

## Treball final de grau

**Estudi: Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica**

**Títol:** Control del pitch i monitorització de l'estructura mecànica i del vent d'un aerogenerador de 2,2 kW

**Document:** Resum

**Alumne:** Pol Carreras i Viñas

**Tutor:** Lluís Pacheco Valls

**Departament:** ATC

**Àrea:** ATC

**Convocatòria (mes/any):** juny/2023

**ÍNDIX**

<b>1. INTRODUCCIÓ .....</b>	<b>2</b>
<b>2. CONTROL DEL PITCH .....</b>	<b>3</b>
<b>3. MONITORITZACIÓ DE L'ESTRUCTURA MECÀNICA I DEL VENT .....</b>	<b>4</b>
<b>4. COMUNICACIONS.....</b>	<b>5</b>
<b>5. CONCLUSIONS .....</b>	<b>6</b>

## 1. INTRODUCCIÓ

El present projecte s'emmarca dins el projecte "Llavor" concedit per la Generalitat de Catalunya a la Universitat de Girona. Es vol instal·lar un petit aerogenerador de 2,2 kW a l'Aula Ecogranja Vilà S.L. a la zona d'Ordis, Alt Empordà.

El projecte forma part d'un sistema, format per 3 microcontroladors, que desenvolupa diferents tasques que duu a terme l'aerogenerador. Els microcontroladors es comuniquen entre ells mitjançant bus I2C i amb un PLC mitjançant Modbus (RS-485).

El sistema pot treballar de forma autònoma mitjançant únicament els 3 microcontroladors o en mode test mitjançant ordres del PLC.

L'aerogenerador es troba situat a 1 km de la granja. Els microcontroladors estaran connectats a PCBs unides a l'estructura de l'aerogenerador, per altra banda el PLC es trobarà dins la granja. En les plaques de circuit imprès es faran les connexions entre els microcontroladors i els altres dispositius necessaris per portar a terme les tasques (sensors i mòduls).

En aquest projecte es realitzen dos tasques ben diferenciades. Es busca realitzar un control de l'angle d'inclinació de les pales per tal d'obtenir el màxim rendiment de l'energia del vent. Ho realitza el sistema de control de pitch.

També es recullen i tracten dades dels sensors de velocitat i direcció del vent, esforços de l'estructura, esforços dels cables tensors i vibracions. Aquests sensors serveixen de suport per les altres tasques i milloren la seguretat del sistema. És realitzat pel sistema de monitorització de l'estructura mecànica i del vent.

Cadascuna d'aquestes tasques utilitza un microcontrolador unit a la seva corresponent placa de circuit imprès.

S'utilitzen els microcontroladors PIC18F47Q10, incorporats en una placa de desenvolupament Curiosity HPC. Els PIC18 disposen de mòduls/perifèrics específics per realitzar funcions concretes (comunicació, adquisició de dades, etc) així com pins configurables d'entrades i sortides.

Per tal de programar i configurar els PIC i les seves connexions s'utilitza l'IDE de Microchip, MPLAB X, juntament amb el "plugin" MCC. La programació es realitza en llenguatge C, creant un sistema multitasca basat en interrupcions que activen les accions corresponents en el programa, per sobre de la rutina d'accions principal.

## 2. CONTROL DEL PITCH

El moviment del pitch de l'aerogenerador es porta a terme amb un actuator lineal de 24V, aquest canvia el sentit de gir mitjançant un mòdul de relé i també disposa de dos fi de cursa per no sobrepassar uns límits marcats. Es modifica la velocitat de rotació variant l'alimentació del motor a través d'una senyal PWM provinent del microcontrolador, elevada a 24V per un MOSFET.

El control d'aquest motor es realitza mitjançant l'esclau 1, PIC18F47Q10. Aquest recull dades d'un sensor lineal i amb elles calcula la posició del pitch. Es mesura també la velocitat de rotació del rotor mitjançant un encoder incremental, segons les dades obtingudes s'aplica la consigna de posició de pitch al sistema de control.

Aquest sistema de control està basat en tres controladors PI cadascun sintonitzat específicament per treballar a una velocitat de moviment de pitch diferent, alta, mitja o baixa.

A partir de la consigna de posició i el valor de posició real, es calcula l'error de posició i en funció d'aquest es seleccionen el controlador PI discret a utilitzar i la consigna de velocitat de moviment del pitch, d'entre les 3 disponibles. Mitjançant els valors de posició obtinguts a un període de temps específic es calcula la velocitat real de moviment del pitch i juntament amb la velocitat de consigna es calcula l'error de velocitat. Aquest error es passa a l'entrada del controlador PI i aquest retorna la sortida en forma de PWM que va a parar al MOSFET i conseqüentment, al motor.

Per tal de sintonitzar els controladors es monitoritza la resposta de velocitat del motor aplicant una entrada graó, es realitza el mateix per les tres velocitats seleccionades. Les dades obtingudes es recullen i es tracten utilitzant MATLAB per tal d'identificar els tres sistemes. Finalment es realitza una sintonització dels controladors i es verifiquen els seus paràmetres mitjançant simulacions en l'entorn Simulink.

Un cop sintonitzats, s'integren els controladors discretitzats dins el programa del microcontrolador, completant la rutina de control PI.

### 3. MONITORITZACIÓ DE L'ESTRUCTURA MECÀNICA I DEL VENT

S'utilitza una altra PIC per tal de recollir dades d'un acceleròmetre, un anemòmetre i quatre ponts de galgues. El sistema es comunica via I2C per alertar a la resta de microcontroladors en cas de vent excessiu, vibracions anòmales o esforços elevats en els cables tensors o l'estructura, i procedir a l'aturada de l'aerogenerador. Es comunica també via Modbus per tal de poder monitoritzar la informació obtinguda o configurar el sistema de manera remota.

Per realitzar aquestes accions es disposa d'una altra PCB a part de la del microcontrolador, aquesta es trobarà situada en la gòndola de l'aerogenerador. En ella es realitzen les connexions amb tots els sensors mencionats en aquest capítol a més del sensor lineal i l'encoder del capítol anterior. Es connecten les senyals de sortida dels sensors a mòduls de comunicació per tal de transportar-les fins la placa amb el microcontrolador, ubicada en la base del molí.

L'acceleròmetre es comunica amb el microcontrolador mitjançant bus I2C. Es programa l'acceleròmetre a un rang màxim de  $\pm 2g$  i s'obtenen les dades a una freqüència constant de 400 Hz. També s'habilita una interrupció per tal d'avisar quan el valor d'acceleració superi el límit establert de 2g i activar l'alerta corresponent.

A partir de 16 galgues es mesuren els esforços mecànics, 4 col·locades en la pròpia estructura i 12 en els cables tensors que la suporten. Aquestes estan connectades en una estructura pont de Wheatstone, resultant amb 4 ponts, 1 en el màstil i 3 en els cables. Les sortides dels ponts van connectades cadascuna a un amplificador, i aquests es troben situats en la PCB dels sensors, en la gòndola. Mitjançant convertidors voltatge/intensitat es fan arribar les senyals al PIC on el seu ADC integrat les llegeix i activa les alertes corresponents si son massa elevades.

L'anemòmetre mesura els efectes del vent. Aquest transmet un senyal analògic per indicar la direcció del vent i un senyal digital, a base de polsos, per la velocitat del vent. El senyal analògic es llegeix mitjançant l'ADC del microcontrolador i per el senyal digital es fa un comptatge dels polsos mitjançant el propi hardware de temporitzador integrat del PIC18. De la mateixa manera que en els casos anteriors es podrà activar una alerta si el vent bufa massa fort.

## 4. COMUNICACIONS

L'I2C utilitzat pel sistema permet la comunicació entre microcontroladors. S'utilitza a una freqüència de 400kbits/s. Cadascun dels PIC18 disposa de dos mòduls de comunicacions I2C, on un es troba configurat com a mestre i l'altre com a esclau. D'aquesta manera s'aconsegueix un bus multi-mestre on tots els microcontroladors poden iniciar una comunicació quan ho requereixin. S'han creat les funcions necessàries a nivell baix per tal d'enviar i rebre missatges a través del bus i s'han afegit a una llibreria per millorar la seva portabilitat.

A partir de les comunicacions d'I2C s'han estructurat 4 modes de funcionament dels microcontroladors, el mode test, el mode sleep o de baix consum, l'estat d'emergència i l'estat d'error.

El mode test és una rutina periòdica que executa un test de comunicacions, s'envien trames concretes a través d'I2C entre microcontroladors per comprovar que tots els sistemes del molí es troben operatius i que el bus es troba en bon estat.

El mode sleep permet que els microcontroladors "s'adormin" temporalment quan no es detecta generació en cap d'ells, quan es detecta de nou es reactiven tornant al seu funcionament normal.

L'estat d'emergència s'activa quan algun dels sensors detecta que l'aerogenerador es troba en perill. S'atura la rotació del molí de forma segura i es bloqueja l'eix de la turbina per evitar possibles danys. Per sortir d'aquest estat cal que el sistema sigui revisat i posteriorment, rearmat des del PLC. La maniobra d'emergència és prioritària per sobre de la resta d'accions dels microcontroladors.

L'estat d'error es produeix quan es detecta algun error intern del sistema. Comparteix similituds amb l'estat d'emergència, ja que aquest també atura la rotació de l'aerogenerador i també requereix d'una revisió i rearmament per part d'un tècnic especialitzat.

El protocol Modbus RTU s'utilitza per comunicar els microcontroladors amb el PLC extern. Això permet adquirir i modificar paràmetres per tenir un control total dels processos de l'aerogenerador.

El PLC mitjançant comunicació "half dúplex" a través del bus RS-485 llegeix o escriu en els registres dels microcontroladors. Aquests registres s'han omplert amb variables dels processos permetent al PLC testejar diverses configuracions, per conèixer les lectures dels sensors o per diagnosticar i actuar sobre l'estat del microcontrolador.

## 5. CONCLUSIONS

El sistema dissenyat compleix la seva funció dins del projecte llavor i segueix les especificacions contemplades en aquest treball. Totes les comprovacions s'han realitzat amb el hardware i software implementat.

Respecte els objectius inicials, no només s'ha realitzat la sintonització d'un controlador adient pel motor, sinó que a més a més s'han implementat els algoritmes corresponents en un microcontrolador, resultant amb un sistema de control de pitch funcional. S'han adquirit les dades dels sensors que han permès crear un sistema de seguretat en l'aerogenerador interconnectat amb la resta de funcions. A més a més s'han realitzat les comunicacions internes entre tots els sistemes de l'aerogenerador i les comunicacions externes amb el PLC.

Queden pendents de modificació algunes variables concretes del sistema durant la posada en marxa de l'aerogenerador així com futures optimitzacions o millores que es puguin portar a terme.