

СИСТЕМА ЗА ИЗМЕРВАНЕ И АНАЛИЗ НА ВИБРАЦИОННИ И УДАРНИ ПРОЦЕСИ

A SYSTEM FOR MEASUREMENT AND ANALYSIS OF VIBRATION AND SHOCK PROCESSES

СИСТЕМ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И АНАЛИЗА ВИБРАЦИОННЫХ И УДАРНЫХ ПРОЦЕССОВ

Доц. д-р инж. Начев Н.
Технически университет – София, България

Abstract: The following publication contains a description of the system for measurement and analysis of vibration and shock processes, which has been developed by the “Vibration And Noise in Machines” department at Technical University - Sofia. The system is designed for solving a wide array of problems in the field of vibration measurement and analysis of processes in energetics, transport, the chemical industry, etc. A description of the device implementation of the system, as well as a brief description of the developed software products has been provided.

KEYWORDS: MEASUREMENT, VIBRATION, INTEGRAL AMPLIFIER, ACCELEROMETER, FILTER, IMPULSE.

1. Въвод

В динамиката на машините и машиностроителните конструкции експерименталните изследвания заемат съществено място в задачите за контрол на виброактивността и динамичните качества, вибродиагностиката, оценка на надеждността, както и при реализирането на разнообразни режими за управление на сложни технологични процеси.

С нарастването на степента на сложност на обекта на изследването, аналитичните изследователски методи все повече се допълват с експериментални изследвания, с оглед получаване на достатъчно точна и пълна информация за състоянието на обекта. Преди всичко, резултатите от експеримента служат като основна изходна информация при решаването на задачата за идентификация на сложни механични системи [7], за които априорното построяване на математичните модели е много трудоемко, недостатъчно точно и не винаги възможно. На второ място експериментът е средство за изучаването на техническите обекти с цел диагностициране на състоянието им, което е от съществено значение за повишаване на тяхното качество на функциониране и степен на надеждност. Не на последно място, експерименталното изучаване на наблюдаваните явления, позволява да се съпоставят и оценят резултатите от математичното моделиране на техническите обекти.

Задачата за автоматизация на експерименталните изследвания в машиностроенето е тясно свързано с конкретизацията и обобщението на самото понятие научен експеримент [2]. Методологията на експерименталните изследвания и изпитвания на обектите формират основата на експерименталната динамика и вибрационните изпитвания на машините и съоръженията [1,6].

Високите изисквания, отнасящи се до производителността и точността на получаваната експериментална информация, обуславя потребността от прилагането на ефективни методи и съвременни технически средства в това направление.

В настоящата статия е дадено описание на разработена от лаборатория “Вибрации и шум в машините”, катедра “Механика” при ТУ-София, система за измерване и анализ на вибрационни и ударни процеси.

Системата е предназначена за метрологично обезпечаване на широк кръг разнообразни задачи в областта на виброизмерванията и анализа [1,6] на процеси в енергетиката, транспорта, химическата промишленост и др. Системата е ориентирана и за лабораторни научни изследвания.

При описанието на разработката, основното внимание е отделено на апаратурната реализация на системата. Разработени са и софтуерни продукти за обезпечаване на следните основни задачи: анализ на вибрационни и ударни процеси – измерване характеристиките на вибрационното поле,

идентификация на параметри на механични системи [7], експериментално определяне на динамичните характеристики на механични системи, вибрационни изпитвания на уреди, апарати и съоръжения [4], непрекъснат мониторинг и вибродиагностичен контрол на отговорни машини и съоръжения [4]. Общият вид на системата е вииден на фиг.4.

2. Резултати и дискусия

Блоквата схема на виброизмервателната апаратура е представена на фиг.1. Схемата представя триканална измерителна система за вибрации- периодични и стохастични [3], и ударни процеси. След извършените аналогови обработки на измерителните сигнали, същите се преобразуват в цифрова форма и се въвеждат за следващи обработки и анализ в компютър. Двата канала – 1-ви и 2-ри са предназначени за вибрационни измервания, а третият канал служи за измерване на стробиращи импулси. Системата допуска в качеството на вибрационни възприематели да се използват както пиезоакселерометри, така и индукционни преобразуватели /велосиметри/. Измерването на стробиращите импулси се осъществява с оптичен безконтактен възприемател, без непосредствен контакт с обекта на измерването.

С помощта на уреда може да се измерват параметрите на механични трептения в честотния обхват от 0.5 Hz до 30 kHz, в широк динамичен обхват, в зависимост от параметрите на използвания възприемател за вибрации на следните величини:

- вибрационно ускорение a ;
- вибрационна скорост v ;
- вибрационно преместване s .

2.1. Основни технически характеристики:

2.1.1. Входи:

- входно съпротивление – $\geq 1G\Omega$;
- входен капацитет – $\approx 25 pF$;
- максимално входно напрежение – $\leq 5V$;
- калибровъчно напрежение – правоъгълна форма-
1000 Hz, 100 mV;
- стандарт на входящия куплунг – BNC;

2.1.2. Изходи:

- максимално изходно напрежение /пикова стойност/ - 7 V;
- максимален коефициент на усилването – $80dB$;
- изходно съпротивление – 100Ω ;
- защита срещу късо съединение – da ;
- честотен обхват – 0.5 Hz – 30 kHz;
- коефициент на нелинейни изкривявания – $< 0.2\%$;

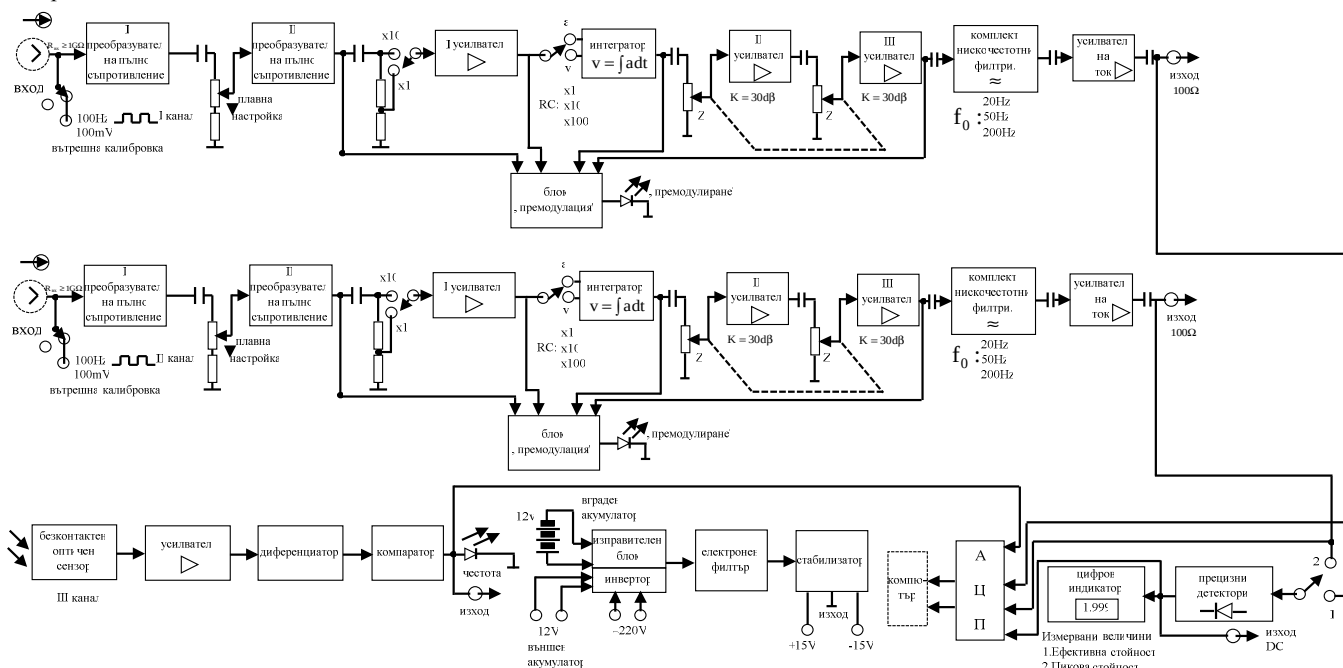
- индикация за премодуляция – да, светодиоди;
- набор превключваеми нискофестотни филтри от II-ред при стръмност – $12\text{dB/oct} - f_0 = 20\text{Hz}$;
 $f_0 = 50\text{Hz}$; $f_0 = 200\text{Hz}$;
- стандарт на изходящия куплунг – BNC;

2.1.3. Индикация на измерваните стойности:

- вид на индикацията /течни кристали/ – цифрова, 3 1/2 разряда;
- вид на измерваните стойности – ефективна- $\tilde{a}, \tilde{v}, \tilde{s}$
пикова – $\hat{a}, \hat{v}, \hat{s}$;
- постоянен ток изход – BNC за включване на допълнителен волтмер.

2.1.4 Аналого-цифров преобразувател – АЦП:

- брой на каналите – 12;



фиг. 1 Блокова схема на триканален виброизмервателен уред

2.2. Конструкция и принцип на действие.

2.2.1. Интегриращ усилвател

Интегриращият усилвател на уреда-фиг.1, изпълнява следните основни функции:

- преобразуване на пълното съпротивление;
- усилване на постъпващият от вибровъзприемателя /пиезоакселерометър или индукционен възприемател/ сигнал до 80dB ;
- интегриране на измерителния сигнал за получаване на изходен сигнал, пропорционален на виброскоростта или вибропреместването.

Между величините, характеризиращи вибрациите – виброускорението – a , виброскоростта – v и вибропреместването – s , съществуват връзките:

$$(1) v(t) = \int a(t) dt, s(t) = \int \int a(t) dt dt,$$

а за синусоидални величини

$$(2) \bar{v}(t) = \frac{\bar{a}}{j\omega}, \bar{s}(t) = \frac{\bar{a}}{\omega^2}.$$

При електронното интегриране са в сила още зависимостите:

- брой на разрядите – 12;
- брой отчети /s – 100000;
- максимално входно напрежение /пиково/ – 9 V;

2.1.5. Захранване:

- вид на захранването – мрежово и автономно;
- захранване от мрежа – 220 V;
- автономно захранване от вграден в уреда Ni-Cd – акумулатор – 12 V;
- времетраене на непрекъсната работа – около 8 часа;
- захранване от външен акумулатор – 12 V;
- наличие на вътрешно зарядно устройство – да;
- консумирана мощност – 1,5 W;

2.1.6. Габаритни размери и маса:

- габаритни размери /мм/ – 80 x 255 x 210;
- маса/включително вградения акумулатор/ – 2,150 kg

$$(3) v_v = \frac{V_a}{\omega RC} \text{ и } v_s = \frac{V_a}{\omega^2 RC},$$

където V_v е електрическото напрежение, пропорционално на виброскоростта, V_s – на вибропреместването, а V_a – на виброускорението.

Времеконстантата на интегрирането RC е избрана така, че при $\omega = 1000\text{s}^{-1}$, превключването на измерваните величини v и s води до промяна в усилването 10^n ($n = 0,1,2$), в сравнение с усилването по виброускорение.

2.2.2. Входни вериги

Преобразувателят на пълното съпротивление /фиг.1/ осигурява високо входно съпротивление – $R_{ex} \geq 1\text{G}\Omega$. Това съпротивление на усилвателя позволява значително да се разшири честотния обхват на уреда в областта на ниските честоти $\leq 0,5\text{Hz}$.

Между I-ви и II-ри преобразуватели на входното съпротивление е включен орган за плавна промяна на коефициента на усилване в обхвата $\pm 6\text{dB}$, който се използва

при тариране и постигане на “удобна” чувствителност на измерителния канал.

2.2.3. Усилватели на напрежение

В измервателната верига са включени общо три усилвателя на напрежение – фиг.2. *I-ви* усилвател е снабден с орган за превключване на коефициента на усилване с две позиции: $\times 1$ и $\times 10$ /съответно с коефициенти на усилване 1 и 10 пъти/.

С *II-ри* и *III-ти* усилватели се постига максимално усилване 30dB , за всяко от усилвателните стъпала.

Котролът на премодулацията се осъществява в четири точки - след втория преобразувател на пълното съпротивление, след първия усилвател на напрежение, след интегриращото звено и накрая след третия усилвател на напрежение. Контролират се както положителната, така и отрицателната полуълна по пикова стойност. Индикацията за премодулация е реализирана със светодиоди, които са монтирани на лицевия панел на уреда.

2.2.4. Комплект нискочестотни филтри

Във всеки от виброизмервателните канали е включен набор нископропускащи филтри от *II* ред [5] /стръмност на характеристиките 12 dB/oct /. Чрез превключване се осъществяват честоти на срязване $f_0 = 20\text{Hz}$, $f_0 = 50\text{Hz}$, $f_0 = 200\text{Hz}$.

В положение *lin* на филтровия превключвател, АЧХ на измерителния канал е равномерна за номиналния честотен обхват на измерителния канал.

2.2.5. Измерване на стробиращи импулси /III-ти канал/

Наличието на този канал в уреда съществено разширява неговите възможности за решаване на широк кръг задачи в областта на виброметрията:

- уравновесяване /балансиране/ на ротори;
- модулация и демодулация на измерителни сигнали;
- честотна селекция;
- синхронно дедектиране и др.

Измерителният канал е изграден от следните основни функционални блокове – усилвател, диференциатор и компаратор.

Реализиран е безконтактния метод на измерване, при който измерителната процедура е силно опростена. Измерванията се осъществяват лесно в разнообразни експлоатационни и лабораторни условия.

Сензорът, който е включен в комплекта е оптичен и работи на принципа на измерването на отразената от обекта на измерване светлина и е практически безинерционен. Това позволява да се измерват стробиращи импулси с висока честота на следването им.

2.2.6. Блок–индикация на измерваните стойности

В тази част на измерителната верига, променливотоковите измерителни сигнали – виброускорение, виброскорост или вибропреместване, се детектират с прецизни детектори – върхов детектор и детектор за ефективна стойност [5]. Измерват се параметри на периодични или стохастични сигнали. Честотният му обхват съответства на честотния обхват на виброизмерителните канали.

Превключването на едната или другата измервани величини се осъществява с двупозиционен превключвател със следните функции:

“^” – пикова стойност и “~” – ефективна стойност на измерваната величина.

Предвидена е и възможност за избор на времеконстантите 0,2 -10 s. Изборът на времеконстантата се осъществява с орган, разположен на задния панел на уреда.

За индикация на изправеното постоянно токово напрежение се използва вграден цифров – $3\frac{1}{2}$ разряден волтмер, разположен на лицевия панел на уреда.

В този блок е предвиден изход – BNC за включване на външен постоянно токов волтмер - аналогов или цифров.

2.2.7. Аналого-цифров преобразувател

За въвеждане на измерителната информация в компютър е използван 12-битов аналого-цифров преобразувател със следните характеристики:

- брой на каналите -12;
- брой на разрядите – 12;
- брой на отчетите – 10000/s;
- максимално входно напрежение /пикова стойност/ - 9

V.

АЦП допуска допълнително – програмно усилване на нивото на обработваните сигнали, при необходимост, след тяхното въвеждане в компютъра.

2.2.8. Захранващ блок

Захранването на измервателния уред се осъществява по един от следните начини:

-мрежово захранване – 220V, $\pm 10\%$;

-автономно захранване – 12 V от вградения в уреда Ca Ni акумулатор, осигуряващ 8-часово непрекъснато функциониране на уреда;

-външно захранване /външен акумулатор или батерии/ - 12 V;

В захранващия блок е използван DC /DC преобразувател/ при честота на преобразуването 100 kHz. С включването на електронен филтър във веригата на захранването е постигната висока степен на филтрация на пулсациите в захранващите напрежения. Последното звено изпълнява функцията “стабилизация” на двете захранващи напрежения $\pm 15\text{V}$.



фиг. 2 Преден панел на виброметъра



Фиг. 3 Разположение на информационните изходи

На предния панел на уреда са разположени светодиодни индикации за:

- режим “мрежово захранване”;
- режим “автономно захранване”
- индикация за разреден акумулатор;
- индикация “зареждане на акумулатора”.

Благодарение на използваната при изграждането на уреда *MOSFET* технология, консумираната от него мощност, въпреки големия брой функционални блокове е твърде ниска – около 1,5 W.

На фиг. 2 е показан предния панел на измервателния уред с разположените органи за управление, а на фиг. 3 поглед към задния панел с информационните изходи.

3. Заключение

Основните области на приложение на предлаганата система за измерване и анализ на вибрационни и ударни процеси, са: Научно-изследователски дейности, метрологично обезпечаване на изпитателни стендове, решаване на проблеми свързани с измерване и анализ на вибрации в строителството, транспортното машиностроене, енергетиката, авиацията, корабоплаването и др. области.

Типични приложения на системата:

- измерване и анализ на вибрационни и ударни процеси;
- определяне на причините за вибрации в машините;
- определяне на собствени честоти на конструкционни елементи;
- определяне на предавателни характеристики на механични системи;
- измервания и анализ в областта на виброзащитата и виброизолацията на машини и съоръжения, уреди и апарати;
- непрекъснат контрол – мониторинг на отговорни машини и съоръжения;
- вибродиагностика на неизправности на машини и съоръжения в енергетичната промишленост.



фиг. 4 Общ вид на системата за измерване и анализ на вибрационни и ударни процеси

От фиг. 4 е виден общия вид на системата за измерване и анализ на вибрационни и ударни процеси.

“Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София-2009 г.”.

4. Литература

1. Добрынин, С. Методы автоматизированного исследования вибрации машин. Москва, “Машиностроение”, 1987.
2. Орнатский, П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. Киев, “Вища школа”, 1986.
3. Bendat, J. Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis. New York, John Wiley & Sons”, 1980.
4. Clarence, W. Vibration Monitoring, Testing and Instrumentation. London, “CRC”, 2007.
5. Clayton, G. Operational Amplifiers. New York, “Butterworth-Heinemann”, 1992.
6. Daniel, J. Engineering Vibration. New York, “Prentice Hall”, 2007.
7. Eykhoff, P. Trend and Progress in System Identification. New York, “Pergamon Press”, 1981.