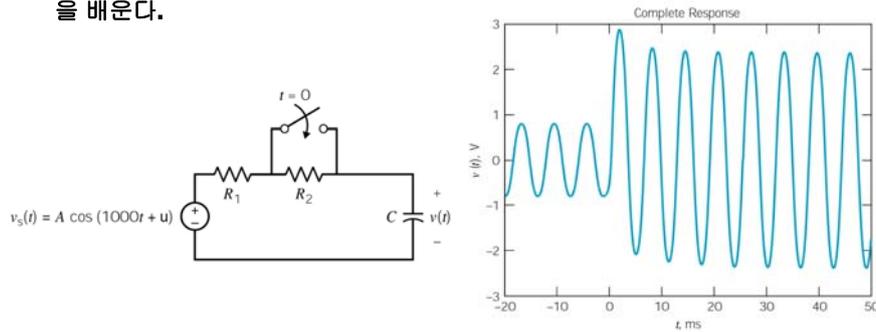


Response of First-Order RL and RC Circuits

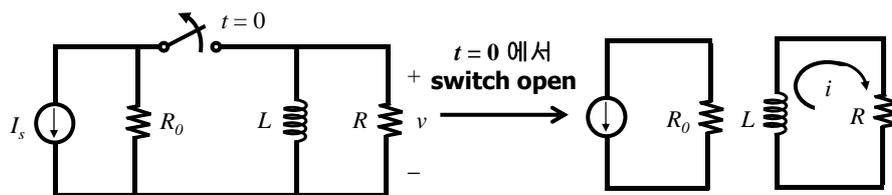
- RL 또는 RC 회로만을 다룸.
- 우선, 외부 전원이 없는 회로, 즉 초기조건에 의해서 전류, 전압이 결정되는 회로의 응답 : **natural response**.
- 다음, 직류 전압이나 전류가 갑자기 가해질 때의 응답 : **step response**.
- 마지막으로, **natural response**, **step response**를 구하는 일반적인 방법을 배운다.



Circuit Theory I

Lecture 8-1

RL Circuit-Natural Response



$t < 0$ 일 때에는 $L \frac{di}{dt} = 0$ 이므로

inductor L 에 I_s 가 흐름.

$t > 0$ 일 때에는 $i(0^+) = I_s$

전류는 연속이므로 $i(0^-) = i(0^+)$

$t > 0$ 일 때에는 **KVL**에 의해서

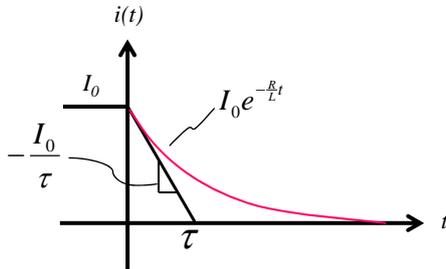
$$L \frac{di}{dt} + Ri = 0, \quad \text{초기조건 } i(0^+) = I_s$$

$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = 0, \quad (e^{\frac{R}{L}t}i)' = 0, \quad i = K e^{-\frac{R}{L}t} \rightarrow i(t) = I_s e^{-\frac{R}{L}t} = I_0 e^{-\frac{R}{L}t}$$

Circuit Theory I

Lecture 8-2

Time Constant



$$i(t) = I_0 e^{-\frac{R}{L}t} = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$\tau = L/R$ (time constant, 시정수) :

특성을 나타내는 시간.

만약 $t = \tau$ 이면 e^{-1} 배 (37%)

$t = 5\tau$ 이면 e^{-5} 배 (1% 이하).

$1/\tau$ 은 $t=0$ 에서의 변화율을 의미.

τ 가 작다 : 전류가 빨리 변화.

τ 가 크다 : 전류가 천천히 변화.

Resistor에서 소모되는 Power

$$p = vi = Ri^2 = RI_0^2 e^{-2t/\tau} \quad \text{for } t \geq 0^+$$

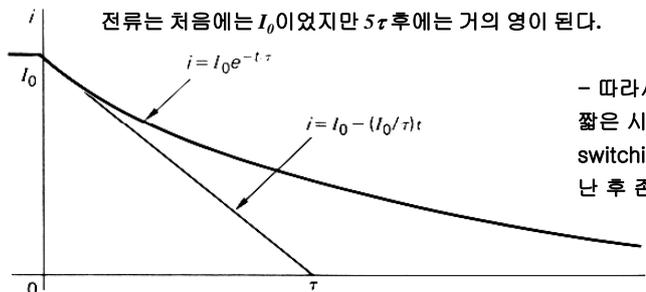
Energy $W = \int_0^t p dx = RI_0^2 \int_0^t e^{-2x/\tau} dx = RI_0^2 \frac{\tau}{2} [1 - e^{-2t/\tau}]$

$$= \frac{1}{2} LI_0^2 (1 - e^{-2t/\tau}) \quad \because \tau = L/R$$

$t \rightarrow \infty$ 이면 $W = 1/2 LI_0^2$ 이 되어서

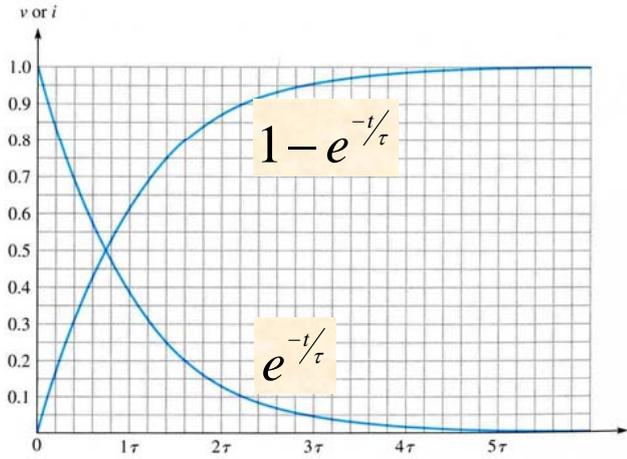
저항에서 소모하는 에너지는 인덕터에 축적한 양과 같아진다.

전류는 처음에는 I_0 이었지만 5τ 후에는 거의 영이 된다.



- 따라서, 과도응답은 switching 후 짧은 시간에 존재하고, 정상응답은 switching 후 충분히 긴 시간이 지난 후 존재한다.

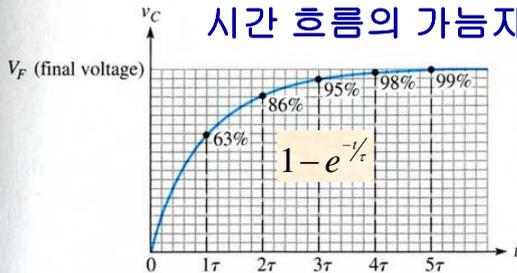
지수함수의 도형적 해석



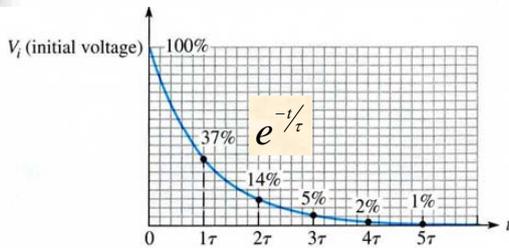
지수함수의 두 가지 모양

- 지수함수는 시간적으로 두 가지 형태로 변화한다.
- 시간이 얼마 되지 않았을 때에는 급작스런 변화를 보인다.
- 그러나 시간이 흐르며 따라 변화가 완만하게 된다.
- 충분한 시간이 흐르면 전압은 거의 변화하지 않는다.

시간 흐름의 가능자 - 시정수 τ



(a) Charging curve with percentages of the final voltage



(b) Discharging curve with percentages of the initial voltage
지수함수의 시간적 변화에 대한 크기

$$e = 2.71828$$

$$e^{-1} = 0.3679$$

$$e^{-2} = 0.1353$$

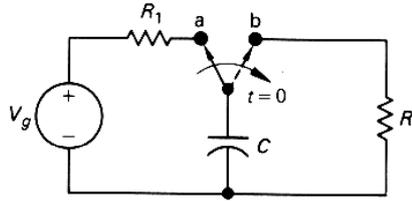
$$e^{-3} = 0.0498$$

$$e^{-4} = 0.0183$$

$$e^{-5} = 0.0067$$

- 지수함수에서 시간적 흐름은 시정수로 가능하다.
- 시정수 만큼이 시간이 흐르면 최종 값과의 차가 37%이다.
- 시정수의 5 배 정도 지나면 최종 값과의 차는 1% 이내이다.
- 따라서, 시정수의 5배가 지나면 최종 값이 되어 변화가 없다고 본다.

RC Circuit-Natural Response



Capacitor에는 v_g 가 걸린다 (\because 전류 = 0).

$$v(0^+) = V_0, \quad i_c = -i = C \frac{dv}{dt}$$

$$KVL: -v + Ri = 0 \Rightarrow -v - RC \frac{dv}{dt} = 0$$

$$\frac{dv}{dt} + \frac{1}{RC}v = 0, \quad (e^{\frac{t}{RC}}v)' = 0$$

$$v = Ke^{-\frac{t}{RC}}, \quad v(0^+) = V_0 = K$$

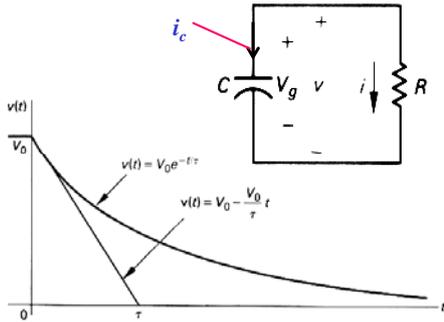
$$v(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad \text{for } t \geq 0$$

$$= V_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{여기서 } \tau = RC$$

$$p = vi = v(-C \frac{dv}{dt}) = (V_0 e^{-\frac{t}{RC}}) (C \cdot \frac{V_0}{RC} e^{-\frac{t}{RC}})$$

$$= \frac{V_0^2}{R} e^{-\frac{2t}{RC}}$$

$$W = \int_0^t p dt' = \frac{1}{2} CV_0^2 (1 - e^{-\frac{2t}{RC}})$$

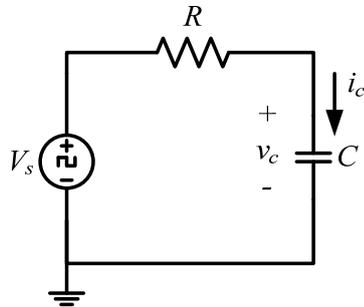


Circuit Theory I

Lecture 8-7

RC 회로

- 캐패시터는 양단의 전압(전계)이 시간적으로 변화해야 전류가 흐른다.
- 따라서, 양단의 전압이 직류이면 캐패시터에는 전류가 흐르지 않는다.
- 반면에 전압이 시간적으로 변하는 교류 전압이 걸리면 전류가 잘 흐른다.



RC 회로 실험

- 캐패시터에 전압이 걸리면 캐패시터 양단의 전압은 순간적으로 영에서 전압 V_s 로 바뀌게 되어 전류가 흐른다.

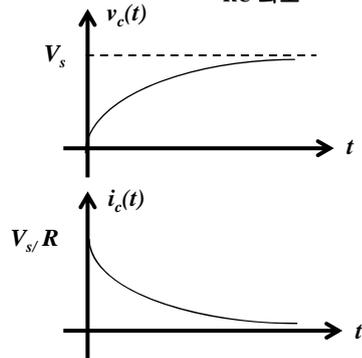
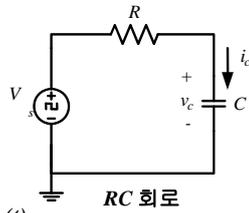
- 전류가 캐패시터로 흘러 들어가서 전하가 쌓이면 캐패시터의 전압이 올라가게 된다.

- 충분한 시간이 흐르면 캐패시터 전압이 전원 전압과 같게 되어 더 이상 캐패시터로 전류가 흘러 들어가지 않는다.

Circuit Theory I

Lecture 8-8

RC 회로의 수학적 해석



$t < 0$ 에서 $v_c(0^-) = v_c(0^+) = V_0$

$t > 0$ 에서

$$KCL: \frac{v_c - V_s}{R} + C \frac{dv_c}{dt} = 0$$

$$\frac{dv_c}{dt} + \frac{1}{RC} v_c = \frac{V_s}{RC}$$

$$v_c(t) = v_{ch} + v_{cp} \quad v_{ch}(t) = K e^{-t/\tau}$$

$$v_{cp}(t) = V_s \quad \because \tau = RC$$

$$v_c(t) = K e^{-t/\tau} + V_s$$

$$= (V_0 - V_s) e^{-t/\tau} + V_s \quad \text{for } t \geq 0$$

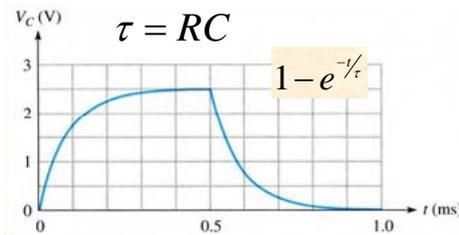
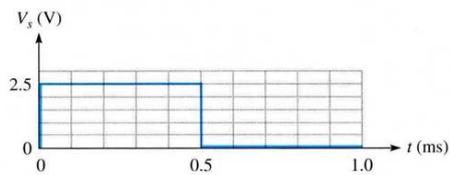
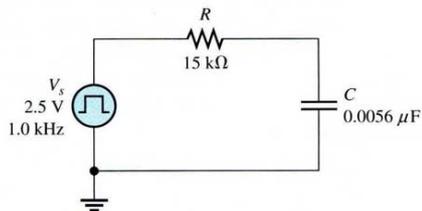
If $V_0 = 0$, $v_c(t) = V_s(1 - e^{-t/\tau})$

$$i_c(t) = C \frac{dv_c}{dt} = (V_s/R) e^{-t/\tau}$$

Circuit Theory I

Lecture 8-9

시정수의 계산



$$\tau = RC$$

$$= (15 \times 10^3) \times (5.6 \times 10^{-9})$$

$$= 84 \times 10^{-6}$$

$$= 84 \mu\text{s}$$

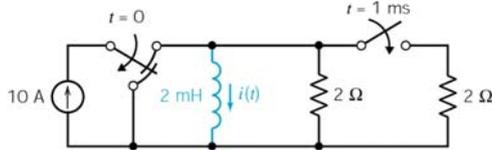
Circuit Theory I

Lecture 8-10

Sequential Switching (I)

회로에서 **switching**을 두 번 이상 하는 경우 - **sequential switching**
Inductor 전류와 **capacitor** 전압이 연속이므로 이 조건을 이용한다.

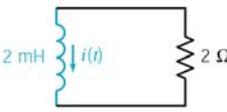
Example



(a) A circuit with sequential switching



(b) $t < 0$



(c) $0 \leq t < 1 \text{ ms}$

$t < 0$ 일 때 회로는 (b)와 같다.

따라서, $i(0^-) = 10 \text{ A} = i(0^+)$

$0 \leq t < 1 \text{ ms}$ 일 때 회로는 (c)와 같다.

$$2 \times 10^{-3} \frac{di}{dt} + 2i = 0, \quad i(0^+) = 10$$

$$\frac{di}{dt} + 1000i = 0$$

$$i(t) = K e^{-1000t}$$

초기값에 의해 $K=10$

$0 \leq t < 1 \text{ ms}$ 에 대해서

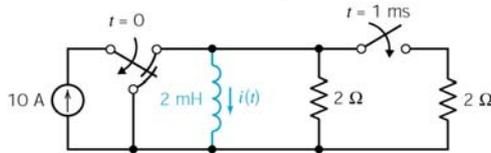
$$i(t) = 10 e^{-1000t}$$

$$i(1 \text{ ms}) = 10 e^{-1} = 3.68 \text{ A}$$

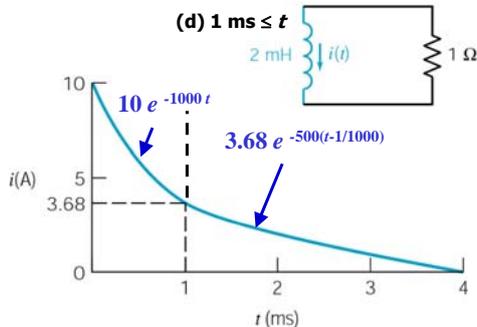
Circuit Theory I

Lecture 8-11

Sequential Switching (II)



(d) $1 \text{ ms} \leq t$



Current waveform for $t \geq 0$.
 The exponential has a different time constant for $0 \leq t < t_1$
 and for $t \geq t_1$ where $t_1 = 1 \text{ ms}$.

$1 \text{ ms} < t$ 일 때 회로는 (d)와 같다.

$t = 1 \text{ ms}$ 일 때 전류는 연속이므로

$$2 \times 10^{-3} \frac{di}{dt} + 1i = 0, \quad i(1 \text{ ms}) = 3.68$$

$$\frac{di}{dt} + 500i = 0$$

$$i(t) = K e^{-500t}$$

초기값 $i(1 \text{ ms}) = 3.68 = K e^{-0.5}$

$$K = 3.68 e^{0.5}$$

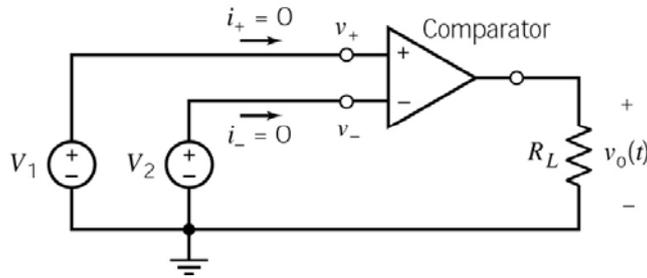
$$i(t) = 3.68 e^{-500t+0.5}$$

$$= 3.68 e^{-500(t-1/1000)}$$

Circuit Theory I

Lecture 8-12

Comparator



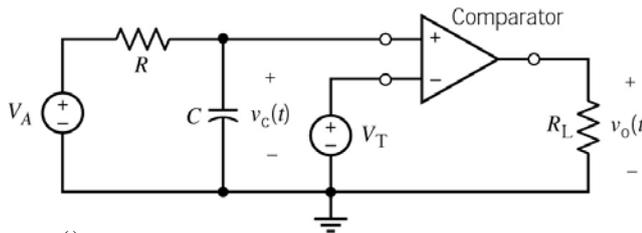
- 입력을 비교하여 두 출력 중 하나를 출력으로 함.

$$v_0(t) = \begin{cases} V_H & \text{if } v_+ > v_- \\ V_L & \text{if } v_+ < v_- \end{cases}$$

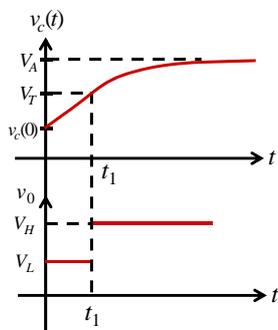
- 입력 전류는 영.

- 기호 : Op amp에 **comparator**라고 씀.

Comparator of Capacitor Voltage (I)



A comparator is used to compare the capacitor voltage, $v_c(t)$, to a threshold voltage, V_T .



$V_A > V_T > V_C(0)$ 라고 가정.

$v_c(t)$ 가 $v_c(0)$ 로부터 V_A 로 커지면서 V_T 에서 스위칭이 일어나고

$v_0 = V_L$ 로부터 V_H 로 바뀐다.

이 때 걸리는 시간을 구해 보자.

$$v_0(t) = \begin{cases} V_H & \text{if } v_c(t) > V_T \\ V_L & \text{if } v_c(t) < V_T \end{cases}$$

Comparator of Capacitor Voltage (II)

- Noninverting 단자에서 KCL.

$$\frac{v_c - V_A}{R} + C \frac{dv_c}{dt} = 0$$

$$RC \frac{dv_c}{dt} + v_c = V_A$$

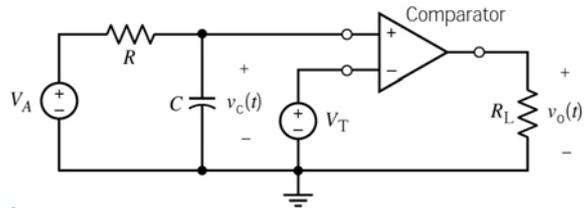
$$\frac{dv_c}{dt} + \frac{v_c}{RC} = \frac{V_A}{RC}$$

$$v_c = V_A + K e^{-\frac{t}{RC}}$$

초기값 $v_c(0) = V_A + K$

$$K = v_c(0) - V_A$$

$$v_c(t) = V_A + (v_c(0) - V_A)e^{-\frac{t}{RC}}$$

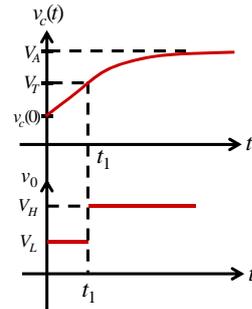


$t = t_1$ 에서 $v_c(t) = V_T$ 라면

$$V_T = V_A + (v_c(0) - V_A)e^{-\frac{t_1}{RC}}$$

$$-\frac{t_1}{RC} = \ln\left(\frac{V_A - V_T}{V_A - v_c(0)}\right)$$

$$\therefore t_1 = RC \ln\left(\frac{V_A - v_c(0)}{V_A - V_T}\right)$$



Circuit Theory I

Lecture 8-15

Stability of First-Order Circuits

- Inductor, capacitor, resistor, independent source 만을 가진 회로는 **stable**하다.
- 그러나, 회로 응답이 시간적으로 감소하지 않고 지수 함수적으로 증가할 수도 있다. **Dependent source**를 갖는 경우 가능하다.
- Inductor나 capacitor에서 본 R_{Th} 가 음이면 **unbounded response**가 나타나서 **unstable**하다.
- RC회로의 경우

$$\frac{dv_c}{dt} - \frac{1}{R_{Th}C} v_c = 0 \rightarrow v_c = V_0 e^{\frac{t}{R_{Th}C}}$$

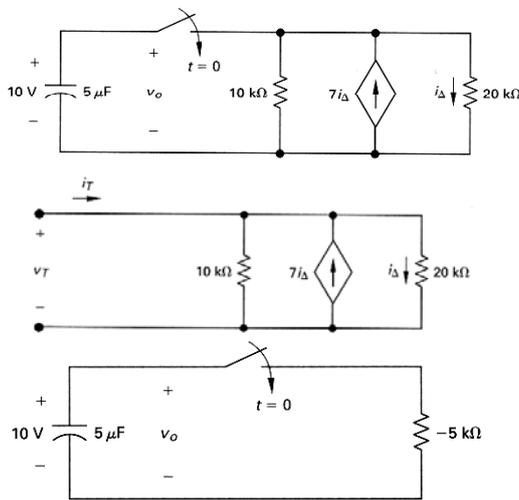
- 최종 값은 소자의 특성에 따라 제한된다.

Circuit Theory I

Lecture 8-16

Example of Stability of First Order Circuits

$t = 0$ 에서 스위치가 닫힌다. 이 때 $v_c(0) = 10 \text{ V}$ 이다. $v_o(t) = ?$



KCL에서

$$5 \times 10^{-6} \frac{dv_o}{dt} + \frac{v_o}{10000} - 7i_{\Delta} + \frac{v_o}{20000} = 0$$

여기서 $i_{\Delta} = \frac{v_o}{20000}$ 이므로

$$5 \times 10^{-6} \frac{dv_o}{dt} + \frac{v_o}{10000} \left(1 - \frac{7}{2} + \frac{1}{2}\right) = 0$$

$$5 \times 10^{-6} \frac{dv_o}{dt} + \frac{v_o}{-5 \times 10^3} = 0$$

$$R_{Th} = -5 \times 10^3 \Omega$$

$$\frac{dv_o}{dt} - 40v_o = 0$$

$$v_o = v_c = 10e^{40t} \quad (\because v_c(0) = 10 \text{ V})$$

$v_c = 150 \text{ V}$ 일 때 절연파괴.

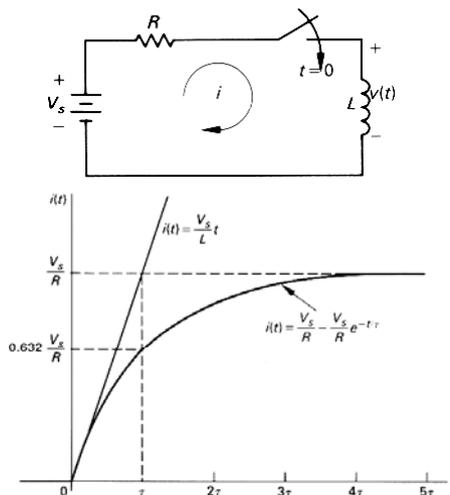
$$150 = 10e^{40t} \Rightarrow t = (\ln 15) / 40 \text{ sec}$$

Circuit Theory I

Lecture 8-17

Step Response of RL Circuit (I)

회로에 갑자기 일정 전압이나 전류를 가했을 때의 응답 : **step response**.



$$t > 0 \text{ 일 때 } V_s = Ri + L \frac{di}{dt}$$

$$i = i_h + i_p$$

$$\text{For } i_h \quad Ri + L \frac{di}{dt} = 0, \quad i_h = Ke^{-t/\tau}$$

$$\text{For } i_p \quad Ri + L \frac{di}{dt} = V_s, \quad i_p = \frac{V_s}{R}$$

$$i(t) = Ke^{-t/\tau} + \frac{V_s}{R}$$

$$i(0) = I_0 \quad \text{라 하면} \quad I_0 = K + \frac{V_s}{R}$$

Circuit Theory I

Lecture 8-18

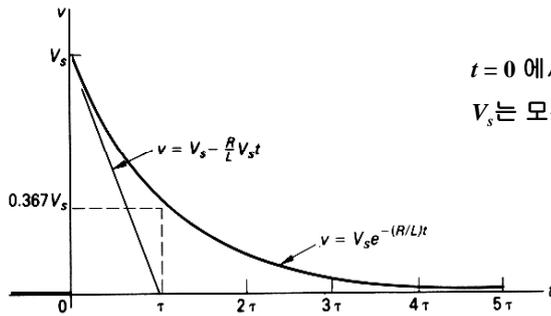
Step Response of RL Circuit (II)

$$i(t) = \left(I_0 - \frac{V_s}{R}\right)e^{-t/\tau} + \frac{V_s}{R}$$

만약 $I_0 = 0$, $i(t) = \frac{V_s}{R}(1 - e^{-t/\tau})$

$t = 0$ 에서의 증가율: $\left.\frac{di}{dt}\right|_{t=0} = \frac{V_s}{R} \cdot \frac{1}{\tau} = \frac{V_s}{L}$

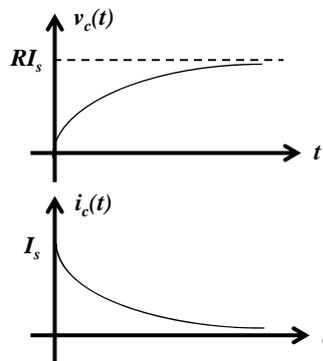
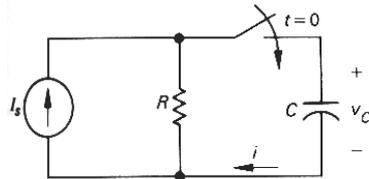
$t = 0$ 에서 R 에서의 전압강하는 영이므로 V_s 는 모두 inductor에 걸림.



Circuit Theory I

Lecture 8-19

Step Response of RC Circuit



$t < 0$ 에서 $v_c(0^-) = v_c(0^+) = V_0$

$t > 0$ 에서

$$\text{KCL: } -I_s + \frac{v_c}{R} + C \frac{dv_c}{dt} = 0$$

$$\frac{dv_c}{dt} + \frac{1}{RC} v_c = \frac{I_s}{C}$$

$$v_c(t) = v_{ch} + v_{cp} \quad v_{ch}(t) = Ke^{-t/\tau}$$

$$v_{cp}(t) = RI_s$$

$$v_c(t) = Ke^{-t/\tau} + RI_s = (v_0 - RI_s)e^{-t/\tau} + RI_s \text{ for } t \geq 0$$

If $V_0 = 0$,

$$v_c(t) = RI_s(1 - e^{-t/\tau})$$

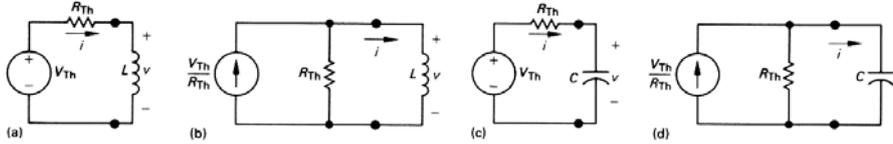
$$i_c(t) = C \frac{dv_c}{dt} = I_s e^{-t/\tau}$$

Circuit Theory I

Lecture 8-20

General Solution of Constant Source

- RL, RC 회로는 다음의 네 회로로 정리.



식을 정리하면

$$\frac{dx}{dt} + \frac{x}{\tau} = K, \quad K : \text{상수}$$

$$x = x_h + x_p$$

$$x_h = Ce^{-t/\tau}, \quad x_p = \tau \cdot K$$

$$x(t) = Ce^{-t/\tau} + \tau K$$

$t = t_0$ 일 때 초기값 $x(t_0)$

$$x(t_0) = Ce^{-t_0/\tau} + \tau K \Rightarrow C = \{x(t_0) - \tau K\}e^{t_0/\tau}$$

$$x(t) = \{x(t_0) - \tau K\}e^{-(t-t_0)/\tau} + \tau K$$

- Inductor에서 전류,
capacitor에서 전압이 연속.

$$x(t_0^+) = x(t_0^-)$$

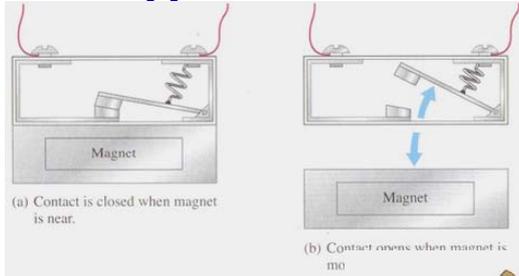
$$\text{즉, } i_L(t_0^+) = i_L(t_0^-), v_c(t_0^+) = v_c(t_0^-)$$

General Solution of Nonconstant Source

Steady-State Response to a Forcing Function

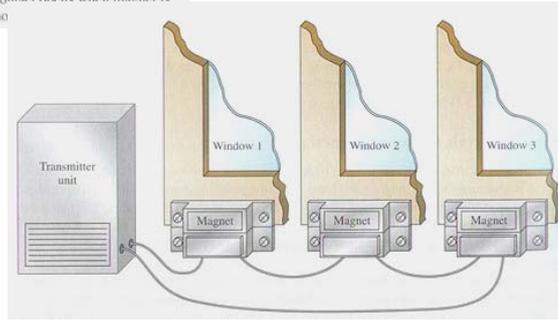
Forcing Function $y(t)$	Steady-State Response $x_f(t)$
1. Constant $y(t) = M$	$x_f = N$, a constant
2. Exponential $y(t) = M e^{-bt}$	$x_f = N e^{-bt}$
3. Sinusoid $y(t) = M \sin(\omega t + \theta)$	$x_f = A \sin \omega t + B \cos \omega t$

Applications of Permanent Magnets



Operation of a magnetic switch
Floyd 책 284쪽, 그림 7.6

Connection of a typical perimeter alarm system.
Floyd 책 284쪽, 그림 7.7



Circuit Theory I

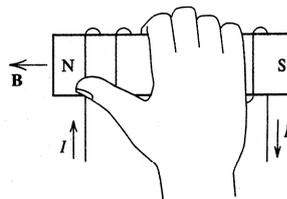
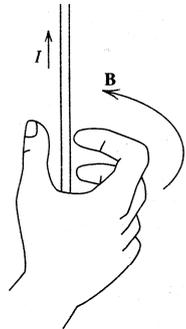
Lecture 8-23

Ampere's Law and Electromagnetism

- Ampere의 둘레 법칙
전류에 의해 그 둘레에 자계가 생긴다는 법칙.

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J}_f$$

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{S}$$

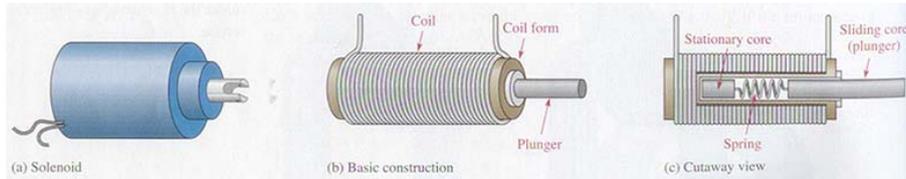


Circuit Theory I

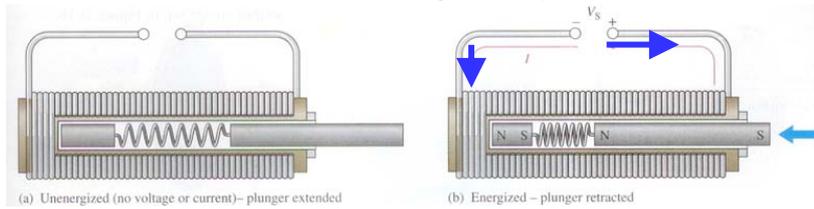
Lecture 8-24

Solenoids

- 전류를 흘리면 자계가 생겨 플런저를 당긴다.
- 전류가 없어지면 스프링에 의해 플런저는 원래의 위치로 복귀한다.



Basic solenoid structure. Floyd 책 290쪽, 그림 7.14

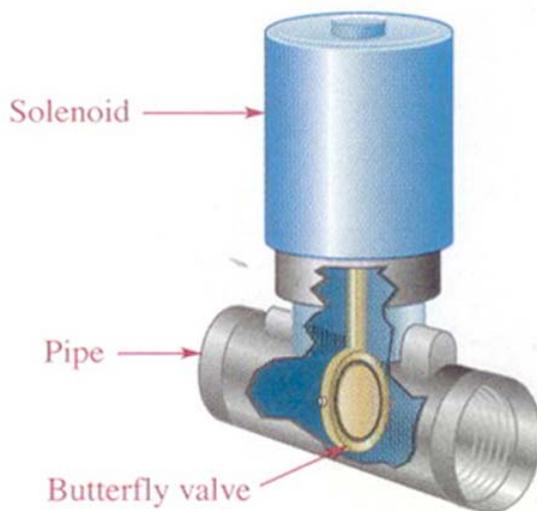


Basic solenoid operation. Floyd 책 291쪽, 그림 7.15

Circuit Theory I

Lecture 8-25

Solenoids – Butterfly Valve



- 전류가 흐르면 **Butterfly valve** 가 회전해서 파이프를 개폐한다.

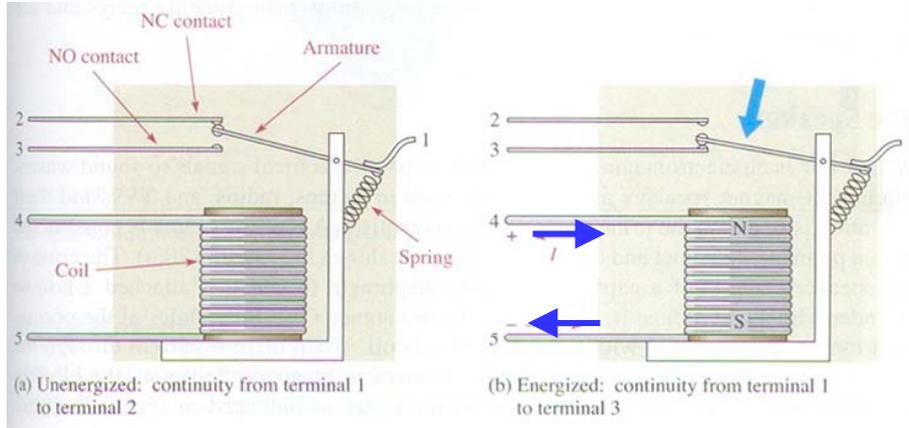
A basic solenoid valve structure. Floyd 책 291쪽, 그림 7.16

Circuit Theory I

Lecture 8-26

Relays

- 전류를 흘리면 pole 이 2의 위치에서 3의 위치로 이동.



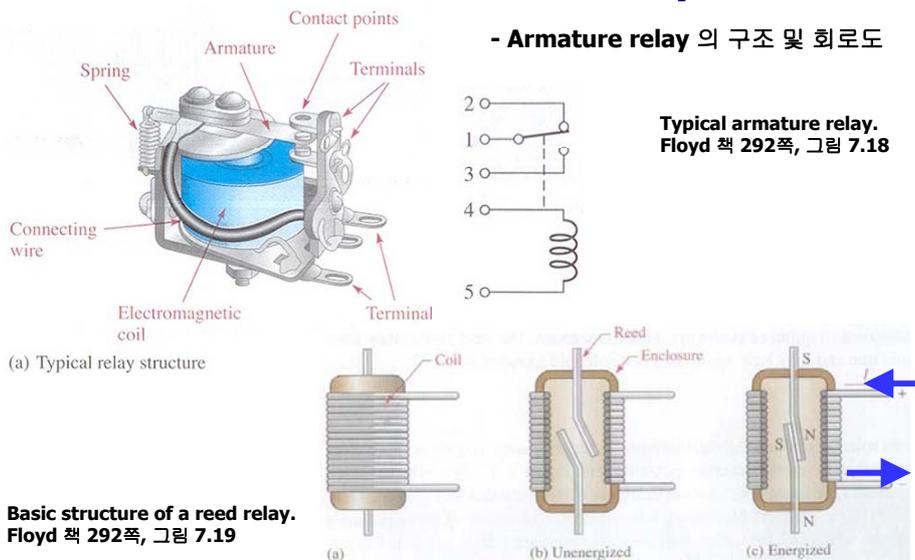
Basic structure of a single-pole-double-throw armature relay.
Floyd 책 291쪽, 그림 7.17

Circuit Theory I

Lecture 8-27

Armature and Reed Relays

- Armature relay 의 구조 및 회로도



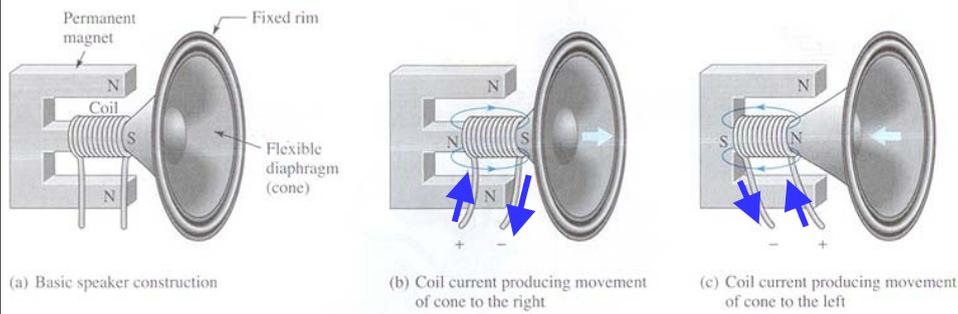
Basic structure of a reed relay.
Floyd 책 292쪽, 그림 7.19

Circuit Theory I

Lecture 8-28

Speakers

- 전류를 흘리면 플러저가 당겨지거나 밀리면서 스피커의 종이 막을 떨게 해서 음압을 발생시킨다.

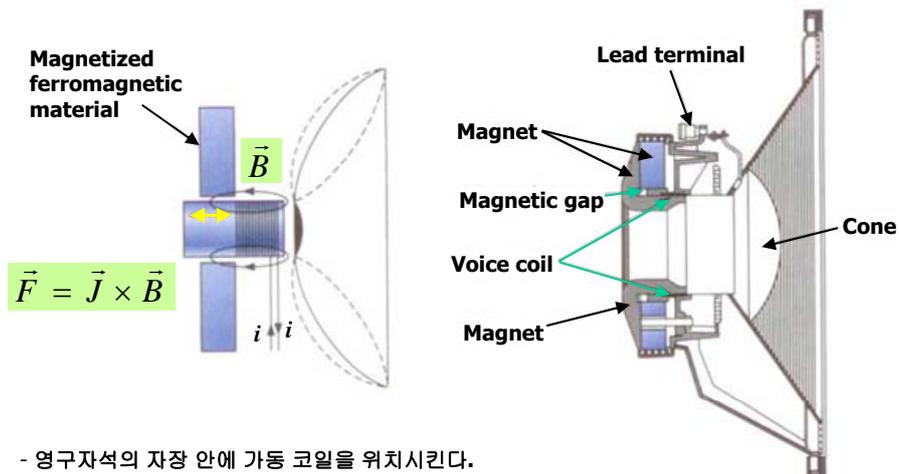


Basic speaker operation with movement exaggerated to illustrate the principle.
Floyd 책 293쪽, 그림 7.20

Circuit Theory I

Lecture 8-29

Coaxial High-fidelity Loudspeaker



- 영구자석의 자장 안에 가동 코일을 위치시킨다.
- 가동코일에 전류를 흘려서 로렌츠 힘으로 가동코일을 움직인다.
- 가동코일에 장착한 콘이 움직여 음압을 내어 소리를 재생한다.

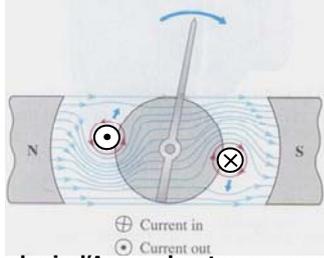
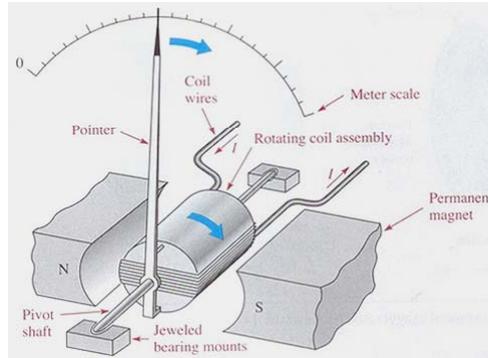
From Boylestad, 459 쪽

Circuit Theory I

Lecture 8-30

d'Arsonval Meter Movement

- **Analog** 계측기의 핵심요소.
- 코일에 흐르는 전류가 외부 자계와 작용하여 로렌츠 힘을 발생시켜 바늘을 회전시킨다.
- 이 미터와 저항을 직렬로 연결하여 측정하면 전압계로 사용할 수 있다.
- 이 미터와 저항을 병렬로 연결하여 측정하면 전류계로 사용할 수 있다.



The basic d'Arsonval meter movement. Floyd 책 294쪽, 그림 7.22

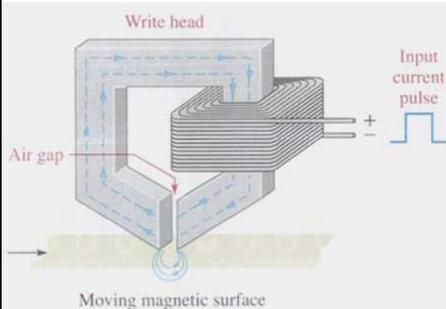
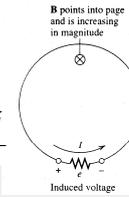
When the electromagnetic field interacts with the permanent magnetic field, forces are exerted on the rotating coil assembly, causing it to move clockwise and thus deflecting the pointer. Floyd 책 294쪽, 그림 7.23

Magnetic Disk and Tape Read/Write Head

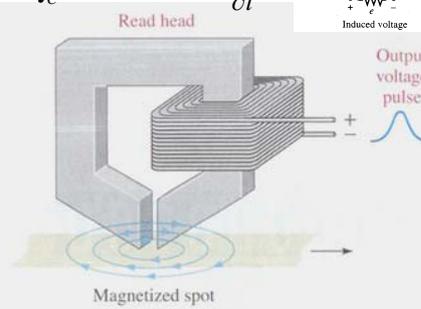
- **Ampere**의 법칙에 의해 자계를 발생시켜 이 자계로 자성물질을 자화시켜 기억시킨다.

- **Faraday**의 전자유도 법칙에 의해 자장이 시간적으로 변하면 코일 양단에 전압이 발생한다.

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{\partial \int_s \vec{B} \cdot d\vec{S}}{\partial t}$$



(a) The magnetic flux from the write head follows the low reluctance path through the moving magnetic surface.



(b) When read head passes over magnetized spot, an induced voltage appears at the output.

Read/write function on a magnetic surface. Floyd 책 295쪽, 그림 7.24

Computer Hard Disks

- 하드디스크(HDD, hard disk drives)는 컴퓨터의 보조 기억장치이다.
- 레코드 판과 같이 빙빙 도는 원반(platters)의 표면에 자성물질을 발라놓고 정보를 기록한다.
- 원반의 재질은 비 자성물질(nonferromagnetic)인 알루미늄이나 유리이다. 또한 이 원반이 딱딱하므로 하드디스크라고 불린다.
- HDD는 먼지 등에 취약하므로 밀봉되어 있고, 사고(crash) 발생 시에나 뜯을 수 있으며, 뜯으면 새 것으로 교체해야 한다.
- 하드디스크의 직경은 1 인치 - 5¼인치 크기가 대부분이고, 데스크탑 PC에서는 3½ 인치가 많이 쓰이고, 랩탑 PC에서는 2½ 인치 HDD가 많이 쓰인다.
- 거의 모든 HDD 는 Winchester drives 를 사용한다. Winchester 는 30-30 Winchester rifle 로 부터 유래되었다.
- 1960년대 IBM 사가 제작한 기억장치가 30 MB는 고정 데이터이고 30 MB는 accessible data 이어서 30-30 이라는 용어가 사용되었다.

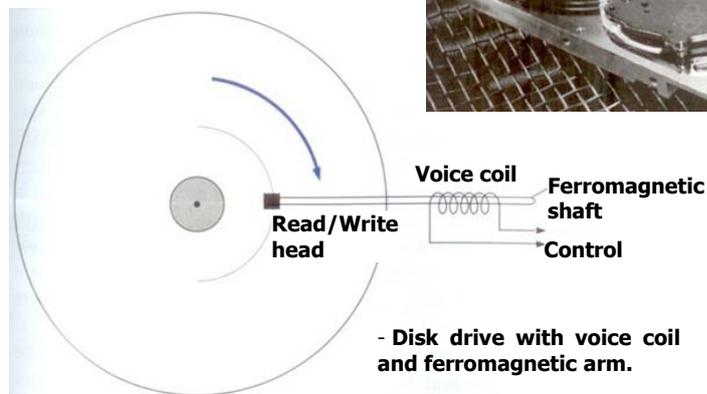


Circuit Theory I

Lecture 8-33

Computer Hard Disks

- A 3.5-in. hard disk drive with a capacity of 17.2 GB and an average search time of 9 ms.



From Boylestad, 460 -464 쪽

Circuit Theory I

Lecture 8-34

Writing

- Hard disk storage using a U-shaped electromagnet write head.

- track 또는 cylinder 라는 원형 패스에 기록.
- 미디어는 ferromagnetic 재료이고 이 위를 수십 nm 의 높이로 헤드가 날아가면서 기록.
- Areal density : 1950년대 2 kbits/in² , 현재 4 Gbits/in².
- 기록의 원리는 전류를 흘려서 자장을 만들어서 이 자장을 미디어에 기록하는 것이다.

From Boylestad, 460 -464 쪽

Circuit Theory I Lecture 8-35

Reading

- Reading the information off a hard disk using a U-shaped electromagnet.

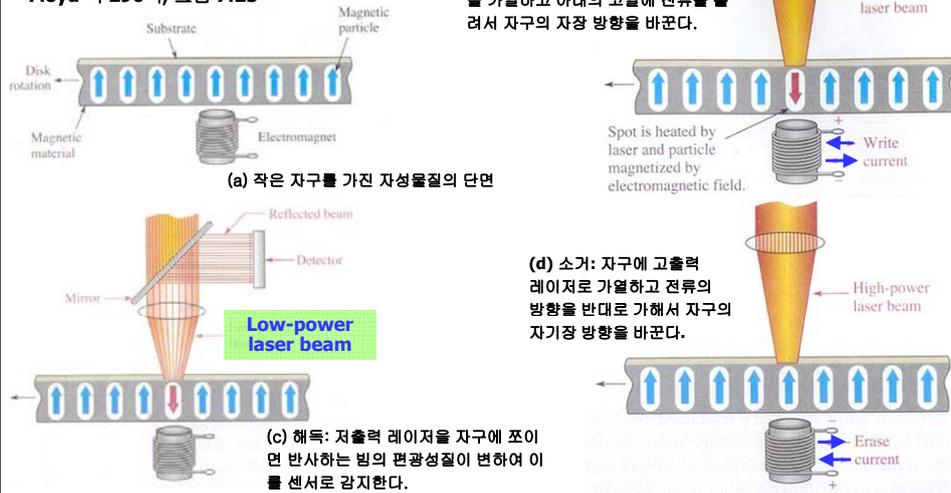
- Reading의 원리는 Faraday's law 이다.
- 자장의 변화가 있으면 전압이 발생한다. 변화하는 자장의 방향에 따라 전압의 부호가 결정.
- 1970년대에 들어오면서 IBM 사가 헤드를 thin film inductive head 로 제작.
- 크기를 2.5 mm x 0.5 mm 로 줄여서 seek time 을 100 ms 에서 6 - 8 ms 로 줄였다.
- 랩탑 PC의HDD 회전 속도는 3,600 rpm이고, 디스크 위의 높이는 127 nm, 중간 트랙의 선속도는 60 km/h 이다. 헤드는 디스크를 접촉하지 않는다.
- 최근에는 GMR(giant megneto resistive) head 를 사용.
- 저항의 변화에 따라 전압 변화, 300 V까지 발생. 기존의 2 - 3 배

From Boylestad, 460 -464 쪽

Circuit Theory I Lecture 8-36

Magneto-Optical Disks

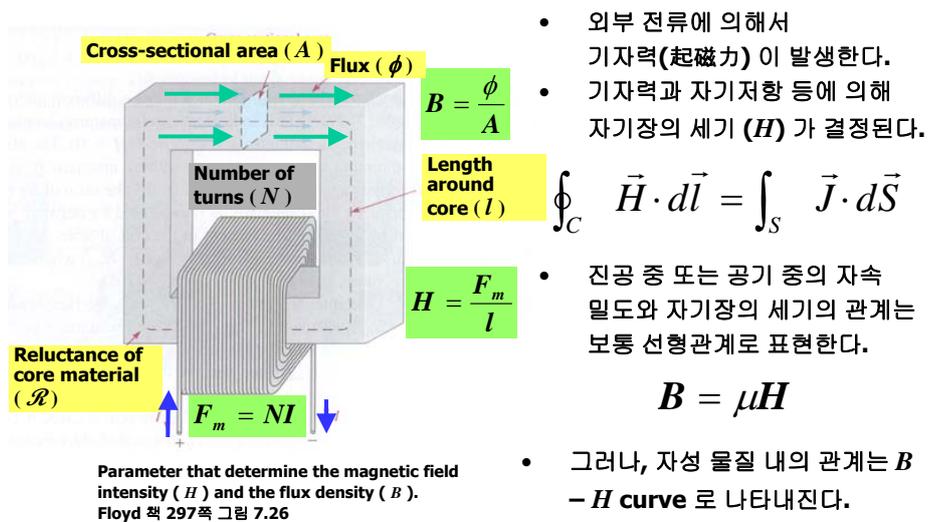
Basic concept of the magneto-optical disk.
Floyd 책 296쪽, 그림 7.25



Circuit Theory I

Lecture 8-37

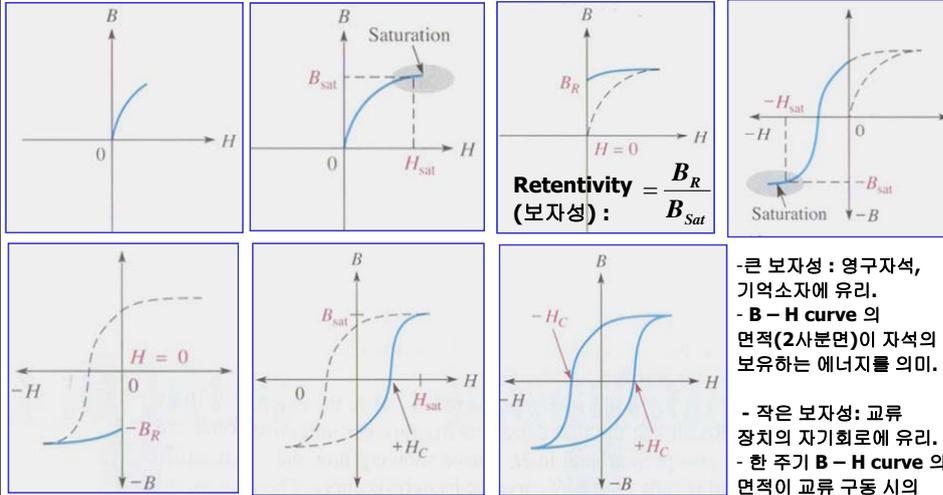
Magnetic Field Intensity



Circuit Theory I

Lecture 8-38

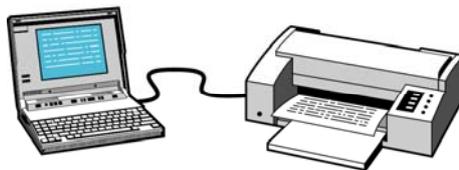
Magnetic Hysteresis



- 큰보자성 : 영구자석, 기억소자에 유리.
- B-H curve의 면적(2사분면)이 자석의 보유하는 에너지를 의미.
- 작은보자성: 교류 장치의 자기회로에 유리.
- 한 주기 B-H curve의 면적이 교류 구동 시의 에너지 손실을 의미.

Development of a magnetic hysteresis (B-H) curve. H_c (coercity) : 보자력
Floyd 책 298쪽 그림 7.27

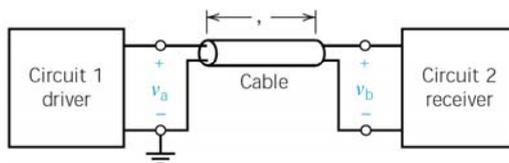
Delay between Computer and Printer (I)



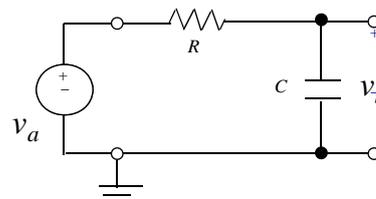
(a) A printer Connected to a laptop computer

- Computer와 printer사이의 신호 전달 회로는 그림(b)와 같이 볼 수 있다.
- 신호는 RG58 동축 케이블과 같은 신호 선으로 전달되며 이는 RC회로로 볼 수 있다.

- 예를 들면 $R = r \cdot L$, $r = 0.54 \Omega/m$
 $C = c \cdot L$, $c = 88 \text{ pF/m}$



(b) Two circuits connected by a cable

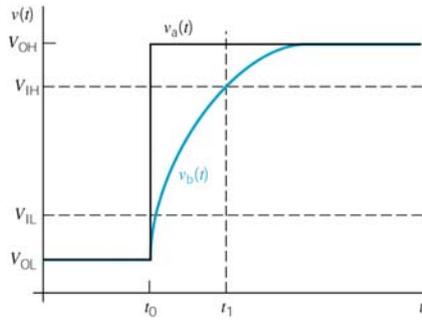


(c) An equivalent circuits

Delay between Computer and Printer (II)

- 이 회로를 디지털 회로라고 하면 v_a 는 TTL (transistor-transistor logic) 회로에서는 $2.4 \text{ V}(V_{OH} \text{ '1'})$ 와 $0.4 \text{ V}(V_{OL} \text{ '0'})$ 로 전압이 바뀐다.

- 이에 따라 v_b 는 그림과 같이 지수 함수적으로 바뀌는데 v_b 는 $2.0 \text{ V}(V_{IH})$ 이상이면 '1'로, $0.8 \text{ V}(V_{IL})$ 이하이면 '0'으로 본다. v_b 가 0.8 V 에서 2.0 V 일 때에는 '0'일 수도, '1'일 수도 있다.



- 그림에서 v_b 는 t_1 이후에 '1'이 되므로 v_a 가 스위칭한 시간 t_0 로부터 t_1 까지는 디지털 회로의 지연시간에 해당한다.

$$\Delta t = t_1 - t_0$$

- 그러면, RG58 동축케이블을 사용해서 지연시간을 2 ns 이하로 하려면 케이블의 길이를 얼마로 해야 하는가?

Voltage that occur during a transition from a logic 0 to a logic 1.

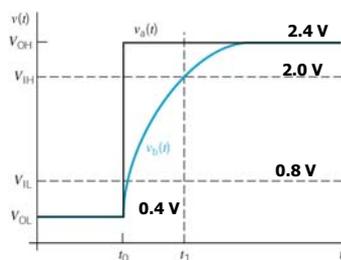
Delay between Computer and Printer (III)

- 시정수 $\tau = RC = 0.54 \cdot \ell \times 88 \times 10^{-12} \cdot \ell = 47.52 \ell^2 \times 10^{-12}$

- 전압 $v_b(t) = V_{OH} + (V_{OL} - V_{OH})e^{-(t-t_0)/\tau}$

- Δt 시간 이후의 전압은 V_{IH}

$$V_{IH} = V_{OH} + (V_{OL} - V_{OH})e^{-\Delta t/\tau}$$



Voltage that occur during a transition from a logic 0 to a logic 1.

$$(V_{IH} - V_{OH}) / (V_{OL} - V_{OH}) = e^{-\Delta t/\tau}$$

$$\ln[(V_{IH} - V_{OH}) / (V_{OL} - V_{OH})] = -\Delta t / \tau$$

$$\tau = \frac{-\Delta t}{\ln[(V_{IH} - V_{OH}) / (V_{OL} - V_{OH})]}$$

$$47.52 \ell^2 \times 10^{-12} = \frac{-2 \times 10^{-9}}{\ln[(2.0 - 2.4) / (0.4 - 2.4)]}$$

$$\ell = 5.11 \text{ m}$$

