

## ДАТЧИК ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В ПРІСНИХ ВОДОЙМАХ

Пількевич Ю.Г.<sup>1</sup>, Розорінов Г.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури  
Повітрофлотський пр., 31, 03680, м. Київ  
y.rozorinova@gmail.com;

<sup>2</sup>Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
пр. Перемоги, 37, 03056, м. Київ  
hroz@ukr.net

Майже всі водні ресурси України в останні роки інтенсивно забруднюються внаслідок збільшення впливу антропогенних чинників. Фактично в кожній із водойм можна легко зафіксувати перевищення допустимих норм забруднення. Для поліпшення стану водойм потрібно постійно проводити їхній екологічний моніторинг. Теплове забруднення належить до основних видів забруднення вод. Тепла вода змінює термічний і біологічний режими водойм і шкідливо впливає на їхніх мешканців. Вимірюють температуру води у водоймах переважно за допомогою переносних термометрів, що мають обмежений діапазон і невисоку точність.

Розроблений високоточний датчик для вимірювання температур у водних шарах прісних водойм, вимірювальний перетворювач якого є схемою автогенератора, а як чутливий елемент використана високочастотна індуктивна котушка. Переваги датчика температури – точність 0,01°C; надійність; стійкість до обростання; довговічність; зручність в експлуатації; стійкість до зовнішнього тиску; відсутність регулювання; відсутність випадкової похибки.

Високочастотна котушка індуктивності має стрижневе осердя. Осердя виконане з термомагнітного матеріалу – кальмалоя, який має лінійну характеристику перемагнічування. Для оцінки роботи електричної схеми датчика в діапазоні зміни інформативного параметра встановлено залежності вихідної напруги на виході випрямляча від індуктивності котушки щонайменше в трьох точках значень індуктивності: максимального, середнього і мінімального. Водночас суттєвим чином використано пакет графічного програмування LabView. Для роботи в діапазоні температур 0...60°C вимірювальна схема повинна реагувати на зміну індуктивності в діапазоні 100...200 мкГн.

Для найкращого контакту датчика з навколишнім середовищем його покривають теплопровідною пастою типу КПТ-8 і поміщають в алюмінієвий балончик. *Ключові слова:* водойма, датчик температури, екологічний моніторинг, теплове забруднення.

### **A sensor for measuring of temperature in fresh reservoirs. Pilkevych Yu., Rozorinov H.**

Practically all Ukraine water resources in the last years are intensively contaminated as a result of increase of influence of anthropogenic factors. Actually in each of reservoirs it is possible easily to fix exceeding of possible norms of contamination. For the improvement of the state of reservoirs it is necessary constantly to conduct them ecological monitoring. Thermal contamination behaves to the basic types of water contamination. Warm water changes the thermal and biological modes of reservoirs and harmful influences on their inhabitants. Measure the temperature of water in reservoirs mainly by portable thermometers which have the limited range and low exactness.

A high-fidelity sensor is developed for measuring of temperatures in the water layers of fresh reservoirs, a measuring transformer of which is the chart of self-contained generator, but as pickoff a high-frequency inductive spool is utilized. Advantages of temperature sensor are exactness 0,01°C; reliability; firmness to becoming overgrown; longevity; a exploitation comfort; firmness to external pressure; absence of adjusting; absence of random error term.

A high-frequency inductive spool has rod-type core. The core is executed from thermomagnetic material – calmalloy what has linear description of magnetization reversal.

For the estimation of work of electric chart of sensor in a turn-down informing parameter dependences of initial tension are set on the output of rectifier from inductance of spool minimum in three points of inductance values: maximal, middle and minimum. Thus a substantial rank the Labview package of the graphic programming is utilized. For work in the range of temperatures of 0...60°C a measuring chart must react on changing of inductance in a range 100...200 μH.

For the best contact of sensor with an environment, it is covered heat-conducting paste as KPT-8 and place in an aluminium bulb. *Key words:* reservoir, sensor of temperature, ecological monitoring, thermal contamination.

**Постановка проблеми.** Теплове забруднення належить до основних видів забруднення поверхневих та підземних вод. Тепла вода змінює термічний і біологічний режими водойм і шкідливо впливає на їхніх мешканців [1; 2].

Аналіз фізичних параметрів води, особливостей сприйняття рибою деяких фізичних дій і їхній вплив

на зростання й розвиток риби показали, що екологічний моніторинг біоти прісного водоймища повинен передбачати вимірювання одного з найважливіших параметрів води – температури з точністю до 0,01°C.

У більшості видів риб вона на 0,5...1°C вища за температуру води. У тунців під час швидкого руху різниця температур може досягати 10°C. Діапазон

переношуваних температур води у риб – від  $+52^{\circ}\text{C}$  до  $-2^{\circ}\text{C}$ . Кожному виду властиві граничні й оптимальні температури води. Для карася нижня гранична температура води становить  $0^{\circ}\text{C}$ , верхня –  $+30^{\circ}\text{C}$ , оптимальна –  $+25^{\circ}\text{C}$ . Стенотермні риби (тропічні, субтропічні, арктичні, антарктичні і глибоководні) мешкають у воді за вузького діапазону коливань її температури –  $5...7^{\circ}\text{C}$ . Евритермні риби (риби помірних широт: щука, сазан, карась, окунь, тюлька) витримують значні коливання температури, до кількох десятків градусів.

Ба більше, у риб нерест наступає за певної температури, наприклад у судака – за температури  $+17...18^{\circ}\text{C}$ , у миня – за температури  $+0,2...4^{\circ}\text{C}$ . Вживання ікри для багатьох видів риб відбувається в діапазоні температур близько  $+10...15^{\circ}\text{C}$  [3; 4].

Вимірюють температуру води у водоймах переважно за допомогою переносних індикаторів – термометрів, що мають обмежений діапазон і невисоку точність [5; 6].

**Метою роботи** є розроблення простого в експлуатації датчика для вимірювання температури у водних шарах прісних водойм із підвищеною точністю.

**Виклад основного матеріалу.** Враховуючи необхідність вимірювання температури води з точністю не нижче ніж  $0,01^{\circ}\text{C}$ , тривале знаходження датчика у воді, що приводить до його заростання, зручного і надійного знімання даних, як чутливий елемент датчика використано котушку індуктивності із стрижневим осердям. Осердя виконане з термомагнітного матеріалу. На рис. 1 показано температурні залежності для деяких термомагнітних матеріалів [7].

З огляду на те, що температура води в прісних водоймах зазвичай не виходить за межі діапазону  $0...30^{\circ}\text{C}$ , найбільш відповідним термомагнітним матеріалом є кальмаллой (сплав Ni-Cu за 30–40% змісту Cu). У кальмаллой залежність магнітної проникності від температури в цьому діапазоні майже лінійна.

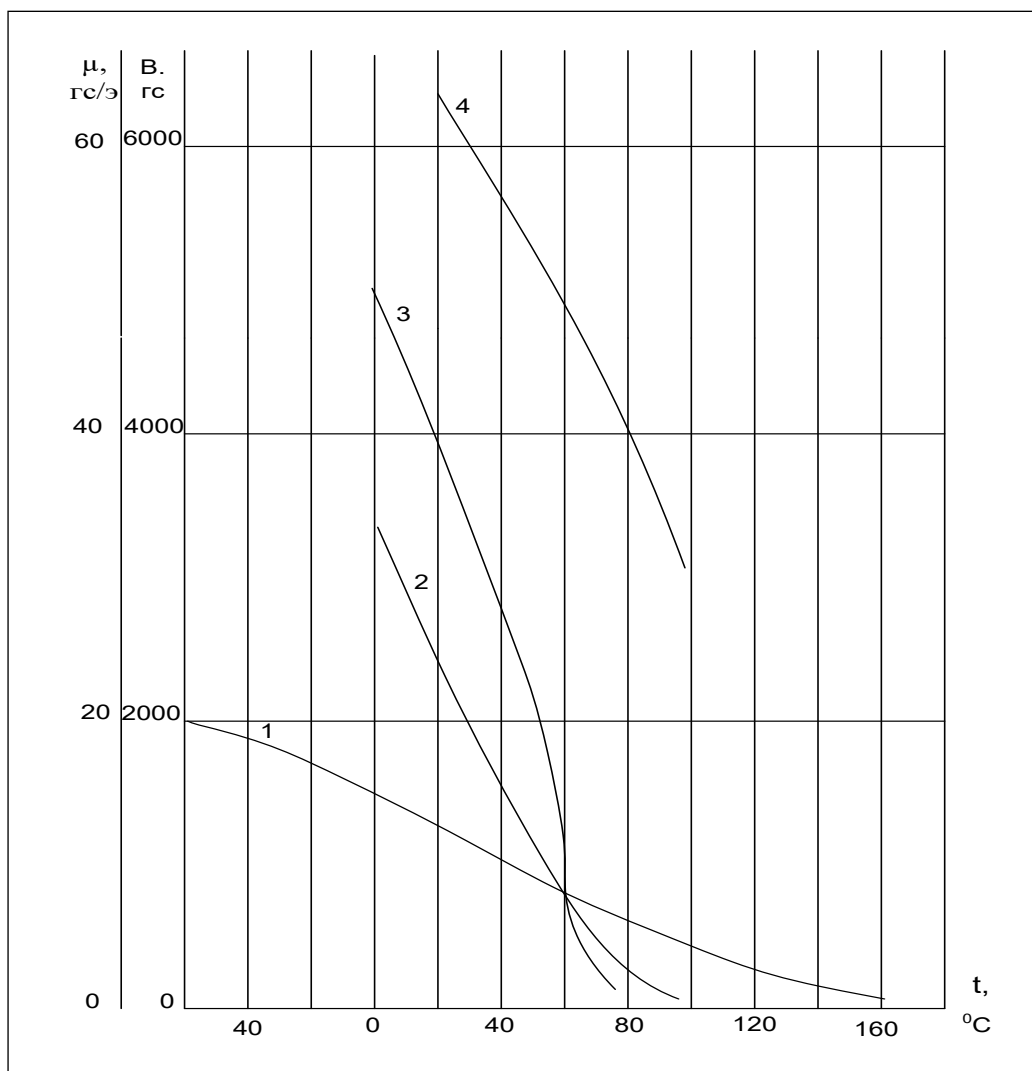


Рис. 1. Температурна залежність індукції та магнітної проникності термомагнітних матеріалів за  $H=100$  е: 1 – кальмаллой; 2 – термаллой; 3 – сплав компенсатор (7 % Cr); 4 – сплав компенсатор (10,5 % Cr)

Під час проведення експериментальних досліджень геометричні розміри осердя становили: діаметр –  $d_k=5$  мм, довжина –  $l_k=30$  мм, індуктивність котушки за температури  $60^\circ\text{C}$  –  $L_k \approx 100$  мкГн. Товщина дроту обмотки вибрана рівною 0,1 мм. Число витків обмотки може бути визначене за формулою

$$w = \sqrt{\frac{L_k}{L_0}} \cdot d_k \quad (1)$$

де  $L_0$  – коефіцієнт, який визначається за графіком, що показаний на рис. 2.

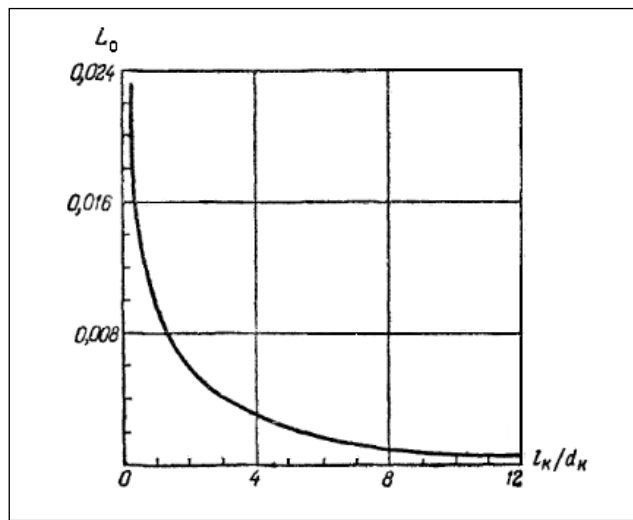


Рис. 2. Залежність коефіцієнта  $L_0$  від відношення  $l_k/d_k$

За  $60^\circ\text{C}$  ефективне значення магнітної проникності (близьке до магнітної проникності матеріалу, рис. 1)  $\mu_{\text{эф}} = 7$  гс/е, і кількість витків рівне:

$$w = \sqrt{\frac{100}{0,002}} \cdot 0,5 = 112. \text{ Залежність індуктивності}$$

катушки від температури показано на рис. 3.

Отже, для роботи в діапазоні температур  $0 \dots 60^\circ\text{C}$  вимірювальна схема повинна реагувати на зміну індуктивності в діапазоні  $100 \dots 200$  мкГн.

Для забезпечення якнайкращого контакту датчика з навколишнім середовищем його покривають теплопровідною пастою, наприклад КПТ-8, і поміщають в алюмінієвий балончик. Індуктивну катушку включають у вимірювальну схему автогенераторного типу [8]. Вибір такої схеми пояснюється тим, що вона має найбільшу чутливість. Структурну схему вимірювальної частини датчика показано на рис. 4.

Під час зміни індуктивності катушки  $L_k$  від температури змінюється вихідна напруга автогенератора, яка потім посилюється, випрямляється однонапівперіодним активним випрямлячем і відображається покажчиком середнього значення напруги. Використання активного випрямляча розширює динамічний діапазон схеми, оскільки дає можливість усунути падіння напруги на діодах.

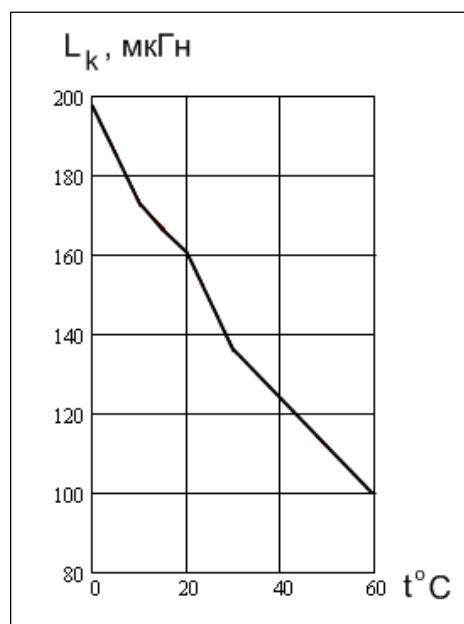


Рис. 3. Залежність індуктивності катушки від температури

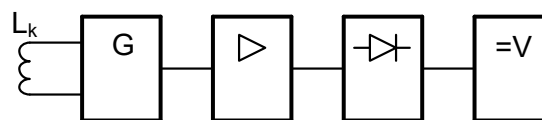


Рис. 4. Структурна схема вимірювальної частини датчика

Принципову схему вимірювального автогенератора показано на рис. 5.

У схемі генератора режим роботи транзистора задається струмом бази, що протікає через резистор R1. У ланцюзі емітера встановлено коливальний контур, настроєний на частоту  $159,235$  мГц і активний опір R2, з якого знімається вихідний сигнал і завдяки якому підвищується еквівалентна добротність контуру. Резонансна частота цього контуру визначається за формулою:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_1 \cdot C_3}} \quad (2)$$

У ланцюзі бази встановлено інший контур, виконаний за схемою Колпітца [9], у який увімкнено обмотку індуктивної катушки. Спочатку цей контур за допомогою конденсатора C1 також настроюється на частоту  $159,235$  мГц.

$$\text{Оскільки } C_o = \frac{C1 \cdot C2}{C1 + C2}, \text{ то } \omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_k \cdot C_o}}.$$

Позитивний зворотний зв'язок у схемі забезпечується з'єднанням емітера з контуром у ланцюзі бази транзистора.

Під час увімкнення живлення в контурі L1C3 завдяки обміну енергією електричного і магнітного полів виникає перехідний процес у вигляді синусоїдальних коливань із частотою  $159,235$  мГц. Оскільки

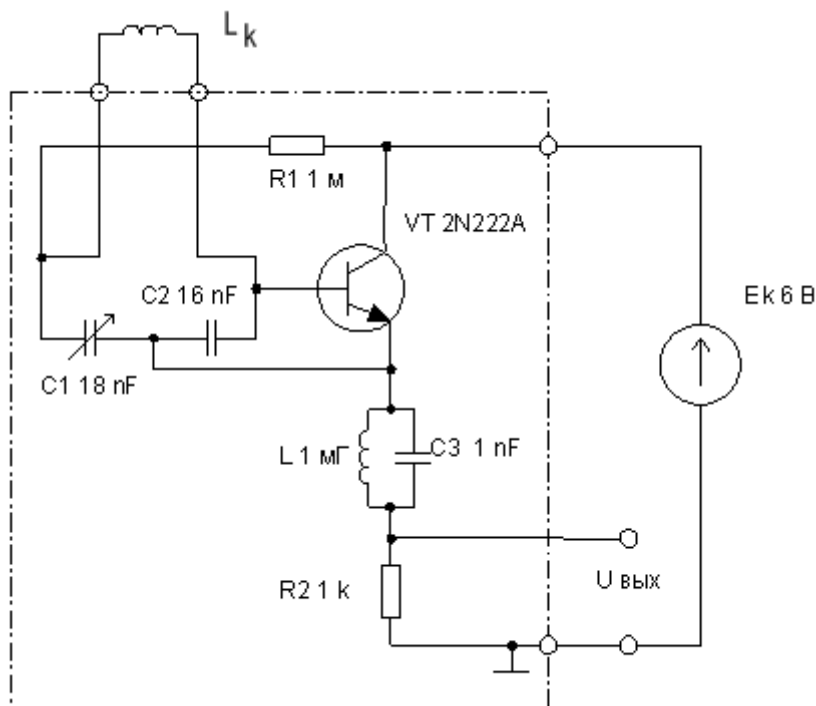


Рис. 5. Схема вимірювального автогенератора

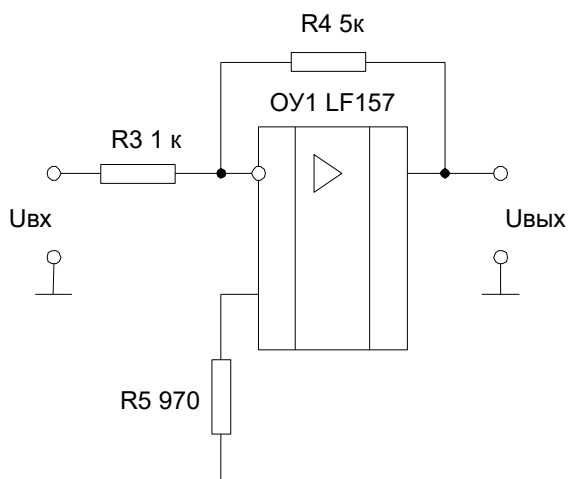


Рис. 6. Схема підсилювача постійного струму

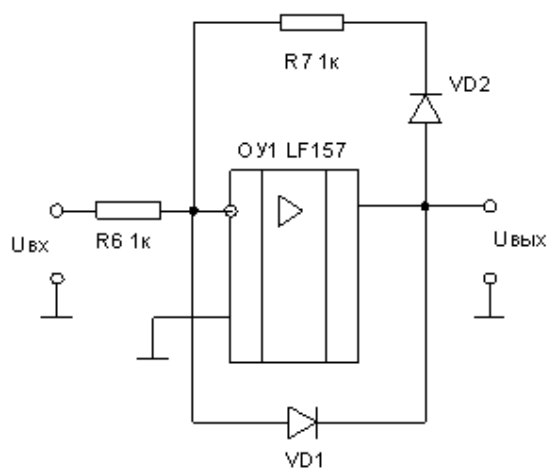


Рис. 7. Схема однонапівперіодного активного випрямляча

транзистор працює в нелінійному режимі, то через його електроди протікає несинусоїдальний струм, який створює падіння напруги на резисторі R2.

Під час зменшення індуктивності котушки змінюється резонансна частота базового коливального контуру, унаслідок чого змінна напруга на базі зменшується й під час значення індуктивності 0,09 мГн повністю зникає. Це пов'язано зі зменшенням глибини позитивного зворотного зв'язку на частоті 159,235 МГц. Та сама ситуація має місце під час збільшення індуктивності котушки. Під час значення 0,25 мГн коливання також зриваються.

Підсилювач побудовано на швидкодіючому операційному підсилювачі ОУ1 з малими входними струмами (рис. 6). Коефіцієнт передачі задається резисторами R4 і R5 і рівний п'яти. Резистор R5 використовується для урівноваження струмів інверсного і прямого входів ОУ1 для зменшення зсуву нуля. Схему однонапівперіодного активного випрямляча також виконано на операційному підсилювачі (рис. 7). Як діоди можна використовувати будь-які діоди Шоттки.

Повну схему вимірювальної частини датчика було промодельовано в програмі Electronics Workbench Professional (рис. 8).

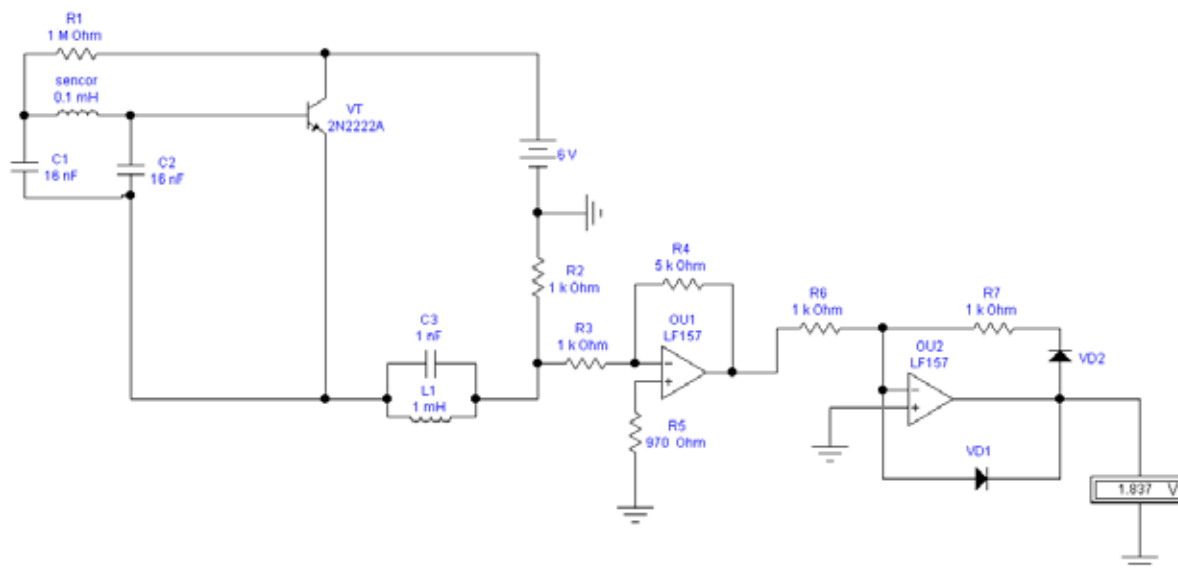


Рис. 8. Модель схеми вимірювальної частини датчика

Для оцінки роботи схеми в діапазоні зміни інформативного параметра встановлено залежності вихідної напруги на виході випрямляча від індуктивності датчика щонайменше в трьох точках значень індуктивності: максимального, середнього і мінімального. Водночас суттєвим чином використано пакет графічного програмування LabView.

Форми сигналу на виході генератора (темний колір) і випрямляча (світлий колір) за значень індуктивності 0,12 мГн; 0,15 мГн і 0,2 мГн показано на рис. 9, а–в.

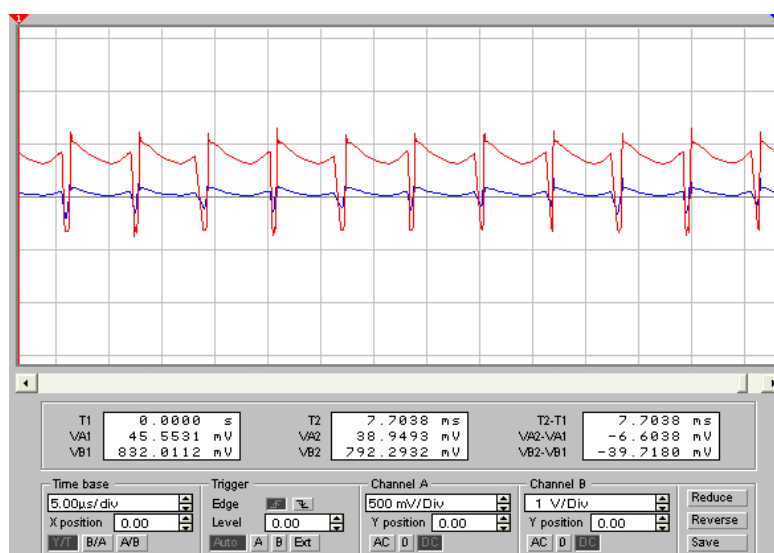
Для найкращого контакту датчика з навколишнім середовищем його покривають теплопровідною

пастою на зразок КПТ-8 і поміщають в алюмінієвий балончик.

**Висновки.** Розроблено й випробувано простий в експлуатації датчик для вимірювання температури у водних шарах прісних водойм із точністю 0,01°C.

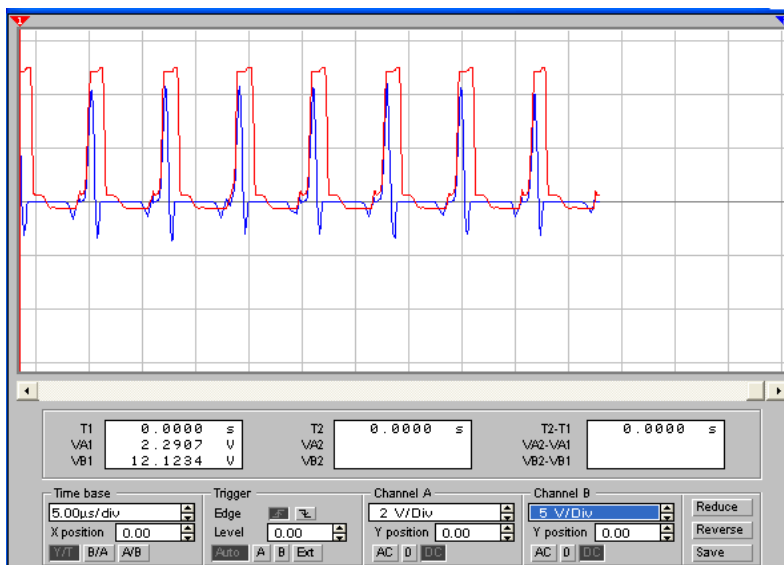
Як чутливий елемент датчика використано котушку індуктивності із стрижневим осердям із термомагнітного матеріалу на зразок кальмаллоя.

Для підвищення чутливості датчика котушку індуктивності ввімкнено у вимірювальну схему автогенераторного типу.

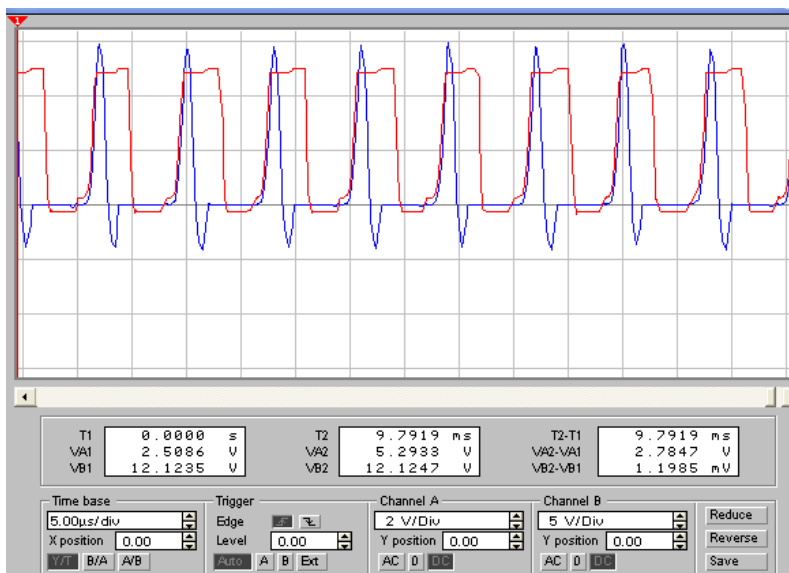


a)

Рис. 9. Форми сигналів на виході генератора й випрямляча за значень індуктивності: а – 0,12 мГн; б – 0,15 мГн; в – 0,2 мГн



б)



в)

Рис. 9. (Закінчення)

### Література

1. Воронцов А.И., Николаевская Н.Г. Вопросы экологии и охраны водной среды. Москва : Инфра-М, 2011. 98 с.
2. Исмагилов Р.Р. Проблема загрязнения водной среды и пути ее решения. *Молодой ученый*. 2012. № 11 (46). С. 127–129.
3. Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами: стат. сб. *Товарищество научных изданий КМК*. Москва, 2005. 592 с.
4. Черняев Ж.А. Воспроизводство сиговых рыб. Эколого-физиологические особенности размножения и развития. *Товарищество научных изданий КМК*. Москва, 2017. 329 с.
5. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник. Москва : Техносфера, 2005. 592 с.
6. Датчики : справочное пособие / под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука. Москва : Техносфера, 2012. 624 с.
7. Конструкционные электротехнические материалы : учеб. пособие / В.П. Горелов, С.В. Горелов, В.С. Горелов, Е.А. Григорьев ; под ред. В.П. Горелова. 5-е изд. стер. Москва : Берлин: Директ-Медиа, 2016. 340 с.
8. Михлин Б.З. Высокочастотные емкостные и индуктивные датчики. Москва : Государственное энергетическое издательство, 1960. 72 с.
9. Карлачук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Москва : СОЛОН-Пресс, 2003. 736 с.