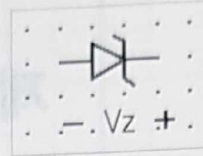


## 6.1 제너 다이오드의 특성

제너 다이오드는 몸체에 빨간색 띠가 둘러있거나 빨간색을 띠고 있어 일반 다이오드와 구별된다. 제너 다이오드의 심볼은 다음과 같다.

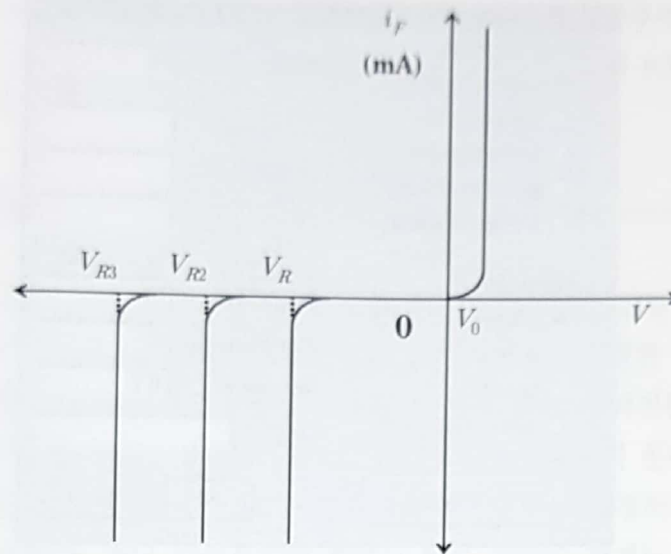


[그림 6.1] 제너 다이오드의 심볼

제너 다이오드는 다이오드의 일종으로 순방향에서는 일반 다이오드처럼 작동하지만 역방향에서는 다른 동작을 한다. 따라서 일반 다이오드는 한 방향으로만 전류가 흐를 수 있도록 순방향의 특성을 주로 사용하지만 제너 다이오드는 역방향의 특성을 주로 사용한다. 순방향에서는 일반 다이오드와 마찬가지로 작동한다. 다이오드는 역방향으로 전류가 거의 흐르지 않고 큰 전압에서는 애발랜치 항복이 발생하여 다이오드 파괴가 발생하였으나 제너 다이오드에서는 제너 항복이 발생하여 원하는 전압에서 항복이 발생한다. 그림 6.2를 보면 제너 다이오드의 특성 곡선이 나타나 있는데 전류의 값이 계속적으로 증가하더라도 일정한 전압  $V_z$ 을 나타낸다. 따라서 제너 다이오드는 전류가 증가하더라도 일정한 역방향 전압의 값을 나타내므로 전압조절기로 사용한다. 제너 다이오드는 종류에 따라 3V에서 200V까지 다양한 역방향 전압을 나타낸다.

이상적인 다이오드에 역방향을 걸어주면 전압에 상관없이 작은 양의 leakage 전류가 흐른다고 가정하였다. 하지만 실제 다이오드에 PIV(Peak Inverse Voltage)이상의 전압을 걸어주면 그림 6.2에 나타난 것처럼 역방향 전압에 의한 애발랜치 항복(avalanche breakdown)이 일어나 갑작스럽게 역방향의 전류가 흐르게 된다. 이는 다이오드를 파괴하기 충분한 전류의 값이다. 역방향 전압에 의한 다른 breakdown 현상이 나타나는데 이를 제너 항복(breakdown)이라 하며 이는 제너다이오드를 통해 나타난다. 항복이 일어나는 전압은 제너 다이오드의 종류에 따라 다르다. 애발랜치 파괴와 제너 항복과의 다른 점은 전류가 흐르게 되는 원인에 있다. 애발랜치 항복의 경우 음극에서 강한 힘에 의해 영향을 받은 전자들의 연쇄적인 충돌에 의해 생기는 전류의 흐름이고, 제너 다이오드의 경우에는 공핍층 부근에서 전기장에 노출되어 있는 발렌스 밴드 전자들이 터널 효과에 이동하므로 전류가 흐르게 되는 것이다. 제너 다이오드의 순방향 전압은 일반 다이오드와 같다.

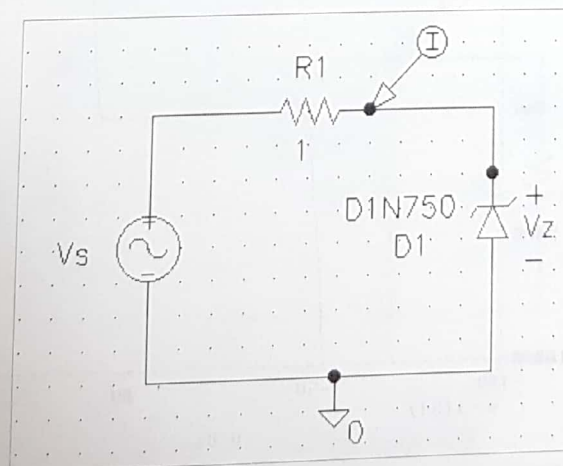
다음 그림 6-2에서  $V_{R1}$ ,  $V_{R2}$ ,  $V_{R3}$  등은 다양한 종류의 제너 다이오드의 항복전압을 나타낸다.



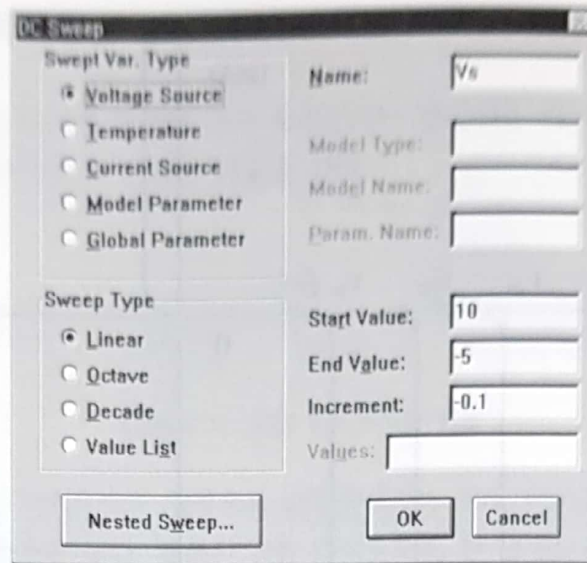
[그림 6.2] 제너 항복

### PSpice 예제 6.1 제너 다이오드 응답 특성 곡선

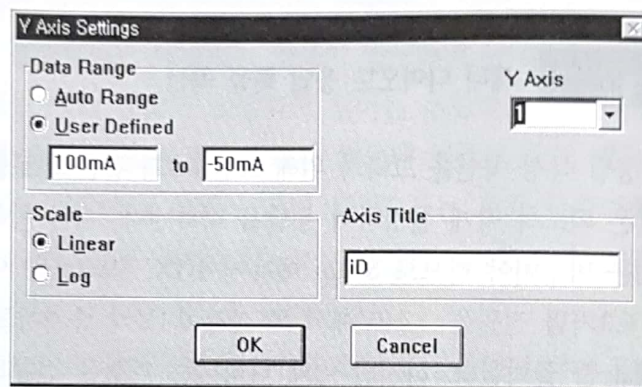
제너 다이오드 응답 특성 곡선을 그리기 위해 그림 6.3과 같은 회로를 설계한다. 회로 구성 시에 저항의 값은 되도록 작게 설정하여 응답을 나타낸다. 제너 항복 전압을 보기 위해서는 전압의 범위를 바꾸어야 하므로 Setup 메뉴에서 DC Sweep을 사용한다. DC Sweep을 클릭하여 그림 6.3처럼 전원을 -10V에서 5V까지 0.1V씩 증가하도록 선택하고 Analysis 메뉴에서 Simulate를 클릭한다. 하지만 이때 나타나는 파형은 전류의 값을 음수로 나타낸 파형이라 파형이 거꾸로 나타나므로 Probe 창의 Plot 메뉴에서 Y Axis settings을 통해 아래와 같이 영역을 다시 설정하면 그림 6.6과 같은 출력을 얻게 된다.



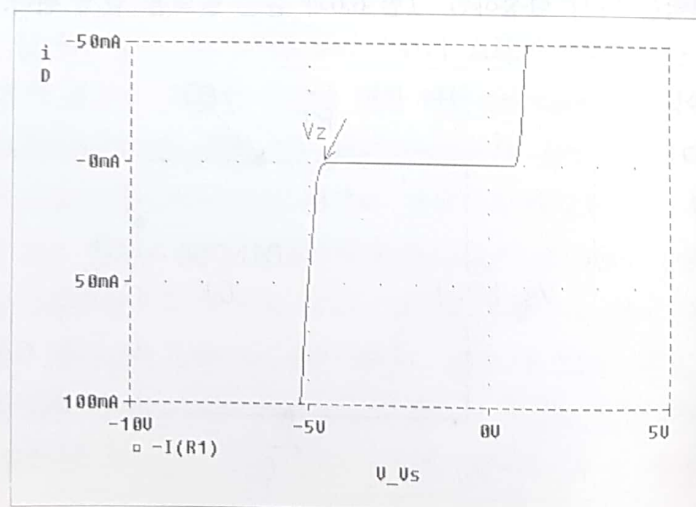
[그림 6.3] 제너 다이오드 회로



[그림 6.4] DC Sweep 창



[그림 6.5] Y axis 창



[그림 6.6] 제너 다이오드 특성 곡선



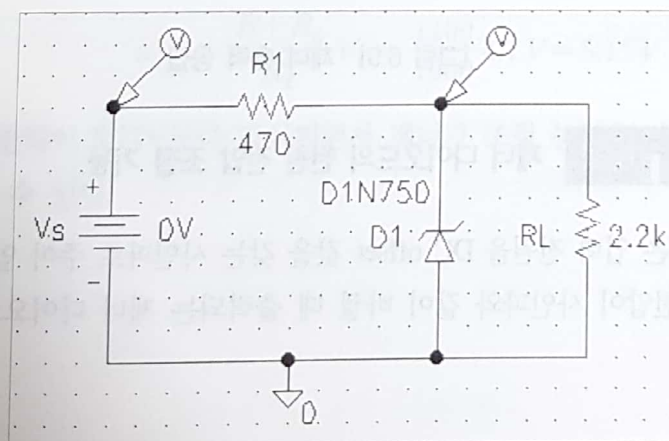
그림 6.6에서 보면 0V에서 4.7V까지 전류가 흐르지 않고 4.7V이후에는 전류가 계속 증가하지만 전압은 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있다. 따라서 그림 6.3에서 사용된 제너 항복 전압은 4.7V이다.

## 6.2 전원 전압조절기

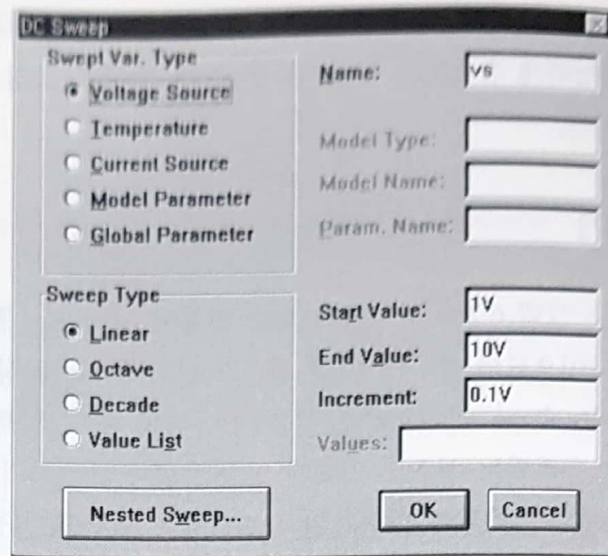
제너 다이오드는 그림 6.2에 나타난 것처럼 항복이 일어나는 전압이 각각 다르다. 이러한 특성은 제너 다이오드의 종류에 따라 전류가 변하더라도 일정한 전압값을 유지하도록 만드는 전압조절기(voltage regulator)로 사용된다. 예를 들어, 입력전원이 안정하지 못하고 값이 계속 바뀌면 출력되는 신호도 입력에 영향을 받아 안정하지 못하게 된다. 이러한 경우를 입력 조절 회로라 하는데 입력전원의 변화에도 출력을 일정하도록 하는 것이 제너 다이오드이다. 다양한 제너 다이오드의 종류는 항복 전압이 작게는 수 볼트에서 크게는 몇 백 볼트까지 있다.

### PSpice 예제 6.2 제너 다이오드 전압 조절 기능

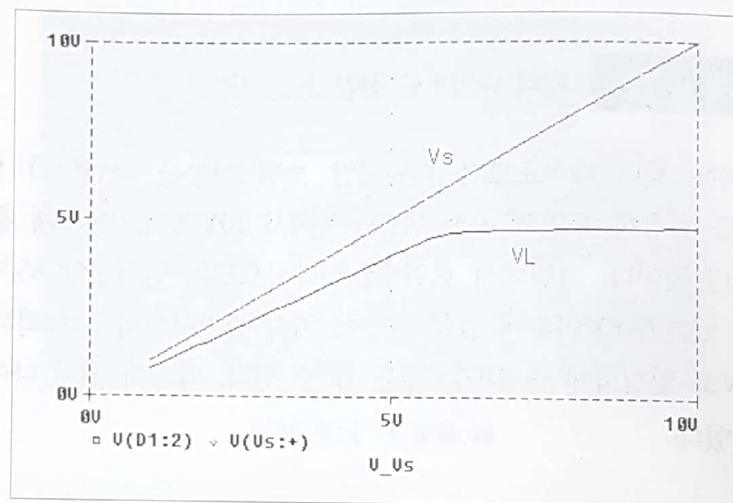
그림 6.7에서는 제너 다이오드의 전원전압 조절 기능을 확인하기 위해서 Setup의 DC Sweep 기능을 사용하여 입력 전압  $V_s$ 가 1V에서 10V까지 변할 때 출력되어져서 나오는 전압을 나타낸 것이다. 그림에서 보면 제너 다이오드는 입력전압  $V_s$ 가 6V이하에서는 작동하지 않고 있다가 6V이후에 전원 전압이 계속 증가하더라도 출력되어져서 나오는 전압은 약 4.7V로 일정하게 출력하는 것을 알 수 있다. 따라서 제너 다이오드의  $V_z = 4.7V$ 임을 알 수 있다.



[그림 6.7] 제너 전압 조절 회로



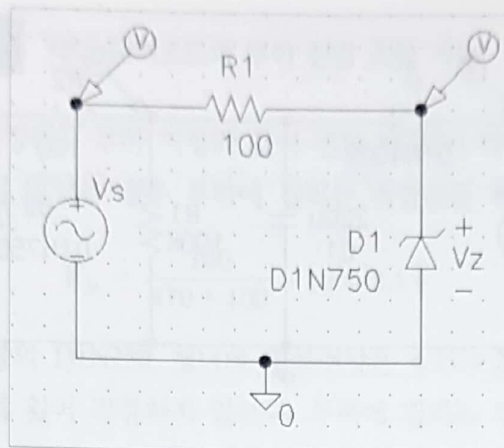
[그림 6.8] DC Sweep



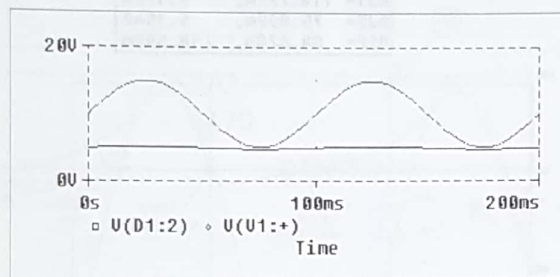
[그림 6.9] 제너 출력 응답

### PSpice 예제 6.3 제너 다이오드의 전원 전압 조절 기능

다음 그림 6.10은 입력 전원을 DC offset 값을 갖는 사인파로 주어 입력전원의 등락을 나타내었다. 입력 전압이 사인파와 같이 바뀔 때 출력되는 제너 다이오드의 파형을 살펴보자.



[그림 6.10] 제너 다이오드의 입력 전압 조절



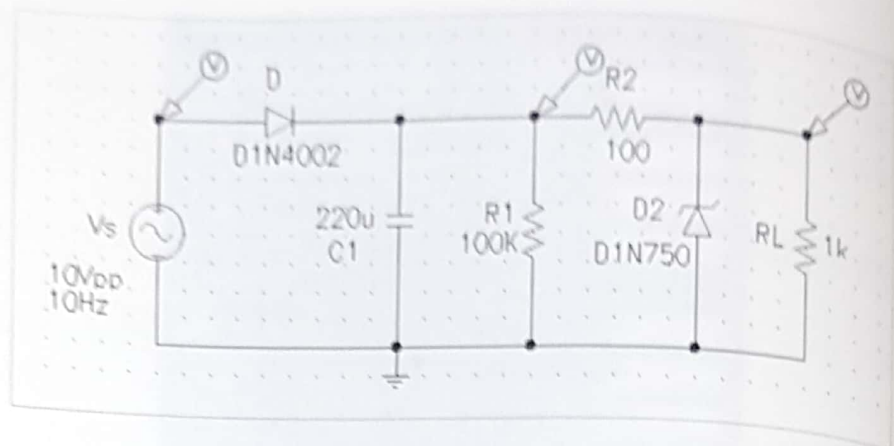
[그림 6.11] 제너 다이오드의 전압원 조절 파형

#### PSpice 예제 6.4 정류된 전원 전압 조절 기능

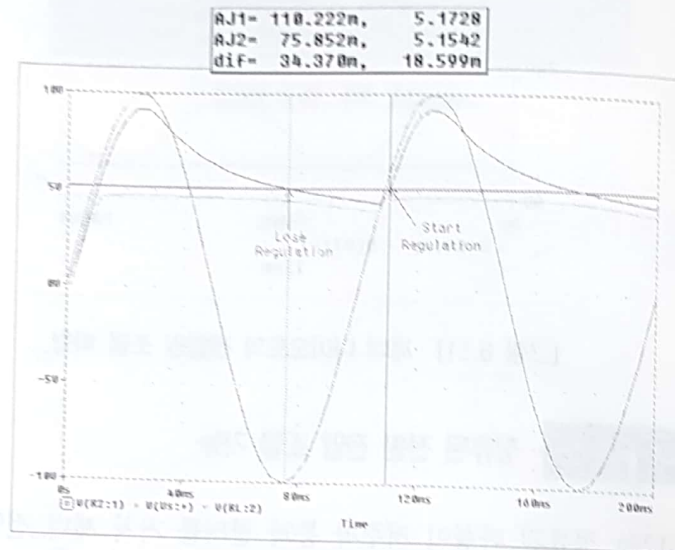
다음 그림 6.12는 정류된 파형이 저주파 통과 필터를 거쳐 제너 전압 조절기를 통과했을 때의 파형을 나타낸다. 제너 전압은 4.7V이므로 제너가 작동하기 위한 최소의 입력 전압은

$$v_{s_{\min}} = \frac{R + R_L}{R_L} V_z = \frac{1100}{1000} 4.7 \text{ V} = 5.17 \text{ V}$$

따라서 필터된 전압이 5.17V보다 작아지면서 제너가 조절 능력을 상실하게 되는 것을 그림 6.13에서 볼 수 있다.



[그림 6.12] 정류된 파형의 전압 조절



[그림 6.13] 전압 조절 파형

### 6.3 부하 전압 조절기

또한 제너 다이오드는 부하에 전류가 많이 소비되어 흐를 지라도 일정한 전압을 유지시켜주는 회로에 필요하다. 이를 부하 조절 회로라 한다.

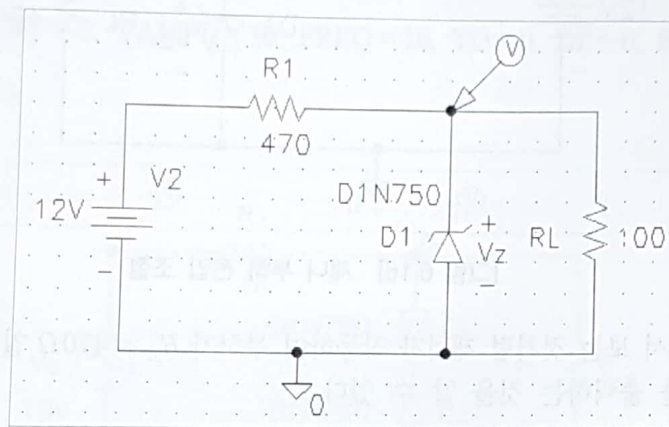


## PSpice 예제 6.5 제너 다이오드의 부하 전압 조절 기능

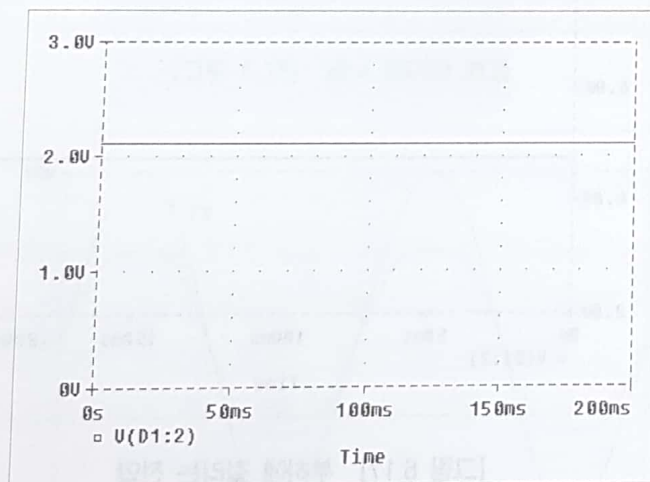
입력전압이 12V로 일정하고 부하 저항의 값이 변할 때 제너 다이오드의 성능을 살펴보자. 먼저 제너가 작동하지 않았을 경우 부하에 걸리는 전압값을 계산하면 다음과 같다.

$$V_{R_L} = \frac{100}{470 + 100} \cdot 12 = 2.1 \text{ V}$$

그림 6.14에서 역방향의 D1N750 제너의 항복전압은  $4.7\text{V} > 2.1\text{V}$ 이므로 다음 회로에서 제너 다이오드는 꺼져 있어 작동하지 않는다. 부하에 걸리는 전압은 그림 6.15에 나타난 것처럼 2.1V가 된다.



[그림 6.14] 제너 다이오드의 부하 조절



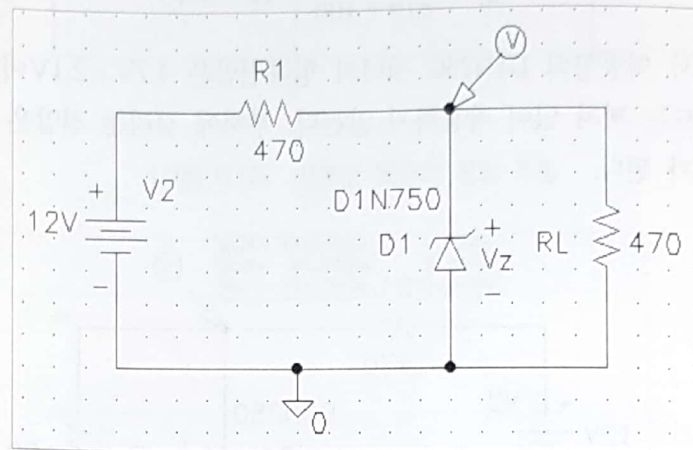
[그림 6.15] 부하 조절된 출력

만약 부하 저항의 값이  $R_L = 470\Omega$ 로 바뀌었을 경우 제너 동작 여부를 조사해 보자. 제너가 동작하지 않을 경우 부하에 걸리는 전압을 계산하면



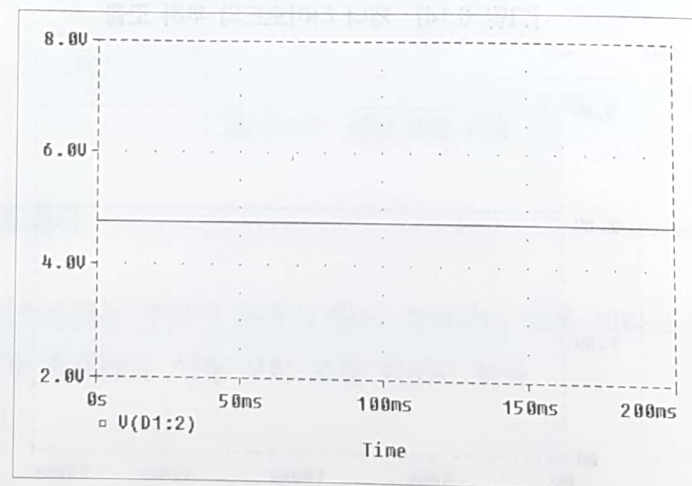
$$\frac{470}{470 + 470} \cdot 12 = 6V$$

역방향의 제너 항복전압은  $4.7V < 6V$ 이므로 제너는 동작한다. 따라서 부하저항에 걸리는 전압은 원래 전압분배법칙에 의해  $6V$ 가 되어야 하지만 제너 항복으로 인해  $4.7V$ 가 됨을 그림 6.17에서 볼 수 있다.



[그림 6.16] 제너 부하 전압 조절

그림 6.17에서 보는 것처럼 제너가 작동하여 부하가  $R_L = 470\Omega$  일 때  $6V$ 가 아닌 일정한 전압인  $4.7V$ 를 출력하는 것을 알 수 있다.



[그림 6.17] 부하에 걸리는 전압

## 6.4 제너 리미터 회로

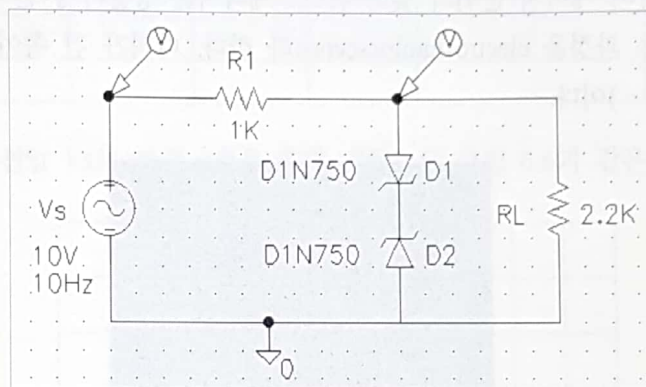
제너 다이오드를 사용하여 리미터 회로를 만들 수 있다. 다음 회로를 고려하여 보자.

## PSpice 예제 6.6 제너 다이오드의 출력 제한 기능

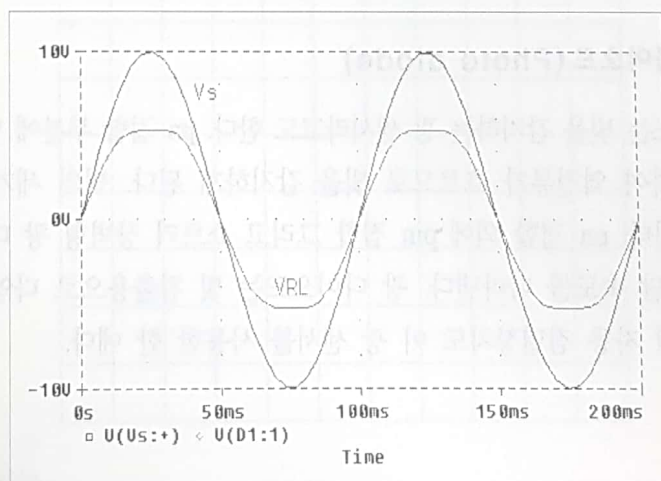
그림 6.18의 회로는 리미터 회로이다. 제너 다이오드가 반대로 연결되어 있어 입력전압이 양의 전압일 경우에는  $D_1$ 은 순방향  $D_2$ 는 역방향이 되어 출력되는 전압의 크기는  $0.7 + 4.7 = 5.4V$ 가 된다. 입력이 음의 전압일 경우에는  $D_1$ 은 역방향  $D_2$ 는 순방향이 되어  $-0.7 - 4.7 = -5.4V$ 가 된다. PSpice에서 입력 전압  $V_s$ 의 변수들은

VOFF=0, VAMPL=10, FREQ=10, TD=0, DF=0, PHASE=0

으로 설정하였다.



[그림 6.18] 제너 리미터 회로



[그림 6.19] 제너 다이오드로 제한된 출력

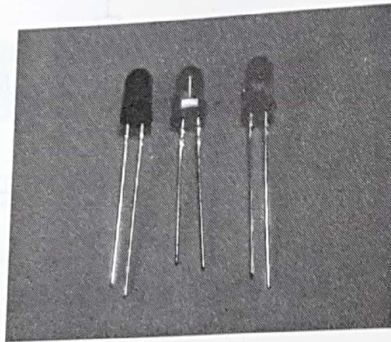
## 6.5 그 밖의 다이오드

### 6.5.1 쇼트키 다이오드 (Schottky diode)

금속과 n형 반도체와 결합하여 pn 접합 다이오드처럼 작동한다. 금속은 자유전자가 많고 n형 반도체도 대수 캐리어가 전자이므로 전자에 의해서만 전류가 흐르게 되어 unipolar 소자의 대표적인 예이다. 순방향 전압은 0.3V에서 0.5V이며 고주파에서 빠른 스위칭을 필요로 한 초고주파수신기 등에 사용된다.

### 6.5.2 발광 다이오드 (LED)

발광 다이오드는 (Light Emitting Diode) 다이오드의 일종으로 전류가 통하는 순방향일 때 불이 들어오는 다이오드로 디지털 회로에서 많이 사용된다. 순방향을 다이오드에 걸어 주면 공핍층에서 자유전자와 발렌스 밴드의 정공과 재결합(recombination)이 일어나는데 이때 자유전자의 에너지 준위가 낮아지므로 에너지를 방출하게 된다. 이처럼 전기적으로 빛을 발광하는 과정을 electro-luminescence라 한다. 다리가 긴 쪽이 anode(+)이고 짧은 쪽이 cathode(-)이다.



### 6.5.3 광 다이오드 (Photo diode)

광 다이오드는 빛을 감지하는 광 센서라고도 한다. pn 접합 부분에 빛을 조사하면 전자와 정공이 발생하여 역전류가 흐르므로 빛을 감지하게 된다. 빛의 세기에 따라 출력전압의 크기가 달라진다. pn 접합 외에 pin 접합 그리고 쇼트키 장벽형 광 다이오드 등이 있는데 이는 빠른 응답 속도를 나타낸다. 광 다이오드는 빛 검출용으로 다양한 부분에 사용되고 있고 아파트의 자동 점멸장치도 이 광 센서를 사용한 한 예다.



## 실험 8 제너 다이오드 실험

### 1. PSpice 예제

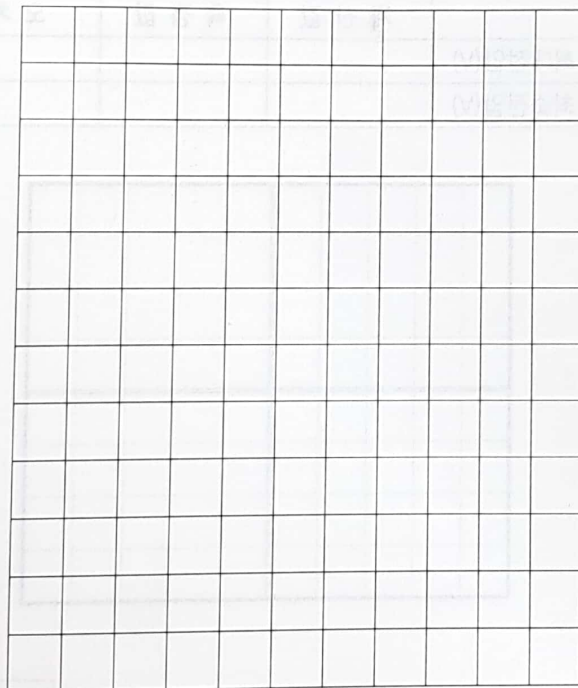
- ① 그림 6.7에서 부하저항  $R_L$  을 가변 저항으로 바꾸고 부하에 걸리는 전압이 일정 하게 되는 부하저항 값을 구하고 그 때의 출력 파형을 그리시오.
- ② 그림 6.12의 정류된 파형의 전압조절에서 저항  $R_L = 0.5K\Omega$  으로 바꾸고 파형을 출력 하시오. 계산한 값과 일치하는지 확인하시오.
- ③ 그림 6.18의 리미터 회로에서 부하 저항을  $1K\Omega$ 로 바꾸고 출력 파형을 그리시오.

### 2. 제너 다이오드 항복 전압 측정

그림 6.3의 회로를 구성하시오. 입력 전압값을 2V에서 10V까지 서서히 증가시키면서 전압과 전류의 값을 측정하시오. 출력 전압이 일정하게 되는 입력 전압값은 얼마인가?

	$V_s=2V$	$V_s=3V$	$V_s=5V$	$V_s=6V$	$V_s=7V$	$V_s=8V$	$V_s=9V$	$V_s=10V$
전 압(V)								
전류(mA)								

x축을 전원 전압  $V_s$ 로 하고 y축을 출력 전압으로 그림 6.6과 같은 그래프를 그리시오.



### 3. 부하 조절 기능

그림 6.7의 회로를 구성하고 부하 저항  $R_L$ 의 값을 아래와 같이 바꾸었을 때 부하에 걸

리는 출력 전압을 구하시오 가변 저항을 사용하시오 제너 다이오드가 작동하는 부하의 영역은 무엇인가?

	R=100	R=200	R=500	R=800	R=1K	R=2K
전 압(V)						
전류(mA)						


#### 4. 제너 리미터 회로

그림 6.18의 리미터 회로를 구성하고 출력되는 파형을 그리시오.

	계 산 값	측 정 값	오 차
최대전압(V)			
최소전압(V)			


날 짜	
검 인	

**Project 1** DC adapter 회로 설계

일반 가정에 들어오는 전압은 220Vrms이다. 하지만 IC로 구성되어 있는 대부분의 전자 제품은 DC 전압을 전원으로 사용하므로 15V DC로 만들기 위해서는 어댑터가 필요하다. 이 어댑터를 만들기 위해 필요한 회로를 구성하고 설계하여 보자. 먼저 필요한 회로가 무엇일까?

- ① 변압기
- ② 전파 정류 회로
- ③ 필터
- ④ 조절기

**주 의**

Power가 큰 신호를 정류하기 위해서는 마찬가지로 Power 소자를 사용해야 한다. 용량이 큰 Power Diode(예: LT321 4A), Power Resister(10W용)를 사용해야 회로를 구성할 수 있다. 변압기는 사용으로는 24V용으로 HT-801이 있다.