

1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS

Gràcies als avenços de l'electrònica de potència, la microelectrònica i la teoria de control, s'ha generalitzat l'ús dels controls vectorials del motor d'inducció [Blaschke 1972] en aplicacions industrials. Els controls vectorials són bons sistemes d'accionament del motor d'inducció pel que fa al control precís del parell de la màquina i el seu bon comportament dinàmic. Al contrari, també és sabut que les prestacions del control vectorial són funció directa del grau de certesa en el coneixement, en tot moment, de la posició del flux a l'interior de la màquina. En conseqüència, és molt important no solament conèixer la velocitat del rotor, sinó també la seva posició. Per tant, és difícil desvincular les altes prestacions d'un control vectorial de la necessitat de mesurar la posició del rotor del motor amb elements com codificadors, etc., cosa que encareix el preu final de l'accionament [Kanmachi & Takahashi 1995].

En moltes de les aplicacions industrials el desig principal és eliminar el sensor de velocitat, bé perquè no pot ser implementat en l'aplicació o bé perquè es vol fer disminuir el cost. Però en cap cas no es volen disminuir les prestacions dinàmiques del sistema d'accionament del motor. Per tant, el desenvolupament d'un sistema d'accionament del motor d'inducció sense mesura directa de la velocitat ha estat i és actualment un ampli camp d'investigació. L'interès d'aquests accionaments sense sensor –*sensorless*– és doble: cal que el sistema pugui controlar el rang més ampli possible de velocitats i, a més, tenir una resposta ràpida.

En els darrers anys han aparegut molts sistemes d'estimació de la velocitat i esquemes d'accionaments del motor d'inducció *sensorless* [Rajashekara, Kawamura & Matsuse 1996]. El principal repte dels sistemes *sensorless* és augmentar la rapidesa de la resposta dinàmica, millorar la regulació de la velocitat, eliminar el màxim nombre de sensors, incrementar la fiabilitat i també disminuir el cost. Dels sistemes estimadors de la velocitat del motor d'inducció, se'n poden fer moltes classificacions, però la més genèrica és la que agrupa els controls *sensorless* en sistemes de baix cost amb prestacions limitades i sistemes d'alt cost amb altes prestacions [Holtz 1993].

De l'estudi dels diferents sistemes d'estimació s'extreu que els sistemes amb més resolució són més complexos i més difícils d'implementar i, per tant, industrialment menys viables, que els sistemes complexos necessiten un coneixement exacte dels paràmetres del motor i són molt influenciables per les variacions i per això necessiten rutines d'estimació de paràmetres, i finalment, que els sistemes més simples són fàcils d'implementar però tenen una pitjor resposta dinàmica.

Els objectius que es plantegen en aquesta tesi són:

1) Desenvolupar i validar un estimador de velocitat *sensorless*.

L'objectiu consisteix a sintetitzar un mètode d'estimació de velocitat del motor d'inducció simple que no empri sensor de velocitat ni posició del rotor i, a més, no faci servir sensors de tensió. L'estimador dissenyat ha d'estimar la velocitat del motor tant en règim permanent com en règim transitori.

2) Tancar el llaç de velocitat amb un control vectorial.

Amb la velocitat estimada, resultat del primer objectiu, es pretén tancar el llaç de velocitat emprant un sistema de control vectorial. L'objectiu és incorporar al sistema d'accionament final una ràpida resposta dinàmica i un control acurat de la velocitat.

3) Implementar el sistema tenint en compte la viabilitat del sistema.

El sistema implementat s'ha d'encarar a la seva possible comercialització. És a dir, hi ha d'haver un equilibri entre el cost econòmic del sistema final i les prestacions assolides perquè el sistema sigui viable.

Així, al capítol 2 es presenten els diferents models del motor d'inducció per a la posterior utilització en els algorismes d'estimació de velocitat. En aquest capítol també s'exposa un repàs de l'estat de l'art dels estimadors de velocitat. Es presenten avantatges i inconvenients de cada un dels estimadors que parteixen del model del motor i es desenvolupen les equacions dels estimadors que s'empraran en la tesi per estimar la velocitat.

Al capítol 3 es fa la proposta del sistema final d'estimació de la velocitat. Dos estimadors de velocitat treballen al mateix temps. Un sistema difús (*fuzzy*) filtra la resposta, per tal de millorar-la, d'un dels estimadors i fa un promitjat intel·ligent entre les respostes dels dos estimadors per obtenir un valor final de velocitat estimada. Els dos estimadors treballant conjuntament amb el sistema de filtratge i promitjat fuzzy proposat són capaços d'oferir una velocitat estimada millor que la que podria oferir cada estimador per separat. En aquest capítol també es presenta un repàs dels diversos sistemes de control del motor d'inducció i es desenvolupen les equacions del control vectorial de parell triat per tancar el llaç de velocitat. Com que per estimar la velocitat del motor s'ha de saber la tensió del motor, es presenta un model de l'inversor per evitar l'ús d'un sistema sensor d'aquesta tensió. Finalment, es presenta el conjunt complet de l'accionament dissenyat.

Al capítol 4 es presenten els resultats de simulació. S'ha dissenyat i implementat un model de simulació que té en consideració tots els blocs que s'hauran d'implementar i/o programar a l'entorn experimental i tots els elements de hardware, amb les seves no-idealitats, del sistema real.

Els elements que s'han de programar són:

- Els estimadors de velocitat i el sistema de promitjat i filtratge fuzzy difusos per a l'obtenció de la velocitat final estimada del motor.

- El regulador PI per al control de velocitat, tenint en consideració les limitacions del sistema d'accionament.
- El control de parell, tenint en compte els limitadors oportuns per evitar que la consigna de sortida sigui superior a la que l'inversor pot imposar al motor.
- El model de l'inversor per obtenir la tensió del motor sense necessitat de mesura.
- El modulador vectorial amb estructura modificada per evitar els temps morts dels transistors de l'inversor.

Els elements que conformen el sistema de hardware són:

- El motor d'inducció.
- La càrrega mecànica que representa la bancada solidària a l'eix del motor.
- El pont inversor trifàsic.
- Els sensors de corrent i els filtres corresponents.

A més, totes les equacions que es programaran posteriorment han estat introduïdes al model com a equacions discretes i durant la simulació treballen a un temps d'iteració igual al que es preveu que treballaran en el sistema experimental.

Al capítol 5 es presenta la implementació del sistema experimental. En aquest capítol, es reparteixen tasques entre els diferents subsistemes de l'entorn i s'especifica el pas de paràmetres entre aquests subsistemes. A més, s'estudien els possibles problemes derivats de la variació dels paràmetres del motor.

En el capítol 6 s'exposen els resultats i les consegüents conclusions del treball experimental. S'observa que el sistema és capaç de respondre davant consignes de tipus graó i de tipus rampa acceleradores i desacceleradores. Es mostra que el sistema respon a canvis bruscos de parell de càrrega i a canvis bruscos de consigna de velocitat. També es demostra que el sistema és capaç d'invertir el sentit de gir del motor tant per canvis bruscos del sentit de gir com per canvis suaus o molt lents. Finalment, d'aquest capítol es conclou la bondat dels algorismes desenvolupats i, per tant, es validen les propostes d'aquesta tesi.

Finalment, al capítol 7 es resumeixen totes les conclusions de la tesi, les quals permeten proposar diferents treballs futurs en el camp de l'estimació de velocitat per al control vectorial de motors d'inducció.