

СЕРИЯ 4-ФАЗОВИ МИКРОКОНВЕЙЕРНИ АВТОМАТИ С ИЗПРЕВАРВАЩО НУЛИРАНЕ

Димитър С. Тянев

Резюме: Представен е анализ на 4-фазовия трансферен протокол. Направени са изводи и са формулирани технически изисквания към параметри, на които се основава проведения логически синтез. Представени са принципни логически схеми на серия 4-фазови микроконвейерни автомати и на свързани с тяхното функциониране логически схеми. Представено функционирането на логическите схеми. Изяснени са техните достоинства и недостатъци, което е предпоставка за тяхното приложение.

Ключови думи: микроконвейерен автомат, 4-фазов протокол, сигнал за фактическо закъснение.

Serial early-zero 4-phase micro-pipeline controllers

Dimitar S. Tyanev

Abstract: Analysis of the 4-phase transfer protocol is presented. Conclusions are made and are defined technical requirements to parameters that are base of the logical synthesis. Principal logical schemes of serial 4-phase pipeline controllers and additional circuits are presented. The functioning of these schemes is presented as well. Their advantages and disadvantages are defined which is a precondition for their usage.

Key words: micro-pipeline, 4-phase protocol, signal completion detection.

1. Четири фазов конвейерен трансфер

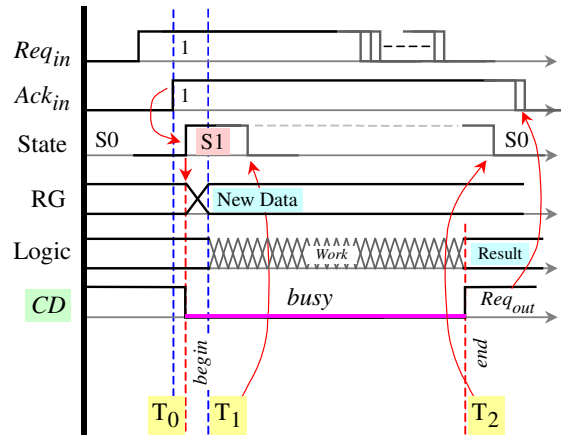
Управлението на асинхронни микроконвейери чрез 4-фазови конвейерни автомати се предопределя от използването на *Edge*-регистри фиксатори в структурата на микроконвейерните звена. От своя страна използването на 2-фазови конвейерни автомати налага фиксаторите да се реализират с *Latch*-тригери. Тъй като при тези автомати и двете състояния са работни, то *Latch*-тригерите трябва да имат структура DETFF (*Double-Edge Triggered Flip-Flop*), което се постига с нетрадиционни средства, увеличаващи значително апаратните разходи.

Управлявани от двойката входни сигнали (Req_{in} , Ack_{in}), 4-фазовите автомати се превключват в единично състояние винаги, когато и двата входни сигнала се установят в единично състояние. Предният фронт на новото състояние на автомата следва да се използва за осъществяване на данновия трансфер.

Със записа на нови данни в текущото звено, то стартира нови изчисления. За да се повтори този процес, конвейерният автомат на звеното трябва да възстанови изходното си състояние. Логично е това да стане в момент, когато микроконвейерното звено не е заплашено от това обратно превключване на автомата в изходно (нулево) състояние. За да бъде определен този момент, процесът на старт и функциониране на звеното е изследван чрез времедиagramата от фиг. 1.

Както се вижда, след превключването на конвейерния автомат от състояние S_0 в състояние S_1 , като следствие протичат две последователни превключвания. Първото превключване е на тригерите в регистъра фиксатор RG , който приема новите данни от предходното микроконвейерно звено. Второто превключване е на операционната логическа схема (*Logic*), която изчислява нов резултат. В началото на тези две закъснения (момент T_0) сигналът на фактическото закъснение CD (*Completion detection*) пада в ниско ниво (логическа нула). Интервалът, в който този сигнал има ниско ниво, се приема за интервал, в

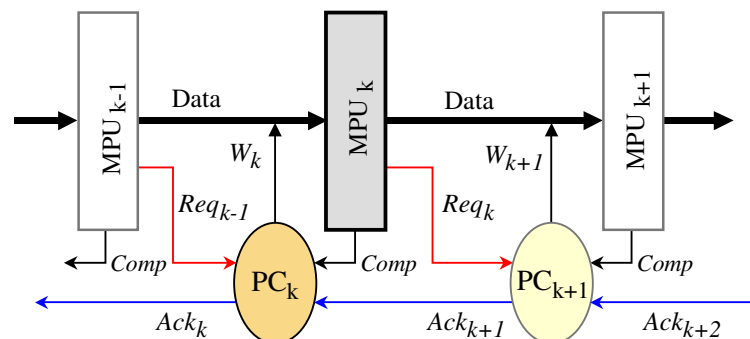
който микроконвейерното звено е в състояние “заето”, т.е. провеждащо текущото изчисление [3]. В момент T_2 изчисленията завършват и сигналът CD се вдига във високо ниво (логическа единица). От този момент нататък резултатът е стабилен и може да бъде предаван към следващото звено. Единичната стойност на сигнал CD се възприема като сигнал за край на изчислението и може да се подава към следващия конвейерен автомат в качеството на сигнал заявка (Req_{out}).



Фиг. 1. Времедиаграма за превключване на 4-фазов автомат

За да повтори трансферният цикъл конвейерният автомат трябва да се превключи обратно в изходно състояние S_0 . Времевият интервал, когато възстановяването на автомата е правилно да стане, се определя от моментите T_1 и T_2 . Минималното закъснение, с което възстановяването може да стане, се определя от времето за надеждно фиксиране на данните в конвейерния регистър. С други думи, латентността на тригерите в регистъра фиксатор определя минималната продължителност на единичното състояние S_1 . Следователно е необходим сигнал за потвърждение на края на записа в регистъра – сигнал *Complete*. Най-рано (момент T_1) такъв сигнал може да генерира самия регистър. Най-късно сигналът *Complete* може да генерира операционната схема чрез сигнал CD , който се появява в момент T_2 . Всяко по-късно възстановяване на конвейерния автомат може да въведе непроизводително закъснение в превключването на автомат, а от там и в конвейера. Най-късното възстановяване може да предизвика сигналът потвърждение Ack_{in} , който ще се получи от следващия конвейерен автомат в отговор на предадените му данни. От казаното следва, че сигнал *Complete* има импулсен характер.

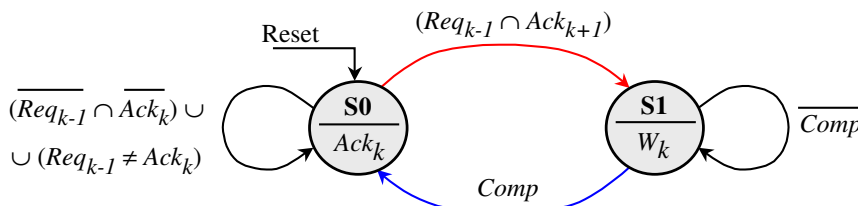
Фрагментът от фиг. 2 показва текущото (k -то) микроконвейерно звено MPU_k (*Micro-pipeline Unit*) с конвейерния автомат PC_k (*Pipeline Controller*), който го управлява, както и връзките на тези два елемента със съседните в конвейера, в смисъла на казаното по-горе.



Фиг. 2. Структура на микроконвейер с 4-фазов автомат

Описаният протокол може да се изрази с граф на преходите, показан на фиг. 3.

Появата на две единици за сигналите заявка Req_{k-1} и за потвърждение Ack_{k+1} причинява превключване на автомата в единично състояние и издаване на сигнал за запис W_k . Регистрите фиксатори на микроконвейерните звена записват входни данни само по един от фронтите на импулсите W_k , $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ За конвейерния автомат PC_k тези два сигнала са входни, т.е. $Req_{in} = Req_{k-1}$, $Ack_{in} = Ack_{k+1}$. Краят на записа на данните в регистъра фиксатор се отбелязва от сигнал *Complete* (*Comp*). Този сигнал се използва за превключване на конвейерния автомат обратно в нулево състояние. Приема се, че сигналът *Complete* има същата форма, както тази на сигнал *CD*, т.е. неговото ниско ниво трябва да се възприема като незавършил запис. Появата на преден фронт и високо ниво на този сигнал означава, че записът е завършил и тригерите на регистъра фиксатор са установени стабилно.



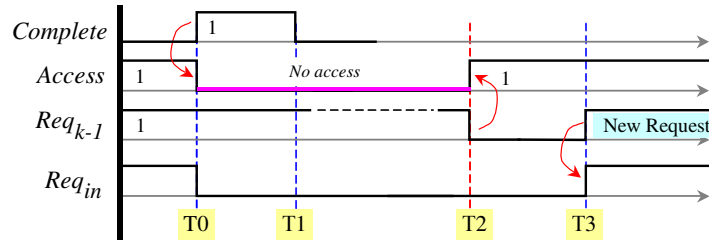
Фиг. 3. Граф на преходите на конвейерния автомат

В състояние S0 автоматът издава потвърждение $Ack_k=1$ за своето изходно състояние, а в състояние S1 потвърдението се сема, като в същото време се издава сигналът за запис W_k . Преход в състояние S1 се извършва при $Req_{k-1} = Ack_{k+1} = 1$. Обратният преход в S0 се осъществява с появата на сигнал $Comp=1$, след което сигналът за запис W_k пада в ниско ниво.

Връщайки се в състояние S0 (фиг. 3) съществува опасност от незабавно повторно и неправилно превключване на автомат PC_k обратно в състояние S1. На първо място като причина за това е импулсния характер на нулирания сигнал. Като втора причина това е потенциалния характер на входните за автомата сигнали (Req_{in} , Ack_{in}), които след нулирането е възможно все още да продължават да са в състояние единица. Така съчетанието от тези две обстоятелства във времето обуславя възможността за ненадежност на състоянието S0. От описаното функциониране на 4-фазовите конвейерни автомати се разбира, че сигналите потвърждение падат в ниско ниво за кратко по време на данния трансфер, т.е. през останалото време те са в активно високо ниво, затова са определени като потенциални. С други думи състоянието S1 е значително по-краткотрайно от изходното S0. Ето защо, след нулиране на такъв автомат, има голяма вероятност следващият микроконвейерен автомат PC_{k+1} (фиг. 2) бързо да възвърне потвърдението $Ack_{k+1}=Ack_{in}=1$. В същото време преходното звено (към което текущия автомат PC_k след възстановяването си в изходно състояние ще издаде потвърдението Ack_k) може да продължава да поддържа заявката си $Req_{in}=Req_{k-1}$. Вероятността за тази ситуация се дължи на това, че ако автомат PC_{k-1} е получил потвърдението Ack_k , но все още очаква сигнал заявка Req_{k-2} , той няма да може да се превключи. Това пък означава, че звеното, което той управлява, няма да може да семе заявката Req_{k-1} и да я издаде повторно след новите изчисления. Така на входа на автомат PC_k ще продължават да стоят две единици $Req_{k-1}=Req_{in}=Ack_{in}=Ack_{k+1}=1$ и неговото лъжливо превключване в състояние S1 е напълно възможно.

Предотвратяването на изяснената по-горе опасност изисква функционирането на конвейерния автомат PC_k да бъде обвързано с поведението на заявката Req_{k-1} , която той получава от предходното микроконвейерно звено. Изводът, който може да се направи на този етап, е че заедно с нулирането на конвейерния автомат, сигналът *Complete* трябва да блокира и действието на все още действащия сигнал Req_{k-1} . След изчезване на сигнал

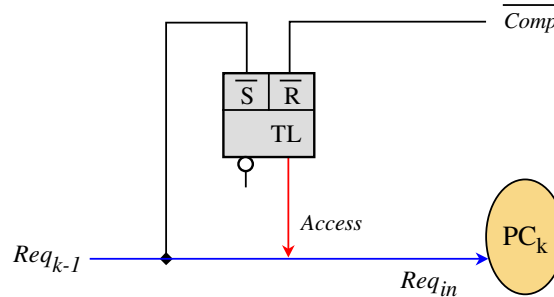
Complete автоматът не трябва да е в състояние да възприема заявката Req_{k-1} . Нещо повече, след изчезване на нулиращия сигнал, автоматът трябва да бъде в състояние да възприема тази заявка едва при нова (следваща) нейна поява. С други думи, с появата си сигнал *Complete* трябва да блокира достъпа на заявката Req_{k-1} до конвейерния автомат, а задния фронт на същата заявка, т.е. когато тя изчезне, да се отменя забраната и да разрешава следващия ѝ достъп. Във времето това може да бъде изразено както е показано на фиг. 4.



Фиг. 4. Изключване и включване на достъпа на заявката от предходното звено

В момент T_0 се появява сигнал *Complete*, който превключва конвейерния автомат в състояние S_0 . Достъпът на заявката Req_{k-1} до автомата е забранен и $Req_{in}=0$, но $Req_{k-1} \equiv Req_{in}$. В момент T_1 изчезва сигнал *Complete*, но тъй като $Req_{in}=0$, автоматът не се превключва. В момент T_2 достъпът се възобновява с изчезване на заявката Req_{k-1} . Към автомата се подава $Req_{k-1} = Req_{in} = 0$. Няма превключване на автомата. В момент T_3 се появява новата заявка $Req_{k-1} = 1$, т.е. $Req_{k-1} = Req_{in} = 1$ и от този момент нататък е възможно ново превключване на автомата в състояние S_1 .

Синтезирана логическа схема, осигуряваща достъп на заявката до конвейерния автомат според логиката на времедиagramата от фиг. 4, е представена на фиг. 5.

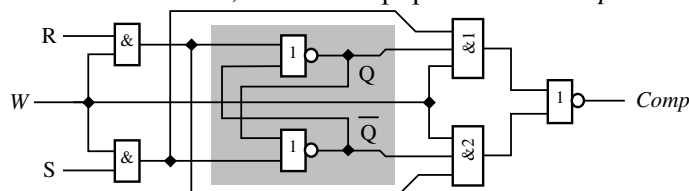


Фиг. 5. Логическа схема за генериране на сигнал *Access*

2. Сигнал *Complete*

2.1. Сигнал *Complete* за *Latch*-тригери

Ако се приеме, че сигнал *Complete* трябва да съобщи за края на записа в регистъра фиксатор, то това в частност е сигнал за край на превключването на един тригер. Микрооперацията запис е много кратка. Нейната продължителност е обикновено от $2 \cdot \tau$ до $6 \cdot \tau$ (с τ е означено времето за превключване на един логически елемент). На фиг. 6 е показана принципна логическа схема, която генерира сигнал *Complete*.



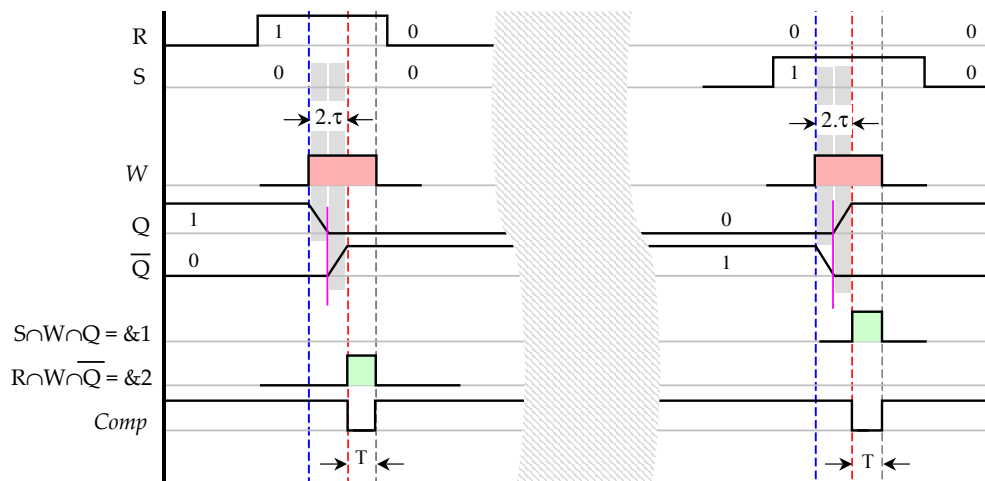
Фиг. 6. Сигнал *Complete* за край на запис в *RS*-тригер

Логическата функция, която реализира този сигнал се основава на функцията неравнозначност, която приема истинна логическа стойност след като аргументите на парафазната дизюнкция ($Q \cup \bar{Q}$) достигнат истинни логически стойности [1]. Парафазната дизюнкция е необходимо да бъде функционално потвърдена от логическите стойности по данните входи. Освен това, тъй като при запис е възможно да не настъпи превключване на тригера, парафазната дизюнкция е функционално обвързана и със сигнала за запис W . В крайна сметка логиката на сигнала добива вида

$$Comp = \overline{(S \cap Q \cap W) \cup (R \cap \bar{Q} \cap W)} \quad (1)$$

Въпреки, че схемата е приложена за елементарен RS Latch-тригер, тя може да се приложи и върху други по вид тригери. Схемата работи по един и същи начин и за двете превключвания $0 \rightarrow 1$ и обратно $1 \rightarrow 0$.

Функционирането на логическата схема е представено чрез времедиagramата на фиг. 7.



Фиг. 7. Времедиagramа за край на превключването

Началното състояние на тригера е $Q=1$. С подаване на единица на R входа тригерът следва да се нулира $Q=0$, което се осъществява, когато се подаде сигнал за запис W . Както се вижда от времедиagramата, за установяване на стабилното състояние са необходими минимум (2τ) секунди. Това е собственото време за превключване на тригера от едно състояние в друго. Въпреки, че единицата на входа R продължава да е активна, други превключвания няма. На изхода $Comp$, който ни интересува, се вижда, че схемата генерира в отговор на превключването отрицателен импулс. Този импулс има активна стойност нула в интервала T . Той започва в момента на установяване на новото състояние на тригера и завършва в момента, в който изчезва сигналът за запис. С други думи, продължителността на сигнала $Comp$ може да се изрази както следва

$$T_{comp} = T_w - 2\tau, \quad (2)$$

където с T_w е означена продължителността на сигнала за запис W .

Аналогичен е процесът при обратното превключване, което причинява единицата постъпила по входа S. Задният фронт на сигнала $Comp$ маркира момента, в който се завършва превключването на тригера.

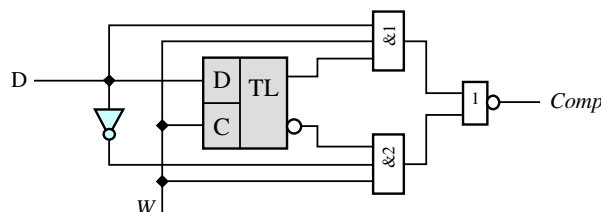
Специално внимание заслужава случаят, при който тригерът не се превключва, тъй като записва същата стойност. В този случай сигналът $Comp$ ще има формата на сигнала W . Тъй като схемата, чрез която се формира сигналът $Comp$, се изгражда само върху един тригер, превключването на ниво регистър става проблемно за регистриране, тъй като при запис някои от неговите тригери се превключват, но други могат да запазят състоянието си. По тази причина формирането на сигнала $Comp$ само чрез един тригер не е пълноценно

решение. Пълното решение изисква оборудване на всеки тригер със схема за формиране на сигнал $Comp_i$, $i=0,1,2,\dots,(n-1)$. Чрез тези поразрядни сигнали следва да се формира конюнкцията

$$Comp = \bigcap_{i=0}^{n-1} Comp_i \quad (3)$$

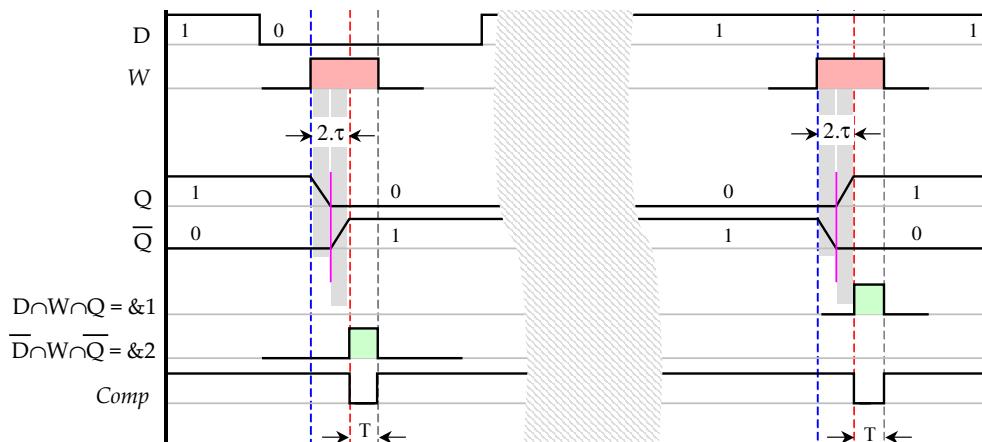
Така по-късите сигнали ще стробират по-продължителните, при което окончателният вид на сигнала $Comp$ за целия регистър ще бъде като показания на фиг. 5. Въпреки това съществува вероятност да няма абсолютно никакви превключвания, което може да се случи ако новите данни съвпадат напълно със старите. В този случай конюнкцията (3) ще генерира сигнал, който отново ще съвпадне със сигнала за запис W , така както беше обяснен по-горе случаят с единичния тригер.

Тъй като регистрите фиксатори често се изграждат от D-тригери, на фиг. 8 е представена логическата схема на сигнал $Comp$, за този тип тригери.



Фиг. 8. Сигнал Complete за край на запис в D-тригер

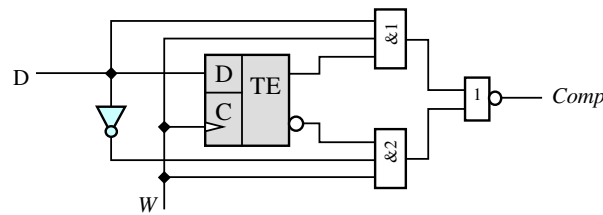
На фиг. 9 е представена времедиаграмата за превключване на схемата с D-тригер.



Фиг. 9. Времедиаграма за край на превключването

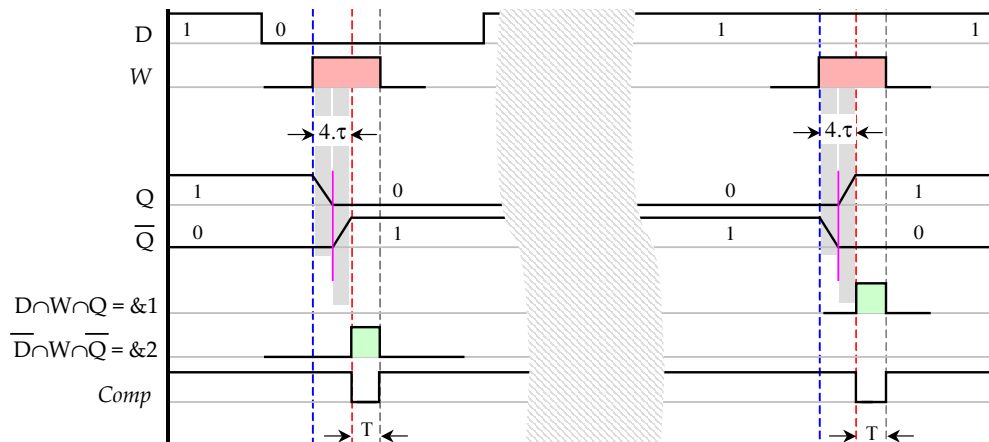
2.2. Сигнал Complete за тригери със структура Edge или Master-Slave, превключващи се по преден фронт

В раздел 1 бе отбелязано, че 4-фазовите микроконвейерни автомати са удобни за управление на данновия трансфер в случаи, когато входните регистри фиксатори на звената са изградени от противосъстезателни тригери. Такива са тригерите с Edge, или с MS-структура. По-долу е представена Complete-схема за Edge D-тригер, превключващ се по преден фронт. Съдържайки схемата на Хуфман, този тригер има време на превключване 4τ [2]. В схемата от фиг. 10 той е представен без установъчните си входове. Complete-схемата е същата като тази от фиг. 8.



Фиг. 10. Сигнал *Complete* за край на запис в динамичен D-тригер

Единственото различие във времедиagramата (фиг. 11) е по-голямото закъснение на сигнала *Comp* спрямо предния фронт на сигнала *W*.



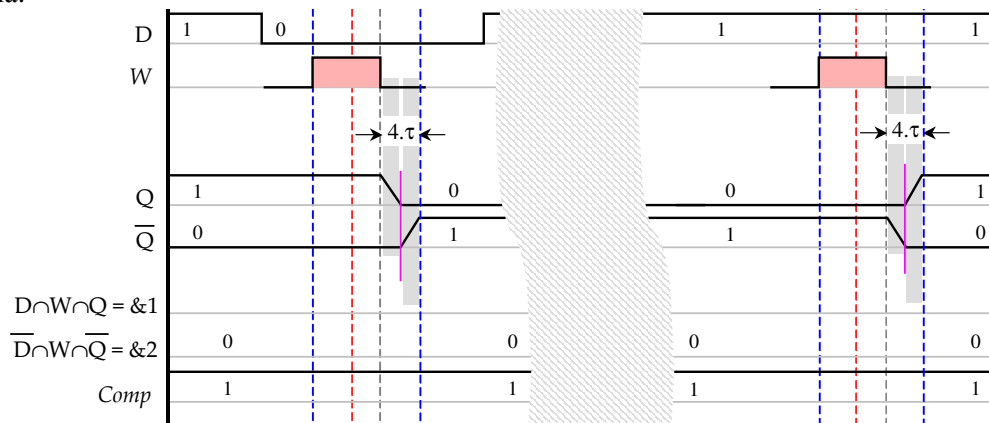
Фиг. 11. Времедиagramа за край на превключването

В случай на D-тригер със структура MS, логическата схема за сигнал *Comp*, както и времедиagramата, остават същите като показаните на фиг. 10 и фиг. 11.

2.3. Сигнал *Complete* за тригери със структура *Edge* или *Master-Slave*, превключващи се по заден фронт

При тригери, които се превключват по заден фронт, функция (1) има константна стойност – логическа единица. Във времето процесът на запис има вида, показан на фиг. 12.

Трябва да се напомни, че първоначалната концепция за възстановяване на конвейерния автомат в състояние S0 предполага причината за това да бъде самият сигнал *Comp*. В настоящия частен случай обаче (фиг. 12), редът е обратен – трябва да се появи заден фронт в сигнала за запис *W*, след което се разпознава превключване. С други думи, изчезването на сигнала за запис, трябва да се породи от неговата поява. Тази последователност разбира се е абсурдна.



Фиг. 12. Времедиagramа за край на превключването

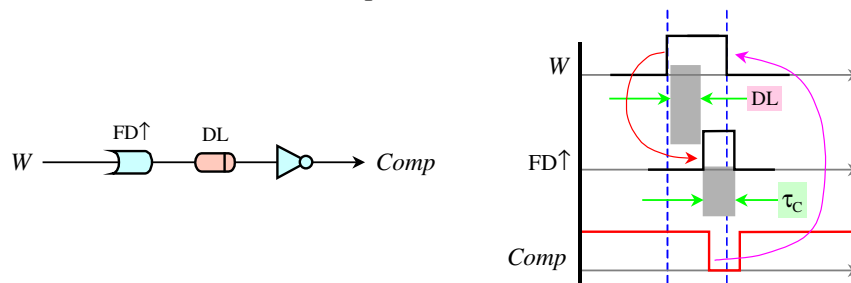
Невъзможността да се разпознае началото и края на превключването на тригерите при запис, изисква друга схема за формиране на сигнал *Comp*. Следва да се разбира, че използването на тригери, превключващи се по заден фронт, е неудачно решение още и по причина на непроизводителния времеви интервал на самия сигнал за запис *W*.

2.4. Обобщение

Изложението в този раздел анализ беше необходим за изясняване етиологията на този вид асинхронни сигнали и възможността за тяхното използване. Съществените моменти могат да бъдат обобщени така:

1. При запис на нови данни в регистъра фиксатор на микроконвейерното звено не са гарантирани превключвания на тригерите;
2. Превключванията зависят от структурата на тригерите и имат различна продължителност;
3. Функциите (1) и (3) са неприложими за тригери, превключващи се по заден фронт;
4. При наличие на горните констатации, сигналът за запис *W* е единственото безусловно събитие, което не зависи от вида и от броя на тригерите в регистъра фиксатор. Това означава, че основният аргумент на функцията за край на превключването, трябва да бъде именно той.

Горните обобщения налагат извода, че най-удачния родител на сигнал *Comp* е предния фронт на сигнала за запис *W*. Ако тригерите на регистъра фиксатор се превключват по преден фронт, логическата схема, която ще го реализира, може да бъде (1), допълнена според (3). Тази реализация обаче е твърде скъпа. Ето защо, като окончателно решение за сигнал *Comp*, се налага задържан във времето импулс от детектор за преден фронт на сигнала за запис *W*, както е показано на фиг. 13.



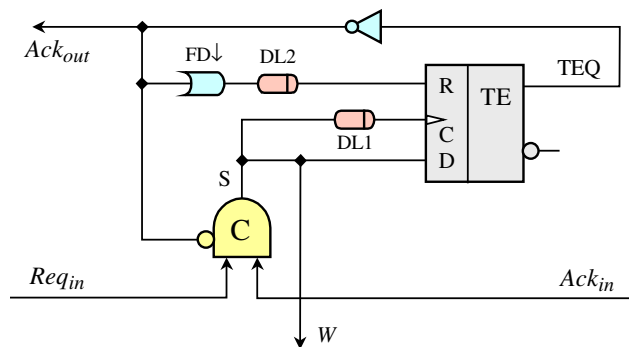
Фиг. 13. Схема за реализация на сигнал *Comp*

Техническите параметри на схемата трябва да удовлетворяват следните изисквания:

1. Продължителността τ_c на импулса $FD\uparrow$ трябва да е по-голяма от времето за превключване на конвейерния автомат в състояние *S0*.
2. Закъснението *DL* на същия сигнал трябва да е по-голямо от времето за превключване на тригерите в регистъра фиксатор.

3. Микроконвейерен автомат с *Edge*-тригер

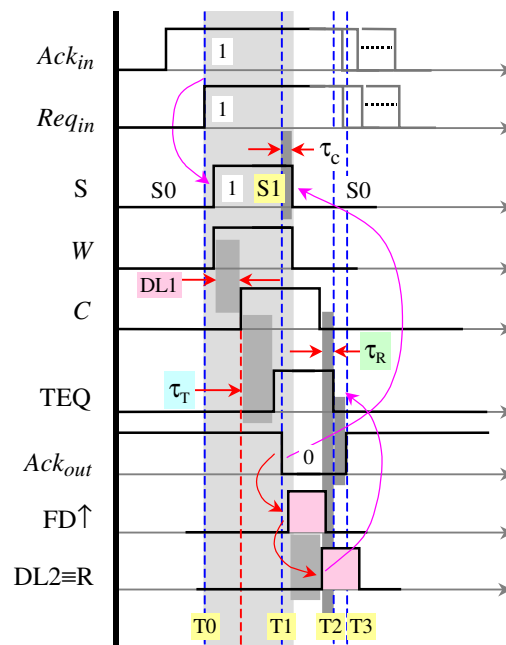
Решението за конвейерен автомат, представено на фиг. 14, който реализира 4-фазов протокол за трансфер, се основава на динамичен *D-Edge* тригер, работещ по преден фронт на сигнала за запис, подаван на вход *C*. Сигналят *Comp*, чрез който се възстановява изходното състояние на автомата, е генериран от схемата, представена на фиг. 13.



Фиг. 14. Четирифазов конвейерен автомат с динамичен тригер

Новото състояние S1 на С-елемента се подава на D входа на тригера, както и към регистъра фиксатор като сигнал за запис W . Новото състояние S1 се фиксира в тригера по предния фронт на сигнала, постъпващ на вход C. Времето за превключване на тригера е означено τ_T . Този сигнал е задържан във времето чрез симетричната *Delay*-верига DL1, което е необходимо за по-висока надеждност на записа. С инверсия правият изход на D-тригера се разпространява в обратна посока към предходния конвейерен автомат в качеството на сигнал потвърждение Ack_{out} . Същият сигнал се използва за нулиране на С-елемента. Възстановяване на автомата в изходно състояние S0 причинява сигнал *Complete*. Той идва в потвърждение на това, че микроконвейерното звено е приело надеждно в регистъра фиксатор новите данни. Схемата на този сигнал беше изяснена окончателно в раздел 2.4.

В схемата на конвейерния автомат с динамичен тригер, *Complete*-схемата е включена в обратна връзка към вход R за нулиране на тригера. Тъй като сигналът Ack_{out} е инверсен, е използван детектор на заден фронт $FD\downarrow$. Може да се твърди, че сигналът Ack_{out} играе ролята на сигнал *Comp*. Така генерираният единичен импулс е задържан във времето чрез закъснителната верига DL2. Подаден на R входа той нулира тригера и С-елемента в схемата на автомата. Подробна времедиаграма за процеса на превключване на конвейерния автомат е представена на фиг. 15.

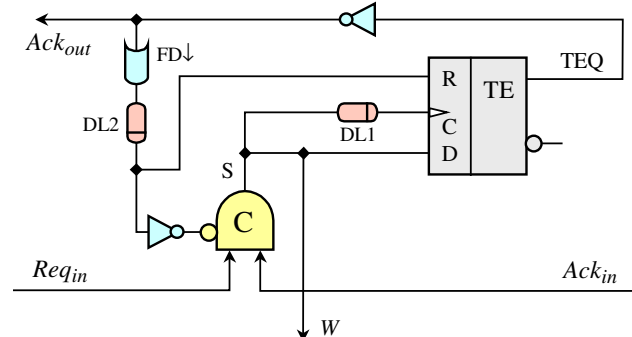


Фиг. 15. Времедиаграма за превключване на автомата

На времедиаграмата са отразени всички закъснения, които внасят последователно превключващите се логически елементи. Обратната връзка, която се образува от правия

изход на D-тригера към нулиращия вход на C-елемента, не причинява състезания, което се осигурява от динамичния *Edge*-тригер. Продължителността на образуваният се сигнал за запис W е напълно достатъчна за надежден запис както за регистри с *Edge*-тригери, така и за регистри с MS-тригери. Времеви интервал, през който C-елемента се удържа принудително в нулево състояние се определя от ниското ниво на сигнала Ack_{out} . Към момента T3, в който принудителното удържане на C-елемента в нулево състояние се прекратява, сигналите Req_{in} и Ack_{in} са вече деактивирани.

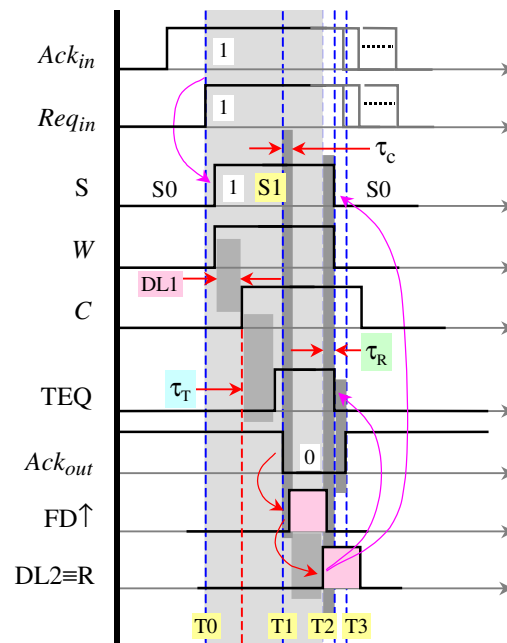
Логическата схема от фиг. 14 има втори вариант, представен на фиг. 16, а времедиagramата на превключването на тази схема е малко по-различна в завършващата фаза, както е показано на фиг. 17. Различието се състои в удължаване на единичните фази на сигналите S и W . Времеви интервал, през който C-елемента се нулира и се удържа принудително в нулево състояние, е с начало момент T2 и край момент T3. Това дава допълнително време за деактивиране на сигналите Req_{in} и Ack_{in} . Именно това дава основание този вариант на схемата на автомата да се определи като по надеждна.



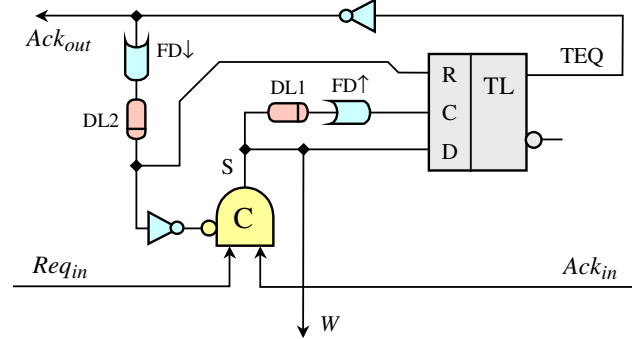
Фиг. 16. Четирифазов конвейерен автомат с динамичен тригер

4. Микроконвейерен автомат с *Latch*-тригер

Логическата схема на конвейерния автомат може да бъде опростена чрез използване на обикновен (еднотактен) синхронен D-тригер със структура *Latch*. Тъй като *Latch*-тригерите работят по ниво, е необходимо за запис на новото състояние да се формира единичен импулс. За целта след закъснителния елемент DL1 е включен фронт детектор $FD\uparrow$. Така в резултат на казаното се стига до логическа схема, представена на фиг. 18.

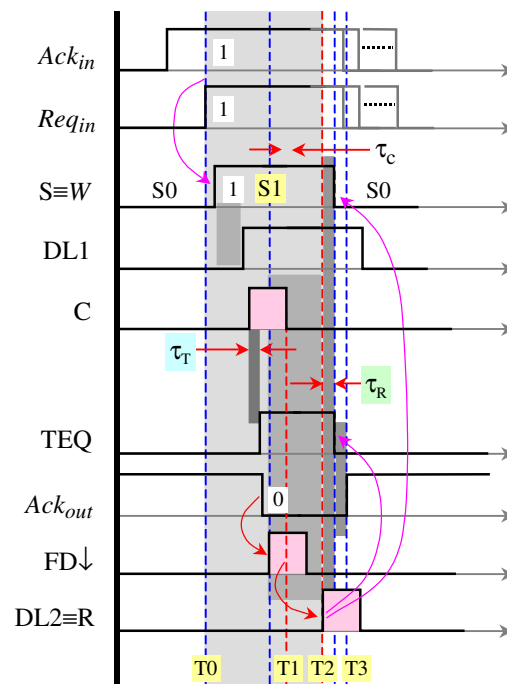


Фиг. 17. Времедиаграма за превключване на автомата



Фиг. 18. Четирифазов конвейерен автомат с Latch-тригер

На фиг. 19 е представена подробна времедиаграма на процеса на превключване на конвейерния автомат.



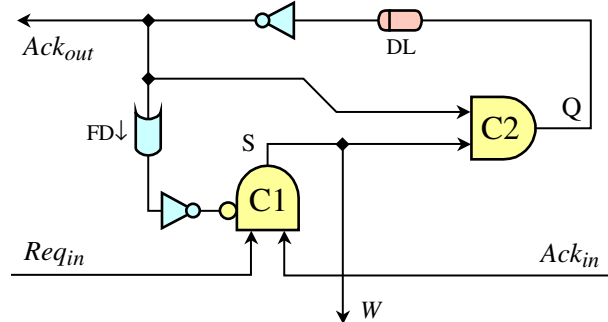
Фиг. 19. Времедиаграма за превключване на автомата

След превключване на входния С-елемент в единично състояние, към синхронния С-вход на тригера се подава със закъснение $DL1$ импулс, който записва единица. Чрез обратната връзка тази стойност се връща към предходния конвейерен автомат като сигнал за това, че конвейерният автомат е в процес на превключване, т.е. реализира данновия трансфер, който още не е завършил ($Ack_{out}=0$). Закъснението на този сигнал спрямо началото на сигнала за запис W в конвейерния фиксатор, което е сума от последователно превключващите се в тази верига логически елементи, е изразено на времедиаграмата. Възстановяването на автомата в изходно състояние S_0 се реализира от задния фронт на появилия се сигнал Ack_{out} . Генерираният по този фронт импулс допълнително се задържа във времето чрез елемента $DL2$. Това закъснение трябва да гарантира, че пристиганият на входа R импулс за нулиране на тригера, няма да се застъпи във времето с по-рано появилият се импулс за запис на входа C . Закъснението $(T_2-T_1) \neq 0$ ще гарантира обратното превключване на тригера в нулево състояние. С нулирането на тригера и паралелно с него и на С-елемента, следват превключвания, които водят до изчезване на сигнала за запис W и до възстановяването на готовността на автомата ($Ack_{out}=1$).

Логическата схема от фиг. 18 може да бъде реализирана и чрез синхронен *Latch RS*-тригер. Входът *D* ще бъде заменен от вход *S*. Останалото, казано по-горе, ще бъде в сила и за такава схема.

5. Микроконвейерен автомат с два С-елемента

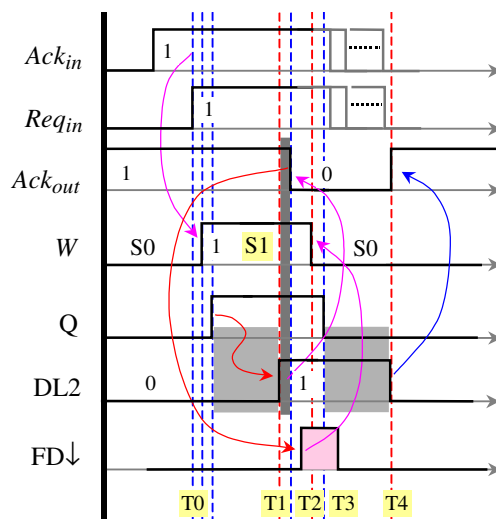
Функционирането на синхронния *D-Latch* тригер в логическата схема от фиг. 18 наподобява това на С-елемент, ето защо ще бъде разгледан вариант на 4-фазов конвейерен автомат с два С-елемента. Вторият С-елемент трябва да се превключва в единично състояние при наличие на сигнал за запис *W* и сигнал от типа *Complete*. Генерирането на последния вече беше изяснено. Тук схемата за формиране на този сигнал е модифицирана. Използван е само един закъснителен елемент *DL*. Закъснението което той следва да осигури трябва да е достатъчно за надежден запис на данните в микроконвейерния регистър от сигнала *W*. Възстановяването на конвейерния автомат в изходно състояние *S0* се осъществява чрез кратък нулев импулс, формиран по задния фронт на сигнала потвърждение *Ack_{out}*. Синтезираната логическа схема е представена на фиг. 20.



Фиг. 20. Принципна логическа схема на 4-фазов конвейерен автомат с два С-елемента

Времедиagramата от фиг. 21 представя функционирането на конвейерния автомат. Изходното състояние на автомата е *S0*, в което той издава потвърдението $Ack_{out}=1$ (готовност за даннов трансфер). Превключването на автомата в състояние *S1* започва в момент $T0$ при две входни единици ($Req_{in} = Ack_{in} = 1$). На времедиagramата са изразени всички реални закъснения на превключващите се логически елементи.

Вторият С-елемент се превключва в единично състояние веднага с появата сигнала за запис *W*, тъй като в този момент $Ack_{out}=1$.



Фиг. 21. Времедиagramа за превключване на автомата

След закъснението, което внася елемент *DL*, в обратната връзка пропада сигнала за потвърждение на готовността, тъй като автоматът е в процес на трансфер. Освен това

протича процес по възстановяване в изходно състояние. Той започва с кратка нула, подадена към първия С-елемент. Това води до прекратяване на импулса за запис W и веднага след това до нулиране и на втория С-елемент. Със закъснение DL се възстановява и сигнала потвърждение $Ack_{out}=1$.

6. Заключение

Изследването на микроконвейерния 4-фазов трансферен протокол с изпреварващо нулиране разкрива неговите особености, възможности и опасности. Във връзка с това е изследвана и възможността за синтез на сигнал за фактическото закъснение на микрооперация запис в регистър фиксатор. Изявена е възможността за самосинхронизация на възстановяването на автомата, която е реализирана чрез симетрична закъснителна верига. Нейното закъснение е константно и при практическа реализация следва да се настройва със запас спрямо времето за превключване на избраните за регистъра фиксатор тригери. Функционирането на окончателната логическа схема на конвейерния автомат е подронно илюстрирано чрез времедиаграма.

Литература:

- [1]. Тянев, Д.С., *Синтез на асинхронни микроконвейерни системи с обща структура*, Дисертация за Доктор на науките, Технически Университет - Варна, Ноември 2012.
- [2]. Тянев, Д.С., *Организация на компютъра. Проектиране на логически структури*. Технически Университет - Варна, ISBN: 954-20-0259-9, 2004 год.
- [3]. Тянев, Д.С., *Асинхронно микроконвейерно звено с цифров компаратор*, Компютърни науки и технологии, Технически Университет - Варна, ISSN 1312-3335, XI, том 1, 2013. стр. 18-22.