

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА МОДУЛ ЗА ПРЕДАВАНЕ НА ЦИФРОВИ ДАННИ В ПЛИТКОВОДНА СРЕДА

СТОЯН КОЛЕВ^{*}, БИСТРА НЕНОВА
и ИВАН ИВАНОВ

*Институт по металознание, съоръжения и технологии
с Център по хидро- и аеродинамика „Акад. Ангел Балевски“,
Българска академия на науките,
бул. Шипченски проход № 67, 1574 София, България,
e-mails: s_kolev@abv.bg; bistranenova@hotmail.com; ivo1942@abv.bg*

Резюме. Проведено е експериментално изследване на модул за предаване на цифрови данни в плитководна среда посредством хидроакустични вълни. Дистанционният пренос на данни се осъществява чрез кодиране на числата, като импулсни поредици от двойка интегрални схеми MC145026/MC145028, формиране на импулсни пакети с ултразвуков честотен спектър и хидроакустична антена. Експериментите са проведени в реални природни условия. Изследвано е влиянието на времетраенето на полупериода на такта, на базата на който се формират времевите параметри на кодиращите импулси. Получените резултати показват, че удължаването на времетраенето на полупериода на такта на предаваните кодиращи импулси до 5 ms дава по-добри резултати, като води до увеличаване на броя на декодираните числа. В плитки води се наблюдава несигурно приемане на предадените данни, поради силни смущения от отразени сигнали, при отсъствие на фалшиво декодирани числа. Сигурността на предаване би могла да се гарантира чрез двупосочна комуникация с обратна връзка от приемника към предавателя.

Ключови думи: подводно предаване на данни, хидроакустична комуникация.

1. УВОД

Безжичното предаване на данни под вода се осъществява посредством три основни технологии [1, 2]. Оптичните системи, за предпочитане в синьо-зелената дължина на вълната, постигат сравнително високоскоростна комуникация при ограничен обхват на разстоянието между предавател

^{*} Corresponding author.

DOI: 10.7546/EngSci.LVI.19.02.03

и приемник [3]. За предаване на данни на кратки разстояния с висока скорост могат да бъдат използвани електромагнитни вълни в радиочестотния обхват [4, 5]. Най-широко използваната технология за безжична комуникация под вода използва акустични вълни, които могат да се разпространяват на големи разстояния и позволяват най-дългия диапазон на комуникация [6, 7]. Подводното предаване на данни е затруднено от редица фактори [8]. Честотно зависимото затихване на акустичните вълни обуславя използването на ниски честоти [9], като честотната лента, налична за комуникация, е силно ограничена. Акустичната система е засегната от многолъчево разпространяване на сигналите, дължащо се на отражение и рефракция, което води до сериозна междусимволна интерференция. Комуникационният канал е с променливи във времето и пространството характеристики. Ниската скорост на разпространение на звука под вода (около 1500 m/s) е свързана при движение със значителен Доплеров ефект. В сравнение с наземната комуникация, използваща електромагнитни вълни, подводната акустична комуникация има ниски скорости на пренос на данни.

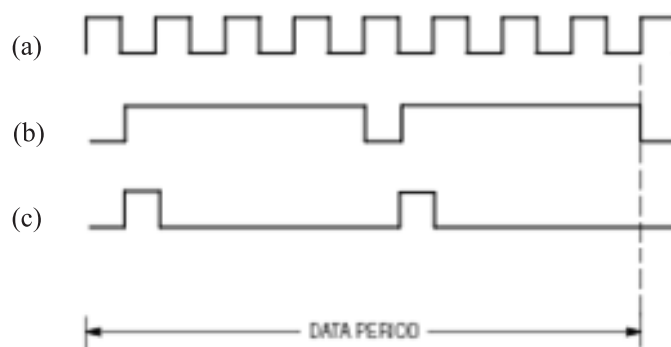
Предмет на настоящата статия е експериментално изследване на модул за акустично предаване на цифрови данни в плитки води.

2. МОДУЛ ЗА ПРЕДАВАНЕ НА ЦИФРОВИ ДАННИ ВЪВ ВОДНА СРЕДА

2.1. Кодиране/декодиране на предаваната числова информация

При реализацията на модула за предаване на цифрови данни във водна среда е използвана двойката кодираща/декодираща електронна схема MC145026/MC145028 [10]. Тези устройства са проектирани да бъдат използвани, като двойки кодер/декодер, в приложения с дистанционно управление и интерфейси с радиочестотни, ултразвукови или инфрачервени модулатори и демодулатори. Кодерът MC145026 кодира информацията от 9 входни линии и я предава серийно. Деветте линии могат да бъдат кодирани с двоични данни (ниско или високо ниво) или троични данни (ниско ниво, високо ниво и отворено състояние). При работа с двоични данни са възможни 512 кодови комбинации. Всяка предавана двоична цифра се кодира чрез импулсна поредица, както е показано на времедиаграмите на *фиг. 1*. Тактовата честота, използвана за кодиране на данните, се задава от осцилатора на кодера посредством свързване на външна RC верига. Алтернативно е възможно подаването на тактов сигнал от външен източник.

Логическата „нула“ (ниско състояние) се кодира като два последователни къси импулса, а логическата „единица“ (високо състояние) – като два последователни дълги импулса. Всеки две последователни 9-цифрени поредици, наричани още „думи“, са отделени от пауза (ниско ниво) с времетраене еквивалентно на три цифри. За по-голяма сигурност на предаване на данните, се изисква две еднакви числови думи да бъдат последователно получени от декодера MC145028. Външно свързани към декодера RS групи задават времеконстанти за декодиране, съобразени с тактовия период на кодера. Декодерът подава изходен сигнал за валидни данни, когато състоянията на локалните му адресни входове съвпадат с декодираната дума.



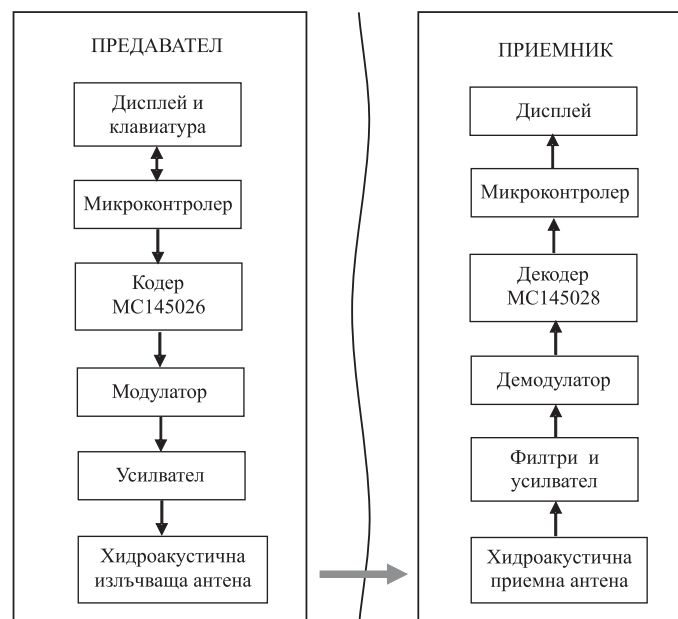
Фиг. 1. Кодиране на двоичните цифри при схеми MC145026/MC145028: (a) тактови импулси; (b) кодирана „единица“; (c) кодирана „нула“

Fig. 1. Encoding of binary digits in integrated circuits MC145026/MC145028: (a) clock pulses; (b) encoded “one”; (c) encoded “zero”

2.2. Блокова схема на устройството

Блоковата схема на предложения модул за предаване на кодирани цифрови данни във водна среда е представена на *fig. 2*.

Предавателят и приемникът работят под микроконтролерно управление. В предавателя се въвежда число за дистанционно предаване (между 0 и 511) посредством клавиатура и дисплей. Числото се преобразува в двоичен вид и се подава на кодера MC145026. Получените на изхода на интегралната схема кодиращи импулсни поредици се заместват в модулятора с пакети импулсни сигнали, с две различни честоти от ултразвуковия



Фиг. 2. Блокова схема на модул за предаване на кодирани цифрови данни във водна среда
Fig. 2. Block diagram of the module for transmitting encoded digital data in water environment

честотен спектър [11]. Импулсните пакети след усилване се подават към пиезокерамична хидроакустична антена, която ги преобразува в хидроакустични вълни.

В приемника хидроакустичните сигнали се възприемат и преобразуват в електрически импулси посредством приемна антена, аналогична на използваната в предавателя. Чрез филтриране, усилване и демодулиране на входните импулси се формира импулсна поредица, която се подава на входа на декодера MC145028. При наличие на валидно декодирано число, то се прочита от микроконтролера и се индицира върху дисплея.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

Проведено е експериментално изследване на работата на предложеното устройство за подводно предаване на данни. То е тествано в реални природни условия при дистанционен обмен на данни в плитководен басейн

(Панчарево). По време на експериментите е работено с разстояние предавател/приемник до 1 km, а дълбочината на потапяне на предавателя и приемника е до 2 m.

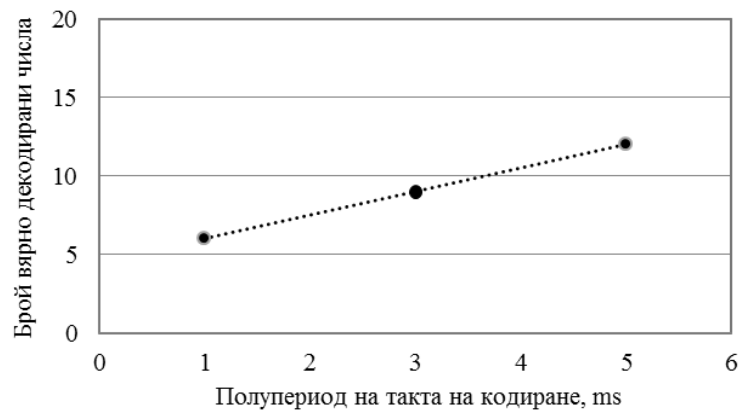
Работата на устройството е изследвана при предаване на данни в условията на плитки води с дълбочина до 10 m. Обект на изследване е влиянието на времетраенето на полупериода на такта, на база на който се формират времевите параметри на кодиращите импулси. Съгласно спецификацията на кодер MC145026 се препоръчва работа при тактова честота над 1 kHz, която отговаря на полупериод на такта по-малък от 0,5 ms. Като причина се изтъква възможно възникване на чувствителност към външно индуцирани шумови сигнали при честоти под 1 kHz. При предварителни експерименти на работата на устройството обаче се установи силно нарастващ брой на недекодираните числа при времетраене на полупериода на такта под 0,5 ms. По тази причина е възприето да се работи извън препоръчителния обхват на работа на кодера. За целите на настоящото изследване са използвани 3 различни полупериода на такта на кодиране: 1 ms, 3 ms и 5 ms. За всеки от трите различни полупериода на такта на кодиране са излъчвани по 20 числа (в обхвата от 0 до 511) при няколко различни локализации на предавателя и приемника. Отчетен е броят на вярно декодираните числа, на недекодираните числа и на фалшиво декодираните числа. Резултатите са дадени в *табл. 1*. На *фигура 3* е представен графично броят вярно декодирани числа в зависимост от полупериода на такта на кодиране.

Получените резултати показват, че, в плитки води, броят на недекодираните числа е близък до броя на вярно декодираните, най-вероятно поради високоамплитудни смущения, вследствие на отразени сигнали и променливите характеристики на комуникационния канал. Удължаването на времетраенето на полупериода на такта на кодиране от 1 ms до 5 ms води до увеличаване на броя на декодираните числа. Това може да се обясни с възможността за по-голямо затихване на отразените сигнали от излъче-

ТАБЛИЦА 1. Експериментални резултати

TABLE 1. Experimental results

Плитки води с дълбочина до 10 m			
Полупериод на такта, ms	1	3	5
Брой вярно декодирани числа	6	9	12
Брой недекодирани числа	14	11	8
Брой фалшиво декодирани числа	–	–	–



Фиг. 3. Брой вярно декодирани числа в зависимост от полупериода на такта на кодиране

Fig. 3. The number of correctly decoded numbers versus the oscillator half-period

ните импулсни пакети. От друга страна, увеличаването на полупериода на такта води до увеличено време за предаване на едно кодирано число, респективно до намаляване на скоростта на пренос на данните. Двукратното излъчване на кодирано число при 1 ms полупериод на такта трае около 0,38 sec, а при 5 ms полупериод на такта – около 1,92 sec.

Във всички случаи, устройството се представя много добре по отношение на фалшиво декодираните числа, като по време на експериментите такива не са установени.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработен е модул за предаване на кодирани цифрови данни във водна среда посредством хидроакустични сигнали. За кодиране/декодиране на предаваните числа е използвана двойката кодираща/декодираща интегрална схема MC145026/MC145028. Дистанционният обмен на данни се осъществява чрез излъчване на импулсни пакети с две различни честоти от ултразвуковия честотен спектър.

Проведено е експериментално изследване на работата на предложеното устройство в реални природни условия в плитководен басейн. Изследването показва, че удължаването на времетраенето на полупериода на такта на предаваните кодиращи импулси до 5 ms дава по-добри резултати, като води до увеличаване на броя на декодираните числа. Въпреки че това вре-

метраене надхвърля препоръчителния обхват на работа на използваната двойка интегрални схеми кодер/декодер, то дава възможност за по-добро затихване на отразените сигнали. При избора на оптимални времеви параметри трябва да се има предвид и общото времетраене на излъчването на числото, респективно скоростта на предаване на данните. Като цяло, в плитки води се наблюдава несигурно приемане на предадените данни, при отсъствие на фалшиво декодирани числа. Сигурността на предаване би могла да се гарантира чрез двупосочна комуникация с обратна връзка от приемника към предавателя. Желателно е да се търсят възможности за допълнително повишаване на устойчивостта на смущения на системата за кодиране/декодиране.

REFERENCES

- [1] C. GUSSEN, P. DINIZ, M. CAMPOS, W. MARTINS, F. COSTA AND J. GOIS, A Survey of Underwater Wireless Communication Technologies, *Journal of Communication and Information Systems* (2016) **31** (1) 242–255.
- [2] L. LIU, S. ZHOU AND J.-H. CUI, Prospects and Problems of Wireless Communication for Underwater Sensor Networks, *Wireless Communications and Mobile Computing* (2008) **8** (8) 977–994.
- [3] H. KAUSHAL AND G. KADDOUM, Underwater Optical Wireless Communication, *IEEE Access* (2016) **4** 1518–1547.
- [4] J. LLORET, S. SENDRA, M. ARDID AND J. RODRIGUES, Underwater Wireless Sensor Communications in the 2.4 GHz ISM Frequency Band, *Sensors* (2012) **12** (4) 4237–4264.
- [5] X. CHE, I. WELLS, G. DICKERS, P. KEAR AND X. GONG, Re-Evaluation of RF Electromagnetic Communication in Underwater Sensor Networks, *IEEE Communications Magazine* (2010) **48** (12) 143–151.
- [6] M. CHITRE, S. SHAHABUDEEN, L. FREITAG AND M. STOJANOVIC, Recent Advances in Underwater Acoustic Communications & Networking, *OCEANS* (2008) 1–10.
- [7] M. STOJANOVIC AND P.-P. BEAUJEAN, *Acoustic Communication* (Eds M. R. Dhanak and N. I. Xiros), Springer Handbook of Ocean Engineering (2016) 359–386.
- [8] M. STOJANOVIC AND J. PREISIG, Underwater acoustic communication channels: Propagation Models and Statistical Characterization, *IEEE Communications Magazine* (2009) **47** (1) 84–89.
- [9] Y. ZHOU, A. SONG AND F. TONG, Underwater Acoustic Channel Characteristics and Communication Performance at 85 kHz, *The Journal of the Acoustical Society of America* (2017) **142** (4) EL350–355.

- [10] <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MC145026.pdf>
- [11] I. IVANOV, R. RAINOV, CH. ORMANOV, B. MONEV, S. VODENICHAROV AND S. KOLEV, Marine mines control system, Patent 99649/15.01.1997 (in Bulgarian).

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF A DIGITAL DATA TRANSMISSION MODULE IN SHALLOW WATER ENVIRONMENT

STOYAN KOLEV*, BISTRA NENOVA AND IVAN IVANOV

*Institute of Metal Science, Equipment and Technologies,
with Hydro- and Aerodynamics Centre "Acad. A. Balevski",
Bulgarian Academy of Sciences,
67, Shipchenski Prohod Blvd, 1574 Sofia, Bulgaria,
e-mails: s_kolev@abv.bg; bistranenova@hotmail.com; ivo1942@abv.bg*

Abstract. The experimental investigation of a module for digital data transmission in shallow water environment using hydro-acoustic waves is carried out. The remote data transfer is accomplished by encoding the numbers into pulse sequences by a pair of integrated circuits MC145026/MC145028, formation of pulse bursts with ultrasound frequency spectrum and a hydro-acoustic antenna. Experiments are conducted in real natural conditions. It is studied the influence of the clock pulses half-period duration, based on which the time parameters of the encoding pulses are formed. The results obtained show that increasing the clock half-period of the transmitted encoding pulses to 5 ms gives better results, leading to an increase in the number of decoded numbers. In shallow waters, uncertain reception of transmitted data is observed due to strong interference from reflected signals, in the absence of falsely decoded numbers. The transmission reliability could be guaranteed by bidirectional communication with feedback from the receiver to the transmitter.
Keywords: underwater data transmission, hydroacoustic communication.

Received April 03, 2019