L’algorithme RST pour le LHC

(VERSION PROVISOIRE)

Nous décrivons de manière succincte comment établir les polynômes R, S et T. Nous nous intéressons surtout au programme implanté sur le DICO :algorithme, filtrage, initialisations, interface utilisateur. Nous donnons aussi deux exemples pour utiliser ce programme avec une charge inductive et résistive.

Le lecteur pourra se référer aux documents suivants :

* Traité des nouvelles technologies série automatique. Identification et commande des systèmes. (ID Landau) Hermès.
* SyntheseRST.doc (P Sabouret).

1. L’algorithme RST pour le LHC. 2

Structure de la boucle de courant. 2

1.2. Structure du régulateur. 3

1.2.1. Spécifications 3

1.2.2. Equations du correcteur RST 4

1.3. Programme du correcteur 4

1.3.1. Initialisations des polynômes R,S et T 4

1.3.2. Calcul de la tension de commande Vn 5

1.4. Insertion de la boucle 6

1.5. Utilisation 6

1.6. Correcteur avec 4 pôles dans T . 7

1.6.1. Paramètres d’entrée 7

1.6.2. Initialisation des polynômes R,S et T 7

1.6.3. Equation temporelle du correcteur 8

1.7. Correcteur à 4 pôles : utilisation 9

# L’algorithme RST pour le LHC.

## Structure de la boucle de courant.



Figure 1: schéma à blocs

1. Modèle de la charge+capteur+actionneur.

La source de tension et le DCCT sont assimilés à des gains. La dynamique de Idcct est donc imposée par la charge rL.

 (1)

1. Modèle In/Vn.

Les DAC et ADC sont équipés de calibrateur qui compense les gains de la source de tension et du DCCT. Par conséquent le gain In/Vn est celui de la charge RL c’est à dire G. Les blocs « pole aux » et « filtre num » sont assimilés à des gains unitaires.

L’équation échantillonnée à la période Tech de (équation (1)) vaut :

 (2)

Tech est la période de rafraîchissement de Vn par le correcteur.

1. Fonction de transfert  en boucle fermée :

 (3)

P(z-1) définie les pôles désirés en boucle fermée.

1. pôle auxiliaire

sa fonction de transfert vaut :

Nous ne le prenons pas en compte dans le calcul de (3). Ce pôle sert à filtrer la tension de référence pour le convertisseur.

Actuellement ce filtre (FILTER sur le DICO) est programmé à 1kHz.

La fréquence FILTER doit être plus grande que la bande passante en boucle fermée.

1. Saturateur

Ce saturateur symbolise les différentes saturations de la tension de commande et de sa dérivée (voir §1.3).

1. Filtre num

Ce filtre fournit une valeur In toutes les 10ms et l’ADC transmet un échantillon à la fonction « filtre num » chaque ms. La fonction réalise une régression linéaire avec 9 échantillons. Le dixième échantillon In est calculé en prolongeant la droite trouvée par régression linéaire.

Ainsi la période d’échantillonnage Tech coïncide avec un multiple de 10ms (t=0.01s).

## Structure du régulateur.

### Spécifications

Les polynômes sont définis par la méthode de la poursuite et régulation à objectifs indépendants :

Nous spécifions le correcteur et la forme de la boucle fermée :

- Deux intégrateurs dans S(z-1).

- Les pôles de P(z-1).

De l’équation (3) nous déduisons R(z-1) et S(z-1). T (z-1) est égal à P(z-1).

1. Spécifications de P(z-1) et T(z-1)

P (z-1) est défini par 3 pôles :

- Un pôle simple déduit de la bande passante CLBW en Hz. P (z-1) contient :

 (4)

- Deux pôles complexes déduits de CLBW2 (bande passante en Hz) et RST\_Z (amortissement entre 0 et1). P(z-1) contient :

 (5)

Ainsi P(z-1) est le produit des équations (4) et (5) et que nous pouvons mettre sous la forme générale :

 (6)

T(z-1)=P(z-1) (7)

1. Spécifications de S(z-1)

S(z-1) contient deux intégrateurs  (8)

### Equations du correcteur RST

Des équations (2), (3), (4), (5), (6), (7) et (8) nous déduisont :

 (9)

## Programme du correcteur

### Initialisations des polynômes R,S et T

A la mise sous tension du DICO le correcteur par défaut est celui des équations (9). Si nous modifions l’un des paramètres A) le programme doit (re)calculer les coefficients du correcteur RST à partir des équations (9).

Parallèlement nous pouvons aussi éditer les paramètres des polynômes R(z-1),S(z-1) et T(z-1) un à un à partir du terminal de commande (cf B)).

1. A) Paramètres d’entrée pour le calcul des équations (9):

RST\_PERIOD : entier. Tech=RST\_PERIOD\*t et « t » vaut 0.01s (cf §1.1)

CLBW : bande passante en Hz du pôle simple.

CLBW2 : bande passante en Hz des 2 pôles conjugués.

RST\_Z : amortissement des 2 pôles conjugués (entre 0 et 1)

r : résistance de la charge en Ohms

L : inductance de la charge en Henry

FILTER : Fréquence du pôle auxiliaire en Hz

1. B) Paramètres d’entrée pour éditer un correcteur différent du (9) :

R[1] : Coefficient de R en z0

R[2] Coefficient de R en z-1

R[3] : Coefficient de R en z-2

S[1]

S[2]

S[3] : Coefficients de S

T[1]

T[2]

T[3]

T[4] : Coefficients de T

Lorsque l’utilisateur modifie l’un des paramètres RST\_PERIOD, CLBW,CLBW2, RST\_Z, r, où L, les coefficients du correcteur RST sont (re)calculés selon les équations (9) :

*//Calculs préliminaires :*

 (10)

*//Coefficients du correcteur calculés par les équations (9) :*

 (11)

### Calcul de la tension de commande Vn

Soient les instants kTech où k est un un entier.

A chaque instant kTech le programme suivant s’exécute :

***// Valeur courante de Vn :Vn(k)***

 (6)

***// saturation de Vn :Vn(k)***

Si Vn(k)>Vmax alors Vn(k)=Vmax

Si vn(k)<-Vmax alorsVn(k)=-Vmax

1. Filtrage Vdac :



Remarque : le filtre de sortie pourrait fonctionner à la période d’échantillonnage du correcteur. Cela dit ce filtre est actuellement programmé à 1kHz.

## Insertion de la boucle

Nous sommes en mesure d’insérer la boucle de courant sans induire de variation brusque de la tension de commande Vdac par deux moyens :

- Le calibrage de l‘ADC compense l’offset sur la mesure de courant lorsque le courant dans l’aimant est nul.

- Pour insérer la boucle nous remplaçons Iref par In ainsi que l’historique de iref et in.

## Utilisation

Dans les deux exemples nous n’utilisons pas FILTER.

1. Charge inductive

Le produit S(z-1).A(z-1) est d’ordre 3. Donc T(z-1) est d’ordre 3 et R(z-1) d’ordre 2.

Voici un exemple de correcteur :

RST\_PERIOD = 5 //entier. Tech=RST\_PERIOD\*t et « t » vaut 0.01s (cf §1.1)

CLBW = 1 //bande passante en Hz du pôle simple.

CLBW2 = 1 //bande passante en Hz des 2 pôles conjugués.

RST\_Z = 0.5 //amortissement des 2 pôles conjugués (entre 0 et 1)

r : 0.5.10-3 //résistance de la charge en Ohms

L : 0.180 //inductance de la charge en Henry

T 1.0000 -2.3768 1.9329 -0.5335 // le premier coefficient est en z0

S 0.2778 -0.5555 0.2778

R 0.6231 -1.0668 0.4664

Remarque : racines de R : 0.8561 ± 0.1250i soient une paire de pôles à 0.45Hz d’amortissement 0.99.

1. Charge résistive

Le produit S(z-1).A(z-1) est d’ordre 2. Donc T(z-1) est d’ordre 2 et R(z-1) d’ordre 1.

Pour réaliser ces conditions il suffit de donner une valeur très petite à l’inductance L et une valeur très grande à CLBW.

Voici un exemple de correcteur :

RST\_PERIOD = 5 //entier. Tech=RST\_PERIOD\*t et « t » vaut 0.01s (cf §1.1)

CLBW = 105 //bande passante en Hz du pôle simple.

CLBW2 = 1 //bande passante en Hz des 2 pôles conjugués.

RST\_Z = 0.8 //amortissement des 2 pôles conjugués (entre 0 et 1)

r : 0.02 //résistance de la charge en Ohms

L : 10-5 //inductance de la charge en Henry

T 1.0000 -1.5280 0.6049 0

S 50 -100 50 // 50=1/0.02

R 0.4720 -0.3951 0.0000

Remarques : racine de R : 0.8370= exp(-0.05\*2\*pi\*0.57)

## Correcteur avec 4 pôles dans T .

L’objet de ce paragraphe est d’intégrer dans les polynomes R, S et T le filtre auxiliaire ((1-p)/(1-pz-1)) défini par l’utilisateur par le paramètre FILTER.

Les généralités énoncées précédemment restent valables. Seuls les polynômes R, S et T sont modifiés.

IMPORTANT : Cette nouvelle forme pour le correcteur implanté sur le DICO est entrée en vigueur le 10/10/00.

### Paramètres d’entrée

RST\_PERIOD : entier. Tech=RST\_PERIOD\*t et « t » vaut 0.01s (cf §1.1)

CLBW : bande passante en Hz du pôle simple.

CLBW2 : bande passante en Hz des 2 pôles conjugués.

RST\_Z : amortissement des 2 pôles conjugués (entre 0 et 1)

CLBW\_AUX bande passante du pôle auxiliaire

r : résistance de la charge en Ohms

L : inductance de la charge en Henry

### Initialisation des polynômes R,S et T

*//Calculs préliminaires :*



*//Coefficients du correcteur  :*







### Equation temporelle du correcteur

Soient les instants kTech où k est un un entier.

A chaque instant kTech le programme suivant s’exécute :

***// Valeur courante de Vn :Vn(k)***



## Correcteur à 4 pôles : utilisation

RST\_PERIOD :5 entier. Tech=RST\_PERIOD\*t et « t » vaut 0.01s (cf §1.1)

CLBW : 1 bande passante en Hz du pôle simple.

CLBW2 : 1 bande passante en Hz des 2 pôles conjugués.

RST\_Z :0.5 amortissement des 2 pôles conjugués (entre 0 et 1)

CLBW\_AUX :2 bande passante du pôle auxiliaire

r : 0.5.10-3 résistance de la charge en Ohms

L : 0.180 inductance de la charge en Henry

T 1.0000 -2.9103 3.2009 -1.5647 0.2846

S 0.2778 -0.6346 0.4359 -0.0791

R 0.3742 -0.6527 0.2890

Remarque : nous retrouvons le correcteur du paragraphe 1.3 en posant CLBW\_AUX à 105.

## Remarque

En calculant les paramètres des polynômes R, S et T sur 32bits nous obtenons une erreur statique sur le courant. Pour éliminer cette erreur nous utilisons le critère qui définit le gain unitaire entre le courant de référence et le courant mesuré :

D = {T[0]+t[1]+T[2]+T[3]+T[4] } - {R[0]+R[1]+R[2]}

En théorie D = 0.

Pratiquement D est différent de zéro.

Nous rétablissons l’égalité D = 0 en calculant la somme D sur 64bits et nous remplaçons R[0] par R[0]+D .