

Automação de Processos Industriais

GRAFCET *(Sequential Function Chart)*

<http://www.isr.ist.utl.pt/~pjcro/cadeiras/api0405/api0405.html>

Docentes:

Prof. Paulo Jorge Oliveira
Eng. Bruno Carneira

e-mail: pjcro@isr.ist.utl.pt
Tel: 21 8418053 ou 2053 (interno)

Programa da Cadeira:

Cap. 3 - Linguagens de Programação de PLCs [2 semanas]

...

Cap. 4 - GRAFCET (*Sequential Function Chart*) [2 semanas]

A norma GRAFCET.

Elementos constituintes da linguagem.

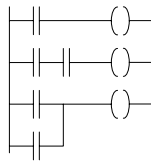
Técnicas de modelação utilizando GRAFCET.

...

Cap. 6 - Sistemas de Eventos Discretos [2 semanas]

Linguagens de programação de PLCs (International Electrotechnical Commission - IEC 1131-3)

Ladder Diagram



Structured Text

```

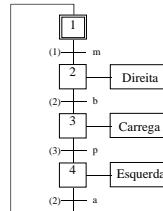
If %I1.0 THEN
  %Q2.1 := TRUE
ELSE
  %Q2.2 := FALSE
END_IF

```

Instruction List

LD	%M12
AND	%I1.0
ANDN	%I1.1
OR	%M10
ST	%Q2.0

Sequential Function Chart GRAFCET



Alguns ponteiros acerca de GRAFCETs (SFCs)

Resenha histórica: <http://www.ecsi.org/ecsi/Doc/OtherDoc/SLDL/PDF/caspi.pdf>
http://www.lurpa.ens-cachan.fr/grafcet/groupe/gen_g7_uk/geng7.html

Tutorial: http://asi.insa-rouen.fr/~amadisa/grafcet_homepage/tutorial/index.html
http://www-ipst.u-strasbg.fr/pat/autom/grafce_t.htm

Simulador: http://asi.insa-rouen.fr/~amadisa/grafcet_homepage/grafcet.html
<http://www.automationstudio.com> (Fazer download e seguir projectos)

Bibliografia: * Programação de Autómatos, Método GRAFCET, José Novais, Fundação Calouste Gulbenkian
 * Petri Nets and GRAFCET: Tools for Modelling Discrete Event Systems R. DAVID, H. ALLA, New York : PRENTICE HALL Editions, 1992
 * Norme Française NF C 03-190 + R1 : Diagramme fonctionnel "GRAFCET" pour la description des systèmes logiques de commande

Homepage: <http://www.lurpa.ens-cachan.fr/grafcet/>

Resenha Histórica




GRAFCET

- 1975 – Decisão do grupo de trabalho "Logical Systems" da AFCET (Association Française de Cybernétique Economique et Technique) da criação de um comité para a standardização da representação de sistemas lógicos e de automação.
- 1977 – Definição do GRAFCET (Graphe Fonctionnel de Commande Etape-Transition).
- 1979 – Divulgação e adopção em escolas, como área de investigação e como metodologia de implementação de soluções de automação na indústria.
- 1988 - GRAFCET tornou-se num standard internacional denominado "Sequential Function Chart", pela I.E.C.

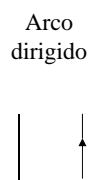
GRAFCET

Elementos Básicos Constituintes





Etapas (*steps*)

Inactiva	
Activa	
Inicial	

Ligações



Transições

Simple		(1) R ₁
Joint		(2) R ₂
Fork		(3) R ₃
Joint e fork		(3) R ₃

Podem associar-se **acções** às etapas.

A cada transição pode associar-se uma função lógica de receptividade.

GRAFCET

Elementos Básicos Constituintes

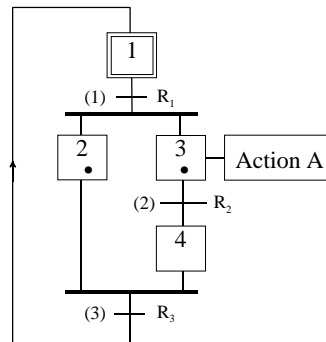
Ligações orientadas (arcos)

Em um GRAFCET:

Um arco pode ligar etapas a transições.

Um arco pode ligar transições a etapas.

- Uma etapa pode não ter nenhuma transição de entrada (fonte);
- Uma etapa pode não ter nenhuma transição de saída (sorvedouro).
- O mesmo se passa para as transições.



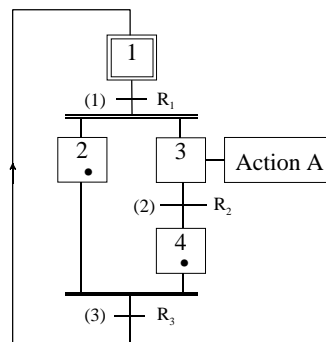
GRAFCET

Estado de um GRAFCET

O conjunto de marcações de um GRAFCET constitui o **estado**.

Questão:

Como evolui o estado de um GRAFCET?



GRAFCET

Evolução do estado:**• Regra 1: Estado inicial**

Caracteriza-se pelas etapas activas no início de operação (pelo menos uma).

• Regra 2: Transposição de uma transição

Uma transição está permitida (ou activa) quando todas as etapas ligadas na sua entrada estão activas (caso contrário está inactiva). Uma transição só pode ser transposta se está activa e se a condição (função de receptividade) que lhe está associada é verdadeira.

• Regra 3: Evolução das etapas activas

A transposição de uma transição leva à desactivação de todas as etapas que a precedem e à activação de todas as etapas que lhe sucedem.

• Regra 4: Simultanidade da transposição de transições

Todas as transições activas são transpostas simultaneamente.

• Regra 5: Activação e desactivação simultânea de uma etapa

Neste caso a activação é prioritária.

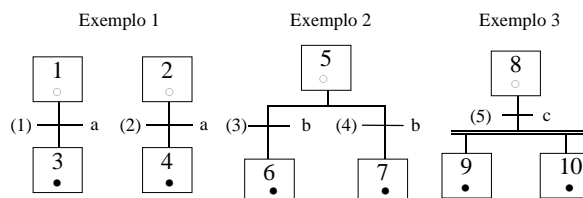
GRAFCET

Evolução do estado:**• Regra 2a:**

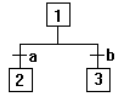
Todas as transições activas são transpostas imediatamente.

• Regra 4:

Transições simultaneamente activas são transpostas simultaneamente.



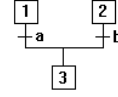
Divergência em OU:



Se a etapa 1 está activa e se **a** é Verdade, então desactiva-se etapa 1 e activa-se etapa 2, (a etapa 3 mantém o estado).

Se **a** e **b** verdadeiros estando a etapa 1 activa, então desactiva-se a etapa 1 e activam-se as etapas 2 e 3 (qualquer que seja o estado de 3 anterior).

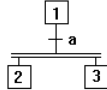
Convergência em OU:



Se a etapa 1 está activa e se **a** é verdade (e **b** é falsa), então activa-se a etapa 3 e desactiva-se etapa 2, (a etapa 3 mantém o estado).

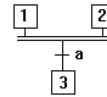
Se as etapas 1 e 2 estão activas e se **a** e **b** são verdade, então desactivam-se as etapas 1 e 2 e activa-se a etapa 3.

Divergência em E:



Se a etapa 1 está activa et se **a** é verdade, então desactiva-se a etapa 1 e activam-se as etapas 2 e 3.

Convergência em E:

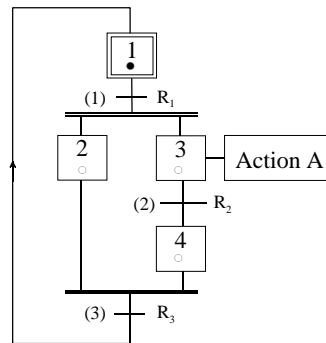


Se só a etapa 1 está activa e a é verdade, nada muda.
Se as etapas 1 e 2 estão activas e se **a** e **b** são verdade, então desactiva-se as etapas 1 e 2 e activa-se a etapa 3.

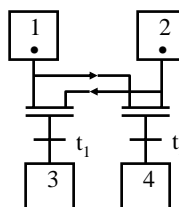
GRAFCET

Exemplo de evolução do estado de um GRAFCET:

(Acção ao nível. Também podem ser acções à transição)



GRAFCET

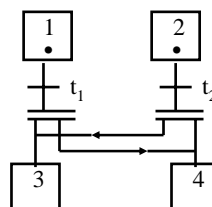
Problema de modelação:

Dadas 4 etapas (1 a 4) e 2 transições (t1 e t2) escrever o troço de GRAFCET que resolva o seguinte problema:

Quando as etapas 1 e 2 estão activas:

- se t1 for verdadeira, activar a etapa 3 (e desactivar as etapas 1 e 2);
- se t2 for verdadeira, activar a etapa 4 (e desactivar as etapas 1 e 2);
- caso contrário tudo se mantém.

GRAFCET

Outro problema de modelação:

Dadas 4 etapas (1 a 4) e 2 transições (t1 e t2) escrever o troço de GRAFCET que resolva o seguinte problema:

quando a etapa 1 está activa e t1 for verdadeira,

ou

quando a etapa 2 está activa e t2 for verdadeira

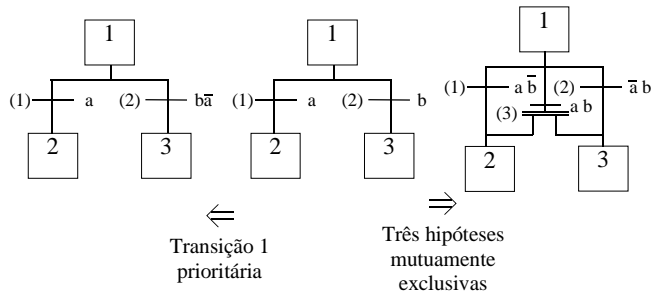
activar as etapas 3 e 4.

GRAFCET

Evolução do estado de um GRAFCET:

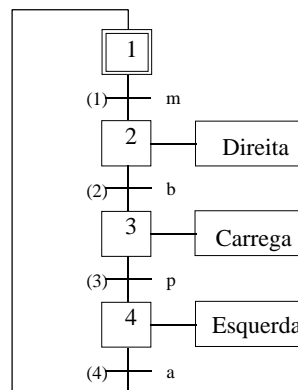
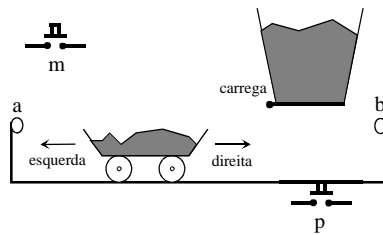
Conflitos:

Existem quando a validação de mais do que uma transição depende de uma mesma etapa ou se várias funções de receptividade podem tornar-se verdadeiras ao mesmo tempo.



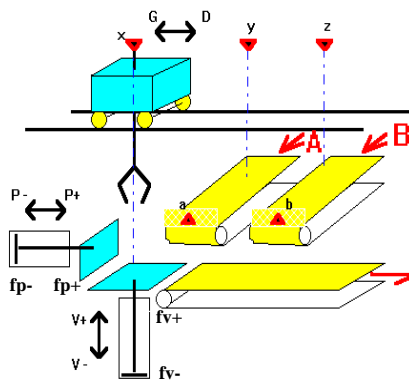
GRAFCET

Exemplo de modelação de um sistema de controlo



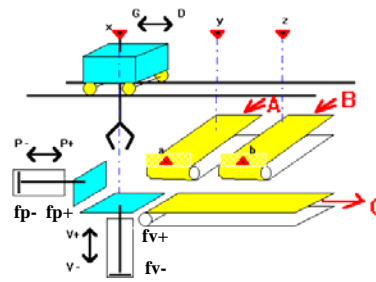
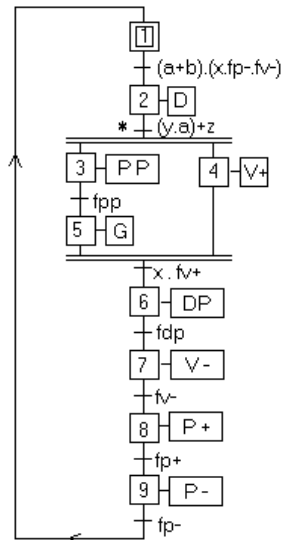
GRAFCET

Exemplo de modelação de um sistema de controlo



- * Tapete A, com sensor a que detecta se existe peça;
- * Tapete B, com sensor b que detecta se existe peça;
- * Manipulador sobre base linear com dois comandos D e G, para a direita e esquerda, respectivamente. Sensores x, y e z que detectam quando este se encontra sobre A base, o tapeta A e o tapeta B, respectivamente.
- * Pinça com comando para agarrar a peça PP, e sensor que detecta o fim de curso (fpp). Para pousar a peça recebe o comando DP e tem dois sensores de fim-de-curso fv+, em cima e fv- em baixo.
- * Efector para empurrar as peças com os comandos P+ e P-, e com dois sensores de fim-de-curso fp+ e fp-.
- * O tapete de saída está sempre em movimento
- * Os tapetes A e B são comandados por automatismos a montante, independentes do trabalho desta célula.

GRAFCET

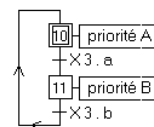


Solução:

Para garantir a alternância de prioridades modificar a condição assinalada por (*) $y.a.(b+X10) + z$

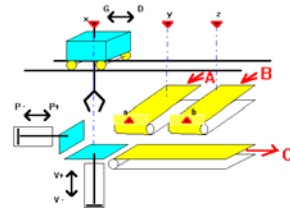
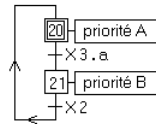
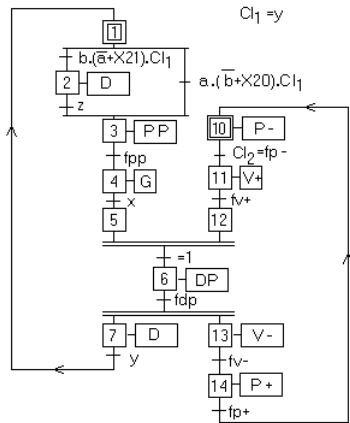
Significado: pegar em peça em y, se existir peça em a e se b não for prioritária; caso contrário continuar, parando em b.

Além disso, para implementar as prioridades juntar o seguinte GRAFCET:



GRAFCET

Solução com melhoramentos:



- a) Após depositar uma peça, procurar a seguinte
- b) Optimizar o local de repouso do manipulador de forma a poupar tempo – solução óbvia y.

GRAFCET

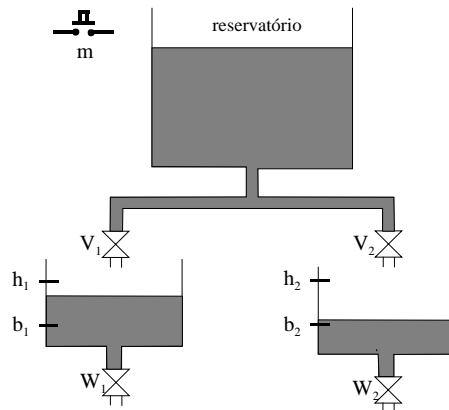
Exemplo de modelação de um sistema de controlo

Sensores:

m
 b_1, h_1, b_2 e h_2

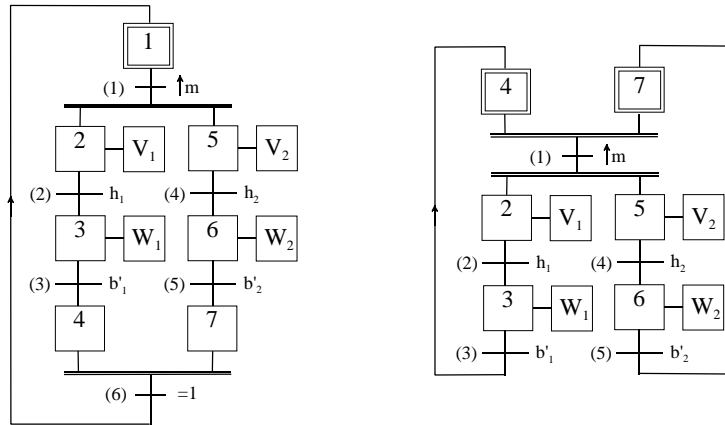
Actuadores:

V_1, V_2, W_1 e W_2



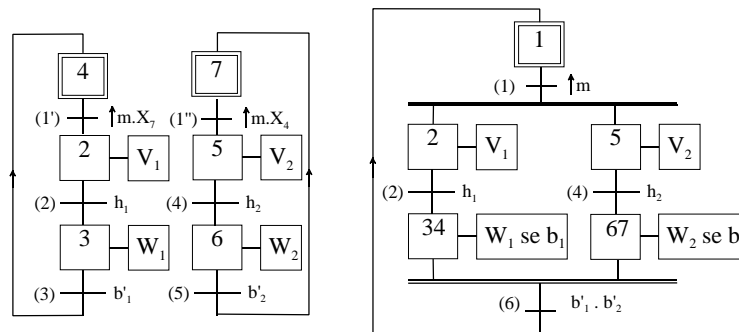
GRAFCET

Exemplo de modelação de um sistema de controlo



GRAFCET

Exemplo de modelação de um sistema de controlo



GRAFCET

Eventos e propriedades

$$\uparrow a = \downarrow a'$$

$$\uparrow a . a = \uparrow a \quad \uparrow a . a' = 0 \quad \downarrow a . a' = \downarrow a \quad \downarrow a . a = 0$$

$$\uparrow a . \uparrow a = \uparrow a \quad \uparrow a . \uparrow a' = 0$$

$$\uparrow(a . b) = \uparrow a . b + \uparrow b . a \quad \uparrow(a + b) = \uparrow a . b' + \uparrow b . a'$$

$$\uparrow(a . b) . \uparrow(a . c) = \uparrow(a . b . c)$$

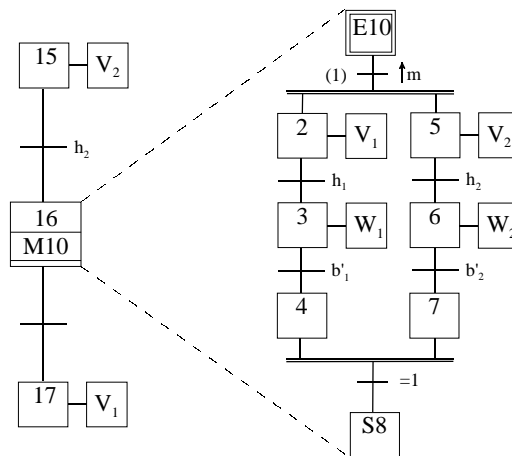
em geral, se os eventos a e b são independentes

$$\uparrow a . \uparrow b = 0$$

GRAFCET

Outros mecanismos auxiliares

Macro-etapas



GRAFCET

Outros mecanismos auxiliares**Pseudo Macro-etapas****Macro Acções**

- Forçar acções
- Trancar acções
- Mascaram acções

GRAFCET

Implementação em DOLOG80

O estado de cada etapa é armazenado numa memória auxiliar.

No arranque fazer: Por resultado de R_k
 AM128 em M100

SLMx

...

AM128

SLMy

(etapas iniciais)

RLM128

AM1

AM2

AM100

SLM3

AM1

AM2

AM100

SLM4

AM3

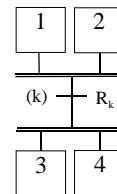
AM4

RLM1

AM3

AM4





RLM2



GRAFCET

Implementação no TSX3722






Etapas

Name	Symbol	Functions
Initial steps ( ou 	symbolize the initial active steps at the beginning of the cycle after initialization or re-start from cold.
Simple steps ( ou 	show that the automatic system is in a stable condition. The maximum number of steps (including the initial steps) can be configured from: <ul style="list-style-type: none"> ● 1 - 96 for a TSX 37-10, ● 1 - 128 for a TSX 37-20, ● 1 - 250 for a TSX 57. The maximum number of active steps at the same time can be configured.






GRAFCET

Implementação no TSX3722

Macro etapas

Name	Symbol	Functions
Macro steps		Symbolize a macro step: a single group of steps and transitions. The maximum number of macro steps can only be configured from 0 - 63 for the TSX 57.
Stage of Macro steps	 ou   ou 	Symbolizes the stages of a macro step. The maximum number of stages for each macro step can be configured from 0 - 250 for the TSX 57. Each macro step includes an IN and OUT step.




GRAFCET

Name	Symbol	Functions
Transitions		allow the transfer from one step to another. A transition condition associated with this condition is used to define the logic conditions necessary to cross this transition. The maximum number of transitions is 1024. It cannot be configured. The maximum number of valid transitions at the same time can be configured.
AND divergences		Transition from one step to several steps: is used to activate a maximum of 11 steps at the same time.
AND convergences		Transition of several steps to one: is used to deactivate a maximum of 11 steps at the same time.
OR divergences		Transition from one step to several steps: is used to carry out a switch to a maximum of 11 steps.
OR convergences		Transition of several steps to one: is used to end switching from a maximum of 11 steps.

GRAFCET

Implementação no TSX3722

Arcos

Name	Symbol	Functions
Source connectors		"n" is the number of the step "it comes from" (source step).
Destination connector		"n" is the number of the step "it's going to" (target step).
Links directed towards: • top • bottom • right or left		These links are used for switching, jumping a step, restarting steps (sequence).

Informação associada com etapas e com o GRAFCET:

Name		Description
Bits associated with the steps (1 = active step)	%Xi	Status of the i step of the main Grafcet (i from 0 - n) (n depends on the processor)
	%XMj	Status of the j macro step (j from 0 - 63 for TSX/PMX/PCX 57)
	%Xj.i	Status of the i step of the j macro step
	%Xj.IN	Status of the input step of the j macro step
	%Xj.OUT	Status of the output step of the j macro step
System bits associated with Grafcet	%S21	Initializes Grafcet
	%S22	Grafcet resets everything to zero
	%S23	Freezes Grafcet
	%S24	Resets macro steps to 0 according to the system words %SW22 - %SW25
	%S25	Set to 1 when: <ul style="list-style-type: none"> • tables overflow (steps/transition), • an incorrect graph is run (destination connector on a step which does not belong to the graph).

Informação associada com etapas e com o GRAFCET (cont.):

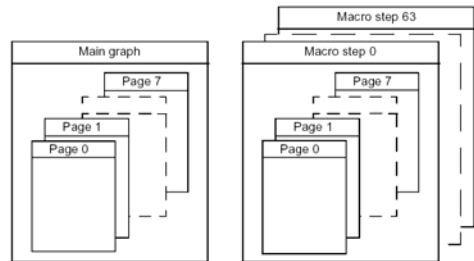
Name		Description
Words associated with steps	%Xi.T	Activity time for main Grafcet step i.
	%Xj.i.T	Activity time for the i step of the j macro step
	%Xj.IN.T	Activity time for the input step of the j macro step
	%Xj.OUT.T	Activity time for the output step of the j macro step
System words associated with Grafcet	%SW20	Word which is used to inform the current cycle of the number of active steps, to be activated and deactivated.
	%SW21	Word which is used to inform the current cycle of the number of valid transitions to be validated or invalidated.
	%SW22 à %SW25	Group of 4 words which are used to indicate the macro steps to be reset to 0 when bit %S24 is set to 1.

E informação associada com transições?

Não faz sentido estado ou actividade.

GRAFCET

General structure:



Características:

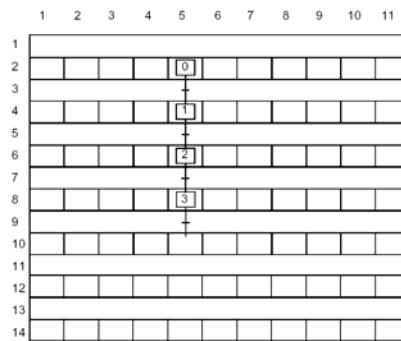
Number	TSX 37 -10		TSX 37 -20		TSX 57	
	Default settings	Maximum	Default settings	Maximum	Default settings	Maximum
Main graph steps	96	96	128	128	128	250
Macro steps	0	0	0	0	8	64
Macro step steps	0	0	0	0	64	250
Step total	96	96	128	128	640	1024
Steps active at the same time	16	96	20	128	40	250
Transitions valid at the same time	20	192	24	256	48	400

GRAFCET

Editor: 8 páginas

- Páginas 0 a 7
- 154 células (14*11)

Características:

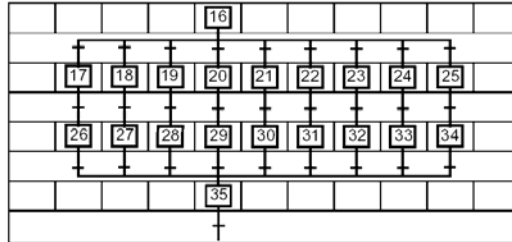


- The first line is used to enter the source connectors.
- The last line is used to enter the destination connectors.
- The even lines (from 2 - 12) are step lines (for destination connector steps),
- The odd lines (from 3 - 13) are transition lines (for transitions and source connectors).
- Each step is located by a different number (0 - 127) in any order.
- Different graphs can be displayed on one page.

GRAFCET

Divergências OU

(e Convergências)



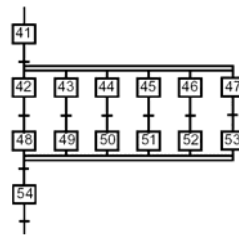
Características:

- The number of transitions upstream of a switching end (OR convergence) or downstream of a switching (OR divergence) must not exceed 11.
- Switching can be to the left or to the right.
- Switching must general finish with switching end.
- To avoid crossing several transitions at the same time, the associated transition conditions must be exclusive.

GRAFCET

Divergências E

(e Convergências)

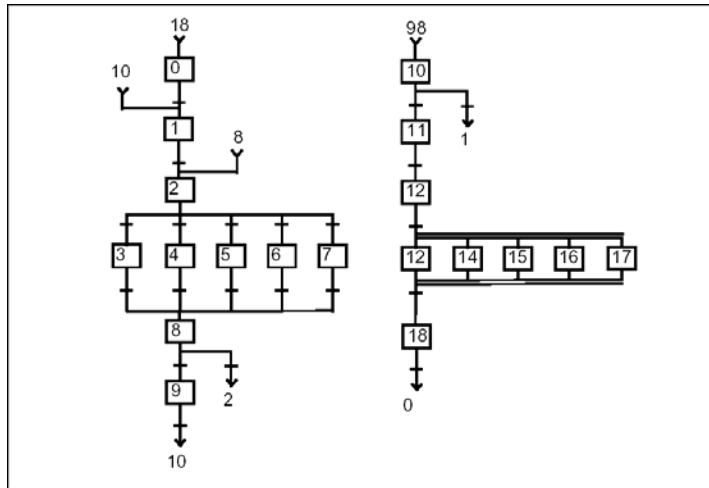


Características:

- The number of steps downstream from a simultaneous activation (AND divergence) or upstream from a simultaneous deactivation (AND convergence) must not exceed 11.
- Simultaneous activation of steps must usually end with a simultaneous deactivation of steps.
- Simultaneous activation is always shown from left to right.
- Simultaneous deactivation is always shown from right to left.

GRAFCET

Conectores



Regras para divergências e convergências:

OU

E

Rule	Illustration
For switching, transitions and destination connectors must be entered on the same page.	Page 1
To end switching, the source connectors must be entered on the same page as the destination step.	Page 2
For an end to switching followed by a return to destination, there must be as many source connectors as steps before the end of switching.	Page 1
	Page 2

Rule	Illustration
To activate steps simultaneously, the destination connectors must be on the same page as the divergence step and transition.	Page 2
	Page 3
To deactivate simultaneously, the convergence steps and transition must be on the same page as the destination connector.	Page 1
When several steps converge onto one transition, the source connector has the number of the furthest upstream step on the left.	Page 2

GRAFCET

Programação de Acções

The PL7 software allows three types of action:

- **actions for activation** : actions carried out once when the step with which they are associated passes from the inactive to the active state.
- **actions for deactivation** : actions carried out once when the step with which they are associated passes from the active to the inactive state.
- **continuous actions** : these actions are carried out for as long as the step with which they are associated is active.

Note: One action can include several programming elements (sequences or contact networks).

These actions are located in the following manner:

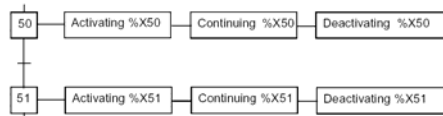
MAST - <Grafcet section name> - CHART (or MACROk)- PAGE n %Xi x
 with
 x = P1 for Activation, x = N1 Continuous, x = P0 Deactivation
 n = Page number
 i = Step number

Example: MAST - Paint - CHART - PAGE 0 %X1 P1 Action for activating step 1 of page 0 of the Paint section

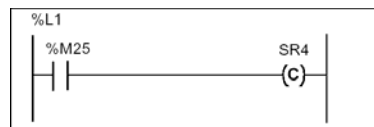
GRAFCET

Programação de Acções

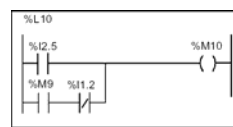
Exemplo de ordenação de execução de acções:



Exemplo de Activação/desactivação:

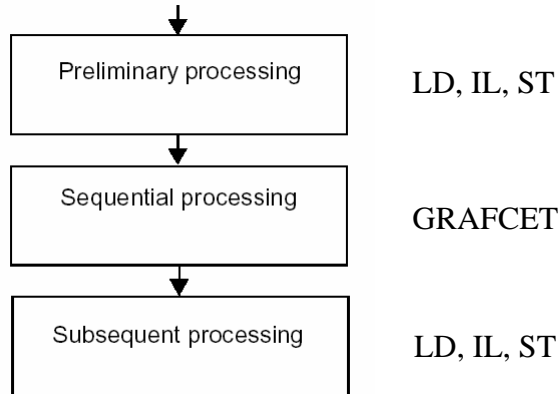


Exemplo de acção em contínuo:



GRAFCET

Estrutura da secção de GRAFCET



GRAFCET

Inicialização da secção de GRAFCET

Initializing the Grafcet is done by the system bit %S21.
Normally set at state 0, setting %S21 to 1 causes:

- active steps to deactivate,
- initial steps to activate.

The following table gives the different possibilities for setting to the system bit %S21 to 1 and 0.

Set to 1	Reset to 0
<ul style="list-style-type: none"> • By setting %S0 to 1 • By the user program • By the terminal (in debugging or animation table) 	<ul style="list-style-type: none"> • By the system at the beginning of the process • By the user program • By the terminal (in debugging or animation table)

GRAFCET

Reset da secção de GRAFCET

The system bit %S22 resets Grafcet to 0.

Normally set at 0, setting %S22 to 1 causes active steps in the whole of the sequential process to deactivate.

Note: The RESET_XIT function used to reinitialize via the program the step activity time of all the steps of the sequential processing. (See (See Reference Manual, Volume 2)).

The following table gives the different possibilities for setting to the system bit %S22 to 1 and 0.

Set to 1	Reset to 0
<ul style="list-style-type: none">• By the user program• By the terminal (in debugging or animation table)	<ul style="list-style-type: none">• By the system at the end of the sequential process