

R217	2 : Etude des procédés	CRSn° 4
Rep : §B. Ouverte	Identification des procédés	Page 0/5

Programme de l'exposé

Table des matières

1	Introduction	1
2	Identification en boucle ouverte	1
2.1	Procédé naturellement stable	1
2.1.1	Procédé du premier ou second ordre	1
2.1.2	Procédé du $n^{\text{ième}}$ ordre	1
2.2	Procédé naturellement instable	2
2.2.1	Procédé du premier ordre	2
2.2.2	Procédé du $n^{\text{ième}}$ ordre	2
3	Identification en boucle fermée	2
3.1	Procédé naturellement stable	3
3.2	Procédé naturellement instable	3
4	Synthèse	4
5	Nomogrammes	5
6	Annexe n° 1 : Démonstration de l'identification de Broïda	6
7	Annexe n° 2 : Démonstration de la valeur du gain critique	6

R217	2 : Etude des procédés Identification des procédés	CRSn° 4 Page 1/5
Rep : §B. Ouverte		

1 Introduction

L'identification consiste à associer un modèle mathématique à un procédé. Ce modèle est choisi à partir d'essais, de façon à rendre compte le plus fidèlement possible du comportement du procédé. On distingue :

- 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 .

2 Identification en boucle ouverte

2.1 Procédé naturellement stable

2.1.1 Procédé du premier ou second ordre

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

2.1.2 Procédé du $n^{ième}$ ordre

La réponse indicelle d'un procédé du $n^{ième}$ ordre présente une tangente non nulle au décollage de la courbe (courbe en S). Une identification du 1^o ordre n'est pas adaptée. On utilisera soit une identification de Broïda, soit une identification de Strejc.

Identification de Broïda : modèle utilisé :

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

L'identification de Broïda permet de calculer les paramètres T et τ du modèle à partir de deux temps caractéristiques de la courbe.

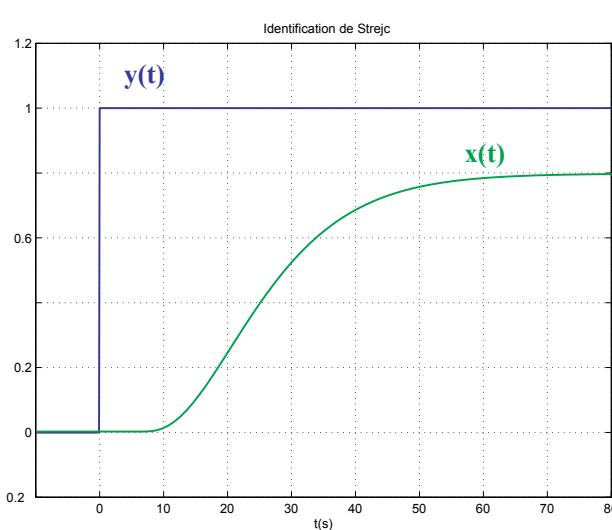
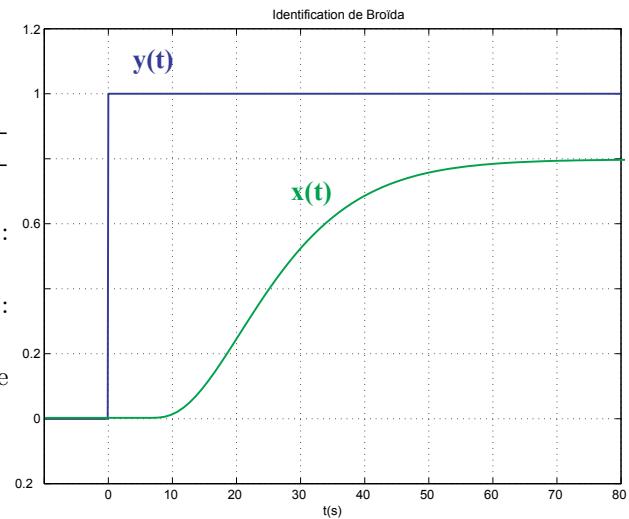
- t_1 est déterminé à 28% de la valeur finale de $x(t)$:
 $x(t_1) = 0,28 \cdot \Delta X$
- t_2 est déterminé à 40% de la valeur finale de $x(t)$:
 $x(t_2) = 0,4 \cdot \Delta X$

Le temps mort T et la constante de temps τ du modèle se déduisent de t_1 et t_2 grâce aux équations suivantes :

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

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

Exemple :



Identification de Strejc sans temps mort :

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

Les temps caractéristiques T_a et T_u se déterminent à partir de la connaissance du point d'inflexion I de la courbe. A partir de T_a et T_u , un *nomogramme* (cf. 5) permet de calculer la valeur de n et de τ .

La valeur obtenue pour n à partir du nomogramme est fractionnaire. Pour pallier cela, on retient comme ordre du modèle n' l'arrondi de n , et on ajuste la valeur de la constante de temps τ à τ' à l'aide de la formule $n'\tau' = n\tau$. Compte tenu de ces remarques, la forme exacte du modèle que l'on obtient est : $H(p) = \frac{K}{(1 + \tau' p)^{n'}}$

Exemple :

R217	2 : Etude des procédés Identification des procédés	CRSn° 4 Page 2/5
Rep : §B. Ouverte		

Remarques importantes :

- Le point d'infexion 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).

2.2 Procédé naturellement instable

2.2.1 Procédé du premier ordre

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

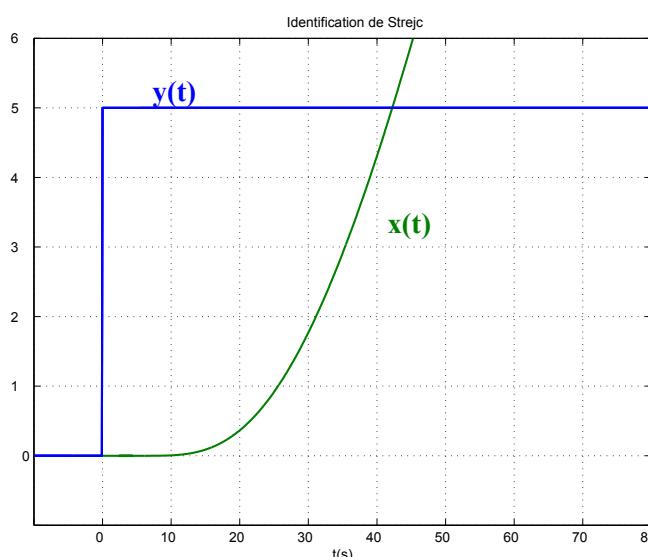
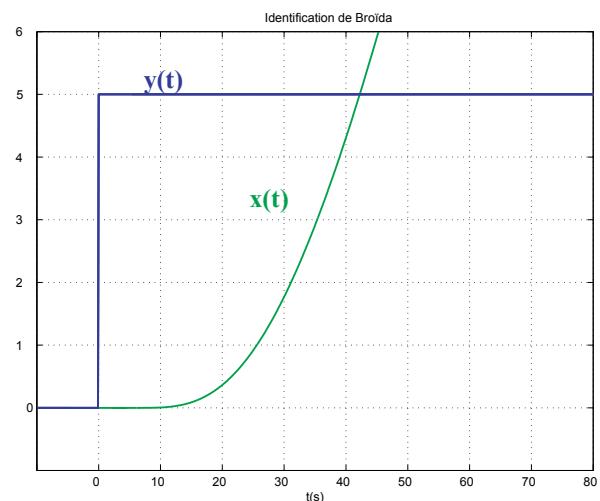
2.2.2 Procédé du $n^{ième}$ ordre

Identification de Broïda intégrateur : Modèle utilisé :

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

, où T est le temps mort, et k est le gain dynamique en s^{-1} . Sur la réponse indicielle, on trace un l'asymptote quand $t \rightarrow \infty$. La pente de l'asymptote vaut $k \cdot \Delta y$ et elle coupe l'axe des abscisses à $t = T$.

Exemple :



Identification de Strejc intégrateur : modèle utilisé :

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

Sur la réponse indicielle, on trace l'asymptote quand $t \rightarrow \infty$, et la droite parallèle à l'asymptote qui passe par le point où est appliquée l'échelon (à $t = 0s$). On détermine alors les segments de droite $[AB]$ et $[AC]$. A partir de la longueur de ces segments, un nomogramme (cf. 5) permet de déterminer la valeur de l'ordre n . La valeur de la constante de temps τ se déduit en conservant le produit $n\tau = T$ où T est le temps où l'asymptote coupe l'axe des abscisses.

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.

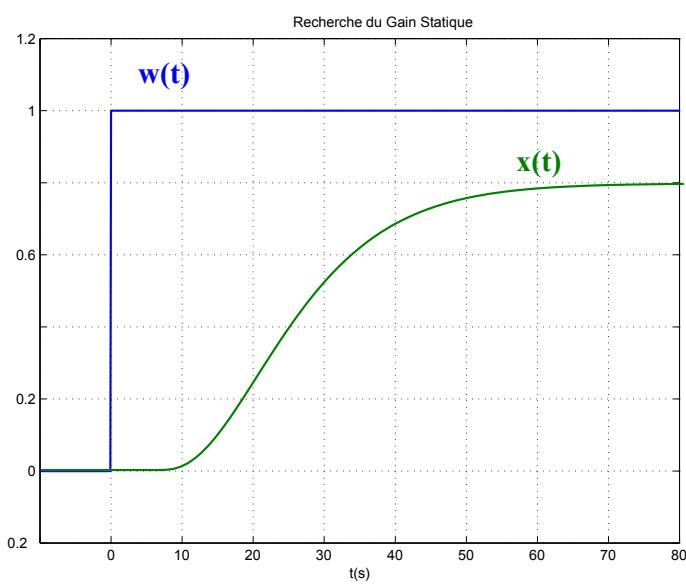
Exemple :

3 Identification en boucle fermée

Dans de nombreux cas industriels, l'identification en boucle ouverte est risquée, voire impossible pour des raisons de sécurité. C'est notamment le cas pour de nombreux procédés intégrateurs. Une solution consiste à réaliser l'identification en boucle fermée, le régulateur restant en automatique.

R217	2 : Etude des procédés Identification des procédés	CRSn° 4 Page 3/5
Rep : §B. Ouverte		

3.1 Procédé naturellement stable



- Le régulateur étant en mode auto, on désactive les actions intégrales et dérivées pour ne conserver que l'action proportionnelle. Le gain du régulateur est réglé à une valeur $A = 1$.

- Un échelon est pratiqué sur la consigne W du régulateur.

- Suite à cet essai, on détermine le gain statique du procédé avec la formule :

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

- On augmente progressivement le gain A du régulateur jusqu'à ce que la mesure X présente des oscillations régulières de période T_{osc} . Le gain permettant d'obtenir ces oscillations est appelé A_c , gain critique.

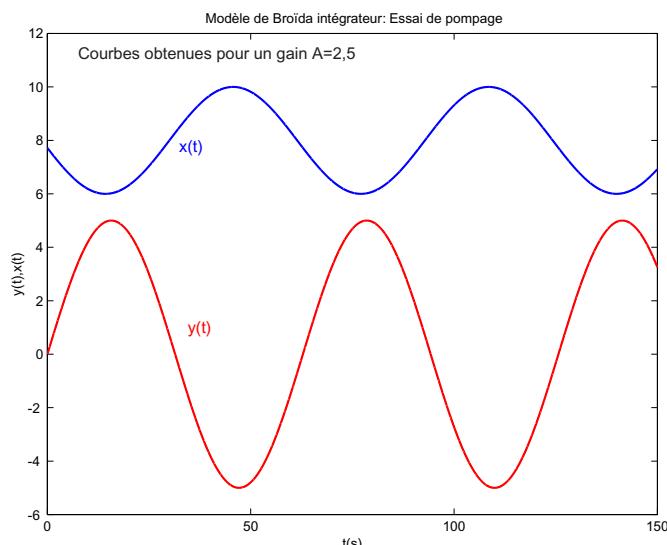
- On déduit les paramètres du modèle de Broïda à partir des équations :

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

et,

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

3.2 Procédé naturellement instable



- Le régulateur étant en mode auto, on désactive les actions intégrales et dérivées pour ne conserver que l'action proportionnelle. Le gain du correcteur est réglé à une valeur faible, proche de l'unité.

- Un petit échelon est pratiqué sur la consigne W du régulateur.

- On augmente progressivement le gain A du régulateur jusqu'à ce que la mesure X présente des oscillations régulières de période T_{osc} . Le gain permettant d'obtenir ces oscillations est appelé A_c , gain critique.

- On déduit les paramètres du modèle de Broïda à partir des équations :

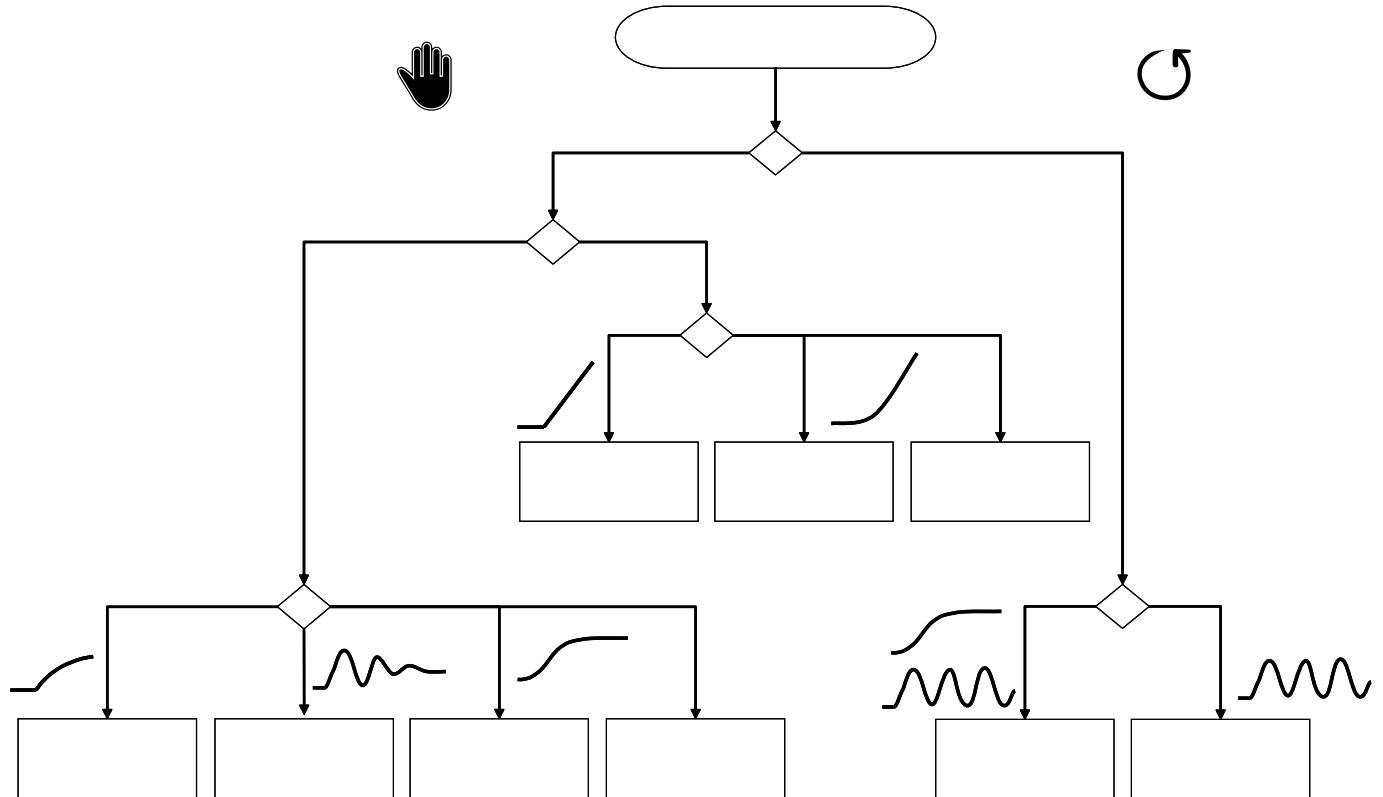
$$k = \frac{2\pi}{A_c \cdot T_{osc}}$$

et,

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

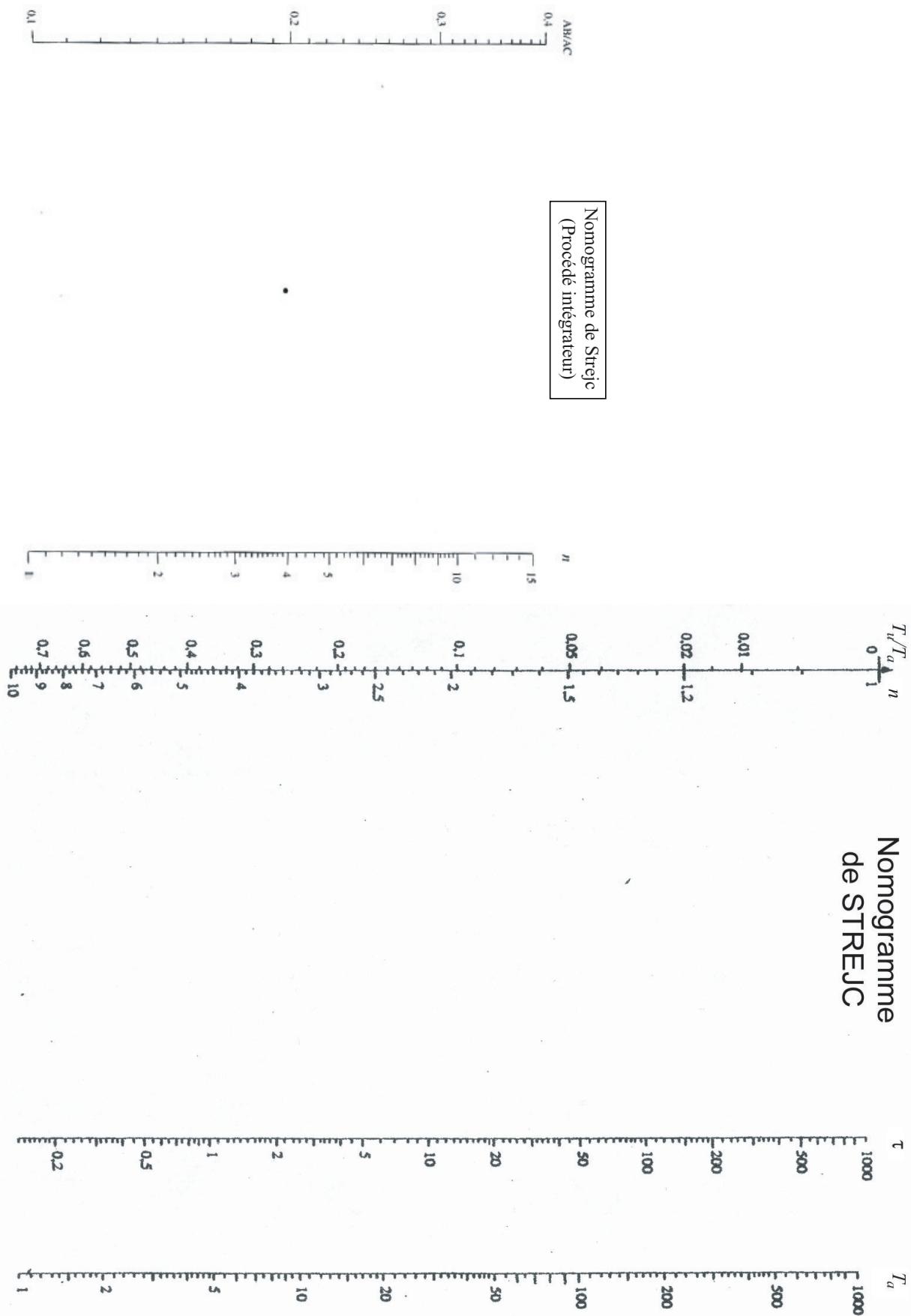
Exemple :

4 Synthèse



R217	2 : Etude des procédés Identification des procédés	CRSn° 4 Page 5/5
Rep : §B. Ouverte		

5 Nomogrammes



R217	2 : Etude des procédés Identification des procédés	CRSn° 4 Page 6/5
Rep : §B. Ouverte		

6 Annexe n° 1 : Démonstration de l'identification de Broïda

Pour le point A :

$$\begin{aligned} 0,28 &= 1 - e^{-\frac{t_1-T}{\tau}} \\ 0,72 &= e^{-\frac{t_1-T}{\tau}} \\ -\frac{t_1-T}{\tau} &= \ln(0,72) = -0,3285 \\ t_1 &= 0,3285 \cdot \tau + T \end{aligned} \quad (1)$$

Pour le point B :

$$\begin{aligned} 0,4 &= 1 - e^{-\frac{t_2-T}{\tau}} \\ 0,6 &= e^{-\frac{t_2-T}{\tau}} \\ -\frac{t_2-T}{\tau} &= \ln(0,6) = -0,5108 \\ t_2 &= 0,5108 \cdot \tau + T \end{aligned} \quad (2)$$

Détermination de τ

$$\begin{aligned} \textcolor{blue}{2} - \textcolor{blue}{1} &\Rightarrow t_2 - t_1 = 0,1823 \cdot \tau \\ \text{Soit} \quad \tau &= 5,485(t_2 - t_1) \approx 5,5(t_2 - t_1) \end{aligned} \quad (3)$$

Détermination de T dans 3

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

7 Annexe n° 2 : Démonstration de la valeur du gain critique

Au point où apparaissent 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

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

, avec

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

, donc

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

, d'autre part,

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

, avec

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

, donc

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