



УДК 631.53.027.34

БЛОК ФІЛЬТРАЦІЇ ЕЛЕКТРОННО-АКУСТИЧНОГО ПРИСТРОЮ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКІСНИХ ОЗНАК БІООБ'ЄКТІВ

Яковлєв В.Ф., к.т.н.,

Стриж В.О., інженер,

Борищик Н.М., інженер

Сумський національний аграрний університет

Тел.: +38 (066) 414 75 01

Анотація - виходячи з аналізу проведених досліджень обґрунтовано параметри блоку фільтрування пристрою контролю якісних ознак біооб'єктів фіксованої геометричної форми, отримано теоретичні та експериментальні математичні моделі для резонансних частот, добротності та коефіцієнту передачі по напрузі наведеної схеми блоку фільтрації.

Ключові слова: активний фільтр, зворотній зв'язок, коефіцієнт передачі, дисперсія адекватності, критерій Стьюдента

Постановка проблеми. Важливим питанням під час реалізації сільськогосподарської продукції є забезпечення її якісних товарних показників у період зберігання та реалізації, що можливо при широкому впровадженні сучасних методів і технічних засобів експресного контролю параметрів продукції. До цих ознак відносять ступінь стиглості, наявність та глибина пошкоджень, наявність ураження хворобами, наявність та концентрація хімічних речовин, які не завжди можливо визначити лише за зовнішнім станом оболонки продукту. Найбільших витрат часу, зниження продуктивності викликає аналіз стану продукції в технологічному потоці, що, в свою чергу, призводить до збільшення собівартості продукції. Тому наукові дослідження, що направлені на створення технічних систем експресного неруйнівного контролю якісних ознак вище названих біооб'єктів в технологічному процесі є актуальними [1,4,6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізуючи наведені в літературних джерелах результати досліджень, можна зробити висновок, що більшість з них хоча і мають глибокі теоретичні проробки, але вони пов'язані з особливостями конкретного пристрою, що не дозволяє уніфікувати підхід до питань проектування названих технічних систем. Наявні в літературних джерелах дослідження математичних моделей зазначених блоків, теоретичних передумов опису процесів

трансформації інформативного сигналу щодо визначення якісних ознак роздрібно, а в деяких випадках протилежні і недостатні для їх узагальнення та практичної реалізації [1,4,6]. Викладене вище дозволяє сформулювати основні задачі та принципи побудови названих блоків технічних засобів неруйнівного експресного контролю.

Мета статті. Обґрунтування параметрів схеми блоку фільтрації, що впливає на його вихідні характеристики, та встановлює відповідні закономірності, що визначають передумови проведення експериментальних досліджень, забезпечують відповідні умови проектування і технічної реалізації даних блоків та пристроїв контролю якісних ознак продуктів в технологічному потоці.

Основні матеріали дослідження. У раніше проведених дослідженнях [1,4,6] були отримані відповідні залежності вихідного сигналу біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми різного ступеню стиглості при їх ударному збудженні. Були визначені резонансні частоти та коефіцієнти загасання для досліджуваних об'єктів. Задача полягає у розробці технічного засобу, який може із сукупності інформативних сигналів виділяти, з певною похибкою, необхідну частоту та коефіцієнт загасання для визначеного ступеню зрілості об'єкту. Цю функцію у пристрої контролю якісних ознак біологічних об'єктів виконує блок фільтрації (рис. 1).

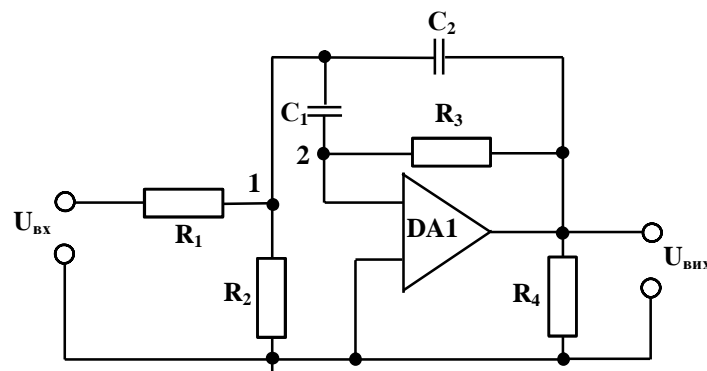


Рис. 1. Схема блоку фільтрації

Схема – активний **RC**-фільтр другого порядку [3,5], який зібрано на мікросхемі К153УД1. Основними характеристиками фільтру є ω_p – резонансна частота; Q – добротність; K_u – коефіцієнт підсилення на резонансній частоті. Вихідні характеристики, пов'язані з елементами схеми R_1 , R_2 , R_3 , C_1 , C_2 . По заданим границям відхилення параметрів елементів R_1 , R_2 , R_3 , C_1 , C_2 визначаються вихідні параметри фільтру ω_p , Q , K_u .

При побудові теоретичної моделі приймалися наступні припущення [2,3]: вхідний опір операційного підсилювача дорівнює нескін-



ченності так, як через ємність C_2 та опір R_2 проходить один і той же струм i_2 ; коефіцієнт підсилення операційного підсилювача (ОП) також дорівнює нескінченності так, як інверсний вхід ОП має нульовий потенціал, тобто $U_2 \approx 0$.

Згідно першого закону Кирхгофа для вузла 1 і якщо відомі напруги $U_{вх}$, $U_{вих}$ та у вузлах 1 і 2 (U_1 , U_2), то згідно закону Ома та з урахуванням прийнятих допущень, отримаємо

$$i_0 = i_1 + i_2 + i_3 = \frac{U_1 - U_{вих}}{Z_1} + \frac{U_1 - U_2}{Z_2} + \frac{U_1}{R_3} = \frac{U_{вих} - U_1}{R_1}, \quad (1)$$

де Z_1 , Z_2 – операторні опори ємностей C_1 , C_2 , тобто

$$Z_1 = \frac{1}{C_1 p}; \quad Z_2 = \frac{1}{C_2 p};$$

Використовуючи вираз (1) та з урахуванням прийнятих допущень і відповідних перетворень, отримаємо передаточну функцію фільтра в операторній формі

$$W(p) = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} = \frac{\tau_2' p}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}, \quad (2)$$

де τ_1 - постійна часу кола $R_1 C_1$, $\tau_1 = R_1 C_1$;

τ_2' - постійна часу диференціального кола з елементів R_1 , R_2 , R_3 ,

$$\tau_2' = \frac{\tau_2}{1 + \frac{R_1}{R_3}}; \quad \tau_2 = R_2 C_2; \quad T^2 = \tau_1 \tau_2'; \quad 2\xi T = \frac{\tau_1 + R_1 C_2}{1 + \frac{R_1}{R_3}}.$$

Із виразу (2) визначається амплітудно-частотна характеристика фільтра (рис. 2)

$$U(\omega) = |W(j\omega)| = \frac{\tau_2' \omega}{\sqrt{[1 - (\omega T)^2]^2 + 4\xi^2 (\omega T)^2}}, \quad (3)$$

Рішення рівняння: $\frac{dU(\omega)}{d\omega} = 0$, дає наступні значення коренів: $\omega_1 = \omega_2 = -\omega_p$; $\omega_p = \frac{1}{T}$. Так як на резонансній частоті $T\omega_p = 1$, то коефіцієнт передачі із (3) буде дорівнювати

$$K_u = U(\omega_p) = \frac{\tau_2' \omega_p}{2\xi} \quad (4)$$

Ширина полоси пропускання $\pm \Delta\omega$ визначається з урахуванням умови:

$$U(\omega_1) = U(\omega_2) = 0.7U(\omega_p) = \frac{\tau_2' \omega_p}{2\xi \cdot \sqrt{2}}, \quad (5)$$

або

$$\frac{\tau_2' \omega}{\sqrt{[1 - (\omega T)^2]^2 + 4\xi^2 (\omega T)^2}} = \frac{\tau_2' \omega_p}{2\xi \cdot \sqrt{2}}. \quad (6)$$

Із (6) отримаємо

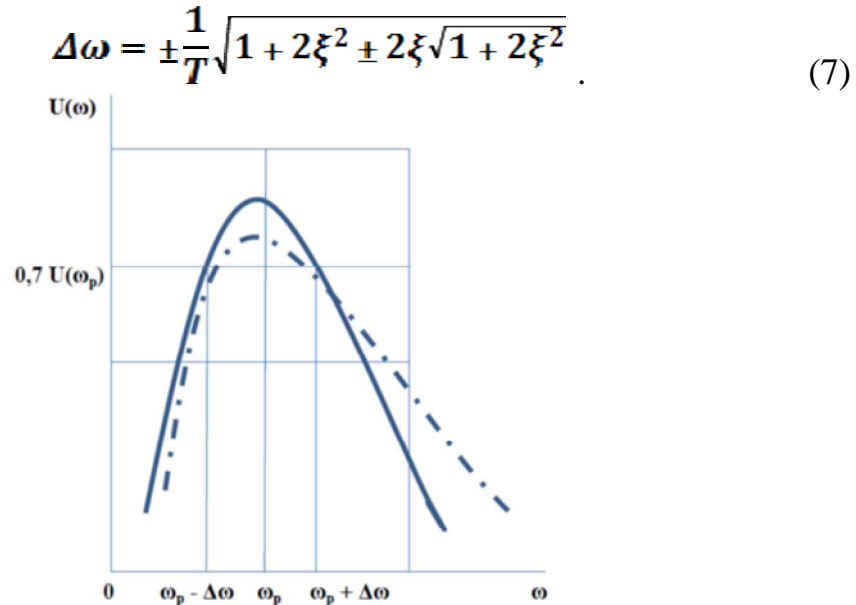


Рис. 2. Амплітудно-частотна характеристика блоку фільтрування:
 ——— - теоретична; - · - - - експериментальна.

Крім того, на підставі проведення експерименту, було отримано емпіричну модель фільтру, тобто визначені залежності: $\omega_p = F \omega_D(R_1, R_2, R_3, C_1, C_2)$; $Q_p = F \omega_D(R_1, R_2, R_3, C_1, C_2)$; $K_u = F \omega_D(R_1, R_2, R_3, C_1, C_2)$.
 Схема експериментальної установки наведена на рисунку 3.

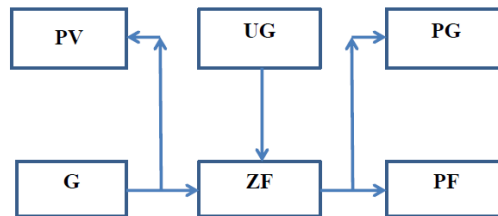


Рис. 3. Схема експериментальної установки для дослідження блоку фільтрування: PV – вольтметр; G – генератор синусоїдальних коливань; UG – джерело живлення; ZF – блок фільтрування; PG – осцилограф; PF – частотомір

В якості вихідних параметрів (відгуків) обрано: ω_p – резонансна частота; Q – добротність; K_u – коефіцієнт підсилення на резонансній частоті. Факторами є елементи схеми фільтру: R_1, R_2, R_3, C_1, C_2 . Умови експерименту згідно [2], тобто інтервали варіювання, основний та граничні рівні наведено у таблиці 1. Кодування факторів x_i проводилося за формулою

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X} \quad (8)$$

де X_i – i -ий рівень i -ого фактору;

X_{i0} – основний рівень i -ого фактору;

ΔX – інтервал варіювання i -ого фактору



Таблиця 1 – Умови експерименту

Рівень	Фактори			
	$X_1=R_1$ кОм	$X_2=R_2$ кОм	$X_3=R_3$ кОм	$X_4=C_1=C_2=C$ пФ
Основний рівень,	10,0	2,5	400	280
Нижній рівень,	9,5	2,3	380	250
Верхній рівень,	10,5	2,7	420	310
Інтервал варіювання, ΔX	0,5	0,2	20	30
Кодоване позначення фактора, x_i	x_1	x_2	x_3	x_4

Для проведеного повнофакторного експерименту (ПФЕ 2^4) вихідне рівняння регресії має наступний вигляд

$$y = b_0x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{124}x_1x_2x_4 + b_{134}x_1x_3x_4 + b_{234}x_2x_3x_4 + b_{1234}x_1x_2x_3x_4. \quad (9)$$

Матриця плану експерименту середнє значення відгуків наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Матриця та результати плану ПФЕ 2^4

Номер досліджу	x_1	x_2	x_3	x_4	\bar{f}_p , Гц	\bar{Q}	\bar{K}_u
1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	-	-	-	227,1	42,9	23,3
2	+	-	-	-	225,9	42,6	24,3
3	-	+	-	-	227,1	42,9	23,4
4	+	+	-	-	226,4	42,7	23,8
5	-	-	+	-	226,2	42,6	23,9
6	+	-	+	-	225,3	42,5	24,8
7	-	+	+	-	228,0	43,0	22,6
8	+	+	+	-	227,1	42,9	23,2
9	-	-	-	+	222,8	42,0	23,0
10	+	-	-	+	221,9	41,9	22,9
11	-	+	-	+	225,5	42,6	24,7
12	+	+	-	+	224,9	42,4	25,0
13	-	-	+	+	223,3	42,1	23,2
14	+	-	+	+	222,3	41,9	23,1
15	-	+	+	+	226,9	42,8	23,6
16	+	+	+	+	226,0	42,6	24,0
17	0	0	0	0	221,8	41,8	22,8



Розрахунки виконувалися за відомими наступними формулами:

1) середнє значення: , (10)

2) дисперсія:
$$s_u^2 = \frac{1}{(n-1)(\sum_{j=1}^n y_{uj}^2 - ny_u^2)}$$
 (11)

3) однорідність строкових дисперсій (критерій Кохрена):

$$G_p = \frac{s_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^N s_u^2}, \quad (12)$$

4) дисперсія відтворюваності:

$$s_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N s_u^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{u=1}^N \frac{N(\sum_{j=1}^n y_{uj}^2 - ny_u^2)}{n}, \quad (13)$$

5) коефіцієнти рівняння регресії:

$$, \quad (14)$$

6) середньо квадратичне відхилення для і-ого коефіцієнту регресії:

$$s_{bi} = \frac{s_y}{\sqrt{nN}}, \quad (15)$$

7) критичне значення b-коефіцієнтів: ,(16)

8) дисперсія адекватності: , (17)

де \bar{y}_u -построкові середні;

y_{ui} - значення відгуку і-ого досліді;

$s_{u \max}^2$ - максимальне значення із построкових дисперсій;

N - кількість дослідів;

n - кількість повторів дослідів;

x_{ui} - значення фактору в і-ому досліді;

s_y - помилка досліді;

s_u^2 - построкова дисперсія і-ого досліді;

$t_{\text{табл}}$ - табличне значення розподілу Стюдента.

Виключивши статистично незначущі коефіцієнти із рівняння регресії (9), отримуємо кінцеві рівняння регресії для резонансної частоти

$$f_p = 3190 - 6,5x_1 - 141,6x_2 - 75,2x_3 - 177,7x_4 +$$



$$+3,8x_2x_3 + 8,3x_2x_4 + 2,9x_3x_4, \quad (18)$$

для добротності

$$Q = 30,2 + 2,95x_2 - 1,58x_3 - 3,95x_4 - 0,89x_1x_2 - \\ -1,44x_2x_4 + 1,24x_3 + 0,64x_1x_2x_4, \quad (19)$$

для коефіцієнта передачі на резонансній частоті

$$K_{11} = 20,0 - 2,75x_1 + 2,54x_2 + 1,02x_3 + \\ + 0,66x_1x_2 + 0,37x_2x_4 + 0,80x_1x_2x_4. \quad (20)$$

Висновок. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження свідчать про те, що отримані емпіричні та теоретичні математичні моделі запропонованого фільтру можуть бути використані для кількісної оцінки впливу відхилення параметрів фільтру на його вихідні характеристики та для оптимізації фільтру по любому із вихідних параметрів.

Список використаних джерел

1. *Іноземцев Г.Б.* Застосування акустичних технологій в аграрному виробництві : Навчальний посібник / *Г.Б. Іноземцев, В.Ф. Яковлев, В.В. Козирський.* – К.: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2013 – 171 с.

2. *Технологія наукових досліджень енергетичних систем в аграрному виробництві: Навчальний посібник. / Г.Б. Іноземцев, В.В.Козирський. За редакцією Г.Б. Іноземцева.* – К.: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2011. – 198 с.

3. *Квітка С.О.* Електроніка та мікросхемо техніка: навчальний посібник / *С.О. Квітка, В.Ф. Яковлев, О.В. Нікітіна;* за ред. проф. *В.Ф. Яковлева.* – Суми: «Сумський національний аграрний університет», 2012. – 285 с.

4. *Яковлев В.Ф.* Визначення якості сільськогосподарської продукції методом акустичної емісії / *В.Ф. Яковлев*// Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 164 “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України.- Харків: ХНТУСГ. - 2015.- С.75 - 77.

5. *Аксенов А.И.* Отечественные полупроводниковые приборы / *А.И. Аксенов, А.В. Нефедов* // 5-е изд., доп. и испр. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 584 с.

6. *Kontrola jakosci owocow V.F. Jakovlev, A.N. Terechov* (Tavrijskaja Derčavna Agrotechnična Arademija w. Melitopolu (Ukraina). Ekologiczne aspekty, mechaniracjii nawożenia ochrony roślin i uprawy gleby: 111 Miedrynarodowe sympozjum /Instytut Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa Warszawa, 25 wrzesnia 1996 c.231-235.



БЛОК ФИЛЬТРАЦИИ ЭЛЕКТРОННО-АКУСТИЧЕСКОГО ПРИБОРА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ БИООБЪЕКТОВ

Яковлев В.Ф., Стриж В.А., Борищик Н.Н.

Аннотация - на основе проведенных исследований обоснованы параметры блока фильтрации устройства контроля качественных признаков биологических объектов фиксированной геометрической формы, получены теоретические и экспериментальные математические модели для резонансных частот, добротности и коэффициента передачи по напряжению приведенной схемы блока

BLOCK OF FILTRATION OF THE ELECTRON ACOUSTIC INSTRUMENT FOR THE DETERMINATION OF QUALITATIVE SIGNS OF BIOLOGICAL PROJECTS

V. Yakovlev, V. Strizh, N. Borishchik

Summary

On the basis of studies substantiated the parameters of the filtration unit of the control device of the qualitative features of biological objects of a fixed geometric shape, the theoretical and experimental mathematical model for the resonant frequencies, a factor and transmission coefficient voltage reduced block diagrams