

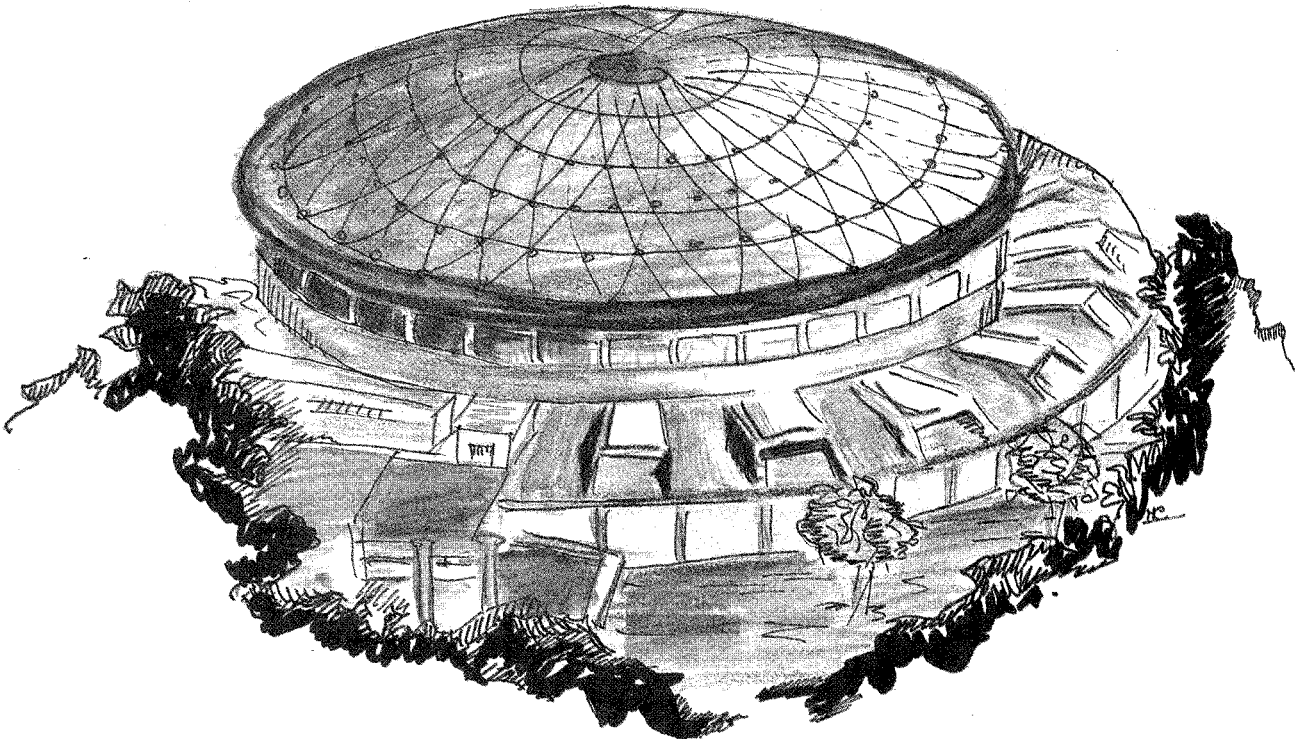


# Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-88/55(NT)  
20 Settembre 1988

S. De Simone:

**NUOVI IMPIANTI PER IL BUMPER RAPIDO E IL DEFLETTORE DI  
"ADONE"**



Servizio Documentazione  
dei Laboratori Nazionali di Frascati  
P.O. Box, 13 - 00044 Frascati (Italy)

**NUOVI IMPIANTI PER IL BUMPER RAPIDO E IL DEFLETTORE DI "ADONE"**

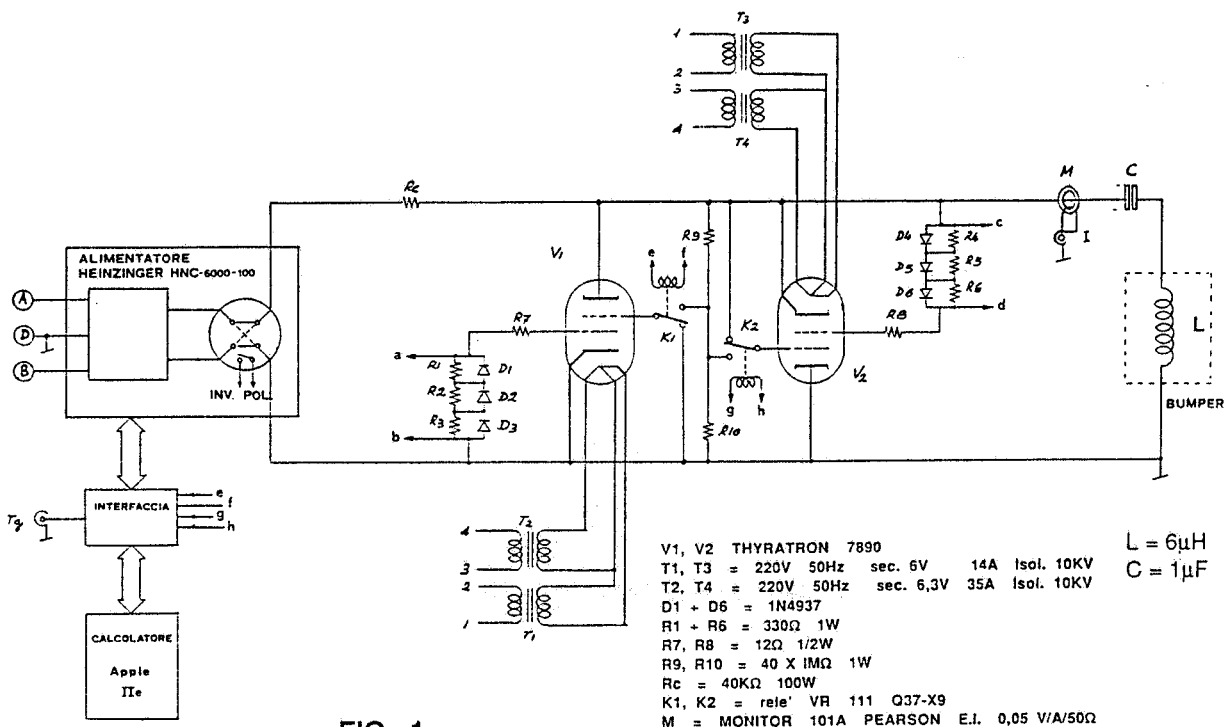
S. De Simone:  
 INFN - Laboratori Nazionali di Frascati, P.O.Box 13, I-00044 Frascati

**INTRODUZIONE**

Nel programma di ammodernamento della macchina, e in occasione del ripristino dei fasci e+ e-, nell'anello di accumulazione "ADONE" per consentire l'esperimento FENICE, si è ritenuto necessario studiare ex novo gli impianti per il Bumper rapido e i Deflettori, Rif.[1],[2] Questo perchè i suddetti impianti risultavano completamente obsoleti.

**1. - BUMPER**

In Fig. 1 è riportato lo schema del nuovo impulsatore del Bumper in cui si fa notare l'espedito di due thyatron in opposizione.

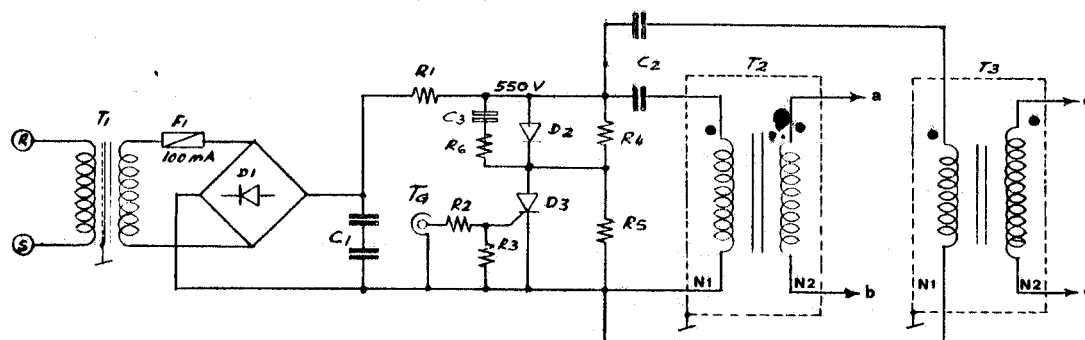


**FIG. 1**

Questa nuova soluzione ci ha consentito di liberarci dall'uso di un complicato commutatore, per invertire l'impulso di corrente, come nel vecchio impianto.

Questa idea è stata tutt'altro che di facile realizzazione. Quando l'impulso di corrente raggiungeva circa 1KA il secondo thyatron si autoaccendeva a causa della tensione inversa generata dalla scarica della capacità C sull'induttanza L. L'inconveniente che in un primo tempo sembrava insolubile è stato poi superato portando a potenziale zero la griglia di gradiente del tubo in questione. Questa trovata adesso controlla perfettamente il regolare funzionamento del circuito di Bumper.

Il thyatron scelto è del tipo a tetrodo, il 7890 ceramico ad idrogeno. Questa scelta è frutto di molti anni di esperienza, essendo questo modello lo stesso che viene usato nelle sei sezioni dell'Acceleratore Lineare, per impulsare i Klystrons.



- T1** = 220V 50Hz sec. 400V 0,1A isol. 10KV  
**T2,T3** = due toroidi in // L7 2003 N1 16 spire N2 49 spire  
**D1** = 2KBB100  
**D2** = 1N4937  
**D3** = BSTD1666  
**C1** = 47 $\mu$ F 350VL  
**C2** = 0,22 $\mu$ F 4KV SPRAGUE 430P  
**C3** = 10nF  
**R1** = 22K $\Omega$  1W  
**R2** = 33 $\Omega$  1/4W  
**R3** = 1K $\Omega$  1/4W  
**R4,R5** = 470K $\Omega$  1/2W  
**R6** = 51 $\Omega$  1/4W

FIG. 2

In Fig. 2 è riportato il circuito che genera l'impulso pilota del thyatron.

In Fig. 3 è riportata la foto che mostra le caratteristiche del trigger misurato sullo zoccolo con il tubo rimosso. L'ampiezza è  $\approx 1600$  Vp, la durata è di  $2\mu$  sec al 70% ( la scala verticale è  $10 \times$  ).

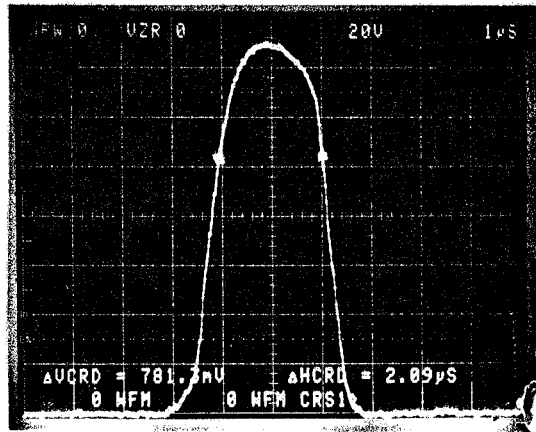


FIG. 3

Come si può notare il trigger viene inviato contemporaneamente ai due thyatron. Sicuramente si accende solo quello dei due che è correttamente alimentato. In Fig. 4 sono riportate le foto che indicano le forme della corrente del Bumper nei due casi, iniezione  $e+$ , iniezione  $e-$ .

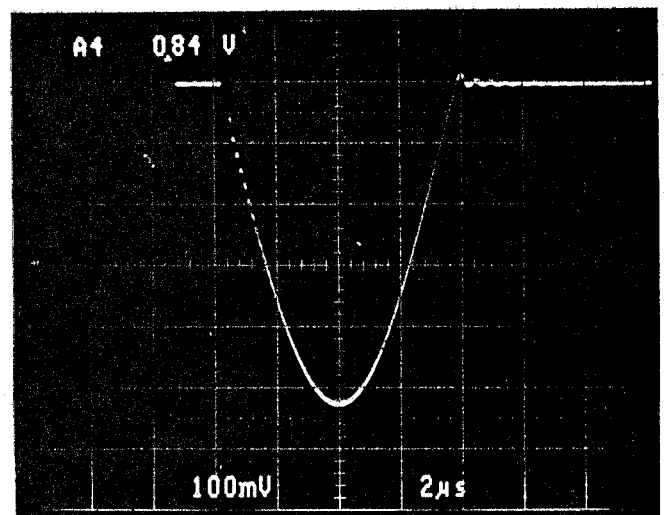
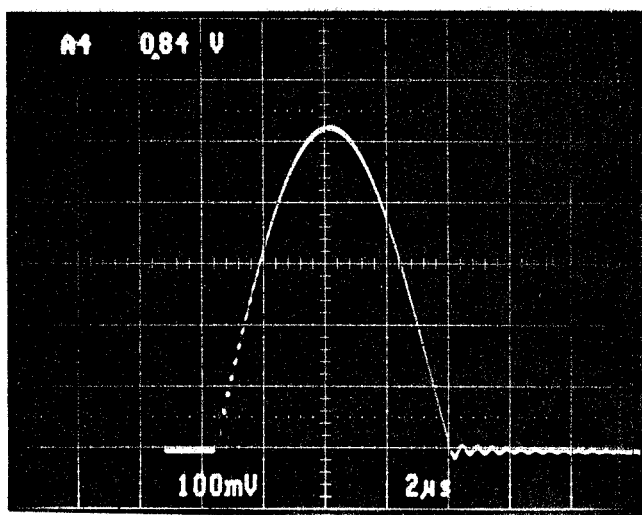


FIG. 4

Si noti che la corrente di picco letta all'oscilloscopio è data direttamente in  $V/KA/50\Omega$  e questo si è reso possibile inserendo un attenuatore da 34dB all'uscita del monitor M.

## 2. - DEFLETTORI

In Fig. 5 è riportato lo schema dell'impulsatore del Deflettore.

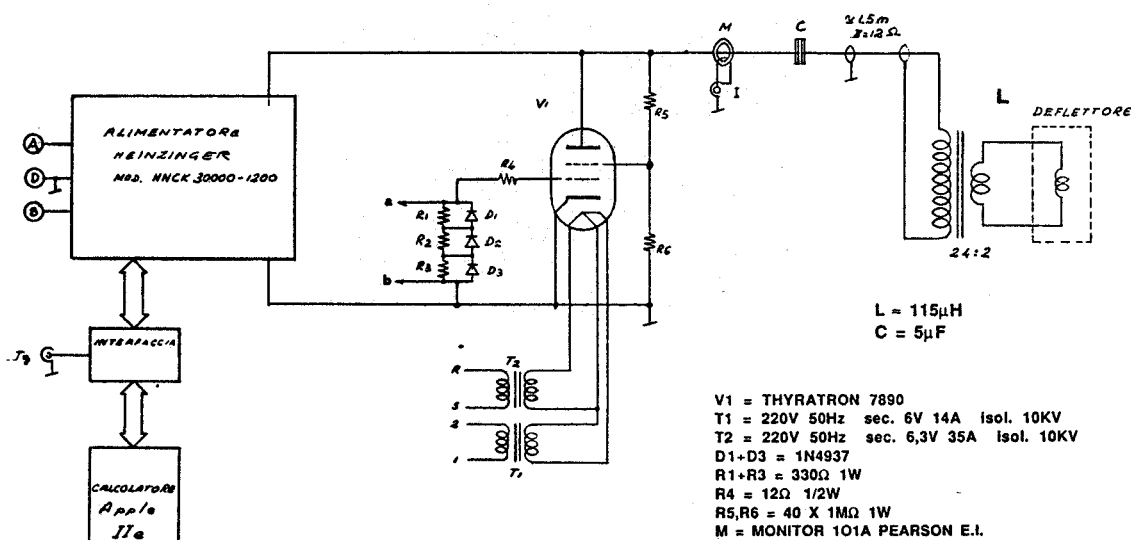


FIG. 5

Come si nota non è molto dissimile dall'impianto del Bumper. Anche in questo caso è stato eliminato il commutatore di potenza, che consentiva di selezionare, con lo stesso impianto, o il Deflettore sinistro o il Deflettore destro, costruendo due impianti uno per ciascuno Deflettore. La cosa interessante è che i due impianti sono stati installati nei pressi dei rispettivi Deflettori. In questo modo non vengono più utilizzati i cavi coassiali da 12Ω ad alta tensione tra la Sala Macchine e l'anello che tanti problemi causarono nei primi tempi di Adone. Oltre a ciò questo consente di guadagnare un fattore due sul rendimento degli impianti stessi, non necessitando più la terminazione del suddetto cavo. L'installazione degli impianti nelle vicinanze dei rispettivi Deflettori si è resa possibile grazie alle ridotte dimensioni degli stessi, frutto di una attenta ricerca di ottimizzazione e razionalizzazione degli impianti. Gli alimentatori ad alta tensione sono stati scelti della ditta Heinzinger sia per le loro caratteristiche, compatibili con le nostre esigenze, che per le loro buone prestazioni.

Tuttavia l'alimentatore Heinzinger ci ha dato qualche problema. La casa costruttrice afferma che questi alimentatori sono stati progettati per caricare delle capacità ad alta tensione, fornendo una energia di 1200 Joul/sec ad una ripetizione max di 200Hz e ancora asserisce, in modo incauto, che non necessitano di un resistore in serie per caricare la capacità. E' quest'ultima affermazione che ci ha procurato non poche preoccupazioni. In tempi successivi tutti e tre gli alimentatori in questione, compreso quello di riserva, si sono guastati.

Per meglio comprendere il problema ricordo che in un circuito RLC le risposte indici sono del tipo mostrato in Fig. 6.

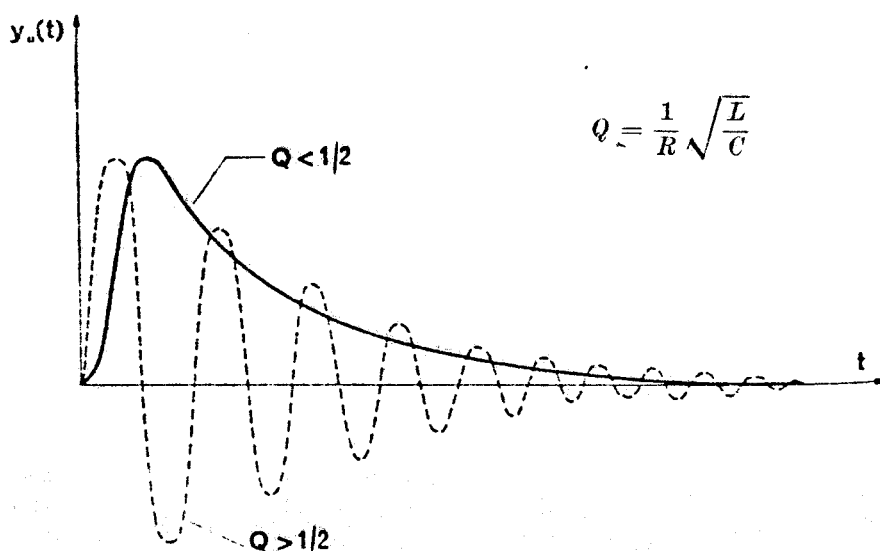


FIG. 6

Nel nostro caso  $Q$  è  $> 1/2$  quindi la funzione è del tipo oscillante. Grazie alla presenza del Thyatron, al passaggio della corrente per lo zero si interrompe l'oscillazione. Però nel frattempo il condensatore si è caricato in senso contrario e questa carica defluisce attraverso l'alimentatore producendo una coda di corrente di segno contrario a quello dell'impulso. Essendo il Thyatron spento, la corrente questa volta si può chiudere solo attraverso l'alimentatore come indicato in Fig. 7. Si noti che il ciclo questa volta e per la presenza di  $R_2$  e per la resistenza ohmica dei diodi, si smorza perchè  $Q < 1/2$ .

## ALIMENTATORE HEINZINGER MOD. HNCK 30.000

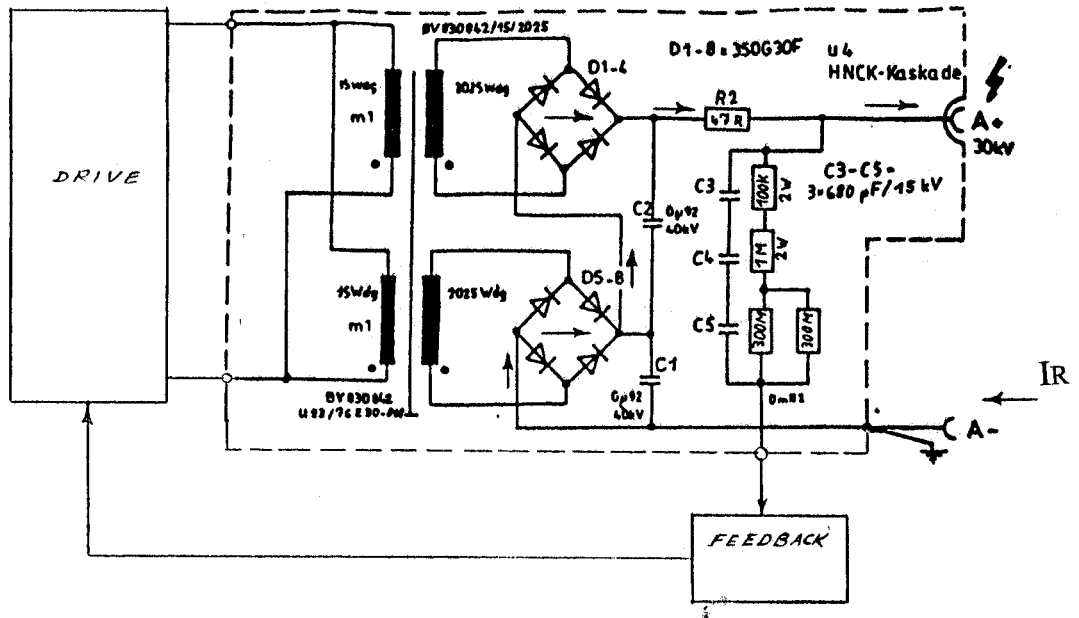


FIG. 7

La Fig. 8 indica la carica del condensatore C e la Fig. 2 la tensione inversa che vede l'alimentatore dopo l'impulso di corrente.

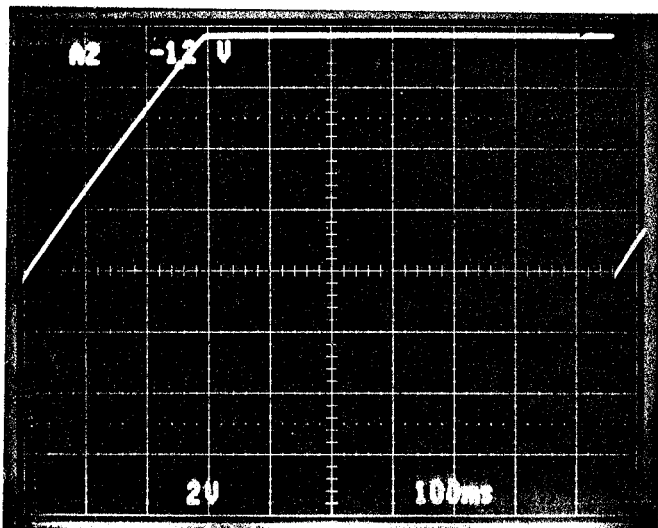


FIG. 8

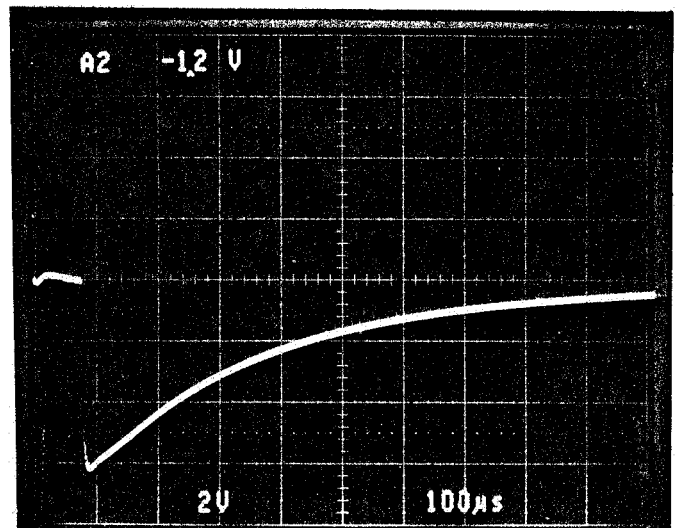
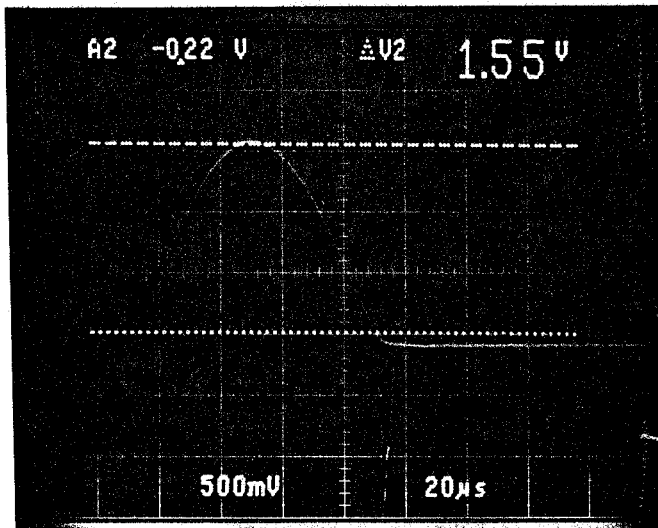


FIG. 9

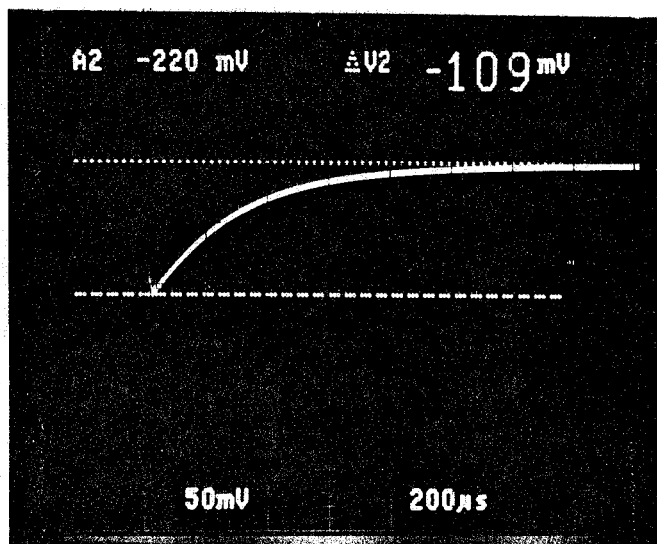
Queste figure sono state prese sull'anodo del Thyatron, che poi corrisponde al punto A+ dell'alimentatore, con una sonda Tek. X 1000.

Nella Fig. 10 si vede l'impulso di corrente  $I$  e si noti la parte prossima allo zero in cui c'è la presenza di una corrente inversa  $I_R$  (dell'ordine di circa 83Ap) che è evidenziata nella Fig. 11.



$$I \approx 15,5 \text{ kAp}$$

FIG. 10



$$I_R \approx 83 \text{ Ap}$$

FIG.11 E' questa corrente che provocava la rottura dei diodi dei ponti dell'alimentatore Henzinger

La corrente per i deflettori letta all'oscilloscopio è data in  $10 \times V/kA / 50\Omega$  e questo grazie all'attenuatore da 32,5 dB inserito all'uscita del monitor M.



A questo punto abbiamo scelto la soluzione che si è ritenuta la più semplice e la più fattibile, cioè quella riportata in Fig. 12:

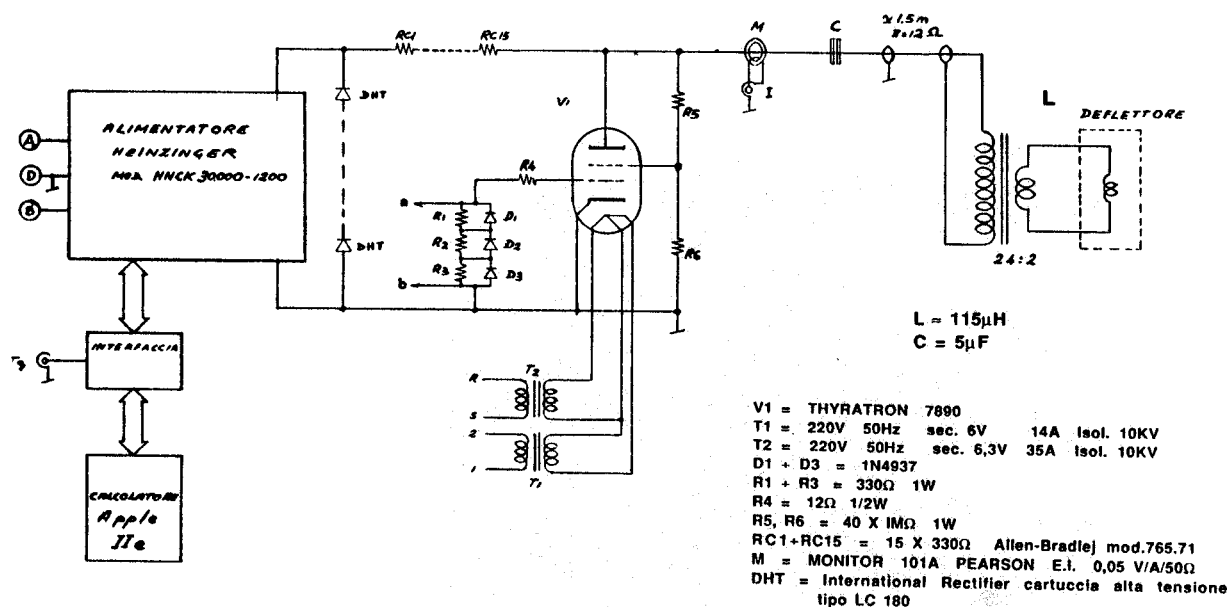


Fig. 12 - Schema definitivo del Deflettore.

Il valore del resistore  $R_c$  è stato scelto in modo da mantenere la ripetizione massima di 5 imp/sec. Si è aggiunto anche una cartuccia di diodi inversi, in questo modo si è protetto completamente l'alimentatore.

Di seguito sono riportate le Fig. 13 e 14, da confrontarsi con la 10 e la 11, come si può notare l'impulso di corrente è perfetto e la corrente residua è praticamente zero; così pure la tensione inversa che l'alimentatore vedeva prima della modifica (Fig. 12).

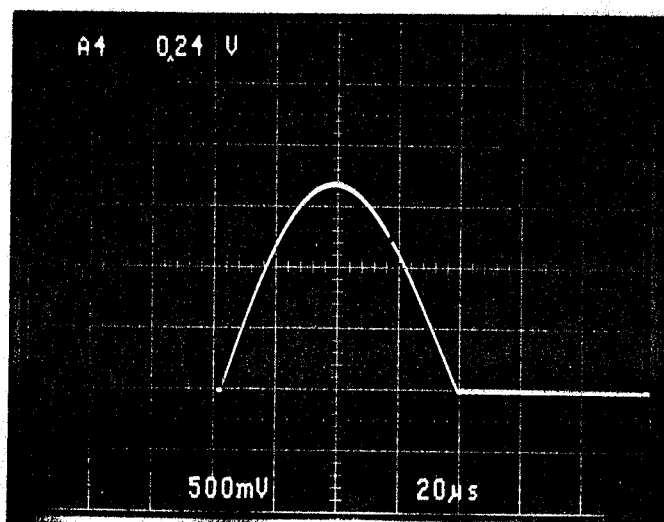


FIG. 13

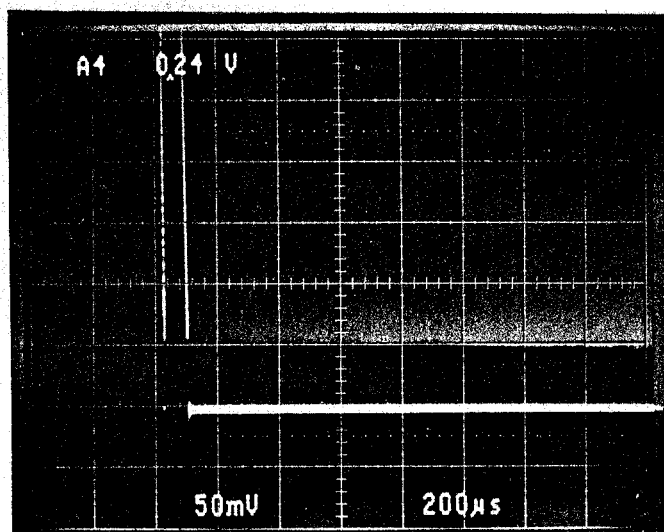


FIG. 14

Per concludere mostriamo in Fig. 15 una foto che indica una veduta d'assieme dei nuovi impianti ed in Tabella I un elenco delle principali caratteristiche dei Deflettori e in Tabella II le caratteristiche del Bumper.

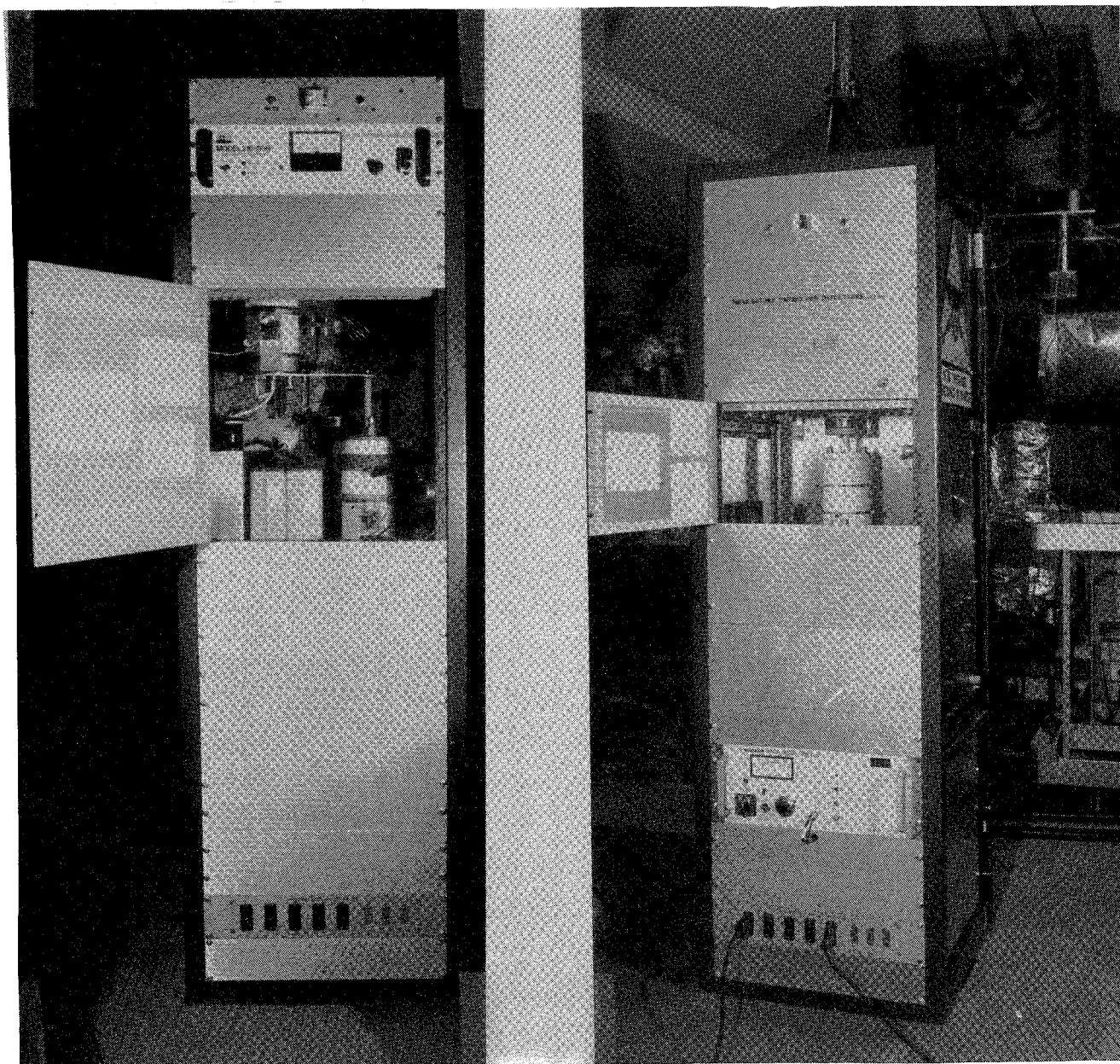


Fig. 15

- TABELLA I -

Parametri riassuntivi dei deflettori

Valori nominali		Valori massimi
300	Energia di iniezione E ( Mev )	450
130	Angolo di deflessione delle particelle $\delta(\text{mrad}) \approx 30 \frac{B \cdot l}{E} \left[ \frac{\text{G} \cdot \text{m}}{\text{MeV}} \right]$	130
1300	Campo magnetico $B \cdot l \text{ (G} \cdot \text{m)} \approx 4.33 E \text{ (MeV)}$ $l = 1,2 \text{ m}$	1950
14 KA <sub>p</sub>	Corrente richiesta per creare il campo $I \approx 13 \text{ A/Gauss}$	21 KA <sub>p</sub>
6 KV	Tensione di carica del condensatore $V_0 = \frac{I_{\text{max}}}{n} \omega L e^{\frac{T}{4}}$ $n = 12$	9 KV
90 Joule	Energia massima immagazzinata $1/2 CV^2$	202.5 Joule
1 imp/sec	Ripetizione degli impulsi N	5 imp/sec
90 W	Potenza media da fornire $1/2 CV^2 \cdot N$	1 KW
	Stabilità di $V_0$ è di $\pm 5 \cdot 10^{-3}$ su 8 ore	

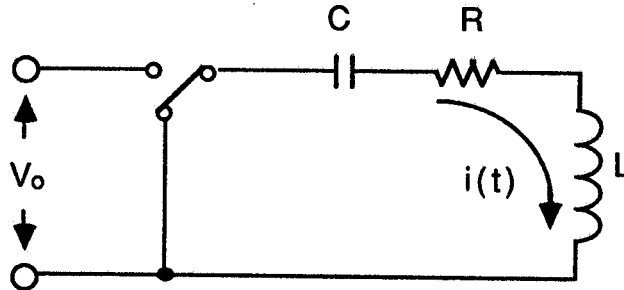
- TABELLA II -

Parametri riassuntivi del Bumper

Valori nominali	Energia di iniezione E (MeV)	Valori massimi
300		450
7	Angolo di deflessione delle particelle $\delta(\text{mrad}) \approx 30 \frac{B \cdot l}{E} \left[ \frac{\text{G} \cdot \text{m}}{\text{MeV}} \right]$	7
70	Campo magnetico $B \cdot l \text{ (G} \cdot \text{m)} \approx 0.23 E \text{ (MeV)}$ $l = 2 \text{ m}$	100
1 kAp	Corrente richiesta per creare il campo $\frac{B}{l} \approx 30 \left[ \frac{\text{G}}{\text{kA}} \right]$	1.7 kAp
3 kV	Tensione di carica del condensatore $V_0 = \frac{I}{\omega C} e^{\frac{T}{4}}$	5 kV
4.5 Joule	Energia max immagazzinata $1/2 CV^2$	12.5 Joule
1 imp/sec	Ripetizione degli impulsi N	5 imp/sec
4.5 W	Potenza media fornita $1/2 CV^2 \cdot N$	62.5 W
	Stabilità di $V_0$ è di $\pm 5 \cdot 10^{-4}$ su 8 ore	

## APPENDICE

Trattazione analitica del circuito che forma l'impulso. Lo schema equivalente è:



Se  $U$  è l'energia totale del campo elettrico e del campo magnetico si ha:

$$U = \frac{1}{2} L i^2 + \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$$

$U$  non è una costante, ma  $\frac{dU}{dt} = -i^2 R$

ove il segno meno indica che l'energia  $U$  decresce nel tempo. Combinando queste due equazioni si ha:

$$L i \frac{di}{dt} + \frac{q}{C} \frac{dq}{dt} = -i^2 R \quad (1)$$

dove  $q$  e  $i$  non sono variabili indipendenti

$$i = \frac{dq}{dt} \quad \text{differenziando} \quad \frac{di}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2} \quad \text{sostituendo}$$

queste due nella (1) si giunge alla

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dq}{dt} + \frac{1}{LC} q = 0 \quad (2)$$

che è l'equazione differenziale che descrive le oscillazioni smorzate. La soluzione è:

$$q = q_m e^{-\alpha t} \cos \omega t \quad (3)$$

ove  $q_m$ ,  $\alpha$  e  $\omega$  sono costanti. La derivata prima e seconda di queste funzioni sono:

$$\frac{dq}{dt} = q_m e^{-\alpha t} (-\alpha \cos \omega t - \omega \sin \omega t) \quad (4)$$

$$\frac{d^2 q}{dt^2} = q_m e^{-\alpha t} \left[ (\alpha^2 - \omega^2) \cos \omega t + 2 \alpha \omega \sin \omega t \right]$$

Sostituendo nell'equazione (2), cancellando il fattore comune  $q_m e^{-\alpha t}$  rimaniamo con:

$$(\alpha^2 - \omega^2) \cos \omega t + 2 \alpha \omega \sin \omega t - \frac{R}{L} (\alpha \cos \omega t + \omega \sin \omega t) + \frac{1}{LC} \cos \omega t = 0$$

Questa equazione sarà soddisfatta per tutti i  $t$  se i coefficienti di  $\sin \omega t$  e  $\cos \omega t$  sono ambedue zero. Cioè, è necessario che sia:

$$2 \alpha \omega - \frac{R}{L} \omega = 0 \quad \text{e} \quad \alpha^2 - \omega^2 - \alpha \frac{R}{L} + \frac{1}{LC} = 0$$

la prima di queste equazioni impone una condizione per  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{R}{2L}$$

mentre la seconda richiede che:

$$\omega^2 = \frac{1}{LC} - \left( \frac{R}{2L} \right)^2$$

Siccome la costante  $\omega$  nel nostro caso è un numero reale,  $\omega^2$  non può essere negativo e perciò la soluzione della equazione (3) si otterrà solamente se  $\alpha^2 \leq 1/LC$ . Pertanto i valori di  $R$ ,  $L$  e  $C$  nel circuito devono essere tali che sia valida la disuguaglianza  $R < 2\sqrt{LC}$ .

Le relazioni che legano la carica  $Q$ , la corrente  $I$  e la differenza di potenziale  $V$  ai capi del capacitore  $C$ , sono:

$$I = - \frac{dQ}{dt} \quad Q = CV \quad V = L \frac{dI}{dt} + RI$$

Dalla (4): 
$$i(t) = q_m \omega \left( \sin \omega t + \frac{\alpha}{\omega} \cos \omega t \right) e^{-\alpha t}$$

nel nostro caso specifico è la corrente massima che fluisce che a noi interessa; essa è data :

$$I_{\max} = n V_0 \omega C e^{-\alpha \frac{T}{4}}$$

dove:

$n$  nel caso del deflettore è uguale a 12 ed è il rapporto  $n$  primario /  $n$  secondario delle spire del trasformatore

$V_0$  è la tensione di carica della capacità

## RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare vivamente tutti i componenti del Servizio Elettronica della D.M. per la loro collaborazione. In modo particolare per il loro impegno a C. Marchetti e F. Ronci che hanno seguito tutte le lavorazioni meccaniche e la documentazione, F. Rubeo che ha curato i cablaggi e l'installazione, a O. Giacinti per il contributo nella messa a punto del circuito di trigger, V. Andreassi che ha eseguito le lavorazioni meccaniche e F. Sanelli che mi ha assecondato con tanta pazienza nel lavoro di compilatura.

Ringrazio altresì con molto calore il Prof. F. Tazzioli che ha voluto affidarmi questo lavoro e il Dr. M. Serio e l'Ing. R. Boni per le ampie discussioni avute.

---

## BIBLIOGRAFIA:

- [1] - A. Massarotti: " **Parametri dell'impianto dei deflettori pulsati** " - Memorandum interno D-2 ( 1969 ).
- [2] - M. Fascetti, A. Massarotti, P. Papitto, M. Puglisi e F. Tazzioli: " **The Injection System of Adone** ". - Nota interna LNF - 72/24 ( 1972 ).