

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА В ПРОВОДЕ

Д.т.н. Н.Д. Кошевой¹, к.т.н. Т.Г. Рожнова², В.А. Рожнова¹

1. Национальный аэрокосмический университет им.Н.Е.Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков

2. Харьковский национальный университет радиоэлектроники

В статье рассмотрен вопрос разработки устройства для оперативного измерения силы постоянного тока в проводнике. Получены математические модели устройства и его оптимальные конструктивные параметры. Перечислены пути расширения диапазона измеряемых токов и области применения устройства.

У статті розглянуто питання розробки пристрою для оперативного вимірювання сили постійного струму в провіднику. Отримано математичні моделі пристрою та його оптимальні конструктивні параметри. Визначено шляхи розширення діапазону вимірюваних струмів та області використання пристрою.

The device for operative measurement of direct current force in a conductor is offered. Mathematical models of the device and its optimum design data are received. Ways of measured currents range expansion and scope of the device are listed.

Ключевые слова: измерение силы постоянного тока, разъемный магнитопровод, погрешность, диапазон измерения, токопотребление, чувствительность.

Введение

При контроле токовых режимов в проводах различной аппаратуры возникает необходимость применения мобильных измерительных устройств, которые без разрыва действующих электрических цепей позволяют получать оперативную информацию. Такие ситуации возникают при контроле и диагностике радиоэлектронной аппаратуры в промышленных условиях, при измерениях в электрической цепи в любом труднодоступном месте на летательном аппарате, атомном реакторе и других ответственных объектах.

Анализ последних исследований

Известны датчики серий ДИТ и ДТХ, которые серийно выпускаются промышленностью России [1 – 3]. Датчики ДИТ заменяют традиционные шунты, трансформаторы тока и магнитные усилители. Датчики ДТХ представляют собой автономные модули, позволяющие потребителю выбирать из имеющегося

ряда датчик с требуемым номиналом измеряемого тока. Они имеют следующие недостатки: сложность электронной схемы, обусловленная компенсацией температурного дрейфа; низкая технологичность, обусловленная изготовлением и использованием кольцевого магнитопровода с зазором и установкой в этот зазор специального магниточувствительного датчика Холла; низкая надежность и радиационная стойкость; их высокая цена; погрешность измерения составляет 1,...,5%.

Известно устройство для оперативного измерения силы тока в проводе с погрешностью 0,2%, но оно предназначено для работы с проводами линий передачи высокого напряжения (более 10 кВ) [4].

Основные результаты исследований

Предлагаемое устройство для оперативного измерения силы постоянного тока в проводе основано на охвате проводника с измеряемым током магнитопроводом, состоящим из двух разъемных (или с воздушным зазором) тороидальных трансформаторов 2,3 (рис. 1).

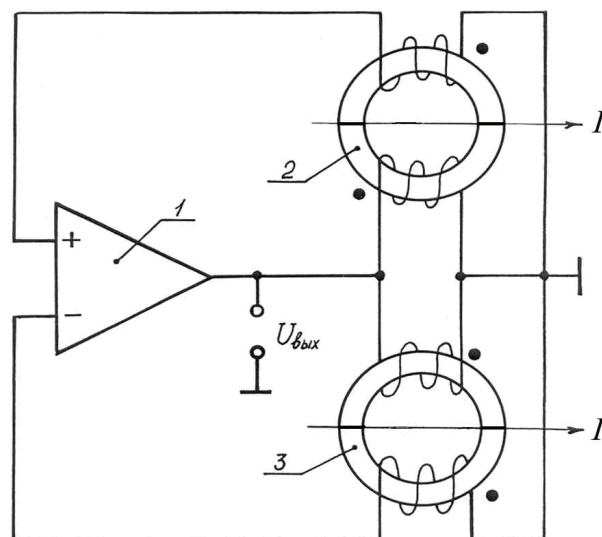


Рис. 1. Функциональная схема устройства для оперативного измерения постоянных токов, основанного на охвате проводника магнитопроводом, состоящим из двух тороидальных трансформаторов

Через внутренние окна тороидальных трансформаторов, расположенных взаимно параллельно, проходит проводник с током. Обмотки питания и обратной связи трансформаторов 2,3 включены на выходы операционного усилителя 1 таким образом, чтобы была реализована положительная обратная связь. Поэтому, если на выходе усилителя 1 имеется какое-либо напряжение, оно увеличивается до максимальной величины. Под воздействием максимального выходного напряжения в трансформаторах 2, 3 начнет линейно возрастать магнитный поток. То есть устройство представляет собой релаксационный генератор, вырабатывающий на выходе операционного усилителя 1 прямоугольные импульсы с длительностью периода, зависящей от измеряемого тока J

$$T = \frac{4W\Phi_s}{U} - \frac{4WJ}{UR_m}, \quad (1)$$

где W – число витков первичной обмотки; Φ_s – поток насыщения; U – максимальное выходное напряжение; J – величина измеряемого тока; R_m – магнитное сопротивление магнитопровода, определяемое его геометрическими параметрами и магнитной проницаемостью. Предложенное устройство из-за использования широтно-импульсной модуляции обладает высокой помехозащищенностью.

Для уменьшения энергопотребления устройства релаксационный генератор реализован на базе микромощного операционного усилителя типа К140УД12. Данный усилитель предназначен для применения в аппаратуре, работающей в режиме ожидания (с автономным питанием), обладает низким потребляемым током (0,027 мА), а рабочий диапазон питающего напряжения +(1,5...18В) позволяет использовать в качестве источника автономного питания 2...4 малоформатных гальванических элемента на 1,5В или аккумуляторы типа «Корунд», «Крона ВЦ» с $U_{ном} = 9В$.

Принципиальная схема релаксационного генератора приведена на рис. 2.

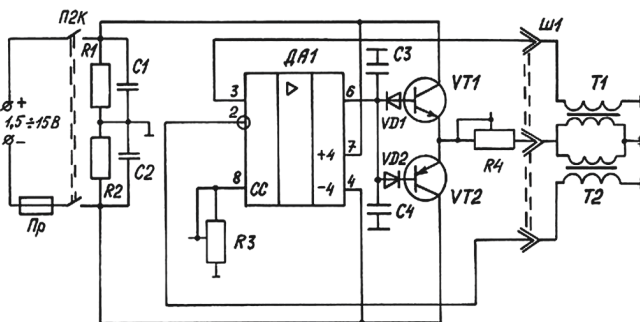


Рис. 2. Принципиальная схема релаксационного генератора с пониженным энергопотреблением

При исследовании устройства для оперативного измерения силы постоянных токов в качестве критерия оптимизации выбран параметр $y_1(\%)$, характеризующий погрешность измерения. Ограничивающими параметрами являлись: параметр токопотребления $y_2(мА)$, диапазон измерения $y_3(А)$ и чувствительность $y_4(А/дел)$. Доминирующими факторами, которые влияют на эти показатели, выбраны X_1 – сопротивление R_4 , позволяющее устанавливать ток, который течет через обмотки питания бесконтактного магниточувствительного преобразователя, $R_4 = (0...2,2)$ кОм; X_2 – сопротивление R_3 , позволяющее устанавливать токовый режим микромощного операционного усилителя (К140УД12А), $R_3 = (0...200)$ кОм. Исследования проводились при напряжении питания ($U_{пит}$) равном 9В.

Оптимизация начального плана полного факторного эксперимента (ПФЭ) проводилась методом анализа перестановок строк матрицы планирования [5]. Стоимости изменения значений уровней факторов приведены в табл. 1. Матрица планирования оптимального плана и результаты экспериментов приведены в табл. 2.

Таблица 1

| Стоимости изменения значений факторов | Обозначение факторов | |
|---------------------------------------|----------------------|-------|
| | X_1 | X_2 |
| из «0» в «-1», усл. ед. | 0,55 | 0,45 |
| из «0» в «+1», усл. ед. | 0,50 | 0,40 |
| из «-1» в «+1», усл. ед. | 1,10 | 0,9 |
| из «+1» в «-1», усл. ед. | 1,30 | 1,10 |

Таблица 2

План и результаты эксперимента при $U_{пит} = 9В$

| Параметр | R_4 | R_3 | y_1 | y_2 | y_3 | y_4 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Основной уровень | 525 | 125 | | | | |
| Интервал варьирования | 25 | 25 | | | | |
| Верхний уровень | 550 | 150 | | | | |
| Нижний уровень | 500 | 100 | | | | |
| Кодированные значения факторов | x_1 | x_2 | | | | |
| Опыт: 1 | -1 | +1 | 4,2 | 3,8 | 1,130 | 0,043 |
| 2 | -1 | -1 | 3,0 | 4,5 | 0,942 | 0,040 |
| 3 | +1 | -1 | 3,3 | 4,0 | 0,848 | 0,046 |
| 4 | +1 | +1 | 4,0 | 3,6 | 1,413 | 0,041 |

Стоимость реализации эксперимента по оптимальному плану становится 4,05 усл. ед., а для начального плана ПФЭ – 5,4 усл. ед. Таким образом, имеем выигрыш в стоимости реализации эксперимента в 1,33 раза по сравнению с начальным планом.

Для нахождения оптимальных конструктивных параметров R_3 и R_4 необходимо построить математические модели, устанавливающие зависимость критериев качества y_1, y_2, y_3, y_4 от факторов x_1 и x_2 .

При обработке результатов экспериментального исследования с помощью программного комплекса [6] получены следующие математические модели в преобразованных переменных

$$\begin{aligned} y_1 &= 3,625 + 0,475x_2 - 0,125x_1x_2; \\ y_2 &= 3,975 - 0,175x_1 - 0,275x_2; \\ y_3 &= 1,083 + 0,047x_1 + 0,188x_2 + 0,094x_1x_2; \\ y_4 &= 0,043 + 0,00086x_1 - 0,00055x_2 - 0,00212x_1x_2, \end{aligned} \quad (2)$$

а в натуральных значениях факторов

$$\begin{aligned} y_1 &= -11,875 + 0,025R_4 + 0,124R_3 - 0,0002R_3R_4; \\ y_2 &= 9,025 - 0,007R_4 - 0,011R_3; \\ y_3 &= 9,04 - 0,0715R_3 - 0,0169R_4 + 0,00015R_3R_4; \\ y_4 &= -0,195 + 0,00176R_3 + 0,00046R_4 - 0,000003R_3R_4. \end{aligned} \quad (3)$$

В результате оптимизации по методу наискорейшего спуска получены следующие значения конструктивных параметров: $R_4=457\text{Ом}$; $R_3=6\text{кОм}$. При этих значениях параметров получены такие выходные характеристики устройства:

$$y_1=0,25\%; \quad y_2=5,8\text{мА}; \quad y_3=1,3\text{А}; \quad y_4=0,018\text{А/дел.}$$

Для дальнейшего увеличения диапазона измеряемых значений постоянного тока можно использовать следующие конструктивные мероприятия [7]:

- изменять количество витков в основных обмотках и обмотках обратной связи;
- выбирать материал магнитопровода с более высокой и широкой петлей гистерезиса;
- увеличивать размеры магнитопровода;
- увеличивать воздушный зазор сердечника.

Выводы.

Проведенные исследования устройства для оперативного измерения силы постоянного тока в проводах показали, что оно обеспечивает с относительной погрешностью не более 0,25% измерение указанного параметра без гальванических нарушений действующих цепей. Определены пути увеличения диапазона измеряемых значений постоянного тока.

Разработанное устройство можно использовать для определения суммы и разности двух постоянных токов, а также алгебраической суммы токов, проходящих по неэкранированным жилам кабелей и жгутов. Устройство эффективно можно использовать для проверки исправности электрических проводов и кабелей, для согласования параллельно работающих генераторов постоянного тока, для коммутации и осуществления токовой защиты сети постоянного тока при электроснабжении летательных аппаратов, систем управления атомными реакторами и другими ответственными объектами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Портной Г.Я., Болотин О.А. Датчики малых токов с расширенной полосой пропускания// Приборы и системы управления. - 1992. - №7. - С. 23-24.
2. Портной Г.Я., Болотин О.А. Новое поколение датчиков для измерения токов//Приборы и системы управления. - 1996. - №1. - С.34.
3. Портной Г.Я., Болотин О.А., Разумовский К.П. Датчик тока как базовый элемент массовых средств измерений // Приборы и системы управления. - 1999. - №1. - С. 41-45.
4. Геворкян В.М. и др. Устройство для оперативного измерения силы тока в проводе действующей линии передачи высокого напряжения//Измерительная техника. - 2011. - №3. - С. 51-54.
5. Комп'ютерна програма «Програма пошуку оптимальних планів багатofакторного експерименту»/ М.Д. Кошовий, О.М. Костенко: свід. про реєстр. автор. права на твір № 29920.- Зареєстровано в Держ. департ. інтелектуальної власності Мін. освіти і науки України 17.08.2009.
6. Кошевой Н.Д. Разработка программного обеспечения по автоматизации планирования эксперимента// Авиационно-космическая техника и технология: Тр. Харьк. авиац. ин-та им. Н.Е. Жуковского. – Харьков: ХАИ, 1998. - С. 242-244.
7. Koshevoy N.D., Gordienko V.A., Kust S.M. Contactless ters and summaters of direct currents// Telecommunications and Radio Engineering.-2001.- Vol.55. - N 3. - p.p. 95-100.