

**Тензорезистивний перетворювач на основі
RL-діодного
генератора детерміновано-хаотичних коливань**

Бойко Т.В.

Науковий керівник: д.т.н., проф. Кулаков П.І.

Актуальність теми.

В умовах бурхливого розвитку науки і техніки надзвичайно важливе значення в наш час має застосування прогресивних методів та засобів систем управління, контролю, вимірювання технологічних параметрів, зокрема, ефективного моніторингу деформацій, руйнування контрольованих важливих стратегічних об'єктів.

Сучасні електричні методи вимірювання та контролю деформації використовують перетворювачі сили, які реєструють деформацію пружного елемента під впливом сили діяння та перетворюють її в електричний сигнал.

Переважає більшість вагових систем і дозуючих пристроїв будуються на базі тензорезисторних перетворювачів (ТРП).

Головними перевагами ТРП є висока лінійність змінювання опору від деформації та розвинута технологія виробництва тензорезисторів.

Основним недоліком сенсорів такого типу є низький вихідний сигнал, який важко виміряти з високою точністю.

Для забезпечення необхідних метрологічних характеристик важливо мати на практиці можливість фіксувати достатньо малі зміни інформативного сигналу. Натомість, це призводить до шкідливого спотворювального впливу на корисний сигнал збурювальних завад, внаслідок чого збільшується вірогідність випадкових похибок вимірювання.

Тому, заходи підвищення чутливості засобу вимірювання з одночасним забезпеченням зниження рівня збурювальних факторів, є надзвичайно актуальним завданням.

Метою роботи є підвищення ефективності засобу моніторингу деформації контрольованого об'єкту. Під ефективністю розглядається підвищення чутливості ТРП та зменшення похибки вимірювання деформації.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести літературний пошук тензорезисторних перетворювачів, визначити їх типи та характеристики;
- дослідити генератори детерміновано-хаотичних коливань;
- дослідити чутливість RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань (ГДХК);
- розробити схемну реалізацію тензорезистивного перетворювача на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань.

Об'єктом дослідження є процес удосконалення методу вимірювання незначних контрольованих деформацій тензорезистивним перетворювачем на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань.

Наукова новизна отриманих результатів. В магістерській кваліфікаційній роботі розроблено ТРП на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань.

Аналіз стану питання дослідження

Основним елементом означених систем, є сенсор сили, який працює за принципом перетворення сили в електричний сигнал, що відповідає деформації контрольованого об'єкта.

Сенсор сили складається з таких основних частин (рис. 1):

- пружного елемента;
- пристроїв кріплення і силовведення;
- перетворювача, що міцно скріплений із пружним елементом, деформується разом із ним і здійснює перетворення деформації в електричний сигнал.

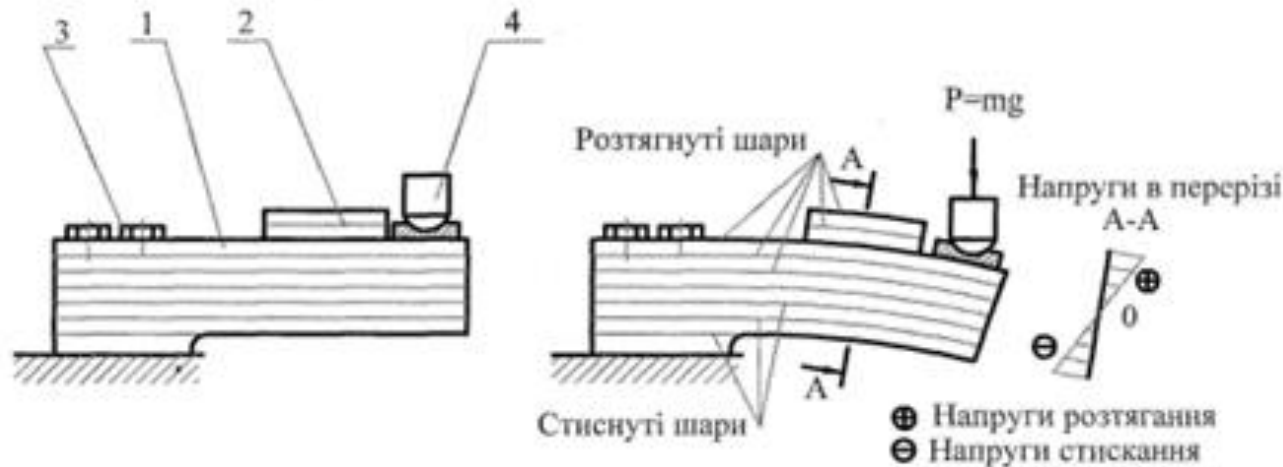


Рис. 1 – Схема сенсора сили: 1 – пружний елемент; 2 – перетворювач (чутливий елемент); 3 – елементи кріплення; 4 – елементи силовведення; P – сила впливу, m

Розходження в пристроях вимірювання маси і сили полягає тільки в способі їх калібрування – в одиницях сили або в одиницях маси, натомість, принцип перетворення однаковий: сила (включаючи силу ваги) → деформація → електричний вихідний сигнал[2].

Залежно від фізичних принципів, що використовують перетворювачі, у ваговимірювальній техніці, на сьогодні застосовується основні типи сенсорів сили:

1) тензорезисторні сенсори сили. У перекладі з латинської «тензо» – сила. Чутливим елементом таких сенсорів є тензорезисторний перетворювач (ТРП), електричний опір якого є пропорційним деформації пружного елемента;

2) віброчастотні сенсори сили. Їхня дія заснована на зміні частоти чутливого елемента, встановленого на пружному елементі, залежно від деформації пружного елемента під час прикладення до нього сили. У ваговимірювальних системах, зараз використовуються віброчастотні сенсори сили із чутливими елементами двох видів:

а) віброчастотні струнні сенсори. Їх дія заснована на зміні частоти натягнутої металевої струни, що встановлена на пружному елементі та залежить від величини сили, прикладеної до нього;

б) п'єзокварцові тензосенсори сили. Такий сенсор діє за принципом зміни частоти кварцового кристала, механічно пов'язаного з пружним елементом, під впливом прикладеної до нього сили.

Тензорезистивний перетворювач на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань

Тензорезистивні перетворювачі широко використовуються на даний час для вимірювання механічних величин, таких як сила, маса, деформація, тиск.

Принцип дії перетворювача ГДХК заснований на використанні тензорезистивного ефекту, сутність якого полягає в зміні активного опору провідників і напівпровідників при їхній механічній деформації. Під дією інформативного параметра (зусилля Q) мембрана деформується, що, в свою чергу, викликає зміну опору $\Delta R = Q/S$, де S – чутливість тензорезистивного перетворювача [Г/Ом].

На рис. 2 – представлена статична характеристика перетворювача на основі ГДХК, яка свідчить про лінійну залежність опору чутливого елемента від прикладеного зусилля. На рис. 3 – представлена залежність чутливості тензорезистивного перетворювача на основі ГДХК від прикладеного зусилля.

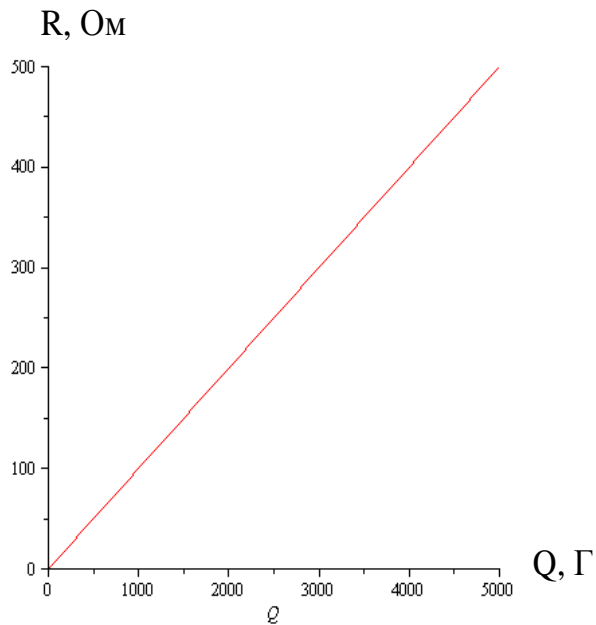


Рисунок 2 – Статична характеристика

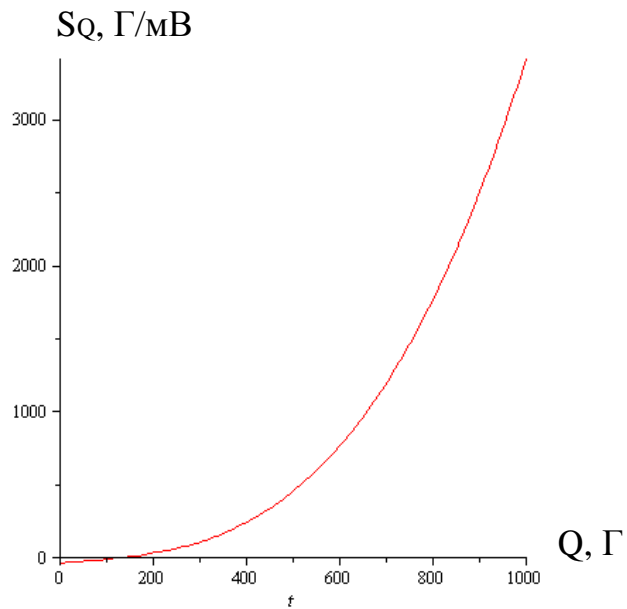


Рисунок 3 – Графік чутливості тензорезистивного перетворювача на основі ГДХК

Дослідження чутливості напівпровідникового перетворювача, RL -діодного ГДХК

Електричне коло буде поводитись по-різному в двох різних режимах: перший режим – коли струм через діод протікає в прямому напрямку, другий режим – коли струм через діод протікає у зворотному напрямку.

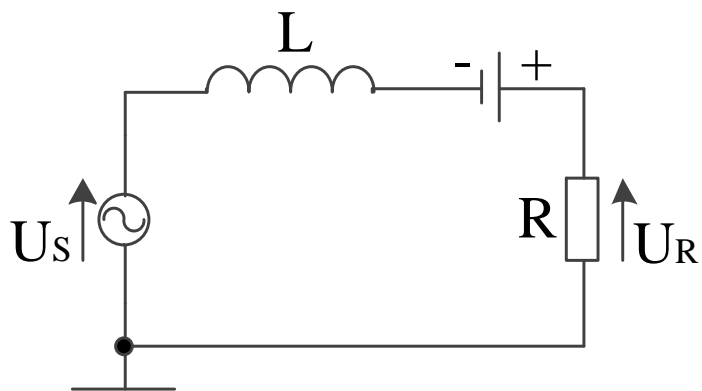


Рисунок 4 – Еквівалентна схема RL -діодного ГДХК при прямому напрямку струму

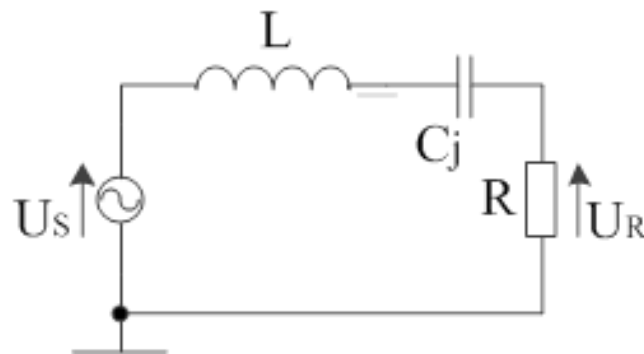


Рисунок 5 – Еквівалентна схема RL -діодного ГДХК при зворотному напрямку струму

$$\frac{dU_{R1}}{dR} = \frac{V_0}{R^2 + \omega^2 L^2} \cdot [\omega L \cos(\omega t) + R \sin(\omega t) - 2R^2(\omega L \cos(\omega t) + R \sin(\omega t)) + R \sin(\omega t)] + \frac{V_0}{R^2 + \omega^2 L^2} \cdot [(\omega L \cos(\omega t) + R \sin(\omega t)) \cdot (1 - 2R^2) + R \sin(\omega t)]. \quad (1)$$

$$\frac{dU_{R2}}{dR} = -V_0 \omega^2 c_j^2 \cdot \left[\frac{\cos(\omega t)}{1 + \omega^2 c_j (R^2 c_j - 2L) + \omega^4 c_j^2 L^2} + \frac{2\omega c_j R ((1 - L c_j \omega^2) \sin(\omega t) - R c_j \cos(\omega t))}{(1 + \omega^2 c_j (R^2 c_j - 2L) + \omega^4 c_j^2 L^2)^2} \right]. \quad (2)$$

Порівняльний аналіз амплітудних значень напруг отриманих рівнянь чутливості (1) і (2) показав, що $\frac{dU_{R1}}{dt} > \frac{dU_{R2}}{dt}$, тому для подальших досліджень вибране рівняння (1).

Результат чисельного моделювання функції перетворення при роботі схеми генератора детерміновано-хаотичних коливань при прямому напрямку струму через діод представлено на рис. 6.

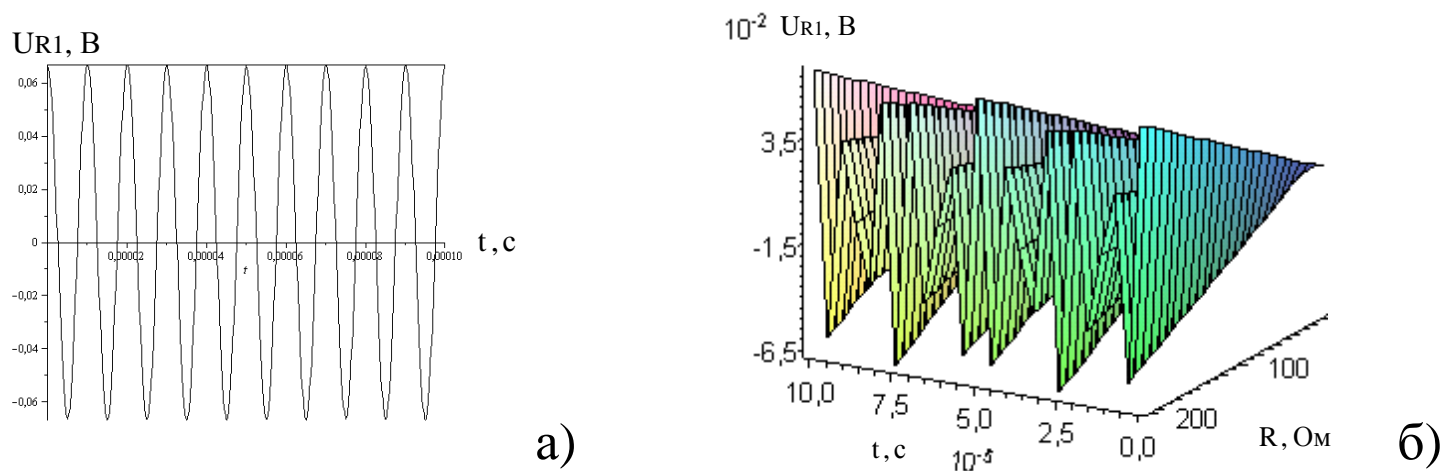


Рисунок 6 – Результат чисельного моделювання функції перетворення:
а) осцилограма U_{R1} і огибаюча сигналу; б) залежність U_{R1} від R та t

Аналіз результатів чисельного моделювання функції перетворення даного графіку доводить, що амплітудне значення напруги на резисторі $U_{R1}(t)$ змінюється практично лінійно від величини резистора R .

Отже, застосування амплітудного (пікового) детектора до коливального сигналу $U_{R1}(t)$, дозволяє реалізувати лінійний перетворювач опору в напругу.

Недостатньо дослідженим на сьогодні є застосування властивостей хаотичних систем у вимірюваннях. Використання генератора детерміновано-хаотичних коливань як вимірювального перетворювача для отримання вимірювальної інформації дає змогу суттєво підвищити чутливість засобів вимірювань, оскільки в нелінійних хаотичних системах найбільш сильна залежність процесу від параметрів системи виникає саме в режимі хаотичних коливань.

Структурна схема перетворювача складається з двох частин: нелінійної вимірювальної схеми, до якої підключений тензосенсор, і синхронного детектора (рис. 7).

Використання генератора детерміновано-хаотичних коливань (ГДХК) як вимірювального перетворювача для отримання вимірювальної інформації дозволяє суттєво підвищити чутливість засобу вимірювання, оскільки в нелінійних хаотичних системах найбільш сильна залежність процесу від параметрів системи виникає саме в режимі хаотичних коливань.

Вимірювальний перетворювач, в основі якого лежить генератор детерміновано-хаотичних коливань, є коливальною системою зі складною динамікою.

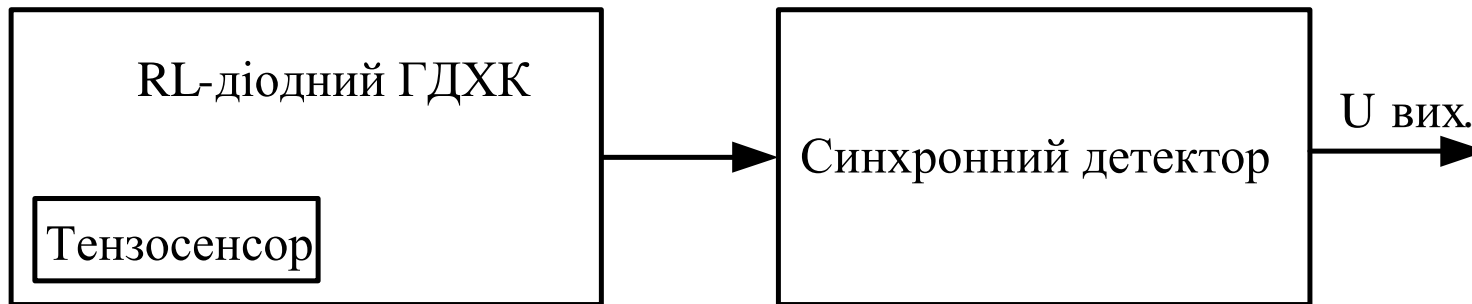


Рисунок 7 – Структурна схема тензорезистивного перетворювача на основі RL-діодного ГДХК

Схема включає в себе всього два лінійні елементи (тензорезистор $R1$ і індуктивність $L1$) і один нелінійний елемент (діод $D1$). При виборі величин елементів схеми перетворювача на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань необхідно враховувати не тільки можливість попадання в зону хаосу, але також сусідство з іншими коливальними режимами. Схема RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань наведена на рис.8.

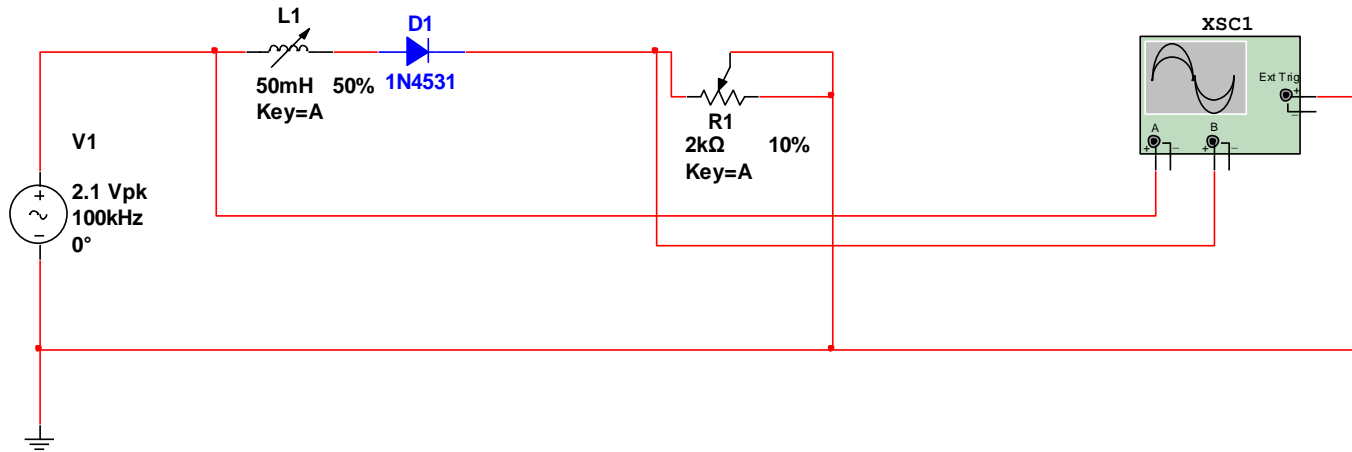


Рисунок 8 – Принципова схема RL-діодного ГДХК

Створено макетний зразок схеми RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань ($R=2$ кОм, $L=4,7$ мГн, D – 1N4531), а також схеми синхронного детектора. Для реалізації перетворення опору в постійну напругу на вихід генератора детерміновано-хаотичних коливань підключено синхронний детектор. Як первинний вимірювальний перетворювач використано тензорезистор R1.

РЕАЛІЗАЦІЯ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА НА ОСНОВІ ГЕНЕРАТОРА ДЕТЕРМІНОВАНО-ХАОТИЧНИХ КОЛИВАНЬ

На рис. 9 структурна схема тензорезистивного перетворювача, яка складається з послідовно з'єднаних генератора синусоїдальної напруги, опору, діоду, тензорезистивного перетворювача та синхронного детектора. RL-діодний ГДХК збуджується синусоїдальною напругою, формуючи на своєму виході хаотичні електромагнітні коливання, флуктуації яких залежать від параметрів схеми. Для реалізації перетворення опору в постійну напругу вихідний сигнал RL-діодного ГДХК подається на синхронний детектор з виходу якого отримується вихідний вимірювальний сигнал, що є залежним від зміни опору.

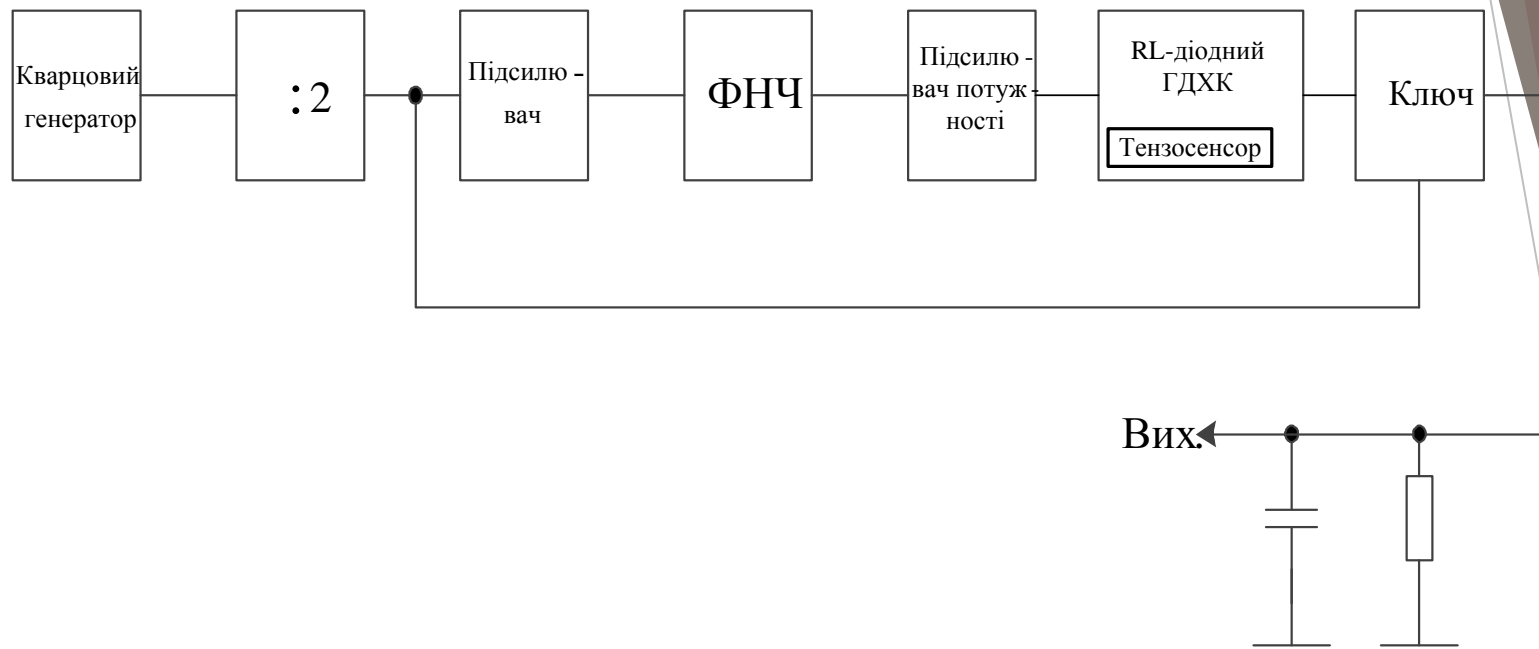


Рисунок 9 – Структурна схема тензорезистивного перетворювача на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань

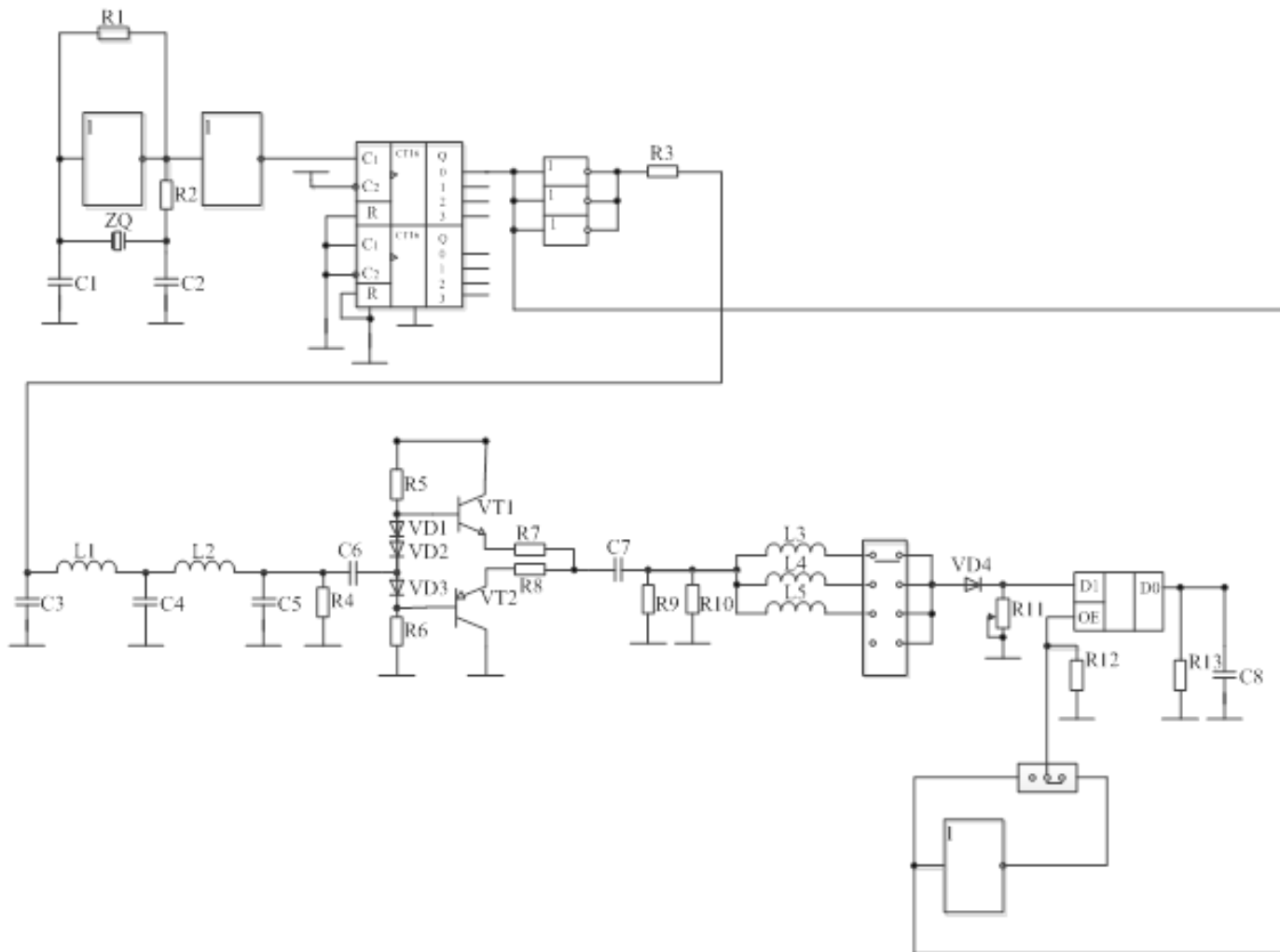


Рисунок 10 – Схема електрична принципова тензорезистивного перетворювача на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!