

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF - 53/10
5.5.1953.

F. Amman: RIDUZIONE DELLA PENDENZA DEL CAMPO
ALL'INIEZIONE.-

Condizioni: Bisogna ottenere nell'intervallo tra 0 e $50 \div 100$ gauss una rivoluzione della pendenza del campo ~~del~~ valore di $1/4$ rispetto alla pendenza della sinusoide che rappresenta l'andamento del campo in funzione del tempo nel transfero.

Riduzione della pendenza del campo in funzione del tempo.

→ *

M/37

1) Shunts magnetici saturabili.

Ponendo nel transfero uno shunt magnetico, finché la sua riluttanza è sufficientemente bassa, l'induttanza complessiva dell'avvolgimento è molto alta e quindi il campo nel transfero sale lentamente.

Questi shunts possono essere calcolati per tentativi in modo che si abbia una riduzione della pendenza del campo, rispetto alla pendenza della sinusoide che, con notevole approssimazione, rappresenta l'andamento del campo in assenza di shunts, per valori compresi tra 0 e $50 \div 100$ gauss, in modo tale, cioè, che in essi la riluttanza divenga molto grande quando l'induzione nell'interfero ~~ha~~ ~~valore~~ assume il valore di $50 \div 100$ gauss.

Come già accennato, il progetto di tali shunts va condotto per successivi tentativi; per ottenere poi una valida conferma dei risultati e per studiare gli effetti di deformazione nel campo nel transfero introdotta dagli shunts, è necessario uno studio su modelli, eventualmente anche su corrente continua (come è stato fatto al M.I.T. per quanto riguarda lo studio delle barre di ferro, che hanno un comportamento qualitativamente analogo agli shunts che qui avremmo bisogno nel nostro caso).

Un ~~altro~~ calcolo di larga massima, il cui risultato ha soltanto un valore indicativo per l'ordine di grandezza, ha portato ad uno spessore medio dello shunt (pensato distribuito lungo tutta la periferia del transfero) dell'ordine di un millimetro.

L'inconveniente principale che presenta tale soluzione ad un primo sommario esame, è che con essa si introduce una perturbazione nel campo nel transfero: ci si può aspettare infatti forti disuniformità radiali ed azimutali (queste ultime evitabili qualora si facesse uno shunt continuo lungo la circonferenza, per es. con una lamina appioppata ai bordi interni delle espansioni polari, tra queste e gli avvolgimenti).

Se, invece di shuntare la gap, si pone un circuito di ferro attorno ai conduttori, si ottiene ancora lo stesso risultato, ed il circuito equivale ancora a due induttanze in serie, quella costante del magnete e quella saturabile dovuta al ferro. A questo proposito è stato fatto un calcolo senza fare alcuna ipotesi sul punto del circuito in cui sarà messo il ferro e ricorrendo ad una curva di isteresi riportata su Rev. of Scient. Instr. ^(vol. 21 pag 625) relativa al Permalloy 45 -

Simboli: $L_g = 13 \text{ mh}$ induttanza del magnete, costante
 L_s induttanza ~~dovuta~~ saturabile dovuta al circuito ~~del~~ magnetico appunto.

I corrente nel circuito senza L_s

I' corrente nel circuito in presenza della L_s

ϕ flusso prodotto dalla corrente I

ϕ_g " " " " I' nella gap.

ϕ_s " " " " I' nel circuito magnetico saturabile

V tensione ai capi del circuito

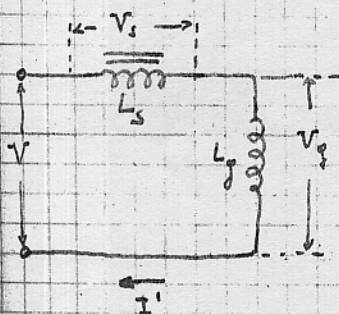
V_s " " " di L_s

V_g " " " " L_g

N_g numero di spire del circuito concatenato con ϕ_g

N_s " " " " " " " ϕ_s

Tenuto conto soltanto della componente della corrente in quadratura con la tensione, trascurando le perdite nel magnete, nel nostro caso si ha:



$$V = 5720 \cos \omega t$$

$$I = 3480 \sin \omega t$$

Per $B \leq 50 \text{ gauss}$, dovrà essere:

$$I' = \frac{1}{4} I = 870 \sin \omega t \quad (B \leq 50 \text{ gauss})$$

$$V_s = \frac{3}{4} V$$

Caso ideale - Tracciamo la curva $N_s \phi_s - I'$ (fig. 1):

$$N_s \phi_s = \int V_s dt = \frac{1}{\omega} 4290 \sin \omega t = \frac{1}{\omega} \frac{4290}{870} I' = 0.0392 I'$$

(per $B \leq 50 \text{ gauss}$)

$$N_s \phi_s = \text{cost} = 0.676 \text{ Wb sp}$$

(per $B > 50 \text{ gauss}$)

Caso reale - Curva $N_s \phi_s - I'$

Per tracciare questa curva, si parte da una curva $B-H$ del materiale scelto per il circuito magnetico (ciclo di isteresi, non curva di prima magnetizzazione); alterandone le scale la si porta ad avvicinarsi il più possibile alla curva $N_s \phi_s - I'$ ideale. ~~Successivamente~~ Devono essere soddisfatte, nei limiti dei 50 gauss, due condizioni: valore dell'ordinata e pendenza molto vicini alla curva ideale. ~~Allo stesso modo si può ottenere la pendenza della curva ideale, in q...~~

Nella fig. 1 è riportata, come già detto, la curva $B-H$ relativa a un campione di Permalloy 45; basandosi sull'alterazione delle scale è possibile determinare le dimensioni geometriche del circuito magnetico. (A questo proposito si può notare che le condizioni che noi imponiamo al circuito magnetico sono due: un determinato valore di riluttanza e la saturazione per un certo valore di I' , condizioni a cui corrispondono due variabili: la scala delle ordinate e quella delle ascisse). Nel nostro caso, detta A la sezione del circuito magnetico normale al flusso e l la sua lunghezza, si ha dalla fig. 1:

$$N_s A = 1 \text{ m}^2 \text{ sp}$$

$$\frac{l}{N_s} = 1 \text{ m/sp}$$

Si ricava quindi che il volume totale del ~~ferro~~ materiale magnetico è indipendente dal numero di spire:

$$V = A l = \frac{1 \text{ m}^2 \text{ sp}}{N_s} \times N_s 1 \text{ m/sp} = 1 \text{ m}^3$$

Si traccia quindi la ~~curva~~ $N_s \phi_s - I'$: essa è una retta data dall'equazione:

$$N_s \phi_s = L_g I'$$

Si ricava la curva somma delle due $(N\phi)_{\text{tot}} = N_s \phi_s + N_g \phi_g$

Per passare da questa curva alla curva della $I'(t)$ si procede così:

$$V = \frac{d(N\phi)_{\text{tot}}}{dt} \quad \text{da cui}$$

$$(N\phi)_{\text{tot}} = N_s \phi_s + N_g \phi_g = \int V dt = \frac{1}{\omega} 5720 \sin \omega t = 45,6 \sin \omega t$$

Per un dato valore di t si trova quindi il corrispondente $(N\Phi)_{t+t}$, quindi, dalla curva di fig. 1, la I' .
 Si ottiene così la I' in funzione del tempo, che, per il nostro caso, è stata riportata in fig. 2.

Come detto più sopra, qualunque sia il modo con cui ottenere questo risultato, il volume di Permalloy necessario ha un valore costante di 1 m^3 . Ciò evidentemente porta ad una sfera enorme, tale da far scartare a priori, e non il metodo, certamente il materiale scelto.

D'altra parte, qualora si avessero le curve $B-H$ relative ad un certo numero di materiali magnetici, il metodo qui esposto per la determinazione delle dimensioni del circuito magnetico e ~~for~~ della I' (o corrispondente B nel trasfondo) in funzione del tempo, è di abbastanza rapida applicazione e di notevole precisione (dipendente sostanzialmente dalla ~~precisione~~ approssimazione delle curve sperimentali $B-H$ del materiale magnetico, dato che ~~nessuna ipotesi è stata~~ ~~introdotta~~ ~~assum.~~ ~~ma~~ l'unica ipotesi semplificativa introdotta riguarda la forma sinusoidale dell'onda di tensione). Lo studio ~~di questa~~ sulle possibilità di applicazione di questo metodo potrà quindi essere approfondito quando avremo a nostra disposizione i ritardi sperimentali sulle caratteristiche magnetiche di alcuni materiali.

2) Variazioni nella forma della tensione.

Si è pensato alla possibilità di una variazione della forma della tensione, ma essa è risultata praticamente inapplicabile. Detto infatti n l'ordine dell'armonica, si può vedere che l'impedenza del ramo capacitivo all'armonica di ordine n di tensione risulta d'ordine nel rapporto $\frac{1}{n}$ rispetto all'impedenza alla fondamentale, mentre nel ramo induttivo il rapporto tra le due impedenze vale n . Ciò porta alla necessità di grandi ampiezze nelle armoniche, a forti correnti nel ramo capacitivo e ad una grande diminuzione dell'impedenza totale del circuito risonnante rispetto al generatore, che, per una armonica di ordine n , viene ridotta del fattore:

$\left[n Q \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) \right]^{-1}$ dove Q è il fattore di merito del circuito risonnante.

3) Accoppiamento con un circuito chiuso su un carico resistivo.

Anche questo metodo si è dimostrato assolutamente inapplicabile; infatti dato che la resistenza di carico risulta piccola, si ha praticamente un fenomeno analogo ad un certo circuito temporaneo di un trasformatore. Nel nostro caso l'impedenza del circuito risonnante si viene praticamente annullata, dato che si riduce la reattanza del ramo induttivo (al limite, per perdite nulle nel secondario, la reattanza del ramo induttivo si annulla), e quindi altissime punte di corrente verrebbero richieste al generatore.

Induttanza saturabile in serie.

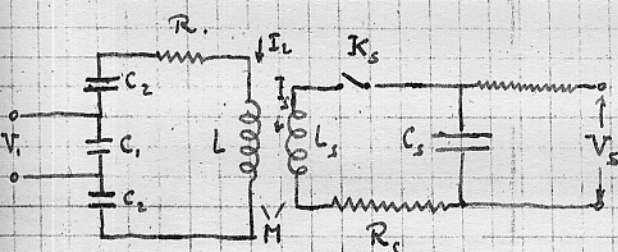
Per poter avere la saturazione a campi così deboli, bisognerebbe disporre una grande numero di spire su un nucleo di ferro dolce. È evidente la ^{difficoltà} ~~possibilità~~ della realizzazione ~~pratica~~ di tale induttanza saturabile, pensando che per la saturazione occorre una forza magnetica di circa $10^3 \div 10^5$ As/m: si ha allora

$$\frac{NI}{l} = H = 10^3 \div 10^5 \text{ As/m}$$

dove l è la lunghezza del circuito magnetico (supposto rettilineo, fondamentale) e N il numero di spire; si vede che, dovendo essere I dell'ordine di $10 \div 25$ A i valori di N ed l sono assolutamente inattuabili.

A) Accoppiamento con un circuito alimentato da un generatore di corrente. Poiché il generatore di corrente ha l'impedenza interna teoricamente infinita, il circuito secondario non provoca gli effetti visti al n.º 3 (amorbimento di corrente dovuto da parte del generatore).

Si può pensare ad un circuito come quello indicato nello schizzo.



L'interruttore K_2 sarà una valvola comandata a pignone, oppure un'ignition (in questo secondo caso il secondo darso resterebbe chiuso durante tutto il ~~periodo di accensione~~ tempo in cui la tensione al

l'anodo resta positiva). Chiudendo K_2 nell'istante in cui il campo nel traferro passa per lo zero, il condensatore C_2 si scarica in L_2 , provocando il passaggio di corrente che diminuisce il valore del campo risultante. Lo studio teorico di tale circuito è molto difficile; sono state trovate le espressioni delle due correnti nel primario I_1 e nel secondario I_2 in un caso più semplice, cioè quando l'alimentazione del magnete è fatta ai capi dell'intera batteria di condensatori ($C_2 = \infty$), facendo inoltre l'ipotesi di accoppiamento perfetto tra L e L_2 ($M^2 = LL_2$). Nonostante ciò, le espressioni trovate sono ancora troppo complicate per una adeguata discussione.

Penso quindi sia meglio ricorrere allo studio su un modello di tale circuito (bisogna tener presente che con notevole approssimazione $L = \text{cost}$). Per rendere più piccoli i valori delle capacità necessarie, conviene aumentare la frequenza, tenendo presente però che se essa diviene troppo grande, si rendono necessari oscillografi di grande precisione.

Indicando le grandezze relative al modello con le stesse lettere usate per l'originale, si potrebbe costruire un modello con queste caratteristiche:

$$V_1 = 1000 \text{ V}$$

$$\frac{Z'}{Z} = 100 \%$$

$$I_2 \text{ (per } B = 100 \text{ gauss)} \approx 35 \text{ A}$$

$$f = 20 \text{ p/sec}$$

$$f' = 2000 \text{ p/sec}$$

$$L = 13 \text{ mh}$$

$$L' = 13 \text{ mh}$$

$$R = 0.028 \Omega$$

$$C_1 = 19.650 \mu F$$

$$C_2 = 12.400 \mu F$$

$$R' = 2.8 \Omega$$

$$C_1' = 1.965 \mu F$$

$$C_2' = 1.24 \mu F$$

L'oscillografo dovrebbe arrivare ad espandere sulla scala circa $4 \div 5 \mu s$.
 Sarebbe ^{quindi} necessario ~~un~~ oscillografo ~~con~~ (con scala di $4 \div 5 \mu s$) per l'osservazione del tratto iniziale (campo violento), ~~con~~ ^{con la possibilità di ampliare la scala} ~~con~~ (refinisci di $\sim 100 \mu s$) per l'osservazione di un quarto di periodo del campo.

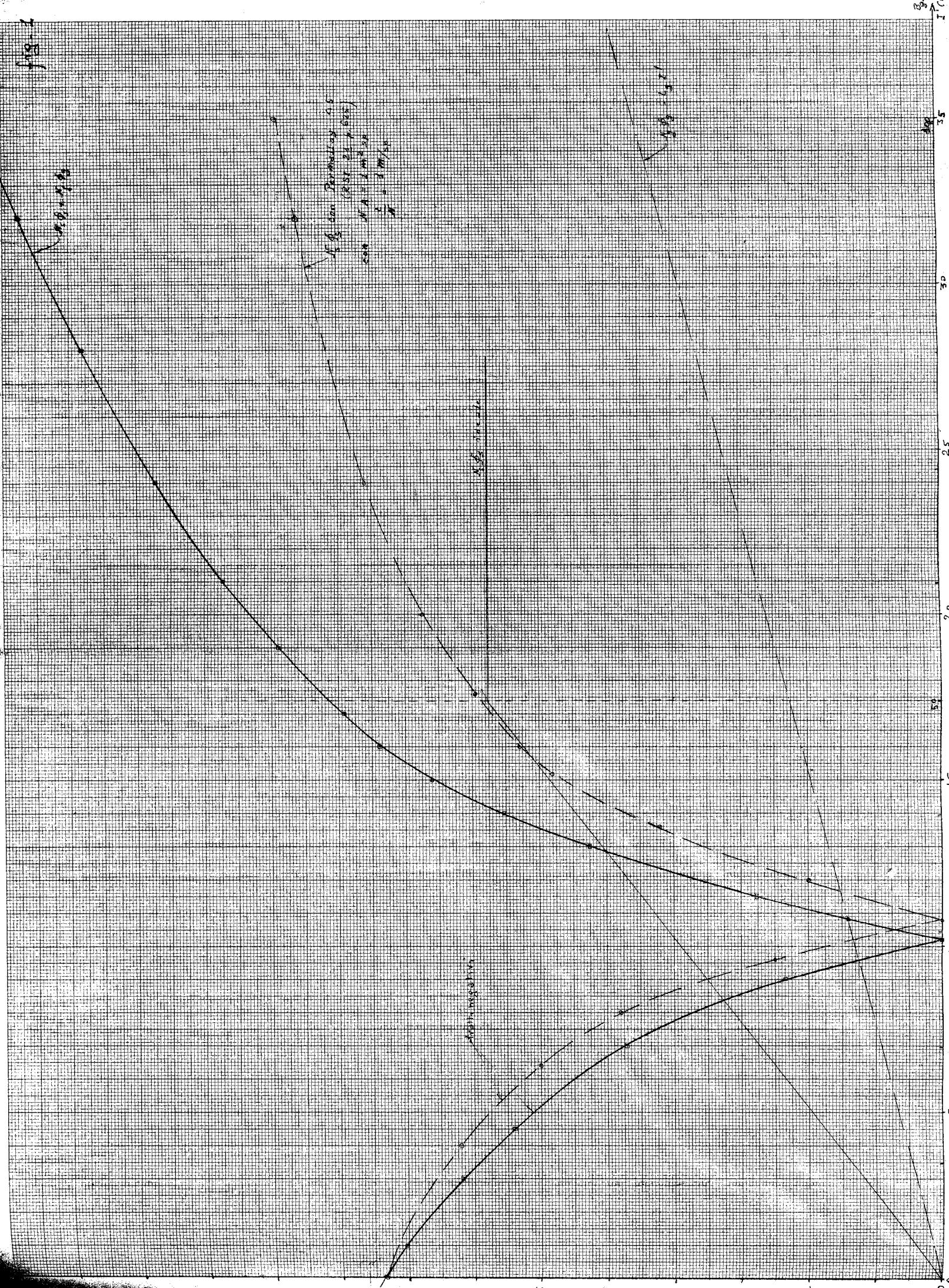
Si possono fare alcune considerazioni intuitive su questo circuito.

Perché il secondario abbia la minima influenza possibile sul funzionamento a regime del primario, L_2 deve essere piccola, di conseguenza I_2 e C_2 grandi.

Si può anche pensare ad un circuito secondario oscillante con un periodo di libera oscillazione pari a circa quattro volte il tempo durante il quale occorre la variazione del campo. L'ignition verrebbe acceso allora da un impulso di comando e si spegnerebbe da solo quando fosse passato circa il doppio del tempo richiesto di diminuzione di campo, rendendo così nullo per tutto il resto del tempo l'effetto reciproco dei due circuiti. In tal caso si potrebbe anche aumentare L_2 e diminuire C_2 .

Se questo si dimostrasse non pratico, nel circuito secondario andrebbe messa una R_2 piuttosto grande, tale da rendere immaginario il periodo di libera oscillazione e piccolo l'effetto mutuo.

fig. 2



per $t = 0$ $t = 7.4$

