

Etude du système perturbé avec incertitudes structurées et non structurées

Le schéma bloc pour analyser le système avec incertitudes structurées et non structurées est représenté sur la Figure 5.37.

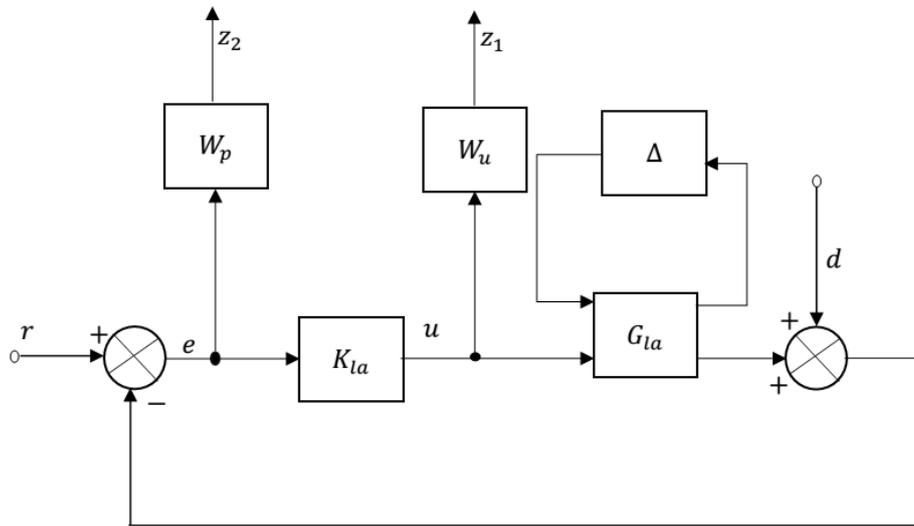


Figure 5.37 : Schéma bloc du système perturbé avec incertitudes structurées et non structurées en vol latéral

La réponse fréquentielle des bornes inférieure et supérieure de la valeur singulière structurées et non structurées de la matrice M_{11} , matrice d'analyse de la performance nominale, pour le correcteur est représentée sur la figure 5.38.

Bouclage	ω_m (rad/s)	$\max[\mu(M_{11})]$
K_{la}	0.7053	0,7741

Tableau 5.18 : Analyse de la performance nominale.

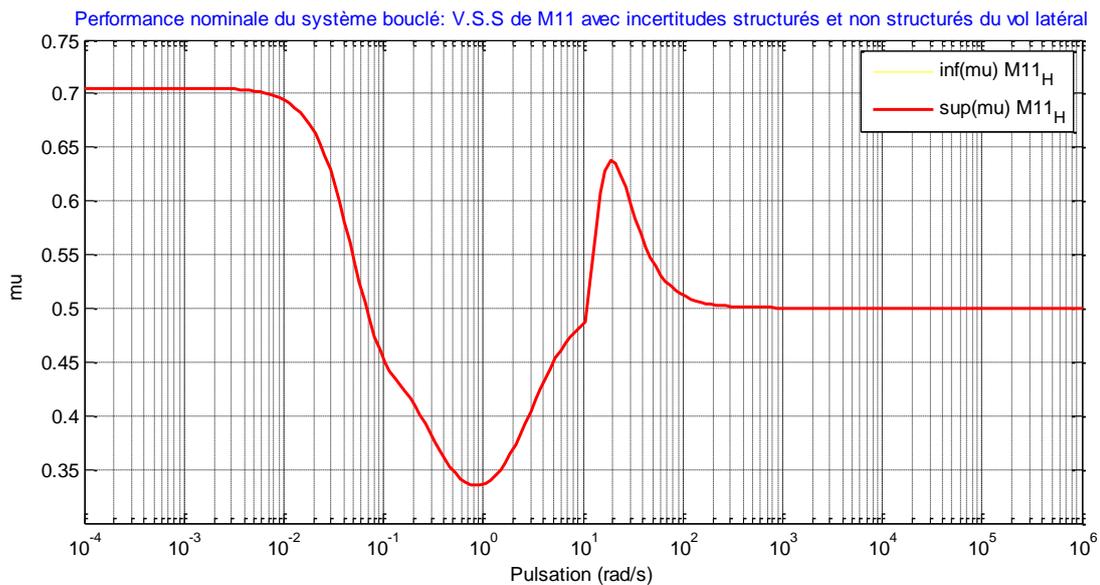


Figure 5.38 : Performance Nominale du Système Bouclé

Le système est jugé performant car $\max[\mu(M_{11})] < 1$ pour ce bouclage (Tableau 5.18).

La réponse fréquentielle des bornes inférieure et supérieure de la valeur singulière structurées et non structurées de la matrice M_{22} , matrice d'analyse de la robustesse en stabilité, pour le correcteur est représentée sur la figure 5.39.

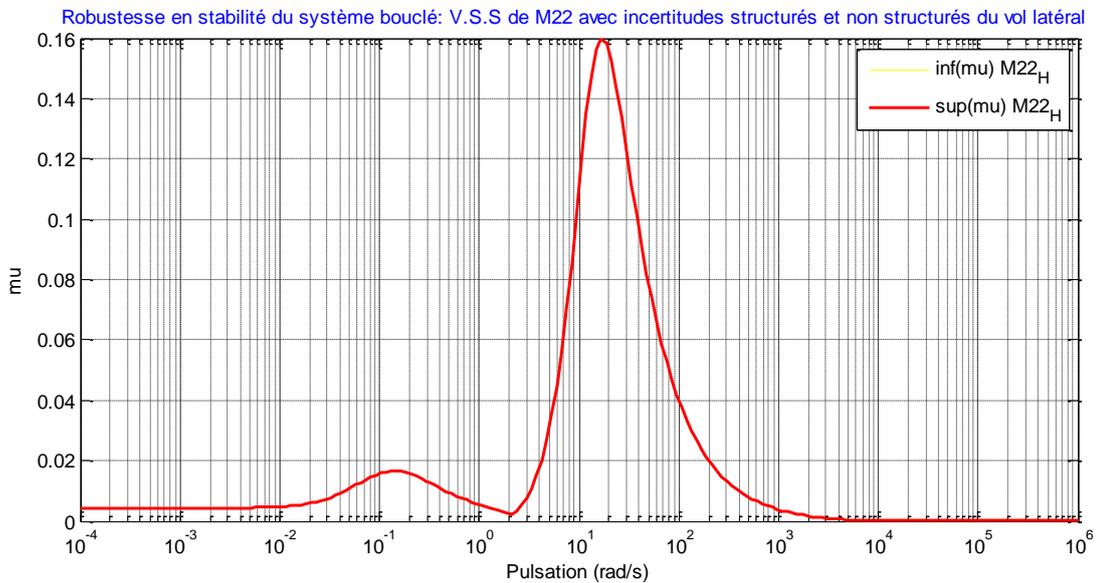


Figure 5.39 : Robustesse en Stabilité du Système Bouclé

Bouclage	ω_m (rad/s)	$\max[\mu(M_{22})]$	Garantie de stabilité
K_{la}	1.0474	0.1597	$\ \Delta\ _\infty < \frac{1}{0.1597}$

Tableau 5.19 : Analyse de la robustesse en stabilité.

Le système est jugé stable en robustesse car $\max[\mu(M_{22})] < 1$ pour ce bouclage (Tableau 5.19).

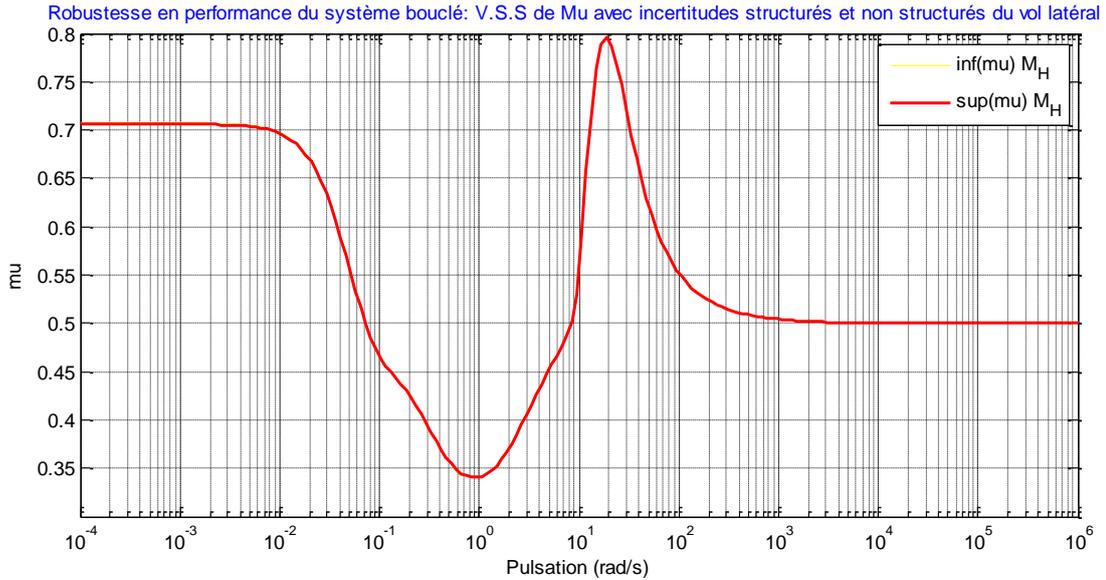


Figure 5.40 : Robustesse en Performance du Système Bouclé

La réponse fréquentielle des bornes inférieure et supérieure de la valeur singulière structurée et non structurée de la matrice M , matrice d'analyse de la robustesse en performance du système, pour chaque type de correcteur est représentée sur la figure 5.36.

Bouclage	$\omega_m(\text{rad/s})$	$\max[\mu(M)]$	Garantie de la performance
K_{la}	18.8965	0.7955	$\ \Delta\ _\infty < \frac{1}{0.7955}$

Tableau 5.20 : Analyse de la robustesse en performance.

Le système est jugé performant en robustesse car $\max[\mu(M)] < 1$ pour ce bouclage (Tableau 5.20). Cette performance est largement garantie avec le correcteur par la synthèse H_∞ .

5.6 Simulation de la stabilité aérolastique des pales des rotors de l'hélicoptère

5.6.1 Simulation de la dynamique couplée de battement

D'après le chapitre précédent, en résolvant pour toutes les racines, on peut obtenir l'information sur la stabilité du système et d'après l'équation 4.78, on obtient :

$$M_{11}M_{22}s^4 + (M_{11}C_{22} + C_{11}M_{22})s^3 + (M_{11}K_{22} + C_{11}C_{22} + K_{11}M_{22} - C_{12}C_{21})s^2 + (C_{11}K_{22} + K_{11}C_{22} - C_{12}K_{11} - K_{12}C_{21})s + K_{12}K_{11} = 0 \quad (5.13)$$

D'après le calcul, on trouve que les racines qui apparaissent sous la forme de paires conjuguées complexes comme $s_j = \sigma_j \mp i\omega_j$, où σ_j représente l'amortissement modal et ω représente la fréquence modale :

$$\begin{aligned} & -0,0650 + 7,5672i \\ & -0,0650 - 7,5672i \\ & -0,0700 + 0,3000i \\ & -0,0700 - 0,3000i \end{aligned}$$

On trouve que toutes les valeurs de σ_j sont négatives c'est-à-dire la partie réelle du système est dans la partie négative, donc le système est stable.

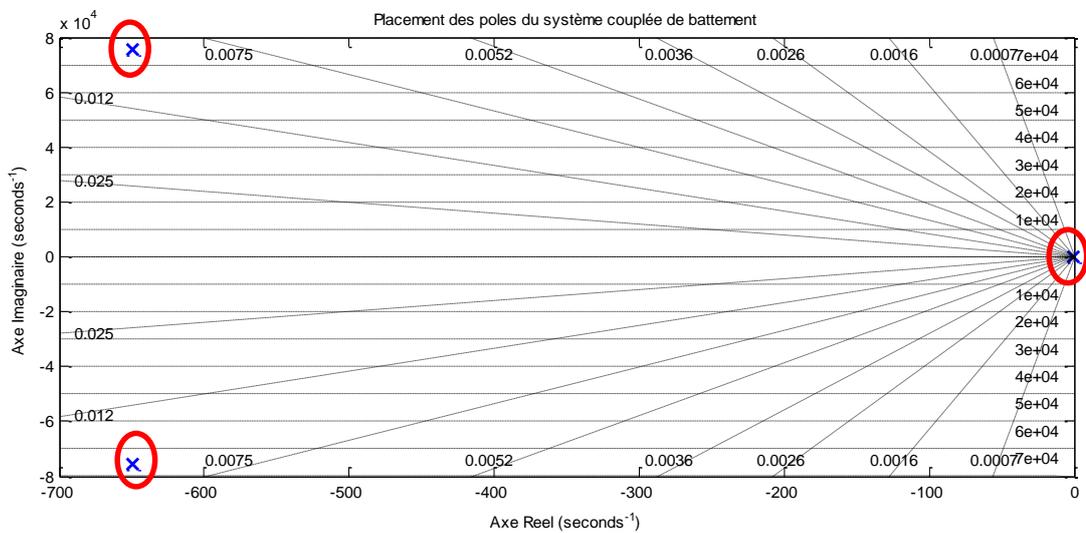


Figure 5.41 : Placement des pôles du système

D'après la figure 5.47 ci-dessus, nous pouvons remarquer que tous ces quatre pôles se trouvent dans la partie réelle négative, ce qui signifie qu'ils sont situés dans la moitié gauche du plan complexe. De cela, on peut déduire que ce système est stable.

5.6.2 Simulation de la dynamique couplée de battement-torsion d'une pôle de rotor isolée

D'après le développement de l'équation 4.149, on obtient :

$$\begin{aligned} N_{11}N_{22}s^4 + (N_{11}P_{22} + P_{11}N_{22})s^3 + (N_{11}S_{22} + P_{11}P_{22} + S_{11}N_{22} - P_{12}P_{21})s^2 \\ + (P_{11}S_{22} + S_{11}P_{22} - P_{12}S_{11} - S_{12}P_{21})s + S_{12}S_{11} = 0 \end{aligned} \quad (5.14)$$

Les quatre racines de l'équation caractéristique ont été évaluées numériquement. Les racines apparaissent comme des conjugués complexes. La partie réelle représente l'amortissement modal, et la partie imaginaire la fréquence modale.

-9,8056
 -0,0066
 -0,0000
 -0,0000

On trouve que toutes les valeurs de la partie réelle sont négatives, donc le système est stable.

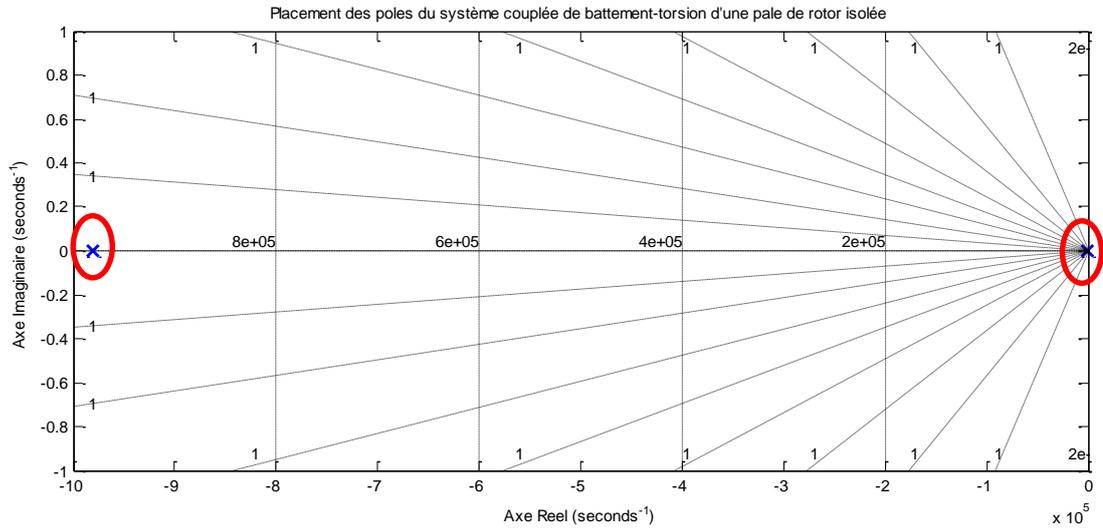


Figure 5.42 : Placement des pôles du système couplée de battement-torsion d'une pale de rotor isolée

5.7 Conclusion

Dans ce chapitre, Nous avons développé la théorie d'une commande pour le vol longitudinal et vol latéral de l'hélicoptère. Nous avons étudié et simulé aussi les vols longitudinal et latéral pour l'hélicoptère. L'étude a trouvé un correcteur pour chaque type de vol. Ce correcteur a obtenu par la synthèse H_{∞} . Pour chaque type de vol, on a étudié le système avec incertitudes structurés, avec incertitudes non structurées et avec incertitudes structurées et non structurées. Par la μ -analyse on a pu constaté que la robustesse en stabilité, la performance nominale et la robustesse en performance sont satisfaisantes.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le travail que nous avons présenté dans cette thèse a amené à une contribution à l'analyse et la synthèse des lois de commande robuste appliquées au système de vol longitudinal et latéral ainsi qu'à l'étude de la stabilité des rotors de l'hélicoptère.

Notre travail commence par le développement des outils de la commande robuste. Nous avons introduit toutes les notions de base nécessaire pour résoudre tout problème d'automatique : l'analyse, la notion de robustesse par l'intermédiaire des asservissements, les outils mathématiques qui seront utilisés par la suite. Ce chapitre montre aussi comment appréhender le problème de la commande robuste en boucle ouverte qui ne remet pas en cause la stabilité du système si celui-ci est stable. La commande par H_∞ par l'algorithme de Glover Doyle qui est utilisé par la suite comme un outil puissant de synthèse d'un correcteur. L'analyse de la robustesse d'un système linéaire à temps continu consiste donc à vérifier que la stabilité et les performances continuent d'être assurées malgré les incertitudes de modélisation. La μ -synthèse ainsi que la μ -analyse sont toutes les deux basées sur la valeur singulière structurée. Cette valeur peut mesurer la robustesse en stabilité ainsi qu'en performance d'un système. Le correcteur K qui peut stabiliser un système perturbé s'obtient en minimisant la valeur supérieure de cette valeur même.

Dans le second chapitre, nous avons présenté les informations générales sur la façon dont l'hélicoptère se comporte en vol et la modélisation non linéaire d'un système de l'hélicoptère qui est défini comme étant constitué de plusieurs sous-systèmes interagissant entre eux. Nous avons développé la modélisation dynamique d'un corps rigide. Une analyse de l'aérodynamique d'un hélicoptère est complexe et implique des aspects (effets des tourbillons, les perturbations provenant des rafales, les aspects de performance, etc.) qui, pour les objectifs de la modélisation et de la synthèse, ne sont pas considérées dans ce travail. Enfin, le mouvement dynamique des hélicoptères est difficile à appréhender, tant les effets aérodynamiques et les couplages en trois dimensions sont nombreux et complexes suivant le cas étudié. Lors des manœuvres complexes de l'hélicoptère, la force de poussée est une fonction des angles de roulis, de tangage et de lacet.

Nous avons développés aussi sur ce chapitre la linéarisation des équations d'état, des équations d'état du sous-système en vol longitudinal et latéral de l'hélicoptère.

Dans le chapitre trois, nous avons entamé l'étude de comportement du rotor de queue devant compenser le couple de rotation dû au rotor principal afin que l'hélicoptère maintienne un angle de lacet régulier. Certains paramètres qui dépendent des conditions d'environnement et de la météorologie (rafale de vent) du système de l'hélicoptère ont été négligés dans cette étude. L'hélicoptère est donc un système dynamique non linéaire à plusieurs variables d'état.

Dans le quatrième chapitre, nous avons présenté et développé la dynamique du mouvement couplé de battement- trainé- torsion. La dynamique couplée conduit à modéliser des diverses instabilités aéroélastiques dans la pôle du rotor. L'analyse de la dynamique couplée battement- traîner-torsion d'une pôle de rotor est complexe. Ainsi, *l'originalité et l'innovation* de cette thèse de Doctorat est *l'utilisation du modèle de Greenberg, de Theodorsen, de Newton-Raphson et ces équations canoniques* pour développer *les équations de la déformation aéroélastiques de la pale du rotor de l'hélicoptère*. Nous avons développé avec les modèles mathématiques et les équations différentielles qui décrivent le modèle stabilité du rotor aéroélastique de l'hélicoptère.

Dans le dernier chapitre, nous avons étudié et simulé les vols longitudinal et latéral pour l'hélicoptère ainsi que l'établissement d'un correcteur pour chaque type de vol. Ce correcteur a été obtenu par la synthèse H_∞ . Pour chaque type de vol, on a étudié le système avec incertitudes structurés, avec incertitudes non structurées et avec incertitudes structurées et non structurées. Par la μ -analyse on a pu constaté que la robustesse en stabilité, la performance nominale et la robustesse en performance sont satisfaisantes.

Perspective :

Le travail, présenté dans ce rapport, amène à soulever les perspectives sur le thème de recherche en aéronautique et en automatique, par exemple à des problèmes de μ -analyse et de synthèse pour la modélisation de l'hélicoptère des systèmes à retard non linéaires en **D**-stabilité à temps discret en intégrant la dynamique du vent.

ANNEXES

Annexe.1. Lettre d'Acceptation de la publication International

A1.1. Contribution to the modeling of the robust control, of the longitudinal and lateral helicopter motion analysis

Article publié sur International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR), ISSN: 2321-0869 (O) 2454-4698 (P), Volume-7, Issue-1, January 2017.

International Journal of Engineering Research and Technology
ISSN : 2278 - 0181
IJERT- Editorial Management System (EMS)

IJERT-Home | EMS Home | Submit Manuscript | Author Login | Apply as Reviewer | Reviewer Login | Check Status | Conference proceedings

Check Paper Status

Enter Email to Check Paper Status:

Search

Paper Id	Paper Title	Publication Issue	Paper Acceptance	Payment Status	Copy Right Status	Publish Status	Dispatch Hardcopy Status
IJERTV7IS030064	Contribution to the modeling of the robust control, of the longitudinal and lateral helicopter motion analysis	Volume. 7, Issue. 3 , March - 2018	Paper Accepted	Pending (Not Completed) Login to continue	Copyright Not yet Uploaded Login to continue	Pending	Pending

International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)

(ISSN: 2278-0181)

www.ijert.org

Dear Rabearivelo Apotheken Gericha,

Thank you for your contribution in our journal. At the same time we gladly inform you that your submitted manuscript, for which you are the correspondence author, has been passed through our initial screening stage and is accepted for further publication process in IJERT, **but we yet not got any reply from your side.**

This is **reminder** to do registration and payment of processing charges towards your selected paper for publication in current **Volume. 7 , Issue. 3 , March - 2018** issue of our international engineering journal (IJERT).

Your following article will publish in the **Volume. 7 , Issue. 3 , March - 2018 of IJERT** according to the further review process & priorities once you complete below simple 2 Step registration process.

Your Manuscript details are as follow:

Paper Title : Contribution to the modeling of the robust control, of the longitudinal and lateral helicopter motion analysis

Paper Id : IJERTV7IS030064

Last Date for Registration/Payment: 17-Mar-2018

Step - 1 : -

You have to make one time payment of processing charge (USD \$100 , per article) as final step of publishing your paper at Journal.

Publication Charge includes,

Publication Charge includes,

- All Authors Registration charges to publish one article,
- Author Welcome Kit
- One Hard Copy of Full Published Paper with Full color Journal Cover Pages
- Individual color hard copies of Certificate of Publication to **all authors of paper**
- Paper Publication charges (Both Online & Print)
- Standard Speed Post/Dispatch Charges of Paper & Certificates
- Indexing of Article
- Lifetime Preservation of Article (Open Access)

Make secured online payment directly via Paypal, Master/Visa Debit Cards, Credit Cards by using below link, **(Use Google Chrome)**

<http://ems.ijert.org/place-order=FHys52F0y5MqwpnaFfCv70feP>

If you want to **Bank Wire Transfer** from your local bank then check below link for our account details:

<http://ems.ijert.org/process-transaction=FHys52F0y5MqwpnaFfCv70feP&Usd>

Step - 2:-

After making payment, please download Copy Right Agreement form , print it, fill it, scan it and upload it at below link **along with Final Version of paper in DOC/DOCX & PDF** and Payment receipt if any,

[Download Copyright Agreement Form](#)

Upload Copyright Form, Final Version of Paper, Payment receipt (if any),

<http://ems.ijert.org/upload-documents=FHys52F0y5MqwpnaFfCv70feP>

(Note: Payment Receipt required for **Bank Wire Transfer Only**)

You can also complete this 2 step registration process easily via Log in to your IJERT-EMS Author Manager account and click on "**Complete Registration**" in submitted paper section,

[EMS - Author Login](#)

If you need further assistance, please open a ticket via the IJERT-EMS Author Manager login. We are happy to assist you.

Looking forward to a good collaboration,

Many Thanks,

Editor,

<http://www.ijert.org>

[IJERT Home](#) | [Log in to Author Account](#) | [Update your Profile](#) | [Contact Us](#)

You are receiving this email because you are registered user of IJERT

Dear Rabearivelo Apotheken Gericha,

Thank you for your contribution in our journal. At the same time we gladly inform you that your submitted paper, for which you are the correspondence author, has been passed through our initial screening stage and is accepted for further publication process in IJERT.

As a result, your paper will publish in the **Volume. 7 , Issue. 3 , March - 2018 of IJERT** according to the further review process & priorities.

Your Manuscript details are as follow:

Paper Title : Contribution to the modeling of the robust control, of the longitudinal and lateral helicopter motion analysis

Paper Id : IJERTV7IS030064

Your Paper will publish in online & print version, after once you finish **simple 3 Step registration process.**

Please Log in to your online IJERT-EMS author manger account, **for detailed registration procedure.**

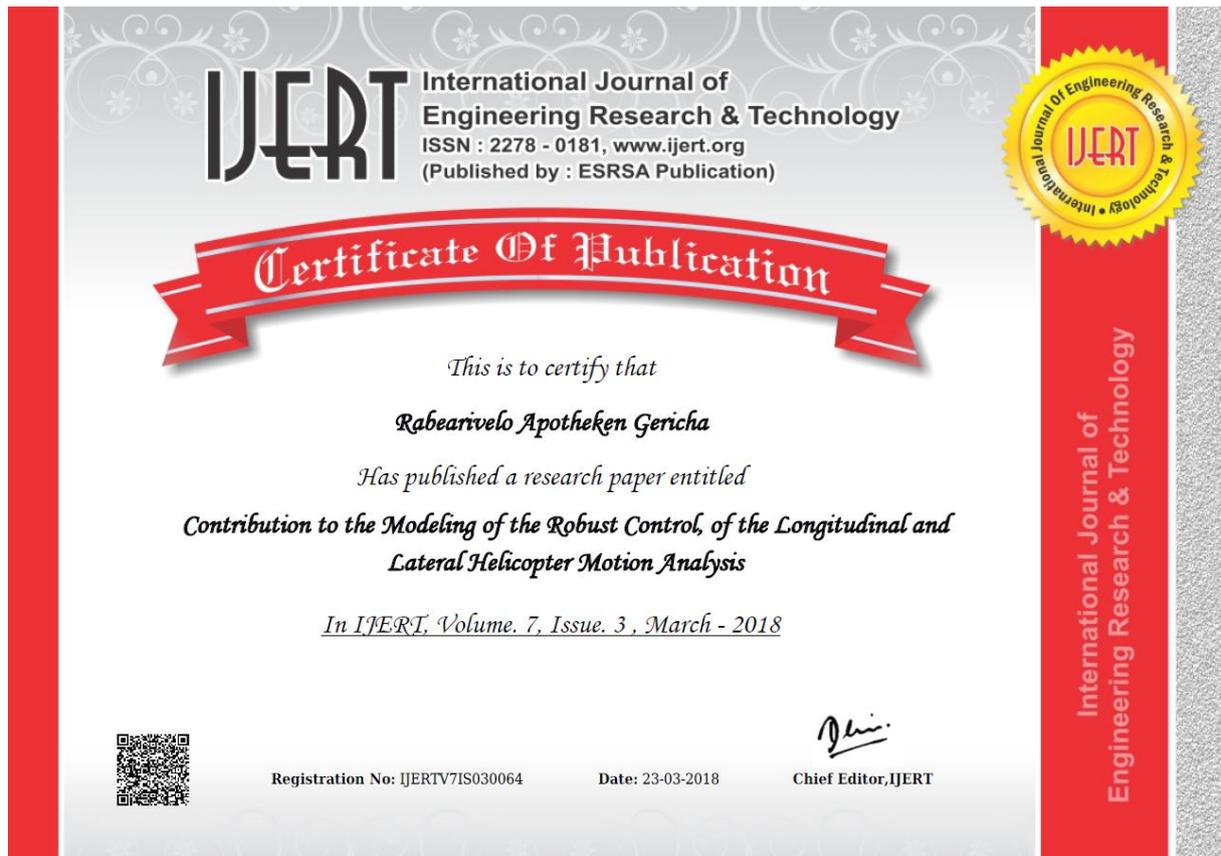
Looking forward to a good collaboration,



Thanking You,

Yours Faithfully,

Editor, IJERT



A1.2. State feedback control of a helicopter in longitudinal flight

Article publié dans l'International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR), ISSN: 2321-0869 (O) 2454-4698 (P), Volume-7, Issue-1, January 2017.

International Journal of Engineering Research and Technology
 ISSN : 2278 - 0181
 IJERT- Editorial Management System (EMS)

IJERT-Home | EMS Home | Submit Manuscript | Author Login | Apply as Reviewer | Reviewer Login | Check Status | Conference proceedings

Check Paper Status

Enter Email to Check Paper Status: [Search](#)

Paper Id	Paper Title	Publication Issue	Paper Acceptance	Payment Status	Copy Right Status	Publish Status	Dispatch Hardcopy Status
IJERTV7IS030065	STATE FEEDBACK CONTROL OF A HELICOPTER IN LONGITUDINAL FLIGHT	Volume. 7, Issue. 3, March - 2018	Paper Accepted	Pending (Not Completed) Login to continue	Copyright Not yet Uploaded Login to continue	Pending	Pending

Dear Rabearivelo Apotheken Gericha,

Thank you for your contribution in our journal. At the same time we gladly inform you that your submitted manuscript, for which you are the correspondence author, has been passed through our initial screening stage and is accepted for further publication process in IJERT.

As a result, your following article will publish in the **Volume. 7 , Issue. 3 , March - 2018 of IJERT** according to the further review process & priorities.

Your Paper will publish in online & print version, and all Hard Copies of certificates & paper will be dispatched, you have to finish below **simple 2 Step registration process.**

Your Manuscript details are as follow:

Paper Title : STATE FEEDBACK CONTROL OF A HELICOPTER IN LONGITUDINAL FLIGHT

Paper Id : IJERTV7IS030065

Last Date for Registration/Payment: 12-Mar-2018

Step - 1 : -

You have to make one time payment of processing charge (USD \$100 , per article) as final step of publishing your paper at Journal.

Publication Charge includes,

- All Authors Registration charges to publish one article,
- Author Welcome Kit
- One Hard Copy of Full Published Paper with Full color Journal Cover Pages
- Individual color hard copies of Certificate of Publication to **all authors of paper**
- Paper Publication charges (Both Online & Print)
- Standard Speed Post/Dispatch Charges of Paper & Certificates
- Indexing of Article
- Lifetime Preservation of Article (Open Access)

Make secured online payment directly via Paypal, Master/Visa Debit Cards, Credit Cards by using below link, **(Use Google Chrome)**

<http://ems.ijert.org/place-order=Mmlijn9RyJn1Khew7Ki483Nvl>

If you want to **Bank Wire Transfer** from your local bank then check below link for our account details:

<http://ems.ijert.org/process-transaction=Mmlijn9RyJn1Khew7Ki483Nvl&Usd>

Step - 2:-

After making payment, please download Copy Right Agreement form , print it, fill it, scan it and upload it at below link **along with Final Version of paper in DOC/DOCX & PDF** and Payment receipt if any,

[Download Copyright Agreement Form](#)

Upload Copyright Form, Final Version of Paper, Payment receipt (if any).

<http://ems.ijert.org/upload-documents=Mmlijn9RyJn1Khew7Ki483Nvl>

(Note: Payment Receipt required for **Bank Wire Transfer Only**)

You can also complete this 2 step registration process easily via Log in to your IJERT-EMS Author Manager account and click on "**Complete Registration**" in submitted paper section,

EMS - Author Login

If you need further assistance, please open a ticket via the IJERT-EMS Author Manager login. We are happy to assist you.

Looking forward to a good collaboration,

Many Thanks,

Editor,
<http://www.ijert.org>

[IJERT Home](#) | [Log in to Author Account](#) | [Update your Profile](#) | [Contact Us](#)

You are receiving this email because you are registered user of IJERT