

УДК 621.314: 621.391

А. В. Заграничний, В.В. Рогаль  
 НТУУ «КПІ», ФЕМ, г. Київ, Україна, e-mail: fel@kpi.ua

## МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ ЗОНДУВАЛЬНОЇ НАПРУГИ В ПРИСТРОЯХ ЯДЕРНОГО МАГНІТНОГО РЕЗОНАНСУ

*Основной целью работы было получить зондирующее напряжение, промодулированное по закону  $1+\cos(t)$ . Рассмотрены основные виды зондирующего напряжения для устройств ядерного магнитного резонанса. Проанализированы способы получения этого напряжения, указаны их недостатки и преимущества. Показано, что при изменении способа управления изменяется спектральный состав исходного напряжения*

**Ключевые слова:** ядерный магнитный резонанс, мостовой инвертор, широтно-импульсная модуляция.

*Основною метою роботи було отримати зондувальну напругу, промодульовану по закону  $1+\cos(t)$ . Розглянуто основні види зондувальної напруги для пристроїв ядерного магнітного резонансу. Проаналізовано способи отримання цієї напруги, вказані їх недоліки та переваги. Показано, що при зміні способу керування змінюється спектральний склад вихідної напруги.*

**Ключові слова:** ядерний магнітний резонанс, мостовий інвертор, широтно-імпульсна модуляція

### Вступ

Одним з найбільш інформативних методів вивчення структури і властивостей речовин є метод ядерного магнітного резонансу (ЯМР), що полягає в явищі резонансного поглинання ядрами з спіном  $1/2$ , що перебувають в магнітному полі  $H_0$  (спіновою системою), енергії радіочастотного поля  $H_1$ , з подальшим вивільненням цієї енергії після припинення дії поля  $H_1$ .

Для отримання картини про структуру і властивості молекул найефективніше використовувати сигнал Хана [1], формування якого як зондувальної напруги є досить актуальним завданням. Для проведення геофізичних досліджень нафтових і газових свердловин потрібні зондувальні сигнали з піковою потужністю близько 300 Вт [2].

**Способи отримання зондувальної напруги.** Для збільшення співвідношення сигнал/шум і покращення динаміки спінової системи застосовується модуляція магнітного поля - використовується сигнал  $s(t)$  (рис.1, б), який є амплітудно-модульованим гармонічним сигналом, промодульованим за законом  $(1+\cos(t))$ .

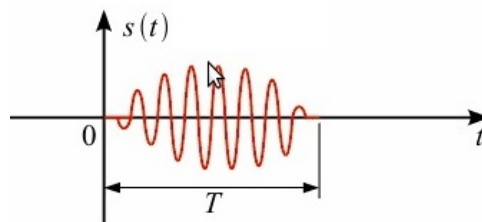


Рис. 1

Сигнал  $s(t)$  можна формувати за допомогою: амплітудно-імпульсної модуляції (АІМ), биття або широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). При використанні АІМ сигнал  $s(t)$  представляється у вигляді [3]:

$$s(t) = A_0(1 + m\cos\Omega t)\cos\omega_0 t = A_0\left[\cos\omega_0 t + \frac{m}{2}\cos(\omega_0 + \Omega)t + \frac{m}{2}\cos(\omega_0 - \Omega)t\right].$$

Очевидно, для формування такого сигналу необхідно використовувати або три генератора синусоїдальних напруг з частотою  $\omega_0, \omega_0 + \Omega, \omega_0 - \Omega$  або нелінійний помножувач. Застосовуючи ефект биття, щоб отримати сигнал  $s(t)$  необхідної форми необхідно використовувати чотири генератори синусоїдальних напруг. Недоліками цих способів є низький коефіцієнт корисної дії (ККД) пристрою, складність реалізації нелінійного помножувача та несинусоїдальність вихідної напруги генераторів, що негативно позначається на результуючому сигналі  $s(t)$ .

Для формування потужних зондувальних сигналів використовують силові перетворювачі в ключовому режимі роботи. При цьому зондувальний сигнал може бути сформований на основі

широтно-імпульсною модуляції з подальшою фільтрацією. Досить просто такий спосіб реалізується за допомогою мостового інвертора. Для цього була розроблена Matlab Simulink-модель мостового інвертора с ШІМ.

При різних способах керування (симетричне, несиметричне, почергове керування і т.д.) отримується однополярна, двополярна або двополярна з нульовими паузами напруга і т.д. З урахуванням необхідності подальшої фільтрації доцільно формувати двополярну напругу з нульовими паузами [4]. Для виділення зондувального сигналу  $s(t)$  (рис.2) послідовний LC-фільтр налаштовується на резонансну частоту  $\omega_0$ . При використанні різних способів керування змінюється спектральний склад вихідної напруги, що впливає на форму обвідної зондувального сигналу  $s(t)$ . В ідеальному випадку необхідно отримати спектр, що складається з трьох гармонік частотою  $\omega_0, \omega_0 + \Omega, \omega_0 - \Omega$ . В реальному ж випадку в спектрі присутні вищі гармоніки, що, звичайно, спотворює форму зондувальної напруги.

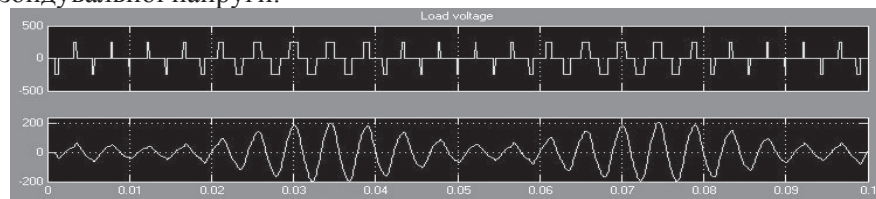


Рис. 2

На рис. 3. зображено спектр отриманої напруги. Як видно з графіку, найбільший вклад вносять гармоніки з частотою  $\omega_0, \omega_0 + \Omega, \omega_0 - \Omega$ , відповідно 100%, 47% і 45%.



Рис.3

Інші гармоніки мають амплітуду менше 3 %, окрім гармоніки з частотою  $3\omega_0$ .

Перевагами мостового інвертора з ШІМ є підвищення ККД, простота реалізації. До недоліків слід віднести спотворення форми вихідного сигналу  $s(t)$  через наявність вищих гармонік.

#### Висновки

Формування зондувальної напруги для пристроїв ядерного магнітного резонансу можливе на основі: амплітудно-імпульсної модуляції, биття або широтно-імпульсної модуляції з подальшою фільтрацією.

При формуванні зондувального сигналу за допомогою АІМ або биття система містить 3–4 генератора синусоїдальних напруг, що обмежує застосування цих методів.

Доцільно формувати зондувальну напругу для пристроїв ЯМР за допомогою мостового інвертора напруги з ШІМ. Система має значно вищий ККД, однак через наявність вищих гармонік в спектрі вихідного сигналу спотворюється його форма.

#### Список літератури

1. Фаррар Т., Беккер Э. Импульсная и Фурье спектроскопия ЯМР.–М.: Мир, 1973.
2. Джафаров И. С., Сынгаевский П. Е., Хафизов С. Ф. Применение метода ядерного магнитного резонанса для характеристики состава и распределения пластовых флюидов. – М.: Химия, 2002.
3. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: Гардарики, 2000.
4. Ю. П. Гончаров, О. В. Буденный, В. Г. Морозов, Преобразовательная техника. Учебник Ч2. – Харьков: Фолио, 2000 г.

## METHODS OF FORMING PROBING VOLTAGE FOR NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE DEVICES

A.V. Zagranichnyi, V.V. Rogal  
NTUU"KPI", FEL, e-mail: fel@kpi.ua

*Main purpose was to obtain a probing voltage modulated by the law of  $1+\cos(t)$ . The main types of the probe voltage for nuclear magnetic resonance devices are discussed, analyzed voltage generating methods, their advantages and disadvantages are indicated. It is shown that by changing the method of controlling is changing the spectral composition of the output voltage.*

**Key words:** nuclear magnetic resonance, bridge inverter, pwm