# Titolo (Diapositiva 1)

Buon giorno a tutti, io sono emanuele alfano e sono qui oggi per presentarvi la mia tesi sperimentale sulla realizzazione di un Mokup di impianto tokamak.

# Diapositiva 2

In questa tesi vedremo rapidamente cos’è un tokamak e cosa significa “fusione nucleare”, per poi spostarci ad illustrare il prototipo che ho creato di quali componenti è formato.

Vedremo quindi come viene modellato matematicamente il sistema e mostrerò una stima lineare calcolata su degli esperimenti reali

Ci muoveremo quindi sulla realizzazione di un controllore in grado di inseguire con errore nullo un riferimento e vi mostrerò le performance.

Finiremo con una rapida descrizione della libreria di comunicazione che è stata realizzata per far comunicare il prototipo con il computer.

# Diapositiva 3

Il presente progetto è stato realizzato assieme all’ENEA di frascati, e coordinato dal gruppo CODAS

# Diapositiva 4

L’obiettivo del COSAS è la realizzazione del MOKUP di un intero impianto Tokamak, come si può vedere nella slide

Il mio contributo nel progetto complessivo è la realizzazione del prototipo fisico su cui effettivamente attuare i controlli.

# Diapositiva 5

Ma cos’è un Tokamak?

Un tokamak è una macchina a forma di Toro, ovvero una “ciambella” che viene usata per contenere un plasma di idrogeno estremamente caldo, decine di volte la temperatura sulla superficie del sole, attraverso dei campi magnetici.

Vi chiederete, perché costruire un Tokamak? L’obiettivo è di creare una centrale nucleare a fusione

# Diapositiva 6

In fisica, per fusione nucleare si intende il processo fisico che mira ad unire tra loro 2 nuclei di atomi diversi, durante questa reazione però della massa viene persa, questa perdita avviene sotto forma di energia, e come Einstein ci insegna, l’energia equivale alla massa per la velocità della luce al quadrato, perciò signori non stiamo certamente parlando di un accendino.

# Diapositiva 7

Al contrario della fissione nucleare, che mira a dividere atomi ultra-pesanti per generare energia, con tutti i problemi di smaltimento e stoccaggio delle scorie che ben conosciamo, la fusione è “pulita”, avviene normalmente all’interno delle stelle, e produce elio.

# Diapositiva 8

Possiamo qui sintetizzare i principali benefici nell’uso di una simile tecnologia:

(a braccio ma breve!!!)

# Diapositiva 9

Passiamo ora a parlare del prototipo realizzato durante la tesi

# Diapositiva 10

Come primo componente vorrei parlarvi dell’equivalente matematico da noi usato.

Sorprendente ma vero, stiamo parlando di Trasformatore elettrico monofase.

# Diapositiva 11

Dai tanti esperimenti fatti negli anni con i tokamak risulta che l’interazione tra il trasformatore centrale di tokamak, o più in generale di una delle bobine di controllo, interagisce con il plasma come farebbe il primario di un trasformatore monofase con il suo secondario.

In un impianto reale però la resistenza di plasma dipende fortemente dal suo attuale stato, livello energetico, etc...

Qui noi per ovvi motivi semplificheremo con un parametro costate.

# Diapositiva 12

Risulta inoltre che, in un impianto reale, l’effetto di mutua induttanza normalmente presente in un trasformatore, può essere ignorato e si può tenere conto solo dell’induzione che la bobina attua sul plasma, ottenendo come circuito equivalente il seguente:

# Diapositiva 13

Calcoliamo ora la dinamica istantanea delle 2 maglie attraverso la 2° legge di Kirchoff, e usando la legge di Faraday per calcolare la Forza Elettro Motrice indotta abbiamo tutto il necessario per calcolare la dinamica complessiva

# Diapositiva 14

Analizziamo prima la dinamica di plasma, passando per laplace otteniamo che la risposta forzata ha questa funzione di trasferimento, possiamo subito notare che al numeratore è presente uno 0 nell’origine, ne dovremo tenere conto quando realizzeremo il controllo.

# Diapositiva 15

Con un procedimento simile otteniamo la funzione di trasferimento per la Corrente del trasformatore.

[click]

Osserviamo però che la resistenza in serie per la corrente di plasma, può essere trasformata in una resistenza in parallelo grazie al teorema di Thévenin, trasformando il generatore di tensione in uno di corrente.

Questa formulazione è anche più simile a quella presente negli impianti reali di tokamak, dove si hanno a disposizione dei generatori di corrente la cui dinamica di attuazione è assimilabile a un sistema del primo ordine a causa del ritardo di attuazione.

Abbiamo quindi come funzione di trasferimento per il primario questa:

# Diapositiva 16

Nella realtà però noi non possiamo misurare direttamente la corrente di plasma, per evidenti limiti tecnici.

Si usa al suo posto una diagnostica detta tensione di anello, che consiste nel misurare il campo elettrico generato dal plasma, che nel nostro caso equivale alla misura presa dal voltmetro V2.

Quando la corrente di plasma è costante, che, come vedremo, è l’obiettivo di controllo del sistema, abbiamo che il contributo della derivata scompare nell’induttore e misurare V2 equivale a misurare la corrente di plasma moltiplicata per la resistenza

# Diapositiva 17

Unendo insieme i blocchi, e misurando apposta la tensione al contrario per eliminare l’inversione di segno così da semplificarci la vita, otteniamo questa funzione di trasferimento complessiva.

# Diapositiva 18-23

Vediamo ora rapidamente come misuriamo la corrente sul primario e attuiamo il controllo:

# Diapositiva 24-26

Vediamo 2 esperimenti in cui è stato applicato un segnale in feed forward e osserviamo la presenza delle deadzone sia sopra che sotto

# Diapositiva 27-30

Parliamo adesso della stima dei parametri per il modello teorico discusso precedentemente.

All’inizio è stato usato il toolbox integrato in Matlab, che, come si vede dal grafico, è “accettabile “per le correnti, ma ha proprio preso un abbaglio le calcolo del secondario

Si è quindi aggiustato i parametri per il primario, e sui numeri dimensionati dal toolbox, si è aggiustato il segno e raffinato i coefficienti, ottenendo questo risultato.

# Diapositiva 30-33

I coefficienti sono qui espressi, e i parametri importati sono sintetizzati nell’elenco.

Si è poi eseguito un esperimento lungo, con vari segnali di controllo, per mettere a confronto il modello stimato con quello vero, ecco gli esiti

(fai notare le cose importanti)

# Diapositiva 34-35

Parliamo ora del controllo, basato su retroazione dall’uscita.

L’obiettivo principale è generare un controllo che porti a 0 l’errore, e che possibilmente abbia prestazioni elevate.

Come anticipato precedentemente, per chiudere il loop usiamo la tensione misurata sulla resistenza di plasma, che però con riferimenti costanti arriva ad equivalere con la corrente di plasma

# Diapositiva 36

Per iniziare rinormalizziamo le funzioni di trasferimento nella seguente forma, prestando quindi attenzione che, a causa dello Zero in Zero del Modello, l’impianto ha una rho pari a “-1”

# Diapositiva 37

Usando questa formalizzazione ci andiamo a calcolare la funzione di sensitività, e usando il teorema del valore finale siamo in grado di scrivere la funzione che calcola l’esito di “e infinito”.

Svolgendo i calcoli otteniamo che l’errore all’infinito può avere 3 esiti, uno nullo, uno costante e l’ultimo infinito, noi vogliamo l’errore nullo, e da qui, a causa dello zero in zero, discende che il controllore deve avere 2 poli nell’origine per raggiungere l’obiettivo.

# Diapositiva 38-46

Alla luce dell’analisi vista, in questa tesi il controllore proposto è quindi il seguente.

Potete facilmente osservare la sua somiglianza con un PID, e come per il PID, siamo ora intenzionati a mostrare l’effetto qualitativo dei coefficienti sull’uscita.

# Diapositiva 47

Vogliamo ora portare nel mondo reale il modello di controllore che abbiamo appena calcolato, essendo però il micro controllore un computer, e in quanto tale evolve per istanti di tempo discreto, nella fattispecie ogni 0.5ms (2khz) e le dinamiche del sistema non sono molto più rapide, siamo costretti a procedera a una discretizzazione della funzione di trasferimento.

Tra le varie alternative, si è scelto di usare la Zero Order Hold, che calza maggiormente con la situazione reale del sistema.

Una discretizzazione ZOH coinsiste nell’assegnare il controllo solo ogni istante di campionamento, e nel mezzo il componente ZOH mantiene il segnale costante, contestualmente al cambio di controllo, viene anche campionata l’uscita raggiunta fino a quel momento, come descritto nelle figure.

# Diapositiva 48

Per semplificare l’implementazione, i 3 componenti sono stati discretizzati singolarmente, nella tabella di seguito i coefficienti, e usando queste matrici discrete, il controllo è stato implementato con successo nel prototipo

# Diapositiva 49-51

Discutere del controllo, di come si comporta, etc.…

# Diapositiva 52

Per concludere, vi parlerò di

# Diapositiva 36

Parlia

# Diapositiva 36

Parlia

# Diapositiva 36

Parlia

# Diapositiva 36

Parlia

# Diapositiva 36

Parlia

# Diapositiva 36

Parlia

# Diapositiva 36

Parlia

# Diapositiva 36

Parlia

# Diapositiva 36

Parlia

# Diapositiva 36

Parlia

# Diapositiva 36

Parlia

# Diapositiva 36

Parlia

# Diapositiva 36

Parlia