

# 3進CPUを自作する！！！！

きっちー@rikeden\_net

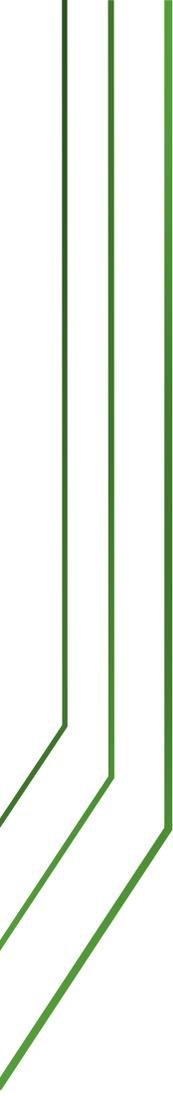
2024/6/2 自作CPUを語る会

# Index

- はじめに
- 平衡3進数を布教したい
- 3進NANDは実は簡単
- 3進加算器の工夫を語りたい
- フリップフラップフロップ!
- 1trist手動制御CPUを作りました

## はじめに

- 現在の進捗：3進回路の各種コンポーネントを製作中
- 3trit手動制御CPU基板を1週間前に発注(明日到着予定)
- 1trit版をユニバーサル基板で作ったので後で見てください 🙏



# なぜ3進？

どんな自作CPUがあるか？

FPGA、ロジックIC、NAND、リレー etc.

→材料に違いはあれど全部2進(一部4進?)

じゃあ3進のCPUを作ろう！

# Index

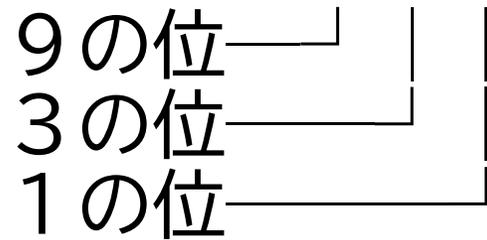
- はじめに
- 平衡3進数を布教したい
- 3進NANDは実は簡単
- 3進加算器の工夫を語りたい
- フリップフラップフロップ!
- 1trist手動制御CPUを作りました

## 3進数にも種類がある

- 普通の3進数（0, 1, 2 の3文字を使用）

$$201_{(3)} = 2 \times 9 + 0 \times 3 + 1 \times 1 = 19$$

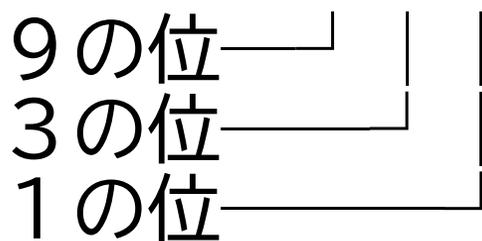
9の位  
3の位  
1の位



## 3進数にも種類がある

- 平衡3進数 (0, 1, **-1** の3文字を使用)  
-1を#と表記( $\bar{1}$ が一般的)

$$1 \# 0_{(3)} = 1 \times 9 + (-1) \times 3 + 0 \times 1 = 6$$



# 各記数法の比較

10進数	3進数	平衡3進数
0	0	0
1	1	1
2	2	1#
3	10	10
4	11	11
5	12	1##
6	20	1#0
7	21	1#1
8	22	10#
9	100	100

# 各記数法の比較(負数)

10進数 符号付き絶対値	3進数 3の補数(4桁)	平衡3進数
-0	0000	0
-1	2222	#
-2	2221	#1
-3	2220	#0
-4	2212	##
-5	2211	#11
-6	2210	#10
-7	2202	#1#
-8	2201	#01
-9	2200	#00

# 平衡3進数のメリット

- 負数を”自然に”表現できる
- 表現できる数の範囲が対称  
例. 3桁なら  $-13 \sim 13$  の27種類
- 各桁の反転が符号反転になる
- 最上位の値で符号(正負とゼロ)が分かる
- 切り捨てが丸めになる

# Index

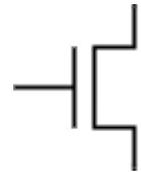
- はじめに
- 平衡3進数を布教したい
- 3進NANDは実は簡単
- 3進加算器の工夫を語りたい
- フリップフラップフロップ!
- 1trist手動制御CPUを作りました

# NAND(バイナリ)

- CMOS(nMOS + pMOS)でのNANDの構成図

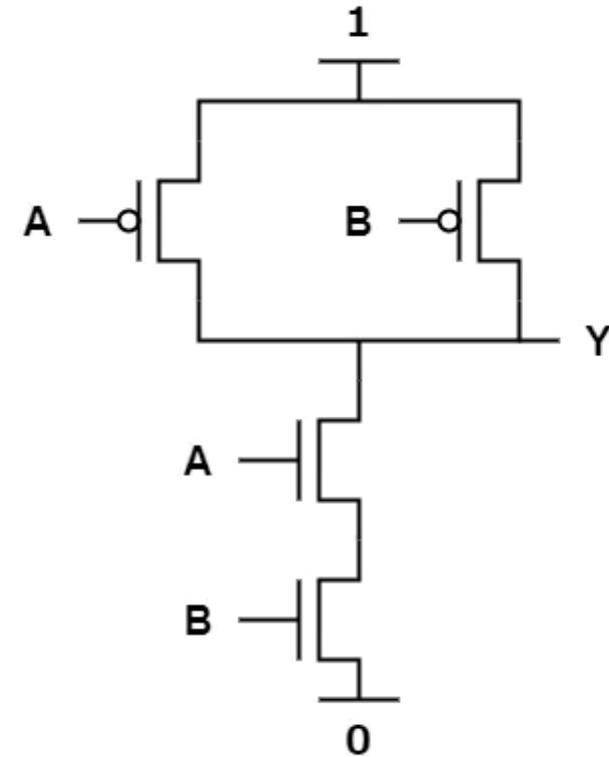
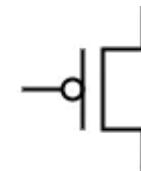
- nMOS

- 0を伝達
- 1でON



- pMOS

- 1を伝達
- 0でON



NAND	0	1
0	1	1
1	1	0

# NANDを3進数に拡張

- AND を MIN に一般化
- $\text{NAND}(A, B) = \sim \text{MIN}(A, B)$

NAND	-1	0	1
-1	1	1	1
0	1	0	0
1	1	0	-1

# NANDを3進数に拡張

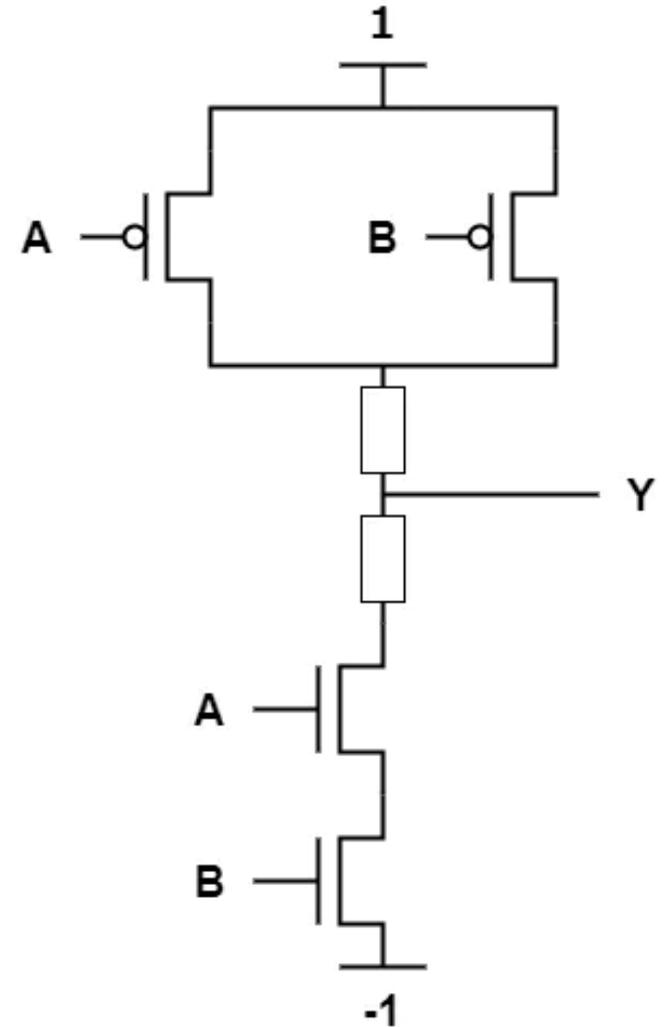
- CMOSでどうやって実現するか？

NAND	-1	0	1
-1	1	1	1
0	1	0	0
1	1	0	-1

# NANDを3進数に拡張

- CMOSでどうやって実現するか？
- 抵抗を2個追加すればOK!!!

NAND	-1	0	1
-1	1	1	1
0	1	0	0
1	1	0	-1



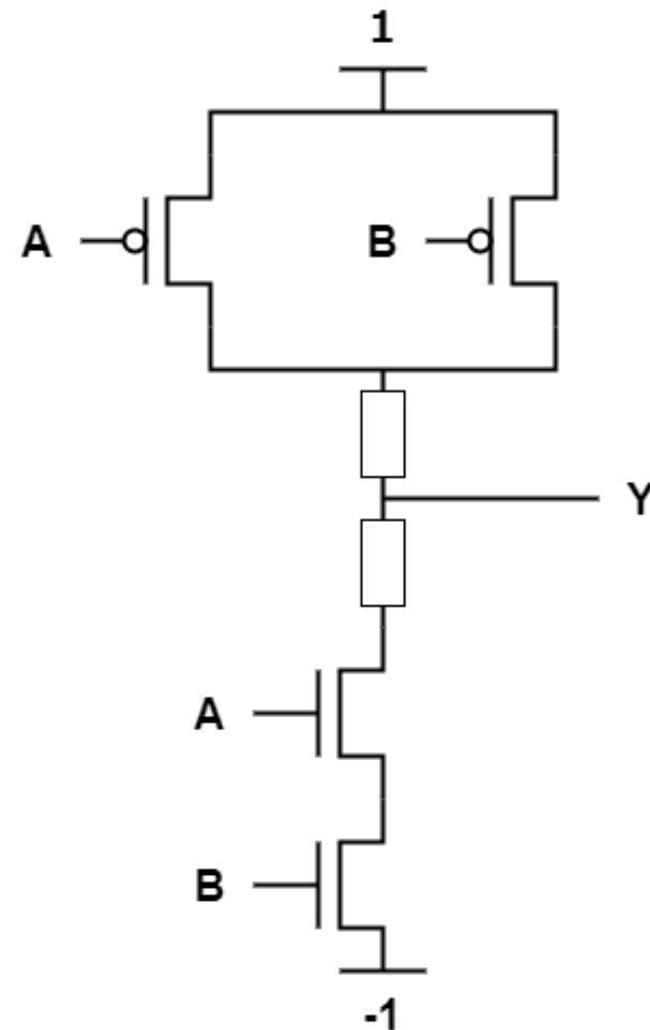
# NANDを3進数に拡張

- nMOS
  - -1を伝達
  - 0, 1でON
- pMOS
  - 1を伝達
  - 0, -1でON

- 1と-1の一方のみON  
→ その値

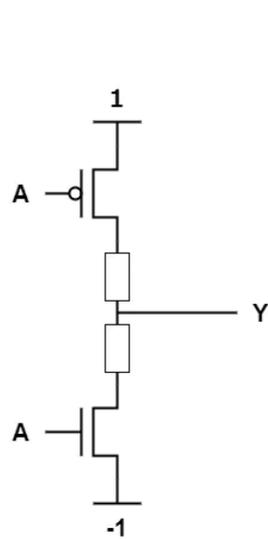
- 両方ON  
→ 抵抗で分圧されて0を出力

NAND	-1	0	1
-1	1	1	1
0	1	0	0
1	1	0	-1

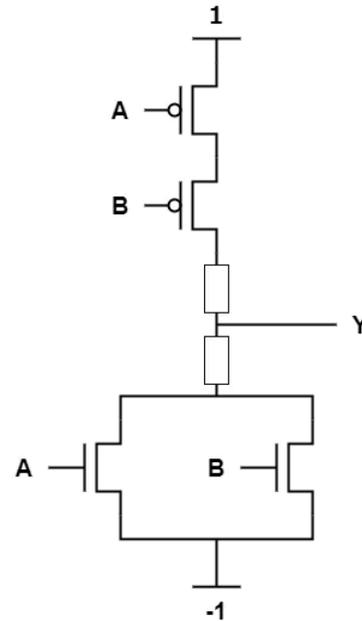


# CMOS + 抵抗の構成の特徴

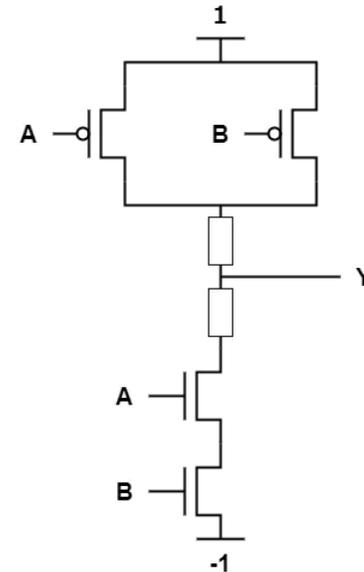
- 😊 NOT, NAND, NOR がバイナリと同じ構成で作れる
- 🤔 出力に抵抗(10k)を介するので出カインピーダンスが大きい
- 🤔 静的な電力消費がある



NOT



NOR



NAND

# Index

- はじめに
- 平衡3進数を布教したい
- 3進NANDは実は簡単
- 3進加算器の工夫を語りたい
- フリップフラップフロップ!
- 1trist手動制御CPUを作りました

# 平衡3進数の加算

- 平衡3進数1桁(-1~1)同士の加算  $\rightarrow -2 \sim 2$

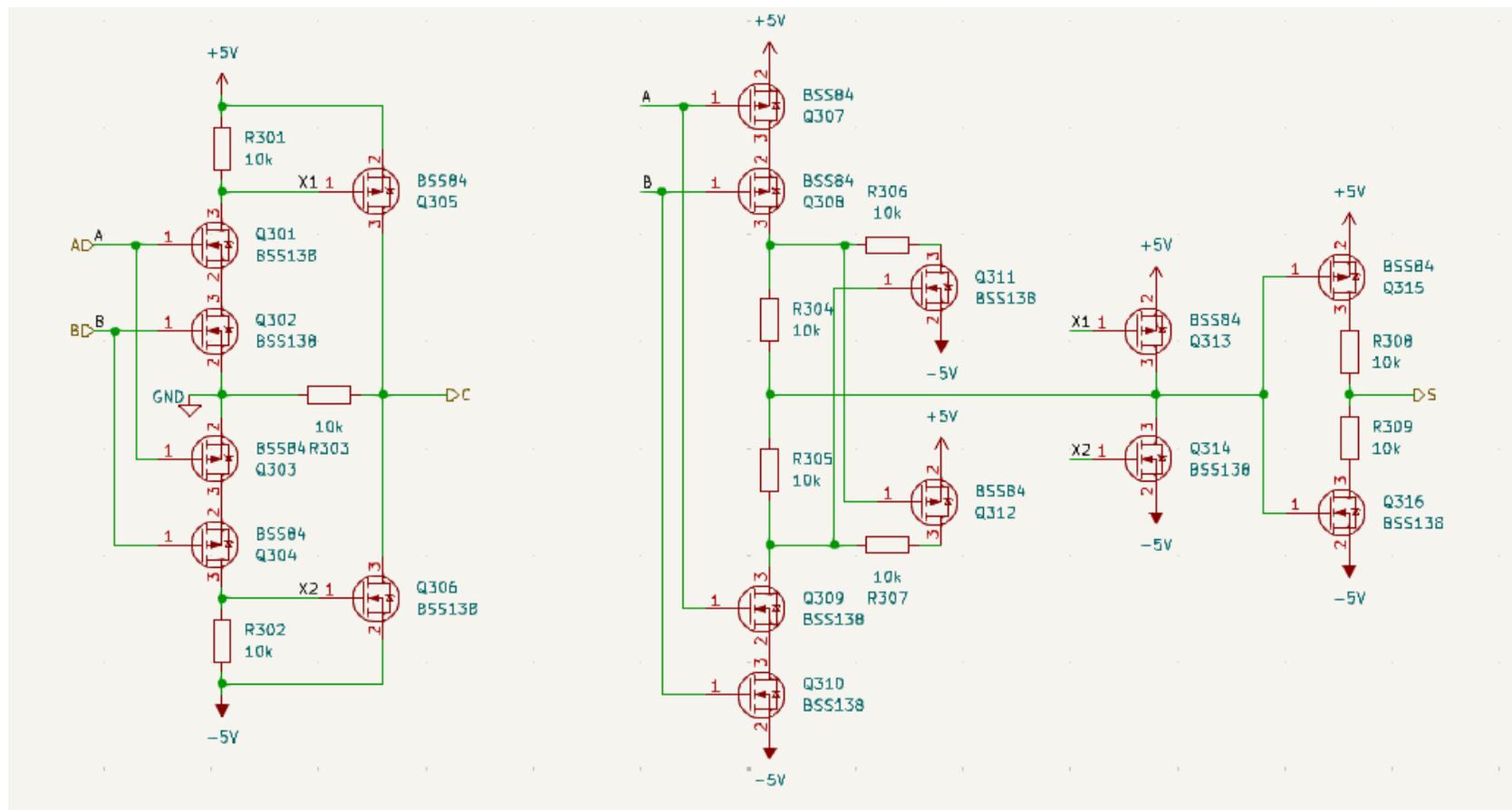
10進	3進
2	1#
1	01
0	00
-1	0#
-2	#1

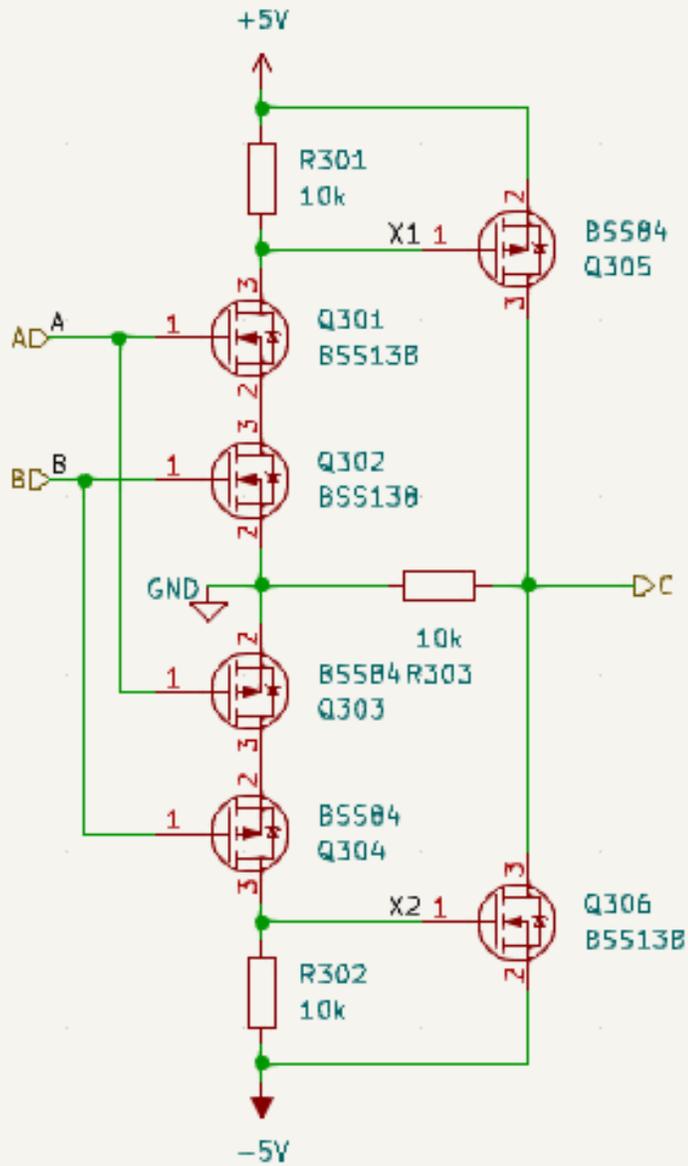
C	-1	0	1
-1	-1	0	0
0	0	0	0
1	0	0	1

S	-1	0	1
-1	1	-1	0
0	-1	0	1
1	0	1	-1

# 半加算器

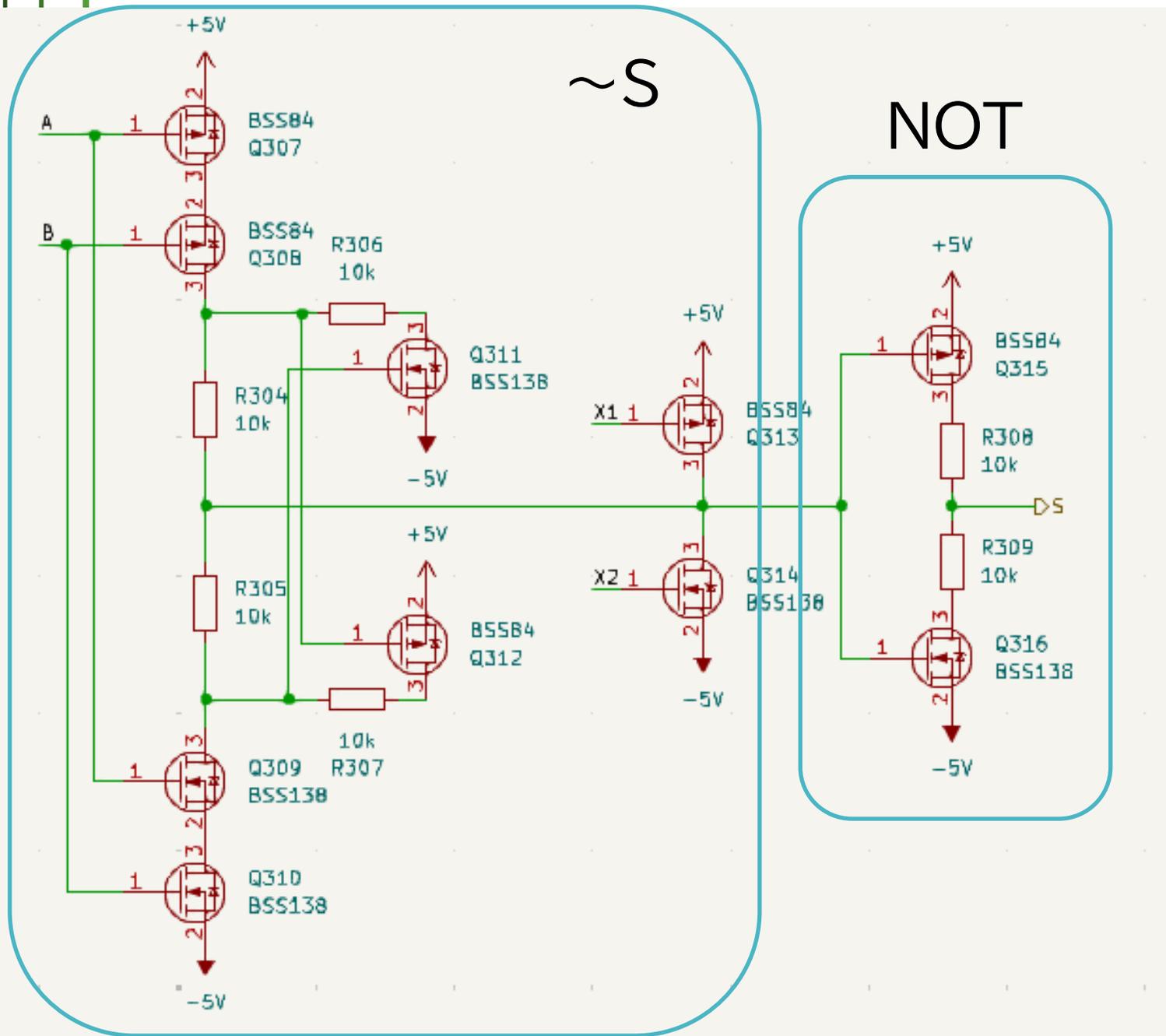
- 試行錯誤、紆余曲折があって現時点で最もコンパクトな回路↓
- 16個のMOS





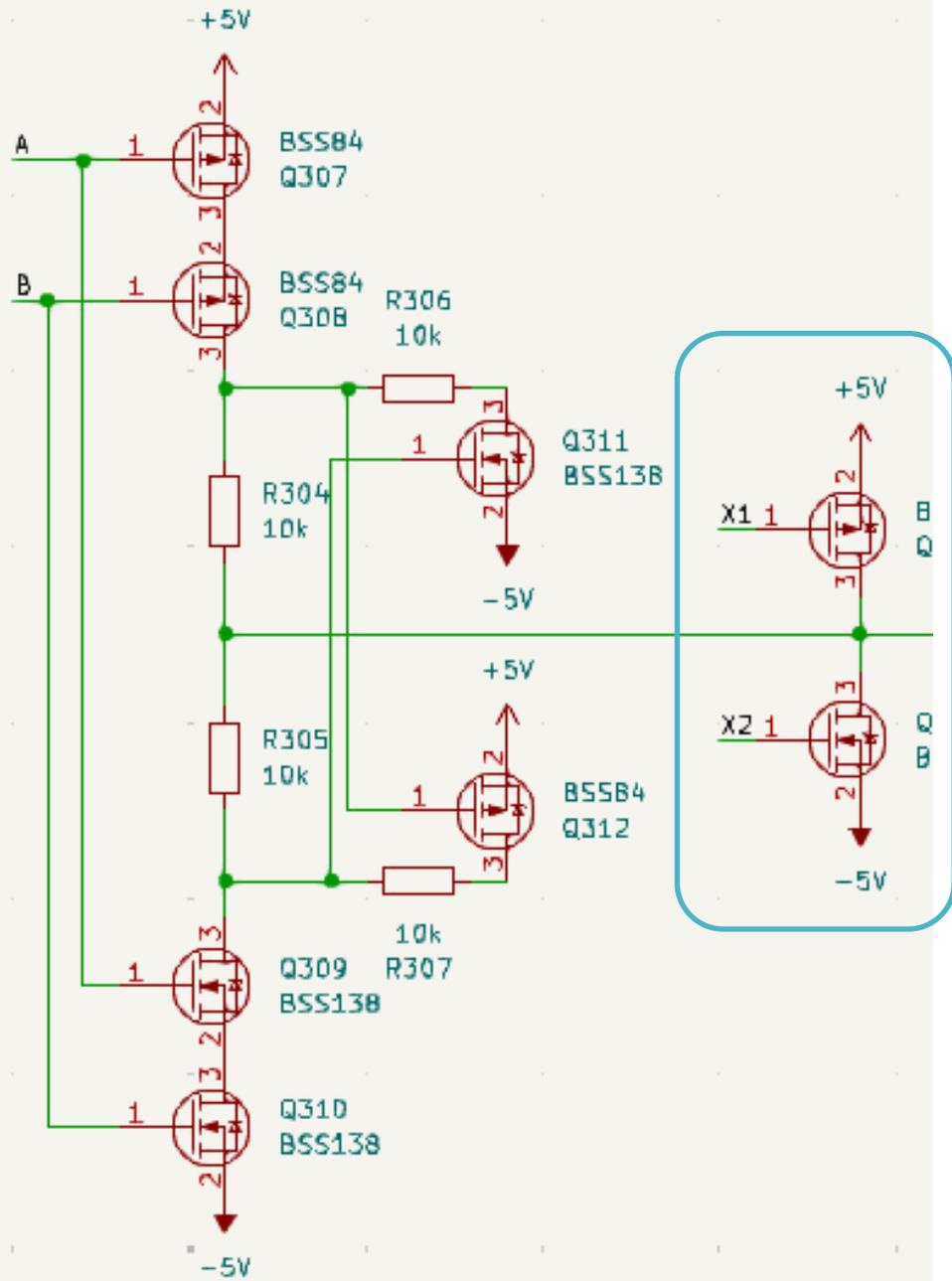
- X1:  $A=B=1$ のときのみ0, それ以外は1
- X2:  $A=B=-1$ のときのみ0, それ以外は-1
- C:  $X1 = 0$ のとき1,  $X2 = 0$ のとき-1, それ以外は0

C	-1	0	1
-1	-1	0	0
0	0	0	0
1	0	0	1



S	-1	0	1
-1	1	-1	0
0	-1	0	1
1	0	1	-1

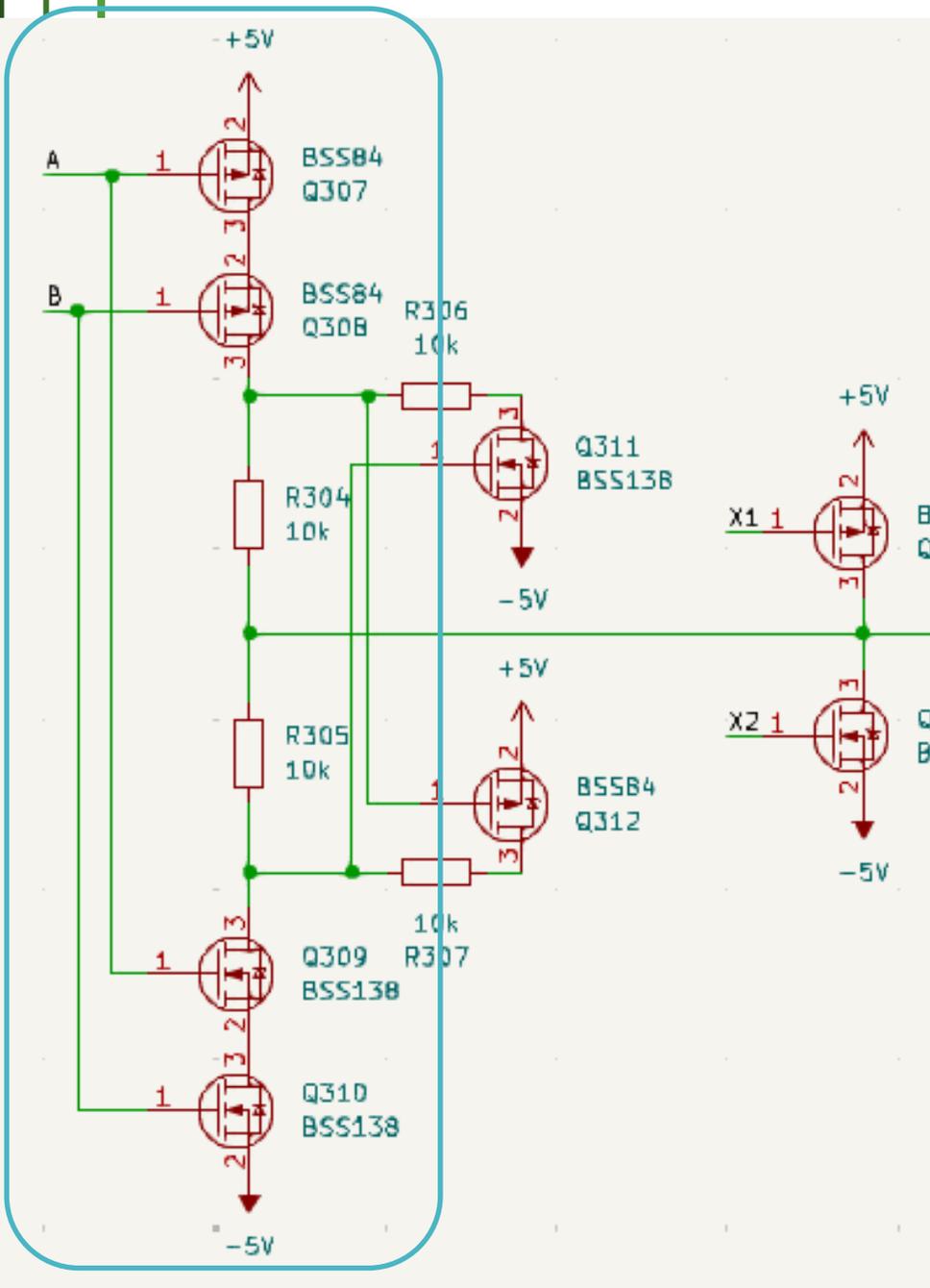
$\sim S$	-1	0	1
-1	-1	1	0
0	1	0	-1
1	0	-1	1



- $A=B=1$ ,  $A=B=-1$ の部分はCと似てる
  - 他の出力が”弱い”なら、これらを”強く”出力することで上書きできる

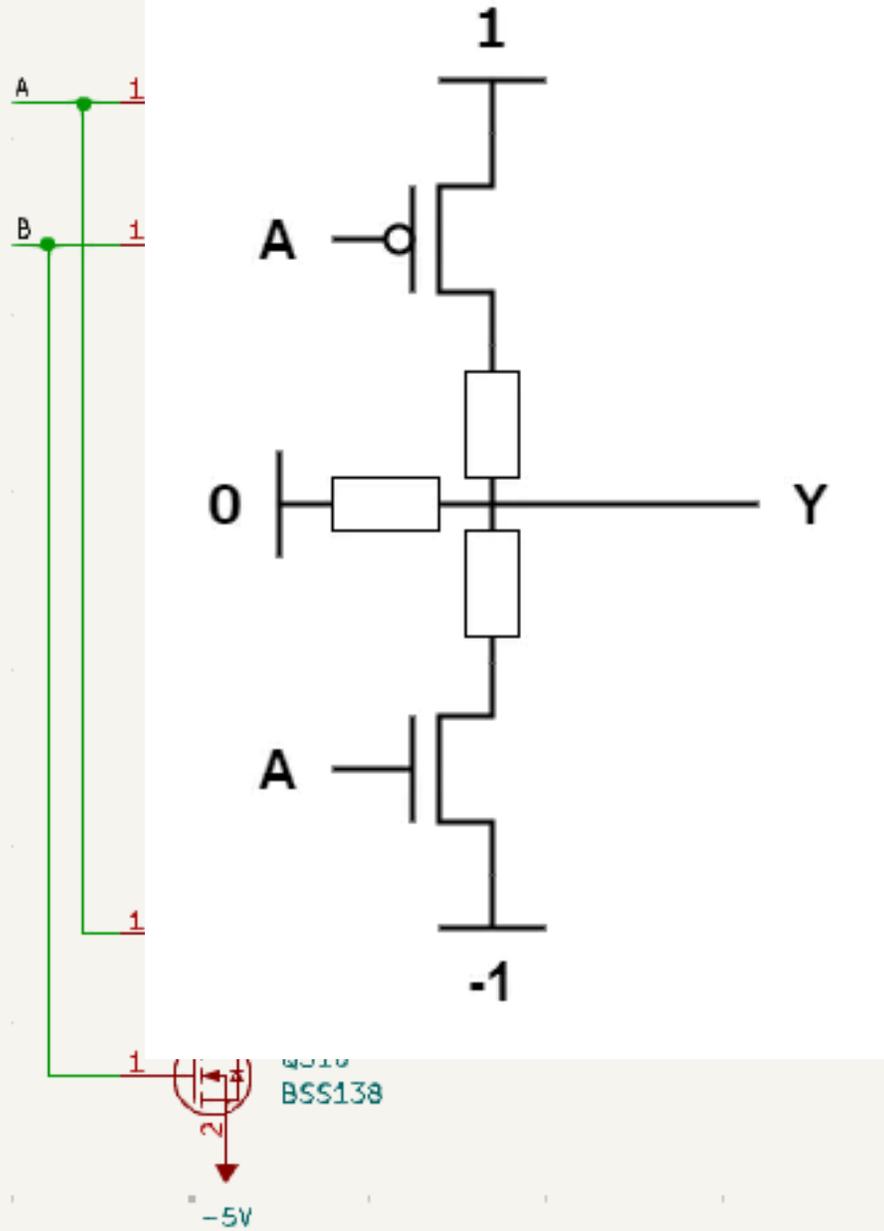
C	-1	0	1
-1	-1	0	0
0	0	0	0
1	0	0	1

$\sim S$	-1	0	1
-1	-1	1	0
0	1	0	-1
1	0	-1	1



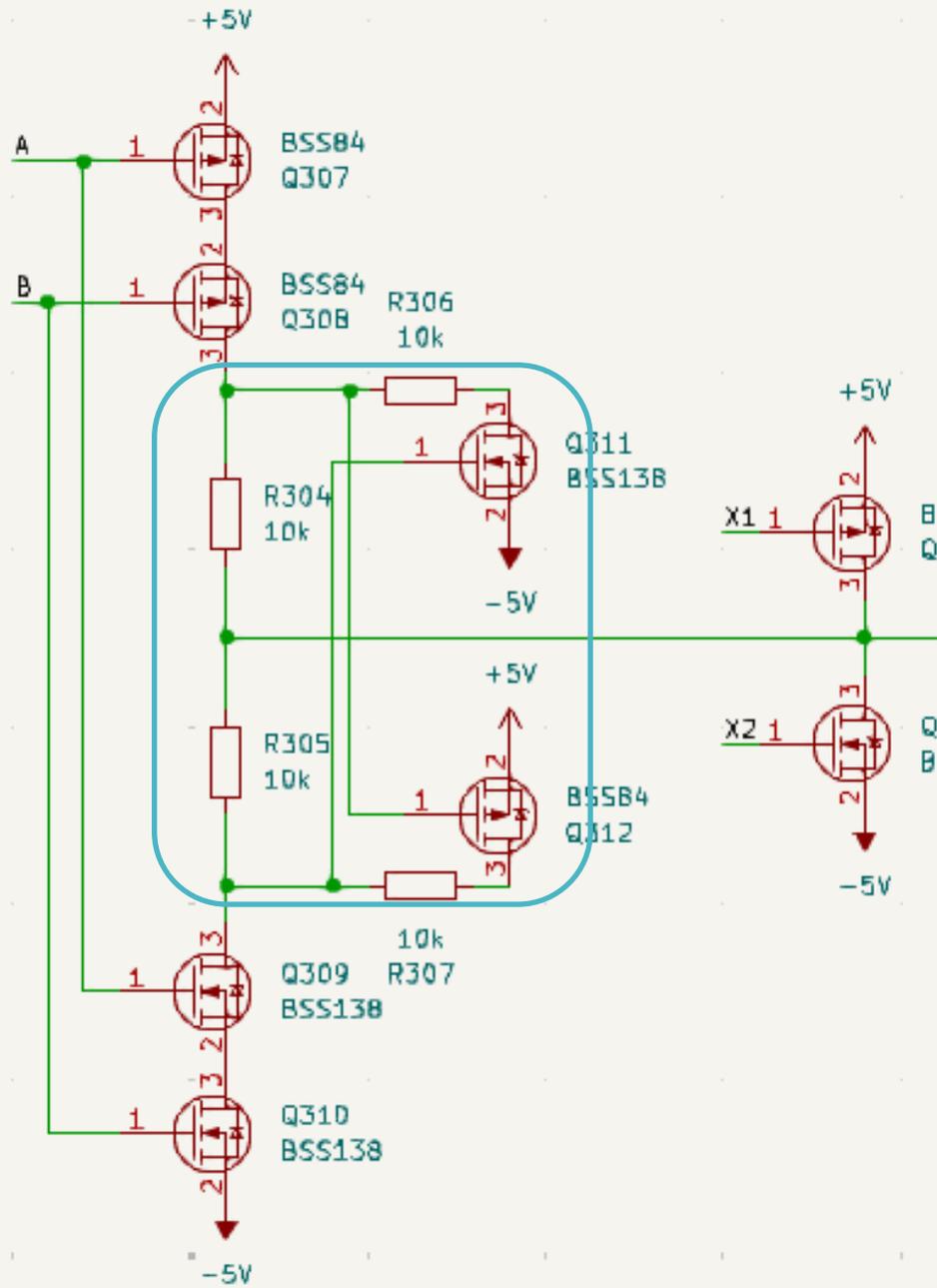
- $A=B=1$ ,  $A=B=-1$ の部分はCと似てる
  - 他の出力が”弱い”なら、これらを”強く”出力することで上書きできる
- 真理値表の左上を1, 右下を-1にすればいい感じに1と-1をカバーできる
  - $A=1, B=-1$ と $A=-1, B=1$ の場合に両方のスイッチがOFFになるのでHi-Zになってしまう

$\sim S$	-1	0	1
-1	-1	1	0
0	1	0	-1
1	0	-1	1



- Hi-Zを解決するために0にプルダウン(?)すると、1, -1を出力したいときに0.5, -0.5になってしまう

$\sim S$	-1	0	1
-1	-1	1	0
0	1	0	-1
1	0	-1	1

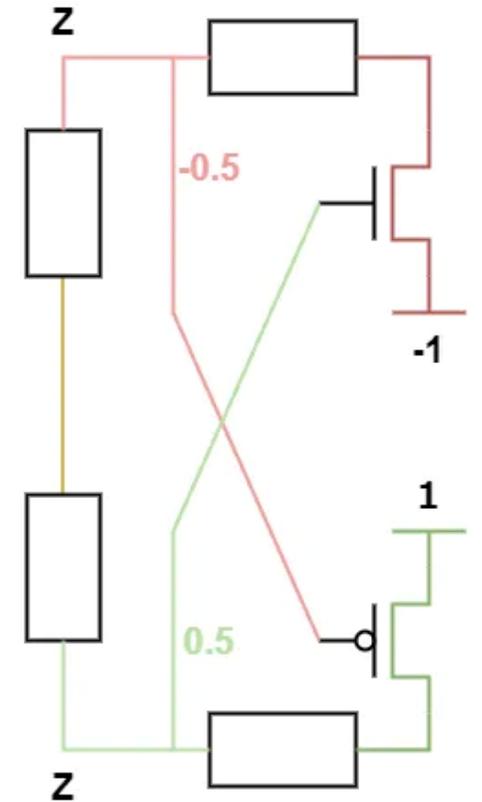
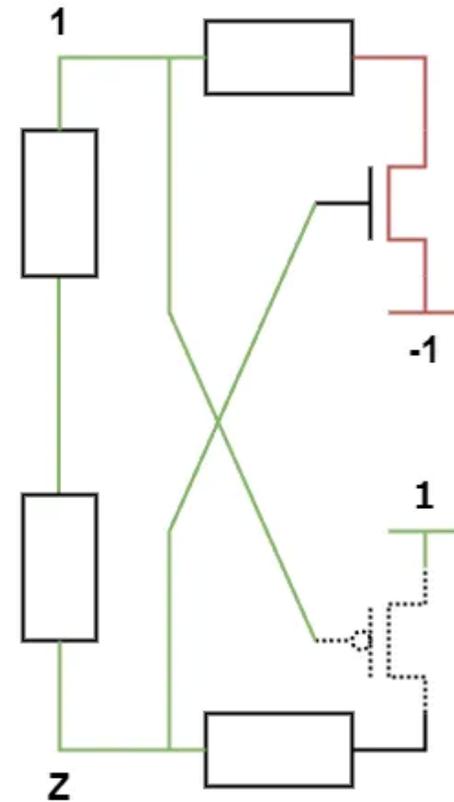
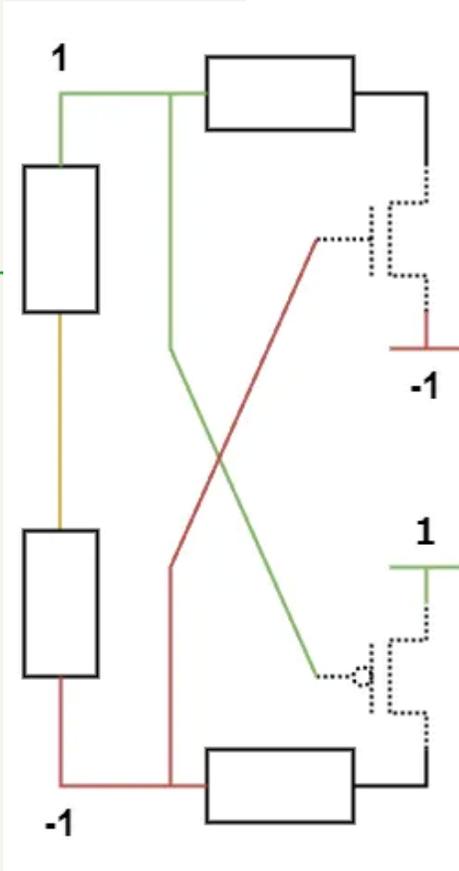
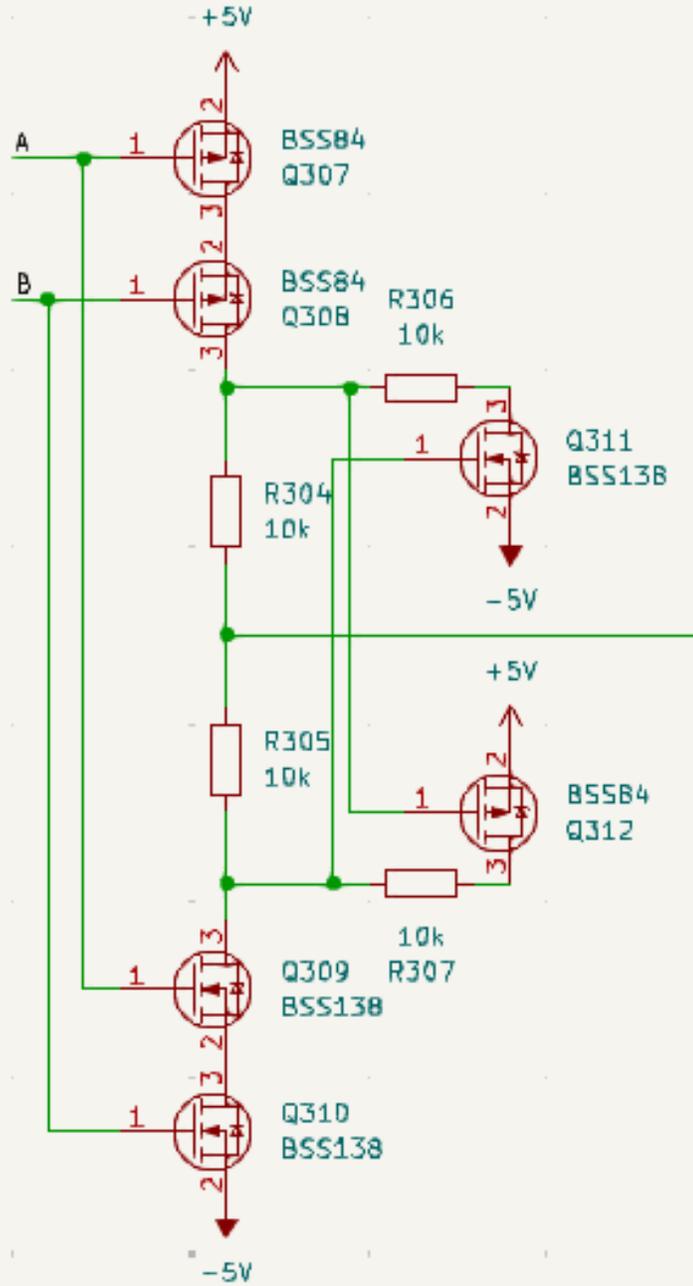


- Hi-Zを解決するために0にプルダウン(?)すると、1, -1を出力したいときに0.5, -0.5になってしまう
- 謎の回路によってこの問題を解決

~S	-1	0	1
-1	-1	1	0
0	1	0	-1
1	0	-1	1

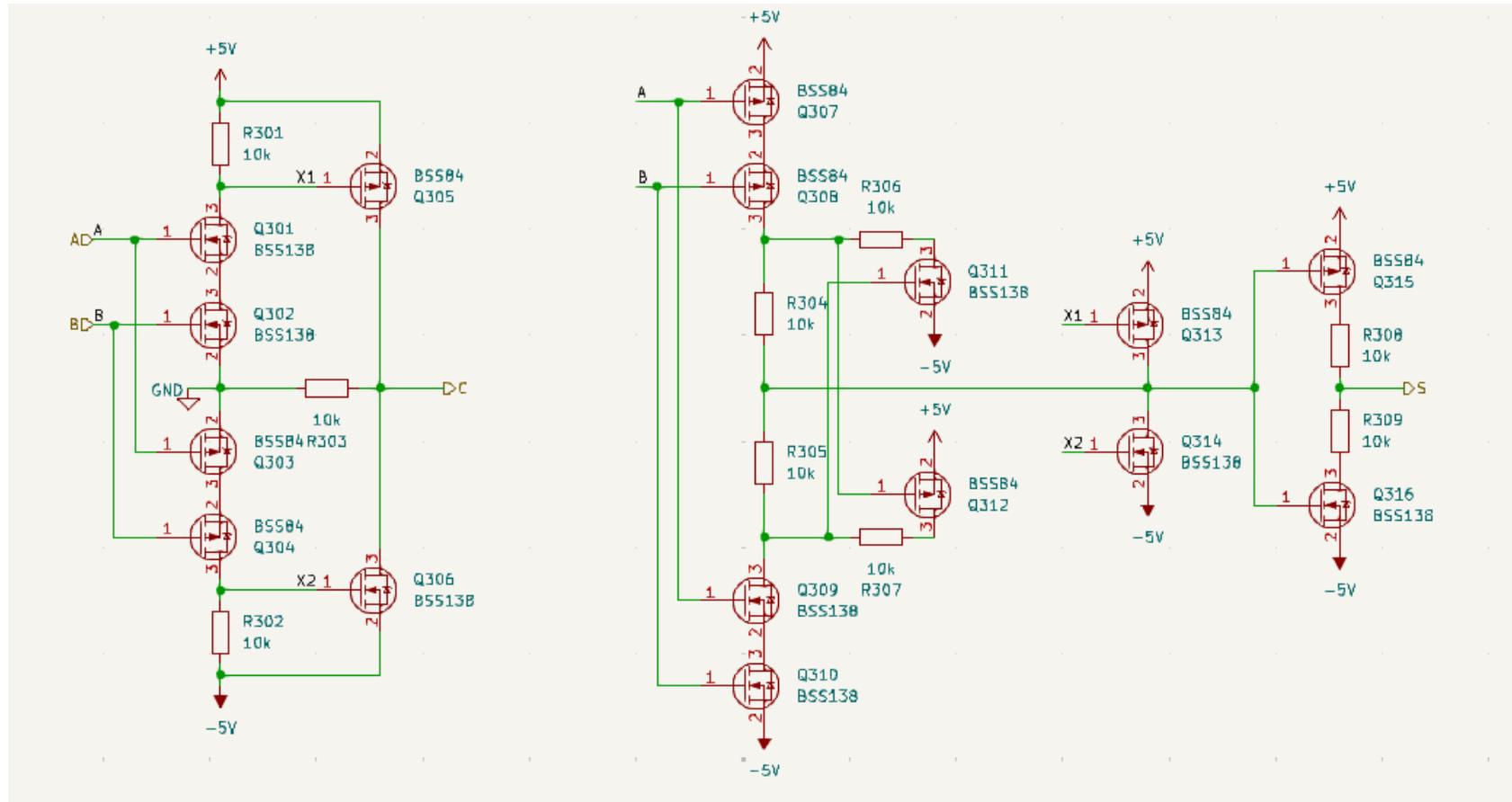
- 謎の回路によってHi-Z問題を解決

- すべての場合でHi-Zにならず、抵抗を通して”弱く”出力する



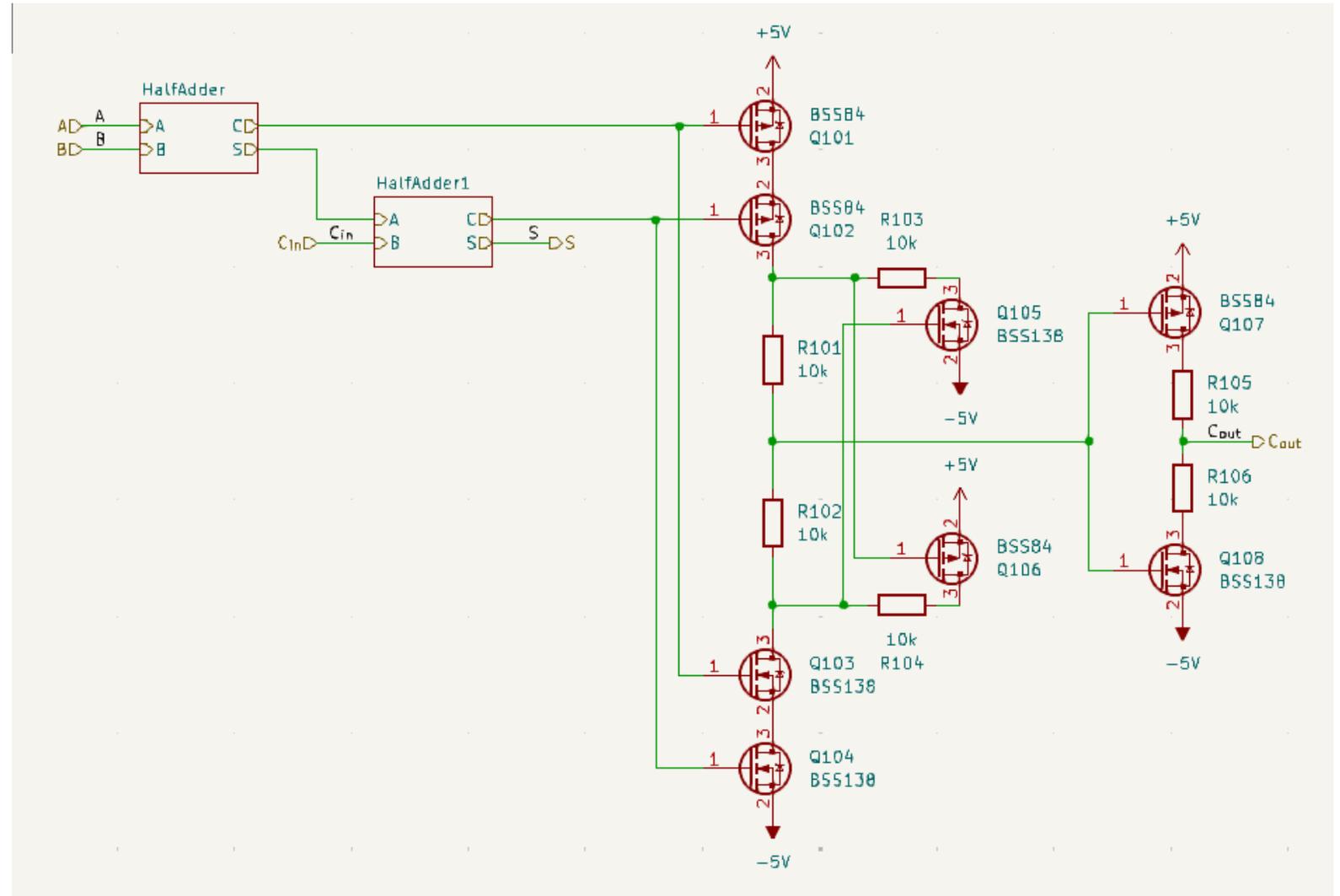
# 半加算器(再掲)

- 試行錯誤、紆余曲折があって現時点で最もコンパクトな回路↓
- 16個のMOS



# 全加算器

- 1桁の値3つの加算
- 半加算器2個 + S回路



# Index

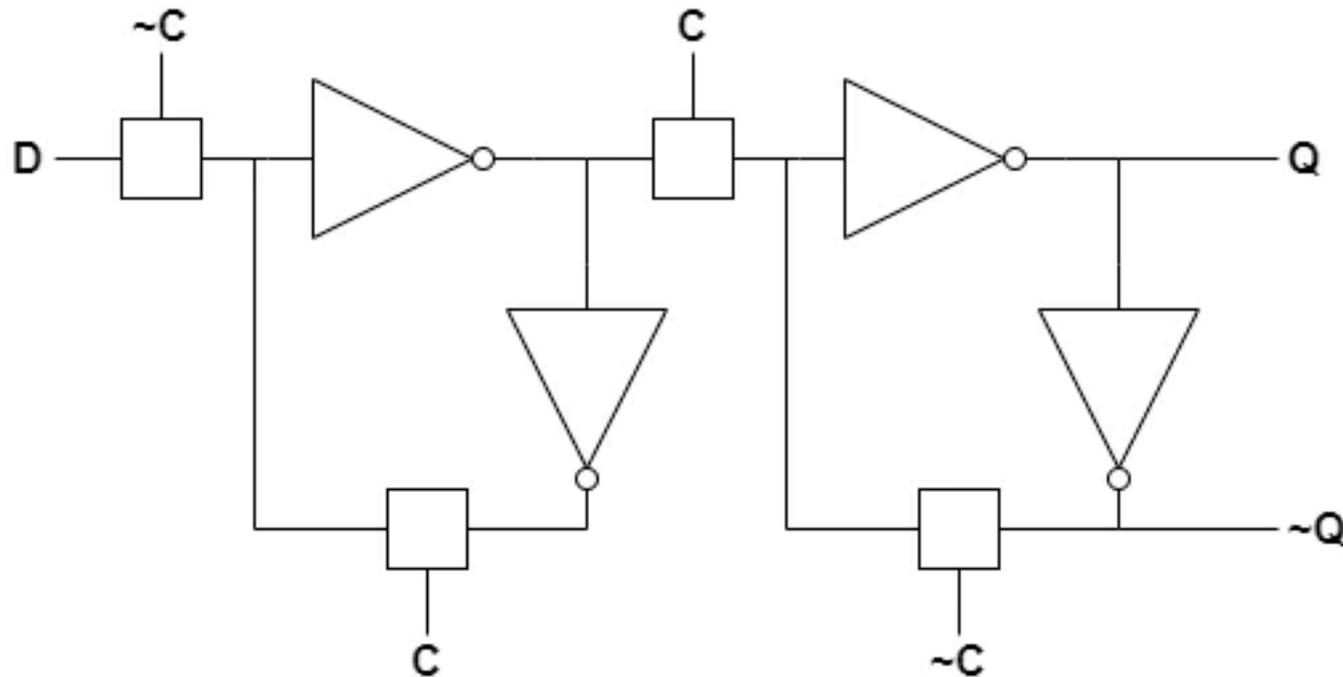
- はじめに
- 平衡3進数を布教したい
- 3進NANDは実は簡単
- 3進加算器の工夫を語りたい
- フリップフラップフロップ!
- 1trist手動制御CPUを作りました

# DFFF

- 1bitの記憶回路をフリップフロップと言うが、1tritを記憶する場合はフリップフラップフロップという名前がある
- DFFFはクロックの立ち上がりで値を取り込み、保持する回路

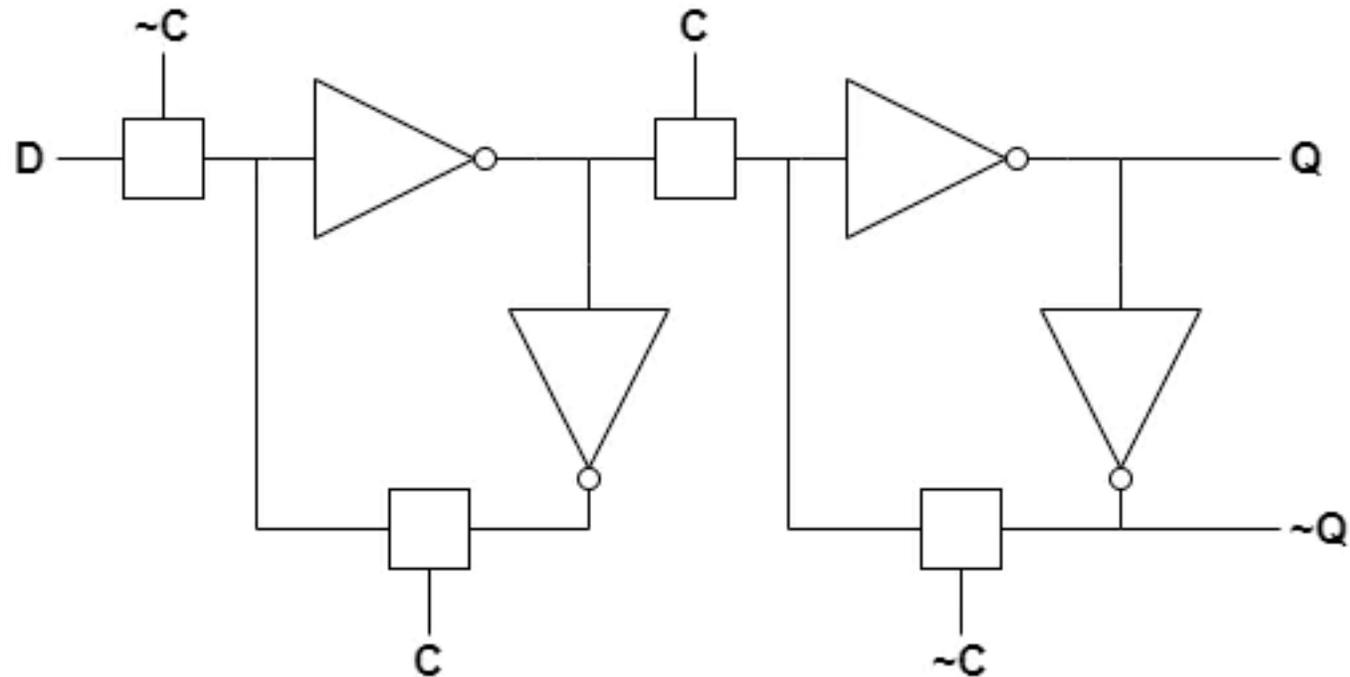
# DFFF

- NOTゲート, Transferゲートを用いてバイナリと全く同じ構成で作ることができる
- クロックは1/-1の2値から成る矩形波



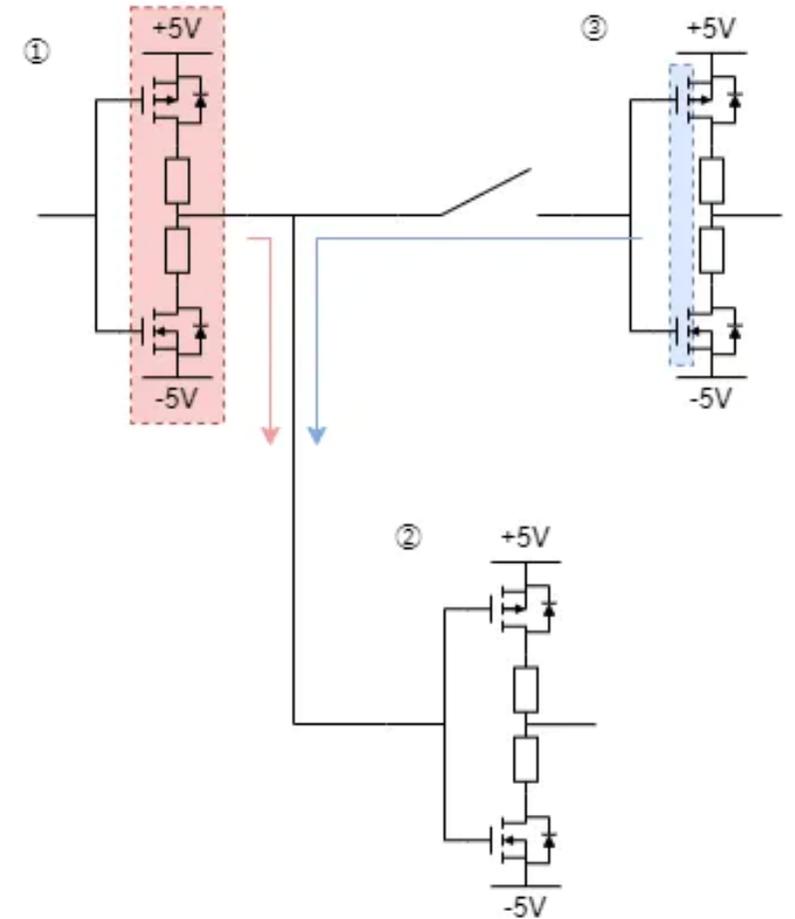
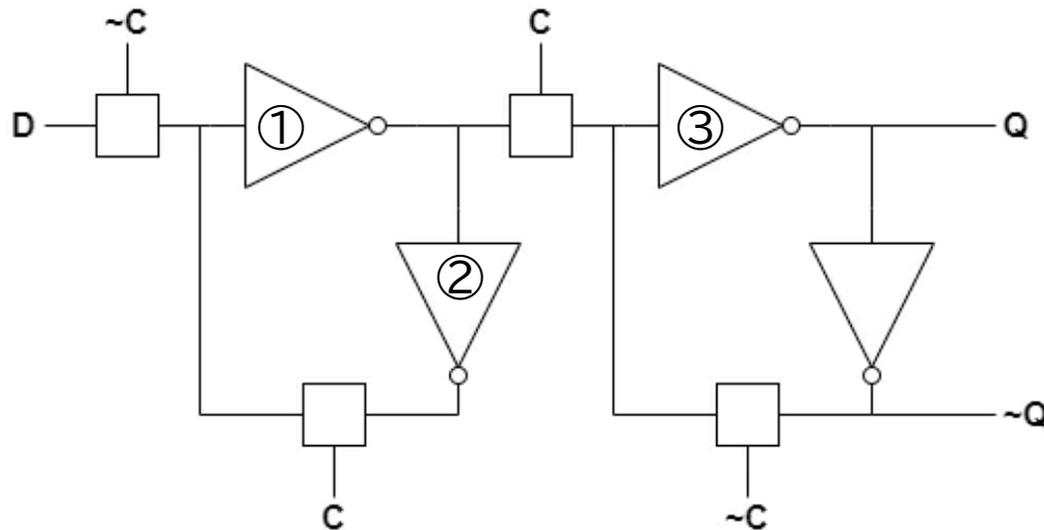
# DFFF

- 試作してみたところクロック切り替わり時に値が壊れてしまう
  - NOTゲートの出力の弱さが原因の可能性



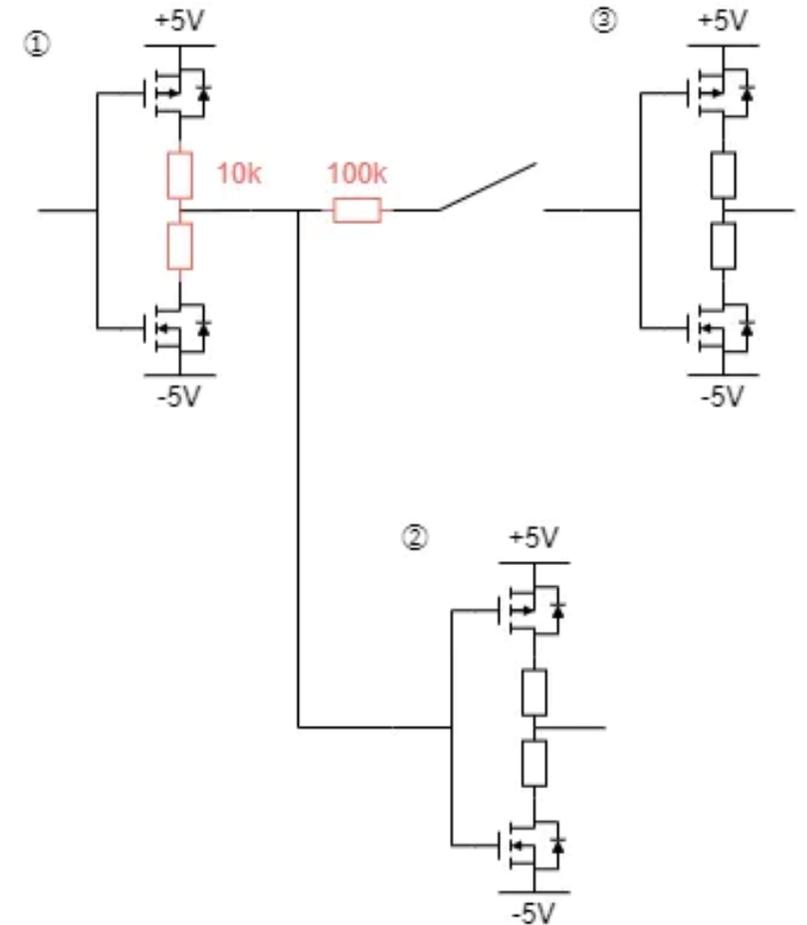
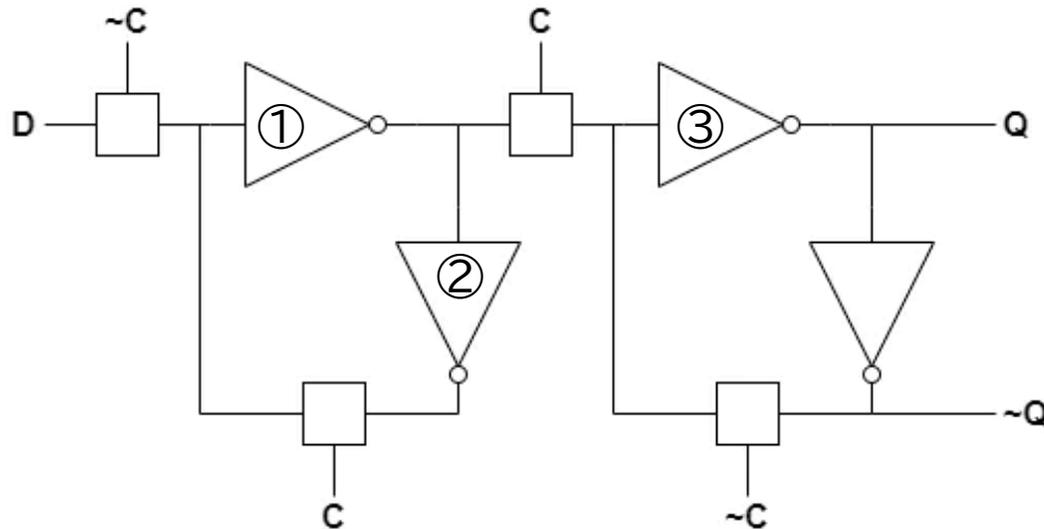
# DFFF

- 試作してみたところクロック切り替わり時に値が壊れてしまう
  - NOTゲートの出力が弱く、入力容量に負けてしまう可能性がある



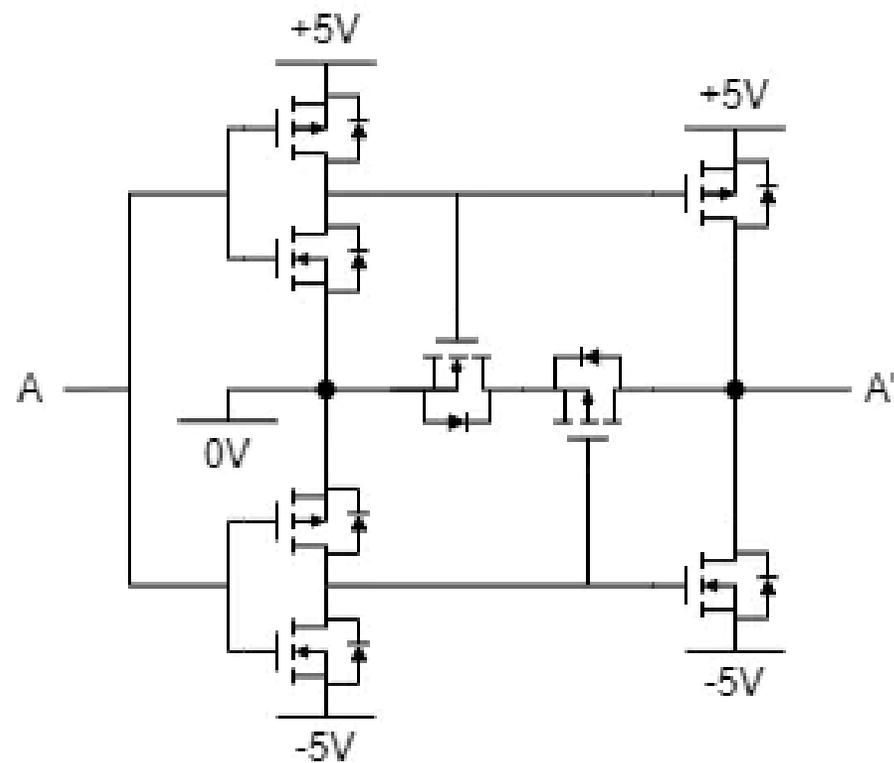
# DFFF

- 出力抵抗を小さく、スイッチ部に大きな抵抗を入れると正しく動作
  - アナログ回路的な影響を考えるのは大変なので別の構成を試してみる



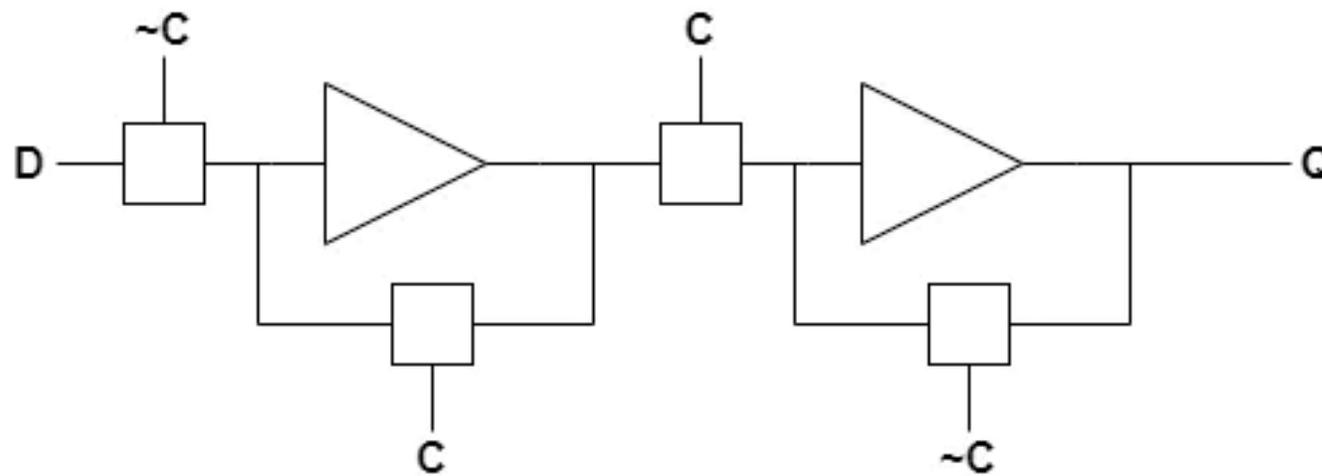
# バッファ回路

- 抵抗を介さずに出力できる回路が欲しい
- 入力値をそのまま出力するバッファ回路なら実現可能



# DFFF(バッファ型)

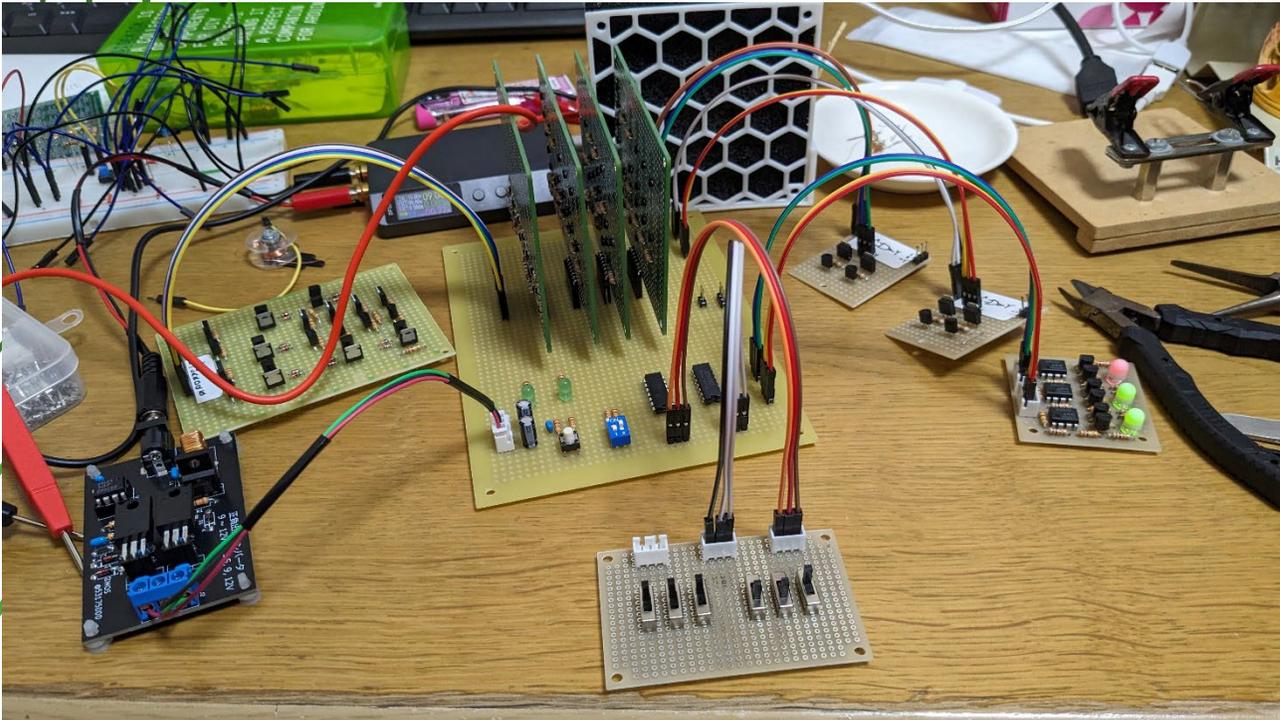
- 2つのバッファで自己ループを作り値を保持するDFFFを構成
- 試作品で動作テストに成功
- 今日のデモマシンではNOT型よりも動作不安定？



# Index

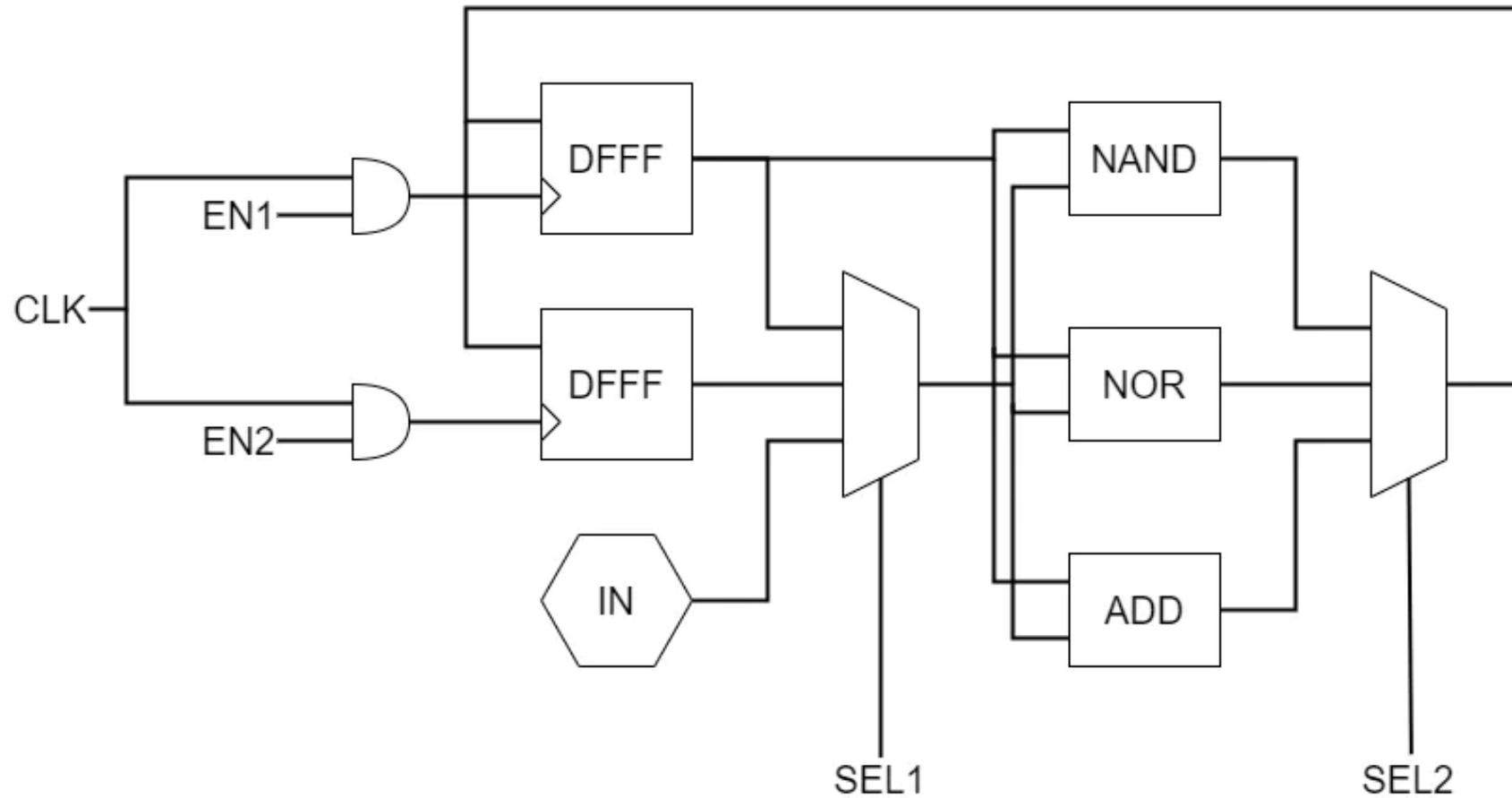
- はじめに
- 平衡3進数を布教したい
- 3進NANDは実は簡単
- 3進加算器の工夫を語りたい
- フリップフラップフロップ!
- 1trist手動制御CPUを作りました

# 1trit 手動制御CPU

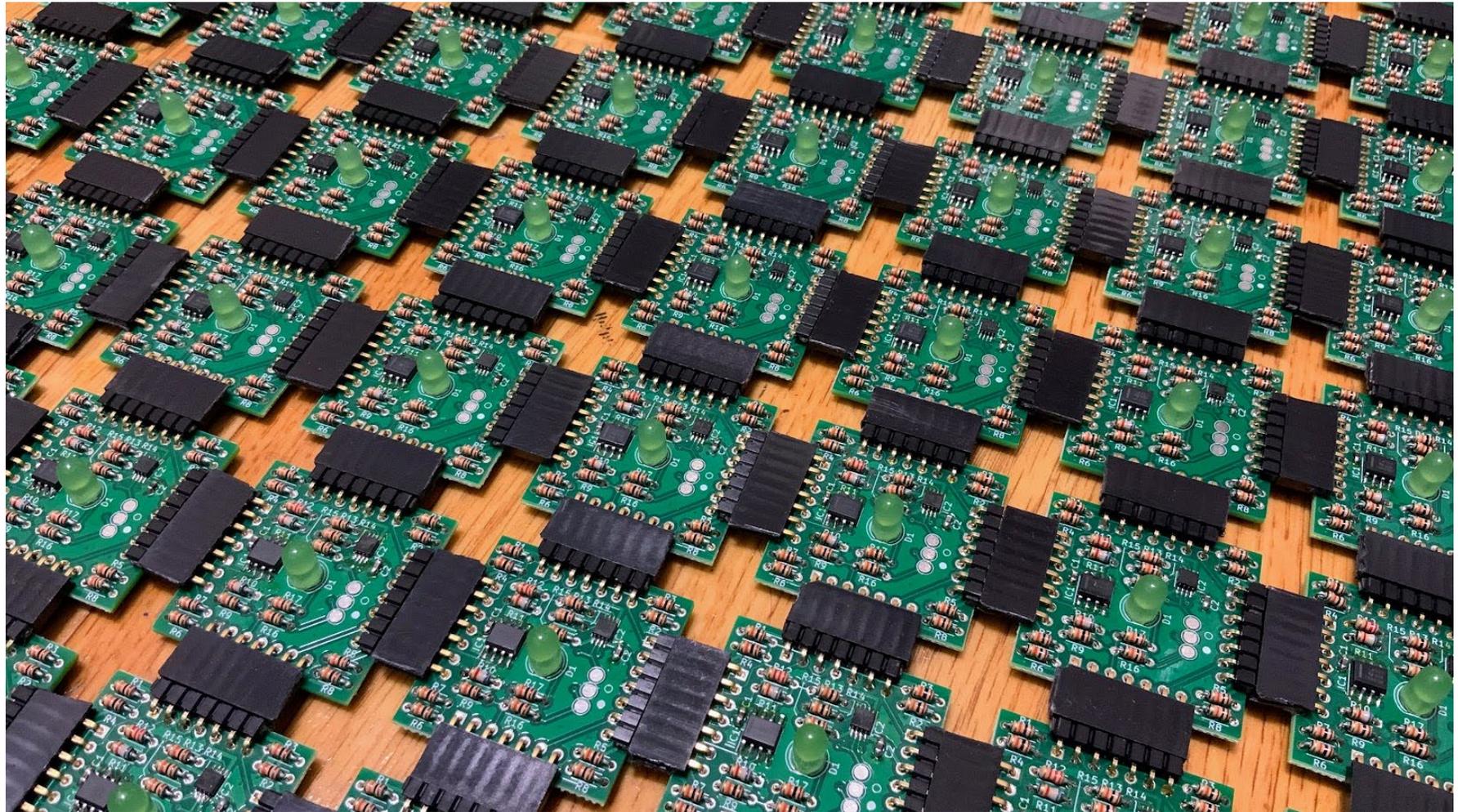


- 1trit レジスタ x2
- ALU (NAND, NOR, ADD)
- ALU入出力選択MUX
- クロック、制御信号はスイッチで手動入力

# 1trit 手動制御CPU



3進CPUとは無関係ですが過去に作ったアナログライフゲームも  
展示するので是非見てください😊



ご清聴ありがとうございました