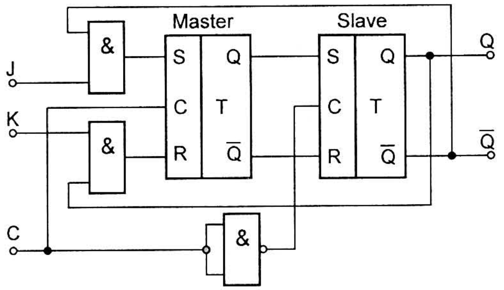
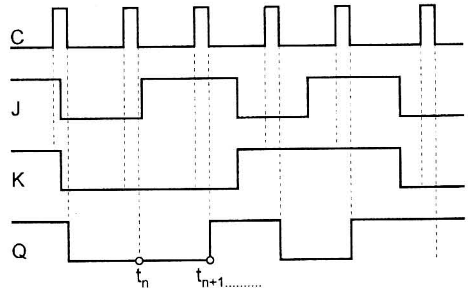
Az áramkör működése a *4.41 ábra* alapján követhető.

- Az órajelimpulzus alatt, amíg C = **1**, a master (*mester*) billenésszerűen azonnal követi az S és R jelkombináció által meghatározott állapotot. Ugyanakkor a slave (*szolga*) flip-flop órajele $C' = \overline{C} = 0$, és ennek következtében állapota teljesen független a master flip-flop állapotától.



a) felépítése



b) jelalakjai

4.41. ábra. A *JK* kétfokozatú (master-slave) tároló

- Két órajelimpulzus között (amikor C = **0**) a master flip-flop tartja az órajelimpulzus utolsó pillanatában felvett állapotot. Ez idő alatt a slave flip-flop órajele $C' = \overline{C} = 1$, és ezáltal átveszi a master állapotát. Tehát az S és R bemenet csak akkor írja be az információt a master flip-flopba, amikor C = **1**, és a slave flip-flop csak akkor veszi át ezt az információt, amikor C = 0. Sok esetben zavaró, hogy az $S = R = 1$ jelkombináció tiltott. Ezt meg lehet szüntetni a bemenetekre kapcsolt *ÉS* kapuk segítségével. Abban az esetben, ha fennáll a $J = K = 1$ jelkombináció, akkor $S = \overline{Q}$ és $R = Q$. Tehát $S = \overline{R}$, ami azt jelenti, hogy S és R nem lehetnek egyidejűleg logikai **1** szinten.

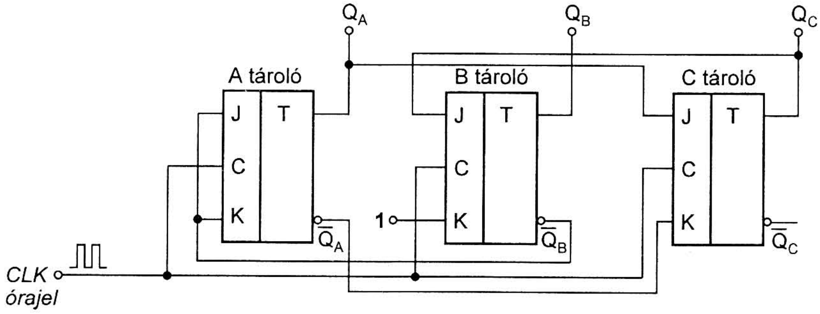
4.2.2. Szekvenciális hálózatok vizsgálata

A szekvenciális hálózatok vizsgálata során – az egyszerűség kedvéért – olyan áramkörökkel foglalkozunk, amelyeknél figyelmen kívül hagyhatók az áramkörök instabilitásával és átmeneti jelenségeivel összefüggő problémák. Egy szekvenciális áramkör *instabilitása* alatt azt értjük, hogy nem határozható meg előre az áramkör kimenetének logikai értéke (pl. egy R-S tárolónál az R=S=1 esetén kialakuló állapot ilyennek tekinthető). Az *átmeneti jelenség* azt jelenti, hogy az áramkör az egyik stabil állapotból a másik stabil állapotba való átmenet közben milyen köztes állapotot vesz fel.

Mivel ezek a problémák főleg az aszinkron hálózatokra jellemzők, a következőkben az áttekinthetőbb működésű szinkron hálózatokkal fogunk részletesebben foglalkozni. Az áramkörök vizsgálata során a szekvenciális hálózat leírására az állapotdiagramot és az ütemdiagramot fogjuk használni.

4.2.2.1. Szinkron hálózatok vizsgálata

Feladat: A *4.42. ábrán* látható szinkron szekvenciális hálózat elemzése.



4.42. ábra. Szinkron szekvenciális hálózat

a) Az áramkör vizsgálata állapotdiagram felhasználásával:

- tételezzük fel, hogy a kiinduló állapotban a tárolók kimenetei a $Q_A = 0$, $Q_B = 0$, és $Q_C = 0$ logikai értékeket veszik fel.
- A *4.42. ábra* alapján a tárolók vezérlési függvényei:

$$J_A = \overline{Q}_B \qquad K_A = \overline{Q}_B$$

$$J_B = Q_C \qquad K_B = 1$$

$$J_C = Q_A \qquad K_C = \overline{Q}_A$$

- Megfigyelhető, hogy az *A* jelű J-K tároló, ebben az esetben *T* típusú tárolóként fog működni. Behelyettesítve a kiinduló állapotnak megfelelő logikai értékeket a vezérlési függvényekbe:

J_A	K_A	Q_A^{n+1}
1	1	1

J_B	K_B	Q_B^{n+1}
0	1	0

J_C	K_C	Q_C^{n+1}
0	1	0

- Az órajel hatására a Q^{n+1}-gyel jelölt állapotot veszi fel a logikai hálózat. Az eredményként kapott logikai állapotok új értékeit ismét beírjuk a vezérlő függvényekbe:

J_A	K_A	Q_A^{n+1}
1	1	0

J_B	K_B	Q_B^{n+1}
0	1	0

J_C	K_C	Q_C^{n+1}
1	0	1

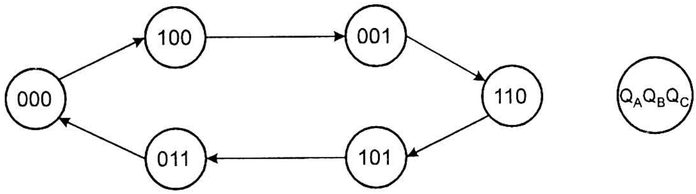
- Ezt a módszert addig folytatjuk, amíg valamelyik előző logikai állapotot fel nem veszi a szekvenciális hálózat.

J_A	K_A	Q_A^{n+1}
1	1	1
0	0	1
1	1	0
0	0	0

J_B	K_B	Q_B^{n+1}
1	1	1
0	1	0
1	1	1
1	1	0

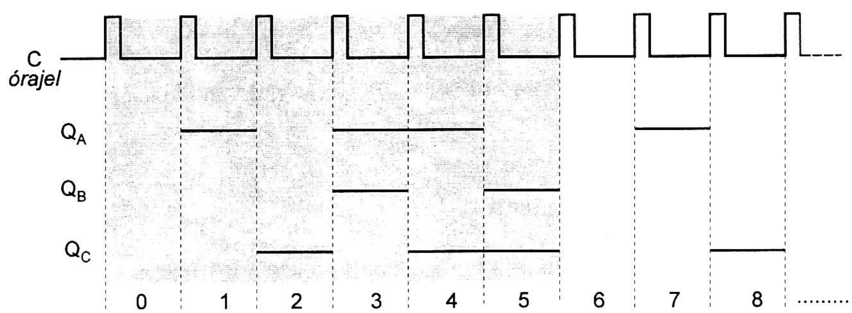
J_C	K_C	Q_C^{n+1}
0	1	0
1	0	1
1	0	1
0	1	0

- A *4.43. ábra* a kimenetek Q^{n+1} állapotait szemlélteti.



4.43. ábra. A szinkron hálózat állapotdiagramja

b) Az áramkör vizsgálata ütemdiagram felhasználásával:
– az ***ütemdiagram*** olyan idődiagram, ahol a vezérlőjeleket és a hatásukra létrejövő kimenőjeleket tüntetik fel az idő függvényében. Az egyes ütemeket nem idő mértékegységgel jellemezzük, hanem a vezérlő jelek változása határoz meg egy működési fázist. Hogy a logikai rendszertől és az áramköri megvalósítástól független diagramot kapjunk, nem feszültségszinteket ábrázolunk, hanem csak egy vízszintes vonallal jelöljük azokat a működési fázisokat, ahol a vizsgált jel logikai értéke **1**. A *4.42. ábrán* látható szinkron hálózat ütemdiagramját a *4.44. ábra* szemlélteti.



4.44. ábra. A szinkron hálózat ütemdiagramja

A *4.44. ábrát* tanulmányozva megfigyelhető, hogy bármilyen – a zárt ciklusban szereplő – kiinduló állapotot is választunk, az állapotsorozat a *4.43. ábra* szerinti marad.

A vizsgált szinkron hálózatban három flip-flop van, amelyek segítségével nyolc különböző állapot hozható létre. Az eddigi elemzésekben viszont csak hat állapot szerepelt. A két hiányzó állapot:

1. $Q_A = 0 \qquad Q_B = 1 \qquad Q_C = 0$.

A vezérlő függvényekbe való behelyettesítés után, az áramkör a következő állapotot veszi fel:

$$Q_A = 0 \qquad Q_B = 0 \qquad Q_C = 0,$$

vagyis a **000** logikai állapotnál belép a ciklusba.

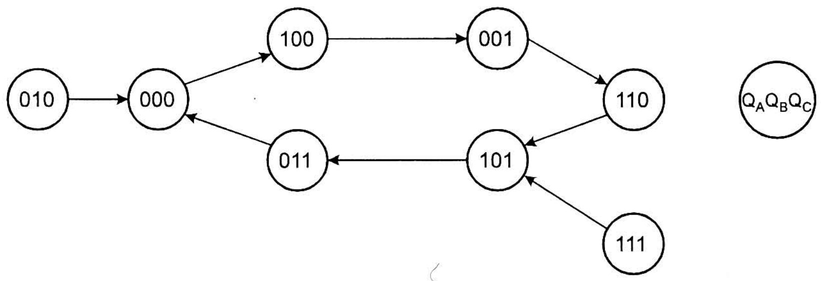
2. $Q_A = 1$ $Q_B = 1$ $Q_C = 1$.

A vezérlő függvényekbe való behelyettesítés után, az áramkör a következő állapotot veszi fel:

$$Q_A = 1 \qquad Q_B = 0 \qquad Q_C = 1,$$

vagyis az **101** logikai állapotnál belép a ciklusba.

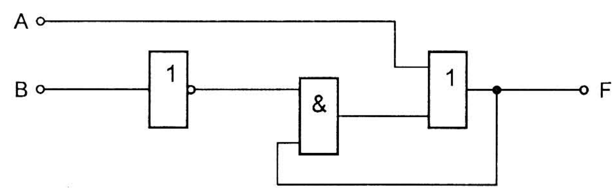
A szinkron hálózat állapotdiagramja – ezen eseteket is figyelembe véve – a *4.45 ábrán* látható.



4.45. ábra. A szinkron hálózat teljes állapotdiagramja

4.2.2.2. Aszinkron hálózatok vizsgálata

<u>**Feladat:**</u> A *4.46. ábrán* látható aszinkron szekvenciális hálózat elemzése.



4.46. ábra. Aszinkron hálózat

Az ábrán látható aszinkron hálózat elemzésénél figyelembe kell venni, hogy a kimeneti *F* jel logikai értékét nemcsak az *A*, *B* bemeneti jelek, hanem a kimenet előző állapota is befolyásolja. A működés leírására az előbbiekben alkalmazott egyszerűsített állapotdiagram nem használható. Az itt alkalmazható állapotdiagramban fel kell tüntetni a kimenetek logikai állapotain kívül a vezérlőjel kombinációkat is, melyek az egyik állapotból a másik állapotba való átmenet feltételei.

Az aszinkron hálózat kimeneti logikai függvénye:

$$F^{n+1} = A + \overline{B} \cdot F^{n}.$$

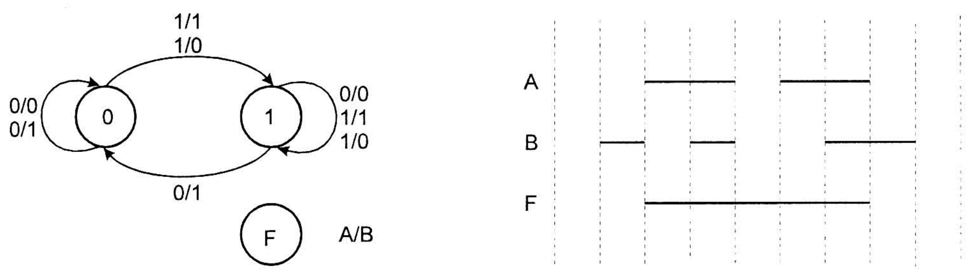
A kimeneti függvény egyenlete alapján a következő kombinációk esetén az áramkör nem változtatja meg a logikai állapotát:

$$\begin{array}{llllllll}
F^{n+1} = 1, & \text{ha} & A = 1 & \text{és} & B = 1 & \text{és} & F^{n} = 1 \\
 & \text{ha} & A = 0 & \text{és} & B = 0 & \text{és} & F^{n} = 1 \\
 & \text{ha} & A = 1 & \text{és} & B = 0 & \text{és} & F^{n} = 1 \\
\\
F^{n+1} = 0, & \text{ha} & A = 0 & \text{és} & B = 1 & \text{és} & F^{n} = 0 \\
 & \text{ha} & A = 0 & \text{és} & B = 0 & \text{és} & F^{n} = 0
\end{array}$$

A következő kombinációk esetén az áramkör megváltoztatja logikai állapotát:

$$\begin{array}{llllllll}
F^{n+1} = 1, & \text{ha} & A = 1 & \text{és} & B = 1 & \text{és} & F^{n} = 0 \\
 & \text{ha} & A = 1 & \text{és} & B = 0 & \text{és} & F^{n} = 0 \\
\\
F^{n+1} = 0, & \text{ha} & A = 0 & \text{és} & B = 1 & \text{és} & F^{n} = 1
\end{array}$$

Az aszinkron hálózat állapotdiagramját és ütemdiagramját a *4.47.ábra* mutatja.

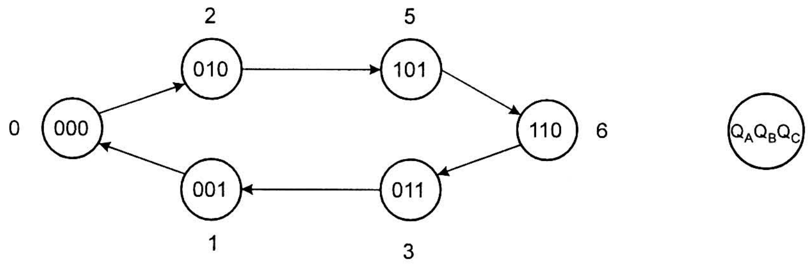


a) *b)*

4.47. ábra. Az aszinkron hálózat állapotdiagramja (a) és ütemdiagramja (b)

4.2.3. Szekvenciális hálózatok megvalósítása

Valósítsunk meg egy szinkron szekvenciális hálózatot, amelynek állapotdiagramja a *4.48. ábrán* látható. A hálózat megvalósítására *J-K* flip-flopok és kétbemenetű *NOR* kapuk használhatók.



4.48. ábra. A szinkron hálózat állapotdiagramja

<u>*Megoldás:*</u>

- Mivel a különböző állapotok száma 6, az állapotok bináris kódolásához három flip-flop elegendő (*A*, *B* és *C* tároló – Q_A, Q_B, Q_C kimenetekkel).
- Kijelöljük a tetszőlegesen kiválasztható kezdő állapotot (feltételezzük, hogy a kimenetek a $Q_A = 0, Q_B = 0, Q_C = 0$ logikai értékeket veszik fel). Felírjuk az állapotok sorrendjét binárisan valamint decimálisan kódolva (*4.6. táblázat*).

  A flip-flopok megfelelő állapotváltozásához minden *J* és minden *K* bemenethez kombinációs hálózatot kell kialakítani. Ebben segít a *4.7. táblázat*, amely szemlélteti, hogy milyen vezérlőjeleket kell kapcsolni egy flip-flopra, hogy a kívánt állapotváltozás bekövetkezzen.

Q_A	Q_B	Q_C	*Decimális érték*
0	0	0	0
0	1	0	2
1	0	1	5
1	1	0	6
0	1	1	3
0	0	1	1
0	0	0	0
..	..	..	..

4.6. táblázat. A kimenetek állapotai

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

4.7. táblázat. Szükséges vezérlőjelek

A *4.7. táblázatban* foglaltak értelmezése a következő:

- ahhoz, hogy a flip-flop **0** állapota ne változzon: beírni nem szabad (*J* = 0), a *K* jelű törlés bemenet logikai állapota pedig közömbös (vagyis **0** vagy **1** közül bármelyik logikai értéket rákapcsolhatunk). Azt, hogy egy logikai változó **0** vagy **1** értékű lehet és ezek az állapotok a kimenet értékét nem befolyásolják, a továbbiakban *határozatlannak* vagy *közömbösnek* nevezzük és „***h***"-val jelöljük;
- ahhoz, hogy a flip-flop **0**-ról **1**-re billenjen: be kell írni (*J* = 1), míg a törlés bemenetre kapcsolt logikai érték közömbös;
- ahhoz, hogy a flip-flop **1**-ről **0**-ra billenjen: törölni kell (*K* = 1), míg a *J* beíró bemenetre kapcsolt logikai érték közömbös;

– ahhoz, hogy a flip-flop **1** állapota ne változzon: nem szabad törölni ($K = 0$), míg a J beíró bemenetre kapcsolt logikai érték közömbös.

A kombinációs hálózatok logikai függvényeit ezek után – flip-floponként – Karnaugh-tábla segítségével írjuk fel. Az eredményül kapott Karnaugh-táblákat a *4.49. ábra* mutatja.

- A *4.6. és 4.7. táblázat* felhasználásával meghatározzuk a J és K vezérlési táblákat:
  - a hálózat $0 \to 2$ átmenetéhez:

    Q_A-nak **0**-ban kell maradnia: $J_A = 0$ és $K_A = h$

    Q_B-nek **1**-re kell változnia: $J_B = 1$ és $K_B = h$

    Q_C-nek **0**-ban kell maradnia: $J_C = 0$ és $K_C = h$
  - a hálózat $2 \to 5$ átmenetéhez:

    Q_A-nak **1**-re kell változnia: $J_A = 1$ és $K_A = h$

    Q_B-nek **0**-ra kell változnia: $J_B = h$ és $K_B = 1$

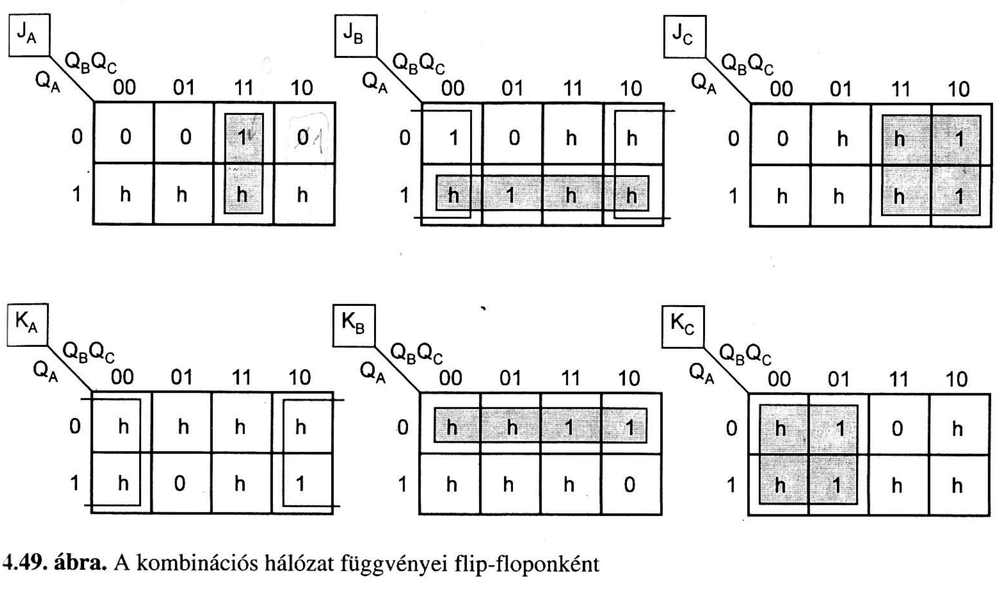
    Q_C-nek **1**-re kell változnia: $J_C = 1$ és $K_C = h$
  - a hálózat $5 \to 6$ átmenetéhez:

    Q_A-nak **1**-ben kell maradnia: $J_A = h$ és $K_A = 0$

    Q_B-nek **1**-re kell változnia: $J_B = 1$ és $K_B = h$

    Q_C-nek **0**-ra kell változnia: $J_C = h$ és $K_C = 1$

Ezt az eljárást mindaddig folytatjuk, míg minden állapotból biztosítottuk a következő állapotba való átmenet feltételeit. A hálózat állapotai között nem szereplő állapotoknál – az előzőekben már ismertetett – tiltott kombinációkra vonatkozó elvek alkalmazhatók. Ebben az esetben a függvények egyszerűsítésére használjuk fel ezeket az állapotokat (vagyis a megfelelő cellákba „***h***" jelet írunk).

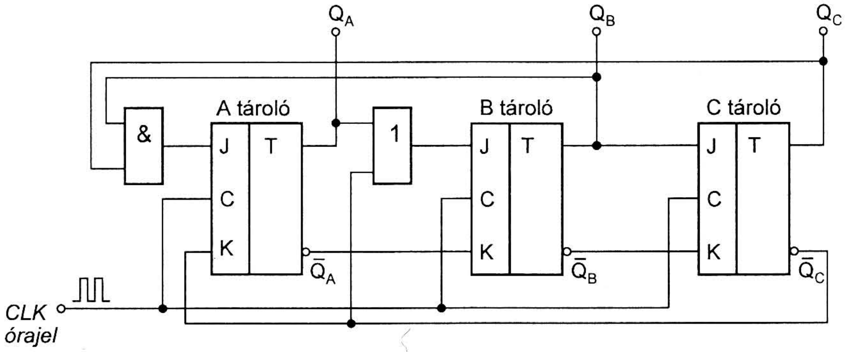


4.49. ábra. A kombinációs hálózat függvényei flip-floponként

- Az egyszerűsítések után a tárolók vezérlési függvényei:

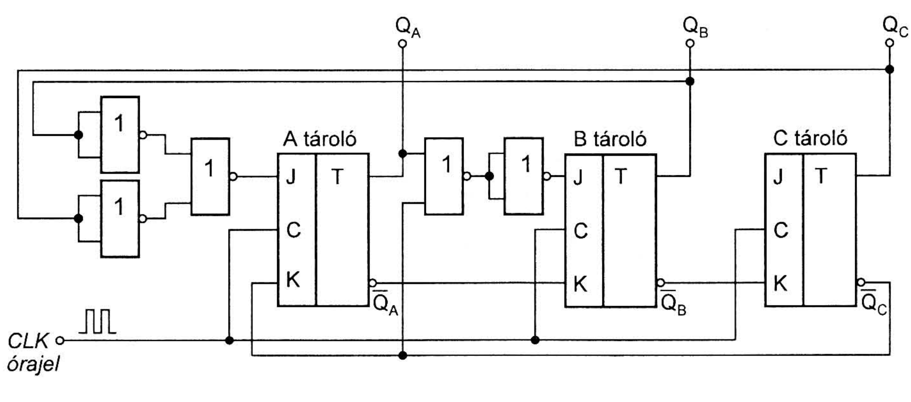
$$J_A = Q_B \cdot Q_C \qquad K_A = \overline{Q}_C$$
$$J_B = \overline{Q}_C + Q_A \qquad K_B = \overline{Q}_A$$
$$J_C = Q_B \qquad K_C = \overline{Q}_B$$

A megvalósított szekvenciális hálózat a *4.50. ábrán* látható.



4.50. ábra. A megvalósított szekvenciális hálózat

A hálózatot kétbemenetű *NOR* kapuk felhasználásával a *4.51. ábra* mutatja.



4.51. ábra. A szekvenciális hálózat kétbemenetű *NOR* kapukkal

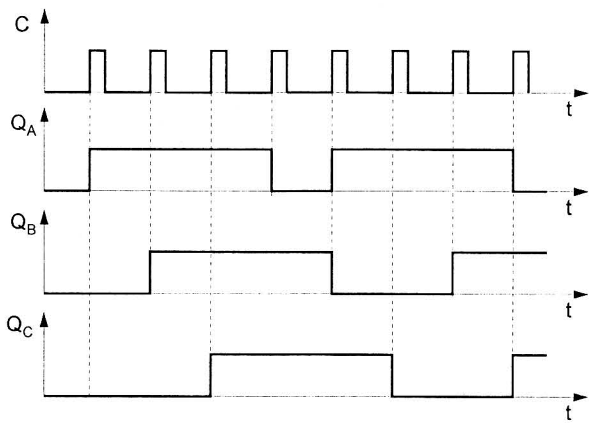
Összefoglaló feladatok:

1. feladat:
Valósítson meg egy szinkron szekvenciális hálózatot, amely a következő – decimálisan kódolt – állapotokkal rendelkezik:

a) 0, 3, 5, 7, 1, 0, ...
b) 0, 7, 4, 5, 3, 0, ...
c) 0, 2, 1, 6, 5, 4, ...
d) 0, 1, 2, 3, 5, 7, ...

A megvalósításhoz *J-K* flip-flopok állnak rendelkezésre!

2. feladat:
Tervezzen olyan szinkron szekvenciális hálózatot, amely a *4.52. ábrán* látható jelalakokat állítja elő a kimenetein ciklikusan! A megvalósításhoz *J-K* flip-flopok használhatók!

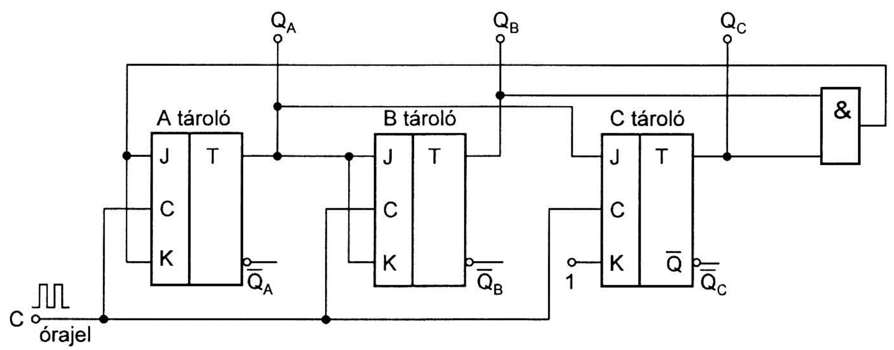


4.52. ábra. A szekvenciális hálózat impulzusdiagramja

a) Írja fel a jelalakok igazságtáblázatát!
b) Írja fel a vezérlési függvényeket!
c) Rajzolja meg a hálózat kapcsolási rajzát!

3. feladat:

Elemezze a *4.53. ábrán* látható szinkron hálózat működését!



4.53. ábra.

a) Írja fel a *J* és *K* bemenetek logikai függvényeit!
b) Készítse el a szekvenciális áramkör állapotdiagramját