Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 76 (1985)

Heft: 11

Artikel: Réglage d'état en cascade d'un entraînement électrique avec arbre élastique

Autor: Bühler, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904625

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Réglage d'état en cascade d'un entraînement électrique avec arbre élastique

H. Bühler

On présente la nouvelle méthode du réglage d'état en cascade à l'aide d'un entraînement avec un moteur à courant continu et arbre élastique formant un système oscillant mécanique. Dans ce but, on prévoit trois réglages d'état superposés: l'un pour le courant d'induit, un autre pour la vitesse de rotation et le troisième pour la position. Avec le réglage en cascade, il est possible de limiter très facilement le courant d'induit et la vitesse de rotation. Grâce au réglage d'état, on obtient des résultats bien meilleurs qu'avec des régulateurs standard PI.

Es wird die neue Methode der Kaskaden-Zustandsregelung gezeigt, und zwar am Beispiel eines Gleichstromantriebes mit elastischer Welle, der ein mechanisches Schwingungssystem bildet. Es werden drei Zustandsregelungen überlagert: eine für den Ankerstrom, eine für die Drehzahl und eine für die Lage. Mit der Kaskadenregelung kann sehr einfach der Ankerstrom und die Drehzahl begrenzt werden. Dank der Zustandsregelung erhält man wesentlich bessere Resultate, als dies mit klassischen PI-Reglern möglich ist.

Adresse de l'auteur
Prof. *H. Bühler*, EPFL-LEI, 16, ch. de Bellerive, 1007 Lausanne.

1. Introduction

Les réglages en cascade sont connus depuis longtemps et appliqués avec succès dans des réglages industriels, en particulier dans le domaine des entraînements réglés. Dans ce cas, deux ou plusieurs régulateurs sont mis en série où chaque régulateur règle un système partiel en fournissant la grandeur de consigne au réglage inférieur. D'habitude, on fait appel à des régulateurs standard de type PI (proportionnel-intégrateur) ou PID (proportionnel-intégrateur-dérivateur). Les avantages du réglage en cascade sont: La stabilisation des systèmes à régler partiels est facilitée; les influences de certaines perturbations sont compensées au niveau des réglages intermédiaires; on a la possibilité de limiter des grandeurs internes par limitation des grandeurs de consigne des réglages partiels; finalement, ce réglage simplifie la mise en fonctionnement (un réglage après l'autre).

La théorie du réglage moderne propose le réglage d'état. Dans ce cas, les grandeurs d'état (grandeurs internes) du système à régler sont mises en contre-réaction. Ainsi, il est possible d'influencer le comportement dynamique du système réglé dans un large domaine. Même pour des systèmes à régler complexes, il est possible d'obtenir un bon comportement dynamique et la qualité de réglage est en général meilleure que celle qu'on obtient avec des régulateurs standard. Par contre, il n'est pas possible de limiter des grandeurs internes et la mise en fonctionnement est souvent problématique, surtout pour des systèmes complexes.

Afin de réunir les avantages du réglage en cascade et du réglage d'état, le Laboratoire d'électronique industrielle de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) a développé le principe du réglage d'état en cascade. Cette méthode a été employée avec succès dans plusieurs applications, en particulier dans le domaine des entraînements réglés [1; ...; 7]. Les bases théoriques se trouvent dans [8].

Le présent article montre une autre application intéressante, où les avantages des réglages d'état en cascade ressortent de manière évidente: le réglage d'état en cascade d'un entraînement électrique avec arbre élastique. En effet, ce cas d'un système mécanique oscillant pose en général des problèmes lors du réglage avec des régulateurs standard. Après un bref rappel de la structure du réglage d'état au chapitre 2, on présentera au chapitre 3 le problème à traiter: un moteur à courant continu alimenté par un convertisseur de courant et entraînant une charge par un arbre élastique. Au chapitre suivant, on montrera successivement les différents réglages mis en cascade (pour le courant d'induit, la vitesse de rotation et la position).

2. Structure du réglage d'état

La structure du réglage d'état s'obtient par un procédé de synthèse en minimisant un critère d'intégrale [9]. Cette structure est représentée à la figure 1, sous la forme telle qu'on l'utilisera pour le réglage d'état en cascade.

Le système à régler S peut être commandé par la grandeur de commande u. A la sortie apparaît la grandeur à régler y. De plus, il y a la grandeur de perturbation v. L'état du système à régler est donné par le vecteur d'état $\boldsymbol{x}_s$, où sont réunies toutes les grandeurs internes du système, nécessaires à la description de son comportement statique et dynamique. L'organe de commande OC est influencé par le signal de commande u_{cm}.

Le régulateur d'état RE consiste en plusieurs composantes. Il y a d'abord la contre-réaction d'état du vecteur d'état $\boldsymbol{x}_s$ du système à régler par l'inter-

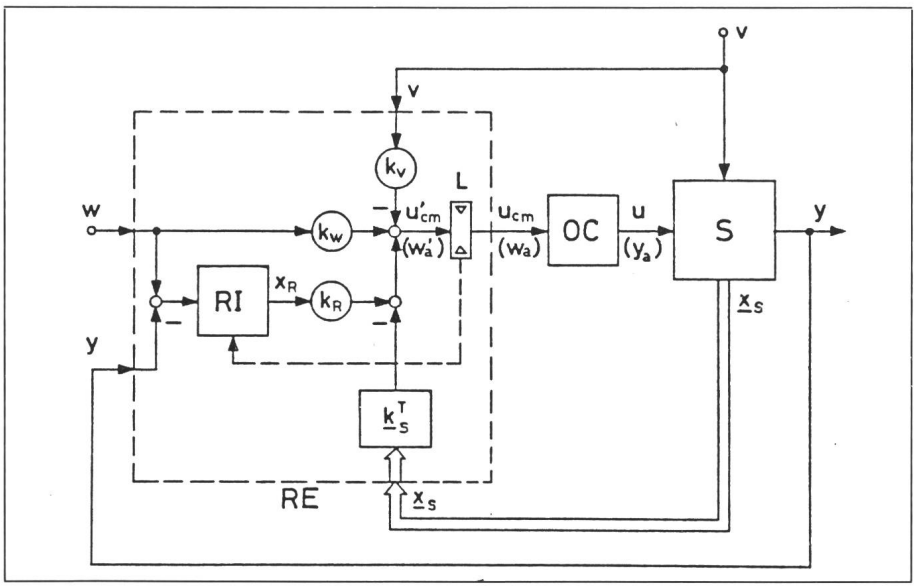


Fig. 1 Structure du réglage d'état

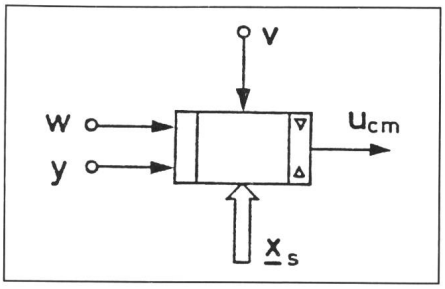


Fig. 2 Représentation symbolique du régulateur d'état

médiaire du vecteur ligne de contre-réaction d'état $\boldsymbol{k}_s^T$ [1]). La grandeur de consigne w intervient directement par l'intermédiaire du coefficient k_w. Si la grandeur de perturbation v est disponible, on peut l'utiliser également pour une intervention directe par l'intermédiaire du coefficient k_v. Enfin, on prévoit souvent un régulateur intégrateur RI qui est influencé par la différence entre la grandeur de consigne w et la grandeur à régler y. Sa grandeur d'état x_R est multipliée par le coefficient k_R. Toutes ces composantes forment le signal de commande u'_{cm}. En général, ce dernier doit être limité entre une valeur maximale et minimale, par le limiteur L, d'où l'on obtient le signal de commande u_{cm}.

A noter que la grandeur de commande u n'est pas mise en contre-réaction. Il s'agit donc d'une contre-réaction d'état partiel [8; 9]. En effet, la contre-réaction de cette grandeur modifierait de manière inadmissible le comportement dynamique de l'organe de commande. Ce comportement est en général décrit par une petite constante de temps.

Dans le cas de la figure 1, on a supposé que les grandeurs d'état $\boldsymbol{x}_s$ et la perturbation v sont mesurables. Ceci est souvent le cas dans le domaine des entraînements réglés. Sinon, on doit faire appel à un observateur d'état et de perturbation [9; 10].

Lorsque la limitation est active, il est indispensable de corriger le régulateur intégrateur [11] afin d'éviter des phénomènes transitoires inadmissibles lors de la sortie de la limitation. Cette correction est indiquée schématiquement par une liaison discontinue entre le limiteur L et le régulateur intégrateur RI. Si les paramètres du système et la perturbation sont bien connus et constants, on peut renoncer au régulateur intégrateur.

Le régulateur d'état peut être réalisé, soit analogiquement [6], à l'aide d'amplificateurs opérationnels, soit digitalement [7] par programmation sur microprocesseurs. Les coefficients $\boldsymbol{k}_s^T$ et k_R sont à déterminer par exemple par imposition (ou assignation) des pôles, tandis que les coefficients d'intervention directe k_w et k_v peuvent être déterminés soit pour compenser un pôle, soit pour atteindre certaines conditions en régime établi [9].

Lorsque cette structure est utilisée pour le réglage d'état en cascade, le réglage d'état inférieur intervient au niveau des réglages superposés en lieu et place de l'organe de commande OC. La grandeur de sortie du régulateur d'état n'est alors pas le signal de commande u_{cm}, mais la grandeur de consigne w_a pour le réglage inférieur.

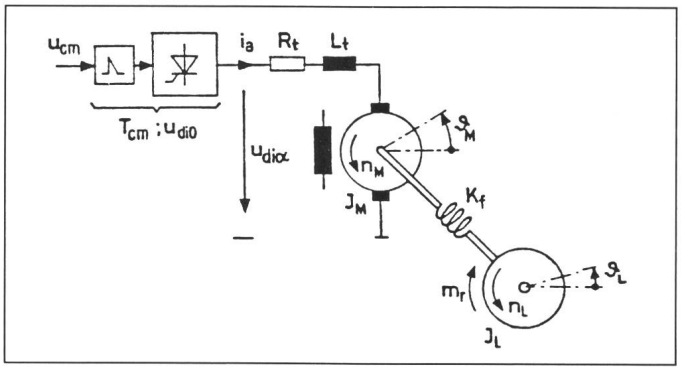
Afin de simplifier la représentation, on utilisera par la suite pour le régulateur d'état le symbole montré à la figure 2. Le fragment gauche du rectangle représente le régulateur intégrateur, tandis que le fragment à la droite avec les deux petits triangles représente la limitation incorporée.

3. Entraînement électrique avec arbre élastique

La figure 3 montre schématiquement l'entraînement électrique qui sera soumis à un réglage d'état en cascade.

L'organe de commande est constitué par un convertisseur de courant et son dispositif de commande de gâchettes. Il peut être décrit par une petite constante de temps T_{cm} et le facteur de transfert u_{di0} [12]. Le circuit d'induit du moteur à courant continu à excitation séparée possède la résistance totale R_t et l'inductance totale L_t qui tiennent compte de la résistance et de l'inductance internes du convertisseur de courant [12]. Le moteur a le moment d'inertie J_M, tandis que J_L est celui de la machine entraînée, c.-à-d. de la charge.

Fig. 3 Entraînement électrique avec arbre élastique



[1]) T symbolise «transposé» et indique un vecteur ligne

Enfin, K_f est la constante de ressort de l'arbre élastique.

L'organe de commande peut être décrit par l'équation d'état différentielle du premier ordre

$$\dot{u}_{di\alpha} = -\frac{1}{T_{cm}} u_{di\alpha} + \frac{u_{di0}}{T_{cm}} u_{cm} \qquad (1)$$

où $u_{di\alpha}$ est la tension continue idéale du convertisseur de courant exprimée en grandeurs relatives (et désignée par conséquent par un symbole minuscule).

Le système à régler est d'ordre cinq. Il peut être décrit par le vecteur d'état suivant, exprimé en grandeurs relatives ($i_a = I_a/I_n$, $n_M = \Omega_M/\Omega_n$, $\vartheta_M = \theta_M/\theta_n$, $n_L = \Omega_L/\Omega_n$, $\vartheta_L = \theta_L/\theta_n$):

$$\boldsymbol{x}_s = [i_a \; n_M \; \vartheta_M \; n_L \; \vartheta_L]^T \qquad (2)$$

où i_a est le courant d'induit, n_M et ϑ_M respectivement la vitesse de rotation et la position angulaire du moteur et n_L et ϑ_L la vitesse de rotation et la position angulaire de la charge. Le couple résistant m_r (en grandeurs relatives) de la charge apparaît comme grandeur de perturbation v.

Ce système à régler est linéaire. Il peut être décrit par une équation d'état différentielle de la forme générale [9]

$$\dot{\boldsymbol{x}}_s = \boldsymbol{A}_s \boldsymbol{x}_s + \boldsymbol{b}_s u + \boldsymbol{b}_{sv} v \qquad (3)$$

Dans le cas présent, il faut poser $u = u_{di\alpha}$ et $v = m_r$ et on obtient [9]

$$\boldsymbol{A}_s = \begin{bmatrix} -1/T_t & -1/(r_t T_t) & 0 & 0 & 0 \\ 1/T_m & 0 & -k_M & 0 & k_M \\ 0 & 1/T_\theta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_L & 0 & -k_L \\ 0 & 0 & 0 & 1/T_\theta & 0 \end{bmatrix} \qquad (4)$$

$$\boldsymbol{b}_s = \begin{bmatrix} 1/(r_t T_t) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \boldsymbol{b}_{sv} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1/T_L \\ 0 \end{bmatrix} \qquad (5)$$

avec

$$\begin{aligned} r_t &= (R_t I_n)/U_n & T_t &= L_t/R_t \\ T_M &= (J_M \Omega^2{}_n)/(U_n I_n) & T_L &= (J_L \Omega^2{}_n)/(U_n I_n) \\ T_\theta &= \theta_n/\Omega_n & k_M &= (K_f \theta_n)/(J_M \Omega_n) \\ k_L &= (K_f \theta_n)/(J_L \Omega_n) \end{aligned} \qquad (6)$$

où I_n, U_n, Ω_n, et θ_n sont les valeurs nominales des grandeurs correspondantes[2]). Pour l'exemple traité, les valeurs numériques sont

$$\begin{aligned} u_{di0} &= 1{,}25 & 1/T_{cm} &= 600\ s^{-1} \\ r_t &= 0{,}06 & 1/T_t &= 30\ s^{-1} \\ 1/T_M &= 2{,}5\ s^{-1} & 1/T_L &= 10\ s^{-1} \\ k_M &= 800\ s^{-1} & k_L &= 3200\ s^{-1} \end{aligned} \qquad (7)$$

Le but du réglage est un réglage de position de la charge (position angulaire ϑ_L). De plus, il faut limiter le courant d'induit i_a et la vitesse de rotation n_M du moteur sur des valeurs maximales et minimales admissibles de $\pm\, i_{amax}$ et $\pm\, n_{Mmax}$.

4. Réglage d'état en cascade

4.1 Décomposition du système à régler

Lors du réglage d'état, il faut décomposer le système à régler en deux ou plusieurs sous-systèmes [8]. La grandeur de sortie de chaque sous-système doit correspondre à une grandeur à limiter. Les grandeurs d'état des sous-systèmes supérieurs peuvent intervenir sur les sous-systèmes inférieurs comme grandeurs de perturbation. La figure 4 montre schématiquement cette décomposition pour l'exemple en question.

Les vecteurs d'état partiels sont

$$\begin{aligned} \boldsymbol{x}_1 &= i_a \\ \boldsymbol{x}_2 &= n_M \\ \boldsymbol{x}_3 &= [\vartheta_M \; n_L \; \vartheta_L]^T \end{aligned} \qquad (8)$$

[2]) Par exemple, la première ligne de (3) est dérivée de l'équation explicite:

$$L \frac{dI_a}{dt} = -R_t I_a - U_n(\Omega/\Omega_n) + U_{di\alpha} \text{ (voir fig. 3).}$$

Le sous-système S_1 est donc du premier ordre. Sa grandeur de sortie, le courant d'induit intervient comme grandeur d'entrée du deuxième sous-système S_2. Celui-ci est également du premier ordre. Sa grandeur de sortie, la vitesse de rotation n_M, forme la grandeur d'entrée du troisième sous-système S_3. Celui-ci est du troisième ordre et présente la grandeur à régler principale, la position angulaire ϑ_L de la charge, comme grandeur de sortie.

Le couplage entre les sous-systèmes est mis en évidence par les vecteurs d'état partiels $\boldsymbol{x}_2$ et $\boldsymbol{x}_3$ qui interviennent comme grandeurs de perturbation sur le sous-système S_1 et le vecteur d'état partiel $\boldsymbol{x}_3$ qui intervient comme perturbation sur le sous-système S_2. Enfin, la grandeur de perturbation externe, le couple résistant m_r, intervient sur le dernier sous-système S_3.

Pour chaque sous-système, il faut prévoir un réglage d'état. Dans le cas présent, il y a donc trois réglages, l'un pour le courant d'induit i_a, un autre pour la vitesse de rotation n_M du moteur et un troisième pour la position angulaire ϑ_L de la charge.

4.2 Procédé lors du dimensionnement du réglage d'état en cascade

Lors du dimensionnement du réglage d'état en cascade, on commence par le réglage d'état du premier sous-système (le plus bas). Dans ce but, on néglige d'abord l'influence des autres sous-systèmes. Par imposition des pôles pour ce réglage, on peut déterminer les coefficients de la contre-réaction d'état $\boldsymbol{k}_s^T$ et du régulateur k_R, selon les méthodes décrites par exemple dans [9]. Le coefficient k_w de l'intervention directe de la grandeur de consigne est choisi de façon à compenser un pôle imposé. Ceci est avantageux pour le comportement dynamique du réglage d'état.

L'intervention directe de la grandeur de perturbation doit être modifiée par rapport à la structure montrée à la figure 1. Puisqu'en général, il y a

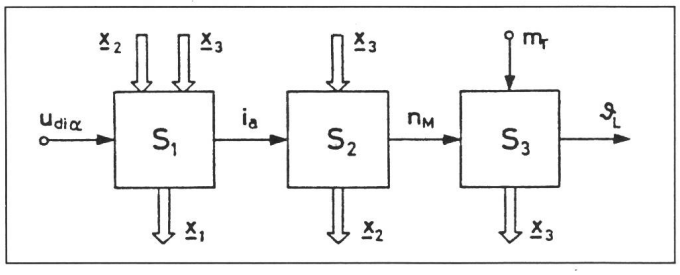


Fig. 4
Décomposition du système à régler

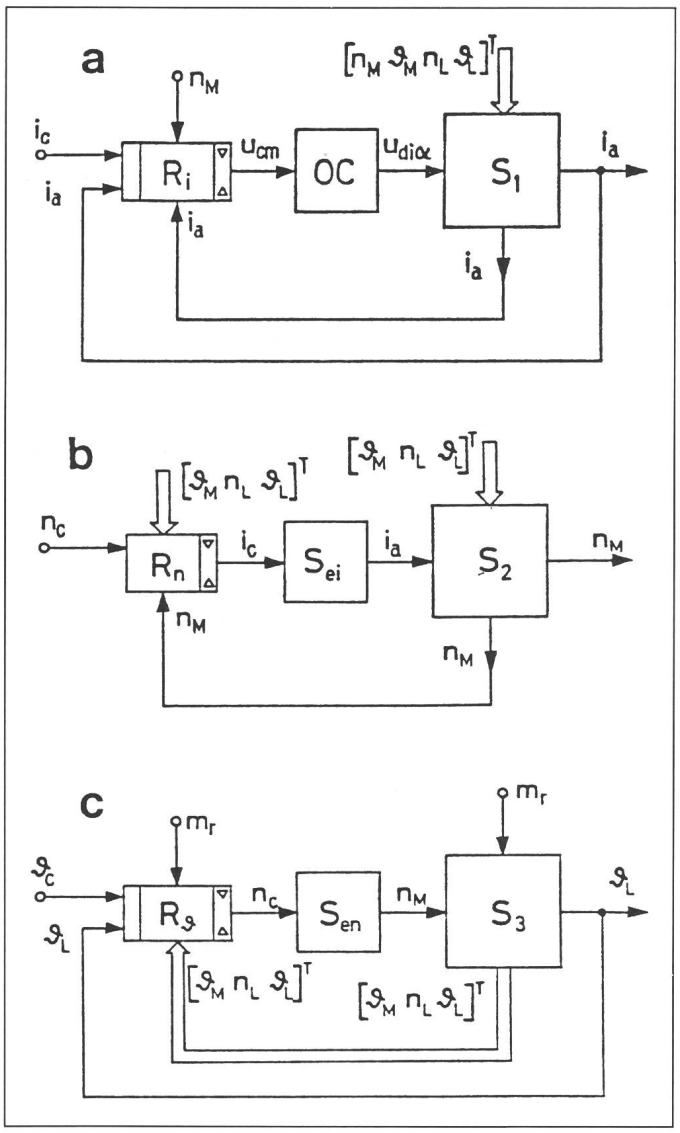


Fig. 5
Structure du réglage d'état
a du courant d'induit
b de la vitesse de rotation
c de la position angulaire

plusieurs grandeurs de perturbation, le coefficient k_v doit être remplacé par un vecteur ligne $\boldsymbol{k}_v^T$. Pour sa détermination, il existe deux possibilités: la compensation statique et la compensation dynamique. Dans le premier cas, on exige que l'influence des autres sous-systèmes soit compensée en régime établi. Dans le deuxième cas, par contre, on exige que la fonction de transfert global (donc y compris les autres sous-systèmes) soit la même que celle du sous-système réglé où l'on a négligé l'influence des autres sous-systèmes. Les relations mathématiques correspondantes sont développées dans [8].

Pour l'étude du réglage d'état superposé, il est judicieux d'introduire une relation approximative du premier ordre remplaçant les équations d'état du premier sous-système réglé. La constante de temps équivalente T_e peut être obtenue selon le principe de l'égalité des surfaces de réglage [8; 13]. Ce système équivalent intervient alors avec sa grandeur d'état (qui est égale à la grandeur de sortie du premier sous-système) dans l'équation d'état pour le réglage du deuxième sous-système en lieu et place de l'équation d'état de l'organe de commande. A noter que cette grandeur d'état n'est pas utilisée pour la contre-réaction d'état pour ne pas changer la dynamique du sous-système réglé.

On procède alors de la même façon pour le dimensionnement du réglage d'état du deuxième sous-système et ainsi de suite. Dans les paragraphes suivants, on montrera la structure et les réponses indicielles pour le réglage d'état en cascade de l'exemple en question.

4.3 Réglage d'état du courant d'induit

La figure 5a montre la structure du réglage d'état du courant d'induit. Comme on l'a mentionné au chapitre 2, la grandeur d'état inhérente à l'organe de commande, la tension continue idéale $u_{di\alpha}$, n'est pas mise en contre-réaction. Il y a donc uniquement le courant d'induit i_a qui est mis en contre-réaction. Ce même courant intervient comme grandeur à régler sur le régulateur intégrateur. Ce dernier est indispensable dans le cas présent à cause de la grande sensibilité par rapport aux grandeurs de perturbation intervenant sur le sous-système, en particulier par rapport à la vitesse de rotation n_M.

Quant à l'intervention directe des grandeurs de perturbation, on fait appel à une compensation statique. Dans ce cas, il suffit d'introduire la vitesse de rotation n_M sur le régulateur d'état.

La réponse indicielle du réglage d'état du courant d'induit par rapport à la grandeur de consigne est représentée à la figure 6a. Elle a été calculée numériquement sur ordinateur. On constate le bon amortissement avec un temps de montée rapide selon le choix optimal des pôles. A cette réponse correspond une petite constante de temps équivalente T_{ei} = 4,76 ms qui est une mesure pour la rapidité de réglage.

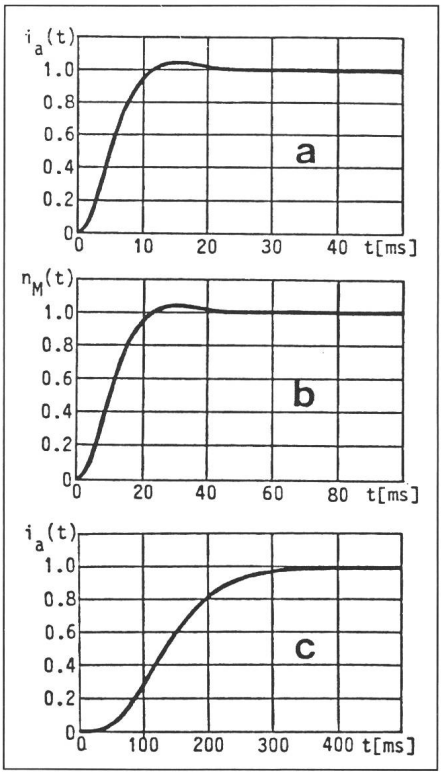


Fig. 6 Réponse indicielle du réglage d'état
a du courant d'induit
b de la vitesse de rotation
c de la position angulaire

4.4 Réglage d'état de la vitesse de rotation

Superposé au réglage d'état du courant d'induit, il faut prévoir un réglage d'état pour la vitesse de rotation n_M du moteur. La structure correspondante est représentée à la figure 5b. Le réglage du courant d'induit est remplacé par le bloc S_{ei}, contenant la petite constante de temps T_{ei}. Comme on le voit, la limitation du courant d'induit i_a s'obtient par la limitation de la consigne i_c au niveau de la sortie du régulateur d'état R_n pour la vitesse. La grandeur d'état correspondant au système équivalent, le courant d'induit i_a, n'est pas mise en contre-réaction. Il n'y a donc que la vitesse de rotation n_M qui est utilisée pour la contre-réaction d'état. Dans le cas présent, on peut renoncer au régulateur intégrateur, ce qui est mis en évidence par l'absence du rectangle vertical gauche dans le symbole du régulateur d'état. En effet, les paramètres du système à régler sont constants et bien connus, et les exigences en ce qui concerne la précision ne sont pas très élevées, puisqu'il s'agit d'une grandeur à régler intermédiaire. Ainsi, il est possible d'augmenter légèrement la rapidité de réglage. Le coefficient k_w de l'intervention directe de la grandeur de consigne doit alors être ajusté de sorte qu'en régime établi la grandeur à régler n_M soit égale à la consigne n_c.

Cette fois-ci, il s'avère nécessaire de faire appel à une compensation dynamique des grandeurs de perturbation provenant du sous-système superposé. Au régulateur d'état, il faut donc amener la position angulaire du moteur ϑ_M, la vitesse de rotation n_L et la position angulaire ϑ_L de la charge. Ces grandeurs forment l'intervention directe des perturbations. Avec cette compensation dynamique, il est possible d'éliminer complètement l'influence du système mécanique oscillant.

La figure 6b montre la réponse indicielle par rapport à la grandeur de consigne n_c. On voit le bon amortissement, malgré l'influence néfaste du système oscillant donné par l'arbre élastique et la machine entraînée. A cette réponse correspond une petite constante de temps équivalente T_{en} = 9,5 ms.

4.5 Réglage d'état de la position angulaire

Enfin, le réglage principal est formé par le réglage d'état de la position angulaire ϑ_L de la charge. La figure 5c en montre la structure. Le réglage de la vitesse de rotation est représenté par le bloc S_{en} et contient la petite constante de temps équivalente T_{en}. La limitation de la vitesse de rotation n_M s'effectue par la limitation de la consigne n_c à la sortie du régulateur d'état de la position R_9. La grandeur d'état du système équivalent, la vitesse de rotation n_M, n'est pas non plus mise en contre-réaction. Dans la contre-réaction d'état sont comprises les grandeurs d'état du sous-système S_3, à savoir la position angulaire du moteur ϑ_M, la vitesse de rotation n_L et la position angulaire ϑ_L de la charge. Pour des raisons de précision statique, le régulateur d'état doit être muni d'un régulateur intégrateur.

La grandeur de perturbation, le couple résistant m_r, n'est pas mesurable directement. Lorsqu'on désire quand même une intervention directe sur le réglage d'état, il est nécessaire de faire appel à un observateur de perturbation. Pour que l'effet de cette intervention directe soit efficace, il est indispensable que l'observateur soit rapide [6].

La réponse indicielle est représentée à la figure 6c. Dans ce cas, les pôles ont été choisis de sorte que la réponse indicielle ne présente aucun dépassement. Lorsqu'on admet un léger dépassement (comme dans les figures 6a et 6b), il est possible d'augmenter la rapidité de réglage tout en gardant un bon amortissement.

4.6 Remarques quant à la réalisation pratique

Comme on l'a mentionné, le régulateur d'état peut être réalisé soit analogiquement à l'aide d'amplificateurs opérationnels, soit digitalement par programmation sur microprocesseur. Dans ce dernier cas, il faut encore choisir de manière adéquate la période d'échantillonnage [9; 13].

Pour le réglage d'état en cascade de l'exemple en question, on a besoin du courant d'induit i_a, de la vitesse de rotation n_M et de la position angulaire ϑ_M du moteur, ainsi que de la vitesse de rotation n_L et de la position angulaire ϑ_L de la charge. La mesure de i_a, n_M et ϑ_L ne pose pas de problèmes. On a besoin de ces grandeurs aussi dans le cas d'un réglage classique. Par contre, la mesure de ϑ_M et n_L est plus problématique. En effet, on aurait besoin d'organes de mesure supplémentaires, ce qui en général n'est pas apprécié. Pour pallier ces inconvénients, on peut faire appel à un observateur qui permet d'estimer le couple résistant. Au lieu d'observer ϑ_M et n_L, il est judicieux d'observer pour des raisons de précision, les différences $\Delta\vartheta_M = \vartheta_M - \vartheta_L$ et $\Delta n_L = n_L - n_M$.

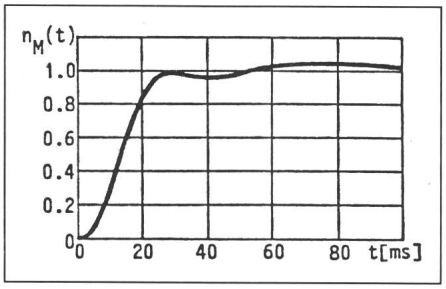


Fig. 7 Réponse indicielle du réglage de la vitesse de rotation lors de l'emploi d'un régulateur PI

4.7 Comparaison avec un réglage en cascade classique

A titre de comparaison, on montre encore le résultat que l'on obtient lorsque le même problème est résolu avec un réglage en cascade classique, en faisant appel à des régulateurs PI et P.

Au niveau du réglage de courant, il n'y a pas de différence importante. Par contre, le réglage de la vitesse de rotation pose des problèmes quant à l'amortissement du phénomène transitoire. La figure 7 montre la réponse indicielle lors de l'emploi d'un régulateur PI. Les coefficients de ce régulateur ont été déterminés selon les règles habituelles [12]. De plus, un filtre pour la grandeur de consigne est prévu pour éviter un grand dépassement. Comme on le voit par la figure 7, il subsiste une oscillation mal amortie due au système mécanique oscillant. Une comparaison avec la figure 6b met en évidence l'amélioration notable que l'on obtient avec le réglage d'état.

5. Conclusions

Le présent article a montré l'emploi du nouveau principe du réglage d'état en cascade sur un cas particulier, celui d'un entraînement électrique avec arbre élastique. On a vu d'une part la possibilité de limiter des grandeurs internes du système à régler (le courant d'induit et la vitesse de rotation) et d'autre part le bon amortissement des phénomènes transitoires même sous des conditions difficiles.

Bibliographie

[1] *P. Feller:* Méthodes de réglage d'un moteur à courant continu par contre-réaction d'état. Communications de la Chaire d'Electronique Industrielle N° 3. Lausanne, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1980.

[2] *P. Feller:* Réglage par contre-réaction d'état d'une machine asynchrone. Bulletin ASSPA 2(1982)1, p. 3...11.

[3] *P. J. Riedo:* Cascade digital control by state variable feed-back method applied to a DC-motor. ETG-Fachberichte 11(1982), p. 249...255.

[4] *P. Feller:* Speed control of an AC motor by state variables feedback with decoupling. Proceedings of the third IFAC symposium on control in power electronics and electrical drives, Lausanne/Switzerland, 12...14 September 1984, p. 87...93.

[5] *P. J. Riedo:* Cascade control by state variable feedback method applied to synchronous motor. Proceedings of the third IFAC symposium on control in power electronics and electrical drives, Lausanne/Switzerland, 12...14 September 1984, p. 111...117.

[6] *P. Feller:* Réglages analogiques modernes appliqués à la machine à courant continu et à la machine asynchrone. Thèse de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1984.

[7] *P. J. Riedo:* Réglages d'état digitaux appliqués à la machine à courant continu et à la machine synchrone. Thèse de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1985.

[8] *H. Bühler:* Kaskaden-Zustandsregelung. Automatisierungstechnik 33(1984)2, S. 52...61.

[9] *H. Bühler:* Réglages échantillonnés. Volume 2: Traitement dans l'éspace d'état. Lausanne, Presses Polytechnique Romandes, 1983.

[10] *H. Bühler:* Zustands- und Störgrössen-Beobachter. SGA-Zeitschrift 1(1981)2, S. 9...14.

[11] *J.-P. Favre:* Correction de la composante intégrale de régulateurs digitaux en cas de limitation. Bulletin ASSPA 4(1984)4, p. 3...10.

[12] *H. Bühler:* Electronique de réglage et de commande. Traité d'électricité de l'EPFL. Vol. XVI. St-Saphorin, Editions Georgi, 1979.

[13] *H. Bühler:* Réglages échantillonnés. Vol. I: Traitement par la transformation en z. Lausanne, Presses Polytechniques Romandes, 1982.