

третьей группы правил вывода уравнений избыточных измерений крутизны преобразования. Сообщение 7.1 / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — 2014. — № 1. — С. 223-236.

8. Эргодическая гипотеза. Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B3%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%B7%D0%B0

References

1. Kondratov V.T. Teorija izbytochnykh izmerenij: sverkhizbytochnye izmerenija — vtoroj kachestvennyj skachok v fundamentalnoj metrologii. Soobshhenie 1 / V. T. Kondratov // Visnyk Khmelniczkogo naczionalnoho universitetu. Tekhnichni nauky. — 2013.— № 3. — С. 222-235.

2. Kondratov V.T. Teorija izbytochnykh i sverkhizbytochnykh izmerenij: filosofskie aspekty sverkh-izbytochnykh izmerenij. Soobshhenie 2. Philisifskie aspekty / V. T. Kondratov // Visnyk Khmelniczkogo naczionalnoho universitetu. Tekhnichni nauky. — 2013.— № 4. — С. 217-226.

3. Kondratov V.T. Teorija izbytochnykh i sverkhizbytochnykh izmerenij: sushhnost sverkhizbytochnykh izmerenij. Soobshhenie 3 / V. T. Kondratov // Visnyk Khmelniczkogo naczionalnoho universitetu. Tekhnichni nauky. — 2013.— № 5. — С. 233-242.

4. Kondratov V.T. Teorija izbytochnykh i sverkhizbytochnykh izmerenij: formalizevanoe opisanie obschikh pravil vyvoda uravnenij izbytochnykh izmerenij krutizny preobrazovanij. Soobshhenie 4 / V. T. Kondratov // // Vymiruvalna ta obchysluvalna tekhnika v tekhnologichnykh protsesakh. — 2013. — № 4. — С. 3-17.

5. Kondratov V.T. Teorija izbytochnykh i sverkhizbytochnykh izmerenij: formalizevanoe opisanie pervoj grupy pravil vyvoda uravnenij izbytochnykh izmerenij krutizny preobrazovanij. Soobshhenie 5 / V. T. Kondratov // Vymiruvalna ta obchysluvalna tekhnika v tekhnologichnykh protsesakh. — 2013. — № 4. — С. 115-128.

6. Kondratov V.T. Teorija izbytochnykh i sverkhizbytochnykh izmerenij: formalizevanoe opisanie vtoroj grupy pravil vyvoda uravnenij izbytochnykh izmerenij krutizny preobrazovanij. Soobshhenie 6 / V. T. Kondratov // Vymiruvalna ta obchysluvalna tekhnika v tekhnologichnykh protsesakh. — 2013. — № 4. — С. 134-147.

7. Kondratov V.T. Teorija izbytochnykh i sverkhizbytochnykh izmerenij: formalizevanoe opisanie tretej grupy pravil vyvoda uravnenij izbytochnykh izmerenij krutizny preobrazovanij. Soobshhenie 7.1 / V. T. Kondratov // Vymiruvalna ta obchysluvalna tekhnika v tekhnologichnykh protsesakh. — 2014. — № 1. — С. 223-236.

8. Ergodicheskaja gipoteza. Rezhim dostupa: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B3%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%B7%D0%B0

Рецензія/Peer review : 13.1.2014 р.

Надрукована/Printed : 8.4.2014 р.

Рецензент: Троцишин І.В., д.т.н., проф.

УДК 681.586.773

О.І. ШАПОВАЛОВ

Технологічний інститут Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, м.Севєродонецьк

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МАГНІТОДИНАМІЧНОГО ПОТОКУ В ЗОНІ РЕОЛОГІЧНОГО ПЕРЕХОДУ МАГНІТОСТРИКЦІЙНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Анотація. На основі результатів теоретичних досліджень магнітних потоків первинного вимірювального перетворювача (ПВП) магнітострикційного засобу контролю рівня рідинних середовищ, принципів реологічних переходів магнітної енергії розроблена математична модель магнітодинамічного процесу в зоні перетворення магнітного потоку в ультразвуковий сигнал. Показані причини зміни магнітодинамічного поля провідника ПВП. На амплітуду зміни магнітного потоку чинять вплив такі фактори як: діаметр ПВП, його опір, кількість доменів в одиниці об'єму магнітострикційного матеріалу, власна частота коливань і стала часу електродимічного перетворення.

Ключові слова: струм, імпульс, амплітуда, швидкість, магнітна індукція, магнітне поле, електромагнітна індукція, реологічний перехід, магнітна енергія.

A.I. SHAPOVALOV

Institute of Technology East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl, Severodonetsk

MATHEMATICAL MODEL OF FLOW NEAR MAGNETODYNAMIC REOLOGICAL TRANSITION IN MAGNETOSTRICTIVE TRANSDUCERS

Abstract. Based on the results of theoretical studies of magnetic fluxes primary measuring transducer (PVP) magnetostrictive means of controlling the level of liquid media , principles of rheological transitions of magnetic energy magnetodynamic the mathematical model of the process of transformation in the area of the magnetic flux in the ultrasonic signal. The reasons for the changes magnetodynamic field conductor PVP . The amplitude change of the magnetic flux influencing factors such as the diameter of PVP, its resistance , the number of domains per unit volume magnetostrictive material, the natural frequency of vibration and time constant elektrodymichnoho transformation.

Keywords: current pulse amplitude, speed, magnetic induction, magnetic field, electromagnetic induction, flow switch, magnetic energy.

Вступ

У хімічній та нафтопереробній промисловості використовуються засоби контролю рівня рідинних середовищ, побудованих на різних методах, серед яких є й магнітострикційний [1-4]. Такі засоби мають

достатньо високу точність вимірювального контролю. У рекламних документах вказується, що абсолютна похибка таких засобів контролю складає ± 2 мм при діапазоні вимірювання до 18 м. Основним елементом таких рівнемірів є хвилевод, виготовлений з магнітострикційного матеріалу (рис. 1). У корпусі 8 (трубки), розташовано хвилевід 3, який закріплено в демпфери 6 і 9, а також перетворювач торсійних імпульсів в електричний сигнал 5. Вздовж перетворювача 4, який встановлено в ємності 2, рухається поплавковий 1 з постійним магнітом 7. Блок обчислення та управління складається з генератора імпульсів струму збудження 11, підсилювача 10, блоку управління 12 і блоку обчислення 13.

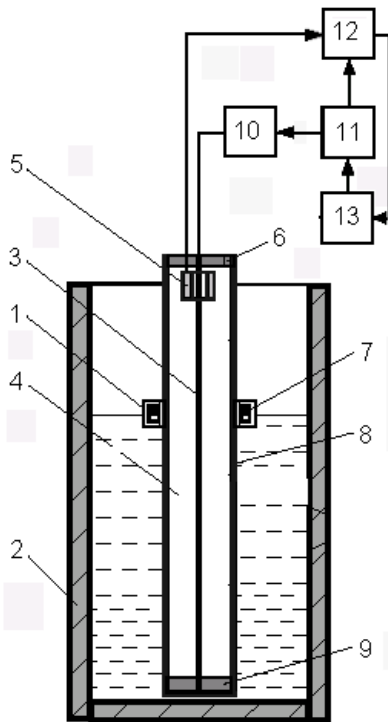


Рис. 1. Структурна схема магнітострикційного засобу контролю

При подачі з генератора 10 у феромагнітний хвилевід 3 електричного збуджуючого імпульсу (ЕЗІ), останній, рухаючись по хвилеводу, створює навколо нього електромагнітне поле (ЕМП), котре переміщується синхронно ЕЗІ. Коли ЕМП досягає магнітного поля постійного магніту 7, за рахунок їх взаємодії хвилевід починає коливатися, створюючи в ньому коливання власної частоти, котрі по хвилеводу досягають перетворювача торсійних імпульсів в електричний сигнал 5. Останній сприймається блоком управління 12, у котрому проходить обробка параметрів збуджуючого та сприйнятого сигналів. Ці сигнали далі поступають в блок обчислення 13, у котрому за різницею часу проходження збуджуючого та сприймаючого сигналів розраховується відстань від поплавка 1 до перетворювача 5.

Засоби вимірювального контролю, котрі побудовані на магнітострикційному методі, достатньо широко використовуються в комп'ютерно-інтегрованих системах контролю та управління зарубіжними фірмами і при впровадженні таких систем на вітчизняних теплоенергетичних, хіміко-технологічних і нафтопереробних підприємствах постає питання щодо їх градування, метрологічної повірки, налагодження, ремонту тощо. Тому задача теоретичного та експериментального дослідження таких засобів є актуальною.

Постановка задачі

Генератором 11 формується електричний збуджуючий імпульс (ЕЗІ) певною тривалістю T_1 , котрий у підсилювачі 10 підсилюється до відповідної амплітуди I_A і подається в первинний вимірювальний перетворювач (ПВП) (хвилевід), який закріплений в трубі 8. При проходженні ЕЗІ вздовж ПВП, навколо останнього виникає напруженість електричного поля. Тобто в ПВП ЕЗІ перетворюється в імпульс напруженості магнітного поля (НМП) згідно з формулою $H = I_A / 2\pi r$, де r - відстань від провідника в площині перпендикулярній провіднику. Напруженість H у ПВП створює електромагнітну індукцію $B = \mu_0 H$, де μ_0 - магнітна стала. Остання в площині S поперечного перетину магнітного поля створює магнітний потік $\Phi = B_n S = BS \cos \alpha$, де B_n - нормальна складова магнітної індукції; α - кут нахилу нормалі n до площини S . Коли імпульс магнітного поля ПВП досягає магнітне поле постійного магніту поплавка 1, виникає сила $F = BI_A l$, де l - довжина струни ПВП, яка знаходиться в області магнітного поля постійного магніту. Під дією цієї сили домени хвилеводу відхиляються від стану рівноваги на величину δ_r . Після того, як ЕЗІ покидає область дії магнітного поля поплавка, домени повертаються до попереднього стану за рахунок коливально-загасаючого процесу. При коливальному русі доменів в магнітному полі постійного магніту, в ПВП виникає електрорушійна сила (ЕРС) $e = -Bl \frac{ds}{d\theta} = -Blv$, де s - відхилення доменів ПВП від усталеного значення; θ - поточний час; v - швидкість коливання. Створена ЕРС викликає силу струму $di_K = (e/L)d\theta$, яка є імпульсом у формі коливального процесу, котрий розповсюджується по струні ПВП. Цей струмовий імпульс, створюючи своє ЕМП навколо провідника ПВП, досягає перетворювача 5 у формі котушки і формує в її витках напругу $u(t) = NB(l)S\omega \sin \omega t = U_m(l) \sin \omega t$, де N - кількість витків котушки перетворювача; S - поперечний перетин котушки; $\omega = 2\pi f$ - кутова частота; f - частота УЗК; $U_m(l)$ - амплітуда коливань; t - час переміщення УЗК. Напруга $u(t)$, яка створюється в котушці перетворювача 5, поступає в блок управління 12, де обробляється за відповідним алгоритмом. Оброблений сигнал далі подається в блок обчислення 13, в якому розраховується виміряне значення рівня рідинного середовища і формується сигнал для подачі наступного ЕЗІ. Виходячи з принципів теорії реологічних переходів [5, 6], процес вимірювання рівня магнітострикційним методом відноситься до

складних, котрі супроводжуються реологічними переходами. На кожному реологічному переході проходить перетворення електричної та механічної енергії, що призводить до відповідних похибок вимірального контролю.

Із принципу роботи магнітострикційного засобу контролю рівня видно, що процес перетворення ЕЗІ тривалістю \mathcal{G} , який подається в ПВП, здійснює низку фізичних перетворень, у результаті котрих, цей імпульс перетворюється в ультразвуковий сигнал (УЗС) тривалістю t , який має змінну амплітуду $E(t)$ і частоту f_K . Виходячи з того, що хвилевід являє собою сплав різних компонентів, котрі містять відповідні домени [7], то в сукупності вони створюють у поперечному перетині струни елементарні RLC - кола, котрі з'єднані між собою послідовно, як показано на рис. 2.

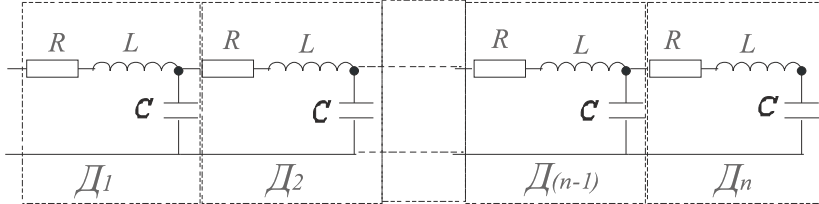


Рис. 2. Еквівалентна електрична схема магнітострикційного провідника

У кожному елементарному поперечному перетині хвилеводу існує еквівалентний контур RLC , який назвемо одиничним доменом D_i . За рахунок активного опору R амплітуда ЕЗІ зменшується на величину ΔI_θ за рахунок того, що деяка частина струму імпульсу перетворюється в теплову енергію. Домен має індуктивність $L = \mu_a N_\theta^2 s_\theta / l_\theta$, де μ_a - абсолютна магнітна проникливість матеріалу; N_θ - кількість доменів, які знаходяться в об'ємі $\Delta V = s_\theta l_\theta$ провідника поперечним перетином s_θ і товщиною l_θ . При проходженні ЕЗІ через об'єм ΔV в ньому виникає ЕРС самоіндукції $e_\theta = -L \frac{dI}{d\theta} = -Bl \frac{ds_\theta}{d\theta} = -\frac{d\Phi_I}{d\theta}$, де Φ_I - магнітний потік. Вважаючи, що два послідовно з'єднані домени являють собою плоский конденсатор, то ємність між ними можна визначити за формулою: $C = \epsilon_a s / l$, де ϵ_a - абсолютна діелектрична проникливість. Якщо $s = const$ і $l = const$, то можна прийняти, що ємність хвилеводу є сталою. Виходячи з принципу роботи ПВП, при появі ЕЗІ в диполі D_1 домени N_i орієнтуються за напрямком руху електричного поля. Якщо ЕЗІ залишає зону дії першого диполя D_1 , то домени в ньому повертаються до попереднього сталого значення, а домени в D_2 орієнтуються у відповідному напрямку і так далі. ЕРС, яка створюється за рахунок дії ЕЗІ, можна описати наступним диференціальним рівнянням

$$\tau' \frac{de_1}{d\theta} + e_1 = k_1 I_0, \tag{1}$$

де $\tau' = RC$ - стала часу; e_1 - ЕРС самоіндукції, θ - час; k_1 - коефіцієнт передачі; I_0 - амплітуда ЕЗІ.

Якщо такий активний домен попадає в магнітне поле постійного магніту, то за рахунок руху його електричного поля в останньому наводиться ЕРС, яка описуватиметься таким рівнянням

$$\tau'' \frac{de_2}{d\theta} + e_2 = k_2 e_1, \tag{2}$$

де $\tau'' = L/R$ - стала часу; e'' - ЕРС, яка наведена зовнішнім магнітним полем; k_2 - коефіцієнт передачі.

Сумісне рішення рівнянь (1) і (2) при умові, що електромагнітні процеси в домені проходять одночасно, приводить до наступного диференціального рівняння другого порядку

$$\tau_2^2 \frac{d^2 e_2}{d\theta^2} + \tau_1 \frac{de_2}{d\theta} + e_2 = K_1 I_0, \tag{3}$$

де $\tau_{2E} = \tau' \tau'' = \sqrt{LC}$; $\tau_{1E} = \tau' + \tau'' = \frac{L}{R} \left(1 + R^2 \frac{C}{L} \right)$ - сталі часу; K_1 - коефіцієнт передачі.

Згідно з [8], коливання в хвилеводі є ультразвуковими, а значить відношення $\tau_1 / \tau_2 \ll 2$. Якщо активний опір незначний, то з певним наближенням можна прийняти, що процес є коливальним з максимальною амплітудою та частотою. Тоді рівняння (3) спрощується і приймає вигляд

$$\tau_2^2 \frac{d^2 e_2}{d\theta^2} + e_2 = K_1 I_0. \tag{4}$$

УЗС є зовнішнім джерелом електромагнітної енергії, так як створюється при взаємодії зовнішнього магнітного поля з ЕМП домену. Це поле наводить в матеріалі ПВП вихрові струми, щільність яких залежить від геометричних та електромагнітних його параметрів. Для наближеної оцінки глибини δ проникнення

ЕМП в домені ПВП використаємо наступну узагальнену формулу [9,10]

$$\delta = \sqrt{2/\omega\mu_a\sigma} \quad (5)$$

де ω - кругова частота УЗК; μ_a - абсолютна магнітна проникність струни, Гн/м; σ - питома електрична провідність струни, См/м.

З [9] відомо, що абсолютна магнітна проникність

$$\mu_a = dB/dH, \quad (6)$$

де dB - зміна магнітної індукції; dH - зміна НМП.

Напруга, яка обумовлена магнітною індукцією провідника ПВП [9,10],

$$e_1 = -w_n S \frac{dB}{dH} \cdot \frac{\partial H}{\partial \theta} = -w_n S \mu_a \frac{\partial H}{\partial \theta}, \quad (7)$$

де w_n - кількість витків; S - площа поверхні; $\partial H/\partial \theta$ - зміна напруженості за час переміщення ЕЗІ.

У формулі (7) e_1 є узагальнюючою ЕРС, яка створюється сукупністю доменів, котрі одночасно знаходяться в зоні дії ЕЗІ тривалістю θ . Якщо швидкість переміщення ЕЗІ дорівнює v_I , то довжина ПВП, яка одночасно знаходиться в зоні дії цього імпульсу, $x_I = v_I \theta$. При поперечному перетині хвилеводу $S_C = \pi D_C^2/4$, об'єм $\Delta V = S_C x_I = \pi D_C^2 x_I/4$. Припустимо, що в такому об'ємі ΔV ПВП знаходиться $N_{\Delta V}$ доменів, а кожний домен являє собою замкнений виток, в якому створюється вихровий струм, а навколо нього за рахунок цього струму – напруженість H_i магнітного поля. У такому разі сумарна напруженість ЕМП доменів, які знаходяться в об'ємі ΔV струни, створює ЕРС

$$e_V = N_{\Delta V} \mu_a \frac{\Delta V}{x_I} \frac{\partial H_i}{\partial \theta}. \quad (8)$$

Враховуючи вираз для об'єму ΔV , рівняння (8) набуває наступної форми

$$e_V = \frac{\pi}{4} N_{\Delta V} \mu_a D_C^2 \frac{\partial H_i}{\partial \theta}. \quad (9)$$

З рівняння (9) видно, що ЕРС, яка виникає в об'ємі ΔV_I , пропорційна кількості активних доменів і квадрату діаметра D_C струни. З рівняння Фур'є випливає, що зміна НМП

$$\frac{\partial H}{\partial \theta} = \frac{\text{rot } \vec{J}_{CT} - \nabla^2 \vec{H}}{\mu_a \sigma}, \quad (10)$$

де \vec{J}_{CT} - вектор щільності сторонніх вихрових струмів; \vec{H} - вектор НМП; $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ -

Лапласіан, який характеризує розподіл НМП в хвилеводі за осями x , y і z .

Якщо прийняти, що стороння щільність вихрового струму незначна і нею можна знехтувати, то рівняння (10) приймає вигляд

$$\frac{\partial H}{\partial \theta} = -\frac{1}{\mu_a \sigma} \cdot \nabla^2 \vec{H}. \quad (11)$$

Для ПВП основним параметром є радіус r . У цьому разі рівняння (11) приймає форму

$$\frac{\partial H}{\partial \theta} = -\frac{1}{\mu_a \sigma} \frac{\partial^2 H}{\partial r^2}. \quad (12)$$

Підставивши (12) у рівняння (9), отримуємо формулу для розподілення ЕРС в струні

$$e_V = \frac{\pi}{4} N_{\Delta V} \frac{D_C^2}{\sigma} \frac{\partial^2 H_i}{\partial r^2}. \quad (13)$$

З (13) видно, що ЕРС в активному елементі ПВП залежить також і від питомої електричної провідності. Якщо ЕРС e_V є напругою самоіндукції, то для неї можна записати, що

$$e_V = u_C = L \frac{dI}{d\theta} = 2\pi L r \frac{\partial H_I}{\partial \theta}. \quad (14)$$

Враховуючи (14), рівняння (13) приймає наступну форму

$$\frac{\partial H_i}{\partial \theta} = N_{\Delta V} \frac{D_C}{4\sigma L} \frac{\partial^2 H_i}{\partial r^2}. \quad (15)$$

Позначимо $\psi = N_{\Delta V} D_C / 4\sigma L$ і назовемо цей параметр магнітопровідністю хвилеводу за аналогією з температуропровідністю, яка має таку ж розмірність - m^2/c . Тоді рівняння (15) набуває вигляду

$$\frac{\partial H_i}{\partial \theta} = \psi \frac{\partial^2 H_i}{\partial r^2}. \quad (16)$$

Приймаючи до уваги, що магнітна індукція $B_I = \mu_a H_I$, а магнітний потік, який створюється навколо хвилеводу на відрізку x_I , $\Phi_I = B_I S_C = \pi B_I r_0^2$, де r_0 - радіус хвилеводу, і враховуючи (16), отримуємо рівняння перенесення магнітного потоку ЕЗІ в перетворювачі в такій формі

$$\frac{\partial \Phi_I}{\partial \theta} = \psi \frac{\partial^2 \Phi_I}{\partial r^2}. \quad (17)$$

Математична модель магнітострикційного перетворювача

Під дією магнітного поля постійного магніту елементарні домені ПВП орієнтуються вздовж напрямку дії його силових ліній. Напрямок дії магнітного потоку постійного магніту є протилежним до напрямку дії ЕМП ЕЗІ. Тому при досягненні ЕЗІ зони дії магнітного поля постійного магніту навколо хвилеводу сумарне магнітне поле різко зменшується, що призводить до зменшення сили $F_M = B_M l_M I$, де l_M - довжина хвилеводу, I - амплітуда струмового імпульсу. При цьому домені подібно струні починають здійснювати вільні загасаючі коливання. Так як магнітне поле, створюване ЕЗІ, залишається незмінним, то коливання доменів у цьому полі призводять до появи в них змінної ЕРС з частотою УЗС. Вільні загасаючі коливання описуються наступним диференціальним рівнянням [8]

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2\delta_\beta \frac{dy}{dt} + \omega_{0M}^2 y = 0, \quad (18)$$

де y - відхилення домену; $\delta_\beta = \beta / 2m$ - коефіцієнт загасання; β - коефіцієнт тертя; m - маса домену; $\omega_{0M} = D_\theta / m = 2\pi f_0$ - власна кутова частота коливань; D_θ - жорсткість; f_0 - частота, Гц; t - час.

Для ПВП характерним є те, що в магнітному полі постійного магніту поплавка рухається не провідник, а ЕЗІ, який характеризується амплітудою I_0 та часом T_1 тривалості. Припустимо, що ЕЗІ має прямокутну форму, а його тривалість задається генератором. При русі ЕЗІ вздовж хвилеводу, створюється НМП, котра викликає магнітну індукцію B , в результаті чого на ділянці l дії струму виникає напруга $u_1 = Blv_1$, де v_1 - швидкість переміщення ЕЗІ. Так як напруга $u_1 = F_1 v_1 / I_0$, де F_1 - сила дії струму, то швидкість переміщення ЕЗІ дорівнює

$$v_1 = \pi D_C \frac{R_E}{\mu_a l}, \quad (19)$$

де D_C - діаметр провідника ПВП; R_E - активний його опір.

З рівняння (19) випливає, що добуток $v_1 l = \pi D_C R_E / \mu_a$ має розмірність $[m^2 / c]$ і згідно з умовою енергетичного балансу $v_1 l = \psi$, або прирівнюючи відповідні рівняння отримуємо

$$\frac{\sigma}{\mu_a} = \frac{N_{\Delta V}}{4\pi L R_E}. \quad (20)$$

З рівняння (5) знайдемо питому електричну провідність σ і підставимо в рівняння (20). У результати отримуємо формулу для відхилення доменів під дією зовнішньої електромагнітної дії

$$\delta = \frac{2\sqrt{2}}{\mu_a} \sqrt{\frac{\pi L R_E}{\omega_{0E} N_{\Delta V}}}, \quad (21)$$

де ω_{0E} - власна частота електромагнітних коливань хвилеводу.

При русі ЕЗІ по ПВП виникає напруга самоіндукції, котра описується рівнянням: $u = L w_1$, де $w_1 = dI / dt$, де I - поточне значення струму збудження. Звідки індуктивність $L = u / w_1$. Для активної складової опору можна записати, що $R = u / I_0$. Підставивши ці рівняння в (21), отримуємо

$$\delta = 2\sqrt{2} \frac{u}{\mu_a} \sqrt{\frac{\pi}{\omega_{0E} N_{\Delta V} w_1 I_0}}. \quad (22)$$

Якщо ЕЗІ зі швидкістю w_1 досягне магнітних силових ліній постійного магніту, то відбудеться зміна магнітного поля Φ_I , яка викликає в часі змінну напругу самоіндукції u . Враховуючи, що напруга самоіндукції $u = -n \frac{d\Phi_{II}}{dt}$ і позначивши $\Omega = \sqrt{\frac{8\pi}{\omega_{0E} \mu_a^2 N_{\Delta V} w_1 I_0}}$, $\left[\frac{c^3 A}{\kappa_{2M}} = Om \right]$, маємо $\frac{d\delta}{dt} = \Omega \frac{d^2 \Phi_{II}}{dt^2}$,

де Φ_{II} - магнітне поле постійного магніту поплавка.

Якщо прийняти, що $\delta = y$, то, враховуючи (15) і (18), маємо

$$\frac{\partial \Phi_I}{\partial \theta} + \left(\frac{\Omega_0}{I_0} \right) \frac{\partial^2 \Phi_I}{\partial r^2} = \tau_{2M}^2 \frac{d^3 \Phi_{II}}{dt^3} + \tau_{1M} \frac{d^2 \Phi_{II}}{dt^2} + \frac{d\Phi_{II}}{dt}, \quad (24)$$

де $\Omega_0 = \sqrt{N_{\Delta V}} S_C \frac{C^2}{4\pi\sigma} \left(\frac{\omega_{0E}}{\beta}\right)^4 \sqrt{\frac{2\pi\theta_0}{\omega_{0E}}}$; $\beta = \omega_{0E} \sqrt{LC}$ - коефіцієнт розповсюдження ЕЗІ; S_C - поперечний перетин хвилеводу; θ_0 - час розповсюдження ЕЗІ по ПВП довжиною l_0 ; I_0 - амплітуда струму ЕЗІ; $\tau_{2M}^2 = \frac{D_C C}{2I_0 \beta^2} \left(\frac{\omega_{0E}}{\omega_{0M}}\right)^2 \sqrt{\frac{8\pi\theta_0}{\omega_{0E} N_{\Delta V}}}$; $\tau_{1M} = D_C \delta_\beta \left(\frac{C}{I_0}\right) \left(\frac{\omega_{0E}}{\beta}\right)^2 \sqrt{\frac{8\pi\theta_0}{\omega_{0E} N_{\Delta V}}}$ - сталі часу механічних УЗК.

Висновки

Дослідження магнітострикційних засобів контролю рівня є важливими для визначення параметрів, котрі впливають на статичні та динамічні їх характеристики. З рівняння (25) видно, що магнітне поле Φ_I , котре створюється ЕЗІ, залежить від діаметра D_C хвилеводу, амплітуди ЕЗІ, коефіцієнта розповсюдження ЕЗІ в струні та інших її параметрів. Характерним для МСП є відношення сталих часу $\frac{\tau_{1M}}{\tau_{2M}} = 2\delta_\beta \frac{\omega_{0M}}{\sqrt{L}} \sqrt{\frac{D_C}{2I_0}} \sqrt{\frac{8\pi\theta_0}{\omega_{0E} N_{\Delta V}}}$. Згідно з методом квадратур [11] кутова частота $\omega_{0M} = 1/\tau_{2M}$, де ω_{0M} - частота переходу дійсної частотної характеристики через частотну вісь, то стала часу $\tau_{1M} = \frac{2\delta_\beta}{\sqrt{L}} \sqrt{r_C} \sqrt{\frac{8\pi\theta_0}{\omega_{0E} N_{\Delta V}}}$. Приймаючи, що стала часу $\tau_{2E} = 1/\omega_{0E}$, а амплітуда струму $I_0 = U_0/R$, маємо $\tau_{1M} = 2\delta_\beta \sqrt{r_C \tau_{1E} \frac{4\sqrt{LC}}{U_0} \sqrt{\frac{8\pi\theta_0}{N_{\Delta V}}}}$. З останнього рівняння випливає, що атестацію струни МСП можна проводити за сталою часу τ_{1M} механічних коливань.

Література

1. Стенцель Й.І., Тішук В.В. Метрологія та технологічні вимірювання в хімічній промисловості. Ч.1. Навч. Посібник. – Луганськ Вид-во Східноукр.нац ун-ту, 2000. – 264 с
2. Стенцель Й.І. Метрологія та технологічні вимірювання в хімічній промисловості. Аналітичні прилади і методи контролю. Ч.2. Навч. Посібник. – Луганськ Вид-во Східноукр.нац ун-ту, 2001. – 263 с.
3. Стенцель Й.І., Целіщев О.Б., Лорія М.Г. Вимірювання в хімічній технології. Підручник / Під ред. проф. Й.І.Стенцеля. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2007. 480 с.
4. Пат. 2194953 Россия, МПК G01F23/28. Способ измерения уровня и массы жидких сред в резервуарах / Артемьев Эдуард Аркадьевич, Камнев Василий Иванович. - № 2000118919/28; заявл. 17.07.2000; опубл. 20.12.2002; Бюл. №35.
5. Стенцель Й.І. Фотоколориметричні газоаналізатори. Монографія. – К.: ІСДО. 1995. – 126 с.
6. Стенцель Й.І., Рябіченко А.В., Літвінов К.А. Фізичні моделі перетворень в ультразвукових засобах контролю рівня рідинних середовищ. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. «Електроенергетика и преобразовательная техника». – Харків: НТУ «ХПІ» -№19. – 2011. – С. 3-18.
7. Гораздовский Т.Я. Домены реологических полей. – ДАН СССР, 1986, т. 287, №5. – С.1118-1122.
8. Кухлінг Х. Справочник по физике. Пер. с нем. – Б.: Мир, 1982. – 520 с.
9. Герасимов В.Г., Клюев В.В., Шатерников В.Е. Методы и приборы электромагнитного контроля промышленных изделий. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 262 с.
10. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник /Под ред. В.В.Клюева. Кн.1. – М.: Машиностроение, 1976. – 391 с.
11. Стенцель Й.І. Автоматизація технологічних процесів хімічних виробництв: Навч. посібник. – К.: ІСДО. 1995. – 360 с.

References

1. Stentsel I.I., V.V. Tishuk Metrology and measurement technology in the chemical industry. P.1. Teach. Guide. - Lugansk Izd Shidnokr.nats University Press, 2000. - 264 pp.
2. Stentsel YI Metrology and measurement technology in the chemical industry. Analytical instrumentation and control methods. Part 2. Teach. Guide. - Lugansk Izd Shidnokr.nats University Press, 2001. - 263 p.
3. Stentsel I.I., Tselishchev A.B, M.G. Loria Measurement in chemical engineering. Handbook / Ed .. Prof. .. I.I.Stentselya. - Lugansk: Type of EUNU. Dal 2007. 480 p.
4. Pat. 2194953 Russia, IPC G01F23/28. Method and measurements urovnya massy zhydkyh Wednesday in tanks / Eduard Artemyev Arkadevych, Vasily Ivanovich Kamnev. - № 2000118919/28; appl. 17.07.2000, publ. 20.12.2002, Bull. Number 35.
5. Stentsel I.I. Photocolorimetric analyzers. Monograph. - K.: ISDO. ., 1995 - 126 p.
6. Stentsel I.I., Ryabichenko A.V., Litvinov K.A. Physical model transformation means of ultrasonic level control liquid media. Proceedings of the National Technical University " Kharkiv Polytechnic Institute". Collected papers. " Electricity and preobrazovatelnaya Technology ." - Kharkiv National Technical University " Kharkiv Polytechnic Institute » - № 19. - 2011. - P. 3-18.
7. Horazdovskyy T.J. Domains reologicheskikh fields. - DAN USSR, 1986, vol 287, № 5. - S.1118-1122.

8. Kuhlín H. Handbook of physics. Per. with Nam. - B.: Mir, 1982. - 520 p.
 9. Gerasimov V.G., Klyuev V.V., V.E. Shaternikova Methods and instrumentation control elektromahnytnoho promyshlennyyh products. - Moscow: Energoatomizdat, 1983. - 262 p.
 10. Instrumentation for nerazrushayuscheho control of materials and products. Directory / Ed. V.V.Klyueva. .1. - Moscow: Mashinostroenie, 1976. - 391 p.
 11. Stentsel I.I. Automation of technological processes of chemical industries: Training. Guide. - K.: ISDO. , 1995. - 360 p.

Рецензія/Peer review : 26.1.2014 р.

Надрукована/Printed : 8.4.2014 р.
Рецензент: Троцишин І.В., д.т.н., проф.

УДК 621.315.616:535.562

О.В. БОНДАРЕНКО, А.И. РЯБУШЕЙ, И.И. РЯБУШЕЙ
Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ КОМБИНИРОВАННОЙ ИЗОЛЯЦИИ ЖИЛ КАБЕЛЯ ТИПА КСПП-1×4×1,2

Произведен расчет эквивалентной диэлектрической проницаемости изоляции токоведущих жил и рабочей емкости цепи кабеля КСПП-1×4×1,2. Показана зависимость этих параметров от диэлектрической проницаемости полиэтилена изоляции жил, находящейся в пределах от 1,9 до 2,4, и от свободного объема сердечника кабеля.

Ключевые слова: кабель, токоведущие жилы, диэлектрическая проницаемость, рабочая емкость, полиэтиленовая изоляция.

O.V. BONDARENKO, A.I. RIABUSHEI
Odessa National Academy of Telecommunication Named After A.S. Popov

PERMITTIVITY OF COMBINED CONDUCTORS INSULATION FOR КСПП-1×4×1,2 CABLE TYPE

Abstract – Calculated the equivalent permittivity of conductors insulation and working capacity for cable КСПП-1×4×1,2. Was shown the dependence of these parameters on the permittivity of polyethylene of conductors insulation which is in the range of from 1,9 to 2,4, and on the free volume inside the cable core.

Keywords: cable, conductors, permittivity, working capacity, polyethylene insulation.

Введение

При определении первичных либо вторичных параметров передачи цепи симметричного кабеля используемого на сетях абонентского доступа, часто сталкиваются с тем, что их расчет затрудняется, так как нельзя использовать точные значения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь изоляции жил, что приводит к погрешностям и неточным данным этих параметров. Эквивалентная диэлектрическая проницаемость изоляции токоведущих жил цепи $\epsilon_{\text{эжв}}$, в значительной степени, влияет на емкость цепи C , которая в свою очередь влияет на коэффициенты затухания α , фазы β и волновое сопротивление цепи Z_B .

Как известно, $\epsilon_{\text{эжв}}$ зависит от диэлектрической проницаемости материала, который используется в качестве изоляции проводника и от показателя его объемного значения. Также значительную и немаловажную роль в ее значении, играет свободное пространство сердечника кабеля, заполненное воздухом, объем которого точно определить достаточно сложно.

Анализ исследований и публикаций

Как показал анализ исследований, приведенных в [1, 2], расчет объема свободного пространства сердечника кабеля у разных авторов отличается, что в свою очередь приводит к погрешностям при расчетах эквивалентной диэлектрической проницаемости изоляции токоведущих жил и рабочей емкости цепи кабеля.

Цель работы

Целью данной работы является показать зависимость эквивалентной диэлектрической проницаемости изоляции токоведущих жил и рабочей емкости цепи от качества полиэтилена и от свободного пространства сердечника кабеля КСПП-1×4×1,2, используя формулы различных авторов.

Расчет эквивалентной диэлектрической проницаемости изоляции токоведущих жил $\epsilon_{\text{эжв}}$ и рабочей емкости цепи C_p для кабеля типа КСПП-1×4×1,2

Следуя [1] рассмотрим способ определения объема полиэтилена (ПЭ) изоляции и объема воздуха внутри сердечника кабеля типа КСПП-1×4×1,2 (рис. 1). Формулы для расчета площади диэлектриков из этой работы представляются в виде:

$$V_1 = \pi \cdot l \left[n(d_0 + \delta_{\text{из}}) \cdot \delta_{\text{из}} + (D_c + \delta_{\text{пси}}) \cdot \delta_{\text{пси}} \right], \quad (1)$$