

СИНТЕЗ МОСТОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ КОМПЛЕКСНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

профессор: Миржалил Сагатович Якубов

магистрант: Мираббос Абдурахмон ўғли Каримов

Ташкентский Государственный Транспортный Университет лаборант

kharimov98@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В работе приведена методика синтеза частотазадающий обратной цепи генераторов переменной частоты, питающих четырехплечие мостовые цепи, дающих возможность точного измерения каждого параметра комплексного сопротивления в широком динамическом диапазоне, с устранением взаимосвязи сигналов управления, повышенной чувствительности преобразователя а также линеаризацию его статической характеристики, возможность построения первичных измерительных преобразователей, диктуемые требованиями принципа диагностики.

Ключевые слова: Мостовые измерительные цепи, параметры комплексного сопротивления, диагностика, объекты тягового электроснабжения, корректирующие цепи, изменяющаяся частота.

SYNTHESIS OF BRIDGE MEASURING TRANSDUCERS OF COMPLEX RESISTANCES FOR DIAGNOSING RAILWAY TRANSPORT FACILITIES

ABSTRACT

The paper presents a method for synthesizing the frequency-passing feedback circuit of variable frequency generators feeding four-arm bridge circuits, which make it possible to accurately measure each parameter of complex resistance in a wide dynamic range, eliminating the relationship of control signals, increasing the sensitivity of the converter, as well as linearization of its static characteristics, which make it possible to build primary measuring converters.

Keywords: Bridge measuring circuits, complex resistance parameters, diagnostics, traction power supply facilities, corrective circuits, variable frequency.

ВВЕДЕНИЕ

Измерительные преобразователи комплексных сопротивлений (КС) на переменном токе занимают особое место в современной технике. В последнее время измерение КС возникает при автоматическом контроле технического

состояние и диагностике технологических процессов, а также при проведении научных исследований в физико-химическом эксперименте.

Электрические измерения электрических и неэлектрических величин с помощью первичных измерительных преобразователей КС, основанные на применении методов автоматического уравнивания, обеспечивающих высокие метрологические, статические и динамические характеристики, являются точными, с расширенным диапазоном измерения, универсальными и имеют высокую эксплуатационную надёжность [1, 2, 3, 4].

ЛИТЕРАТУРА И МЕТОДОЛОГИЯ

Известно, что диагностирование изоляционных свойств связано с непрерывным контролем коэффициента абсорбции изоляции, тангенса диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\varphi$, изоляции находящихся при воздействии резких климатических условий, влажности, температуры, пыли, вибрации и физико-химических процессов старения твердой и жидкой изоляции, загрязненность жидкости и обнаружить её порчу.

Аналоговые мостовые преобразователи (МП), удовлетворяя выше указанным требованиям, в то же время обладают дополнительным ценным для функционального диагностирования и управления качеством: они легко согласуются с промышленными регуляторами и аналого-цифровыми преобразователями, что и составляет актуальность данной работы.

Известен ряд методов и способов улучшения характеристик мостовых преобразователей [5, 6]. Один из эффективных путей исключения взаимосвязи сигналов управления состоит в подключении к мостовой измерительной цепи дополнительных корректирующих цепей [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для определения целенаправленного изменения характеристик МП при сохранении известных достоинств и условий раздельного отчета измеряемых параметров необходимо знать топологические особенности структуры преобразования сигналов в таких цепях и взаимосвязь этих особенностей со свойствами цепи.

Рассмотрим синтез структур и схем мостовых уравнивающих преобразователей (УП) с использованием разработанного в [6] методов обобщенного анализа и синтеза МП при наличии исходного графа МЦ с определенными математическими конструкциями (например, выражения в виде соотношений между параметрами цепи), необходимого условия равновесия цепи

и характера изменения чувствительности в диапазоне преобразования, а также инвариантности (или частичной инвариантности) процесса уравнивания.

Алгоритм синтеза для УП состоит из следующих этапов:

- 1) по методике работы [7] для конкретной МЦ (структуры) составляется исходный граф преобразователя;
- 2) для линеаризации выходных характеристик преобразователя из условия инвариантности (частичной инвариантности) определяется коэффициент передачи;
- 3) по передаточному коэффициенту с учетом физической реализуемости строится принципиальная схема;
- 4) с учетом принятых ограничений к функциональным возможностям преобразователя определяется место включения корректирующей цепи к мостовой схеме.

Топология МП представляется исходным графом, состоящим из ядра, образованного двумя ветвями и узлом суммирования выходных величин, а также хвоста-ребра между узлом суммирования и узлом, соответствующим сигналу разбаланса цепи, коэффициент передачи которого не влияет на условие равновесия цепи.

Для четырехплечей МЦ (рис. 1.а) при $U_{II} = const$, $Z_y = \infty$ исходный граф имеет вид, показанный на рис. 1.б, где U_{II} - напряжение питания; Y -указатель равновесия. Равенство коэффициентов передач параллельных ветвей ядра в узле суммирования S приводит к условию равновесия цепи.

Так как исходный граф направленный, и его ядро в основном определяет условие равновесия цепи, то необходимо подробно изучить свойства и условия согласования хвоста графа. На рис. 1,б показано, что коэффициент передачи хвоста графа состоит из двух ребер с коэффициентами передачи W_1 и W_2 и для четырехплечевых мостов соответственно равных:

$$W_1 = \frac{1}{Z_1 + Z_2}; \quad W_2 = \frac{1}{Z_3 + Z_4}.$$

Около положения равновесия измерительной цепи эти коэффициенты можно считать равными, тогда можно записать $W = W_1 = W_2$.

С коэффициентом передачи W хвоста исходного графа связаны также характеристики УП: статическая характеристика, чувствительность, условия взаимосвязи преобразуемых и уравнивающих параметров и сходимости процесса уравнивания. Поэтому приведение и поддержание этого коэффициента к постоянной величине \bar{k} во всем диапазоне изменения

преобразуемых, x , y и регулируемых p , q параметров избавляет характеристики от указанных недостатков.

ОБСУЖДЕНИЕ

В зависимости от способа формирования регулирующих воздействий и принятого типа указателя равновесия векторную величину \bar{k} можно поддерживать постоянной по модулю или по фазе. Оптимальной величиной коэффициента \bar{k} является 1, т. е. поддержание его как единичного преобразователя в диапазоне изменения.

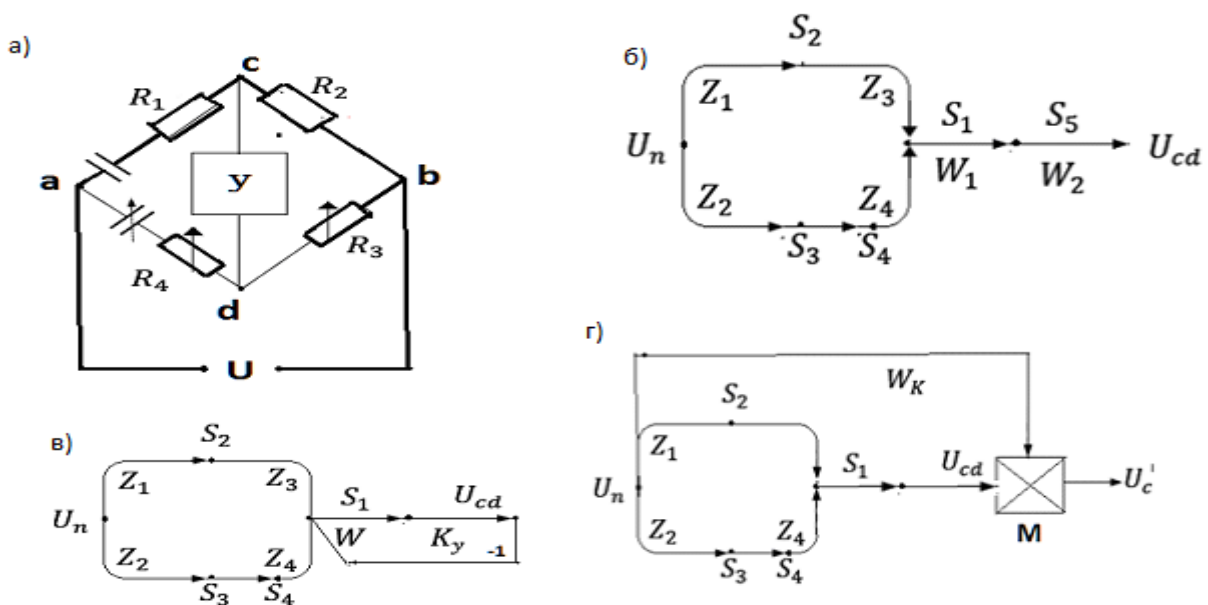


Рис. 1. Четырехплечая мостовая цепь (а) и ее графы (б, в, г)

Рассмотрим варианты выполнения указанных этапов.

1. Включение последовательно к хвосту графа дополнительного ребра с передаточным коэффициентом W_k значениями которого могут быть:

а) $W_k = k_y$. При этом усилитель с очень большим коэффициентом усиления подключается к выходу и хвост графа охватывается единичной обратной связью в узле суммирования S_i (рис. 1.в). Такая структура обеспечивает абсолютную инвариантность, т. е. развязку сигналов управления «в большом» при угле сходимости моста $\gamma_c = 90^\circ$ и максимальную чувствительность;

б) $W_k = \frac{1}{W}$. Подключение корректирующей цепи с передаточным коэффициентом, обратным коэффициенту передачи хвоста графа, также

обеспечивает развязку сигналов управления «в большом» при $\gamma_c = 90^\circ$, и максимальную чувствительность;

в) $W_k = \frac{1}{W_1}$. Обеспечивается абсолютная инвариантность ($\gamma_c = 90^\circ$) около

положения равновесия, т.е. развязка сигналов управления «в малом».

2. Параметрическим воздействием на элементы МЦ коэффициент передачи хвоста графа приводится к единичному преобразователю $W=1$, при этом необходимо учитывать условия отдельного отсчета измеряемых параметров [6, 7]. Здесь также возможны варианты выполнения $W_1=1$ или $W_2=1$, которые обеспечивают развязку сигналов управления «в малом» при максимальной чувствительности.

3. Применение специальной модуляции параметров измерительной цепи для формирования сигналов уравнивания, при которой хвост графа по модулю остается немодулированным. $W=k=\text{const}$, т. е. постоянным в цикле модуляции. Теория и принципы построения таких модуляционных мостов разработаны в работе [8].

Рассмотрим подробнее первый вариант выполнения условия линеаризации характеристик четырехплечих мостовых преобразователей. Любое последовательное включение ребра к хвосту графа, как известно, равносильно умножению их передаточных коэффициентов. Поэтому выходной сигнал корректирующей цепочки, питаемой от источника питания U_n , должен умножаться на выходной сигнал МЦ.

В качестве умножителей на переменном токе могут выступать различные модуляторы (М), управляемые ключевые схемы, выпрямители и схемы с датчиками Холла и др. Исходный граф мостового преобразователя с корректирующей цепочкой изображается структурой, показанной на рис. 1.г, где U_{cd} -скорректированный выходной сигнал преобразователя.

При идеальном модуляторе, если передаточный коэффициент $W_k = \frac{1}{W}$, выходной сигнал \dot{U}_{cd} будет линейной функцией измеряемых x, y и регулируемых p, q параметров.

Поясним на конкретном примере мостового преобразователя процедуру синтеза. Рассмотрим емкостный мост Винна (рис. 1.а):

$$\dot{U}_{cd} = \dot{U}_n \frac{(R_1 R_3 - R_2 R_4) - j \left(\frac{R_3}{\omega C_1} - \frac{R_2}{\omega C_4} \right)}{A_1 A_2 e^{-j(\psi_1 + \psi_2)}}, \quad (1)$$

где

$$A_1 = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + \frac{1}{\omega^2 C_1^2}}; \quad A_2 = \sqrt{(R_3 + R_4)^2 + \frac{1}{\omega^2 C_4^2}}; \quad (2)$$

$$\psi_1 = 1/\omega C_1(R_1 + R_2); \quad \psi_2 = 1/\omega C_4(R_3 + R_4).$$

Условия равновесия цепи;

$$R_1 = R_4 \frac{R_2}{R_3}; \quad \operatorname{tg} \delta_1 = \omega C_4 R_4; \quad C_1 = C_4 \frac{R_3}{R_2}. \quad (3)$$

Из (1) следует, что передаточная функция хвоста исходного графа определяется выражением

$$W = \frac{1}{\left(R_1 + R_2 - j \frac{1}{\omega C_1} \right) \left(R_3 + R_4 - j \frac{1}{\omega C_4} \right)}, \quad (4)$$

Как видно из вышеуказанного, важнейшим узлом уравнивающих преобразователей является дополнительный контур, состоящий из корректирующей цепочки, с помощью которого формируется сигнал опорного напряжения фазочувствительным детектором (ФЧД). Такая цепочка автоматически учитывает сдвиги фазовых углов МЦ при изменении параметров КС.

Покажем общие пути построения схем корректирующих цепочек, которые могут быть использованы в виде цепочек частотнозадающих последовательно-параллельных цепей генератора, дающие возможность разработки мостового УП с переменной частотой питания.

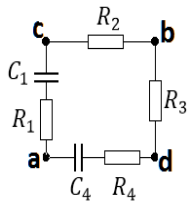
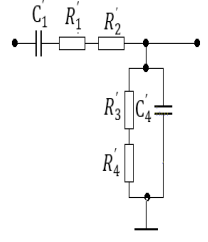
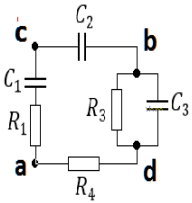
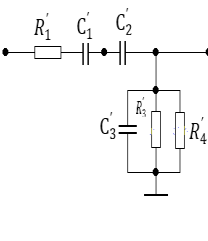
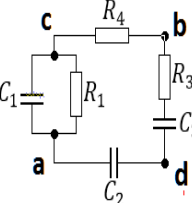
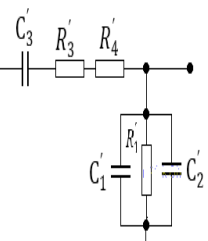
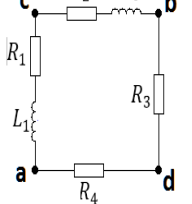
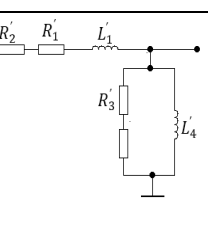
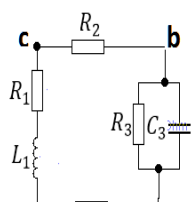
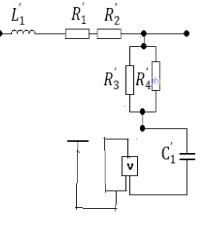
При одновременном изменении соответствующих элементов МЦ и в частотнозадающей цепи генератора питания МЦ частота генератора функционально изменяется в зависимости от преобразуемых и уравнивающих образцовых параметров в процессе уравнивания. Такое выполнение генератора питания МЦ, обеспечивает условия автономности контуров уравнивания при большом изменении параметров КС.

Нами найдены законы регулирования частоты питания для широко распространённых мостовых измерительных цепях с помощью включения в частотнозадающую цепь генератора питания, идентифицируемые корректирующими цепочками (таблица 1).

Формально синтезируя фазирующую обратную цепь RC-генератора для моста Максвелла, из условий выполнения (3) и условий генерации (нулевой сдвиг фаз) можно получить новую схему генератора. Особенностью ее является наличие отрицательной емкости в фазирующей цепи. Исследование свойств и возможностей таких генераторов представляет отдельную задачу.

Схемы мостовых цепей регулировать частоты и синтезированные функциональные корректирующие цепочки

Таблица 1.

Схемы мостовых измерительных цепей	Условия равновесия	Законы регулирования частоты	Синтезированные функциональные корректирующие цепочки
	$C_1 = C_4 \frac{R_3}{R_2}$ $R_1 = R_4 \frac{R_2}{R_3}$ $\operatorname{tg} \delta = \omega C_3 R_4$	$\omega = \sqrt{\frac{1}{C_1 C_4 (R_1 + R_2) (R_1 + R_2)}}$	
	$C_1 = C_2 \frac{R_3}{R_4}$ $R_1 = R_4 \frac{C_3}{C_2}$ $\operatorname{tg} \delta = \omega C_3 R_3$	$\omega = \sqrt{\frac{(C_1 + C_2) (R_3 + R_4)}{C_1 C_2 R_3 R_4 R_1 C_3}}$	
	$C_1 = C_3 \frac{R_2}{R_4}$ $R_1 = R_3 \frac{C_3}{C_2}$ $\operatorname{tg} \delta = \omega C_3 R_3$	$\omega = \sqrt{\frac{1}{C_3 R_1 (C_1 + C_2) (R_3 + R_4)}}$	
	$L_1 = L_3 \frac{R_2}{R_3}$ $R_1 = R_4 \frac{R_2}{R_3}$ $Q = \frac{\omega L_1}{R_4}$	$\omega = \sqrt{\frac{(R_1 + R_2) (R_3 + R_4)}{L_1 L_4}}$	
	$L_1 = R_4 C_3 R_2$ $R_1 = R_4 \frac{R_2}{R_3}$ $Q = \omega C_3 R_3$	$\omega = \sqrt{\frac{(R_1 + R_2) (R_3 + R_4)}{L_1 C_3 R_3 R_4}}$	

Работа автоматического моста, контуры регулирования которого развязаны с помощью предлагаемого метода, экспериментально проверена в лабораторных условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Показана возможность точного измерения параметров комплексного сопротивления при диагностировании объектов электроснабжения электрифицированной железной дороги с требующих отдельного точного измерения активной и реактивной составляющей комплексного сопротивления, а также с развязкой контуров уравнивания и максимальной чувствительностью по каждому измеряемому параметру. Предлагаемым методом распространяется на все частотнонезависимые четырехплечие мосты, описываемые обобщенными параметрами.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ким К.К., Барбарович В.Ю., Метвиков Б.Я. Метрология и техническое регулирование. -М.: Маршрут, 2006, 256с.
2. Артеьев Б.Г. Поверка и калибровка средств измерений. -М.: Стандарт информ, 2006, 406с.
3. Барч Б.Д. Совершенствование системы обслуживания устройств электроснабжения на основе мониторинга и диагностики. СПб.: Известия ПГУПС. 2013, №3. С 103-110.
4. Чижма С.Н. Современные требования к приборам контроля показателей качества электроэнергии электрических сетей железных дорог. Омск.: Вести Трансиба. 2020 №2. С 11-17.
5. Патент IAP-04362 Республики Узбекистан. Преобразователь линейных перемещений / Баратов Р.Ж., Якубов М.С., Суллийев А.Х. // Расмий ахборотнома. – 2000.- №3.
6. Якубов М.С., Суллийев А.Х., Рахманов М. Анализ статических и динамических характеристик авторезонансных электромагнитных преобразователей // Международный научно–технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». – Ташкент, 2011. –№1. – С. 58–63.
7. Improved capacitance measurement by means of resonance locking. Tapson I., W/5-1994. p 20-26.
8. Якубов М.С. Мостовые преобразователи параметров комплексного сопротивления объектов железнодорожного транспорта. -Т.: “Fan va texnologiya”, 2017.184с.
9. Cropley D.H. Qualitative analysis and optimisation of measurement system АСТА ИМЕКО 2. – 1994-ХIII. V.
10. Jones Carry D. Chin, A. Foster (1991) Elektrikal Instruments and Measurement, Prentive Hall, ISBW 987013248495.