Màster en **Formació del Professorat d'Educació Secundària Obligatòria i Batxillerat, Formació Professional i Ensenyament d'Idiomes**

Curs 2010 / 2011

Màsters Universitaris

Treball de fi de màster

Títol:

ELS MOTORS ELÈCTRICS APLICATS AL MÓN INDUSTRIAL (65006)

Cognoms: **Ruiz Casado**

Nom: **Oscar**

Titulació: Màster en Formació del Professorat d'Educació Secundària Obligatòria i Batxillerat, Formació Professional i Ensenyament d'Idiomes

Especialitat: FORMACIÓ PROFESSIONAL

Director/a: Mireya Fernández Chimeno

Data de lectura: 27-06-2011 a les 12h a l'Aula A6 101

Índex

1. Introducció 3
2. Definició i context del problema 4
2.1. Problema 4
2.2. Context educatiu 4
3. Descripció de la Solució 7
4. Material Pedagògic 8
5. Conclusions 44
6. Bibliografia 44

1. Introducció

La meva dilatada experiència com a responsable d'accionaments elèctrics i motors industrials a diferents empreses del sector m'ha permès detectar les necessitats reals dels tècnics i enginyers relacionats amb l'automatització.
La gran majoria de les consultes tècniques que he anat rebent i solucionant al llarg dels anys han estat relacionades no amb el coneixement teòric de les màquines elèctriques si no amb:

- L'aplicació del motor elèctric a tipologies de màquines industrials.
- Diferències entre les diferents tecnologies de motor elèctric.
- Factors a tenir en compte a l'hora de seleccionar un accionament.
- Diferents opcionals dels motors elèctrics. Connexionat elèctric.
- Nocions de mecànica per a tècnics elèctrics.

Aquest treball consistirà, doncs, en crear material pedagògic aplicable al **Crèdit 7. Sistemes de control i regulació de màquines elèctriques.**. Encara que no es descarta l'aplicació en altres àmbits de la formació professional.

Al material pedagògic relacionat amb el Cicle Formatiu de Grau Superior de Sistemes de Regulació i Control Automàtics existeix un gran buit relacionat amb el motor elèctric industrial. Podem trobar infinitat de llibres que descriuen els fonaments teòrics que justifiquen el disseny i característiques de funcionament de les màquines elèctriques, però no de la seva aplicació al món industrial.

D'aquesta forma, podrem tenir el mercat laboral ple de tècnics que saben a la perfecció per què gira un motor asíncron, però possiblement desconeixeran a quina tipologia de màquina convé aplicar-lo i en quines es descarta la seva aplicació.

Evidentment que la formació teòrica és importantíssima per poder donar aquest següent pas que jo proposo: Sense una bona base teòrica tindríem tècnics que es limiten a aplicar paradigmes tècnics i aplicacions repetitives sense tenir en compte les eines ni la visió crítica necessària per solucionar problemes tècnics.

La present documentació pedagògica intenta aportar aquest tipus de coneixement pràctic fruït de l'experiència als futurs tècnics d'automatització.

A l'hora de redactar aquest treball m'he basat en les següents àrees de treball:

- Disseny i implantació de noves activitats docents sobre els continguts específics d'una àrea.
- Incorporació d'una llengua estrangera al desenvolupament dels continguts d'una àrea.
- Integració de continguts transversals en una àrea amb la finalitat de millorar l'aprenentatge dels continguts específics.
- Disseny i incorporació de nous recursos tecnològics i didàctics que ajudin a millorar la satisfacció de l'alumnat i els seus resultats acadèmics.
- Incorporació de nous recursos tecnològics que millorin el treball a l'aula.

2. Definició i context del problema

2.1. Problema

Donat que més del 65% el consum elèctric a la industria és degut a l'energia emprada pels motors elèctrics hem de ser conscients de la importància de conèixer bé els àmbits d'aplicació. Així podrem fer un ús coherent i responsable dels motors elèctrics. I més ara, dintre dels esforços d'entitats i administració cap a l'estalvi energètic.

Existeix una mancança en la formació dels alumnes: Encara que surtin del centre educatiu amb una bona base de coneixements teòrics, manquen de coneixements pràctics d'aplicatius reals al món industrial.

Aquest fet pot ser degut a carències en la formació continuada del professorat, la manca de temps per impartir tot el temari, la falta de inversions en nous materials o eines, la falta de interès de les empreses en participar en àmbits d'educació... La FCT intenta satisfer aquesta part de la formació de l'alumnat, però no és suficient. La meva documentació pedagògica també complementa aquest aspecte.

2.2. Context educatiu

Els professors que exercim avui en dia hem sigut educats amb unes eines tecnològiques ben diferents de les que estan acostumats els alumnes d'ara.
Recordo que unes de les eines tecnològiques que van revolucionar la meva escola d'EGB va ser el ciclostil i el retroprojector. En aquella etapa els professors van haver de 'posar-se les piles' per entendre el funcionament i els requisits per fer servir màquines tan innovadores. I ho van fer, no sense dificultats.
Ara, l'esforç que hem de fer és extremadament més intens. Per anomenar algunes eines: El projector, les xarxes de comunicació informàtiques, la pissarra electrònica, els programaris de simulació... En definitiva, el món de les Tecnologies de la Informació i la Comunicació està canviant i evolucionant constantment i a velocitat rapidíssima. Es tractarà, doncs d'aprofitar aquestes eines.

Aquest nou panorama obre moltes noves possibilitats d'ensenyament. Però serà necessari comptar amb equips de professors i professores predisposats a la innovació, al treball en xarxa i a la formació professional continuada. I sobre tot, en constant connexió amb el món industrial.

Pere Marquès considera que els canvis metodològics que poden derivar-se del accés universal a la informació i a la comunicació que proporciona Internet i de l'ús innovador de les tecnologies en el marc de la societat actual són tant importants que ens permeten dibuixar un nou paradigma de l'ensenyament basat en plantejaments cognitivistes i sociocontructivistes de l'aprenentatge, que promou l'aprenentatge a partir de la cerca, relació, experimentació i transformació dels coneixements (no de la memorització).
Algunes característiques de la metodologia emmarcada en aquest nou paradigma són:

- L'activitat docent es centra en el desenvolupament personal dels estudiants i en aconseguir els aprenentatges previstos en el currículum. Des de perspectives socioconstructivistes, es tendeix a l'aplicació de metodologies actives, participatives i que promoguin el treball cooperatiu.

- Més autonomia dels alumnes. L'estudiant planifica, desenvolupa estratègies d'aprenentatge, construeix coneixements, els aplica i n'avalua els resultats.
- Presència en el ciberespai i aprenentatges col·laboratius i cooperatius en xarxa. La possibilitat de treballar en xarxa modifica la relació entre mestres i entre estudiants, afavoreix la interdisciplinarietat, i facilita l'activitat tutoritzada. Trenca el tradicional aïllament entre els centres i promou una cultura solidària entre escoles i mestres.
- Atenció a la diversitat per la construcció d'aprenentatges significatius. Es tendeix a una pedagogia més diferenciada, individualitzada, per donar resposta a l'heterogeneïtat de nivells dels estudiants.
- Especial atenció en les competències bàsiques, incidint en matèries nuclears de cada nivell.
- Varietat de recursos per els aprenentatges i ús de les TIC. Es tendeix a la utilització de tot tipus de recursos, tant convencionals i audiovisuals com basats en noves tecnologies.

Com podeu veure, tot indica a aprofitar les noves tecnologies per que els alumnes aprenguin més i millor. I el que és més important: Que sàpiguen trobar solució als problemes plantejats de manera autònoma (aprendre a aprendre).

Per finalitzar aquest apartat, proposo fer una lectura del decàleg resumit de Carles Monereo:

Primer. *Integraràs les TIC en el projecte educatiu del centre.*
Sempre seran els objectius educatius que el centre hagi establert per als seus alumnes els que orientaran l'ús de les TIC, i no al revés. No tindria sentit plantejar-se l'ús d'un determinat programari i cercar una activitat per fer-lo servir.

Segon. *T'aproximaràs a un model d'ensenyament bimodal.*
L'ensenyament presencial és insubstituïble en determinats casos i les TIC poden desenvolupar, complementar o reforçar determinades adquisicions. La meditada combinació d'ambdós entorns proporcionarà, sens dubte, les millors prestacions.

Tercer. *Seràs coherent amb el model epistemològic.*
Qualsevol decisió en la utilització de les TIC en el centre de treball haurà d'estar emmarcada en una determinada opció del que significa aprendre i, per tant, del que cal fer per ensenyar-ho.

Quart. *Prioritzaràs les competències sociocognitives.*
Internet és un context idoni per al seu ensenyament. Es tracta d'ensenyar habilitats i estratègies transdisciplinars, per tant, requereixen compartir algunes activitats amb professorat d'altres matèries. Inclús convindria trencar les fronteres disciplinares i plantejar activitats globals basades en casos, resolució de problemes i/o desenvolupament de projectes a través dels quals s'avaluaran les diferents assignatures implicades.

Cinquè. *Afavoriràs la participació activa i col·laborativa.*
Aprendre no és prendre la informació. Aprendre és co-aprendre o, si es prefereix, és comprendre. Els alumnes i les alumnes han d'aprendre moltes coses dels seus iguals, però, aquestes situacions no s'han de deixar sempre a la iniciativa del propi alumnat, sinó que el professorat ha d'actuar intencionalment conformant els equips de treball a partir de criteris educatius (nivells d'aprenentatge, condicions personals, estils, personalitat, etc.) i guiant la interacció.

Sisè. *Estimularàs la resolució de problemes que motivin als alumnes.*
Amb les TIC s'han de plantejar problemes que resultin funcionals i l'alumnat els percebi com autèntics, és a dir, vinculats a situacions i problemes reals que li permetin gaudir mentre aprèn. Hem de recuperar el sentit del que ensenyem, i això, en molts casos, implica respondre al moment vital de l'estudiant.

Setè. *Establiràs un sistema eficaç de suport i bastida.*
S'ha de disposar un conjunt de recursos educatius TIC de manera intencional, ja que els aprenentatges que haurà d'adquirir l'alumnat no els podrà fer sense ajuda (avenços, retrocessos, encerts i errors) fins que s'aconsegueixin assentar els aprenentatges previstos. És imprescindible preveure aquests alts i baixos, anticipar determinats errors típics, o dubtes que tendeixin a aparèixer més freqüentment.

Vuitè. *Millorараs el ensenyament analitzant progressos i dificultats.*
Aprendre dels propis errors és la clau per optimitzar l'ensenyament. Establir sistemes de control i supervisió del sistema d'ensenyament mitjançant múltiples recursos (anàlisi del sistema per experts, qüestionaris a professors, alumnes i/o usuaris externs, estimacions estadístiques sobre determinats indicadors: nivell i qualitat de la participació, progressió en el ús de les ajudes o en la qualitat de les demandes, etc.).

Novè*. Avaluar per promoure aprenentatges significatius.*
Si per a preparar un tema, una assignarà, un curs demanem a l'alumnat que ens retorni el que un dia li lliurem, tal qual, sense valor afegit, molt probablement ho copiarà, imitarà i reproduirà, sense entendre-ho. Si per aprovar li demanem que comprengui, explicant prèviament que significa per a nosaltres comprendre aquesta matèria, les possibilitats que ho faci augmentessin de forma exponencial. Per tant, és imprescindible que els estudiants coneguin des del principi com seran avaluats, tinguin exemples d'avaluacions passades i entenguin clarament el nivell d'exigència i els criteris de correcció. Internet pot facilitar molt aquesta transparència, així com el control dels progressos que realitza l'alumnat.

Desè. *Garantiràs el respecte a la diversitat i a la privacitat.*
Internet també és, sovint, un aparador públic en el qual els alumnes poden mostrar pensaments i sentiments personals. Sovint, molts d'ells perceben el medi com una amenaça que els exposa a la burla i el ridícul. Altres, en canvi, poden percebre una certa sensació d'anonimat a impunitat que pot portar-los a emprar un tracte incorrecte, insultant o vexatori cap a algun company. En altres ocasions, es poden escriure comentaris o fer afirmacions poc matisades, fruit d'una reacció visceral, de les quals un posteriorment es penedeix, però que queden publicades a la pantalla. En aquestes i moltes altres circumstàncies que poden produir-se, és fonamental el paper del professorat com a moderador de la xarxa i com a dissenyador del clima interactiu i emocional que ha de prevaler. En aquest sentit, és cabdal assenyalar els límits en el tipus d'interaccions acceptables, així com també l'obligatorietat de participar de manera substancial en un mínim d'ocasions. Com sempre, el millor model d'actuació serà el mateix professorat, predicant amb el seu exemple.

3. Descripció de la Solució

L'època que ens toca viure ens facilita la tasca educativa si som capaços de fer servir les **eines TIC**. En aquesta documentació pedagògica s'intenta treure el màxim de profit, tal com he plantejat en els dos primers apartats. Utilitzarem les eines de recerca de informació al web i la visualització de vídeos de diferents tipologies de màquines industrials, comentant els detalls importants i característics.

Aquest material pedagògic ha de ser impartit per **professors experts** en l'àmbit de disseny i fabricació de màquines. És a dir, que tinguin experiència en el món industrial per poder transmetre els seus coneixements no formals.

Aquest treball no es consisteix en una recopilació de informació que el professor ha de seguir al peu de la lletra. És el guió que vertebra una sèrie de fluxos de informació cap als alumnes. Una informació que difícilment trobaran als llibres de text. Aquesta forma de transmetre el coneixement està més a prop de l'**Aprenentatge Invisible** que de l'ensenyament formal.

- ✓ *Objectiu:* **Apropar el món industrial al món acadèmic** fent servir les noves tecnologies i la naturalitat de l'aprenentatge invisible. Alhora que reforça coneixements ja adquirits als continguts del cicle formatiu.

També és de vital importància el domini de **l'Anglès tècnic**, ja que serà un dels recursos més necessaris a la vida laboral:

- Interpretació de documentació tècnica (manuals, especificacions...)
- Consultes tècniques a proveïdors estrangers.
- Comunicació amb tècnics d'altres Països.
- Atenció a Clients estrangers.
- Creació de documentació tècnica.
- Postes en marxa de màquines fora de l'Estat Espanyol.
- Assistència a fòrums i fires internacionals.
- Recerca de informació a Internet.
- Altres.

Aquest idioma s'introduirà de forma natural durant la impartició de la matèria.

També vull ressaltar la **multidisciplinarietat** dels conceptes tractats, ja que es parla de conceptes mecànics, informàtics, comunicacions, elèctrics i electrònics, i de la seva interrelació.

La temporització prevista és de quatre hores.

4. Material Pedagògic

El material pedagògic està estructurat de la següent forma:

- Concepte Mecatrònic.
- De la màquina al maquinista.
- Els mecanismes.
- Els accionaments.
  - Motor de corrent continua.
  - Servomotor de corrent continua.
  - Motor pas a pas.
  - Motor trifàsic de inducció llaç obert.
  - Electrònica de potència.
  - Motor trifàsic de inducció llaç tancat.
  - Sevomotor d'alterna.
- Dimensionament d'accionaments.
- El controlador

Nota: Al peu de la diapositiva s'indica el link corresponent al vídeo que es vol mostrar o la altres informacions de interès, si escau.

Definició:

Segons la Wikipedia:

Mechatronics is the combination of Mechanical engineering, Electronic engineering, Computer engineering, Software engineering, Control engineering, and Systems Design engineering in order to design, and manufacture useful products [1][2]. Mechatronics is a multidisciplinary field of engineering, that is to say it rejects splitting engineering into separate disciplines. Originally, mechatronics just included the combination between mechanics and electronics, hence the word is only the merge between **mecha**nics and elec**tronics**. However, as technical systems has become more and more complex the word has been "updated" during recent years to include more technical areas.

http://en.wikipedia.org/wiki/Mechatronics

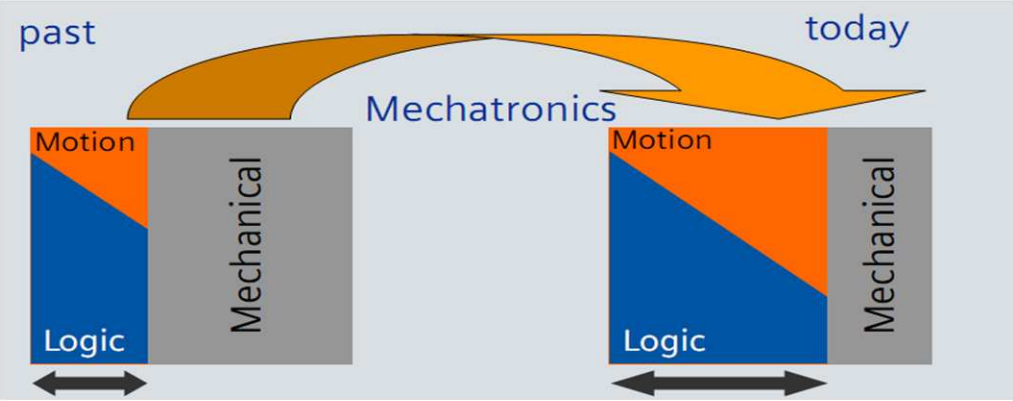
Definició:

En particular, se sol entendre la "mecatrònica" com "l'Electrònica aplicada a la mecànica". Pero la definició va més enllà.

I més concretament com el control i regulació de motors elèctrics industrials i la seva aplicació, tenint en compte la mecànica, la electrònica, l'automatització, la informàtica i les comunicacions.

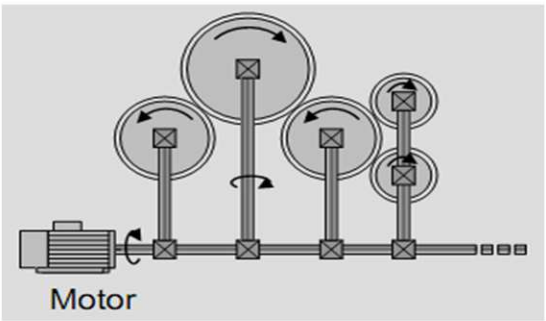
Definició:

La tendència del mercat és fer servir cada vegada mecàniques més senzilles i electròniques més complexes:

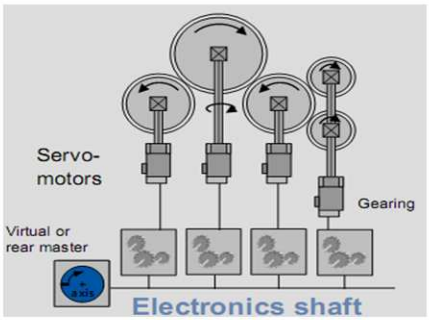


Definició:

Les màquines antigues tenien un únic gran motor que movia tota la màquina mitjançant complexes mecanismes



La tendència actual és posar molts motors més petits sincronitzats electrònicament.



http://www.youtube.com/watch?v=rGhPmBSeZy8
http://www.youtube.com/watch?v=7SdJtYkAzTw&feature=related

Definició:

Les fàbriques de la revolució industrial tenien un únic motor (màquina de vapor) que movia totes les màquines de la fàbrica.

Si s'espatllava la màquina.... S'aturava tota la fàbrica

http://www.mnactec.cat/expo/la_fabrica_textil_es.html

Definició:

Una vegada, em va explicar un client...

If you have a mechanical problem you take one minute to discover and 2 days to solve it.

But if you have an electric problem, you take 2 days to discover it but just 1 minute to solve it.

Això m'ho va dir després d'espatllar quatre variadors de freqüència degut a una mala connexió!

Què fa el tècnic Mecatrònic?:

Tot el viatge de la màquina…

… al maquinista

http://www.youtube.com/watch?v=65Na7nXeAp0

La màquina

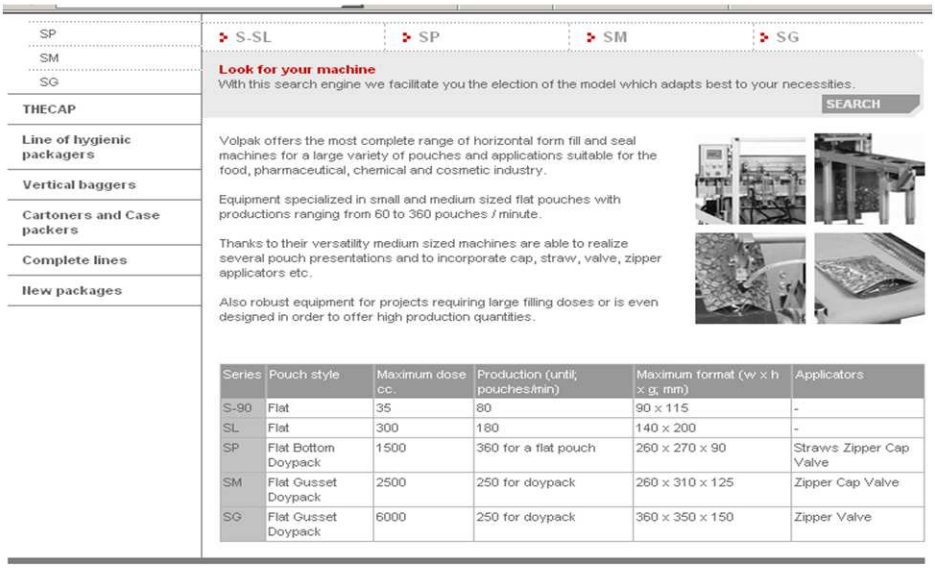
Abans de començar ha de quedar molt clar quines són les especificacions de la màquina:

- Què ha de fer
- Com ho ha de fer

Una mala decisió a l'etapa de disseny te conseqüències fatals que són molt difícils de corregir després.

http://www.ulmapackaging.com/maquinas-de-envasado

La màquina



SP
SM
SG
THECAP
Line of hygienic packagers
Vertical baggers
Cartoners and Case packers
Complete lines
New packages

S-SL | SP | SM | SG

Look for your machine
With this search engine we facilitate you the election of the model which adapts best to your necessities.
SEARCH

Volpak offers the most complete range of horizontal form fill and seal machines for a large variety of pouches and applications suitable for the food, pharmaceutical, chemical and cosmetic industry.

Equipment specialized in small and medium sized flat pouches with productions ranging from 60 to 360 pouches / minute.

Thanks to their versatility medium sized machines are able to realize several pouch presentations and to incorporate cap, straw, valve, zipper applicators etc.

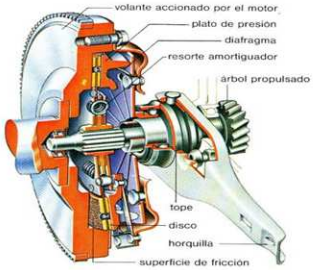
Also robust equipment for projects requiring large filling doses or is even designed in order to offer high production quantities.

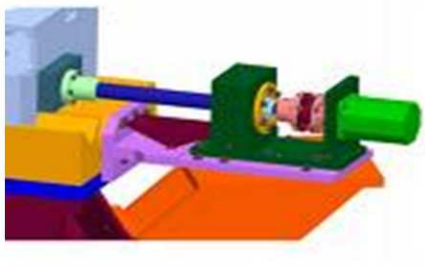
Series	Pouch style	Maximum dose cc.	Production (until; pouches/min)	Maximum format (w x h x g; mm)	Applicators
S-90	Flat	35	80	90 x 115	-
SL	Flat	300	180	140 x 200	-
SP	Flat Bottom Doypack	1500	360 for a flat pouch	260 x 270 x 90	Straws Zipper Cap Valve
SM	Flat Gusset Doypack	2500	250 for doypack	260 x 310 x 125	Zipper Cap Valve
SG	Flat Gusset Doypack	6000	250 for doypack	360 x 350 x 150	Zipper Valve

Exemple: especificacions d'envasadora horitzontal de VOLPAK (Barcelona)

Els mecanismes

Els mecanismes són aquelles cadenes cinemàtiques que transformen el gir d'un motor en el moviment desitjat de la màquina.





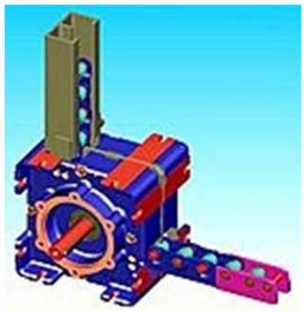
La tendència va encaminada a fer els mecanismes cada vegada més senzills, però alhora més precisos.

http://www.youtube.com/watch?v=o-Kyp0P4Eds&NR=1
http://www.tad.es/index.php

Els mecanismes

Conceptes mecànics importants:

- Massa i Inèrcia
- Relació de transmissió
- Rigidesa
- Freqüència de ressonància
- Fricció
- …



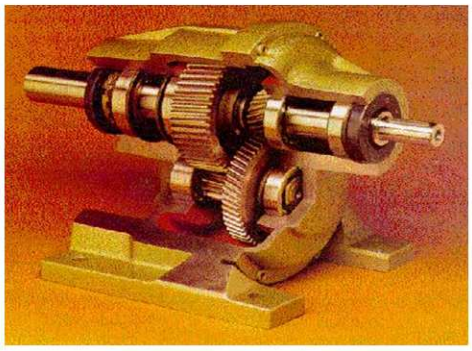
El tècnic en mecatrònica no ha de ser un mecànic expert, però ha de tenir unes nocions bàsiques.

http://www.youtube.com/watch?v=p6u5-cqAsm0&feature=related

Els mecanismes

Rotació → Rotació

Reductor



$$V_sortida = \frac{V_entrada}{Relació_reducció}$$

- Rígid i precís.
- Relació de reducció molt amplia
- Eficient (segons tipus)
- Adaptació de inercies
- Car

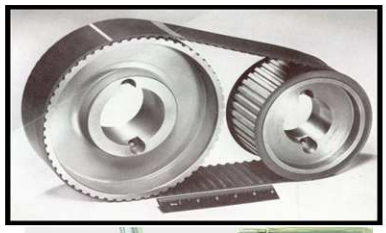
http://www.youtube.com/watch?v=7LReoWPg_pM&feature=related
http://www.youtube.com/watch?v=2Cycf7Lwukg&feature=related

Els mecanismes

Rotació → Rotació

Politja-Corretja/cadena

$$V_sortida = V_entrada * \frac{Diametre_politja_càrrega}{Diametre_politja_motor}$$



- Flexible, menys precís
- Relació de reducció 1:3 com a màxim
- Dos tipus principals, dentada i trapezoidal.
- Barat

http://www.youtube.com/watch?v=sFF0ZciQ_Ws
http://www.youtube.com/watch?v=ckkOt8JVFFk&NR=1

Els mecanismes

Rotació → Lineal

Cinta transportadora

$$\Delta posición_carga = \Delta\alpha_motor * 2 * \pi * radi$$

- Flexible, poc precís, depenent del tipus
- Pot assolir altes velocitats
- Dos tipus principals, dentat i de banda.
- Barat

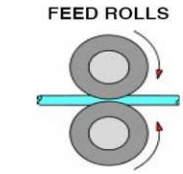
http://www.youtube.com/watch?v=lsapUupXgOY
http://www.youtube.com/watch?v=HxQN8yFIusA&feature=related

Els mecanismes

Rotació → Lineal

Cilindre alimentador

$$\Delta posición_carga = \Delta\alpha_motor * 2 * \pi * radi$$



- Rígid però, poc precís, sempre te lliscament (slip)
- A les aplicacions intermitents la inèrcia del cilindre és un factor molt important.

http://www.youtube.com/watch?v=PGET7OoURME&feature=related
http://www.youtube.com/watch?v=Wr6AelNC6qo

Els mecanismes

Rotació → Lineal

Pinyó-Cremallera

$$\Delta posición_carga = \Delta\alpha_motor * \frac{dents_volta * pas_dent}{2 * \pi}$$

- Rígid però, poc precís.
- Permet càrregues molt grans.
- Velocitats mitjanes

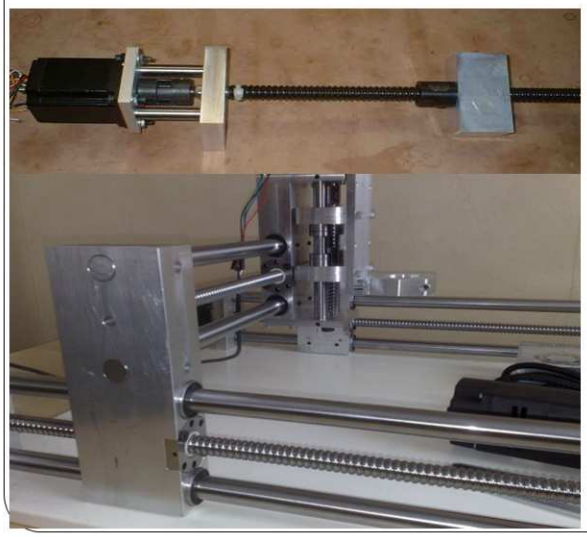
http://www.youtube.com/watch?v=JgpXuvLbOeM&feature=related
http://www.youtube.com/watch?v=aWGmWSA9k-w

Els mecanismes

Rotació → Lineal

Fus (Husillo)

$$\Delta posición_carga = \Delta\alpha_motor * \frac{pas_husillo}{2 * \pi}$$



- Rigid i molt precís
- Car
- Velocitats baixes/mitjes
- Inercia molt elevada.

http://www.youtube.com/watch?v=HFXD1JSdWPk&feature=related
http://www.youtube.com/watch?v=ur6JlU3UBhU&NR=1

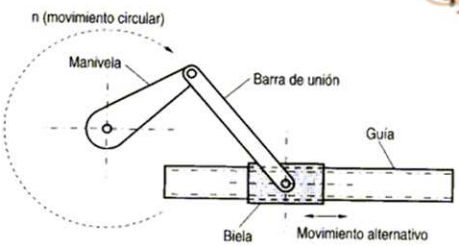
Els mecanismes

Mecanismes especials

Robots antropomòrfics

Robots paral·lels

Altres mecanismes



http://www.youtube.com/watch?v=_H0sHcdoVZ8&feature=fvsr
http://www.youtube.com/watch?v=CQCenlF61iA
http://www.youtube.com/watch?v=oeFJFrw2NxY

L'accionament

El següent pas, i probablement el més important pel tècnic mecatrònic és l'elecció del motor adequat, i el corresponent controlador.

http://www.youtube.com/watch?v=BBvGhHEjFD8

El motor

Els tipus més importants de motors que s'utilitzen a la indústria son:

- Motor de continua

- Servomotor de continua

- Motors de inducció

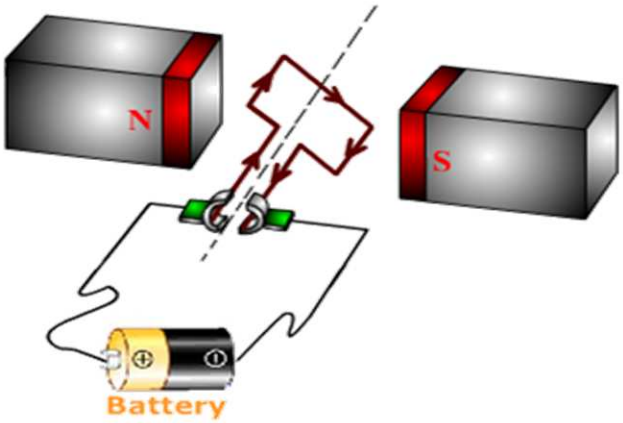
- Servomotor brushless

- Motor pas a pas

El motor de corrent continua

Els tipus més importants de motors que s'utilitzen a la indústria son:

• Motor de continua



http://www.youtube.com/watch?v=Au6vtu4qGrE&feature=related

El motor de corrent continua

Els tipus més importants de motors que s'utilitzen a la indústria son:

• Motor de continua

- Car comparat amb el motor AC
- Robust elèctricament
- Necessita manteniment.
- Fàcil de controlar. Parell total a zero voltes.
- Molt alta o molt petita potència.
- Regulador senzill i barat.

http://www.youtube.com/watch?v=Au6vtu4qGrE&feature=related

El motor de corrent continua

Els tipus més importants de motors que s'utilitzen a la indústria son:

- Motor de continua

- El seu ús està disminuint, substituït en part pel motor AC
- Aplicacions d'alta potència
- Que necessitin un gran parell a baixa velocitat
- Que hagin de regenerar molt

El motor de corrent continua

- Motor de continua

APLICACIONS

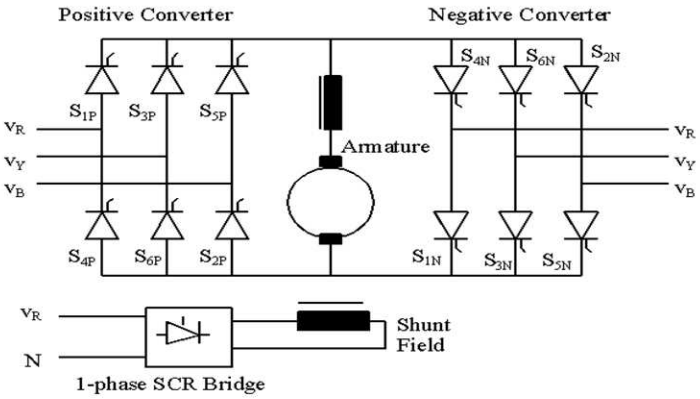
- Telecadires
- Màquines de paper
- Extrusores de cautxu

http://www.youtube.com/watch?v=Xq-JoOvgk5w

El motor de corrent continua

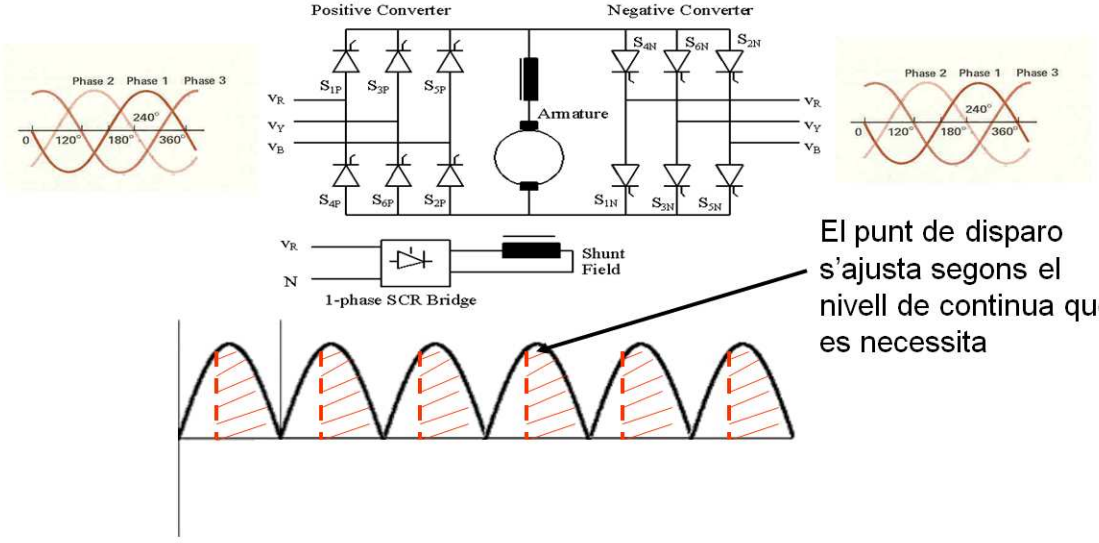
Els regulador dels motors de continua estan basats en tiristors.

• El regulador de continua



El motor de corrent continua

Els regulador dels motors de continua estan basats en tiristors.



El servomotor de corrent continua

Basat en el mateix principi del motor de continua, però el disseny és diferent:

- Estator d'imans permanents
- Estrets i llargs per reduir la inèrcia.
- Sempre tenen realimentació (dinamo tacomètrica o encoder).

Tenen molta més dinàmica que un motor AC convencional però sols arriben a potències petites.

El servomotor de corrent continua

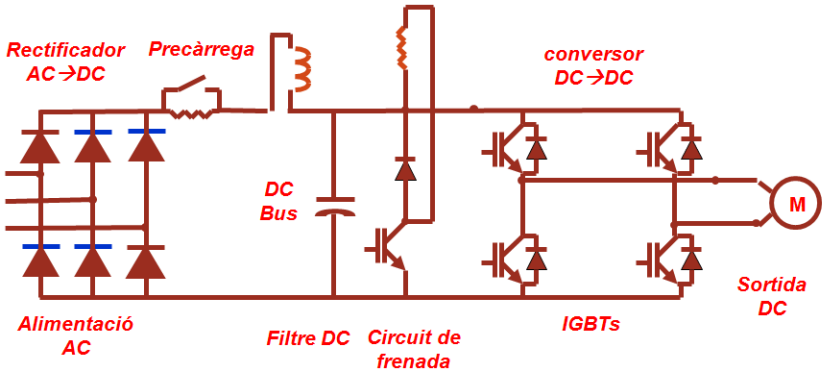
Aplicacions del servomotor de corrent continua

Avui en dia està en desús perquè ha estat substituït pel servomotor d'alterna, que té més prestacions i menys inconvenients

- Maquinaria de fusta
- Màquina eina (antiga)

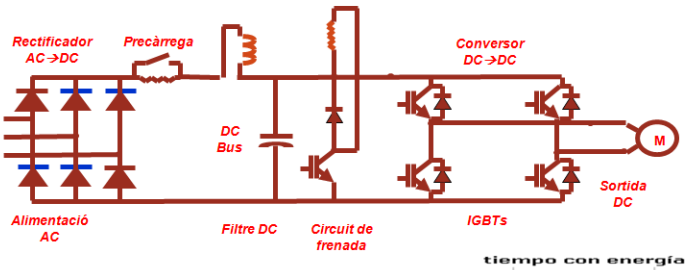
El servomotor de corrent continua

Els regulador dels servomotors de continua estàn basats en MOSFET (abans) o IGBT (ara)



El servomotor de corrent continua

La estratègia és PWM (Pulse Width Modulation)



El motor pas a pas

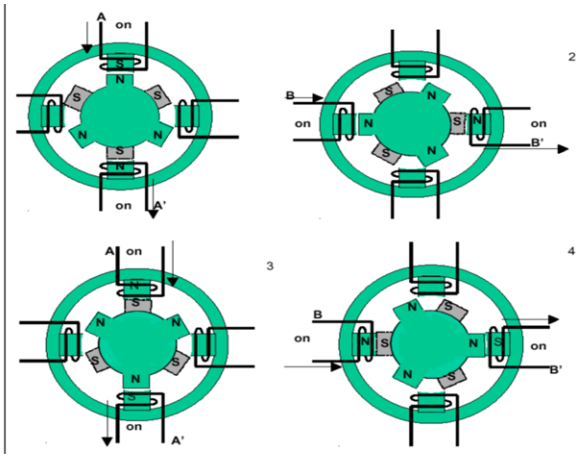
Bàsicament és un motor que va a "pulsos"

Molt popular per petits accionaments que necessitin posicionaments a velocitats moderades.

- Barats
- Poden posicionar sense sensor de posició (encoder)
- El regulador també és senzill
- El parell baixa ràpidament a altes velocitats
- És difícil fer-los de potència alta.

El motor de pas a pas

Principi de funcionamient:



Al alimentar les diferents bobines de l'estator de manera alternativa, el material magnètic del rotor tendeix a orientar-se de manera que la "reluctancia" sigui mínima.

Quan s'arriba a la posició d'equilibri el motor ha fet un "pas", llavors s'han d'excitar el següent parell de bobines.

El motor trifàsic de inducció

El motor més estès a la indústria

Robust, barat i fàcil de construïr és el motor més popular a l'indústria.

El motor trifàsic de inducció

El motor més popular a l'indústria

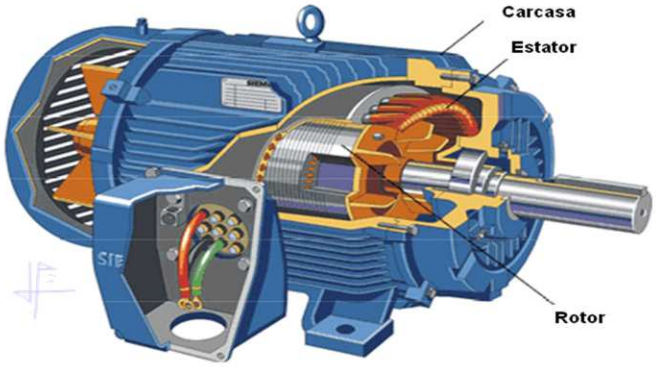
El motor asíncron és com 4x4:

- És gran i pesat
- Senzill de construir i controlar.
- Molt robust.
- Poc precís, no apte per feines de precisió.
- Accelera i frena lentament.
- És barat.

http://www.youtube.com/watch?v=Lv9_04UlV4s&feature=related
http://www.youtube.com/watch?v=VJqD-fznnPE&feature=related

El motor trifàsic de inducció

Principi d'operació



http://www.youtube.com/watch?v=wbmiNMse7J0&feature=related

El motor trifàsic de inducció

Però també existeixen motors de inducció més dinàmics:

- Més llargs i estrets per reduir inèrcia
- Funcionen a voltatges més petits
- Aïllaments reforçats per treballar amb variador i amb altes sobrecàrregues
- Amb encoder per poder treballar en llaç tancat
- Amb ventilació forçada per poder treballar a baixa velocitat
- Força més car que el motor convencional
- Amb sondes tèrmiques

El motor trifàsic de inducció

Control de motors trifàsic de inducció

L'aparell que controla un motor d'inducció és el Variador de Frequència:

Segons el model i els accesoris hi han els següents tipus de control (de més senzill a més complexe)

- Tensió-frequència (V-F)
- Control vectorial en llaç obert (sense realimentació)
- Control vectorial en llaç tancat (amb realimentació)

El motor trifàsic de inducció

Control de motors trifàsic de inducció

Control Tensió-frequència

Per cada velocitat s'aplica una tensió i frequència determinades.
- Ventiladors
- Cintes transportadores

http://www.youtube.com/watch?v=j0v1OT1ImA8

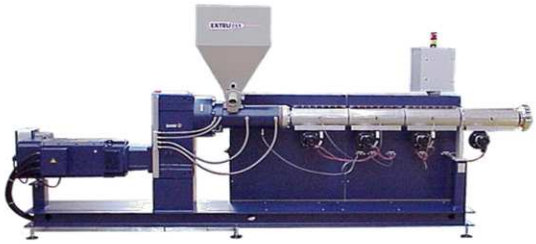
El motor trifàsic de inducció

Control de motors trifàsic de inducció

Control vectorial en llaç obert

La freqüència i tensió depenen de la consigna de velocitat i de la posició estimada del rotor.

- Ascensors
- Grues
- Extrusores



http://www.youtube.com/watch?v=sDFL_mIFUE8&feature=related

El motor trifàsic de inducció

Control de motors trifàsics de inducció

Control vectorial en llaç tancat

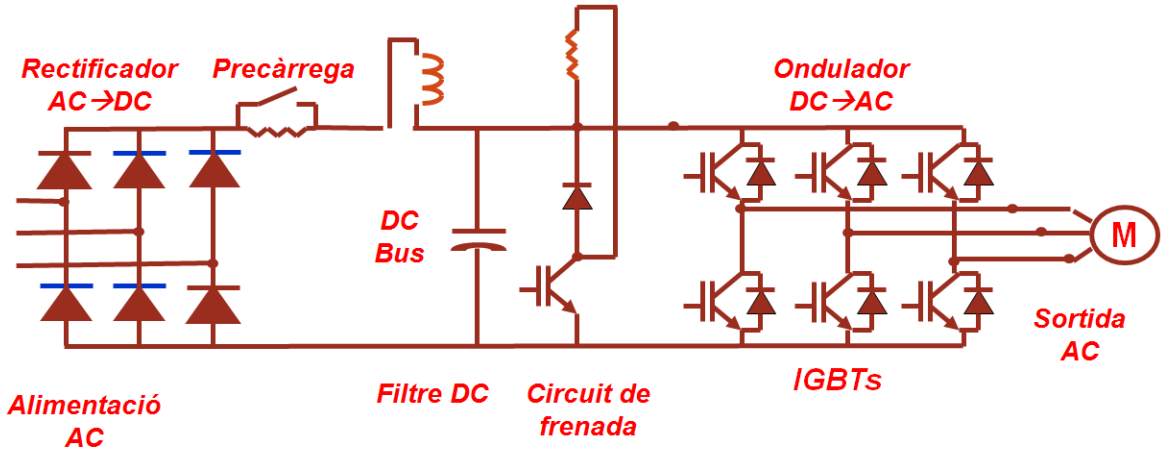
La frequència i tensió depenen de la consigna de velocitat i de la posició real del rotor.

- Paletitzador
- Eixos de màquines
- Capçal de màquina eina

http://www.youtube.com/watch?v=lxtM8n3GfEs

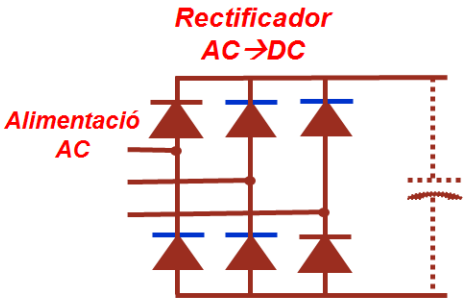
El motor trifàsic de inducció

Arquitectura del variador



ETAPA DE POTÈNCIA D'UN VARIADOR

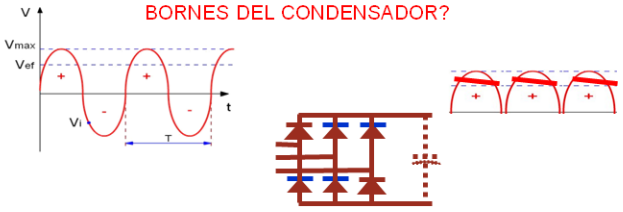
CONVERSIÓ AC/DC



Habitualment es tracta d'un rectificador d'ona complerta fet amb pont de diodes (dues branques si l'alimentació és monofàsica i tres si és trifàsica)

Models de gran potència tenen un pont semi-control·lat (un diode i un tiristor per branca)

QUIN ÉS EL VOLTATGE CONTINU EN BORNES DEL CONDENSADOR?



$$V_{DC} \cong Vef * \sqrt{2}$$

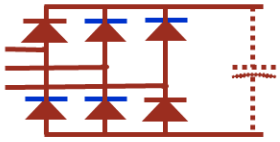
ETAPA DE POTÈNCIA D'UN VARIADOR

CONVERSIÓ AC/DC

Quan el motor consumeix corrent, el voltatge del Bus de continua baixa lleugerament.

Quan el voltatge (instantani) d'alimentació és superior a la tensió del bus de continua, el corrent entra cap al servodrive.

Amb aquest circuit no és possible retornar energia a la xarxa.



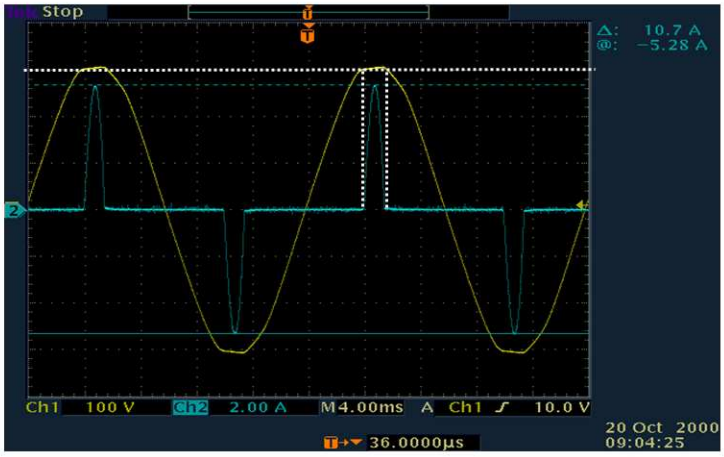
QUINA ÉS LA FORMA D'ONA DEL CORRENT?

ETAPA DE POTÈNCIA D'UN VARIADOR

CONVERSIÓ AC/DC

QUINA ÉS LA FORMA D'ONA DEL CORRENT?

V_{DC}



ETAPA DE POTÈNCIA D'UN VARIADOR

BUS DE CONTINUA (DC Bus)

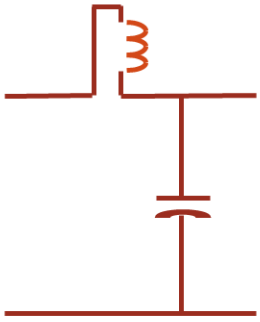
És el magatzem d'energia del servodrive.

Permet subministrar un corrent al motor de manera continua malgrat el corrent d'entrada de la xarxa és polsant.

Quan la tensió (instantània) d'alimentació és superior a la del DC Bus, els condensadors es carreguen, augmentant la tensió del DC Bus.

Quan la tensió (instantània) d'alimentació és inferior a la del DC Bus, els condensadors es descarreguen perquè han de subministrar corrent al motor.

Aquest procés de càrrega-descàrrega, defineix un Voltatge d'equilibri del DC Bus de manera natural.



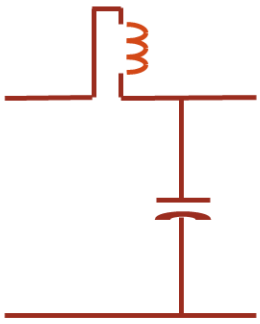
ETAPA DE POTÈNCIA D'UN VARIADOR

BUS DE CONTINUA (DC Bus)

El DC Bus consisteix bàsicament en una bateria de condensadors electrolítics.

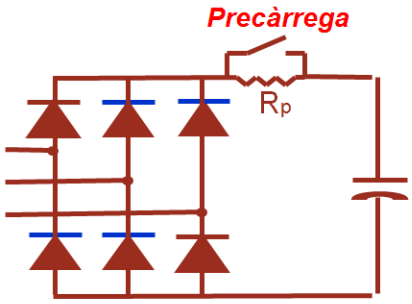
Opcionalment es pot connectar externament una reactància per aconseguir una tensió continua més estable (a la pràctica, pràcticament mai es connecta).

Els condensadors són la part més delicada del servodrive, i limiten el seu temps de vida.



ETAPA DE POTÈNCIA D'UN VARIADOR

CIRCUIT DE PRECÀRREGA



Si apliquem tensió a bornes d'un condensador, el pic de corrent inicial és molt gran (limitat per la resistència paràsita del condensador).

Per evitar això, els servodrives connecten una resistència en série, que limita el corrent de càrrega (Inrush current) dels condensadors.

Un cop els condensadors s'han carregat i la tensió del DC Bus s'ha estabilitzat, un contactor o relé curtcircuita la resistència i ja estem en condicions d'operar el motor.

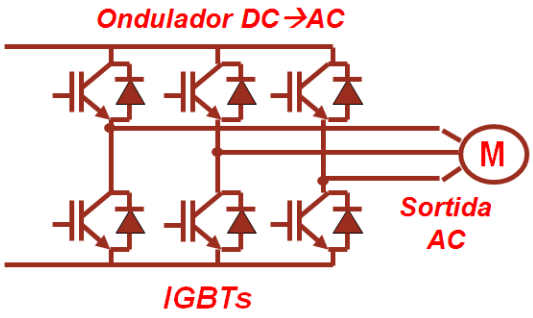
ETAPA DE POTÈNCIA D'UN VARIADOR

CIRCUIT DE PRECÀRREGA

COM ÉS EL TRANSITORI DE CÀRREGA?

ETAPA DE POTÈNCIA D'UN VARIADOR

L'ONDULADOR (INVERSOR)

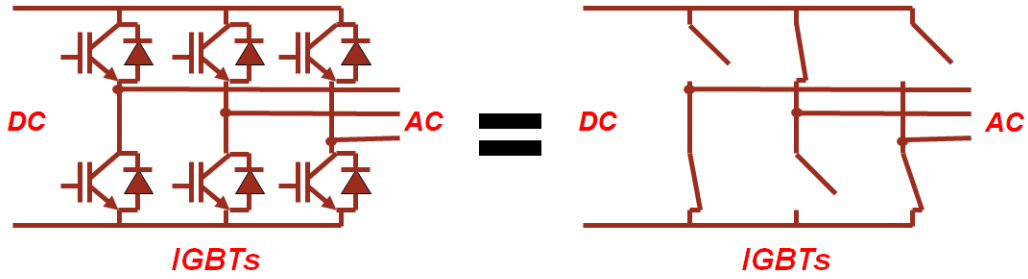


L'ondulador és el responsable de convertir la Tensió continua del DC Bus en tensió (i corrent) trifàsica de tensió, freqüència i fase variable.

A gran trets, la velocitat del motor és proporcional a la tensió i freqüència, i el parell és proporcional al corrent.

ETAPA DE POTÈNCIA D'UN VARIADOR

L'ONDULADOR (INVERSOR)



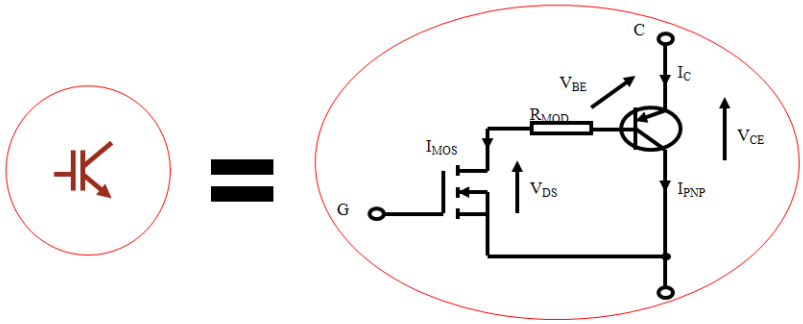
L'Ondulador es comporta com un pont d'interruptors.

- **Només un transistor de cada branca pot conduir en un cert instant.**
- **Sempre hi ha d'haver algun transistor d'una branca superior i un altre d'una branca inferior conduint.**

Les tècniques emprades són Pulse Width Modulation (PWM) o Space Vector Modulation

ETAPA DE POTÈNCIA D'UN VARIADOR

L'IGBT



Tots els variadors i servos del mercat utilitzen el "transistor bipolar de porta aïllada (Isolated Gate Bipolar Transistor)

El Transistor es fa funcionar com a interruptor, a les regions de Tall i Saturació.

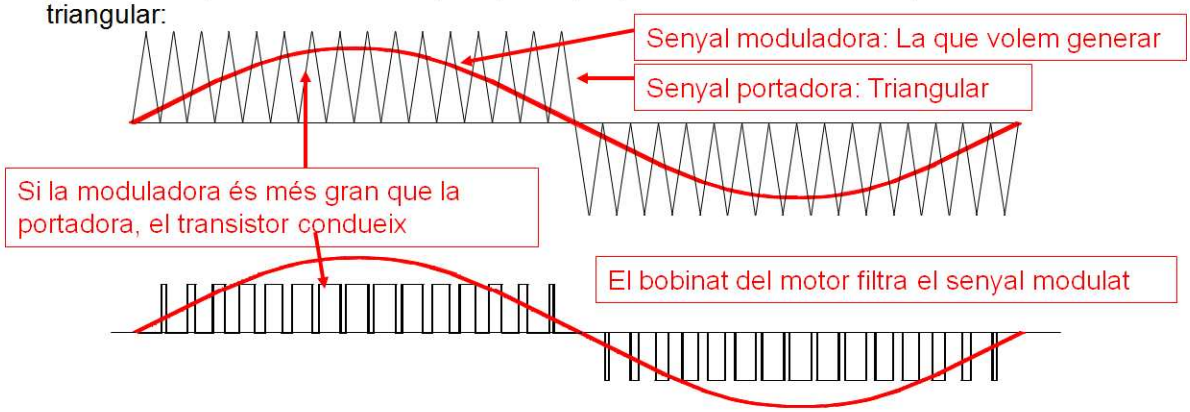
L'IGBT s'activa amb una tensió a la porta com els MOS, però condueix el corrent com un transistor bipolar.

Sempre es porten un diode en inversa.

ETAPA DE POTÈNCIA D'UN VARIADOR

L'ONDULADOR: PWM

La manera de generar una forma d'ona senoidal a partir d'una tensió continua i un pont d'interruptors és modulant (multiplicant) el patró senoidal amb una portadora triangular:



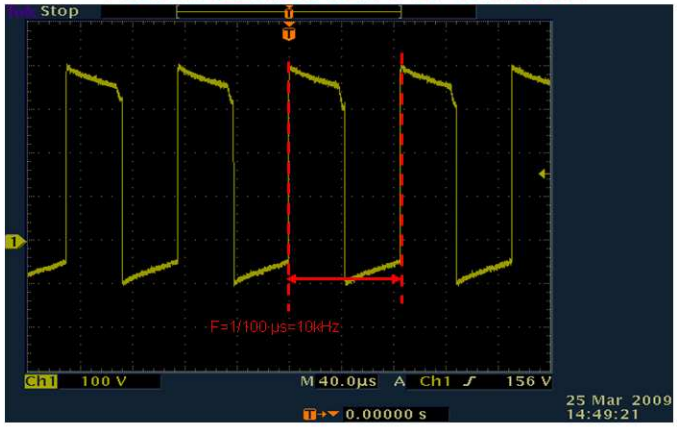
ETAPA DE POTÈNCIA D'UN VARIADOR

L'ONDULADOR: PWM

Condicions de la mesura:
Entre fase U i –DC-Bus
Base de temps a 40µs/div
Amplitud a100V/div
Sonda aïllada
Motor aturat

De quina freqüència és l'ona portadora?

VISUALITZEM EL SENYAL PORTADOR



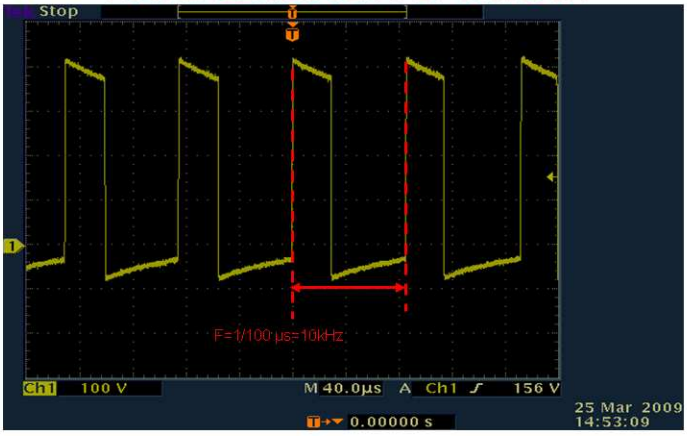
ETAPA DE POTÈNCIA D'UN VARIADOR

L'ONDULADOR: PWM

Condicions de la mesura:
Entre fase U i –DC-Bus
Base de temps a 40µs/div
Amplitud a100V/div
Sonda aïllada
Motor Girant a 2500rpm

La freqüència és la mateixa però els temps d'ON-OFF ja no són simètrics.

VISUALITZEM EL SENYAL PORTADOR



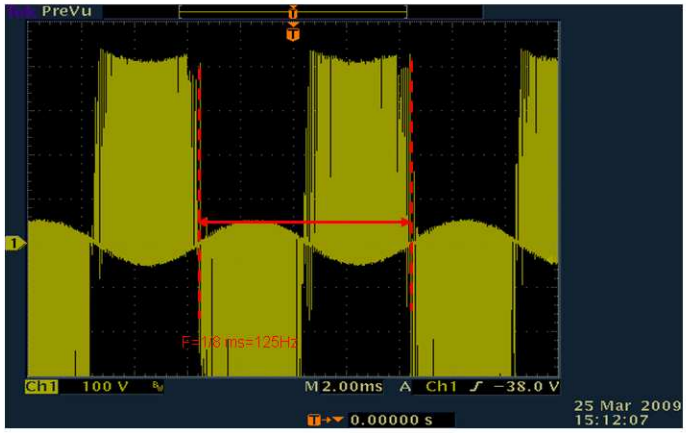
ETAPA DE POTÈNCIA D'UN VARIADOR

L'ONDULADOR: PWM

Condicions de la mesura:
Entre fase U i V
Base de temps a 2ms/div
Amplitud a100V/div
Sonda aïllada
Motor girant a 2500rpm

De quina freqüència és l'ona moduladora?

VISUALITZEM EL SENYAL MODULAT



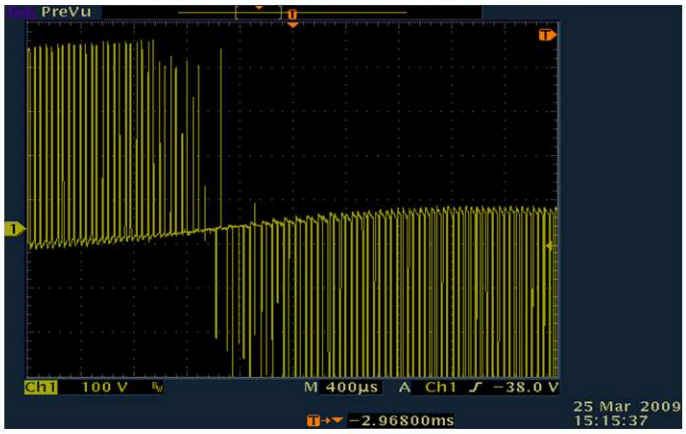
ETAPA DE POTÈNCIA D'UN VARIADOR

L'ONDULADOR: PWM

Condicions de la mesura:
Entre fase U i V
Base de temps a 2ms/div
Amplitud a100V/div
Sonda aïllada
Motor girant a 2500rpm

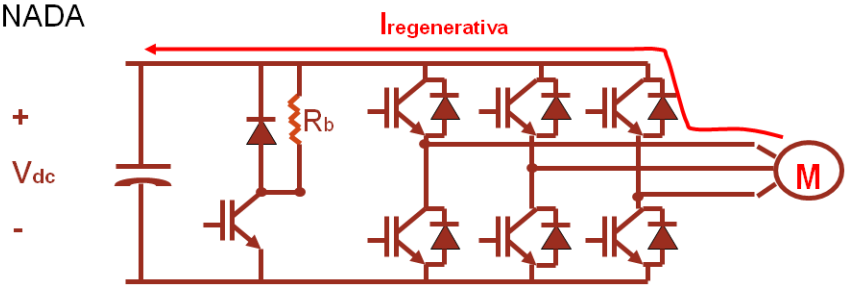
Detall on s'aprecia el diferent ample dels estats ON i OFF

VISUALITZEM EL SENYAL MODULAT



ETAPA DE POTÈNCIA D'UN VARIADOR

EL CIRCUIT DE FRENADA



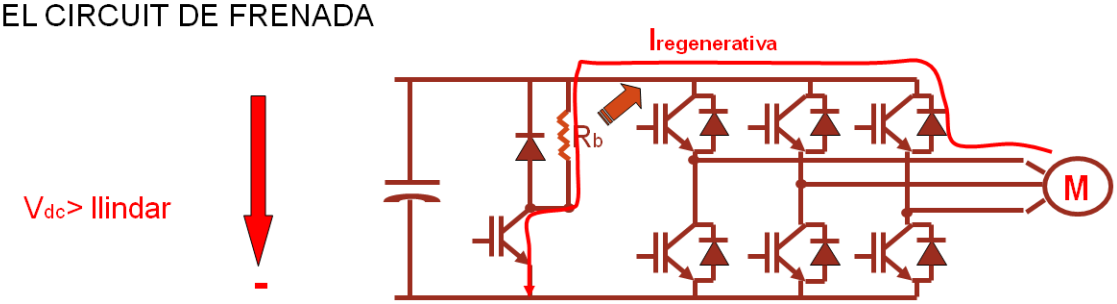
En certes circumstàncies el motor pot actuar com a generador: Frenada ràpida amb càrrega molt inercial, baixant càrregues verticals…

En aquest cas, el corrent flueix de motor cap a DC Bus pels diodes en inversa associats als IGBT's

Aquesta energia s'acumula als condensadors, però si és excessiva ha de ser dissipada mitjançant el circuit de frenada.

ETAPA DE POTÈNCIA D'UN SERVODRIVE

EL CIRCUIT DE FRENADA



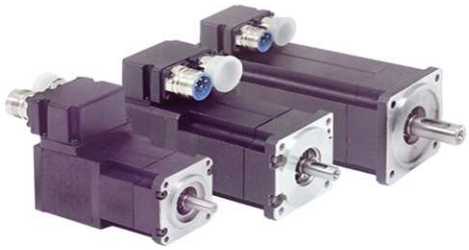
El corrent regenerat fa pujar la tensió del DC Bus.

Quan la tensió del DC Bus puja d'un cert llindar, el transistor de frenada condueix.

L'energia de la frenada es dissipa a la resistència, reduïnt la tensió del bus

El servomotor d'alterna

El més precís i dinàmic



Per les aplicacions més exigents en prestacions

http://www.youtube.com/watch?v=SBbd2WA7Y-4&feature=related
http://www.youtube.com/watch?v=1Ggv54XLAqQ&feature=related

El servomotor d'alterna

El servomotor és com una moto esportiva:

- És petit i lleuger
- Complex de construir i controlar.
- Necessita realimentació de posició (encoder o resolver)
- Robust.
- Molta precisió
- Accelera i frena molt ràpid
- És car.

http://www.youtube.com/watch?v=Vixhfm7_zig
http://www.youtube.com/watch?v=iF59a3lsGH4&feature=related

El servomotor d'alterna

Aplicacions típiques dels servomotors:

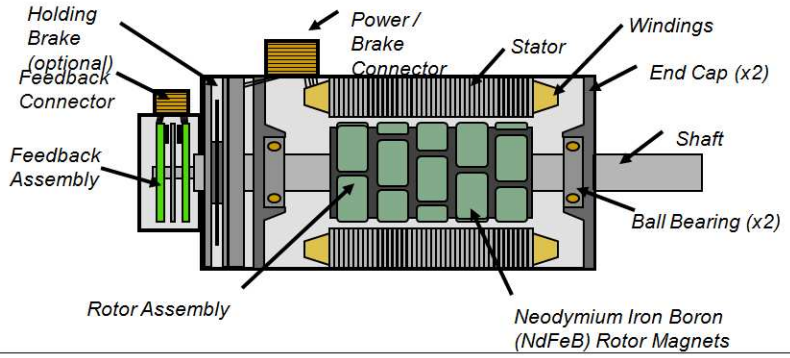
- Maquina eina
- Cisalles volants i rotatives
- Talladores
- Posicionadors
- Etiquetadores
- Maquinaria d'impressió
- Robots

http://www.youtube.com/watch?v=w8LIRmocLsQ
http://www.youtube.com/watch?v=XE3fh7zghdo

El servomotor d'alterna

Principi de funcionament

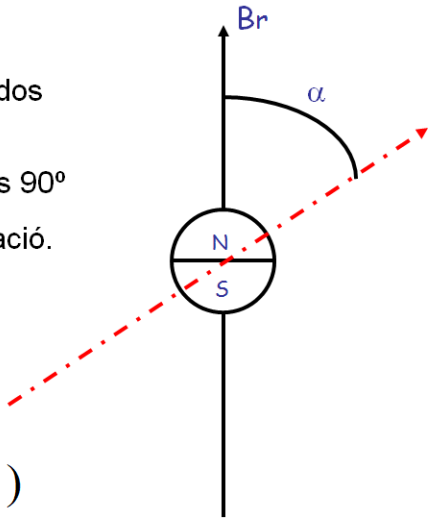
- És com un servomotor de continua al revés:
- Els imans són al rotor.
- Els bobinats a l'estator.
- El controlador fa la commutació electrònicament



El servomotor d'alterna

Principi de funcionament

- El parell és conseqüència de la interacció de dos camps magnètics.
- El controlador garanteix que l'angle sempre és 90º
- Aquests motors sempre necessiten realimentació.



$$T = \overline{B}_r x \overline{B}_s = B_r \cdot B_s \cdot sen(\alpha)$$

El servodrive d'alterna

Principi de funcionament

-L'arquitectura interna és pràcticament igual que la d'un variador.

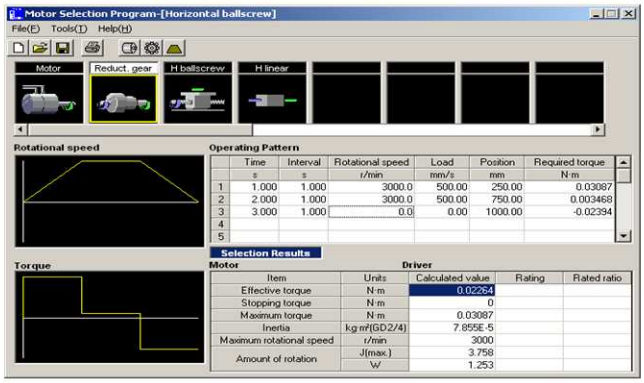
- Només canvia la lògica de control.
- Hi han equips al mercat capaços de controlar tant servomotors d'alterna com motors d'inducció.

Dimensionament de motors

Un cop triat el tipus de motor s'ha de calcular quin model es necessita.

- Només es necessita tenir ben clars els requeriments i quatre fórmules bàsiques de física

- Hi han programaris que ajuden a fer aquests càlculs:

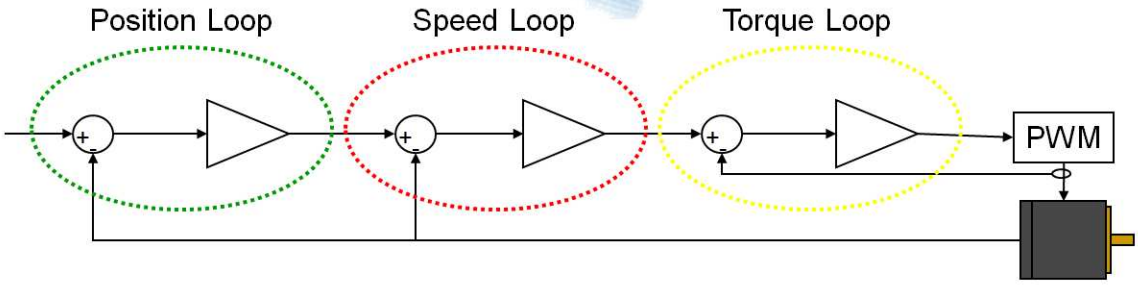


El controlador

ELS LLAÇOS DE CONTROL

Hi han tres llaços principals a controlar: POSICIÓ, VELOCITAT I PARELL

Depenent del sistema, aquests llaços es tancaran al drive o al controlador



El controlador

PRESTACIONS

Finalment s'ha de triar el controlador que doni les prestacions necessàries en quant:

- Control de moviment
- Número d'eixos
- Programabilitat
- Comunicacions industrials
- …

http://www.youtube.com/watch?v=NN_Uqc5jbaE

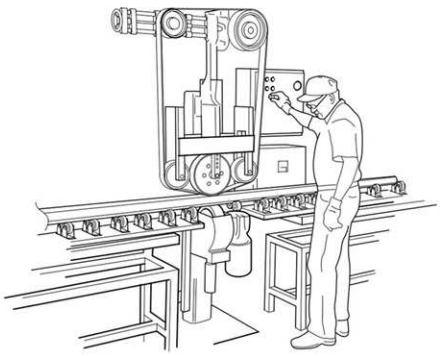
L'interface d'usuari

El viatge acaba aquí…

Les màquines les porten persones, per tant s'ha de pensar com la màquina serà operada.

Cada vegada més el control es basa en pantalles tàctils o interfaces basats en PC

A més, s'han de tenir en compte aspectes com l'ergonomia, seguretat, simplicitat, …



http://www.youtube.com/watch?v=x20_9HxAi0U&feature=related

Alguna pregunta?

Questions are guaranteed in life.

Answers aren't.

Thank-you!

5. Conclusions

La resposta dels alumnes va ser bona i el nivell de motivació elevat. Van mantindre l'atenció durant tota l'exposició del temari.
No només es van limitar a observar els diferents mecanismes i punts d'interès dels vídeos, sinó que també van investigar cercant més informació relacionada.

El material gràfic donava peu a comentaris espontanis dels alumnes del tipus "Aquest operari no porta sabates de seguretat" o "Molt enginyós! A mi no se m'hagués ocorregut fer-ho d'aquesta manera..." Aquest tipus de comentaris em donaven peu a reforçar conceptes transversals com la seguretat o la creativitat, encara que hi ha el risc de presentar una informació difusa i desordenada. Per evitar això, és important saber tornar al fil de l'exposició.

La introducció de la llengua Anglesa s'ha acceptat de forma natural, encara que molts alumnes ja tenien coneixements previs. Han incorporat noves paraules de l'argot tècnic.

Autoavaluació: En certs casos, el vídeo mostrat no deixava ben clar el significat del punt tractat. Es tractarà, doncs d'anar incorporant nous links i noves informacions que s'adaptin de manera més exhaustiva.

6. Bibliografia

"The Control Techniques Drives and Controls Handbook" Bill Drury 2001
ISBN 085296 793 4 IEE Power and energy Series 35

"Regulación y control de motores eléctricos" Jordi Belzunce y Santiago Mañas 2002
ISBN 84-607-39991-0 Mecánica Moderna

"Convertidores de frecuencia, controladores de motores y SSR" Manuel Álvarez Pulido 2000 ISBN 84-267-1268-1 Marcombo

"Excuses per no pensar" Eduard Punset 2011
ISBN 978-84-9710-192-9 Destino

"Viatge al poder de la ment" Eduard Punset 2010
ISBN 978-84-9710-127-1 Destino

"Aprendizaje invisible", Cristóbal Cobo Romaní i John Moravec.
UBe Col·lecció Transmedia XXI

"La revolución educativa en la era de Internet", Pere Marquès
CISSPRAXIS , 2001

"Las estrategias de aprendizaje: Cómo incorporarlas a la práctica educativa", Carles Monereo. EDEBE, 1998

Article revista publicat: "Escuelas democráticas"
Ed.Morata

Article revista publicat: Eugènia de Pagès “Minuts d’Or a classe”

Article revista publicat: Vicente Garrido (Psicòleg y criminòleg, professor de la Universitat de València)

Article revista publicat: Nuria Alart. “L’aprenentatge a principis del Segle XXI”.