

Treball final de grau

Estudi: Doble titulació GEEIA - GEE

Títol: Sistema de control del consum de potència d'un mini-aerogenerador d'eix horitzontal de 2kW.

Document: Resum

Alumne: Adrià Quintana Tarradas

Tutor: Lluís Pacheco Valls

Departament: ATC

Àrea: ATC

Convocatòria (mes/any): juny/2023

ÍNDIX

1. INTRODUCCIÓ	2
2. FUNCIONAMENT DEL SISTEMA.....	3
3. INSTAL·LACIÓ ELÈCTRICA I CIRCUIT DE CONTROL.....	4
4. PROGRAMARI DEL SISTEMA DE CONTROL I COMUNICACIONS.....	5
5. COMUNICACIONS.....	7

1. INTRODUCCIÓ

El sistema de control del consum de potència forma part del mini-aerogenerador de dos kilowatts que s'està desenvolupant per l'ECOgranja Vilà del veïnat de Pols, situat al municipi alt-empordanès d'Ordis, en el marc del projecte llavor de la Universitat de Girona.

El sistema de control de potència ha d'estar implementat amb un microcontrolador, i ha de treballar de manera conjunta amb altres dispositius que monitoritzen i controlen diferents sistemes de la turbina. Així doncs, l'objectiu principal del sistema és que treballi de manera fiable, i s'ha de coordinar amb els altres dispositius del molí, perquè l'aerogenerador sigui el més eficient possible, robust i segur.

Entre els dispositius de la turbina es comuniquen amb una xarxa de bus I2C multimestre. Els diferents dispositius de la turbina queden connectats a través d'una xarxa Modbus RTU amb un PLC mestre, que permet adquirir dades i tenir un control total de l'aerogenerador.

L'aerogenerador queda connectat amb illa, i la seva potència s'ha de destinar a alimentar uns focus de la granja, a accionar una bomba que omple uns dipòsits, i a carregar una bateria que permeti connectar les càrregues en cas de no generar l'energia necessària per alimentar-les. Per tant, el microcontrolador ha de dur a terme la rutina de transferència de l'energia dels diferents elements. I per evitar danys irreparables, també s'ha d'implementar una aturada d'emergència, i una aturada d'error, perquè davant d'un error en les comunicacions o en els sensors, la turbina es pari.

Per tant, al llarg d'aquest projecte s'ha de programar el dispositiu perquè controli la transferència de potència, es comuniqui amb el PLC i els altres dispositius de la turbina, aturi el sistema en cas d'un error o una emergència, i com que el microcontrolador en cas de no haver generació només queda alimentat per la bateria, es posi en mode baix consum per optimitzar l'energia de la bateria. Altrament, s'han d'escollir i estudiar els diferents components elèctrics que interactuen amb el microcontrolador. I finalment, cal dissenyar una PCB per poder interconnectar el microcontrolador amb els sistemes de comunicacions i els circuits de potència.

2. FUNCIONAMENT DEL SISTEMA

L'aerogenerador transforma l'energia cinètica del vent a energia elèctrica a través d'un generador síncron trifàsic d'imants permanents. Per conèixer la potència que s'està generant en tot moment, s'ha dissenyat un sistema de mesura microcontrolat, que es connecta amb el microcontrolador PIC a través de la xarxa d'I2C. Aigües avall del generador hi ha el regulador de càrrega, que passa l'energia del generador de corrent altern a corrent continu, i pot subministrar energia als diferents elements elèctrics. És a dir, pot alimentar el sistema format per dues bateries de Gel de 12 V, o alimentar el bus de l'inversor que alimenta les càrregues monofàsiques de la bomba i els focus. L'algoritme de transferència de càrrega, connecta les càrregues a través d'uns relés, carrega la bateria o dissipa l'energia en un frenat elèctric que es connecta en el bus de l'inversor, a partir d'un llindars que depenen de la potència generada i els paràmetres elèctrics de les bateries: com el corrent, que depenen del sentit les bateries reben energia o l'entreguen; la tensió que permet conèixer l'estat de càrrega, i la potència del sistema de bateries, que indica la potència que rep o que entrega. En aquest algoritme es diferencien tres escenaris: quan les bateries no estan carregades i hi ha generació, quan les bateries estan carregades i hi ha generació, i el cas que no hi hagi generació. En aquesta última casuística, mentre el nivell de càrrega de la bateria i els dipòsits ho permetin, l'energia es destina a alimentar la bomba; i el dispositiu de control de potència treballa en mode baix consum per estalviar energia del conjunt de bateries.

Tal com s'ha esmentat, el sistema incorpora un frenat elèctric, que està format per sis commutadors MOSFET, controlats per PWM, que connecten bancs formats per làmpades halògenes, que actuen com a càrrega resistiva. Aquest frenat funciona en quatre escenaris diferents: el primer és que davant d'una situació d'emergència o error, el sistema connecta tots els bancs per parar la generació; el segon cas és que les bateries estan carregades i quan la potència generada supera a la demandada, l'excedent es transfereix en el frenat; la tercera situació és que les bateries no estan carregades i es limita la potència de càrrega per evitar danys a les bateries; i finalment, l'última situació és que el PLC pot fer un test en el frenat.

Davant d'una situació d'emergència, sigui detectada pel sistema de control de potència o per algun altre dispositiu, o una situació d'error, detectada pels autodiagnòstics a les variables sensoritzades o de comunicacions, el sistema para la turbina mitjançant el frenat elèctric i el frenat del moviment de l'angle d'inclinació d'elles pales. En cas de fallar les comunicacions, el sistema està preparat per parar la turbina mitjançant únicament el frenat elèctric. A més, després d'una aturada d'error o emergència, el rearmament es fa a través del PLC.

3. INSTAL·LACIÓ ELÈCTRICA I CIRCUIT DE CONTROL

El dimensionament dels conductors elèctrics s'ha fet segons el REBT i els criteris de l'IDAE. A més, s'ha buscat un mètode per compensar la potència reactiva perquè el sistema sigui el més eficient possible. Altrament, s'ha dimensionat la posada a terra, seguint els criteris que marca el REBT i el fabricant del regulador de càrrega. Finalment, s'ha dissenyat un quadre elèctric que s'instal·larà a la base del molí per facilitar la interconnexió entre el sistema de control de potència i aparells elèctrics.

El sistema de control ha de ser multitasca: ha de poder llegir les dades dels sensors, ha de comunicar-se amb els altres dispositius, i ha de fer el seguiment de tots els estats i accions de control que es desenvolupen durant la transferència de potència. Per aquest motiu s'ha escollit el microcontrolador PIC18F47Q10, que pot desenvolupar un sistema multitasca, a partir dels perifèrics que incorpora que li permeten desenvolupar interrupcions.

La lectura de corrent de diferents circuits es duu a terme amb els sensors ACS758 que són d'efecte Hall. La monitorització de l'estat de càrrega de la bateria, es realitza a través de sensors de voltatge connectats a cada bateria, del model clickboard. Finalment, per monitoritzar l'estat dels dipòsits, s'utilitzen dos sensors capacitius de tipus flotador, que permeten connectar la bomba a partir d'una comparació amb histèresis. Per connectar les càrregues i curtcircuitar l'alternador, s'utilitzen relés d'estat sòlid. El sistema que permet mesurar la potència generada, s'ha desenvolupat amb un microprocessador ESP32, connectat amb el PIC a través de la xarxa de comunicacions multimestre, i obté les lectures de corrent pel sensor ACS758.

La xarxa multimestre que comunica el diferents dispositius de la turbina s'ha desenvolupat amb una xarxa d'I2C diferencial, d'aquesta manera el sistema és més robust davant de perturbacions. Per tant, s'ha implementat un convertidor d'I2C de canal únic a I2C de canal diferencial. La sortida del convertidor es fa amb un cable RJ45, i per interconnectar els diferents dispositius a la xarxa s'utilitza un centralitzador de connexions.

La xarxa de comunicacions que connecta el sistema de control de potència amb el PLC és un Modbus RTU, per tant, s'ha instal·lat un convertidor d'UART a RS-485.

Finalment, per interconnectar els diferents dispositius de comunicacions, sensors i relés, s'ha dissenyat una PCB.

4. PROGRAMARI DEL SISTEMA DE CONTROL I COMUNICACIONS

La programació del dispositiu de control s'ha desenvolupat amb llenguatge C, a través del Programa MPlabX IDE, que incorpora el compilador XC8. El dispositiu s'ha programat tenint en compte que es desenvolupen diferents tasques en paral·lel. En la funció principal del codi es realitzen les tasques de transferència de potència, la detecció de no generació per posar el dispositiu en baix consum, els diagnòstics que avaluen errors, i la detecció de l'emergència. Fora de la rutina de la funció principal, a través d'interrupcions: es realitzen accions necessàries pel control de potència del sistema, i que condicionen el mode de treball de sistema de control de consum de potència; i les comunicacions.

La funció del codi principal es divideix en dues parts: la part d'inicialitzacions del sistema on s'inicien els perifèrics i s'assignen i es declaren les interrupcions en el vector d'interrupció, i la segona part que és un bucle infinit on es selecciona el mode de treball del sistema a través de condicions. La condició que domina tots els modes de treball és l'emergència. Quan el sistema està en emergència, es realitzen seqüencialment les accions de l'emergència per parar la turbina, i aplica, si són necessàries, les accions per frenar la turbina només amb el frenat elèctric, en cas que s'hagi donat un error de comunicació entre dispositius. En cas de no haver cap emergència, el sistema avalua si es troba en error. L'aturada d'error és similar a l'emergència, però tenint en compte els dos escenaris que poden portar a l'error: l'error de comunicacions i l'error de lectura dels sensors. Com que el sistema pot entrar en error a causa d'un error d'execució de codi, ja d'inici es contemplen dues situacions diferenciades. En l'emergència, si es detecta un error d'execució de codi, significa que prèviament el sistema ja estava en emergència, i a causa d'un error de comunicacions durant l'aturada, s'ha arribat a aquesta situació. Finalment, si el sistema no està ni en error ni en emergència, es realitza l'algoritme de transferència de potència, que s'ha programat seguint dues funcions principals: en la primera funció a partir de condicionals, es canvia el valor d'una variable d'enumeració, on a la següent funció a través d'un switch-case, depenent del valor d'aquesta variable es connecten unes càrregues o unes altres a través dels relés. La funció del frenat elèctric també es crida en la funció principal. Aquest frenat està implementat per dues funcions: la primera que selecciona el cas de frenat, i afegeix o treu potència a un acumulador de la potència de frenat, i una altra funció on a partir de la potència acumulada, controla les cel·les lògiques configurables, que permeten crear sis senyals de PWM, que connecten els bancs de càrrega de forma seqüencial, variant el cicle de treball del PWM. Finalment, en aquest llaç de la funció principal, s'avalua si hi ha generació en el sistema, la detecció de generació es percep pels

tres dispositius de la turbina, i s'ho comuniquen a través de la xarxa multimestre. Si el conjunt de dispositius no detecten generació, el sistema es posa en mode baix consum.

La lectura de les entrades analògiques es realitza a través de l'ADCC treballant amb el mode de mitjana de ràfega. A partir del temporitzador u, cada deu mil·lisegons es produeix un flanc en el convertidor, que inicia l'adquisició de 64 mostres amb un temps de mostreig de 19,55 microsegons. Un cop obtingudes les mostres, es fa la mitjana, i realitza una interrupció. Llavors, es llegeix el resultat i es canvia el canal del multiplexor per llegir les dades del següent canal, i el convertidor roman a l'espera del següent flanc.

A través de la interrupció provocada pel temporitzador cinc, cada 400 mil·lisegons, via I2C s'obté la potència generada amb el microprocessador ESP32. Seguidament, amb el temporitzador zero, cada 60 mil·lisegons, amb els valors adquirits a través de les lectures de l'ADCC i el sistema de mesura potència, es calculen les diferents potències del sistema, i es procedeix a l'assaig que diagnostica errors en les lectures dels sensors. Altrament, a través d'una interrupció de perifèrics externs, que a través dels canvis de nivell lògic dels sensors de nivell dels dipòsits, es determina si l'estat dels dipòsits permet accionar la bomba.

Per la comunicació d'I2C, a partir dels registres del MSSP1, s'ha configurat que treballi com a mestre, i amb el perifèric MSSP2, s'ha configurat que treballi com a esclau. Quan un altre dispositiu de la xarxa envia una adreça que coincideix amb la de l'esclau d'I2C configurat, per a cada dada que arriba en el buffer, el sistema provoca una interrupció. Dins de la rutina de l'esclau, hi ha un switch-case que en funció de la dada que ha arribat, assigna variables de control o variables per respondre en el bus, i d'aquesta manera es controlen diferents rutines. La funció principal de l'I2C és enviar o rebre comandes per les aturades d'error i emergència entre els dispositius de la turbina, per parar la producció. Una altra aplicació de l'I2C és testejar les comunicacions per detectar errors de comunicacions. Aquest test es duu a terme a través d'una interrupció causada pel temporitzador tres.

Finalment, a través de l'EUSART1, aprofitant les funcions que incorpora la llibreria d'aquest perifèric, i les funcions creades en la llibreria Modbus.c, s'ha sincronitzat la comunicació de Modbus RTU. D'aquesta manera el PLC pot fer una lectures de diferents variables del sistema, siguin sensors, o llindars de control. I també pot escriure sobre les variables, sigui en mode de monitorització, per rearmar el sistema després d'un error o una emergència, o en mode de test, que permet canviar els llindars de control, o escriure directament sobre sortides del microcontrolador.

5. CONCLUSIONS

A partir dels requeriments de l'ECOgarnja Vilà, que consisteixen en desenvolupar un aerogenerador que treballi amb illa i que el seu objectiu sigui omplir dos dipòsits, i davant d'un excedent encendre uns focus; s'ha dissenyat el sistema perquè sigui el més robust i eficient possible. Exceptuant el regulador de càrrega i l'alternador, que inicialment ja es tenien, la resta components elèctrics i electrònics s'han escollit per complir amb l'objectiu del projecte.

A partir dels estats de l'algoritme de control de consum de potència, el sistema pot connectar les càrregues i/o carregar les dues bateries de 12 V. Els estats canvien en funció de la potència generada i l'estat de les bateries, que es mesuren a través dels sensors de tensió i de corrent, juntament amb l'estat dels dipòsits que es monitoritza a través de dos sensors de nivell. Altrament, davant d'una situació d'emergència o un error, el sistema pot aturar-se de forma immediata. Per aturar la producció s'ha dissenyat un frenat elèctric, que afegint càrrega resistiva pot frenar la generació. Aquest frenat no només s'usa en situacions d'emergència o error, sinó que també pot protegir la bateria, limitant la potència màxima de càrrega, i en cas que la bateria estigui carregada, permet igualar la potència generada amb la consumida. En situacions que no hi hagi generació, per reduir el consum de la turbina, i allargar al màxim l'energia acumulada a la bateria, el sistema de control de potència es posa en mode baix consum per optimitzar l'energia que utilitza.

El sistema de control de potència es comunica amb els altres dispositius de la turbina, de manera independent al PLC, a través d'una xarxa multimestre amb bus I2C diferencial. El PLC es comunica amb el sistema de control de potència a través d'una xarxa Modbus RTU, i pot fer lectures i escriptures sobre diferents variables del sistema.

Per tal de realitzar el control de la potència consumida, s'ha implementat un sistema de control multitasca que permet: llegir les entrades analògiques, realitzar les tasques de comunicacions, detectar les situacions d'emergència, fer els autodiagnòstics d'errors del sistema, controlar la transferència de potència, juntament amb les aturades d'error i emergència, i detectar si es pot posar en baix consum. Gràcies a la sincronització de les diferents interrupcions, que permet el microcontrolador PIC escollit, siguin: interrupcions causades per arribades de dades en els buffers de recepció dels perifèrics de comunicació, interrupcions causades pel convertidor analògic-digital, interrupcions temporitzades o interrupcions per pins externs, s'ha obtingut aquest sistema multitasca.