

Modellistica per il controllo della posizione verticale nel tokamak JET

T. Bellizio^a, R. Albanese^a, G. Artaserse^a, V. Coccoresè^a, F. Maviglia^a, F. Villone^b

^a Assoc. EURATOM/ENEA/CREATE, Univ. Napoli Federico II, DIEL, Via Claudio 21, 80125 Napoli, Italy

^b Assoc. EURATOM/ENEA/CREATE, Univ. degli Studi di Cassino, DAEIMI, Via Di Biasio, I-03042 Cassino (FR), Italy

La necessità di raggiungere sempre migliori prestazioni nei tokamak [1] presenti e futuri ha dato maggiore importanza all'attività di modellistica per la stabilizzazione verticale del plasma.

Con plasmi di sezione poloidale elongata si possono ottenere elevate prestazioni. Tuttavia i plasmi elongati sono verticalmente instabili. Pertanto il controllo della posizione verticale è una componente importante per il raggiungimento degli obiettivi previsti.

In questo contesto è stato proposto e sviluppato il progetto "Plasma Control Upgrade" PCU con lo scopo di incrementare le capacità del sistema di stabilizzazione verticale [2] del tokamak JET ed utilizzare le conoscenze acquisite per il progetto del sistema di stabilizzazione verticale del nuovo reattore ITER.

Il sistema di stabilizzazione verticale è uno dei sistemi più critici in quanto le instabilità verticali incontrollate possono comportare elevati carichi termici e meccanici sulla camera da vuoto con conseguenti danneggiamenti della struttura. Lo scopo del sistema di stabilizzazione verticale è quello di mantenere una media della velocità verticale del plasma intorno allo zero e contemporaneamente cercare di controllare la corrente dell'amplificatore di campo radiale a un determinato valore di riferimento. Poiché la velocità verticale del plasma non è direttamente misurabile essa è ottenuta come combinazione lineare dei segnali magnetici. In particolare sono disponibili 32 misure magnetiche su 4 ottanti differenti; ciascuno di essi include 18 sensori interni per la misura del campo tangente e 14 sensori esterni denominati "saddle loops". La stima della velocità verticale è ottenuta utilizzando la seguente relazione:

$$\frac{dI_p}{dt} = \frac{1}{\mu} \oint \frac{dB_t}{dt} ds \approx \sum_{k=1}^{N_{mag}} w_{0k} m_k \quad (1)$$

$$\frac{d(Z_p I_p)}{dt} = \frac{1}{\mu} \oint \left[Z \frac{dB_t}{dt} - R \log\left(\frac{R}{R_0}\right) \frac{dB_n}{dt} \right] ds \approx \sum_{k=1}^{N_{mag}} w_k m_k \quad (2)$$

dove I_p è la corrente di plasma, Z_p la posizione verticale del centroide, R la coordinata radiale, Z la coordinata verticale, R_0 il raggio maggiore della camera, t il tempo, B_t e B_n rispettivamente la componente tangenziale e normale della densità di flusso magnetico. Utilizzando un numero finito

$Nmag$ di misure magnetiche m_k derivate rispetto al tempo, gli integrali di linea (1)-(2) possono essere approssimati come una combinazione lineare di questi segnali con opportuni pesi w_{0k} e w_k .

Il progetto PCU si è articolato principalmente in due fasi. Questo lavoro si propone di presentare la attività svolte durante la seconda fase del progetto. Tale fase ha avuto come scopo quello di aumentare la capacità del sistema di stabilizzazione verticale nel controllare instabilità MHD (Edge Localize Modes) [3] di elevata entità, focalizzandosi sull'ottimizzazione degli strumenti di modellistica in modo da garantire le migliori condizioni durante le fasi della campagne sperimentali. Inoltre ha avuto come scopo quello di fornire un adeguato supporto da parte dei gruppi di modellistica e controllo alla realizzazione, all'implementazione ed alla verifica funzionale del nuovo amplificatore di campo radiale ERFA.

I principali risultati di questa attività comprendono:

- lo sviluppo di un modello del sistema di stabilizzazione verticale a ciclo chiuso includendo il nuovo amplificatore di campo radiale ed il controllore di forma, che in alcuni casi può innescare oscillazioni indesiderate;
- la scelta della configurazione di spire ottimale per il circuito di campo radiale tenendo in conto i parametri del plasma e del nuovo amplificatore di campo radiale.

Le simulazioni e i risultati sperimentali ottenuti hanno mostrato che il nuovo sistema di stabilizzazione verticale rispetta le specifiche di progetto per plasmi caratterizzati da un growth rate [4] superiore a 200 s^{-1} . Inoltre, attività addizionali svolte durante l'ultima campagna sperimentale hanno riguardato lo studio degli effetti delle strutture passive:

- sui sensori magnetici, in vista dell'installazione della nuova parete (ITER-like wall) con conseguente studio e commissioning di un nuovo stimatore di velocità verticale che non utilizza i sensori maggiormente schermati;
- sul nuovo amplificatore di campo radiale con conseguente riduzione del valore della tensione effettivamente applicata al carico rispetto alle specifiche di progetto;
- sul breakdown, in modo da favorire l'avvio dell'impulso anche con varie configurazioni di spire nel circuito di campo radiale.

Referenze

- [1] J. Wesson, "Tokamaks", 3rd ed. New York: Oxford Univ. Press, 2004.
- [2] T. Bellizio et al., "The Software Architecture of the new Vertical Stabilization System for the JET tokamak", submitted for publication on IEEE Trans. on Plasma Science.
- [3] H. Zohm, "Edge localized modes (ELMs)", Plasma Phys. Control. Fusion 38, 1996, 105–28.
- [4] R. Albanese, M. Mattei, and F. Villone, "Prediction of the growth rates of VDEs in JET", Nucl. Fusion, vol. 44, pp. 999–1007, 2004.