

Цифров честотен модулатор с тригер на Шмит

Боян Карапенов

A Digital Frequency Modulator using Schmitt-trigger: This paper presents a circuit of digital frequency modulator using Schmitt-trigger for low frequencies. 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 digital frequency modulator operation and present some of its main parameters and characteristics. A comparative assessment between obtained experimental and simulation results have been presented.

Key words: Digital Frequency Modulator, Schmitt-trigger, Calculation, Simulation and Experimental Results.

ВЪВЕДЕНИЕ

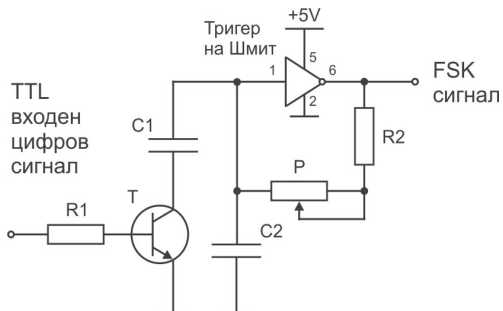
Електрическите сигнали в основна лента (BBS) са нискочестотни и са със сравнително малка амплитуда и директно им предаване на практика е трудно осъществимо. Те се характеризират със силно затихване при разпространяване в свободното пространство, т.е. могат да се предават само на къси разстояния или по кабел. Силно влияние върху тях оказва и нискочестотният шум.

Цифровите честотни модулатори (FSK) се използват по-често от амплитудните (ASK). При тях битовете логическа 0 и логическа 1 се предават с две честоти на изходния сигнал $f_0 > f_1$ като амплитудата остава постоянна [2]. Основен проблем се явява необходимостта от бързо превключване между двете честотни състояния.

ИЗЛОЖЕНИЕ

1. Проектиране на цифров честотен модулатор с тригер на Шмит

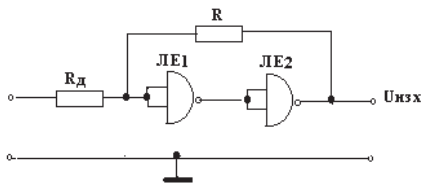
На фиг. 1 е показана схема на цифров честотен модулатор с тригер на Шмит. При ниско ниво на входния TTL сигнал (логическа 0) NPN транзисторът Т е запушен и схемата генерира изходен сигнал с честота f_0 . При високо ниво на TTL сигнала (логическа 1) транзисторът е наситен и кондензаторът С1 се включва паралелно на С2, което води до намаляване на изходната честота f_1 .



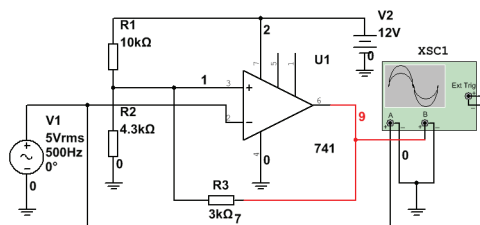
Фиг. 1. Цифров честотен модулатор с тригер на Шмит

Тригерът на Шмит от фиг. 1 може да бъде изпълнен с различна елементна база. Схемни варианти на неговата реализация са: с интергална схема - като 7417N, K155ЛА2, МН7442, с модул-таймер 555, с два транзистора, с логически елементи - двуходови И-НЕ, четиривходов И-НЕ и с операционен усилвател (ОУ) с ПОВ.

На фиг. 2 и фиг. 3 са представени два варианта за реализиране на тригер на Шмит - съответно с двуходови логически елементи И-НЕ и с ОУ с ПОВ.



Фиг. 2. Тригер на Шмит с дву-входови логически елементи И-НЕ



Фиг. 3. Схема на тригер на Шмит с ОУ с ПОВ

За проектиране се избира схемният вариант на тригер на Шмит с ОУ с ПОВ (фиг. 3) поради неговата опростена и лесна практическа реализация, както и възможността за извършването на негови симулационни изследвания, а също така и на проектирания цифров честотен модулатор.

Като управляващ транзистор Т се избира маломощният ключов биполярен 2N2222. Тъй като неговото входно съпротивление h_{11} е от порядъка на $5 \text{ k}\Omega$ [3], за осигуряване на необходимото входно напрежение за неговото насищане, последователно на входа се свързва резисторът R_1 , също със стойност $5 \text{ k}\Omega$. При така образуваната делител на напрежение (R_1 и h_{11}) при логическа единица (5 V) на входа на транзистора се подава входно напрежение $2,5 \text{ V}$, което е по-голямо от входното му напрежение на насищане $U_{BEsat}=1,2 \text{ V}$ [3]. Това осигурява неговото наситено състояние и минимално изходно съпротивление. Когато транзисторът е наситен към кондензатора на кондензатора C_2 се добавя и този на C_1 .

За ОУ на тригера на Шмит се избира $\mu A741$, който се е наложил с много широкото си приложение в практиката. При наличието на ПОВ - резисторът R_3 (фиг. 3) опорните напрежения на неговото превключване се определят по зависимостите [1]

$$U_{on1} = \frac{R_2}{R_2 + R_1 \parallel R_3} \cdot U_{CC} \quad \text{и} \quad U_{on2} = \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} \cdot U_{CC} \quad (1)$$

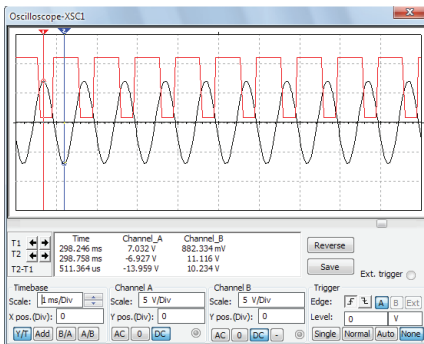
а широчината на хистерезисната зона е $U_X = U_{on1} - U_{on2}$.

За работните честоти f_0 и f_1 е подходящо използването на два еднакви кондензатора с капацитети от по 10 nF . Като ООВ, задаваща коефициента на усилване на ОУ по напрежение, се избира потенциометър P със стойност $10 \text{ k}\Omega$. За да не бъдат свързани накъсо изходът и входът на тригера на Шмит при неговото нулево съпротивление (P), последователно се свързва резисторът R_2 със стойност 470Ω .

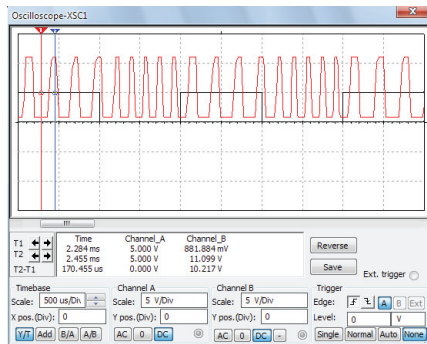
За опорни нива, определящи хистерезиса на тригера на Шмит, се приемат $U_{on1}=3,7 \text{ V}$ за логическа 1 и $U_{on2}=1,8 \text{ V}$ за логическа 0. За неговата широчина се получава $U_X=1,9 \text{ V}$. При избрана стойност на $R_1=10 \text{ k}\Omega$ (фиг. 3) по уравнения (1) се съставя система от две уравнения с две неизвестни, от която се определят съпротивленията на резисторите R_3 2948Ω и R_2 4396Ω . За техни стандартни стойности се избират съответно $3 \text{ k}\Omega$ и $4,3 \text{ k}\Omega$.

2. Симулационни изследвания на цифровия честотен модулатор с тригер на Шмит

За проектираните схеми на тригер на Шмит от фиг. 3 и цифров честотен модулатор (фиг. 1) са извършени симулационни изследвания с продукта Multisim като получените осцилограми на техните входни и изходни сигнали са представени съответно на фиг. 4 и фиг. 5.



Фиг. 4. Осцилограма на входния и изходния сигнали на тригера на Шмит

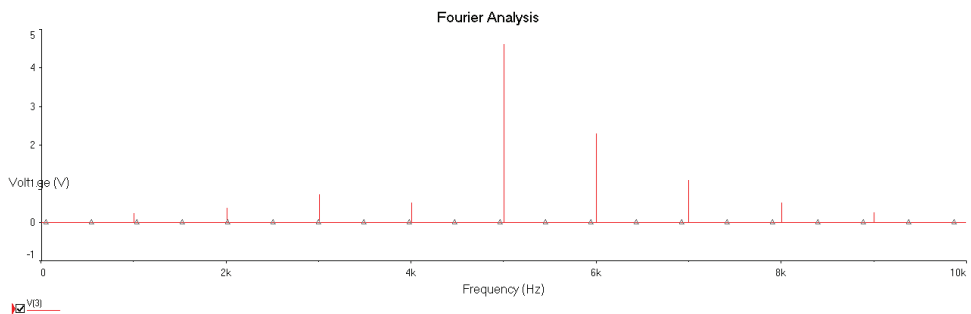


Фиг. 5. Осцилограма на входния и изходния сигнали на цифровия честотен модулатор с тригер на Шмит

За да може да бъде илюстрирана хистерезисната зона на превключването на тригера на Шмит, формата на задаващия източник на променливо напрежение трябва да бъде синусоидална - фиг. 4. От нея се вижда, че изходният сигнал на тригера на Шмит е инвертиран спрямо входния, тъй като е използван инвертиращ ОУ. Амплитудата на изходното напрежение е 11,116 V, която почти достига стойността на захранващото напрежение на източника V_2 . От представената осцилограма се определят стойностите на двете опорни напрежения, при които тригерът на Шмит превключва, които имат съответно стойности $U_{on1}=4,6$ V и $U_{on2}=1,5$ V. При наличието на хистерезисна зона коефициентът на запълване на изходния правоъгълен сигнал е по-голям от 50 %.

Измерената честота на изхода на цифровия честотен модулатор с тригер на Шмит (фиг. 5) при логическа 0 на входния TTL сигнал е $f_0=7,94$ kHz, а при логическа 1 – $f_1=5,18$ kHz като амплитудата на изходния сигнал намалява два пъти в сравнение с тази на входния. В случая изходните правоъгълни импулси се характеризират с изразен преден и заден фронт.

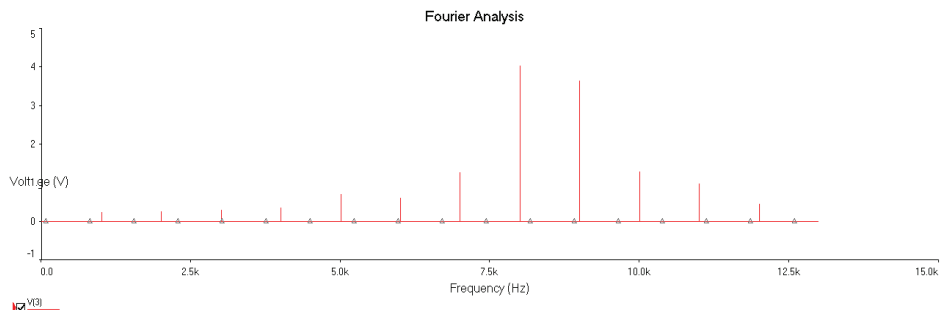
Получените резултати от извършения спектрален (Fourier) анализ на изходния сигнал при подадена логическа 1 на входния TTL са показани на фиг. 6. От тях се определят амплитудите и дефазирането на отделните хармонични съставлящи: за честота 9 kHz амплитудата е 4,65 V, а дефазирането $171,73^\circ$. За изходния възел



Фиг. 6. Резултати от извършения спектрален (Fourier) анализ на цифровия честотен модулатор с тригер на Шмит при подадена логическа 1 на входния TTL сигнал

постояннотоковата съставляща е 5,86 V. Установява се, че хармоничната съставляща с най-голяма амплитуда има честота, близка до тази на изходния сигнал при логическа 0 на входния TTL ($f \approx 5,18$ kHz).

За подадена логическа 0 на входния TTL сигнал получените резултати от извършения спектрален (Fourier) анализ на изходния сигнал са представени на фиг. 7.



Фиг. 7. Резултати от извършения спектрален (Fourier) анализ на цифровия честотен модулатор с тригер на Шмит при подадена логическа 0 на входния TTL сигнал

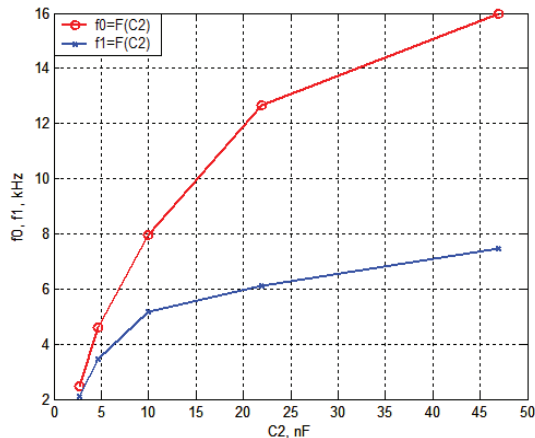
От фиг. 6 и фиг. 7 се установява, че изходният сигнал с по-голямата честота има по-богат хармоничен състав като характерът на изменение на амплитудите на отделните хармонични съставлящи и в двата случая е един и същ.

За установяване на влиянието на стойностите на кондензаторите C_1 и C_2 върху честотата на изходния сигнал са извършени и симулационни изследвания на проектираната схема цифров честотен модулатор с тригер на Шмит със съответните стойности и получени резултати, представени в таблица 1.

Таблица 1. Честоти на изхода за логическа 0 и логическа 1 на входния сигнал при различни стойности на кондензаторите C_1 и C_2

C_1 , nF	10	10	10	10	10	4,7	4,7	22	47	47
C_2 , nF	10	4,7	2,7	22	47	10	47	22	10	47
f_0 , kHz	7,94	12,65	16	4,61	2,47	8,55	2,73	4,44	8	2,42
f_1 , kHz	5,18	6,1	7,46	3,46	2,1	6,21	2,25	2,52	2,51	1,31

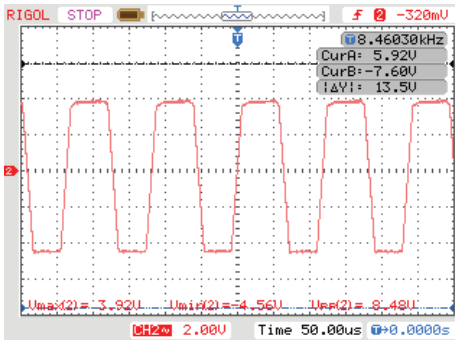
На фиг. 8 са представени зависимостите на честотите f_0 и f_1 от стойността на кондензатора C_2 при $C_1=10$ nF (const). Установява се, че и двете графични зависимости са нелинейни и се изменят по логаритмичен закон. При увеличаване на "управляващия" капацитет с допълнително добавяне на такъв (f_1 спрямо f_0) изменението на честотата е по-слабо изразено и по-линейно.



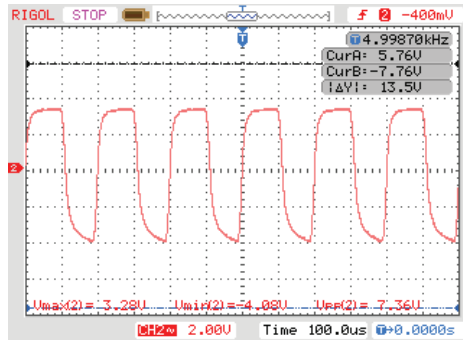
Фиг. 8. Зависимости на честотите f_0 и f_1 от стойността на кондензатора C_2 при $C_1=10$ nF (const)

3. Експериментални изследвания на разработен лабораторен модел на цифров честотен модулатор с тригер на Шмит

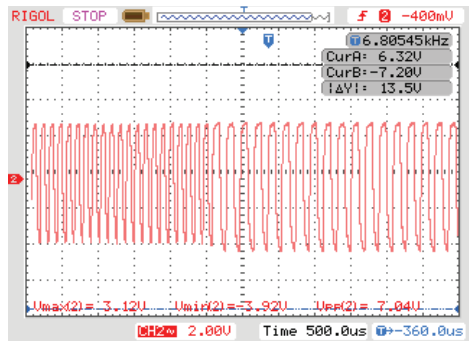
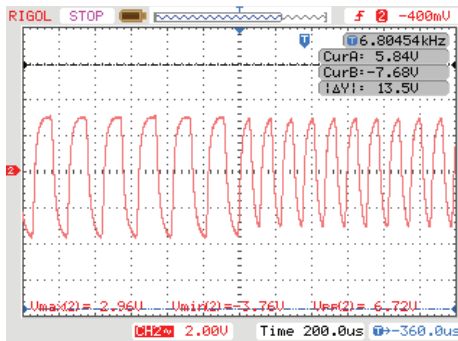
На фигури 9 + 12 са представени осцилограмите, получени от изследването на практически реализиран лабораторен модел на цифров честотен модулатор с тригер на Шмит с ОУ с ПОВ. От представените осцилограми на изходния сигнал, при входни сигнали - логически 0 и 1, съответно фиг. 9 и фиг. 10, се установяват честотите $f_0=8,46$ kHz и $f_1=5$ kHz като има и разлика както в амплитудата така и в неговата форма. От фиг. 11 и фиг. 12, при които разликата е само в мащаба на времето по оста ОХ, се установява, че честотната модулация на изхода на цифровия честотен модулатор с тригер на Шмит е съпроводена с паразитна амплитудна модулация.



Фиг. 9. Осцилограма на изходния сигнал при входен - логическа 0



Фиг. 10. Осцилограма на изходния сигнал при входен - логическа 1



Фиг. 11. Осцилограма на изходния сигнал

Фиг. 12. Осцилограма на изходния сигнал

В таблица 2 е направена сравнителна оценка между получените експериментални и симулационни резултати от изследването на реализирания цифров честотен модулатор с тригер на Шмит като е изчислена и относителната разлика (грешката) между тях. От нея се установява, че получените работни честоти на изхода при практическата реализация и направените експериментални изследвания се доближават до тези, получени при симулационните, като относителната грешка между тях (усреднената относителна разлика) е от порядъка на 5 %.

Таблица 2. Сравнителна оценка между получените експериментални и симулационни резултати от изследването на цифровия честотен модулатор с тригер на Шмит

Цифров честотен модулатор с тригер на Шмит	Честота	Експериментални резултати	Симулационни резултати	ε, %
	f_0 , kHz	8,46	7,94	
f_1 , kHz	4,99	5,18	3,80	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящия доклад е представена и проектирана схема на цифров честотен модулатор с тригер на Шмит за ниски честоти. С помощта на продукта Multisim са извършени симулационни изследвания, а също така са приложени и получени експериментални такива на реализиран лабораторен модел. Те онагледяват принципа на работа на цифровия честотен модулатор и представят някои от основните му параметри и характеристики.

От получените и представени експериментални резултати на проектираните и реализирани лабораторни модели на цифрови честотни модулатори с модул-таймер 555 и с тригер на Шмит (с ОУ с ПОВ) може да се направи следния извод: тъй като при схемата на цифровия честотен модулатор с модул-таймер 555 се използва специализирана ИС, получените резултати са по-приемливи за практиката. Схемата притежава и следните предимства – промяната на изходната честота не е свързана с наличието на паразитна амплитудна модулация, а също така изходният сигнал има правоъгълна форма, което съответства на цифровото предаване и пренасяне на информацията.

Представеното оразмеряване и получените симулационни и експериментални резултати онагледяват работата и обясняват принципа на действие на цифровите честотни модулатори. Те биха могли да бъдат използвани и при проектирането,

симуляционното и експерименталното изследване и на други схеми, широко използвани в практиката.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Немигенчев И., Аналогова схемотехника. Университетско издателство „Васил Априлов“, Габрово, ISBN 978-954-683-334-1, 2006 г.

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

[3] 2N2219A, 2N2222A High Speed Switches, Preliminary data
<http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00003223.pdf>

За контакти:

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

Докладът е рецензиран.