

Цифров честотен модулатор с модул-таймер 555

Боян Карапенов

A Digital Frequency Modulator using Module-timer 555: This paper presents a circuit of digital frequency modulator using module-timer 555 for low frequencies which has application in wireless modems. There are carried out simulation studies using Multisim program and also applied the received experimental ones of implemented laboratory model. They illustrate the principle of the digital frequency modulator operation and present some of its main parameters and characteristics.

Key words: Digital Frequency Modulator, Module-timer, Determine, Simulation and Experimental Results.

ВЪВЕДЕНИЕ

Цифровите модуляции, наречени още манипулации, са метод за преобразуване на цифровите сигнали в основна лента (Base-Band Signals, BBS) във високочестотен аналогов модулиран сигнал, подходящ за предаване в комуникационните канали, чрез стъпално изменение (Shift Keying, SK) на амплитудата (ASK), честотата (FSK) или фазата (PSK) на носещия сигнал. Това са най-използваните модуляции в съвременните комуникации. В повечето случаи се търси най-ефективното използване на спектъра на съответната манипулация - т. е. максимален брой пренесени битове за 1 Hz. Важен параметър се явява BR (Band Rate) като $BR = R_b/BW_{SK}$, където R_b е скоростта на предаване на информацията, bit/s, а BW_{SK} е честотната лента на модулирания цифров сигнал. Тези сигнали изискват по-широка честотна лента и, следователно, са необходими допълнителни обработки за стесняване на спектъра им, например филтриране. Последното, обаче, води до нежелани ефекти като: паразитна AM модулация, междусимволна интерференция и др.

Модулираният сигнал при честотната манипулация (FSK) се формира като сума на два ASK сигнала, всеки със съответната носеща честота f_0 и f_1 .

Математическият модел на модулирания FSK сигнал има вида:

$$u_{FSK}(t) = \begin{cases} A \cdot \sin(2\pi f_0 t + \theta) \\ A \cdot \sin(2\pi f_1 t + \theta) \end{cases} \quad (1)$$

където f_0 е честотата на носещото трептене при входен сигнал логическа 0, а f_1 - при входен сигнал логическа 1.

При честотните модулатори за манипулация на носещото трептене се използват и двата вида двоични кодове на цифровия сигнал – NRZ и RZ [1], като при кода NRZ се използват две носещи честоти f_0 и f_1 , а при кода RZ – три f_0 , f_1 и f_2 . Цифровите честотни модулатори могат да се реализират чрез генератор, чиято носеща честота f се изменя в съответствие с предавания цифров сигнал между честотите f_0 и f_1 (и f_2), или чрез превключване на две (или три) носещи трептения.

ИЗЛОЖЕНИЕ

1. Оразмеряване на цифров честотен модулатор с модул-таймер 555

При разработването на електронни схеми в много случаи се налага да се зададат интервали от време с точно определена продължителност. За тази цел е подходящо да се използва интегралният модул-таймер 555. Тази интегрална схема, както и операционните усилватели с общо приложение, се отличават с надеждност, простота на използване и ниска цена. Той може да работи със захранващо напрежение от $(5 \div 18)$ V, което го прави съвместим както с TTL интегрални схеми, така и с операционни усилватели. Много голямо приложение е намерил в различни таймери, мултивибратори и генератори като осигурява до четири времеви схеми в

един корпус.

Вътрешната структура на модул-таймера 555 съдържа два компаратора, два транзистора, три еднакви резистора, тригер и изходно стъпало [3]. Възможни са три режима на работа - генератор на единичен импулс, мултивибратор и чакащ мултивибратор. При работа като мултивибратор, размахът на генерираните импулси е от 0,1 V до напрежение, приблизително равно на захранващото, а честотата им се определя от външно свързаната RC верига. При работа като чакащ мултивибратор, изходното напрежение е ниско до момента, когато на стартовия вход постъпи заден фронт на импулса, който го стартира.

Функционалното предназначение на изводите на модул-таймера 555 са както следва [3]: 1 (GND) - обща маса, 2 (TRIGGER) - стартов, 3 (OUTPUT) - изход, 4 (RESET) - нулиращ, 5 (CONTROL) - контролиращ делителя (2/3 от U_{cc}), 6 (THRESHOLD) - преустановяващ, 7 (DISCHARGE) - разреждащ времезадаващия кондензатор и 8 (V_{cc}) - захранващ (4,5 ÷ 18) V.

За да изпълнява функцията на цифров честотен модулатор, модул-таймерът 555 трябва да работи в режим на генериране на правоъгълни импулси с определена честота.

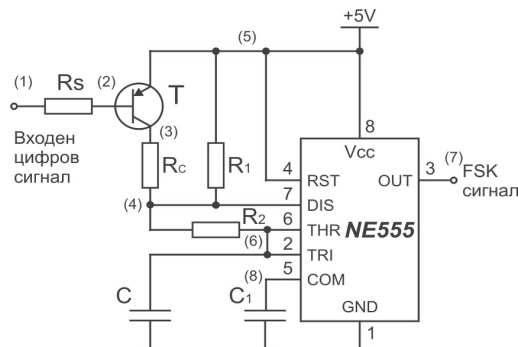
На фиг. 1 е представена принципна схема на цифров честотен модулатор с модул-таймер 555, като съставен компонент на безжичен модем [2]. Честотата на изходния сигнал се определя от входния цифров, подаден на базата на транзистора T. Когато се подаде входен сигнал логическа 1, транзисторът е запушен и модул-таймерът 555 работи в нормален установен режим и на изхода се генерират правоъгълни импулси с честота f_1 . Резисторите R_1 , R_2 и кондензаторът C определят стойността на изходната честота 1070 Hz, която се определя по зависимостта

$$f_1 = \frac{1,45}{(R_1 + 2 \cdot R_2) \cdot C} \quad (2)$$

Когато на входа се подаде логическа 0, PNP транзисторът е отпушен и паралелно на резистора R_1 се свързва R_C . Това води до намаляване на еквивалентното съпротивление, по-бърз разряд на кондензатора C и повишаване на изходната честота на 1270 Hz. Тя се определя по зависимостта (3):

$$f_0 = \frac{1,45}{(R_1 \parallel R_C + 2 \cdot R_2) \cdot C} \quad (3)$$

Кондензаторът C се зарежда през R_1 и R_2 , а се разрежда само през R_2 , тъй като изводът за разряд 7 (DIS) има нисък импеданс към земя по времето когато на изхода има ниско ниво от поредицата с импулси.



Фиг. 1. Цифров честотен модулатор с модул-таймер 555

Параметрите на изходния FSK сигнал на цифровия честотен модулатор с модул-таймер 555 от фиг. 1 се определят по следните зависимости:

$$T_1 = 0,7 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C \quad - \text{продължителност на сигнала с високо ниво}; \quad (4)$$

$$T_2 = 0,7 \cdot R_2 \cdot C \quad - \text{продължителност на сигнала с ниско ниво}; \quad (5)$$

$$T = 0,7 \cdot (R_1 + 2 \cdot R_2) \cdot C \quad - \text{период на изходния сигнал}; \quad (6)$$

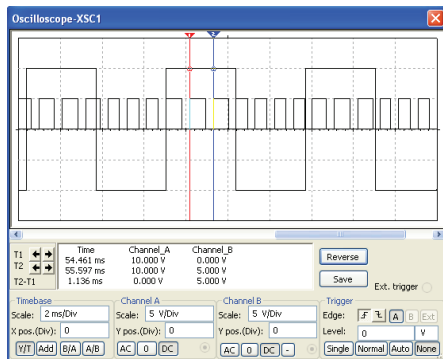
$$k_3 = T_1 / T \quad - \text{коефициент на запълване}. \quad (7)$$

Като се използват представените зависимости (2) + (7), при стойности на $R_C=50 \text{ k}\Omega$, $R_1=50 \text{ k}\Omega$, $R_2=47 \text{ k}\Omega$ и $C=0,01 \text{ }\mu\text{F}$, за параметрите на изхода на цифровия честотен модулатор с модул-таймер 555 при логическа 1 на входния сигнал се получава: $f=992,1 \text{ Hz}$, $T_1=0,679 \text{ ms}$, $T_2=0,329 \text{ ms}$, $T=1,008 \text{ ms}$ и $k_3=67,36 \%$, докато при логическа 0 ($R_C \parallel R_1 \approx 25 \text{ k}\Omega$) те са: $f=1,2 \text{ kHz}$, $T_1=0,504 \text{ ms}$, $T_2=0,329 \text{ ms}$, $T=0,833 \text{ ms}$ и $k_3=60,5 \%$.

2. Симулационни изследвания на цифровия честотен модулатор с модул-таймер 555

Като входни сигнали при извършването на симулационните изследвания на цифровия честотен модулатор следва да бъдат подавани входните сигнали: логическа 0 - чрез свързване на входа към маса, което е равностойно на подаване само на логически 0, логическа 1 - чрез постоянен ток източник (батерия) с напрежение 5 V (TTL ниво), т.е. подаване само на логически 1 и редуване на логически 1 и 0 (правоъгълен входен сигнал) от функционален генератор.

Схемата на цифровия честотен модулатор с модул-таймер 555 от фиг. 1 е въведена в средата на продукта Multisim и за нея са извършени симулационни изследвания. На фиг. 2 е представена получената осцилограма на входния и изходния сигнали, а на фиг. 3 – получените резултати от извършения постоянен ток (DC Operating Point) анализ.



Фиг. 2. Осцилограма на входния и изходния сигнали

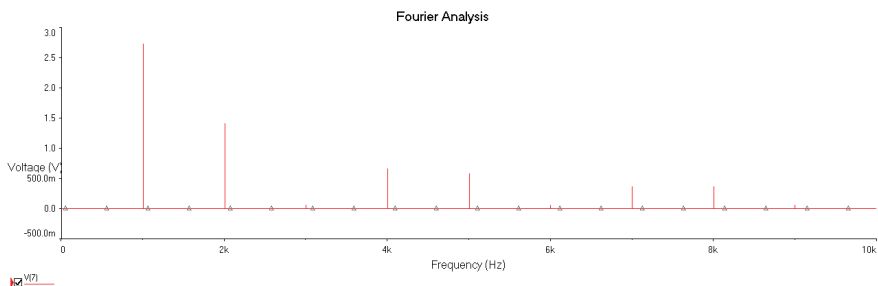
	Variable	Operating point value
1	V(2)	4,32885
2	V(3)	4,99900
3	V(4)	8,92293 m
4	V(5)	5,00000
5	V(6)	8,92293 m

Фиг. 3. Получени резултати от извършения постоянен ток анализ

Измерени са честоти на изходния сигнал при логически 0 и 1 на входния TTL – съответно $f_0=1,09 \text{ kHz}$ и $f_1=877 \text{ Hz}$. От представената осцилограма на фиг. 2 се установява, че изходният FSK сигнал има два пъти по-малка амплитуда от подадения стандартен входен 5 V. Тъй като изходната честота, за стойностите на входния сигнал логически 0 и 1 е различна, се получава различно дефазирание на изходния сигнал спрямо входния. Това може да бъде избегнато с подбор на кратни честоти f_0 , f_1 и тази на входния сигнал f_S .

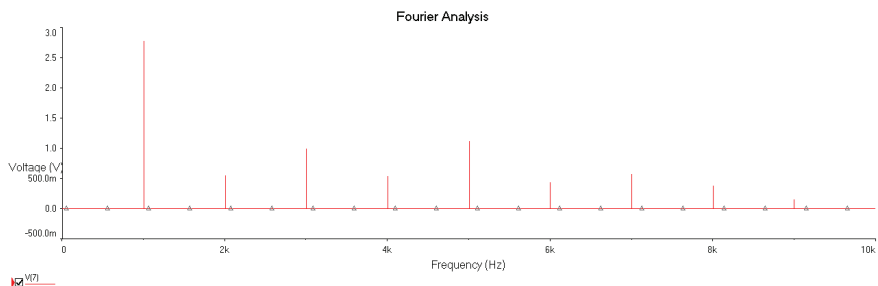
От получените резултати на извършения постоянноток (DC Operating Point) анализ, представени на фиг. 3 се установява, че преднапрежението на базата на транзистора е $V(2) \approx 4,33$ V, което осигурява неговата работа в режим на насищане, а осигурените стойности на колектора и емитера са съответно $V(3) = 4,999$ V и $V(5) = 5$ V.

Получените резултати от извършения спектрален (Fourier) анализ на изходния сигнал при подадена логическа 1 на входния TTL сигнал са показани на фиг. 4. От тях се определят амплитудите и дефазирането на отделните хармонични съставлящи: за първа хармонична с честота 1 kHz, близка до f_0 , амплитудата е най-голяма 2,71 V, дефазирането е $-171,5^\circ$, а за втора хармонична - 2 kHz амплитудата е 1,42 V и дефазиране $106,8^\circ$. Постояннотоковата съставляща е 3,36 V. От фиг. 4 се установява, че с нарастване на номера на съответната хармонична съставляща, нейната амплитуда намалява по експоненциална зависимост – $y = a^{-x}$.



Фиг. 4. Резултати от извършения спектрален (Fourier) анализ при подадена логическа 1 на входния TTL сигнал

За подадена логическа 0 на входния TTL сигнал получените резултати от извършения спектрален (Fourier) анализ на изходния са представени на фиг. 5.



Фиг. 5. Резултати от извършения спектрален (Fourier) анализ при подадена логическа 0 на входния TTL сигнал

От фиг. 5 се установява, че при изходен сигнал с по-голяма честота f_0 , спектралният състав е по-богат, т.е. амплитудите на нечетните хармонични съставлящи са по-големи от тези на четните и за предаването на сигнала е необходима по-широка честотна лента.

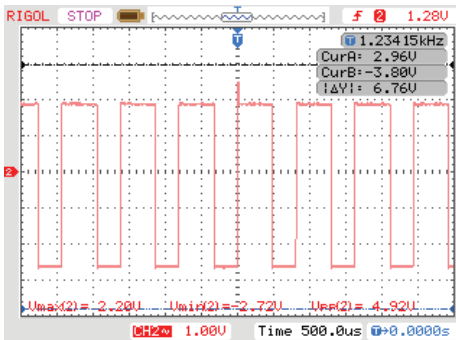
3. Експериментални изследвания на разработен лабораторен модел на цифров честотен модулатор с модул-таймер 555

На фиг. 6 ÷ 9 са представени осцилограми, получени от експерименталното изследване на практически реализиран лабораторен модел на цифров честотен

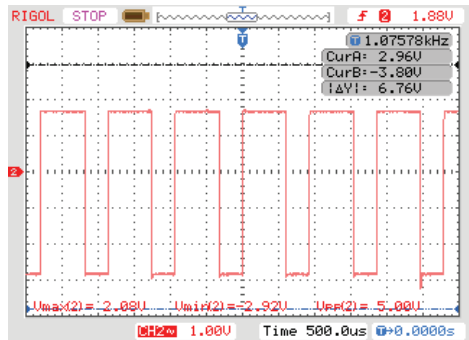
модулятор с модул-таймера 555 при стойности на C_1 и C_2 10 nF.

На фиг. 6 е представена осцилограмата на изходния сигнал при подаден входен сигнал - логическа 0, а на фиг. 7 - логическа 1. От тях се установяват честотите на изходния FSK сигнал, които са съответно $f_0=1,23$ kHz и $f_1=1,08$ kHz, а също така и че постояннотоквата съставлява на сигнала с по-малката честота е по-малка. Амплитудата и в двата случая почти не се променя.

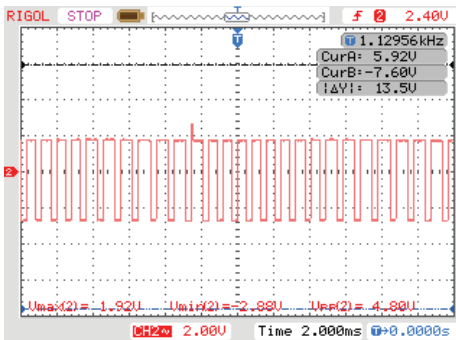
На фиг. 8 е представена заснетата осцилограма на изхода при подаден входен правоъгълен сигнал с честота 150 Hz, а на фиг. 9 - входният и изходният сигнали. Те илюстрират изменението на изходната честота в зависимост от подадения на входа правоъгълен сигнал с TTL ниво. И тук, както и при симулационно получените резултати, има дефазирание на двата сигнала, тъй като входната честота и изходните f_0 , f_1 не са кратни, и амплитудата на изходния сигнал е два пъти по-малка.



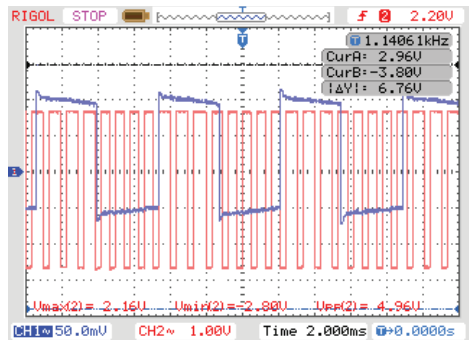
Фиг. 6. Осцилограма на изходния сигнал при входен - логическа 0



Фиг. 7. Осцилограма на изходния сигнал при входен - логическа 1



Фиг. 8. Осцилограма на изходния сигнал при входен сигнал с честота 150 Hz



Фиг. 9. Осцилограма на входния (със син цвят) и изходния (с червен цвят) сигнали

В таблица 1 са представени получените стойности на честотите на изхода на цифровия честотен модулатор с модул-таймер 555 f^0 и f^1 при различни стойности на кондензаторите C^1 и C^2 . Установява се, че с намаляване на капацитета на C^1 два пъти и увеличаване на капацитета на C^2 два пъти честотите на изхода f^0 и f^1 също нарастват от порядъка на два пъти.

Таблица 1. Стойности на честотите на изхода f_0 и f_1 при различни стойности на кондензаторите C_1 и C_2

C , nF	10	4,7
C_1 , nF	10	22
f_0 , kHz	1,09	2,03
f_1 , kHz	0,877	1,89

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящия доклад е представена и оразмерена схема на цифров честотен модулатор с модул-таймер 555 за ниски честоти, която има приложение в безжичните модеми. С помощта на продукта Multisim са извършени симулационни изследвания, а също така са приложени и получени експериментални такива на реализиран лабораторен модел, които онагледяват принципа му на работа и представят някои от основните му параметри и характеристики.

След извършването на спектрален анализ на изходния честотномодулиран (FSK) сигнал – фиг. 4 и фиг. 5, което е обект на цифровата обработка на сигнали, може да се направи оценка за логическата стойност на входния модулиращ сигнал, а също така да се извърши и демодулиране.

По подобен начин могат да бъдат синтезирани, симулационно и експериментално изследвани и други схеми на цифрови модулатори и демодулатори.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Немигенчев И., Б. Карапенов. Комуникационни преобразователни устройства. Университетско издателство „Васил Априлов“, Габрово, ISBN 978-954-683-361-7, 2007 г.

[2] Designing of wireless modem using IC 555 and PLL 565,

<http://ecegroups.blogspot.bg/2013/08/designing-of-wireless-modem-using-ic.html>

[3] xx555 Precision Timers, Texas Instruments,

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/nc555.pdf>

За контакти:

доц. д-р Боян Карапенов, Катедра „Комуникационна техника и технологии“, Технически университет - Габрово, тел.: 066-827 415, e-mail: bkarapenev@tugab.bg

Докладът е рецензиран.