

Contents

| | | |
|----------|--------------------------------------|----------|
| I | Topologia Magnetica | 1 |
| 1 | Tokamak | 1 |
| 1.1 | Struttura | 1 |
| 1.2 | Confinamento | 1 |
| 1.3 | Scarica | 1 |
| 2 | Ruolo delle misure magnetiche | 1 |
| 3 | Sensori Induttivi | 2 |
| 3.0.1 | Rogowski Coil | 2 |
| 3.1 | Voltage Loop / Flux Loop | 2 |
| 3.2 | Pick-Up Coils | 2 |
| 3.3 | Saddle Coils | 2 |
| 3.4 | Loop Diamagnetico | 2 |
| 3.5 | | 3 |

Part I

Topologia Magnetica

1 Tokamak

1.1 Struttura

Il Tokamak si basa su tre gruppi elettromagnetici:

- campo toroidale: funge da manicotto e confina il plasma;
- magneti centrale che appartengono al trasformatore e inducono corrente nel plasma che fluisce toroidalmente;
- magneti del campo verticale: agiscono in modo da stabilizzare il plasma e vincolarlo al centro del toro.

1.2 Confinamento

Per far avvenire la scarica di plasma, il tokamak deve raggiungere la cosiddetta configurazione di confinamento in cui la risultante del campo magnetico toroidale e poloidale è un campo magnetico elicoidale: le particelle di plasma si avviano toroidalmente in superfici isobare di flusso.

1.3 Scarica

Durante l'avviamento di un esperimento nel tokamak si inizia a creare il vuoto all'interno del vessel e si inietta una miscela di deuterio e trizio all'interno nella camera da vuoto. A questo punto, si innalza il campo toroidale, si ha un ramp up del flusso nel trasformatore per ottenere un alto campo elettrico per poi essere interrotto. Così facendo si crea una differenza di potenziale che avvia un breakdown del plasma: gli elettroni, accelerati dal campo elettrico, guadagnano energia. Questi quando urtano gli atomi di deuterio e trizio lo possono ionizzare e generare un nuovo elettrone. Questo fenomeno si ripete esponenzialmente (avalanche) così da giungere al breakdown del plasma.

Una volta che è trascorso il breakdown viene avviato il controllo in feedback del plasma.

2 Ruolo delle misure magnetiche

Le misure magnetiche si possono dividere in due macrocategorie:

- Operazioni real time:
 1. Posizione del plasma e controllo di forma;
 2. Sistema di protezione;
 3. Misurazioni;

- **Analisi offline:**

1. Ricostruzioni magnetiche: superfici di flusso e il bordo del plasma. Sono molto importanti per correggere e interpretare le informazioni contenute in una scarica;
2. Analisi MHD

3 Sensori Induttivi

Il tokamak possiede delle diagnostiche basate su sensori induttivi: sono dei sensori che risentono delle variazioni del campo magnetico in forma integrale o derivativa.

I sensori induttivi si basano sulla legge di Faraday: la forza elettromotiva indotta è proporzionale alla derivata del flusso di campo magnetico.

$$f_{em} = -\frac{d\Phi(B)}{dt} \quad (1)$$

Tuttavia in pratica quello che lo strumento ritorna sono valori di tensione che tramite la relazione:

$$V = -NA\langle\dot{B}\rangle \quad (2)$$

Integrando nel tempo si può avere una misura del flusso del campo magnetico:

$$\Phi = NA\langle B \rangle = -\int V dt + const \quad (3)$$

Di seguito si illustreranno i sensori induttivi installati in un tokamak.

3.0.1 Rogowski Coil

Le bobine Rogowski sono delle bobine solenoidali che si avvolgono lungo la sezione poloidale del toro. Queste forniscono una misura diretta della corrente che fluisce nel suo centro.

L'equazione che la caratterizza è:

$$\Phi = nA \oint B dl \mu_0 n A I_p = -\int V dt + const \quad (4)$$

Bisogna ricordare che:

- Le misure di corrente non dipendono sulla forma del rogowski né dalla distribuzione di corrente nel plasma;
- Il cammino degli avvolgimenti del solenoide devono ritornare sullo stesso asse in cui sono iniziate;
- Le bobine Rogowski possono essere sostituite da un set di bobine tangenti alla camera.

3.1 Voltage Loop / Flux Loop

Il Voltage Loop è un singolo cavo che avvolge la camera toroidalmente ed ha il compito di misurare la tensione indotta dal trasformatore centrale. La tensione ai capi della bobina vengono inviate ad un DAS che ne calcola il valore.

3.2 Pick-Up Coils

Le Pick-up Coils sono bobine poste al bordo del vessel utilizzate per ricostruire l'equilibrio, per controllare il plasma e rilevare le instabilità MHD.

3.3 Saddle Coils

Le bobine Saddle sono bobine estese montate sulla camera da vuota che permettono di misurare il flusso magnetico perpendicolare a loro stessi. Inoltre, sono utilizzate per la ricostruzione dell'equilibrio e possono fornire in totale misure del flusso poloidale. In quest'ultimo caso, si ottengono misure integrali del flusso poloidale che devono essere derivate con un flusso di riferimento per ottenere una informazione.

3.4 Loop Diamagnetico

Sappiamo che il plasma, dall'equazione dell'equilibrio $j \times B = \nabla p$ le particelle del plasma si dispongono lungo superficie isobare e che l'equilibrio sviluppa delle correnti poloidali che riducono il campo magnetico. Questo specifico comportamento viene detto **diamagnetismo**.

Al fine di misurare l'energia del plasma dal flusso toroidale si utilizza il Loop Diamagnetico. Questa misura risulta non semplice dato che l'effetto diamagnetico è molto piccolo.

Infine, risulta una diagnostica che soffre dell'allineamento.

