

電子デバイス

Electron Devices

資料（５）

Kazuya Masu

Director, ICE Cube Center
Solutions Research Laboratory
Precision and Intelligence Laboratory
Dept. Electronics and Applied Physics

益 一 哉

異種機能集積研究センター
ソリューション研究機構
精密工学研究所
大学院・物理電子システム創造専攻

Tel & Fax: 045-924-5022 Email: masu@ieee.org,
<http://masu-www.pi.titech.ac.jp/~masu/index-j.html>

- チャネル走行時間

- $\tau_{ch} = \frac{\text{Channel length } L}{\text{Drift velocity: } v_{drift} = \mu E} \leq \frac{L}{\text{Saturation velocity: } v_{sat}}$

- $f_{ch} = \frac{1}{2\pi\tau_{ch}} \leq \frac{v_{sat}}{2\pi L}$

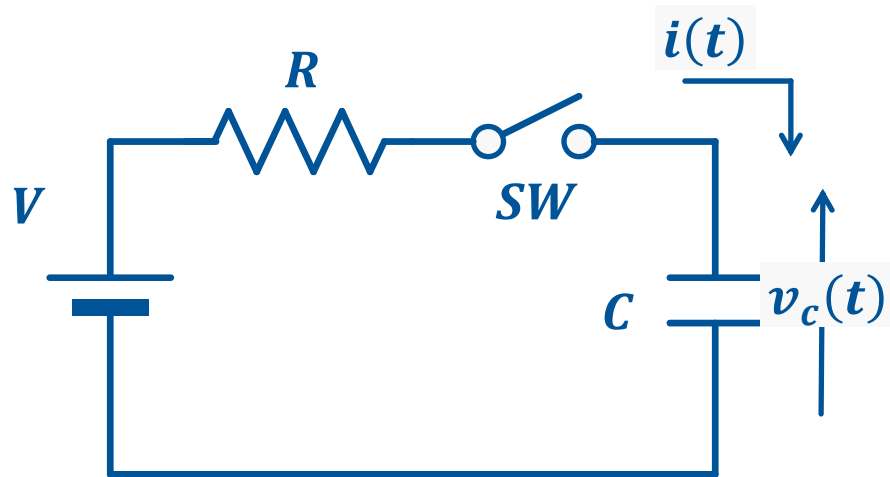
- 遮断周波数 f_h

- 最大発振周波数 f_{max}

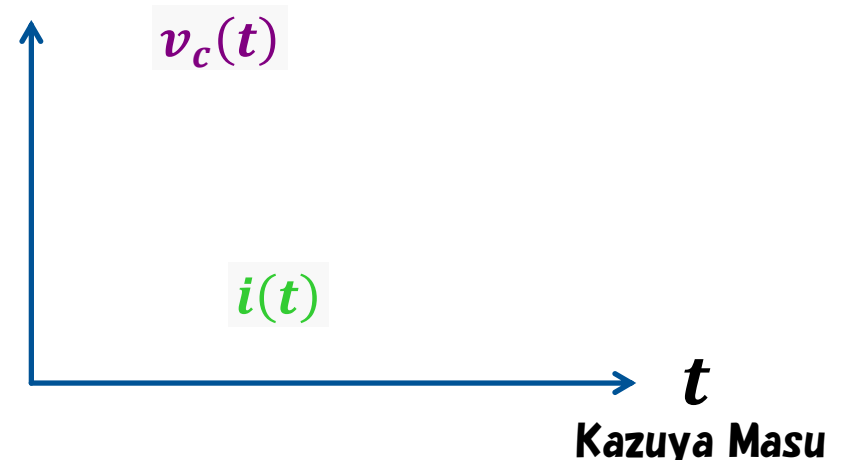
RC回路の充放電(1)

3

TOKYO TECH
Pursuing Excellence



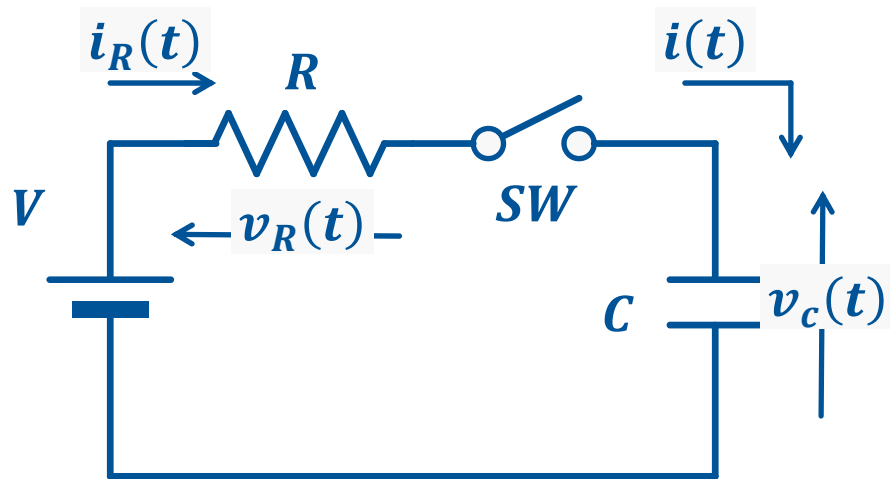
- 電流、電圧は、
- コンデンサで消費されるで電力、積分してエネルギー
- コンデンサ C に電源 V を接続したとき、コンデンサには、の電荷が蓄えられる。
- また、電源 V のした仕事 W は、である。
- 半分？



RC回路の充放電(2)

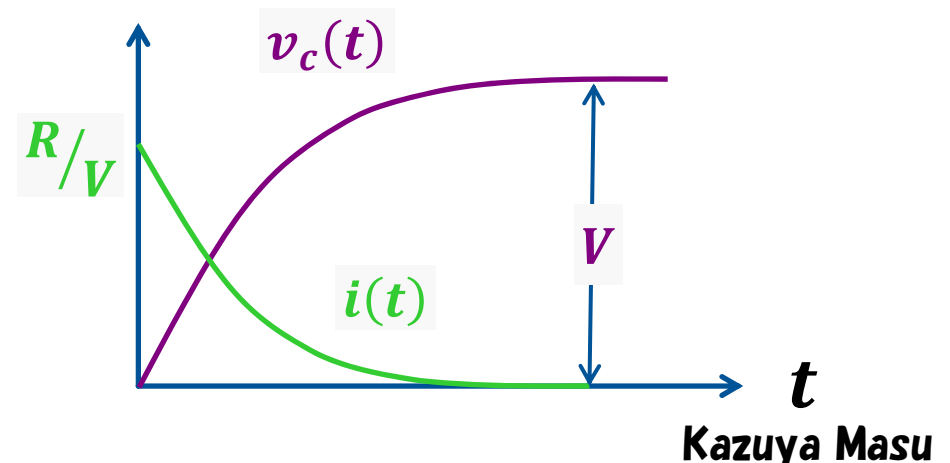
4

TOKYO TECH
Pursuing Excellence



- 電源は $W = QV$ の仕事をする。(電源から $W = QV$ のエネルギーが供給)

- 抵抗の電流、電圧は、
- 抵抗で消費されるエネルギー

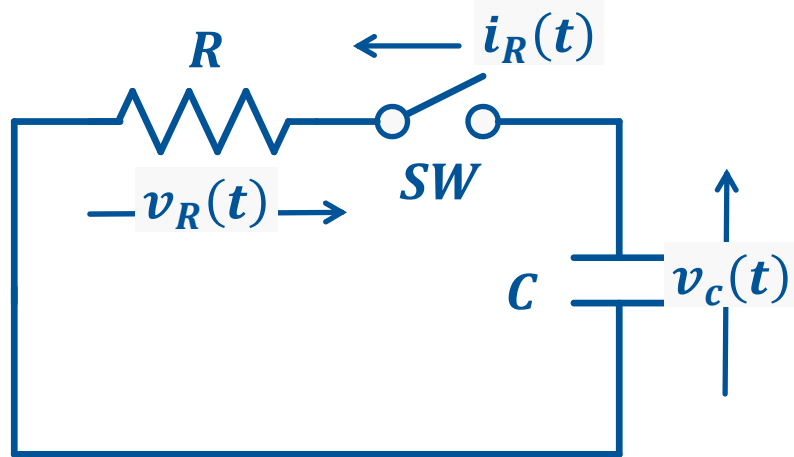


Kazuya Masu

RC回路の充放電(3)

5

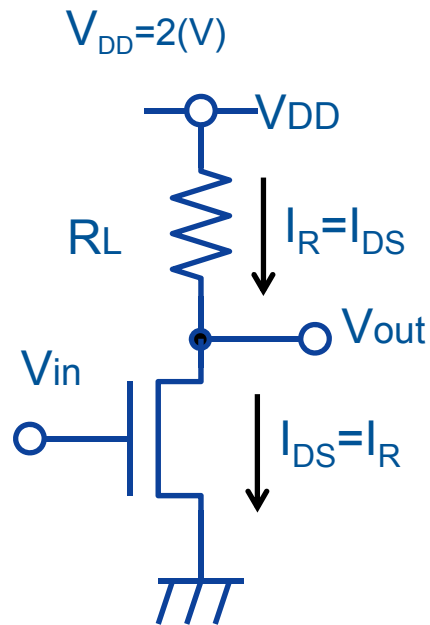
TOKYO TECH
Pursuing Excellence



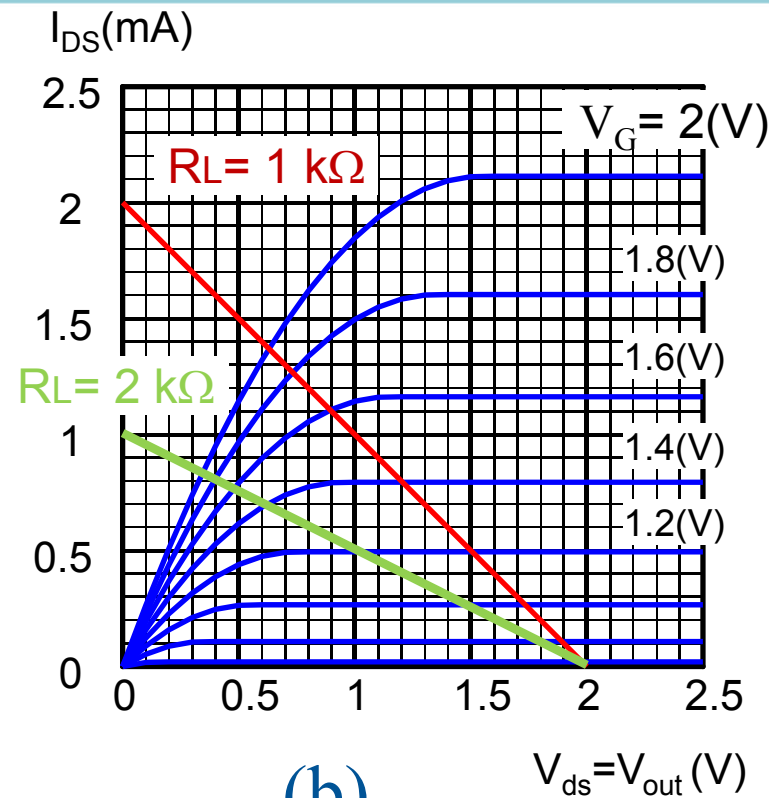
- 電流、電圧は、

- コンデンサ C に $Q = CV$ の電荷が蓄えられるとする。
 $t = 0$ で SW を on すると、蓄えられた電荷は抵抗を通じて放電する。
- また、電源 V のした仕事 W は、 $W = QV$ である。

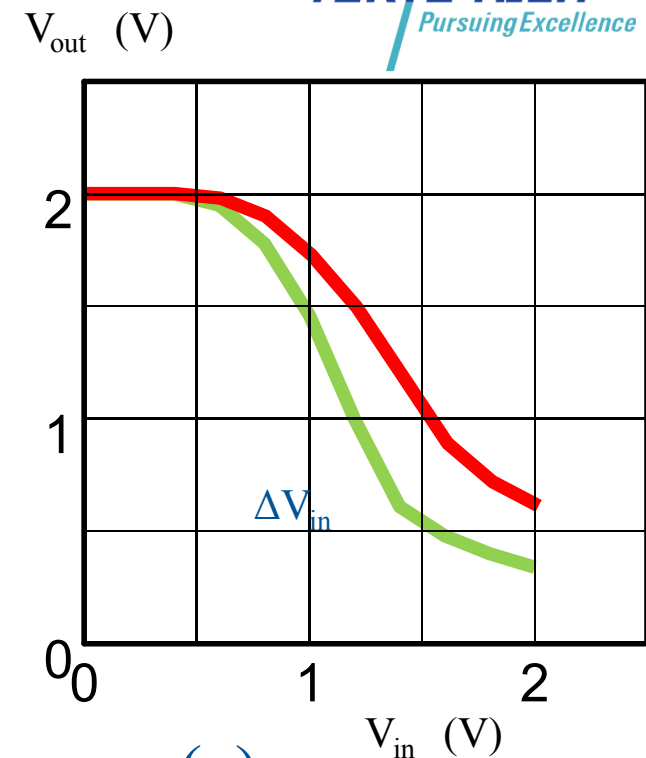
MOSFET回路



(a)



(b)



(c)

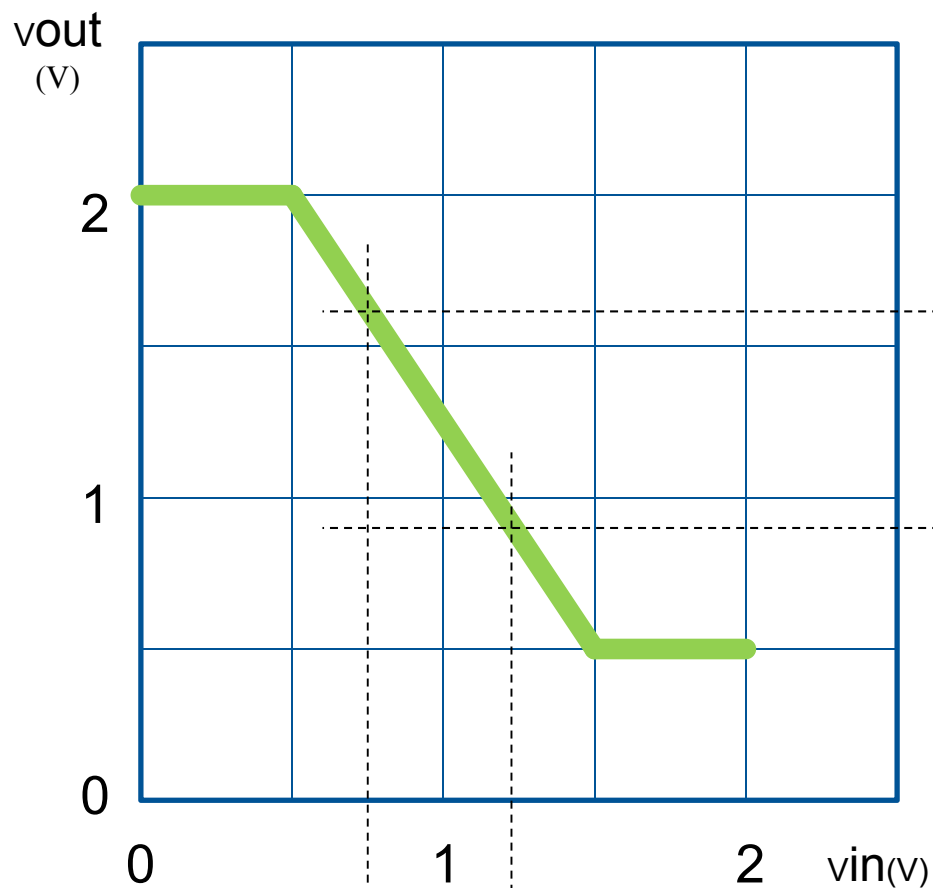
- $R_L = 2(k\Omega)$ はどうなるか？
- Gain (増幅率) = $\Delta V_{out} / \Delta V_{in}$

アナログ回路(増幅器)の動作

Handout

7

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

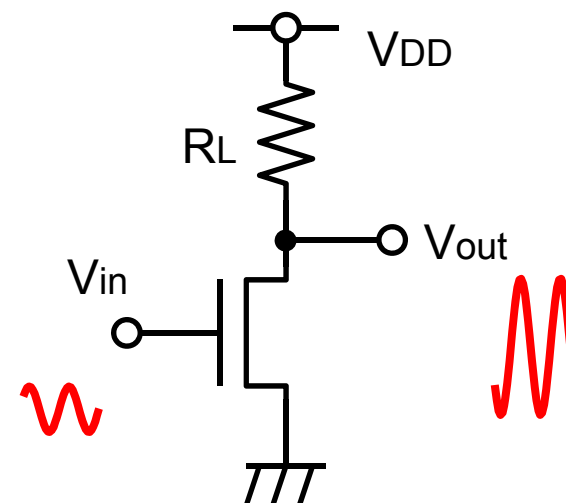


時間

振幅

振幅

時間

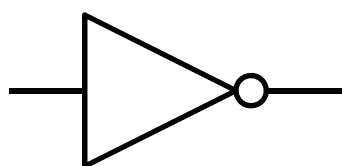
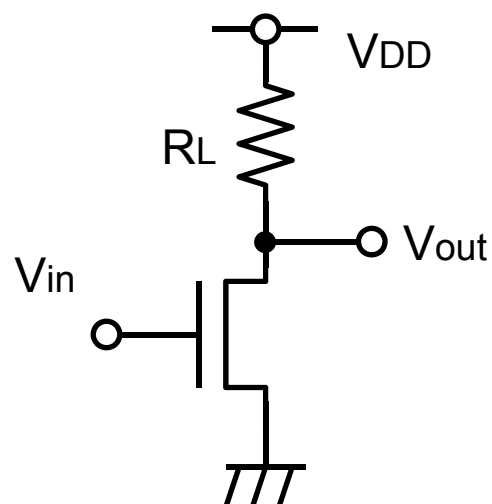


Kazuya Masu

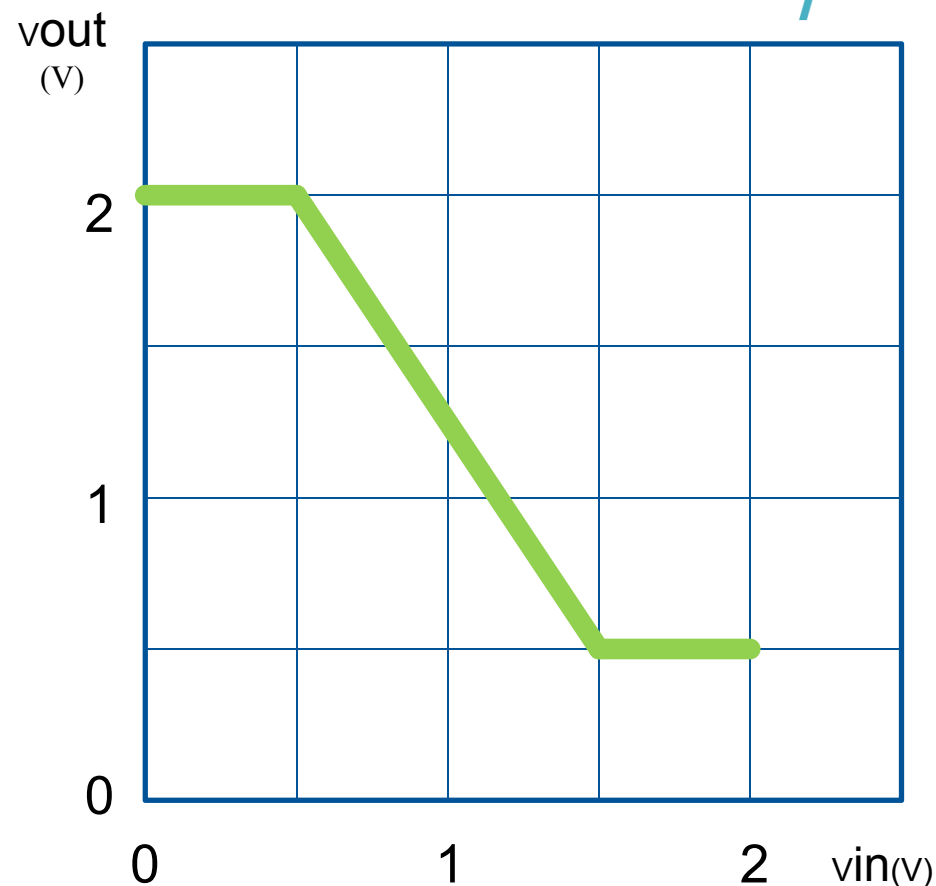
デジタル論理回路(inverter 反転器)

8

TOKYO TECH
Pursuing Excellence



回路記号

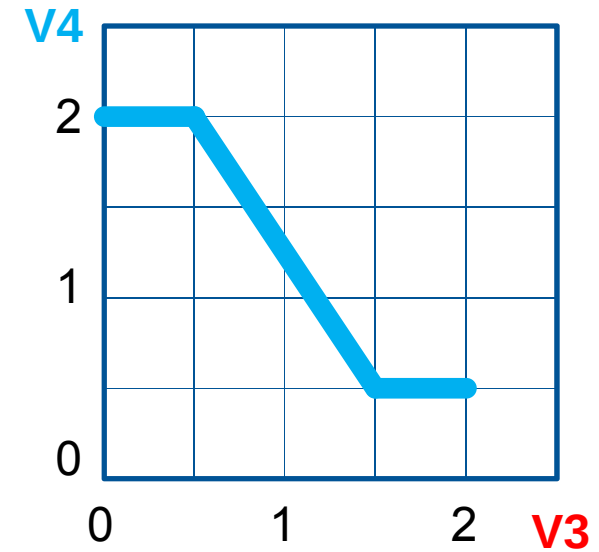
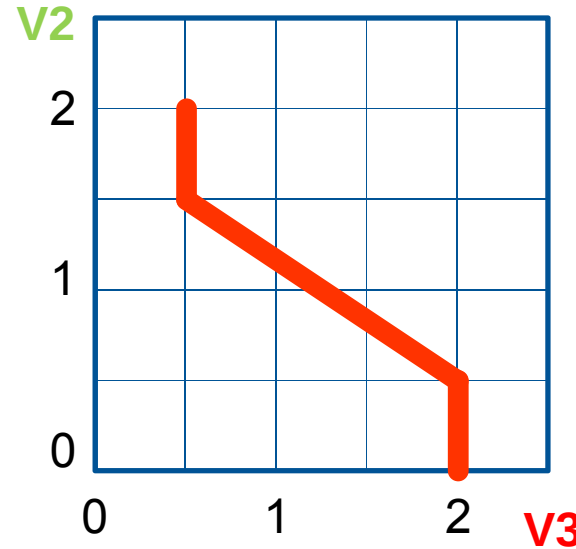
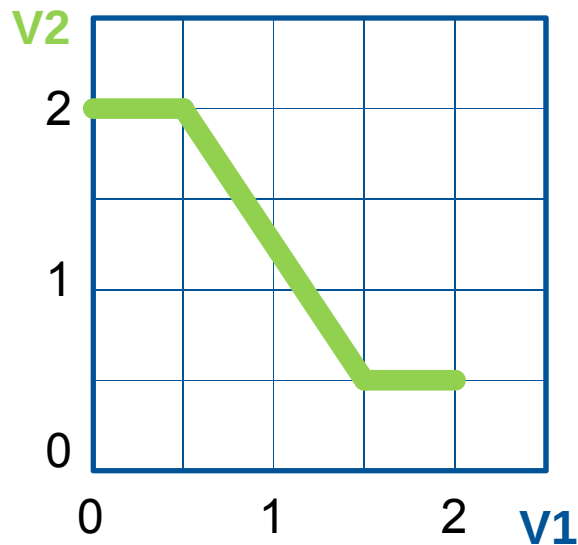
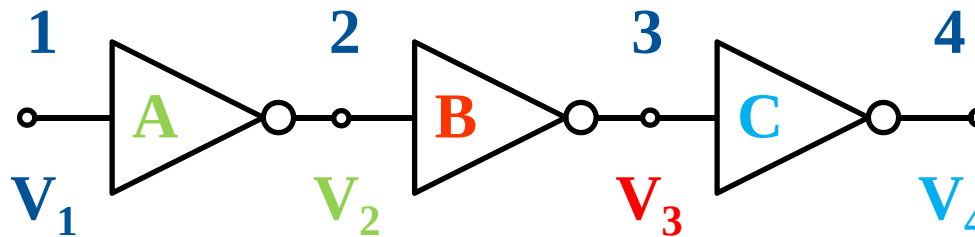


- V_{in} は、0または V_{DD} (=2 volts)
- V_{out} は、 V_{DD} または $0+\alpha$ (今の場合、0.5volts)

Inverter chain

9

TOKYO TECH
Pursuing Excellence



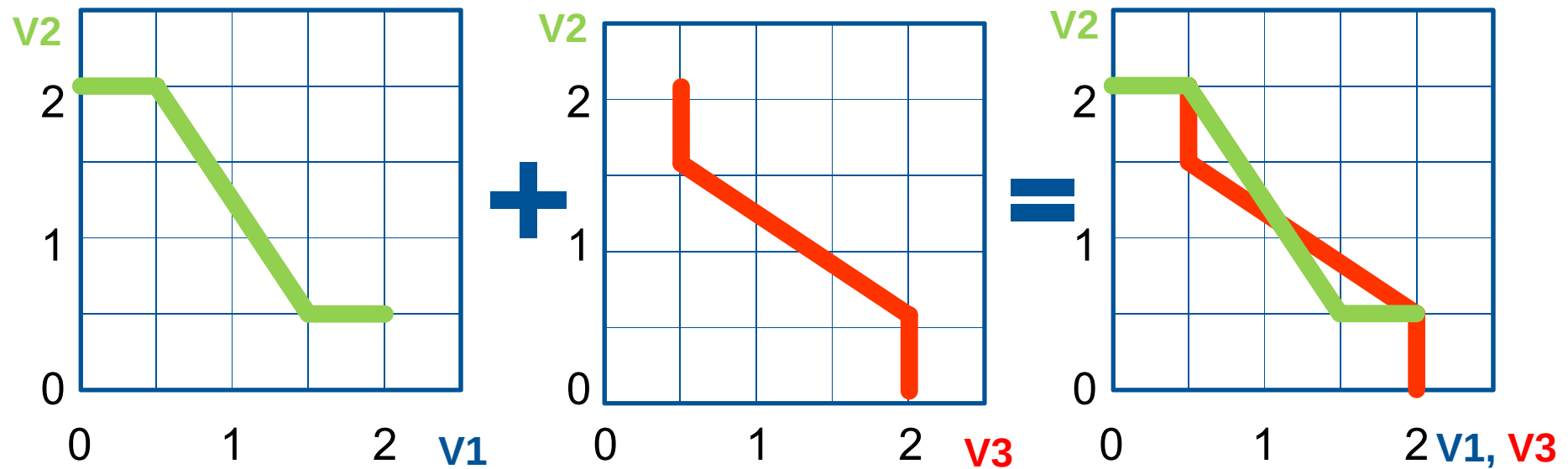
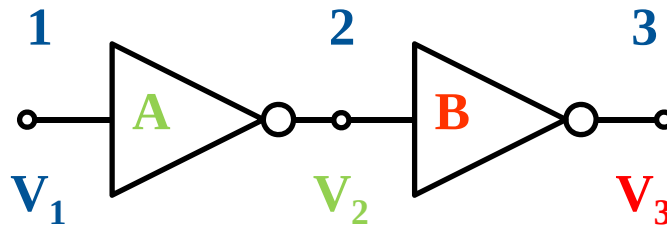
- $V_1 = 0(V) \rightarrow V_2 = 2(V) \rightarrow V_3 = 0.5(V) \rightarrow V_4 = 2(V)$
- $V_1 = 2(V) \rightarrow V_2 = 0.5(V) \rightarrow V_3 = 2(V) \rightarrow V_4 = 0.5(V)$
- High $\rightarrow$ Low $\rightarrow$ High $\rightarrow$ Low $\rightarrow$ High $\rightarrow$ Low $\rightarrow \dots$

Kazuya Masu

Inverter chain

10

TOKYO TECH
Pursuing Excellence



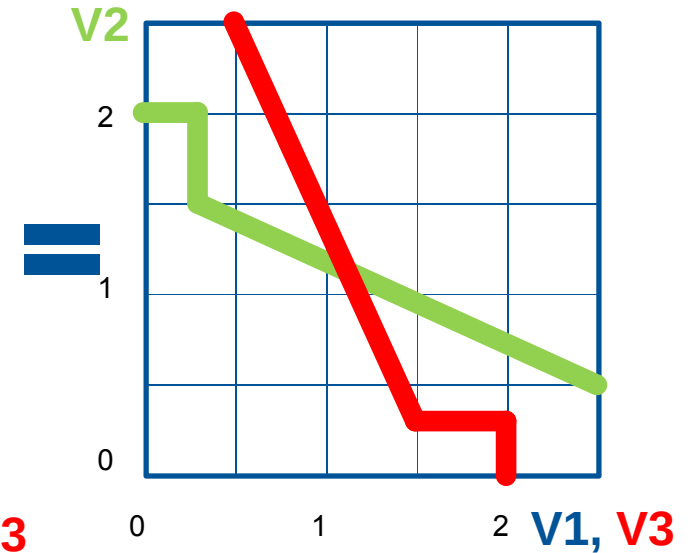
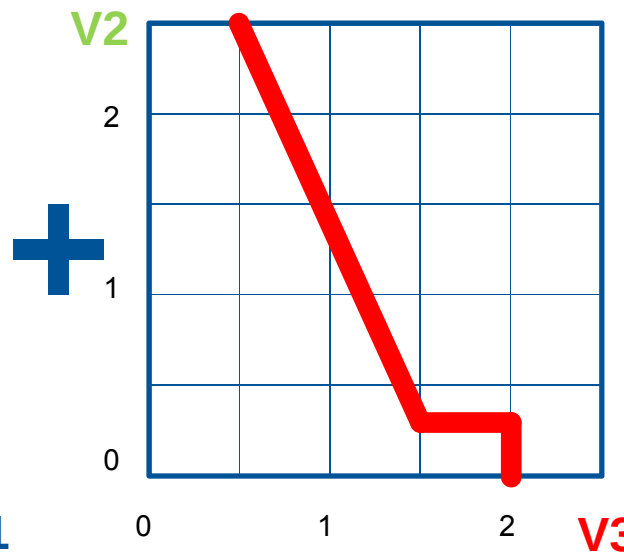
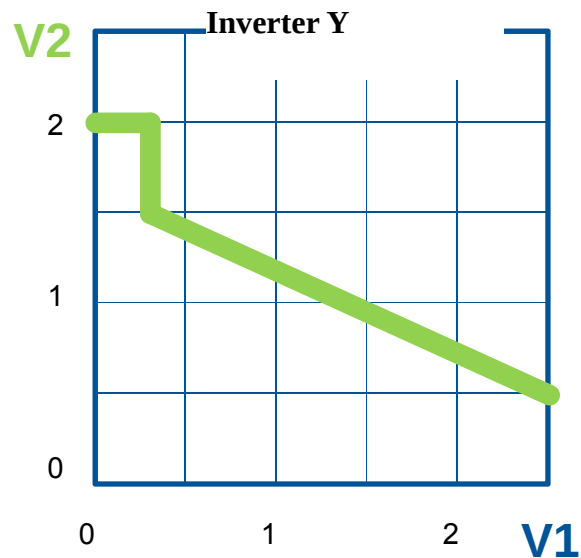
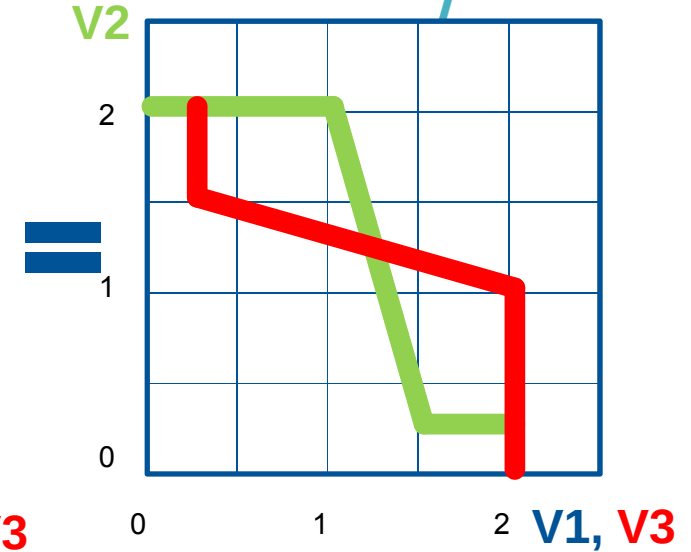
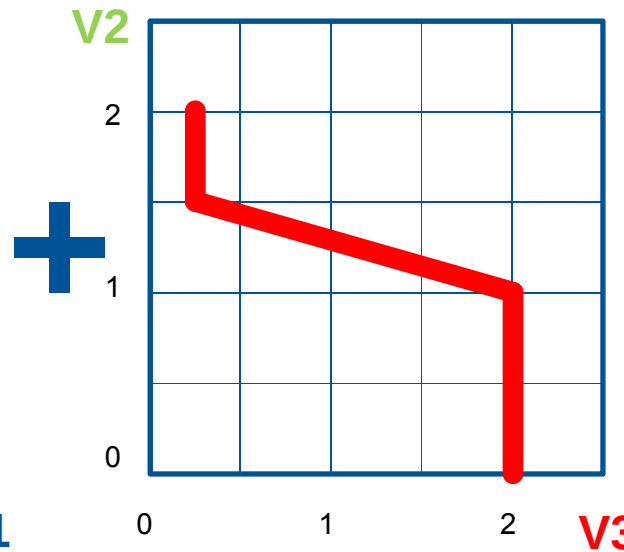
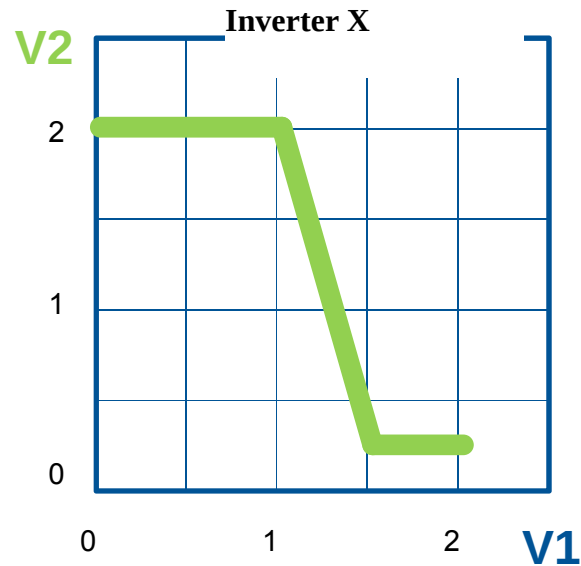
●眼鏡カーブから何がわかる？

Inverter chain

Handout

11

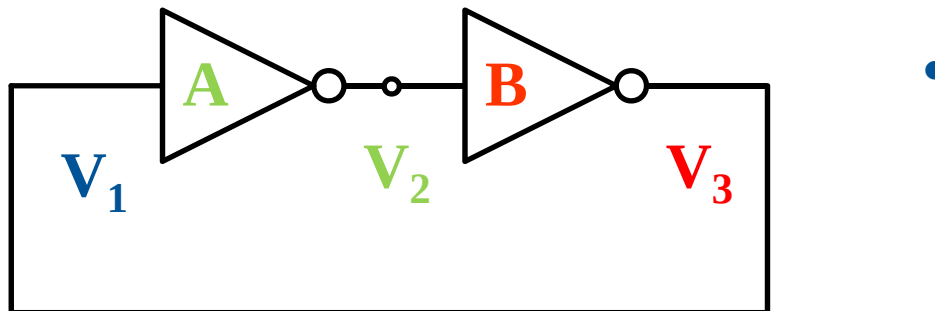
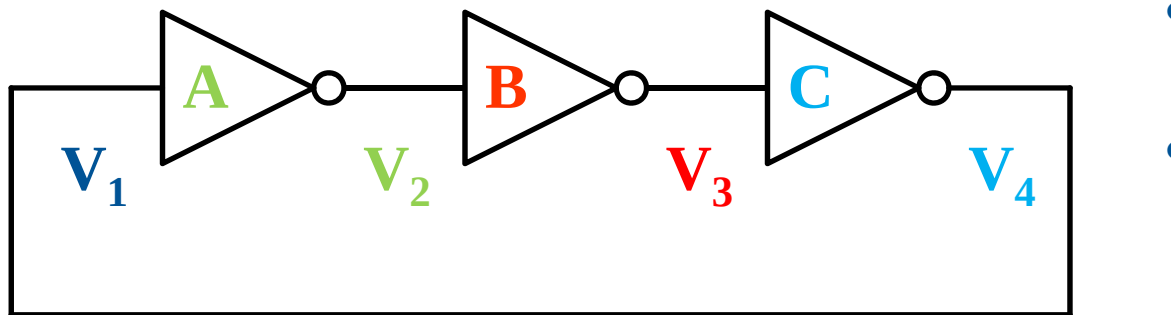
TOKYO TECH
Pursuing Excellence



Kazuya Masu

- Inverter X及びYで、inverter chainを作る。
 1. 一段目に、1.75(V)の電圧を加えたときの2段目以降の出力電圧($V_2, V_3, V_4, \dots$)を求めよ。
 2. Inverterがinverterとして動作するためにgainが備える条件は？
- 上記(1)(2)について電子メールで解答を送付すること。添付ファイル不可。テキストのみで回答すること。
- 締切: 平成24年6月4日(月)正午まで
- Subject欄に「★電子デバイス(b)宿題・5月29日出題」と書く。
- メールには、学籍番号、氏名を記載のこと。

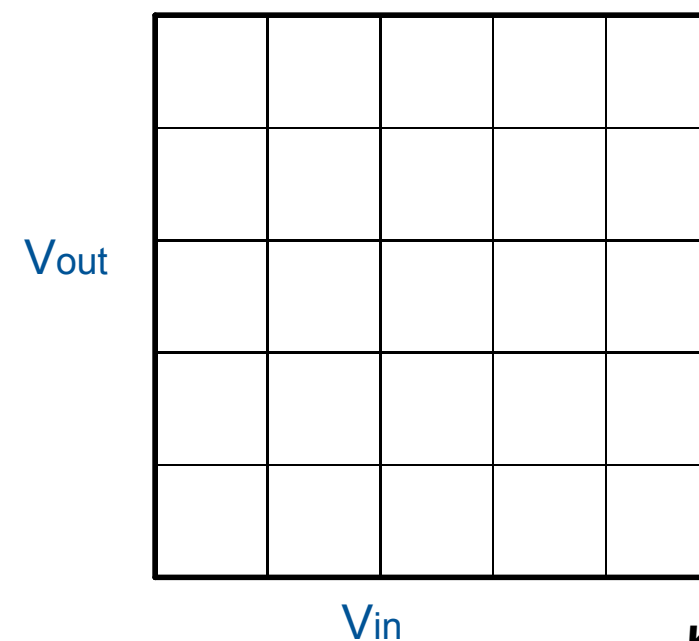
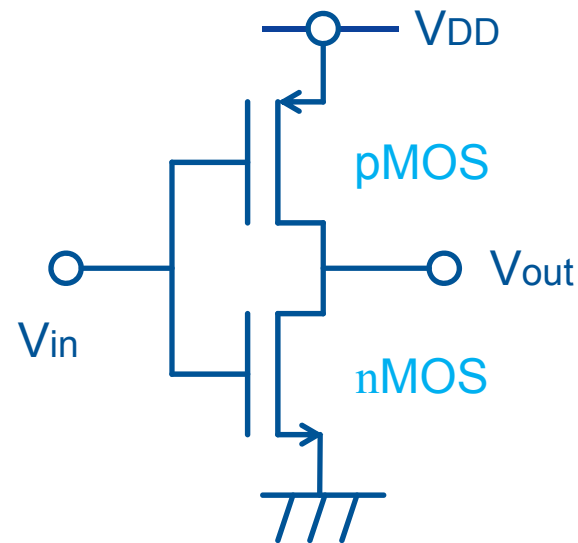
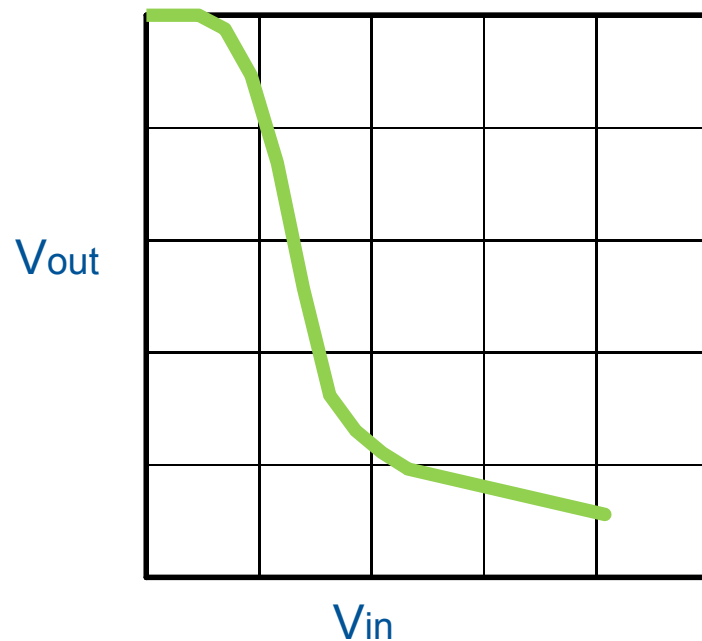
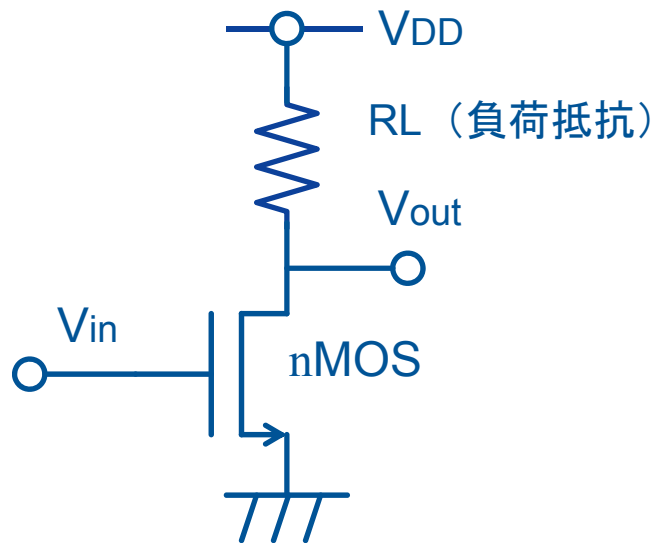
● どのような動作をするだろうか？



CMOS (Complementary MOS) 相補形

14

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

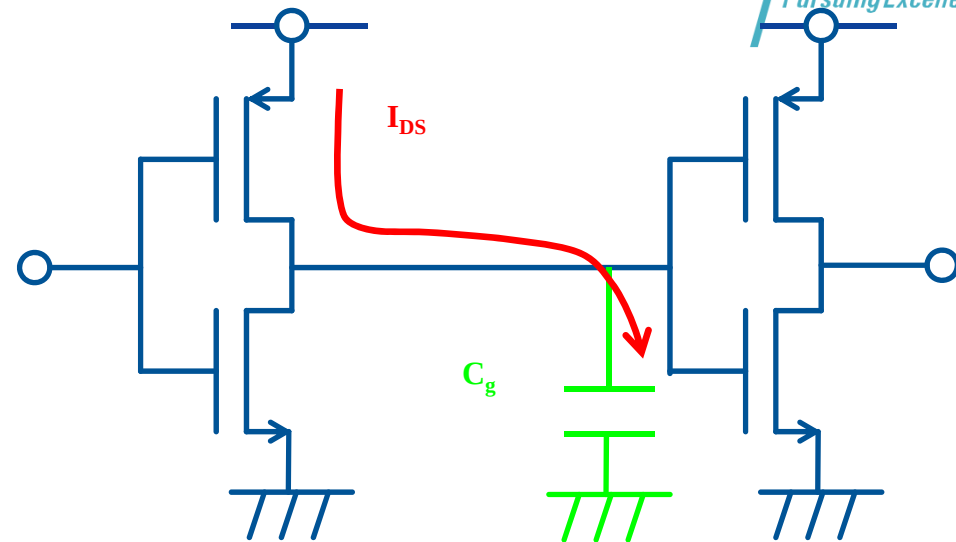
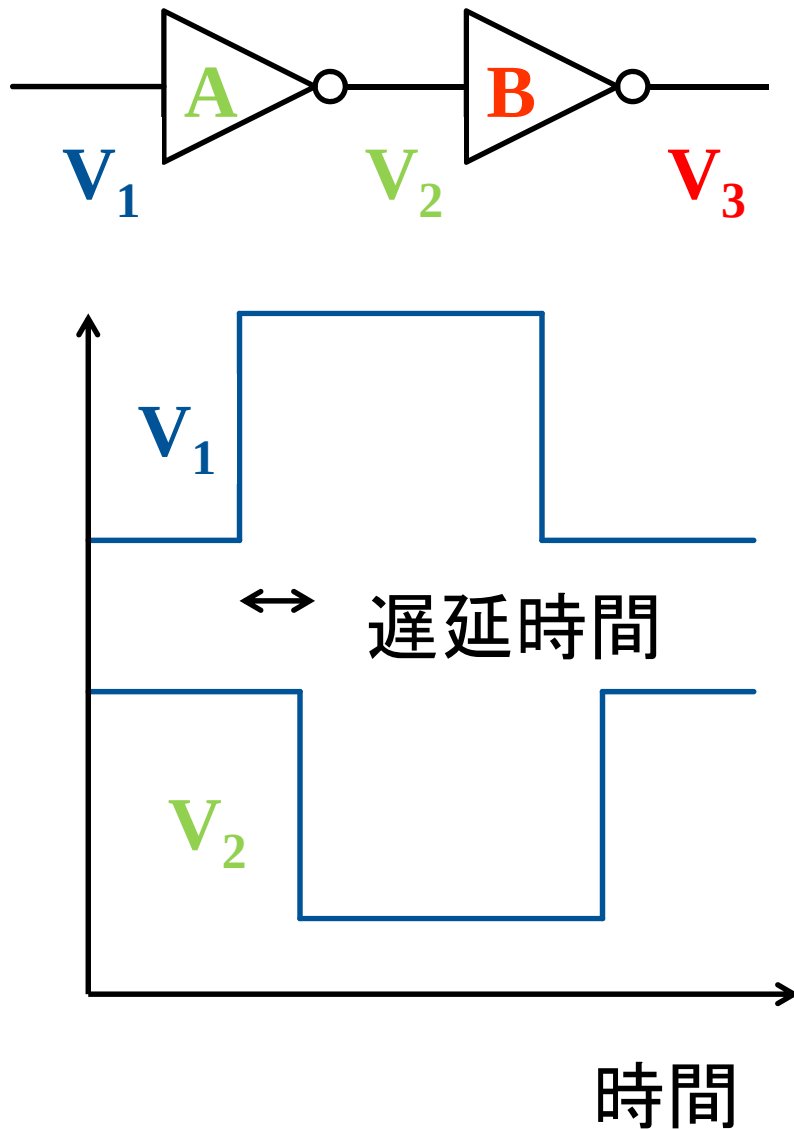


- 実質的に負荷抵抗が大きい。
Gainが大きい
- 対称性が良い。
- 貫通電流が流れない。(低消費電力)

Inverter chain

Handout

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

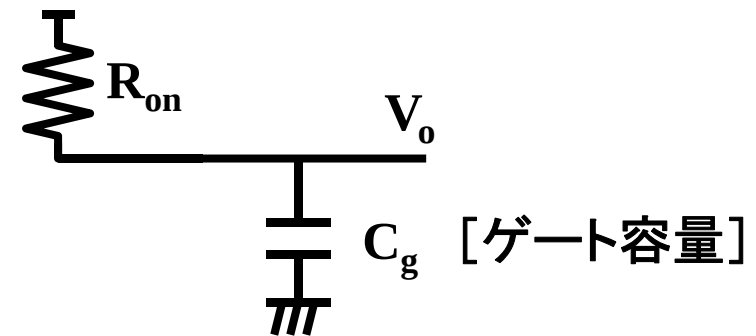
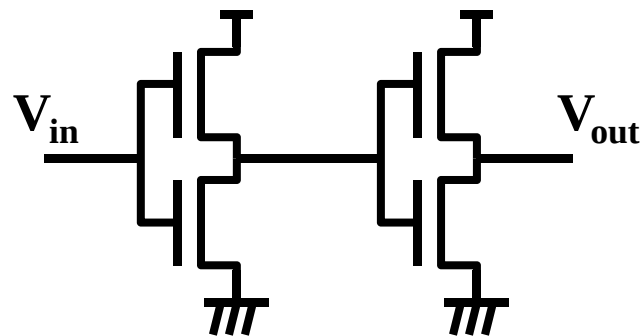


- 遅延時間: 次段のゲート容量を充電 (放電) する時間
- 消費電力 (充放電電力)

Switching Speed of MOS Circuit

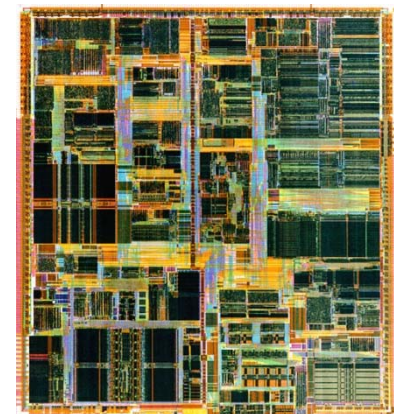
16

TOKYO TECH
Pursuing Excellence



$$\tau = R_{on} C_g \Rightarrow \tau_{gate} \text{ (ゲートの遅延時間)}$$

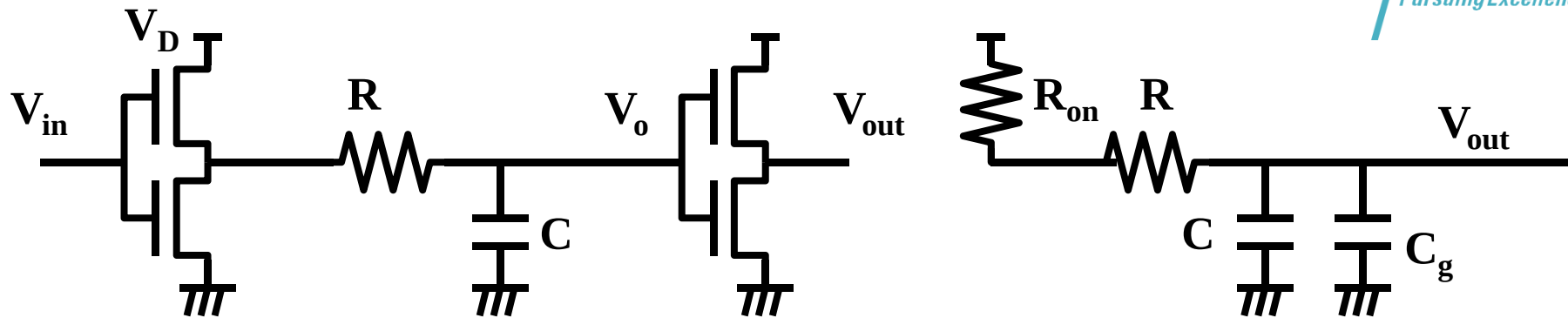
$$R_{on} = V / I_D \quad \Rightarrow \quad CV / I \quad \text{Intrinsic delay}$$



Switching Speed of MOS Circuit

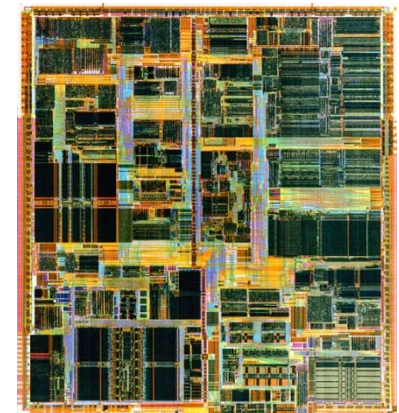
17

TOKYO TECH
Pursuing Excellence



$$\begin{aligned}\tau &= (R_{on} + R)(C + C_g) \\ &\approx R_{on}C_g + RC \\ &= \tau_{gate} + \tau_{line}\end{aligned}$$

グローバル配線では、
配線遅延が支配的
配線遅延を小さくすることが
大きな課題



Kazuya Masu