

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **24477**

(13) **С1**

(45) **2024.12.20**

(51) МПК

G 01R 31/06 (2006.01)

(54) **УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ МЕЖВИТКОВОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ В ОБМОТКАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ**

(21) Номер заявки: а 20230101

(22) 2023.04.21

(43) 2024.12.05

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Исаев Александр Витальевич; Суходолов Юрий Викторович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) SU 1420555 A1, 1988.

ВУ 4890 U, 2008.

ВУ 18771 С1, 2014.

RU 2664682 С2, 2018.

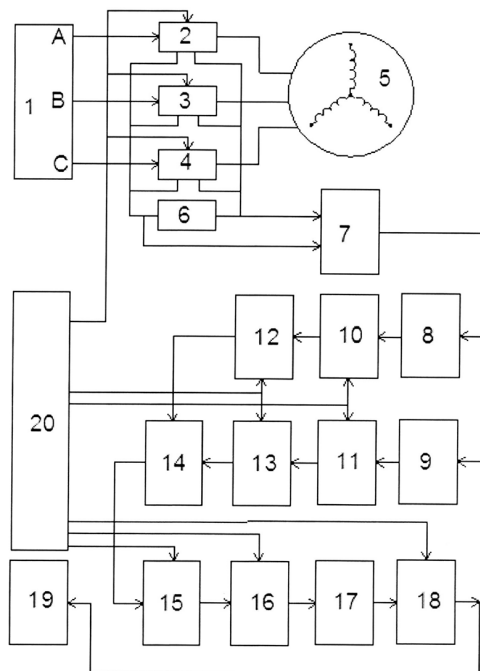
SU 1328772 A1, 1987.

US 4453190, 1984.

CN 201477191 U, 2010.

(57)

Устройство для контроля межвиткового сопротивления в обмотках электрической машины, содержащее генератор синусоидального напряжения (1), переключатели (2, 3, 4), резистор (6), обеспечивающий преобразование ток-напряжение, формирователи импульсов (12, 13), линейный смеситель (14), избирательный блок (16) с регулируемой частотой пропускания, компаратор (18), отличающееся тем, что содержит блок развязки (7), фильтры высокой (8) и низкой (9) частоты, триггеры (10, 11), повторитель импульсов (15), блок



Фиг. 1

ВУ 24477 С1 2024.12.20

выпрямления (17), индикатор (19) и устройство управления (20), при этом выходы генератора синусоидального напряжения (1), выполненного трехфазным, через переключатели (2, 3, 4) подключены к обмоткам электрической машины (5) и резистору (6), измерительные выходы которого через блок развязки (7) соединены соответственно с входами фильтров высокой (8) и низкой (9) частоты, выходы которых соединены соответственно с триггерами (10, 11), выходы которых соединены с входами формирователей импульсов (12, 13), выходы которых соединены с входами линейного смесителя (14), выход которого соединен с входом повторителя импульсов (15), соединенного с входом упомянутого избирательного блока (16), выход которого соединен с входом блока выпрямления (17), выход которого соединен с входом компаратора (18), выход которого соединен с индикатором (19), причем соответствующие выходы устройства управления (20) соединены с соответствующими управляющими входами переключателей (2, 3, 4), соответствующими входами триггеров (10, 11), соответствующими входами формирователей импульсов (12, 13), входом линейного смесителя (14), входом повторителя импульсов (15), входом избирательного блока (16) и входом компаратора (18).

Устройство относится к области электротехники и может быть использовано для контроля качества и обнаружения дефектов витковой изоляции обмоток электрических машин и межвитковых замыканий.

В настоящее время существуют различные устройства для контроля состояния обмоток электрических машин и обнаружения в них межвитковых замыканий.

Существует устройство дистанционной диагностики асинхронных электродвигателей [1], содержащее блок датчиков тока; блок датчиков напряжения; блок датчиков температуры изоляции обмотки статора; блок датчиков температуры подшипников; блок аналого-цифровых преобразователей; блок быстрого преобразования Фурье; блок нейронной сети; блок связи; блок хранения информации; блок отображения информации. Устройство получает информацию с датчиков тока, напряжения и температуры. Анализ сигналов производится нейронной сетью посредством быстрого преобразования Фурье.

Недостатками этого устройства являются:

- необходимость внесения изменения в конструкцию электрической машины для установки датчиков контроля;

- сложность и неоднозначность работы нейронной сети приводит к получению неверных результатов диагностики;

- низкая точность за счет использования быстрого преобразования Фурье.

Существует микроконтроллерное устройство для диагностики изоляции обмотки асинхронного двигателя [2], содержащее микроконтроллер, делитель напряжения, управляемый источник опорного напряжения, управляемый ключ, индикатор, источник постоянного напряжения. Устройство оценивает значение амплитуды электродвижущей силы (ЭДС) самоиндукции, наводимой в обмотках асинхронного двигателя.

Недостатки решения: низкая точность и достоверность, т. к. разброс ЭДС от нестабильности технологических параметров обмотки превышает величину ЭДС от дефекта; необходимость изъятия электрической машины из технологического процесса, что требует больших временных затрат.

Наиболее близким техническим решением, выбранным в качестве прототипа, является устройство, описанное в способе обнаружения виткового замыкания в обмотке электрической машины [3], конструктивно реализующее этот способ, содержащее генератор синусоидального напряжения, вольтметр, переключатели, резистор, генератор импульсного напряжения, конденсатор, выделяющий из сигнала переменную составляющую, формирователи, амплитудный детектор, селектирующий одну точку перехода через ноль из всего колебательного процесса, ждущие мультивибраторы, линейный смеситель, избирательный

ВУ 24477 С1 2024.12.20

блок с регулируемой частотой пропускания, компаратор и обмотки электрической машины. Устройство предполагает определение временных параметров снимаемых с обмоток импульсных напряжений, и по их изменению судят о наличии виткового замыкания путем сравнения с эталонными.

Недостатки решения: невозможность контроля состояния работающих электрических машин; высокая трудоемкость, т. к. необходимо изъятие электрической машины из технологического процесса; низкое быстродействие диагностических процедур.

Целью изобретения является повышение производительности контроля, увеличение достоверности и расширение области применения за счет автоматизации диагностических процедур, в том числе в работающих асинхронных двигателях.

Поставленная цель достигается тем, что устройство для контроля межвиткового сопротивления в обмотках электрической машины, содержащее генератор синусоидального напряжения, переключатели, резистор, обеспечивающий преобразование ток-напряжение, формирователи импульсов, линейный смеситель, избирательный блок с регулируемой частотой пропускания, компаратор, отличается тем, что содержит блок развязки, фильтры высокой и низкой частоты, триггеры, повторитель импульсов, блок выпрямления, индикатор и устройство управления, при этом выходы генератора синусоидального напряжения, выполненного трехфазным, через переключатели подключены к обмоткам электрической машины и резистору, измерительные выходы которого через блок развязки соединены соответственно с входами фильтров высокой и низкой частоты, выходы которых соединены соответственно с триггерами, выходы которых соединены с входами формирователей импульсов, выходы которых соединены с входами линейного смесителя, выход которого соединен с входом повторителя импульсов, соединенного с входом упомянутого избирательного блока, выход которого соединен с входом блока выпрямления, выход которого соединен с входом компаратора, выход которого соединен с индикатором, причем соответствующие выходы устройства управления соединены с соответствующими управляющими входами переключателей, соответствующими входами триггеров, соответствующими входами формирователей импульсов, входом линейного смесителя, входом повторителя импульсов, входом избирательного блока и входом компаратора.

На фиг. 1 изображена блок-схема предлагаемого устройства, на фиг. 2 - временные диаграммы его работы при исправной обмотке электрической машины, на фиг. 3 - временные диаграммы при витковом замыкании в обмотке.

Устройство содержит генератор синусоидального напряжения 1, переключатели 2, 3 и 4, осуществляющие коммутацию обмоток электрической машины 5 для включения поочередно в каждую фазу резистора 6, представляющего систему преобразования ток-напряжение, блок развязки 7 для защиты измерительной системы от высокого напряжения, фильтр высокой частоты 8 и фильтр низкой частоты 9, триггеры 10 и 11, селектирующие точки перехода измерительного сигнала через ноль, формирователи импульсов 12 и 13 с управляемыми параметрами, линейный смеситель 14, повторитель импульсов 15, избирательный блок 16 с регулируемой частотой пропускания, блок выпрямления 17, компаратор 18, индикатор 19, отображающий результаты контроля, и устройство управления 20, организующее алгоритм работы системы контроля.

К выходу генератора 1 синусоидального напряжения через переключатели 2, 3 и 4 подключены обмотки 5 электрической машины и резистор 6, представляющий систему преобразования ток-напряжение, измерительные выходы которого через блок развязки 7 соединены с входами фильтров высокой 8 и низкой 9 частоты, выходы которых подключены к триггерам 10 и 11, фиксирующим точку перехода через ноль выделенных гармонических составляющих, задаваемые по управляющим выходам от устройства управления 20, на входы формирователей импульсов 12 и 13, при этом их выходы подсоединены к входам линейного смесителя 14, формирующего на их основе импульсную последовательность, а его выход подключен к входу повторителя импульсов 15, увеличивающего

количество импульсов за период измерения, в свою очередь, выход которого подключен к входу избирательного блока 16, который выделяет необходимую спектральную составляющую, по амплитуде которой оценивают сопротивление межвитковой изоляции и определяют дефект обмотки, и его выход подключен к входу блока выпрямителя 17, откуда информация подается на компаратор 18, где происходит сравнение результатов диагностики с установленными уровнями, выход которого подключен к индикатору 19, который отображает текущее состояние контролируемой обмотки 5, при этом устройство управления 20 соединено с управляющими входами переключателей 2, 3 и 4, попеременно подключая в фазы резистор 6, триггеров 10 и 11, выбирая необходимую точку перехода через ноль исследуемого сигнала, формирователей 12 и 13, задавая длительность получаемых импульсов, повторителя импульсов 15, определяя время задержки между дополнительными наборами импульсов, избирательного блока 16, определяя необходимую для исследования гармоническую составляющую импульсного сигнала, и компаратора 18 для выбора уровня, по которому оценивается уровень межвиткового сопротивления в обмотках.

Устройство работает следующим образом.

Генератор синусоидального напряжения 1 генерирует трехфазное напряжение на выходах А, В и С, сдвинутое относительно друг друга по фазе на 120 градусов, которое подается на обмотки 5 диагностируемой электрической машины, где поочередно с помощью переключателей 2, 3 и 4 последовательно в начало ее фазы подключается резистор 6, представляющий собой преобразователь ток-напряжение, и выделяют зависимость изменения тока во времени (фиг. 2, а). Блок развязки 7 защищает низковольтную часть устройства от силовой высоковольтной цепи электрической машины. Из полученного сигнала при помощи фильтра низкой частоты 9 выделяется первая гармоническая составляющая (фиг. 2, б), а при помощи фильтра высокой частоты 8 - суммарный набор высших (фиг. 2, в) гармонических составляющих. Далее триггеры 10 и 11 фиксируют переходы через ноль каждой из полученных зависимостей, причем сначала фиксируется переход из положительной области в отрицательную первой гармонической составляющей (т. I), а затем первый переход из отрицательной в положительную область суммарной зависимости высших гармонических составляющих (т. II), и в этих точках с помощью формирователей 12 и 13 генерируются две импульсные последовательности (соответственно фиг. 2, г, 2, д), с периодом повторения длительность импульсов которых определяется устройством управления 20 и соответствует минимальной погрешности при выделении спектральной составляющей. Далее с помощью линейного смесителя 14 из полученных импульсов формируется импульсная последовательность из двух импульсов (фиг. 2, е), величина времени задержки между импульсами в которой определяет спектральную составляющую, характеризующую исправное состояние обмотки. Затем, для увеличения амплитуды выделяемой блоком 14 составляющих и снижения погрешности, повторителем импульсов 15 повторяем полученную пару импульсов в течение периода питающего напряжения через задаваемое устройством управления 20 время задержки (фиг. 2, ж). Далее из полученной импульсной последовательности с помощью избирательного блока 16 выделяется необходимая спектральная составляющая (фиг. 2, з), определяемая временем задержки между импульсами в сформированной последовательности и по амплитуде которой, с помощью блока выпрямления 17 и компаратора 18 (фиг. 2, и), судят об уровне межвиткового сопротивления, информация о чем выводится на индикатор 19. После завершения цикла диагностики переключатели 2, 3 и 4 подключают к резистору 6 следующую фазу обмотки электрической машины 5, и цикл повторяется три раза.

Например, прибор, реализующий предлагаемое устройство, содержит в своем составе в качестве генератора синусоидального напряжения источник трехфазного сетевого напряжения, коммутаторы трехфазного напряжения КМ реализуют схемы переключателей, шунт выполняет роль сопротивления-преобразователя ток-напряжение, трансформатор, выполненный на тороидальном ферритовом кольце марки НМ2000, выполняет роль

ВУ 24477 С1 2024.12.20

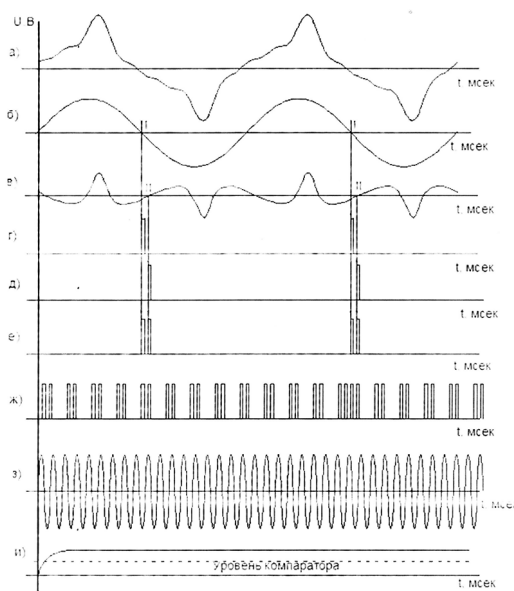
развязывающего устройства, на основе ОУ LM237 были реализованы активные фильтры низкой и высокой частоты с частотой среза 75 Гц, управляемые триггеры, линейный смеситель и управляемый компаратор. Повторитель импульсов построен на программируемой логической микросхеме XILINX 2С64А, в качестве управляющего устройства использовался МК STM32F103C8ТВ6, для отображения информации был применен ЖКИ НG1602. Питание реализованного устройства осуществлялось импульсным источником питания SDA12-05.

При проведении диагностики был использован асинхронный двигатель АИР63В4У3 с намотанной специальным образом обмоткой, где в одной из катушек реализованы отводы от нескольких витков. Между отводами подключались сопротивления различного номинала, имитирующие межвитковые сопротивления в обмотке. Уровень интервала времени в зависимости от сопротивления межвитковой изоляции исследуемой электрической машины представлен в таблице.

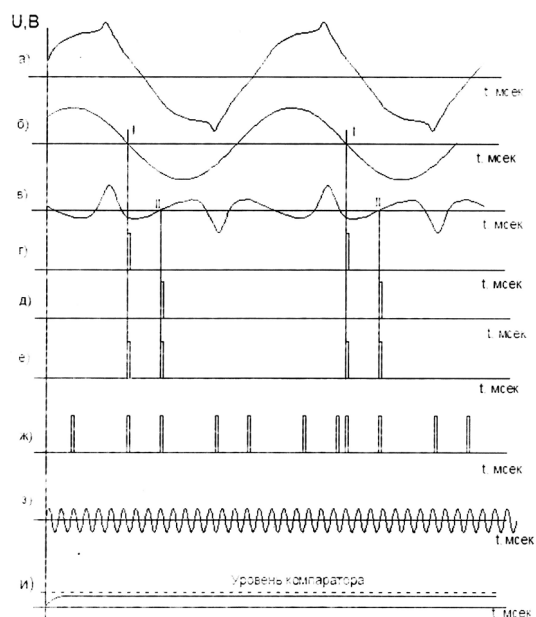
	Сопротивление между замкнутыми витками, Ом	Интервал времени, мс
1	500 000 (исправная обмотка)	0,62
2	100	2,11
3	50	2,43
4	10	2,76
5	короткозамкнутая обмотка	3,18

Источники информации:

1. RU 147268 U1, 2014.
2. RU 2484490, 2013.
3. RU 2428707 С1, 2011.
4. SU 1420555 А1, 1988.



Фиг. 2



Фиг. 3