

УДК 621.3.08

Д.Н. АХОНЧЕНКО, І.Л. КІВА

Київський національний університет технологій та дизайну

ВИМІРЮВАННЯ РЕЗОНАНСНОЇ ЧАСТОТИ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА

У статті досліджується можливість підвищення точності вимірювання резонансної частоти електричних ланцюгів за рахунок виключення похибки в індикації фазового зсуву $\pi/2$ при зміні резонансної частоти в широкому частотному діапазоні.

Ключові слова: *атенюатор, диференціальний підсилювач, автоматичний перемикач, виборчий підсилювач, фазочуттєвий випрямляч, тороїдальні осердя.*

Для контролю технологічних параметрів на виробництвах дуже часто використовуються датчики на основі резонансного контуру. За приклад можна взяти виробництво нетканих матеріалів з синтетичних волокон, де після операцій холстоутворення, голкопробивання, термоусадки необхідно отримання поточної інформації про значення об'ємної щільності матеріалу. Для контролю цього параметру найбільш доцільним є використання пристрою, який реалізує дієлькометричний метод контролю [1]. Достатньо розповсюджені резонансні методи вимірювання електричної ємності [2]. Для зменшення похибок вимірювання, пов'язаних з нестабільністю частоти та амплітуди напруги генератора накачки та нестабільністю параметрів коливального контуру використовують диференціальний метод вимірювання малих ємностей на боковій гілці резонансної кривої [4, 5]. Відомі пристрої [3] не забезпечують високу точність вимірювання резонансної частоти електричного кола.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом дослідження є процеси визначення резонансної частоти електричних кіл датчиків технологічних параметрів. При вирішенні поставленої задачі були використані положення метрологічного аналізу, теорії електричних кіл постійного та змінного струмів, теорії сигналів та кіл.

Постановка завдання

Завданням даної роботи була розробка структурної схеми пристрою контролю резонансної частоти та дослідження її метрологічних характеристик.

Результати та їх обговорення

Підвищити точність вимірювання резонансної частоти електричних ланцюгів можливо за рахунок виключення похибки в індикації фазового зсуву $\pi/2$ при зміні резонансної частоти в широкому частотному діапазоні.

На рис.1 представлена блок-схема пристрою для вимірювання резонансної частоти електричного кола. Пристрій для вимірювання резонансної частоти електричного кола містить високочастотний генератор 1 змінної частоти, до виходу якого підключене електричне коло, утворене першою та другою котушками 2 і 3 індуктивності відповідно, намотаними на тороїдальних осердях, і конденсатора 4 з обмоткою 5 зв'язку, проходить крізь обидва тороїдальних осердя. Виводи котушки 3 з'єднані з входами автоматичного перемикача 6, коло управління якого підключено, до низькочастотного генератора 7 прямокутної напруги. Вихід автоматичного перемикача 6 з'єднаний з одним входом диференційного підсилювача 8, другий вхід якого через атенюатор 9 з'єднаний з виходом високочастотного генератора 1. Загальна точка диференціального підсилювача 8 з'єднана з середньою точкою котушки 3 та заземлена. Вихід диференціального підсилювача 8 з'єднаний з послідовно включеними амплітудним детектором 10,

виборчим підсилювачем 11, налаштованим на частоту генератора 7, і фазочуттєвим випрямлячем 12, обмотка управління якого також підключена до низькочастотного генератора 7 прямокутного напруги. Вихід фазочуттєвого випрямляча 12 через інтегратор 13 сполучений з керуючим входом високочастотного генератора 1, до виходу якого підключений цифровий частотомір 14.

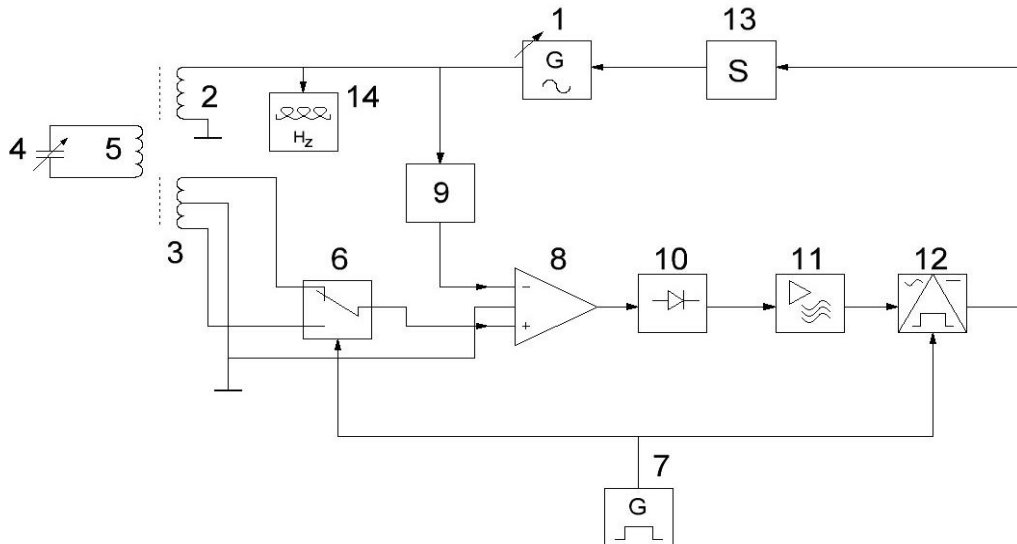


Рис. 1. Структурна схема пристрою для вимірювання резонансної частоти електричного кола

Пристрій працює наступним чином. Високочастотний сигнал з виходу генератора 1 надходить на котушку 2 і створює в її осерді змінне магнітне поле, яке в контурі, утвореному обмоткою зв'язку 5 і конденсатором 4, збуджує високочастотний струм. Останній в осерді котушки 3 створює змінне магнітне поле і відповідне високочастотну напругу на її виводах.

При наявності обмотки зв'язку 5 амплітуда і фаза високочастотної напруги котушки 3 визначається повним опором контуру, яке при частоті збудження меншою резонансної частоти має ємнісний характер, а при частоті збудження більшою резонансної індуктивний. При частоті високочастотних коливань, що збігаються з резонансною частотою контуру, опір останнього являє собою чисто активний опір. Котушка 3 індуктивності, що підключається автоматичним перемикачем 6 до одного з входів диференціального підсилювача 8, при різних частотах виявляється навантаженою на практично нескінченне опір. Тому вона працює в режимі холостого ходу і створюваний нею фазовий зсув відносно струму обмотки 5 зв'язку дорівнює $+\pi/2$.

Якщо контур 4, 5 розладнений щодо частоти власного резонансу, то фаза струму контуру, а отже, і струму обмотки зв'язку щодо фази напруги генератора 1 може змінюватися від $-\pi/2$ до $+\pi/2$ в залежності від відносного розладу контуру. В результаті цього фазовий зсув напруги на виході котушки 3 щодо фази напруги генератора 1 може змінюватися від 0 до π при зміні частоти високочастотного сигналу в широких межах. При резонансі контуру 4, 5 фазовий зсув, що вноситься електричним колом, що складається з котушок 2, 3 конденсатора 4 і обмотки 5 дорівнює $\pi/2$. Останнє і використовується для індикації резонансу електричного кола. Для одержання сигналу, пропорційного відхиленню фазового зсуву від $\pi/2$, на один із входів диференціального підсилювача 8 через атенюатор 9 надходить безперервна напруга генератора 1, а на другий вхід поперемінно напруги з виводів котушки 3 відносно заземленої середньої точки.

Частота перемикачів напруг котушки 3 задається частотою генератора 7, напруга яка управляє роботою перемикача 6. Так як напруги виводів котушки 3 відносно середньої точки знаходяться в протифазі, то при одному положенні перемикача вихідна напруга диференціального підсилювача 8 пропорційна векторній різниці вхідних напруг, а при іншому векторній сумі (рис.2).

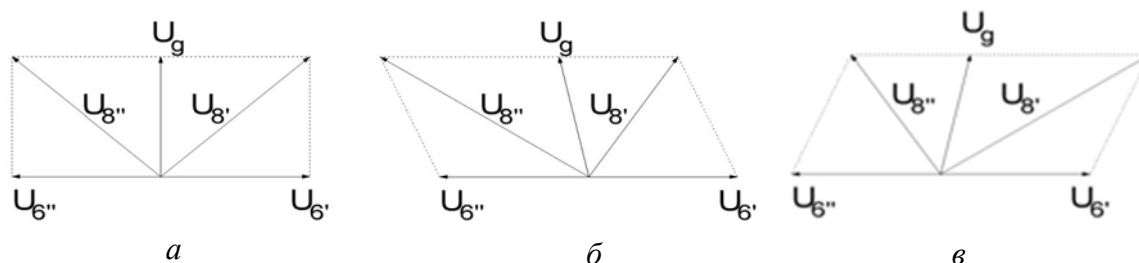


Рис. 2. Векторні діаграми

При зсуві фаз, рівному $\pi/2$, амплітуда різницевої напруги дорівнює амплітуді сумарної напруги незалежно, від співвідношення амплітуд на входах диференціального підсилювача (рис. 2, а). У разі збільшення фазового зсуву ($\varphi = \frac{\pi}{2} + \delta$) різницева напруга зростає, а сумарна зменшується (рис. 2, б). При відхиленні фазового зсуву від $\pi/2$ в іншу сторону ($\varphi = \frac{\pi}{2} - \delta$) сумарна напруга стає більше різницевого (рис. 2, в).

У результаті безперервної роботи перемикача 6 з частотою генератора 7 (рис.3, а) вихідна напруга диференціального підсилювача 8 виявляється промодульованою по амплітуді з частотою комутації напруг котушки 3 (рис. 3, б). Амплітудним детектором 10 виділяється напруга огинаючої (рис. 3, в), яке посилюється виборчим підсилювачем 11, налаштованим на частоту генератора 7 (рис. 3, г) і випрямляється фазочуттєвим випрямлячем 12 (рис.3, д).

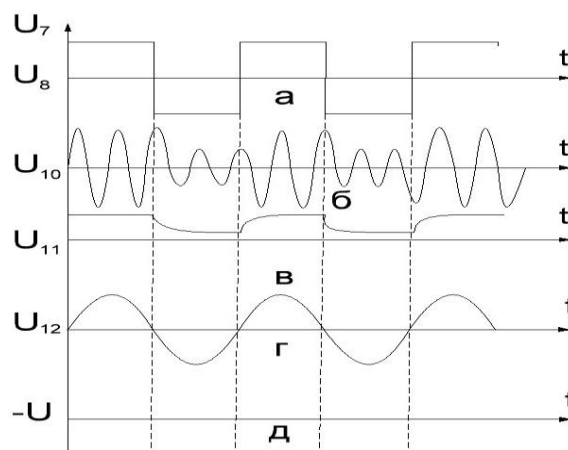


Рис. 3. Часові діаграми

Випрямлена напруга відповідної полярності заряджає інтегратор 13, вихідна напруга якого впливає на керуючий вхід високочастотного генератора 1, змінюючи частоту коливань у напрямі зближення з резонансною частотою контуру 4, 5. При збігу частоти генератора 1 з резонансною, різницева напруга на виході диференціального підсилювача 8 стає рівна сумарній (рис. 2), і амплітудна модуляція на вході детектора 10 зникає. Вихідна напруга інтегратора 13 утримує частоту генератора 1 рівна резонансній.

При відхиленні фазового зсуву від $\pi/2$ в результаті зміни ємності конденсатора 4 виникає огинаюча у вихідній напрузі диференціального підсилювача 8, напруга якого після фазочутливого випрямлення додатково заряджає або розряджає інтегратор 13, що змінює частоту генератора 1 до нового значення резонансної частоти контуру 4, 5. Значення резонансної частоти вимірюється цифровим частотоміром 14. Нестабільність інтегратора 13 та інших перетворювальних ланок (детектора 10, підсилювача 11 і випрямляча 12) не впливають на точність настройки генератора 1, на резонансну частоту електричного кола, так як рівність різницевої напруги сумарній не залежить від параметрів і форми амплітудно-частотної характеристики підсилювально-випрямного тракту (8, 10, 11, 12). Ослаблення аттенюатора 9 вибирається з умови зрівнювання вхідних напруг диференціального підсилювача 8 при середньому значенні різницевої частоти. Однак неминуче виникає нерівність сумарних або різних напруг при зміні резонансної частоти в широких межах не впливає на точність виявлення фазового зсуву в $\pi/2$.

Висновки

На підставі проведеного аналізу існуючих пристроїв контролю вимірювання резонансної частоти електричних ланцюгів доказана можливість підвищення точності за рахунок виключення похибки в індикації фазового зсуву $\pi/2$ при зміні резонансної частоти в широкому частотному діапазоні.

Наведене математичне обґрунтування підвищення точності вимірювання за рахунок виключення впливу нестабільності перетворювальних ланок на точність настройки генератора.

Список використаної літератури

1. Бугров А.В. Высокочастотные емкостные преобразователи и приборы контроля качества / А.В. Бугров – М.: Машиностроение, 1982. – 94 с.
2. Викторов В.А. Высокочастотный метод измерения электрических величин. / В.А. Викторов, Б.В. Лункин, А.С. Совлуков – М.: Наука, 1978.
3. Эпштейн С.Л. Справочник по измерительным приборам для радиодеталей. /С.Л. Эпштейн, А.П. Вакулов, В.М. Москвин – Л.: Энергия, 1980.
4. А.С. №1784904 СССР, МПК⁵G01N27/22. Устройство для контроля объемной плотности диэлектрических материалов / Ю.А. Скрипник, А.Н. Дыков, Д.Н. Ахонченко (СССР). – № 4848313; заявл. 9.07.90; опубл. 01.09.92.
5. А.С. №1597343 СССР, МПК⁵G01R27/28. Устройство для измерения резонансной частоты электрической цепи / Ю.А. Скрипник, А.Н. Дыков, А.В. Алексахин, Д.Н. Ахонченко, В.А. Фролов (СССР). – № 4456518; заявл. 7.07.88; опубл. 08.06.90.

Стаття надійшла до редакції 26.04.2013

Измерение резонансной частоты электрической цепи

Ахонченко Д.Н., Кива И.Л.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

В статье рассмотрены вопросы построения устройства измерения резонансной частоты электрических цепей при изменении её в широком частотном диапазоне. Предложены пути повышения точности измерения резонансной частоты. Разработана структурная схема устройства.

Ключевые слова: аттенюатор, дифференциальный усилитель, автоматический переключатель, избирательный усилитель, фазочувствительный выпрямитель, тороидальный сердечник.

Measuring the resonant frequency of the electrically circuit

D. Akhonchenko, I. Kiva

Kiev National University of Technologies and Design

The paper deals with building a device measuring the resonant frequency of the electric circuit when changing it in wide frequency range. Ways of improving the measurement accuracy of the resonance frequency. The structural diagram of the device.

Keywords: attenuator, a differential amplifier, automatic switch, selective amplifier, phase-sensitive rectifier, toroid.