

УДК 621.384.6

РОЗРАХУНОК ІНДУКЦІЙНОГО МАГНІТОМЕТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА, ЯК ВИМІРЮВАЧА ІМПУЛЬСНОГО СТРУМУ

Романчук В.С., Чумаков В.І., Меньяло О.Д., Кудря Т.К.

e-mail: vitalii.romanchuk@nure.ua, volodymyr.chumakov@nure.ua,

oleksandr.meniailo@nure.ua, tymur.kudria@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, кафедра ПЕЕА
м. Харків, Україна

This preprint contains information on the basic theoretical provisions of the induction magnetometric transducer (IMT, Rogowski coil), namely its presentation, operating principle, calculation formulas for its main parameters, analysis of the IMT circuit with an integrator. Also, it contains information on the combined voltage divider, its types, purpose, composition, basic calculation formulas. Also, it contains the stages of obtaining formulas for calculating the elements of the following circuits: voltage, impedance, division ratio.

Індукційний магнітометричний перетворювач (ІМП, пояс Роговського) представляє собою тороїдальну багатовиткову котушку індуктивності, на затисках якої підключено навантаження R_k [1]. Пояснення принципу роботи ІМП наведено на рисунку 1.

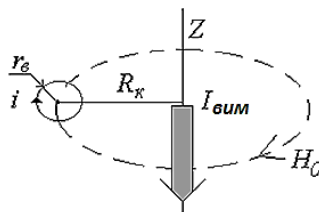


Рисунок 1 – Принцип роботи індукційного магнітометричного перетворювача

Струм, що вимірюється, $I_{вим}$ розповсюджується вздовж осі Z та пронизує котушку індуктивності L_k . Радіус котушки дорівнює R_k , а радіус витка, відповідно, r_g . Напруженість магнітного поля на осі витка котушки складатиме

$$H_0 = \frac{I_{вим}}{2 \cdot \pi \cdot R_k}. \quad (1)$$

Напрямки струму та силових ліній магнітного поля наведено на рисунку 1 відповідно до закону електромагнітної індукції. Якщо конструкцію котушки виконано з дотриманням умови $R_k \gg r_g$, то розподіл магнітного поля по площині витка ІМП можна вважати постійним. Тоді ЕДС на затисках одного витка складатиме

$$e_g = \int_{S_g} B dS = \pi \cdot r_g^2 \cdot \mu_g \cdot H_0, \quad (2)$$

де S_g – площа витка; μ_g – магнітна проникність середовища, що заповнює виток. Для багатовиткової котушки

$$e_n = \sum_{m=1}^n e_{gm} . \quad (3)$$

Враховуючи вирази (1) – (3), згідно з другим законом Кірхгофа, рівняння для напруги на опорі навантаження на затисках котушки, яка містить n витків, має наступний вигляд:

$$e_n = M \cdot \frac{dI_{вим}}{dt} = L_k \cdot \frac{di}{dt} + R_k \cdot i = \frac{L_k}{R_k} \cdot \frac{du_n}{dt} + u_n , \quad (4)$$

де M – взаємна індуктивність між полем у котушці і вимірювальним струмом; u_n – напруга на опорі навантаження R_k . У випадку, коли виконується вимірювання імпульсних струмів короткої тривалості τ_i , між параметрами схеми та імпульсу має виконуватися співвідношення

$$L_k / R_k \gg \tau_i . \quad (5)$$

Якщо співвідношення (5) не виконується, або виконується зворотна нерівність $L_k / R_k \leq \tau_i$, то перетворювач диференціє вимірювальний струм

$$u_n = M \cdot \frac{dI_{вим}}{dt} . \quad (6)$$

Для отримання на виході схеми напруги, пропорційною струму $I_{вим}$, використовується інтегратор, схему якого наведено на рисунку 2. Як найпростіша інтегруюча схема, зазвичай включається RC-фільтр.

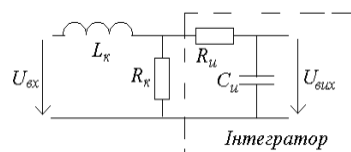


Рисунок 2 – Схема поясу Роговського з інтегратором

Для розрахунку складається рівняння Кірхгофа для другого контуру схеми, наведеної на рисунку 2

$$u_{R2} = u_{вих} + C_u \cdot R_u \cdot \frac{du_{вих}}{dt} . \quad (7)$$

Якщо стала часу $C_u \cdot R_u$ обрана таким чином, що першим членом у правій частині виразу (7) можна зневажити, то, враховуючи умову $u_n = u_{R2}$, а також і вираз (6), можна зробити висновок

$$u_{вих} \sim I_{вим} . \quad (8)$$

Вираз (10) показує, що вихідна напруга інтегратора пропорційна вимірюваному струму.

Вираз чутливості ε ІМП з інтегратором виводиться наступним чином:
– з урахуванням умови $u_n = u_{R2}$ перетворюється вираз (6)

$$u_{вих} = \frac{M}{C_u \cdot R_u} \cdot I_{вим} = \frac{L_k}{n \cdot C_u \cdot R_u} \cdot I_{вим}; \quad (9)$$

– виводиться вираз чутливості ε

$$\varepsilon = \frac{u_{вих}}{I_{вим}} = \frac{L_k}{nC_u R_u}. \quad (10)$$

Вимірювання слабких струмів, при одночасному використанні інтегратора, потребує використання додаткових підсилювачів сигналу.

Для вимірювання високих імпульсних напруг у прискорювальній техніці використовуються резистивні, ємнісні та комбіновані подільники напруги [2], варіанти виконання яких наведено на рисунку 3.

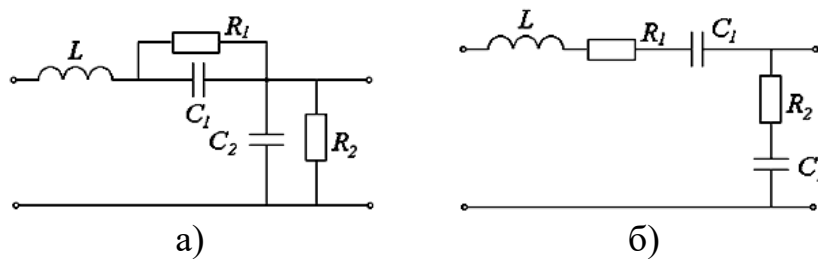


Рисунок 3 – Схеми комбінованих подільників напруги

Призначення подільників полягає у зниженні вимірюваної напруги без значних викривлень часової форми імпульсу. Напруга на виході схеми, що наведено на рисунку 3а, складає

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_1 = K_{\partial} \cdot U_1, \quad (11)$$

де K_{∂} – коефіцієнт ділення. Умовою частотної незалежності коефіцієнта передачі подільника є $R_1 C_1 = R_2 C_2$, під час виконання якої для коефіцієнта ділення виконується формула (11).

Список використаних джерел:

1. Huan Liu, Xiaobin Wang A Modular Magneto-Inductive Sensor for Low Vector Magnetic Field Measurements. / H. Liu, X. Wang. – Arxiv. Physics. Instrumentation and Detectors, 2007. – 7 p.
2. Paul Horowitz and Winfield Hill The Art of Electronics (Third ed.), Cambridge University Press, 2015. – ISBN 978-0-521-37095-0