

## PART

# 4

## 변압기 및 정류 회로

**목적:** 변압기의 원리와 다이오드의 원리를 이해한다.

정류 회로를 이해한다.

### 4.1 변압기

### 4.2 정류 회로

### 4.3 RC 필터(저주파 필터)

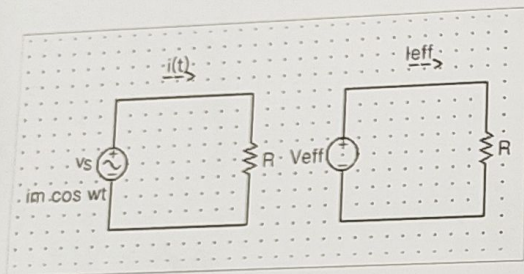


## 4.1 변압기

변압기는 인덕터의 상호유도작용을 응용한 대표적인 제품이다. 한쪽 코일에 흐르는 전류는 인접한 코일에 전류를 생성하여 흐르게 한다. 권선비에 따라 전류를 많게 혹은 적게 생성시킬 수 있다. 우리나라 가정에서 사용하고 있는 교류는 220V 60Hz의 전압이다. 미국은 110V 60Hz를 사용하고 있다. 여기서 말하는 220V나 110V는 실효값(rms)을 말한다.

일반적으로 전기 신호의 사인 파형의 특성에 따라 크게 3가지로 구분하면 최대값(peak value), 평균값, 그리고 실효값이 있다. 최대값은 파형의 최대치값을 말하고 평균값은 파형을 평균한 값을 말한다. 사인파나 코사인파의 경우에는 0을 중심으로 같은 크기로 진동하므로 전체적인 평균값은 0이다. 실제로 많이 사용하는 실효값이란 사인파의 교류가 부하에 전달하는 평균파워를 고려하여 직류처럼 전압을 계산한 값이다.

아래 그림 4.1은 교류 회로를 동등한 직류 회로로 변형한 것이다.



[그림 4.1] 실효값

각 회로에서 부하 저항  $R$ 에 한 일은 같으므로 다음과 같이 같다고 놓는다. 직류 회로에서의 파워는

$$P = I_{eff}^2 R \quad (4.1)$$

교류 회로에서의 평균파워는 다음과 같다.

$$P_{ave} = \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) R dt \quad (4.2)$$

두 식을 서로 같다고 놓으면

$$\begin{aligned} I_{eff}^2 R &= \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) R dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T (I_m^2 \cos^2 wt) R dt \end{aligned} \quad (4.3)$$

$I_{eff}$ 에 대해 풀면 실효값은 전류의 최대값  $I_m$ 을  $\sqrt{2}$ 로 나눈 것과 같게 된다.

$$\begin{aligned} I_s &= I_{eff} = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T (I_m^2 \cos^2 wt) dt \right]^{1/2} \\ &= \left[ \frac{I_m^2}{2T} \int_0^T (1 + \cos 2wt) dt \right]^{1/2} \\ &= \frac{I_m}{\sqrt{2}} \end{aligned} \quad (4.4)$$

전압  $V_s$ 도 마찬가지로이다.

$$V_s = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (4.5)$$

따라서 220V의 실효값을 만드는 사인파의 최고값은  $220\sqrt{2} = 311.13V$  정도이고 110V의 실효값을 만드는 사인파의 최대값은 155.56V가 되는 것이다. 일반적으로 전압을 강하게 하기 위해서는 변압기를 사용한다. 미국에서는 110Vrms를 사용하므로 미국에서 판매되는 가전 제품은 110Vrms를 사용하도록 되어 있다. 이때 220Vrms를 110Vrms로 강하게 하기 위해 변압기를 사용하고 있다. 변압기는 전압이나 전류의 크기를 바꾸어 주는 장치이다. 이상적인 변압기는 1차권선과 2차권선 사이의 코일의 권선비에 의해 전압강하가 일어난다.

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = a \quad (4.3)$$

여기서  $N_p$ ,  $N_s$ 는 각각 1차 2차의 코일의 감은 수를 나타내고  $V_p$ ,  $V_s$ 는 각각 1차 2차 전압을 나타낸다.  $a$ 는 권선비이다. 권선비는 일반적으로  $a:1$ 로 정해지는데 그림 4.2에서 보면 전류 및 전압이 바뀌는 것을 알 수 있다.

하지만, 대부분의 전자제품들은 3V에서 30V의 직류 전압을 사용하고 있다. 또한 이러한 직류전압은 가전제품 내부에 있는 전자소자에 파워를 공급하기 위해 필요한 전압으로 강하게 사용된다. 따라서 교류파형을 직류로 바꾸어 주는 회로가 필요하게 되는데 이 회로를 정류 회로라 한다.

### PSpice 예제 4.1 변압기의 원리

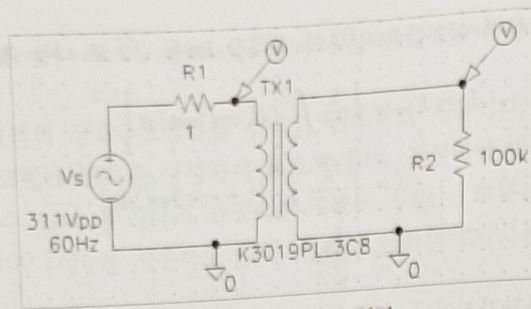
그림 4.2는 변압기 회로의 구조를 나타낸다. 권선비를 2:1로 했을 경우 2차 전압이 반으로 작아지는 것을 알 수 있다.

● PSpice 변압기 변수들

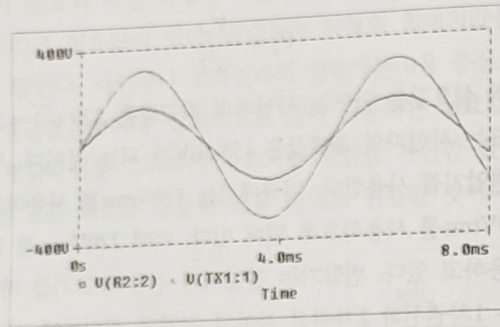
Transient, Tx1 : coupling = 0.999, L1\_TURNS = 20000, L2\_TURNS = 10000

전압원은 VOFF = 0, VAMPL = 311, FREQ = 60, PHASE = 0





[그림 4.2] 변압기의 원리



[그림 4.3] 변압기의 파형

예를 들어 권선비가 2:1이고 최고값이  $V_p = 311V$ 이면 2차 전압의 최고값은

$$V_s = \frac{V_p N_s}{N_p} = \frac{311 \cdot 1}{2} = 155.5V$$

가 된다. 그렇다면 교류전압을 직류 전압으로 바꾸려면 어떻게 해야 할까?

## 4.2 정류 회로

정류(rectification)란 교류 신호를 직류 신호로 바꾸는 것을 말한다. 예를 들어 컴퓨터에 파워를 공급하는 전원의 형태를 살펴보자. 컴퓨터 내부는 모두 반도체 소자로 구성되어 있으므로 실제로 직류전원을 사용하고 있다. 내부의 칩을 동작하기 위해 필요한 전압을 만드는 과정을 살펴보자. 먼저, 우리가정에 들어오는 교류전압을 강압한 뒤에 정류과정을 거쳐 직류로 만든 뒤에 불필요한 전압을 필터로 부드럽게 하고 다시 부하에 일정한 전압을 제공하는 소자(regulator)를 사용하여 필요한 전압으로 강하하여 사용한다.

이처럼 교류의 신호를 직류로 만들 때 사용하는 소자가 바로 한 방향으로 전류를 흐르게 하고 다른 방향으로 흐르지 못하게 하는 스위칭 특성이 있는 다이오드이다. 이러한 특성은 전자소자를 보호하기 위해 역방향으로 과도한 전류를 흐르지 못하도록 할 경우에도 유용하게 사용된다.

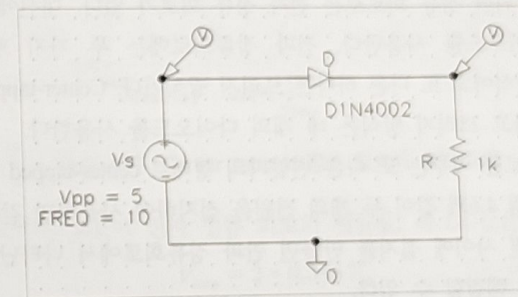
### 4.2.1 반파 정류 회로

다이오드의 순방향일 때만 전류를 흐르게 하는 특성을 이용하면 양수값에서 음수값으로 바뀌는 교류 신호를 한쪽 파형만이 출력 되도록 할 수 있다. 그림 4.4의 회로를 살펴보면 입력전압이 양수이면 다이오드가 순방향일 때만 전류가 흐르게 되므로 저항에 걸리는 파형은 입력 파형을 그대로 따르게 되고 음수이면 역방향일 때만 전류가 흐르지 않으므로 출력되는 파형이 없다. 따라서 출력 파형의 그림이 반쪽으로 되어 반파 정류 회로라 한다.

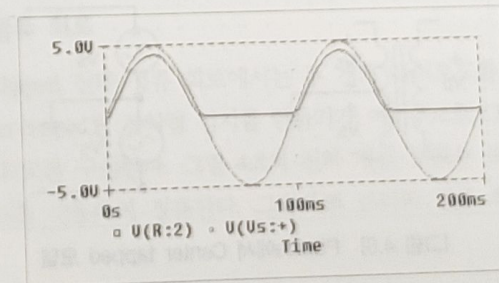
### PSpice 예제 4.2 반파 정류 회로

그림 4.4는 반파 정류 회로를 나타낸다. 입력전압이 사인파이므로 다이오드에 의해 양의 파형일 때만 부하저항으로 흐른다.

입력전원의 PSpice 모델은 DC=0, AC=5, VOFF=0, VAMPL=5, FREQ=10, TD=0, DF=0, PHASE=0이다.



[그림 4.4] 반파 정류 회로



[그림 4.5] 정류된 반파 파형

정류된 반파의 평균값을 구해보면 다음과 같다.



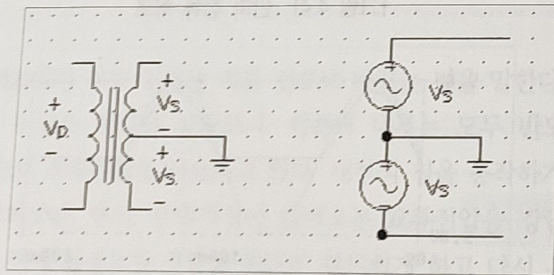
$$\begin{aligned}
 V_{avg} &= \frac{\text{면적}}{2\pi} \\
 &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi V_p \sin \theta d\theta \\
 &= \frac{V_p}{2\pi} [-\cos \theta]_0^\pi \\
 &= \frac{V_p}{\pi} \\
 &= 0.318 V_p
 \end{aligned} \quad (4.2)$$

정류 회로에서 주의해야 할 것은 다이오드가 역방향일 때 breakdown하지 않고 견뎌야 하는데 이때의 전압을 PIV(peak inverse voltage)라 한다. 그림 4.4의 반파 정류 회로의 경우에 PIV는 입력 파형의 최고전압  $V_p$ 가 되는 것이다.

#### 4.2.2 전파 정류 회로(Center tapped rectifier)

반파 정류 회로는 평균전압이 원래 파형의 31.8%로 매우 비효율적임을 알 수 있다. 평균 전압을 높이기 위한 정류 회로로는 전파 정류 회로가 있다. 대신에 전파 정류 회로는 두 개 이상의 다이오드를 사용한다. 전파 정류회로에는 두 가지 형태가 있는데 하나는 center-tapped 방식이고 또 다른 하나는 브리지 방식이다. Center-tapped 방식은 두 개의 다이오드를 사용하고 브리지 방식은 네 개의 다이오드를 사용한다.

전파 정류 회로를 이루는 또 다른 변압기의 형태로 center-tapped 형태가 있는데 PSpice에서는 다음 그림 4.6과 같이 두 개의 전원을 접지하여 사용하면 같은 출력을 얻을 수 있다. 두 개의 전원 사이에 접지를 만들면 반파 정류회로에서 나타난 반주기 형태의 출력 파형의 문제점을 해결할 수 있다.

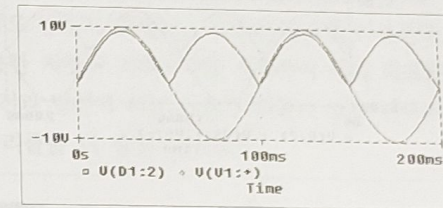
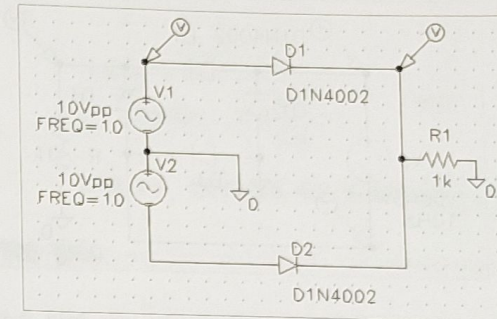


[그림 4.6] PSpice에서 Center tapped 모델

그림 4.7에서 보면 입력 파형이 양수일 때 다이오드  $D_1$ 은 순방향이 되어 입력 파형이 출력되지만 다이오드  $D_2$ 는 역방향이 되어 꺼지게 된다. 입력 파형이 음수로 바뀌게 되면  $D_1$ 은 역방향,  $D_2$ 는 순방향이 되어 출력은 입력 파형의 위상과 반대가 되므로 결과적으로 그림처럼 모두 양으로 출력된다.

#### PSpice 예제 4.3

#### Center-tapped 변압기를 사용한 전파 정류 회로



[그림 4.7] Center tapped 정류 회로와 출력 파형

따라서 그림 4.7에서 보듯이 전파 정류 회로의 평균값, 즉 DC값은 반파의 두 배가 된다.

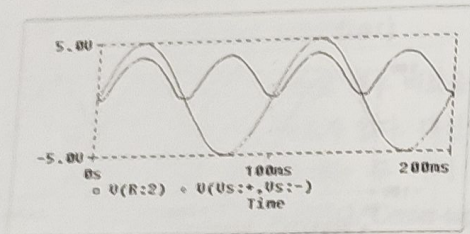
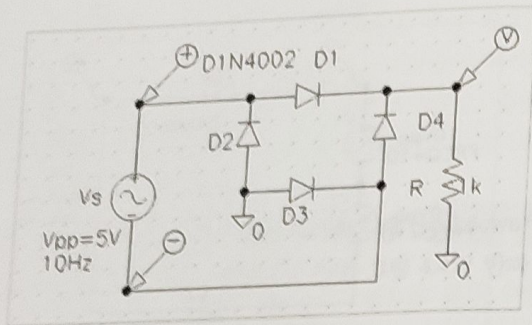
$$V_{avg} = 2 * 0.318 V_p \quad (4.3)$$

PIV는  $D_1$ 이 역방향일 경우에 1에 걸리는 전압을 계산하면  $2V_p$ 가 된다.

#### 4.2.3 브리지 정류 회로

이전의 center-tapped 전파 정류 회로에서는 두 개의 다이오드를 사용하였다. 하지만 실제 실험에서 center-tapped된 것처럼 접지를 만들기가 어려우므로 그림 4.8에서처럼 다른 형태의 전파 정류 회로를 구성한다. 그림 4.8의 전파 정류 회로는 브리지 정류 회로라 하며 네 개의 다이오드를 사용하여 정류한다. 그렇다면 브리지 정류 회로의 이점은 무엇인가?



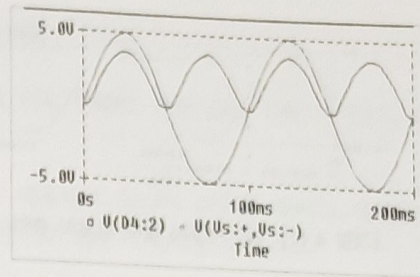
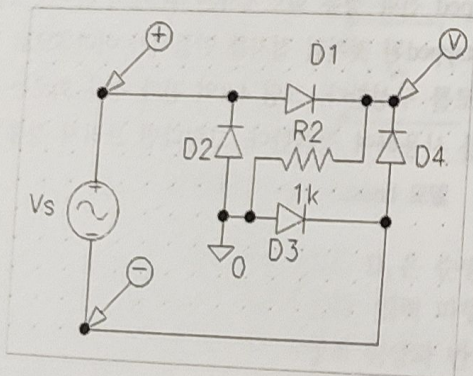


[그림 4.8] 브리지 정류 회로 및 출력 파형

브리지 전파 정류 회로의 경우 PIV는  $V_p$ 가 된다.

#### PSpice 예제 4.5 브리지 회로를 이용한 전파 정류 회로 2

입력 전원의 PSpice 모델은 DC=0, AC=5, VOFF=0, VAMPL=5, FREQ=10, TD=0, DF=0, PHASE=0이다.



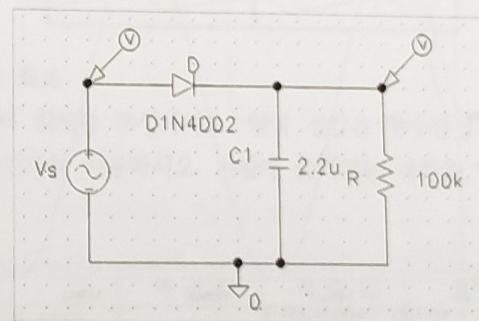
[그림 4.9] 브리지 정류 회로 및 출력 파형

#### 4.3 RC 필터 (저주파 필터)

교류를 정류하게 되면 양의 값만을 갖는 파형을 얻게 되지만 직류의 형태는 아니다. 이 정류된 파형을 직류로 만들기 위해서는 저주파 필터를 사용한다. 단순히 다이오드와 함께 충전과 방전을 이용한 저항과 커패시터를 사용하여 필터 회로를 만들 수 있다. 그림 4.11에서 보게 되면 충전과 방전에 의한 파형은 리플이 있는 직류파형이 된다. 이때 시상수를 충분히 크게 하면 리플을 더 줄일 수 있다.

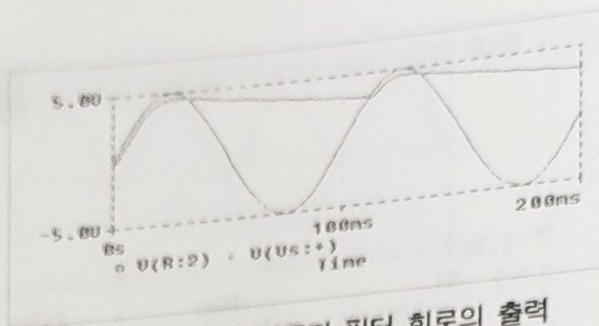
#### PSpice 예제 4.6 RC 필터 1

그림 4.10 회로에서 커패시터와 저항을 직렬로 연결하면 고주파 성분만 통과시키는 고주파 통과 필터가 된다. 그림 4.10은 반파 정류회로에 저주파 필터를 연결하여 직류로 만드는 회로를 나타낸다.



[그림 4.10] RC 필터 회로



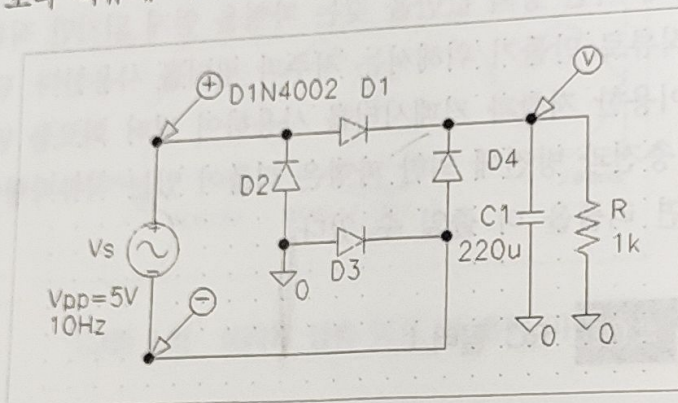


[그림 4.11] RC 저주파 필터 회로의 출력

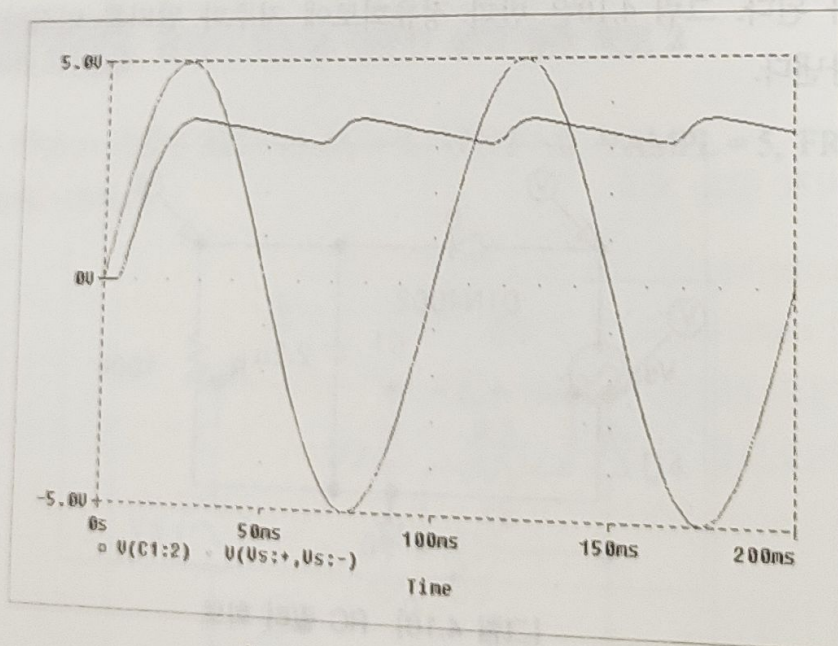
## PSpice 예제 4.7

### RC 필터 2

그림 4.12는 전파 정류 회로와 저주파 통과 필터를 함께 사용한 회로이다. 출력응답은 반파 정류일 때 보다 직류에 가까운 파형을 나타냄을 알 수 있다.



[그림 4.12] 전파 정류와 필터



[그림 4.13] 필터된 파형