

Mariusz ŚWIDERSKI*, Adam GULCZYŃSKI*, Jerzy BIERNACKI**

MINIMALIZACJA ZNACZNIKÓW REZONANSOWYCH DLA MAGNETOAKUSTYCZNEGO SYSTEMU ANTYKRADZIEŻOWEGO

Systemy antykradzieżowe EAS stosowane są na przykład w sklepach lub bibliotekach w celu sygnalizacji kradzieży towaru. Przykładowy system antykradzieżowy EAS składa się: anteny nadawczej, anteny odbiorczej i znaczników nazywanych również tagami, metkami lub klipsami. Dla konsumenta znacznik jest tym elementem systemu, z którym ma on bezpośredni kontakt. Znaczniki są instalowane na przeróżnych artykułach dostępnych w sklepie od asortymentu rozmiaru długopisu poprzez kurtki i płaszcze, a kończąc na telewizorach i rowerach. Stąd estetyka, a głównie wielkość znacznika nie może zakłócać konsumentowi możliwości dokładnych oględzin danego towaru jak również nie może zakłócać jego właściwości użytkowych. W pracy przedstawiono sposób minimalizacji wymiarów znacznika przy zachowaniu wymaganej odległości detekcji.

SŁOWA KLUCZOWE: System antykradzieżowy, system magnetoakustyczny, znacznik alarmu, klips.

1. SYSTEMY ANTYKRADZIEŻOWE

Systemy antykradzieżowe EAS (Electronic Article Surveillance) stosowane są na przykład w sklepach lub bibliotekach w celu sygnalizacji kradzieży towaru. Przykładowy system antykradzieżowy EAS przedstawia rysunek 1. W skład systemu wchodzi: antena lub anteny nadawcze, antena lub anteny odbiorcze, znaczniki nazywane również tagami, metkami lub klipsami.

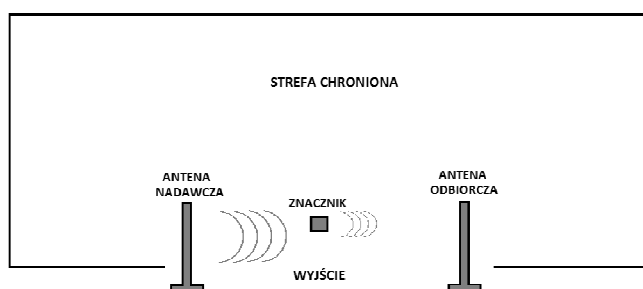
Anteny nadawcze i odbiorcze zamontowane są na wyjściu chronionej strefy w której znajdują się chronione towary z przytwierdzonymi znacznikami. Pracownicy chronionej strefy deaktywują lub usuwają znaczniki w przypadku gdy towar został prawidłowo zakupiony lub wypożyczony. W przeciwnym przypadku, gdy aktywny znacznik znajdzie się w pobliżu anten zostanie wywołany alarm.

Anteny nadawcze generują sygnał w postaci fali elektromagnetycznej. Generowany sygnał dociera do znaczników, pobudza je do drgań, wyniku czego

* Politechnika Poznańska

** Complex – System

znaczniki generują odpowiedź również w postaci fali elektromagnetycznej. Odpowiedź znacznika dociera do anteny odbiorczej i wywołuje alarm [1].



Rys. 1. System antykradzieżowy EAS

Podstawowe typy systemów antykradzieżowych EAS to: systemy radiowe, magnetoakustyczne (AM), elektromagnetyczne [2]. Systemy te różnią się częstotliwością pracy systemu (częstotliwością pola elektromagnetycznego generowanego przez antenę nadawczą), budową znacznika, obwodem detekcji oraz algorytmem przetwarzania odpowiedzi znacznika. Różnice te wpływają na wydajność systemów.

System magnetoakustyczny łączy w sobie różne technologie, a dzięki czemu umożliwia detekcję znacznika z stosunkowo dużej odległości przy założeniu stosunkowo małych gabarytów znacznika, charakteryzuje się wysoką odpornością na zakłócenia oraz wysoką wydajnością nawet w przypadku prób ekranowania znaczników. W systemie AM anteny posiadają stosunkowo wąskie pasmo, około 600Hz i nadają sygnał z częstotliwością 58 kHz. Wysoka wydajność systemu oraz zdolność do wykrycia stosunkowo małych znaczników znajdujących się w dużej odległości od anteny wynika z budowy znaczników. Znaczniki wykonane są jako klipsy lub etykiety. Klips zbudowany jest z klasycznej cewki nawiniętej na rdzeniu oraz kondensatora. Natomiast etykiety wykonane z materiału magnetostrykcyjnego, materiał ten kurczy się pod wpływem pola magnetycznego i wpada w rezonans mechaniczny. Materiał magnetostrykcyjny kurczy się niezależnie od kierunku pola, w przypadku gdy znajduje się w polu o częstotliwości f , materiał drga z częstotliwością $2f$. W celu uzyskania tej samej częstotliwości drgań pola anteny i etykiety, w etykietce znajduje się ferromagnetyk wprowadzający pewne stałe pole do etykiety. Poprzez zastosowanie dodatkowego stałego pola, materiał magnetostrykcyjny kurczy się dla jednej pół-fali pola anteny i rozszerza się dla drugiej pół-fali pola, a przez co generuje odpowiedź z częstotliwością f . Zaletą systemu AM jest możliwość aktywacji lub dezaktywacji etykiet, poprzez namagnesowanie lub rozmagnesowanie ferromagnetyka znajdującego się w etykietce. Dezaktywacja etykiety nie uszkadza etykiety.

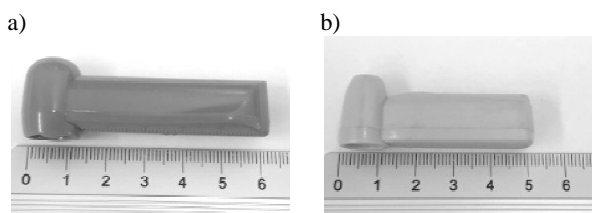
Dąży się do minimalizacji rozmiarów znaczników ponieważ znaczniki instalowane na różnych artykułach, małych takich jak długopisy, pamięci flash oraz

dużych np. ubraniach lub sprzętach AGD [3]. Wielkość znacznika nie powinna utrudniać zakupów oraz zasłaniać towarów. Minimalizacja rozmiarów oraz wagi akcesoriów systemu może wpłynąć pozytywnie na mniejsze zużycie materiałów w trakcie procesu produkcyjnego, jak również zmniejszy ryzyko zniszczenia produktu na przykład delikatnego materiału w przypadku odzieży.

2. OPRACOWANIE ZMNIJSZONEGO ZNACZNIKA DLA MAGNETOAKUSTYCZNEGO SYSTEMU ANTYKRADZIEŻOWEGO

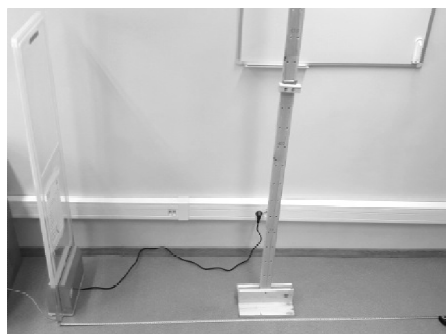
2.1. Badania znaczników rezonansowych dla systemu magnetoakustycznego

Znaczniki rezonansowe stosowane dla systemu magnetoakustycznego przedstawia rysunek 2. Przedstawione znaczniki różnią się wielkością oraz odległością detekcji [4]. W dalszej części pracy przyjęto następujące nazwy klipsów: „Znacznik nr 1” dla większego klipsa, „Znacznik nr 2” dla mniejszego klipsa.

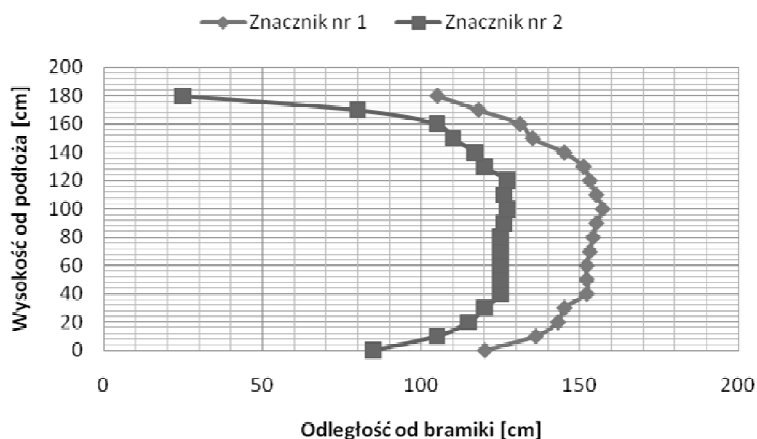


Rys. 2. Znaczniki stosowane w systemach magnetoakustycznych,
a) znacznik nr 1 b) znacznik nr 2

Przeprowadzono badania znaczników, stanowisko testowe umożliwiające sprawdzenie odległości wykrycia znacznika przedstawia rysunek 3. Wyniki pomiarów zamieszczono na wykresie (rys. 4).

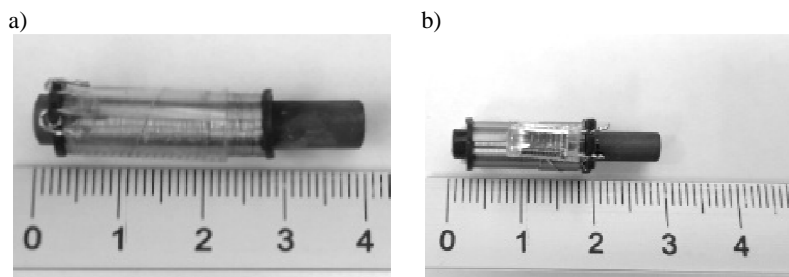


Rys. 3. Stanowisko testowe pomiaru odległości wykrycia znacznika



Rys. 4. Charakterystyka maksymalnej odległości znacznika od bramki, przy której następuje wykrycie znacznika dla: a) znacznika nr 1 b) znacznika nr 2

Zbadano struktury znaczników dla systemu magnetoakustycznego (rys. 5). Obwód rezonansowy składa się z cewki nawiniętej na rdzeń oraz kondensatora. Układ stanowi obwód rezonansowy LC. Wykonano pomiary elementów elektronicznych oraz wykonano obliczenia parametrów obwodu rezonansowego. Wyniki pomiarów i obliczeń zamieszczono w tabeli 1.



Rys. 5. Struktura wewnętrzna znaczników a) znacznik nr 1 b) znacznik nr 2

Przykładowe obliczenia przedstawiono poniżej. Permeancja rdzenia:

$$Al = \frac{L}{n^2} = \frac{7,38 \cdot 10^{-3}}{450^2} = 36,44 \text{ nH}. \quad (1)$$

Przekrój drutu nawojowego:

$$s = \rho \frac{l}{R} = 1,72 \cdot 10^{-8} \frac{10,8}{18,11} = 0,0103 \text{ mm}^2, \quad (2)$$

gdzie: ρ – rezystywność miedzi, l – długość drutu nawojowego, R – rezystancja drutu nawojowego.

Częstotliwość rezonansowa:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{7,38 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^{-9}}} = 58,59 \text{ kHz}, \quad (3)$$

gdzie: C – pojemność kondensatora.

Dobroć cewki:

$$Q = \frac{2\pi f_0 L}{R} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 58,59 \cdot 10^3 \cdot 7,38 \cdot 10^{-3}}{18,11} = 149,98. \quad (4)$$

Szerokość pasma:

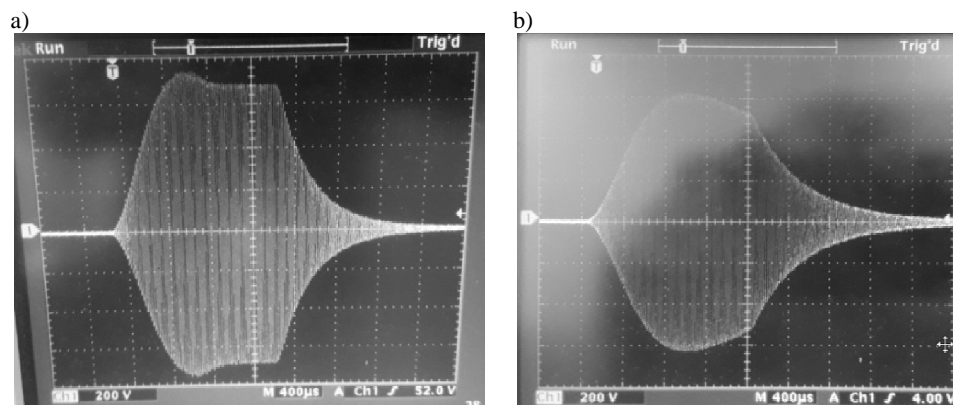
$$\Delta f = \frac{R}{2\pi L} = \frac{f_0}{Q} = \frac{58,59 \cdot 10^3}{149,98} = 390 \text{ Hz}. \quad (5)$$

Tabela 1. Parametry znaczników przeznaczonych dla systemu magneto akustycznego.

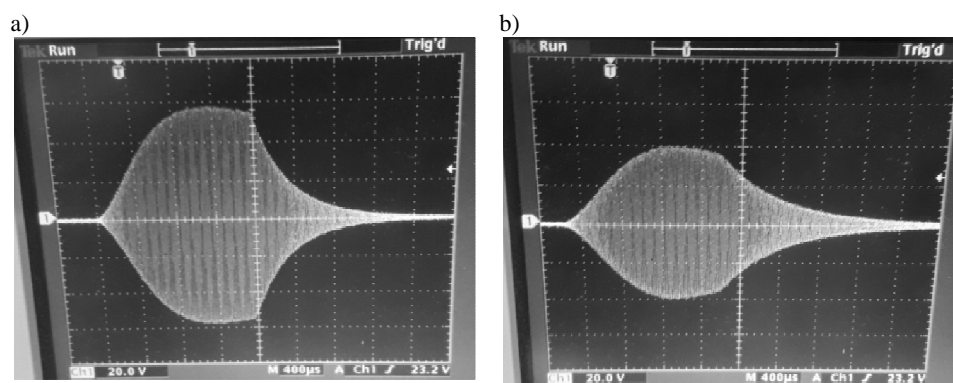
Parametr	Znacznik nr 1	Znacznik nr 2	Jednostka
Wyniki pomiarów			
Indukcyjność cewki	7,38	4,43	mH
Rezystancja cewki	18,11	10,64	Ohm
Pojemność kondensatora	1	1,77	nF
Liczba zwojów	450	450	–
Długość drutu nawojowego	10,8	7,7	m
Permeancja AL	36,44	21,09	nH
Długość rdzenia	39	28	mm
Średnica rdzenia	6	4	mm
Długość karkasu	28	15	mm
Średnica karkasu	7	5	mm
Wyniki obliczeń			
Przekrój drutu nawojowego	0,0103	0,0124	mm ²
Częstotliwość rezonansowa	58,59	57,89	kHz
Dobroć	149,98	146,00	–
Szerokość pasma	390	400	Hz

Zbadano przebiegi wielkości elektrycznych występujących w obwodzie znacznika znajdującego się w pobliżu bramki. Na rysunku 6 przedstawiono przykładowe przebiegi napięć na kondensatorze w obwodzie znacznika dla odległości 20 cm od bramki. Na rysunku 7 przedstawiono przykładowe przebiegi napięć na kondensatorze w obwodzie znacznika dla maksymalnej odległości wykrycia znacznika. Napięcie na kondensatorze zbadano za pomocą oscyloskopu oraz sondy napięciowej, zaciski sondy napięciowej przyłożono do zacisków kondensatora. W odległości 20 cm od bramki dla znacznika nr 1 na kondensato-

rze pojawia się napięcie o amplitudzie około 750 V natomiast dla znacznika nr 2 około 600 V. Dla maksymalnej odległości przy której następuje detekcja znacznika amplituda napięcia na kondensatorze wynosi 60 V dla znacznika nr 1 i 40 V dla znacznika nr 2.



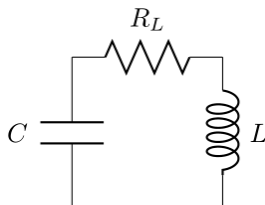
Rys. 6. Przebieg napięcia na kondensatorze znacznika znajdującego się w odległości 20cm od bramki a) znacznik nr 1 b) znacznik nr 2



Rys. 7. Przebieg napięcia na kondensatorze znacznika dla maksymalnej odległości wykrycia znacznika a) znacznik nr 1 b) znacznik nr 2

2.2. Wymagania dla znacznika

Zaproponowano schemat zastępczy obwodu znacznika (rys. 8) oraz określono wymagania dla jego parametrów.



Rys. 8. Schemat zastępczy znacznika

Dokładność parametrów L i C wpływa na wartość częstotliwości granicznej obwodu rezonansowego. Anteny stosowane w bramkach posiadają pasmo 600 Hz. Z czego wynika że częstotliwość graniczna obwodu rezonansowego znacznika powinna należeć do zakresu od 57,7 kHz do 58,3 kHz. Założenie dokładności elementów znacznika L i C na poziomie 0,5% daje następującą najmniejszą częstotliwość rezonansową:

$$f_{0(\min)} = \frac{1}{2\pi\sqrt{1,05L \cdot 1,05C}} = 0,952 \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}, \quad (6)$$

oraz największą częstotliwość rezonansową:

$$f_{0(\max)} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0,95L \cdot 0,95C}} = 1,052 \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}. \quad (7)$$

Z powyższego wynika że przy założeniu dokładności elementów znacznika L i C na poziomie 0,5% otrzymujemy dokładność częstotliwości rezonansowej na poziomie 0,5%, a dzięki temu częstotliwość rezonansowa znacznika będzie należała do pasma anteny.

Wyniku pobudzenia znacznika do drgań przez antenę nadawczą, w znaczniku występują drgania w pewnym przedziale czasu. Czas trwania drgań zależy od dobroci układu. Zbudowano model symulacyjny. Przeprowadzono badania symulacyjne i wyznaczono optymalną wartość dobroci $Q=150$, a przez co uzyskano odpowiedni czas trwania drgań.

Z przebiegów na rysunku 6 wynika poziom napięcia na kondensatorze. Napięcie przebicia kondensatora przyjęto na poziomie 1 kV.

2.3. Realizacja znaczników rezonansowych

Dokonano przeglądu materiałów magnetycznych oraz wybrano rdzenie do budowy prototypów znaczników. Dla każdego rdzenia wyznaczono jego permeancję A_L oraz wyznaczono średnią rezystancję uzwojenia przypadającą na jeden zwój dla wybranych przekrojów poprzecznych drutu nawojowego. Dla każdego rdzenia oraz dla wybranych drutów nawojowych wyznaczono liczbę zwojów przy której otrzymano założoną wartość dobroci Q :

$$Q = \frac{2\pi f_0 n^2 A_L}{nR_{1z}}. \quad (8)$$

gdzie:

n – liczba zwojów cewki,

A_L – permeancja rdzenia,

R_{1z} – rezystancja uzwojenia cewki przypadająca na jeden zwój.

Z powyższego wzory wynika liczba zwojów:

$$n = \sqrt{\frac{QR_{1z}}{2\pi f_0 A_L}}. \quad (9)$$

Następnie wyznaczono indukcyjność cewki:

$$L = n^2 A_L, \quad (10)$$

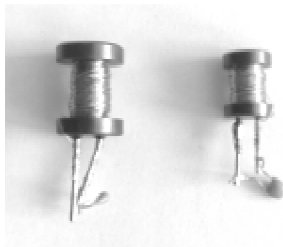
pojemność kondensatora:

$$C = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 L}, \quad (11)$$

oraz rezystancję uzwojenia:

$$R = nR_{1z}. \quad (12)$$

Wybrane przykładowe układy doświadczalne znaczników przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 9. Przykładowe układy doświadczalne znaczników

Z uwagi na to że dostępne wartości pojemności kondensatorów określone są poprzez typoszeregi, zaproponowano drugi sposób wyznaczania parametrów znaczników. Dla wybranych rdzeni i dla dostępnych wartości pojemności wyznaczono wymaganą indukcyjność, liczbę zwojów i wymaganą rezystancję uzwojenia z poniższych wzorów. Indukcyjność cewki:

$$L = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C}. \quad (13)$$

gdzie:

f_0 – częstotliwość rezonansowa,

C – pojemność kondensatora.

Liczba zwojów:

$$n = \sqrt{L / A_L}, \quad (14)$$

gdzie: A_L – permeancja rdzenia.

Wymagana rezystancja uzwojenia cewki:

$$R = \frac{2\pi f_0 L}{Q}. \quad (14)$$

gdzie: Q – wymagana wartość dobroci obwodu rezonansowego.

Wyniki obliczeń uzyskane za pomocą drugiej metody doboru parametrów przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Obliczenia doboru parametrów dla znaczników.

Rdzeń	Nazwa		R-18	RS9	RS8	RS6
	Długość	mm	19	12	10	8
	Średnica	mm	4	9/4/9	8/4/8	6/3/6
	Materiał		nn	AN65H	AN65H	AN65H
	Permeancja	nH	14,815	41,500	36,600	29,900
Drut nawojowy	Średnica	mm	0,125	0,09	0,09	0,09
	Przekrój	mm ²	0,0123	0,00636	0,00636	0,00636
	rezystancja zwoju	Ohm	0,02364	0,04147	0,04080	0,03312
Parametry znacznika	n		657	411	459	456
	L	mH	6,392	7,022	7,707	6,21
	C	nF	1,178	1,072	0,977	1,21
	R	Ohm	15,529	17,060	18,724	15,10
Rdzeń	Nazwa		RW3/15	RW2/13	RW-4,0X20	RW-3,0X15
	Długość	mm	15	13	20	15
	Średnica	mm	3	2	4	3
	Materiał		AN25H	AN25H	E2D	E2D
	Permeancja	nH	21,400	14,330	22,600	17,100
Drut nawojowy	Średnica	mm	0,1	0,1	0,1	0,118
	Przekrój	mm ²	0,00785	0,00785	0,00785	0,0109
	rezystancja zwoju	Ohm	0,03073	0,02099	0,03681	0,02530
Parametry znacznika	n		591	603	670	609
	L	mH	7,48	5,21	10,16	6,34
	C	nF	1,01	1,45	0,74	1,19
	R	Ohm	18,17	12,66	24,67	15,41

3. PODSUMOWANIE

W ramach wykonanych prac wykonano badania właściwości elektromagnetycznych i użytkowych znaczników przeznaczonych dla systemu AM w oparciu o aktualnie dostępne egzemplarze. Opracowano matematyczny model znacznika AM i określono wymagania dla celów projektowych. Podczas prac laboratoryjnych wykonano modele doświadczalne wybranych znaczników AM i przeprowadzono ich badania. Badania potwierdzają tezę, że istnieje możliwość minimalizacji znacznika.

LITERATURA

- [1] Notes on Inductive RFID. <https://www.coursehero.com/file/10179378/Notes-on-Inductive-RFID/>.
- [2] Electronic article Surveillance, https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_article_surveillance.
- [3] Finkenzeller K., RFID Handbook, 3rd ed. Oxford: Clarendon, 2010, pp.47–77.
- [4] Rathod J., Bhumi B., A Comparative Study of Electronic Article Surveillance (EAS) System., At International Conference on Signals, Systems & Automation (ICSSA-11), 2011.

MINIMIZATION OF RESONANT MARKERS FOR THE MAGNETOACOUSTIC ANTI-THEFT SYSTEM

EAS anti-theft systems are used, for example, in shops or libraries to signal the theft of goods. The exemplary anti-theft system EAS consists of: a transmitting antenna, a receiving antenna and tags also called tags, tags or clips. For the consumer, the tag is the element of the system with which he has direct contact. The marker is installed on various items available in the store from the assortment of the size of a pen, through jackets and coats, and ending with televisions and bicycles. Therefore, the aesthetics, and mainly the size of the tag, can not distort the consumer's ability to inspect the goods accurately, nor can they interfere with its functional properties. The paper presents a method of minimizing the dimensions of the marker while maintaining the required detection distance.

(Received: 15.02.2019, revised: 12.03.2019)