

デジタル回路

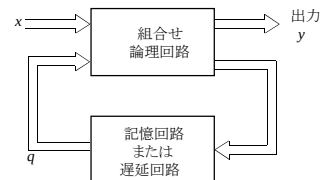
第9回

順序回路

組み合わせ論理回路

出力の状態は入力の状態により決定される。
(記憶や前の状態により出力を変えることはできない。)
前の記録がない!

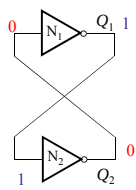
順序回路: 出力が現在の入力、**および過去の入力**によって決定。



フリップフロップ

過去の状態を記憶するための回路
→ 帰還作用を利用して1ビットの情報を記憶

2個のNOT回路の入出力を相互接続した回路を考えると...

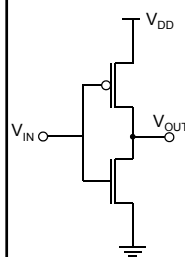


N_1 の出力 Q_1 が1だとすると
 N_2 に1が入力され Q_2 は0となる。これが再び
 N_1 に入力される。 Q_1 は1となり、回路は安定。

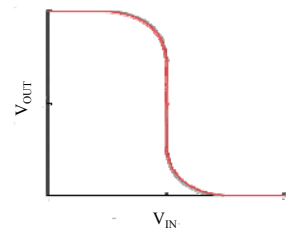
N_1 の出力 Q_1 が0だとすると
 N_2 に0が入力され Q_2 は1となる。これが再び
 N_1 に入力される。 Q_1 は0となり、回路は安定。

2安定回路 または **双安定回路**
→ **双安定マルチバイブレータ**とも呼ばれる

インバータの動作

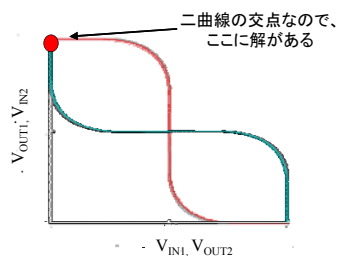
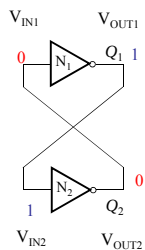


伝達特性(Transfer curve)



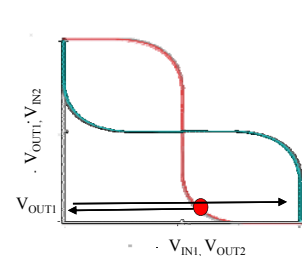
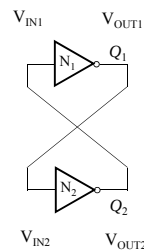
双安定の動作

二つのインバータをつなぎ合わせる



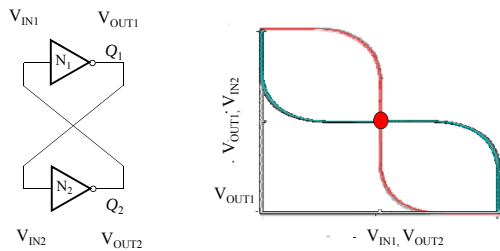
双安定の動作

V_{IN1} に強制的に $V_{DD}/2$ をすこし超える電圧をいれたら?



N_2 は V_{OUT1} にはほぼ V_{DD} の値を出力したい。
強制的な電圧が切れたら、 V_{DD} になる。

双安定の動作

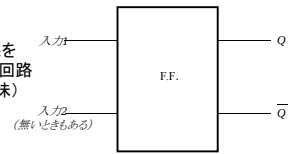


真ん中は非常に不安定。
数式的にはここで安定できるが、
雑音などで通常どっかに行く。

フリップフロップ (2)

フリップフロップ

2安定回路の二つの安定状態を
外部より選択できるようにした回路
(英語でバタバタするという意味)



安定状態を決定するための
入力と、互いに相補の関係
にある出力Q, $\bar{Q}$ からなる。

Q=1にすることを「フリップフロップを**セット**する」、

Q=0にすることを「フリップフロップを**リセット**する」という

SRフリップフロップ

S: セット入力
R: リセット入力

現在の出力 $Q^n, \bar{Q}^n$
↓
変化後の出力 $Q^{n+1}, \bar{Q}^{n+1}$

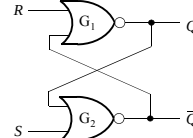
入 力		出力
S	R	Q^{n+1}
0	0	Q^n
0	1	0
1	0	1
1	1	不定

- (1) S=0, R=0の時
出力は入力前の出力と同一
- (2) S=0, R=1の時
常に $Q^{n+1}=0$ (強制的にリセット)
- (3) S=1, R=0の時
常に $Q^{n+1}=1$ (強制的にセット)
- (4) S=1, R=1の時
禁止 (出力状態は定義されない。)

SRラッチ回路 SC(セット-クリア)フリップフロップ ということもある。

SRフリップフロップ (NOR構成)

注: Rが上(出力Q)側



A	B	NOR
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

入 力		出力
S	R	Q^{n+1}
0	0	Q^n
0	1	0
1	0	1
1	1	不定

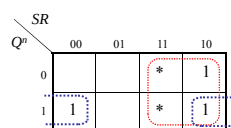
- (1) S=0, R=0の時
 $Q=1$ なら G_2 には1が入力され、 $\bar{Q}=0$ となる。
これが G_1 に入力されるので $Q=1$ で変化なし
 $Q=0$ なら G_2 には0が入力され、 $Q=1$ となる。
これが G_1 に入力されるので $Q=0$ で変化なし
- (2) S=0, R=1の時
 $R=1$ であるから $\bar{Q}$ にかかわらず $Q=0$
- (3) S=1, R=0の時
 $S=1$ であるから Q にかかわらず $\bar{Q}=0$ 、即ち $Q=1$
- (4) S=1, R=1の時
禁止 (両方0になり相補の出力にならない。)

SRフリップフロップ (特性方程式)

S, R, Q^n を入力、 Q^{n+1} を出力として
真理値表を書く...

S	R	Q^n	Q^{n+1}
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	*
1	1	1	*

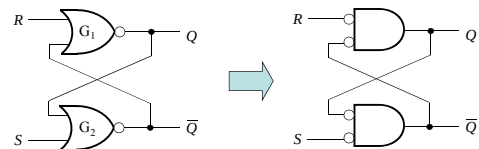
- (1) S=0, R=0の時
出力は入力前の出力と同一
- (2) S=0, R=1の時
常に $Q^{n+1}=0$ (強制的にリセット)
- (3) S=1, R=0の時
常に $Q^{n+1}=1$ (強制的にセット)
- (4) S=1, R=1の時
禁止 (出力状態は定義されない。)



$$Q^{n+1} = S + Q^n \bar{R}$$

これを特性方程式という。

SRラッチ (NAND構成)



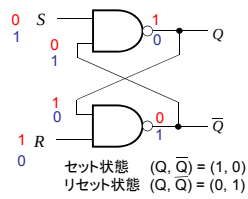
NORと比較して...否定入力、Q、 $\bar{Q}$ が逆。

セット状態 (Q, $\bar{Q}$) = (1, 0)
リセット状態 (Q, $\bar{Q}$) = (0, 1)

NAND → (1,1)が入力された時のみ0、
1つでも0が入力されれば1

保持のための入力(R', S')=(1,1)

SRフリップフロップ (NAND構成) の動作



特性表

入 力			出 力	
S	R		Q^{n+1}	$\bar{Q}^{n+1}$
0	0		不定	不定
0	1		1	0
1	0		0	1
1	1		Q^n	$\bar{Q}^n$

セット入力S=0、リセット入力R=0: 禁止

セット入力S=0、リセット入力R=1
→ $(Q, \bar{Q}) = (1, 0)$
前の状態に関係なくセット状態へ

セット入力S=1、リセット入力R=0
→ $(Q, \bar{Q}) = (0, 1)$
前の状態に関係なくリセット状態へ

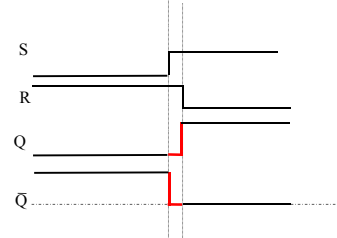
セット入力S=1、リセット入力R=1
保持

非同期形

入力に変化すれば状態が直ちに变化する。 **非同期形**

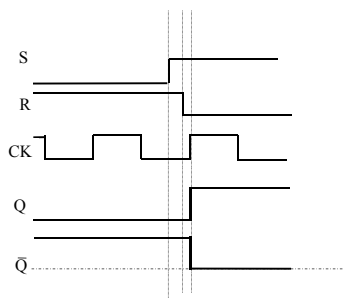
たとえば $(S, R) = (0, 1) \rightarrow (S, R) = (1, 0)$ と变化する場合、R入力の立ち下がりがS入力の立ち上がりより遅れると、 $(S, R) = (1, 1)$ が入力され、誤動作の可能性はある。

ハザード: ゲートの伝搬遅延などにより信号のタイミングにずれが生じ、本来の論理演算では想定していない動作が生じること。

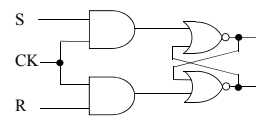


ハザードを防ぐには→同期形

同期形 クロックが入ったときだけ变化する。



同期形SRフリップフロップ

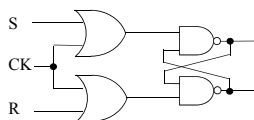


(注) S=R=1は禁止

S、R入力とCKのANDをとる。

CK=1の時のみ動作
CK=0の場合は保持

NANDを用いた構成

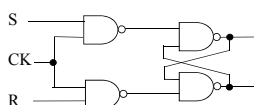


S、R入力とCKのORをとる。

CK=1の時は保持
CK=0の場合は動作

Active Low

クロック信号 CK=1の時に動作するようにすることも可能



S, RもActive High (正論理)

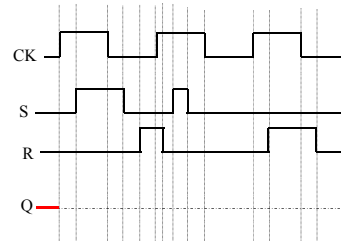
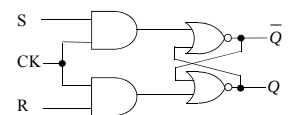
S=1, R=0 でセット $(Q, \bar{Q}) = (1, 0)$

S=0, R=1 でリセット $(Q, \bar{Q}) = (0, 1)$

例題

図に示すようなSRフリップフロップに以下のようにクロック (CK) とS入力、R入力が印加されたとする。
Qはどのように変化するか?

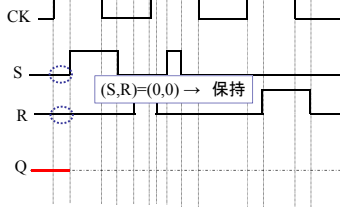
初期状態はQ=0とする



例題解答: 同期型SRフリップフロップ

図に示すようなSRフリップフロップに以下のようにクロック(CK)とS入力、R入力が印加されたとする。Qはどのように変化するか？初期状態はQ=0とする。

CK=1の時のみ動作

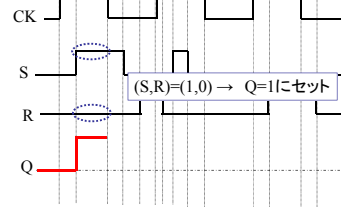


- (1) S=0, R=0の時 保持
- (2) S=0, R=1の時 リセット Q=0
- (3) S=1, R=0の時 セット Q=1
- (4) S=1, R=1の時 禁止

例題解答: 同期型SRフリップフロップ

図に示すようなSRフリップフロップに以下のようにクロック(CK)とS入力、R入力が印加されたとする。Qはどのように変化するか？初期状態はQ=0

CK=1の時のみ動作

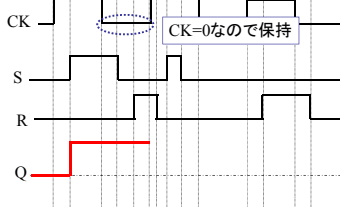


- (1) S=0, R=0の時 保持
- (2) S=0, R=1の時 リセット Q=0
- (3) S=1, R=0の時 セット Q=1
- (4) S=1, R=1の時 禁止

例題解答: 同期型SRフリップフロップ

図に示すようなSRフリップフロップに以下のようにクロック(CK)とS入力、R入力が印加されたとする。Qはどのように変化するか？初期状態はQ=0

CK=1の時のみ動作

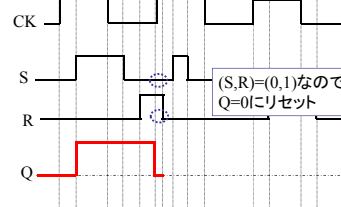


- (1) S=0, R=0の時 保持
- (2) S=0, R=1の時 リセット Q=0
- (3) S=1, R=0の時 セット Q=1
- (4) S=1, R=1の時 禁止

例題解答: 同期型SRフリップフロップ

図に示すようなSRフリップフロップに以下のようにクロック(CK)とS入力、R入力が印加されたとする。Qはどのように変化するか？初期状態はQ=0

CK=1の時のみ動作

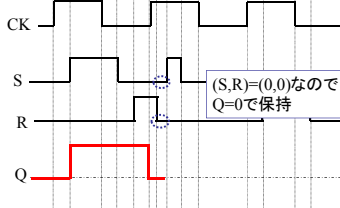


- (1) S=0, R=0の時 保持
- (2) S=0, R=1の時 リセット Q=0
- (3) S=1, R=0の時 セット Q=1
- (4) S=1, R=1の時 禁止

例題解答: 同期型SRフリップフロップ

図に示すようなSRフリップフロップに以下のようにクロック(CK)とS入力、R入力が印加されたとする。Qはどのように変化するか？初期状態はQ=0

CK=1の時のみ動作

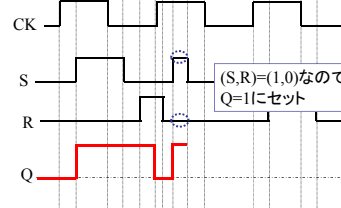


- (1) S=0, R=0の時 保持
- (2) S=0, R=1の時 リセット Q=0
- (3) S=1, R=0の時 セット Q=1
- (4) S=1, R=1の時 禁止

例題解答: 同期型SRフリップフロップ

図に示すようなSRフリップフロップに以下のようにクロック(CK)とS入力、R入力が印加されたとする。Qはどのように変化するか？初期状態はQ=0

CK=1の時のみ動作

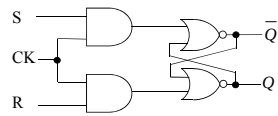
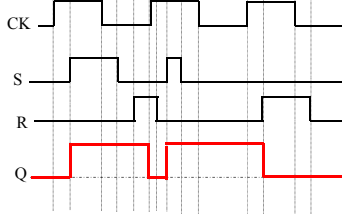


- (1) S=0, R=0の時 保持
- (2) S=0, R=1の時 リセット Q=0
- (3) S=1, R=0の時 セット Q=1
- (4) S=1, R=1の時 禁止

例題解答: 同期型SRフリップフロップ

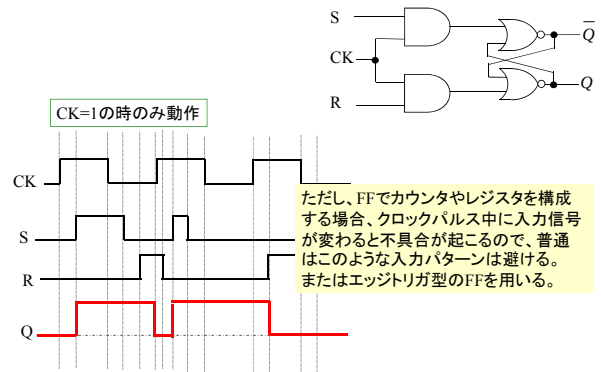
図に示すようなSRフリップフロップに以下のように入力信号(CK)とS入力、R入力が印加されたとする。Qはどのように変化するか？初期状態はQ=0

CK=1の時のみ動作



- (1) S=0, R=0の時 保持
- (2) S=0, R=1の時 リセット Q=0
- (3) S=1, R=0の時 セット Q=1
- (4) S=1, R=1の時 禁止

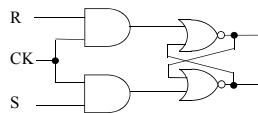
例題解答: 同期型SRフリップフロップ



CK=1の時のみ動作

ただし、FFでカウンタやレジスタを構成する場合、クロックパルス中に入力信号が変わると不具合が起こるので、普通はこのような入力パターンは避ける。またはエッジトリガ型のFFを用いる。

同期型SRフリップフロップ



動作の表

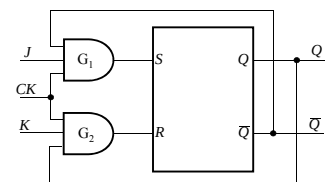
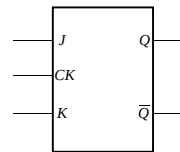
S	R	Q^n	$\bar{Q}^n$	S'	R'	Q^{n+1}	$\bar{Q}^{n+1}$
0	0	0	1	0	0	0	1
		1	0	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0	1
		1	0	0	1	0	1
1	0	0	1	1	0	1	0
		1	0	1	0	1	0
1	1	0	1	1	1	0	0
		1	0	1	1	0	0

JKフリップフロップ

SRフリップフロップ: 禁止入力の組み合わせがある。→ JKフリップフロップ

CK=0の時は保持

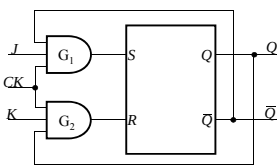
CK=1の場合に動作



入 力		出力
J	K	Q^{n+1}
0	0	Q^n
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q^n}$

- (1) J=0, K=0の時 出力は入力前の出力と同一(保持)
- (2) J=0, K=1の時 常に $Q^{n+1}=0$ (強制的にリセット)
- (3) J=1, K=0の時 常に $Q^{n+1}=1$ (強制的にセット)
- (4) J=1, K=1の時 $Q^{n+1} = \bar{Q}^n$ (反転)

JKフリップフロップ



入 力		出力
J	K	Q^{n+1}
0	0	Q^n
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q^n}$

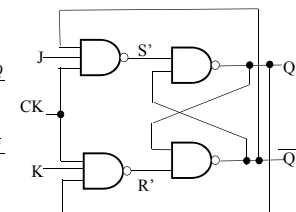
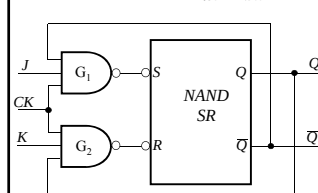
- (1) J=0, K=0の時 G_1, G_2 はANDゲートなので、 $Q, \bar{Q}$ にかかわらず、 $S=0, R=0$ で保持。
- (2) J=0, K=1の時 $S=0, Q=1$ の時は $R=1$ となりリセット。 $Q=0$ の時は $R=0$ で保持。つまり常に $Q^{n+1}=0$ (強制的にリセット)
- (3) J=1, K=0の時 $R=0, Q=1$ ($\bar{Q}=0$)の時は $S=0$ となり保持。 $Q=0$ ($\bar{Q}=1$)の時の時は $S=1$ となり、セット。つまり...常に $Q^{n+1}=1$ (強制的にセット)
- (4) J=1, K=1の時 $Q=1$ ($Q=0$)の時は $(S,R)=(0,1)$ となりリセットされ、 $Q=0$ と反転する。
 $Q=0$ ($Q=1$)の時は $(S,R)=(1,0)$ となりセットされ、 $Q=1$ と反転する。
 $Q^{n+1} = \bar{Q}^n$ (反転)

JKフリップフロップ (NAND構成)

NANDでの構成

CK=0の時は保持

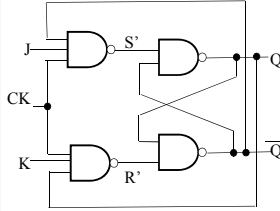
CK=1の場合に動作



問題

NAND構成のJKフリップフロップについて、以下の表を完成させてみよう。

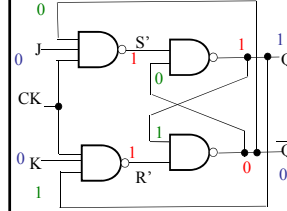
CK=0の時は保持 CK=1の場合に動作



J	K	Q^n	$\bar{Q}^n$	S'	R'	Q^{n+1}	$\bar{Q}^{n+1}$
0	0	0	1	1	1	0	1
		1	0				
0	1	0	1				
		1	0				
1	0	0	1				
		1	0				
1	1	0	1				
		1	0				

NAND構成JKフリップフロップ

NAND構成のJKフリップフロップについて、以下の表を完成させよ

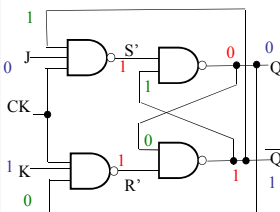


A	B	NAND
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

J	K	Q^n	$\bar{Q}^n$	S'	R'	Q^{n+1}	$\bar{Q}^{n+1}$
0	0	0	1	1	1	0	1
		1	0	1	1	1	0
0	1	0	1				
		1	0				
1	0	0	1				
		1	0				
1	1	0	1				
		1	0				

NAND構成JKフリップフロップ

NAND構成のJKフリップフロップについて、以下の表を完成させよ

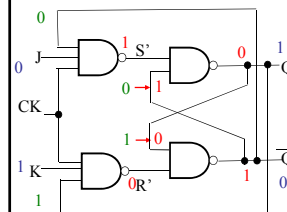


A	B	NAND
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

J	K	Q^n	$\bar{Q}^n$	S'	R'	Q^{n+1}	$\bar{Q}^{n+1}$
0	0	0	1	1	1	0	1
		1	0	1	1	1	0
0	1	0	1	1	1	0	1
		1	0				
1	0	0	1				
		1	0				
1	1	0	1				
		1	0				

NAND構成JKフリップフロップ

NAND構成のJKフリップフロップについて、以下の表を完成させよ

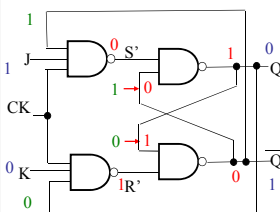


A	B	NAND
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

J	K	Q^n	$\bar{Q}^n$	S'	R'	Q^{n+1}	$\bar{Q}^{n+1}$
0	0	0	1	1	1	0	1
		1	0	1	1	1	0
0	1	0	1	1	1	0	1
		1	0	1	0	0	1
1	0	0	1				
		1	0				
1	1	0	1				
		1	0				

NAND構成JKフリップフロップ

NAND構成のJKフリップフロップについて、以下の表を完成させよ

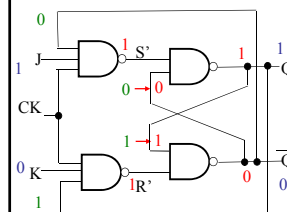


A	B	NAND
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

J	K	Q^n	$\bar{Q}^n$	S'	R'	Q^{n+1}	$\bar{Q}^{n+1}$
0	0	0	1	1	1	0	1
		1	0	1	1	1	0
0	1	0	1	1	1	0	1
		1	0	1	0	0	1
1	0	0	1	0	1	1	0
		1	0				
1	1	0	1				
		1	0				

NAND構成JKフリップフロップ

NAND構成のJKフリップフロップについて、以下の表を完成させよ

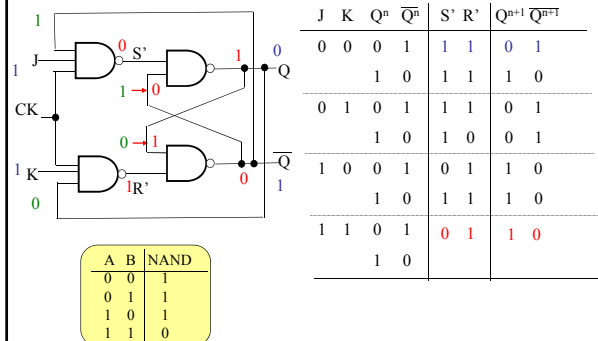


A	B	NAND
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

J	K	Q^n	$\bar{Q}^n$	S'	R'	Q^{n+1}	$\bar{Q}^{n+1}$
0	0	0	1	1	1	0	1
		1	0	1	1	1	0
0	1	0	1	1	1	0	1
		1	0	1	0	0	1
1	0	0	1	0	1	1	0
		1	0	1	1	1	0
1	1	0	1				
		1	0				

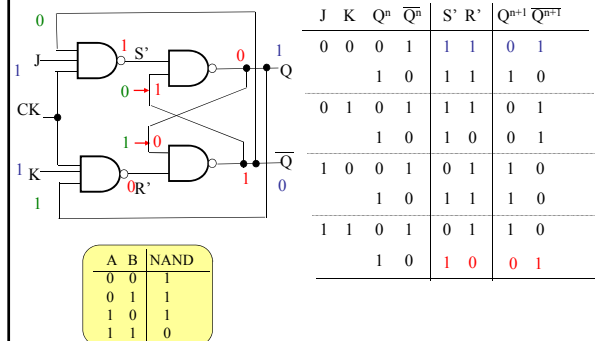
NAND構成JKフリップフロップ

NAND構成のJKフリップフロップについて、以下の表を完成させよ



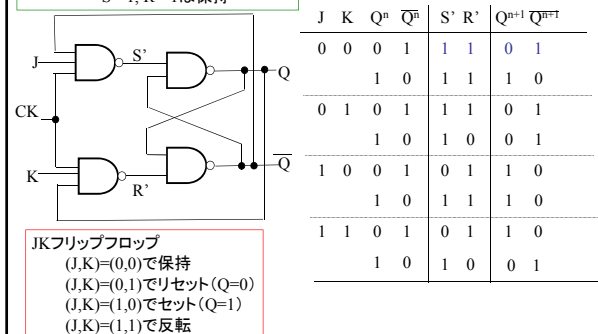
NAND構成JKフリップフロップ

NAND構成のJKフリップフロップについて、以下の表を完成させよ



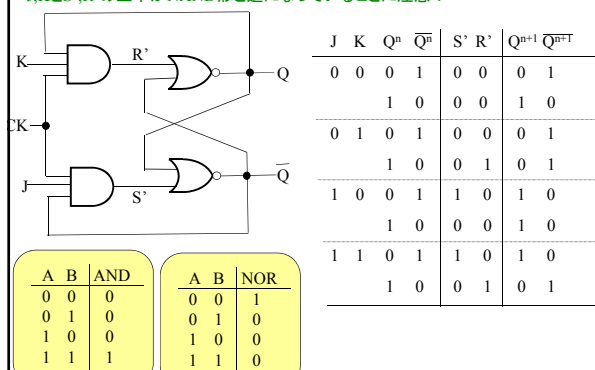
NAND構成JKフリップフロップ

NAND構成のSR-FF
 $S'=0$ でセット $R'=0$ でリセット
 $S'=1, R'=1$ は保持



JKフリップフロップ (NOR構成)

J,Kと S',R' の上下がNAND形と逆になっていることに注意!

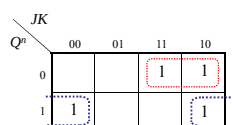


JKフリップフロップの特性方程式

J, K, Q^n を入力, Q^{n+1} を出力として
 真理値表を書くと...

J	K	Q^n	Q^{n+1}
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

- (1) $J=0, K=0$ の時
出力は入力前の出力と同一
- (2) $J=0, K=1$ の時
常に $Q^{n+1}=0$ (強制的にリセット)
- (3) $J=1, K=0$ の時
常に $Q^{n+1}=1$ (強制的にセット)
- (4) $J=1, K=1$ の時
 $Q^{n+1}=\bar{Q}^n$ (反転)



$$Q^{n+1} = J \cdot \bar{Q}^n + \bar{K} \cdot Q^n$$