

# Синхронизация на процеси

проф. д-р инж. Христо Вълчанов

<http://cs.tu-varna.bg>

# Достъп до общи ресурси

- Едновременния достъп до общи ресурси може да доведе до некоректни резултати.
- Необходими са механизми за осигуряване правилният ред на достъп до общите ресурси.
- Общи ресурси – памет, устройства.

# Критична секция

- **Критична секция (Critical Section - CS)** – тази част от кода на процес, в който има обръщение към общ ресурс.
- Изисквания към CS:
  - В критична секция в даден момент може да се намира само един процес.
  - Ако един или няколко процеса желаят да влязат в критичните си секции, то на един от тях това задължително трябва да бъде разрешено.
  - Всеки процес може да преминава в произволно състояние извън критичната си секция, т.е. може да бъде дори спрян. Това не трябва да оказва влияние върху другите процеси при използване на общия ресурс.
  - Относителните скорости на развитие на процесите са предварително неизвестни и произволни.
  - Процес не може да спре изпълнението си в критична секция.
  - Критичните секции не трябва да имат приоритети.

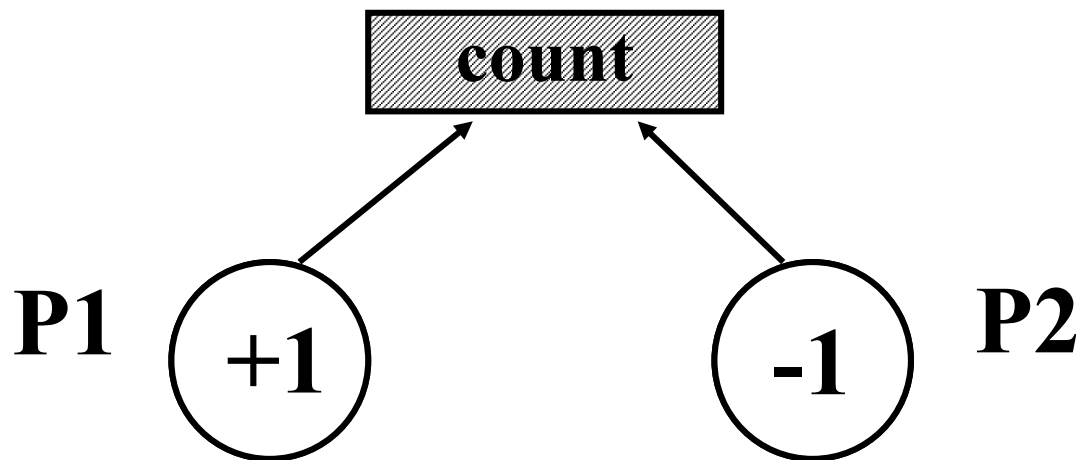
# Обща структура на процес

Process:

```
while (true) {  
  
    non_critical_section  
  
    entry_section  
  
    critical_section  
  
    exit_section  
  
    non_critical _section  
  
}
```

# Пример за достъп до общ ресурс

Процес P1 извършва увеличава променливата `count` 1000000 пъти, процес P2 намалява променливата `count` 1000000 пъти. Началната стойност на `count` е 0.



- Каква е стойността на `count` след завършване на процесите?

# Пример за достъп до общ ресурс (2)

```
shared int count;
```

```
/* P1.c */
```

```
int main () {
```

```
    for (i=0; i<1000000; i++) {
```

```
        . . .
```

```
        count++;
```

```
        . . .
```

```
    }
```

```
}
```

```
/* P2.c */
```

```
int main () {
```

```
    for (i=0; i<1000000; i++) {
```

```
        . . .
```

```
        count--;
```

```
        . . .
```

```
    }
```

```
}
```

# Пример за достъп до общ ресурс (3)

- След компилация:

P1:     LOADR   count  
          INCR  
          STORER count

Зарежда count в регистър R  
Инкрементира R  
Записва R на адрес count

P2:     LOADR   count  
          DECR  
          STORER count

Зарежда count в регистър R  
Декрементира R  
Записва R на адрес count

# Влияние на прекъсванията

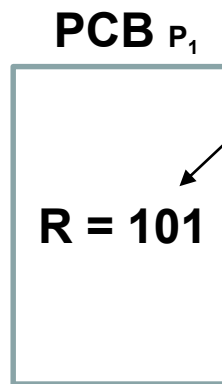
quant	P1	count	R	P2
$t_1$	...	100	???	...
$t_2$	LOADR count INCR	100 100	100 101	



# Влияние на прекъсванията (2)

 прекъсване

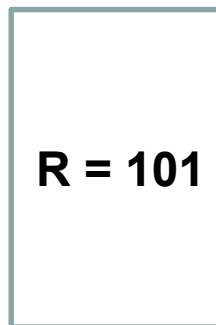
quant	P1	count	R	P2
$t_1$	...	100	???	...
$t_2$	LOADR count INCR	100 100	100 101	



# Влияние на прекъсванията (3)

quant	P1	count	R	P2
$t_1$	...	100	???	...
$t_2$	LOADR count INCR	100 100	100 101	
$t_3$		100 100 99	100 99 99	LOADR count DECR STORER count

PCB  $P_1$



# Влияние на прекъсванията (4)

 прекъсване

quant	P1	count	R	P2
$t_1$	...	100	???	...
$t_2$	LOADR count INCR	100 100	100 101	
$t_3$		100 100 <b>99</b>	<b>100</b> <b>99</b> 99	LOADR count DECR STORER count

PCB  $P_1$

**R = 101**

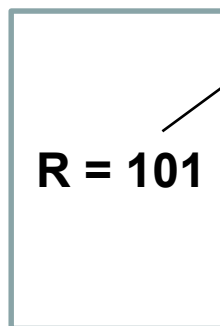
PCB  $P_2$

**R = 99**

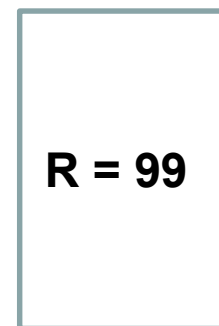
# Влияние на прекъсванията (5)

quant	P1	count	R	P2
t <sub>1</sub>	...	100	???	...
t <sub>2</sub>	LOADR count INCR	100 100	100 101	
t <sub>3</sub>		100 100 99	100 99 99	LOADR count DECR STORER count
t <sub>4</sub>	STORER count	99 101	101 101	

PCB P<sub>1</sub>



PCB P<sub>2</sub>



# Програмна защита на CS

Използване на променлива за ред на достъп

```
int turn=1;
```

```
P1:    for (;;) {  
        while (turn==2) ;  
        CS1;  
        turn=2;  
        Prog1;  
    }  
P2:    for (;;) {  
        while (turn==1) ;  
        CS2;  
        turn=1;  
        Prog2;  
    }
```

Ако един от процесите се изпълнява безкрайно извън своята CS или спре, другият не може да влезе в своята.

# Програмна защита на CS - 2

Използване на 2 променливи за ред на достъп

```
int k1=k2=false;
```

```
P1:    for (;;) {
        while (K2) ;
        K1=true;
        CS1;
        K1=false;
        Prog1;
    }
P2:    for (;;) {
        while (K1) ;
        K2=true;
        CS2;
        K2=false;
        Prog2;
    }
```

Ако са с еднакви скорости и двата едновременно могат да влязат в своите CS.

# Програмна защита на CS - 3

Използване на 2 променливи за ред на достъп и заявка

```
int k1=k2=false;
```

```
P1:    for (;;) {
        K1=true;      // заявка за влизане
        while (K2) ;
        CS1;
        K1=false;
        Prog1;
    }
P2:    for (;;) {
        K2=true;
        while (K1) ;
        CS2;
        K2=false;
        Prog2;
    }
```

Ако са с еднакви скорости и двата могат безкрайно да чакат на входа на своите CS.

# Алгоритъм на Декер

Използване на 2 флага за заявка и един за ред на достъп

```
C1=true;
C2=true;
queue=1;

// Process 1
...
C1=false;
while !C2 {
    if (queue == 2) {
        C1=true;
        while (queue == 2) ;
        C1:=false;
    }
}
CS1;
queue=2;
C1=true;
...
```

Прекалено сложен за ефективно използване, особено при повече от 2 процеса.



# Алгоритъм на Петерсон

Използване на 2 флага за заявка и един за ред на достъп

```
C1=true;
C2=true;
queue=1;

// Process 1
...
C1 = false;
queue = 2;
while (!C2) && (queue == 2) do ;
CS1;
C1 = true;
...
```

Сложен за използване от много процеси.

# Синхронизация чрез забраняване на прекъсвания

- Забраняване на прекъсванията докато процес е в критична секция.

```
while (true) {  
    disable_interrupts  
    critical section  
    enable_interrupts  
    remainder section  
};
```

# Синхронизация чрез заключвания

Решенията (хардуерни) се базират на механизма на заключванията (***locks***).

```
do {  
    acquire lock  
    critical section  
    release lock  
    remainder section  
} while (TRUE);
```

# Синхронизационен хардуер

- Наличие на **атомарни** хардуерни инструкции за реализиране на заключванията.
- **Атомарен = непрекъсваем.**
- Инструкция за тестване на съдържанието на памет и установяване на стойност.

# Инструкция test\_and\_set

Дефиниция:

```
boolean test_and_set (boolean *target) {  
    boolean rv = *target;  
    *target = TRUE;  
    return rv;  
}
```

1. Изпълнява се атомарно;
2. Връща стойността на изпратената като параметър променлива
3. Установява стойност *true* на променливата

# Синхронизация с test\_and\_set

```
do {  
    while (test_and_set(&lock)) ;  
    CS;  
    lock = false;  
    Prog;  
} while (true);
```

- Обща променлива *lock*;
- Всеки процес изпълнява този код
- Активно изчакване (заема се CPU)

# Mutex locks

- Предишните решения са сложни и неудобни за използване
- Разработени са софтуерни средства за решаването на проблема
- Просто средство е т.н. *mutex lock*.
- Mutex lock притежава булева променлива, асоциирана с него. Указва дали е налично заключване.

```
acquire() {  
    while (!available) ; /* busy wait */  
    available = false;  
}  
  
release() {  
    available = true;  
}
```

# Mutex locks

```
acquire() {  
    while (!available) ; /* busy wait */  
    available = false;  
}  
release() {  
    available = true;  
}  
  
do {  
    acquire lock  
    CS  
    release lock  
    Prog  
} while (true) ;
```

- Реализират се обикновено чрез хардуерни инструкции
- Активно изчакване (заема се CPU) - **spinlock**



# Семафори

- **Семафор** – специален вид целочислена положителна променлива, върху която са определени две операции (примитиви) P и V.
- Операциите са неделими.
- Семафор, приемащ само две стойности 0 и 1 – **двоичен семафор**.

# Семафори (2)

- **операция  $P(S)$ :**

Процесът се опитва да изпълни  $S=S-1$ . При това са възможни два случая:

- $S>0$ . Процесът изпълнява  $S=S-1$  и продължава своето развитие;
- $S=0$ . Процесът се блокира (wait) докато  $S$  стане по-голямо от нула. Тогава и само тогава той завършва операцията  $S=S-1$  и продължава изпълнението си.

- **операция  $V(S)$ :**

Процесът изпълнява операцията  $S=S+1$ . При това също са възможни два случая:

- $S>0$ . Процесът, изпълняващ операцията  $V(S)$ , продължава да работи;
- $S=0$ . Процесът, изпълняващ операцията  $V(S)$ , продължава да работи, но преди това се активира един от блокираните процеси (т.е. дава му се възможност да завърши започнатата си  $P(S)$  операция).

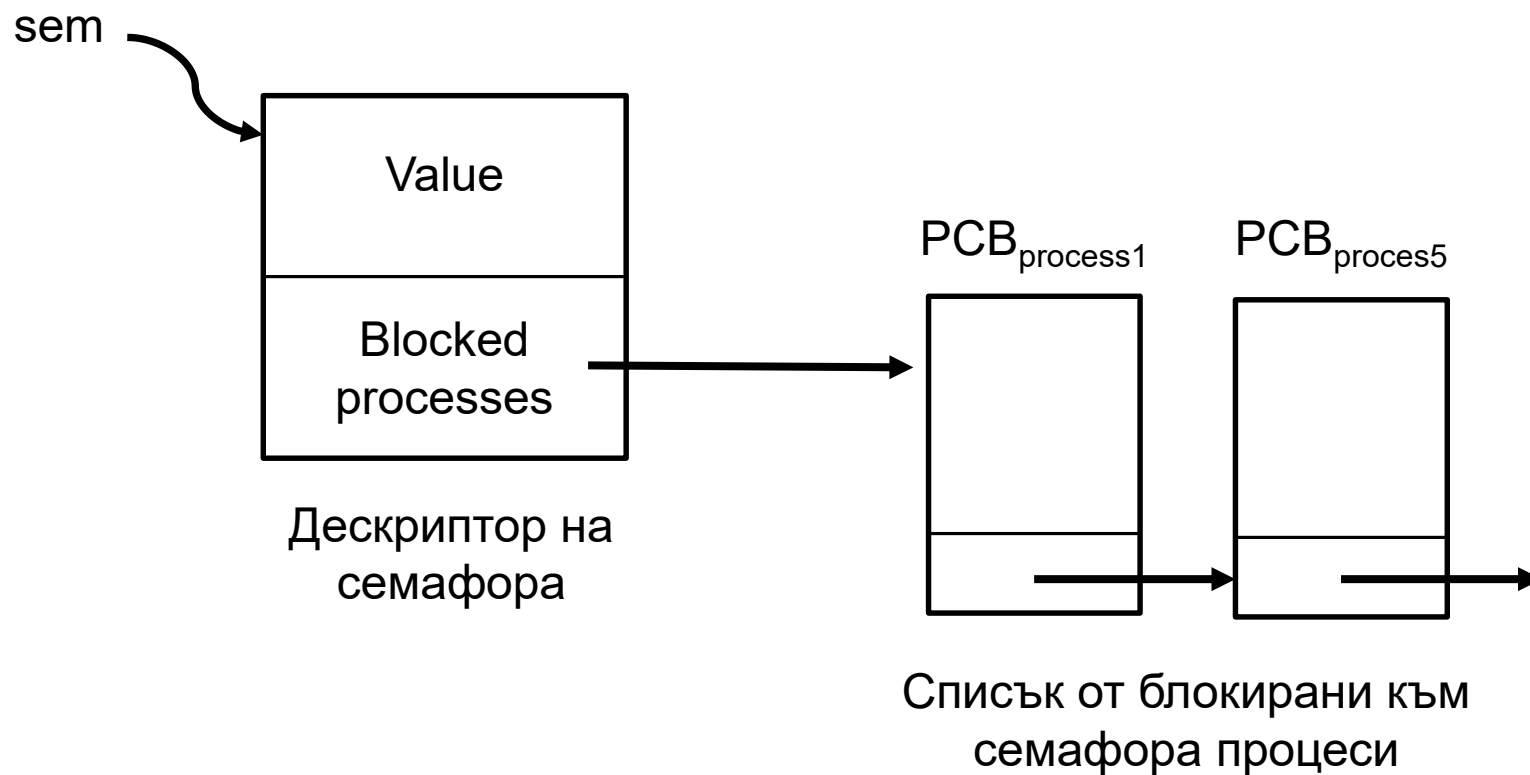
# Използване на семафори

```
semaphore sem=1;
```

```
P1:    for (;;) {  
        P(sem);  
        CS1;  
        V(sem);  
        Prog1;  
    }  
P2:    for (;;) {  
        P(sem);  
        CS2;  
        V(sem);  
        Prog2;  
    }
```

**Семафор с повече от две стойности – общ семафор**

# Реализация на семафор



# Реализация на семафорни операции

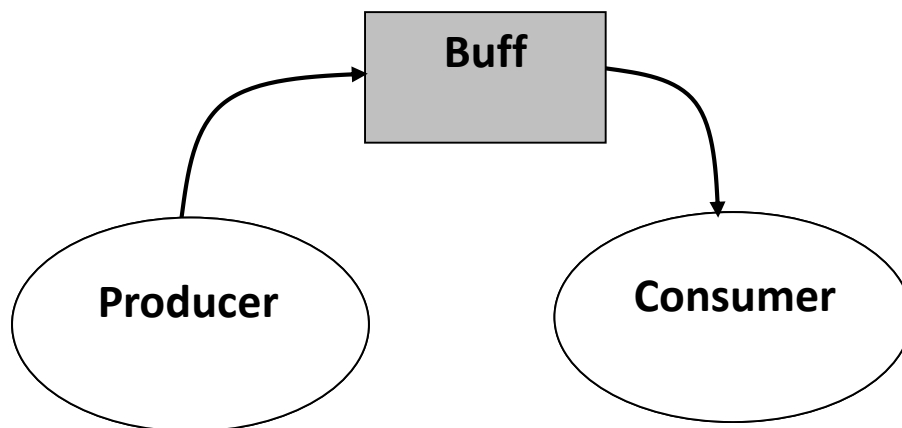
```
void P(semaphore S) {
    if (S->Value == 0) {
        извикване_диспечера_за_блокиране_текущ_процес;
        (S->Value)--;
    } else {
        (S->Value)--;
    }
}

void V(semaphore S) {
    (S->Value)++;
    if (S->BlockedProcesses != NULL) {
        преместване_първия_процес_в_ReadyQueue;
    }
}
```

# Задача “Производител-консуматор”

Производителят генерира данни и ги записва в буфер с ограничен размер.

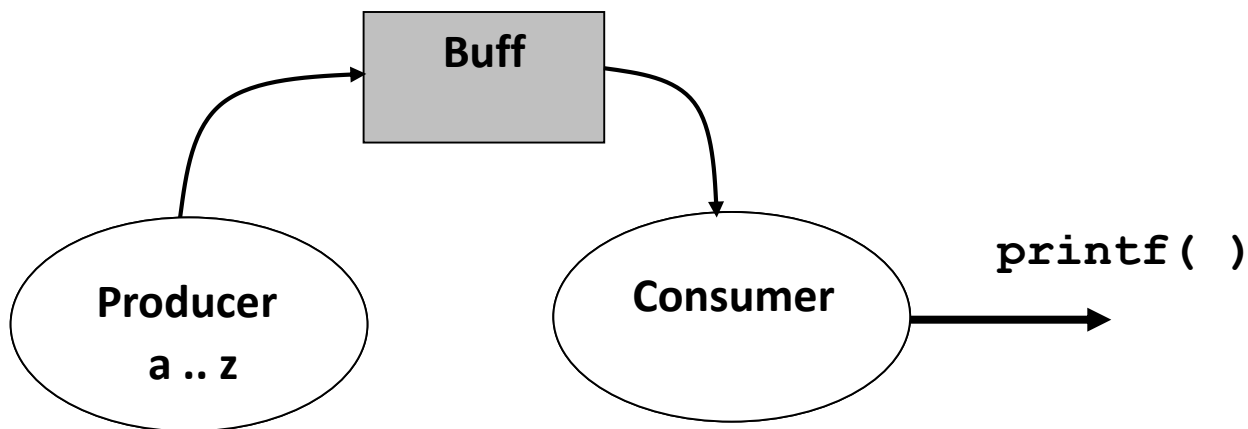
Консуматорът чете данните от буфера и ги обработва.



# Пример “Производител-консуматор”

Производителят генерира азбуката и я записва символ по символ в буфер от тип *char*.

Консуматорът чете данните от буфера и ги извежда на екрана.



# Пример “Производител-консуматор”

Възможни варианти на извеждането:

- a a a a a a a b b c d d d d d d d e e ...
- b f p z
- z

➤ Каква е причината за некоректния изход?



# Задача “Производител-консуматор” - решение

```
semaphore mutex=1;
```

```
Producer:      for (;;) {  
                  generate_data;  
                  P(mutex);  
                  fill_the_buffer;  // CS  
                  V(mutex);  
                }  
Consumer:      for (;;) {  
                  P(mutex);  
                  read_from_buffer;  // CS  
                  V(mutex);  
                  consume_data;  
                }
```

# Задача “Производител-консуматор” - решение



Какъв ще е резултата?

- a a a a a a b b c d d d d d d e e ...
- b f p z
- z



# Пример от реалността





***Производител:***

който ще черпи

***Консуматор:***

кого то ще черпят



***Общ ресурс:***



# Защита на общия ресурс



P (mutex)



V (mutex)





# Ситуация 1: консуматорът е наред да се почерпи



# Ситуация 1: консуматорът е наред да се почерпи

➤ **Но чашата е празна!**



# Ситуация 2: производителят е наред да налее

➤ Но чашата е пълна!



➤ **Има условия, при които да се извършват действията:**

- 1. Консуматорът ще консумира ако чашата НЕ Е ПРАЗНА, ако не е - чака**
- 2. Производителят ще налива ако чашата НЕ Е ПЪЛНА, ако не е - чака**

# Задача “Производител-консуматор”

```
semaphore empty=1, full=0;  
semaphore mutex=1;
```

```
Producer:      for (;;) {  
                  generate_data;  
                  P(empty);  
                  P(mutex);  
                  fill_the_buffer;  
                  V(mutex);  
                  V(full);  
                }  
  
Consumer:      for (;;) {  
                  P(full);  
                  P(mutex);  
                  read_from_buffer;  
                  V(mutex);  
                  V(empty);  
                  consume_data;  
                }
```

# Проблеми при семафори

- **Некоректно използване на семафори:**
  - $V(S) \dots P(S)$
  - $P(S) \dots P(S)$
  - Изпускане на  $V(S)$  или  $P(S)$
- **Възможно е настъпване на взаимна блокировка.**
- **Решение: създаване на програмни езикови конструкции от високо ниво.**

# Монитори

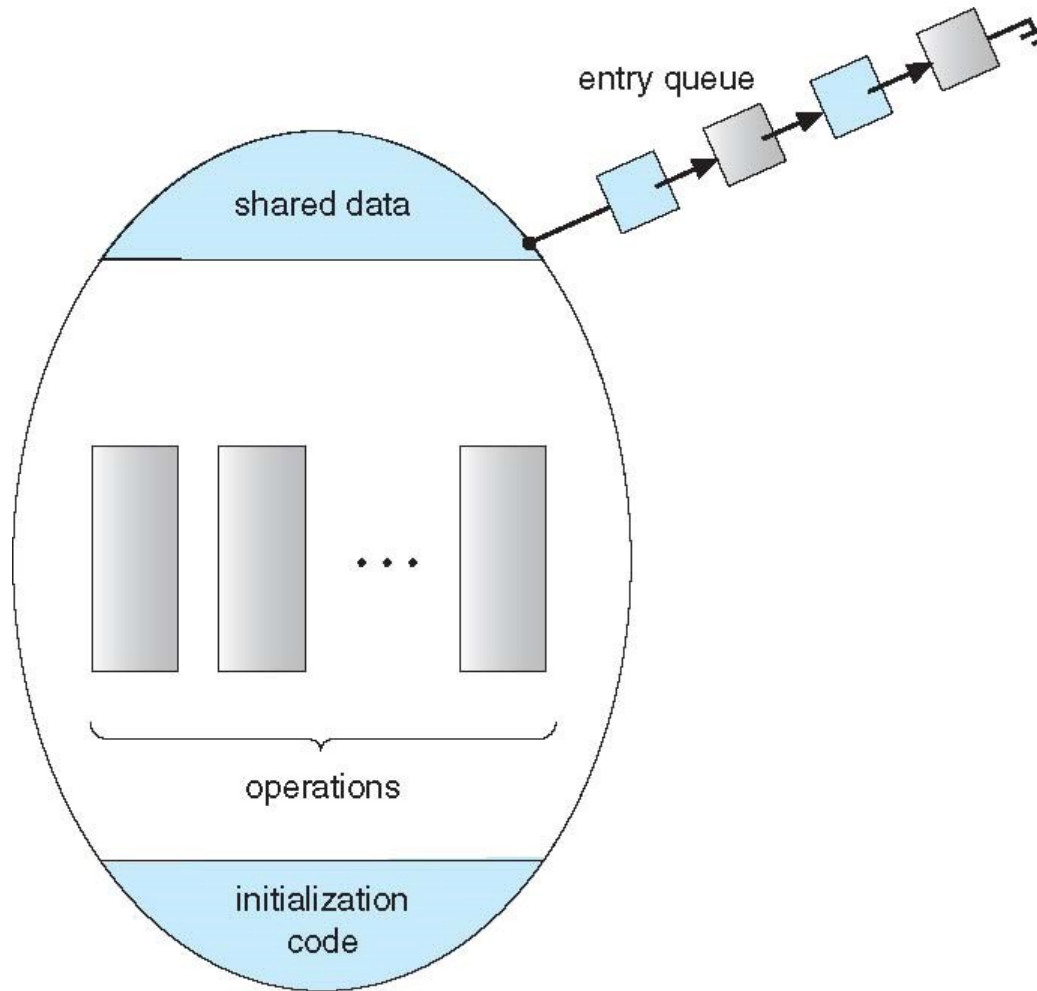
- Високо ниво на абстракция, предоставящо ефективен механизъм за синхронизация на процеси.
- Мониторът включва данни и взаимноизключващи се операции върху тях.
- Само един процес може да бъде активен в монитора в даден момент
- Взаимното изключване се гарантира от компилатора.

```
monitor monitor-name
{
    // shared variable declarations
    procedure P1 (...) {.....}

    procedure Pn (...) {.....}

    Initialization code (...) { ... }
}
```

# Схематично представяне на монитор

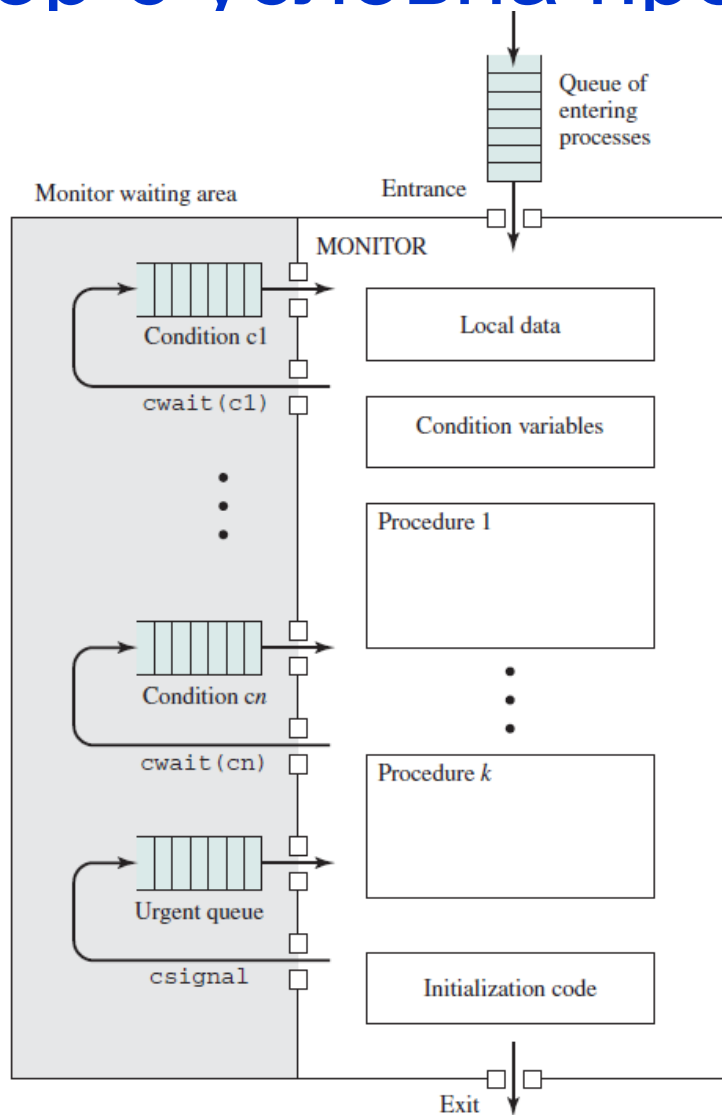




# Условни променливи

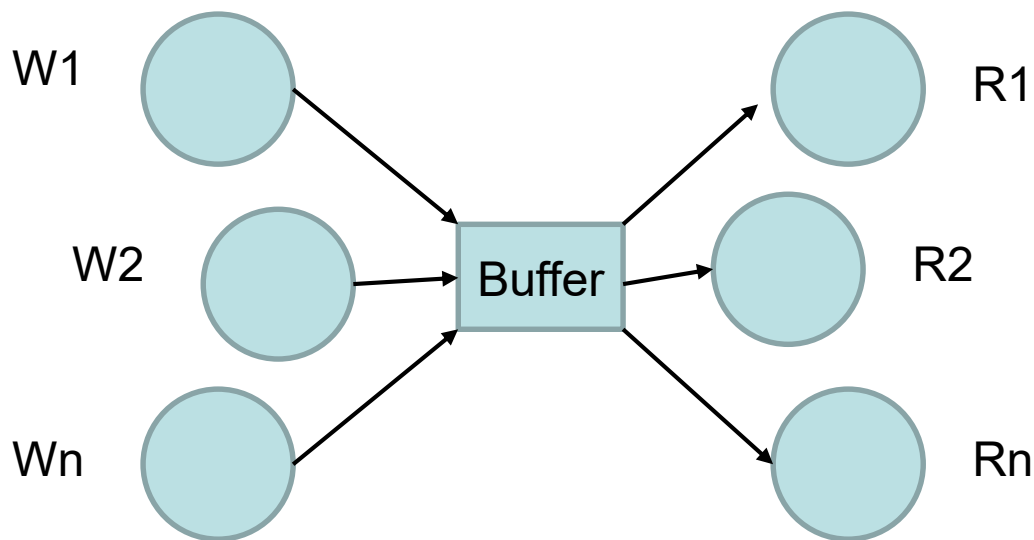
- Необходим е механизъм, позволяващ на процесите на изчакват в монитор.
- Използват се условни променливи (***conditional variables***).
- Условна променлива **x** може да бъде достъпна само чрез два оператора:
  - **x.wait()** – извикващият процес се блокира, докато друг не изпълни **x.signal()**. Мониторът е наличен за използване от друг процес.
  - **x.signal()** – възстановява един от процесите (ако има), който е бил извикал **x.wait()**. Ако няма блокиран към променливата процес, действието няма ефект върху нея.

# Монитор с условна променлива



# Задача “Читатели-писатели”

- Наличен е единичен буфер.
- Само един процес-писател може да записва данни в буфера в даден момент.
- Много процеси-читатели могат да четат данните от буфера



# Задача “Читатели-писатели”

```
monitor RWmonitor {
    int readercount;
    bool busy;
    condition OKtoread, OKtowrite;

    void startread() {
        if (busy) OKtoread.wait();
        readercount++;
        OKtoread.signal();
    }
    void endread() {
        readercount--;
        if (readercount==0)
            OKtowrite.signal();
    }
    void startwrite() {
        if (busy || (readercount!=0))
            OKtowrite.wait();
        busy=true;
    }
    void endwrite() {
        busy=false;
        if (OKtoread.queue)
            OKtoread.signal();
        else OKtowrite.signal();
    }
    void init() {
        busy=false;
        readercount=0;
    }
}
```

```
RWmonitor R;

    init();

Writers:
    ....
    R.startwrite();
    write to buffer;
    R.endwrite();
    ....

Readers:
    ....
    R.startread();
    read from buffer;
    R.endread();
    ....
```

# Взаимна блокировка

- Изискване на ресурси.
- Ако ресурс не е наличен, процесът се блокира.
- Взаимна блокировка (***deadlock***) – два или повече процеса чакат безкрайно за настъпване на събитие, което може да бъде инициирано само от някой от тях.
- Безкрайно блокиране (***starvation***) – процес може никога да не бъде премахнат от опашката на семафора, към който е блокиран.

# Системен модел

- Системата съдържа ресурси
- Типове ресурси  $R_1, R_2, \dots, R_m$ 
  - CPU цикли, обем памет, I/O устройства
- Всеки ресурсен тип  $R_i$  има  $W_i$  инстанции.
- Процесите използват ресурсите в последователност:
  - Заявка;
  - Използване;
  - Освобождаване.

# Условия за deadlock

- Взаимно изключване (*mutual exclusion*);
- Задържане и чакане (*hold and wait*);
- Отсъствие на изтласкване (*no preemption*);
- **Кръгово очакване (*circular wait*).**

- Възможност
- Наличие

# Граф на заемане на ресурси

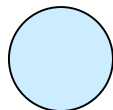
Множество от върхове  $V$  и дъги  $E$ :

- Множеството  $V$ :
  - Всички процеси  $P = \{P_1, \dots, P_n\}$ ;
  - Всички ресурси  $R = \{R_1, \dots, R_n\}$ ;
- Заявка за ресурс -  $P_i \rightarrow R_j$ ;
- Използване на ресурс -  $R_j \leftarrow P_i$ .



# Граф на заемане на ресурси

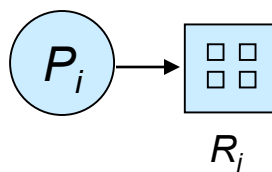
- Процес



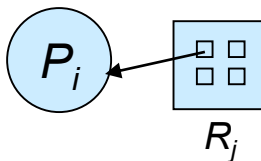
- Ресурсен тип с 4 инстанции



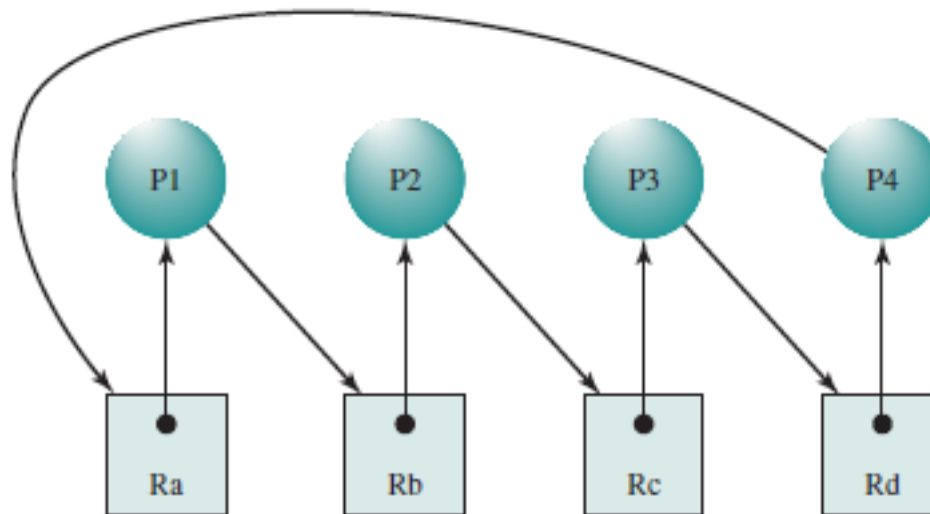
- Процес заявява инстанция на ресурс  $R_j$



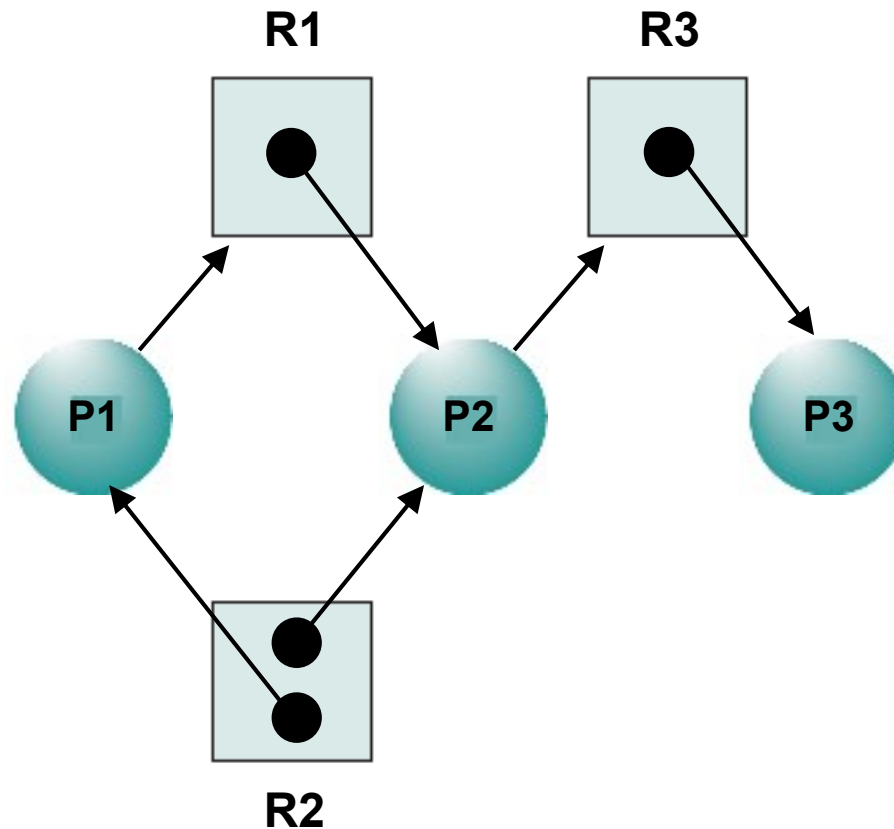
- Процес използва инстанция на ресурс  $R_j$



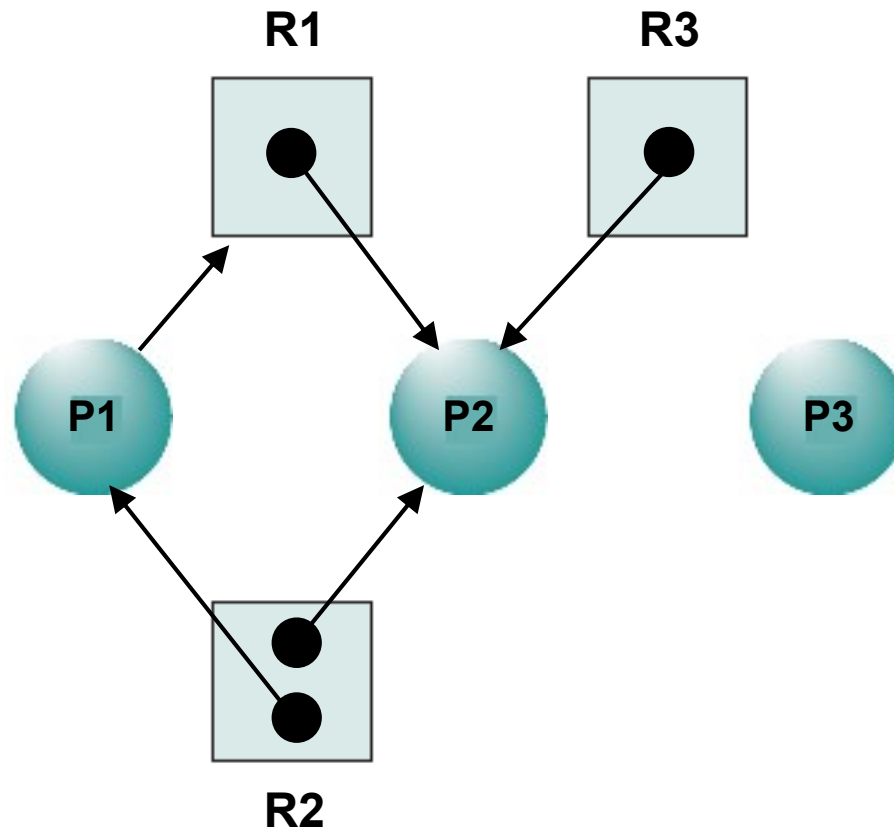
# Граф на заемане на ресурси (3)



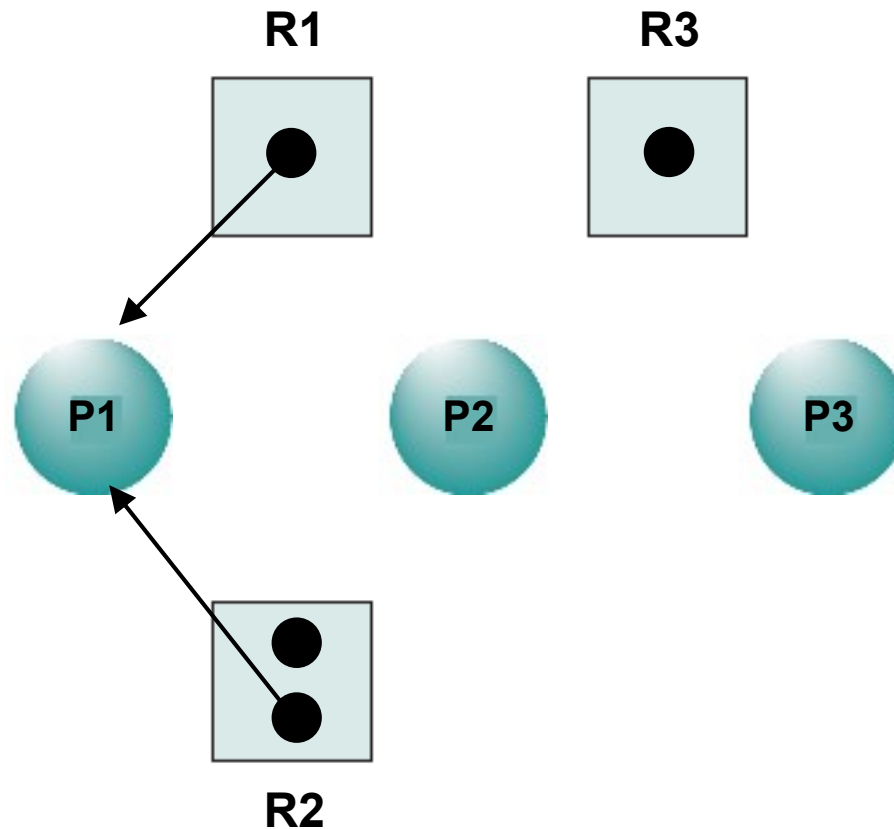
# Без наличие на deadlock (1)



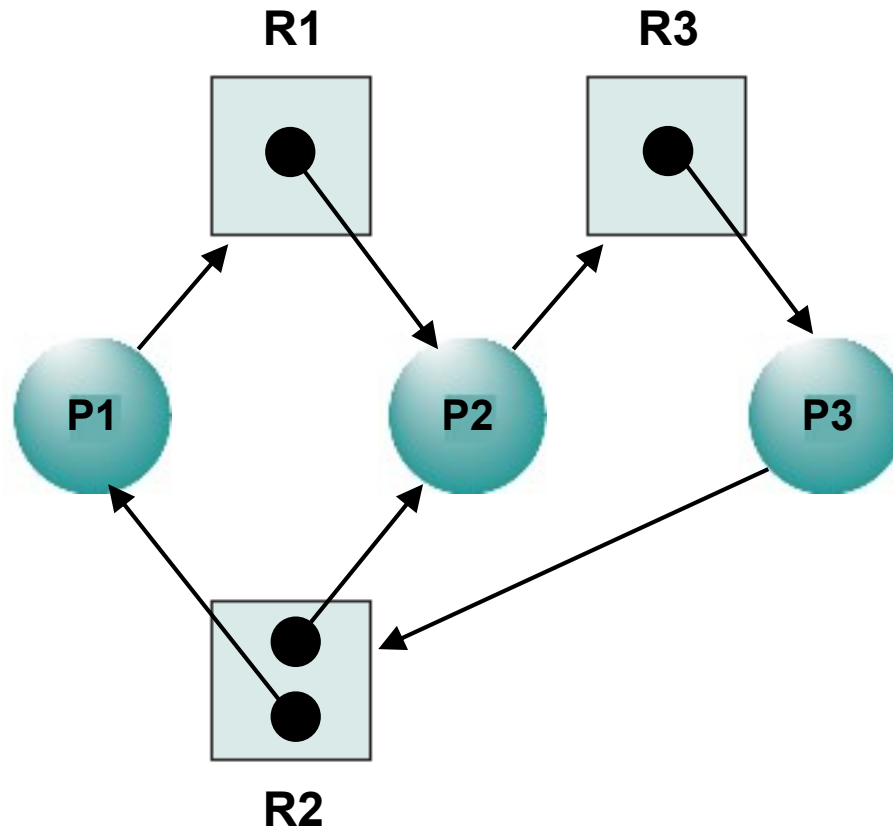
# Без наличие на deadlock (2)



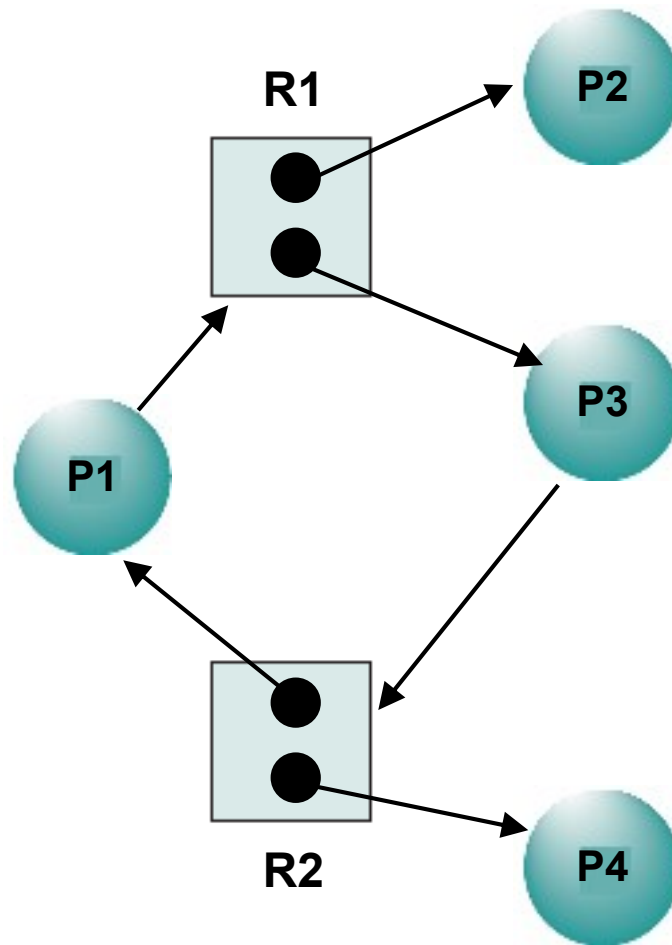
# Без наличие на deadlock (3)



# Deadlock


$$P_1 \rightarrow R_1 \rightarrow P_2 \rightarrow R_3 \rightarrow P_3 \rightarrow R_2 \rightarrow P_1$$
$$P_2 \rightarrow R_3 \rightarrow P_3 \rightarrow R_2 \rightarrow P_2$$

# Наличие на цикъл без deadlock



$P_1 \rightarrow R_1 \rightarrow P_3 \rightarrow R_2 \rightarrow P_1$

# Граф на заемане на ресурси (3)

Ако графът не съдържа цикли => без deadlock

Ако графът съдържа цикли:

- Ако има само една инстанция за ресурсен тип => **deadlock**;
- Ако има няколко инстанции за ресурсен тип => възможност за deadlock.



# Пример за deadlock

Process 1:

```
...  
lock(mutex1);  
lock(mutex2);  
...  
use_resource_1;  
use_resource_2;  
...  
unlock(mutex2);  
unlock(mutex1);  
...
```

Process 2:

```
...  
lock(mutex2);  
lock(mutex1);  
...  
use_resource_2;  
use_resource_1;  
...  
unlock(mutex1);  
unlock(mutex2);  
...
```

# Решение – “Заклучващи йерархии”

Process 1:

```
...  
lock(mutex1);  
lock(mutex2);  
...  
use_resource_1;  
use_resource_2;  
...  
unlock(mutex2);  
unlock(mutex1);  
...
```

Process 2:

```
...  
lock(mutex1);  
lock(mutex2);  
...  
use_resource_2;  
use_resource_1;  
...  
unlock(mutex1);  
unlock(mutex2);  
...
```

# Въпроси?