

Загранічний А. В., канд. тех. наук, доцент

Рогаль В. В., канд. тех. наук, доцент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
ФЕЛ, просп. Перемоги, 37. Київ, Україна, 03056

Тел: +38(050) 4 02 62 12; E-mail: fel@kpi.ua

МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ ЗОНУЮЧОЇ НАПРУГИ В ПРИСТРОЯХ ЯДЕРНОГО МАГНІТНОГО РЕЗОНАНСУ

Одним з найбільш інформативних методів вивчення структури і властивостей речовин є метод ядерного магнітного резонансу, що полягає в явищі резонансного поглинання ядрами з спіном $1/2$, що перебувають в магнітному полі Но (спіновою системою), енергії радіочастотного поля Н1, з подальшим вивільненням цієї енергії після припинення дії поля Н1. Для отримання картини про структуру і властивості молекул найефективніше використовувати сигнал Хана, формування якого як зондувальної напруги є досить актуальним завданням. В роботі Розглянуто основні види зондувальної напруги для пристроїв ядерного магнітного резонансу. Отримано зондувальну напругу, промодульовану по закону $1+\cos(t)$. Проаналізовано способи отримання цієї напруги, вказані їх недоліки та переваги. Показано, що при зміні способу керування змінюється спектральний склад вихідної напруги, а формування зондувальної напруги для пристроїв ядерного магнітного резонансу можливе на основі амплітудно-імпульсної модуляції, биття або широтно-імпульсної модуляції з подальшою фільтрацією. Показано, що формувати зондувальну напругу для пристроїв ЯМР доцільно за допомогою мостового інвертора напруги з ШІМ. Ця система має значно вищий ККД, однак через наявність вищих гармонік в спектрі вихідного сигналу спотворюється його форма.

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

Загранічний А. В., канд.тех.наук, доцент

Рогаль В. В., канд.тех.наук, доцент

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», ФЭЛ, просп. Победы, 37. Киев, Украина, 03056

Тел: +38(050) 4 02 62 12; E-mail: fel@kpi.ua

МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОНИРУЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ В ПРИБОРАХ ЯДЕРНОГО МАГНІТНОГО РЕЗОНАНСА

Одним из наиболее информативных методов изучения структуры и свойств веществ является метод ядерного магнитного резонанса, заключающийся в явлении резонансного поглощения ядрами со спином $1/2$, находящихся в магнитном поле Но (спиновой системой), энергии радиочастотного поля Н1, с последующим высвобождением этой энергии после прекращения действия поля Н1. Обосновано, что для получения картины о структуре и свойствах молекул эффективнее использовать сигнал Хана, формирование которого как зондирующего напряжения является весьма актуальной задачей. В работе Рассмотрены основные виды зонирования напряжения для устройств ядерного магнитного резонанса. Получено зондирующее напряжение, промодульованное по закону $1+\cos(t)$. Проанализированы способы получения этого напряжения, указаны их недостатки и преимущества. Показано, что при изменении способа управления изменяется спектральный состав выходного напряжения, а формирование зондирующего напряжения для устройств ядерного магнитного резонанса возможно на основе амплитудно-импульсной модуляции, биения или широтно-импульсной модуляции с последующей фильтрацией. Показано, что формировать зондирующее напряжение для устройств ЯМР целесообразно с помощью мостового инвертора напряжения с ШІМ. Эта система имеет более высокий КПД, однако, как показало исследование, через наличие высших гармоник в спектре выходного сигнала искажается его форма.

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

Zagranychnyi A. V., cand. teh. sciences, associate Professor

Rogal V. V., cand. teh. sciences, associate Professor

National technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute name of Igor Sikorsky», FEL, Pobedy Ave., 37. Kyiv, Ukraine, 03056

Tel: +38(050) 4 02 62 12; E-mail: fel@kpi.ua

METHODS FOR FORMING ZONING VOLTAGE IN INSTRUMENTS NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE

One of the most informative methods of studying the structure and properties of substances is a method of nuclear magnetic resonance, which consists in the phenomenon of resonant absorption by nuclei with spin 1/2, placed in a magnetic field. But (the spin system), the energy of radio frequency field H1, with the subsequent release of this energy after the termination of the field H1. It is proved that for the picture on the structure and properties of molecules more efficient use of the signal Khan, the formation of which shirousagi voltage is a very important task. In the paper, the basic types of zoning-voltage devices for nuclear magnetic resonance. Received zoniruya voltage, pratulananda by law $1 + \cos(t)$. Analyzed the methods of obtaining this voltage, indicated their advantages and disadvantages. It is shown that the change of the method of control changes the spectral composition of the output voltage, and the formation shirousagi voltage devices for nuclear magnetic resonance is possible on the basis of amplitude-modulation of the heartbeat or pulse width modulation with subsequent filtering. It is shown that forming zoniruya voltage for devices, it is advisable NMR using bridge voltage inverter with PWM. This system has a higher efficiency, however, as the study showed, through the presence of higher harmonics in the spectrum of the output signal is distorted in its shape.

Key words: nuclear magnetic resonance, bridge inverter, pulse width modulation.

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 Но (спіновою системою), енергії радіочастотного поля Н1, з подальшим вивільненням цієї енергії після припинення дії поля Н1.

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 $(1 + \cos(t))$.

Сигнал $s(t)$ можна формується за допомогою: амплітудно-імпульсної модуляції (АІМ), биття або широтно-імпульсної модуляції (ШІМ).

При використанні АІМ сигнал $s(t)$ представляється у вигляді [3]:

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

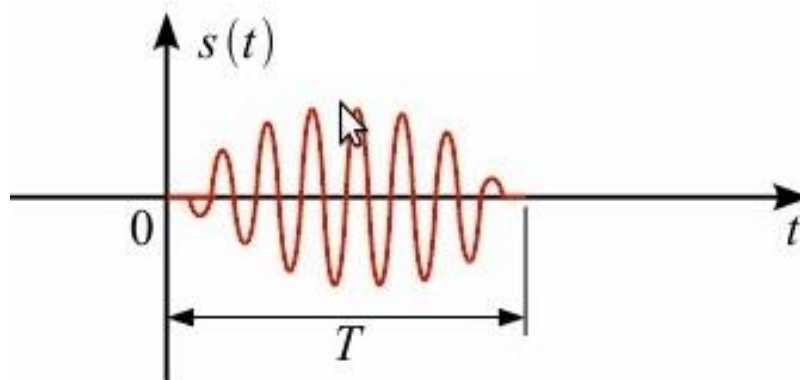


Рис. 1

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-імпульсної 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 ω_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.

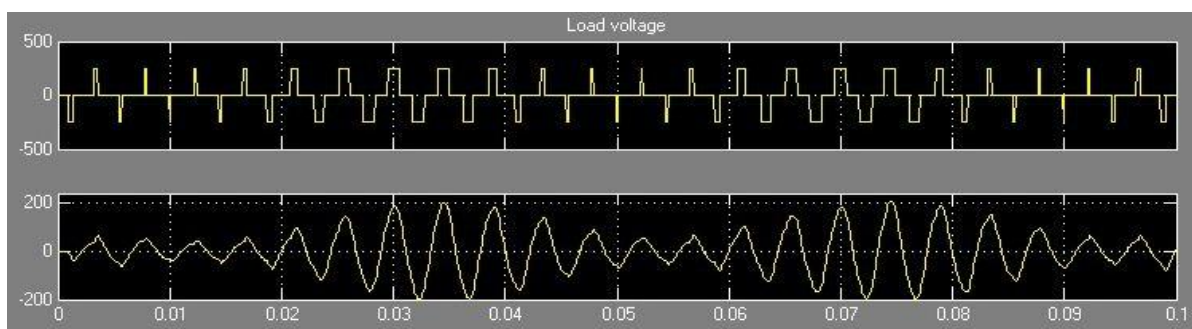


Рис. 2

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 використаної 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.

Referenses:

1. Ferar T. Bekker E. Impulsnaya i Fourier spektroskopiya – М.: World, 1973.
2. Dzhafarov I. S. Syngaevskiy P.E., Hafizov S.F. Джафаров И. С., Сынгаевский П. Е., Хафизов С. Ф. Primenenie metoda yadernogo magnitnogo rezonansa dla harakteristiki sostava I raspredeleniya plastovykh flyuidov – М.: Chemistry, 2002.
3. Bessonov L. A. Teoreticheskie osnovy elektrotehniki Electric chains. – М.: Gardariki, 2000.
4. Yu. P. Goncharov, O. V. Budeny, V. G. Morozov. Ю. П. Гончаров, О. В. Буденный, В. Г. Морозов, Preobrazovatel'naya tehnika. Uchebник Ch.2. – Kharkov: Folio, 2000 г.

Прийнята до друку 21.12. 2019