르는 전류의 크기를 계산할 수 있다.

본 실험에서는 측정을 통해 등가저항과 등가전압을 알게 되는데, 저항 R1, R2, R3와 전압원 V의 값만 안다면 테브낭의 정리를 이용하여 이론적인 등가저항과 등가전압의 값을 계산할 수 있고, 측정 값과 이론 값을 비교함으로써 오차를 확인해볼 수 있다. <그림 2-2>에서는 일반적인 저항을 부하저항으로 사용하지 않고 가변저항 R4를 부하저항으로 사용함으로써 부하저항의 크기를 각각 달리하며 각각의 상황에서 저항 R4에 흐르는 전류의 크기나 인가되는 전압의 크기를 측정하고, 이론적으로 계산해서 비교해볼 수 있다. 이론적으로, 부하저항에 흐르는 전류의 세기를 I4라고 하면 I4는 옴의 법칙을 이용하여 라는 식을 통해 구할 수 있고, 부하저항에 인가되는 전압의 크기를 V4라고 하면 V4는 라는 식을 통해 구할 수 있다.



<그림 a> 등가회로 (Rth는 등가 저항, Vth는 등가 전압, RL은 부하 저항을 의미한다.)



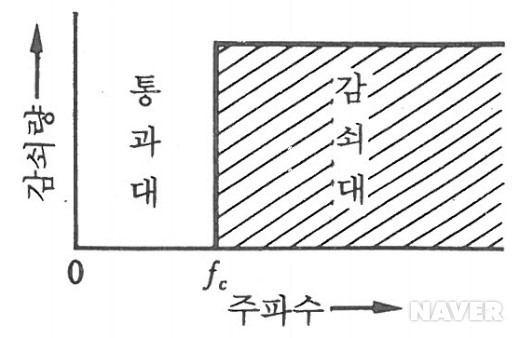
<그림 b> 등가회로 (이때, e는 등가전압, r은 등가저항을 의미한다.)

1. RLC filter

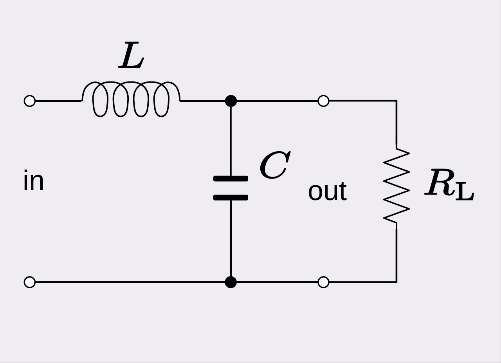
교류 전압 전원에 저항, 인덕터, 커패시터가 연결되어 있는 회로를 RLC 회로라고 하고, 이 중, <그림 3-1>과 같은 회로는 RLC 직렬 회로이고, <그림 3-2>과 같은 회로는 RLC 직병렬 회로이다. RLC 회로를 얘기하기 전에 교류 회로에서의 인덕터와 커패시터에 대해 먼저 얘기해보겠다. 교류 회로에서 인덕터에 의해 전류의 흐름을 방해하는 성분을 유도성 리액턴스라고 하며 단위는 Ω을 사용한다. 또한 이는 인덕턴스와 인가된 전압의 주파수에 따라서 달라진다. 유도성 리액턴스의 기호는 XL이고, f는 전압의 주파수, L은 인덕턴스라고 하면 XL=2πfL라는 식으로 표현할 수 있다. 교류 회로에서는 커패시터가 충전과 방전을 반복하기 때문에 처음 커패시터가 충전되면 전압은 인가되는 전압의 변화를 저지하면서 커패시터의 극판에 저장되고, 커패시터에 인가된 교류 전압의 변화를 방해하는데 이를 용량성 리액턴스라고 한다. 용량성 리액턴스는 Xc라고 하고, 유도성 리액턴스와 마찬가지로 Ω의 단위를 이용하며 f는 주파수, C는 커패시턴스라고 하면 Xc=1/(2πfC)라는 식을 통해 계산할 수 있다. 따라서, 주파수 f가 0으로 수렴하는 직류 전압원이 있는 회로에서는 용량성 리액턴스가 거의 무한대로 발산하며, 유도성 리액턴스는 0에 수렴한다는 것을 알 수 있다. RLC 회로에서 공진이 일어나는 조건은 직렬 RLC 회로든, 병렬 RLC 회로든 관계없이 용량성 리액턴스와 유도성 리액턴스의 값이 같을 때, 즉 임피던스 이 최소가 될 때이므로 2πf=(LC)^(-0.5)일 때이고, 따라서 공진이 일어나기 위한 주파수 f는 이다.

RLC 필터에는 저역 통과 필터(Low-pass filter), 고역 통과 필터(High-pass filter), 대역 통과 필터(Band-pass filter), 대역 차단 필터(Band-rejection filter) 등으로 나눌 수 있다.

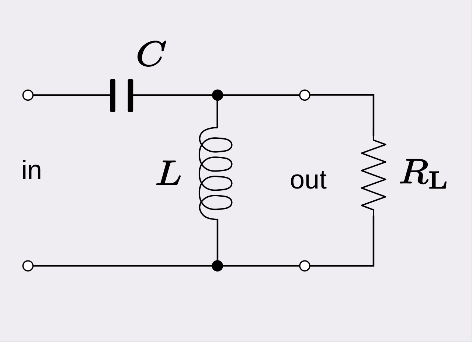
우선, 저역 통과 필터(Low-pass filter)은 <그림 c-1>를 예시로, 0≤f<fC의 주파수 범위를 출력하는 필터로써 통과를 저지하는 주파수대를 감쇠대, 자유로운 통과가 가능한 주파수대를 통과대라고 한다. 이때, 두 주파수대의 경계가 되는 주파수 fC를 차단 주파수라고 칭한다. 이러한 필터는 특정 주파수 이하의 주파수대를 통과시키므로 저역 통과 필터라고 부르고 <그림 c-2>와 같은 회로가 이러한 필터 기능을 하게 된다.



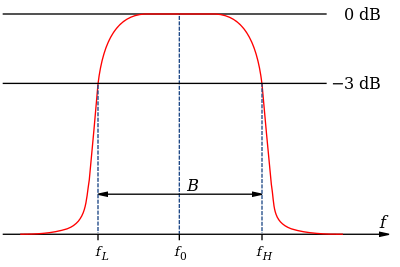
<그림 c-1> 저역 통과 필터



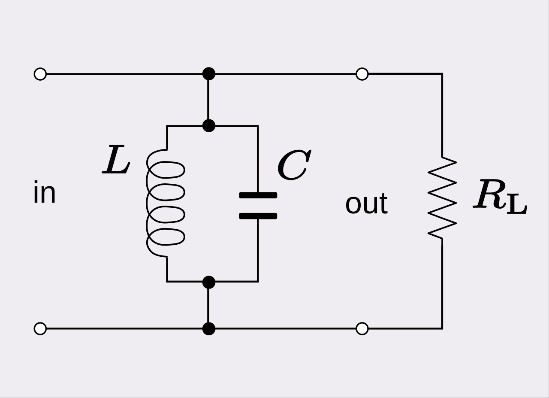
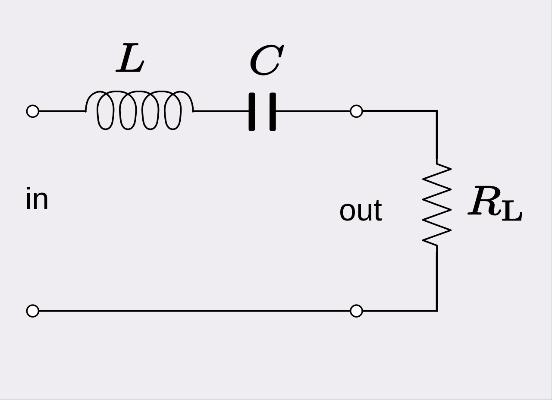
<그림 c-2> 저역 통과 필터로써의 RLC 회로

다음으로, <그림 d> 회로의 고역 통과 필터(High-pass filter)는 저역 통과 필터와는 반대로 특정 차단 주파수 이상인 높은 주파수를 통과시키고 낮은 주파수를 차단하는 필터로써 차단 주파수 이하의 모든 주파수를 완벽하게 차단 가능한 이상적인 필터는 만들 수 없지만 통과대를 제외한 주파수 영역을 최대한 감쇠하기 위해 만들어진다.

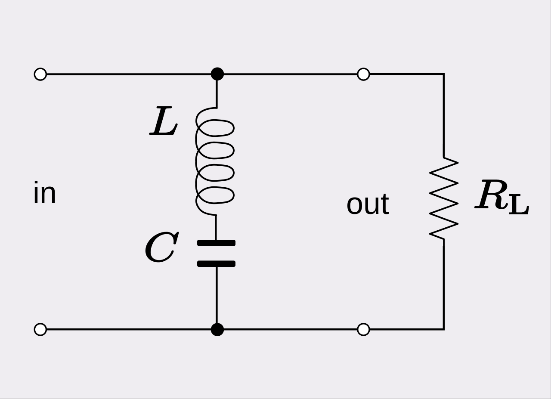
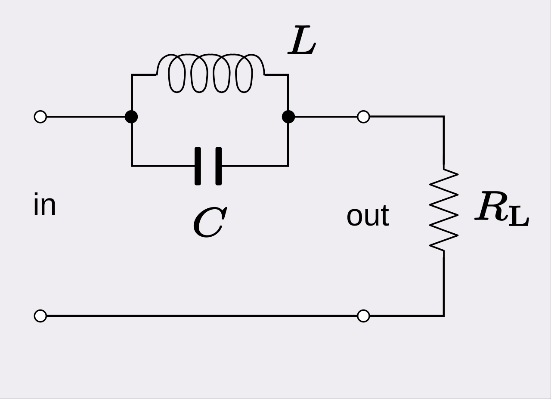
<그림 d> 고역 통과 필터로써의 RLC 회로

대역 통과 필터(Band-pass filter)는 앞선 두 필터와 달리 중심주파수 f0와 고역 차단주파수 fH, 저역 차단주파수 fL에 대하여 대역폭 B 사이에 있는 주파수의 신호는 통과시키고 이 범위 이외의 주파수는 차단하는 역할을 한다. 대역 통과 필터는 저역 통과 필터와 고역 통과 필터의 조합으로도 만들어질 수 있으며, 대역폭 B 외의 주파수를 완벽하게 차단하는 것은 고역 통과 필터나 저역 통과 필터와 마찬가지로 불가능하므로 통과 대역 밖의 신호를 최대한 감쇠할 수 있게 하여 이상적인 필터로 만들려고 한다. 여기서 대역폭 B는 두 차단주파수 fH와 fL의 차이고, 중심 주파수와 대역폭의 비로 정의된 Q인자는 그 값이 낮을수록 넓은 대역폭을 갖게 되고, 높을수록 좁은 대역폭을 갖게 된다.

<그림 e-1> 대역 통과 필터의 통과 가능한 주파수 범위



<그림 e-2> 대역 통과 필터로써의 서로 다른 RLC 회로

마지막으로, 대역 통과 필터의 정반대 효과를 내는 대역 차단 필터(Band-rejection filter)는 특정한 두 차단주파수와 그 사이의 주파수 대역 신호는 감쇠하고 그 이외의 주파수 영역에 대해서는 감쇠 없이 통과시키는 역할을 한다. <그림 e-1>을 통해 설명하자면, 대역 통과 필터와는 달리 두 차단주파수 상한 주파수 fH와 하한 주파수 fL 사이의 주파수 영역은 감쇠하고 그 밖의 주파수 영역은 통과를 시키는 것이다.

<그림 f> 대역 차단 필터로써의 서로 다른 RLC 회로

1. 계측 및 계측기
2. 유효숫자(significant figure)와 측정값의 계산

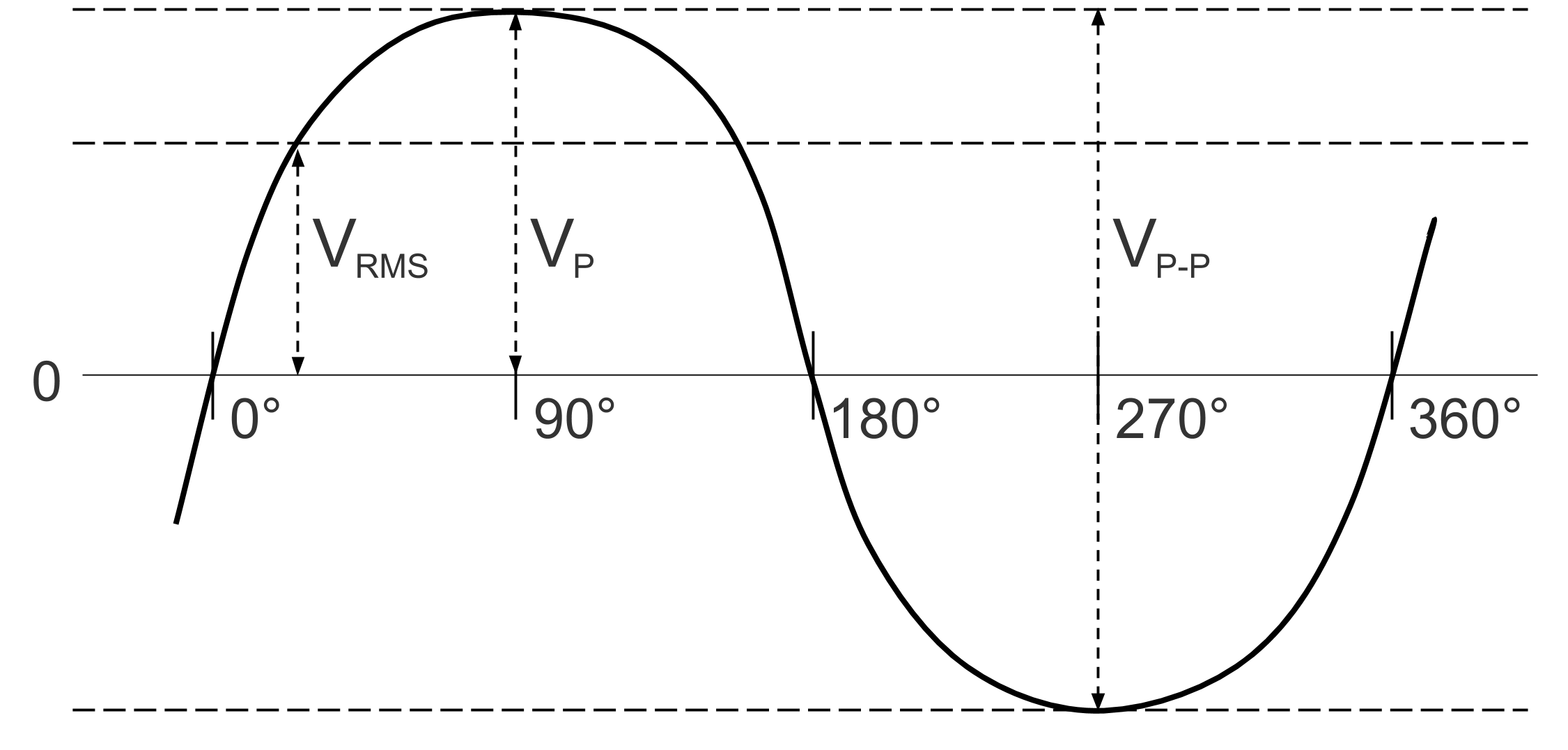
실험에서 얻은 측정 값은 측정에 사용된 도구의 정밀도에 영향을 받는다. 예를 들어, 어떠한 물체의 길이를 측정하려는데 최소 눈금이 1 mm인 자로 측정하면 이 물체의 길이가 약 9.5 mm라고 측정했다고 가정하자. 사실 이 물체는 9 mm와 10 mm 사이의 크기를 갖는다는 것은 확실하지만 눈금의 최소 단위가 1 mm이기 때문에 소수점 아래 첫째 자리 이후 값은 신뢰할 수 없는 것이다. 따라서, 이러한 측정 도구를 사용하여 물체를 측정했을 때는 유효숫자는 9.5 mm가 되고 유효숫자의 맨 마지막 자리의 숫자는 신뢰할 수 없는 불확실한 값인 것이다. 이 숫자에서 유효숫자의 개수는 9와 5로 2개가 된다. 만약 똑같은 물체를 이번에는 최소 눈금이 0.05 mm인 자로 측정하여 어림잡아 약 9.48 mm라고 판단한다면, 9.45 mm와 9.50 mm사이의 길이를 갖는 것은 확실하지만 소수점 아래 둘째 자리 이후의 값은 신뢰할 수 없고 따라서 9.48 mm에서 유효숫자의 개수는 3개이고 이 숫자의 맨 마지막 자리, 즉 소수점 아래 세 번째 자리 수는 신뢰할 수 없는 불확실한 값이 된다.

0을 포함하고 있는 값에서 유효숫자를 찾는 것은 쉽게 헷갈릴 수가 있으므로 정확하게 알아두어야 한다. 우선, 숫자 앞에 있는 0은 유효숫자에 포함되지 않는다. 유효숫자가 12.5 g인 물체를 012.5 g이라고 표현하든, 0012.5 g이라고 표현하든 유효숫자의 개수는 변함없이 3개일 것이다. 이처럼 숫자 앞에 있는 0은 유효숫자에 포함되지 않는다. 마찬가지로, 유효숫자가 12.5 g인 물체를 단위를 바꿔서 0.012 kg으로 표현하게 된다고 해도 소수점 아래 둘째 자리인 1 앞에 있는 모든 0들은 유효숫자에 포함되지 않아 단위를 바꿔도 여전히 유효숫자의 개수는 3개이다. 다음으로, 숫자의 사이에 있는 0은 당연히 유효숫자에 포함된다는 것을 유념해야 한다. 유효숫자가 504 kg인 물체는 유효숫자의 개수가 3개인 숫자가 된다. 마지막으로, 숫자 뒤에 있는 0은 경우에 따라 유효숫자로 취급이 되는지, 그렇지 않은지 달라지기 때문에 유효숫자의 개수에 따라 지수를 사용하여 표현해야 한다. 만약 측정 결과 256000 m인 어떤 물체의 길이가 있을 때, 유효숫자의 개수가 3개라는 것을 표현하려면 m이라고 표현하고, 유효숫자의 개수가 4개라는 것을 표현하려면 m라고 표현해야 한다. 이는 소수점 아래, 숫자 뒤에 있는 0은 모두 유효숫자로 취급된다는 전제에서 가능한 표현이므로 이와 같은 자리에 있는 0은 모두 유효숫자로 생각해야 한다. 더 확실하게 하기 위해 예를 들어보면, 0.00256 kg이라는 측정 값의 유효숫자의 개수가 3개일 때는 kg이라고 표현해야 되고, 유효숫자의 개수가 4개일 때는 kg이라고 표현해야 하는 것이다.

이제까지 한 가지 측정 값에 대해 측정 도구에 따라 유효숫자를 정하고, 유효숫자의 개수를 찾는 법에 대해 얘기했다면 지금부터는 서로 다른 측정 도구로 측정한 여러 개의 측정 값을 계산하는 방법을 얘기해보겠다. 우선, 덧셈과 뺄셈에 대해 얘기해보면, 어떤 물체의 길이의 유효숫자는 12 mm이고 다른 한 물체의 길이의 유효숫자는 6.54 mm라고 할 때, 두 물체 길이의 합은 이다. 이때, 길이 6.54 mm의 물체가 더 정밀하게 측정되었지만 길이 12 mm의 물체의 측정 값은 일의 자리가 불확실한 값이므로 두 값을 더한 값 또한 일의 자리 이후로는 불확실한 값이 된다. 따라서 이 두 값을 더한 값을 반올림한 결과나 처럼 먼저 소수점 아래 자리가 적은 쪽의 유효숫자를 일치하여 준 후 더한 결과나 같게 된다. 이는 뺄셈에도 똑같이 적용이 된다. 뺄셈을 예로 들어보면, 측정 값이 14.657 g과 1.24 g인 두 물체의 측정 값을 빼면 가 되고, 이는 두 값을 소수점 아래 자리가 더 적은 둘째 자리에 맞춰서 반올림한 후 더한 결과인 의 결과와 같다. 곱셈과 나눗셈에 대해 얘기해보면, 위에서 언급한 덧셈과 뺄셈의 방법과 달리 유효숫자의 개수에 초점을 둬야 한다. 유효숫자의 개수가 3개인 값과 4개인 값을 곱해준 값은 유효숫자의 개수가 더 적은 값을 따라 유효숫자의 개수가 3개인 값으로 정해진다. 예를 들어, 0.52 m와 5.6 m를 곱하는 경우, 이 되어 곱셈 결과, 유효 숫자의 개수는 2개가 된다.

1. 최댓값(peak value), 첨두치(peak-to-peak), 실효값(RMS)

교류 발전기에서 발생되는 파형을 정현파, 또는 사인파라고 하는데 이러한 파형은 가장 기초적인 형태의 파형으로, 기계적인 방법이나 전자적인 방법으로 발생될 수 있다. 정현파를 사인파라고도 부르는 이유는 정현파를 사인 함수로 표현할 수 있기 때문이고, 전압과 전류 모두 정현파의 형태로 존재한다. 정현파 위의 각 점은 회전각과 진폭, 이 두가지의 값을 한 쌍으로 갖게 되는데 회전각은 교류 발전기의 전기자가 회전한 각도이다. 첨두값(peak value)은 최댓값과 같은 말로, 파형에서 최대 진폭을 갖는 점의 절댓값이다. 첨두값에는 양의 교번 한 개, 음의 교번 한 개로 구성된다. 첨두치(첨두-첨두값, peak-to-peak)는 양의 교번에서 음의 교번까지의 수직 거리를 나타내며, 정현파에선 원점으로부터 양의 교번까지의 거리와 음의 교번까지의 거리가 같으므로 첨두값에 두 배를 하면 첨두치를 구할 수 있다. 실효값(root-mean-square)이란 임의의 저항에 대해 직류가 발생하는 열과 동일한 열을 발생하는 교류의 양으로 제곱 평균 제곱근이라는 수학적인 과정을 통해 계산할 수 있다. 제곱 평균 제곱근을 이용하면 정현파의 실효값이 첨두값의 0.707배와 같다는 사실을 알 수 있다.



<그림 g> 최댓값(peak value), 첨두치(peak-to-peak), 실효값(RMS)

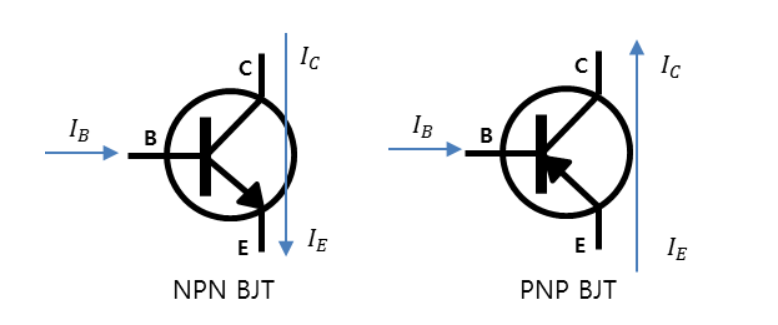
1. 오실로스코프(oscilloscope)의 정확한 사용법

일반적인 오실로스코프는 교류나 직류의 파형을 최소 대략 1 Hz에서 최대 몇 MHz의 크기를 갖는 주파수의 파형으로서 나타낼 수 있으며 고성능 오실로스코프는 몇 백 GHz까지의 주파수를 갖는 신호를 표시할 수도 있다. 소리나 진동과 같은 아날로그 신호들 또한 전압으로 전환되어 이 기기 상에 표시될 수 있다. 오실로스코프는 x축은 시간으로, y축은 전압으로 하는 좌표평면 위에 전기적인 신호의 변화를 표현하여 이 기기가 나타내는 그래프를 통해 파형의 특성, 예를 들어, 진폭, 주파수 등과 같은 것을 알 수 있다. 오실로스코프는 반복적인 신호를 연속적인 모양으로 스크린 상에 나타나게 할 수 있고, 특히 저장형 오실로스코프는 한 이벤트를 포착하여 반복적으로 그것을 보여줄 수 있는데 이는 너무 빨리 지나가서 사용자가 확인할 수 없는 것을 방지하게 해준다.

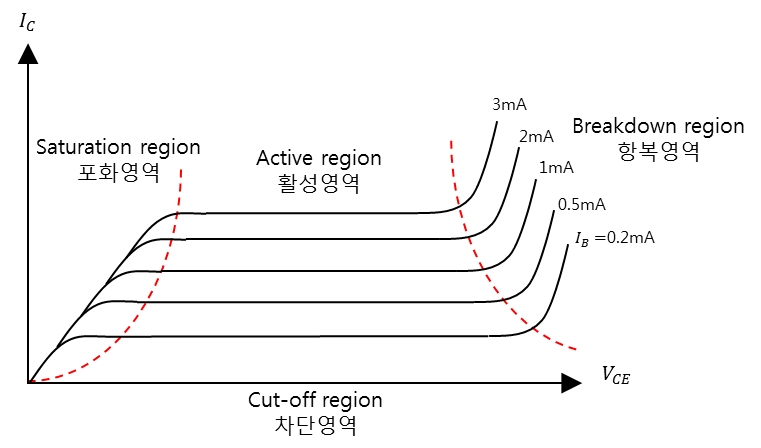
오실로스코프의 probe는 입력단자에 꽂는 부분과 접지용 클립(clip), 그리고 신호를 관찰하고자 하는 부분에 접촉시킬 수 있는 훅(hook)형의 탐침으로 구성되어 있기 때문에 신호를 관찰하고 싶은 부분이 있다면 두 개의 probe를 통해 각각의 입력단자에 연결하고 확인하고 싶은 신호가 있는 부분의 양단에 연결해야 한다.

오실로스코프를 통해 교류 회로의 신호를 관측하기 위해서는 교류 전압원의 역할을 해줄 함수발생기가 필요하고, 정현파나 구형파, 삼각파 등의 파형과 주파수, Vpp 등을 설정한 후 전원을 킨 오실로스코프의 입력 단자 중 한 곳에 케이블과 전선을 이용하여 연결해준다. 이후, 오실로스코프의 커플링 설정을 AC로 맞추어 DC offset 신호를 제거하고, auto set이나 수동 조작을 이용하여 신호를 관측한다. 이때, 오실로스코프를 통해 신호의 Vpp이나 Vrms 등을 알 수 있다.

1. BJT(Bipolar Junction Transistor)의 전기 전달 특성

일반적으로 트랜지스터라고 하는 것은 바이폴라 접합 트랜지스터(BJT)이고, 이는 N형과 P형으로 도핑된 3개의 반도체 영역과 이들에 의해 형성되는 두 개의 PN 접합으로 구성된다. NPN형 BJT는 이미터와 컬렉터가 N형, 베이스가 P형인 반도체로 구성되고, PNP형 BJT는 반대로 이미터와 컬렉터가 P형, 베이스가 N형인 반도체로 구성된다.

<그림 h> NPN형 BJT의 전류 흐름, PNP형 BJT의 전류 흐름

전류의 방향은 전자의 이동방향과 반대이므로, 위의 <그림 h>에서 NPN형 BJT는 전류운반자가 전자이기 때문에 이미터에서 베이스, 컬렉터로 이동하게 되는데 전자의 이동방향과 전류의 방향이 반대로 표시되고, PNP형 BJT는 전류운반자가 정공이므로 정공의 이동방향과 전류의 방향이 일치하게 표시된다. NPN형 BJT의 베이스에 전류가 인가되면 이미터에서 베이스로 전자의 이동이 생기고, 이미터에 흐르는 전류의 세기는 베이스와 컬렉터에 흐르는 전류의 세기의 합이 되므로 라는 식으로 나타낼 수 있다. 또한, 베이스와 컬렉터에 흐르는 전류 세기의 비율이 트랜지스터 고유의 전류 증폭률 β라고 하고, β=IC/IB라는 식으로 나타낼 수 있는데 트랜지스터 고유 전류 증폭률인 β가 주어지고, 베이스 전류를 알고 있을 때, IC=βIB라는 식을 통해 컬렉터 전류를 계산할 수 있게 된다.

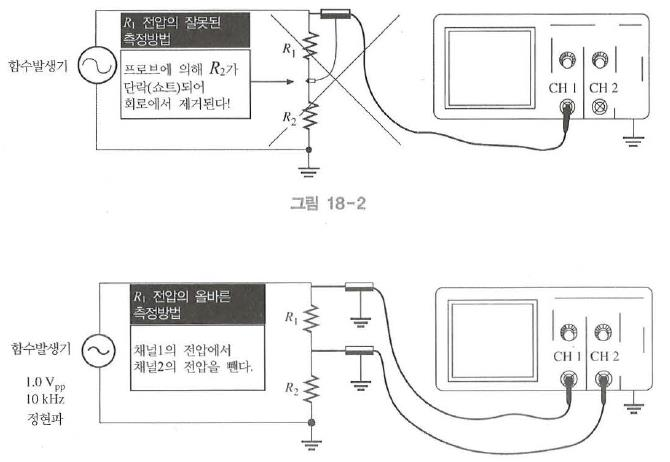
<그림 c> 베이스 전류에 대한 컬렉터의 전압-전류 특성

트랜지스터 회로에서 컬렉터 전류가 베이스 전류에 트랜지스터의 전류 증폭률 β를 곱한 값보다 적게 흐르는 경우를 포화 동작영역이라고 하고, 전류 증폭기로써 동작하기 위한 컬렉터 전류보다 적은 전류가 흐른다는 의미이며 베이스 전류가 너무 크거나 컬렉터 전류가 회로 조건에 의해 제한될 때 발생하는 현상이다. 또한 베이스 전류가 인가되지 않은 경우에 출력 컬렉터 전류 또한 흐르지 않는데 이러한 동작 영역을 차단 동작영역이라고 하고, 이 경우에는 트랜지스터가 개방상태로 있다고 말할 수 있다. 출력 컬렉터 전류가 입력 베이스 전류에 트랜지스터의 고유한 전류 증폭률 β를 곱한 값과 같을 때는 활성 동작영역이라고 하며 다른 말로는 선형 동작영역이라고도 한다. 이는 트랜지스터가 전류 증폭기로써 정상적으로 동작하고 있는 상태를 의미한다. 마지막으로 항복영역은 너무 큰 컬렉터 전압이 걸리게 돼서 트랜지스터가 파괴될 때를 말한다.

트랜지스터의 동작영역 중 활성 동작영역은 트랜지스터를 아날로그 소자로 이용할 수 있는 동작영역이고, 포화 동작영역이나 차단 동작영역의 경우, 트랜지스터를 디지털 소자나 스위칭 소자로 이용할 수 있는 동작영역이다. 포화 동작영역에서는 트랜지스터의 고유한 전류 증폭률보다 실제 트랜지스터 회로에서의 전류 증폭률이 더 작아서 트랜지스터가 일정한 비율로 증폭하는 전류 증폭기로써의 역할은 하지 못하지만 물리적으로 가능한 최대의 컬렉터 전류가 흐르기 때문에 디지털 소자의 ‘1’이나 스위칭 소자의 ‘ON’과 같은 의미를 갖게 된다. 반대로, 차단 동작영역에서는 입력 베이스 전류와 출력 베이스 전류가 모두 0이고, 트랜지스터가 동작하지 않는다는 정보를 의미하므로 디지털 소자의 ‘0’이나 스위칭 소자의 ‘OFF’와 같은 의미를 갖게 된다.

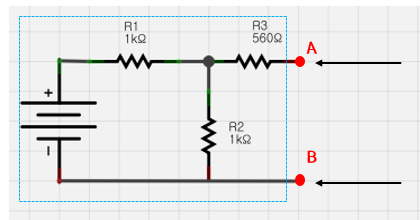
1. 실험 장비 및 재료
2. 실험 장비
3. NII ELVIS
4. 오실로스코프
5. 함수발생기
6. 실험 재료
7. 저항, 인덕터, 커패시터
8. 실험 방법
9. 함수발생기와 오실로스코프(oscilloscope)

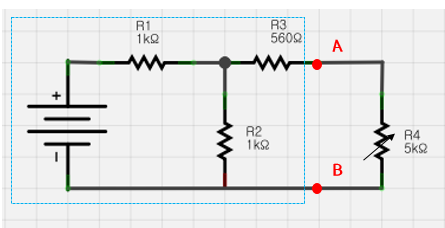
첫 번째 실험은 <그림 1>의 회로를 구성한 후, 오실로스코프를 통해 저항 R1에 걸리는 전압을 측정하는 실험이다. 저항 R1에 걸리는 전압은 CH1과 CH2의 신호의 차를 이용하여 측정할 수 있기 때문에 <그림 1>의 위에 있는 그림과 같이 저항 R1의 양쪽과 CH1만을 연결하는 것이 아니라, <그림 1>의 아래에 있는 그림과 같이 저항 R1의 양쪽을 각각 CH1과 CH2와 연결한다. 두 채널로 들어온 신호를 오실로스코프에 있는 빼기 기능을 사용하여 얻은 두 채널로 들어온 신호의 차이는 저항 R1에 걸리는 전압이라고 생각할 수 있으므로 이를 이론값과 비교하여 본다. 이때, 저항 R1과 R2는 각각 10 kΩ 이하의 임의의 저항을 선택하도록 한다.

두 번째 실험은 <그림 1>의 아래 회로에서 함수발생기로 주파수가 5 Hz, Vpp가 1 V로 설정한 구형파를 공급하여, 낮은 주파수와 낮은 진폭을 가진 신호에서 오실로스코프를 통해 안정된 파형을 얻기 위해 사용되는 트리거 모드(trigger mode)의 중요성을 알아보는 실험이다. 이때, 트리거 모드를 상승 엣지(edge)나 하강 엣지로 맞추고 트리거 레벨을 조절하면서 오실로스코프에서 관찰되는 파형을 확인해보도록 한다.

<그림 1> 오실로스코프를 이용한 신호 측정 회로

1. 테브낭 정리(Thevenin’s Theorem)



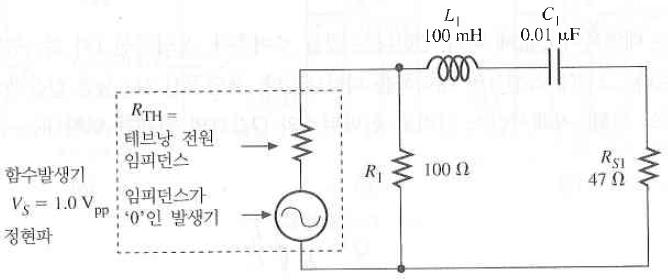
<그림 2-1>

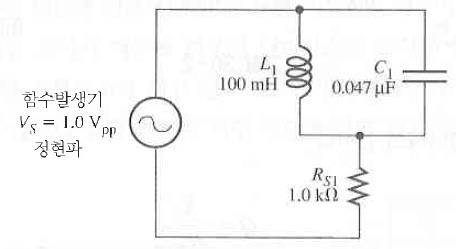
<그림 2-2>

<그림 2-1, 그림 2-2> 테브낭 정리 회로

본 실험은 테브낭의 정리를 이해하기 위한 실험으로, <그림 2-1>을 통해 전압원을 연결하지 않은 상태에서 측정한 A와 B 지점 양단의 저항과 전압원을 연결한 후 측정한 A와 B 지점 양단의 전압을 통해 등가저항과 등가전압을 구하고, 위의 <그림 b>와 같이 등가회로를 구성한 후, <그림 2-2>를 통해 가변저항 R4의 크기를 변화하면서 가변저항 R4에 걸리는 전압과 전류를 측정한다. 하지만 실제 실험에서는 위의 그림과 달리, 560 Ω의 저항 대신 510 Ω의 저항을 사용하였다는 것을 유의하자. 510 Ω의 저항을 이용하여 <그림 2-1>과 같이 회로를 구성한 후, 전압원만을 연결하지 않은 상태에서 A와 B 양단의 저항 측정하고 이후, +10 V의 전압원을 연결한 후 두 지점 사이의 전압 차를 측정한다. 이때 측정한 A와 B 양단의 저항과 전압은 위에서 언급한대로 각각 테브낭의 등가저항 RTH와 테브낭의 등가전압 VTH이다. 그 다음, <그림 2-1> 회로에 A와 B 지점을 가변저항 R4을 추가하여 연결해주어 <그림 2-2> 회로를 구성한다. 가변저항 R4는 각각 다른 값으로 세 차례 임의로 크기를 설정하며 가변저항 R4의 양단인 A와 B 지점에 걸리는 전압과 R4에 흐르는 전류를 측정한다. 측정한 값들을 <그림 b>와 같이, VTH와 RTH로 구성된 등가회로를 생각하며 계산한 각 경우에서의 저항 R4에 걸리는 전압과 흐르는 전류와 비교하며 오차를 확인한다. 마지막으로는 R4에 인가되는 전압이 테브낭 전압의 절반이 될 때의 가변저항 R4의 크기를 알아보는 실험으로, 이때 가변저항 R4의 크기가 어떠한 의미를 가지는지를 생각해본다. 이는 <그림 a>를 보며 이론적으로 예측해보자면, 부하저항 R4에 등가회로의 전압원, 즉 등가전압의 절반이 인가되었다는 것은 부하저항 R4의 값과 등가저항 RTH가 같다는 것을 의미하고, 따라서 가변저항 R4의 크기를 등가저항 RTH와 같게 설정했다고 추측할 수 있다.

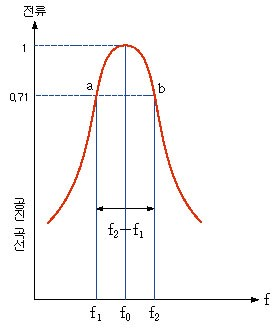
1. RLC 회로와 공진



<그림 3-1> 직렬 RLC 회로

<그림 3-2> 병렬 RLC 회로

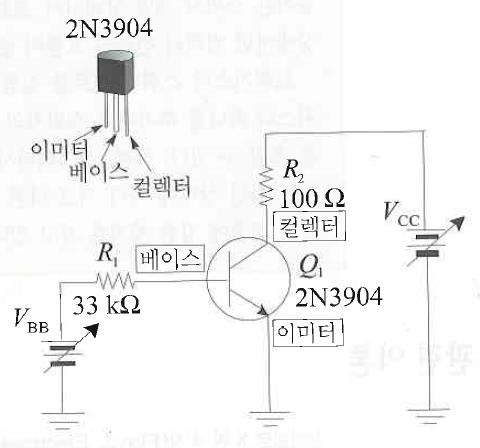
<그림 3-1>의 회로를 구성한다. 이때, 출력 저항이 50 Ω인 함수발생기를 사용하면 R1은 필요하지 않는데, 이는 함수발생기의 테브낭 전원 임피던스 RTH를 줄이고 그렇게 함으로써 회로의 총 등가 직렬 저항 값을 줄이기 위함이기 때문이다. NI ELVIS의 Bode Analyzer를 실행시켜 bode 선도를 측정한다. 입력 신호는 함수발생기의 신호를, 출력 신호는 저항 RS1 양단의 전압 신호로 설정한다. 주파수 설정을 10 Hz부터 100 kHz까지로 설정하고 per decade를 100으로 설정한다. 이를 통해, 전압 이득(Gain)이 이 되는 지점의 주파수와 위상 및 전압 이득이 최대가 되는 지점의 주파수를 측정하고, 전압 이득이 이 되는 지점의 주파수를 이용하여 대역폭 및 Q-factor를 알 수 있으며, 전압 이득이 최대가 되는 지점의 주파수가 바로 공진 주파수이다. 실험을 통해 계산된 값과 이론 값을 비교하여 보자. 아래 <그림 3-3>을 보면, 전류의 크기가 최대가 될 때의 주파수인 f0를 공진 주파수라고 하면 f1과 f2는 공진할 때 회로에 흐르는 전류의 의 배의 전류가 흐를 때의 주파수를 의미한다. 대역폭은 고역 차단 주파수와 저역 차단 주파수 사이의 주파수폭, 즉 f1과 f2사이의 주파수폭을 의미하고, Q인자는 RLC 공진 회로에서 공진의 예리함을 나타내는 값으로 보통 차원이 존재하지 않고, =이라는 식으로 구할 수 있으며 Q인자가 클수록 피크가 좁고 날카로운 곡선이 나타난다.



<그림 3-3> 공진 곡선

<그림 3-2>의 회로를 구성하고 위의 과정을 동일하게 반복한다. 이때, 접지 문제로 인해 오실로스코프의 접지 탐침(probe)이 회로를 무효화시킬 수 있으므로 출력 신호를 커패시터 양단의 전압 신호로 설정해야 한다는 점에 유의하도록 해야 한다.

1. 트랜지스터의 기초



<그림 4> BJT 특성 곡선 측정 회로

우선, <그림 4>의 회로를 구성하고 베이스 전류를 측정할 수 있도록 직렬로 전류계를 연결한다. VBB를 0 V에서 천천히 증가시키며 베이스 전류 IB가 약 50 μA 정도의 적절한 정도가 되도록 조절한다. 이때, 베이스 전류 IB는 VBB를 저항 R1 (33 kΩ)으로 나눈 값이다. 따라서, 베이스 전류 IB를 구하는 식을 써보면 (VB는 베이스에 걸린 전압의 크기)이다. 다음으로, 컬렉터 전류를 측정할 수 있도록 전류계를 연결하는데 이때는 VBB를 고정한 상태에서 VCC를 조절하면서 컬렉터와 이미터 사이의 전압 VCE를 측정한다. 이후, VCE에 따른 컬렉터 전류 IC를 측정하여 BJT의 특성 곡선을 파악할 수 있고, NI ELVIS에 있는 3-wire 프로그램을 이용하여 data sheet를 저장하면 컬렉터 전류가 log scale로 바뀌어 표의 형태로 저장되고, 이를 통해 그래프를 만들어서도 BJT의 특성 곡선을 파악할 수 있다. 베이스 전류와 마찬가지로, 컬렉터 전류 IC 역시 컬렉터와 연결된 저항 R2에 걸리는 전압 VCC를 저항 R2로 나눈 값을 의미한다. 따라서, 컬렉터 전류 IC를 구하는 식을 써보면 이다.

1. 참고문헌

- Jearl Walker, David Halliday, Robert Resnick, 일반물리학, 개정 10판, Wiley, 2015년, 제2권 pg. 320-328, 346-358, 366-372

- Ramond A. Serway, John W. Jewett, 대학물리학1, 9판, 북스힐, 2017년, pg. 377-379

- Ramond A. Serway, John W. Jewett, 대학물리학2, 9판, 북스힐, 2017년, pg. 687-689, 847-849

- Earl Gates, 전기전자공학, 1판, 북스힐, 2018년, pg. 39-40, 52-55, 74, 77-78, 83-89, 113, 143-149

- 이준신, 회로이론실험, 2판, 두양사, 2009년, pg. 19-32, 131~137

- 최윤식, 기초 회로이론, 1판, 한빛아카데미, 2014년, pg. 192-195

- 서강대학교 실험물리학1 매뉴얼 #3, #5, #8

실험물리학 2

1주차 결과 레포트

<기초 회로 및 트랜지스터의 기초>

이름: 김나현

학번: 20191286

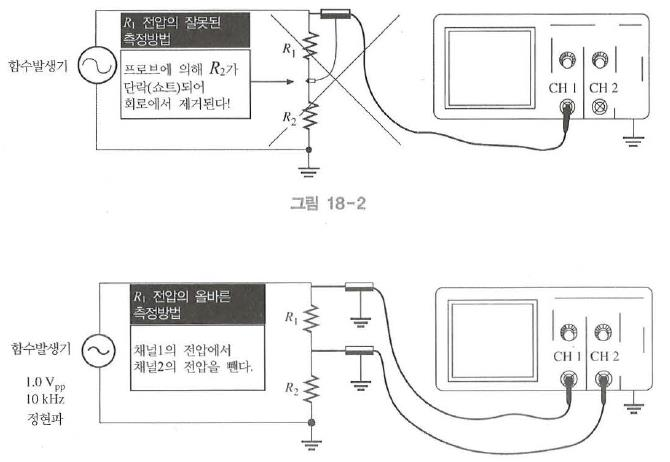
분반: 2분반

담당 교수님: 정명화 교수님

담당 조교님: 소현경 조교님

제출일자: 2020년 9월 16일 수요일

1. 실험 결과
2. 함수발생기와 오실로스코프(oscilloscope)
3. <그림 1>와 같이 함수발생기를 연결한, 즉 교류 전압원과 연결된 회로에서는 저항 R1에 걸리는 전압이 직류가 아닌 교류 신호이므로 디지털 멀티미터로는 측정할 수 없게 된다. 따라서, 오실로스코프라는 계측 기기를 이용하여 아래 <그림 1>과 같이 CH1과 CH2를 각각 저항 R1의 양단과 연결하여 각각의 지점에서의 전압 신호를 관찰하고, 오실로스코프의 빼기 기능을 통해 두 신호의 차를 구해야 한다. 본 실험은 함수발생기를 사용하여 교류 신호를 인가하고, 오실로스코프를 통해 <그림 1>과 같은 상황에서 저항에 걸리는 전압을 알아보는 실험이다.

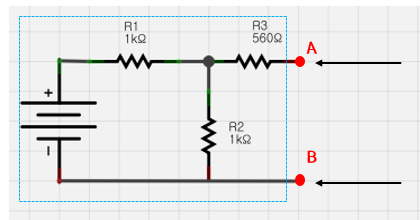


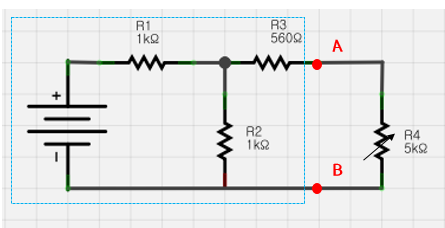
<그림 1> 오실로스코프를 이용한 신호 측정 회로

1. <표 1> 직류 전압원을 제거하고, 함수발생기와 연결한 <그림 2>의 회로에서 10 Vpp를 인가했을 때, 각 채널로 들어온 교류 신호의 첨두치와 연산을 통해 구한 신호의 첨두치의 이론, 실험값과 오차율



1. 테브낭 정리(Thevenin’s Theorem)
2. 테브낭 정리는 복잡하거나 해석이 어려운 회로를 단순하게 직류 전원(등가전압) 1개와 저항(등가저항) 1개가 직렬로 연결된 회로로 바꾸어 해석할 수 있다는 정리이다. 본 실험에서는 아래 <그림 2-1>와 같이 회로를 구성하여 테브낭 등가전압과 등가저항을 직접 측정해보고 이론적으로 계산하여 구한 값과 비교해보며, <그림 2-2>의 회로를 구성하여 가변저항 R4를 연결하여 저항 R4 값에 따라 저항 R4에 걸리는 전압과 흐르는 전류의 세기를 측정하고 이 값들을 이론적으로 계산하여 구한 값과 비교해보았다. 또한 저항 R4에 인가되는 전압이 약 2.5 V가 될 때, 가변저항 R4의 크기가 얼마인지 알아보았다.





<그림 2-1, 2-2> 테브낭 정리 회로

1. 실험 데이터

ⅰ) 본 실험에서 사용된 저항: R1= 1 kΩ, R2=1 kΩ, R3= 510 Ω

ⅱ) <표 2> 테브낭 전압과 테브낭 저항의 측정, 이론값과 오차율



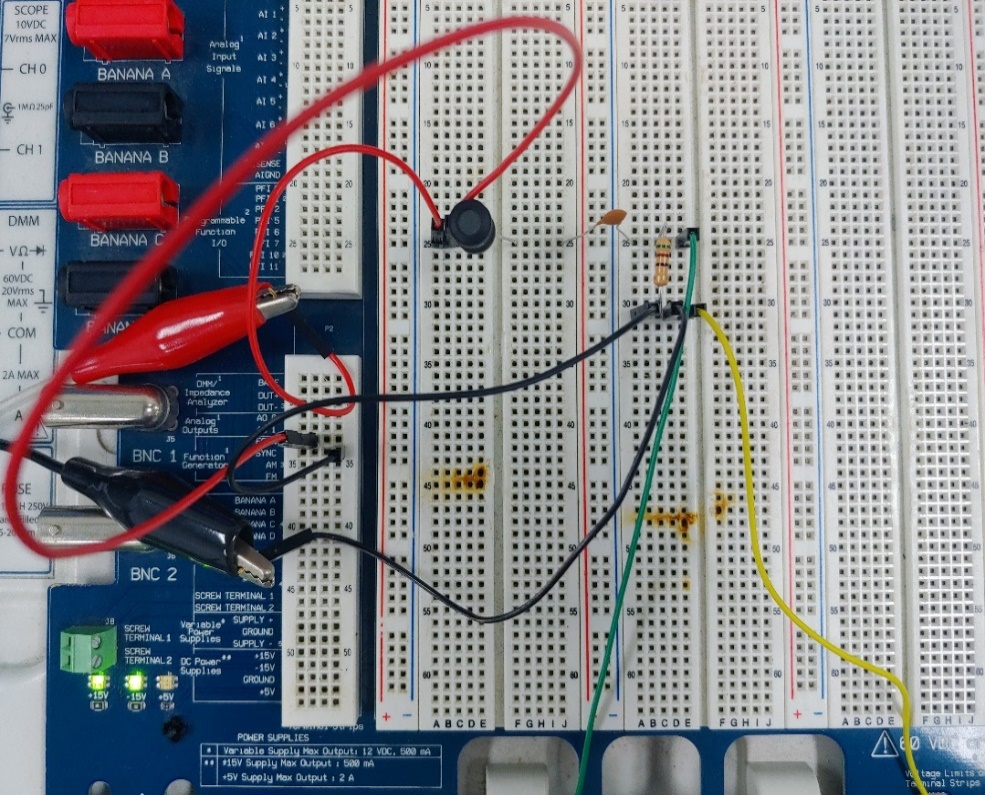
ⅲ) <표 3> R4 값에 따른 저항 R4에 인가되는 전압

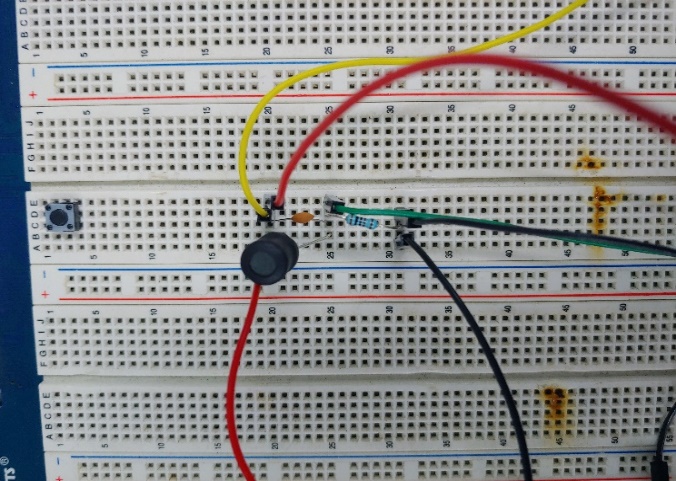


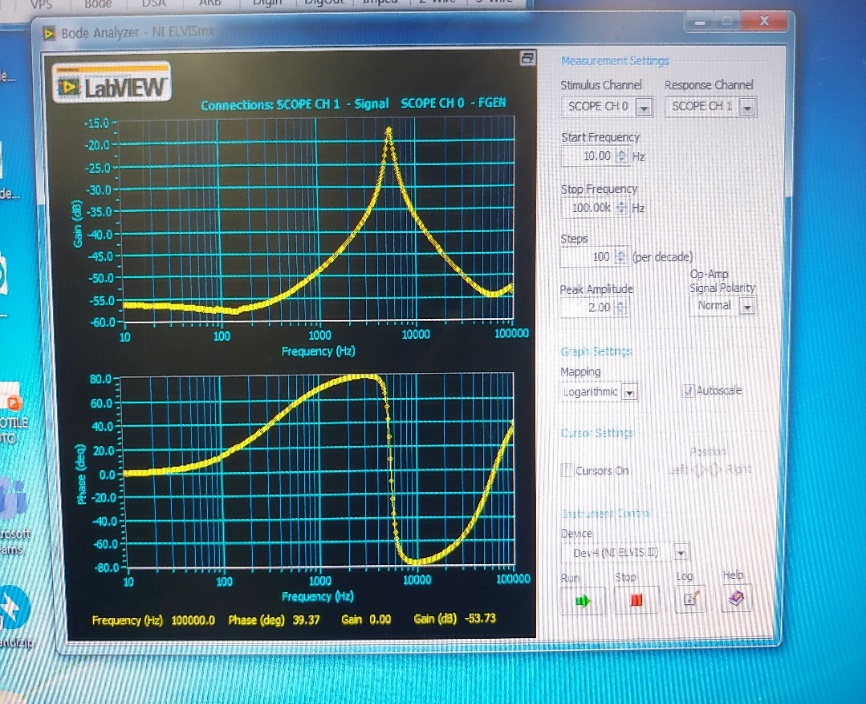
ⅳ) <표 4> R4 값에 따른 저항 R4에 흐르는 전류

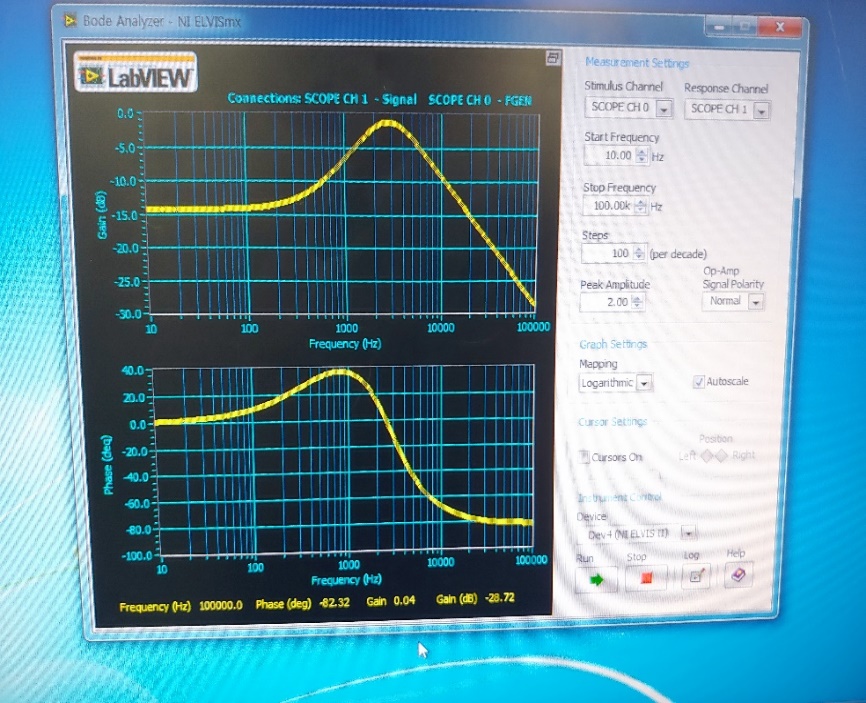
ν) 저항 R4에 테브낭 등가전압의 절반인 2.5 V의 전압이 걸릴 때, 저항 R4의 크기: 1.0127 kΩ

1. RLC 회로와 공진
2. <그림 3-1>의 직렬 RLC 회로와 <그림 3-2>의 직병렬 RLC 회로를 구성한 후, 2 V의 Amplitude로 설정한 NI ELVIS의 Bode Analyzer를 실행하여 bode 선도를 측정하고 각각의 회로에서 전압 이득(Gain)이 최대가 되는 지점에서의 주파수, 즉 공진 주파수를 측정하고 전압 이득이 이 되는 지점의 주파수 또는 전압 이득이 최대인 주파수에서 log scale로 dB만큼 감소한 부분의 주파수, 즉 차단 주파수를 찾아서 대역폭과 Q-factor을 계산할 수 있다.
3. <그림 3-1> 직렬 RLC 회로



1. <그림 3-2> 직병렬 RLC 회로
2. <그림 3-3> <그림 3-1>의 직렬 RLC 회로에서의 Bode 선도



1. <그림 3-4> <그림 3-2>의 직병렬 RLC 회로에서의 Bode 선도
2. <표 5> <그림 3-1> 직렬 RLC 회로에서의 공진 주파수와 차단 주파수



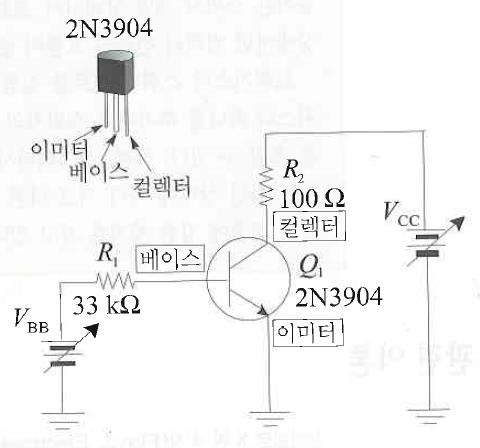
1. <표 6> <그림 3-2> 직병렬 RLC 회로에서의 공진 주파수와 차단 주파수
2. <표 7> <표 5>와 <표 6>을 통해 계산한 대역폭과 Q인자(Q-factor)



1. <표 8> 공진 주파수의 이론, 측정 값과 오차율



1. 트랜지스터의 기초
2. 본 실험은 아래 <그림 4>의 회로에서 베이스 전류의 크기를 달리하며 컬렉터 전압의 크기를 점차 증가시키면서 컬렉터에 흐르는 전류의 세기를 측정하여 나온 결과를 NI ELVIS의 3-wire라는 프로그램을 이용하여 BJT 특성 곡선을 확인해보기 위해 진행되었다. 이때, 컬렉터 전압의 크기가 VBE, 즉 약 0.7 V보다 작을 때는 VCE가 증가함에 따라 컬렉터 전류가 점진적으로 증가하는 포화 영역, 컬렉터 전압의 크기가 약 0.7 V보다 클 때는 VCE가 증가해도 컬렉터 전류가 일정한 활성 영역, 컬렉터 전압의 크기가 약 0.7 V보다 훨씬 클 때는 컬렉터 전류가 급격히 증가하는 항복 영역이므로 3-wire을 통해 얻은 BJT 특성 곡선을 통해 직접 확인할 수 있다.



<그림 4> BJT 특성 곡선 측정 회로

1. <그래프 1> BJT 특성 곡선 (IB가 약 50 μA일 때)
2. <그래프 2> 3-wire를 통해 구한 BJT 특성 곡선 (아래 선부터 IB가 15, 30, 45, 60 μA일 때)
3. 실험 분석
4. 함수발생기와 오실로스코프(oscilloscope)

<그림 1>의 회로에서 저항 R1과 저항 R2의 크기가 같을 때, 함수발생기로 10 Vpp의 전압을 인가해주면 두 저항에 걸리는 전압은 함수발생기로 인가해준 전압의 절반씩이 된다. 따라서, 이론적으로 <그림 1>의 회로에서 저항 R1에 걸리는 전압은 5 V라는 사실을 알 수 있지만 이는 교류 신호이므로 디지털 멀티미터를 이용해 구할 수 없고 오실로스코프를 이용해 저항 양단에 각각의 채널을 연결하여 각 지점에서의 신호를 빼기 기능을 이용하여 차를 구함으로써 저항에 걸리는 전압 신호를 확인할 수 있다. 오실로스코프를 이용해서 저항 R1의 양단에서 CH1에 걸리는 전압의 첨두치는 10 V이며 CH2에 걸리는 전압의 첨두치는 5.2 V임을 측정할 수 있고, 이론적으로는 저항 R1에 인가한 전압의 정확히 절반인 5 V가 걸려야 하므로 CH1를 통해 관찰한 신호의 첨두치가 10 V이면 CH2를 통해 관찰한 신호의 첨두치는 5 V이어야 하므로 두 채널에서 관찰한 신호와 이론적인 값의 오차율을 구하면 <표 1>와 같이 나타낼 수 있다.

1. 테브낭 정리

<그림 2-1>의 회로에 10 V의 직류 전압을 인가했다면 실험 (1)과 마찬가지로, 저항 R1과 저항 R2에 각각 5 V의 전압이 걸려야 한다. 이때, 저항 R3이 있는 회로는 개회로이기 때문에 테브낭 등가전압은 A와 B 지점의 전압 차, 즉 저항 R2에 인가되는 전압과 같으므로 이론적으로 5 V가 된다. 또한 테브낭 등가저항은 A와 B 지점을 기준으로 계산해야 하므로 저항 R1과 저항 R2는 병렬로 연결되어 있고 저항 R3와는 직렬로 연결되어 있다고 가정하고 계산해야 하므로 이 되고, 따라서 이론적인 테브낭 등가 저항은 1.01 kΩ이 돼서 <표 2>와 같이 나타낼 수 있다.

<그림 2-2>와 같이 <그림 2-1>의 회로에 가변저항 R4를 연결한 후, 가변저항의 크기를 1.5 kΩ, 1 kΩ, 0.5 kΩ으로 바꾸어 가며 가변저항 R4에 걸리는 전압과 흐르는 전류를 측정하면 <표 3>과 <표 4>와 같이 되는데 이때, 가변저항 R4에 걸리는 전압과 흐르는 전류를 이론적으로 계산하기 위해 위에서 구한 테브낭 등가전압과 등가저항으로 이루어진 등가회로를 구상한 후, 가변저항 R4를 직렬로 연결하여 생각하면 된다. 따라서, 옴의 법칙을 이용하여 가변저항 R4에 걸리는 전압의 크기는 이라는 식에 대입하여 계산하면 되고, 가변저항 R4에 흐르는 전류의 크기는 에 대입하여 구하면 된다. 그렇게 저항 R4에 걸리는 이론적인 전압과 흐르는 전류의 값들까지 모두 구하여 표로 나타낸 것이 <표 3>과 <표 4>이다.

마지막으로 저항 R4에 테브낭 등가전압 5 V의 절반인 2.5 V가 인가될 때의 저항 R4의 크기는 1.0127 kΩ라고 측정되었는데 이는 저항 R4의 크기가 테브낭 등가저항 RTH과 같을 상황을 의미하고, 실험적으로도 저항 R4의 크기가 테브낭 등가저항 1.01 kΩ와 매우 흡사하게 측정된 것을 확인할 수 있다.

1. RLC 회로와 공진

<그림 3-1>의 회로를 구성한 후, NI ELVIS의 Bode Analyzer를 실행시켜 bode 선도를 측정한다. 이때, 주파수 설정을 10 Hz부터 100 kHz까지로 설정하고 Amplitude는 2 V로, per decade는 100으로 설정하면 <그림 3-3>과 같이 나타난 Bode 선도를 관찰할 수 있고, 이 중 Gain-Frequency 그래프에서 Gain이 최대가 되는 지점의 주파수를 찾고 그 지점으로부터 약 3 dB 낮은 지점의 주파수를 찾으면 <표 5>와 같이 된다.

마찬가지로 <그림 3-2>의 회로를 구성한 후, 주파수 설정을 10 Hz부터 100 kHz까지로 설정하고 Amplitude는 2 V로, per decade는 100으로 설정하고 Bode Analyzer를 실행하면 <그림 3-4>와 같이 나타난 Bode 선도를 관찰할 수 있다. <그림 3-4>에서도 Gain-Frequency 그래프에서 Gain이 최대가 되는 지점의 주파수를 찾고 그 지점으로부터 약 3 dB 낮은 지점의 주파수를 찾으면 <표 6>과 같이 된다.

두 회로 모두, Bode 선도에서 Gain이 최대가 되는 지점은 전압 이득이 최대가 되는 지점으로 용량성 리액턴스와 유도성 리액턴스가 같아서 상쇄되는 시점을 의미하고, 이때의 주파수는 회로의 공진 주파수이며 이 주파수로부터 약 3 dB 낮은 지점의 주파수는 차단 주파수이다. 두 차단 주파수 사이의 간격이 대역폭이며 공진 주파수를 대역폭으로 나눈 값이 Q 인자이며 크기가 클수록 그래프가 뾰족하게 있다는 사실을 앞선 예비 레포트에서 다뤘었다. 따라서, <그림 3-1>, <그림 3-2> 회로의 대역폭과 Q인자를 각각 계산하면 직렬 RLC 회로에서는 대역폭이 약 876.56 Hz이고 공진 주파수가 약 5370 Hz이므로 Q인자는 5370을 876.56으로 나눈 약 6.13이고, 직병렬 RLC 회로에서는 대역폭이 약 4082.732 Hz이고 공진 주파수가 약 2884 Hz이므로 Q인자는 2884를 4082.732로 나눈 약 0.71이라는 사실을 알 수 있고 이를 표로 나타내면 <표 7>이 된다. <그림 3-3>과 <그림 3-4>를 육안으로 비교하여도 직렬 RLC 회로의 Gain-Frequency 그래프가 더욱 뾰족하다는 것을 알 수 있는데 직접 계산해봐도 직렬 RLC 회로의 Q인자가 직병렬 RLC 회로의 Q인자보다 크다는 사실을 통해 이를 확인할 수 있었다.

<표 8>은 직렬 RLC 회로와 직병렬 RLC 회로의 이론적인 공진 주파수를 계산해서 실험적으로 알게 된 공진 주파수와 비교하여 오차율을 정리한 표이다. 직렬 RLC 회로와 직병렬 RLC 회로 모두 공진 주파수를 구하기 위해 라는 식을 사용해야 하므로 직렬 RLC 회로에서는 L=100 mH, C=0.01 μF을 대입하여 구했고, 직병렬 RLC 회로에서는 L=100 mH, C=0.047 μF을 대입하여 구하였다. 이때, 두 경우 모두 원주율 대신 3.14를 대입하였다.

1. 트랜지스터의 기초

<그림 4>의 회로에서 VBB를 0 V에서부터 천천히 증가시켜 베이스 전류가 약 50 μA 정도가 흐르게 되면 VBB의 크기는 그대로 그 값에 고정하고 VCC의 크기를 조절하여 컬렉터와 이미터 사이의 전압 VCE를 측정한다. 이때 얻은 VCE 값에 따른 IC의 변화를 통해 BJT 특성 곡선을 <그래프 1>과 같이 만들 수 있었다. 또한 베이스 전류 IB가 각각 15, 30, 45, 60 μA일 때 VBB를 고정하고 VCC의 크기를 조절하며 컬렉터와 이미터 사이의 전압을 측정하여 한 그래프 상에 나타낸 것이 <그래프 2>이다.

우선, <그림 4>의 회로에서 베이스 전류와 컬렉터 전류에 대한 식을 유도해보겠다. 2N3904 트랜지스터를 사용하게 되면 베이스-이미터 전압은 약 0.7 V이며 저항 R1에 걸리는 전압은 라는 식과 이라는 식을 이용해 구할 수 있으므로 연립하여 베이스 전류에 대한 식 을 얻게 된다. 또한 컬렉터와 이미터 사이의 전압 VCE는 라는 식으로 구할 수 있으며 저항 R2에 걸리는 전압 또한 옴의 법칙을 이용해 라는 식으로 쓸 수 있으므로 두 식을 연립해서 컬렉터 전류에 대한 식 을 얻게 된다. 다음으로, 컬렉터와 베이스 사이의 전압 VCB는 VCB=VCE-VBE라는 식을 통해 얻을 수 있다는 것을 고려하며, BJT 특성 회로를 해석해보자.

베이스-이미터 전압은 약 0.7 V라는 것을 이미 아는 상태에서 컬렉터-이미터 전압이 0.7 V보다 작으면 VCB=VCE-VBE라는 식이 음수가 되고 컬렉터와 베이스는 순방향 바이어스가 되고, 그 사이에는 컬렉터 전류와 반대방향으로 전류가 흐르게 되는데 VCE가 증가함에 따라 컬렉터 전류와 반대방향으로 흐르는 전류의 세기가 줄어드므로 VCE가 증가함에 따라 IC가 점진적으로 증가하게 된다. 또한 컬렉터-이미터 전압이 0.7 V보다 크면 VCB=VCE-VBE라는 식이 양수가 되어 컬렉터와 베이스 사이에 역방향 바이어스가 되면 컬렉터 전류와 반대로 흐르는 전류의 흐름이 없어져서 VCE가 증가하는 것과 무관하게 일정한 컬렉터 전류를 관찰할 수 있다. 마지막으로, 컬렉터-이미터 전압이 0.7 V보다 훨씬 크면 컬렉터와 베이스 사이에 너무 높은 역방향 전압이 걸리게 되는데 이런 경우에는 VCE가 증가함에 따라 컬렉터 전류가 급격하게 증가하며 그 결과, 트랜지스터에 과도한 열이 발생하여 트랜지스터가 파괴되는 경지에 이르게 된다.

<그래프 1>과 <그래프 2>를 보면 약 0.3 V의 컬렉터 전압을 기준으로 포화 영역과 활성 영역이 나뉘는 것을 확인할 수 있는데 이는 위에서 언급한 0.7 V에 못 미치는 크기의 전압이다.

1. 토의
2. 함수발생기와 오실로스코프

함수발생기를 이용하여 10 Vpp의 구형파를 인가하였는데 저항 R1의 양단을 채널 1,2에 각각 연결해서 오실로스코프를 통해 확인한 결과, 채널 1에는 10 Vpp의 전압 신호가 관찰되었고 채널 2에는 10 Vpp의 절반인 5 Vpp의 근사값을 첨두치로 갖는 신호가 관찰된 것을 확인할 수 있었다. 이는 저항 R1과 저항 R2가 완벽히 같은 크기의 저항이 아니었거나 전압이 저항 R1 사이의 회로 등에 영향을 받았기 때문인데 오차율이 10 % 미만이므로 실험상의 큰 오류가 발생한 것은 아니라고 무시할 수 있는 정도의 오차라고 생각할 수 있었다.

1. 테브낭 정리

<표 2>를 통해, 실험적으로 측정한 테브낭 등가전압, 등가저항과 이론적인 등가전압, 등가저항이 오차율 1 % 미만을 보인다는 사실을 알 수 있었다. 또한 <표 3>과 <표 4>에서도 가변저항의 크기에 따라 달라지는 저항 R4에 걸리는 전압과 흐르는 전류의 크기가 실험적으로 측정한 값과 이론적으로 계산한 값의 오차율이 모두 5 % 미만으로 확인되었고 이는 본 실험이 이론과 매우 흡사한 결과를 도출한 실험이라는 의미로 해석할 수 있었다. 등가회로에서 부하저항에 등가전압의 크기의 절반이 걸린다는 것은 부하저항의 크기와 등가저항의 크기가 같다는 의미인데 본 실험에서도 이때의 부하저항 R4의 크기가 1.0127 kΩ으로 이론, 측정 등가 저항의 크기와 매우 흡사한 값으로 확인되었다.

1. RLC 회로와 공진

직렬 RLC 회로와 병렬 RLC 회로에서 모두 <그림 3-3>과 <그림 3-4>와 같이 Bode 선도를 확인하였는데 본 실험에서는 per decade를 100으로 설정하였기 때문에 주파수가 100배 증가할 때마다 그 사이의 100개의 주파수를 기준으로 전압 이득에 log를 취해주고 20배 해준 값을 y축으로 한 Gain-Frequency 그래프가 나타나게 되었다. 이 데이터를 기준으로 전압 이득이 최대가 되는 지점의 주파수와 그 지점으로부터 전압 이득이 약 3 dB 더 작은 두 지점을 기록한 것이 <표 5>와 <표 6>이었는데 이때 전압 이득이 최대가 되는 지점의 주파수는 공진 주파수를 의미하고 이 지점으로부터 3 dB 작은 두 지점의 주파수들은 차단 주파수를 의미하였다. 하지만 위에서 말하였듯이 모든 주파수에 대해 전압 이득을 측정한 것이 아니라 주파수가 0 H과 100 Hz 사이에서, 100 Hz와 10000 Hz 사이에서와 같이 주파수가 100배 증가할 때마다 그 사이에서 100번의 주파수를 기준으로 전압 이득을 측정한 것이기 때문에 완벽히 정확한 공진 주파수와 차단 주파수를 알 수는 없었다. 따라서, 실제 공진 주파수와 더 가까운 공진 주파수를 실험적으로 알고 싶다면 더 많은 주파수에서의 전압 이득을 측정하도록 Bode Analyzer를 설정하면 된다. 두 회로에서의 이론적인 공진 주파수와 측정 공진 주파수를 비교한 것이 <표 8>인데 직렬 RLC 회로에서의 공진 주파수의 오차율은 약 6.7 %로 작은 값을 보였고 직병렬 RLC 회로에서의 공진 주파수의 오차율은 약 24 %로 더욱 크게 나타났다. 또한 두 회로의 차단 주파수로부터 구한 대역폭과 대역폭으로부터 구한 Q-factor을 정리한 <표 7>를 보면 직렬 RLC 회로가 직병렬 RLC 회로에 비해 피크가 좁고 뾰족한 그래프가 나타난다는 것으로 해석할 수 있는데 이는 실제로 <그림 3-3>과 <그림 3-4>을 통해 사실임을 확인할 수 있었다.

1. 트랜지스터의 기초

BJT 특성 곡선을 알아보기 위한 실험에서 x축을 컬렉터-이미터 전압이 아닌 컬렉터 전압으로 설정하였는데 이는 이미터 단자를 접지시켜서 VE가 0 V이기 때문에 컬렉터 전압의 크기가 곧 VCE이므로 collector voltage를 VCE로 가정하면 되기 때문이었다. 또한 <그래프 1>과 <그래프 2>에서는 트랜지스터가 손상되는 것을 방지하기 위해 트랜지스터의 포화 영역과 활성 영역만을 관찰하였고, <그래프 1>에서는 베이스 전류가 약 50 μA일 때 BJT 특성 곡선을, <그래프 2>에서는 베이스 전류 값에 따라 달라지는 BJT 특성 곡선들을 나타내었다. <그래프 2>를 보면, 베이스 전류의 크기가 클수록 VCE가 증가해도 더 이상 커지지 않는 컬렉터 전류의 값이 증가한다는 것을 알 수 있고, 포화 영역과 활성 영역의 기준인 VCE가 약 0.3 V라는 것을 통해 이론적으로 예상했던 0.7 V과 차이를 보인다는 것을 확인할 수 있었다.

1. 참고문헌

- Jearl Walker, David Halliday, Robert Resnick, 일반물리학, 개정 10판, Wiley, 2015년, 제2권 pg. 320-328, 346-358, 366-372

- Ramond A. Serway, John W. Jewett, 대학물리학1, 9판, 북스힐, 2017년, pg. 377-379

- Ramond A. Serway, John W. Jewett, 대학물리학2, 9판, 북스힐, 2017년, pg. 687-689, 847-849

- Earl Gates, 전기전자공학, 1판, 북스힐, 2018년, pg. 39-40, 52-55, 74, 77-78, 83-89, 113, 143-149

- 이준신, 회로이론실험, 2판, 두양사, 2009년, pg. 19-32, 131~137

- 최윤식, 기초 회로이론, 1판, 한빛아카데미, 2014년, pg. 192-195

- 서강대학교 실험물리학1 매뉴얼 #3, #5, #6, #8