

ГЕНЕРИРАНЕ НА СЛУЧАЙНИ СИГНАЛИ

RANDOM SIGNAL GENERATION

ГЕНЕРИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ

Доц. д-р инж. Начев, Н.

Технически университет – София, България

Abstract: A description of the random signal generator, developed by the Scientific Research Laboratory "Vibration and Noise in Machinery" at Technical University – Sofia, has been presented in this study.

The characteristics of the generated random signal are similar to those of white noise. The random signal generator GFA1 is a multifunctional system, designed for driving test vibrostands for equivalent mechanical tests in the field of machine construction, transport and transport engineering, energetics, instrument construction and other technical areas.

KEYWORDS: GENERATOR, AMPLIFIER, DETERMINED SIGNAL, STOCHASTIC SIGNAL, WHITE NOISE, SPECTRAL DENSITY, FREQUENCY CHARACTERISTICS, LOW-FREQUENCY FILTERS.

1. Увод

В много области на науката и техниката, изучаването на влиянието на случайните /стохастични/ смущения, при протичането на едни или други физични процеси, е една от основните цели на експерименталните изследвания [2,16,18].

Именно случайните трептения /смущения/ налагат принципни ограничения върху точността на контрола на един или друг процес. Проблемът с отчитане на случайните въздействия възниква най-често тогава, когато те се явяват причина, смущаваща целенасочения ход, и ограничение за потенциалните възможности на един технологичен процес. За съжаление пълното отстраняване на тяхното влияние е принципно невъзможно.

Но случайните въздействия или наричани просто шум, не са само пречка при решаването на даден технически проблем. Много често създаването на стохастични въздействия с определени характеристики, е цел на изследователя. Обширен кръг технически задачи може да бъдат решени най-добре, именно с използването на случайни сигнали. Областите на приложение им в техническата практика, са извънредно разнообразни. Преди всичко това са лабораторни изследвания на различни системи и устройства [16], на случайни – полезни и смущаващи /вредни/ въздействия. И едните и другите се моделират, посредством специални генератори, с предварително зададени статистични характеристики.

Генераторите на случайни сигнали намират също както и генераторите на детерминирани - хармонични и импулсни сигнали, обширно приложение в лабораторната и заводската практика. За това способстват и редицата ценни качества които те притежават.

Спектралният състав на случайните трептения на изхода на генератора, по правило е равномерен, в много широк честотен обхват – от единици херци до стотици мегахерци и по-вече. Те са надежни при експлоатация, характеризират се със стабилност на параметрите, удовлетворяващи изискванията на практиката. С помощта на относително прости допълнителни устройства, може значително да се разширяват техните функционални възможности [3,10]. Например, създаване на случаен сигнал със зададен закон на разпределение, или преобразуване на случаен сигнал с друг спектрален състав.

В основата на възпроизвеждането на случайни сигнали са заложили елементарни физични процеси – топлинно възбуждане на носителите на електрически заряди, дискретният характер на електрическите заряди, както и различните комбинации между тях [3,10].

2. Първични източници на случайни сигнали.

2.1. Бял шум и неговите свойства.

В акустиката с понятието *бял шум* е прието да се нарича стационарен случаен процес с постоянен на всички честоти енергетичен спектър[4]:

$$(1) G(\omega) = G_0 = const.$$

Понятието "бял шум" образно подчертава аналогията с "бялата" /естествена/ светлина, при която в границите на видимия обхват, интензивността на всички спектрални компоненти е приблизително еднаква.

Съгласно теоремата на Хинчин [4], автокорелационната функция на белия шум е

$$(2) K(\tau) = \frac{G_0}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{j\omega\tau} d\omega = G_0 \delta(\tau),$$

от където следва, че белият шум има неограничено голяма средна мощност.

Белият шум се нарича още делта-корелиран случаен процес. Липсата на корелация между моментните стойности на реализацията на такъв случаен сигнал означава, че те се променят във времето с неограничено голяма скорост: колкото и малък да е интервалът τ , моментните стойности на сигнала в този интервал може да се променят с произволна крайна стойност.

Белият шум е абстрактен математичен модел и строго погледнато, съответстващ на него реален физичен процес, безусловно не съществува. Това обаче не изключва възможността, един реален достатъчно широкополосен случаен процес, да бъде еквивалентно описан с бял шум.

2.2. Особенности при конструирането на генератори на случайни сигнали.

Един генератор на случайни сигнали съдържа следните три основни подсистеми:

- първичен източник;
- преобразувател на случайния сигнал;
- устройство за контрол на параметрите на сигнала.

В качеството на първични източници може да се използват различни устройства: всички видове резистори, полупроводникови прибори – диоди и триоди, електронни лампи, всички видови гозоразрядни прибори, фотоелементи, фотоумножители и др. [3,11]. Особена група първични източници съставят различните видове устройства, регистриращи продуктите на радиоактивния разпад [3,10].

За получаване на случайни сигнали, може да се използват и генератори на регулярни /периодични/ сигнали. В основата на тяхното приложение е известният факт, че в природата няма и не може да има регулярни сигнали. На работата на всеки автогенератор, оказва влияние вътрешния шум в отделните негови звена – топлинен и дробов шум, изменението на външните условия и т.н.

Колкото и да са разнообразни видовете първични източници на случайни сигнали, във всеки конкретен случай, при конструирането на генератор със зададени характеристики

на сигнала, е необходимо да се обоснове конкретният избор на първичния източник [15].

На този избор оказват влияние множество фактори. Основният от тях е простотата на следващите преобразувания на сигнала, с оглед получаването на необходимите статистични характеристики. При избора на първичния източник се налагат определени изисквания като: стабилност на параметрите на сигнала във времето, взаимозаменяемост на основните електронни прибори, срок на експлоатация и др.

Най-важните количествени характеристики на първичния източник на случаен сигнал са мощността, ширината и равномерността на спектъра на генерирания сигнал.

В зависимост от физическата природа на използвания първичен източник, флукуациите в спектралната плътност на изходния сигнал може съществено да се различават. Така например, за жичен резистор, използван в качеството на първичен източник, спектралната плътност – при стайна температура, е от порядъка $10^{-21} W / Hz$, а за тиратрони максималната стойност достига да $10^{-4} - 10^{-5} W / Hz$. В същото време нестабилността на спектралната плътност за специалните шумови резистори не превишава 1%, докато при тиратроните, нестабилността може да се изменя – няколко пъти.

Общите изисквания, които трябва да удовлетворява един източник на шум, следва да се класифицират така:

1/. Равномерна спектрална плътност на мощността на случайния сигнал в зададен честотен обхват. Неравномерността на спектъра не по-вече от $\pm 1 - 2dB$;

2/. Достатъчно високо изходно напрежение /или мощност/ на сигнала в зададена честотна лента. Благодарение на това в значителна степен се намалява броя на следващите преобразуващи звена;

3/. Неизменност и възпроизводимост на характеристиките на случайния сигнал във времето и при изменение на външните условия (температура, налягане, влажност);

4/. Взаимозаменяемост на първичния източник на случаен сигнал, без да се налагат допълнителни настройки на устройството.

3. Генератор на случаен сигнал *GFA1*. Техническо описание.

Генераторът на случаен сигнал *GFA1* описан в статията, е могофункционална измерителна система основно предназначена за управление на изпитателни вибростендове за еквивалентни механични изпитвания в сферата на общото машиностроене, транспорта и транспортната техника, енергетиката, приборостроенето и др. технически области. Системата е ориентирана и за обезпечаване на експериментални изследвания в съответните научни области.

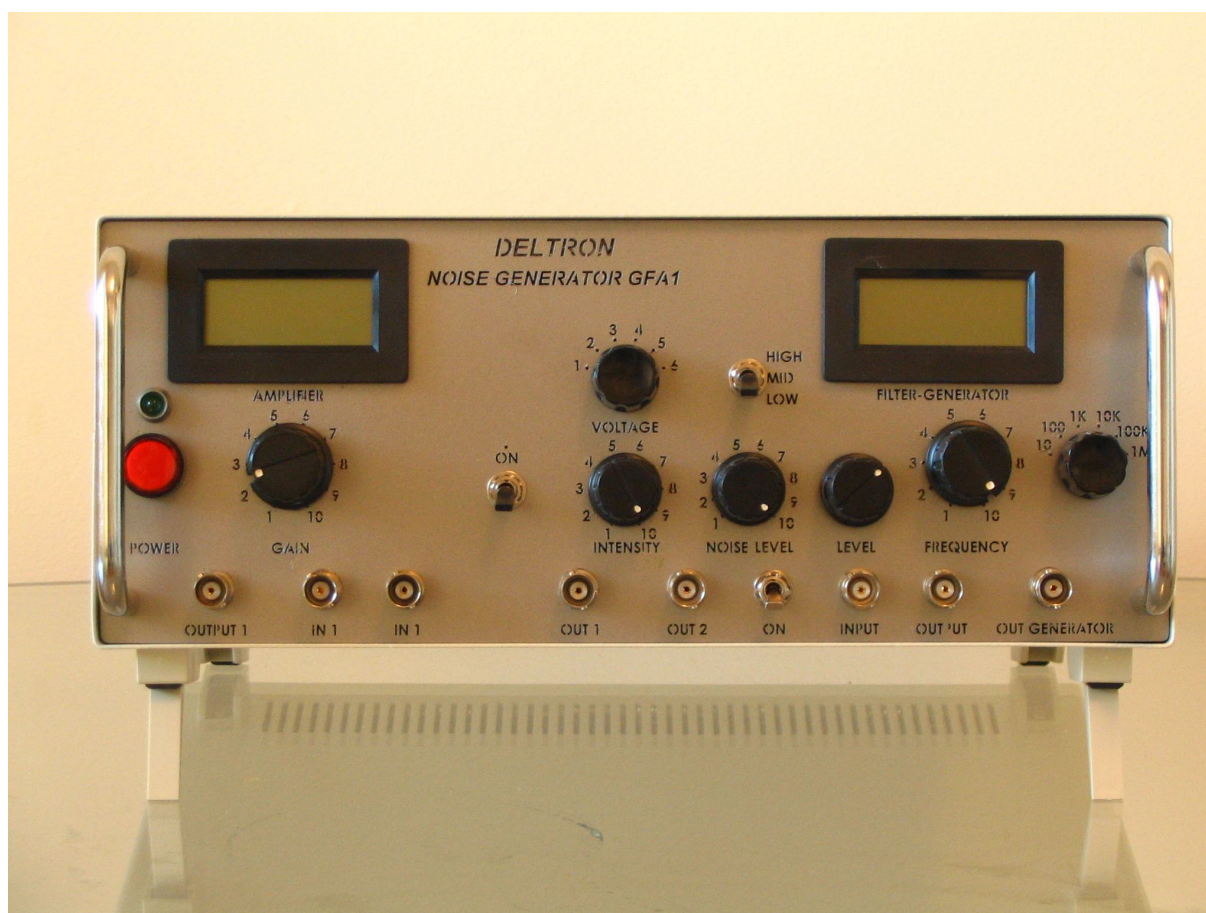
Генераторът е разработен от НИЛ “Вибрации шум в машините”, при Технически университет – София.

GFA1, е изграден от четири измерителни модули, които може да функционират както независимо един от друг така и съвместно, в зависимост от целите и задачите на конкретното механично изпитване. Чрез задаване на видове изпитателни въздействия – синусоидално, синусоидални импулси, теснолентови и широколентови случайни вибрации, с предварително зададени характеристики, се решава един сравнително широк кръг задачи на изпитателната практика.

Основните измерителни модули изграждащи системата са:

- генератор на бял шум в честотния обхват $1 Hz - 5 MHz$;

- синусоидален генератор в честотния обхват $1 Hz - 200 kHz$;



Фиг. 1



Фиг.2

- регулируеми нискочестотни филтри от IV ред, със степенно и плавно задаване на лентата на пропускане в честотния обхват $1\text{ Hz} - 400\text{ kHz}$;

- усилвател на мощност, позволяващ непосредствено включване на изпитателен електродинамичен стенд към източниците на изпитателни сигнали.

3.1. Основни технически характеристики.

3.1.1. Генератор на бял шум.

-обхват на честотния спектър- $1\text{ Hz}-5\text{ MHz}$;

-неравномерност на спектъра - $\pm 2,5\text{ dB}$;

-ниво на изходния сигнал - 2 V , (eff);

-регулиране на нивото на изходния сигнал- $1\text{ mV}-2\text{ V}$,

степенно и плавно;

-изходно съпротивление- 100Ω ;

-защита срещу късо съединение на изхода- да;

-цифрова индикация на нивото на изходния сигнал-

$3\frac{1}{2}$ разряда;

-сандарт на изходящия куплунг- BNC;

3.1.2. Синусоидален генератор.

-честотен обхват - $1\text{ Hz}-200\text{ kHz}$;

-коэффициент на нелинейни изкривявания - $<0,03\%$;

-неравномерност на амплитудата по обхватите -

$<0,07\text{ dB}$;

-регулиране на нивото на изходния сигнал - плавно,

$1\text{ mV}-4\text{ V}$, eff;

-изходно съпротивление - 100Ω ;

-цифрова индикация на нивото на изходния сигнал-

$3\frac{1}{2}$ разряда;

-защита срещу късо съединение на изхода- да;

-сандарт на изходящия куплунг- BNC;

3.1.3. Регулируем нискочестотен филтър.

-Ред на филтъра - IV ред/ $24\text{ dB} / \text{oct}$;

-лента на пропускане- степенно и плавно регулируема в обхвата $1\text{ Hz}-400\text{ kHz}$;

-входно съпротивление /при 1 kHz /- $50\text{ k}\Omega$;

-изходно съпротивление - 100Ω ;

-защита срещу късо съединение на изхода - да;

-сандарт на входящо-изходящите куплунзи - BNC;

3.1.4. Усилвател на мощност.

-изходяща мощност /при товар 3Ω /- 50 W ;

-чувствителност /при номинална мощност/- 1 V ;

-честотен обхват- $0,2\text{ Hz}-200\text{ kHz}$, -3 dB ;

-коэффициент на нелинейни изкривявания / 1 kHz /- $0,06\%$;

-динамичен обхват- $>88\text{ dB}$;

-съпротивление на товара- $>2,5\Omega$;

-входно съпротивление /при 1 kHz /- $50\text{ k}\Omega$;

-защита срещу късо съединение на изхода- да;

-цифрова индикация на нивото на изходния сигнал-

$3\frac{1}{2}$ разряда;

Захранване.

- вид на захранването- мрежово, 220 V , $\pm 10\%$;

-консумирана мощност /при номинален товар/-около 90 W ;

Допустими климатични условия.

-обхват на работната температура-от -15 до $+45^\circ\text{ C}$;

-максимална относителна влажност- 90% ;

Габаритни размери и маса.

-габаритни размери- $300\times 130\times 230\text{ mm}$;

-маса- $6,2\text{ kg}$;

3.2. Конструкция и принцип на действие.

3.2.1. Модул "първичен източник на бял шум".

Колкото и да е голямо разнообразието на видовете източници на случаен шумов сигнал, във всеки конкретен случай при конструирането на генератор с определени характеристики на случайния сигнал, е необходимо да се обоснове избора на първичния източник. Най-важните характеристики на първичния източник на сигнала е широчината на спектъра, неговата равномерност и мощността на генерирания сигнал.

В настоящата разработка, в качеството на първичен източник на случаен сигнал е използван фотоелектронен умножител – ФЕУ.

Генерираният от ФЕУ случаен сигнал се характеризира със:

- приемлива мощност на изходния сигнал;
- широк честотен обхват от 1 Hz до 6 MHz ;
- много добра равномерност на спектъра.

От важно значение е, че с този вид първичен източник се постига много добра равномерност на спектъра на случайния сигнал - до $\pm 1\text{ dB}$, при което той се приближава твърде много до модела на "бял шум".

Причината за електрическите флуктуации при този източник на шум е дробовият ефект на фототока. Той се обяснява със специфичния механизъм, обусловен от дискретната природа на електрическия заряд. За разлика от топлинния шум, в този случай флуктуациите възникват не поради хаотичното топлинно движение на електроните, а вследствие на статистическата независимост на преместванията на токоносителите в електронните прибори – вакуумни или полупроводникови.

Например, в електронно-вакуумния диод със загрят - емитиращ катод, под действието на източника на постоянна е.д.с. в него ще протича ток - хаотичен поток електрони, всеки от който пренася елементарен електрически заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ K}$. Времето за прелитане на електрона от катода до анода е $\tau \approx 10^{-9}\text{ s}$. В този времеви интервал във външната верига се регистрира краткотраен импулс – т.н. *конвекционен ток*, при което

$$(3) \int_0^{\tau} I_K dt = e,$$

от където следва, че $I_K \approx 1,6 \cdot 10^{-10}\text{ A}$.

В обичаен работен режим, токът в диода е няколко милиампера. Излитанията на отделни електрони от катода, може да се считат за статистически независими събития. От тук е ясно, че моментната стойност на анодния ток на диода не остава постоянен, а претърпява известни флуктуации, получили названието *дробов шум* [10].

И така, дробовият ефект, е обусловен от дискретния характер на заряда на електрона. Ако средната стойност на тока на фотокатода на фотоелектронния умножител е I_0 , то във всеки момент на времето моментната стойност на тока, вследствие на флуктуациите на броя на електроните емитирани от фотокатода, ще се отличава от средната стойност. Величината на дробовия ток на фотокатода, ще се определи с израз /валиден само за дробов шум/

$$(4) I_A^2 = \int_{f_1}^{f_2} S_I(f) df = 2eI_0\Pi, \quad \text{където}$$

I_0 е токът в амperi, а честотната лента $\Pi = (f_1 - f_2)$ в херци.

$S_I(f)$ - спектрална плътност на шума.

Нивото на шумовия ток на фотокатода се усилва чрез следващите стъпала на фотоумножителя K -пъти, където K е коефициентът на усилване на фотоумножителя. Освен това, във фотоумножителя флукутира вторичен емитерен ток, при което най-съществено влияние върху стойността на изходния шум, оказват първите усилвателни стъпала. Така, шумовият ток на изхода на фотоумножителя се определя в съответствие с формулата (4) и е:

$$(5) I_D^2 = 2eI_0\Pi K^2(1+B),$$

където B е коефициент на шума от вторичната емисия. За фотоелектронните умножители стойността на допълнителния множител $K^2(1+B)$ е определен експериментално и е в границите 1,5-3.

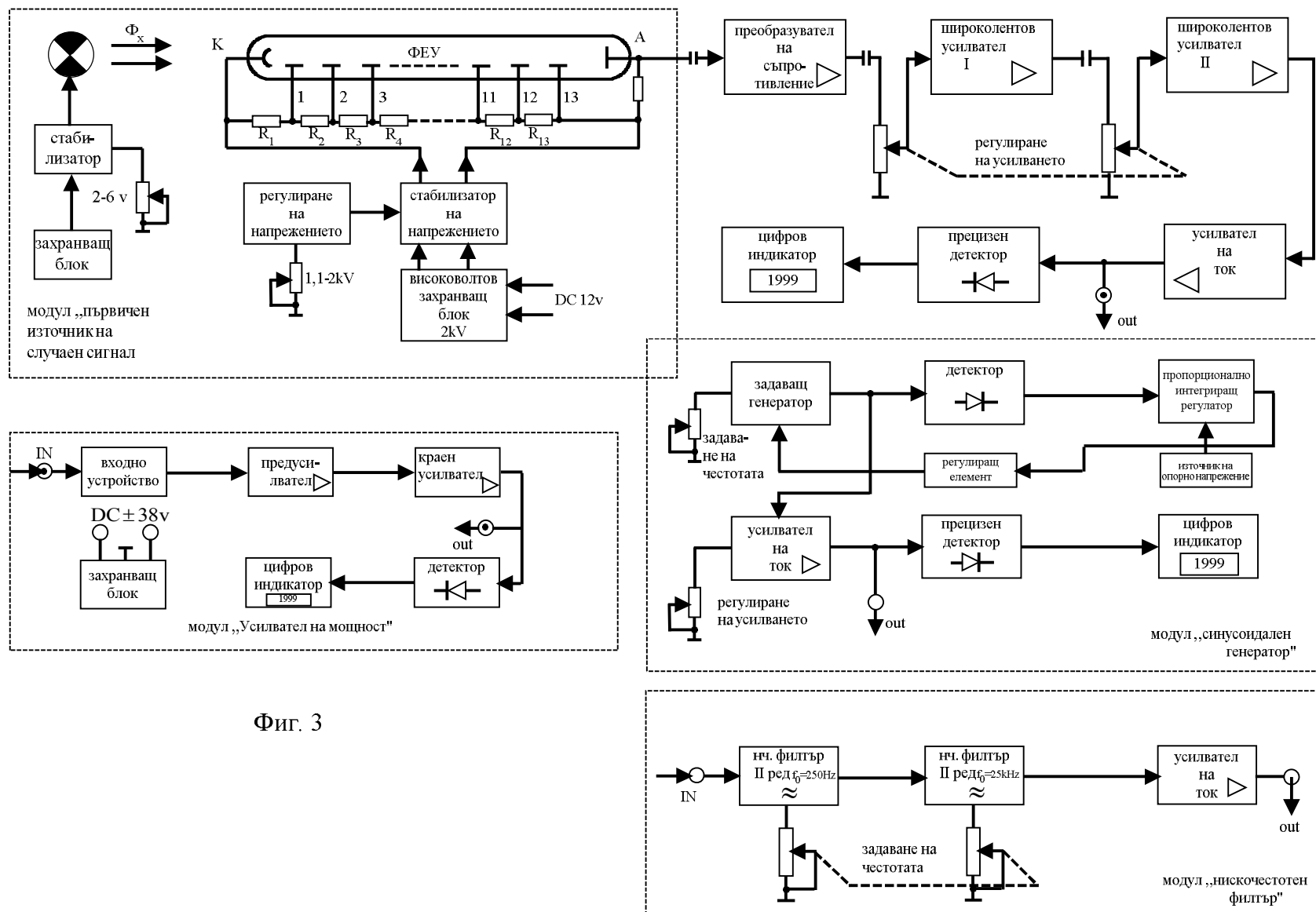
От блоковата схема, представена на фиг.3 е видно включването на фотоумножителя, функциониращ като първичен източник на шум. Резисторът R_T служи за товар на фотоумножителя. Шумовият ток създава върху него пад на напрежението

$$(6) U^2 = 2eI_0 K^2(1+B) \int_{f_1}^{f_2} R^2(f) df,$$

$$\text{Където } R(f) = \frac{R_T}{\sqrt{1 + (2\pi f R_T C)^2}}.$$

Захранването на електронния фотоумножител се осъществява от високоволтов регулируем стабилизирани захранващ източник. Предвидена е регулировка на захранващото напрежение - степенно и плавно в обхвата $1,1 - 2\text{ kV}$, с цел да се постигне най-добра равномерност на спектъра на случайния сигнал на изхода на системата. За осветяване на катода на ФЕУ е използван точков светлинен източник на бяла светлина, съгласно блоковата схема от фиг.3, също захранван от стабилизирани постояннотокови източник. Предвидена е регулировка на интензивността на осветяването с цел постигане на оптимални параметри на шумовия сигнал.

Изходният сигнал от ФЕУ постъпва на входа на преобразувателя на съпротивление. След това сигналът последователно се усилва са два широколентови усилватели на напрежение – *1-ви* и *2-ри усилватели*,



Фиг. 3

като на изхода се получава максимално напрежение $2 V (eff)$.

Предвиден е регулатор на нивото на изходния сигнал в обхвата $0-2V$.

След усилвателите на напрежение сигналът постъпва в усилвател на ток, за повишаване на мощността на изходния сигнал.

3.2.2. Модул “синусоидален генератор”.

Този модулен блок е изграден от следните основни звена:

- задаващ генератор;
- пропорционално интегриращ регулатор;
- усилвател на ток;
- регулатор за степенно и плавно задаване на честотата на генерираните трептения;
- индикатор на нивото на изходния сигнал.

Задаващият генератор е изграден с усилвателя ОУ1, с въведена положителна обратна връзка. Последната е реализирана посредством делителя: Z_1 - последователно съединени резистор R_1 и кондензатор C_1 ; Z_2 - успоредно свързаните резистор R_2 и кондензатор C_2 .

Схемата генерира синусоидални трептения при изпълнението на условието за хармоничен баланс [6]

$$(7) \quad \dot{K}\dot{\beta} = 1,$$

или още

$$(8) \quad K\beta e^{j(\varphi+\psi)} = 1,$$

където $\dot{K} = Ke^{j\varphi}$ е комплексен предавателен коефициент на усилвателя; $\dot{\beta} = \beta e^{j\psi}$ е комплексен предавателен коефициент на веригата на обратната връзка. Това условие се разпада на следните две:

1/. Условие за баланс на амплитудата

$$(9) \quad K\beta = 1;$$

2/. Условие за баланс на фазата

$$(10) \quad \varphi + \psi = 2\pi n, \quad (n = 1, 2, \dots).$$

Условието за баланс на фазата се изпълнява само за една честота, която се определя така: Тъй като схемата на RC генератора е изпълнена на двустъпален усилвател на резистори при което $\varphi = 2\pi$ и $\dot{K}$ е реална величина, следователно и коефициентът $\dot{\beta}$ трябва да е също реален. От фиг. 4 е видно, че $\dot{\beta}$ може да се изрази чрез отношението

$$(11) \quad \dot{\beta} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}.$$

След заместване с величините

$$Z_1 = R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} \quad \text{и} \quad Z_2 = \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2}$$

във формула (11) и след несложни преобразувания, при отчитането на $R_1 = R_2 = R$ и $C_1 = C_2 = C$ намираме:

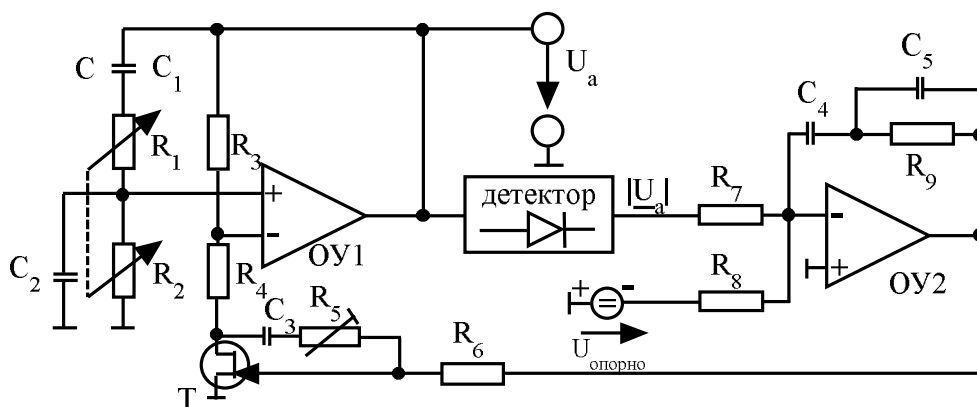
$$\dot{\beta} = \frac{1}{3 + j\left(\omega CR - \frac{1}{\omega CR}\right)}.$$

Величината $\dot{\beta}$ ще бъде реална, когато вторият член в знаменателя е равен на нула. Това условие ще се изпълни само за една честота

$$(13) \quad \omega_0 = \frac{1}{RC},$$

която е и честотата на хармоничното трептене. Тогава ще имаме $\beta = 1/3$.

За стабилизация на амплитудата на трептенията е приложено схемно решение, съгласно фиг.4.



Фиг.4.

Напрежението от изхода на ОУ1 се изправя с помощта на прецизен детектор. След него сигналът постъпва на пропорционално-интегриращ регулатор [11], изпълнен на операцияния усилвател ОУ2. Този регулатор установява такова напрежение на гейта на полевия транзистор, щото средната стойност на входното напрежение на ОУ2 да е равно на нула. При това средната стойност на изходното

напрежение $|\bar{U}_a|$ ще бъде равно на опорното напрежение $U_{оп}$.

Времеkonстантата на пропорционално интегриращият регулатор, трябва да бъде достатъчно голяма в сравнение с периода на генерираните трептения.

Задаването на честотата на трептенията се осъществява степенно и плавно в обхвата $1 \text{ Hz} - 200 \text{ kHz}$.

След ОУ1 сигналът постъпва в усилвател на ток.

Нивото на изходния сигнал се задава плавно в обхвата $1\text{ mV} - 4\text{ V (eff)}$;

Отчитането на нивото на изходния сигнал се осъществява посредством 3 1/2 разряден цифров индикатор.

3.2.3. Модул “регулируеми нискочестотни филтри”.

Електронният филтър е устройство, предназначено да пропуска електрически трептения с едни честоти, и да подтиска трептения с други [12,14]. Честотната област за която модулът на предавателния коефициент не се променя или по-точно се изразява с определена величина със зададен точност, определя лентата на пропускане на филтъра. Честотната област за която предавателният коефициент не надвишава зададена стойност, определя лентата на подтискане.

В общият случай предавателният коефициент, може да се представи във вида

$$(14) K(p) = \frac{b_0 + b_1 p + b_2 p^2 + \dots + b_m p^m}{a_0 + a_1 p + a_2 p^2 + \dots + a_n p^n},$$

където $b_0, b_1, \dots, b_m; a_0, a_1, \dots, a_n$, са реални числа, а p – оператор на Лаплас. За синусоидални сигнали $p = j\omega$, ($j^2 = -1$).

Редът на филтъра се определя от най-високата степен на оператора p в знаменателя. Ако са известни корените $z_1, z_2, \dots, z_m$ на числителя и корените $p_1, p_2, \dots, p_n$ на знаменателя, то предавателният коефициент може да се представи във вида

$$(15) K(p) = \frac{b_m (p - z_1)(p - z_2) \dots (p - z_m)}{a_n (p - p_1)(p - p_2) \dots (p - p_n)}.$$

При $p = z_i$, предавателният коефициент е равен на нула, поради което корените $z_1, z_2, \dots, z_m$ се наричат нули. При $p = p_i$, предавателният коефициент е равен на безкрайност, поради което корените $p_1, p_2, \dots, p_n$ се наричат полюси.

Предавателният коефициент е напълно определен, ако са известни стойностите на нулите и полюсите, а така също и постоянния множител b_m / a_n .

В този модул на разработката са включени два последователни нискочестотни филтри от 2-ред, всеки от които със затихване 12 dB/oct .

Предавателният коефициент на всеки от тях е

$$(16) K(p) = \frac{b_0 + b_1 p + b_2 p^2}{a_0 + a_1 p + a_2 p^2},$$

където $signa_0 = signa_1 = signa_2$.

На основание на (16), предавателния коефициент, при $b_1 = b_2 = 0$, е:

$$(17) K(p) = b_0 / (a_0 + a_1 p + a_2 p^2).$$

На практика всеки от последователно включените филтри, в измерителната верига, се характеризира с три параметъра: ω_0 - характеристична честота; K_0 -

предавателен коефициент при честота ω , при това $\omega \ll \omega_0$;

ξ - коефициент на затихване на трептенията.

Така, предавателният коефициент се представя във вида:

$$(18) K(p) = \frac{K_0 \omega_0^2}{p^2 + \xi \omega_0 p + \omega_0^2}.$$

Модулът и аргументът на тази функция са:

$$(19) |K(p)| = \sqrt{\frac{K_0^2 \omega_0^2}{\omega^4 + \omega^2 \omega_0^2 (\xi^2 - 2) + \omega_0^4}};$$

$$(20) \varphi(\omega) = -\arctg \left[\frac{1}{\xi} \left(2 \frac{\omega}{\omega_0} + \sqrt{4 - \xi^2} \right) \right] - \arctg \left[\frac{1}{\xi} \left(2 \frac{\omega}{\omega_0} - \sqrt{4 - \xi^2} \right) \right].$$

При $\xi < \sqrt{2}$, АЧХ на филтъра има «гърбица» в честотната област около честота ω_0 . Максималният модул на предавателния коефициент на филтъра, при $\xi < \sqrt{2}$, е при

честота $\omega_\xi = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{2}\xi^2}$. Максималният наклон на АЧХ на филтъра, при $\xi > \sqrt{2}$ е равен на 40 dB/dec .

Установяването на честота ω_0 се осъществява

степенно и плавно в честотния обхват $1\text{ Hz} - 400\text{ kHz}$. Органите за управление са разположени на предния панел на уреда – фиг.1.

3.2.4. Модул «Усилвател на мощност».

Входно-изходни характеристики.

Свойствата на този модул на системата се характеризират със следните основни показатели: *входни и изходни параметри; коефициент на усилване и коефициент на полезно действие; честотна, фазова и преходна характеристика; амплитудна характеристика, динамичен обхват и ниво на собствените шумове; нелинейни изкривявания.*

Към изходните характеристики се отнасят: *изходно напрежение* $U_{изх}$ или *изходяща мощност* N_2 , отдавана от усилвателя върху определен товар, а така също *изходно съпротивление* на усилвателя $Z_{изх}$, характеризиращо изменението на изходния сигнал, при изменението на съпротивлението на товара. Товарът на усилвателя е съпротивлението R_2 , което в работния честотен обхват на усилвателя може да се приеме за активно. Ако товарът на усилвателя е чисто активно съпротивление R_2 , то изходното напрежение, тока и мощността са свързани със съотношенията:

$$(21) U_{изх} = I_{изх} R_2; N_2 = I_{изх} U_{изх} = I_{изх}^2 R_2 = \frac{U_{изх}^2}{R_2}.$$

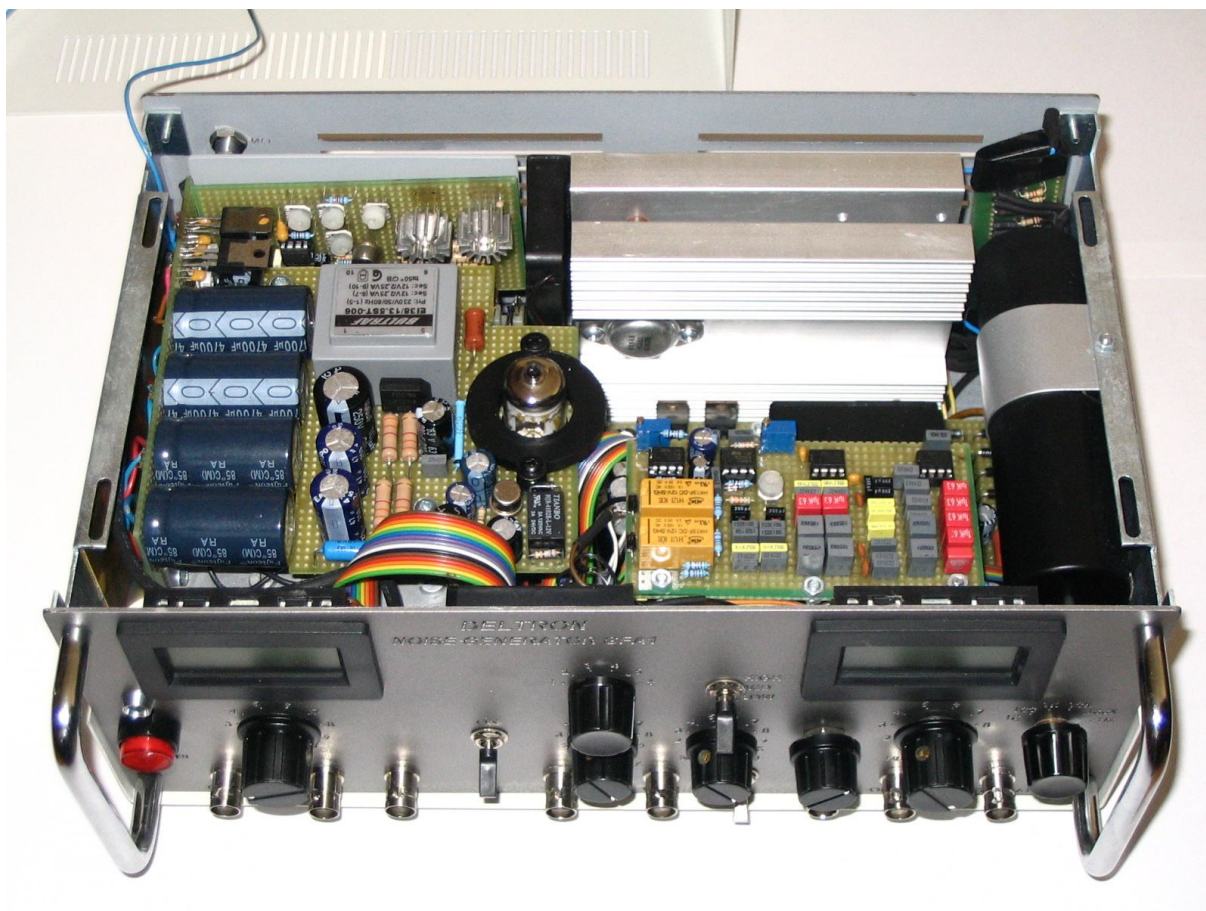
Към *входните* характеристики се отнасят: *номинално входно напрежение* $U_{вх}$ или *входен ток* $I_{вх}$, при които усилвателят отдава зададените технически изисквания на изходното напрежение или изходяща мощност върху товара, и *входното съпротивление* $Z_{вх}$. Обикновено, в работния честотен обхват, входното съпротивление на усилвателя се счита за чисто

активно и в този случай входното напрежение, ток и входна мощност N_{ex} са свързани чрез съотношенията:

$$(22) U_{ex} = I_{ex} R_{ex}; N_{ex} = I_{ex} U_{ex} = I_{ex}^2 R_{ex} = \frac{U_{ex}^2}{R_{ex}}$$

Конкретните стойности на описаните по-горе характеристики на модула са посочени в т.3.1.4.

Предназначението на този модул на измерителната система, е да изпълни функцията на сервоусилвател, осъществяващ връзката между управляващите сигнали и изпълнителния орган. Благодарение на него е възможно непосредствено включване на системата към електродинамичен виброизпитателен стенд с мощност до 50 W.



Фиг.5

4. Заключение.

Разработеният генератор на случаен сигнал **GFAI** е многофункционална измерителна система, предназначена за управление на изпитателни вибростендове за еквивалентни механични изпитвания в областта на общото машиностроене, транспорта и транспортната техника, енергетиката, приборостроенето и др. технически области. Свойствата на генерирания случаен сигнал са близки до тези на белия шум.

GFAI е изграден от четири измерителни модула, които може да функционират независимо един от друг, а така също и съвместно в зависимост от целите и задачите на конкретните приложения.

Чрез задаването на видове изпитателни въздействия – синусоидално, синусоидални импулси, теснолентови и широколентови случайни вибрации, с предварително зададени характеристики, се решава един сравнително широк кръг задачи на изпитателната практика за еквивалентни механични изпитвания на видовете обекти.

“Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София- 2010 г.”.

5. Литература.

1. Божко, А.Е. Воспроизведение случайных вибраций. Киев, „Наукова думка“, 1984.

2. Бендат, Дж., А. Пирсол. Применения корреляционного и спектрального анализа. Москва, „Мир“, 1983.
3. Бобнев, М. П. Генерирование случайных сигналов. Москва, “Энергия”, 1971.
4. Зиновьев, Л. И. Филиппов. Введение в теорию сигналов и цепей. Москва, “Высшая школа”, 1975.
5. Колев, Н. П., А. И. Лазаров и др. Электрически измерения. София, “ТУ-София”, 1999.
6. Мирский, Г. Я. Радиоэлектронные измерения. Москва, “Энергия”, 1975.
7. Начев, Н. Система за измерване и анализ на вибрационни и ударни процеси. София, сп. “Машиностроене и машиностроителни технологии”, кн.2р 2010.
8. Пандиев, И., Л. Донева, Д. Стаменов. Аналогова схематехника – ч. 1, 2. София, “ТУ – София”, 2008.
9. Стоянов, И. Измервания в електрониката. София, “ТУ – София”, 2000.
10. Тетерич, Н. М. Генераторы шума и измерение шумовых характеристик. Москва, “Энергия”, 1968.
11. Титце, У., К. Шенк. Полупроводниковая схематехника. Москва, “Мир”, 1982.
12. Шербаков, В. И., Г. И. Грездов. Электронные схемы на операционных усилителях. Киев, “Техніка”, 1983.
13. Bendat, J., A. Pirsol. Random Data. Analysis and Measurement Procedures. New York, “Wiley”, 2010.
14. Glayton, G. Operational Amplifiers. “Butterworth - Henemann”, 1996.
15. Hampton, R. L. A Hybrid Analog-Digital Pseudo-Random Noise Generator. Tucson, “The University of Arizona”, 2009.
16. Kennet G.,Mc Connel, Paulo S. Varoto. Vibration Testing. Theory and Practice. “Wiley”, 2008.
17. Steve Goldman. Vibration Spectrum Analysis. “Industrial Press”, Inc, 1999.
18. Wim, C., Van Etten. Introduction to Random Signals. “Wiley”, 2005.