

ES-Zusammenfassung

15. Juli 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Tutorium 1	2
1.1	Spannungsteiler	2
1.2	Die Diode	3
1.2.1	Differentieller Widerstand	3
1.3	Die Z-Diode	4
2	Tutorium 2	5
2.1	Potentiometer	5
2.2	Der Bipolartransistor	6
2.2.1	Der Arbeitspunkt	6
2.3	Ersatzschaltbilder	6
2.3.1	Großsignalersatzschaltbild	6
2.3.2	Kleinsignalersatzschaltbild	7
2.4	Grundsaltungen des Transistors	7
3	Tutorium 3	8
3.1	Feldeffekttransistoren	8
3.2	Ersatzschaltbilder	8
3.2.1	Der Sperrschicht-Feldeffekttransistor (J-FET)	9
3.2.2	Der MOSFET	9
4	Tutorium 4	10
5	Tutorium 5 und 6	13

Abbildungsverzeichnis

1	Spannungsteiler	2
2	Grafische Ermittlung des Arbeitspunkts am Spannungsteiler	3

3	differentieller Widerstand einer Diode	4
4	Spannungsstabilisierer mit Z-Diode	4
5	Schichtpotentiometer	5
6	Großsignalersatzschaltbild des Bipolartransistors	6
7	Kleinsignalersatzschaltbild des Bipolartransistors	7
8	Übersicht der Grundsaltungen	8
9	Großsignalersatzschaltbild des J-FET	9
10	Kleinsignalersatzschaltbild des J-FET	9
11	Groß- und Kleinsignalersatzschaltbild des MOSFET	10

1 Tutorium 1

Die Formelsammlung ist in ES eine große Hilfe! Mache dich so früh wie möglich mit ihr vertraut.

1.1 Spannungsteiler

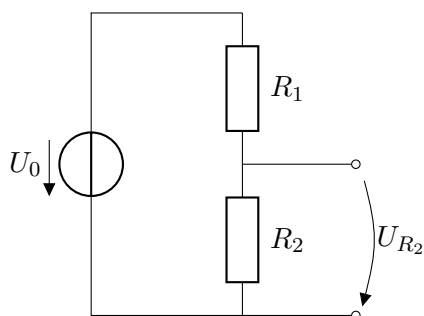


Abbildung 1: Spannungsteiler

Bei einem Spannungsteiler gilt gemäß der Spannungsteilerregel:

$$U_{R_1} = U_0 \frac{R_2}{R_1 + R_2} \text{ und } U_{R_2} = U_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Neben der rechnerischen Lösung kann man die Spannung, die sich an einem Spannungsteiler einstellt, auch graphisch in einem U/I -Diagramm ermitteln. Die Widerstände sind in solch einem Diagramm die Steigungen der Geraden ($R = \frac{U}{I}$). Allerdings muss man für einen der beiden Widerstände die Steigung als $m = -\frac{1}{R}$ angeben, da sich die Geraden ansonsten nicht schneiden würden. Diese Form der Widerstandskennlinie nennt man auch „Lastgerade“. Auf diese Weise kann man auch den Arbeitspunkt von Dioden und Transistoren bestimmen. Die linke „Gerade“ ist dann die Kennlinie des jeweiligen Bauteils.

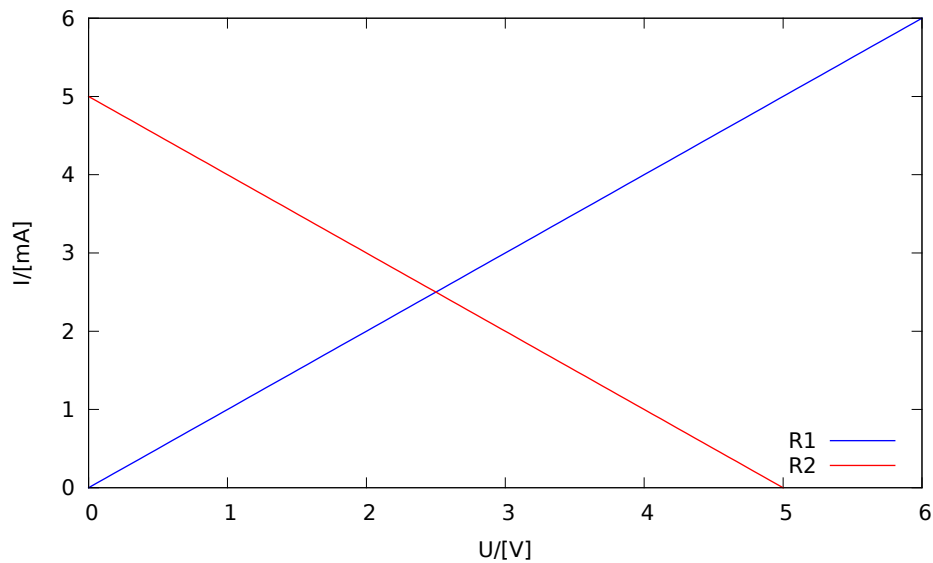


Abbildung 2: Grafische Ermittlung des Arbeitspunkts am Spannungsteiler

1.2 Die Diode

Die Diodenkennlinie hängt von der Temperatur ab. Ist die Temperatur nicht gegeben wird bei Zimmertemperatur gerechnet: $U_T=26\text{mV}$.

1.2.1 Differentieller Widerstand

Da die Diode ein nicht-lineares Bauteil ist, hängt ihr tatsächlicher Widerstand vom Arbeitspunkt ab. Dieser nennt sich differentieller Widerstand $\frac{dU}{dI}$. Dieser weicht, wie in der folgenden Grafik zu sehen ist, deutlich vom Widerstand nach ohmscher Berechnung ($\frac{U_{AP}}{I_{AP}}$) ab.

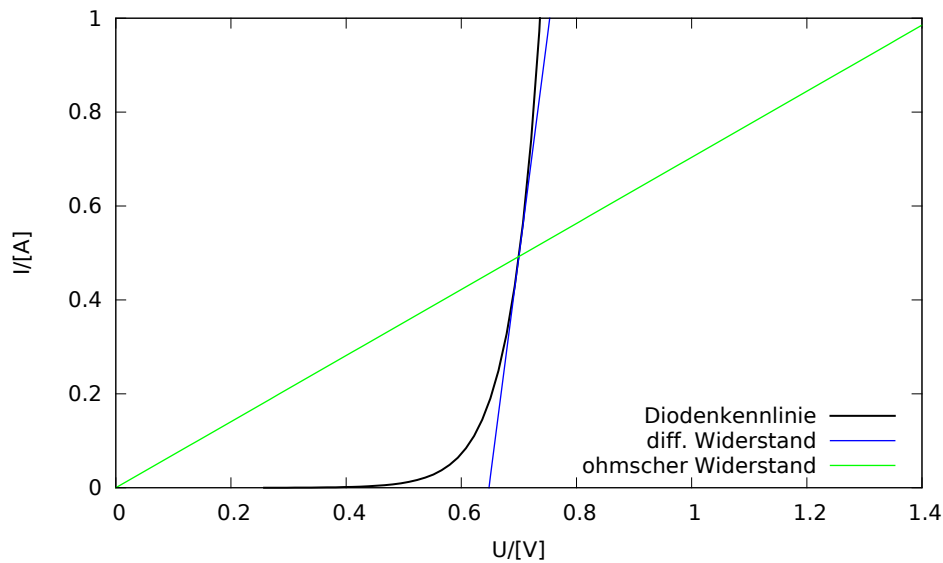


Abbildung 3: differentieller Widerstand einer Diode

1.3 Die Z-Diode

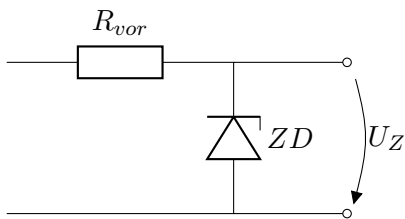


Abbildung 4: Spannungsstabilisierer mit Z-Diode

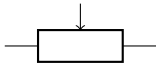
Eine Z-Diode wird immer in Sperrichtung betrieben. Damit stellt sich die U_{ZD} -Spannung der Diode über der Diode ein. Die restliche Spannung muss über R_{vor} abfallen. Wegen $U = RI$ muss bei konstantem Widerstand die Stromstärke konstant sein. ($\rightarrow$ Last muss bekannt sein.)

Immer, wenn in ES eine Wechselspannung der Form $U = 9V + 2V \sin(\omega t)$ gegeben ist, kann man eine Gleichspannung in den Grenzen der Wechselspannung annehmen und damit rechnen. Daraus bilden sich obere und untere Grenzen für die Spannung. Es ist nicht nötig komplex zu rechnen.

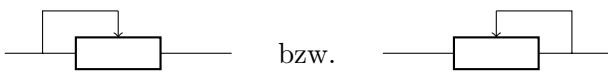
2 Tutorium 2

2.1 Potentiometer

Ein Potentiometer ist ein Bauteil mit variablem Widerstand. Das Schaltsymbol sieht wie folgt aus:



Möchte man ein Poti als reinen variablen Widerstand und nicht als Spannungsteiler betreiben, so sieht die Beschaltung folgendermaßen aus:



Das Prinzip eines simplen Schichtpotentiometers sieht wie folgt aus:

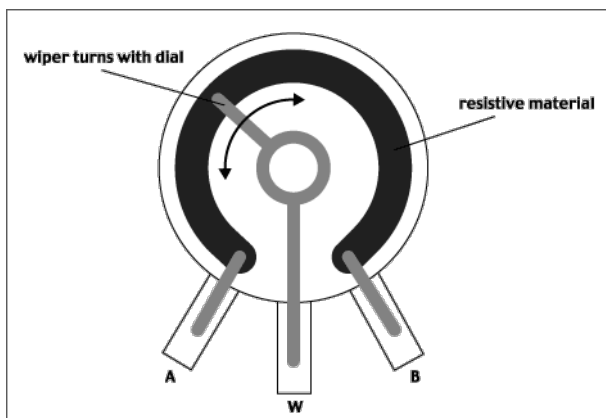
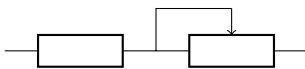


Abbildung 5: Schichtpotentiometer

Wichtig ist hierbei zu beachten, dass es keine Potentiometer gibt, die einen Wert von $x\Omega$ bis $y\Omega$ haben. Zwischen Mittelabgriff und den Enden ist nur ein Widerstand zwischen 0Ω und $z\Omega$ einstellbar. Möchte man dennoch einen unteren Grenzwert haben, so löst man dies ganz einfach mit einem Vorwiderstand in Reihe zum Poti:



2.2 Der Bipolartransistor

2.2.1 Der Arbeitspunkt

Die Spannungen zwischen Kollektor und Emitter (U_{CE}) und zwischen Basis und Emitter (U_{BE}) - und somit auch die Ströme I_C und I_B - bestimmen den Arbeitspunkt eines Transistors. Von ihm hängen je nach Beschaltung einige wichtige Werte wie z.B. die Steilheit und damit auch die Spannungsverstärkung ab. Man ermittelt den Arbeitspunkt mit Hilfe des Großsignalersatzschaltbildes.

2.3 Ersatzschaltbilder

Zunächst sind die Begriffe Klein- und Großsignal zu definieren. Beim Großsignalbetrieb wird der Gleichstrombetrieb einer Schaltung betrachtet. Dort wird der Arbeitspunkt eingestellt.

Im Kleinsignalbetrieb wird die Schaltung für „kleine Eingangssignale“ als linear angenommen. Dies ermöglicht es das dynamische Verhalten im Betrieb zu berechnen.

Die Überlagerung zwischen Groß- und Kleinsignalbetrieb beschreibt die Funktion der Schaltung vollständig.

2.3.1 Großsignalersatzschaltbild

Wie schon erwähnt verwendet man das Großsignalersatzschaltbild um den Arbeitspunkt des Transistors zu ermitteln. Um es zu zeichnen ersetzt man den Transistor durch folgendes Ersatzschaltbild:

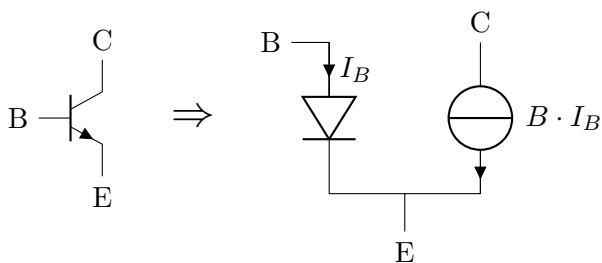


Abbildung 6: Großsignalersatzschaltbild des Bipolartransistors

Da wir nur den Arbeitspunkt betrachten wollen, nehmen wir die Kondensatoren, mit denen Wechselströme ein- oder ausgekoppelt werden, als unendlich großen Widerstand an. Alles vor bzw. hinter ihnen wird also nicht betrachtet und daher auch nicht eingezeichnet.

2.3.2 Kleinsignalersatzschaltbild

Wenn der Arbeitspunkt nun richtig eingestellt ist, betrachten wir das Kleinsignalersatzschaltbild:

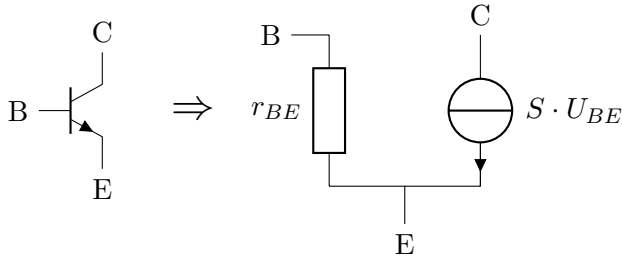


Abbildung 7: Kleinsignalersatzschaltbild des Bipolartransistors

Die Kondensatoren der Schaltung betrachten wir für die Wechselspannung als kurzgeschlossen. Auch die Betriebsspannungsquelle, mit der die Schaltung versorgt wird, wird als kurzgeschlossen betrachtet. Dies erklärt, warum das Kleinsignalersatzschaltbild im Vergleich zur Originalschaltung in der Regel „zusammengefasst“ aussieht und R_C parallel zu R_L liegt.

Der Widerstand R_{CE} ist die Rückwirkung der Kollektor-Emitter-Diode. Diese wird auch Early-Effekt genannt. Wird der Early-Effekt nicht betrachtet, wird dieser Widerstand als unendlich groß angenommen und muss nicht eingezeichnet werden.

2.4 Grundsaltungen des Transistors

Der Bipolartransistor kann in drei Grundsaltungen betrieben werden: der Emitter-Schaltung, der Kollektor-Schaltung und der Basis-Schaltung. Namensgebend für die Grundsaltung ist der Anschluss des Transistors, der als gemeinsamer Bezugsknoten für Ein- und Ausgang der Schaltung dient.

Etwas einfacher formuliert könnte man sagen: Der Anschluss des Transistors, der weder als Ein- oder Ausgang der Schaltung dient.

Einen Überblick über die Schaltungen und deren Vor- bzw. Nachteile liefert die folgende Tabelle:

Schaltung	Strom- verstärkung B, β	Spannungs- verstärkung A	Leistungs- verstärkung	Eingangswiderstand r_e	Ausgangswiderstand r_a
Emitterschaltung	hoch	hoch, $-S \cdot r_a$	hoch, $\beta \cdot A$	$\approx r_{BE}$	$R_C \parallel R_L$
Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung	hoch	klein, r_a / R_E	Mittel, $\beta \cdot A$	$\approx r_{BE} + \beta R_E$, aber abh. von den Widerständen für Ap. Einstellung	$R_C \parallel R_L$
Emitterschaltung mit Spannungsgegenkopplung	hoch	abhängig von Beschaltung	Hoch, $\beta \cdot A$	abhängig von Beschaltung	abhängig von Beschaltung
Kollektorschaltung	hoch	≈ 1	$\approx \beta$	$\approx r_{BE} + \beta R_E$	$\approx R_E \parallel \left(\frac{R_s}{\beta} + \frac{1}{S} \right)$
Basisschaltung	≈ 1	hoch, $+S \cdot r_a$	$\approx A$	klein, $R_E \parallel \left(\frac{1}{S} + \frac{R_{BV}}{\beta} \right)$	$R_C \parallel R_L$

Abbildung 8: Übersicht der Grundsaltungen

3 Tutorium 3

3.1 Feldeffekttransistoren

Genau wie bipolare Transistoren sind auch Feldeffekttransistoren Bauteile mit drei Anschlüssen. Diese werden jedoch anders benannt: Source entspricht dem Emitter, Drain dem Kollektor und Gate der Basis.

Der wichtigste Unterschied zum Umgang mit FETs im Vergleich zu bipolaren Transistoren ist, dass die Gate-Source Diode in Sperrichtung betrieben wird (üblicherweise ist $U_{GS} \neq 0.7V$). Außerdem muss entschieden werden ob der Arbeitspunkt im linearen Bereich oder Sättigungsbereich des Transistors liegt. ($U_{DS} > U_{GS} - U_{th} \rightarrow$ Sättigung, $U_{DS} < U_{GS} - U_{th} \rightarrow$ Linear) Für lineare Verstärker wird immer versucht den Arbeitspunkt des FETs im Sättigungsbereich der Kennlinie zu setzen, da dann der Drainstrom in weiten Bereichen direkt proportional zur Gate-Source-Spannung ist.

Für alle Arten von FETs gilt, dass der Gatestrom als 0 angenommen werden kann.

3.2 Ersatzschaltbilder

Auch für FETs arbeiten wir bei der Analyse einer Schaltung mit Ersatzschaltbildern. Alle Regeln, die für bipolare Transistoren galten, gelten unverändert auch für FETs, nur dass die Ersatzschaltbilder ein bisschen anders aussehen.

3.2.1 Der Sperrschicht-Feldeffekttransistor (J-FET)

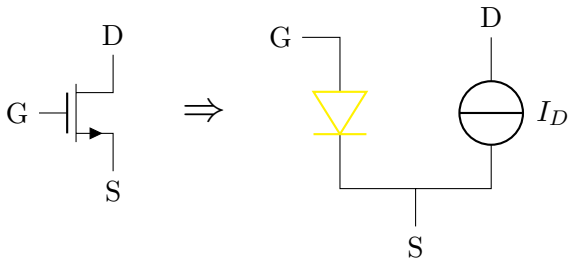


Abbildung 9: Großsignalersatzschaltbild des J-FET

Hier ist es wichtig zu bedenken, dass die Diode in Sperrrichtung betrieben wird. Das bedeutet, dass es anders als beim Bipolartransistor kein Spannungsabfall von 0,7V gibt.

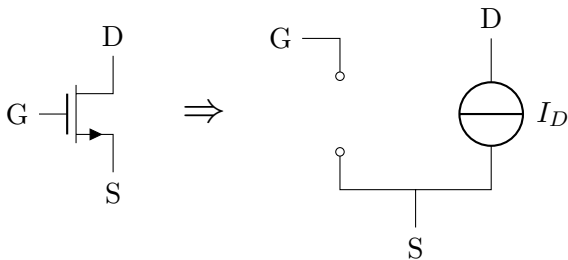


Abbildung 10: Kleinsignalersatzschaltbild des J-FET

3.2.2 Der MOSFET

Bei MOSFETs gibt es zwei verschiedene Typen, selbstleitende (Verarmungstyp) und selbstsperrende (Anreicherungstyp). Die Selbstleitenden leiten bei 0V und müssen mit negativer Gate-Source-Spannung angesteuert werden; **meistens wird die negative Steuerspannung mit einem Sourcewiderstand erzeugt**. Die selbstsperrenden müssen mit positiver Gatespannung zum leiten gebracht werden. Für beide Typen gilt allerdings das selbe Ersatzschaltbild. Da bei den MOSFETs eine nichtleitende Oxidschicht am Gate ist entfällt die Diode, die beim J-FET zwischen Gate und Source ist. Groß- und Kleinsignalersatzschaltbild sehen daher gleich aus:

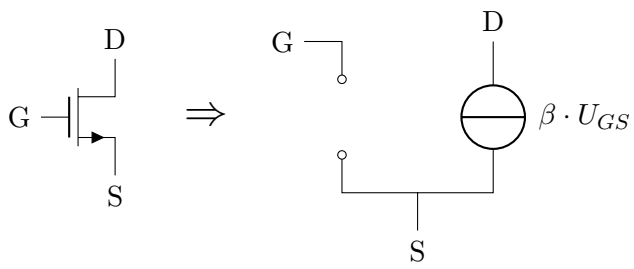
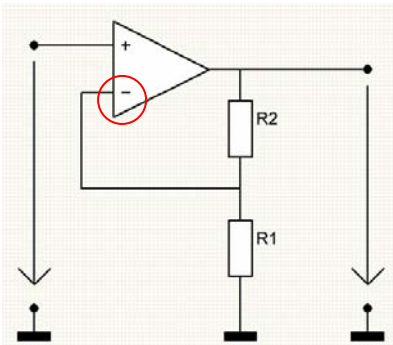


Abbildung 11: Groß- und Kleinsignalersatzschaltbild des MOSFET

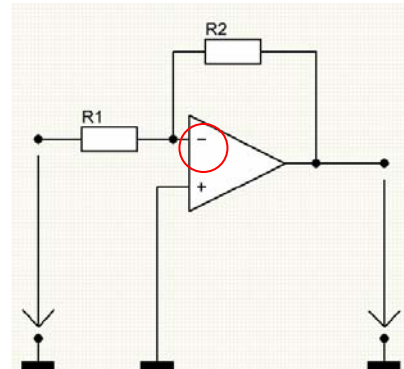
4 Tutorium 4

Operationsverstärkerschaltungen auf einen Blick



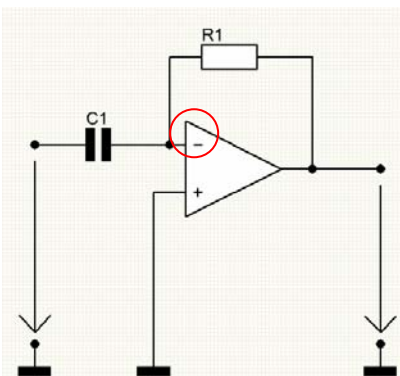
Nichtinvertierender Verstärker

$$u_a = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot u_e$$



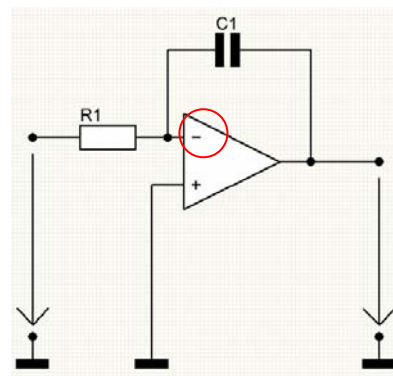
Invertierender Verstärker

$$u_a = -\frac{R_2}{R_1} \cdot u_e$$



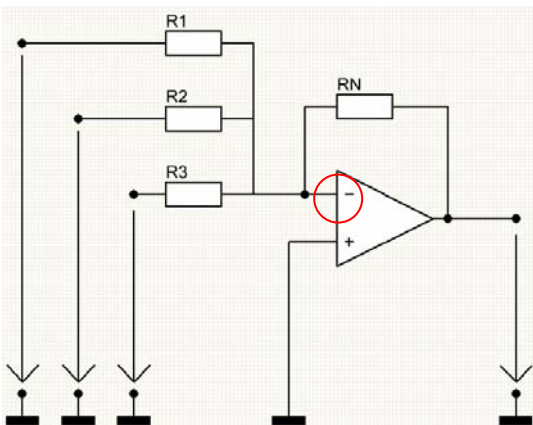
Invertierender Differenzierer

$$u_a = -R_1 \cdot C_1 \cdot \frac{du_e}{dt}$$



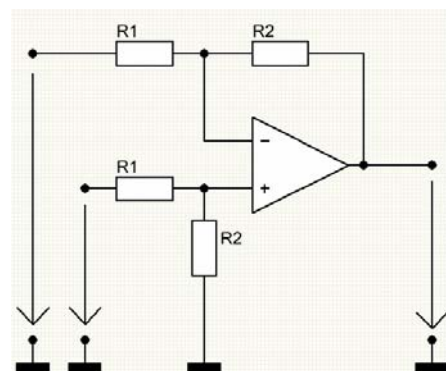
Invertierender Integrator

$$u_a = -\frac{1}{R_1 \cdot C_1} \int_0^t u_e(t) dt + u_a(t=0)$$



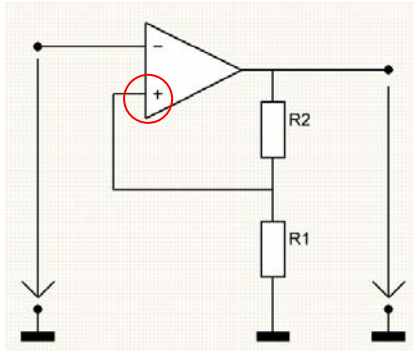
Invertierender Addierer

$$u_a = -\left(\frac{R_N}{R_1} \cdot u_{e1} + \frac{R_N}{R_2} \cdot u_{e2} + \frac{R_N}{R_3} \cdot u_{e3}\right)$$



Subtrahierer

$$u_a = \frac{R_2}{R_1} \cdot (u_{e2} - u_{e1})$$



Invertierender Schmitt-Trigger

$$u_a = \pm U_b$$

$$u_{a-} = -U_b$$

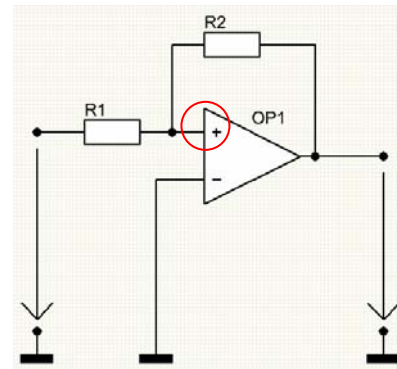
$$u_{a+} = +U_b$$

Einschaltswelle:

$$u_{ein} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot u_{a-}$$

Ausschaltswelle:

$$u_{aus} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot u_{a+}$$



Nichtinvertierender Schmitt-Trigger

$$u_a = \pm U_b$$

$$u_{a-} = -U_b$$

$$u_{a+} = +U_b$$

Einschaltswelle:

$$u_{ein} = -\frac{R_1}{R_2} \cdot u_{a-}$$

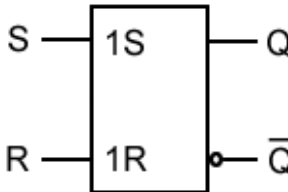
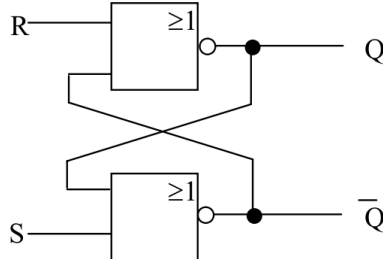
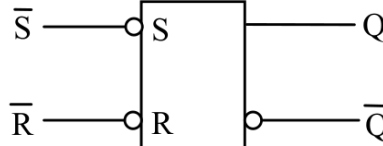
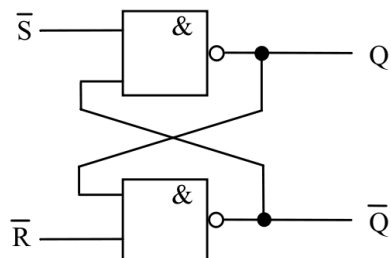
Ausschaltswelle:

$$u_{aus} = -\frac{R_1}{R_2} \cdot u_{a+}$$

5 Tutorium 5 und 6

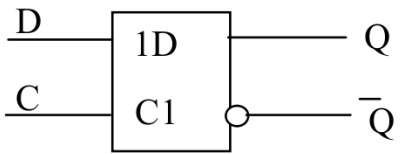
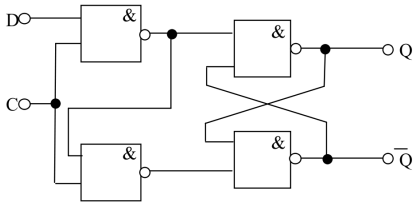
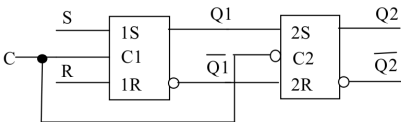
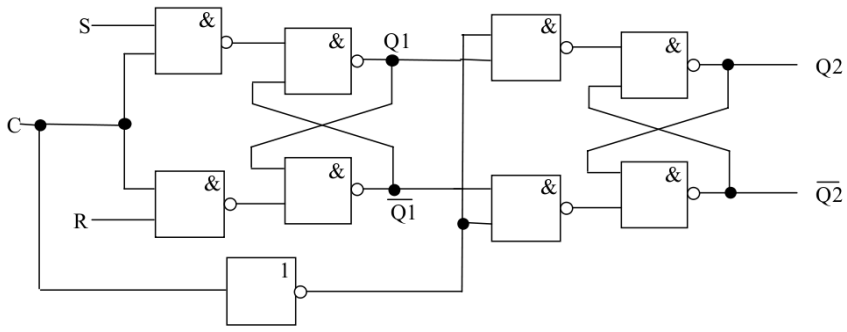
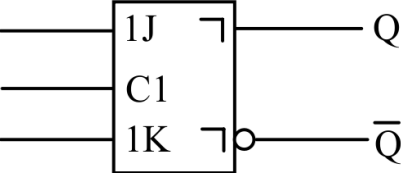
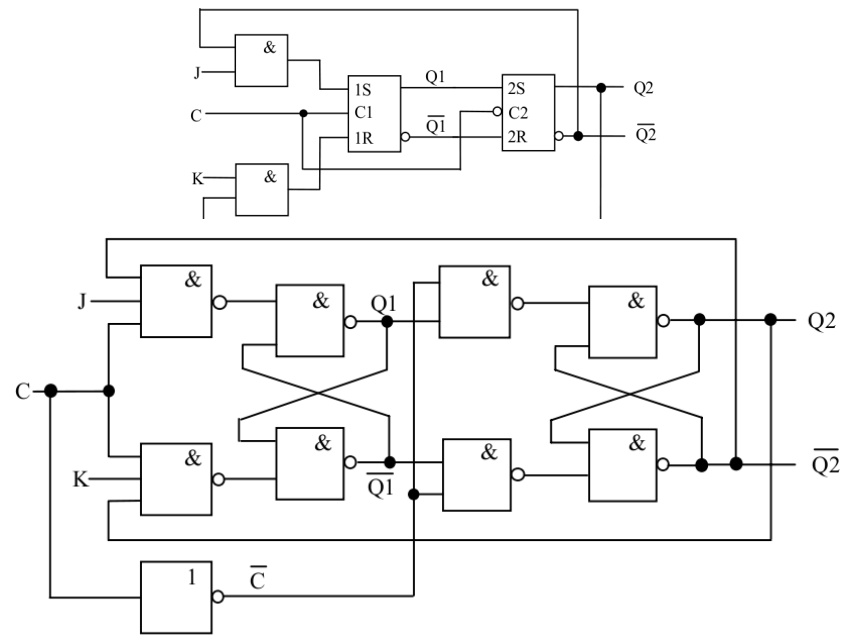
Flip-Flop Schaltungen

Zustandsgesteuerte FF

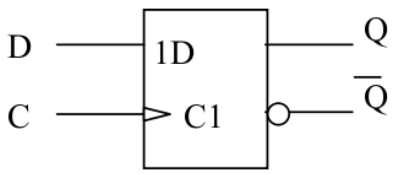
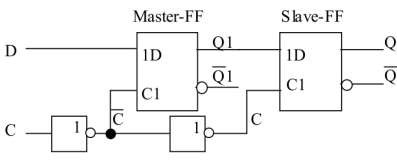
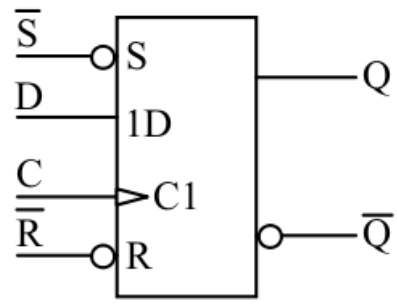
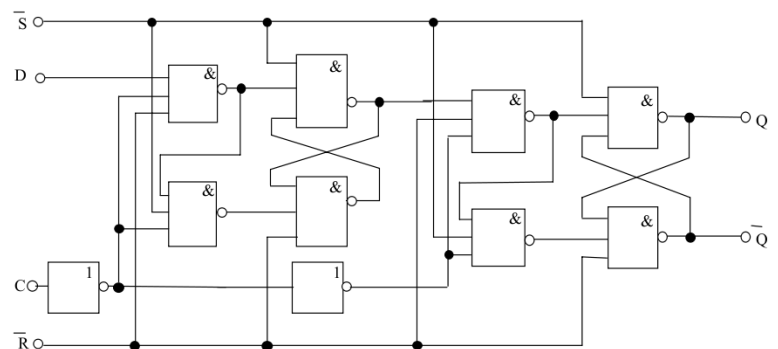
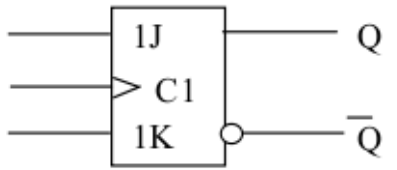
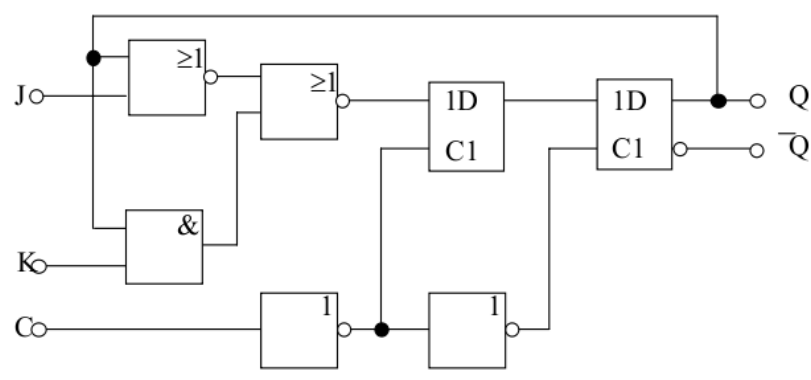
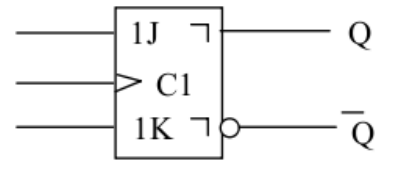
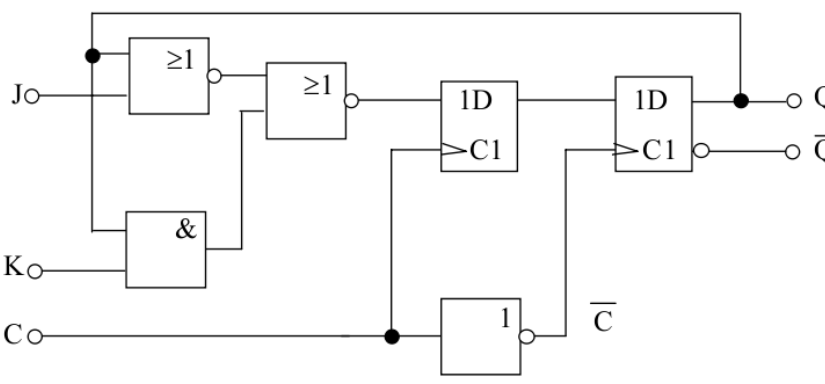
DIN-Symbol	Schaltbild mit Log. Symb.	Wahrheitstabelle																				
 RS-Flip-Flop		<table><tr><th>S</th><th>R</th><th>Q</th><th>$\overline{Q}$</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>Q_{-1}</td><td>$\overline{Q}_{-1}$</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	S	R	Q	$\overline{Q}$	0	0	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0
S	R	Q	$\overline{Q}$																			
0	0	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$																			
0	1	0	1																			
1	0	1	0																			
1	1	0	0																			
 $\overline{R}\overline{S}$-Flip-Flop		<table><tr><th>$\overline{S}$</th><th>$\overline{R}$</th><th>Q</th><th>$\overline{Q}$</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>Q_{-1}</td><td>$\overline{Q}_{-1}$</td></tr></table>	$\overline{S}$	$\overline{R}$	Q	$\overline{Q}$	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$
$\overline{S}$	$\overline{R}$	Q	$\overline{Q}$																			
0	0	1	1																			
0	1	1	0																			
1	0	0	1																			
1	1	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$																			

Taktzustandsgesteuerte RS-Flipflops

Taktzustandsgestr. RS-FF		<table><tr><th>C</th><th>S</th><th>R</th><th>Q</th><th>$\overline{Q}$</th></tr><tr><td>0</td><td>x</td><td>x</td><td>Q_{-1}</td><td>$\overline{Q}_{-1}$</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>Q_{-1}</td><td>$\overline{Q}_{-1}$</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	C	S	R	Q	$\overline{Q}$	0	x	x	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$	1	0	0	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0
C	S	R	Q	$\overline{Q}$																												
0	x	x	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$																												
1	0	0	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$																												
1	0	1	0	1																												
1	1	0	1	0																												
1	1	1	0	0																												
		<table><tr><th>C</th><th>S'</th><th>R'</th><th>Q</th><th>$\overline{Q}$</th></tr><tr><td>0</td><td>x</td><td>x</td><td>Q_{-1}</td><td>$\overline{Q}_{-1}$</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>Q_{-1}</td><td>$\overline{Q}_{-1}$</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	C	S'	R'	Q	$\overline{Q}$	0	x	x	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$	1	0	0	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
C	S'	R'	Q	$\overline{Q}$																												
0	x	x	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$																												
1	0	0	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$																												
1	0	1	0	1																												
1	1	0	1	0																												
1	1	1	1	1																												

 D-Flip-Flop	 <table><tr><th>C</th><th>D</th><th>Q</th><th>$\overline{Q}$</th></tr><tr><td>0</td><td>x</td><td>Q_{-1}</td><td>$\overline{Q}_{-1}$</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	C	D	Q	$\overline{Q}$	0	x	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$	1	0	0	1	1	1	1	0														
C	D	Q	$\overline{Q}$																												
0	x	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$																												
1	0	0	1																												
1	1	1	0																												
 RS-Master-Slave-FF																															
 JK-Flip-Flop (taktzustandsgesteuert)	 <table><tr><th>C</th><th>J</th><th>K</th><th>Q</th><th>$\overline{Q}$</th></tr><tr><td>0</td><td>x</td><td>x</td><td>Q_{-1}</td><td>$\overline{Q}_{-1}$</td></tr><tr><td></td><td>0</td><td>0</td><td>Q_{-1}</td><td>$\overline{Q}_{-1}$</td></tr><tr><td></td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>1</td><td>$\overline{Q}_{-1}$</td><td>Q_{-1}</td></tr></table>	C	J	K	Q	$\overline{Q}$	0	x	x	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$		0	0	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$		0	1	0	1		1	0	1	0		1	1	$\overline{Q}_{-1}$	Q_{-1}
C	J	K	Q	$\overline{Q}$																											
0	x	x	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$																											
	0	0	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$																											
	0	1	0	1																											
	1	0	1	0																											
	1	1	$\overline{Q}_{-1}$	Q_{-1}																											

Taktflankengesteuerte Flip-flops

 Einflankengestr. D-FF		<table> <tr> <th>C</th> <th>D</th> <th>Q</th> <th>$\bar{Q}$</th> </tr> <tr> <td>0</td> <td>x</td> <td>Q_{-1}</td> <td>$\bar{Q}_{-1}$</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>x</td> <td>Q_{-1}</td> <td>$\bar{Q}_{-1}$</td> </tr> <tr> <td>$\downarrow$</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>$\downarrow$</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </table>	C	D	Q	$\bar{Q}$	0	x	Q_{-1}	$\bar{Q}_{-1}$	1	x	Q_{-1}	$\bar{Q}_{-1}$	$\downarrow$	0	0	1	$\downarrow$	1	1	0
C	D	Q	$\bar{Q}$																			
0	x	Q_{-1}	$\bar{Q}_{-1}$																			
1	x	Q_{-1}	$\bar{Q}_{-1}$																			
$\downarrow$	0	0	1																			
$\downarrow$	1	1	0																			
 Einflankengestr. D-FF mit asynchronen S,R-Eingängen	 Einflankengestr. D-FF mit asynchronen S,R-Eingängen																					
 Einflankengestr. JK-FF																						
 Zweiflankengestr. JK-FF																						

Flip-Flop-Schaltungen auf einen Blick

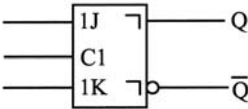
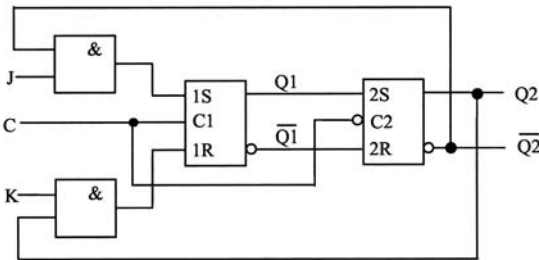
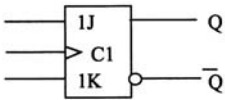
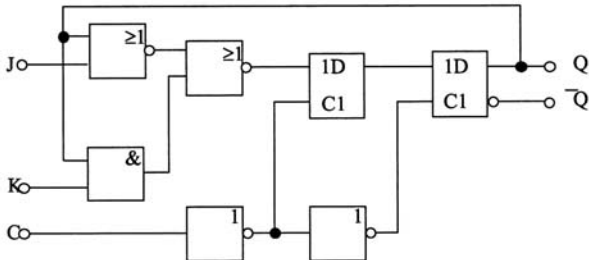
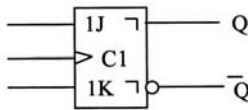
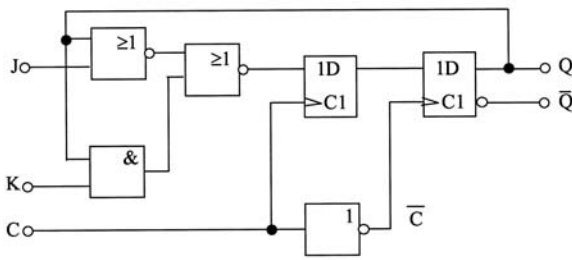
S-R-Flip-Flops

		<table><tr><th>S</th><th>R</th><th>Q</th><th>$\overline{Q}$</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>Q_{-1}</td><td>$\overline{Q}_{-1}$</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	S	R	Q	$\overline{Q}$	0	0	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0										
S	R	Q	$\overline{Q}$																													
0	0	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$																													
0	1	0	1																													
1	0	1	0																													
1	1	0	0																													
		<table><tr><th>$\overline{S}$</th><th>$\overline{R}$</th><th>Q</th><th>$\overline{Q}$</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>Q_{-1}</td><td>$\overline{Q}_{-1}$</td></tr></table>	$\overline{S}$	$\overline{R}$	Q	$\overline{Q}$	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$										
$\overline{S}$	$\overline{R}$	Q	$\overline{Q}$																													
0	0	1	1																													
0	1	1	0																													
1	0	0	1																													
1	1	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$																													
		<table><tr><th>C</th><th>S</th><th>R</th><th>Q</th><th>$\overline{Q}$</th></tr><tr><td>0</td><td>x</td><td>x</td><td>Q_{-1}</td><td>$\overline{Q}_{-1}$</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>Q_{-1}</td><td>$\overline{Q}_{-1}$</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	C	S	R	Q	$\overline{Q}$	0	x	x	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$	1	0	0	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0
C	S	R	Q	$\overline{Q}$																												
0	x	x	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$																												
1	0	0	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$																												
1	0	1	0	1																												
1	1	0	1	0																												
1	1	1	0	0																												
		<table><tr><th>C</th><th>S'</th><th>R'</th><th>Q</th><th>$\overline{Q}$</th></tr><tr><td>0</td><td>x</td><td>x</td><td>Q_{-1}</td><td>$\overline{Q}_{-1}$</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>Q_{-1}</td><td>$\overline{Q}_{-1}$</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	C	S'	R'	Q	$\overline{Q}$	0	x	x	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$	1	0	0	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
C	S'	R'	Q	$\overline{Q}$																												
0	x	x	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$																												
1	0	0	Q_{-1}	$\overline{Q}_{-1}$																												
1	0	1	0	1																												
1	1	0	1	0																												
1	1	1	1	1																												

D-Flip-Flops

		<table><tr><th>C</th><th>D</th><th>Q</th><th>$\bar{Q}$</th></tr><tr><td>0</td><td>x</td><td>Q_1</td><td>$\bar{Q}_1$</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	C	D	Q	$\bar{Q}$	0	x	Q_1	$\bar{Q}_1$	1	0	0	1	1	1	1	0
C	D	Q	$\bar{Q}$															
0	x	Q_1	$\bar{Q}_1$															
1	0	0	1															
1	1	1	0															
	Master-FF Slave-FF	<table><tr><th>C</th><th>D</th><th>Q</th><th>$\bar{Q}$</th></tr><tr><td>0</td><td>x</td><td>Q_1</td><td>$\bar{Q}_1$</td></tr><tr><td>↑</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>↑</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	C	D	Q	$\bar{Q}$	0	x	Q_1	$\bar{Q}_1$	↑	0	0	1	↑	1	1	0
C	D	Q	$\bar{Q}$															
0	x	Q_1	$\bar{Q}_1$															
↑	0	0	1															
↑	1	1	0															

J-K-Flip-Flops

		<table><tr><th>C</th><th>J</th><th>K</th><th>Q</th></tr><tr><td>0</td><td>x</td><td>x</td><td>Q_{-1}</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>Q_{-1}</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>$\overline{Q_{-1}}$</td></tr></table>	C	J	K	Q	0	x	x	Q_{-1}	1	0	0	Q_{-1}	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	$\overline{Q_{-1}}$
C	J	K	Q																							
0	x	x	Q_{-1}																							
1	0	0	Q_{-1}																							
1	0	1	0																							
1	1	0	1																							
1	1	1	$\overline{Q_{-1}}$																							
		<table><tr><th>C</th><th>J</th><th>K</th><th>Q</th></tr><tr><td>0</td><td>x</td><td>x</td><td>Q_{-1}</td></tr><tr><td>J</td><td>0</td><td>0</td><td>Q_{-1}</td></tr><tr><td>J</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>J</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>J</td><td>1</td><td>1</td><td>$\overline{Q_{-1}}$</td></tr></table>	C	J	K	Q	0	x	x	Q_{-1}	J	0	0	Q_{-1}	J	0	1	0	J	1	0	1	J	1	1	$\overline{Q_{-1}}$
C	J	K	Q																							
0	x	x	Q_{-1}																							
J	0	0	Q_{-1}																							
J	0	1	0																							
J	1	0	1																							
J	1	1	$\overline{Q_{-1}}$																							
		<table><tr><th>C</th><th>J</th><th>K</th><th>Q</th></tr><tr><td>0</td><td>x</td><td>x</td><td>Q_{-1}</td></tr><tr><td>J</td><td>0</td><td>0</td><td>Q_{-1}</td></tr><tr><td>J</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>J</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>J</td><td>1</td><td>1</td><td>$\overline{Q_{-1}}$</td></tr></table>	C	J	K	Q	0	x	x	Q_{-1}	J	0	0	Q_{-1}	J	0	1	0	J	1	0	1	J	1	1	$\overline{Q_{-1}}$
C	J	K	Q																							
0	x	x	Q_{-1}																							
J	0	0	Q_{-1}																							
J	0	1	0																							
J	1	0	1																							
J	1	1	$\overline{Q_{-1}}$																							