

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-62/125 (1962)

F. Amman, G. Sacerdoti, P. Toschi: L'ELETTROSINCROTRONE:  
IMPIANTI DI ALIMENTAZIONE DEL MAGNETE.

Estratto dal: Nuovo Cimento, Suppl. 24, 203 (1962)

CAPITOLO VII

Impianti di alimentazione del magnete.

F. AMMAN, G. SACERDOTI e P. TOSCHI

1. - Introduzione.

Il circuito di alimentazione del magnete è schematizzato nella Fig. III.vii.1. La corrente che circola negli avvolgimenti del magnete è sinusoidale polariz-

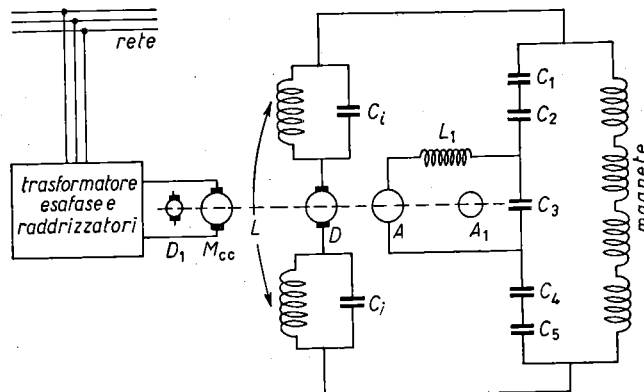


Fig. III.vii.1.

zata ottenuta come sovrapposizione di una componente continua e di una componente alternata (Fig. III.vii.2) (v. Cap. I, Sez. 3 della Parte I).

In precedenza (v. Cap. I di questa Parte III) si sono indicati i criteri in base ai quali si è scelto questo tipo di alimentazione.

L'impianto è in ogni sua parte dimensionato per un funzionamento dell'elettrosincrotrone (e.s.) a 1150 MeV.

La corrente  $I_{ca}$  (Fig. III.vii.2) ha una frequenza di 20 Hz e può raggiungere

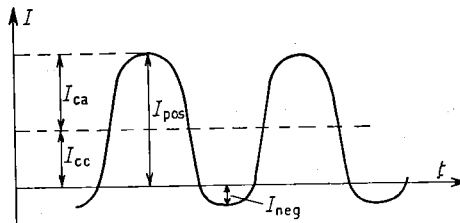


Fig. III.vii.2.

un valore di picco di 3 800 A, con una tensione alternata di picco ai capi del magnete di 8 100 V. La corrente  $I_{cc}$  può raggiungere un valore di 3 150 A con una tensione di 100 V. Fra i valori della  $I_{ca}$  e  $I_{cc}$  c'è un forte scarto perchè, in sede di progetto, si era previsto di dover disporre di una  $I_{neg}$  pari al 10 % della  $I_{pos}$ . Durante il normale funzionamento dell'e.s. a 1000 MeV i valori di corrente e tensione usati sono i seguenti:

$$I_{ca} = 2\,790 \text{ A (valore di picco).}$$

$$I_{cc} = 2\,700 \text{ A,}$$

$$V_{ca} = 5\,950 \text{ V (valore di picco),}$$

$$V_{cc} = 59 \text{ V,}$$

$$I_{pos} = 5\,400 \text{ A,}$$

$$I_{neg} = 90 \text{ A.}$$

I circuiti risonanti del magnete e di blocco hanno complessivamente un  $Q$ , misurato con la sola componente alternata, pari a 45.

Come appare dalla Fig. III.vii.1 la bobina del magnete è alimentata con due distinti generatori, uno di corrente alternata  $A$  e uno di corrente continua  $D$ . L'alternatore  $A$  fornisce alla frequenza di 20 Hz soltanto la potenza dissipata nel circuito. La potenza reattiva viene infatti ottenuta con i banchi di condensatori. La dinamo  $D$  fornisce la corrente continua. I condensatori  $C_1, C_2, C_4, C_5$  impediscono la circolazione di questa corrente nell'alternatore. Onde evitare che la dinamo ponga praticamente in corto circuito il sistema risonante condensatori-magnete è necessario un circuito antirisonante alla frequenza di 20 Hz in serie ad essa. Questo è composto dai banchi di condensatori  $C_i$  e dall'induttore  $L$  ed è realizzato in due circuiti distinti: in tal modo si può porre a terra il punto centrale del magnete riducendo la tensione alternata verso massa.

## 2. - Descrizione dell'impianto.

A) *Gruppo convertitore.* - È stato progettato e realizzato dalla Compagnia Generale di Elettricità, Milano, in base alle nostre richieste. Esso è costituito da un trasformatore trifase-esafase che alimenta due ampole raddrizzatrici a vapore di mercurio che sul lato corrente continua possono erogare 1200 A a 750 V. Vi è poi il gruppo rotante principale costituito da un motore in corrente continua ( $M_{cc}$ ) da 800 kW, 600 giri/min, alimentato dalle ampole, che traina (Fig. III.vii.1):

- l'alternatore monofase ( $A$ ) da 510 kVA; 1150 V;  $\cos \varphi$  0.8; 20 Hz;
- la dinamo ( $D$ ) da 315 kW; 100 V;
- l'alternatore trifase ( $A_1$ ) da 75 kVA; 220 V;  $\cos \varphi$  0.9; 60 Hz;
- la dinamo tachimetrica ( $D_1$ ).

Separato è il gruppo ausiliario comprendente tutte le eccitatrici e un alternatore a 1020 Hz per gli amplificatori magnetici: tale gruppo è trainato da un motore sincrono alimentato dal generatore  $A_1$ .

*B) Stabilizzazione della corrente in frequenza ed intensità.* — Per scarti della frequenza e della tensione di rete del  $\pm 2\%$ , la frequenza della  $I_{ca}$  e le intensità delle  $I_{ca}$  e  $I_{cc}$  restano costanti entro  $\pm 0.1\%$  del loro massimo valore.

Per scarti della frequenza e tensione di rete del  $\pm 5\%$  la frequenza della  $I_{ca}$  e  $I_{cc}$  ritornano, nel tempo di 0.2 s, entro i limiti del  $\pm 0.1\%$  del loro massimo valore. Con ciò tuttavia non si raggiungerebbe una sufficiente stabilizzazione della  $I_{neg}$ , quest'ultima infatti essendo circa l'1% della  $I_{pos}$  potrebbe variare del 20%. Tali variazioni nella porzione negativa della corrente totale, e quindi del campo magnetico nel traferro, porterebbero ad un funzionamento assai instabile dell'e.s. Si è quindi risolto il problema variando lentamente il riferimento della componente alternata in modo che la porzione negativa è stabilizzata entro il  $(2 \div 3)\%$  [1]. Il segnale di reazione è proporzionale al tempo intercorrente tra i due passaggi per lo zero del campo magnetico nel traferro. Trascurando l'effetto di variazioni di frequenza (che sono trascurabili essendo essa stabilizzata allo 0.1%), quando la porzione negativa è molto minore di quella positiva, si ha

$$\frac{\delta\tau}{\tau} \simeq \frac{1}{2} \frac{\delta B_n}{B_n},$$

dove  $\tau$  è l'intervallo di tempo tra i due passaggi per lo zero del campo magnetico (e quindi della corrente);  $B_n$  è la porzione negativa del campo magnetico;  $\delta\tau$  e  $\delta B_n$  sono gli incrementi delle due grandezze precedenti.

La stabilizzazione è realizzata interamente con amplificatori magnetici: le catene di amplificazione sono prevalentemente a push-pull compresi gli stadi finali costituiti dalle eccitatrici rotanti (Fig. III.VII.3).

*C) I condensatori.* — La batteria di condensatori in parallelo al magnete è composta da 892 unità in carta ed olio tipo rifasamento, da 42 kVA, 50 Hz, 1150 V<sub>eff</sub> costruiti dalla Ducati Elettronica, Bologna, e collegate fra loro in modo da formare una capacità complessiva di 3700  $\mu$ F a 5750 V.

Una parte di esse, circa il 5% suddivise in 6 frazioni, può essere inserita o disinserita con comando a distanza sotto carico per una più facile ricerca della risonanza del circuito. Le unità sono installate in apposite incastellature mobili che permettono l'accesso alle singole unità e la loro sostituzione in breve tempo nonostante la grande compattezza dell'installazione. L'impianto è

raffreddato con ventilazione forzata e vengono rilevate le temperature delle casse dei condensatori meno raffreddati.

Altre due batterie di condensatori per complessive 320 unità in carta e olio rifasamento da 48 kVA, 50 Hz, 575 V costruite dalla Passoni e Villa, Milano, costituiscono i rami capacitivi  $C_i$  e il loro collegamento è tale da realizzare due capacità di 3000  $\mu\text{F}$  a 2875 V ciascuna. L'impianto di queste batterie è analogo a quello della batteria magnete.

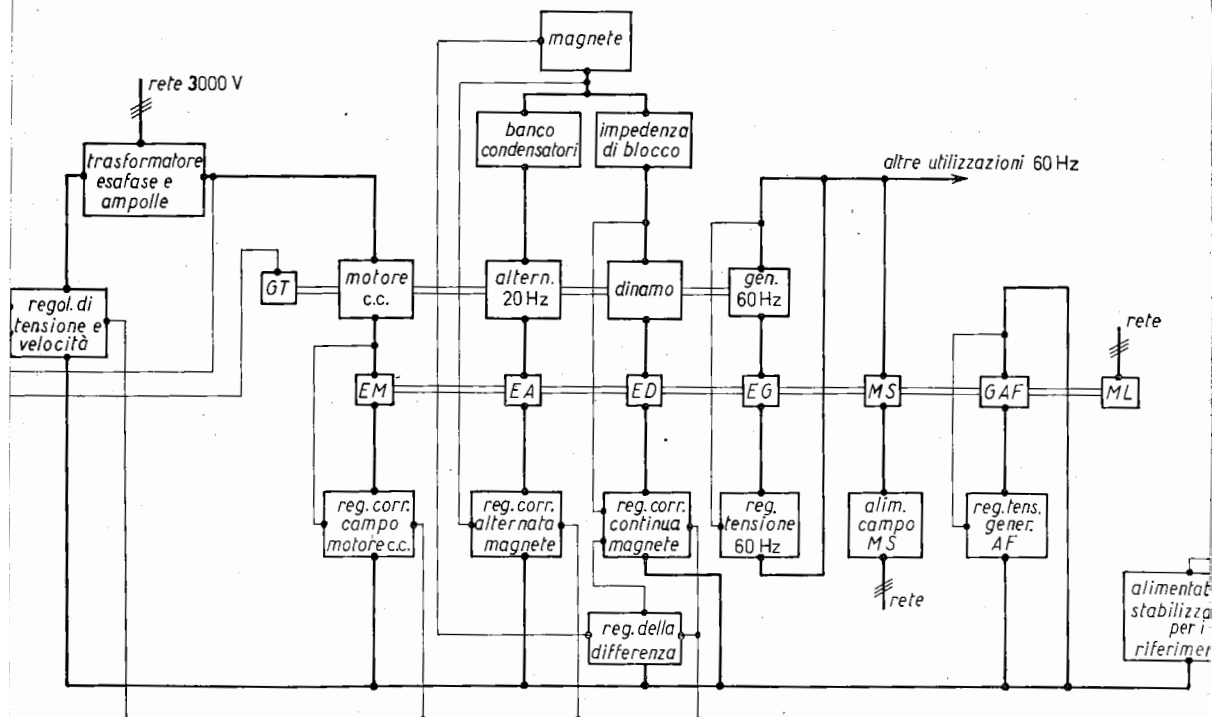


Fig. III.vii.3. - Schema a blocchi del sistema di alimentazione e della sua regolazione. *GT*) dinamo tachimetrica; *EM*) eccitatrice motore c.c.; *EA*) eccitatrice alternatore 20 Hz; *ED*) eccitatrice dinamo; *EG*) eccitatrice alternatore 60 Hz; *MS*) motore sincrono di traino 60 Hz; *GAF*) generatore alta frequenza; *ML*) motore asincrono di lancio. *Nota*: i regolatori dell'alternatore a 60 Hz e del generatore alta frequenza hanno riferimenti magnetici indipendenti dall'alimentatore stabilizzato.

Particolarmente severi sono stati i collaudi compiuti su questi condensatori e sono consistiti essenzialmente in una prova di selezione su ciascun elemento costituente le unità (in totale oltre 60 mila elementi), 5 prove distruttive su campioni prelevati da ogni impregnazione e 7 prove di collaudo su ciascuna unità.

Ciacun condensatore è provvisto di un fusibile esterno che interviene in

caso di guasto dell'unità escludendola dal servizio senza che questo venga interrotto. Non vi sono fusibili interni. Il rilievo degli squilibri di tensione fra i vari rami capacitivi conseguenti all'esclusione di uno o più unità guaste, riportato sul quadro generale di comando, permette un controllo a distanza dello stato di tutte le batterie e una rapida individuazione delle unità fuori servizio da sostituire. Nel caso che questi squilibri di tensione siano di tale entità da sovraccaricare l'unità oltre il 20 % intervengono gli allarmi di emergenza.

*D) Induttore.* - Le induttanze  $L$  sono state realizzate mediante un unico induttore costituito da due solenoidi identici sovrapposti. È stato costruito presso le officine Ansaldo S. Giorgio, Genova, su progetto redatto seguendo una proposta del Prof. SOMEDA [2].

Tale induttore ha la particolarità di non avere ferro per guidare il flusso magnetico e di essere raffreddato in aria. Ciascun solenoide è costituito da ventisei bobine a disco sovrapposte assialmente e distanziate per permettere il passaggio dell'aria di raffreddamento; le bobine di ogni solenoide sono fra loro collegate elettricamente in parallelo, mentre i due solenoidi sono collegati elettricamente in serie attraverso il generatore a corrente continua. Il numero di spire è diverso da bobina a bobina e dipende dalla posizione assiale della bobina stessa; infatti, perchè la componente alternata della corrente si distribuisca uniformemente tra le varie bobine e non si abbiano correnti di circolazione fra le stesse, è necessario che ciascuna bobina sia concatenata con la stessa quantità di flusso. Ciò, dato l'andamento del campo magnetico all'interno dell'induttore, si realizza variando opportunamente il numero di spire delle bobine: quelle alle estremità hanno un numero di spire maggiore (circa 200) di quelle al centro (circa 140). Le dimensioni dei conduttori sono state determinate in base a calcoli di minimo delle perdite addizionali locali. In sede di progetto oltre al calcolo si è ricorso alla costruzione di modelli. Particolare cura è stata messa nell'esecuzione delle misure relative all'andamento delle correnti e al valore della potenza dissipata (oltre 200 kW). Il valore dell'induttanza totale è di 53 mH ed è stato scelto in base a calcoli di minimo costo del circuito di blocco nel suo complesso. L'induttore pesa circa 32 000 kg di cui 30 000 costituiti da rame.

Durante l'esercizio vengono controllate automaticamente, mediante termometri a resistenza, le temperature di tutte le bobine.

*E) Comandi e controlli.* - L'avviamento del gruppo avviene con opportune sequenze automatiche le ultime delle quali sono la chiusura degli interruttori della dinamo e dell'alternatore. Le protezioni, oltre quelle citate, sono quelle normalmente previste in questo tipo d'impianto. Vi sono diverse forme di segnalazioni e nei casi più gravi allarmi che comportano l'interruzione del funzionamento: le più significative fra le segnalazioni sono riportate in sala controllo (v. Cap. I, Parte VII).

F) *Esercizio.* - La messa in funzione dell'impianto è avvenuta nel gennaio del 1958. Si è reso necessario l'inserimento di una induttanza di circa 0.4 mH ( $L_1$ , Fig. III.VII.1) sull'uscita del generatore in corrente alternata.

Senza questa induttanza, infatti, il generatore A, quando connesso al circuito completo di Fig. III.VII.1, si autoeccita sino a provocare l'apertura automatica del relativo interruttore.

Un altro fenomeno di instabilità si nota quando la  $I_{pos}$  supera i 7000 A (pari a circa 12000 G nell'intraferro del magnete): infatti in questo caso la saturazione del magnete è tale da esaltare sensibilmente alcune armoniche della corrente erogata dal generatore; inoltre la variazione della corrente totale, pur nei limiti della stabilizzazione, provoca variazioni della induttanza del magnete e quindi della frequenza di risonanza del circuito, che sono sufficienti a rendere instabile il generatore.

Dopo oltre 11000 ore di funzionamento dell'intero impianto durante circa 3 anni, di cui 6000 nel 1960, il funzionamento dell'e.s. è stato interrotto, per cause imputabili all'impianto di alimentazione, soltanto per la rettifica dei collettori delle macchine in corrente continua. Altre manutenzioni sono state effettuate nelle soste ordinarie della macchina. In particolare la parte più delicata dell'impianto, quella relativa alla stabilizzazione, ha sempre funzionato regolarmente; dei condensatori tre unità (su 1200) sono state messe fuori servizio.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] G. GHIGO e I. F. QUERCIA: *Nucl. Instr.*, **1**, 57 (1957); *Proc. CERN Symposium on High Energy Accelerators and Pion Physics*, vol. **1**, (1956) p. 475.
- [2] R. MARENESI, G. SACERDOTI e R. TOSCHI: *L'Elettrotecnica*, **47**, 432 (1960).