

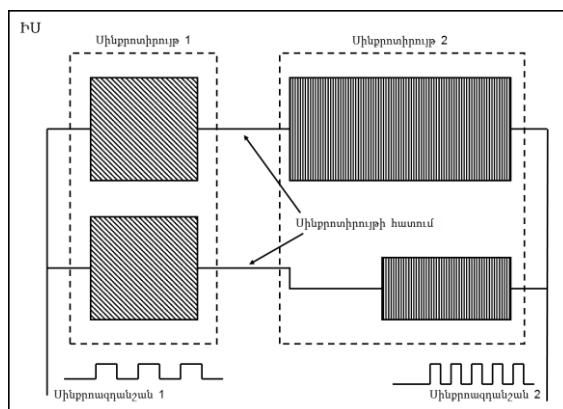
Վ.Շ. ՄԵԼԻՔՅԱՆ, Տ.Ռ. ԽԱԺԱԿՅԱՆ, Տ.Ա. ՀԱԽՎԵՐԴՅԱՆ, Ս.Հ. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ

ՏԱՐԲԵՐ ՀԱՃԱԽԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՎ ՏԱԿՏԱՎՈՐՎՈՂ ԹՎԱՅԻՆ
ՍԽԵՄԱՆԵՐԻ ՀԱՄԱՁԱՅՆԵՑՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿ

Առաջարկվում է տարբեր հաճախականություններով տակտավորվող թվային սխեմաների համաձայնեցման եղանակ, որը հնարավորություն է ընձեռում ընդունող սինքրոտիզմի մոտող ազդանշանի մետաստաբիլ վիճակը հայտնաբերել և բնականոն վիճակը վերականգնել: Ի տարբերություն համաձայնեցման այլ եղանակների՝ այս դեպքում մուտք-էլք հապաղումն ավելի փոքր է, և օգտագործվում են համեմատաբար քիչ քանակով փականներ: Սույն եղանակը, համաձայնեցումը միայն ցածր հաճախականային տիրույթից բարձր իրականացնելու հաշվին, առանց համաձայնեցման արձանագրության իրականացման, բացառում է մետաստաբիլության առաջացումը:

Առանցքային բառեր. տակտային ազդանշան, մետաստաբիլություն, սինքրոտիզմ, համաձայնեցում:

Ներածություն: Ժամանակակից ինտեգրալ սխեմաների (ԻՍ) տարբեր բաղկացուցիչ մասեր կարող են տակտավորվել տարբեր հաճախականություն ունեցող տակտային ազդանշաններով՝ սինքրոազդանշաններով (նկ. 1) [1]: Միննույն հաճախականությամբ տակտավորվող սխեմաները կազմում են սինքրոտիզմ (նկ. 1): Սինքրոտիզմների միջև տեղի է ունենում ազդանշանների անընդհատ փոխանակում: Ազդանշանի անցումը մի սինքրոտիզմից մյուսը ընդունված է անվանել սինքրոտիզմի հատում (ՍՀ) [1, 2]:



Նկ. 1. Սինքրոտիզմների միջև տվյալների փոխանակումը

Միտումնային լարումների և ջերմաստիճանի տատանումները հանգեցնում են հաղորդակցվող սինքրոտիզմների տակտային ազդանշանների՝ միմյանց նկատմամբ փուլային շեղումների [1]: Այդ շեղումները կարող են հանգեցնել նրան, որ ՍՀ կատարող ազդանշանի փոխանցատումն ընդունվի ստացող տրիգերի հաստատման ժամանակից ուշ կամ պահպանման ժամանակից շուտ՝ տրիգերի էլքում առաջացնելով տրամաբանական ցածր և բարձր մակարդակներից տարբերվող անորոշ արժեք [1]: Դա կարող է հանգեցնել փոխանցվող երկուական կարգերի կորստի՝ խափանելով ԻՍ-ի հաջորդող բաղկացուցիչների բնականոն աշխատանքը [1]: ՍՀ-ի ժամանակ, ընդունող սինքրոտիզմում ազդանշանի անորոշ արժեքից խուսափելու նպատակով, կատարում են ուղարկող և ընդունող սինքրոտիզմների համաձայնեցում՝ օգտագործելով տրիգերային համաձայնեցուցիչներ և արձանագրության իրագործմամբ համաձայնեցման եղանակներ (ԱԲՀԵ) [1]: Համաձայնեցման միջոցները տեղադրվում են ուղարկող և ընդունող սինքրոտիզմների միջև: Դրանք ապահովում են ազդանշանի՝ տրիգերի մուտքին անփոփոխ լինելը վերջինիս սինքրոազդանշանի ճակատից առնվազն հաստատման ժամանակ առաջ և ճակատից հետո՝ պահպանման ժամանակի ընթացքում:

Մետաստաբիլություն: Մետաստաբիլությունը հավանականային երևույթ է [1], որի առաջացման դեպքում տրիգերի էլքն ընդունում է անորոշ արժեք՝ հայտնվելով մետաստաբիլ վիճակում: Դա տեղի է ունենում այն դեպքում, եթե տրիգերի մուտքը փոխանցատվել է տրիգերի հաստատման և/կամ պահպանման ժամանակներից ուշ կամ շուտ, ինչի դեպքում ճիշտ տրամաբանական արժեքի հաստատումը տեղի կունենա ուշացումով: Մետաստաբիլությունը բնութագրվում է մի քանի մեծություններով՝

- տվյալ տակտային ազդանշանի դեպքում տրիգերի էլքում մետաստաբիլ վիճակի առաջացման P հավանականություն,
- կայունացման t_g ժամանակ, որի ընթացքում տրիգերի մետաստաբիլ էլքը պետք է ընդունի որևէ տրամաբանական արժեք, որպեսզի հաջորդող տրիգերի էլքը ևս չհայտնվի մետաստաբիլ վիճակում,
- $T_{մետ}$ պարբերություն, որը տվյալ տրիգերի էլքում յուրաքանչյուր երկու իրար հաջորդող մետաստաբիլ վիճակների միջև ընկած ժամանակահատվածների միջին թվաբանականն է:

$$P = f_{SU} T_0 e^{-t_g/\tau}, \quad (1)$$

$$t_g = T_{SU} - t_{հապ} - t_h, \quad (2)$$

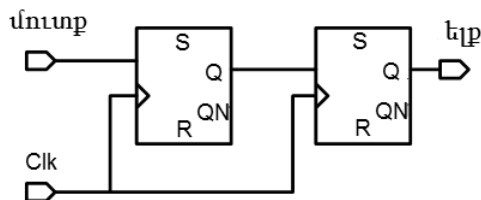
$$T_{մետ} = \frac{e^{t_g/\tau}}{f_{տգ} f_{SU} T_0}: \quad (3)$$

(1)-(3)-ում [1] t_h -ն տրիգերի հաստատման ժամանակն է, f_{su} -ն՝ մուտքային ազդանշանի հաճախականությունը, f_{su} -ն՝ ընդունող տրիգերի տակտավորման հաճախականությունը, T_0 -ն՝ տակտային ազդանշանի ճակատի շուրջը այն ժամանակային միջակայքը, որի ընթացքում ազդանշանի փոխանջատումը հանգեցնում է տրիգերի ելքի մետաստաբիլ վիճակի: τ -ն բնութագրում է տրիգերի ելքի՝ մետաստաբիլ վիճակից դուրս գալու արագությունը: Այն որոշվում է հետևյալ կերպ [1]՝

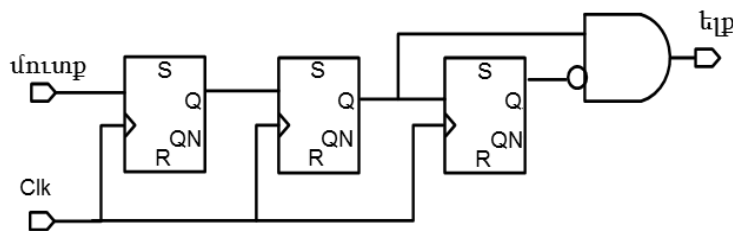
$$\tau = \frac{t_2 - t_1}{\ln\left(\frac{\Delta V_2}{\Delta V_1}\right)}, \quad (4)$$

որտեղ ΔV_1 -ը և ΔV_2 -ը, համապատասխանաբար, t_1 և t_2 պահերին մետաստաբիլ ազդանշանի և դրա շրջված արժեքի տարբերություններն են: Այդ տարբերությունները մետաստաբիլ վիճակում մոտ են զրոյին, իսկ բնականոն վիճակում՝ սնուցման լարման արժեքին:

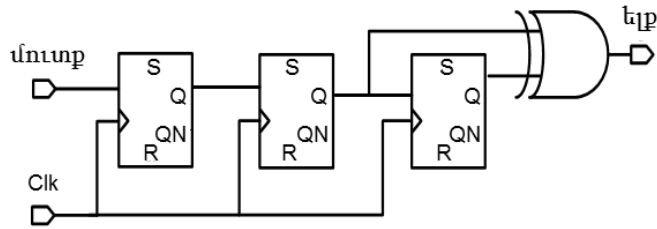
Համաձայնեցուցիչներ: Դասական համաձայնեցուցիչները [3] ներկայացնում են իրար հաջորդաբար միացված տրիգերներ, որոնց միջև չկան համակցային տարրեր [3]: Դրանց հիմնական նպատակն է կանխել մետաստաբիլ ազդանշանի տարածումը առաջին տրիգերից դեպի համաձայնեցուցիչի ելք և ապա՝ ընդունող սինքրոտիզացիայի մուտք: Համաձայնեցուցիչները [4] երեք հիմնական տեսակ են՝ մակարդակային (նկ. 2) [4], ճակատ հայտնաբերող (նկ. 3) [4] և պուլսային (նկ. 4) [4]:



Նկ. 2. Մակարդակային համաձայնեցուցիչը. կիրառվում է միակարգ ազդանշանների համաձայնեցման նպատակով



Նկ. 3. Ճակատ գրանցող համաձայնեցուցիչը. կիրառվում է դրական կամ բացասական ճակատների գրանցման նպատակով



Նկ. 4. Պուլսային համաձայնեցուցիչը. կիրառվում է պուլսային ազդանշանների համաձայնեցման նպատակով

Համաձայնեցուցիչների համար (1)-ը և (3)-ը ընդունում են ստորև բերված տեսքը [5], որտեղ N -ը համաձայնեցուցիչում տրիգերների քանակն է՝

$$P = f_{SU} T_0 e^{-Nt/\tau}, \quad (5)$$

$$T_{սեւ} = \frac{e^{Nt/\tau}}{f_{սդ} f_{SU} T_0} : \quad (6)$$

Համաձայնեցուցիչների հիմնական թերություններն են.

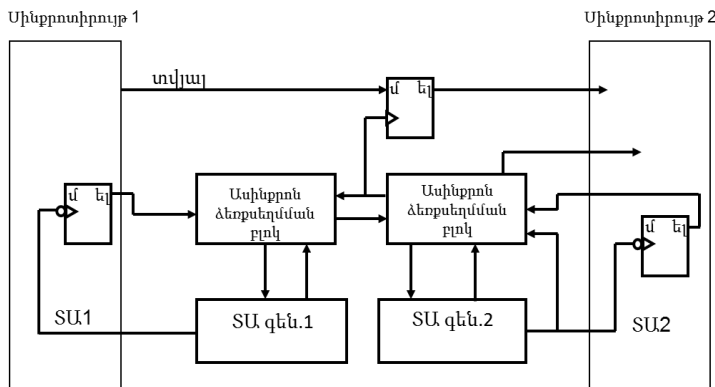
- Հապաղման՝ տակտային պարբերության պատիկին հավասար լինելը: (5)-ից և (6)-ից հետևում է, որ համաձայնեցուցիչի ելքում մետաստաբիլ վիճակի առաջացման հավանականությունը կարելի է նվազեցնել՝ մեծացնելով դրանում եղած տրիգերների քանակը: Սակայն այդ դեպքում հապաղումը մեծանում է տակտային պարբերության պատիկների չափով:

- Ընդունող սինքրոտիզացիոն տակտային հաճախականության մեծացմանը զուգընթաց աճում է մետաստաբիլության հավանականությունը:

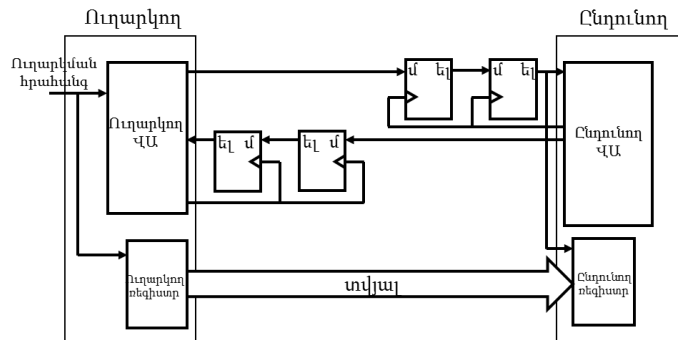
- Բազմակարգ ազդանշանների աղավաղումը: Վերջիններիս համաձայնեցման ժամանակ առանձին երկուական կարգերի մետաստաբիլ վիճակում հայտնվելը հանգեցնում է դրանց՝ մյուս կարգերի նկատմամբ ուշացման և, հետևաբար, ազդանշանի աղավաղման:

- Սինքրոտիզացիոնների միջև ավելացվող հավելյալ մակերեսը:

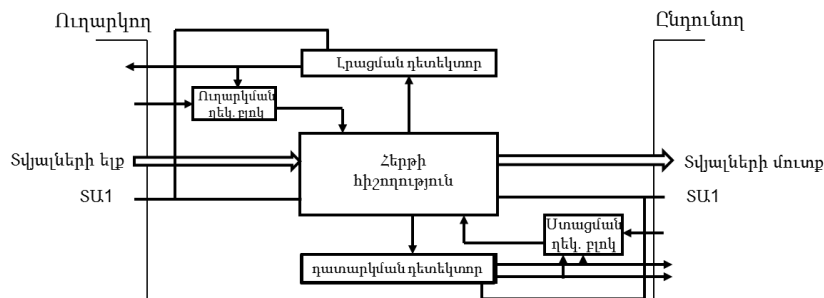
Արձանագրության իրագործմամբ համաձայնեցման եղանակներ: Տարբերում են ԱԻՀԵ-ների հետևյալ հիմնական տեսակները՝ սինքրոազդանշանի ընդհատմամբ (նկ. 5) [6], սահմանային համաձայնեցմամբ (նկ. 6) [6] և հերթի վրա հիմնված (նկ. 7) [6]:



Նկ. 5. Մինքրագդանշանի ընդհատմամբ համաձայնեցման եղանակը



Նկ. 6. Սահմանային համաձայնեցմամբ եղանակը



Նկ. 7. Հերթի վրա հիմնված համաձայնեցման եղանակը

Նկ. 5 – 7–ի ԱԻՀԵ-ները [6], իրականացնելով տարբեր արձանագրություններ, տվյալները փոխանցում են՝ կատարելով, համապատասխանաբար, սինքրոնիզացիաների ընդհատում, արձանագրության հրահանգի համաձայնեցում և տվյալների բուֆերացում: Դրանցից յուրաքանչյուրն ունի թերություններ:

- Սինքրոագղանշանի ընդհատմամբ եղանակի դեպքում արագագործությունը նվազում է, քանի որ այն ընդհատում է ամբողջ համակարգի սինքրոագղանշանը՝ դադարեցնելով կարգերի բոլոր փոխանակումները [6]:

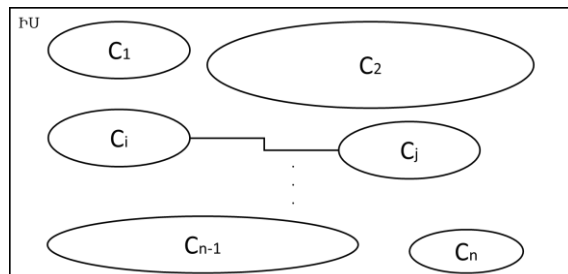
- Սահմանային համաձայնեցմամբ եղանակի (ՄՀԵ) մուտք-ելք հապաղումը կազմում է 2...3 ընդունող տիրույթի տակտային հաճախականություն, սակայն հաջորդ աղանշանի փոխանցումը հնարավոր է իրականացնել 8...12 տակտային պարբերություն հետո, ինչն էապես նվազեցնում է ԻՄ-ի արագագործությունը [6]:

- Հերթի վրա հիմնված եղանակի դեպքում հապաղման՝ 3...4 պարբերությանը հավասար լինելը, ընդունող և ուղարկող սինքրոագղանշանների հաճախականությունների հարաբերությունների սահմանափակումը և հերթի՝ հիշողության աճին զուգընթաց մեծացող մակերեսը [6]:

Այս թերությունների պատճառով դիտարկված եղանակները կիրառելի չեն մեծ արագագործություն պահանջող ԻՄ-ներում և կարող են համաձայնեցնել միայն կոնկրետ և սահմանափակ հաճախականային հարաբերությամբ սինքրոտիրույթներ: Նշվածը հաշվի առնելով՝ անհրաժեշտություն է առաջանում մշակելու համաձայնեցման այնպիսի եղանակ, որը [6]-ում նկարագրված եղանակների համեմատ կապահովի ավելի փոքր համաձայնեցման հապաղում, կիրառելի կլինի բարձր արագագործությամբ ԻՄ-ներում, չի իրագործի համաձայնեցման արձանագրություն և կհամաձայնեցնի կամայական հաճախականային հարաբերություն ունեցող սինքրոտիրույթներ: Իհարկե, այս եղանակի դեպքում համաձայնեցումը հնարավոր կլինի, եթե ուղարկող սինքրոտիրույթը տակտավորվում է ավելի փոքր հաճախականությամբ սինքրոագղանշանով, քան ստացողը:

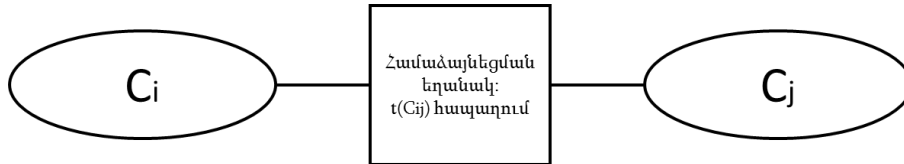
Խնդրի դրվածքը: Դիտարկվում է ԻՄ, որն ունի n հատ սինքրոտիրույթ (նկ. 8): Դիցուք տվյալներն են՝

- $C_1, C_2, \dots, C_n$ իրար նկատմամբ ասինքրոն սինքրոտիրույթներ են,
- C_i և C_j հաղորդակցվող սինքրոտիրույթներից առաջինը տվյալներ ուղարկող տիրույթն է, իսկ երկրորդը՝ ստացողը,
- $C_i \neq C_j \in \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$:



Նկ. 8. n հատ սինքրոտիրույթ ունեցող ԻՄ

Ցանկացած համաձայնեցման եղանակ (ՀԵ), որով C_i և C_j սինքրոտիզացիաները կհամաձայնեցվեն, վերջիններիս միջև ավելացնում է որոշակի $t(C_{ij})$ հապաղում (նկ. 9):



Նկ. 9. Սինքրոտիզացիաների համաձայնեցումը

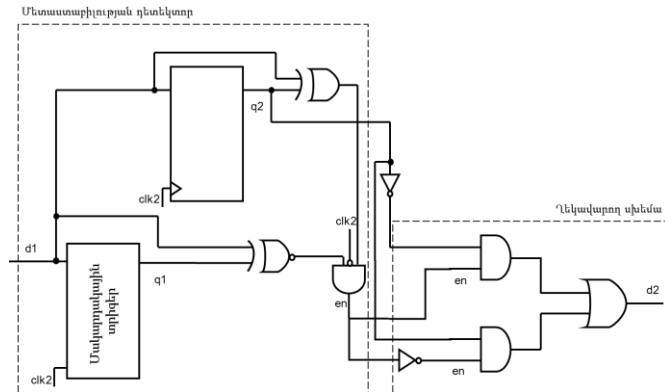
Անհրաժեշտ է մշակել համաձայնեցման եղանակ, որը չի իրագործում համաձայնեցման արձանագրություն և բավարարում է հետևյալ պայմանները՝

$$T_{\text{ընդունող}} \leq t(C_{ij}) \leq 2T_{\text{ընդունող}} - t_h, \quad (7)$$

$$t(C_{ij}) \approx t_{\text{մետ}}, \text{ երբ } \forall \frac{T_{\text{ընդունող}}}{T_{\text{ուղարկող}}} < 1, \quad (8)$$

որտեղ $T_{\text{ընդունող}}$ -ը և $T_{\text{ուղարկող}}$ -ը, համապատասխանաբար, ընդունող և ուղարկող սինքրոտիզացիաների տակտավորող ազդանշանների պարբերություններն են, $t(C_{ij})$ -ն՝ համաձայնեցման եղանակի մուտք-ելք հապաղումը, երբ դրանով անցնող ազդանշանը բնականոն տրամաբանական վիճակում է, իսկ $t_{\text{մետ}}$ -ը՝ այդ նույն հապաղումը, երբ ազդանշանը մետաստաբիլ վիճակում է:

Մետաստաբիլության հայտնաբերմամբ համաձայնեցման եղանակը: Առաջարկվում է համաձայնեցման եղանակ, որը հայտնաբերում է մետաստաբիլության հետևանք հանդիսացող տվյալային կարգի կորուստը և վերականգնում է այն: (7)-ում գրված պայմանն իրականացնելու համար դեպի ընդունող սինքրոտիզացիայի մուտք ազդանշանի անցումը տեղի է ունենում միայն մեկ տրիգերով: Տրիգերի ելքում մետաստաբիլ վիճակի հետևանքով տեղի ունեցած կարգի կորուստը գրանցելու և վերականգնելու նպատակով տրիգերի ելքին ավելացվել է համակցային սխեմա, որի հապաղումը փոքր է մեկ տակտային պարբերությունից: Դրա շնորհիվ, ի տարբերություն համաձայնեցման մյուս միջոցների, մետաստաբիլ և բնականոն վիճակներում առաջարկվող եղանակի մուտք-ելք հապաղումները գործնականորեն նույնն են, ինչով ապահովվում է (8) պայմանը: Անփոփոխ հապաղումը բացառում է բազմակարգ ազդանշանի աղավաղումը, նույնիսկ եթե որոշ կարգեր մետաստաբիլ վիճակում են հայտնվել: Առաջարկվող եղանակի պարզությունն այն է, որ չի իրականացվում համաձայնեցման որևէ արձանագրություն: Մշակված համաձայնեցման եղանակն իրագործվում է հետևյալ կառուցվածքով (նկ. 10):



Նկ. 10. Մետաստաբիլության հայտնաբերմամբ և վերականգնմամբ համաձայնեցման եղանակը

Նկ. 10 – ում q2 տրիգերի նպատակն է հավանական մետաստաբիլ վիճակի էկրանավորումը ԻՄ-ի ընդունող սինքրոտիզացիոն տրիգերի մուտքից: q2-ին միացված ԲԱՑԱՌՈՂ ԿԱՄ տարրը գրանցելու է տրիգերի մուտքի և ելքի միջև տարբերությունը, որը կարող է լինել հետևյալ երկու դեպքերից մեկում.

- Մուտքային ազդանշանը փոփոխվել է, սակայն ընդունող սինքրոտազդանշանի ճակատը դեռ տեղի չի ունեցել:

- Մուտքային ազդանշանը փոփոխվել է, ընդունող սինքրոտազդանշանի ճակատը արդեն տեղի է ունեցել, սակայն q2 տրիգերի ելքը չի փոխանջատվել: Սա կարող է տեղի ունենալ միայն այն դեպքում, երբ տրիգերի ելքը հայտնվել է մետաստաբիլ վիճակում:

Վերոհիշյալ երկու դեպքերը միմյանցից տարանջատելու համար մշակված միջոցը պարունակում է մակարդակով ղեկավարվող q1 տրիգեր: Վերջինիս մուտքի ու ելքի հավասարության դեպքում կարելի է միարժեքորեն ասել, որ ընդունող սինքրոտազդանշանի դրական ճակատը արդեն տեղի է ունեցել: ԵՎ տարրի միջոցով հայտնաբերվում է q2-ի ելքում կարգի կորստի դեպքը, և en ազդանշանը ընդունում է տրամաբանական 1 արժեքը: Կորսված երկուական կարգը վերականգնվում է՝ ղեկավարող սխեմայի d2 ելքին փոխանցելով q2-ին միացված շրջիչի ելքը:

Նկ.10-ում պատկերված համաձայնեցման եղանակի մուտքին հնարավոր են հետևյալ դեպքերը. 1) մուտքային ազդանշանն ունի նույն արժեքը, ինչ նախորդ պարբերության ժամանակ, 2) մուտքային ազդանշանը փոխանջատվում է:

1) Նախորդ և ներկա պարբերությունների ժամանակ ՀԵ-ի մուտքին տրվում է տրամաբանական 0 արժեք: Այդ դեպքում q2 տրիգերի ելքին միացված ԲԱՑԱՌՈՂ ԿԱՄ տարրի ելքը գրո է, իսկ q1 տրիգերի ԲԱՑԱՌՈՂ ԿԱՄ-ՈՉ տարրի ելքը՝ տրամաբանական 1: Այդ դեպքում en ազդանշանն ընդունում է տրամաբանական 0 արժեք,

ինչը նշանակում է, որ կարգի կորուստ տեղի չի ունեցել: $e_n = 0$, հետևաբար՝ $d_2 = q_2$, իսկ d_1-d_2 հապաղումը՝

$$t_{d_1-d_2} = T_{SU} + t_{q_2} + t_{կոմբ} : \quad (9)$$

2) Տեղի է ունեցել փոխանջատում.

ա) q_2 -ի ելքը նորմալ փոխանջատվում է: Այդ դեպքում q_2 -ին միացված ԲԱՅԱՌՈՂ ԿԱՄ տարրի ելքը տրամաբանական զրո է, հետևաբար՝ $e_n = 0$ և $d_2 = q_2$, իսկ d_1-d_2 հապաղումը կրկին որոշվում է (9)-ով,

բ) q_2 -ի ելքը մետաստաբիլ է, և տեղի է ունեցել կարգի կորուստ: Քանի որ q_2 -ը չի փոխանջատվել, ուստի դրան միացված ԲԱՅԱՌՈՂ ԿԱՄ տարրի ելքը տրամաբանական մեկ է: Մակարդակով դեկավարվող տրիգերի ելքը արդեն հավասարվել է մուտքին. ԲԱՅԱՌՈՂ ԿԱՄ-ՈՉ տարրի ելքը տրամաբանական 1 է: $e_n = 1$, հետևաբար՝ $d_2 = !q_2$, իսկ d_1-d_2 հապաղումը՝

$$t_{d_1-d_2} = T_{SU} + t_{կոմբ} : \quad (10)$$

Մետաստաբիլության առաջացման դեպքում ՀԵ-ի հապաղումը փոքր է բնականոն դեպքի հապաղումից q_2 տրիգերի հապաղման չափով, քանի որ ազդանշանը ոչ թե տարածվում է q_2 տրիգերով, այլ ձևավորվում է համակցային տրամաբանության միջոցով:

Վերևում քննարկված դեպքերից ակնհայտ է, որ ի տարբերություն նկ. 5 – 7-ում պատկերված ԱԻՀԵ-ների՝ մշակված ՀԵ-ն ապահովելու է ազդանշանի տարածման ավելի փոքր հապաղում, որը բնականոն և մետաստաբիլ ազդանշանների դեպքերում տարբերվում է ընդամենը տրիգերի հապաղման չափով:

Ի տարբերություն համաձայնեցման այլ եղանակների՝ առաջարկվող ՀԵ-ն չի ձգտում նվազեցնել մետաստաբիլ վիճակի առաջացման հավանականությունը, այլ վերականգնում է մետաստաբիլության առաջացրած կորուստները:

Առաջարկված համաձայնեցման եղանակի արդյունավետության գնահատման նպատակով կատարվել է սխեմայի մոդելավորում 28 նս/տեխնոլոգիական գործընթացի համար՝ օգտագործելով HSPICE ծրագրային միջոցը: Որպես ուղարկող և ստացող սինքրոտիրություններ օգտագործվել են 330 ՄՀԳ-ից մինչև 2000 ՄՀԳ հաճախականությամբ աշխատող տրիգերներ, որոնց տակտային ազդանշանների հաճախականությունների հարաբերությունը փոփոխվել է մեկից մինչև 6 արժեքները: Մշակված ՀԵ-ի աշխատանքը ստուգվել է սինքրոտիրությունների միջև կարգերի՝ փոքր հաճախականությամբ սինքրոտիրությունից մեծ հաճախականությամբ սինքրոտիրության փոխանակությամբ՝ ընդունող սինքրոտիրության մուտքում ապահովելով բնականոն և մետաստաբիլ վիճակներ: Մոդելավորման արդյունքներն ընդհանրացված են աղ. 1-ում:

Մոդելավորման արդյունքները

Ուղարկող սինքրոտիբություն (ՄՀԳ)	Ստացող սինքրոտիբություն (ՄՀԳ)	Պարբ. (նվ)	ՀԵ-ի հապաղում (նվ)	ՀԵ-ի հապաղում մետաստաբիության դեպքում (նվ)	%
330	467	2,14	2,24	2,23	0,44
330	568	1,76	1,86	1,84	1
330	735	1,36	1,46	1,45	0,6
330	870	1,15	1,25	1,24	0,8
330	1064	0,94	1,04	1,03	0,9
330	1408	0,71	0,809	0,808	0,12
330	1724	0,58	0,675	0,67	0,74
330	2080	0,48	0,578	0,575	0,52

Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ մշակված միջոցի q2 տրիգերի էլքում բնականոն և մետաստաբիլ վիճակներում դրա հապաղումը, ընդունող տարբեր հաճախականությունների դեպքում, առավելագույնը տարբերվում է 1% - ով:

Արդյունքներից երևում է նաև, որ մետաստաբիլ վիճակում ազդանշանի հապաղումը նշված տոկոսով փոքր է, քան բնականոն վիճակում հապաղումը: Դա բացատրվում է նրանով, որ մետաստաբիլությունից վերականգնված ազդանշանը չի անցնում տրիգերի միջով, այլ ձևավորվում է բացառապես համակցային սխեմայի միջոցով:

Առաջարկվող ՀԵ-ն վերոհիշյալ ԱԻՀԵ-ների համեմատ ունի ավելի փոքր մուտք-էլք հապաղում՝ 1 տակտային պարբերության չափով: Երկուական կարգերի յուրաքանչյուր հաջորդ փոխանցումը կարող է տեղի ունենալ նախորդից մեկ տակտային պարբերություն հետո: Այս եղանակի կիրառման դեպքում ընդունող սինքրոազդանշանի հաճախականության և ուղարկող սինքրոազդանշանի հաճախականության հարաբերությունը կարող է լինել կամայական՝ ի տարբերություն հերթի վրա հիմնված ՀԵ-ի, որի դեպքում այդ հարաբերությունը կարող է հավասար լինել առավելագույնը երեքի:

Աղ. 2-ում ընդհանրացված են հիշատակված համաձայնեցման եղանակների հապաղումները, որտեղից երևում է առաջարկվող եղանակի առավելությունը:

Առաջարկվող ՀԵ-ի հապաղումների և հայտնի եղանակների համեմատությունը

Ուղարկող սինքրոտիզույթ (ՄՀց)	Ստացող սինքրոտիզույթ (ՄՀց)	Առաջարկվող եղանակ (նվ)	ՄՀ եղանակ (նվ)		Հերթահեն եղանակ (նվ)	
			Մին.	Մաքս.	Մին.	Մաքս.
330	467	2,24	4,28	6,42	6,42	8,56
330	568	1,86	3,52	5,28	5,28	7,04
330	735	1,46	2,72	4,08	4,08	5,44
330	870	1,25	2,3	3,45	3,45	4,6
330	1064	1,04	1,88	2,82	2,82	3,76
330	1408	0,809	1,42	2,13	2,13	2,84
330	1724	0,675	1,16	1,74	1,74	2,32
330	2080	0,578	0,96	1,44	1,44	1,92

Մշակված ՀԵ-ի թերությունն այն է, որ ուղարկող սինքրոազդանշանի հաճախականությունը չի կարող լինել ավելի մեծ, քան ընդունողինը: Այս հանգամանքը առաջարկվող համաձայնեցման միջոցի սահմանափակումն է: Նշված սահմանափակման հաշվին, սակայն, առաջարկված ՀԵ-ով ազդանշանի տարածման հապաղումը առնվազն 2, առավելագույնը 4 անգամ փոքր է այլ եղանակների դեպքում հապաղումներից:

Եզրակացություն: Առաջարկվել է տարբեր հաճախականություններով տակտավորվող թվային սխեմաների համաձայնեցման եղանակ, որը համաձայնեցնում է ցածր հաճախականությամբ սինքրոտիզույթը բարձրի հետ կամայական հաճախականային հարաբերությունների դեպքում: Այս եղանակի թերությունն այն է, որ այն կիրառելի է, եթե ուղարկող սինքրոտիզույթի տակտավորման հաճախականությունը փոքր է ընդունող սինքրոտիզույթինից: Ապահովելով բնականոն և մետաստաբիլ ազդանշանների հապաղումների առավելագույնը 1% տարբերություն՝ առաջարկված միջոցը կիրառվում է ինչպես միակարգ, այնպես էլ բազմակարգ ազդանշանների համաձայնեցման նպատակով՝ բացառելով ազդանշանի աղավաղումը: Այն, բաղկացած լինելով ընդամենը 9 տարրից, ԻՄ-ում ավելացնում է ավելի քիչ մակերես, քան համաձայնեցման այլ եղանակները, և ցուցաբերում է դրանցից 2.4 անգամ փոքր համաձայնեցման հապաղում: Նվազագույն հապաղումը պայմանավորված է մետաստաբիլության հետևանքով ազդանշանի կորուստը արձանագրելու և համակցային տրամաբանությամբ վերականգնելու հատկությամբ: Առաջարկված ՀԵ-ն որևէ կախում չունի տեխնոլոգիական գործընթացից, և հետևաբար՝ այն սինթեզելի է կամայական տեխնոլոգիական գործընթացի դեպքում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Ginosar R.** Metastability and synchronizers: A tutorial // IEEE Design and Test of Computers. – September, 2011. – Vol. 28, No. 5. – P. 23-35.
2. **Cummings C.E.** Clock domain crossing (CDC) design & verification techniques using SystemVerilog // Synopsys User Group (SNUG).- September 2008. – Boston, USA, 2008.

3. **Hatture S., Dhage S.** Multi-clock domain synchronizers // In Computation of Power, Energy Information and Commuincation (ICCPEIC).- April 2015. – P. 403-408.
4. Quantitative analysis of state-of-the-art synchronizers: clock domain crossing perspective / **N. Sharif, N. Ramzan, F.K. Lodhi, et al** // International Conference Emerging Technologies (ICET).- September, 2011. – P. 1-6.
5. **Chong A.B.** Product Level MTBF Calculation // 5th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation. – January, 2014. – P. 749-754
6. **Al-bayati Z.** Design and Verification of Clock Domain Crossing Interfaces: Doctoral dissertation.- Concordia University Montréal, Québec, Canada. 2012.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան, Երևանի պետական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 20.10.2016:

В.Ш. МЕЛИКЯН, Т.Р. ХАЖАКЯН, Т.А. АХВЕРДЯН, С.А. МАНУКЯН

МЕТОД СИНХРОНИЗАЦИИ ЦИФРОВЫХ СХЕМ С РАЗНЫМИ ТАКТОВЫМИ ЧАСТОТАМИ

Предложен метод синхронизации цифровых схем с разными тактовыми частотами, который обладает возможностью детектирования метастабильности и восстановления нормального значения сигнала в принимающей синхрообласти. В отличие от других методов синхронизации, предложенный метод имеет меньшее запаздывание и использует меньшее количество элементов. За счет того, что синхронизация возможна лишь от синхрообласти с меньшей тактовой частотой к синхрообласти с большей, предложенный метод исключает возникновение метастабильности, не используя протоколы синхронизации.

Ключевые слова: тактовый сигнал, метастабильность, синхрообласть, синхронизация.

V.SH. MELIKYAN, T.R. KHAZHAKYAN, T.A. HAKHVERDYAN, S.H. MANUKYAN

A METHOD OF SYNCHRONIZATION OF DIGITAL CIRCUITS WITH DIFFERENT CLOCK FREQUENCIES

A method of synchronization of digital circuits that have different clock frequencies is proposed. The method has properties of detecting the metastable state of a signal in the receiver domain and recovering its normal state. Compared to other methods of synchronization the proposed one has a less delay and a smaller number of logic elements. Due to being able to implement synchronization only from the clock domain with lower frequency to the one with higher, the proposed method excludes the occurrence of metastability by not implementing synchronization protocols.

Keywords: clock signal, metastability, clock domain, synchronization.