

## OPTIMIZATION AND STUDIES OF A QUADRATURE GENERATOR<sup>1</sup>

**Assoc. Prof. Boyan Karapenev, PhD**

Department of the Communication Equipment and Technologies,

Technical university of Gabrovo, Bulgaria

Phone: 066-827 415

E-mail: bkarapenev@tugab.bg

**Abstract:** This paper presents the special features of RC harmonic oscillation generators and their widespread use and in particular the quadrature generators which provide two output signals dephased at 90° or 270°. Quadrature generators can be classified as those with an aperiodic frequency-determining circuit or with a phase inverter group which are used to generate oscillations of one or more fixed frequencies. An optimization of a quadrature generator circuit has been performed. The results obtained from the simulation and experimental studies performed are presented for the proposed circuit. It can be assumed that the experimental and simulation results completely coincide to an accuracy up to 0,26% for the amplitude of the generated signals and to an accuracy of 0,64% for the generated frequency. Quadrature generators are very widely used in communication technology and, most importantly, in the structure of digital frequency, phase and quadrature-amplitude modulators and demodulators.

**Keywords:** Quadrature Generator, Optimization, Studies

### ВЪВЕДЕНИЕ

RC генераторите се използват за генериране на трептения с честоти от няколко Hz до няколко MHz. Избирателната им система е съставена само от R и C елементи, което определя техните основни предимства: малки габаритни размери, подходящи за интегрално изпълнение и вграждане в хибридни ИС, не се влияят от външни полета и др. Тъй като RC избирателните вериги нямат добра избирателност, получаването на трептенията с малки нелинейни изкривявания е свързано с въвеждането на допълнителна нелинейна ООВ, която също така стабилизира и амплитудата на трептенията. RC генераторите се характеризират и с относителна нестабилност на генерираната честота  $\Delta f/f_0$  в границите от 10<sup>-2</sup> до 10<sup>-3</sup>.

Много често в практиката се налага даден генератор да осигури два изходни сигнала, дефазирани на определен ъгъл. Когато ъгълът е 90° или 270° (-90°), генераторът се нарича квадратурен. Квадратурните генератори намират много широко приложение в комуникационната техника за реализирането на цифровите ъглови модуляции [3] и най-вече квадратурно-амплитудната (QAM).

### ИЗЛОЖЕНИЕ

#### А. Квадратурни генератори на хармонични трептения

Според характера на избирателната верига RC генераторите се разделят на две основни групи [2]:

- с аperiодична честотноопределяща верига или RC генератори с фазовъртяща група;
- с избирателна честотноопределяща верига - с максимален или минимален коефициент на предаване на обратната връзка  $\beta$  за генерираната честота и нулево дефазирание между изходния и входния сигнал.

Квадратурните генератори могат да се класифицират към тези с фазовъртяща група, които се използват за генериране на трептения на една или няколко фиксирани честоти. Тъй като едно RC звено може да дефазира на ъгъл по-малък от 90°, то за изпълняване на условието за баланс на фазовите ъгли са необходими минимум три звена.

Квадратурният генератор от фиг. 1 [1] се основава на дефазирание на сигнала в ОВ с помощта на три RC звена, всяко от които внася фазово изместване на 90°. Това осигурява на

<sup>1</sup> Докладът е представен на научна сесия на 26 октомври 2018 с оригинално заглавие на български език: ОПТИМИЗАЦИЯ И ИЗСЛЕДВАНИЯ НА КВАДРАТУРЕН ГЕНЕРАТОР

неговия изход синусоидален и косинусоидален сигнал, които се явяват квадратурни, с разлика във фазите от 90°. При квадратурния генератор се използва двойно интегриране на синусоидата, което дава като резултат дефазирание на 180°. Фазата на втория интегратор се инвертира и се използва за ПОВ, което води до възникването на незатихващи трептения.

Коефициентът на предаване на веригата на ОВ  $\beta$  се определя по

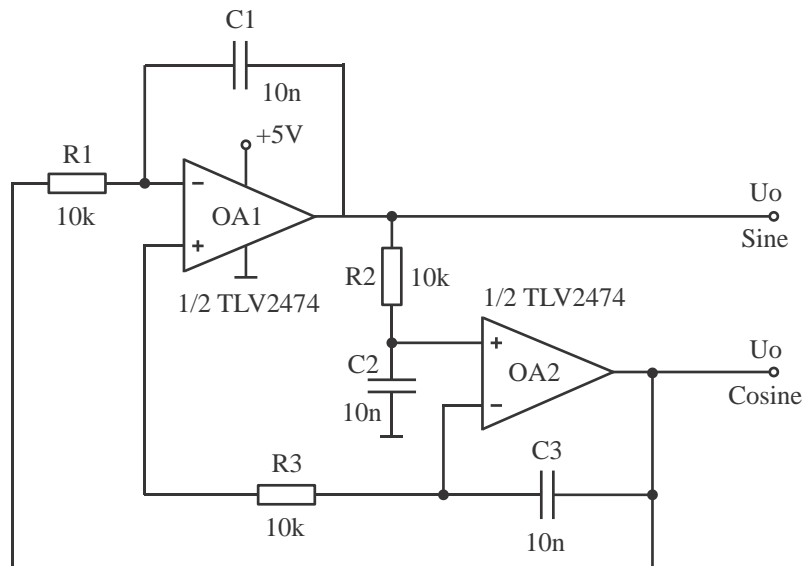
$$A.\beta = A \cdot \left( \frac{1}{R_1.C_1.s} \right) \cdot \left[ \frac{R_3.C_3.s + 1}{R_3.C_3.s(R_2.C_2.s + 1)} \right]. \quad (1)$$

При  $R_1C_1=R_2C_2=R_3C_3$  уравнение (1) се опростява до

$$A.\beta = A \cdot \left( \frac{1}{R.C.s} \right)^2. \quad (2)$$

Когато  $\omega=1/(R.C)$ , уравнение (1) се опростява до ъгъл  $-180^\circ$ , тъй като генерирането възниква за честотата  $\omega$ .  $A$  е коефициентът на усилване по напрежение без обратна връзка.

И двата изхода се характеризират с относително високи нелинейни изкривявания, които могат да бъдат намалени с използването на система за АРУ. Синусоидалният сигнал на изхода има по-малки изкривявания от косинусоидалния. Регулирането на усилването може да увеличи амплитудата на изходния сигнал. Недостатъкът на такъв генератор е ограничения честотен обхват, в който той може да осигури незатихващи трептения.



Фиг. 1. Схема на квадратурен генератор [1]

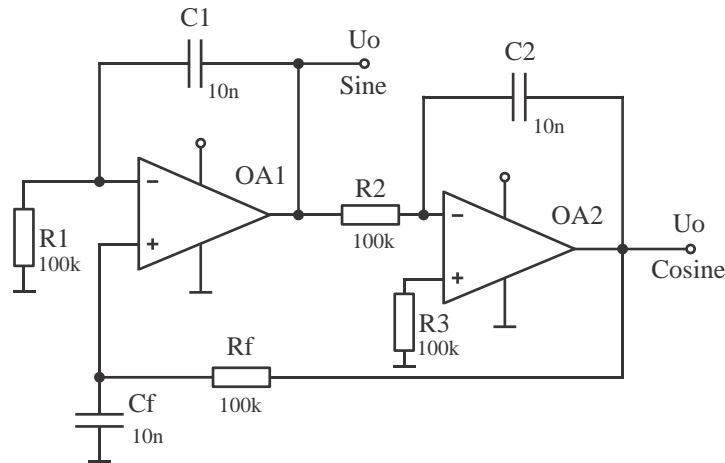
Друга схема на квадратурен генератор е показана на фиг. 2. Дефазирането на 90° се постига с използването на два интегратора и RC ( $R_f$ ,  $C_f$ ) верига, използвана като ОВ. OA1 има функцията на неинвертиращ интегратор, чийто вход е свързан с изхода на OA2 чрез RC обратната връзка. OA2 е интегратор, който конвертира синусоидалния изход на OA1 към неговия косинусоидален изход.

Изходното напрежение при интеграторите се явява интеграл от входния сигнал. Преходната им функция в реален и операторен вид е съответно

$$u_0(t) = -\frac{1}{R.C} \int u_i(t) dt; \quad u_0 = -\frac{1}{pR.C} u_i. \quad (3)$$

Честотните характеристики на интеграторите се определят от комплексния коефициент на предаване

$$\dot{A}_F = -\frac{1}{j\omega R.C}, \quad (4)$$



Фиг. 2. Схема на квадратурен генератор

откъдето за АЧХ се получава  $A_F(\omega) = \frac{1}{\omega R.C}$ .

Тъй като с нарастване на честотата коефициентът на предаване по напрежение намалява ( $\omega$  е в знаменателя) интеграторите се използват предимно като нискочестотни филтри при работа с широк честотен спектър на сигналите.

Проектирането на схемата на квадратурния генератор от фиг. 1 се състои в избор на стойността на капацитета на съставните кондензатори, която е една и съща като  $C_1=C_2=C_3=C$ , и определяне на резисторите, чиито стойности също са равни -  $R_1=R_2=R_3=R$ .

За работна честота  $f_0=1,25$  kHz и избор на капацитета на кондензаторите 10 nF стойността на резисторите се определя по

$$R = \frac{0,125}{C \cdot f_0} = \frac{0,125}{10 \cdot 10^{-9} \cdot 1,25 \cdot 10^3} = 10 \text{ k}\Omega . \quad (5)$$

Като операционни усилватели се избира широко разпространения и използван в практиката с универсално предназначение и приложение  $\mu A741$ . Неговите основни качествени показатели са представени в таблица 1.

Таблица 1. Основни параметри на ОУ  $\mu A741$

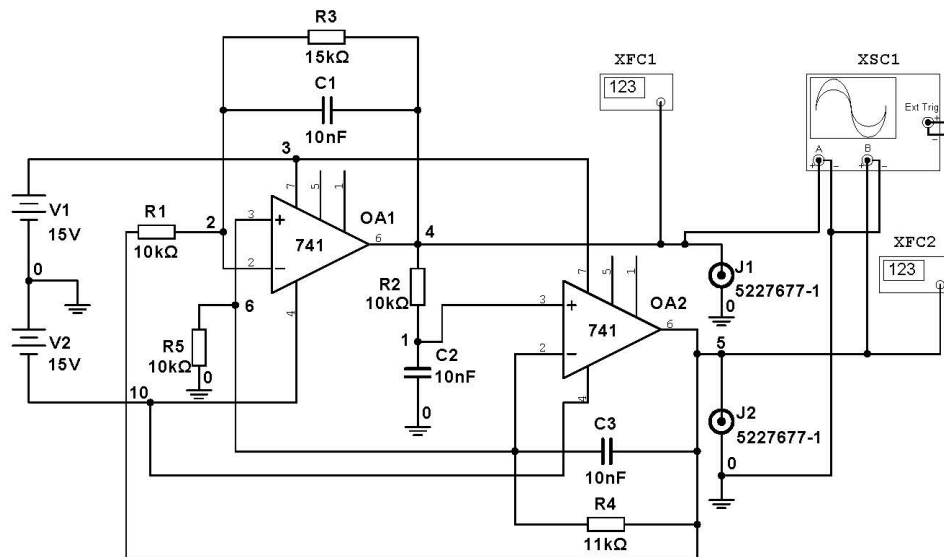
ОУ	$U_{DD}$ , V	$U_{IO}$ , $\mu V$	BW, MHz	Slew/Rate, V/ $\mu s$	$I_{DD}$ , $\mu A$ на ОУ	Output drive	CMRR, dB
$\mu A741$	$< \pm 18$	1000	1	0,5	1700	$\pm 25$ mA	90

### Б. Симулационни изследвания на квадратурен генератор

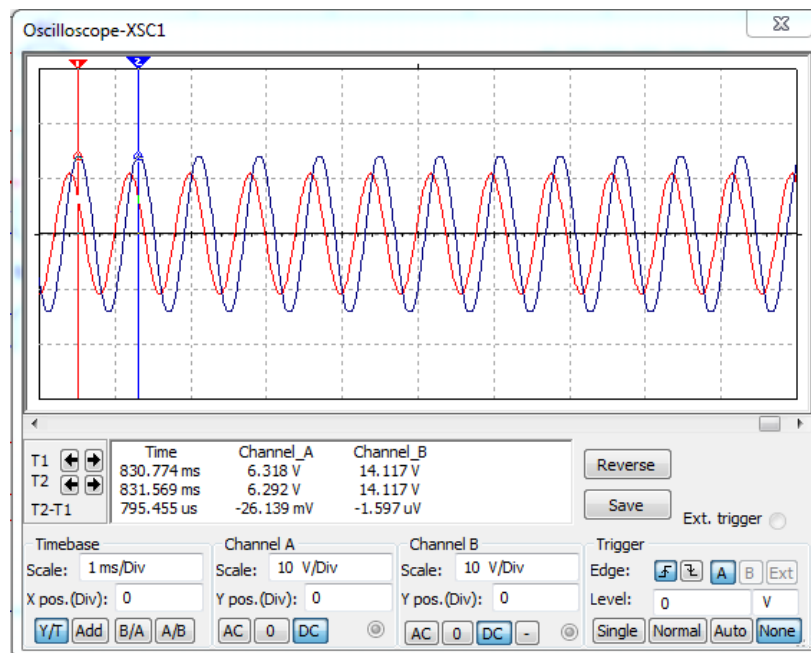
Схемата на квадратурния генератор от фиг. 1 е въведена в работната среда на продукта MultiSIM 13, чиято принципна схема е структурно и параметрично оптимизирана. Реализираната схема на свързване на опитната постановка е показана на фиг. 2.

Получената осцилограма от извършеното симулационно изследване е показна на фиг. 3. Установява се, че и за двата изходни сигнала честотите са едни и същи  $f_0=1,25$  kHz, и че има разлика в техните амплитуди - съответно  $U_{msin}=7,72$  V и  $U_{mcos}=10,26$  V. Работната честота на двата изхода е измерена и с Frequency counter, приемаща стойността 1,258 kHz.

От извършения Fourier analysis се установяват постояннотоковите съставлящи на двата изхода  $U_{DCsin} = 76,5$  mV и  $U_{DCcos} \approx 4$  mV, както и минималната разлика в коефициентите на нелинейни изкривявания  $k_{SIN} = 1,43$  % и  $k_{COS} = 0,84$  %.



Фиг. 3. Схема на свързване на опитната постановка за симулационно изследване на оптимизирания квадратурен генератор



Фиг. 4. Осцилограма на изходните сигнали на симулационно изследвания оптимизиран квадратурен генератор

### В. Експериментално изследване на реализирания квадратурен генератор

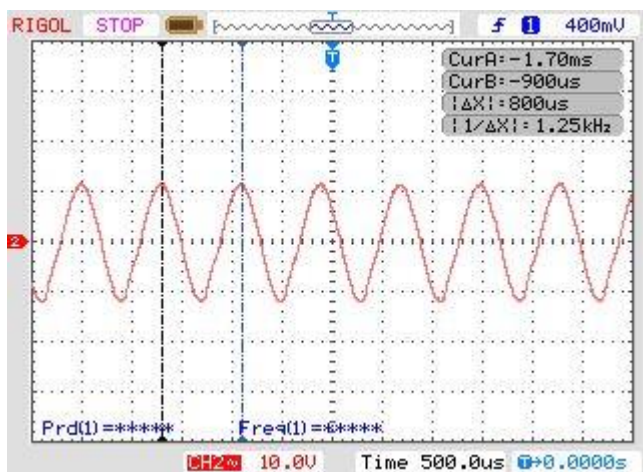
Предложеният квадратурен генератор от фиг. 2 е реализиран практически с помощта на експериментален набор Analog experimenter Type 3205.

В таблица 2 са представени измерените постоянни напрежения в посочените възли от принципната схема на реализирания оптимизиран квадратурен генератор от фиг. 2.

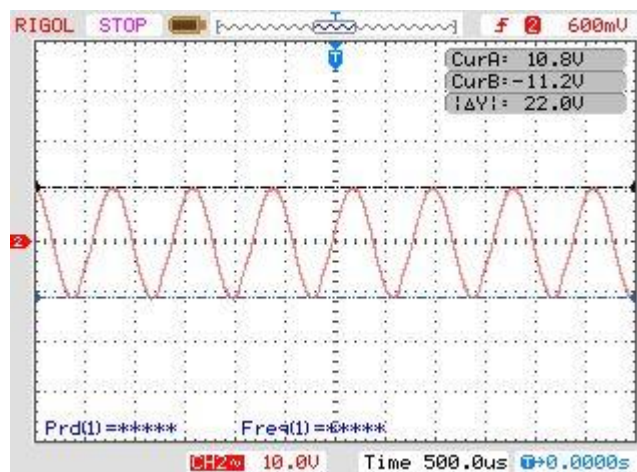
Таблица 2. Постоянни напрежения в посочените възли на квадратурния генератор

№ на възел	1	2	4	5	6
U <sub>н</sub> , mV (експ.)	10	75	- 32	5	56

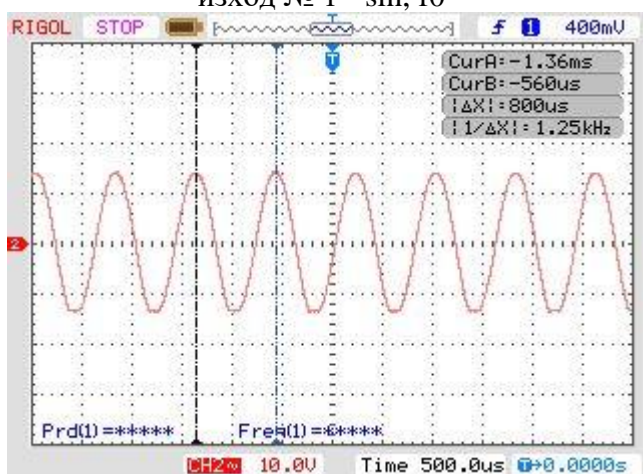
На фигури 5 ÷ 8 са представени осцилограми на изходните сигнали, получени от експерименталното изследване на реализирания лабораторен модел на квадратурен генератор при двуполярно захранване  $\pm 15\text{ V}$  (фиг. 2), съответно за двата изхода № 1 - sin и № 2 - cos (честота  $f_0$  и изходно напрежение  $u_0$ ).



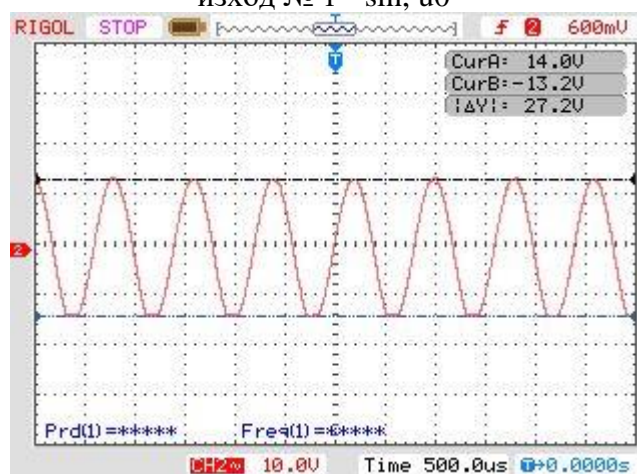
Фиг. 5. Осцилограма на изходния сигнал на реализирания квадратурен генератор - изход № 1 -  $\sin, f_0$



Фиг. 6. Осцилограма на изходния сигнал на реализирания квадратурен генератор - изход № 1 -  $\sin, u_0$

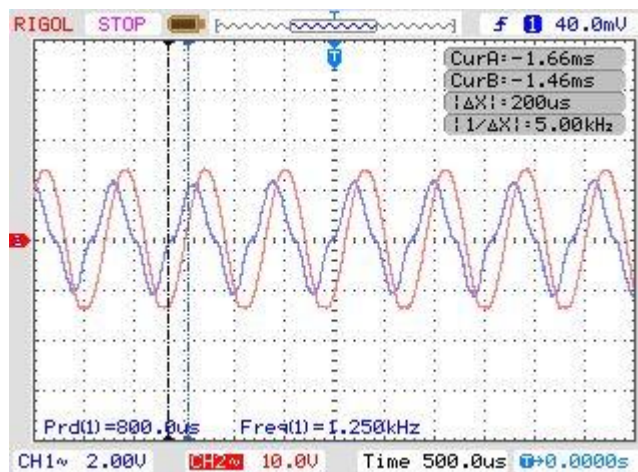


Фиг. 7. Осцилограма на изходния сигнал на реализирания квадратурен генератор - изход № 2 -  $\cos, f_0$



Фиг. 8. Осцилограма на изходния сигнал на реализирания квадратурен генератор - изход № 2 -  $\cos, u_0$

На фиг. 9 е показана осцилограма на двата изходни сигнала на квадратурния генератор, от която се установява тяхното дефазирание на  $90^\circ$ .  $|\Delta X|$  е  $200 \mu s$ , което е точно  $1/4$  от периода  $T=800 \mu s$  на двата сигнала, показани на фигури 4 и 6. Също така се установява, че синусодалният изход (№ 1) се характеризира и с определени нелинейни изкривявания.



Фиг. 9. Осцилограма на изходните сигнали на реализирания квадратурен генератор изход № 1 ( $\sin$ ) - син цвят, изход № 2 ( $\cos$ ) - червен цвят

В таблица 3 е направена сравнителна оценка на реализираните параметри на предложената схема на квадратурен генератор. Може да се приеме, че експерименталните и симулационните резултати напълно съвпадат с точност до 0,26 % за амплитудата на генерираните сигнали и с точност 0,64 % за генерираната честота.

Таблица 3. Сравнителна оценка на реализираните параметри на предложената схема на квадратурен генератор

Параметър	Изход № 1 - sin			Изход № 2 - cos		
	Симул. рез.	Експер. рез.	$\mathcal{E}$ , %	Симул. рез.	Експер. рез.	$\mathcal{E}$ , %
$u_0$ , V	7,72	7,7	<b>0,26</b>	10,26	10,24	<b>0,20</b>
$f_0$ , kHz	1,258	1,25	<b>0,64</b>	1,258	1,25	<b>0,64</b>

## ИЗВОДИ

RC генераторите с ОУ са ограничени по работна честота, тъй като те не притежават необходимата честотна лента на пропускане за получаването на малко дефазирание при високи честоти. Съвременните ОУ с ОБ по ток имат значително по-широка честотна лента на пропускане, но те са много чувствителни към капацитетите във веригата на ОБ. ОУ с ОБ по напрежение (с честотна корекция) имат ограничен работен обхват с честоти до около 100 kHz. Честотната лента допълнително се намалява при каскадно свързване на ОУ с цел умножаване на дефазирането.

Предложената схема на квадратурен генератор притежава характеристиките на RC генераторите на хармонични трептения с фазовъртяща група, като от извършените симулационни и експериментални изследвания и получените резултати се установява, че те напълно съвпадат с точност до 0,26 % за амплитудата на генерираните сигнали и с точност 0,64 % за генерираната честота.

Квадратурните генератори намират много широко приложение в комуникационната техника и най-вече в структурата на цифровите честотни, фазови и квадратурно-амплитудни модулатори и демодулатори.

## REFERENCES

1. Манчини, Р., Палмер, Р. *Генераторы гармонических сигналов на операционных усилителях*.

URL:

[http://zpostbox.ru/sine\\_wave\\_oscillators.html](http://zpostbox.ru/sine_wave_oscillators.html)

(Accessed on 16.09.2018).

2. Немигенчев, И. (2006). Аналогова схемотехника. Университетско издателство "В. Априлов" гр. Габрово, ISBN 954-683-334-7.

3. Немигенчев, И., Карапенев, Б. (2007). Комуникационни преобразователни устройства. Университетско издателство "В. Априлов" гр. Габрово, ISBN 978-954-683-361-7.