

# 一种快速有效的核四极共振探头恢复方法

陈 星, 徐更光

(北京理工大学 宇航科学技术学院, 北京 100081)

**摘要:**介绍了一种用于主动减小核四极共振(NQR)探头恢复时间的Q值变换电路,它利用MOSFET控制变Q电路与探头电路的耦合,并通过变压器增加与电感线圈串联的阻抗值以达到改变Q值的目的。此电路不产生新的振铃,对接收NQR的分辨率也不造成损失。实验结果表明,电路能有效缩短探头的恢复时间,同时还可提高信噪比。

**关键词:**变Q电路;核四极共振;恢复时间

中图分类号:TQ560

文献标志码:A

文章编号:1000-6931(2009)05-0474-03

## An Efficient Fast Recovery Scheme for Nuclear Quadrupole Resonance Single Coil Probe

CHEN Xing, XU Geng-guang

(School of Aerospace Science and Engineering,  
Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** An active Q-switching circuit using a transformer for reducing probe recovery time just after the RF excitation was described. MOSFET controls the coupling and uncoupling to the Q-switching circuit from the probe. It doesn't create new ringing and doesn't operate during the reception of nuclear quadrupole resonance signal and there's no loss in sensitivity. Experimental results prove that the probe recovery time is reduced and SNR is increased by this circuit.

**Key words:** Q-switching circuit; nuclear quadrupole resonance; recovery time

核四极共振(NQR)是一种可用于探测和分析各种化学物质的有效方法,尤其是在探测炸药和毒品方面<sup>[1-3]</sup>。感应核四极共振信号的重要部件是探头,探头通常发射的射频脉冲可达几百甚至上千伏,这便导致强脉冲发射过后探头回路需一定的时间来释放能量。电路的本征阻尼振荡时间 $\tau_r = 2Q/\omega_0$ ,其中,Q为接收电路

品质因数, $\omega_0$ 为共振频率。显然,这一时间与Q值成正比,而脉冲幅值衰减到噪声水平所需的时间,也称作接收死时间(或恢复时间), $\tau_D = 20\tau_r$ 。

由于NQR信号幅值非常小(仅为mV量级),在振铃持续的时间内,NQR信号均被淹没在振铃中,直接影响了接收系统的信噪比。另外,对于多脉冲序列<sup>[4-5]</sup>,缩短振荡时间显然可

为减小脉冲间隔提供更大空间,这意味着在相同时间内可获得更多的信号,从而有助于提高信噪比。

减小电路死时间意味着减小电路的  $Q$  值。检测 NQR 信号的信噪比正比于  $\sqrt{Q}$ <sup>[6]</sup>。因此,降低  $Q$  值也会造成信噪比的损失。

当前许多减小探头电路恢复时间的方法均基于减小  $Q$  值<sup>[7-9]</sup>。其中,应用较为广泛的是阻抗衰减技术,它通常是用二极管将阻抗衰减元件耦合到探头上,使探头保持一较低的  $Q$  值。但这种方法会造成发射期间  $Q$  值低,从而导致额外的功率消耗。还有一种利用四分之一波长线与交叉二极管改变  $Q$  值的方法,但这种方法的缺点是电路很难达到良好的平衡,从而导致振铃持续时间长。

上述方法还有一严重弊端,即这些变  $Q$  电路在自身与探头电路断开时会产生新的振铃,致使它们对恢复时间的缩短收效甚微。

为避免以上缺陷,在脉冲发射回路的恢复期内加入一  $Q$  值变换电路,以改变能量衰减时的  $Q$  值。

### 1 电路原理

利用一由快速可控逻辑开关控制接入探头电路的变  $Q$  电路,以缩短恢复时间。在脉冲结束而探头开始恢复时,变  $Q$  电路接入到探头电路中,通过变压器改变探头的连接阻抗,进而改变探头的  $Q$  值。利用变压器改变  $Q$  值方法的优点是,既不会受到高的射频电压的影响,也不会给探头输入寄生电荷而引起新的振铃。同时,由于开关元件只与电压较低的控制电路相连,因此,不会有产生击穿的情况。

电路原理图如图 1 所示。由 IR2117 组成的电路构成功率 MOSFET 的驱动电路。IR2117 可由 TTL 逻辑电平直接控制,产生控制功率 MOSFET 的开关信号<sup>[10]</sup>。当逻辑电平为高电平时, MOSFET 导通,变压器次级线圈呈现一小阻抗,这样,便增加了与电感线圈串联的阻抗值,这时,探头谐振回路的  $Q$  值变小;当控制脉冲为低电平时, MOSFET 截止,变压器的次级线圈中无电流,而其初级线圈与探头电感线圈相连,可看成是一小电感。

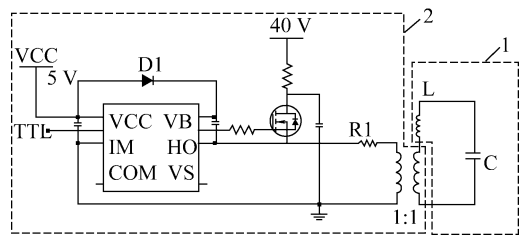


图 1 电路原理示意图

Fig. 1 Circuit schematic diagram

1——探头谐振回路; 2——变  $Q$  电路

### 2 实验结果与讨论

将以上电路通过匹配网络与核四极共振射频发射电路和接收电路相连。实验样品为亚硝酸钠  $\text{NaNO}_2$ , 共振频率为 4.64 MHz。其中,发射脉冲电压为 2 kV, 脉冲宽度为 20  $\mu\text{s}$ , 实验结果如图 2 所示。

由图 2 可见,  $Q$  值变换电路加入后, 振铃时间得到了很快的衰减(从发射脉冲的 kV 量级降至二极管导通电压 0.5 V 的过程所需时间占据了整个振铃时间的主要部分), 由开始的 128  $\mu\text{s}$

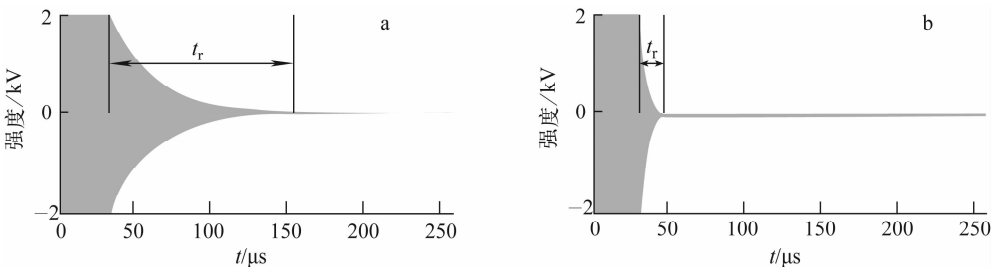


图 2  $Q$  值变换电路加入前后的振铃时间比较

Fig. 2 Results of recovery time with and without  $Q$ -switching circuit

a——无  $Q$  值变换电路; b——加入  $Q$  值变换电路

降至  $14 \mu\text{s}$ 。如果改变与变压器次级线圈串联的电阻  $R$  值,恢复时间则会随之发生变化。

进一步考察  $Q$  值变换电路对核四极共振探测信噪比的影响。改变电阻  $R$  的值得到不同的恢复时间,从而得到不同的 NQR 信号强度和系统信噪比。 $Q$  值变换电路对核四极共振探测信噪比的影响如图 3 所示。从图 3 可看出,它对探测低频信号的信噪比有很大改善。

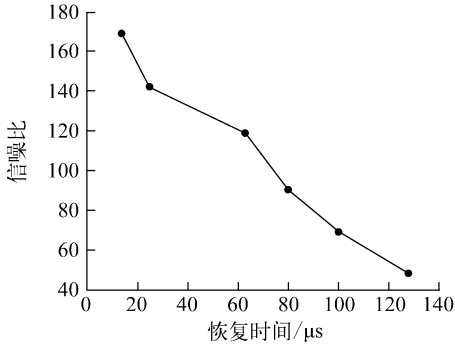


图 3  $Q$  值变换电路对核四极共振探测信噪比的影响

Fig. 3 Dependence of SNR of NQR detection system on recovery time

### 3 结论

在不需对探头进行复杂改变的前提下,所设计的  $Q$  值变换电路对减小探头的恢复时间起到了良好作用。实验表明,它可使恢复时间减小至原来的  $1/9$ ,而使信噪比提高到 3.5 倍。

### 参考文献:

[1] 孙汉城,李广将. 检查隐藏违禁品的核技术[J]. 同位素,2005,18(1-2):110-116.  
SUN Hancheng, LI Guangjiang. Nuclear techniques for detecting hidden contraband[J]. Journal of Isotopes, 2005, 18(1-2): 110-116(in Chinese).

[2] 石光明,徐更光,王廷增,等. 核四极共振在炸药探测上的应用[J]. 火炸药学报,2004,27(3): 70-73.  
SHI Guangming, XU Gengguang, WANG Tingzeng, et al. Applications of nuclear quadrupole resonance in explosives detection [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2004, 27(3): 70-73(in Chinese).

[3] ROW E M D, SMITH J A S. The detection of abandoned landmine[C]//Proceedings of EUREL International Conference. London: IEE Conference Publication, 1996: 62-66.

[4] RUDAKOV T N, MIKHALTSEVICH V T, SELCHIKHIN O P. The use of multi-pulse nuclear quadrupole resonance techniques for the detection of explosives containing RDX [J]. J Phys D: Appl Phys, 1997, 30: 1 377-1 382.

[5] RUDAKOV T N, HAYES P A, MIKHALTSEVITCH V T. "Magic echo" multi-pulse sequence in nitrogen-14 NQR [J]. Physics Letters A, 2004, 330: 280-285.

[6] CLARK W G. Pulsed nuclear resonance apparatus[J]. Rev Sci Instrum, 1964, 35(3): 316-333.

[7] HOULT D I. Fast recovery, high sensitivity NMR probe and preamplifier for low frequencies [J]. Rev Sci Instrum, 1979, 50: 193-200.

[8] MILLER J B, SUITS B H, GARROWAY A N. Interplay among recovery time, signal, and noise: Series- and parallel-tuned circuits are not always the same [J]. Concepts Magn Reson, 2000, 12: 125-136.

[9] SULLIVAN N S, DESCHAMPS P, NEEL P, et al. Efficient fast-recovery scheme for NMR pulse spectrometers [J]. Rev Phys Appl, 1983, 18: 253-261.

[10] 王兆安,张明勋. 电子电力设备设计和应用手册 [M]. 北京:机械工业出版社,2002.