

デジタル電子回路

授業開始までしばらくお待ちください。

オンライン視聴できない人へ。

オンラインで受講する人も基本的に一緒にいます。

自宅ネットワークの事情により、授業のストリーミング配信の視聴が困難な学生は以下の対応をしてください。

- ① この授業のスライドをよく読んで、不明な点は自分で調べるなどして、わかる範囲で内容を理解する。
- ② このページも含め、**必要な部分がすべて理解できたと思うまで以下の2ステップを繰り返す。**
 - ▶ わからない部分を e-mail 等で質問する。(宛先は hiroyuki.kobayashi@oit.ac.jp)
 - ▶ e-mail 等による返信をよく読んで理解する。
- ③ この資料の末尾にある課題を行い、この資料内の方で (Google Forms で) 提出する。

授業の受講に関して

- 講義資料（スライド等）は**COMMON**に置く。
- 講義は**Google Meet**で行い、録画した講義は**Goole Drive**に置く。

<https://stream.meet.google.com/stream/1d1866da-5bff-4881-96b2-3745413fe31a>



https://drive.google.com/drive/folders/1bT-z3ICQyMYC_5Jv1L29UZYqbOhVG492

- 出席確認レポートは**Google Forms**で提出。（毎回同一 URL）

<https://forms.gle/9ruwtfJg5LQgQNpU7>

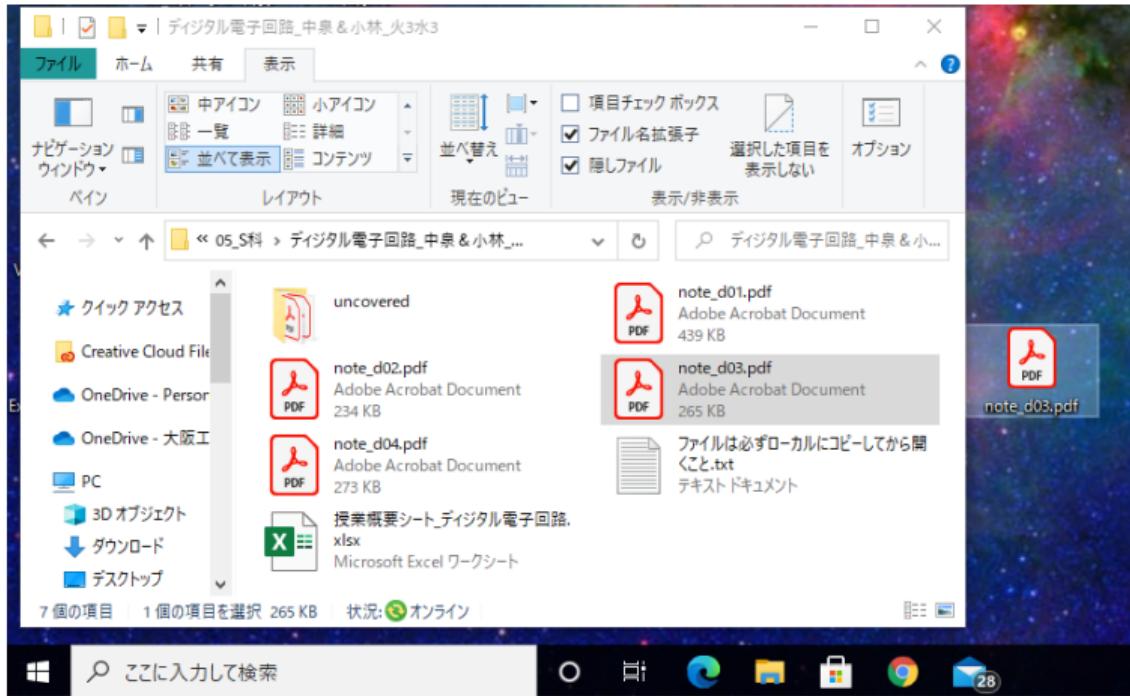


- **Slack**を補助的な連絡チャネルとする。必須ではないので使いたくなければ使わなくともいい。授業に関連したちょっとした（重要でない）追加説明をする。気楽な質問手段としても活用されたい。登録は大学の e-mail アドレスで行うこと。

<https://oitkobayashi.slack.com>

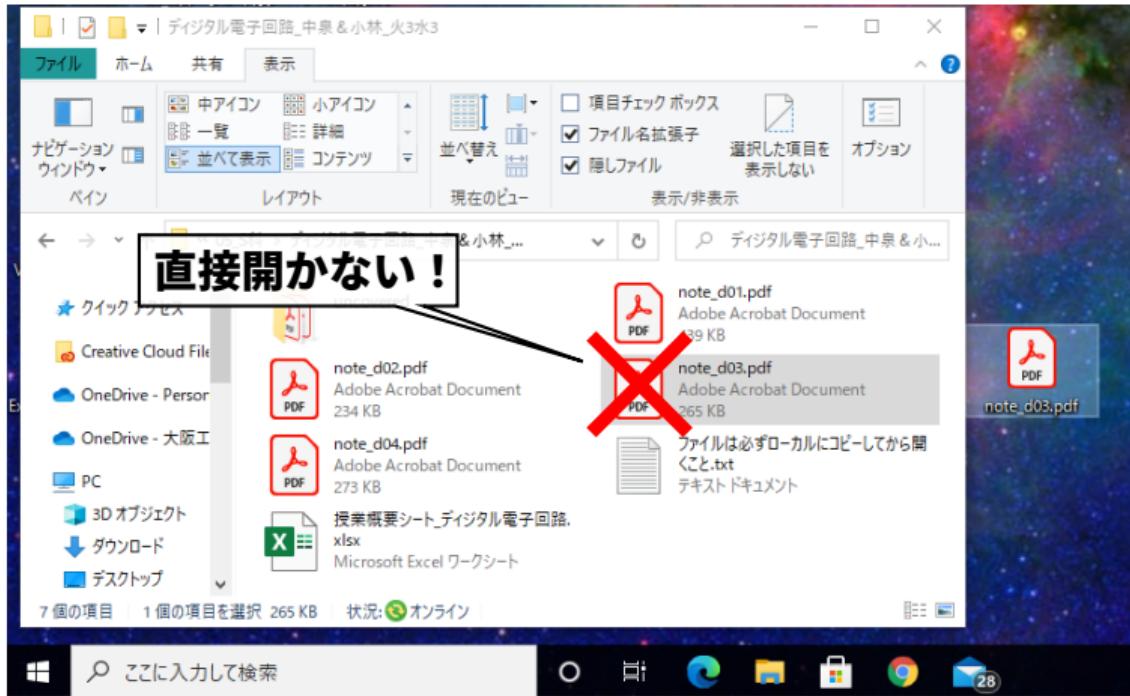
COMMON フォルダの注意事項 (全授業共通)

根源的に悪いのは Windows の仕様なのですが、ご協力ください。



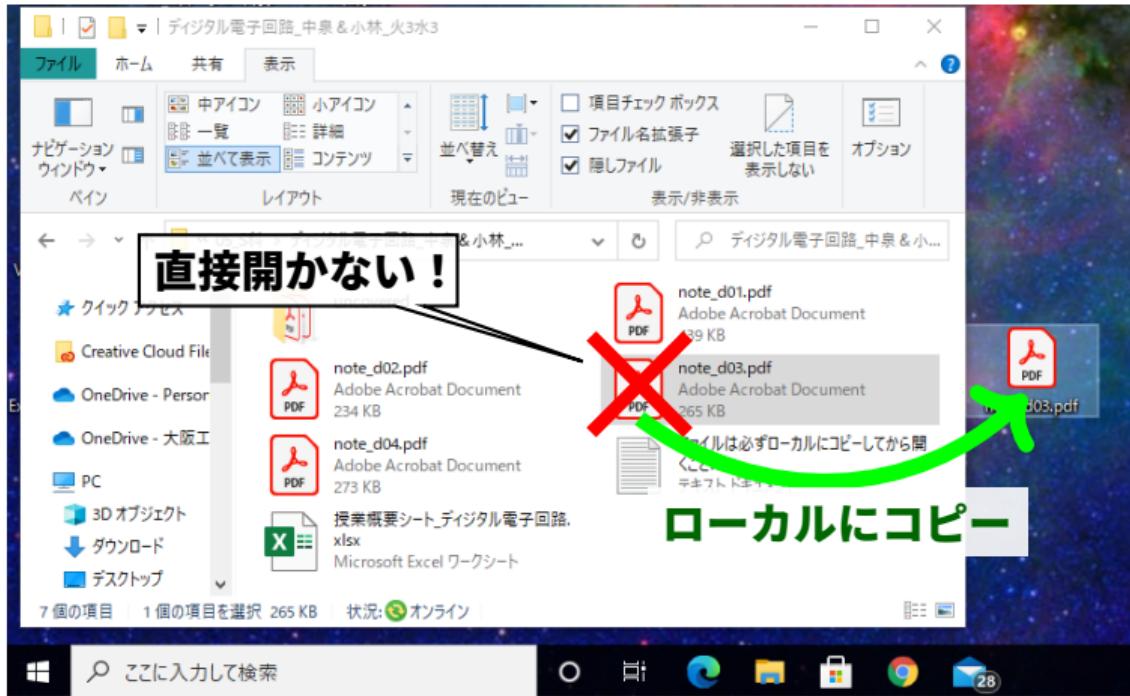
COMMON フォルダの注意事項 (全授業共通)

根源的に悪いのは Windows の仕様なのですが、ご協力ください。



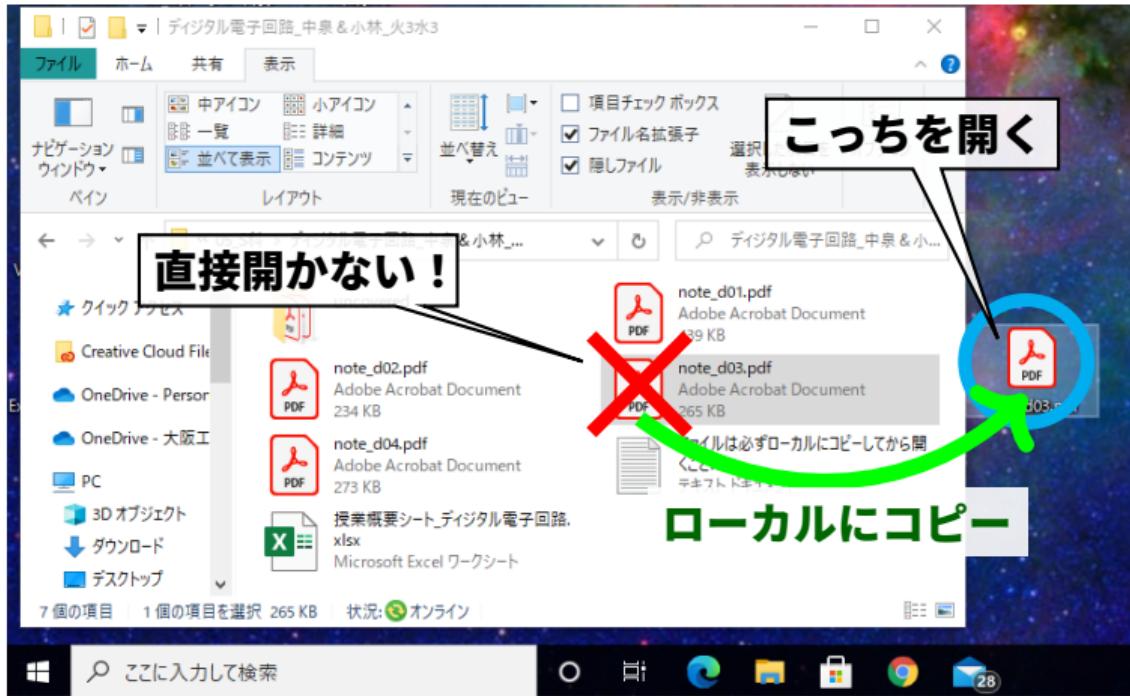
COMMON フォルダの注意事項 (全授業共通)

根源的に悪いのは Windows の仕様なのですが、ご協力ください。



COMMON フォルダの注意事項 (全授業共通)

根源的に悪いのは Windows の仕様なのですが、ご協力ください。



R/S 科ディジタル電子回路

Digital Electronics

『順序回路の実現』



Google Meet

小林裕之・中泉文孝

大阪工業大学 RD 学部システムデザイン工学科・ロボット工学科



OSAKA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

8 of 14

a L^AT_EX + Beamer slideshow

これまでのあらすじ

- ① n 進数の考え方
- ② ブール代数
- ③ 論理の表現と簡単化
- ④ 組み合わせ回路における実用上のテクニック
- ⑤ 順序回路の定義・簡単化

これまでのあらすじ

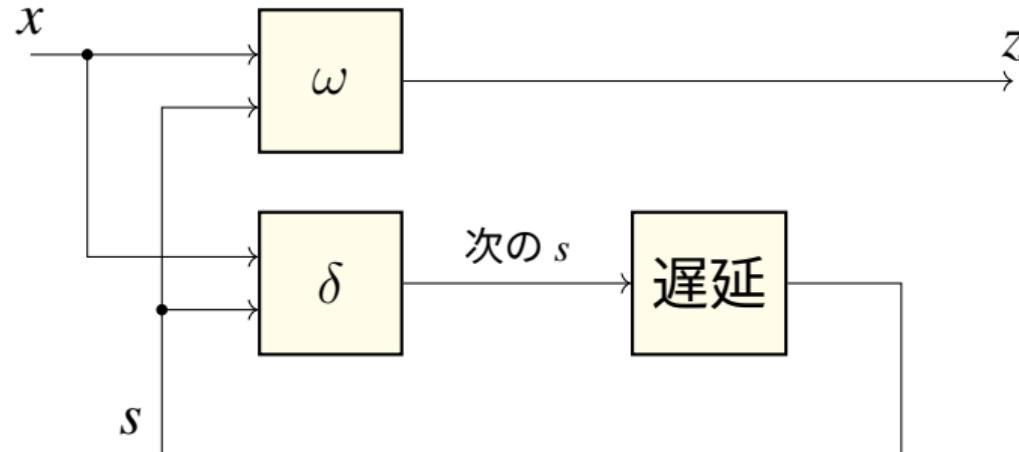
- ① n 進数の考え方
- ② ブール代数
- ③ 論理の表現と簡単化
- ④ 組み合わせ回路における実用上のテクニック
- ⑤ 順序回路の定義・簡単化

前回・**今回**と次回(とその次?)で【順序回路の実現】

順序回路 $M = (S, X, Z, \delta, \omega)$ を作るには？

状態遷移関数 $\delta(S, X)$ と出力関数 $\omega(S, X)$ を作ればいい？

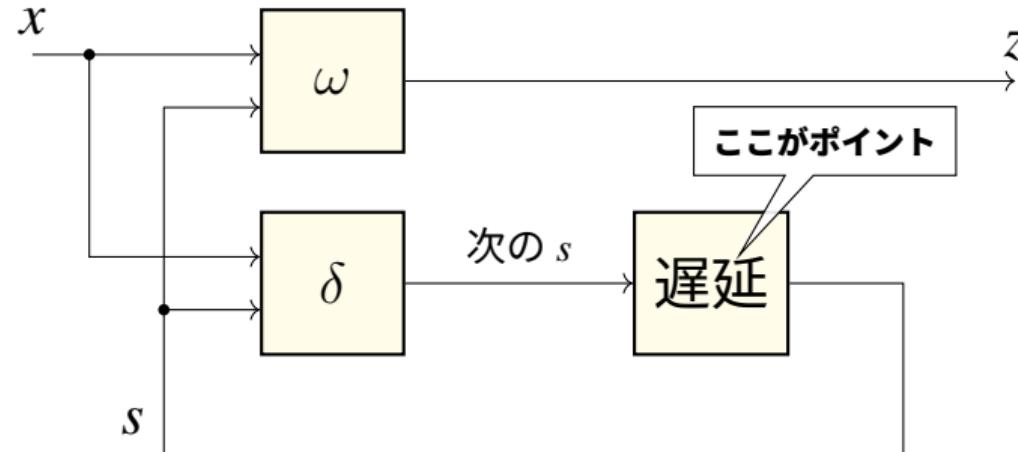
- ω は「状態と入力」から「出力」を決める、比較的単純な関数。ふつうの組み合わせ回路として作れそう。
- δ は「状態と入力」から「**次の状態**」を決める。→ どう作るか？



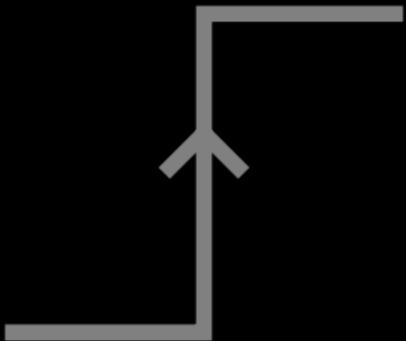
順序回路 $M = (S, X, Z, \delta, \omega)$ を作るには？

状態遷移関数 $\delta(S, X)$ と出力関数 $\omega(S, X)$ を作ればいい？

- ω は「状態と入力」から「出力」を決める、比較的単純な関数。ふつうの組み合わせ回路として作れそう。
- δ は「状態と入力」から「**次の状態**」を決める。→ どう作るか？



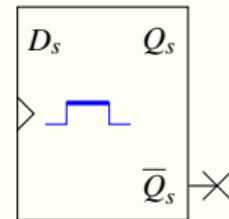
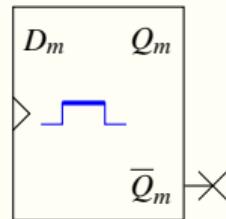
エッヂトリガと FF



エッヂトリガの実現

- レベルトリガは簡単。レベルも 0 か 1 の論理値の入力に過ぎない。これまでどおりの組み合わせ回路で作れる。
- エッヂトリガは違う。 \uparrow 立ち上がりも \downarrow 立ち下がりも ではない。つまり、これまでどおりの組み合わせ回路の設計法では実現できない。

瞬間を捉える～エッヂトリガの実現例～



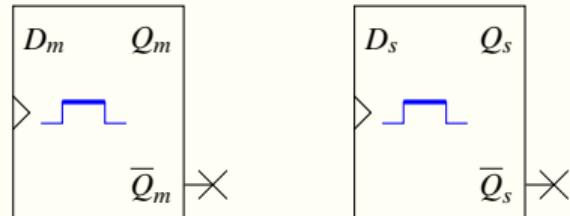
- レベルトリガの D-FF × 2。
- 左側をマスタラッチ、右側をスレーブラッチとする **マスタ・スレーブ構成**で実現。
- これは立ち上りトリガ。

その他のエッヂトリガ型の FF も同じように作ればいいので、今後は **クロックは基本的にエッヂトリガ**だけを考える。

エッヂトリガの実現

- ・ レベルトリガは簡単。レベルも 0 か 1 の論理値の入力に過ぎない。これまでどおりの組み合わせ回路で作れる。
- ・ エッヂトリガは違う。 \uparrow 立ち上がりも \downarrow 立ち下がりも 論理値ではない。つまり、これまでどおりの組み合わせ回路の設計法では実現できない。

瞬間を捉える～エッヂトリガの実現例～



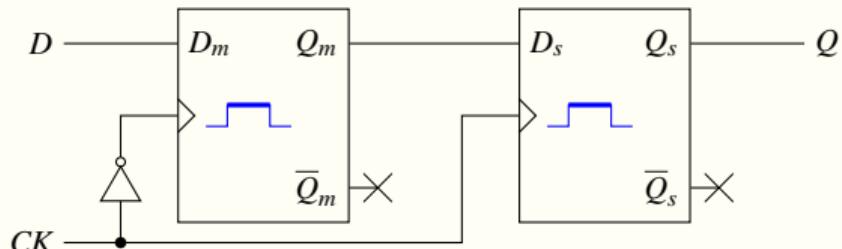
- ・ レベルトリガの D-FF × 2。
- ・ 左側をマスタラッチ、右側をスレーブラッチとする **マスタ・スレーブ構成**で実現。
- ・ これは立ち上りトリガ。

その他のエッヂトリガ型の FF も同じように作ればいいので、今後は **クロックは基本的にエッヂトリガ**だけを考える。

エッヂトリガの実現

- レベルトリガは簡単。レベルも 0 か 1 の論理値の入力に過ぎない。これまでどおりの組み合わせ回路で作れる。
- エッヂトリガは違う。 \uparrow 立ち上がりも \downarrow 立ち下がりも 論理値ではない。つまり、これまでどおりの組み合わせ回路の設計法では実現できない。

瞬間を捉える～エッヂトリガの実現例～



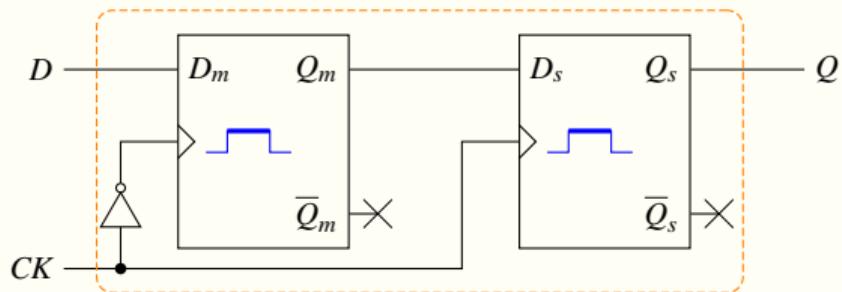
- レベルトリガの D-FF × 2。
- 左側をマスタラッチ、右側をスレーブラッチとする **マスタ・スレーブ構成**で実現。
- これは立ち上りトリガ。

その他のエッヂトリガ型の FF も同じように作ればいいので、今後は **クロックは基本的にエッヂトリガだけ**を考える。

エッヂトリガの実現

- レベルトリガは簡単。レベルも 0 か 1 の論理値の入力に過ぎない。これまでどおりの組み合わせ回路で作れる。
- エッヂトリガは違う。 \uparrow 立ち上がりも \downarrow 立ち下がりも 論理値ではない。つまり、これまでどおりの組み合わせ回路の設計法では実現できない。

瞬間を捉える～エッヂトリガの実現例～

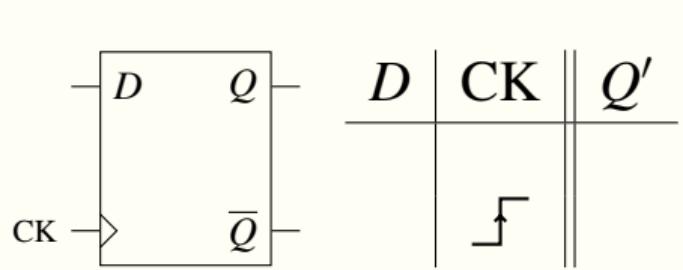


- レベルトリガの $D\text{-FF} \times 2$ 。
- 左側をマスタラッチ、右側をスレーブラッチとする **マスタ・スレーブ構成**で実現。
- これは立ち上がりトリガ。

その他のエッヂトリガ型の FF も同じように作ればいいので、今後は **クロックは基本的にエッヂトリガ**だけを考える。

同期式 D-FF(エッジトリガ)

D は Delay の D 入力をそのまま (クロックに同期させて) 出力



- 「ふつう、D-FF といったらエッジトリガ。」
- 「レベルトリガのものは (D-FF と呼ばずに) **D ラッチ** ということが多い。」

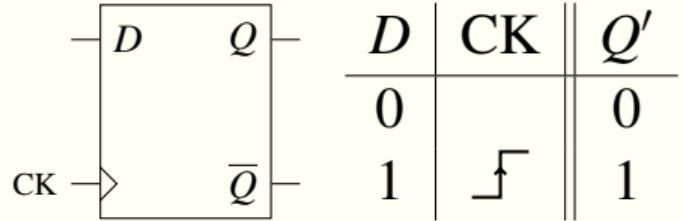
問: D-FF の特性方程式を求めよ。

(※ エッジトリガでは **クロックは論理値としての入力と考えない。**)

$$Q' =$$

同期式 D-FF(エッジトリガ)

D は Delay の D 入力をそのまま (クロックに同期させて) 出力



- 「ふつう、D-FF といったらエッジトリガ。」
- 「レベルトリガのものは (D-FF と呼ばずに) **D ラッチ** ということが多い。」

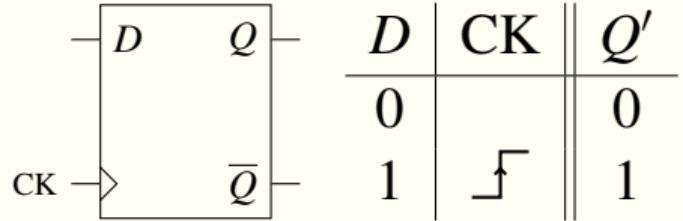
問: D-FF の特性方程式を求めよ。

(※ エッジトリガでは **クロックは論理値としての入力と考えない。**)

$$Q' =$$

同期式 D-FF(エッジトリガ)

D は Delay の D 入力をそのまま (クロックに同期させて) 出力



- 「ふつう、D-FF といったらエッジトリガ。」
- 「レベルトリガのものは (D-FF と呼ばずに) **D ラッチ** ということが多い。」

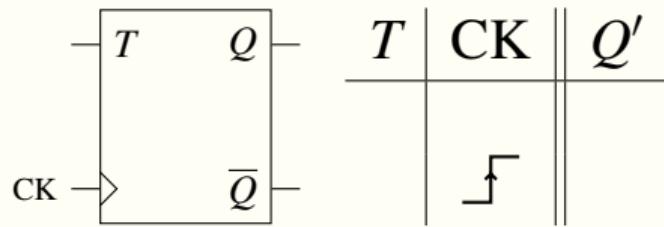
問: D-FF の特性方程式を求めよ。

(※ エッジトリガでは **クロックは論理値としての入力と考えない。**)

$$Q' = D$$

T-FF (エッヂトリガ)

T は Toggle の T 状態を反転させる FF



- $T = 1$ のときにクロックが入ると状態が反転する。
- T 入力が存在せず、常に $T = 1$ として動作するものもある。(次ページ)

問: T-FF の特性方程式を求めよ。 (積和・和積両方で)

$$Q' =$$

T-FF (エッヂトリガ)

T は Toggle の T 状態を反転させる FF

T	Q	T	CK	Q'
		0		\bar{Q}
CK →	\bar{Q}	1	↑	\bar{Q}'

- $T = 1$ のときにクロックが入ると状態が反転する。
- T 入力が存在せず、常に $T = 1$ として動作するものもある。(次ページ)

問: T-FF の特性方程式を求めよ。(積和・和積両方で)

$$Q' =$$

T-FF (エッヂトリガ)

T は Toggle の T 状態を反転させる FF

T	Q	T	CK	Q'
		0		\bar{Q}
CK →	\bar{Q}	1	↑	\bar{Q}'

- $T = 1$ のときにクロックが入ると状態が反転する。
- T 入力が存在せず、常に $T = 1$ として動作するものもある。(次ページ)

問: T-FF の特性方程式を求めよ。(積和・和積両方で)

$$Q' = T \cdot \bar{Q} + \bar{T} \cdot Q =$$

T-FF (エッヂトリガ)

T は Toggle の T 状態を反転させる FF

T	Q	T	CK	Q'
		0		\bar{Q}
CK →	\bar{Q}	1	↑	\bar{Q}'

- $T = 1$ のときにクロックが入ると状態が反転する。
- T 入力が存在せず、常に $T = 1$ として動作するものもある。(次ページ)

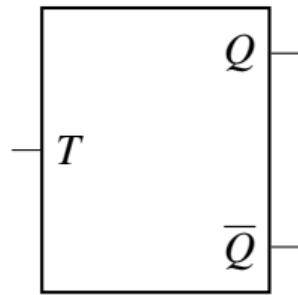
問: T-FF の特性方程式を求めよ。(積和・和積両方で)

$$Q' = T \cdot \bar{Q} + \bar{T} \cdot Q = (\bar{T} + \bar{Q}) \cdot (T + Q)$$

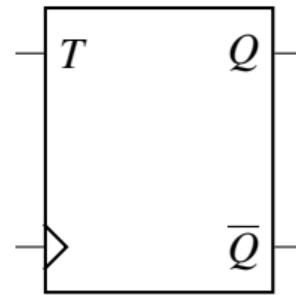
もう一つの T-FF (ややこしい！)

クロックなしの T-FF?

- 『クロックのない T-FF』なるものが存在する。
- これは本当はクロックがないのではなく、クロックをとみなしていると考える方がすっきりする。で、本来の T はというと、に固定。



は、つまり

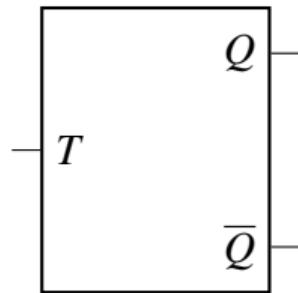


。

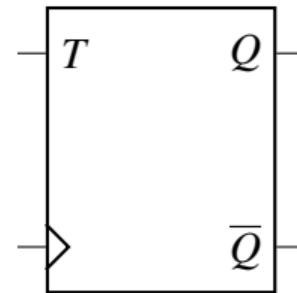
もう一つの T-FF (ややこしい！)

クロックなしの T-FF?

- 『クロックのない T-FF』なるものが存在する。
- これは本当はクロックがないのではなく、クロックを T とみなしている と考える方がすっきりする。で、本来の T はというと、に固定。



は、つまり

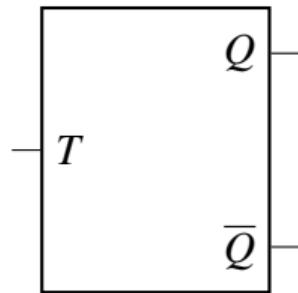


。

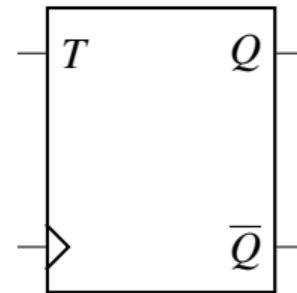
もう一つの T-FF (ややこしい！)

クロックなしの T-FF?

- 『クロックのない T-FF』なるものが存在する。
- これは本当はクロックがないのではなく、クロックを T とみなしている と考える方がすっきりする。で、本来の T はというと、1に固定。



は、つまり

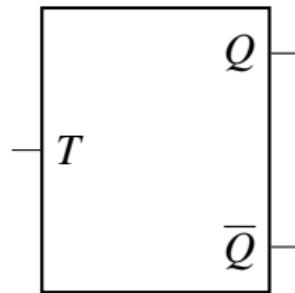


。

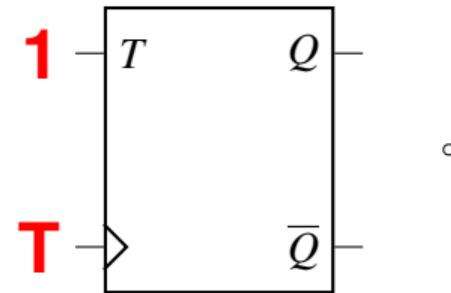
もう一つの T-FF (ややこしい！)

クロックなしの T-FF?

- 『クロックのない T-FF』なるものが存在する。
- これは本当はクロックがないのではなく、クロックを T とみなしている と考える方がすっきりする。で、本来の T はというと、1に固定。



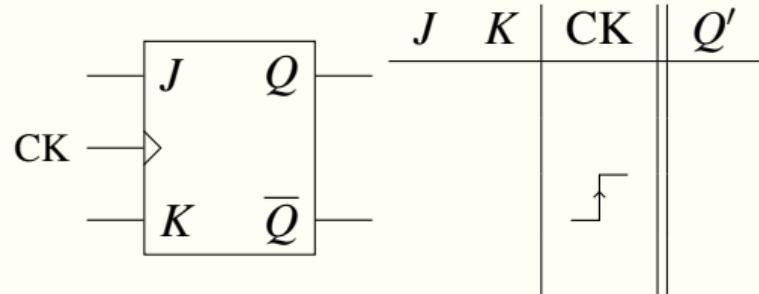
は、つまり



。

JK-FF (エッチトリガ)

JK-FF それは最強の FF



- Jを、Kを とすると、**ほぼ RS-FF。**
- ただし $J = K = 1$ は禁止ではなくて。

問: JK-FF の特性方程式を求めよ。 (積和・和積両方で)

$$Q' =$$

JK-FF (エッチトリガ)

JK-FF それは最強の FF

		J	K	CK	Q'
	J	0	0		Q
CK		0	1		0
	K	1	0	↑	1
		1	1		\bar{Q}

- Jを、Kを とすると、**ほぼ RS-FF。**
- ただし $J = K = 1$ は禁止ではなくて。

問: JK-FF の特性方程式を求めよ。(積和・和積両方で)

$$Q' =$$

JK-FF (エッチトリガ)

JK-FF それは最強の FF

		J	K	CK	Q'
	J	0	0		Q
CK		0	1		0
	K	1	0	↑	1
		1	1		\bar{Q}

- JをS、KをRと考えると、**ほぼ RS-FF。**
- ただし $J = K = 1$ は禁止ではなくて。

問: JK-FF の特性方程式を求めよ。(積和・和積両方で)

$$Q' =$$

JK-FF (エッチトリガ)

JK-FF それは最強の FF

		J	K	CK	Q'
	J	0	0		Q
CK		0	1		0
	K	1	0	↑	1
		1	1		\bar{Q}

- JをS、KをRと考えると、**ほぼ RS-FF。**
- ただし $J = K = 1$ は禁止ではなくて反転。

問: JK-FF の特性方程式を求めよ。 (積和・和積両方で)

$$Q' =$$

JK-FF (エッチトリガ)

JK-FF それは最強の FF

		J	K	CK	Q'
		0	0		Q
		0	1		0
CK	→			⊜	1
K		1	0		\bar{Q}
		1	1		\bar{Q}

- JをS、KをRと考えると、**ほぼ RS-FF。**
- ただし $J = K = 1$ は禁止ではなくて反転。

問: JK-FF の特性方程式を求めよ。(積和・和積両方で)

$$Q' = J \cdot \bar{Q} + \bar{K} \cdot Q =$$

JK-FF (エッチトリガ)

JK-FF それは最強の FF

		J	K	CK	Q'	
		0	0		Q	Q
		0	1		0	0
		1	0	↑	1	1
		1	1		Q̄	Q̄

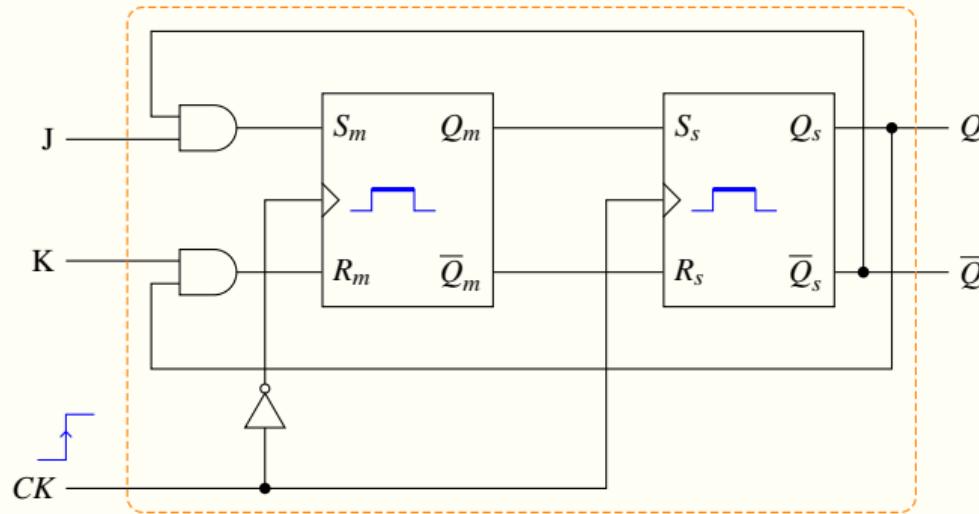
- JをS、KをRと考えると、**ほぼ RS-FF。**
- ただし $J = K = 1$ は禁止ではなくて反転。

問: JK-FF の特性方程式を求めよ。 (積和・和積両方で)

$$Q' = J \cdot \overline{Q} + \overline{K} \cdot Q = (J + Q) \cdot (\overline{K} + \overline{Q})$$

JK-FF の作り方

材料: レベルトリガの RS-FF ×2, AND と NOT 少々



- これは立ち上がりエッヂで動作する例。
- 2つの RS-FF(レベルトリガ)を用いる。左がマスタ、右がスレイヴ。
- ゆっくり考えればきっと理解できる!

ややこしかった FF のまとめ

- 4 種類: RS, D, T, JK
- クロック: なし、レベル、エッヂ

の 12 通りの組み合わせが考えられるが、現実的には 6 個だけ。

CK FF	RS	D	T	JK
なし				
レベル 				
エッヂ 				

ややこしかった FF のまとめ

- 4 種類: RS, D, T, JK
- クロック: なし、レベル、エッヂ

の 12 通りの組み合わせが考えられるが、現実的には 6 個だけ。

CK FF	RS	D	T	JK
なし	○	N/A	微妙	N/A
レベル 				
エッヂ 				

ややこしかった FF のまとめ

- 4 種類: RS, D, T, JK
- クロック: なし、レベル、エッヂ

の 12 通りの組み合わせが考えられるが、現実的には 6 個だけ。

CK FF	RS	D	T	JK
なし	○	N/A	微妙	N/A
レベル 	○	D latch	N/A	N/A
エッヂ 				

ややこしかった FF のまとめ

- 4 種類: RS, D, T, JK
- クロック: なし、レベル、エッヂ

の 12 通りの組み合わせが考えられるが、現実的には 6 個だけ。

CK \ FF	RS	D	T	JK
なし	○	N/A	微妙	N/A
レベル 	○	D latch	N/A	N/A
エッヂ 	N/A	○	○	○

ややこしかった FF のまとめ

- 4 種類: RS, D, T, JK
- クロック: なし、レベル、エッヂ

の 12 通りの組み合わせが考えられるが、現実的には 6 個だけ。

CK \ FF	RS	D	T	JK
なし	○	N/A	微妙	N/A
レベル 	○	D latch	N/A	N/A
エッヂ 	N/A	○	○	○

実用上、FF と言えば、

- エッヂトリガの、**
- D, T, JK**

の 3 つだけ考えれば十分。

FF の励起表

励起表とは…、“逆引き特性表”(かな?)

- 状態 Q のある変化の原因となり得る入力を並べたものを _____ という (気持ち的には特性表の逆)。
- 状態 Q の変化とは、具体的には以下の 4 つ。
『 』『 』『 』『 』

例: RS-FF

特性表		Q'
R	S	
0	0	Q
0	1	1
1	0	0
1	1	禁止

励起表		$Q \rightarrow Q'$	R	S

FF の励起表

励起表とは…、“逆引き特性表”(かな?)

- 状態 Q のある変化の原因となり得る入力を並べたものを 励起表 (excitation table) という (気持ち的には特性表の逆)。
- 状態 Q の変化とは、具体的には以下の 4 つ。
『 』『 』『 』『 』

例: RS-FF

特性表		Q'
R	S	
0	0	Q
0	1	1
1	0	0
1	1	禁止

励起表		$Q \rightarrow Q'$	R	S

FF の励起表

励起表とは…、“逆引き特性表”(かな?)

- 状態 Q のある変化の原因となり得る入力を並べたものを 励起表 (excitation table) という (気持ち的には特性表の逆)。
- 状態 Q の変化とは、具体的には以下の 4 つ。
『0→0』『0→1』『1→0』『1→1』

例: RS-FF

特性表		Q'
R	S	
0	0	Q
0	1	1
1	0	0
1	1	禁止

励起表	
$Q \rightarrow Q'$	R S

FF の励起表

励起表とは…、“逆引き特性表”(かな?)

- 状態 Q のある変化の原因となり得る入力を並べたものを 励起表 (excitation table) という (気持ち的には特性表の逆)。
- 状態 Q の変化とは、具体的には以下の 4 つ。
『0→0』『0→1』『1→0』『1→1』

例: RS-FF

特性表		Q'
R	S	
0	0	Q
0	1	1
1	0	0
1	1	禁止

励起表	
$Q \rightarrow Q'$	R S
$0 \rightarrow 0$	
$0 \rightarrow 1$	
$1 \rightarrow 0$	
$1 \rightarrow 1$	

FF の励起表

励起表とは…、“逆引き特性表”(かな?)

- 状態 Q のある変化の原因となり得る入力を並べたものを 励起表 (excitation table) という (気持ち的には特性表の逆)。
- 状態 Q の変化とは、具体的には以下の 4 つ。
『0→0』『0→1』『1→0』『1→1』

例: RS-FF

特性表		Q'
R	S	
0	0	Q
0	1	1
1	0	0
1	1	禁止

励起表		
$Q \rightarrow Q'$	R	S
0 → 0	0	0
0 → 1		
1 → 0		
1 → 1		

FF の励起表

励起表とは…、“逆引き特性表”(かな?)

- 状態 Q のある変化の原因となり得る入力を並べたものを 励起表 (excitation table) という (気持ち的には特性表の逆)。
- 状態 Q の変化とは、具体的には以下の 4 つ。
『0→0』『0→1』『1→0』『1→1』

例: RS-FF

特性表		Q'
R	S	
0	0	Q
0	1	1
1	0	0
1	1	禁止

励起表		
$Q \rightarrow Q'$	R	S
0 → 0	0	0
	1	0
0 → 1		
1 → 0		
1 → 1		

FF の励起表

励起表とは…、“逆引き特性表”(かな?)

- 状態 Q のある変化の原因となり得る入力を並べたものを 励起表 (excitation table) という (気持ち的には特性表の逆)。
- 状態 Q の変化とは、具体的には以下の 4 つ。
『0→0』『0→1』『1→0』『1→1』

例: RS-FF

特性表		Q'
R	S	
0	0	Q
0	1	1
1	0	0
1	1	禁止

励起表		
$Q \rightarrow Q'$	R	S
0 → 0	0	0
	1	0
0 → 1	0	1
1 → 0		
1 → 1		

FF の励起表

励起表とは…、“逆引き特性表”(かな?)

- 状態 Q のある変化の原因となり得る入力を並べたものを 励起表 (excitation table) という (気持ち的には特性表の逆)。
- 状態 Q の変化とは、具体的には以下の 4 つ。
『0→0』『0→1』『1→0』『1→1』

例: RS-FF

特性表		Q'
R	S	
0	0	Q
0	1	1
1	0	0
1	1	禁止

励起表		
$Q \rightarrow Q'$	R	S
0 → 0	0	0
	1	0
0 → 1	0	1
1 → 0	1	0
1 → 1		

FF の励起表

励起表とは…、“逆引き特性表”(かな?)

- 状態 Q のある変化の原因となり得る入力を並べたものを 励起表 (excitation table) という (気持ち的には特性表の逆)。
- 状態 Q の変化とは、具体的には以下の 4 つ。
『0→0』『0→1』『1→0』『1→1』

例: RS-FF

特性表		Q'
R	S	
0	0	Q
0	1	1
1	0	0
1	1	禁止

励起表		
$Q \rightarrow Q'$	R	S
0 → 0	0	0
	1	0
0 → 1	0	1
1 → 0	1	0
1 → 1	0	0

FF の励起表

励起表とは…、“逆引き特性表”(かな?)

- 状態 Q のある変化の原因となり得る入力を並べたものを 励起表 (excitation table) という (気持ち的には特性表の逆)。
- 状態 Q の変化とは、具体的には以下の 4 つ。
『0→0』『0→1』『1→0』『1→1』

例: RS-FF

特性表		Q'
R	S	
0	0	Q
0	1	1
1	0	0
1	1	禁止

励起表		
$Q \rightarrow Q'$	R	S
0 → 0	0	0
	1	0
0 → 1	0	1
1 → 0	1	0
1 → 1	0	0
	0	1

FF の励起表

励起表とは…、“逆引き特性表”(かな?)

- 状態 Q のある変化の原因となり得る入力を並べたものを 励起表 (excitation table) という (気持ち的には特性表の逆)。
- 状態 Q の変化とは、具体的には以下の 4 つ。
『0→0』『0→1』『1→0』『1→1』

例: RS-FF

特性表		Q'
R	S	
0	0	Q
0	1	1
1	0	0
1	1	禁止

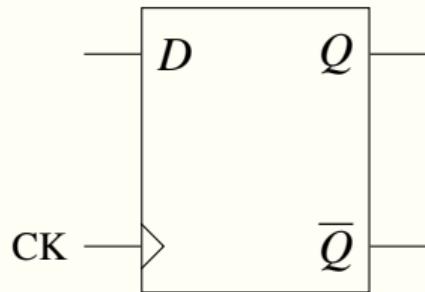
励起表		
$Q \rightarrow Q'$	R	S
0 → 0	0	0
	1	0
0 → 1	0	1
1 → 0	1	0
1 → 1	0	0
	0	1

→

$Q \rightarrow Q'$	R	S
0 → 0	-	0
0 → 1	0	1
1 → 0	1	0
1 → 1	0	-

D-FF の励起表

D-FF



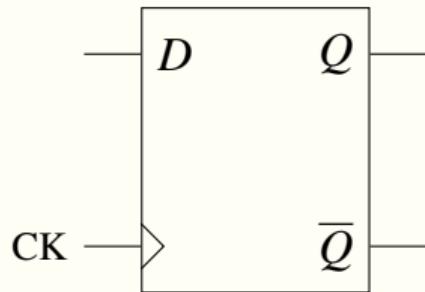
特性表	
D	Q'
0	0
1	1

励起表

$Q \rightarrow Q'$	D

D-FF の励起表

D-FF



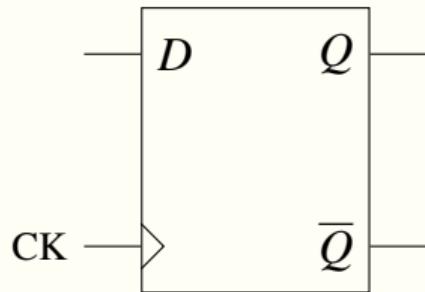
特性表	
D	Q'
0	0
1	1

励起表

$Q \rightarrow Q'$	D
$0 \rightarrow 0$	
$0 \rightarrow 1$	
$1 \rightarrow 0$	
$1 \rightarrow 1$	

D-FF の励起表

D-FF



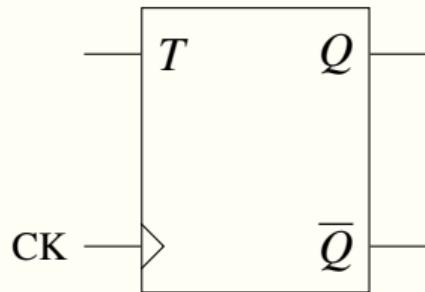
特性表	
D	Q'
0	0
1	1

励起表

$Q \rightarrow Q'$	D
$0 \rightarrow 0$	0
$0 \rightarrow 1$	1
$1 \rightarrow 0$	0
$1 \rightarrow 1$	1

T-FF の励起表

T-FF



特性表

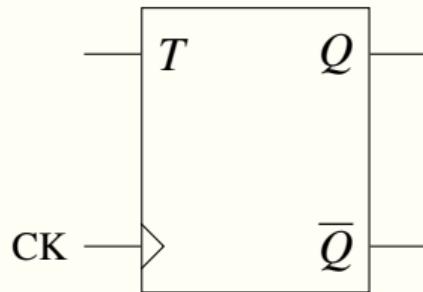
T	Q'
0	Q
1	\bar{Q}

励起表

$Q \rightarrow Q'$	T

T-FF の励起表

T-FF



特性表

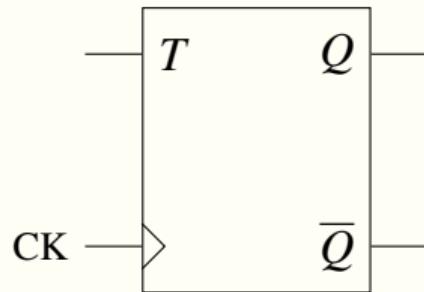
T	Q'
0	Q
1	\bar{Q}

励起表

$Q \rightarrow Q'$	T
$0 \rightarrow 0$	
$0 \rightarrow 1$	
$1 \rightarrow 0$	
$1 \rightarrow 1$	

T-FF の励起表

T-FF



特性表

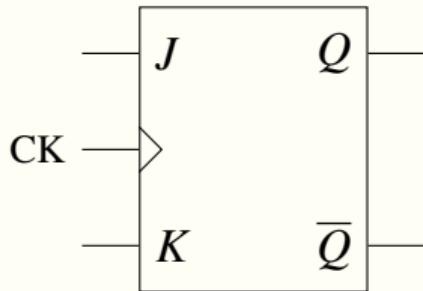
T	Q'
0	Q
1	\bar{Q}

励起表

$Q \rightarrow Q'$	T
$0 \rightarrow 0$	0
$0 \rightarrow 1$	1
$1 \rightarrow 0$	1
$1 \rightarrow 1$	0

JK-FF の励起表

JK-FF



特性表

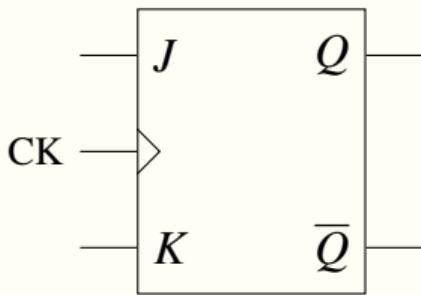
J	K	Q'
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

励起表

$Q \rightarrow Q'$	J	K
$0 \rightarrow 0$		
$0 \rightarrow 1$		
$1 \rightarrow 0$		
$1 \rightarrow 1$		

JK-FF の励起表

JK-FF



特性表

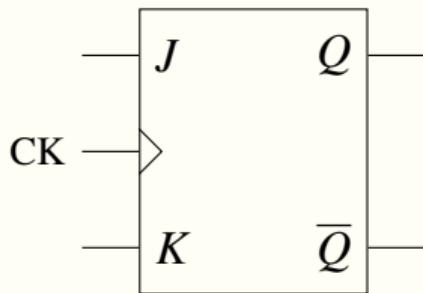
J	K	Q'
0	0	Q
0	1	0
1	0	1
1	1	\bar{Q}

励起表

$Q \rightarrow Q'$	J	K
$0 \rightarrow 0$		
$0 \rightarrow 1$		
$1 \rightarrow 0$		
$1 \rightarrow 1$		

JK-FF の励起表

JK-FF



特性表

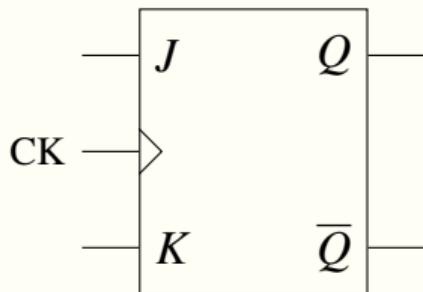
J	K	Q'
0	0	Q
0	1	0
1	0	1
1	1	\bar{Q}

励起表

$Q \rightarrow Q'$	J	K
$0 \rightarrow 0$	0	-
$0 \rightarrow 1$		
$1 \rightarrow 0$		
$1 \rightarrow 1$		

JK-FF の励起表

JK-FF



特性表

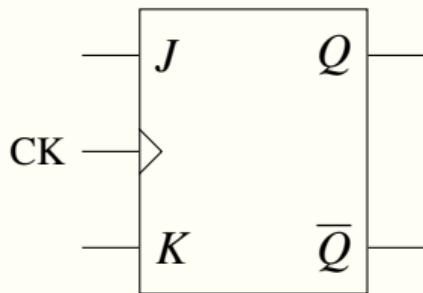
J	K	Q'
0	0	Q
0	1	0
1	0	1
1	1	\bar{Q}

励起表

$Q \rightarrow Q'$	J	K
$0 \rightarrow 0$	0	-
$0 \rightarrow 1$	1	-
$1 \rightarrow 0$		
$1 \rightarrow 1$		

JK-FF の励起表

JK-FF



特性表

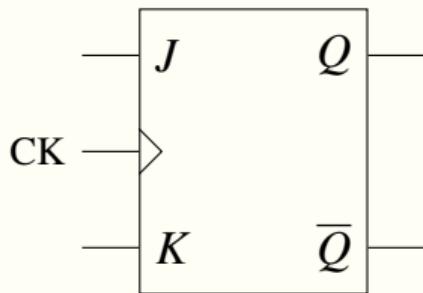
J	K	Q'
0	0	Q
0	1	0
1	0	1
1	1	\bar{Q}

励起表

$Q \rightarrow Q'$	J	K
$0 \rightarrow 0$	0	-
$0 \rightarrow 1$	1	-
$1 \rightarrow 0$	-	1
$1 \rightarrow 1$		

JK-FF の励起表

JK-FF



特性表

J	K	Q'
0	0	Q
0	1	0
1	0	1
1	1	\bar{Q}

励起表

$Q \rightarrow Q'$	J	K
$0 \rightarrow 0$	0	-
$0 \rightarrow 1$	1	-
$1 \rightarrow 0$	-	1
$1 \rightarrow 1$	-	0

練習

問: 次の謎の新型 FF(X-FF, AB-FF) の特性方程式 (積和・和積それぞれ) と励起表を求めよ。

X-FF

励起表

特性表

X	Q'
0	\bar{Q}
1	Q

AB-FF

励起表

特性表

A	B	Q'
0	0	0
0	1	\bar{Q}
1	0	禁止
1	1	1

$$Q' =$$

$$=$$

$$Q' =$$

$$Q' =$$

もしくは

練習

問: 次の謎の新型 FF(X-FF, AB-FF) の特性方程式 (積和・和積それぞれ) と励起表を求めよ。

X-FF

励起表

特性表

X	Q'
0	\overline{Q}
1	Q

$$Q' = (X \cdot Q) + (\bar{X} \cdot \bar{Q})$$

=

AB-FF

励起表

特性表

A	B	Q'
0	0	0
0	1	\overline{Q}
1	0	禁止
1	1	1

$$Q' =$$

$$Q' =$$

もしくは

練習

問: 次の謎の新型 FF(X-FF, AB-FF) の特性方程式 (積和・和積それぞれ) と励起表を求めよ。

X-FF
特性表
励起表

X	Q'
0	\bar{Q}
1	Q

$$\begin{aligned} Q' &= (X \cdot Q) + (\bar{X} \cdot \bar{Q}) \\ &= (X + \bar{Q}) \cdot (\bar{X} + Q) \end{aligned}$$

AB-FF
特性表
励起表

A	B	Q'
0	0	0
0	1	\bar{Q}
1	0	禁止
1	1	1

$$\begin{aligned} Q' &= \\ Q' &= \end{aligned}$$

練習

問: 次の謎の新型 FF(X-FF, AB-FF) の特性方程式 (積和・和積それぞれ) と励起表を求めよ。

X-FF

特性表	
X	Q'
0	\bar{Q}
1	Q

励起表

$Q \rightarrow Q'$	X
$0 \rightarrow 0$	1
$0 \rightarrow 1$	0
$1 \rightarrow 0$	0
$1 \rightarrow 1$	1

AB-FF

特性表

A	B	Q'
0	0	0
0	1	\bar{Q}
1	0	禁止
1	1	1

励起表

$$\begin{aligned}Q' &= (X \cdot Q) + (\bar{X} \cdot \bar{Q}) \\&= (X + \bar{Q}) \cdot (\bar{X} + Q)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q' &= \\Q' &= \text{もしくは}\end{aligned}$$

練習

問: 次の謎の新型 FF(X-FF, AB-FF) の特性方程式 (積和・和積それぞれ) と励起表を求めよ。

X-FF

特性表	
X	Q'
0	\bar{Q}
1	Q

励起表

$Q \rightarrow Q'$	X
$0 \rightarrow 0$	1
$0 \rightarrow 1$	0
$1 \rightarrow 0$	0
$1 \rightarrow 1$	1

AB-FF

特性表		
A	B	Q'
0	0	0
0	1	\bar{Q}
1	0	禁止
1	1	1

$$\begin{aligned}Q' &= (X \cdot Q) + (\bar{X} \cdot \bar{Q}) \\&= (X + \bar{Q}) \cdot (\bar{X} + Q)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q' &= A + (B \cdot \bar{Q}) \quad \text{もしくは} \\Q' &= \end{aligned}$$

練習

問: 次の謎の新型 FF(X-FF, AB-FF) の特性方程式 (積和・和積それぞれ) と励起表を求めよ。

X-FF

特性表	
X	Q'
0	\bar{Q}
1	Q

励起表

$Q \rightarrow Q'$	X
$0 \rightarrow 0$	1
$0 \rightarrow 1$	0
$1 \rightarrow 0$	0
$1 \rightarrow 1$	1

AB-FF

励起表

特性表

A	B	Q'
0	0	0
0	1	\bar{Q}
1	0	禁止
1	1	1

$$\begin{aligned}Q' &= (X \cdot Q) + (\bar{X} \cdot \bar{Q}) \\&= (X + \bar{Q}) \cdot (\bar{X} + Q)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q' &= A + (B \cdot \bar{Q}) \quad \text{もしくは} \\Q' &= (A + \bar{Q}) \cdot B\end{aligned}$$

練習

問: 次の謎の新型 FF(X-FF, AB-FF) の特性方程式 (積和・和積それぞれ) と励起表を求めよ。

X-FF

特性表	
X	Q'
0	\bar{Q}
1	Q

励起表

$Q \rightarrow Q'$	X
0→0	1
0→1	0
1→0	0
1→1	1

AB-FF

励起表

$Q \rightarrow Q'$	A	B
0→0	0	0
0→1	-	1
1→0	0	-
1→1	1	1

$$Q' = (X \cdot Q) + (\bar{X} \cdot \bar{Q})$$

$$= (X + \bar{Q}) \cdot (\bar{X} + Q)$$

特性表

A	B	Q'
0	0	0
0	1	\bar{Q}
1	0	禁止
1	1	1

$$Q' = A + (B \cdot \bar{Q}) \quad \text{もしくは}$$

$$Q' = (A + \bar{Q}) \cdot B$$

ここまで、

- 順序回路が何たるかを理解し、
- その材料である FF も学んだ。

というわけでやっと準備が整った。次回はいよいよ順序回路の**実現**である。

出席確認レポート課題 (次の月曜の 12 時締め切り)

問: 次の特性表で表される謎の新型 FF(IL-FF) の特性方程式 (積和・和積それぞれ) と励起表を求めよ。

I	L	Q'
0	0	1
0	1	\overline{Q}
1	0	Q
1	1	0

提出は下記 URL の Google Forms。歪んでいない、開いた時に横倒しになっていない、コントラストが読むに耐えうる PDF で提出すること。

<https://forms.gle/9ruwtfJg5LQgQNpU7>

