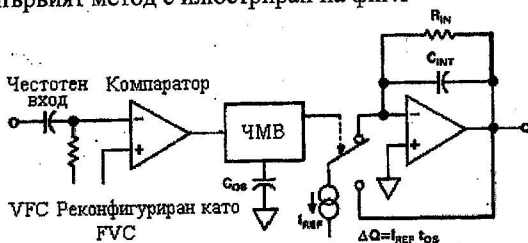


Преобразувател на честота в напрежение и метод за преобразуване.

Доц. д-р Светослав Цветанов Иванов – ТУ София, филиал Пловдив
Тел. 032/659-713, E –mail: sml@abv.bg

Ivanov S. Cv., Technical university of Sofia – branch Plovdiv, Frequency-to-voltage converter and method. This paper presents on the design and performance of a Frequency-to-voltage converter and method for converting. The schematic diagram of proposed and experimented converter is illustrated. The frequency – output voltage and frequency- ripple voltage on the output characteristics of the frequency-to-voltage converter are given. The experimental results of this paper confirm the theoretical predictions and demonstrate proportional dependency between inputs Frequencies and output voltage in wide interval.

Въведение. Известни са два популярни метода за преобразуване на честотно модулирани импулси в напрежение: входната честота стартира чакащ мултивибратор в структурата на зарядно-балансен преобразувател на напрежение в честота, който съдържа резистор в паралел на интегриращия кондензатор или входната честота се прилага на входа на фазово честотен компаратор на една схема за фазова синхронизация на честотата (PLL), която използва преобразувател от напрежение в честота като осцилатор. Принципът на действие на първият метод е илюстриран на фиг.1

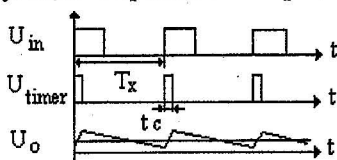


Фиг.1

За всеки период на входната честота, електрически заряд със стойност Q преминава през интегратора реализиран с RC групата. Чрез балансирането на едно постоянно количество електричество, което ще протича през всеки период на входната честота ($T = 1/f$) при едно средно ниво $I = U/R$ следва, че $U_0 = Q \cdot f \cdot R$. Макар, че напрежението зависи слабо от капацитета – C , пулсациите на изходното напрежение са обратно пропорционални на C [1]. Пулсациите от връх до връх на напрежението се получават от уравнението $U = Q/C$. Това означава, че пулсациите са независими от честотата. Времето за установяване на този преобразувател се определя от времеконстантата – $\tau = R \cdot C$, с което и

честотната грешка при преобразуването може да бъде изчислена. От тези уравнения се вижда, че характеристиките на този вид преобразуватели са взаимно зависими т. е. не е възможно да се оптимизират коефициента на пулсацияте и времето за установяване по-отделно. За да се реализира последното условие се използва фазова синхронизация на честотата (PLL) [2]. Преобразувателят от честота в напрежение с фазова синхронизация на честотата се отличава от останалите PLL, само в едно отношение: управляваният с напрежение генератор при нормалната схема PLL, който трябва да бъде монотонен, но не непременно линеен, се заменя с генератор управляван по линеен закон [3]. Реализира се сервосистема и чрез отрицателна обратна връзка се поддържа равенство между изходната честота на генератора и честотата на входните импулси. Изходното напрежение, което в случая представлява управляващото напрежение на генератора на импулси, е пропорционално на входната честота. В тази статия е предложен нов метод и устройство за преобразуване на честота в напрежение.

Метод на преобразуване. Правоъгълните импулси с променлива честота, независимо от техният коефициент на запълване се преобразуват в импулсна поредица с променлив коефициент на запълване, като коефициента на запълване е в линейна зависимост от честотата на входните импулси. Широчинно-импулсно модулираните (ШИМ) импулси се демодулират и се получава постоянно напрежение, което е в линейна зависимост от честотата на входните импулси. Всеки положителен фронт на входните импулси включва чакащ мултивибратор (Timer), който генерира импулси с постоянна продължителност t_c (фиг.2). Получената импулсна поредица е със същата честота на входните импулси, но с променлив коефициент на запълване.



фиг.2

Следователно импулсите на изхода на чакация мултивибратор са модулирани по честота и по коефициент на запълване, във функция от честотата на входните импулси. Демодулирането им по коефициент на запълване се извършва най-често посредством пасивен нискофrequentен филтър. Известна е стойността на изходното напрежение при детектиране на ШИМ модулирани сигнали:

$$U_o = \frac{t_c}{T_x} \cdot U_z, \quad (1)$$

където: t_c е продължителността на генерираният импулс от чакация мултивибратор;

T_x е честотата на входните импулси;

U_z е стойността на захранващото напрежение за демодулатора.

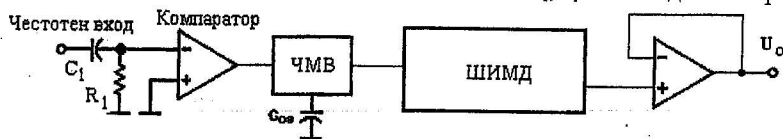
Честотата на входните импулси и техният период са равни на:

$$F_x = \frac{1}{T_x} \Rightarrow T_x = \frac{1}{F_x} \quad (2)$$

От това следва, че след задействане на чакащия мултивибратор от входната преобразувана честота на изхода на ШИМ демодулатора ще се установи напрежение със следната стойност:

$$U_o = \frac{t_c}{T_x} \cdot U_z = t_c \cdot F_x \cdot U_z \quad (3)$$

Принципна схема на изследвания преобразувател от честота в напрежение. Схемната реализация на предложеният метод за преобразуване на честота в напрежение е показана на фиг.3. Импулсите постъпват на входа на диференциращата верига, включваща елементите C_1, R_1 . Последната верига

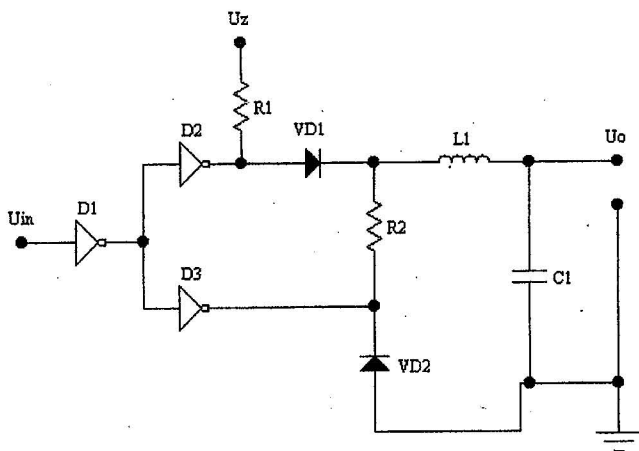


Фиг.3

заедно с компараторът в нулата генерират стартиращия импулс за чакащия мултивибратор. Изходният импулс на последния постъпва на входа на широчинно-импулсния демодулатор (ШИМД). Аналоговият сигнал на изхода на демодулатора се съгласува по мощност със входните вериги на следващи схеми посредством повторителят на напрежение, реализиран с операционен усилвател.

Принципна схема на широчинно импулсния демодулатор.

За демодулатор на широчинно-импулсно-модулираните сигнали е използван последователен RLC кръг (фиг.4). С помощта на инверторите D_2 и D_3 се осигуряват вериги съответно за зареждането и разреждането на кондензаторът C_1 . При постъпване на сигнал лог."1" на входа на демодулатора, изходите на инверторите D_2 и D_3 , (които са с отворен колектор), се установяват във високо ниво. Следва процес на зареждане на кондензаторът C_1 от захранващия източник U_z през резистора R_1 , диода VD_1 и бобината L_1 . При постъпване на сигнал лог."0" на входа, изходите на инверторите D_2 и D_3 се установяват в ниско ниво, а диода VD_1 се запушва. Токът от самоиндукция на бобината L_1 се затваря по веригата - C_1, VD_2 и R_2 . А при настъпване на процесът на разреждане на кондензатора C_1 електрическата верига се затваря през елементите L_1, R_2 и изходния транзистор на инвертора D_3 . Диодът VD_2 предпазва изходния



Фиг.4

транзистор на инвертора D_3 от инверсно включване. За препоръчване е диодите VD_1 и VD_2 да бъдат диоди на "Шотки". При проектиране на последователната RLC верига е спазено условието за аperiодичен характер на преходния процес т.е., активното ѝ съпротивление е по-голямо от удвоеното вълново съпротивление - $R > 2\sqrt{L \cdot C^{-1}}$. Собствената резонансна честота на контура е равна на $F_0 = 16 \text{ kHz}$.

Резултати от експерименталните изследвания.

Честотата на генерираните импулси от чакащия мултивибратор t_c е равна на $1 \mu\text{s}$. Експерименталните изследвания са проведени с входни импулсни сигнали с променлива честота изменяща се в интервала от 50 до 500 kHz. В табл.1 са отразени резултатите от направените измервания и изчисления на основните параметри на преобразувателя от честота в напрежение - K_p , K_r , t_{set} . Честотата

Табл.1

F_x [kHz]	50	100	200	300	400	500
U_{out} [V]	0.965	1.571	2.745	3.944	5.08	6.176
K_p	0.000019	0.0000157	0.0000137	0.0000131	0.0000127	0.0000123
K_r [%]	5.1	2.35	0.73	0.33	0.18	0.06
t_{set} [μs]	579	525	660	874	924	919

на входните импулси е означена с F_x , а стойността на изходното напрежение на честотния демодулатор с U_{out} .

Коефициента на пропорционалност е определен от отношението:

$$K_p = \frac{U_{out}}{F_x} \quad (4)$$

Коефициентът на пулсациите е определен от уравнението:

$$K_r = \frac{U_p}{U_{out}} \cdot 100\% \quad (5)$$

Времето за установяване – t_{set} е измерено като интервал от постъпването на първият импулс на входа на преобразувателя със съответната честота, до момента на установяване на изходното напрежение – U_{out} .

Коефициент на нелинейност на предавателната характеристика ($U_{out}=f(F_x)$) определен за честотния интервал от 100 до 500 kHz от уравнението:

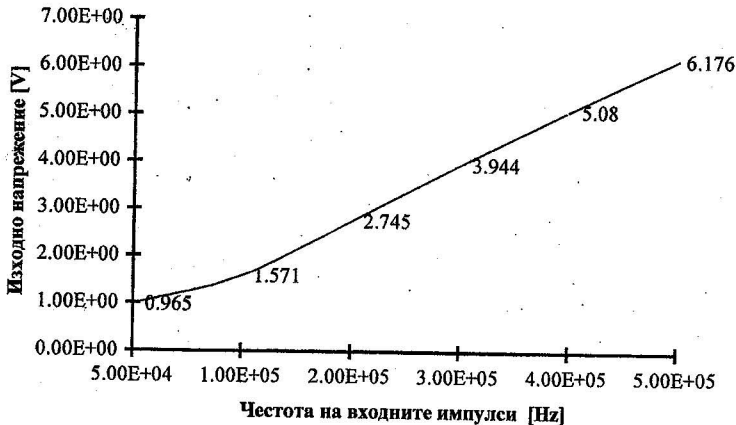
$$K_N = \frac{\left. \frac{du}{dt} \right|_{f=100kHz} - \left. \frac{du}{dt} \right|_{f=500kHz}}{\left. \frac{du}{dt} \right|_{f=100kHz}} \quad (6)$$

$$K_N = 0.22$$

Най-малък е коефициента на нелинейност в честотните интервали между 300, 400 и 500 kHz.

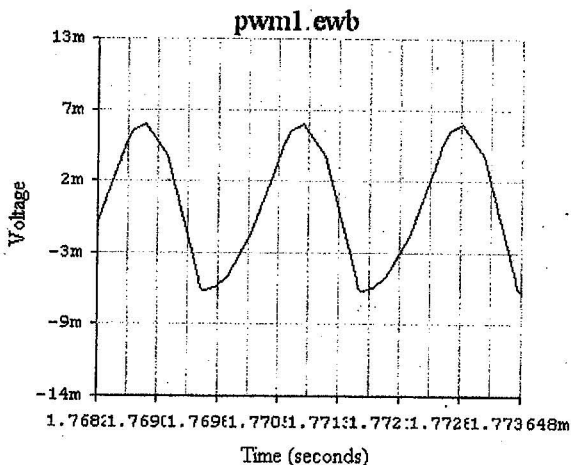
$$K_N = 0.03$$

Зависимостта на изходното напрежение на преобразувателя във функция от честотата на входните импулси е показана на фиг.5.



Фиг.5

Осцилограма на изходното напрежение на честотния преобразувател при честота на входните импулси $F_x = 500 \text{ kHz}$ е показана на фиг.6.



Фиг.6

От фигурата се виждат пулсациите на изходното напрежение измерени в режим АС на осцилоскопа.

Заклучение.

Предложеният метод и устройство за преобразуване на честота в напрежение има добра линейност в изследвания интервал от 100 до 500 kHz. Интервалът на изменение на изходното напрежение може да бъде предварително зададен с промяна на захранващото напрежение U_z . Използването на RLC верига вместо RC верига за демодулиране на импулсите намалява пулсациите на изходното напрежение в широк честотен диапазон.

Литература:

1. Prokin M., Dynamic response of the Double buffered frequency measurement method, IEEE instrumentation and measurement technology conference, May 12-14, 1992, p.46-51.
2. Гальперина М., Современные линейные интегральные микросхемы и их применение, Москва, Энергия, 1980.
3. Ikeda H., A new modulation-index measuring instrument for square-wave fm signal, IEEE instrumentation and measurement technology conference, May 12-14, 1992, p.52-55.