

 **Технически университет – София**

Факултет по електронна техника и технологии

 **Катедра „Електронна техника”**

Презентация № 7

Прекъсвания и DMA

дисциплина „Микропроцесорна схемотехника” – ВЕ30
ОКС „Бакалавър” от Учебен план за студентите на специалност
Електроника, Професионално направление
5.2. Електротехника, електроника и автоматика



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

**„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции”**

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Съдържание

1. Организация на прекъсванията
2. Механизми за обслужване на прекъсванията
3. Контролер за директен достъп до паметта (DMA)
4. Средства за намаляване на консумацията
5. Генераторни схеми за тактова честота



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Организация на прекъсванията

Прекъсване (interrupt) е събитие, при което микропроцесорът спира изпълнението на главната програма и започва да изпълнява кода на допълнителна програма. Такива събития може да са периодични или аperiodични спрямо изпълнението на главната програма. С помощта на прекъсванията се елиминира нуждата от постоянна проверка дали дадено събитие е настъпило (метод “polling”), което е излишно хабене на изчислителен ресурс.

Допълнителната програма, която се изпълнява вследствие на прекъсване се нарича **хендлер на прекъсване** (interrupt handler). Нейната цел е да обслужи прекъсването, т.е. да се извършат дейности в отговор на постъпилото прекъсване.

Вектор на прекъсване (interrupt vector) се нарича адресът от паметта, на който се намира кодът, изпълняван при настъпило прекъсване. От софтуерна гледна точка това е указател към функцията (хендлерът), която се извиква при настъпило събитие.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Организация на прекъсванията

Векторна таблица (interrupt vector table) се нарича масив от указатели към функции, който се използва за обслужване на прекъсванията. Всеки елемент от този масив е вектор на прекъсване и при настъпване на събитие чрез индексирание се извиква един от много хендлери на прекъсване.

Приоритет на прекъсване (interrupt priority) – при настъпването на две или повече събития се налага приоритизиране на извикването на хендлерите, защото микропроцесорът може да изпълнява само една програма в даден момент. Прекъсването с по-висок приоритет ще се изпълни преди прекъсването с по-нисък приоритет.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

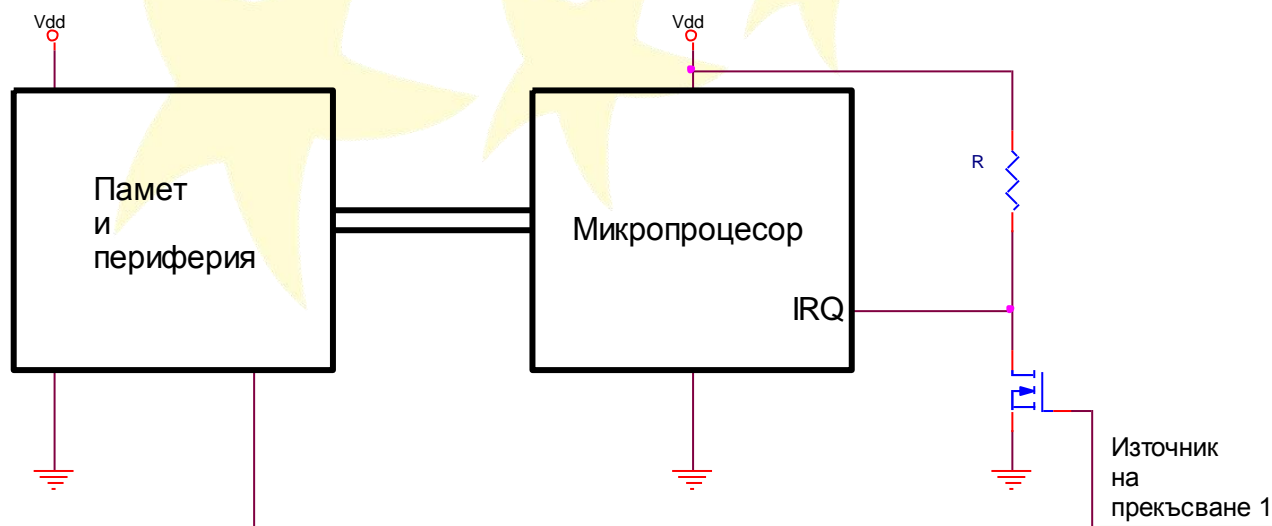
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Организация на прекъсванията

На фигурата е демонстриран пример за реализация на прекъсване от един източник. Както се вижда микропроцесорът превключва от изпълнението на главната програма в изпълнение на хендлера на прекъсване. Източник на сигнал IRQ може да е периферно устройство или памет, които след извършване на дадена функция да сигнализират на микропроцесора за събитието чрез прекъсване.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

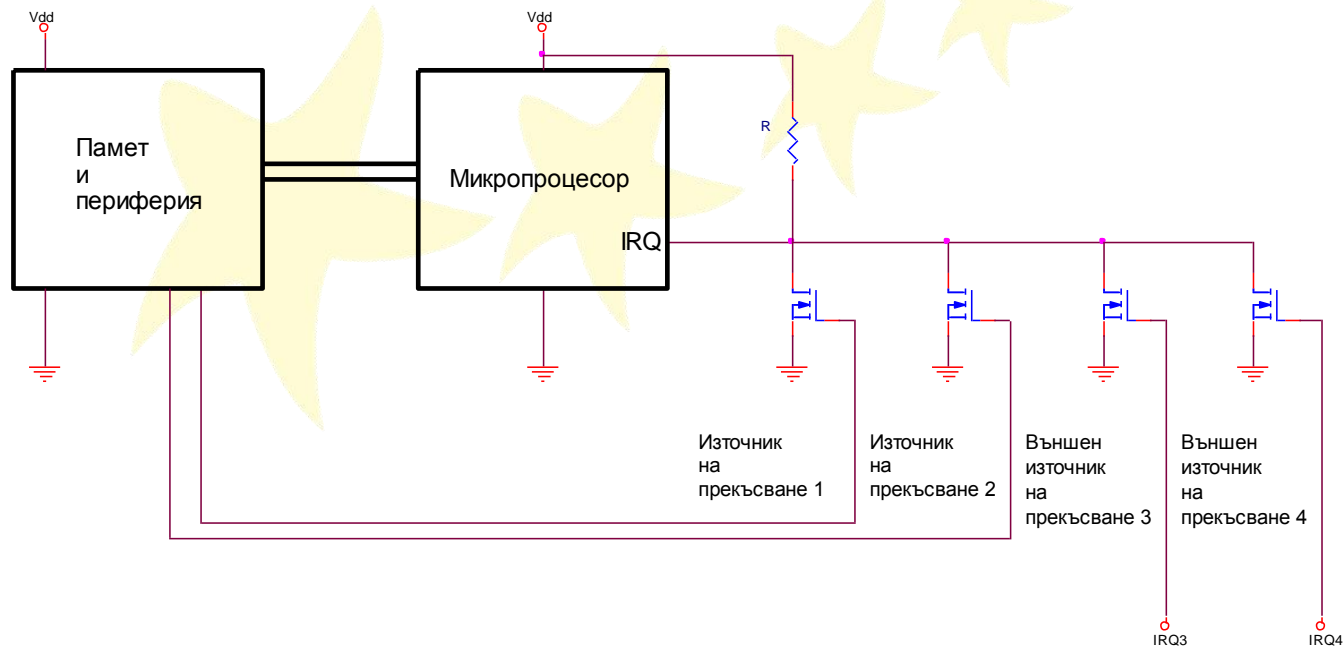
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Организация на прекъсванията

В практиката по-често срещания вариант е получаване на прекъсване от два или повече източника, както е показано на фигурата. Транзисторите образуват логическата функция ИЛИ. В този случай микропроцесорът се нуждае от допълнителен механизъм за разпознаване на източника.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

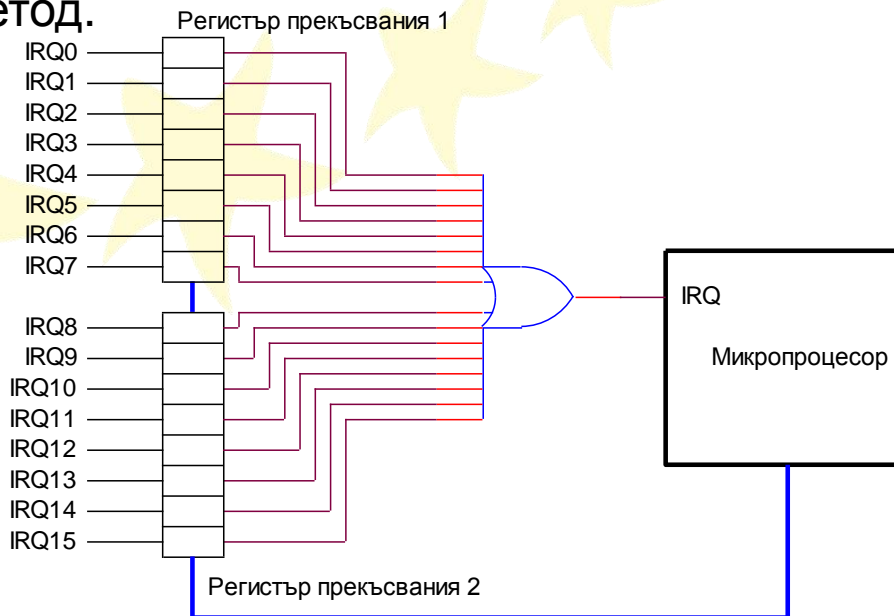
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Организация на прекъсванията

За да може микропроцесорът да разбере от кой точно източник е получена заявката за прекъсване сигналите се буферират в един или няколко регистъра. След получаване на сигнал за прекъсване микропроцесорът прочита тези регистри и знаейки тяхната предишна стойност определя източника. На фигурата е демонстриран този метод.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Организация на прекъсванията

Прекъсванията могат да се разделят на два вида – маскируеми и немаскируеми.

Маскируеми прекъсвания – прекъсвания, които могат да бъдат забранявани. Ако дадено прекъсване е забранено, то при появата на сигнал от източника няма да се подаде сигнал към процесора.

Немаскируеми прекъсвания – прекъсвания, които винаги трябва да се обслужват. Пример за такова прекъсване е RESET сигнала – микропроцесорът ще бъде рестартиран винаги при наличието на този сигнал. Аналогично може да има прекъсване при прегряване на чипа, при опит за достъп до забранен регион от паметта и др.

На следващия слайд е показан пример с 4 маскируеми прекъсвания.



Европейски съюз

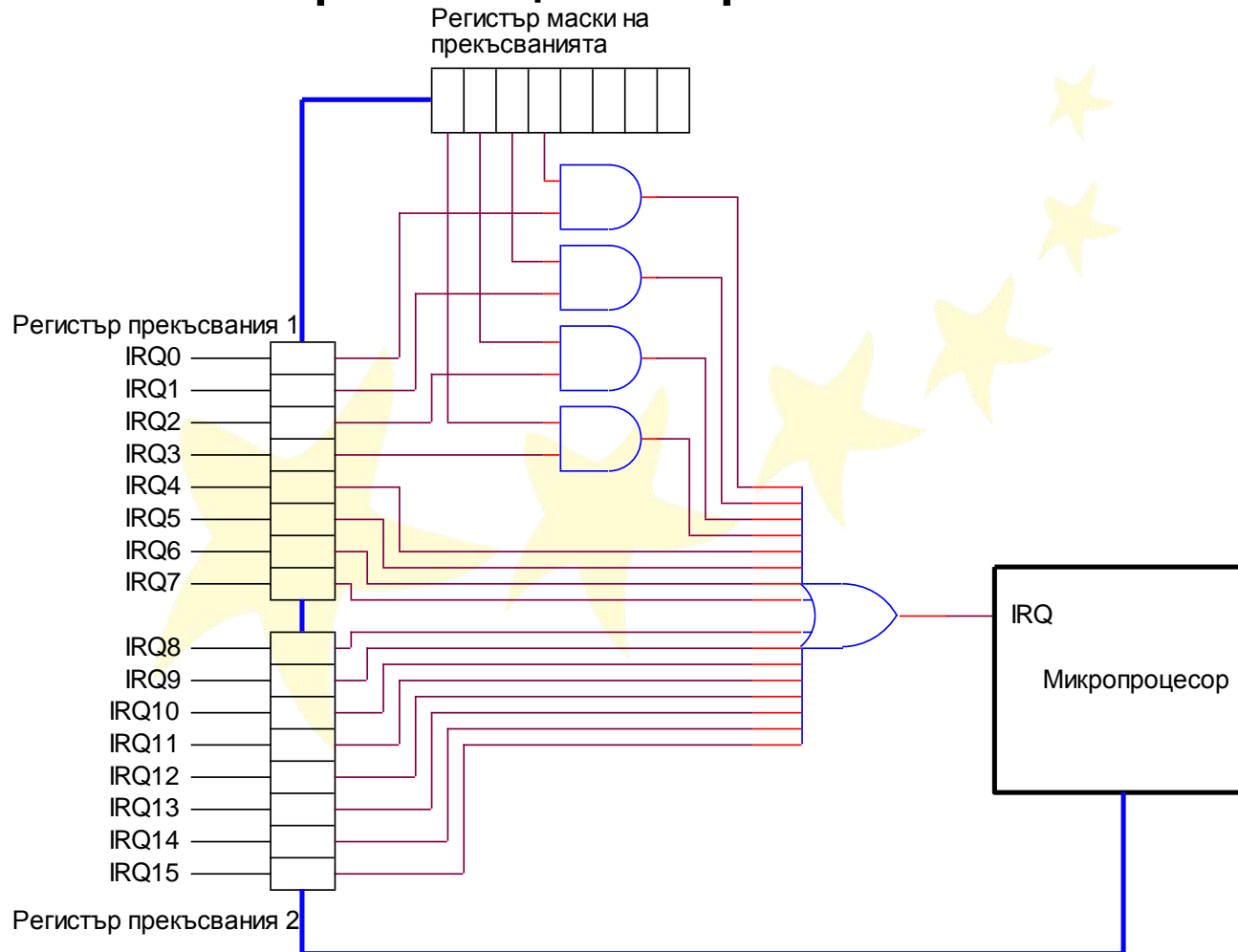
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Организация на прекъсванията



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Организация на прекъсванията

Етапите, през които преминава микропроцесорът при поява на заявка за прекъсване са [1] [2]:

- микропроцесорът запамятава съдържанието на минимум един регистър – програмният брояч (PC). Той се съхранява в хардуерния стек на микропроцесора. Обикновено се налага допълнително запамятаване на регистъра на състоянията (SR) и регистрите с общо предназначение (GPR) на микропроцесора в регистри от RAM паметта.

- прочита се адреса на хендлера на прекъсването от векторната таблица и се записва в програмния брояч (PC). Нулира се SR регистъра.

- изпълнява се хендлера на прекъсването.

- на излизане от хендлера се изпълнява една последна специална инструкция, която кара микропроцесора да зареди в PC адреса, до който е било стигнало изпълнението на програмата преди прекъсването. Възстановяват се SR и GPR.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Организация на прекъсванията

С повишаване на сложността на софтуера освен изброените регистри се налага да се запамети и друга информация от програмата, която не е записана в GPR регистрите – това са цели конструкции от C (например структури), записани в RAM. Това може да стане изрично чрез допълнителен код, написан от програмиста или автоматично, ако се използва операционна система – чрез т.нар. контекстно превключване (context switching).

В зависимост от начина, по който се обработват прекъсванията микропроцесорите могат да се разделят на два вида [3]:

- **адресно-векторни микропроцесори** (address vector μP) – при заявка за прекъсване се взема адреса на хендлера от векторната таблица и изпълнението продължава от този адрес.

- **кодovo-векторни микропроцесори** (code vector μP) – при заявка за прекъсване числото, указващо полето на векторната таблица се умножава по някаква константа, добавя се базов адрес към адреса на хендлера и чак тогава се отива на този адрес. Всички тези операции изискват изпълнението на код и оттам идва името кодovo-векторни.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Механизми за обслужване на прекъсванията

Прекъсванията изискват специални механизми за обслужване, в случаите когато постъпят два или повече сигнала за прекъсване в един и същи момент.

Вериген механизъм (tail chaining) – при настъпване на сигнали за прекъсване с еднакъв приоритет, преминаването от хендлер 1 в хендлер 2 става без да се възстановява (push) и зарежда (pop) хардуерния стек. Резултатът – по-бързо обслужване на прекъсванията спрямо стандартния подход. Методът е демонстриран на следващия слайд [8].

Преминаването от един хендлер в друг не става мигновено, а изисква няколко системни такта, обусловени от логиката на микропроцесора.



Европейски съюз

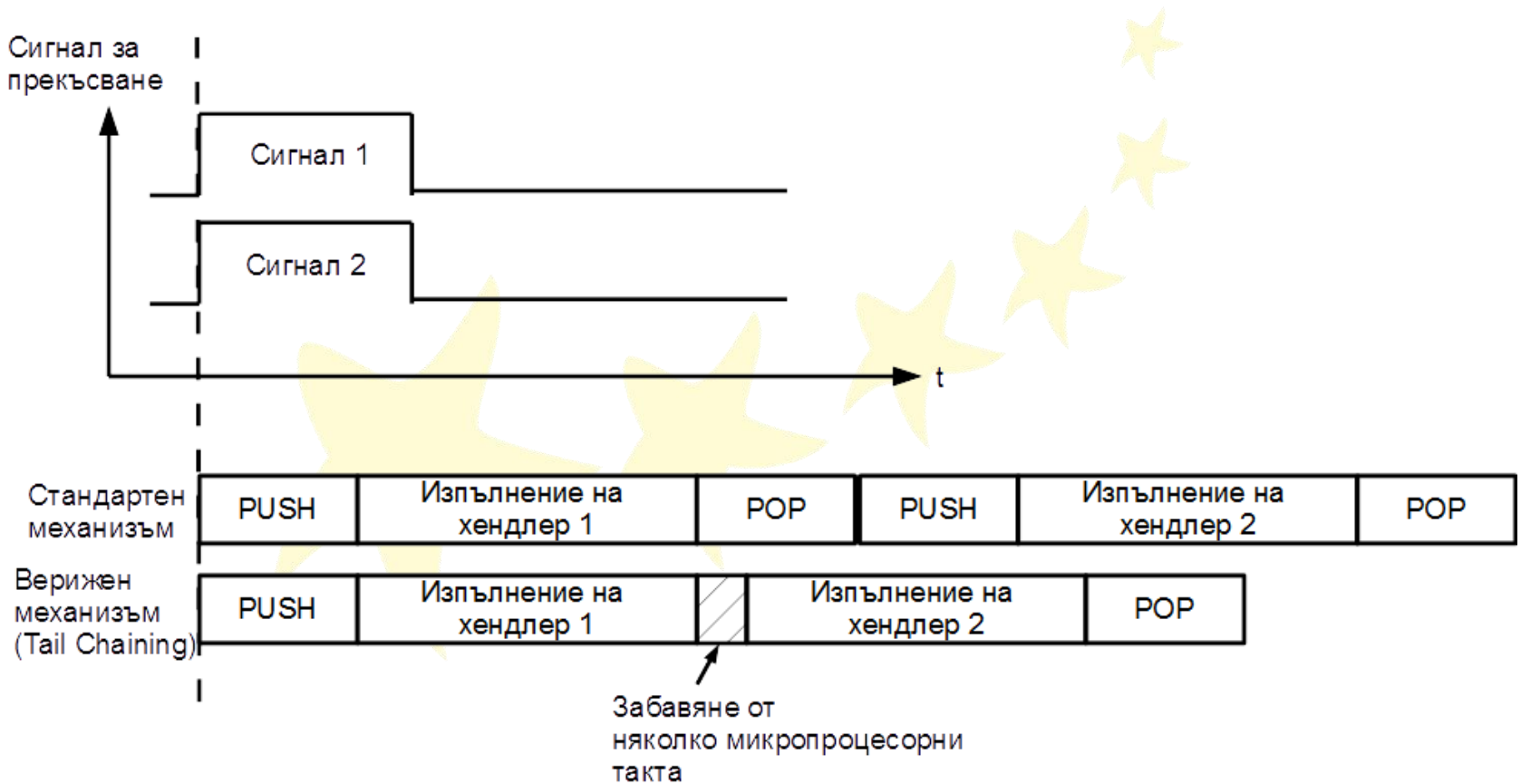
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Механизми за обслужване на прекъсванията



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Механизми за обслужване на прекъсванията

Прекъсване на стековото възстановяване (pop pre-emption) – при настъпване на сигнал за прекъсване, докато микропроцесорът излиза от друго прекъсване, се прекратява възстановяването на стека (POP) и се преминава към изпълняване на следващия хендлер. Методът е демонстриран на следващия слайд.

Прекратяването на процеса по възстановяване на стека не може да стане мигновено и са необходими няколко системни такта за целите на микропроцесорната логика.



Европейски съюз

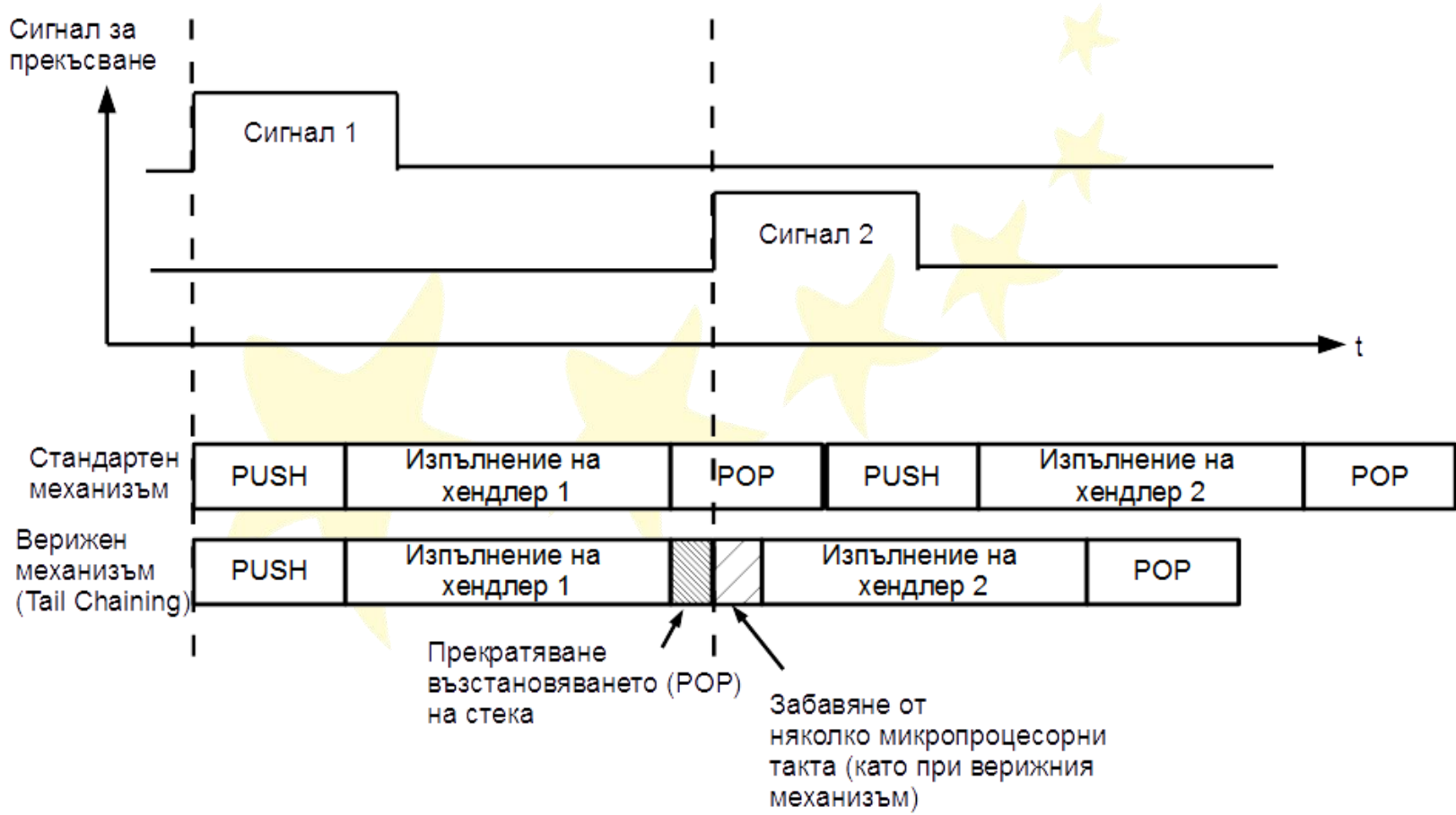
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Механизми за обслужване на прекъсванията

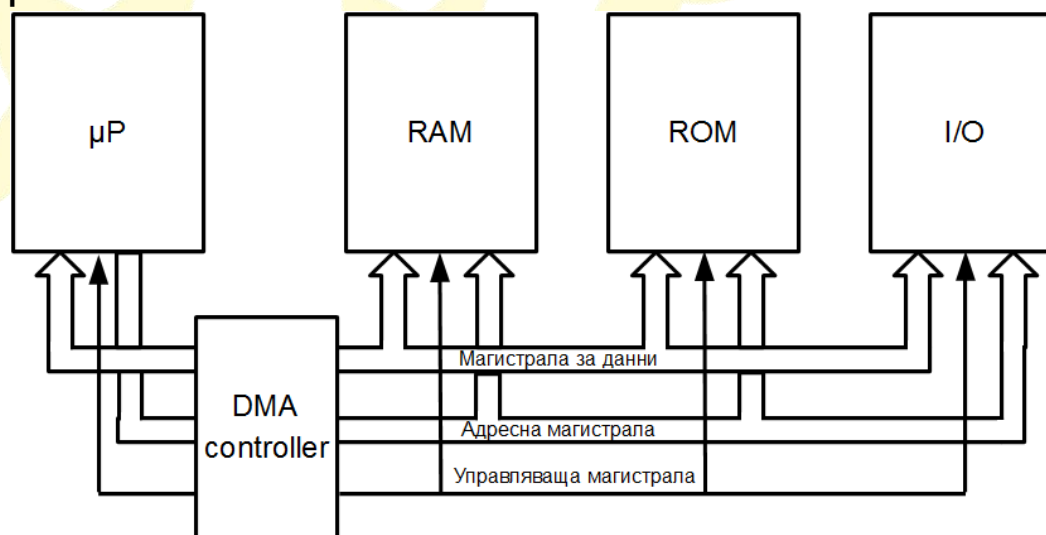


ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
 Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
 съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Контролер за директен достъп до паметта

Контролерът за директен достъп до паметта (direct memory access controller - DMA) служи за автоматично прехвърляне на данни от един адрес на друг без намесата на микропроцесора. Това се прави с цел повишаване производителността на микропроцесорната система. Използват се трансфери от даден периферен модул и/или RAM паметта. На блоковата схема по-долу е демонстриран DMA.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Контролер за директен достъп до паметта

DMA контролерите се реализират с няколко канала. Това позволява паралелно прехвърляне на данни от/в два и повече адреса. За да се конфигурира DMA контролера първо микропроцесора трябва да запише съответните стойности в контролните му регистри.

Режимите на трансфер варират, но най-често се използват четири варианта, илюстрирани на следващия слайд [4] [5] [6]. Това са:

-режим от **фиксиран адрес към фиксиран адрес** – предава се само една дума. Пример – входната дума от един периферен модул се записва в изходния регистър на друг модул.

-режим от **фиксиран адрес към блок от адреси** – предават се повече от една думи. Пример – при измерване с АЦП може няколко отчета да се запишат в RAM паметта на последователни адреси.



Европейски съюз

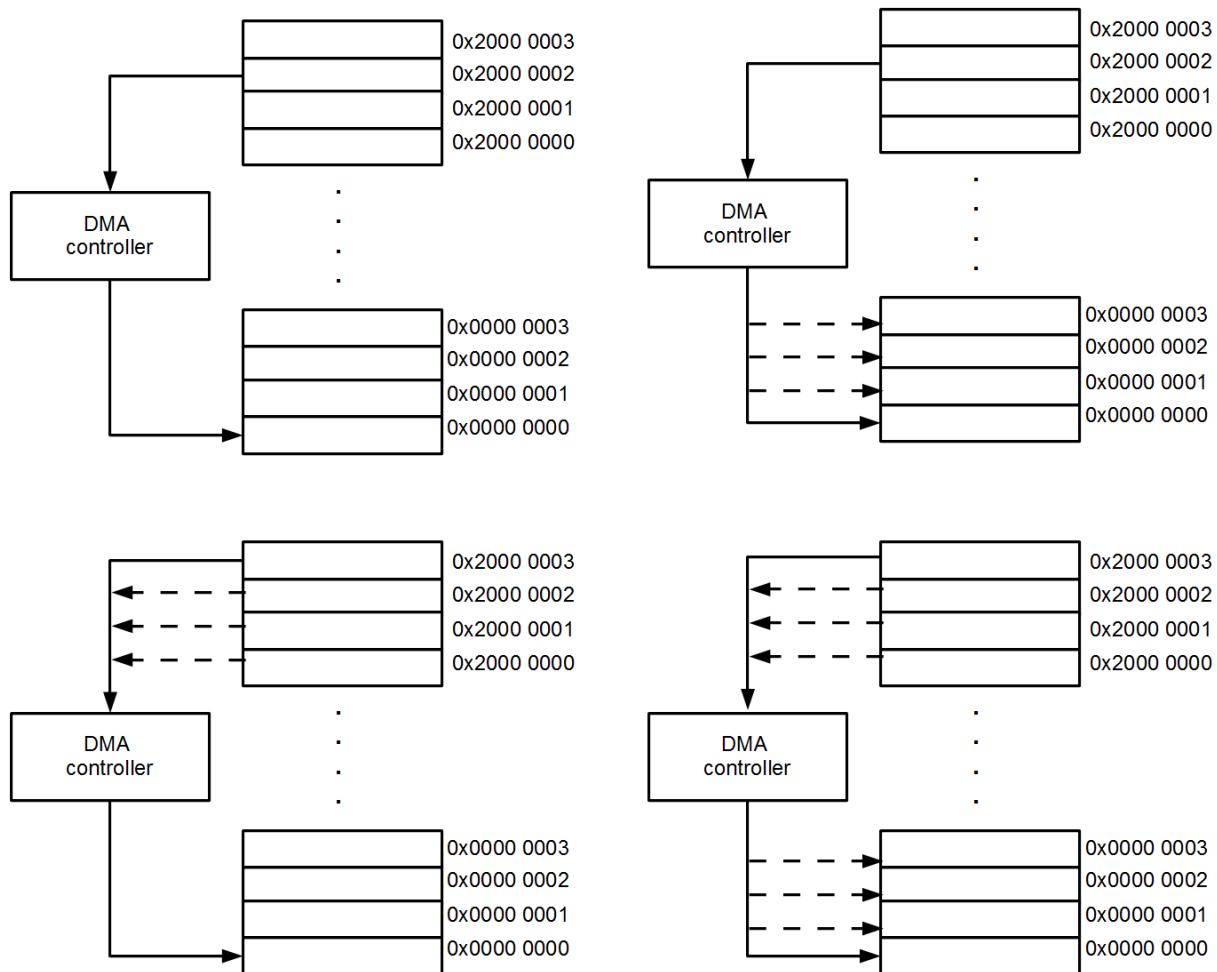
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Контролер за директен достъп до паметта



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Контролер за директен достъп до паметта

- режим **блок от адреси към фиксиран адрес** – предават се повече от една думи. Пример – данните от няколко периферни модула се записват в една клетка от RAM. Всяка следваща дума изтрива предходната.

- режим **блок от адреси към блок от адреси** – предават се повече от една думи. Пример - може лесно да се копират региони от RAM паметта от едно място в друго.

В зависимост от броя на изпълнените трансфери, DMA контролерите могат да работят в следните режими [4]:

- **единичен** (single transfer) – извършва се един трансфер при настъпване на сигнал за начало на трансфера. Работи в паралел с микропроцесора.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Контролер за директен достъп до паметта

- **блоков** (block transfer) – трансферира се блок от данни при настъпване на сигнал за начало на трансфера. Работи в паралел с микропроцесора.

- **импулсно-блоков** (burst block transfer) - трансферира се блок от данни при настъпване на сигнал за начало на трансфера и DMA работи последователно с микропроцесора, т.е. в даден интервал от време работи само DMA, след това само микропроцесора.

След завършване на трансфера DMA генерира прекъсване, с което известява микропроцесора, че данните са прехвърлени. При трансферите адресът на паметта-приемник може да се инкрементира, декрементира или да е постоянен.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Средства за намаляване на консумацията

Във вградените системи се използват различни методи за намаляване на консумираната енергия. Най-често реализираните са:

- използване на sleep режими.
- динамично изменение на системната честота.
- динамично изменение захранващото напрежение на микропроцесора.
- динамично включване и изключване на периферните модули на микроконтролера.
- софтуерни методи – оптимизация на код, оптимизация достъпа до паметта, оптимизация на междупроцесната комуникация (при OS), оптимизация на диспечера (при OS) и др.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Средства за намаляване на консумацията

Реализират се специални режими за намаляване на консумацията, наречени **sleep режими**. Ако приложението го позволява, може микроконтролерът да е в нормален режим на работа (run mode), когато трябва да се извършват изчисления и да е в sleep режим през останалото време. В резултат на това средната стойност на консумираната енергия ще намалее. Този метод е показан на следващия слайд.

Различните фирми-производители използват различни разновидности на sleep режимите. Например спира се подаването на тактова честота към микропроцесора, докато периферните модули остават активни. Даден модул генерира прекъсване, когато данните в него се нуждаят от обработка. Чрез прекъсването се възстановява нормалния работен режим на микропроцесора.



Европейски съюз

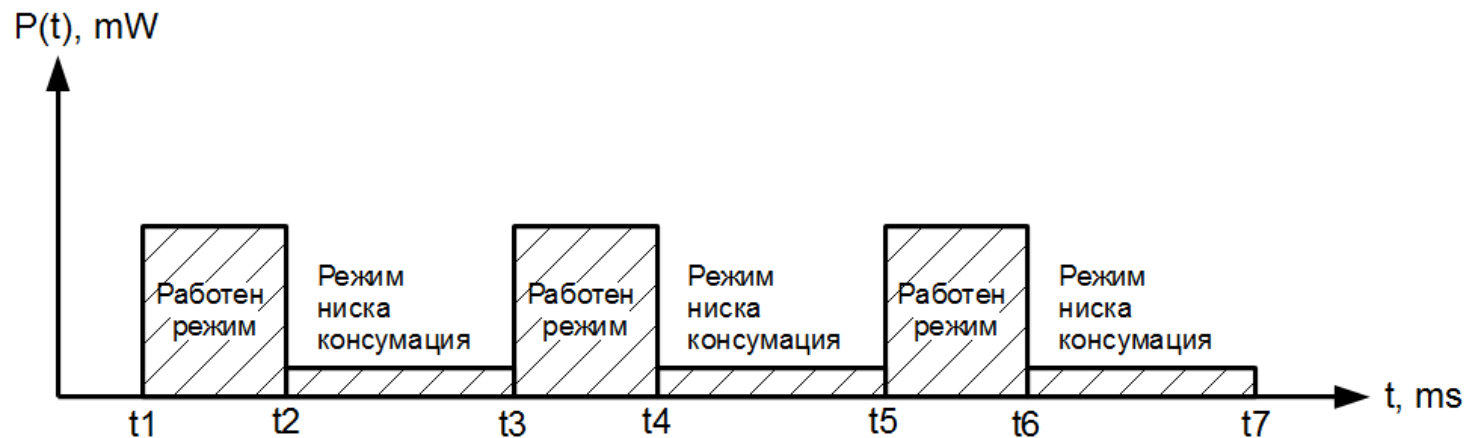
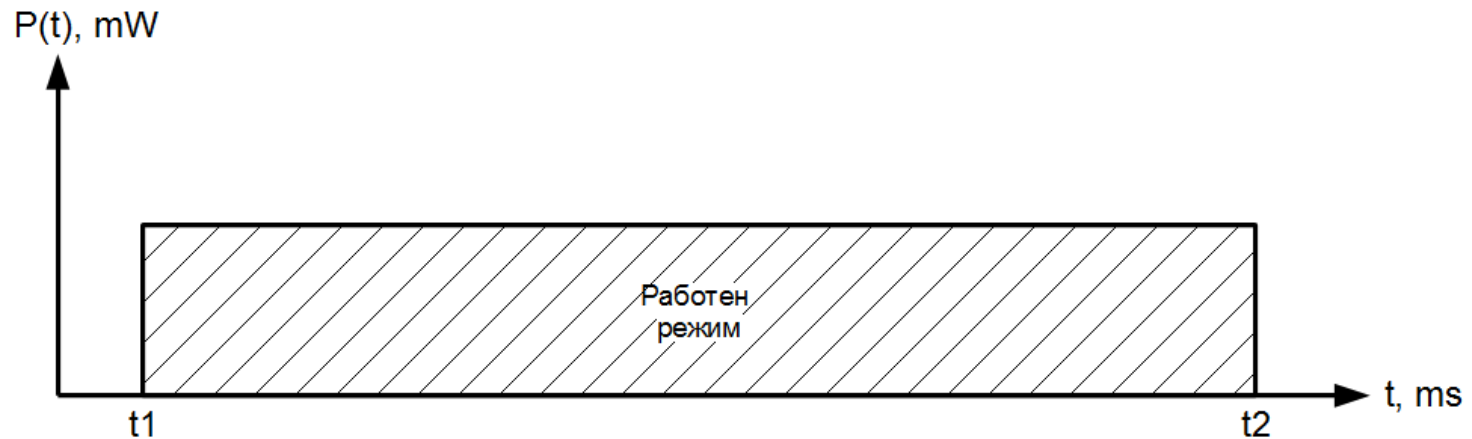
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Средства за намаляване на консумацията



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Средства за намаляване на консумацията

Манипулацията на **системната честота** също може да се използва за намаляване на консумацията. При **непрекъснато** използване на микропроцесора и при линейна зависимост на консумирания ток от честотата (винаги вярно за CMOS технологията) следва, че:

$$P_1(f_1) > P_2(f_2), \text{ ако } f_1 > f_2$$

т.е. с увеличаване на честотата ще се увеличи моментната мощност, а оттам - консумираната енергия. Тази зависимост е показана на следващия слайд.



Европейски съюз

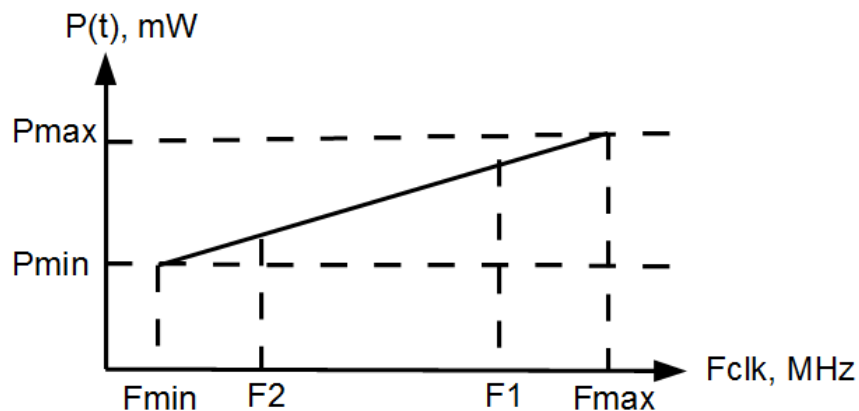
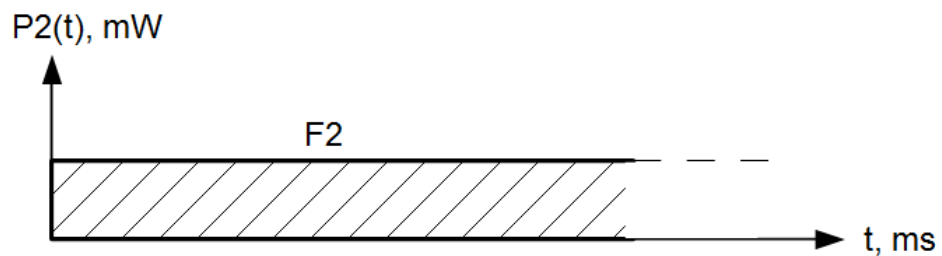
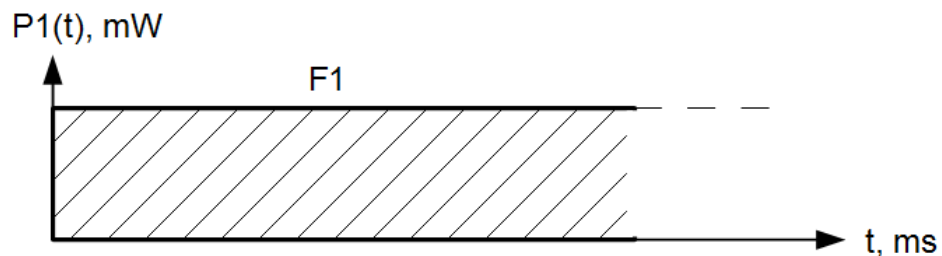
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Средства за намаляване на консумацията



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Средства за намаляване на консумацията

При **прекъснато** използване на микропроцесора и при линейна зависимост на консумирания ток от честотата:

$$E_1(f_1) < E_2(f_2), \text{ ако } f_1 > f_2$$

т.е. с увеличаване на честотата ще се намали консумираната енергия. Тази зависимост идва от факта, че честотата зависи нелинейно от периода или още времето на един процесорен такт, което от своя страна оказва влияние на енергията. Тя може да се изрази с формулата:

$$E = P \cdot t = P(f_{\text{clk}}) \cdot t = P(f_{\text{clk}}) \cdot n \cdot T_{\text{clk}},$$

където n е броя на процесорните тактове, които са необходими за изпълнението на дадена част от кода (в частен случай – броя на асемблерните инструкции), $f_{\text{clk}} = 1/T_{\text{clk}}$ – системната честота. На следващия слайд е показана тази зависимост.



Европейски съюз

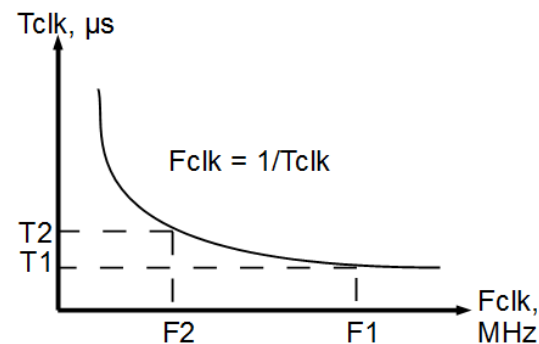
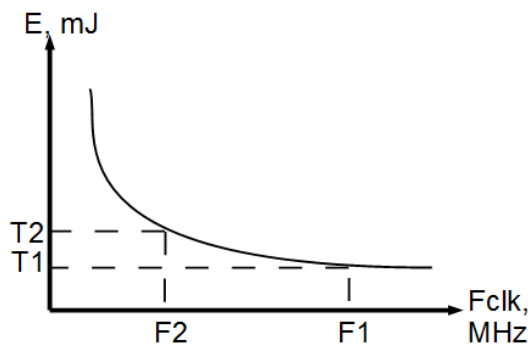
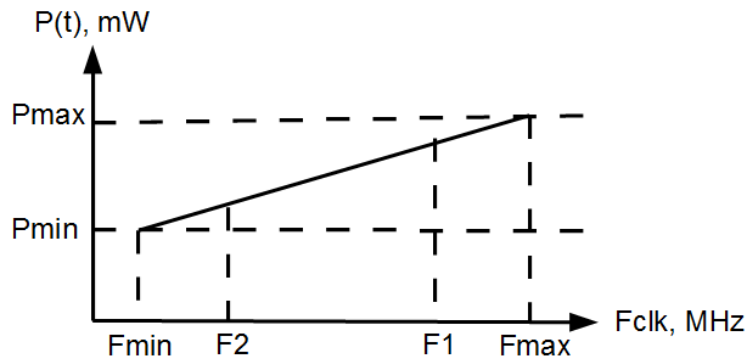
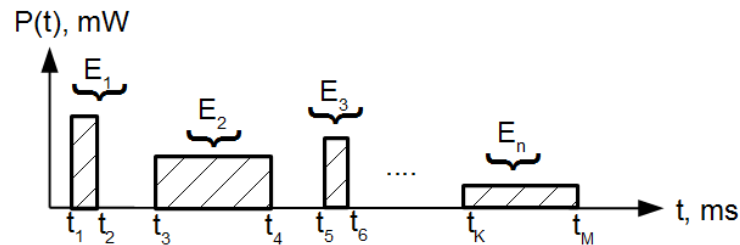
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Средства за намаляване на консумацията



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Средства за намаляване на консумацията

Захранващото напрежение на микроконтролера е дефинирано в даден обхват и е определено от производителя. Съществуват методи за намаляване на консумацията чрез изменение в малки граници на захранващото напрежение. То определя максималната работна честота – при по-голямо напрежение се постига по-висока честота и обратно. Намаляването на напрежението обаче трябва да се прави до една определена граница, защото шумоустойчивостта на микроконтролерните логически елементи намалява също. Тази граница е различна за различните чипове и трябва да се даде от производителя.

На следващия слайд е дадена блокова схема на микропроцесорна система с възможност за промяна на захранващото напрежение. Важен елемент тук е програмируемият захранващ блок, който се управлява от микроконтролера. За целта няколко извода от микроконтролера трябва да се резервират специално за тази функция.



Европейски съюз

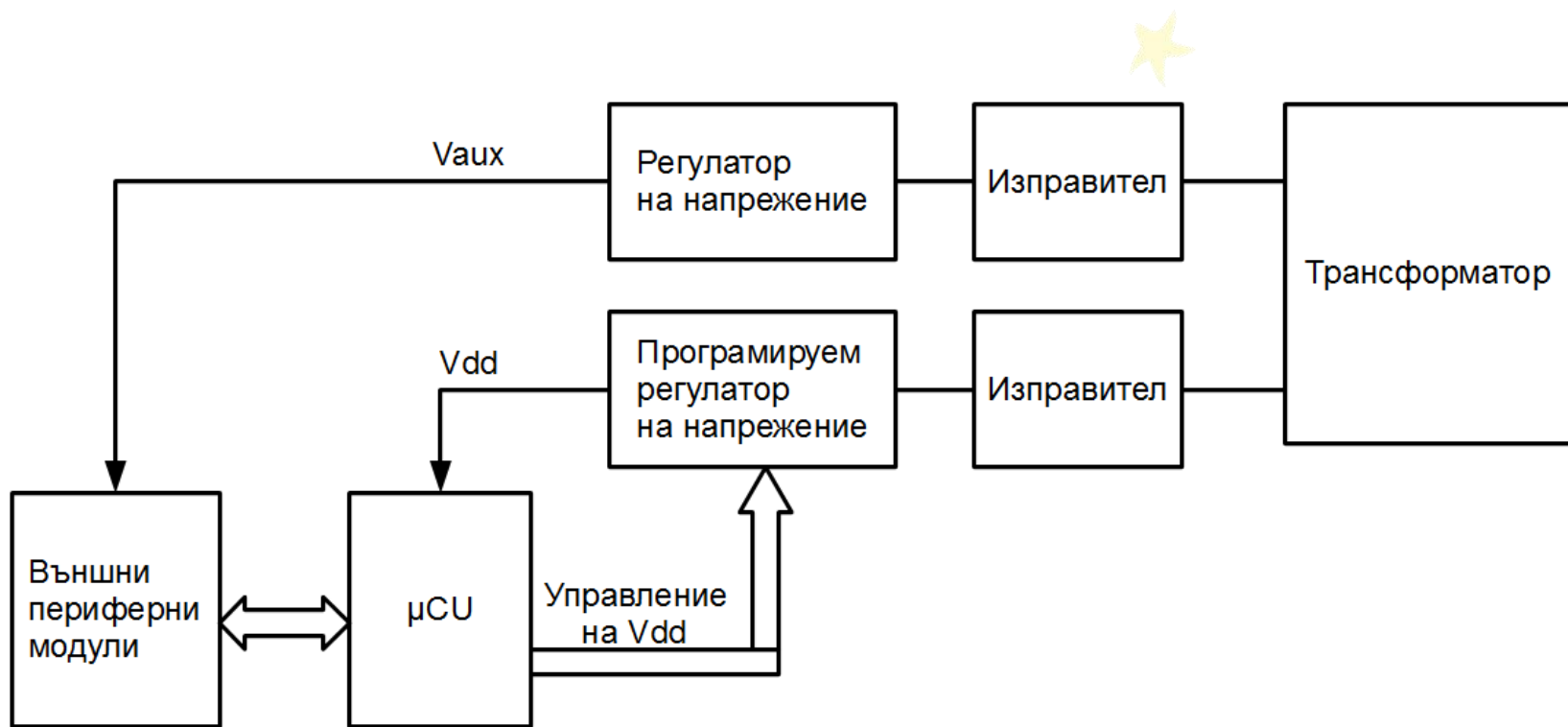
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Средства за намаляване на консумацията



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Средства за намаляване на консумацията

Консумацията на мощност в един микроконтролер може да се раздели на два компонента – динамична и статична. Статичната консумация е предизвикана от вътрешни захранващи схеми, опорни източници, утечни токове и др. Тя не зависи от честотата и се приема за константа. Динамичната консумация се определя от превключванията на транзисторите, товарните капацитети на логическите елементи и захранващото напрежение. Може да се изрази с формулата:

$$P_{\text{dyn}} = V_{\text{dd}}^2 \cdot C_L \cdot f_{\text{clk}} \cdot k_{\text{mcu}}$$

където V_{dd} е захранващото напрежение на чипа, C_L са еквивалентните капацитети, които всеки един логически елемент има свързани към входовете/изходите си, f_{clk} – тактовата честота на микроконтролера, k_{mcu} – константа, зависица от конкретния микроконтролер. Важно е да се отбележи, че зависимостта на P_{dyn} от V_{dd} е квадратична, т.е. могат да се получат значителни оптимизации на P_{dyn} с малка промяна във V_{dd} .



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Средства за намаляване на консумацията

Динамично включване и изключване на периферните модули на микроконтролера.

Повечето съвременни микроконтролери са реализирани с периферни модули, чието захранване може да се включва и изключва от микропроцесора (виж фигурата на следващия слайд). Това е направено с цел намаляване на консумиранта мощност. Понеже микроконтролерите са универсални чипове и могат да се използват в много различни приложения, то почти винаги остават модули, които не се използват. Те обаче са реализирани с логически елементи, които имат статична консумация на ток поради изброените по-горе причини. За да се оптимизира дизайна, захранващото напрежение на тези модули се изключва чрез електронен ключ.

Понякога даден модул може да се използва, но въпреки това микропроцесора да се обръща към него малко пъти на фона на изпълнението на цялата програма. В такива случаи този модул може да се включва само тогава, когато е необходимо. Затова този метод спада към динамичната оптимизация на консумацията. Недостатък на този метод е, че след всяко включване модулът трябва да се инициализира, което отнема време и забавя програмата.



Европейски съюз

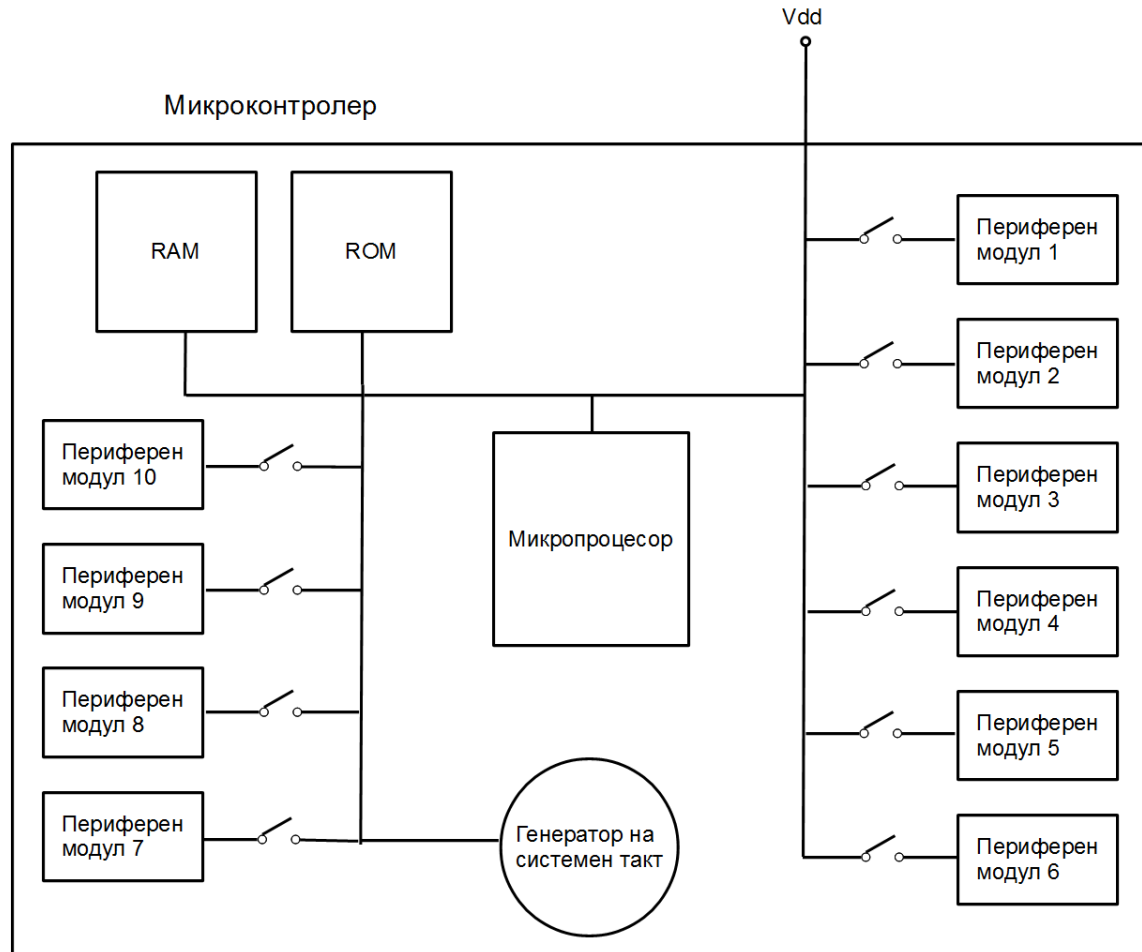
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Средства за намаляване на консумацията



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!

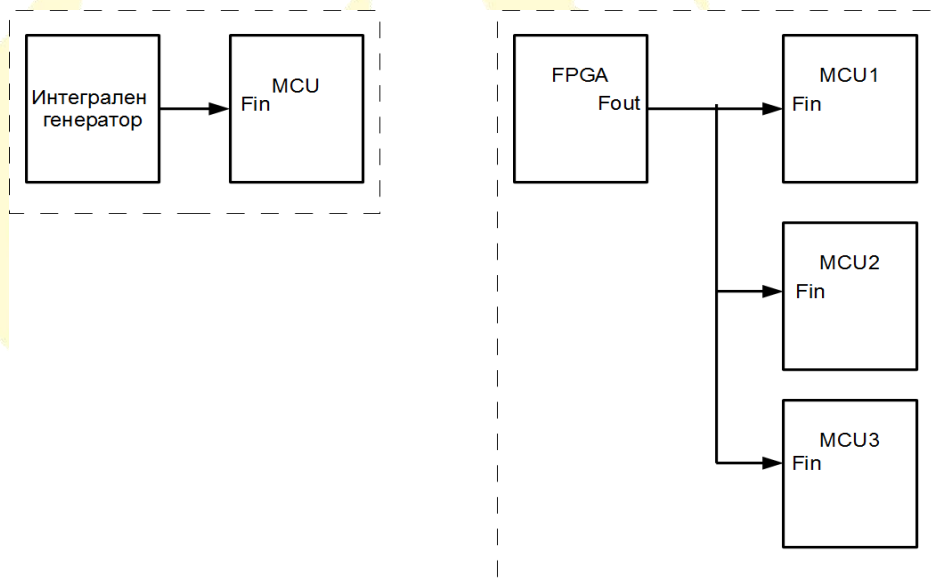


Европейски социален фонд

Генераторни схеми за тактова честота

Тактовата честота на микроконтролерите може да се задава от **външни** или **вътрешни** генератори на правоъгълни сигнали.

Обикновено микроконтролерите имат извод, на който може да се подаде тактов сигнал от външен източник. Като такъв може да се използва интегрален генератор или друга цифрова схема от системата, както е показано на фигурата по-долу.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Генераторни схеми за тактова честота

По-разпространения вариант в практиката е да се използва вградения в микроконтролера генератор. За да може да се реализират няколко честотни обхвата се налага да се интегрират по няколко генератора. Това изискване произлиза от факта, че използваното усилвателно стъпало е с фиксирана честотна лента, т.е. може да генерира ограничен брой честоти. Вграждат се следните генератори:

- **основен генератор** – кварцово-стабилизиран генератор, използван от повечето периферни модули на микроконтролера. Кварцовият резонатор се свързва външно. Най-често използваната схема е генератор на Пиърс [7], показан на по-следващия слайд. Товарните кондензатори трябва са с малка стойност от порядъка на няколко десетки пикофарада. Те се свързват също външно, защото интегрални кондензатори с такава стойност биха заели много голяма площ.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Генераторни схеми за тактова честота

Генераторът на Пиърс използва един инвертиращ усилвател -К, в обратната връзка на който е свързан кварцовия резонатор Y1 и товарните кондензатори C1 и C2.

В практиката вместо инвертиращ усилвател може да се използва логически елемент инвертор, работещ в линеен режим. За целта от изхода към входа се свързва един резистор с голяма стойност ($1 \div 10 \text{ M}\Omega$ [7]). Ако инверторът е с голям входен и малък изходен импеданс, резисторът R1 ще поддържа еднакъв напрежителен потенциал на входа и на изхода. Това ще доведе логическия елемент да е нито в логическа нула, нито в логическа единица, т.е. ще работи в линейна област. За допълнително подобряване на генератора може да се свърже резисторът R2, който да изравни изходния импеданс с товарния импеданс, определен от кондензаторите C1, C2 и кварцовия резонатор. R2 се избира със стойност до $2 \text{ k}\Omega$ [7].

Повечето съвременни микроконтролери се нуждаят само от кондензаторите C1, C2 и кварцовия резонатор Y1.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

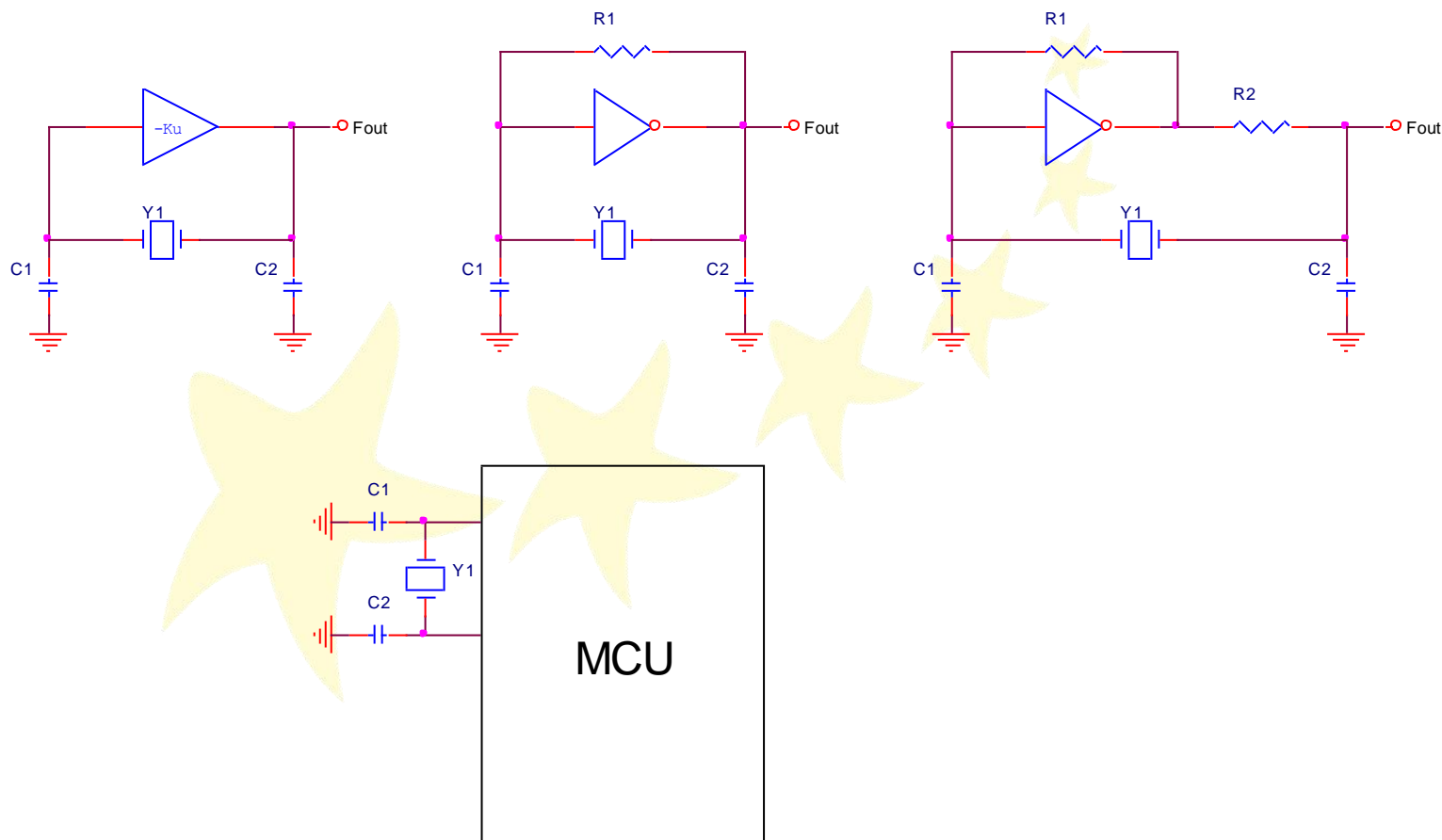
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Генераторни схеми за тактова честота



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Генераторни схеми за тактова честота

- **RC генератор** – използва се за първоначално стартиране на микроконтролера. Първите редове код, които трябва да конфигурират микроконтролера, в това число и генераторът на системен такт, се изпълняват именно с помощта на RC-генератора. Този генератор обикновено е с голям толеранс на изходната си честота и с голям температурен дрейф, поради използването на R и C интегрални елементи. Той не е кварцово стабилизиран генератор. За различните микроконтролери нестабилността на честотата варира от $\pm 1\%$ до $\pm 50\%$, затова документацията трябва да бъде добре проверена преди да се използва в приложения, където не е необходима стабилна честота. Това ще ни спести външния кварцов резонатор и ще редуцира цената на устройството.

В кода на следващия слайд е дадена част от програма на C. С червено са отбелязани редовете, които се изпълняват с RC генератора, а със зелено – редовете, изпълнявани с основния генератор.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Генераторни схеми за тактова честота

```
void ResetISR(void)
{
    unsigned long *pulSrc, *pulDest;
    pulSrc = &_etext;
    for(pulDest = &_edata; pulDest < &_edata; )
    {
        *pulDest++ = *pulSrc++;
    }

    __asm(" ldr  r0, =_bss\n"
        " ldr  r1, =_ebss\n"
        " mov  r2, #0\n"
        " .thumb_func\n"
        "zero_loop:\n"
        "  cmp  r0, r1\n"
        "  it  lt\n"
        "  strlt r2, [r0], #4\n"
        "  blt  zero_loop");

    main();
}

void main(void)
{
    SysCtlClockSet(SYSCTL_SYSDIV_2_5 | SYSCTL_USE_PLL | SYSCTL_XTAL_16MHZ | SYSCTL_OSC_MAIN);
    while(1){
        GPIOPinWrite(GPIO_PORTN_BASE, GPIO_PIN_0, GPIO_PIN_0);
        function_call_one();
        function_call_two();
        GPIOPinWrite(GPIO_PORTN_BASE, GPIO_PIN_0, 0x00);
    }
}
```



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

**„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции”**

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Генераторни схеми за тактова честота

- **генератор за RTC** – използва се от часовниците за реално време (RTC) и необходимостта от него идва от факта, че RTC трябва да работи ежедневно, т.е. би било неефективно от енергийна гледна точка контролерът да работи с основния генератор, само за да поддържа датата и часа. Затова се добавя допълнителен кварцово-стабилизиран генератор, работещ с кварцов резонатор с ниска честота и оптимизиран по отношение на консумацията. Най-често той се захранва от външна 3-волтова батерия, когато контролерът е изключен и от захранващото напрежение на самия контролер, когато е включен. Резонаторът трябва да е с честота, която е кратна на степените на двойката. Най-често това е 32,768 kHz ($2^{15} = 32768$).

На следващия слайд е показан пример с микроконтролер използващ 16-мегагерцов основен кварцов резонатор и един 32,768-килогерцов допълнителен кварцов резонатор за RTC. Вижда се и литиево-йонната батерия от типа 2032.



Европейски съюз

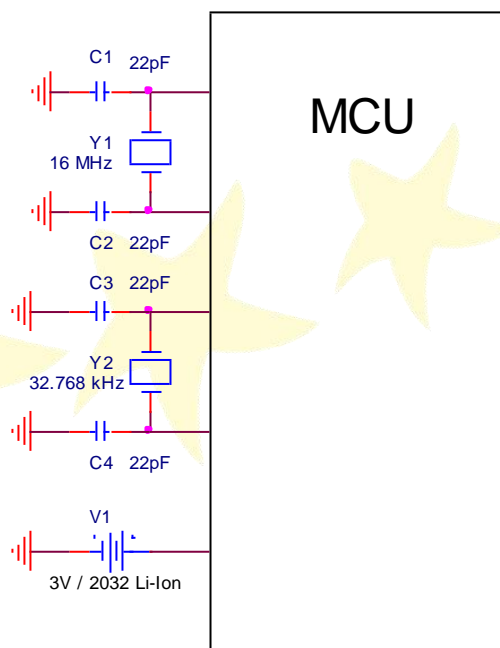
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Генераторни схеми за тактова честота



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

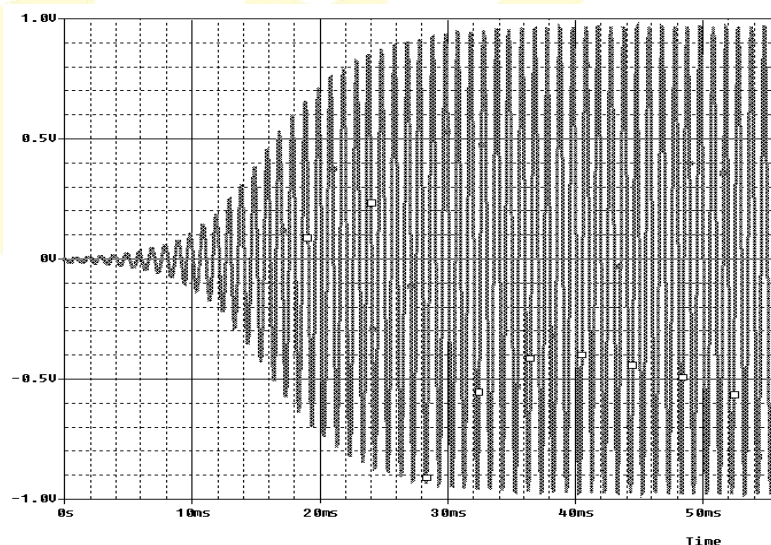
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Генераторни схеми за тактова честота

Всички генератори се характеризират с време след включването им, през което генерациите не са стабилни (като амплитуда и честота). Осцилограмата на един примерен генератор е показана на фигурата по-долу. Вижда се, че генерациите са стабилни след 30-тата милисекунда. Това е причината в микроконтролерите да се вграждат специални схеми, които задържат микропроцесора в рестарт, докато осцилациите не станат стабилни.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Литература

1. Pedro Dinis Gaspar, Antonio Santo, Bruno Ribeiro, Humberto Santos, Device Systems and Operating Modes, chapter 5, TI & University of Beira Interior (PT), 2009.
2. Кенаров Н., PIC Микроконтролери, Част 1, Млад Конструктор, Варна, 2003.
3. Code Sourcery, Sourcery G++ Lite 2011.03-42 Getting Started, 2011.
4. Texas Instruments, MSP430FR57xx Family User's Guide, 2012.
5. Barco-Silex, AHB Multi-Channel DMA Controller BA612A, FactSheet.
6. Pedro Dinis Gaspar, Antonio Santo, Bruno Ribeiro, Humberto Santos, Direct Memory Access (DMA) & Communications Introduction, chapter 8, TI & University of Beira Interior (PT), 2009.
7. Михов Г., Цифрова схемотехника, ТУ-София, 1999.
8. Introduction to the ARM Cortex-M Architecture, презентация, www.arm.com



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

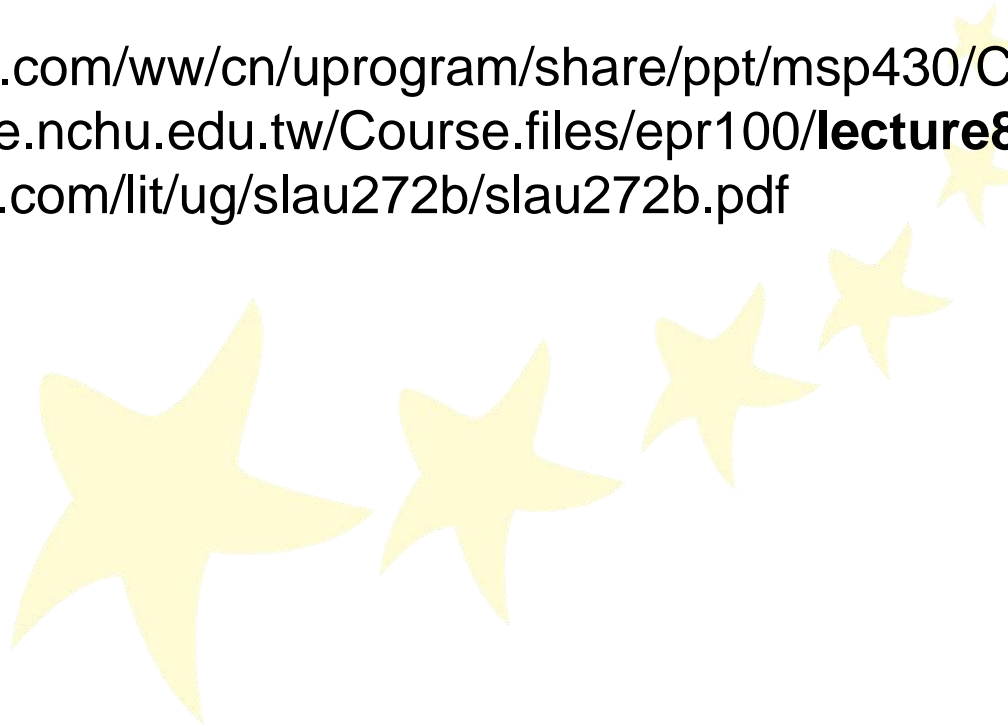
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Външни връзки

- a. www.ti.com/ww/cn/uprogram/share/ppt/msp430/Chapt5.ppt
- b. ares.ee.nchu.edu.tw/Course.files/epr100/lecture8.pdf
- c. www.ti.com/lit/ug/slau272b/slau272b.pdf



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд