|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| LHC- - - 1999-09-22 | | | | | |
| Design Report | | | | | |
| Modelisation des chaines d’aimants supraconductEURs avec resistances d’amortissement | | | | | |
| Abstract  Sur certaines chaînes d’aimants supraconducteurs du LHC, des résistances d’amortissement ont été ajoutés en parallèle sur chaque aimant afin d’amortir les résonances éventuelles entre les aimants et les capacités parasites lors de l’ouverture des switchs de décharge. Ce document a pour objet de décrire le modèle mathématique utilisé pour la définition des boucles de régulation et de certains softwares utilisés dans le FGC2. | | | | | |
| Préparé par :  H. Thiesen  AB-PO | | | A destination de : | | Pour information : |
|  | | | | | |
| History of Changes | | | | | |
| Rev. No. | Date | Pages | | Description of Changes | |
| 1 | 29 août 2005 |  | | Première version | |

Table of Contents (not compulsory, can be removed)

1. Description de la charge 4

2. Fonction de transfert I(s)/V(s) 4

3. Réponse temporelle du systeme 5

4. Equation dans le temps de i(t) en fonction de v(t) 6

# Description de la charge

En première estimation, le circuit électrique peut être modélisé par une source de tension parfaite v(t) représentant convertisseur de puissance, deux résistances séries Rs/2 représentant les câbles DC et n impédances séries Z/n = (L/n en parallèle à Rp/n) représentant la chaîne d’aimant.



Figure 1 : Modèle du circuit électrique.

La valeur de l’impédance Z/n est :

 **(1)**

D’où pour la chaîne d’aimants, nous trouvons une impédance de :

 **(2)**



Figure 2: Modèle équivalent au circuit électrique.

# Fonction de transfert I(s)/V(s)

La fonction de transfert entre le courant dans le circuit et la tension de sortie du convertisseur est :

 **(3)**

Soit :

 **(4)**

Avec :

 **(5)**

Gs représente le gain statique du circuit

1 représente la constante de temps interne de la chaîne d’aimants (Rp en parallèle à L/)

2 représente la constante de temps des câbles DC avec la chaîne d’aimants (Rs // Rp // L)

Le diagramme de Bode de la fonction de transfert I(s)/V(s) a alors la forme suivante :



Figure 3: Diagramme de Bode de la fonction de transfert I(s)/V(s).

# Réponse temporelle du systeme

La fonction de transfert I(s)/V(s) peut être décomposée en une somme de deux fonctions de transfert F1(s) et F2(s):

 **(6)**

Avec :

 **(7)**

D’où la réponse temporelle du système est la somme des réponses temporelles des deux sous systèmes S1 et S2 ayant respectivement comme fonction de transfert F1(s) et F2(s).

Finalement, nous trouvons pour le système la réponse temporelle suivante :



Figure 4: Forme de la réponse temporelle du circuit.

# Equation dans le temps de i(t) en fonction de v(t)

Soit :

- i1(t) le courant associé au sous système S1 ayant pour fonction de transfert I1(s)/V(s) = F1(s)

- i2(t) le courant associé au sous système S2 ayant pour fonction de transfert I2(s)/V(s) = F2(s)

Alors, le courant i(t) est la somme des deux courants i1(t) et i2(t) :

 **(8)**

Pour connaître les courants i1(t) et i2(t), il faut de résoudre le système d équations différentielles :

 **(9)**

Avec pour condition initiale

 **(10)**

# Transformée en Z du système

Pour définir la boucle de courant RST des convertisseurs de puissance, il nous faut le modèle en z de la charge :

 **(11)**

 **(12)**

D’où :

 **(13)**

Avec :

 **(14)**

L’ajout de résistances d’amortissement en parallèle aux aimants, introduit dans le modèle en z de la charge un zéro simple par rapport au modèle en z des charges composées uniquement de câbles DC et d’aimants supraconducteurs.

Pour la définition de la boucle de courant, nous pourrons donc nous ramener au cas classique, Rs plus L, simplement en ajoutant dans le terme S(z-1) la compensation de ce zéro simple.

 **(15)**

# Equation recurRente de i(n)

Afin de vérifier l’exactitude de la transformer en z du système nous pouvons calculer l’équation récurrente de i(n) en fonction de i(n-1), i(n-2), etc… et de v(n-1), v(n-2), etc…

La transformée en z du système est :

 **(16)**

D’où :

 **(17)**

Soit :

 **(18)**

Or :

 **(19)**

Soit :

 **(18)**

On retrouve bien que le courant i(n) est composé des réponses des système S1 et S2 à l’échelon de tension v(n-1) entre les instants et .

**Annexe A : Caractéristiques des circuits**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Magnet type | Circuit names | n magnets in circuit | L/n per magnet | L per circuit | Rp/n per magnet | Rp per circuit | Rs per circuit | Imax | Max. ramp rate |
|  |  |  | [mH] | [mH] | [mOhm] | [mOhm] | [mOhm] | [A] | [A/s] |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MB | RB | 154 | 102 | 15708.0 | 100  | 15’400  | 1.0 | 13000 | 10 |
| MQ | RQF, RQD | 47 | 5.6 | 263.2 | 20  | 940  | 1.0 | 13000 | 10 |
| MQ | RQF, RQD | 51 | 5.6 | 285.6 | 20  | 1’020  | 1.0 | 13000 | 10 |
| MCS | RCS | 154 | 0.8 | 123.2 | 80 | 12’320 | 8.0 | 600 | 10 |
| MQT (MQS) | RQS | 4 | 31 | 124.0 | 250 | 1’000 | 8.0 | 600 | 0.5 |
| MQT | RQTF, RQTD | 8 | 31 | 248.0 | 250 | 2’000 | 8.0 | 600 | 0.5 |
| MQTL | RQTL9 | 2 | 120 | 240.0 | 200 | 400 | 8.0 | 600 | 0.5 |
| MQTL | RQ6 | 6 | 120 | 720.0 | 200 | 1’200 | 8.0 | 490 | 0.5 |
| MS (MSS) | RSS | 4 | 36 | 144.0 | 150 | 600 | 8.0 | 600 | 0.5 |
| MS | RSF1, RSF2 | 10 | 36 | 360.0 | 150 | 1’500 | 8.0 | 600 | 0.5 |
| MS | RSD1, RSD2 | 12 | 36 | 432.0 | 150 | 1’800 | 8.0 | 600 | 0.5 |

**Références :**

EDMS 338035 : General parameters for energy extraction of the LHC superconducting circuits

K. Dahlerup-Petersen, F. Rodriguez-Mateos, R. Schmidt, F. Sonnemann

EDMS 338132 : Dimensioning of the damping resistors across the lattice dipoles and quadrupoles and limits during tests on magnets

D. Hagedorn