

УДК 537.635:539.14

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ВЫРЕЗАЮЩЕГО ГРАДИЕНТА ПРИ СЕЛЕКТИВНОМ ВЫДЕЛЕНИИ СЛОЯ В ЯМР-ТОМОГРАФИИ

© 1996, Парамонов П.П., Рахматов М.Т., Юраков В.С.

Санкт-Петербургский институт точной механики и оптики

Поступила в редакцию 22.05.96

В статье исследуется влияние формы вырезающего градиента в эксперименте насыщения поперечной намагниченности при селективном выделении слоя в ЯМР-томографии.

Одним из наиболее важных вопросов при получении изображений в ЯМР-томографии является проблема получения оптимального профиля выделяемого среза, максимально приближенного по форме к прямоугольному виду. При проведении ЯМР-экспериментов используется традиционная схема, когда селективный РЧ-импульс прикладывается в присутствии градиента магнитного поля, направленного перпендикулярно возбуждаемому срезу. В данной статье исследуется влияние формы градиента при эксперименте насыщения поперечной намагниченности, т.е. при приложении селективного $\pi/2$ -импульса.

Поведение вектора намагниченности в присутствии возмущающих факторов описывается уравнениями Блоха, имеющими вид:

$$\frac{dM}{dt} = \gamma [M(t)B(t)] - R[M(t) - M_0] \quad (1)$$

где: γ — гиромагнитное отношение; M_0 — статическая намагниченность; R — матрица релаксации; $B(t)$ — результирующее магнитное поле.

Решая данную систему нелинейных дифференциальных уравнений, для определения отклика спиновой системы применялся метод Рунге-Кутты с автоматическим переключением шага. В качестве параметров профиля среза были использованы следующие величины; L_{3dB} — падение поперечной намагниченности на $3dB$; L_{HM} — параметр ширины основного полумакума; L_0 — показатель спада намагниченности до нулевого уровня; M_{max}/M_0 и M_{2max}/M_0 — отношения основного и второго максимумов поперечной компоненты к равновесной намагниченности.

Обычно при селективном выделении среза РЧ-сигнал прикладывается в присутствии прямоугольного импульса градиента магнитного поля. Исходя из спектральных представлений, использование градиентных импульсов с фронтами (рис. а) должно приводить к улучшению профиля выделяемого среза. Однако, как видно из таблицы 1, эти изменения являются незначительными и применение таких импульсных последовательностей не оправдано. Уменьшение боковых пульсаций из-за увеличения длительности последовательности главным образом связано с эффектами релаксации, а не с формой градиентного импульса. При этом падает и величина полезного сигнала, и увеличение фронтов приведет к значительным потерям в отношении сигнал/шум. Здесь величина a характеризует отношение фронта t_f к длительности импульса t_p . Данные получены для молекул воды при следующих параметрах: основное магнитное поле $B_0 = 0,128$ Т; максимальное значение градиента вдоль продольной оси образца $G_z = 5,0 \cdot 10^{-6}$ Т/мм; времена продольной и поперечной релаксации $T_1 = 1,0$ сек. и $T_2 = 0,1$ сек.; ширина выделяемого среза $\Delta = 2L_{HM} = 4,0$ мм. Огибающая

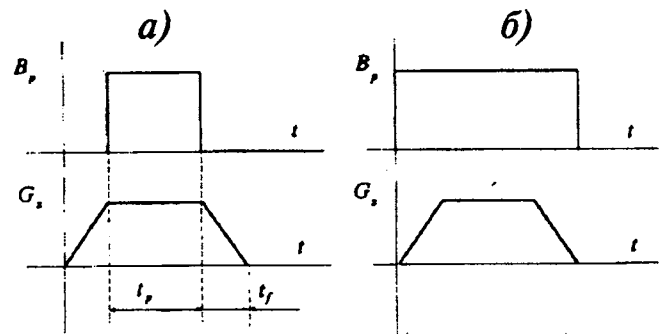


Рис. Последовательности приложения вырезающего градиента.

селективного РЧ-импульса описывается уравнением:

$$s_2(t) = \sin x / x, \quad (2)$$

$$\text{где } x = 2\pi[2t/t_p - 1], \text{ при } 0 \leq t \leq t_p$$

Другим вариантом приложения градиентного импульса является последовательность, в которой его длительность равна длительности РЧ-импульса (рис. б), а

Таблица 1

a	$L_{\text{злп}}, \text{ мм}$	$L_{\text{г}}, \text{ мм}$	M_{max}/M_0	M_{max}/M_0	$B_p, \text{ мкТ}$	$t_p, \text{ мсек}$
0	1,765	2,471	0,981	0,131	5,7	4,564
0,1	1,765	2,471	0,972	0,128	5,7	4,564
0,2	1,765	2,471	0,968	0,124	5,7	4,564
0,3	1,765	2,51	0,964	0,121	5,8	4,486
0,4	1,765	2,51	0,96	0,117	5,8	4,486
0,5	1,765	2,51	0,956	0,113	5,8	4,486

функция огибающей градиента изменяется на интервале приложения РЧ-импульса. В таблице 2 приведены данные для той же огибающей сигнала $s_2(t)$. При $a=0$ имеем прямоугольную форму градиента, а при $a=0,5$ — треугольную. Видно, что с увеличением

длительности фронта значительно возрастают боковые пульсации, ухудшающие профиль среза. Это объясняется тем, что селективность прикладываемых возмущений не постоянна во времени, так как на начальном участке возбуждение является неселективным. Причем аналогичные результаты будут получены и при других формах вырезающего градиента (например, в виде Гауссовой кривой).

Проведенный анализ показывает неэффективность градиентных импульсов с фронтами в случае

Таблица 2

a	$L_{\text{злп}}, \text{ мм}$	$L_{\text{г}}, \text{ мм}$	M_{max}/M_0	M_{max}/M_0	$B_p, \text{ мкТ}$	$t_p, \text{ мсек}$
0	1,765	2,471	0,981	0,131	5,7	4,564
0,1	1,804	2,51	0,977	0,151	5,7	4,564
0,2	1,804	2,431	0,976	0,243	5,5	4,73
0,3	1,804	2,392	0,975	0,349	5,2	5,003
0,4	1,804	2,392	0,973	0,456	4,8	5,42
0,5	1,765	2,353	0,968	0,534	4,1	6,346

одиночных РЧ-импульсов. Преимущества таких огибающих градиента могут быть использованы во многоимпульсных последовательностях с приращением фазы входящих в них одиночных импульсов, что не рассматривалось в данной работе.

THE EFFECT OF THE WINDOWING GRADIENT SHAPE ON SELECTIVE LAYER TUNING IN NMR TOMOGRAPHY

P.P. Paramonov, M.T. Rakhmatov, V.S. Jurakov
St. Petersburg Institute of Fine Mechanics and Optics

The paper is devoted to the study of the windowing gradient shape effect in transverse magnetization saturation experiments for selective layer tuning in NMR tomography.