

УДК 621.372.061

ПРАКТИЧНА ДІАГНОСТИКА ЕЛЕКТРОННИХ КІЛ: АПАРATНЕ І ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Б. Благітко, В. Бригілевич, В. Рабик

*Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Ген. Тарнавського, 107, 79017 Львів, Україна
RabykV@ukr.net*

Розглянуто проблеми тестування і вимірювання, які виникають у ході діагностики електронних кіл за постійним струмом і в частотній області багатотестовим методом. Наведено опис методу вимірювання дійсної та уявної частин вузлових потенціалів та мікропроцесорної системи, що реалізує його. Розглянуто приклад діагностики електронного кола в частотній області.

Ключові слова: діагностика електронних кіл, несправність параметрів елементів, вимірювання, вузлові потенціали, мікропроцесорна система.

Діагностика електронних кіл складається з двох етапів: експериментального і розрахункового. Під час експериментального етапу виконують вимірювання реакцій електронних кіл на певні вхідні сигнали. Розрахунковий етап пов'язаний зі знаходженням параметрів діагностованих елементів кола за результатами вимірювань, отриманих під час експериментального етапу.

За обмеженої кількості вимірювань в електронних колах для визначення параметрів несправних елементів кіл використовують багатотестовий метод діагностики за постійним струмом і в частотній області [1, 2] в ході вимірювання вузлових потенціалів. Основні проблеми, які виникають у цьому разі, пов'язані з вибором вимірюваних величин, тестових джерел та їхніх внутрішніх опорів, тестових елементів і їхніх параметрів, частотних точок. Вибір вимірювальної апаратури пов'язаний з впливом на результати діагностики електронних кіл похибки вимірювань вузлових потенціалів.

Кількість елементів, параметри яких можуть бути діагностовані в електронному колі, залежить від кількості вимірювань у ньому і визначена тестопридатністю цього кола. Для її визначення використовують матрицю чутливості вузлових потенціалів за параметрами елементів кола [3]. У праці [3] запропоновано визначати тестопридатність кола як

$$\mu = n_x - \rho, \quad (1)$$

де n_x – кількість параметрів елементів кола; ρ – ранг матриці чутливості вузлових потенціалів, залежної від параметрів елементів X і комплексної величини s . Якщо

$\mu = 0$, то всі параметри елементів кола можуть бути визначені. В іншому випадку ідентифікація всіх параметрів елементів кола неможлива.

Нижче розглянуто основні етапи практичної діагностики електронних кіл за постійним струмом і в частотній області (апаратне і програмне забезпечення діагностики електронних кіл). До програмного забезпечення належить багатотестовий метод діагностики електронних кіл та його алгоритмізація, до апаратного забезпечення – метод вимірювання вузлових потенціалів у доступних і частково доступних вузлах кола та його реалізація у вигляді мікропроцесорної системи.

Перед діагностуванням електронних кіл виконують вибір доступних і частково доступних вузлів на підставі топологічних умов діагностики, діагностованих елементів, частотних точок для тестових джерел, тестових елементів, визначають їхню тестопридатність, з'ясовуючи ранг за стовпцями матриці чутливості вузлових потенціалів.

Багатотестовий метод діагностики електронних кіл за постійним струмом і в частотній області, його алгоритмізація і програмна реалізація розглянуті в працях [1,2]. Тестування електронних кіл виконують, підключаючи як тестові джерела напруги, так і тестові RLC-елементи. Цей метод діагностики належить до методів параметричної ідентифікації та потребує виконання певних умов. Такими умовами передусім є вибір тестових вузлів, який найліпше реалізовувати на етапі проектування кола, особливості топології схеми.

Для опису лінійних ARC-кіл у частотній області використовують модифікований метод вузлових потенціалів. Нехай схема складається з $n_X = n_R + n_C + n_L$ елементів і має n_A доступних, n_P частково доступних і n_I внутрішніх вузлів [1]. Класично в ході діагностики послідовно підключають тестові джерела до кожного з n_A доступних вузлів, і для кожного тесту вимірюють вузлові потенціали в $n_A + n_P$ доступних і частково доступних вузлах. Загальна кількість незалежних вузлових потенціалів для n_A тестів

$$Q = n_A(n_A + 2n_P + 1) / 2. \quad (2)$$

Використання тестування для різних частот дає змогу збільшити кількість рівнянь діагностики в частотній області. Необхідна умова існування розв'язку задачі діагностики має вигляд

$$n_X \leq q \cdot Q \quad (3)$$

у разі вимірювання тільки амплітуд і

$$n_X \leq 2q \cdot Q \quad (4)$$

у випадку вимірювання амплітуд і фаз вузлових потенціалів, де q – кількість частотних точок, у яких виконують тестування.

У разі існування груп неоднозначності виконують додаткове тестування. Відмінність порівняно з “класичним” полягає в тому, що до певних доступних і частково доступних вузлів підключають тестові елементи (резистори, конденсатори, котушки індуктивності).

Рівняння діагностики для i -го тесту та частотної точки f_j має вигляд

$$\dot{F}^{(i)}(X, f_j) = \dot{V}_m^{(i)}(f_j) - \dot{V}^{(i)}(X, f_j) = 0, \quad (5)$$

де $i=1, \dots, n_A; j=1, \dots, q; \dot{V}_m^{(i)}(f_j)$ – вектор вимірних вузлових потенціалів у доступних і частково доступних вузлах для i -го тесту; $\dot{V}^{(i)}(X, f_j)$ – вектор вузлових потенціалів, отриманих моделюванням схеми для i -го тесту; X – вектор параметрів елементів, які діагностують.

Під час вимірювання амплітуди і фази дійсна система рівнянь, яку отримують з (5), має вигляд

$$\begin{cases} \operatorname{Re}[\dot{F}(X, f_j)] = 0 \\ \operatorname{Im}[\dot{F}(X, f_j)] = 0, \quad j = 1, \dots, q \end{cases} \quad (6)$$

У разі вимірювання тільки амплітуд вузлових потенціалів отримують таку систему рівнянь діагностики:

$$F(X, f_j) = |\dot{V}_M(f_j)| - |\dot{V}(X, f_j)|, \quad i = 1, \dots, q \quad (7)$$

Системи рівнянь (6) і (7) нелінійні, їх розв'язують з використанням модифікованого методу Ньютона шляхом уведення додатного параметра α . Запишемо систему нелінійних рівнянь (6) або (7) у вигляді

$$F(X) = 0, \quad (8)$$

де X – вектор параметрів елементів, які діагностують. Параметр α на k -й ітерації знаходять мінімізацією вектора відхилю:

$$\min F(X^k - \alpha_k \Delta X^k), \quad (8)$$

де $\Delta X^k = \left[\frac{dF(X^k)}{dX} \right]^{-1} F(X^k)$.

У ході розв'язування систем лінійних рівнянь на кожній ітерації методу Ньютона використовують метод параметричної регуляризації, який полягає в мінімізації функціонала

$$M^\alpha(X^\alpha, b) = |AX - b|^2 + \alpha |X|^2, \quad \alpha > 0 \quad (9)$$

за параметром α , який визначають за відхилом.

Розглянемо перевірку тестопридатності електричних кіл, вибір тестових елементів та тестових частот на прикладі пасивного RC -фільтра нижніх частот (рис. 1).

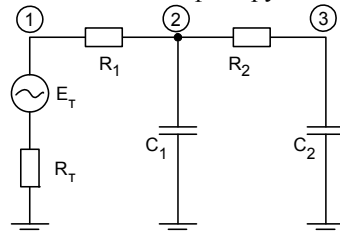


Рис. 1. Схема пасивного RC -фільтра другого порядку.

Нехай для заданого кола вузол 1 – доступний, вузол 3 – частково доступний, а вузол 2 – внутрішній ($n_A = 1, n_P = 1, n_X = 4$). У разі вимірювання тільки амплітуд

вузлових потенціалів $Q=2$, $n_X > Q$ необхідні умови розв'язку задачі діагностики не виконуються. У випадку вимірювання амплітуд і фаз вузлових потенціалів $Q=4$, $n_X = Q$ необхідні умови розв'язку задачі діагностики виконуються. Номінальні елементи кола мають значення $R_1 = 1$ кОм, $C_1 = 1$ мкФ, $R_2 = 2$ кОм, $C_2 = 2$ мкФ, $R_T = 1$ кОм, $\dot{E}_T = 10 \sin \omega t$.

Виконаємо перевірку цієї схеми на тестопридатність, що полягає в визначенні рангу за стовпцями матриці чутливості вузлових потенціалів. Для цієї схеми вирази для вузлових потенціалів \dot{V}_1 та \dot{V}_3 мають вигляд

$$\dot{V}_1 = \dot{E}_T \frac{1 + s^2 C_1 C_2 R_1 R_2 + s(C_1 R_1 + C_2 (R_1 + R_2))}{1 + s^2 C_1 C_2 (R_1 R_2 + R_T R_2) + s(C_1 (R_1 + R_T) + C_2 (R_1 + R_2 + R_T))}, \quad (10)$$

$$\dot{V}_3 = \dot{E}_T \frac{1}{1 + s^2 C_1 C_2 (R_1 R_2 + R_T R_2) + s(C_1 (R_1 + R_T) + C_2 (R_1 + R_2 + R_T))}. \quad (11)$$

Оскільки величини параметрів не впливають на визначення тестопридатності схеми, то задамо значення $X = (R_1, R_2, C_1, C_2) = (1, 1, 1, 1)$. Вирази для похідних вузлових потенціалів за елементами кола наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Аналітичні вирази похідних вузлових потенціалів \dot{V}_1 та \dot{V}_3

Показник	$-\frac{\partial \dot{V}_1}{\partial X}$	$-\frac{\partial \dot{V}_3}{\partial X}$
$X = R_1$	$-\frac{s^2 (s+2)^2}{(2s^2 + 5s + 1)^2}$	$\frac{s(s+2)}{(2s^2 + 5s + 1)^2}$
$X = R_2$	$\frac{4s^2}{(2s^2 + 5s + 1)^2}$	$\frac{s(2s+1)}{(2s^2 + 5s + 1)^2}$
$X = C_1$	$\frac{s(s+1)^2}{(2s^2 + 5s + 1)^2}$	$\frac{2s(s+1)}{(2s^2 + 5s + 1)^2}$
$X = C_2$	$-\frac{s^2 (2s+3)(s+1)}{(2s^2 + 5s + 1)^2}$	$\frac{s(2s+3)}{(2s^2 + 5s + 1)^2}$

З табл. 1 бачимо, що її стовпці лінійно незалежні, або ранг матриці чутливості вузлових потенціалів $n_X = 5$. Для заданої схеми $\mu = 0$ і всі параметри елементів кола (R_1, R_2, C_1, C_2) можуть бути визначені однозначно.

Приклад діагностики електронних кіл. Діагностику електронних кіл у частотній області багатотестовим методом розглянемо на прикладі фільтра нижніх частот, принципова схема якого зображена на рис. 2. Фільтр складається з двох каскадів, кожен з яких реалізований на операційному підсилювачі. Для заданої схеми вузол 1 – доступний, а вузли 2, 4, 7 – частково доступні. До вузла 1 підключене тестове джерело $E_T = 5$ В з тестовим резистором $R_T = 10,0$ кОм. З виразів (2) і (3) отримуємо $n_A = 1$, $n_P = 3$, $n_I = 3$, $n_X = 8$, $Q = 4$. Амплітуди і фази вузлових потенціалів у доступних і частково

доступних вузлах визначали за допомогою програми моделювання електронних кіл у частотній області. Кількість рівнянь діагностики, які отримують для однієї частотної точки, $Q_1 = 2Q = 8$. Для визначення $n_X = 8$ параметрів діагностованих елементів достатньо однієї частотної точки. Вибір частотних точок для тестування виконували емпірично, використовуючи АЧХ (рис. 3) справного та несправного кіл та чутливість діагностованих елементів для різних частотних точок [4].

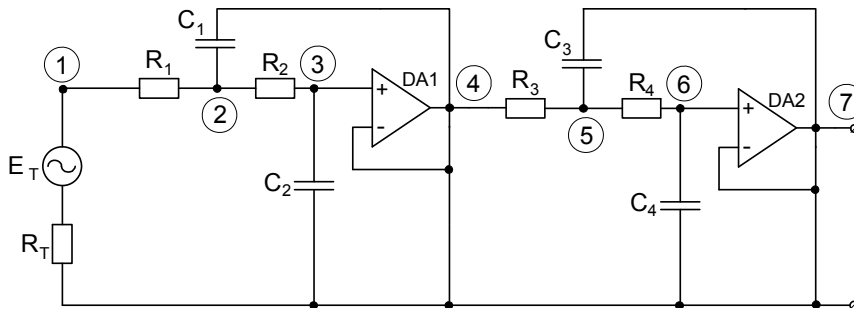


Рис. 2. Принципова схема двокаскадного фільтра нижніх частот

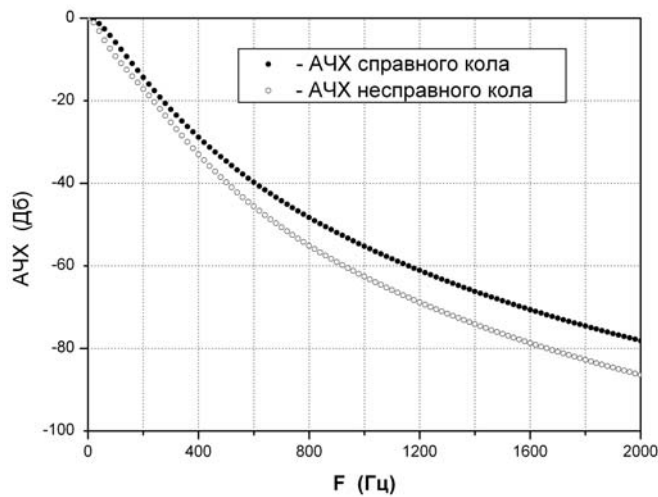


Рис. 3. АЧХ справного та несправного кіл (АЧХ, Дб; F, Гц)

Результати моделювання справного та несправного кіл для однієї частоти наведені в табл. 2, а результати діагностики кола – у табл. 3.

Таблиця 2

Результати моделювання справного та несправного кіл (див. рис. 2)

F (Гц)	\dot{V}_1 (В)	\dot{V}_2 (В)	\dot{V}_4 (В)	\dot{V}_7 (В)	Примітка	
80	Re	4,990	4,509	3,417	-0,191	Справне коло
	Im	-0,031	-1,571	-2,866	-3,069	
	Re	5,006	5,178	4,470	-0,545	Несправне коло
	Im	-0,026	-0,779	-2,203	-2,064	

Таблиця 3

Результати діагностики елементів активного RC-фільтра (див. рис. 2)

Елемент кола	Номинальне значення	Значення несправності	Діагностоване значення	Похибка діагностування, %
R_1 (кОм)	49,12	29,47	29,412	0,19
R_2 (кОм)	55,98	78,37	78,226	0,18
C_1 (нФ)	14,90	20,80	20,847	-0,22
C_2 (нФ)	13,50	8,10	8,115	-0,18
R_3 (кОм)	22,12	30,97	31,192	-0,71
R_4 (кОм)	137,9	193,1	191,37	0,89
C_3 (нФ)	12,60	17,60	17,513	0,49
C_4 (нФ)	14,50	20,3	20,438	-0,70

Точність розв'язування системи нелінійних рівнянь діагностики (8) для заданого кола (рис. 2) становила $\varepsilon \leq 0,1$ мВ. З табл. 3 бачимо, що елементи першого каскаду діагностують точніше, ніж елементи другого каскаду. В табл. 4 наведено результати діагностики сталих часу $\tau = RC$ цього ж кола. З неї випливає, що сталі часу діагностують набагато точніше, ніж параметри їхніх елементів. Це свідчить про взаємозв'язок між елементами сталих часу.

Таблиця 4

Результати діагностики постійних часу активного RC-фільтра (див. рис. 2)

Постійна часу	Номинальне значення	Значення несправності	Діагностоване значення	Похибка діагностування, %
$R_1 C_1$ (мкс)	731,88	612,97	613,15	-0,029
$R_2 C_2$ (мкс)	755,73	634,79	634,81	-0,003
$R_3 C_3$ (мкс)	278,71	545,07	546,26	-0,218
$R_4 C_4$ (мкс)	1999,5	3919,9	3911,2	0,221

У разі вимірювання тільки амплітуд вузлових потенціалів кількість рівнянь діагностики, які отримують для однієї частотної точки, $Q_1 = Q = 4$. Для визначення $n_X = 8$ діагностованих елементів достатньо двох частотних точок. Результати моделювання справного та несправного кіл для двох частот наведені в табл. 5, а результати діагностики для цього випадку – у табл. 6.

Результати діагностики сталих часу в разі вимірювання тільки амплітуд у доступних і частково доступних вузлах наведені в табл. 7.

Таблиця 5

Результати моделювання справного та несправного кіл (див. рис. 2)

F (Гц)	\dot{V}_1 (В)	\dot{V}_2 (В)	\dot{V}_4 (В)	\dot{V}_7 (В)	Примітка
60	4,994	4,872	4,681	3,680	Справне коло
	5,004	5,141	4,993	2,695	Несправне коло
100	4,985	4,653	4,199	2,537	Справне коло
	5,008	5,342	4,956	1,731	Несправне коло

Таблиця 6

Результати діагностики елементів активного RC -фільтра (див. рис. 2)

Елемент кола	Номінальне значення	Величина несправності	Діагностоване значення	Похибка діагностування, %
R_1 (кОм)	49,12	29,47	29,576	-0,36
R_2 (кОм)	55,98	78,37	78,501	-0,17
C_1 (нФ)	14,90	20,80	20,751	0,23
C_2 (нФ)	13,50	8,10	8,086	0,17
R_3 (кОм)	22,12	30,97	31,388	-0,79
R_4 (кОм)	137,9	193,1	189,48	1,87
C_3 (нФ)	12,60	17,60	17,432	0,95
C_4 (нФ)	14,50	20,3	20,594	-0,29

Таблиця 7

Результати діагностики сталих часу активного RC -фільтра (див. рис. 2)

Постійна часу	Номінальне значення	Значення несправності	Діагностоване значення	Похибка діагностування, %
$R_1 C_1$ (мкс)	731,88	612,97	613,73	-0,124
$R_2 C_2$ (мкс)	755,73	634,79	634,76	0,005
$R_3 C_3$ (мкс)	278,71	545,07	547,16	-0,383
$R_4 C_4$ (мкс)	1999,5	3919,9	3902,15	0,453

Мікропроцесорна система вимірювання дійсних і уявних частин вузлових потенціалів. У разі тестування та діагностики електронних кіл у частотній області виникає задача вимірювання амплітуд і фаз дійсних і уявних частин вузлових потенціалів. Одним з методів знаходження амплітуди і фази сигналів є метод синхронного детектування. У праці [5] наведено опис методу вимірювання амплітуди і фази синусоїдальних сигналів за допомогою чотирьох квадратурних вибірок однієї й тієї ж частоти, кожна з яких зсунута від попередньої на 90° . Цей підхід достатньо легко реалізується для звукових частот до 5 кГц. У праці [6] наведено реалізацію цього методу у вигляді мікропроцесорної системи для діагностики електронних кіл.

Розглянемо реалізацію мікропроцесорної системи для вимірювання амплітуд і фаз вузлів, використовуючи метод синхронного детектування [5,6]. Ця система дає змогу

вимірювати вузлові потенціали за постійним струмом, дійсні й уявні частини вузлових потенціалів у частотній області, знімати в автоматичному режимі амплітудно-частотні і фазово-частотні характеристики електронних кіл.

Нехай на вхід кола подають тестові гармонічні сигнали з відомою амплітудою U_{IN} і частотою ω :

$$u_{IN}(t) = U_{IN} \sin(\omega t). \quad (12)$$

Комплексну напругу i -вузла наведемо у вигляді

$$\dot{V}_i = x_i + jy_i, \quad (13)$$

де x_i , y_i – дійсна й уявна частини вузлового потенціалу \dot{V}_i . Амплітуда та фаза для цього вузла визначені виразами

$$U_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}; \quad \varphi_i = \arctan\left(\frac{y_i}{x_i}\right). \quad (14)$$

За вимірними напругами $u_{IN}(t_1)$, $u_{IN}(t_2)$ вхідного тестового сигналу $u_{IN}(t)$ і $u_i(t_1)$, $u_i(t_2)$ i -го вузла визначають дійсну й уявну частини потенціалу i -го вузла в частотній області. Ці сигнали вимірюють тричі в моменти часу t_1 , t_2 , t_3 з часовим інтервалом $T/4$, де T – період тестового сигналу. Це дає змогу вимірювати тестовий сигнал та напругу i -го вузла в той самий момент часу щодо початку вимірювання, оскільки вимірювання напруги в кожному наступному вузлі зсувається на період. Вимірювання кожного з сигналів у момент часу t_3 використовують для компенсації напруги зміщення. Перше та друге вимірювання застосовують для обчислення дійсної та уявної частин потенціалу i -го вузла.

Напруга зміщення для вхідного тестового сигналу та потенціалу i -го вузла визначена виразами

$$\begin{cases} u_{IN}^{зм.} = \frac{u_{IN}(t_1) + u_{IN}(t_3)}{2} \\ u_i^{зм.} = \frac{u_i(t_1) + u_i(t_3)}{2} \end{cases}. \quad (15)$$

Вимірні напруги $u_{IN}(t_1)$, $u_{IN}(t_2)$ і $u_i(t_1)$, $u_i(t_2)$ компенсовані на значення отриманих напруг зміщення (15). Перше вимірювання починається в випадковий момент часу t_1 щодо початку тестового сигналу $u_{IN}(t)$.

Напругу i -го вузла в моменти часу t_1 і t_2 описують рівняння

$$\begin{cases} u_i(t_1) = U_i \sin(\omega t_1 + \varphi_i) = U_i \sin(\beta + \varphi_i) \\ u_i(t_2) = U_i \sin(\omega t_2 + \varphi_i) = U_i \sin(\beta + \varphi_i + \pi/2) \end{cases}, \quad (16)$$

де $\omega t_1 = \beta$; $\omega t_2 = \omega(t_1 + T/4) = \beta + \pi/2$. Систему рівнянь (14) можна записати у вигляді

$$\begin{cases} u_i(t_1) = U_i (\sin \beta \cdot \cos \varphi_i + \cos \beta \cdot \sin \varphi_i) \\ u_i(t_2) = U_i (\cos \beta \cdot \cos \varphi_i - \sin \beta \cdot \sin \varphi_i) \end{cases}. \quad (17)$$

Уведемо позначення:

$$\begin{cases} x_i = U_i \cos \varphi_i \\ y_i = U_i \sin \varphi_i \end{cases}. \quad (18)$$

Тоді систему рівнянь (17) можна записати у вигляді

$$\begin{cases} u_i(t_1) = x_i \sin \beta + y_i \cos \beta \\ u_i(t_2) = x_i \cos \beta - y_i \sin \beta \end{cases} \quad (19)$$

З останньої системи рівнянь визначаємо дійсну та уявну частини вузлових потенціалів:

$$\begin{cases} x_i = u_i(t_1) \cdot \sin \beta + u_i(t_2) \cdot \cos \beta \\ y_i = u_i(t_1) \cdot \cos \beta - u_i(t_2) \cdot \sin \beta \end{cases} \quad (20)$$

Вхідний тестовий сигнал у моменти часу t_1 і t_2 описують рівняннями

$$\begin{cases} u_{IN}(t_1) = U_{IN} \sin \beta \\ u_{IN}(t_2) = U_{IN} \sin(\beta + \pi/2) = U_{IN} \cos \beta \end{cases} \quad (21)$$

Виключивши з виразу (20) $\sin \beta$ і $\cos \beta$ за допомогою (21), отримуємо:

$$\begin{cases} x_i = \frac{u_i(t_1) \cdot u_{IN}(t_1) + u_i(t_2) \cdot u_{IN}(t_2)}{U_{IN}} \\ y_i = \frac{u_i(t_1) \cdot u_{IN}(t_2) - u_i(t_2) \cdot u_{IN}(t_1)}{U_{IN}} \end{cases} \quad (22)$$

Оскільки амплітуда U_{IN} тестового сигналу відома, то система рівнянь (22) дає змогу визначити дійсну й уявну частини i -го вузлового потенціалу електронної схеми.

Конструктивно мікропроцесорна система виконана у вигляді плати, до якої приєднана досліджувана схема. До складу цієї плати входять рідкокристалічний індикатор, клавіатура, генератор гармонічних сигналів, фільтр, підсилювач. Основою плати є мікроконтролер C8051FX352, за допомогою якого відбувається керування роботою системи, генерування гармонічних сигналів, вимірювання сигналів.

Рідкокристалічний індикатор відображає режими роботи системи та результати вимірювань. Клавіатура системи складається з чотирьох клавіш. Клавіша Mode дає змогу перейти до задання режимів роботи системи. Клавіші ▲, ▼ задають значення параметрів вибраного режиму роботи. Для запам'ятовування вибраного користувачем режиму роботи використовують клавішу ↵ клавіатури.

Генерування гармонічних сигналів реалізовано на підставі цифрового синтезатора частоти (ЦСЧ) AD9832 фірми Analog Devices. До виходу мікросхеми ЦСЧ підключений LC-фільтр для фільтрування цифрових шумів. На вхід FSYNC ЦСЧ подають тактові імпульси з зовнішнього генератора частотою 24 МГц. Для забезпечення достатнього рівня потужності генерованих сигналів до виходу фільтра підключений підсилювач потужності з вихідним каскадом на транзисторах.

Вимірювання виконується сигма-дельта АЦП, що входить до складу мікроконтролера. Цей АЦП 16-розрядний з послідовним перетворенням. На вхід АЦП подають вимірюваний сигнал з вхідного мультиплексора та програмованого підсилювача мікроконтролера.

1. Благітко Б.Я. Основы теории диагностики аналоговых электрических цепей по постоянному току / Б. Я. Благітко, В. Г. Рабик // Теор. електротехніка. 1988. – Вып. 44. – С. 121–129.

2. *Благитко Б.Я.* Методы диагностики аналоговых цепей в частотной области / Б. Я. Благитко, В. Г. Рабык // Теор. электротехника. – 1988. – Вып. 45. – С. 45–55.
3. *Бендлер Дж. У., Салама А.Э.* Диагностика неисправностей в аналоговых цепях // ТИЭЭР. – 1985. – Т. 73. – № 8. – С. 35–87.
4. *Alippi C.* Automated Selection of Test Frequencies for Fault Diagnosis in Analog Electronic Circuits / C. Alippi, M. Catelani, A. Fort, M. Mugnaini // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2005. – Vol. 54. – N 3. – P. 1033–1044.
5. *Wetterlin S. A.* Method of Using Quadrature Sampling to Measure Phase and Magnitude. – 7p. // [http://www.wetterlin.org/sam/Quadrature Sampling.pdf](http://www.wetterlin.org/sam/Quadrature%20Sampling.pdf).
6. *Czaja Z.* Fault diagnosis of fully differential circuits in electronic embedded systems / Z. Czaja, W. Toczek. – XIX IMEKO World Congress Fundamental and Applied Metrology. – Lisbon, Portugal, September, 2009. P. 1418–1423.

PRACTICAL DIAGNOSTICS OF ELECTRONIC CIRCUITS: HARDWARE AND SOFTWARE

B. Blagitko, V. Brygilevych, V. Rabyk

*Ivan Franko L'viv National University,
Tarnavsky Str. 107, UA-79017 L'viv, Ukraine.
RabykV@ukr.net*

The problems of the testing and measurement that arise during the diagnostics of electronic DC circuits and in the frequency domain using multi-testing method are considered. The description of method of the measurement of real and imaginary parts of the node potentials and microprocessor system, that implement it, is given. The examples of the diagnostics of electronic circuits in frequent domains are given.

Key words: diagnostic of electronics circuits, faulty of parameters elements, measuring, node potentials, microprocessor system.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОННЫХ ЦЕПЕЙ: АППАРАТНОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Б. Благітко, В. Бригілевич, В. Рабик

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко,
ул. Ген. Тарнавского, 107, 79017 Львов, Украина.
RabykV@ukr.net*

Рассмотрено проблемы тестирования и измерения, возникающие при диагностике электронных цепей по постоянному току и в частотной области многотестовым методом. Приведено описание метода измерения действительной и мнимой частей узловых потенциалов и микропроцессорной системы, реализующей его. Рассмотрено пример диагностики электронной цепи в частотной области.

Ключевые слова: диагностика электронных цепей, неисправность параметров элементов, измерения, узловые потенциалы, микропроцессорная система.

Стаття надійшла до редколегії 27.05.2011

Прийнята до друку 29.06.2011