

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¹, 李胜利²

(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; ω 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

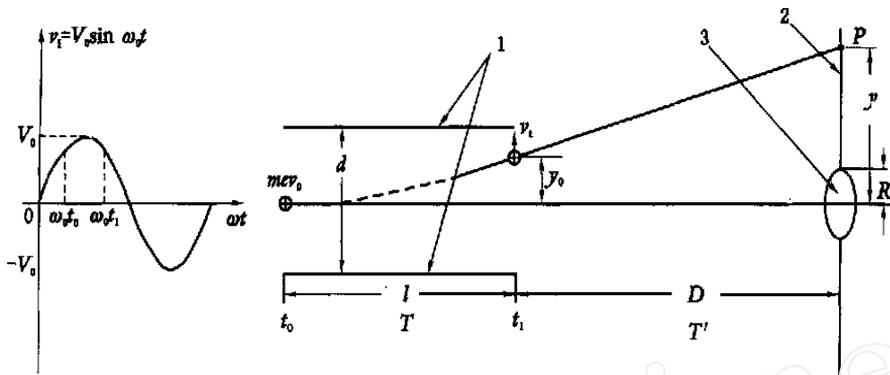


图1 ns脉冲中子发生器示意图

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

1—切割板;2—选束板;3—远束孔

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

当氘粒子注入速度 v_0 及切割板外加电压频率 ω_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)即为氘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, ω_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 ω_0 也相应提高, 从而所要求的 V_0 可减小, 但当 ω_0 提高到一定值 ω_0 后, V_0 反而随 ω_0 的增加而增加。

以下将给出 ω_0 的估计值, ω_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 ω 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 ωT 及 ωt 均 $\ll 1$ 的情况下,上式可简化为:

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

ωT 及 ωt 较小时, V_0 对 ω 的导数为负值,说明当 ω 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/MHz	V_0/V	f_0/MHz	V_0/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 ω_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 Ming¹, LI Sheng-li²

(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 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》