

СИСТЕМА ЗА МИКРОВЪЛНОВО ИЗМЕРВАНЕ НА СКОРОСТ НА ДВИЖЕЩИ СЕ ОБЕКТИ

Борислав Недев¹, Христо Килифарев¹

¹ Технически университет – Габрово

SYSTEM FOR MICROWAVE SPEED MEASUREMENT OF MOVING OBJECTS

Borislav Nedev¹, Hristo Kilifarev¹

¹ Technical University of Gabrovo

Abstract

This paper presents an approach to measuring the speed of movement of objects using a microwave radar module (switch) RCWL-0516, designed for presence detection. The measurement principle is based on microwave radiation from the module, which is reflected by a moving object located within its range. The reflected waves are received and converted into an electrical signal with a frequency that has a slight change with the so-called Doppler shift, which depends on the speed of the object approaching or receding. This report proposes a modification in the circuit diagram of the microwave module based on the RCWL-9196 integrated circuit. By appropriate post-processing of the output signal from the module, it will be possible to determine the speed of movement of the object. With the modifications made to the RCWL-0516 sensor module, experimental studies can be carried out in the future as proof of its operability and applicability.

Keywords: speed measurement, microwave radar (switch) RCWL-0516, integrated circuit RCWL-9196, Doppler frequency.

ВЪВЕДЕНИЕ

Измерването на скорост на подвижни обекти чрез микровълнов сензор се свежда до определяне на параметъра – доплерова честота.

В търговската мрежа модулът микровълнов радар (ключ) RCWL-0516 не е пригоден за измерване на скорост на движещи се обекти, а само да регистрира присъствие и да изработи висок изходен потенциал (3,3V), най-често за управление на LED осветителни тела.

Доплеровата честота f_D може да се изчисли чрез формула (1) [1]:

$$f_D = 2 \cdot U / \lambda, \quad (1)$$

където U е радиалната скорост [m/s] на подвижния обект спрямо сензора.

Типичното човешко ходене генерира доплерова честота под 100 Hz (в зависимост от дължината на вълната λ на радарния сензор).

Определянето на f_D може да стане посредством схема, предоставена от производителя на радарния ключ, върху която са направени корекции и подходяща последваща обработка, например с микроконтролер.

В настоящия доклад се поясняват принципът на действие на представената схема и възможностите за корекция така, че да е възможно определянето на скорост на движение на по-бързо движещи се обекти от човек.

ИЗЛОЖЕНИЕ

В търговската мрежа се предлага сравнително евтин (около \$1,5) електронен модул RCWL-0516. Той представлява микровълнов радар (ключ), чието предназначение е да „прихване“ подвижен обект в обхвата си 5~7 метра и да изведе на изхода си висок потенциал (3,3V).

Детекторният модул съдържа високо-честотна част с основен елемент транзистор (BFR520), свързан (вероятно) като генератор на Клап [2]. Това предположение се основава на факта, че в обратната страна на платката, посредством кръгли пътечки, умишлено се добавят монтажни кондензатори C_{m1} (паралелно свързан на C_{CB} (капацитет на преход Колектор-База)) и C_{m2} (паралелно свързан на C_{EB} (капацитет на преход Емитер-База)). Също може да се направи и аналогия с транзисторния осцилатор при [3].

Освен генератор този транзистор (BFR520) представлява и смесител на излъчваната и приета от антената висока честота с доплерово отместване, породено от подвижен обект. Според [4] излъчената честота е около 3,2 GHz, което отговаря на дължина на вълната $\lambda \approx 9,4$ cm, т.е. така построения радар се намира в E/F обхват (или S честотен диапазон) [5].

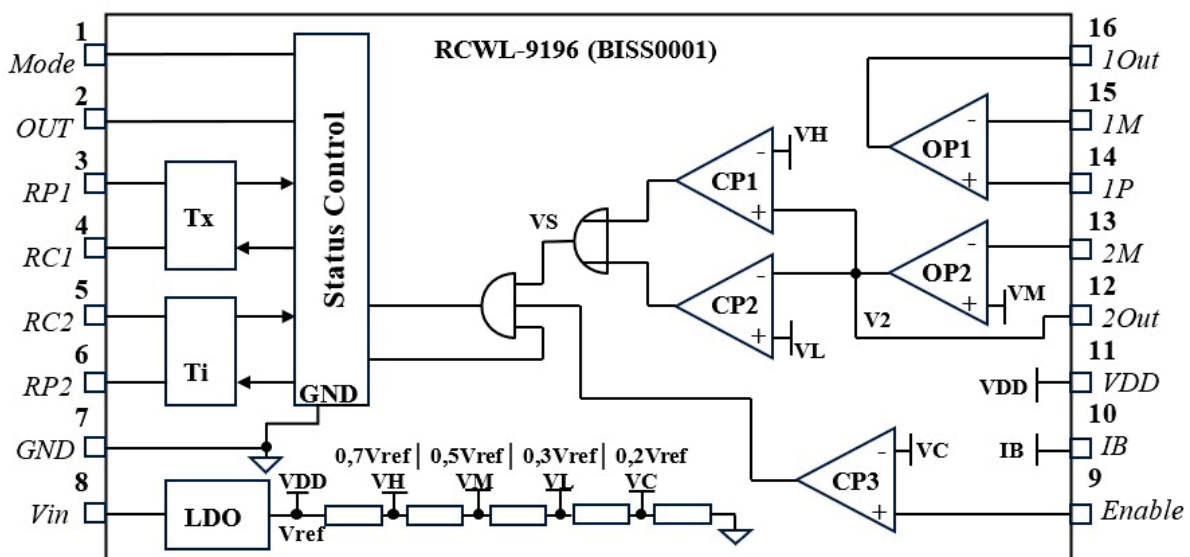
Доплеровата честота f_D се определя според (1) като за по-голяма точност е необходимо да се умножи получената стойност с $\cos(\alpha)$ (α е ъгълът между посоката на движение на целта и оста на модула). Поради широкия ъгъл на обхват на сензора се приема, че $\cos(\alpha) \approx 1$. Определянето на доплеровата честота дава възможност да се определи скоростта U на подвижния обект по формула (2):

$$U = f_D \cdot \lambda / 2 \quad (2)$$

Модулът RCWL-0516 работи като ключ, но след изменения в схемата, с него може да се определи доплерова честота, съответно скорост. Освен високочестотната част, изградена около транзистора, в модула има и нискочестотна, съставена от интегрална схема RCWL-9196 (фиг. 1) с периферни елементи [4]. В същността си тя представлява надградена с включен стабилизатор на 3,3V интегрална схема BISS0001, която основно се използва като управление за PIR сензори.

Таблица 1. Описание на изводите на интегрална схема RCWL-9196

Изв. №	Символ	Описание
1	<i>Mode</i>	Избор на режим: тригерен или не-тригерен. (Mode = 1: тригерен)
2	<i>OUT</i>	Изход (висок при активация)
3	<i>RP1</i>	Контрол време за изкл. (Tx) *
4	<i>RC1</i>	Контрол време за изкл. (Tx) *
5	<i>RC2</i>	Контрол време за вкл. (Ti) *
6	<i>RP2</i>	Контрол време за вкл. (Ti) *
7	<i>GND</i>	Маса
8	<i>Vin</i>	Захранващо напрежение: 4-28V DC
9	<i>Enable</i>	Вход: (<i>Enable</i> > 0.2Vdd = разрешава; <i>Enable</i> < 0.2Vdd = забранява)
10	<i>IB</i>	Регулира вх. отклонение на ОУ
11	<i>VDD</i>	Стаб. напрежение 3,3V DC
12	<i>2Out</i>	Изход на втори ОУ
13	<i>2M</i>	Инвертиращ вход на втори ОУ
14	<i>1P</i>	Неинвертиращ вход на първи ОУ
15	<i>1M</i>	Инвертиращ вход на първи ОУ
16	<i>1Out</i>	Изход на първи ОУ



Фиг. 1. Основни блокове на интегрална схема RCWL-9196

* Означения в таблица 1:

T_x - Продължителността на времето, през което извод 2 (OUT) остава с висок потенциал след задействане.

T_i - През този период от време задействането е възпрепятствано, съгласно времевите диаграми (фиг. 2) [4].

В структурата на интегралната схема от фиг. 1 има вградени два операционни усилвателя OP1 и OP2, последният е с включен неинвертиращ вход към $V_M = 0,5V_{ref}$ от източника на опорно напрежение LDO. Следват три компаратора на напрежение, като CP1 сравнява нивото на сигнала, постъпил от OP2 с $V_H = 0,7V_{ref}$, CP2 го сравнява с $V_L = 0,3V_{ref}$, а CP3 сравнява сигнала от вход 9 (Enable) с ниво $V_C = 0,2V_{ref}$ и служи за разрешаване работата на схемата. Всички опорни напрежения се осигуряват от вграден съпротивителен делител.

Когато нивото на сигнала V_2 от OP2 премине над V_H или спадне под V_L , то съответно компараторите CP1 и CP2 изработват импулси, които се подават към двувходов логически елемент ИЛИ. Следва тривходов логически елемент И, който разрешава и подава към схемата за контрол (Status Control) изработените импулси, към които тя добавя време за изключване T_x и време за включване T_i .

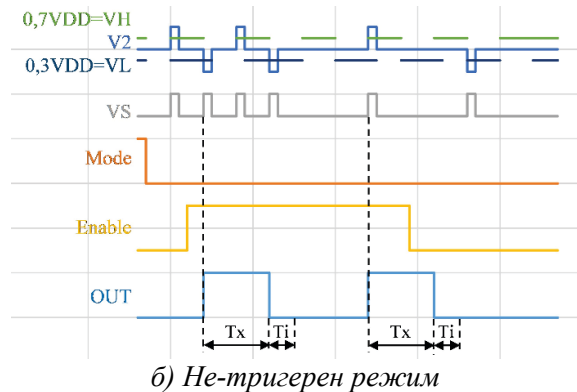
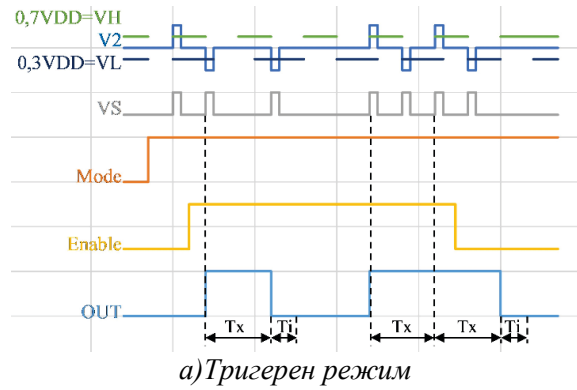
Съществуват два режима на работа на интегралната схема, тригерен и не-тригерен. Те са показани на фиг. 2. Изборът на режим се извършва от вход 1 (Mode).

При тригерен режим схемата изключва след изтичане на времето T_x и включва след T_i , ако отрязък от време T_x е изпълнен с импулси, то схемата не преклещва. При не-тригерният режим схемата изключва при изтичане на T_x и включва след T_i . Времената T_x и T_i се определят с формули (3) и (4) [4]:

$$T_x \approx 24576 \cdot R_2 \cdot C_2 \quad (3)$$

$$T_i \approx 24 \cdot R_{13} \cdot C_3 \quad (4)$$

Значенията на резисторите и кондензаторите се вземат от принципната схема показана на фиг. 3 [6].



Фиг. 2. Времевиди диаграми за режимите на работа на интегрална схема RCWL-9196

Премахването на кондензатори C_2 и C_3 , практически води до стойност 0 на времената T_x и T_i . Така генерираните от компараторите CP1 и CP2 импулси ще се подават директно на извод 2 (OUT). Компараторите сравняват нискочестотния сигнал от операционен усилвател OP2, свързан като активен лентов филтър с честоти f_{12} (5) и f_{22} (6), а усиляването е A_{U2} (7) [7]:

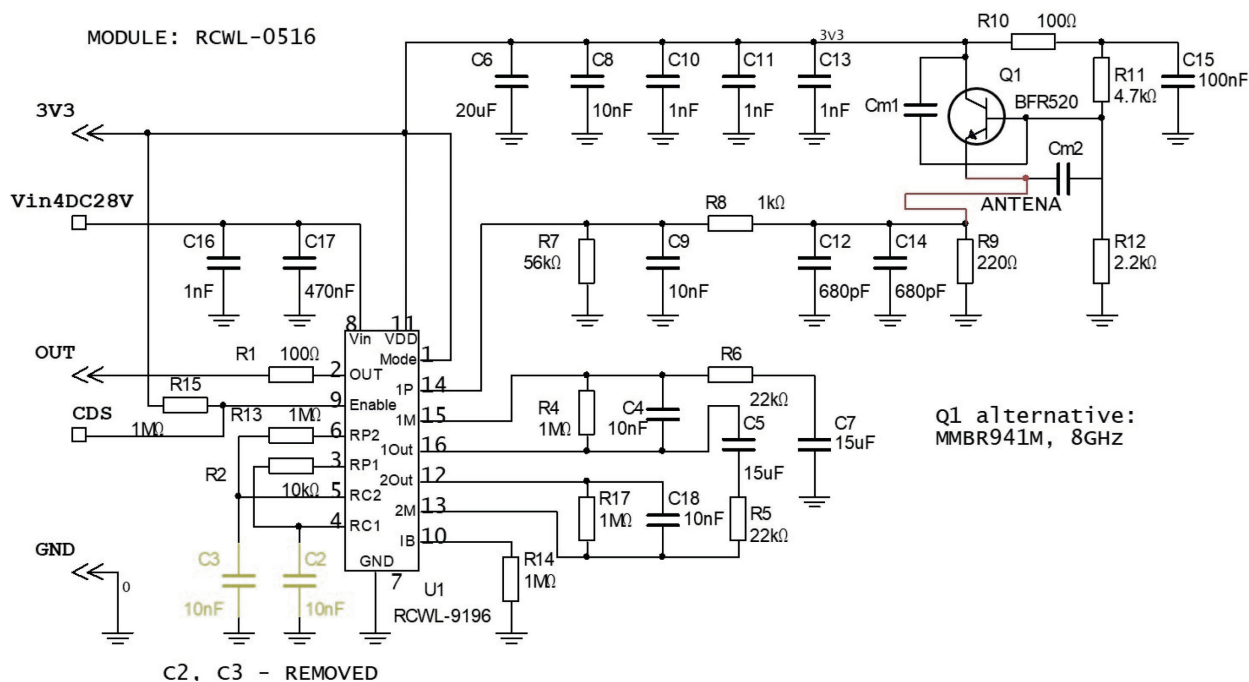
$$f_{12} = 1 / (2\pi \cdot R_5 \cdot C_5) = 0,48 \text{ Hz} \quad (5)$$

$$f_{22} = 1 / (2\pi \cdot R_{17} \cdot C_{18}) = 15,92 \text{ Hz} \quad (6)$$

$$A_{U2} = -R_{17} / R_5 = -45,45 \quad (7)$$

Печатната платка на разглеждания модул има пътечки за допълнително включване на съпротивление R-GN паралелно на R_{17} . При $R-GN = 1 \text{ M}\Omega$ се намалява обхвата на чувствителност на модула от 7 на 5 метра [6].

Първият, по пътя на сигнала с доплерова честота, операционен усилвател OP1 също е свързан като лентов филтър с честоти f_{11} (8) и f_{21} (9), а усиляването е A_{U1} (10) [7]:



Фиг. 3. Принципна схема на RCWL-0516

$$f_{11} = 1 / (2\pi \cdot R6 \cdot C7) = 0,48 \text{ Hz} \quad (8)$$

$$f_{21} = 1 / (2\pi \cdot R4 \cdot C4) = 15,92 \text{ Hz} \quad (9)$$

$$A_{U1} = 1 + R4 / R6 = 46,45 \quad (10)$$

Нискочестотният филтър преди OP1, съставен от R7, R8 и C9 има честота на срязване (11):

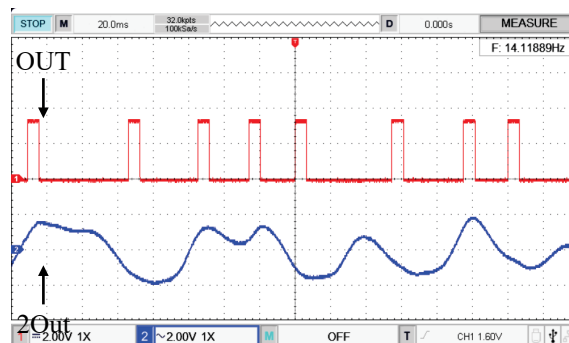
$$f \approx 1 / (2\pi \cdot R8 \cdot C9) \approx 15,9 \text{ kHz} \quad (11)$$

Представената интегрална схема RCWL-9196 има зададени прагове на сработване, благодарение на вградените в схемата опорни напрежения $V_H = 0,7V_{DD}$ и $V_L = 0,3V_{DD}$, т.е. само сигналът с амплитуда над V_H или под V_L ще бъде отделен и генериран като импулси на сигнал VS.

Модулът е подходящ за детекция на движение на човек, с нормална скорост 1 m/s, т.е. $f_D \approx 21 \text{ Hz}$. С намаляване стойностите на C4 и C18 се разширява обхвата на лентовите филтри, откъдето се увеличава измерваната стойност на скоростта на подвижния обект. От друга страна чрез увеличаване стойностите на R4 и R17 се повишава чувствителността на модула, т.е. могат да се изследват по-малки подвижни цели.

При бъдеща обработка, например в Ардуино платформа, трябва да се отчете, че изработените импулси от схемата на извод 2 (OUT) (фиг. 2) ще бъдат с 2 пъти по-висока честота от доплеровата. Тъй като отрицателните импулси на V2 се включват в сигнала VS, подаван директно на извод 2 след премахване на времезадържащите T_x и T_i .

На фиг. 4 са представени осцилограмите на извод 2 (OUT) в зависимост от действителен сигнал V2, измерен на извод 12 (2Out) след премахване на времепределящите кондензатори C2 и C3.



Фиг. 4. Осцилограми на изводи OUT и 2Out

От осцилограмите се вижда, че изходния сигнал OUT на модул RCWL-0516, след премахване на закъсненията T_x и

Ti, съответства на сигнал VS от фиг. 2. Това потвърждава анализа за направените корекции в схемата.

За последваща обработка на изходния цифров сигнал от сензора, може да се използва Ардуино платформа. Която ще позволи да се направи необходимата обработка и извеждане в подходящ вид на измерваната величина - скорост.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модулът RCWL-0516, представен в търговската мрежа като детектор за присъствие, може да се преработи така, че да позволява измерване на скоростта на движение както на човек, така и на други подвижни обекти, например автоматизирани поточни линии, роботи, превозни средства и др. Преработката може да стане чрез промяна на избрани резистори и кондензатори в схемата на сензорния модул. Така става възможно да се променят фабрично зададените настройки за честотно филтриране и усилване на сигналите от операционните усилватели в схемата.

Модулът има широка диаграма на насоченост, т.е. реагира на движещи се обекти от всички посоки около него. Това означава, че ако в работния обхват на сензора (до около 7 метра) попаднат едновременно няколко движещи се обекта, няма да бъде възможно да се направи коректно измерване на скоростта на един от тях – сигналите им ще се смесят. Този недостатък може да се преодолее, като се използва подходящ рупор или екраниране, което да промени диаграмата му на насоченост.

Друг подход за решаване на този проблем е чрез използването на подходящ микровълнов доплеров сензор с по-насочена диаграма, като се адаптира за работа със съществуващата интегрална схема RCWL-9196.

БЛАГОДАРНОСТИ

Този доклад е финансиран по проект № 2304Е „Повишаване на ефективността на обучението чрез използване на информационни и комуникационни технологии“ за научни изследвания на Технически университет – Габрово.

REFERENCE

- [1] Wolff, Ch., Radar Basics, Continuous Wave Radar, <https://www.radartutorial.eu/02.basics/Continuous%20Wave%20Radar.en.html>, 2023.
- [2] TU-Sofia, Department of Electronics, Signal Generators (transl. from Bulgarian), Lecture notes, http://ecad.tu-sofia.bg/analog_circuits/dis/Lecture%20notes_02.pdf, 2023.
- [3] Dankov, P., Microwave integrated circuits in the laboratory, Practical guidance (transl. from Bulgarian), ISBN-10: 954-580-186-7, Heron Press, Sofia, 2006, https://www.researchgate.net/profile/Plamen-Dankov/publication/309010873_Microwave_Integrated_Circuits_in_the_Laboratory_in_Bulgarian/links/5aad4dc0a6fdcc1bc0bad8cc/Microwave-Integrated-Circuits-in-the-Laboratory-in-Bulgarian.pdf, 2023.
- [4] Desbonnet, Joe, RCWL-0516 information, 27 Mar 2023, <https://github.com/jdesbonnet/RCWL-0516>, 2023.
- [5] Wolff, Ch., Radar Basics, Waves and Frequency Ranges, <https://www.radartutorial.eu/07.waves/Waves%20and%20Frequency%20Ranges.en.html>, 2023.
- [6] SUNLEPHANT, Microwave Radar Proximity Sensor RCWL-0516, Datasheet, <https://www.mantech.co.za/datasheets/products/RCWL-0516.pdf>, 2023.
- [7] V. C. Nguyen, D. K. Dinh, V. A. Le and V. D. Nguyen, "Length and speed detection using microwave motion sensor," 2014 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2014), Hanoi, Vietnam, 2014, pp. 371-376, doi: 10.1109/ATC.2014.7043414., IEEE Xplore 2015, <https://khanhdinhduy.github.io/files/07043414.pdf>, 2023.