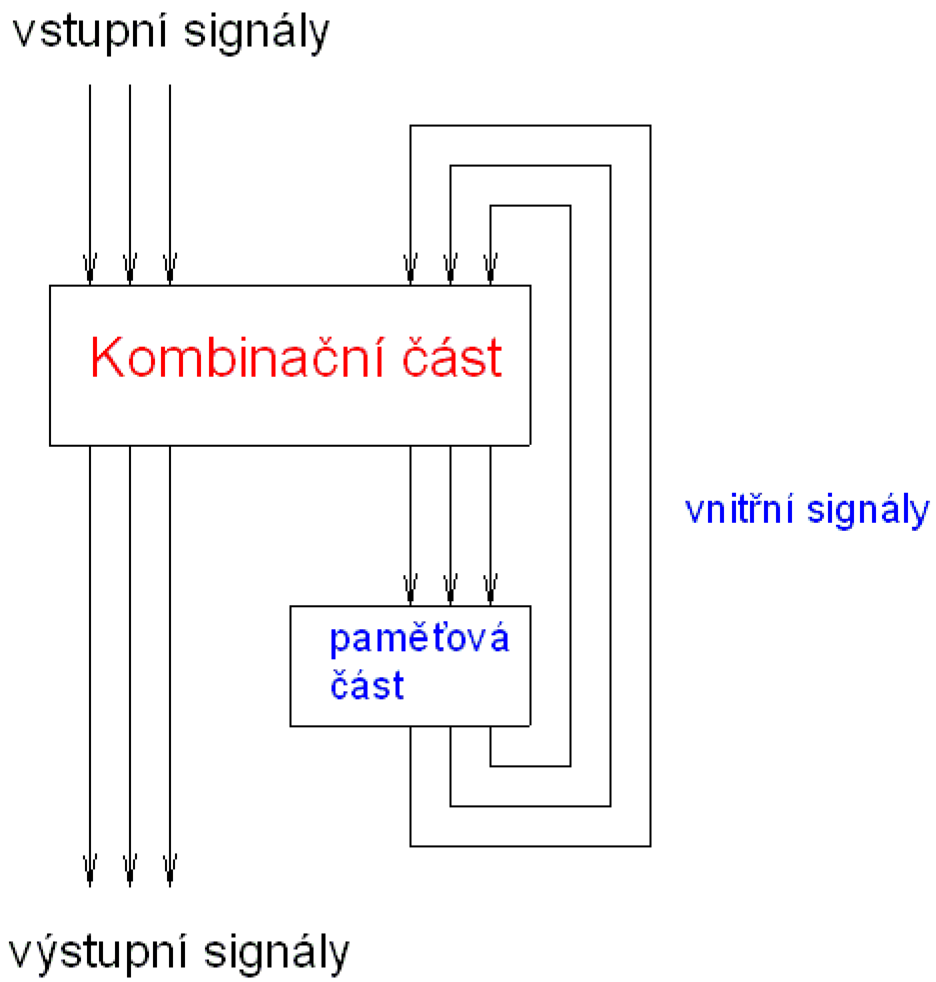
Sekvenční logické obvody(LSO)

1. ***Logické sekvenční obvody***, tzv. paměťové členy, jsou obvody u kterých výstupní stavy nezávisí jen na okamžitých hodnotách vstupních signálů, ale jsou závislé i na předcházejících hodnotách výstupních signálů.
Stav výstupních signálů logických sekvenčních obvodů je tedy funkcí okamžitých hodnot vstupních stavů a funkcí předchozího výstupního stavu, tedy vnitřních signálů. Tím se LSO liší od kombinačních obvodů, u kterých výstupní signály jsou funkcí pouze okamžitých stavů vstupních signálů. Logické sekvenční obvody také nazýváme ***klopné obvody***



obr. 1 základní schéma logického sekvenčního obvodu LSO

V LSO logickém sekvenčním obvodu rozlišujeme stav- **jeho vstupů (vstupní signály)**
jeho vnitřní stav (vnitřní signály)
jeho výstupů (výstupní signály)

Obecně označujeme vnitřní stav LSO písmenem Q

Pro další úvahu si označíme vnitřní stavy obvodů :

Q^n je stav obvodu v okamžiku n (také v čase t)
Q^{n+1} je stav obvodu v okamžiku n+1, tedy v době následující (také v čase t +Δt)

Vlastnosti klopných obvodů KO

a) klopný obvod může zaujímat pouze jeden ze dvou vnitřních stavů 0 , nebo 1
b) stav klopného obvodu v určité době je podmíněn stavem tohoto obvodu v době předcházející a stavem vstupních signálů v době předcházející

$\mathbf{Q^{n+1} = f (Q^n , v_1^n , v_2^n)}$ kde v_1^n a v_2^n jsou hodnoty vstupních signálů v okamžiku n

c) výstup klopného obvodu (paměťového členu) zobrazuje bezprostředně jeho vnitřní stav .
Obvykle má klopný obvod dva výstupy označené Q a $\overline{Q}$, kde výraz $\overline{Q}$ představuje negaci stavu Q.

1.1 Rozdělení LSO-klopných obvodů-

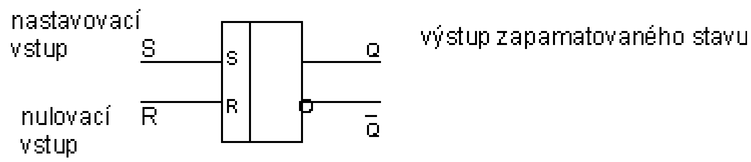
a) podle způsobu synchronizace je dělíme na
a1) *synchronní*- změny stavů jsou řízeny synchronizačními impulsy
a2) *asynchronní* – změna vstupních stavů působí přímo na výstupy se zpožděním

b) podle vstupů je dělíme na : jednovstupové
dvouvstupové

c) podle způsobu ovládání vstupů : hladinové
MS (Master- Slave)
Derivační

d) podle funkce je dělíme na : klopné obvody RS
T
D
JK

2. Klopný obvod RS – bistabilní KO



S - set, nastavení
R - reset nulování

Klopný obvod RS má dva stabilní stavy: Q = 1; Q = 0 Pokud se nepřivede na vstupy R , S žádný signál (R = S = 0), pak klopný obvod zůstává v předchozím stavu

po příchodu log „1“ (H) na vstup S, obvod překlopí do stavu 1 (H) Q = 1, $\overline{Q}$ = 0

po příchodu log „1“ (H) na vstup R, obvod překlopí do stavu 0 (L) Q = 0 , $\overline{Q}$ = 1

Transformační tabulka obvodu RS

S	**R**	$\mathbf{Q^{n+1}}$	**transformace**	
0	0	Q^n	M	paměťová transformace - stav obvodu se nemění
0	1	0	0	přechod do Q = 0
1	0	1	1	obvod klopí do stavu Q = 1
1	1	x	x	nedefinovaný tzv. zakázaný stav obvodu

Zjednodušená tabulka obvodu RS

i	$\mathbf{R^n}$	$\mathbf{S^n}$	$\mathbf{Q^{n+1}}$	$\overline{\mathbf{Q^{n+1}}}$
0	0	0	Q^n	$\overline{Q^n}$
1	0	1	1	0
2	1	0	0	1
3	1	1	x	x

Úplná tabulka obvodu RS

i	$\mathbf{Q^n}$	$\mathbf{R^n}$	$\mathbf{S^n}$	$\mathbf{Q^{n+1}}$	$\overline{\mathbf{Q^{n+1}}}$
0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	1	0
2	0	1	0	0	1
3	0	1	1	x	x
4	1	0	0	1	0
5	1	0	1	1	0
6	1	1	0	0	1
7	1	1	1	x	x

Zjednodušená tabulka představuje tzv. definiční podmínky klopného obvodu RS. Tato tabulka má ve srovnání s jinými dříve používanými tabulkami jednu zvláštnost. Pokud jsou vstupy S , R obvodu ve stavu log 0, stav výstupu nezávisí ani na S ani na R, ale závisí na předchozím stavu obvodu, tedy na tzv. vnitřním stavu. Při řešení tedy uvažujeme další vstupní veličinu a tou je předchozí výstupní stav obvodu Q^n, který je obvodem zpětné vazby přiřazen ke vstupním proměnným R a S. Tuto problematiku řeší tzv. ***úplná tabulka klopného obvodu***

RS. V této tabulce jsou vyjádřeny výstupní stavy obvodu v době následné, vyjádřené stavem Q^{n+1}.
Z úplné tabulky vyjádříme operátorovou rovnici obvodu pro následný stav. K vyjádření operátorové rovnice obvodu použijeme metodu minimalizace pomocí Karnaughovy mapy.

Qn \ S R	00	01	11	10
0	0	0	-	1
1	1	0	-	1

Z mapy vyjádříme operátorovou rovnici $Q^{n+1} = S + Q^n \bar{R}$
Při řešení operátorové rovnice využijeme neurčité stavy obvodu-velká smyčka. Výslednou rovnici upravíme pro realizaci pomocí De Morganových zákonů.

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

člen $\overline{Q^n . \bar{R}}$ nahradíme $\bar{Q}$ potom

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

doplníme-li úplnou tabulku negací výstupní proměnné $\overline{Q^{n+1}}$, pak po sestavení Karnaughovy mapy pro tuto proměnnou určíme druhý tvar operátorové rovnice, pomocí tzv. minimální součinové formy.

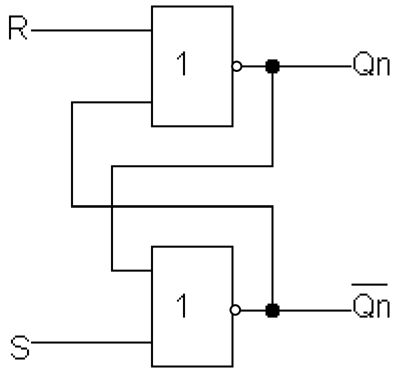
Q^n \ S. R	00	01	11	10
0	1	1	-	0
1	0	1	-	0

Z této mapy opět vypíšeme operátorovou rovnici v minimalizované formě

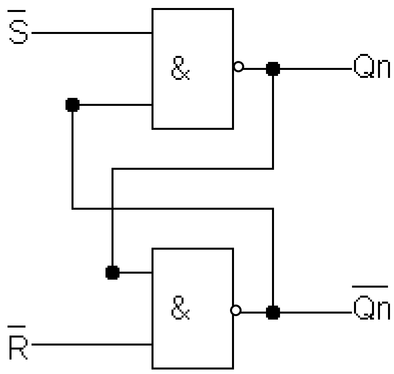
$$\overline{Q^{n+1}} = R + \bar{S} . \bar{Q}^n \quad \text{po úpravě} \quad \overline{Q^{n+1}} = \overline{\overline{R + \bar{S} . \bar{Q}^n}} = \overline{\bar{R} . \overline{\bar{S} . \bar{Q}^n}} = \overline{\bar{R} . Q}$$

Q

Sekvenční obvod typu RS je možné realizovat buď pomocí hradel NAND, nebo hradel NOR. Ukážeme si realizaci v obou případech, obvod s hradly NOR bez odvození



obr.1 Obvod RS realizovaný hradlem NOR



obr.2 Obvod RS realizovaný hradlem NAND

Tabulka přechodů

	Typ přechodu	**R**	**S**
setrvání ve stavu Q = 0	U_0	-	0
přechod ze stavu Q = 0 do Q = 1	e	0	1
přechod ze stavu Q = 1 do Q = 0	d	1	0
setrvání ve stavu Q = 1	U_1	0	-

Rozbor: a) pro setrvání ve stavu Q = 0 , musí být S = 0 a na stavu R nezáleží, protože při kombinaci S = 0 ; R = 0 je $Q^n = 0$

b) do stavu $Q^n = 1$ obvod překlopí pouze při kombinaci R = 0 ; S = 1

c) do stavu Q = 0 obvod překlopí pouze při kombinaci R = 1 ; S = 0

d) ve stavu Q = 1 setrvá obvod pro R = 0 ; S = 0 , nebo R = 0 a S = 1

Z Karnaughovy mapy se také sestavuje mapa přechodů. Vytvoříme ji tak, že v políčku kde $Q^n = 0$ se nahradí všechny 0 typem přechodu U_0 a všechny 1 typem přechodu e a v políčku kde $Q^n = 1$ se nahradí všechny 0 typem přechodu d a všechny 1 typem U_1

Mapa Q^{n+1}

Q^n \ S R	00	01	11	10
0	0	0	x	1
1	1	0	x	1

Mapa přechodů

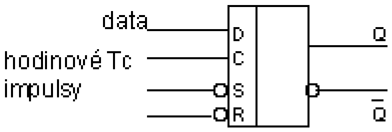
Q^n \ S R	00	01	11	10
0	U_0	U_0	x	e
1	U_1	d	x	U_1

Pro každý sekvenční obvod bude vždy platit, že mapa přechodů musí mít alespoň jeden přechod typu e a d, přechody u mohou chybět.

Klopný obvod RS je základním obvodem a používá se jako synchronní a asynchronní. Je velmi vhodný pro ošetření spínačů, neboť má jednoznačné stavy. Je základním stavebním prvkem dalších obvodů T ; D ; JK

3. Klopný obvod D

Název obvodu je odvozen od slova delay = zpoždění. Chování obvodu připomíná zpožďovací člen. Je to paměťový člen odvozený z klopného obvodu RS. Přenáší v koincidenci s hodinovými (taktovacími) impulsy informaci ze vstupu D na výstup.. Po příchodu log 1 (H) na vstup D obvod přechází do stavu (H), po příchodu log 0 (L) překlopí obvod do stavu 0 (L).



Asynchronní vstupní signály R , S klopný obvod nulují a nastavují do stavu 1 , nezávisle na hodinových impulsech.
Synchronní režim je definován vstupním signálem D a hodinovými impulsy. Klopný obvod se překlápí v okolí čela hodinového impulsu.

Transformační tabulka

D	Q^{n+1}	Transformace
0	0	0
1	1	1

Zjednodušená tabulka

i	D	Q^{n+1}
0	0	0
1	1	1

Úplná tabulka

i	Q^n	D	Q^{n+1}
0	0	0	0
1	0	1	1
2	1	0	0
3	1	1	1

Tabulka přechodů

přechod	D
u_0	0
e	1
d	0
u_1	1

Úplná tabulka respektuje vnitřní stav obvodu. Z úplné tabulky sestavíme Karnaughovu mapu, ze které definujeme operátorovou rovnici obvodu D.

Karnaughova mapa

Q \ D	0	1
0	0	1
1	0	1

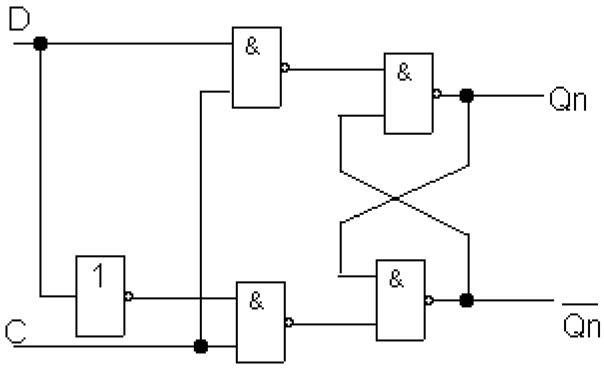
$Q^{n+1} = D$ Pro realizaci obvodu provedeme rozšíření operátorové rovnice obvodu o člen Q^n .

$$Q^{n+1} = D (\bar{Q}^n + Q^n) = D \bar{Q}^n + D Q^n$$

člen v závorce představuje 1, neboť   1 + 0 = 1 a současně   0 + 1 = 1 , v podstatě násobíme člen D jedničkou.
Pro realizaci obvodu upravíme operátorovou rovnici pomocí de Morganových zákonů.

$$Q^{n+1} = \overline{\overline{\bar{Q}^n D + Q^n D}} = \overline{\overline{\bar{Q}^n D} \; . \; \overline{Q^n D}}$$

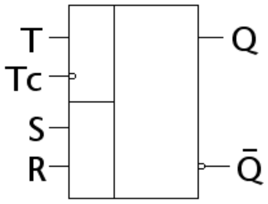
Realizace obvodu D pomocí hradel NAND



obr.3 Zapojení klopného obvodu D

4. Klopný obvod T

Je to bistabilní klopný obvod v asynchronním režimu s jedním vstupem T a dvěma výstupy Q a $\overline{Q}$.



Tc – vstup hodinových impulsů
obvod se vstupem Tc pracuje jako synchronní, obvod bez vstupu Tc jako asynchronní.
Zkratka T je odvozena ze slova Trigger- spouštění

Klopný obvod T mění svůj stav při příchodu každého hodinového impulsu. Platí tedy,

že $Q^{n+1} = \overline{Q^n}$.

Z pravdivostní tabulky obvodu J-K vidíme, že tuto funkci plní obvod J-K pro stav J = K = 1 . Obvod typu T má tedy dva vstupy, vstup T (spojené vstupy J-K) a vstup

pro hodinové impulsy. Je-li T = 1, pak obvod překlápí a platí že $Q^{n+1} = \overline{Q^n}$, je-li T = 0 , obvod zůstává v původním stavu $Q^{n+1} = Q^n$. Tato funkce obvodu T se využívá u synchronních čítačů. Pokud není nutné obvod T elektricky ovládat,

vystačíme s obvodem typu D, u něhož spojíme výstup $\overline{Q}$ se vstupem D.

Transformační tabulka

T	Q^{n+1}	*Transformace*
0	Q^n	M
1	$\overline{Q^n}$	K

Zjednodušená tabulka

i	*T*	Q^{n+1}
0	0	Q^n
1	1	$\overline{Q^n}$

Úplná tabulka obvodu T

i	Q^n	*T*	Q^{n+1}	$\overline{Q^{n+1}}$
0	0	0	0	1
1	0	1	1	0
2	1	0	1	0
3	1	1	0	1

Z úplné tabulky obvodu vyjádříme operátorovou rovnici obvodu:

$Q^{n+1} = \overline{Q^n}.T + Q^n.\overline{T}$ a $\overline{Q^{n+1}} = \overline{Q^n}.\overline{T} + Q^n.T$ tento zápis je v disjunktní formě NAND

$Q^{n+1} = \left(\overline{Q^n} + \overline{T}\right)\left(Q^n + T\right)$ a $\overline{Q^{n+1}} = \left(\overline{Q^n} + T\right).\left(Q^n + \overline{T}\right)$ zápis je konjunktní formě NOR

Realizace obvodu T hradly NAND

vytvoříme Karnaughovu mapu pro úplnou disjunktní formu

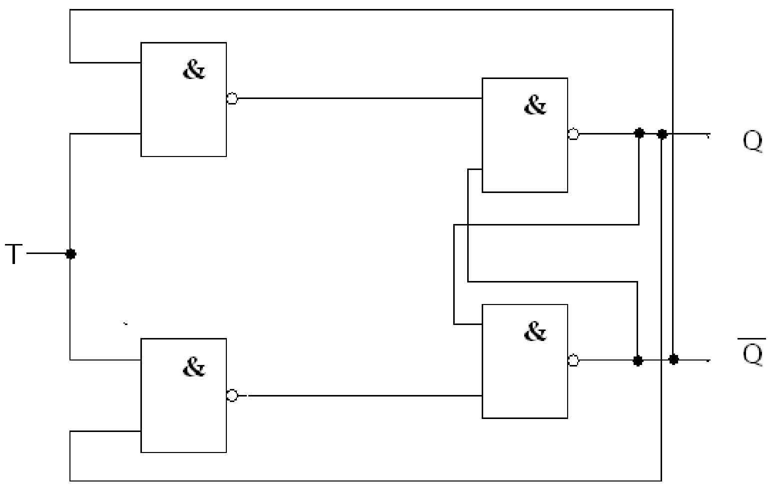
Qn \ T	0	1
0	0	1
1	1	0

Z mapy vytvoříme operátorovou rovnici minimalizované funkce, v tomto případě minimalizaci neprovádíme.

$Q^{n+1} = \overline{Q^n}.T + Q^n\overline{T} + Q^n.\overline{Q^n}$ provedli jsme rozšíření operátorové rovnice o poslední člen , který představuje 0. Následně provedeme úpravu tak, že z posledních dvou členů vytkneme před závorku člen Q^n

$Q^{n+1} = \overline{Q^n}.T + Q^n.\left(\overline{T} + \overline{Q^n}\right)$ výraz v závorce upravíme podle de Morganových zákonů ze součtu negací na negaci součinu : $Q^{n+1} = \overline{Q^n}.T + Q^n\,\overline{T.Q^n}$ na celou pravou vzniklé rovnice znovu uplatníme de Morganův zákon, když před tím celou pravou část rovnice dvakrát negujeme

$$Q^{n+1} = \overline{\overline{\overline{Q^n}T}.\overline{Q}} \quad \text{kde} \quad \overline{Q} = \overline{Q^n.\left(\overline{QT}\right)}$$



obr.4 Obvodová realizace LSO typu T

Mapa přechodů

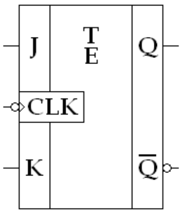
přechod	*T*
u_0	*0*
e	*1*
d	*1*
u_1	*0*

Aby obvod setrval v libovolném stavu musí být T = 0,aby obvod překlopil musí být T = 1

Klopný obvod typu T se používá jako asynchronní s derivačním vstupem. Je používán jako dělič kmitočtu, nebo čítač.

5. Klopný obvod typu JK

Klopný obvod JK je sekvenční obvod se dvěma vstupy a symetrickými výstupy Q a $\bar{Q}$.



Chování obvodu JK slučuje chování obvodů RS a T . Po příchodu logické úrovně 1 (H) současně na oba vstupy J , K, obvod překlápí do opačného stavu, tedy se chová jako obvod T.

Transformační tabulka J K obvodu

J	*K*	Q^{n+1}	*transfomace*
0	0	Q^n	M(paměť)
0	1	0	0
1	0	1	1
1	1	$\bar{Q}^n$	K (klopí)

Zjednodušená tabulka J K obvodu

i	*J*	*K*	Q^{n+1}
0	0	0	Q^n
1	0	1	0
2	1	0	1
3	1	1	$\bar{Q}^n$

Zjednodušená tabulka respektuje stav vstupních proměnných J a K , nerespektuje vnitřní stav obvodu Q^n*. Pro vytvoření operátorové rovnice obvodu a pro jeho realizaci sestavíme úplnou tabulku obvodu. Úplná tabulka J K obvodu vychází z paměťové funkce obvodu, neboť pro řešení uvažuje i vnitřní stav obvodu* Q^n*.*
Vzhledem k tomu, že vstupní proměnné mají počet tři- Q^n*;* J^n*;* K^n*;bude tabulka obsahovat osm řádků neboť* $2^3 = 8$

i	Q^n	J^n	K^n	Q^{n+1}	$\overline{Q^{n+1}}$	
0	0	0	0	0	1	*vnitřní stav* $Q^n=0$, $J = K= 0$ *paměťová transformace* $Q^{n+1}=0$
1	0	0	1	0	1	*vnitřní stav* $Q^n=0$, $J=0$; $K=1$ *nulová transformace* $Q^{n+1}=0$
2	0	1	0	1	0	*vnitřní stav* $Q^n=0$, $J=1$;$K=0$ *jedničková transformace* $Q^{n+1}=1$
3	0	1	1	1	0	*vnitřní stav* $Q^n=0$, $J = K= 1$ *klopná transformace* $Q^{n+1}=1$
4	1	0	0	1	0	*vnitřní stav* $Q^n=1$, $J = K= 0$ *paměťová transformace* $Q^{n+1}=1$
5	1	0	1	0	1	*vnitřní stav* $Q^n=1$,$J=0$; $K= 1$ *nulová transformace* $Q^{n+1}=0$
6	1	1	0	1	0	*vnitřní stav* $Q^n=1$, $J=1$;$K=0$ *jedničková transformace* $Q^{n+1}=1$
7	1	1	1	0	1	*vnitřní stav* $Q^n=1$, $J = K= 1$ *klopná transformace* $Q^{n+1}=0$

Z úplné tabulky sestrojíme Karnaughovu mapu pro stav Q^{n+1} , a z mapy vyjádříme tzv. ***operátorovou rovnici*** obvodu J K

Q \ J,K	00	01	11	10
0	0	0	1	1
1	1	0	0	1

mapa obsahuje dvě smyčky, takže zápis provedeme v minimální disjunktní formě .

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

pro realizaci obvodu pomocí součinových hradel NAND, provedeme rozšíření operátorové rovnice, tak že k pravé straně přičteme 0, *tím se stav rovnice nemění*. Hodnotu 0 představuje výraz $Q^n.\overline{Q^n}$.

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

z této části výrazu vytkneme před závorku Q^n

$$Q^{n+1}=J^n\overline{Q^n}+Q^n\left(\overline{K^n}+\overline{Q^n}\right)$$

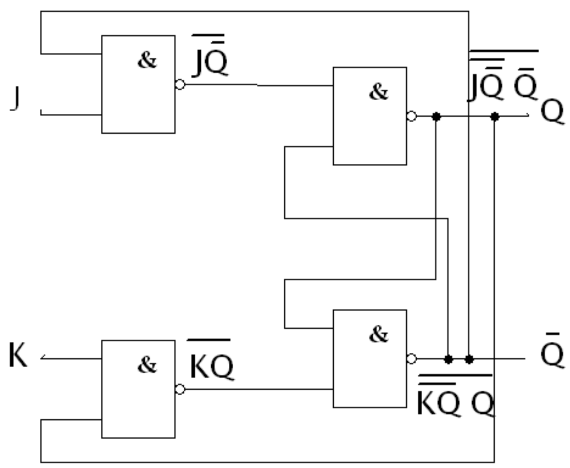
součet členů v závorce upravíme dle de Morganových zákonů, ze souču negací na negaci součinu

$$Q^{n+1}=J^n\overline{Q^n}+Q^n\overline{K^nQ^n}$$

abychom mohli obvod realizovat pomocí součinových hradel, musíme upravit výraz na součinový tvar. K tomu použijeme jednoduchou úpravu, když pravou stranu rovnice znegujeme dvakrát- hodnoty výrazu se nezmění. Prví negaci uplatníme ve tvaru negace součtu , přičemž oba součiny na pravé straně představují jeden člen.

$$Q^{n+1}=\overline{\overline{\overline{Q^n}\,J^n}\,.\,\overline{Q^n\overline{K^nQ^n}}}$$

takto vytvořený výraz již můžeme realizovat pomocí čtyř dvouvstupových hradel NAND, tedy např. obvodem MH 7400



obr.5 Obvodová realizace LSO typu JK

Tabulka přechodů

Obvod setrvává ve stavu Q = 0 buď je-li J = K = 0, nebo je-li K = 1 a J = 0. Setrvání ve stavu 0 je tedy nezávislé na hodnotě vstupu K(může být libovolné), je-li J = 0.
Obvod překlápí do stavu Q = 1 , je-li J = 1 a K = 0, nebo jsou-li oba vstupy J = K = 1. Překlopení do stavu Q = 1, je tedy nezávislé na hodnotě vstupu K (může být libovolné), je-li J = 1

přechod	*J*	*K*
u_0	*0*	-
e	*1*	-
d	-	*1*
u_1	-	*0*