

3. Казарьян Б. Беспилотники ВВС США / Б. Казарьян, А. Медведь // Крылья Родины. – 2012. – № 5. – С. 94 – 10.

*Надійшла до редакції
12 березня 2014 року*

© Скуднева О. В., 2014

УДК 531.383

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ПОВОРОТА ОБЪЕКТА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТУРА

Аврутов В. В.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
г. Киев, Украина*

Описан косвенный метод определения угловой скорости вращения объекта, использующий измерение разности сопротивлений двух одинаковых круглых контуров с обратной схемой подключения. Данный метод может быть использован при создании электрических контурных гироскопов.

В основе метода лежит гипотеза об инвариантности скорости распространения электрического тока в одном контуре. Если выходной сигнал макета пропорционален угловой скорости основания, то масштабный коэффициент зависит от величины тока, числа витков и радиуса контура, удельного сопротивления материала проводника, а также площади поперечного сечения проводника и скорости распространения электрического тока.

Расчеты показывают реальность изготовления электрических контурных гироскопов.

Ключевые слова: *электрический ток, электрический контур, сопротивление проводника, угловая скорость, контурный гироскоп.*

Введение

Широкое распространение в наше время находят лазерные и волоконно-оптические гироскопы, принцип работы которых основан на эффекте Саньяка [1]. Так, если направить свет встречно по одному и тому же круговому оптическому пути, то оба световых луча пройдут путь одинаковой длины, если основание не вращается относительно инерциального пространства. Но с появлением вращения основания, при сложении лучей будет наблюдаться фазовый сдвиг между световыми волнами, который пропорционален величине угловой скорости основания.

И. Л. Бернштейн в 1950 году экспериментально подтвердил справедливость эффекта Саньяка для радиоволн [2]. Это послужило основой для создания ряда сверхвысокочастотных гироскопов [3].

Возможность использования инерции электромагнитного поля для измерения угловой скорости рассмотрено П. Фордером [4]. Выходной сигнал его гироскопа, построенного из замкнутого контура, параллельной или коаксиальной линии передачи, пропорционален импедансу цепи и переносной угловой скорости.

Рассмотрим возможность использования постоянного электрического тока в проводнике вместо светового или электромагнитного потока, для измерения угловой скорости основания.

Постановка задачи

Известно [5], что электрический ток распространяется по проводам со скоростью практически равной скорости света.

Электрический ток представляет собой движение электронов. Однако это не значит, что электроны движутся в проводах со скоростью света. При замыкании цепи вдоль проводов распространяется электрическое поле, причем это распространение происходит со скоростью света. Распространяющееся со скоростью света поле приводит в движение электроны в тех участках провода, которых оно достигло.

Итак, скорость электрического тока – это скорость распространения электрического поля, побуждающего электроны двигаться вдоль провода, а не скорость самих электронов. Если электромагнитное поле обладает инерционными свойствами, а постоянный ток представляет собой частный случай распространения электромагнитного поля, то естественно предположить, что для постоянного тока будет справедлив эффект Саньяка.

Принцип работы контурного гироскопа

Рассмотрим два одинаковых электрических контура I и II с одинаковым радиусом r , изображенных на рис.1, по которым течет постоянный ток I . Отличие контура I и II состоит в том, что у них противоположны по знаку схемы подключения. Если угловая скорость основания равна нулю $\Omega = 0$, тогда электрический ток, двигаясь от положительной клеммы к отрицательной, проходит одинаковый путь и электрическое сопротивление первого и второго контура равны

$$R_I = R_{II} = R.$$

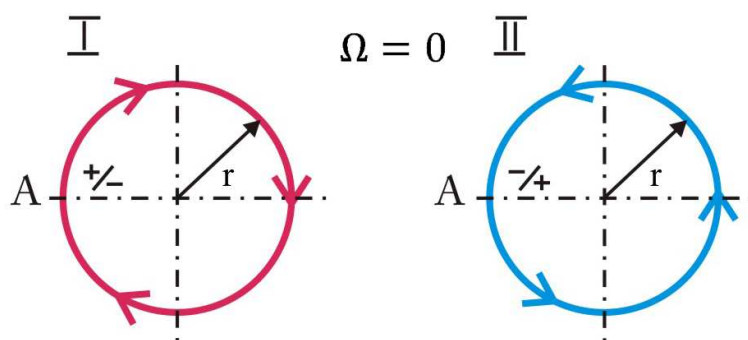


Рис. 1. Одинаковые электрические контуры на неподвижном основании

При вращении основания с угловой скоростью $\Omega \neq 0$ (рис. 2), электрический ток первого контура, двигаясь от точки A по часовой стрелке, достигает точки

B , проходя полный круг плюс участок s . И наоборот, электрический ток второго контура, двигаясь от точки A против часовой стрелки, достигает точки B , проходя неполный круг (минус участок s). В этом случае сопротивления первого и второго контура равны соответственно

$$R_I = R + R_s, \quad R_{II} = R - R_s,$$

где R_s – сопротивление участка s .

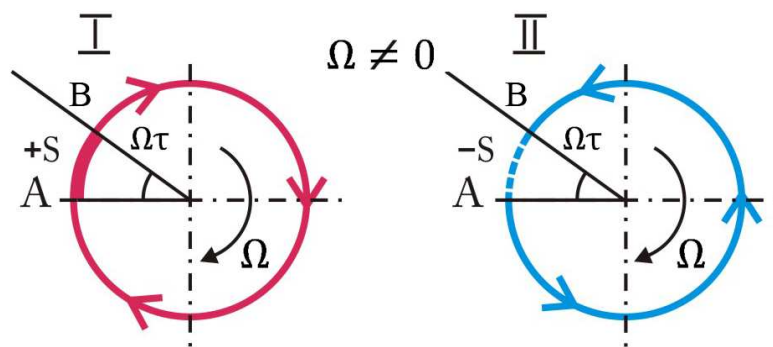


Рис. 2. Одинаковые электрические контуры на подвижном основании

Тогда разность сопротивлений равна следующему выражению

$$\Delta R = R_I - R_{II} = 2R_s. \quad (1)$$

Сопротивление участка s рассчитывается [6] по формуле

$$R_s = \frac{\rho}{S_c} s, \quad (2)$$

где ρ – удельное сопротивление материала контура, S_c – площадь поперечного сечения провода контура.

Если обозначить скорость электрического тока через v , то время обхода электрическим током кругового контура равно

$$\tau = \frac{2\pi r}{v}. \quad (3)$$

За время τ при вращении основания с угловой скоростью Ω точка A проходит путь s , равный

$$s = \Omega \cdot r \cdot \tau. \quad (4)$$

Последнее выражение характеризует взаимосвязь между разностью сопротивлений контуров и угловой скорости основания. Учитывая реальные значения удельного сопротивления, а также, что скорость распространения электрического тока практически равна скорости света $v \approx c$, то очевидно, что величину площади поперечного сечения проводника S_c желательно выбирать как можно меньшей.

Подставляя выражение (3) в формулу (4), а результат в формулу (2), а затем в (1), получим

$$\Delta R = \frac{4\rho}{\nu} \cdot \frac{S_w}{S_c} \cdot \Omega, \quad (4)$$

где $S_w = \pi r^2$ – площадь контура.

Для контуров, состоящих из n витков, последняя формула примет вид

$$\Delta R = \frac{4n\rho}{\nu} \cdot \frac{S_w}{S_c} \cdot \Omega. \quad (5)$$

Выразим последнюю зависимость от общего сопротивления контура R :

$$\Delta R = R \frac{2r}{\nu} \cdot \Omega. \quad (6)$$

Итак, при вращении основания с угловой скоростью Ω , возникает разность сопротивления электрического контура, которая прямо пропорционально зависит от общего сопротивления контура, его габаритов и обратно пропорциональна скорости прохождения электрического тока по контуру.

Таблица 1. Технические характеристики материалов макетов

Описание	макет 1	макет 2	макет 3
Тип проводника	ПЭВ-2	ПЭТВ-2	ПЭТВ-2
Диаметр проводника, mm	0,34	0,1	0,1
S_c , м ²	$9,075 \cdot 10^{-8}$	$7,85 \cdot 10^{-9}$	$7,85 \cdot 10^{-9}$
Радиус контура, м	0,04	0,04	0,135
S_w , м ²	0,005	0,005	0,057
Число витков n	700	5000	15500
Удельное сопротивление ρ , медь	$1,673 \cdot 10^{-8}$	$1,673 \cdot 10^{-8}$	$1,673 \cdot 10^{-8}$
ΔR , Ом	$5,4 \cdot 10^{-8}$	$4,46 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$



Рис. 3. Макет 2 на вращательной установке

Для экспериментальных исследований были изготовлены три макета контурных гироскопов [7] из различных материалов и габаритов (табл. 1).

Оценим величину разности сопротивлений при измерении угловой скорости $\Omega = 2\pi \text{ 1/c}$ (60 об/мин). Вычисляя по формуле (5), можно получить $\Delta R = 5,4 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}$, $\Delta R = 4,46 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$, $\Delta R = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$ и для макетов 1,2 и 3 соответственно.

К сожалению, в настоящий момент измерение величин такого порядка малости представляет собой довольно непростую проблему. Однако надеемся, что использование новых материалов позволит перейти к практической реализации данного метода и созданию электрических контурных гироскопов.

Выводы

Аналитические выкладки и численные расчеты показывают о возможности создания контурных электрических гироскопов. Получены выражения для выходного сигнала такого гироскопа и масштабного коэффициента. Так, при вращении основания с угловой скоростью Ω , возникает разность сопротивления электрического контура, которая прямо пропорционально зависит от общего сопротивления контура, его габаритов и обратно пропорциональна скорости прохождения электрического тока по контуру.

Несмотря на то, что полученные численные результаты имеют довольно малые величины и измерение таких величин представляет собой достаточно сложную техническую проблему, в дальнейшем следует уделить внимание экспериментальному подтверждению данного метода определения угловой скорости объекта.

Литература

1. Sagnac G. L'ether lumineux demontre par l'effect da vent relative d'ether dans un interferometre en rotation uniforme // Comptes Rendus de l'Acadamie des Science. – 1913, 157. – P.708.
2. Бернштейн И. Л. Опыт Саньяка на радиоволнах // Доклады АН СССР, 1950. – т. 75. – № 5. – С. 635-638.
3. Мельников Л. А. Вопросы теории и применения радиоволновых сверхвысокочастотных гироскопов / Л. А. Мельников, П. К. Плотников // XIX Санкт-Петербургская Международная конференция по интегрированным навигационным системам. Сборник материалов, 28-30 мая 2012. / СПб, ЦНИИ «Электроприбор». – СПб., 2012. – С. 59-62.
4. Forder P.W. General relativistic electromagnetic effects in transmission line gyroscopes // Classical Quantum Gravity. – 1986. – Vol. 3. – P. 1125-1131.
5. Просто и понятно о радиотехнике и радиоэлектронике. – Режим доступа: <http://coolelectrics.ru/skorost-dvizheniya-elektronov.php>
6. Кузьмичев В. Е. Законы и формулы физики: справочник – К.: Наук. думка, 1989. – 854 с.
7. Пат. України № 82197 на корисну модель, МПК G01C 19/00. Спосіб визначення кутової швидкості / В.В. Аврутов; винахідник та власник В.В. Аврутов. – заявка № u201301354 від 05.02.2013; Патент опубліковано 25.07.2013, Бюл. № 14/2013.

*Надійшла до редакції
17 січня 2014 року*

© Аврутов В.В., 2014