

УДК 637.115

В.Ю. КУЧЕРУК, П.І. КУЛАКОВ

Вінницький національний технічний університет

Є.А. ПАЛАМАРЧУК

Вінницький національний аграрний університет

ДВОКОНТУРНА СИСТЕМА РАДІОЧАСТОТНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТВАРИН

У роботі проаналізовано вплив технічних і біологічних факторів на ефективність роботи систем радіоідентифікації великої рогатої худоби при використанні рідерів з рамковими антенами. Встановлено, що у таких системах достовірність читання кодів транспондерів у значній мірі залежить від відстані і взаємоорієнтації антен транспондерів і рідерів. Для підвищення достовірності читання кодів транспондерів запропоновано використовувати конструктив проходу тварин у якості двоконтурної просторової антени, що індуктивно пов'язана з антеною рідера.

Ключові слова: транспондер, радіоідентифікація тварин, рідер, доїльна установка, рамкова антена, індуктивний зв'язок.

V.Y.KUCHERUK, P.I.KULAKOV

Vinnytsia national technical university

Y.A.PALAMARCHUK

Vinnytsya national agrarian university

DUAL CIRCUIT RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION SYSTEM OF ANIMALS

This is analyzed the influence of technical and biological factors on the performance of radioidentification systems of cattle by using readers with loop antennas. It is found that the reliability of of reading transponders codes largely depends on the distance and interaction orientation of antennas and transponder readers. To improve the reliability of reading the transponder codes is suggested to use the constructive passage of animals as a two-dimensional antenna which inductively is connected with the antenna reader.

Keywords: transponder, radioidentification of animals, reader, milking machines, loop antenna, inductive coupling.

Вступ

Сучасне доїльно-молочне відділення тваринницької ферми не може ефективно функціонувати без систем автоматичного управління та інформаційно-вимірювальних систем зоотехнічних параметрів тварин та параметрів технологічного процесу отримання молока. Невід'ємними складовими вищевказаних систем є засоби ідентифікації тварин, за допомогою яких встановлюється номер тварини у групі або стаді, після чого проводиться вимірювання її зоотехнічних параметрів. В теперішній час використовується ідентифікація тварин на основі сканування сітківки ока, ідентифікація з використанням активних транспондерів з інфрачервоним портом, радіочастотна ідентифікація з використанням пасивних та активних транспондерів. Системи ідентифікації на основі сканування сітківки ока не отримали широкого розповсюдження внаслідок своєї складності, високої вартості та низької надійності, на разі у світі існує лише декілька експериментальних доїльних установок, обладнаних такими системами. Системи з використанням активних транспондерів з інфрачервоним портом вимагають наявності елементів їх живлення, що зумовлює необхідність їх періодичної заміни. Ця обставина ускладнює експлуатацію доїльної установки. Тому такі системи теж не отримали широкого розповсюдження. Найбільш розповсюдженими в теперішній час є системи радіочастотної ідентифікації тварин з пасивними транспондерами. Але, внаслідок певних технічних та біологічних факторів, кількість відмов таких систем досить велика. Виходячи з цього, подальше вдосконалення систем радіочастотної ідентифікації тварин з пасивними транспондерами є актуальним завданням. Проведені дослідження відносяться до теорії та практики проектування систем ідентифікації тварин та інформаційно-вимірювальних систем для доїльно-молочних відділень тваринницьких ферм.

Аналіз стану досліджень

Системи автоматизованого управління фермами передбачають широке використання різноманітних пристроїв автоматичної ідентифікації тварин. Одним з них є радіочастотний метод, заснований на зчитуванні унікального цифрового коду з транспондера, що встановлюється на тварині [1 - 3]. Зчитування цифрового коду здійснюється спеціальним пристроєм - рідером. Взаємодія рідера і транспондера здійснюється безконтактним методом з використанням радіозв'язку [4]. Завдяки радіопрозорості неметалевих перешкод (шкіра і тканини тварини, вода і пластикові деталі) можна здійснювати ефективну радіочастотну ідентифікацію під час доїння або руху тварин.

В залежності від обставин у тваринництві використовуються як активні, так і пасивні транспондери. Їх параметри регулюються міжнародними стандартами [5]. Особливістю перших є наявність в складі транспондера автономного джерела живлення. Завдяки йому досягається відносно велика відстань розпізнавання і можливість надання транспондеру додаткових функцій, наприклад, збирання і накопичення певної вимірювальної інформації. В скотарстві такі комбіновані пристрої часто використовуються для

отримання інформації про активність тварини, румінацію та інші параметри. Головними недоліками активних транспондерів є необхідність періодичної заміни джерела живлення і відносно велика вартість [6].

Пасивні транспондери працюють за рахунок енергії електромагнітного поля, що надходить від рідера. Рівень цієї енергії повинен мати достатню величину, щоби забезпечити живлення електронних компонентів транспондера. Такі умови досягаються тоді, коли транспондер знаходиться в зоні індукції коливальної системи рідера і на практиці ця відстань не перевищує декількох десятків сантиметрів.

Конструктивно такі транспондери представляють собою монолітні герметичні вироби, які закріплюються на вусі, носі або під шкірою тварини [4 - 6]. В середині них знаходиться котушка індуктивності, яка виконує функцію електромагнітної рамкової антени, пасивні, активні елементи і мікропроцесор. Принцип дії заснований на одержанні електромагнітного пакету певної частоти і тривалості, енергії якого достатньо для приведення у дію мікропроцесора і радіопередавача. Останній генерує у відповідь на запит рідера власний пакет даних з унікальним цифровим кодом транспондера. Цей пакет надсилається у ефір радіопередавачем транспондера за допомогою тієї ж самої антени. Рідер, з використанням синхронного детектування, дешифрує код транспондера [7], після чого цей код передається до сервера інформаційно вимірювальної системи. Сервер, в свою чергу, на основі отриманого коду транспондера, визначає номер тварини у стаді або групі. У випадку, якщо код транспондера не вдалося визначити, відбувається втрата зоотехнічної вимірювальної інформації, наслідком чого є зниження ефективності управління стадом [8]. Внаслідок цього, актуальним завданням є підвищення достовірності читання кодів транспондерів.

Постановка задачі

Традиційні одноконтурні системи радіоідентифікації тварин, як випливає з досвіду їх експлуатації, не завжди забезпечують достатню ефективність зчитування коду транспондерів під час їх руху. Особливо це стосується тих випадків, коли транспондери розташовані в вухах тварини. Ця обставина зумовлена тим, що існує велика зона можливого вертикального і горизонтального положення голови тварини, а також довільний кут просторової орієнтації транспондера, визначений поведінкою тварини. Виходячи з цього, необхідно створити двоконтурну антенну систему рідера, що дозволить суттєво розширити зону зчитування і таким чином збільшити ефективність розпізнавання транспондерів тварин. Для створення цієї антенної системи доцільно використати ефект взаємоіндукції між рамковою антенною панельного рідера і металевою конструкцією, на якій вона встановлюється.

Рішення проблеми

Згідно [5], засоби радіочастотної ідентифікації великої рогатої худоби повинні працювати на несучій частоті ≈ 134 кГц, що відповідає довжині хвилі $l \approx 2,2$ км. Внаслідок того, що геометричні розміри котушок індуктивних антен рідера і транспондера, а також відстань між ними, набагато менші за довжину хвилі електромагнітних коливань, їх енергетичну взаємодію можна представити у вигляді двох коливальних систем з індуктивним зв'язком між антенами, як наведено на рис.1.

Від значення коефіцієнту взаємоіндукції коливальних систем з індуктивним зв'язком між антенами залежить достовірність читання кодів транспондерів. Коефіцієнт взаємоіндукції між індуктивними антенами, що входять до складу коливальних систем рідера і транспондера, зворотно пропорційний квадрату відстані між транспондером та рідером та прямо пропорційний косінусу кута між площинами антен [3]. Таким чином, справедливий вираз

$$K_L \sim K_0 K_m \cos \alpha / l^2, \quad (1)$$

де K_0 - постійний коефіцієнт, який характеризує загальні втрати активного характеру у взаємозв'язаних коливальних контурах; α - кут між індуктивними антенами рідера та транспондера; l - відстань між геометричними центрами індуктивних антен рідера та транспондера; K_m - максимальний теоретично можливий коефіцієнт взаємоіндукції (при $|\cos \alpha| = 1, l = 0$).

З виразу (1) слідує, що відстань між рідером та транспондером в значній мірі впливає на достовірність зчитування коду транспондера. Іншим важливим фактором, який впливає на достовірність зчитування, є кут α між площинами індуктивних антен. У випадку його кратності $p/2$, коефіцієнт взаємоіндукції дорівнює нулю і зчитування коду транспондера неможливе. Максимальне значення коефіцієнту взаємоіндукції K_L при незмінній відстані досягається тоді, коли $|\cos \alpha| = 1$. З вищевказаного випливає, що для одержання максимального значення K_L слід забезпечувати паралельність площин

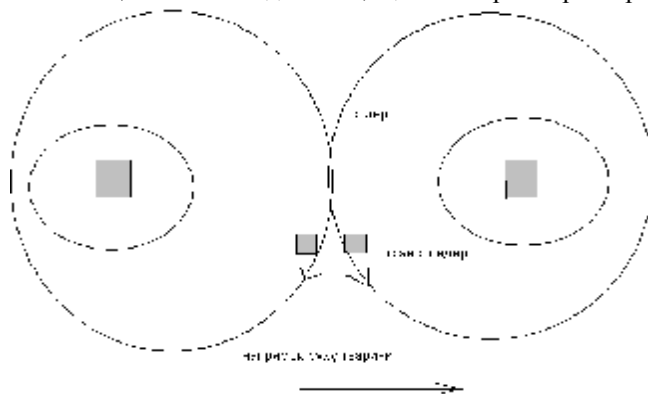


Рис.1. Коливальні системи з індуктивним зв'язком між антенами

індуктивних антен рідера та транспондера, та за можливістю зменшувати відстань між ними.

На практиці транспондери у тварин встановлюють у декілька способів. Одним з них є використання спеціального ошейника з важелем. Важіль забезпечує постійну орієнтацію транспондера по відношенню до вертикалі. Іншим способом, що забезпечує сталість орієнтації транспондера вздовж тіла тварини, є виконання його у вигляді спеціальної пластикової ампули, яка розташовується у травному тракті тварини.

Широко використовуються транспондери, які закріплюються на вухах тварини [6]. Маючи відносно невелику вартість, конструктивну простоту і відмінні експлуатаційні характеристики, вони не мають можливості бути чітко орієнтованими відносно антени рідера внаслідок рухливості вух тварини. Це означає, що в процесі взаємодії такого транспондера із рідером, величина куту α між ними може бути довільною.

Енергетичний взаємозв'язок коливальних контурів рідера і транспондера здійснюється магнітним полем взаємоіндукції. Для круглої котушкової антени напруженість магнітного поля визначається як

$$H = \frac{INa^2}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} \approx \frac{INa^2}{2r^3}, \quad (2)$$

I - струм в антені; N - кількість витків; a - радіус антенної котушки; r - відстань від антени.

З виразу (2) слідує, що для певного типу транспондера або рідера, де I , N та a є константами, напруженість магнітного поля зворотня до кубу відстані між антенами і складає -60 дБ/декаду. Напряга на антенному контурі, що збуджується змінним магнітним полем, визначається виразом [3]

$$U_A = 2 \cdot p \cdot m_0 \cdot Q \cdot N \cdot S \cdot H \cdot f \cdot \sin \alpha, \quad (3)$$

де f - частота поля; S - площа котушки індуктивної антени; Q - добротність індуктивної антени; m_0 - магнітна проникність вакууму.

Підставивши (2) в (3), одержуємо

$$U_A = p \cdot m_0 \cdot Q \cdot N^2 \cdot S \cdot f \cdot I \cdot a^2 \cdot \frac{\sin \alpha}{r^3}. \quad (4)$$

Із (4) слідує, що для певної модельної пари рідер-транспондер напруга в антенних контурах визначається відстанню і кутом між їх площинами. На практиці існує деяка порогова величина U_p , починаючи з якої може відбуватись ефективний обмін даними між транспондером і рідером. Для активних транспондерів вона є відносно низькою і обмежується пороговим співвідношенням сигнал/шум. Як правило порогове значення U_p для них лежить в межах від

десятиків до сотень мікровольт.

Для пасивних транспондерів визначальним є наявність достатньої для живлення електричних компонентів транспондера напруги, яка утворюється електромагнітним полем рідера. Тому порогове значення U_p для них на три-чотири порядки вище, ніж для активних транспондерів і складає одиниці вольт.

При використанні пасивних транспондерів закріплених на вухах тварини, найбільш варіативною

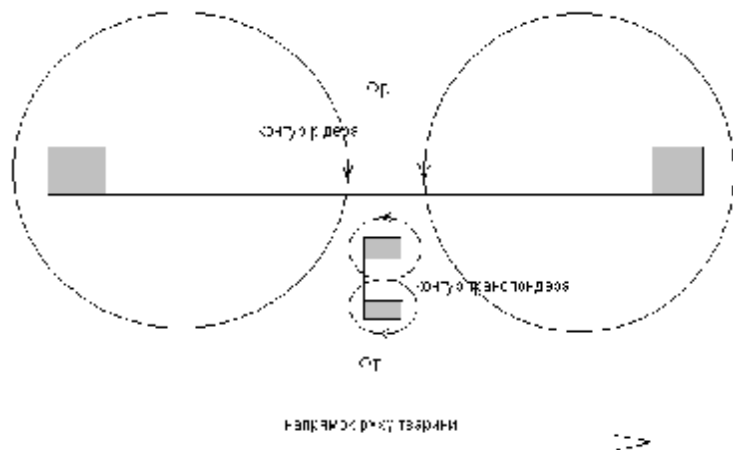


Рис.2. Утворення "мертвої зони" зчитування коду транспондера

величиною в (4) стає кут α , який може приймати будь-які значення в діапазоні від 0 до π . Відстань r між антенами рідера і транспондера може регулюватись конструктивними рішеннями для проходу тварин і тому не є настільки критичною, як α . При кутах близьких до $\pm\pi/2$ утворюється так звана "мертва зона" і зчитування коду транспондера стає неможливим. Цей ефект ілюструється за допомогою рис. 2. При кутах близьких до 0 або π , взаємоіндукція і відстань зчитування є максимальними. При інших кутах відстань зчитування стає меншою за максимальну.

На практиці, в процесі руху тварин вздовж рідера, просторова орієнтація транспондера може бути довільною, а його відстань від площини рідера також сильно змінюватись. Наприклад, голова тварини в момент проходження біля рідера може бути піднятою, опущеною донизу або ж повернута убік. У таких обставинах транспондер може бути виведений поза зону зчитування, що призведе до втрати інформації про тварину [6].

Для розширення зони зчитування пропонується використовувати двоконтурну ортогональну антену рідера, схематичне креслення якої наведено на рис. 3.

Контур a розташований вздовж руху тварини, а контур b представляє рамку, через яку тварина проходить. Збудження контурів відбувається від еквівалентного генератора, який викликає в контурах струми I_{a1} та I_{a2} . Внаслідок суперпозиції полів кожного контура, за умови ідентичності їх геометричних

розмірів та рівності струмів I_{a1} та I_{a2} , в дальній зоні буде одержана діаграма направленості, що є еквівалентною до діаграми направленості магнітної діпольної антени повернутої на кут $p/4$ [9]. В реальних умовах взаємодія відбувається в зоні індукції.

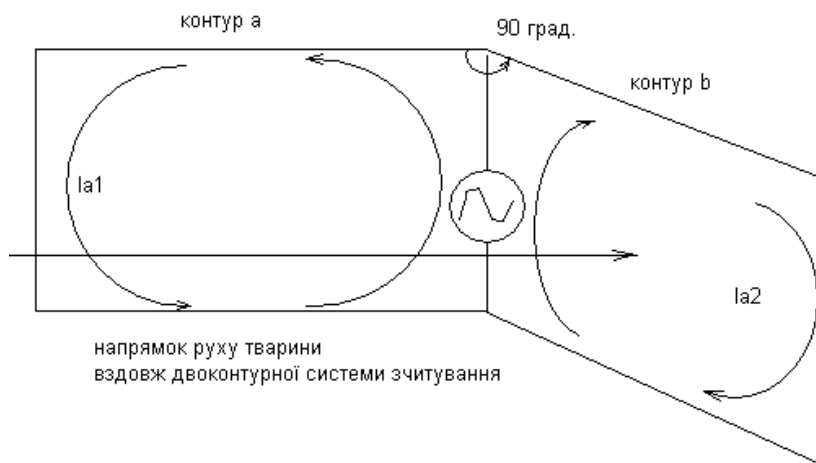


Рис.3. Двоконтурна ортогональна антена рідера

На рис. 4 наведено сімейство еквіпотенційних кривих поля рідера з двоконтурною ортогональною антеною і орієнтація транспондера, коли електромагнітний взаємозв'язок є мінімальним і зчитування коду є неможливим.

Розглядаючи рух тварини вздовж всієї системи стає очевидним, що при будь-якому початковому куті орієнтації її транспондера в процесі пересування, він обов'язково потрапляє в зону зчитування контуру *a* або контуру *b*.

Апробація результатів роботи

Для оцінки ефективності зчитування кодів одноконтурною і двоконтурною системами, була створена експериментальна установка на базі автоматизованої системи управління фермою "АСУ-Ферма-2" виробництва ВАТ "Брацлав". Експерименти проводились на базі одного з молочних господарств Черкаської області у два етапи. На першому етапі досліджувалась одноконтурна система, а на другому – двоконтурна. Дослідження одноконтурної системи походили на дійному стаді із 132 тварин, а двоконтурної на стаді із 128 тварин. В експериментах використовувались по дві незалежних системи зчитування, що монтувались у двох проходах до доїльного залу.

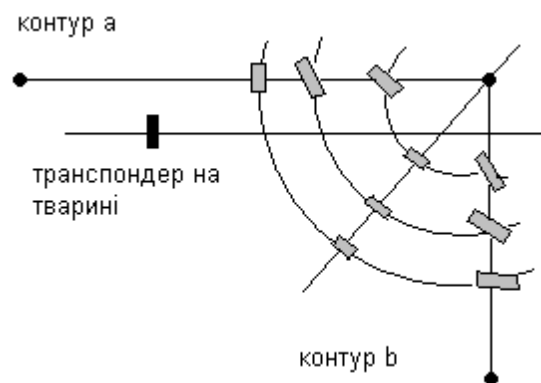


Рис. 4. Сімейство еквіпотенційних кривих поля рідера з двоконтурною ортогональною антеною

Таблиця 1

Результати порівняльного дослідження одноконтурної та двоконтурної систем радіочастотної ідентифікації

Результати зчитування		Одноконтурна система		Двоконтурна система	
		К-сть	%	К-сть	%
Успішно		244	61.6%	362	99.7%
Код не зчитаний	Транспондер над рідером	5	1.3%	-	0%
	Транспондер під рідером	14	3.5%	-	0%
	Поворот голови вправо	9	2.2%	-	0%
	Ортогональне розташування транспондера і рідера	34	8.6 %	-	0%
Всього не зчитано		52	13%	1	0.3%
Всього досліджено		396	100%	363	100%

У таблиці 1 наведені експериментальні результати, що були одержані при проходженні 396 тварин через описану систему зчитування (в дослідженнях використовувалось 132 дійні корови, які заходили до доїльного залу протягом 3 доїнь). Як слідує із таблиці 1, в 14 випадках коди транспондерів не були зчитані внаслідок низько опущеної голови. У 5 випадках тварини піднімали голову вище верхньої границі зчитування. У 9 випадках, коли транспондер проходив вздовж рідера, зчитування не відбувалось. Зазначимо, що відстань між транспондером і контуром зчитування була суттєво збільшеною через те, що тварина

тримала голову повернутою вправо і сам транспондер у цей момент знаходився перпендикулярно до площини рідера. У 34 випадках спостерігалось ортогональне взаєморозташування площин транспондера і рідера.

У той же час, функціонування двоконтурної системи зчитування надає суттєво кращі результати, ніж одноконтурна. З таблиць слідує, що процент успішних зчитувань кодів транспондерів збільшився з 61.6% (вибірка з 396 тварин) до 99.7% (вибірка з 363 тварин). Випадки не зчитування, характерні для одноконтурної системи, тут не спостерігались. Був зафіксований лише 1 епізод із невизначеною причиною, коли код транспондера не був зчитаний.

Висновки

1. Використання одноконтурних систем радіоідентифікації не забезпечують задовільні характеристики зчитування для випадків використання вушних транспондерів в процесі руху тварин.

2. Основними чинниками ненадійного зчитування є велика зона можливого вертикального і горизонтального положення голови тварини, а також довільний кут просторової орієнтації транспондера, визначений поведінкою тварини.

3. Головною причиною відсутності зчитування коду в одноконтурних системах є ортогональне розташування площин антен транспондера і рідера.

4. Використання двоконтурної антенної системи рідера дозволяє суттєво розширити зону зчитування і таким чином збільшити точність розпізнавання тварин.

5. Використання ефекту взаємодії між рамковою антеною панельного рідера і металевою конструкцією, на якій вона встановлюється, надає можливість розширювати зону зчитування в заданій площині і необхідному напрямку.

6. Використання вушних транспондерів у системах, де зчитування їх коду відбувається в процесі руху тварин теоретично не дозволяє одержати 100% розпізнавання і вимагає використання додаткових технічних рішень.

Література

1. AIMI. 1998. Radio Frequency Identification RFID- A basic primer. AIM International, Inc. white paper. Document version: 1.1.
2. Babot, D., M. Hernández-Jover, G. Caja, C. Santamarina, and J. J. Ghirardi. 2006. Comparison of visual and electronic identification devices in pigs: On-farm performances. *J. Anim. Sci.* 84:2575-2581.
3. Domdouzis, K., B. Kumar, C. Anumba. 2007. Radio-frequency identification (RFID) applications: A brief introduction. *Adv. Engineering Informatics* 21:350-355.
4. RFID Journal // <http://www.rfidjournal.com>
5. ISO 11784/85. Radio frequency identification of animals. // <http://www.iso.org>
6. Allflex Electronic ID // <http://www.allflexusa.com>
7. Bryant, A.M. 2007. Performance of ISO 11785 low-frequency radio frequency identification devices for cattle. M.S. Thesis, Kansas State Univ., Manhattan.
8. Bryant, A. M., D. A Blasi, B. B. Barnhardt, M. P. Epp, and S. J. Glaenger. 2006. Variation in performance of electronic cattle ear tags and readers. Kansas State University, Beef Cattle Research, Report of Progress, 978.
9. Basarab, J. A., L. Erickson, J. Kopp, K. Claypool, D. Milligan, and B. Smith. 2006. Read rate on two multi-panel RFID reader systems for use in beef cattle. AAFRD New Initiative Fund, Project Number: 2005007. Alberta, CA.

References

1. AIMI. 1998. Radio Frequency Identification RFID- A basic primer. AIM International, Inc. white paper. Document version: 1.1.
2. Babot, D., M. Hernández-Jover, G. Caja, C. Santamarina, and J. J. Ghirardi. 2006. Comparison of visual and electronic identification devices in pigs: On-farm performances. *J. Anim. Sci.* 84:2575-2581.
3. Domdouzis, K., B. Kumar, C. Anumba. 2007. Radio-frequency identification (RFID) applications: A brief introduction. *Adv. Engineering Informatics* 21:350-355.
4. RFID Journal // <http://www.rfidjournal.com>
5. ISO 11784/85. Radio frequency identification of animals. // <http://www.iso.org>
6. Allflex Electronic ID // <http://www.allflexusa.com>
7. Bryant, A.M. 2007. Performance of ISO 11785 low-frequency radio frequency identification devices for cattle. M.S. Thesis, Kansas State Univ., Manhattan.
8. Bryant, A. M., D. A Blasi, B. B. Barnhardt, M. P. Epp, and S. J. Glaenger. 2006. Variation in performance of electronic cattle ear tags and readers. Kansas State University, Beef Cattle Research, Report of Progress, 978.
9. Basarab, J. A., L. Erickson, J. Kopp, K. Claypool, D. Milligan, and B. Smith. 2006. Read rate on two multi-panel RFID reader systems for use in beef cattle. AAFRD New Initiative Fund, Project Number: 2005007. Alberta, CA.

Рецензія/Peer review : 8.5.2014 р. Надрукована/Printed :25.6.2014 р.