



단상 다이오드 정류기 기본 이론

Presented by Byoung-Kuk Lee, Ph.D.

Energy Mechatronics Lab.

College of Information and Communication Eng.

Sungkyunkwan University

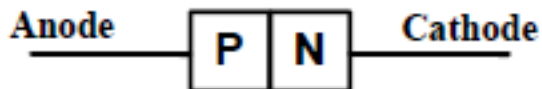
<http://seml.skku.ac.kr>



기본 개념

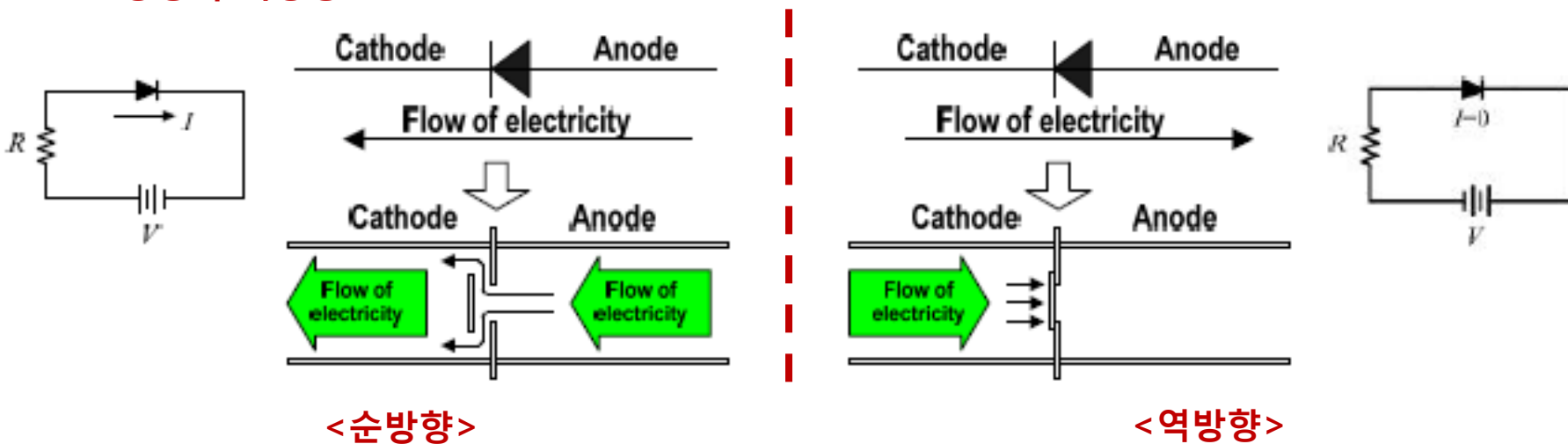
다이오드

❖ 정류효과



- ✓ 순방향(Anode(+))에서 Cathode(-))으로만 전류가 흐름
- ✓ 역방향은 거의 전류가 흐르지 않는 기능(교류를 직류로 변환하는 효과)

❖ 순방향과 역방향

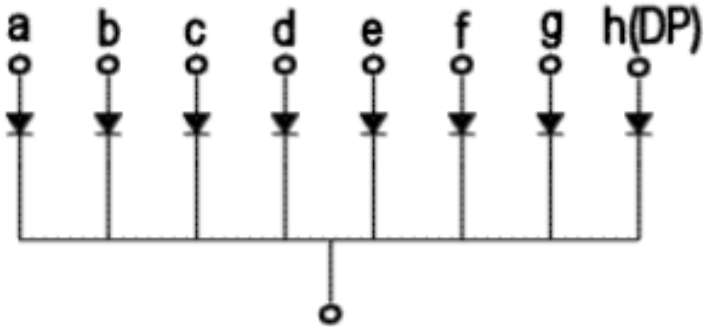




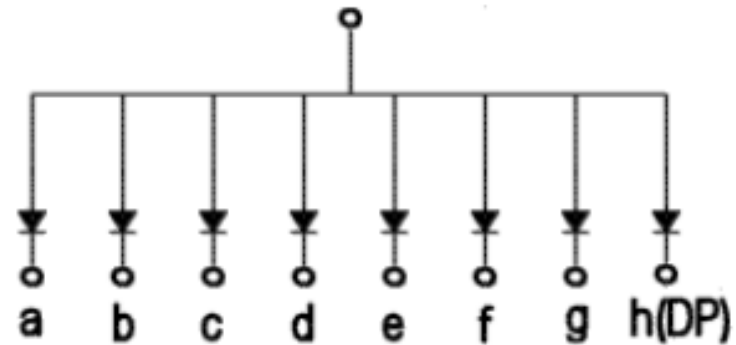
다이오드

❖ 다이오드 구성방식

Ex) FND(Flexible Numeric Display) 혹은 7-Segment



<Common Cathode>



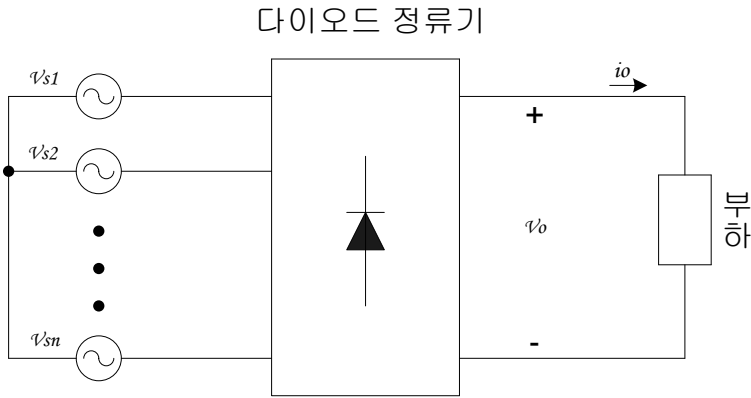
<Common Anode>

- ✓ Common Cathode : Anode에 가장 높은 전압이 걸리는 다이오드 도통
- ✓ Common Anode : Cathode에 가장 전압이 걸리는 다이오드 도통

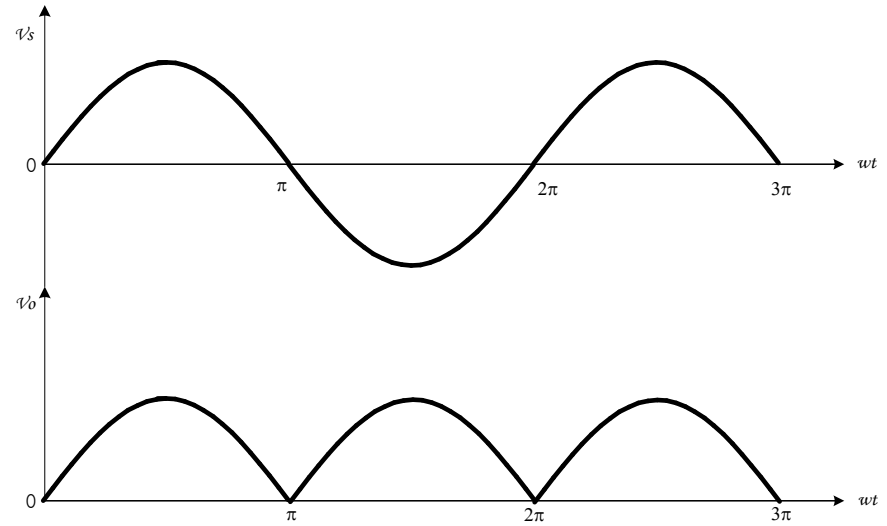
⇒ 전위차가 가장 큰 다이오드가 도통



다이오드 정류기



(a) n상 다이오드 정류기



(b) 단상 전파형 다이오드 정류기 입출력 전압파형

그림 3-1 다이오드 정류기 개념도

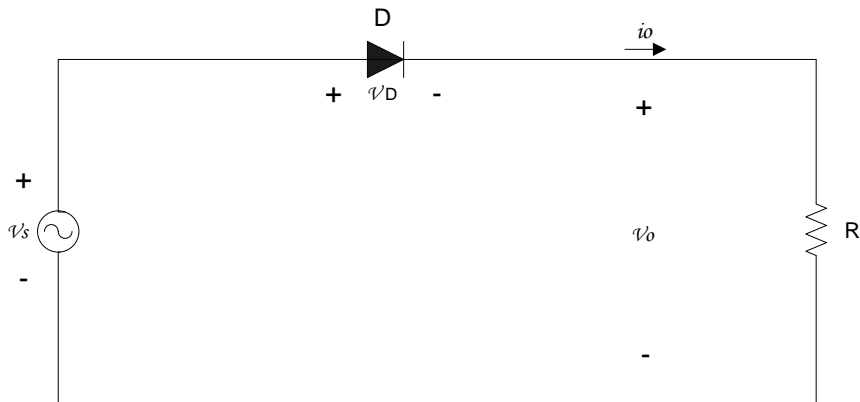
❖ 정류기란? AC(교류) → DC(직류)

$$v_o = |v_s|$$



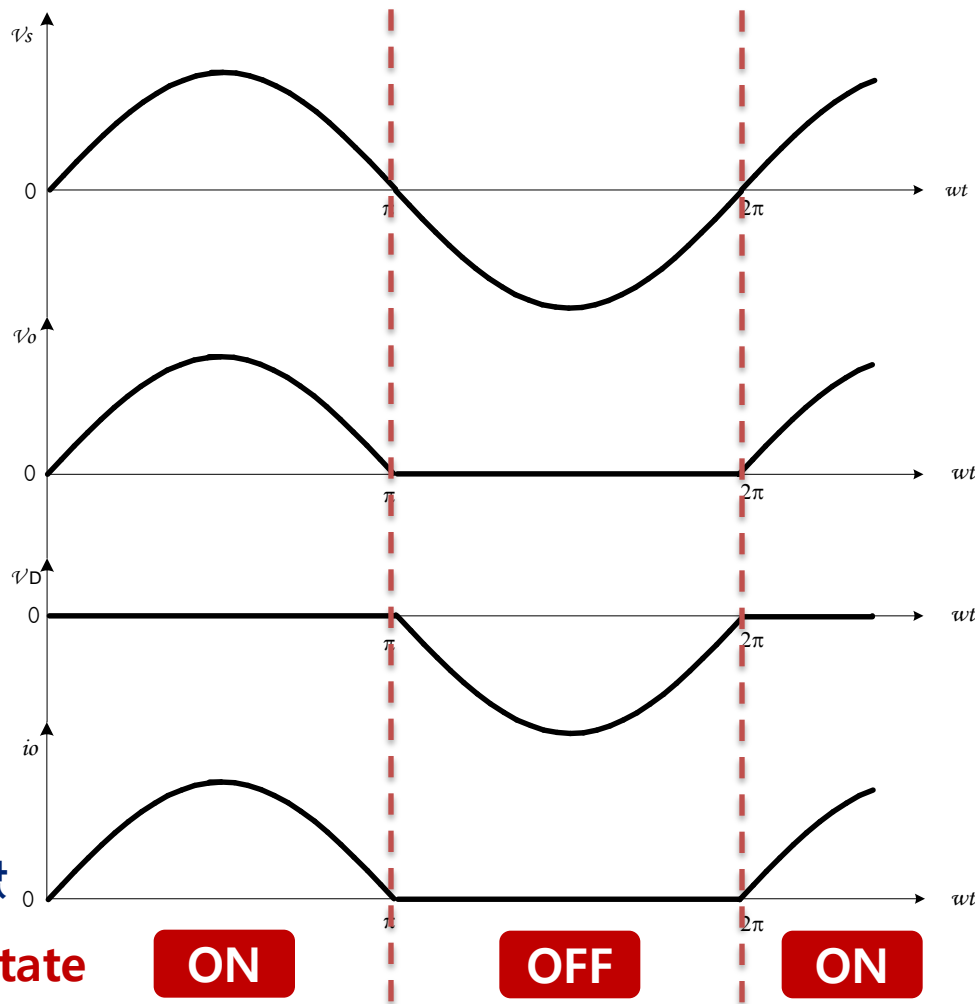
단상 다이오드 정류회로 : 저항부하

반파 정류회로



(a) 회로

- ❖ Blocking Voltage?
SW에 걸리는 역방향 전압의 최대치
- ❖ Diode Off시 Diode에 입력전압이 걸림
- ❖ Blocking Voltage 절대값 > 입력전압 절대값



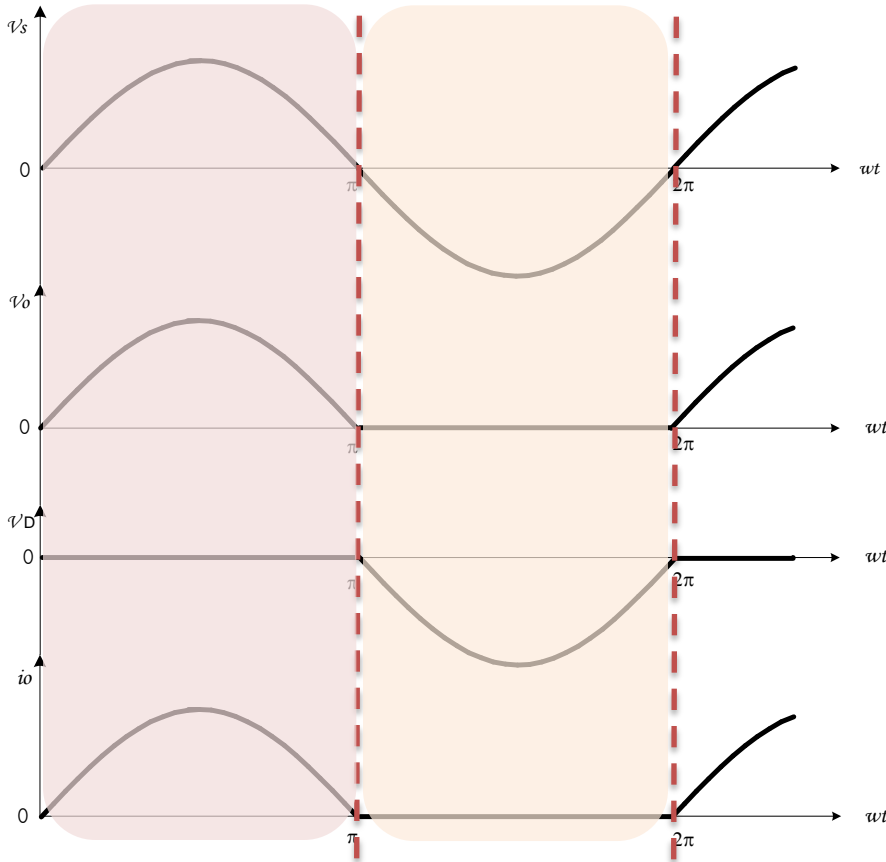
(b) 파형

그림 3-2 단상 반파 정류회로



단상 다이오드 정류회로 : 저항부하

반파 정류회로



(b) 파 형

그림 3-2 단상 반파 정류회로

< 양의 반주기 >

Diode On시

i) $0 \leq \omega t < \pi$

$$v_o = v_s = \sqrt{2}V \sin \omega t$$

$$i_o = \frac{v_s}{R} = \frac{\sqrt{2}V \sin \omega t}{R}$$

< 음의 반주기 >

Diode Off시

ii) $\pi \leq \omega t < 2\pi$

$$v_o = 0, \quad i_o = 0$$

$$v_D = v_s$$



다이오드 정격전압, 정격전류, 권선굵기

❖ 다이오드 정격전압

V_S 피크 값의 2~3배 이상 ($\because V_D = V_S$)

❖ 다이오드 정격전류 : 평균전류

$$\langle i_o \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_o d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{\sqrt{2}V \sin \omega t}{R} d(\omega t) = \frac{\sqrt{2}V}{\pi R}$$

❖ 전선의 굵기 : 실효전류

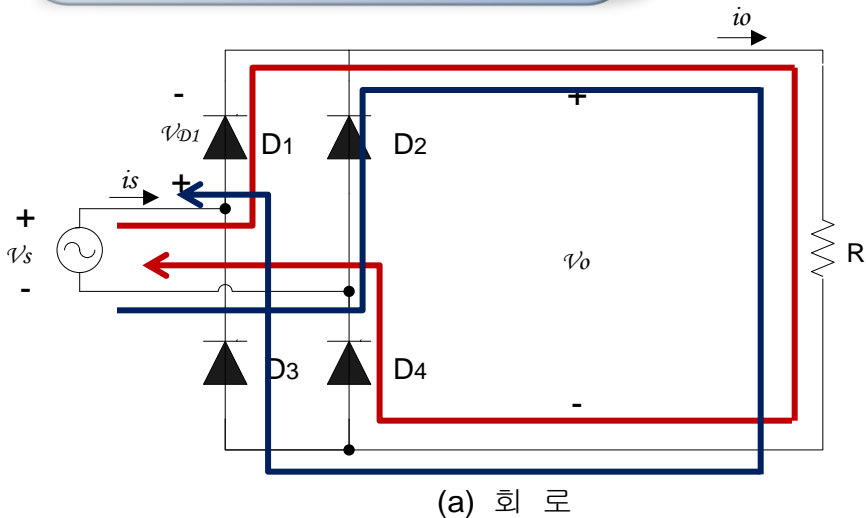
$$I_o = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_o^2 d(\omega t)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \left(\frac{\sqrt{2}V \sin \omega t}{R} \right)^2 d(\omega t)} = \frac{\sqrt{2}V}{2R}$$

$$I_o = \frac{\pi}{2} \langle i_o \rangle$$

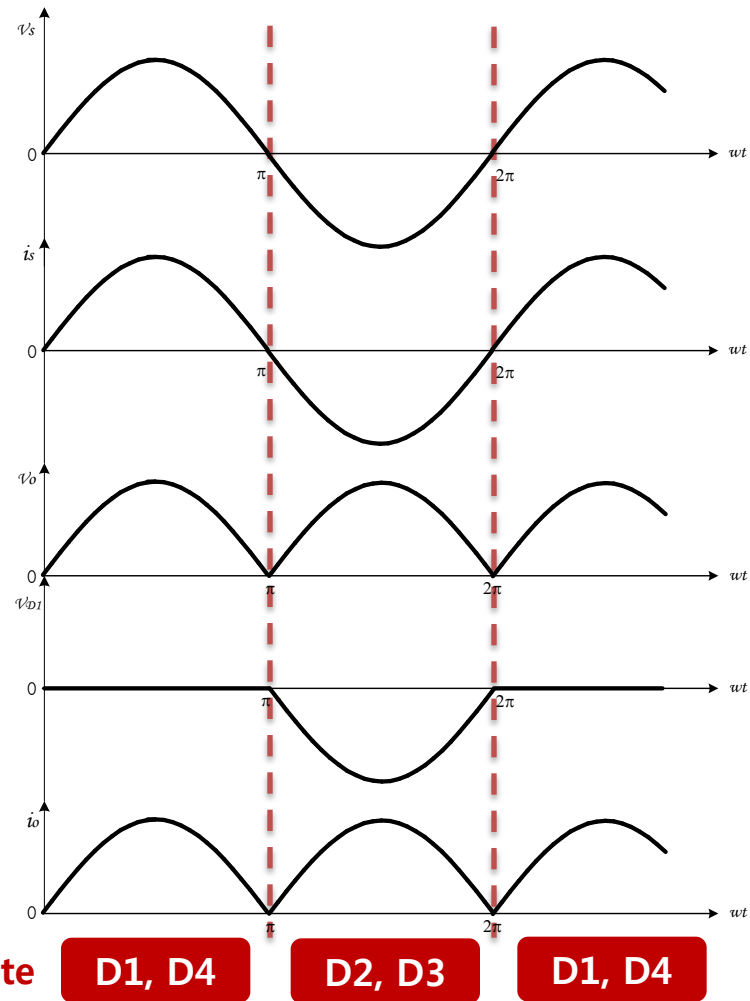


단상 다이오드 정류회로 : 저항부하

전파 정류회로



- ❖ 양의 반주기, 음의 반주기 둘 다 정류
- ❖ 반파 정류기와 비교하여
 평균값은 2배, 실효값은 $\sqrt{2}$ 배
 (정현파일 경우)



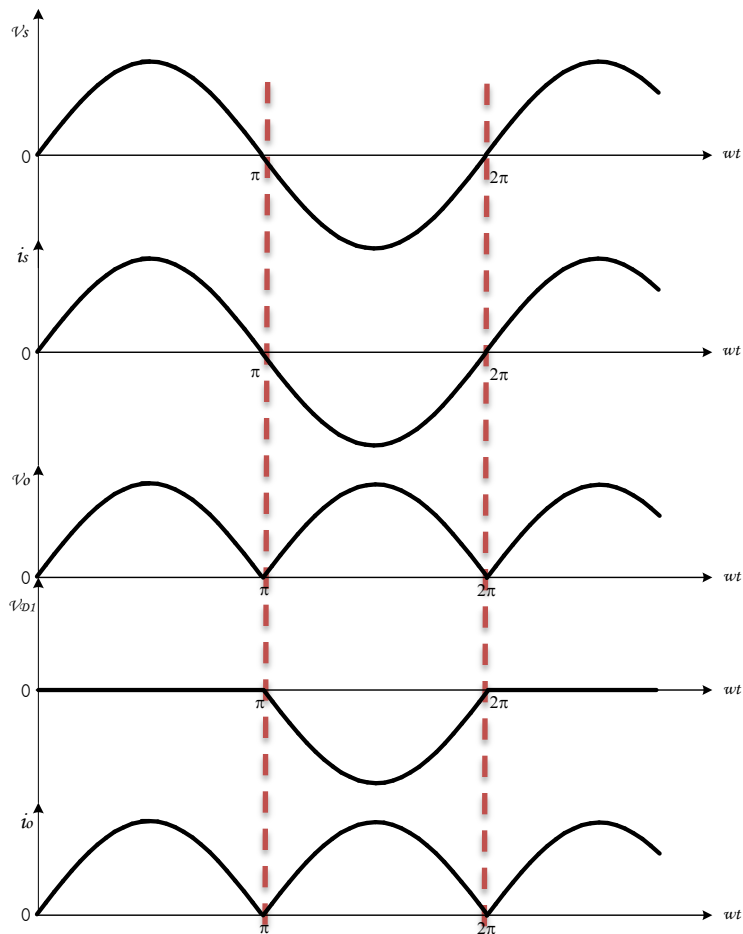
(b) 파형

그림 3-3 단상 전파 정류회로



단상 다이오드 정류회로 : 저항부하

전파 정류회로



(b) 파형

❖ 전파 정류회로의 평균전압

$$\begin{aligned}
 \langle v_o \rangle &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} v_o d(\omega t) \\
 &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}V \sin \omega t d(\omega t) \\
 &= \frac{2\sqrt{2}V}{\pi} \quad (= 2 \langle v_o \rangle, \text{ 반파})
 \end{aligned}$$

❖ 전파 정류회로의 실효치 전류

$$\begin{aligned}
 I_o &= \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} i_o^2 d(\omega t)} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \left(\frac{\sqrt{2}V \sin \omega t}{R} \right)^2 d(\omega t)} \\
 &= \frac{V}{R} \quad (= \sqrt{2}I_o, \text{ 반파})
 \end{aligned}$$



전원 장치 필터

전원 장치 필터

- ❖ 반파 또는 전파 정류기에서 출력전압의 교번적인 영향(AC적인 영향)을 줄여서 거의 일정한 레벨의 직류 전압을 만드는 것 (목표 : Ripple을 줄이는 것)
- ❖ 전자회로가 적절히 동작하도록 바이어스와 전력을 만들어주기 위해서는 일정한 직류 전압원과 전류원이 필요하기 때문에 이것을 만들기 위해서 필터가 필요

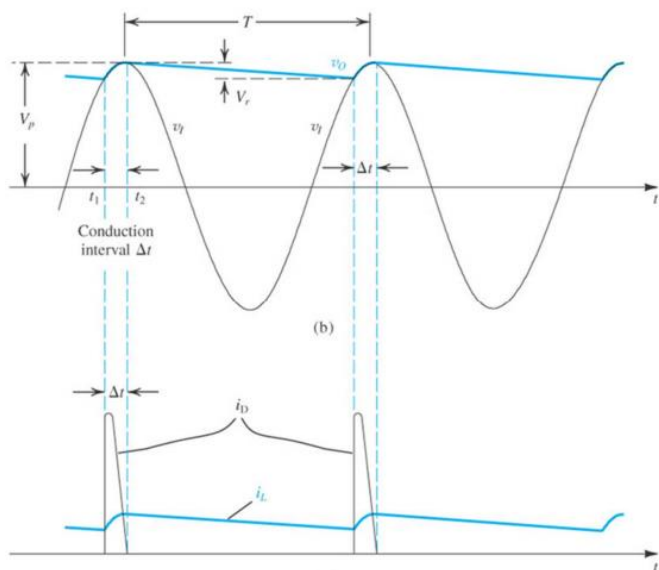
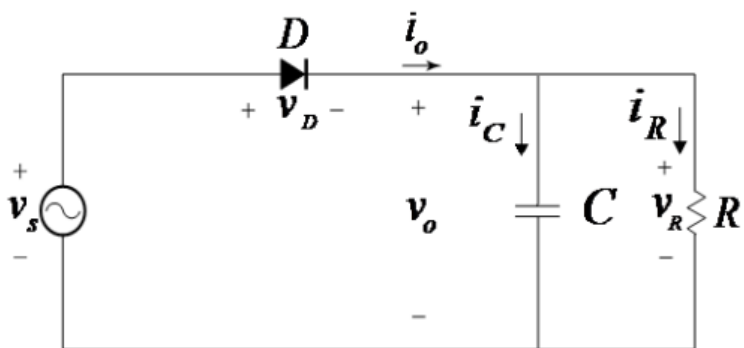
콘덴서 필터

- ❖ 정류회로 바로 뒤에 콘덴서를 병렬로 연결한 회로
- ❖ 특징
 - 초크 입력형 필터(LC 필터)보다 큰 DC 출력 전압을 얻을 수 있으나,
 - 부하 전류 변화에 대한 출력 전압의 변동이 비교적 큼



반파 정류기(출력 커패시터)

반파 정류기



- 다이오드 도통 시간(커패시터 충전)

$$V_i = V_p \cos(\omega t)$$

$$V_p - V_r = V_p \cos(\omega \Delta t) \cong V_p \left(1 - \frac{(\omega \Delta t)^2}{2}\right)$$

$$\omega \Delta t = \sqrt{2V_r / V_p}$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \dots$$

- 출력전압 리플

- 다이오드가 off일 때(커패시터 방전)

$$V_o = V_p e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$V_p - V_r = V_p e^{-\frac{T}{RC}} \cong V_p \left(1 - \frac{T}{RC}\right)$$

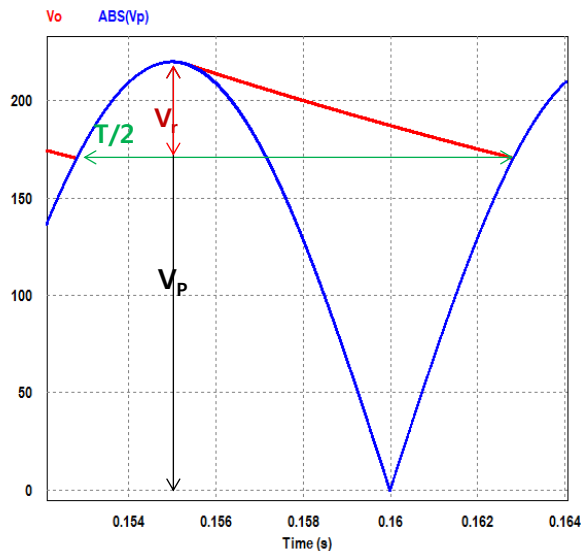
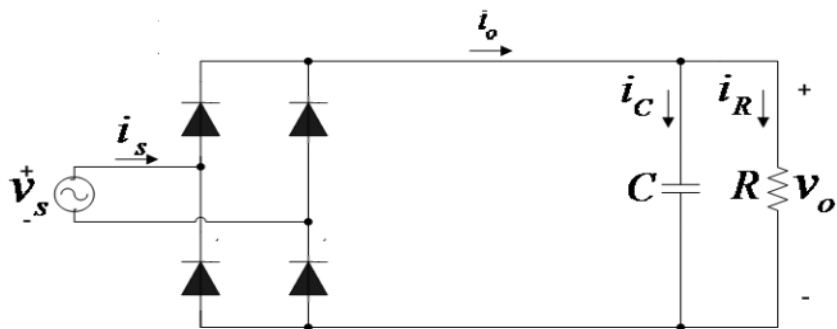
$$V_r \cong V_p \frac{T}{CR} = \frac{V_p}{fCR}$$

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \dots$$



전파 정류기(출력 커패시터)(I)

전파 정류기



- 다이오드 도통 시간(커패시터 충전)

$$V_i = V_p \cos(\omega t)$$

$$V_p - V_r = V_p \cos(\omega \Delta t) \cong V_p \left(1 - \frac{(\omega \Delta t)^2}{2}\right)$$

$$\omega \Delta t = \sqrt{2V_r / V_p}$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \dots$$

- 출력전압 리플

- 다이오드가 off일 때(커패시터 방전)

$$v_o = V_p e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$V_p - V_r = V_p e^{-\frac{T}{RC}} \cong V_p \left(1 - \frac{T}{RC}\right)$$

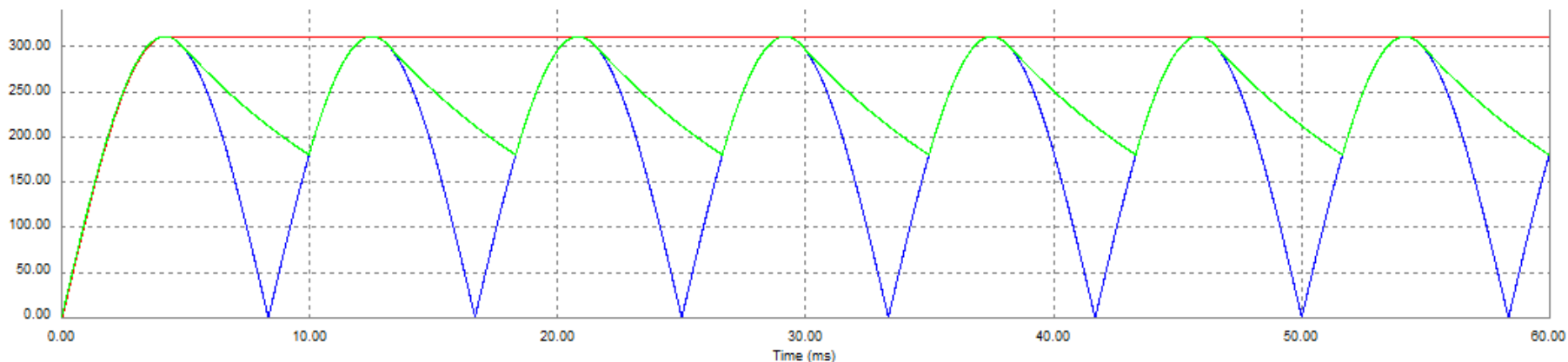
$$V_r \cong V_p \frac{T}{CR} = \frac{V_p}{2fCR}$$

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \dots$$



콘덴서 필터 - 전파 RC 정류회로

출력파형에 대한 분석



❖ C(Capacitor) : 소비성 소자가 아닌 에너지를 저장 및 방출하는 소자

❖ 파형 상승구간 : C에 에너지 저장

파형 하강구간 : C에서 에너지 방출

❖ 시정수

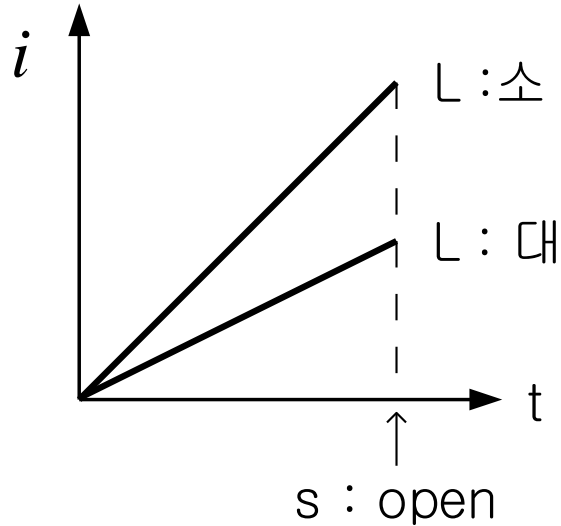
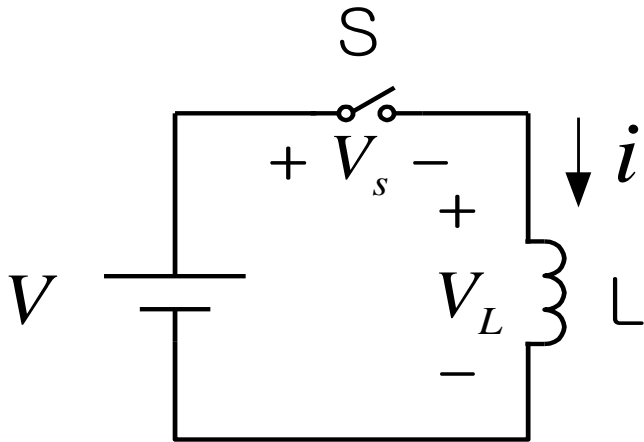
$\tau = RC$ 시정수가 커지면(C가 커지면) 에너지 감소구간이 길어짐 = 천천히 감소

❖ C의 용량을 큰 것을 사용하면 깨끗한 직류 값이 출력



단상 다이오드 정류회로 : 유도성 부하

유도성 부하 L



SW Closed

$$i = \frac{V}{L}t$$

SW Open

$$v_L = L \frac{di}{dt}$$

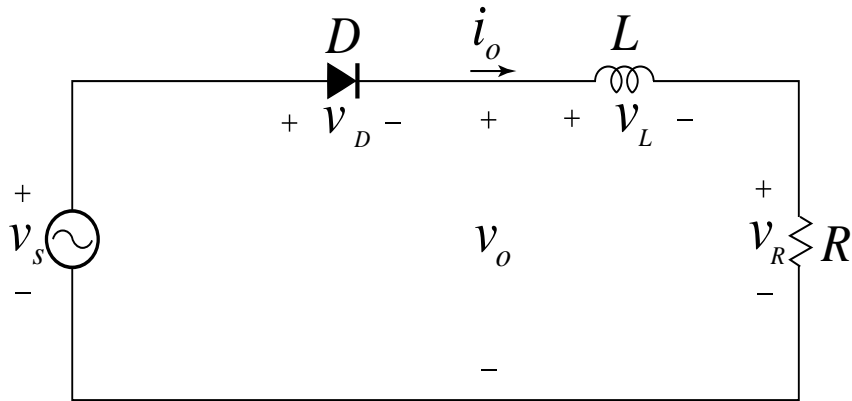
❖ L : 전류를 조절하는 소자

$$v_s = V - v_L \gg 1$$



단상 다이오드 정류회로 : 유도성 부하

반파 정류회로



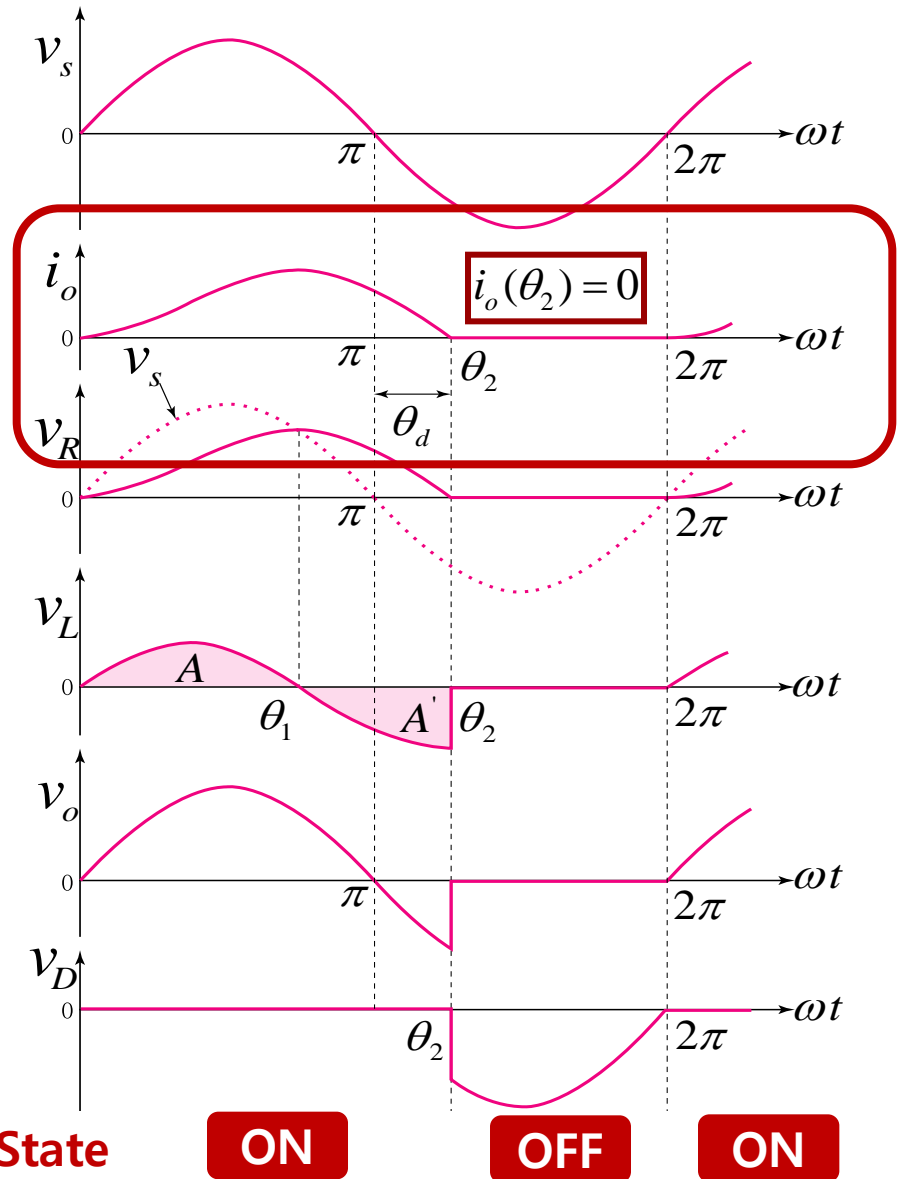
(a) 회로

$$v_s = L \frac{di_o}{dt} + i_o R$$

$$v_s = \sqrt{2}V \sin \omega t, \quad i_o(0) = 0$$

$$i_o = \frac{\sqrt{2}V}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} [\sin(\omega t - \theta) + e^{-\frac{t}{\tau}} \sin \theta]$$

$$\tau = \frac{L}{R}, \quad \theta = \tan^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right)$$



Diode State

ON

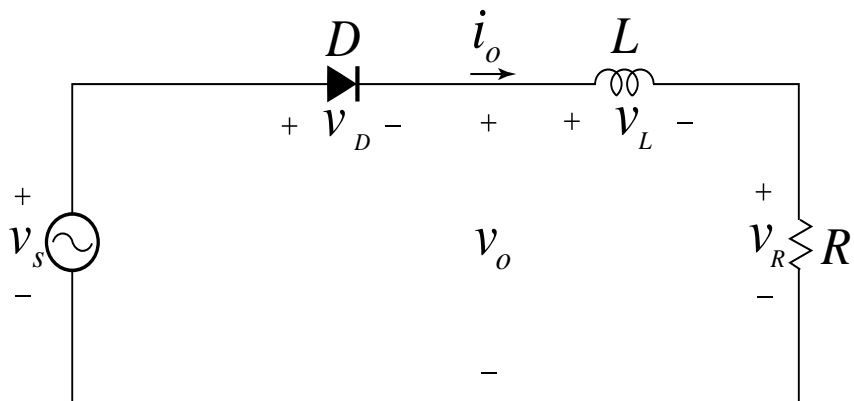
OFF

ON



단상 다이오드 정류회로 : 유도성 부하

반파 정류회로



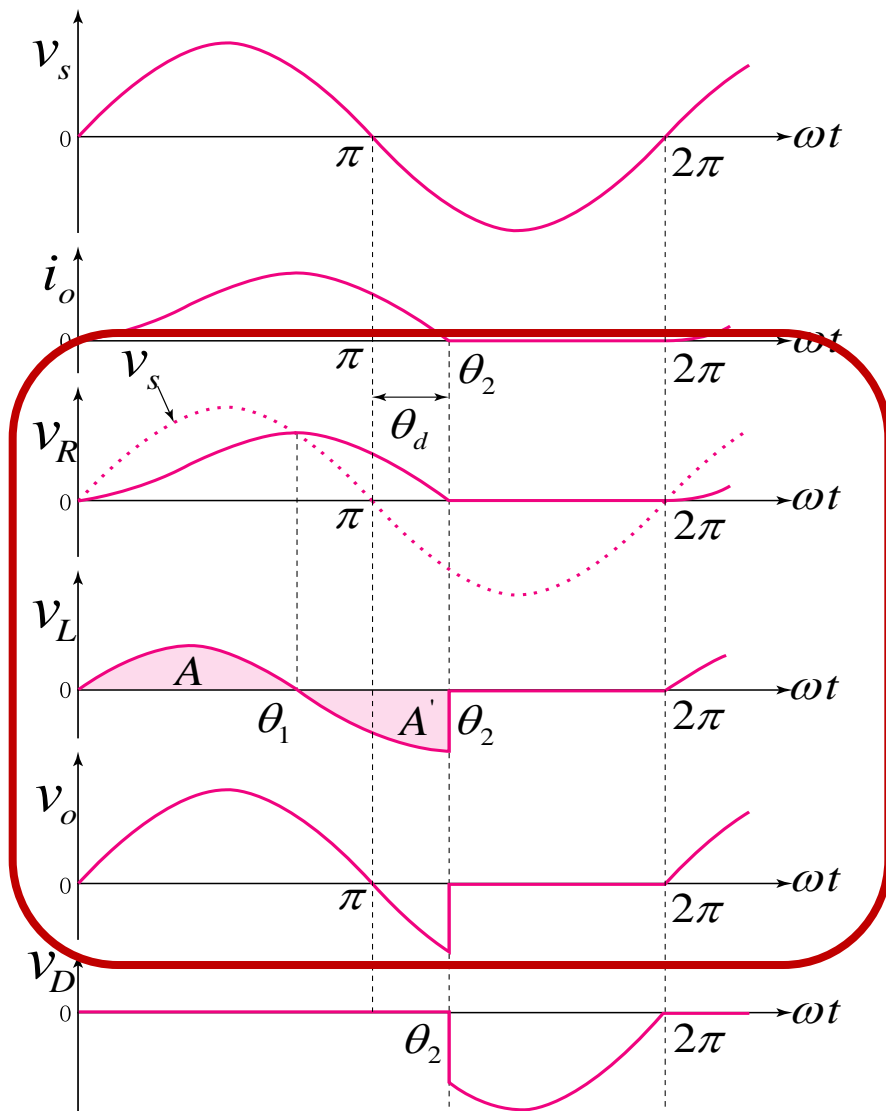
(a) 회로

$$v_R = i_o R$$

$$v_L = v_s - v_R$$

$$A = A'$$

- ❖ A : L에 에너지 유입
- A' : L에서 에너지 방출



Diode State

ON

OFF

ON



단상 다이오드 정류회로 : 유도성 부하

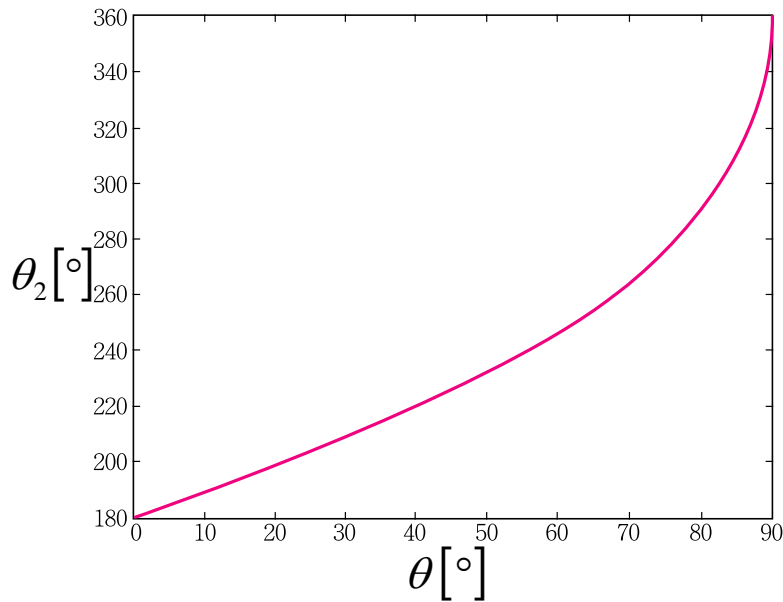


그림 3-5 $\theta [= \tan^{-1} (\frac{\omega L}{R})]$ 의 변화에 대한 θ_2 의 값

$$i_o = \frac{\sqrt{2}V}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} [\sin(\omega t - \theta) + e^{-\frac{t}{\tau}} \sin \theta]$$

$$i_o(\theta_2) = 0$$

$$\sin(\theta_2 - \theta) + e^{-\frac{\theta_2}{\omega \tau}} \sin \theta = 0$$

$$\theta = \tan^{-1}(\omega L / R)$$

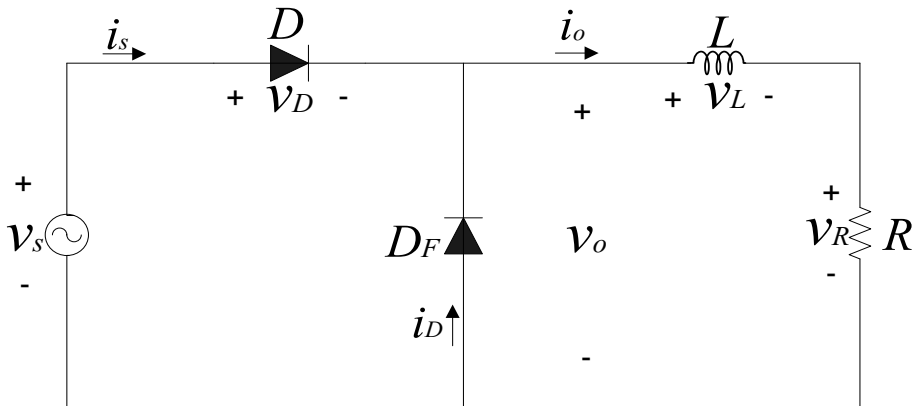
$$\begin{aligned} \langle v_o \rangle &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_o d(\omega t) \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{\theta_2} \sqrt{2}V \sin \omega t d(\omega t) \\ &= \frac{\sqrt{2}V}{2\pi} (1 - \cos \theta_2) \\ &= \frac{1 - \cos \theta_2}{2} \langle v_o \rangle_R \end{aligned}$$

$$L \rightarrow \infty ; \theta_2 \rightarrow 2\pi ; \langle v_o \rangle \rightarrow 0$$



단상 다이오드 정류회로 : 유도성 부하

환류 다이오드



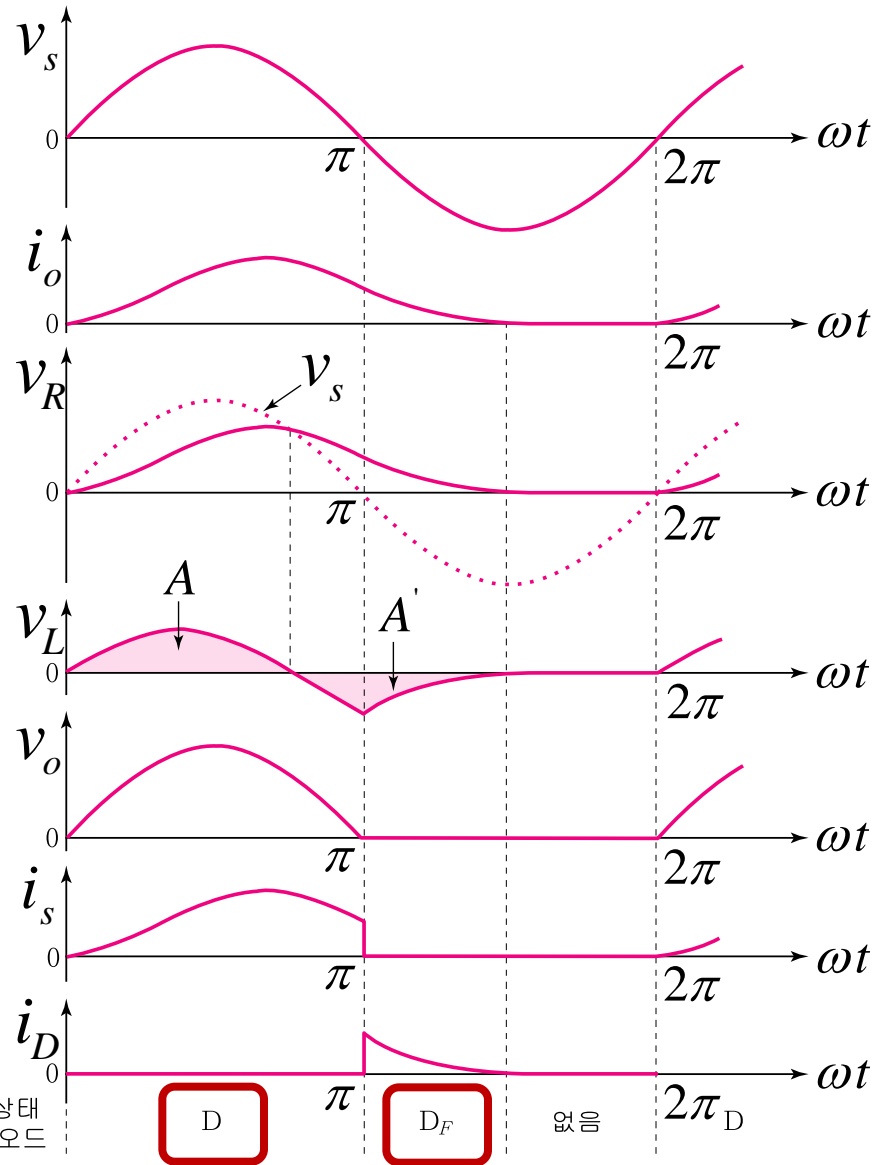
(a) 회로

❖ 환류다이오드?

인덕터 충전전류로 인한 기기 손상을 방지하기 위해서 부하와 병렬로 연결된 다이오드 (다이오드가 환류시 축전 전류 방출하는 길 역할)

❖ 기기 손상?

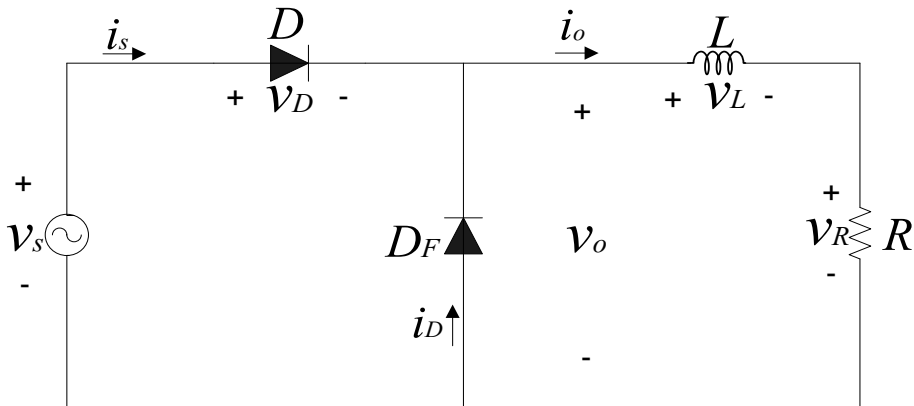
ON: 부하 전류일정 - 유도성 부하에 저장
 OFF: 인덕터 저장 전류 방출 - SW Spark!!
 (축전 전류는 모두 저항 R에서 열에너지로 소비)





단상 다이오드 정류회로 : 유도성 부하

환류 다이오드



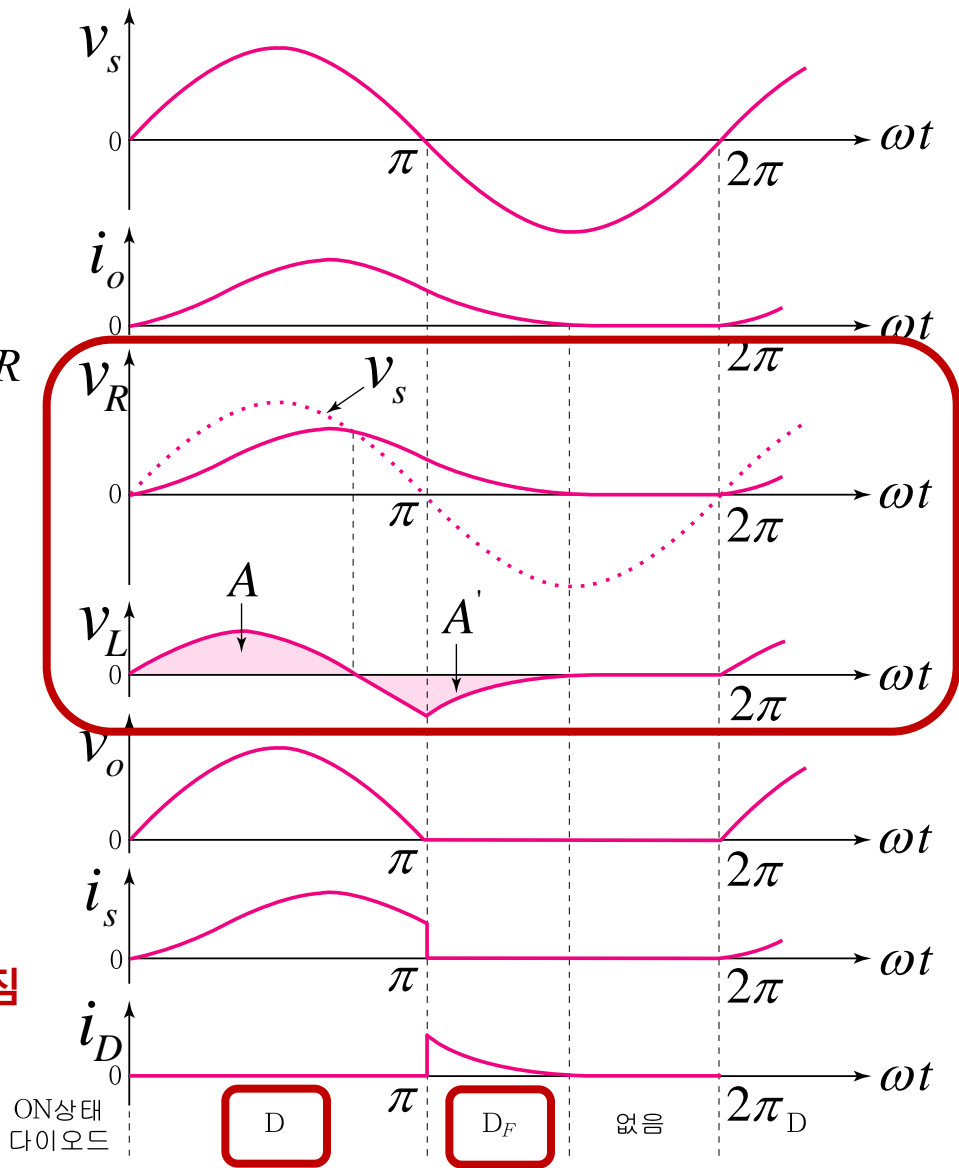
(a) 회로

$$v_L = v_S - v_R$$

$$A = A'$$

❖ A' 영역

환류다이오드에 의해서 전압 소모가 늘어짐

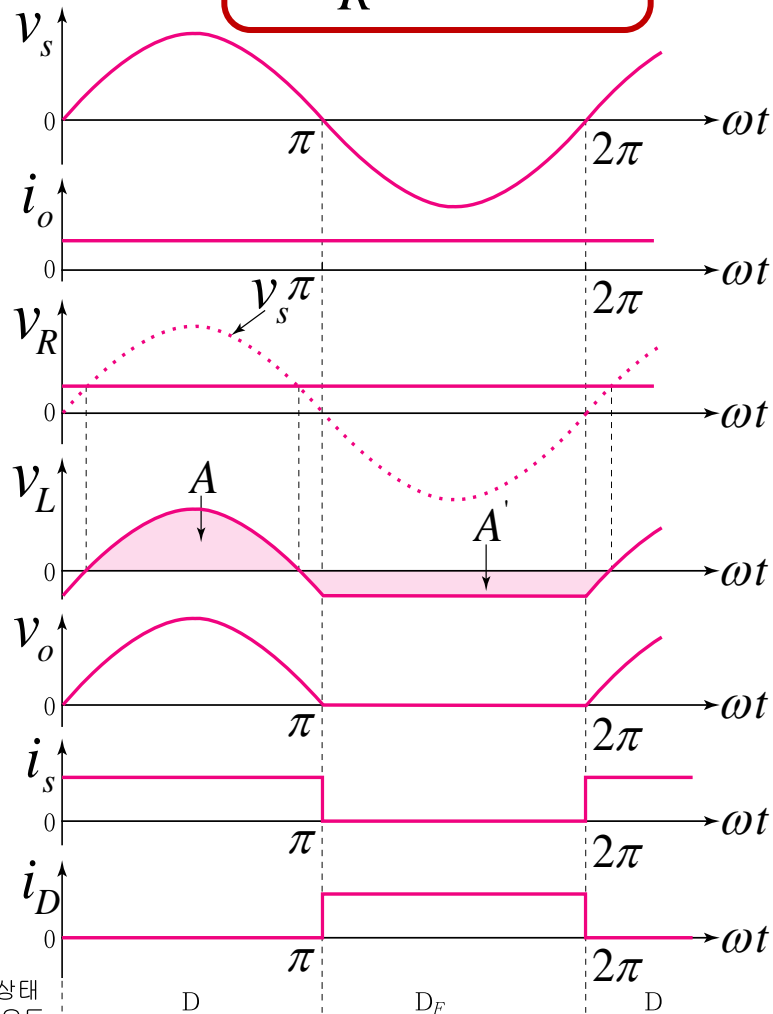
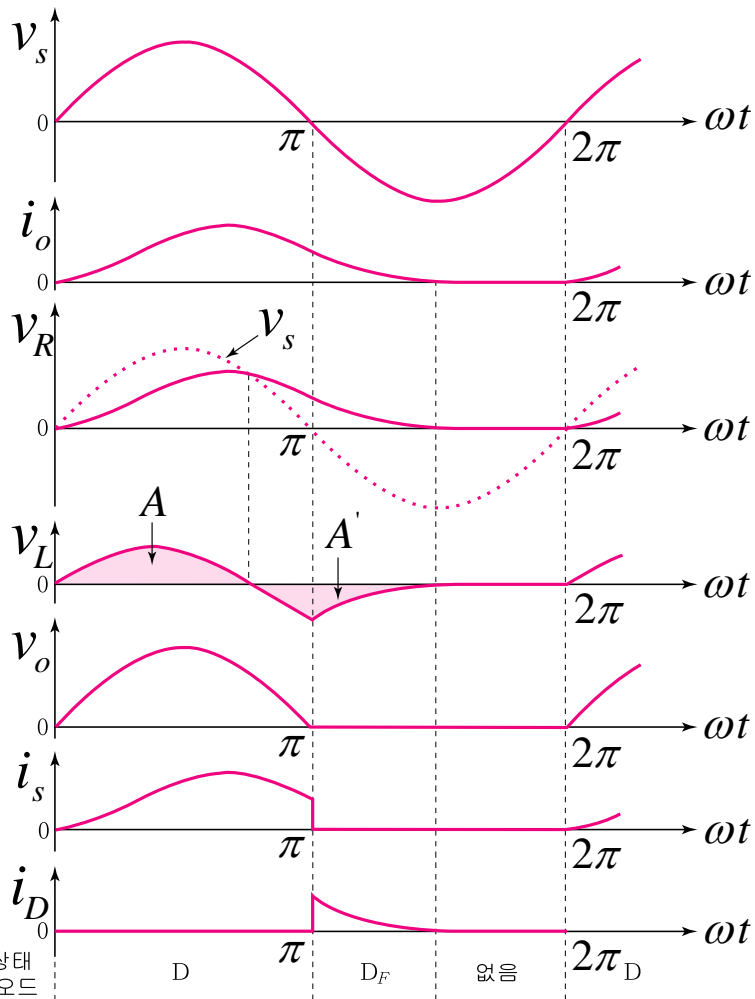




단상 다이오드 정류회로 : 유도성 부하

환류 다이오드

$$\tau = \frac{L}{R}, \quad L \rightarrow \infty$$

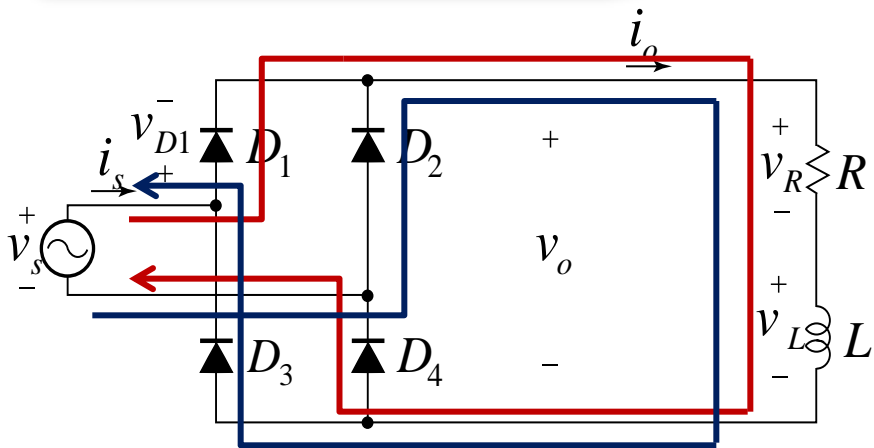


(c) 파형 ($\tau \gg 1$)



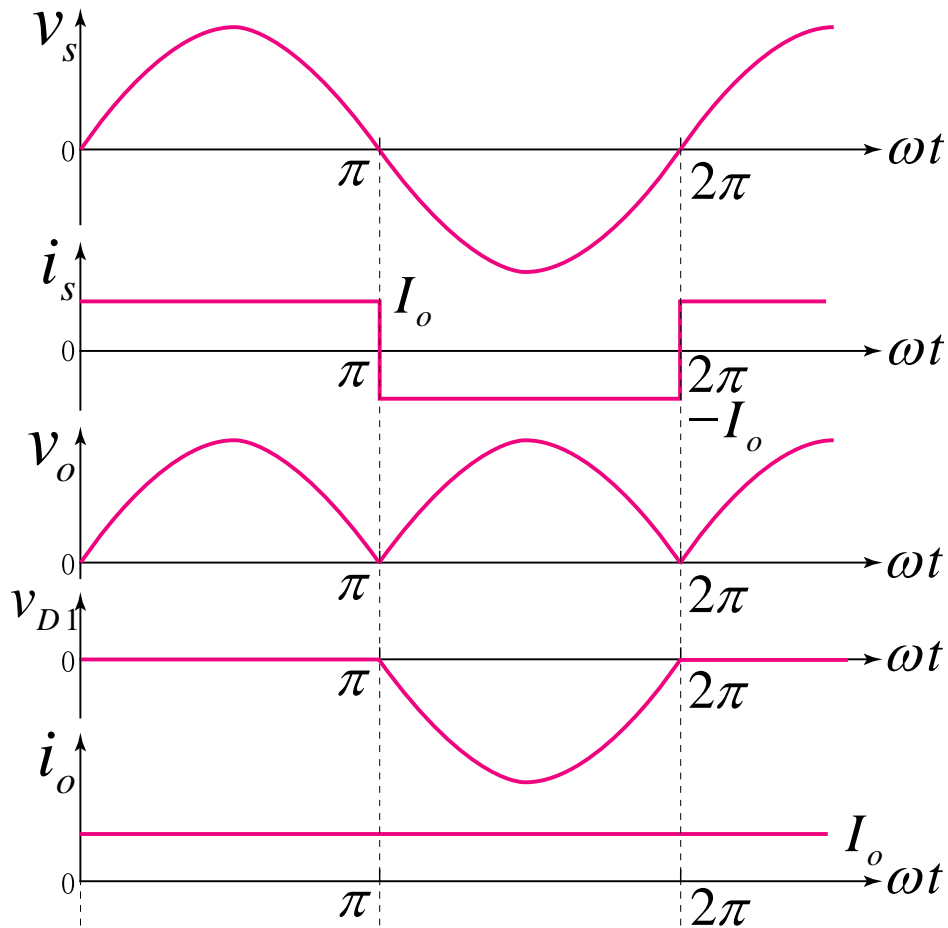
단상 다이오드 정류회로 : 유도성 부하

전파 정류회로



(a) 회로

$$\langle v_o \rangle = \frac{2\sqrt{2}V}{\pi}$$



Diode State

D1, D4

D2, D3

D1, D4

그림 3-7 단상 전파 정류회로

$$\tau = \left(\frac{L}{R} \gg 1 \right)$$