



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش: الکترونیک

عنوان پروژه :

نحوه طراحی و ساخت هلیکوپتر

چهار روتوره و بررسی نحوه عملکرد آن

استاد راهنما: دکتر یارقلی

گردآوری و تنظیم: شیما پویان ۸۷۴۴۲۱۱۱

لیلا توکلی ۸۷۴۴۲۱۱۵

تاریخ دفاعیه : شهریور ۹۱

## فهرست

مقدمه.....	۵
فصل اول: معرفی.....	۶
۱-۱ طرح اصلی.....	۷
۲-۱ طرح پیشنهادی برای ساخت.....	۹
۳-۱ اهداف.....	۱۰
۴-۱ اطلاعات پیش زمینه.....	۱۰
فصل دوم: جزئیات طراحی.....	۱۲
۱-۲ ساختار.....	۱۳
۲-۲ موتور.....	۱۵
۳-۲ ملخ هلیکوپتر.....	۱۵
۴-۲ گیربکس.....	۱۵
۵-۲ بازوها.....	۱۶
۶-۲ باتری.....	۱۶
۷-۲ بدنه ی مرکزی.....	۱۶
۸-۲ پایه های موتور.....	۱۷
فصل سوم: کنترل.....	۱۸
۱-۳ شمای کلی کنترلر.....	۱۹
۱-۱-۳ کنترل موقعیت.....	۲۰
۲-۳ تجهیزات مورد استفاده در کنترل.....	۲۳
۱-۲-۳ فرستنده و گیرنده.....	۲۳
۲-۲-۳ سنسور.....	۲۴

۳-۲-۳ ژيروسکوپ..... ۲۴

۴-۲-۳ شتاب سنج XY ..... ۲۴

۵-۲-۳ نرم افزار ..... ۲۴

۶-۲-۳ مدار ..... ۲۷

فصل چهارم: آنالیز..... ۲۸

۴-۱ شبیه سازی دینامیکی ..... ۲۹

۴-۱-۱ سیستم های معادله دیفرانسیلی..... ۲۹

۴-۱-۲ شبیه سازی ها..... ۳۳

۴-۱-۲-۱ شبیه سازی ۱..... ۳۵

۴-۱-۲-۲ شبیه سازی ۲..... ۳۷

۴-۱-۲-۳ شبیه سازی ۳..... ۳۸

۴-۲ آنالیز فشار عنصر محدود..... ۴۰

فصل پنجم: آزمایشات..... ۴۱

۵-۱ آزمایشات سخت افزاری..... ۴۲

۵-۲ آزمایشات نرم افزاری..... ۴۴

پیوست ۱: شماتیک مدارات..... ۴۹

پیوست ۲: کدهای شبیه سازی MATLAB..... ۵۴

پیوست ۳: انواع موتورها و کنترلر آنها..... ۵۶

الف) موتورهای DC..... ۵۶

الف-۱) کنترل جهت موتور DC..... ۵۷

الف-۲) کنترل موتورهای DC با استفاده از ترانزیستور..... ۵۸

الف-۳) بررسی IC های درایو موتور DC..... ۶۰

الف (۱-۳) درایو L298..... ۶۱

الف (۲-۳) درایو L293..... ۶۴

الف-۴) کنترل سرعت در موتورهای DC..... ۶۷

ب) موتورهای پله ای..... ۷۰

ب-۱) زاویه پله..... ۷۲

ب-۲) پله در ثانیه و RPM..... ۷۲

ب-۳) پله در ثانیه..... ۷۳

ب-۴) RPM..... ۷۳

ب-۵) راه انداز موتور به صورت نیم پله..... ۷۳

ب-۶) مدارهای درایور موتور پله ای..... ۷۴

ب-۶-۱) راه اندازی موتور پله ای با استفاده از ترانزیستور و MOSFET..... ۷۵

ب-۶-۲) آی سی های درایور موتور پله ای..... ۷۵

ب-۶-۲-۱) درایور ULN2002 و ULN2003..... ۷۶

ج) انواع کنترلر گرها..... ۷۹

فصل ششم: منابع..... ۸۰

## مقدمه

هدف از این پروژه بررسی نحوه طراحی و ساخت هلیکوپتر چهار روتوره UAV می باشد. طرح پیشنهادی برای این طراحی و ساخت، وسیله ای سبک وزن، با مهارت و سرعت عمل بالا، قدرتمند، مستقل و با قابلیت مانور بالا است که می تواند همزمان در داخل و خارج ساختمان تحت هر شرایط آب و هوایی مورد استفاده قرار گیرد.

هلیکوپتر بدون سرنشین (UAV) وسیله ایست که قادر است بدون خلبان و سرنشین پرواز کند. این وسایل می توانند از راه دور توسط یک اپراتور کنترل شوند، یا می توانند به صورت کنترل خودکار از طریق مسیرهای از پیش برنامه ریزی شده پرواز کنند. این نوع هلیکوپتر در حال حاضر توسط ارتش برای تعهد نامه ها و عملیات جستجو و نجات استفاده می شود. علاوه بر این استفاده از UAV توسط نیروهای نظامی، به طور خاص به عنوان ابزاری برای جستجو و عملیات نجات، و امداد رسانی استفاده می شود. اینگونه استفاده ها متضمن توسعه تکنولوژی UAV می باشد.

یک هلیکوپتر چهار روتوره وسیله ایست که بلند شدن آن توسط چهار روتور انجام می شود. کنترل چنین وسیله ای با تغییر سرعت هریک از چهار موتور که به هم وابسته می باشند نسبت به یکدیگر انجام می شود.

وسایل چهار روتوره به طور طبیعی نیازمند یک سیستم کنترل پیشرفته به منظور پرواز متعادل و با ثبات می باشند.

دینامیک چنین سیستمی نیازمند تنظیم دقیق و ثابت بطور همزمان برای هر چهار موتور می باشد.

هدف از انجام چنین پروژه ای این است، که وسیله ای طراحی و ساخته شود که قادر به پشتیبانی از چهار روتور قابل استفاده در محیط داخلی و خارجی ساختمان باشد و بتواند در هر دو مکان پرواز کرده و یا به حالت شناور در هوا باقی بماند.

بدلیل استفاده از یک سیستم کنترلی دقیق، کامل و یکپارچه، این وسیله قادر به عملکرد مستقل از قبیل برخاستن، شناور بودن در هوا، و قابلیت فرود، از طریق مسیرهای پرواز از پیش برنامه ریزی شده خواهد بود.

# فصل اول

## معرفی

شامل زیر بخش های :

- ۱-۱ طرح اصلی
- ۱-۲ طرح پیشنهادی برای ساخت
- ۱-۳ اهداف



## ۱-۱ طرح اصلی:

یکی از اهداف اصلی این طرح دستیابی به سیستم کنترل در فرکانس بالا، ۱ کیلو هرتز، در این وسیله می باشد

این رویکرد در تضاد با سیستم عامل های تجاری و پژوهشی موجود است که در آن سیستم کنترل با فرکانسی در حدود ۵۰ تا ۱۰۰ Hz کار می کند.

کنترل در فرکانسهای بسیار بالا باعث ایجاد پاسخ بسیار سریع در مقابل تغییرات شرایط محیطی از قبیل، بادهای متلاطم و شدید می شود. همچنین اجازه انجام مانورهای شدید آکروباتیک را می دهد.

از طرف دیگر در فرکانسهای پایین (در حدود ۵ هرتز) عملکرد پایدارتری حاصل می شود.

کلید دستیابی به این هدف ساخت سیستم عامل های مینیمالیستی سبک وزن و قابل کنترل در فرکانس بسیار بالا می باشد.

در ساخت این نوع هلیکوپتر تلاش بسیاری برای کاهش وزن و کنترل پذیری بیشتر آن انجام می شود.

به طور کلی وسایل چهار روتوره تنها برای حمل و نقل سبک می باشد، بنابراین برای حمل وزن منبع تغذیه، باتری های سنگین، به پردازنده دیگری نیاز است. بنابراین، کاهش وزن تمام اجزاء برای داشتن نیروی مناسب جهت حمل کلیه اجزای آن ضروری است.

سیستم کنترل نیز برای چنین وسیله ای پیچیده است بطوریکه نیازمند هماهنگ سازی کارکرد هریک از چهار موتور می باشد. این موتورها باید به طور دقیق و نزدیک هم کنترل شوند تا تغییر و اختلاف بین موتورها مشخص شود.

و نیز به طور موثر به منظور تعدیل اختلالات خارجی باید هماهنگی بین موتورها صورت گیرد. ( اگر یکی از موتورها کمی قدرتمند تر و بیشتر از بقیه موتورها کار کند تعادل وسیله بهم ریخته و واژگون می شود).

تلاش برای دستیابی به این نوع سیستم کنترل بر عهده ی هر دو قسمت سخت افزاری و نرم افزاری می باشد.

از نظر سخت افزاری وسیله نیازمند واحدی برای اندازه گیری میزان حرکات است که قادر به سریع پاسخ دادن و دارای وزن سبک باشد.

از نظر نرم افزاری الگوریتم های کنترلی بسیار قوی که در ارتباط نزدیکی با قسمت سخت افزاری می باشد مورد نیاز هستند.

در پردازنده ی سیستم، قطعه ای برای سنجش سرعت بالا موجود است که متشکل از سه ژيروسکوپ برای اندازه گیری نسبی زاویه هلیکوپتر می باشد.

سیستم کنترل در فرکانس بالا مانع استفاده از کنترل کننده ی موتور بدون جاروبک تجاری می باشد، و فقط اجازه می دهند سرعت موتور دارای فرکانسی در حدود ۵۰ هرتز باشد.

این نوع سیستم کنترلی دارای زمان مرده ی بسیار کم و توانایی بالا در کنترل بسیاری از حرکت های دینامیکی از جمله پروازهای آکروباتیک با حلقه ها، چرخش های سریع و مانورهای ترکیبی که مانع تعادل سیستم کنترلی در شرایط سخت می شود، می باشد.

داشتن چنین سیستم کنترلی فرکانس بالایی به ما اجازه ی ایجاد بدنه ی اصلی بسیار پایدار، که توانایی حمل باری با وزن تا ۳۵۰ گرم را دارد، می دهد.

ویژگی و توانایی مقاومت این بدنه، ترکیب پردازنده و قسمت سخت افزاری سیستم ردیابی را امکان پذیر می سازد.

دوربین های نصب شده بر روی بدنه اصلی باعث بهره مندی از یک تصویر ثابت می شوند.

در ایجاد ساختار وسیله ای که هم سبک و هم محکم باشد، استفاده از فیبر کربن و پلاستیک ABS مثرمتر می باشد.

در این وسیله از یک سیستم کنترل حلقه بسته متناسب استفاده شده است که در دینامیک پرواز آن یک محور جاپرو و دو محور دوتایی از سنسورهای اندازه گیری شیب و نوسان، استفاده شده است.

یک میکرو کامپیوتر، ورودی این سنسورها را در خود نگه می دارد و کنترلی متناسب با چهار موتوراز طریق تغییر سیگنالهای PWM که به هر یک از موتورها فرستاده می شود، انجام می دهد.

نتیجه ی این پروسه یک نمونه ی پیشرفته برای هلیکوپتر چهار موتوره ی بدون سرنشین است.



نرم افزار کنترل آن به طور کامل عملی و قابل اجرا است، گرچه عملکرد غیر قابل اعتماد سنسورهای شیب مانع این عمل می باشد.

پیش بینی ها نشان می دهد که در آینده اصلاحات در سیستم کنترل سخت افزار اجازه می دهد که پروازی با ثبات و نامحدود انجام شود.

## ۱-۲ طرح پیشنهادی برای ساخت:

قابلیت کنترل این پروژه بسیار مهم است بطوریکه برقراری تعادل سیستم به نحوه کنترل آن بستگی دارد و در صورت عدم وجود آن و یا اختلال در سیستم کنترلی سیستم از لحاظ دینامیکی ناپایدار خواهد بود.

یک هلیکوپتر چهار روتوره بدون سرنشین بیشتر از یک هلیکوپتر تک روتوره یا دو روتوره با مشکل کنترل و هماهنگی روتورها دست و پنجه نرم می کند.

تقاضای کنترل کردن، توسط موتورهای هنگامی اتفاق می افتد که تغییری در وضعیت هر یک از موتورها رخ دهد و یا اختلافی بین چرخش همزمان آنها ایجاد شود که باعث اختلافی هرچند کم در بلند شدن و حفظ تعادل وسیله می شود.

برای اینکه هلیکوپتر چهار روتوره پایداری و تعادل داشته باشد، باید هر چهار موتور در یک سطح و همزمان ارتفاع بگیرند، در نتیجه وظیفه سیستم کنترل است که تفاوت در چرخش بین موتورهای و نیز تغییرات آنها را با تنظیم قدرت منتقل شده از منبع تغذیه به هر موتور کنترل کند.

کنترل هلیکوپتر چهار روتوره نیازمند تلاش بسیاری است و کار مشکل و در عین حال مهمی می باشد.

از مزایای مهارت در طراحی چنین سیستم کنترلی، افزایش بازده و سرعت عمل هلیکوپتر چهار روتوره می باشد بطوریکه نسبت به هلیکوپترهای تک روتوره بسیار سریعتر عمل می کند.

بر خلاف هلیکوپتر تک روتوره، که برای تغییر جهت از یک ملخ کوچکتر و عمودی استفاده می کند، حرکت به جهات مختلف و تغییر جهت در هلیکوپتر چهار روتوره از طریق چهار روتور آن انجام می شود. همچنین، هلیکوپتر چهار روتوره می تواند مسیر خود را بدون نیاز به جهت یابی چندباره تغییر دهد.

ولی در این وسیله هیچ الویتی بین جلو و عقب حرکت کردن آن وجود ندارد. در هلیکوپتر چهار روتوره هر یک از موتورهای در حفظ تعادل و جهت یابی وسیله همانند بلند شدن و ارتفاع گرفتن

وسیله نقش دارند. بر خلاف بیشتر طرح های رایج هلیکوپتر تک روتوره هر روتور یک کار خاص (بلند کردن وسیله یا- کنترل جهت) و نه هر دو را انجام می دهند.

### ۱-۳ اهداف:

اهداف زیر برای پروژه ی هلیکوپتر چهار روتوره UAV دنبال می شود:

۱) در حالت شناور پرواز کردن وسیله همراه با سیستم های کنترلی که اطلاعات دینامیکی را از سنسورهای نصب شده بر وسیله دریافت می کند.

۲) در حالت شناور پرواز کردن وسیله ، با تغییراتی در ارتفاع بر اساس ورودی های دستی برای کنترل فشار و ضربه های ناگهانی ، پرت شدن، غلطیدن، انحراف از مسیر.

۳) قابلیت بازگشت به مسیر اصلی در صورت انحراف از مسیرهای از پیش برنامه ریزی شده

### ۱-۴ اطلاعات پیش زمینه:

تحقیقات زیادی در رابطه با هلیکوپتر چهار روتوره منتشر شده است. در واقع، اطلاعات زیادی راجع به این نوع هلیکوپتر ثبت شده است. در میان آنها تعداد کمی " هلیکوپتر چهارمخلخه " ساخته شده اند:

(Dammar, Michael. "Four Propeller Helicopter." US Patent D465196. November 2002.)

برخی هلیکوپترهای چهار روتوره

(DeTore, John A., Richard F. Spivey, Malcolm P. Foster,

and Tom L. Wood. "Quad Tiltrotor." US Patent D453317. February 2002.)

و انواع هلیکوپتر های بالابر عمودی

(Smart, R.C. "Vertical Lift Aircraft." US Patent 3185410. May ۱۹۶۵)

در حالی که چهار مورد یاد شده در هلیکوپترهای ملخ دار ثبت شده اطلاعات زیادی را شامل نمی شود اما بدون شک این وسیله ها مشابه کواد روتور UAV هستند.

از طرف دیگر " R.C. هوشمند " هلیکوپتر بالابر عمودی ، شامل جزئیات اجرایی از جمله پرواز و اطلاعات اولیه راجع به دینامیک ویژه آن وسیله است.

دردنیا ، تعداد بسیار کمی از افراد تحقیقات و نتایج کارهای خود را به اشتراک گذاشته اند.

از جمله هلیکوپترهای پرنده ی چهار روتوره مشابه و موجود در بازار می توان به موارد زیر اشاره کرد:

.. Silverlit X-UFO

.Draganflyer V Ti

GMBH Microdrones MD4-200 .

هر سه این محصولات از چهار روتور استفاده کرده اند.

همچنین در رابطه با سیستم کنترلی که متشکل از سه ژيروسکوپ دارای فیدبک می باشد می توان به موارد زیر اشاره کرد که علاوه بر این دارای یک دوربین پردازنده برای مقاصد شناسایی می باشند.:

GMBH Microdrones MD4-200 و

مدل خاصی از Draganflyer V Ti

در مقیاس صنعتی بسیار بزرگتر، در حال حاضر پروژه در حال توسعه به نام

Bell Boeing Quad Tilt Rotor وجود دارد.

این هلیکوپتر چهار روتوره در مقیاس بزرگ، و تحت حمایت و پشتیبانی دولت می باشد. در حال

حاضر به عنوان یک سرمایه گذاری مشترک بین Bell Helicopter Textron و سیستم های

دفاعی بوئینگ ساخته شده است. و در حال توسعه می باشد.

این پروژه بزرگترین پروژه از نظر مقیاس در بین تمام پروژه های موجود می باشد.

## فصل ششم: منابع

[1] 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation Roma, Italy, 10-14 April 2007

[2] M. Valenti, B. Bethke, G. Fiore, J. P. How and E. Feron, Indoor Multi-Vehicle Flight Testbed for Fault Detection, Isolation, and Recovery, AIAA 2006

[3] Draganfly Innovations, RcToys, <http://www.rctoys.com>

[4] Atmel Corporation, <http://www.atmel.com>

[5] Murata Manufacturing Co., Ltd., <http://www.murata.com>

[6] Zoltek Panex 33 48K Continuous PAN Carbon Fiber Properties. 2007.  
<<http://www.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=ECZO00>>.

[7] Allug, E. et al. *Control of a Quadrotor Helicopter Using Visual Feedback*. International Conference on Robotics & Automation, Washington, DC May 2002.  
<<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/7916/21826/01013341.pdf>>.

[8] Bouabdallah, S. et al. *PID vs LQ Control Techniques Applied to an Indoor Micro Quadrotor*.  
<<http://asl.epfl.ch/aslInternalWeb/ASL/publications/uploadedFiles/330.pdf>>.

[9] Chen, M. and Mihai Huzmezan. *A Simulation Model and H-infinity Loop Shaping Control of a Quad Rotor Unmanned Aerial Vehicle*. Proceedings of the IASTED International Conference on Modelling, Simulation and Optimization, Banff, Canada, July 2-4, 2003.

[10] Guo, W. and J. Horn. *Modeling and Simulation for the Development of a Quad-Rotor UAV Capable of Indoor Flight*. Department of Aerospace Engineering, Pennsylvania State University, University Park, PA, 2006.

[11] Nice, Eryk B. *Design of Four Rotor Hovering Vehicle*. Thesis presented for the degree of Masters of Science, Cornell University, May 2004. Wright, Douglas. *Stress, Strength, and Safety*. 2005. <<http://www.mech.uwa.edu.au/DANotes/SSS/safety/safety.html>>.

[12] MECE E3410.001: ENGINEERING DESIGN, Quad-rotor Unmanned Aerial Vehicle Final Report, Columbia University in the city in New York, May 2, 2007.  
<<http://www.columbia.edu>>

[13] Juergen Eckert, Falko Dressler and Reinhard German, "An Indoor Localization Framework for Four-rotor Flying Robots Using Low-power Sensor Nodes," University of Erlangen, Dept. of Computer Science 7, Technical Report 02/09, May 2009.

[14] راه اندازی موتورهای DC و پله ای توسط AVR, <<http://www.eca.ir>>