Capítol 2. Control lineal d'onduladors

2.1. Introducció

Avui en dia, els algoritmes de control dels onduladors estan basats en tècniques lineals, i els resultats que s'aconsegueixen són bons, però tot i això, amb les tècniques de control lineal es pot aconseguir millorar els productes del mercat actual. Cal dir que els desenvolupaments existents estan basats en circuits lineals, i canviar l'algoritme implica un canvi de circuits, el que fa que la feina sigui molt llarga en temps i costosa en diners. Per tal de provar les diferents tècniques de control lineal existents i altres de noves que milloren les prestacions actuals, s'ha desenvolupat una plataforma hardware incorporant un processador digital de senyal que permet, així, canviar d'algoritme de manera ràpida i econòmica. A més, aquesta plataforma permet la validació dels resultats, cosa difícil d'aconseguir mitjançant el canvi dels circuits electrònics.

En el primer cas que es presenta en el present capítol d'aquest treball es mostra com es pot aconseguir una molt baixa taxa de distorsió harmònica gracies a la millora dels algoritmes lineals existents actualment. L'algoritme que es mostra és, també, lineal amb una millora considerable, però la necessitat del transformador de sortida de l'ondulador es fa palesa en el segon cas que es presenta, doncs tot i aplicar l'algoritme de control lineal millorat, en un ondulador de pont complet i, per tant, intrínsecament millor que un de mig pont ja es veu que la distorsió harmònica de l'ona de tensió de sortida és inadmissible. La solució d'un ondulador de pont complet amb transformador i el filtre de sortida corresponent es prou bona des del punt de vista tècnic, però no és competitiva des del punt de vista del volum ocupat i, sobretot, del preu; és a dir, no és competitiu comparat amb el que s'aconsegueix amb els mètodes de control no lineals.

És per aquesta raó que l'autor del present treball es va veure motivat per l'estudi de noves tècniques de control no lineals per tal de poder controlar els onduladors i, en especial, quan s'alimenta càrregues totalment no lineals. Els següents capítols del

present treball mostren l'evolució dels estudis portats a terme per tal d'aconseguir una molt baixa taxa de distorsió harmònica de l'ona de tensió de sortida.

2.2. Ondulador monofàsic de mig pont amb transformador de sortida

A la figura 2.1 es pot observar un esquema bloc de l'ondulador monofàsic de mig pont amb el transformador de sortida. Partint d'un bus de continua (alimentació del sistema) i mitjançant l'ondulador de mig pont, i el control d'aquest, el transformador eleva i adapta la tensió, doncs la bateria pot tenir uns 30 V i la sortida de l'ondulador ha de tenir 230V de valor eficaç (325V de pic). Immediatament després del transformador hi ha un filtre per tal d'eliminar les altres freqüències presents al sistema per causa de la commutació dels interruptors de potència. El filtre és un passa-baixos format per una inductància i un condensador.

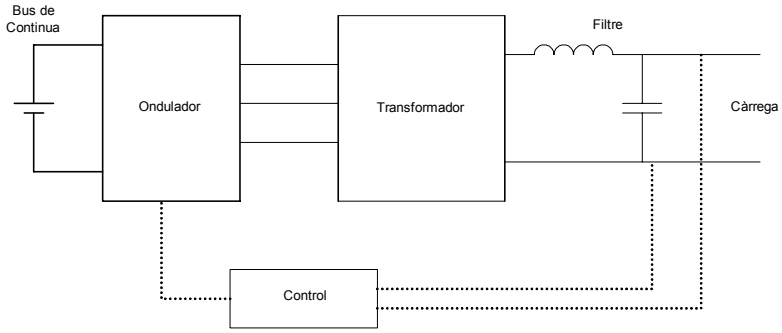

Figura 2.1. Esquema bloc del sistema.

A la figura 2.2 s'ha representat amb més detall tant l'ondulador com el transformador i es pot apreciar que el transformador té un primari amb presa mitja que es connecta directament a la font d'alimentació, formant amb els dos interruptors estàtics, un ondulador de mig pont.

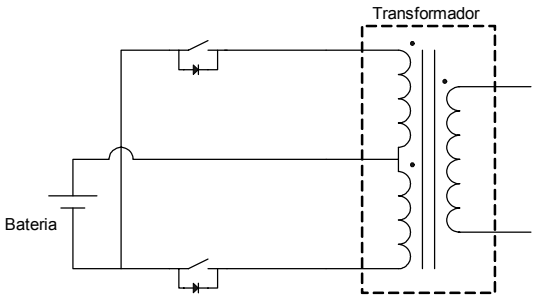

Figura 2.2. Detall de l'ondulador.

Els controls lineals tradicionals d'onduladors estan formats per dos bucles, a saber, un de ràpid que té la tasca de controlar la forma d'ona de la tensió, i un de lent que té la missió de controlar el valor eficaç de la tensió [26]. El nou control lineal proposat aquí està format per tres bucles, dos de ràpids i un de lent. Els controls ràpids estan formats per un control de tensió (forma d'ona) i s'hi addiciona el corrent de càrrega del sistema. La missió del bucle lent, que actua amb una constant de temps força lenta, és mantenir el valor eficaç de la tensió de sortida. El control imposa una tensió de referència que compara amb la tensió real (llegida mitjançant un conversor analògic-digital) per tal de calcular l'error. El diagrama de blocs corresponent als llaços ràpids de control es mostra a la figura 2.3, on es pot veure que l'error es multiplica per una constant de proporcionalitat, i al mateix temps, la tensió de referència es multiplica per un paràmetre *KT* i se suma al proporcional de l'error, aconseguint així, un control tipus 'feedforward'.

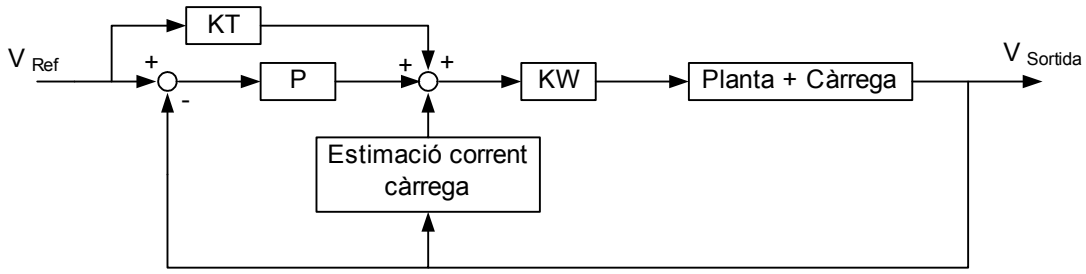

Figura 2.3. Esquema bloc del control.

Els resultats experimentals aconseguits han estat força bons. A la figura 2.4 es mostra la tensió de sortida amb l'ondulador en buit, essent el valor eficaç de 230 V i el THD 0,61%.

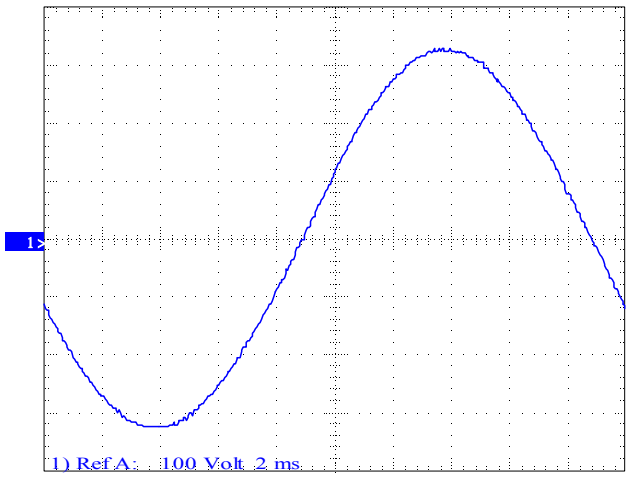

Figura 2.4. Tensió de sortida amb el sistema en buit.

També s'han realitzat proves de l'ondulador alimentant càrregues lineals, i a manera d'exemple, a la figura 2.5 es pot veure la tensió de sortida de l'ondulador així com el corrent absorbit per un motor monofàsic d'un ventilador de 220 W i de corrent nominal de 0,6 A. En aquest cas, el valor eficaç de la tensió de sortida és de 229 V i el THD puja fins el 0,82%, essent aquest un valor molt baix.

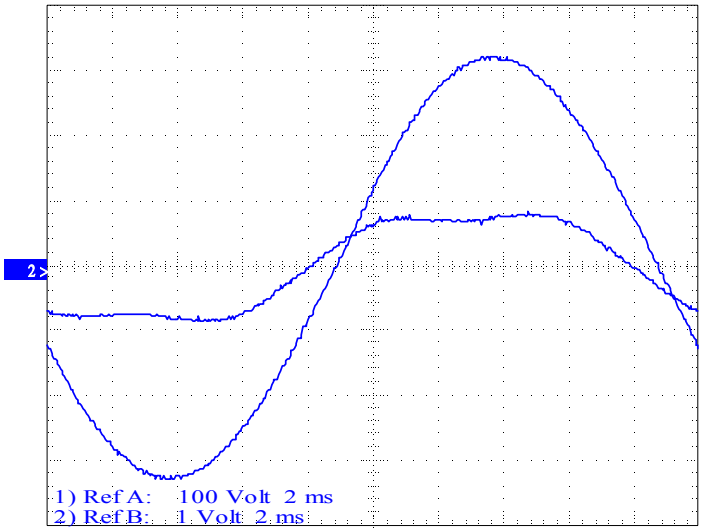

Figura 2.5. Tensió de sortida i corrent per la càrrega lineal.

Finalment, a la figura 2.6 s'ha representat tant la tensió de sortida com el corrent per la càrrega no lineal; aquesta consisteix en dos ordinadors treballant en paral·lel. El valor eficaç de la tensió de sortida és de 228 V, però el THD empitjora força, arribant al 3,64%. Tot i així, cal recordar que aquest valor és força més baix que el que donen els SAIs comercials d'avui dia front el mateix tipus de càrrega.

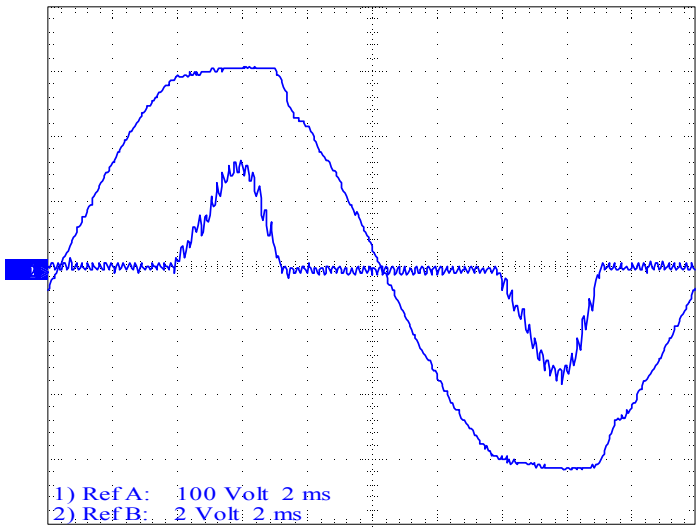

Figura 2.6. Tensió de sortida i corrent per la càrrega no lineal.

2.3. Ondulador monofàsic de pont complet (sense transformador)

L'esquema típic d'un ondulador monofàsic de pont complet està representat a la figura 2.7, i a diferència del cas anterior, es pot apreciar que aquest no disposa de cap transformador a la sortida.

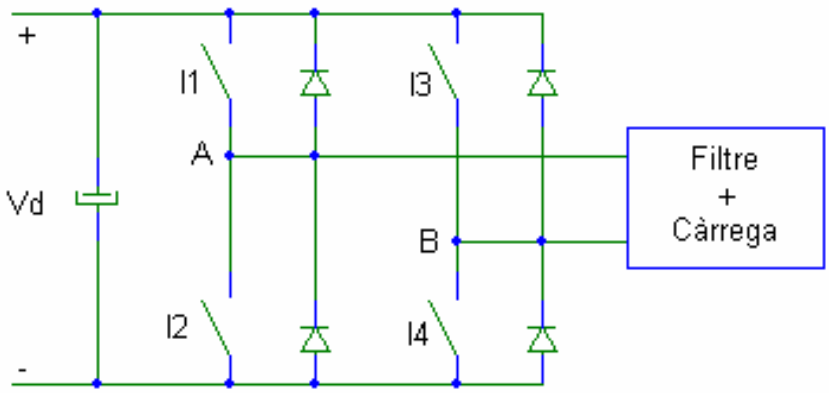

Figura 2.7. Ondulador monofàsic de pont complert.

L'algoritme de control implementat en aquest cas és el mateix que l'anterior. Els bucles ràpids actuen amb una freqüència de 19,6 kHz i el bucle lent actua cada tres períodes de la tensió de sortida, és a dir, cada 60 ms.

En l'estudi dels temps morts (necessaris per tal d'evitar els curtcircuits de branca) s'ha vist que el seu efecte sobre la tensió de sortida és força important i, per tant, per una banda s'ha realitzat una compensació per tal d'evitar aquest efecte [27], [28] i per altra s'han reduït al màxim (s'han fixat en 1,76 μs).

El sistema en buit, és a dir, el sistema simplement alimentant el condensador del filtre de sortida dona resultats prou bons. La tensió de sortida representada a la figura 2.8 té una distorsió harmònica del 0,81%.

Pel que fa al sistema alimentant una càrrega lineal s'aprecia un lleuger deteriorament de la tensió de sortida, doncs aquesta, tal i com es pot veure a la gràfica 2.9, arriba a una distorsió harmònica de l'1,42%.

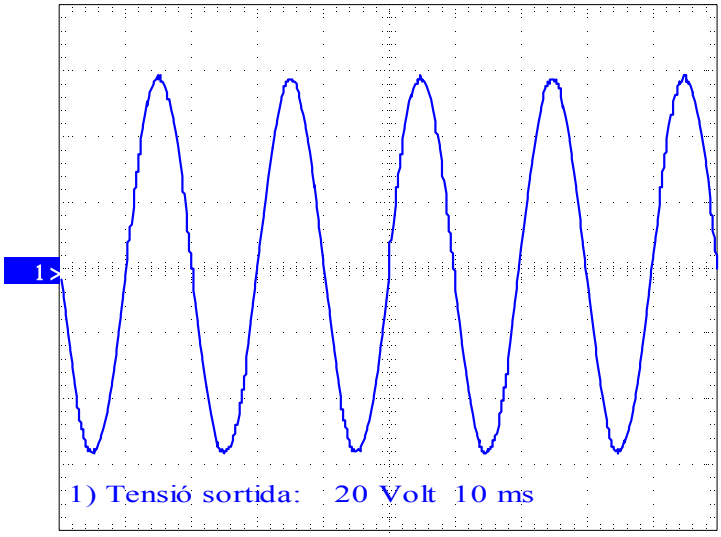

Figura 2.8. Tensió de sortida amb el sistema en buit.

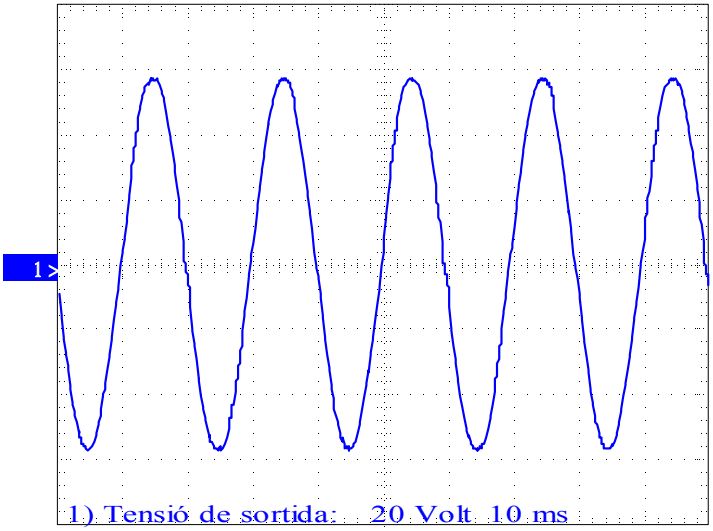

Figura 2.9. Tensió de sortida amb el sistema alimentant una càrrega lineal.

El consum (intensitat) de la càrrega no lineal es pot veure a la gràfica 2.10. La distorsió harmònica del corrent consumit és del 186%. Aquest valor és important per que dóna idea de l'esforç al que se sotmet el control del sistema.

Aquesta càrrega passa ràpidament de comportar-se com un sistema en buit a demanar un consum de corrent molt important. Aquesta és la causa de l'elevada distorsió harmònica de l'ona de la tensió de sortida que està representada a la figura 2.11. La distorsió harmònica és d'un inadmissible 7,1%.

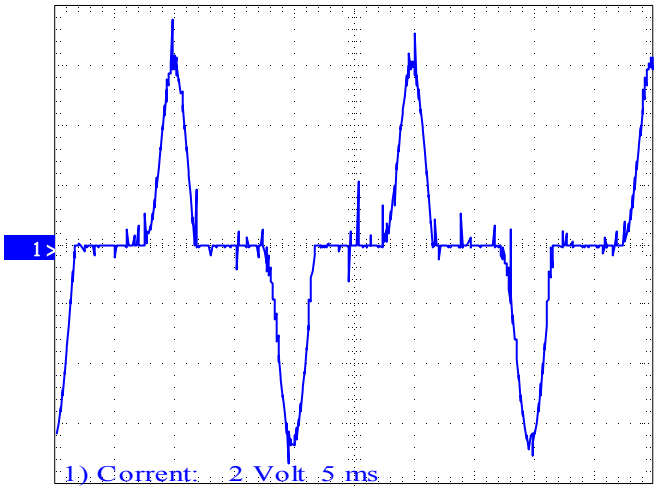

Figura 2.10. Intensitat consumida per la càrrega no lineal.

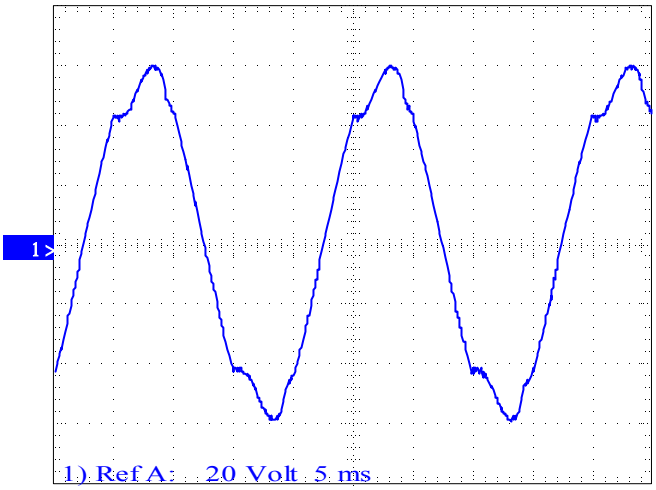

Figura 2.11. Tensió de sortida amb el sistema alimentant una càrrega no lineal.

2.4. Conclusions del capítol

Els sistemes de control lineals són força bons per tal de controlar onduladors que alimenten càrregues lineals, però ha quedat pales que pel que fa a les càrregues no lineals o bé s'admet una distorsió harmònica enorme o bé s'ha d'incorporar un transformador de sortida, que a més d'elevar la tensió, també incorpora un component de filtrat molt important. Està clar que per aconseguir bons resultats sense tenir un filtre considerable s'ha d'anar a mètodes de control no lineal, que s'estudien amb més profunditat a la resta de capítols del present treball.