Identification des Procédés

LP Rob&IA

IUT de Béziers

Programme de l'exposé

But de l'identification

associer un modèle mathématique à un procédé.

But de l'identification

associer un modèle mathématique à un procédé.

2 types d'identifications

But de l'identification

associer un modèle mathématique à un procédé.

2 types d'identifications

- les identifications en boucle ouverte (régulateur en manuel), réalisées suite à un échelon de commande Y,

But de l'identification

associer un modèle mathématique à un procédé.

2 types d'identifications

- les identifications en boucle ouverte (régulateur en manuel), réalisées suite à un échelon de commande Y,
- les identifications en boucle fermée (régulateur en auto), réalisées suite à un échelon de consigne W.

Identification 1° et 2° ordre

Identification 1° et 2° ordre

- L'identification d'un premier ordre se fait en déterminant K et τ à partir d'un essai indiciel (cf cours 1° ordre).

Identification 1° et 2° ordre

- L'identification d'un premier ordre se fait en déterminant K et τ à partir d'un essai indiciel (cf cours 1° ordre).
- L'identification d'un second ordre se fait en déterminant K, λ et ω_0 à partir d'un essai indiciel (cf cours 2° ordre).

Modèle de Broïda

$$H(p) = \frac{K.e^{-Tp}}{1+\tau p}$$

Modèle de Broïda

$$H(p) = \frac{K.e^{-Tp}}{1+\tau p}$$

2 temps caractéristiques

- t_1 est déterminé à 28% de la valeur finale de $x(t)$: $x(t_1) = 0,28 \cdot \Delta X$
- t_2 est déterminé à 40% de la valeur finale de $x(t)$: $x(t_2) = 0,4 \cdot \Delta X$

Modèle de Broïda

$$H(p) = \frac{K.e^{-Tp}}{1+\tau p}$$

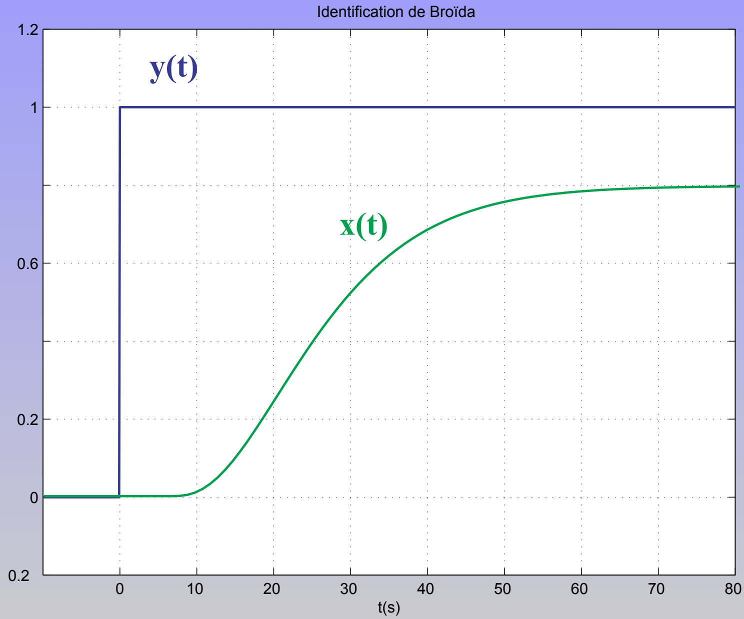
2 temps caractéristiques

- t_1 est déterminé à 28% de la valeur finale de $x(t)$: $x(t_1) = 0,28 \cdot \Delta X$
- t_2 est déterminé à 40% de la valeur finale de $x(t)$: $x(t_2) = 0,4 \cdot \Delta X$

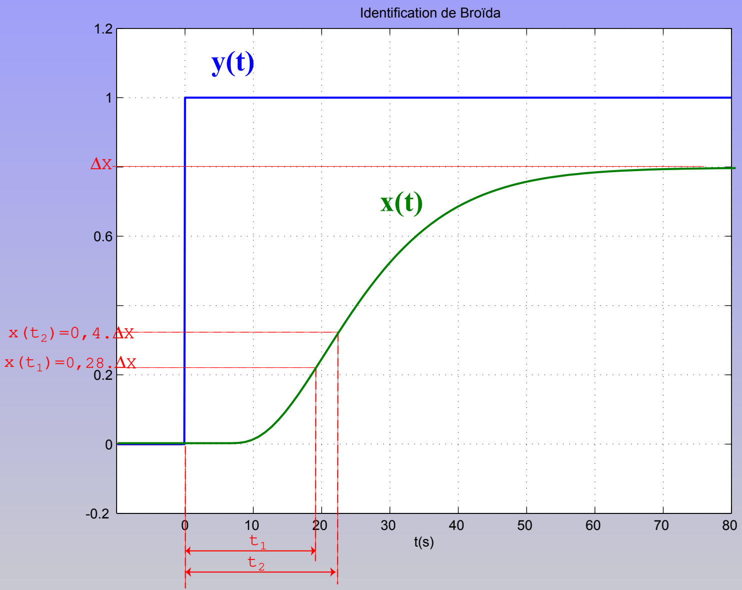
Identification de Broïda

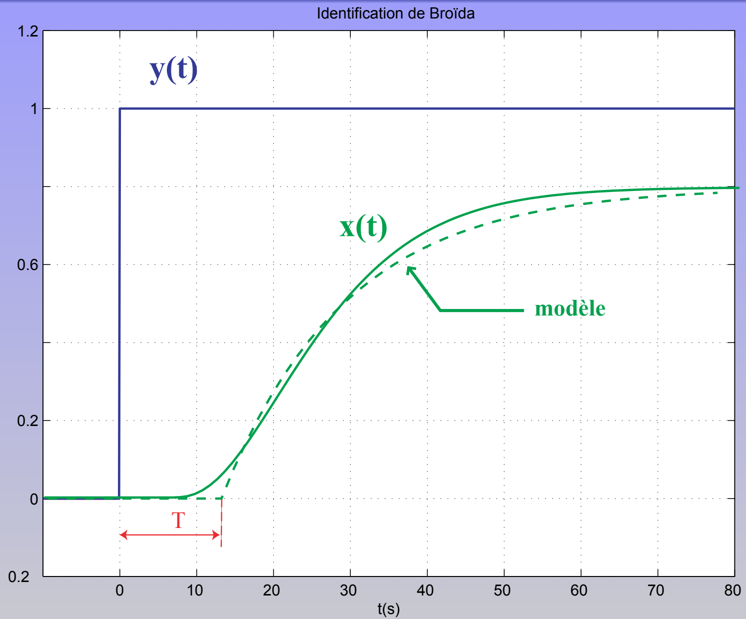
$$\tau = 5,5\,(t_2 - t_1) \qquad ,\text{et} \qquad T = 2,8t_1 - 1,8t_2$$

Demo *Remarque* : Ces formules sont applicables tant que $\frac{T}{\tau} < 0,25$


Identification de Broïda
y(t)
x(t)
1.2
1
0.6
0.2
0
0.2
0
10
20
30
40
50
60
70
80
t(s)

Procédé naturellement stable




Identification de Broïda
y(t)
x(t)
modèle
T
t(s)
1.2
1
0.6
0.2
0
0.2
0
10
20
30
40
50
60
70
80

Exemple

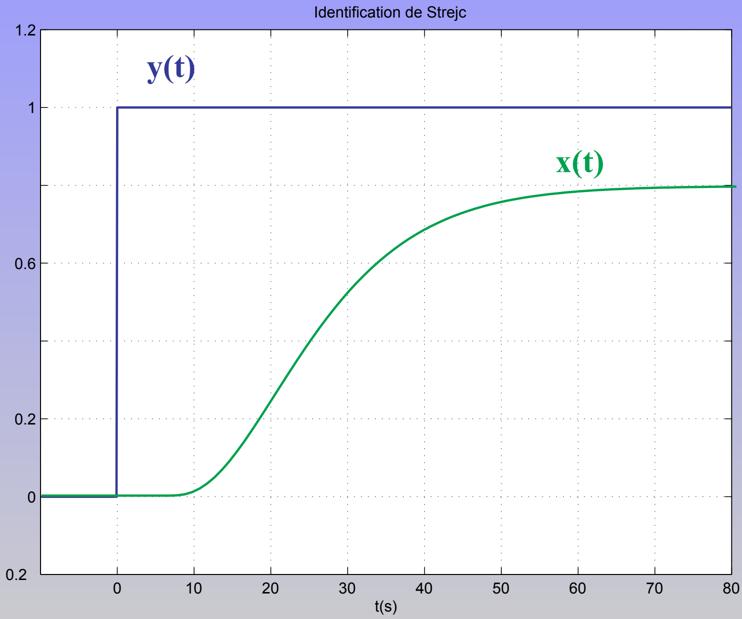
Sur l'essai indiciel précédent on peut mesurer t_1 et t_2 :

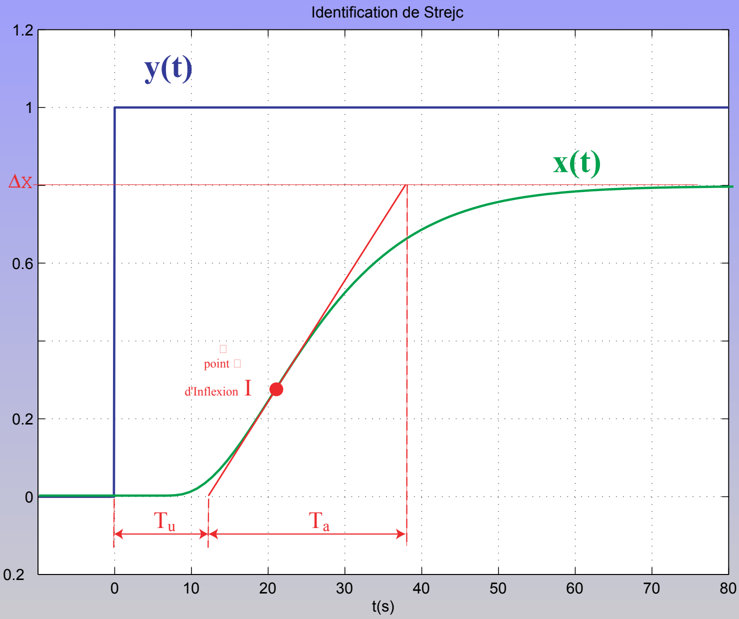
Exemple

Sur l'essai indiciel précédent on peut mesurer t_1 et t_2 : $t_1 = 19s$ et $t_2 = 22s$.
On en déduit τ et T :

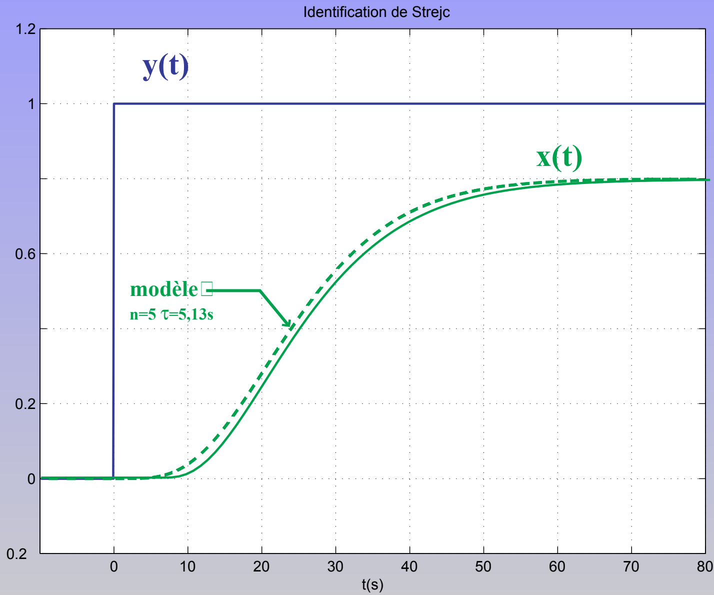
Exemple

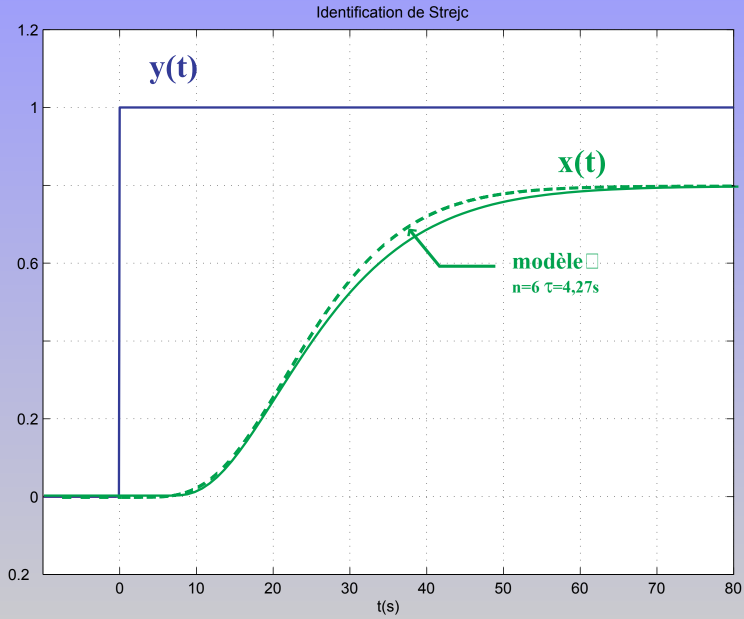
Sur l'essai indiciel précédent on peut mesurer t_1 et t_2 : $t_1 = 19s$ et $t_2 = 22s$. On en déduit τ et T : $\tau = 16,5s$ et $T = 13,6$. On en déduit le modèle de Broïda suivant : $H(p) = \dfrac{0,8.e^{-13,6p}}{1 + 16,5p}$


Identification de Strejc
y(t)
x(t)
1.2
1
0.6
0.2
0
0.2
0
10
20
30
40
50
60
70
80
t(s)


Identification de Strejc
y(t)
x(t)
Δx
point
d'Inflexion I
Tu
Ta
1.2
1
0.6
0.2
0
0.2
0
10
20
30
40
50
60
70
80
t(s)

Procédé naturellement stable




Identification de Strejc
y(t)
x(t)
modèle
n=6 τ=4,27s
1.2
1
0.6
0.2
0
0.2
0
10
20
30
40
50
60
70
80
t(s)

Modèle de Strejc

Modèle utilisé : $H(p) = \dfrac{K}{(1+\tau p)^n}$

Modèle de Strejc

Modèle utilisé : $H(p) = \dfrac{K}{(1+\tau p)^n}$

Identification de Strejc sans temps mort

Les temps caractéristiques Ta et Tu se déterminent à partir de la connaissance du point d'inflexion I de la courbe.

Nomogramme

Modèle de Strejc

Modèle utilisé : $H(p) = \dfrac{K}{(1+\tau p)^n}$

Identification de Strejc sans temps mort

Les temps caractéristiques Ta et Tu se déterminent à partir de la connaissance du point d'inflexion I de la courbe.

Nomogramme

Arrondi de n

n' l'arrondi de n, et τ' à l'aide de la formule $n'\tau' = n\tau$. Nomogramme

Exemple

Sur l'essai indiciel précédent on peut mesurer T_u et T_a :

Exemple

Sur l'essai indiciel précédent on peut mesurer T_u et T_a : $T_u = 12s$ et $T_a = 25,5s$. Grâce au nomogramme, on déduit n :

Exemple

Sur l'essai indiciel précédent on peut mesurer T_u et T_a : $T_u = 12s$ et $T_a = 25,5s$. Grâce au nomogramme, on déduit n : $n = 5,7$ et $\tau = 4,5s$. On ajuste n à sa valeur entière n' :

Exemple

Sur l'essai indiciel précédent on peut mesurer T_u et T_a : $T_u = 12s$ et $T_a = 25,5s$. Grâce au nomogramme, on déduit n : $n = 5,7$ et $\tau = 4,5s$. On ajuste n à sa valeur entière n' : $n' = 5$ et $\tau' = \tau \frac{n}{n'} = 5,13s$, d'où le modèle de Strejc : $H(p) = \dfrac{0,8}{(1+5,13p)^5}$

Exemple

Sur l'essai indiciel précédent on peut mesurer T_u et T_a : $T_u = 12s$ et $T_a = 25,5s$. Grâce au nomogramme, on déduit n : $n = 5,7$ et $\tau = 4,5s$. On ajuste n à sa valeur entière n' : $n' = 5$ et $\tau' = \tau\frac{n}{n'} = 5,13s$, d'où le modèle de Strejc : $H(p) = \dfrac{0,8}{(1+5,13p)^5}$ ou encore $n'' = 6$ et $\tau'' = \tau\frac{n}{n''} = 4,27s$, d'où le modèle de Strejc : $H(p) = \dfrac{0,8}{(1+4,27p)^6}$

Remarques importantes :

- Le point d'inflexion I est le point où la courbure de $x(t)$ s'inverse. En ce point, la tangente traverse la courbe.

Remarques importantes :

- Le point d'inflexion I est le point où la courbure de $x(t)$ s'inverse. En ce point, la tangente traverse la courbe.
- Les durées Tu et Ta se mesurent *à la suite l'une de l'autre* (contrairement à t_1 et t_2 qui se mesurent tous deux à partir de $t = 0s$ dans l'identification de Broïda).

Identification 1° ordre

L'identification d'un 1° ordre intégrateur se fait en déterminant le gain dynamique k (cf cours 1° ordre).

Modèle de Broïda intégrateur

$$H(p) = \frac{k.e^{-Tp}}{p}$$

, où T est le temps mort, et k est le gain dynamique en s^{-1}.

Modèle de Broïda intégrateur

$$H(p) = \frac{k.e^{-Tp}}{p}$$

, où T est le temps mort, et k est le gain dynamique en s^{-1}.

Identification de Broïda intégrateur

Sur la réponse indicielle, on trace un l'asymptote quand $t \to \infty$. La pente de l'asymptote vaut $k \cdot \Delta y$ et elle coupe l'axe des abscisses à $t = T$.

Exemple

L'essai ci-contre donne a, T :

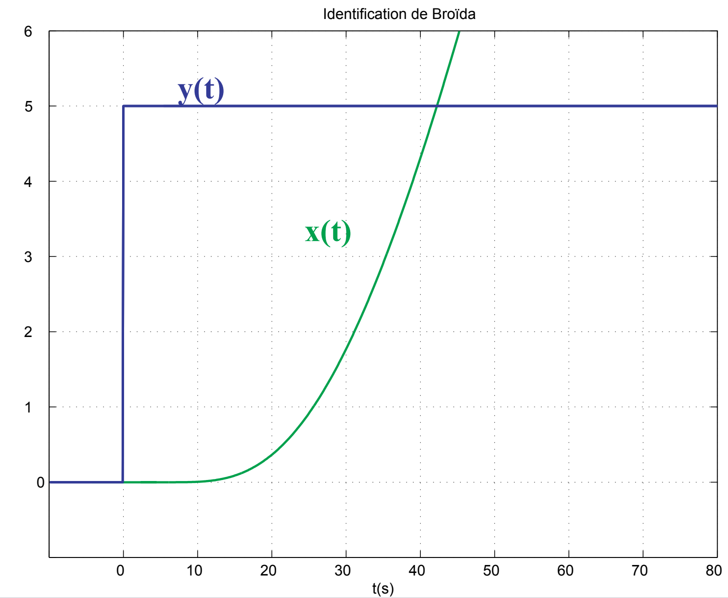
Exemple

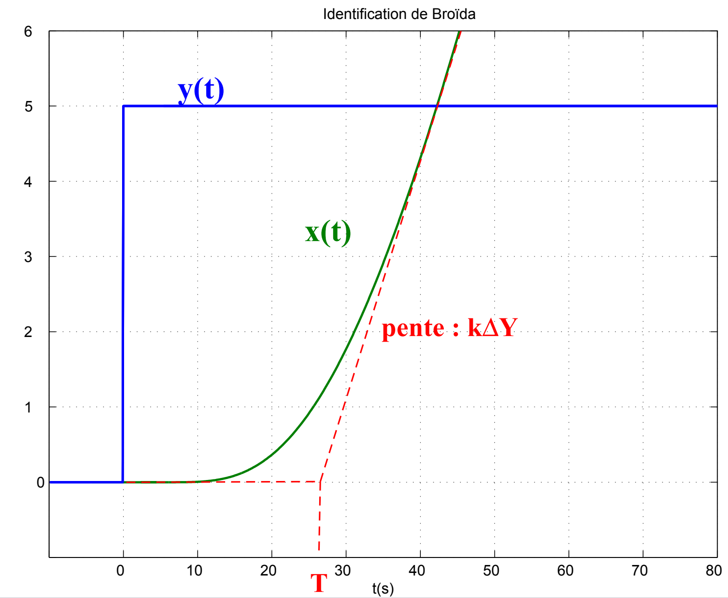
L'essai ci-contre donne a, T : $a = 0,32, T = 26,5s$, donc

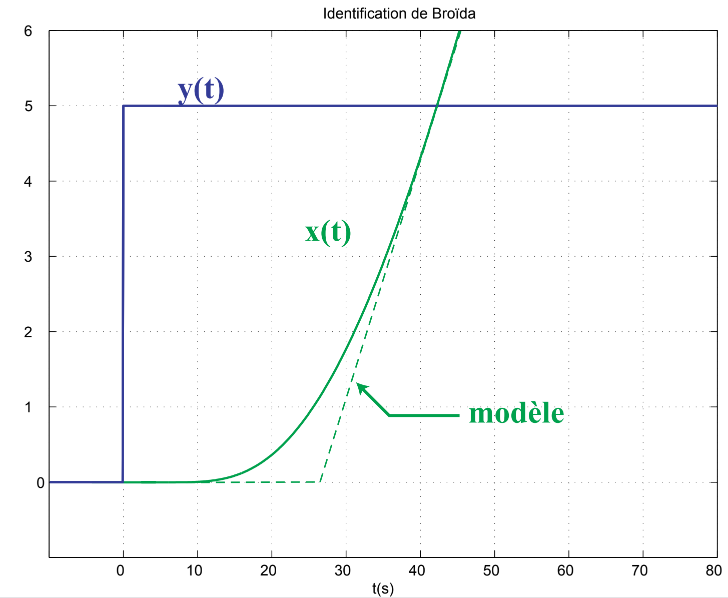
Exemple

L'essai ci-contre donne a, T : $a = 0,32, T = 26,5s$, donc $k = 0,064s^{-1}$ et
$H(p) = \dfrac{0,064.e^{-26.5p}}{p}$

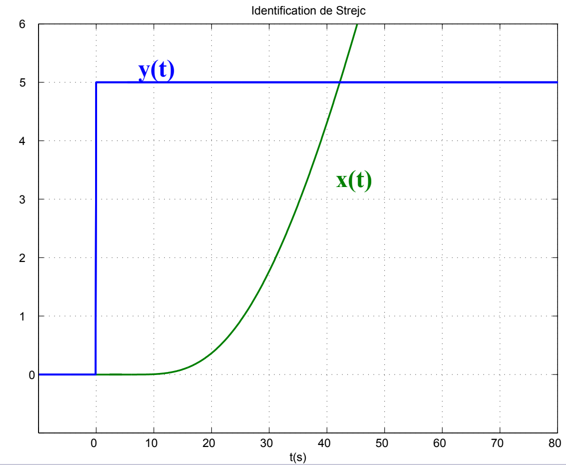
Procédé naturellement instable

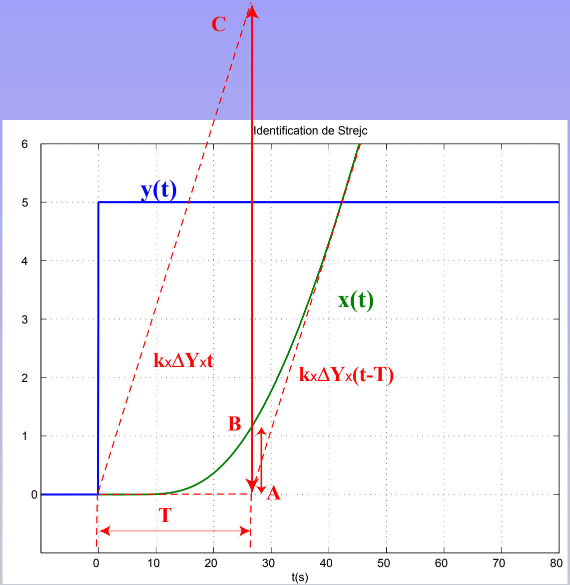


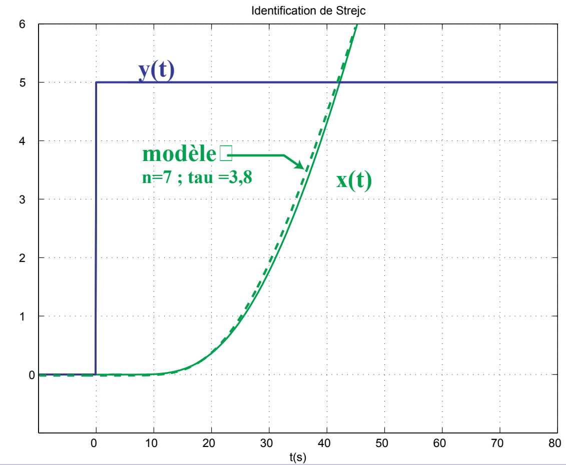

Identification de Broïda
y(t)
x(t)
pente : kΔY
T
t(s)
6
5
4
3
2
1
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80


Identification de Broïda
y(t)
x(t)
modèle
t(s)
6
5
4
3
2
1
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80

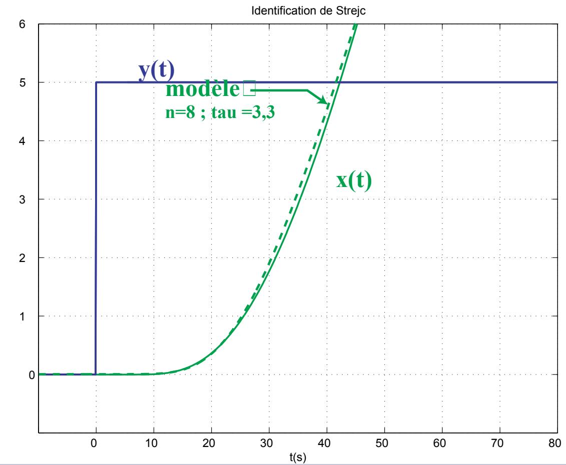
Procédé naturellement instable




Identification de Strejc
y(t)
x(t)
C
kxΔYxt
kxΔYx(t-T)
B
A
T
t(s)
0
1
2
3
4
5
6
0
10
20
30
40
50
60
70
80


Identification de Strejc
y(t)
modèle
n=7 ; tau =3,8
x(t)
t(s)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
0
1
2
3
4
5
6

Procédé naturellement instable



Modèle de Strejc intégrateur

$$H(p) = \frac{k}{p(1+\tau p)^n}$$

Modèle de Strejc intégrateur

$$H(p) = \frac{k}{p(1+\tau p)^n}$$

Identification de Strejc intégrateur

On détermine les segments de droite $[AB]$ et $[AC]$. un nomogramme permet de déterminer la valeur de l'ordre n. La valeur de la constante de temps τ se déduit en conservant le produit $n\tau = T$. Nomogramme

Remarques importantes :

- n se détermine à partir de AB/AC et pas à partir de AB/BC.

Remarques importantes :

- n se détermine à partir de AB/AC et pas à partir de AB/BC.
- On arrondira n à sa valeur entière en prenant garde de conserver le produit $n\tau$ constant.

Exemple

Sur l'essai indiciel, on mesure AB et AC :

Exemple

Sur l'essai indiciel, on mesure AB et AC : $AB = 1,2\%$ et $AC = 8,4\%$ soit $AB/AC = 0,143$. Le nomogramme donne

Exemple

Sur l'essai indiciel, on mesure AB et AC : $AB = 1,2\%$ et $AC = 8,4\%$ soit $AB/AC = 0,143$. Le nomogramme donne $n = 7,8$. Or, $T = 26,5s$ donc $\tau = 26,5/7,8 = 3,4s$. Mais pour disposer d'une valeur entière de n, on prendra

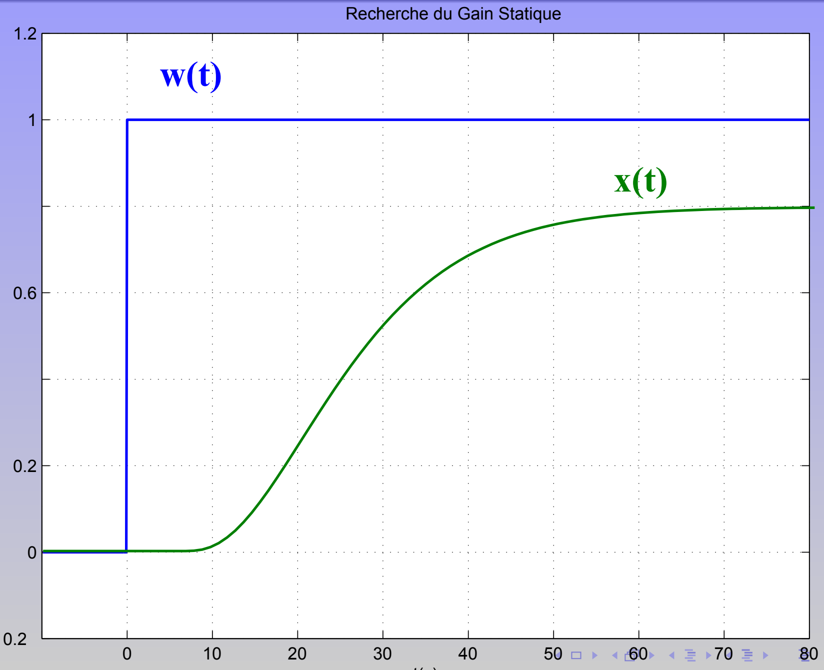
Exemple

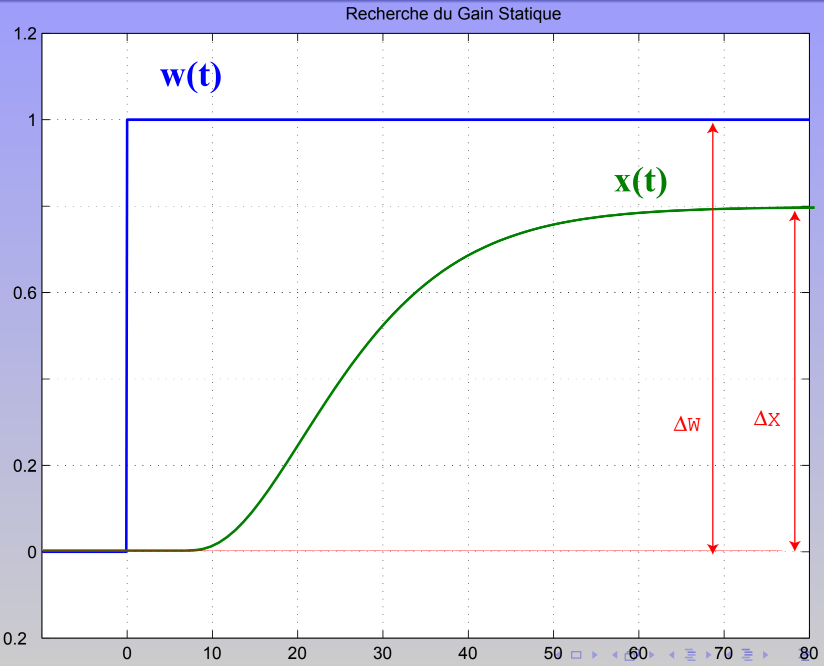
Sur l'essai indiciel, on mesure AB et AC : $AB = 1,2\%$ et $AC = 8,4\%$ soit $AB/AC = 0,143$. Le nomogramme donne $n = 7,8$. Or, $T = 26,5s$ donc $\tau = 26,5/7,8 = 3,4s$. Mais pour disposer d'une valeur entière de n, on prendra $n' = 7$ et $\tau' = 3,8s$. Donc au final, la fonction de transfert $H(p)$ vaut :

$$H(p) = \frac{0,064}{p(1+3,8p)^7}$$

Exemple

Sur l'essai indiciel, on mesure AB et AC : $AB = 1,2\%$ et $AC = 8,4\%$ soit $AB/AC = 0,143$. Le nomogramme donne $n = 7,8$. Or, $T = 26,5s$ donc $\tau = 26,5/7,8 = 3,4s$. Mais pour disposer d'une valeur entière de n, on prendra $n' = 7$ et $\tau' = 3,8s$. Donc au final, la fonction de transfert $H(p)$ vaut :
$H(p) = \dfrac{0,064}{p(1+3,8p)^7}$ ou $n'' = 8$ et $\tau'' = 3,3s$; $H(p) = \dfrac{0,064}{p(1+3,3p)^8}$


Recherche du Gain Statique
w(t)
x(t)
1.2
1
0.6
0.2
0
0.2
0
10
20
30
40
50
60
70
80


Recherche du Gain Statique
w(t)
x(t)
ΔW
ΔX
1.2
1
0.6
0.2
0
0.2
0
10
20
30
40
50
60
70
80

Identification Broïda stable en BF

Identification Broïda stable en BF

1. régulateur en mode auto gain du régulateur $A = 1$.

Identification Broïda stable en BF

1. régulateur en mode auto gain du régulateur $A = 1$.
2. échelon sur la consigne W .

Identification Broïda stable en BF

1. régulateur en mode auto gain du régulateur $A = 1$.
2. échelon sur la consigne W .
3. gain statique du procédé :

$$K = \frac{\Delta X}{\Delta W - \Delta X}$$

Identification Broïda stable en BF

1. régulateur en mode auto gain du régulateur $A = 1$.
2. échelon sur la consigne W .
3. gain statique du procédé :

$$K = \frac{\Delta X}{\Delta W - \Delta X}$$

4. On augmente progressivement le gain A du régulateur jusqu'à des oscillations régulières de pèriode T_{osc}

Identification Broïda stable en BF

1. régulateur en mode auto gain du régulateur $A = 1$.
2. échelon sur la consigne W .
3. gain statique du procédé :

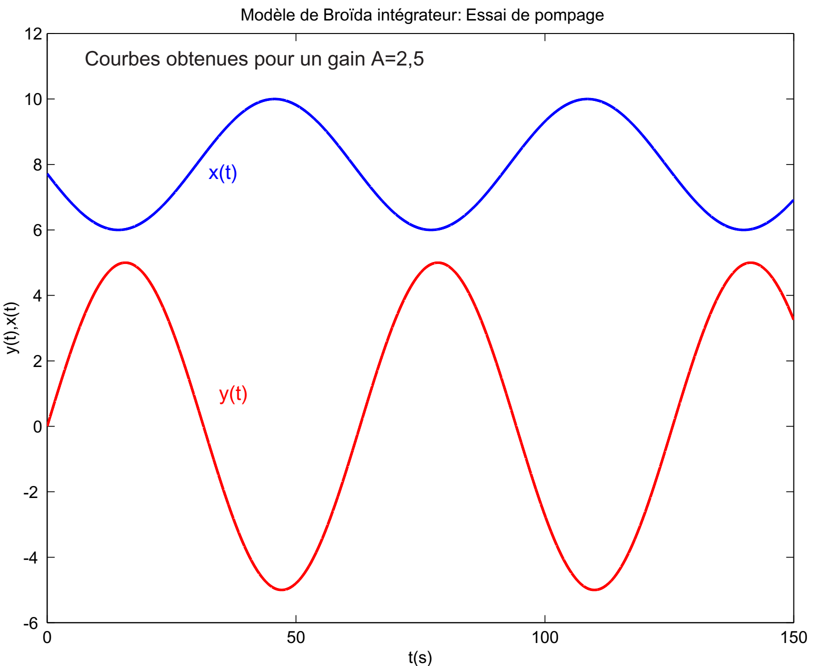
$$K = \frac{\Delta X}{\Delta W - \Delta X}$$

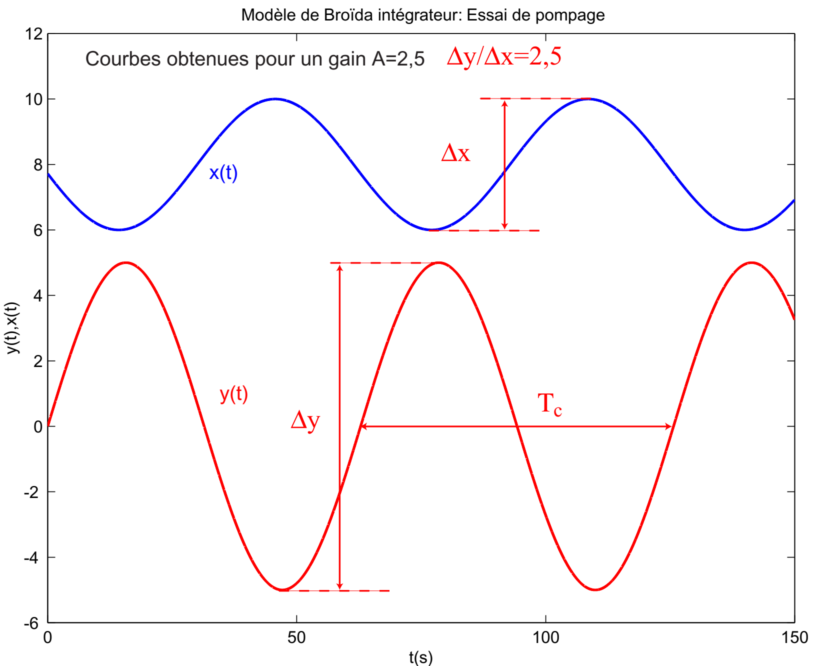
4. On augmente progressivement le gain A du régulateur jusqu'à des oscillations régulières de pèriode T_{osc}
5. équations :

$$\tau = \frac{T_{osc}}{2\pi}\sqrt{(K \cdot A_c)^2 - 1}$$

et,

$$T = \frac{T_{osc}}{2}\left(1 - \frac{\arctan\sqrt{(K \cdot A_c)^2 - 1}}{\pi}\right)$$


Modèle de Broïda intégrateur: Essai de pompage
Courbes obtenues pour un gain A=2,5
x(t)
y(t)
y(t),x(t)
t(s)
12
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
0
50
100
150


Modèle de Broïda intégrateur: Essai de pompage
Courbes obtenues pour un gain A=2,5
Δy/Δx=2,5
Δx
x(t)
y(t)
Δy
Tc
y(t),x(t)
t(s)
12
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
0
50
100
150

Identification Broïda intégrateur en BF

Identification Broïda intégrateur en BF

1. régulateur en mode auto, gain du correcteur proche de l'unité.

Identification Broïda intégrateur en BF

1. régulateur en mode auto, gain du correcteur proche de l'unité.
2. petit échelon sur la consigne W .

Identification Broïda intégrateur en BF

1. régulateur en mode auto, gain du correcteur proche de l'unité.
2. petit échelon sur la consigne W.
3. On augmente progressivement le gain A du régulateur jusqu'à des oscillations régulières de pèriode T_{osc}

Identification Broïda intégrateur en BF

1. régulateur en mode auto, gain du correcteur proche de l'unité.
2. petit échelon sur la consigne W .
3. On augmente progressivement le gain A du régulateur jusqu'à des oscillations régulières de pèriode T_{osc}
4. équations :

$$k = \frac{2\pi}{A_c \cdot T_{osc}}$$

et,

$$T = \frac{T_{osc}}{4}$$

Demo

Exemple

L'échelon de consigne ci-contre aboutit aux oscillations entretenues de X et de Y suivantes. Le gain dynamique vaut k :

Exemple

L'échelon de consigne ci-contre aboutit aux oscillations entretenues de X et de Y suivantes. Le gain dynamique vaut k : $k = \frac{6{,}28}{2{,}5 \cdot 63} = 0,04 s^{-1}$. Le temps mort vaut T :

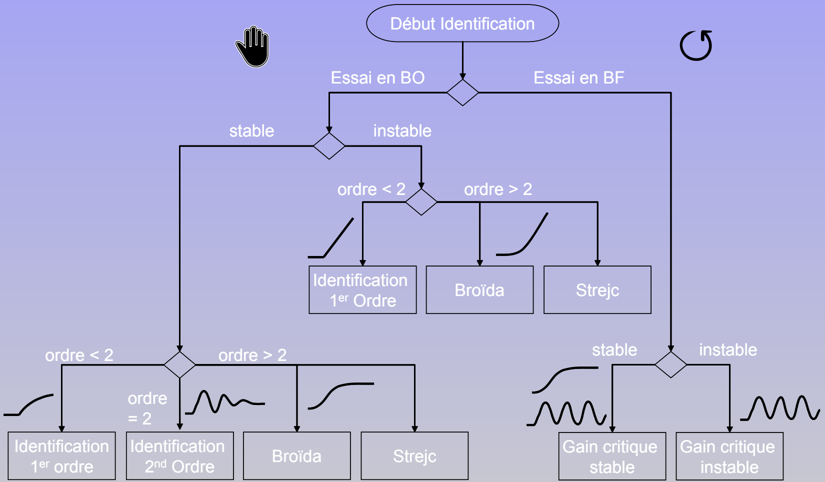
Exemple

L'échelon de consigne ci-contre aboutit aux oscillations entretenues de X et de Y suivantes. Le gain dynamique vaut k : $k = \frac{6{,}28}{2{,}5 \cdot 63} = 0,04s^{-1}$. Le temps mort vaut T : $T = \frac{63}{4} = 15,7s$.

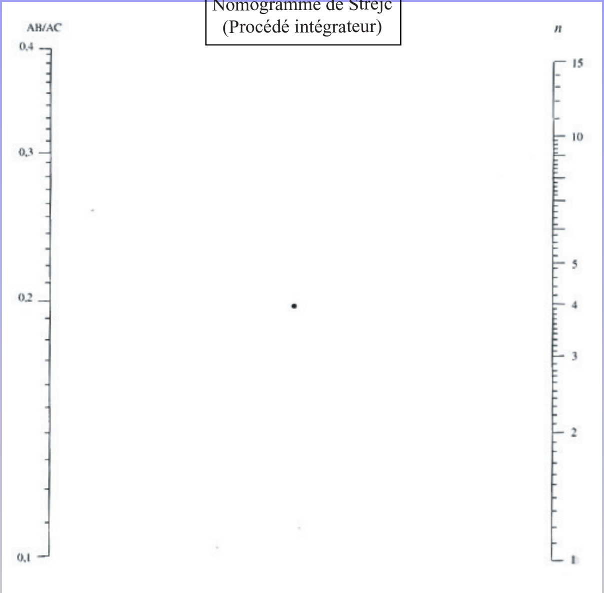
Exemple

L'échelon de consigne ci-contre aboutit aux oscillations entretenues de X et de Y suivantes. Le gain dynamique vaut k : $k = \frac{6,28}{2,5 \cdot 63} = 0,04s^{-1}$. Le temps mort vaut T : $T = \frac{63}{4} = 15,7s$. $H(p) = \dfrac{0,04 \cdot e^{-15,7p}}{p}$

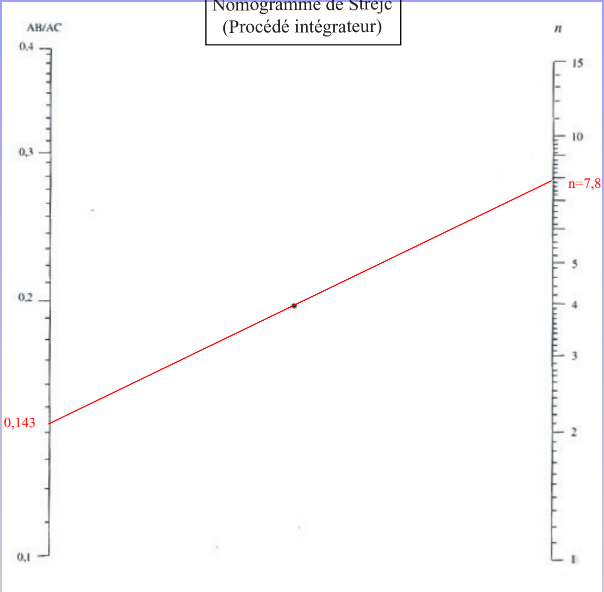
Synthèse

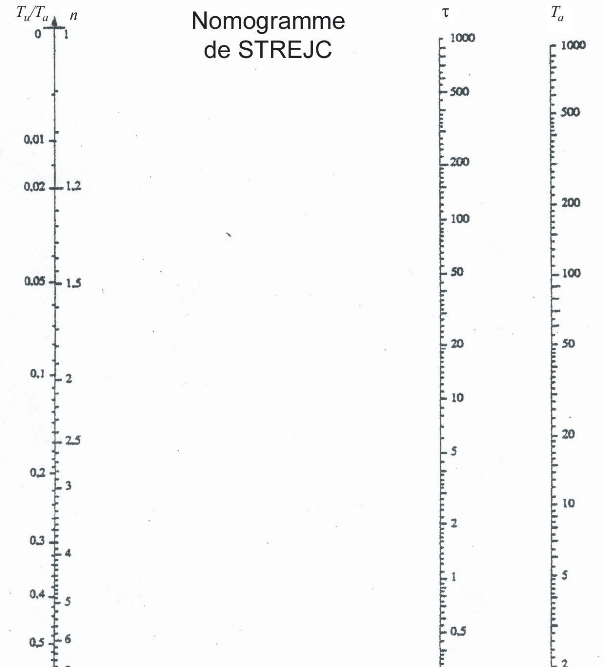

Début Identification
Essai en BO
Essai en BF
stable
instable
ordre < 2
ordre > 2
Identification 1er Ordre
Broïda
Strejc
ordre < 2
ordre = 2
ordre > 2
Identification 1er ordre
Identification 2nd Ordre
Broïda
Strejc
stable
instable
Gain critique stable
Gain critique instable

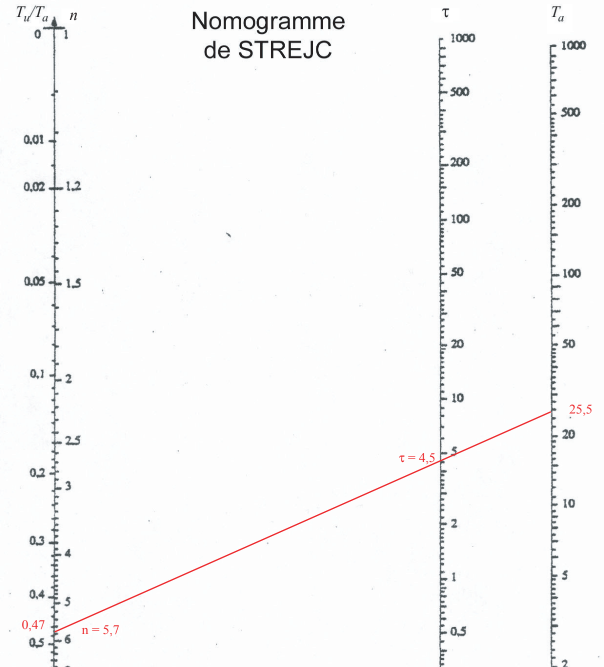
Nomogramme de Strejc (Procédé intégrateur)



Nomogramme de Strejc
(Procédé intégrateur)




Nomogramme
de STREJC
T_u/T_a
n
τ
T_a
0
1
0,01
0,02
1,2
0,05
1,5
0,1
2
2,5
0,2
3
0,3
4
0,4
5
0,5
6
1000
500
200
100
50
20
10
5
2
1
0,5


Nomogramme
de STREJC
T_u/T_a
n
τ
T_a
$\tau = 4{,}5$
25,5
0,47
n = 5,7

Pour le point A :

$$0,28 = 1 - e^{-\frac{t_1 - T}{\tau}}$$
$$0,72 = e^{-\frac{t_1 - T}{\tau}}$$
$$-\frac{t_1 - T}{\tau} = Ln(0,72) = -0,3285$$
$$t_1 = 0,3285 \cdot \tau + T \qquad (1)$$

Pour le point B :

$$0,4 = 1 - e^{-\frac{t_2 - T}{\tau}}$$
$$0,6 = e^{-\frac{t_2 - T}{\tau}}$$
$$-\frac{t_2 - T}{\tau} = Ln(0,6) = -0,5108$$
$$t_2 = 0,5108 \cdot \tau + T \qquad (2)$$

Détermination de τ

$$2 - 1 \Rightarrow t_2 - t_1 = 0,1823 \cdot \tau$$
$$\text{Soit} \qquad \tau = 5,485(t_2 - t_1) \approx 5,5(t_2 - t_1) \qquad (3)$$

Détermination de T 3dans 3

$$\Rightarrow t_2 = 0,5108(5,485(t_2 - t_1)) + T$$
$$\Rightarrow t_2 = 2,801 \cdot t_2 - 2,801 \cdot t_1 + T$$
$$\text{Soit} \qquad T = 2,8 \cdot t_1 - 1,8 \cdot t_2 \qquad (4)$$

Au point ou apparaîssent les oscillations entretenus, dit pompage limite, le gain de la fonction de transfert en boucle ouverte (FTBO) vaut 1 et sa phase vaut $-\pi$. Si le gain critique entraînant le pompage vaut Ac et que la fonction de transfert du procédé intégrateur vaut $H(p) = \frac{k \cdot e^{-Tp}}{p}$, alors

$$Ac \cdot \frac{k}{\omega_c} = 1 \qquad \text{,donc} \qquad k = \frac{\omega_c}{Ac}$$

, avec

$$\omega_c = \frac{2\pi}{T_{osc}}$$

, donc

$$k = \frac{2\pi}{T_{osc} \cdot Ac}$$

, d'autre part,

$$-T\omega_c - \frac{\pi}{2} = -\pi \qquad \text{,donc} \qquad T = \frac{\pi}{2\omega_c}$$

, avec

$$\omega_c = \frac{2\pi}{T_{osc}}$$

, donc

$$T = \frac{T_{osc}}{4}$$