

文章编号: 1000-6931(2001)03-0245-05

# ns 脉冲中子发生器切割板电压计算

牛 铭<sup>1</sup>, 李胜利<sup>2</sup>

(1. 石家庄职业技术学院, 河北 石家庄 050081; 2. 信息产业部电子第五十四研究所, 河北 石家庄 050081)

摘要: 给出了 ns 脉冲中子发生器切割器电源电压与切割器几何尺寸、氦粒子注入能量、切割脉冲宽度、切割器电源频率之间的关系。

关键词: ns 脉冲中子发生器; 切割器; 切割脉冲宽度; 转折频率

中图分类号: TL51 文献标识码: A

## 1 切割器电源电压的计算

### 1.1 切割电压对氦粒子的作用

ns 脉冲中子发生器切割器示意图示于图 1。切割板间距为  $d$ , 选束孔半径为  $R$ , 切割板与选束板距离为  $D$ 。切割板、选束板组成了切割器, 在切割板上外加电压  $V_i = V_0 \sin \omega t$ 。其中:  $V_0$  为外加电压峰值;  $\omega$  为外加电压角频率。

$t$  时刻沿切割板轴线以初速  $v_0$  进入切割板的氦粒子在  $t_1$  时刻离开切割板边缘, 氦粒子在切割板中的穿越时间为  $T$ ,  $T = t_1 - t$ , 氦粒子在  $t_1$  时刻具备垂直速度  $v_t$  并偏离轴线一段距离  $y_0$ , 氦粒子经过一段时间  $T$  的漂移打在选束板上的  $P$  点,  $P$  点到轴线的距离为  $y$ 。如果  $y$  小于或等于  $R$ , 则氦粒子将穿过选束孔而形成脉冲束。

氦粒子在  $t_1$  时刻离开切割板时的垂直速度  $v_t$  及偏转距离  $y_0$  为:

$$v_t = \frac{eV_0}{md_0} (\cos \omega t - \cos \omega t_1) \quad (1)$$

$$y_0 = \frac{eV_0}{md_0} [(t_1 - t) \cos \omega t - \frac{1}{\omega} (\sin \omega t_1 - \sin \omega t)] \quad (2)$$

式中:  $m$  为氦粒子质量;  $e$  为氦粒子的电荷量。

氦粒子经过时间  $T$  漂移后打在选束板  $P$  点,  $P$  点偏离轴线距离  $y$ , 若不考虑  $y_0$  的影响, 则:

收稿日期: 2000-05-16; 修回日期: 2000-08-03

作者简介: 牛 铭 (1963—), 女, 河北石家庄人, 讲师, 数学专业

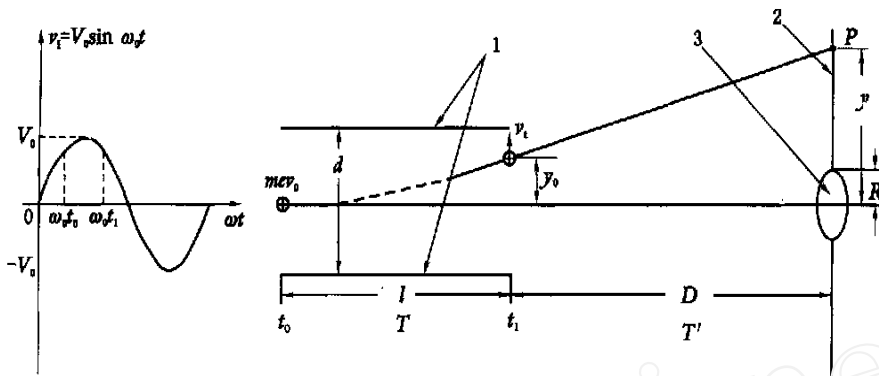


图1 ns脉冲中子发生器示意图

Fig. 1 Schematic diagram of ns pulsing system of neutron generator

1—切割板;2—选束板;3—远束孔

$$\begin{aligned}
 y &= v_t T \\
 &= v_0 \frac{D}{v_0} \\
 &= \frac{eV_0 D}{m d_0} (\cos \omega_0 t - \cos \omega_0 t_1) \\
 &= \frac{2eV_0 D}{m d_0} \sin \frac{\omega_0 t_1 + \omega_0 t}{2} \sin \frac{\omega_0 t_1 - \omega_0 t}{2}
 \end{aligned}$$

当氦粒子注入速度  $v_0$  及切割板外加电压频率  $\omega_0$  给定时,  $t_1 - t_0$  及  $\omega_0 t_1 - \omega_0 t_0$  随之得以确定。因  $T = t_1 - t_0$ ,  $\frac{\omega_0 t_1 + \omega_0 t_0}{2} = \omega_0 t + \frac{\omega_0 T}{2}$ , 所以, 上式可写为:

$$y = KV_0 \sin \left( \omega_0 t + \frac{\omega_0 T}{2} \right) \tag{3}$$

式中:  $K = \frac{2eD}{m d_0} \sin \frac{\omega_0 T}{2}$ 。

式(3)即为氦粒子经切割板后在垂直方向上的运动方程。

### 1.2 切割脉冲宽度与切割电压的关系

设  $t = t_0$  时,  $y = +R$ ;  $t = t_1$  时,  $y = -R$ , 代入式(3)有:

$$KV_0 \sin \left( \omega_0 t_0 + \frac{\omega_0 T}{2} \right) = +R \tag{4}$$

$$KV_0 \sin \left( \omega_0 t_1 + \frac{\omega_0 T}{2} \right) = -R \tag{5}$$

式(4)、(5)左右两边分别相加, 则:

$$2KV_0 \sin \frac{\omega_0 t_0 + \omega_0 t_1 + \omega_0 T}{2} \cos \frac{\omega_0 t_1 - \omega_0 t_0}{2} = 0 \tag{6}$$

$t_1$  至  $t_0$  的时间间隔为切割脉冲宽度  $T$ , 即:

$$\omega_0 t_1 - \omega_0 t_0 = \omega_0 T \tag{7}$$

对实际切割系统而言,  $\omega_0$  为  $10^6$  量级,  $t$  为  $10^{-8}$  量级, 所以,  $\omega_0 t \ll 1$ , 故:

$$\cos \frac{\omega_0 t_0 - \omega_0 t_0}{2} = \cos \frac{\omega_0 T}{2} = 0,$$

因此, 从式(6)可得:

$$\sin \frac{\omega_0 t_0 + \omega_0 t_0 + \omega_0 T}{2} = 0$$

即:

$$\frac{\omega_0 t_0 + \omega_0 t_0 + \omega_0 T}{2} = n \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (8)$$

取  $n = 1$ ,  $\omega_0 t_0 + \omega_0 t_0 = 2 - \omega_0 T$ , 由式(7)、(8)得:

$$\omega_0 t_0 = \left( -\frac{\omega_0 T}{2} \right) - \frac{\omega_0 t}{2} \quad (9)$$

$$\omega_0 t_0 = \left( -\frac{\omega_0 T}{2} \right) + \frac{\omega_0 t}{2} \quad (10)$$

将式(10)代入式(5), 得:  $R = KV_0 \sin \frac{\omega_0 t}{2}$ , 即:

$$V_0 = \frac{R}{K \sin \frac{\omega_0 t}{2}} \quad (12)$$

式(12)即为切割脉冲宽度  $t$  与切割电压的关系式。

利用式(12)可计算出给定条件下的切割器电源电压。当切割器几何尺寸、氦粒子注入时的能量、切割电源频率确定后, 切割电源峰值电压  $V_0$  的选取由切割脉冲宽度  $t$  确定。

$T$  为  $10^{-8}$  量级, 所以, 当  $\omega_0 T \ll 1$  时,  $\sin \frac{\omega_0 T}{2} = \frac{\omega_0 T}{2}$ ,  $K = \frac{2eD}{md_0} \sin \frac{\omega_0 T}{2} = \frac{eDT}{md_0} = \frac{eDl}{md_0^2}$ , 因此, 可得:

$$V_0 = \frac{2dRE_0}{elD \sin \frac{\omega_0 t}{2}} \quad (13)$$

式中:  $E_0$  为氦粒子束的初始注入能量,  $E_0 = \frac{1}{2} m_0^2 v_0^2$ 。

从式(12)、(13)可看出:

1) 当脉冲宽度  $t$  要求一定时, 切割板外加电源电压与氦粒子初始注入能量、切割板间距以及选束孔孔径成正比, 与切割板长度及切割板到选束板之间的距离成反比;

2) 如果 ns 脉冲中子发生器要求的脉冲频率提高, 则  $\omega_0$  也相应提高, 从而所要求的  $V_0$  可减小, 但当  $\omega_0$  提高到一定值  $\omega_0$  后,  $V_0$  反而随  $\omega_0$  的增加而增加。

以下将给出  $\omega_0$  的估计值,  $\omega_0$  称为转折频率。

## 2 切割板电源电压与电源频率的关系

将  $K$  代入式(12),则有:

$$V_0 = \frac{R}{\frac{2eD}{md} \sin \frac{\omega T}{2} \sin \frac{\omega t}{2}} = \frac{md \omega R}{2eD \sin \frac{\omega T}{2} \sin \frac{\omega t}{2}}$$

令  $K = \frac{md \omega R}{2eD}$ ,  $V_0 = \frac{K}{\sin \frac{\omega T}{2} \sin \frac{\omega t}{2}}$ ,  $V_0$  对  $\omega$  求导为:

$$V_0(\omega) = K \frac{\sin \frac{\omega T}{2} \sin \frac{\omega t}{2} - \omega \left( \frac{T}{2} \cos \frac{\omega T}{2} \sin \frac{\omega t}{2} + \frac{t}{2} \cos \frac{\omega t}{2} \sin \frac{\omega T}{2} \right)}{\sin^2 \frac{\omega T}{2} \sin^2 \frac{\omega t}{2}}$$

在  $\omega T$  及  $\omega t$  均  $\ll 1$  的情况下,上式可简化为:

$$V_0(\omega) = K \frac{\frac{\omega^2 T t}{4} - \omega \left( \frac{T \omega t}{4} + \frac{t \omega T}{4} \right)}{\left( \frac{\omega T}{2} \right)^2 \left( \frac{\omega t}{2} \right)^2} = -4K < 0$$

$\omega T$  及  $\omega t$  较小时,  $V_0$  对  $\omega$  的导数为负值,说明当  $\omega$  增大时,所需的切割板电源电压峰值可减小,减小速率为  $-4K$ 。但当切割板电源频率增大到转折频率以后,所需的  $V_0$  值反而开始增加。令  $V_0(\omega) = 0$ , 在  $E_0 = 30 \text{ keV}$ 、 $t = 40 \text{ ns}$  时,  $T$  与  $t$  为同一数量级,假设  $\omega = \omega_0$ , 取  $(T + t)/2 = 49.6 \text{ ns}$ , 则有:

$$V_0(\omega_0) = K \frac{1 - \omega_0 \arctan \frac{\omega_0}{2}}{\sin^2 \frac{\omega_0}{2}} = 0$$

解出  $f_0 = 7.48 \text{ MHz}$ 。

表 1 列出了在  $E_0 = 30 \text{ keV}$ ,  $d = 2.5 \text{ cm}$ 、 $R = 0.1 \text{ cm}$ 、 $D = 80 \text{ cm}$ ,  $t = 40 \text{ ns}$  时,不同  $f_0$  下所要求的  $V_0$  值。

表 1 不同  $f_0$  时所要求的  $V_0$  值

Table 1  $V_0$  value at different  $f_0$

$f_0/\text{MHz}$	$V_0/\text{V}$	$f_0/\text{MHz}$	$V_0/\text{V}$
0.75	1 985	7	326.4
1.5	1 007	7.48	326.1
3	533	8	329
6	338	9	346

从表 1 可看出: $f_0 = 7.48 \text{ MHz}$  时的  $V_0$  最小。当然,  $f_0$  的选取是由 ns 脉冲中子发生器系统设计时确定的,但通过综合考虑,适当提高  $\omega_0$  可使系统研制难度降低。

### 3 结论

在设计 ns 脉冲中子发生器脉冲化装置时应全面分析,当切割器尺寸确定后,应计算出所需的切割电源电压。在可能的情况下,切割电源频率高一些对于降低制作切割电源的难度有利。

## Calculation of Chopper Voltage on ns Pulsing System of Neutron Generator

NU Ming<sup>1</sup>, LI Sheng-li<sup>2</sup>

(1. Shijiazhuang Vocational Technical College, Shijiazhuang 050081, China;

2. No. 54 Research Institute( Electronic) Ministry of Information Industry, Shijiazhuang 050081, China)

**Abstract** :Relationships of chopping power voltage with chopping plate size ,  $d^+$  energy , chopping pulse width and chopper power frequency are described.

**Key words** :ns pulsing system of neutron generator ; chopper ; chopping pulse width ; turning frequency

### 以最高效率产生等离子体电流

日本原子能研究所宣布,在世界最大托卡马克聚变实验装置“JT-60”上进行负离子中性粒子束照射,成功地产生了  $1.6 \text{ GA cm}^{-2}$  的世界最高效率的等离子体电流。核聚变连续进行中,聚变装置磁场中会产生等离子体电流。作为国际热核聚变实验反应堆(ITER)的等离子体电流产生装置,是组合有希望的负离子方式的中性粒子束入射与高频加热装置,首次成功地实现了高效率产生等离子体电流。日本原子能研究所在提高束流能量的同时,提高了等离子体的电子温度,两者结合进行了检验。

摘自中国原子能科学研究院《科技信息》