

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-60/53 (26. 11. 60)

A. Massarotti, A. Turrin: UN METODO PER PREVENIRE LA SCARICA
A RISONANZA IN UN RISUONATORE A CAVITA' MEDIANTE UN CAMPO
MAGNETOSTATICO.

Nota interna: n° 59
25 Novembre 1960

A. Massarotti e A. Turrin: UN METODO PER PREVENIRE LA SCARICA A RISONANZA IN UN RISUONATORE A CAVITA' MEDIANTE UN CAMPO MAGNETOSTATICO.

1 - La scarica elettronica a risonanza.

Questo tipo di scarica avviene generalmente tra due pareti solide affacciate entro un recipiente (nel quale la pressione è tale che il cammino libero medio di un elettrone sia non inferiore alla distanza tra le pareti), quando tra le pareti stesse è applicato un campo sinusoidale di pulsazione opportuna. La scarica dipende inoltre dal rendimento di produzione di elettroni secondari da parte di un primario ^{che} urti su una parete¹⁾. Il meccanismo è il seguente: se ad un certo istante un elettrone secondario di bassa energia (≤ 50 ev)²⁾ e 3) esce da una delle pareti e tra di esse esiste un campo alternato di pulsazione e ampiezza tali che il semiperiodo sia uguale al tempo di transito dell'elettrone tra le pareti e inoltre la fase del campo sia zero allo istante considerato, manifestamente l'elettrone giungerà sull'altra parete quando il campo elettrico, raggiunta l'ampiezza zero cambierà di segno; esso, urtando contro la seconda parete, potrà, sotto certe condizioni, estrarre dei secondari che a loro volta si traveranno nelle stesse condizio

ni iniziali del primo elettrone e riattraverseranno lo spazio tra le pareti in direzione opposta e con un tempo di transito ancora uguale al semiperiodo e così via. Il processo di moltiplicazione così innescato continuerà fino ad interessare un tal numero d'elettroni da costituire una corrente di corto circuito vera e propria.⁴⁾ Naturalmente questo processo può avvenire in condizioni molto meno restrittive sulla pulsazione ampiezza e fase del campo elettrico. Per trattare dettagliatamente il fenomeno appare innanzitutto necessario conoscere l'energia e il numero di elettroni secondari all'indietro, prodotti da un elettrone primario di energia E_0 che urta su una superficie metallica.

2 - Dati sperimentali sulla produzione di elettroni secondari nei metalli.^{2) e 3)}

Definiamo con $\delta = \gamma + \Delta$ il rendimento totale di estrazione all'indietro di elettroni, provocato dall'urto primari di una certa energia E_0 contro una superficie solida, dove Δ è il rendimento parziale per secondari di energia $E \leq 50$ ev e γ il rendimento parziale per secondari di energia $E > 50$ ev.

È possibile compilare la seguente tabella:

Z	Metallo	δ_{\max}	$E_0 (\delta = \delta_{\max})$ (ev)
13	Al	0,95	300
26	Fe	1,3	400
29	Cu	1,3	600
47	Ag	1,4	800
79	Au	1,4	800

Queste misure sono state ottenute variando E_0 da pochi ev a ~ 2 KeV. D'altra parte da misure effettuate da Sternglass ($0,2 \leq E_0 \leq 4$ KeV)⁵⁾, Palluel ($2 \leq E_0 \leq 16$ KeV)^{6) e 7)} Trump e Van de Graaff ($50 \leq E_0 \leq 300$ KeV)⁸⁾ e infine da Bother ($E_0 = 680$ KeV)⁹⁾, si ha in ogni caso $\gamma < 1$. Questo ci per

mette ragionevolmente di concludere che per qualunque E_0 solo Δ può essere maggiore di 1, se $\delta > 1$ e cioè, per la natura stessa della scarica a risonanza, sono da prendere in considerazione solo gli elettroni che all'istante iniziale hanno $E \leq 50$ ev.

3 - Prevenzione della scarica a risonanza in un risuonatore a cavità mediante l'inserzione d'un campo magnetostatico.

Ci proponiamo di esaminare qui la possibilità di evitare la scarica a risonanza in un risuonatore a cavità il cui gap è sotto vuoto, mediante un campo magnetostatico. Il problema si è posto per l'eccitazione della cavità RF₂ da 150 KV. Essa è del tipo quadrato e in fig. 1 ne sono riportate due sezioni schematiche.

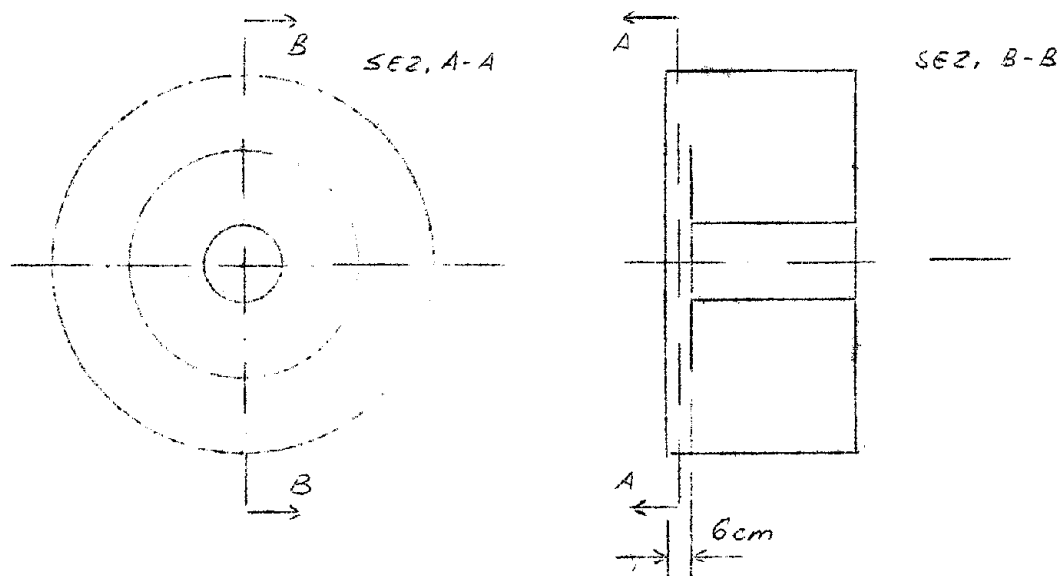


FIG. 1

Da una serie di misure effettuate da Gill e Engel¹⁰⁾ si ha che con una pulsazione del campo elettrico $\omega = 2,7 \cdot 10^8$ rad/sec ($f = 43,7$ MHz) e una spaziatura delle pareti $L = 6$ cm, con la pressione di 1μ /Hg in atmosfera di H_2 , il campo di innesco della scarica a risonanza è ~ 30 Volt/cm (cio è confermato, come vedremo, dal calcolo) e pertanto nella nostra

cavità al crescere da zero della tensione di picco si attra-
versa senz'altro la zona di condizioni ottime per l'innesco
della scarica. Si è allora pensato di dissimmetrizzare il
campo di forze agente sugli elettroni, sovrimponendo un cam-
po magnetostatico ortogonale al campo elettrico. In queste
condizioni l'equazione del moto di una particella è:

$$1) \quad m \frac{d\vec{v}}{dt} = e\vec{E} \sin(\omega t + \varphi) + e\vec{v} \wedge \vec{B}_0$$

dove ω è la pulsazione del campo elettrico, φ è la fase
in cui è emesso l'elettrone secondario e le rimanenti nota-
zioni sono ovvie.

Detto quindi X l'asse coincidente con l'asse del-
la cavità e y e z gli altri due assi ortogonali si ha per
 \vec{E} e \vec{B}

$$\vec{E} = E_x \vec{i}; \quad \vec{B} = B_z \vec{k}$$

4 - Discussione dell'equazione del moto.

Considerando per semplicità (e ciò non lede la ge-
neralità delle conclusioni tratte) una particella che esca
da una parete con velocità v_0 diretta parallelamente alla
direzione di \vec{E} , la soluzione della equazione del moto in
questa direzione è

$$2) \quad x = \frac{v_0}{\omega_0} \sin \omega_0 t + \frac{\frac{eE}{m}}{\omega_0^2 - \omega^2} \cos \varphi \left[\sin \omega t - \frac{\omega}{\omega_0} \sin \omega_0 t \right] + \\ + \frac{\frac{eE}{m}}{\omega_0^2 - \omega^2} \sin \varphi \left[\omega_0 \omega t - \omega_0 \omega_0 t \right]$$

dove $\omega_0 = eB/m$ è la pulsazione di 'ciclotrone'.

Questa equazione, per $B=0$, diviene

$$2a) \quad x = v_0 t - \frac{\frac{eE}{m}}{\omega^2} \sin(\omega t + \varphi) + \frac{\frac{eE}{m}}{\omega^2} (\omega t \cos \varphi + \sin \varphi) \\ (\omega_0 \rightarrow 0)$$

In questo caso la scarica a risonanza avviene quan-
do il tempo di transito attraverso la gap (di larghezza L)

è proprio uguale a un semiperiodo $T/2 = \pi/\omega$ del campo elettrico alternato. Imponendo questa condizione, il valore di E che dà luogo alla scarica a risonanza si ricava dalla

$$3) \quad E_{ris} = \omega \frac{\omega L - \pi v_0}{\frac{e}{m} (\pi \omega \varphi + 2 \sin \varphi)}$$

($\omega_0 \rightarrow 0$)

Supporremo per semplicità di discussione sempre d'ora in poi $v_0 = 3,25 \times 10^6$ m/sec (elettroni da 30 eV).

E' allora, $\omega L - \pi v_0 > 0$. Dalla 3a) si vede che per $E_{ris} > 2,44$ kVolt/m esiste la scarica a risonanza, per elettroni uscenti dalla parete con una ben determinata fase, individuata dal valore di E_{ris} . Diamo appresso, in figura 2 il valore di E_{ris} per cui il fenomeno accade.

Si devono fare le seguenti osservazioni:

- 1) l'intervallo di fasi φ per cui può innescarsi la risonanza è di estensione 180° (da $-57^\circ 31'$ a $122^\circ 29'$, centrato intorno a $32^\circ 29'$).
- 2) Per campi elettrici di picco molto elevati è molto critica la fase per cui ha luogo la risonanza.
- 3) I valori minimi di E_{ris} confermano il dato sperimentale di ~ 3 kVolt/m menzionato nel paragrafo precedente. La differenza tra questo valore e quello calcolato è da attribuirsi all'influenza del campo magnetico terrestre.

Se B è sensibilmente $\neq 0$, e pertanto è ω_0 sensibilmente $\neq 0$ la scarica elettronica a risonanza stenta ad innescarsi, in quanto la presenza di due frequenze diverse (ω ed ω_0) nella 2) impedisce il rinnovarsi periodico ed indefinito delle condizioni iniziali dei campi agenti sugli elettroni secondari prodotti. E' difficile discutere la 2). Si possono ricavare informazioni dalla 2) discutendola nel caso $\omega_0 = \omega$. Nelle nostre condizioni ciò si verifica per $B = 15,35$ Gs.

Per $\omega_0 \rightarrow \omega$ la 2) diviene

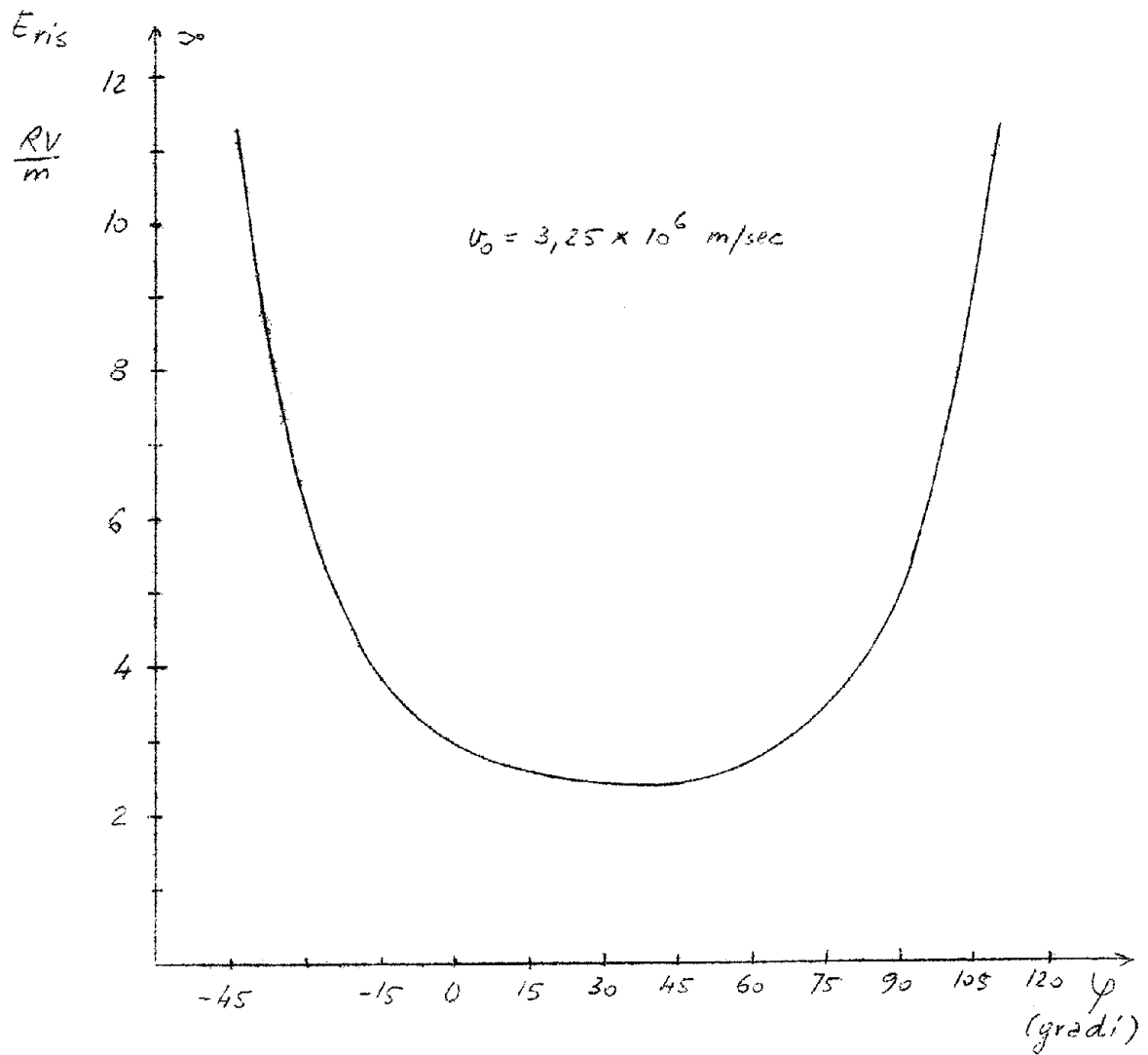


FIG. 2

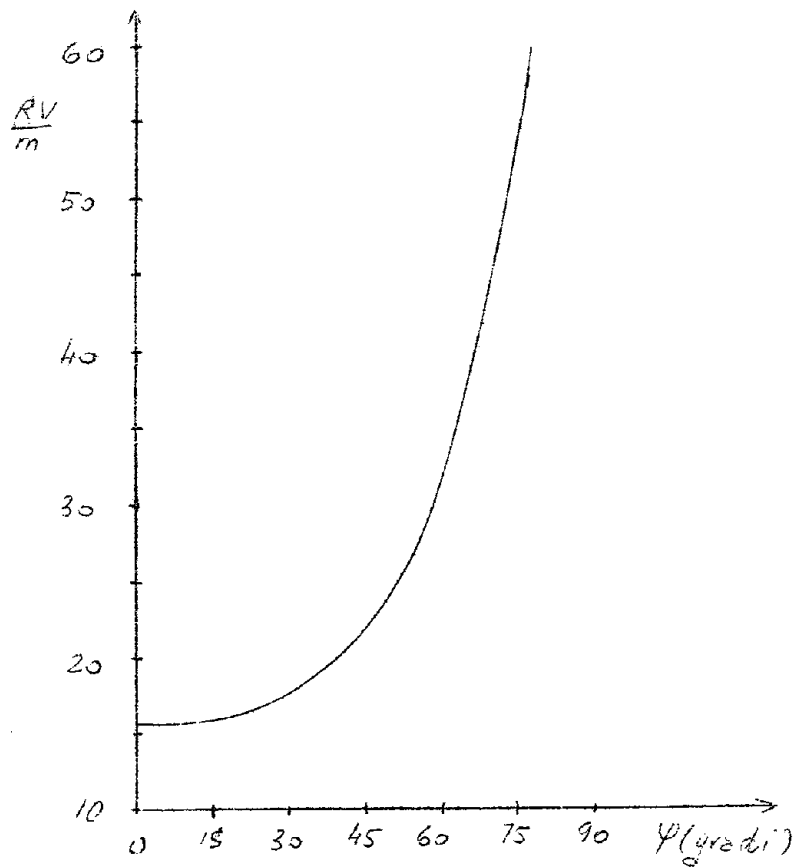


FIG. 3

$$2b) \quad x = \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t + \frac{eE}{m} \frac{1}{2\omega^2} \left[\omega \varphi (\sin \omega t - \omega t \cos \omega t) + \right. \\ \left. + \sin \varphi \omega t \sin \omega t \right]$$

Discuteremo la 2b) e raffronteremo le conclusioni tratte con quelle relative alla 2a) ($\omega_0 = 0$).

Anche nel caso $\omega_0 \rightarrow \omega$ la scarica a risonanza avviene quando il tempo di transito attraverso la gap (di larghezza L) è proprio uguale a un semiperiodo $T/2 = \pi/\omega$ del campo elettrico alternato.

Imponendo questa condizione, il valore di E che dà luogo alla scarica a risonanza è ricavato dalla

$$3b) \quad E_{ris} = \frac{2\omega^2 L}{\frac{e}{m} \pi \omega \varphi} \quad (\text{indipendente da } v_0)$$

Dalla 3b) si vede che per $E_{ris} > 15,8$ kVolt/m esiste la scarica per elettroni uscenti dalla parete con una ben determinata fase individuata dal valore di E_{ris} .

Non si può concludere dal solo esame della 3b) che l'intervallo delle fasi φ per cui può innescarsi la risonanza è d'estensione 180° (da -90° a $+90^\circ$, centrato intorno a 0°) prima di aver discusso nel contempo anche la 2b).

Il primo termine di essa non può essere responsabile da solo della scarica; infatti $v_0/\omega = 1,2$ cm per $v_0 = 3,25 \times 10^6$ cm/sec, mentre la larghezza della gap è $L = 6$ cm. Soltanto per E sufficientemente elevati ($E > 15,8$ kVolt/m) accade il fenomeno, per cui il termine responsabile della scarica a risonanza è il secondo.

Resta quindi da vedere quale è l'intervallo di fasi per cui il secondo termine è positivo quando ωt cresce da zero attraverso valori positivi infinitesimi.

Ciò accade quando $\cos \varphi (\sin x/x) > \cos(x+\varphi)$, ovvero quando (x infinitesimo)

$$\sin \varphi > 0$$

Quest'ultima limitazione, assieme alla 3b) lascia concludere che per $\omega_0 \rightarrow \omega$.

I) L'intervallo di fasi per cui può innescarsi la risonanza è di estensione 90° (da 0 a 90°) (vedi fig. 3).

II) Per campi elettrici di picco molto elevati è molto più critica la fase per cui ha luogo la risonanza.

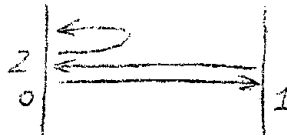
5 - Conferma numerica

È stato eseguito un calcolo numerico di carattere indicativo onde confermare le condizioni tratte nel paragrafo precedente. Si è calcolata la 2) combinando successivamente in tutti i modo alcuni valori di E con alcuni valori di B e con otto valori di φ come risulta dalla allegata tabella. I numeri 1, 2, 3, 7, 8, 10, che compaiono in alcune caselle sopra l'asse delle φ hanno il seguente significato:

1: l'elettrone che è uscito da una parete della cavità ha raggiunto l'altra parete, ma l'elettrone secondario che ne è nato non ha attraversato la gap.

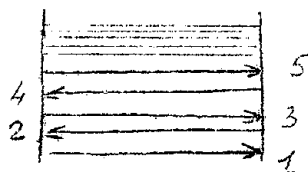


2: L'elettrone secondario che ne è nato ha attraversato la gap raggiungendo la parete opposta, ma l'ulteriore elettrone secondario che ne è nato non ha attraversato la gap. Così anche per il significato dei numeri 3, 7, 8.

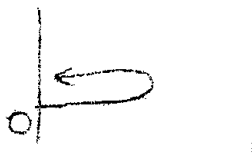


10: il processo di cui sopra si è ripetuto almeno dieci volte (o più).

100: il processo di cui sopra si è ripetuto almeno cento volte (o più).



Se non compare nessun numero sotto l'asse ψ , ciò significa che il primario non ha attraversato la gap



Come si vede la scarica a risonanza stenta ad innescarsi tanto più quanto più elevato è il valore del campo magnetico dissimmetrizzatore. Si può presumere che un campo di 20 Gs sia sufficiente ai nostri scopi.

I calcoli numerici sono stati eseguiti mediante calcolatore 650 IBM.

Bibliografia

- 1) E.W.B. Gill and A.V. Engel - Nature 159, 404, (1947)
- 2) A.J. Dekker - Solid State Physics 6, 251, (1958).
- 3) O. Hachenberg and W. Brauer - Advances in Electronics and Electron Physics - 11, 413 e seg. (1959)
- 4) S.C. Brown - Handbuch der Physik - Band XXII, pg. 570 e seg.
- 5) E.J. Steruglass - Phys. Rev. 95, 345 (1954).
- 6) P.C.R. Palluel - Compt Rend. 224, 1492 e seg. (1947)
- 7) P.C.R. Palluel - Compt. Rend. 225, 383 e 1551 (1947)
- 8) J.G. Trump and R.J. Van de Graaff - J. Appl. Phys. 18, 327 (1947).
- 9) W. Bothe - Z. Naturforsch - 4a, 542 (1949)
- 10) E.W.B. Gill and A.V. Engel - Proc. Roy. Soc. A192, 446 (1948)

$B(\text{ss})$ $h(\text{RV}/\text{m})$	18	20	22	25	30	35
2,5						
3,0						
5,0						
6,0						
10						
12						
16						
50						
80						
100						
800						
3000						

$\frac{B}{E} \left(\frac{gs}{RV/m} \right)$	4,0	6,0	8,0	9,0	11	13
2,5						
3,0						
5,0						
6,0						
10						
12						
16						
50						
80						
100						
800						
3000						

o vuol dire 10 * vuol dire 100