

КРИТЕРИИ ДИАГНОСТИКИ ВИНТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В УЛЬТРА-ЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЕ

В работе описываются критерии диагностики винтовых соединений в ультразвуковой томографической аппаратуре. Приводится решение проблемы увеличения длительности периода с момента обнаружения дефекта в винтовом соединении до принятия решения по локализации аварийной ситуации. Современный контроль по изменению температуры окружающей среды, температуры винтового соединения и токов нагрузки позволяет выявлять начальный момент ослабления контактов винтового соединения независимо от уровня превышения допустимого значения температуры винтового соединения. Своевременное выявление ослабления контактного соединения увеличивает период времени для принятия решений диспетчерским персоналом.

Ключевые слова: винтовое соединение, ультразвуковая, томографическая аппаратура, тепловизионный контроль, аварийный дефект.

V. E. KRIVONOSOV, S. M. ZLEPKO, R. M. VIROZUB, D. M. BARANOVSKIY

Vinnitsia National Technical University

CRITERIA FOR DIAGNOSIS OF SCREW CONNECTIONS TO THE ULTRASONIC TOMOGRAPHIC EQUIPMENT

Abstract – The paper describes the diagnostic criteria for screw connections in the ultrasonic tomographic equipment. The solution of the problem of increasing the length of time since the discovery of the defect in the screw connection until a decision on an emergency localization. Modern control for changing the ambient temperature, the temperature of the screw connection and load currents can detect the initial moment loosening the screw connection of contacts regardless of the level exceeding the allowable values of the screw connections of temperature. Timely detection of loosening contact joint increases the period of time for the adoption of dispatching personnel decisions.

Keywords: screw connection, ultrasound, tomography equipment, thermal control, emergency defect.

Постановка проблемы. Основная проблема контактного соединения – это ослабление плотности винтового соединения и увеличение переходного сопротивления контакта, в результате чего, согласно закона Джоуля-Ленца, возникает перегрев соединения, обрыв шлейфа с последующим развитием аварии, отключения электрооборудования и нанесения ущерба предприятию.

Причиной снижения плотности винтовых и механических соединений является: появление градиента температур в винтовом соединении при изменении климатических параметров от -25°C до 50°C ; эксплуатационных токов нагрузки от $0,1 I_n$ до $1,1 I_n$, где I_n – номинальный ток нагрузки; динамических воздействий пусковых токов от I_n до $(5-7) I_n$; токов короткого замыкания, превышающих I_n в сотни раз; механические воздействия; вес проводов; ветровая нагрузка; появления электродинамической силы, возникающей при протекании тока в соседние провода и др. Процесс развития дефекта при отсутствии внешних климатических, вибрационных и иных факторов и стабильной во времени токовой нагрузке может протекать от нескольких часов до нескольких месяцев, поэтому своевременное выявление начала развития аварийной ситуации позволяет увеличить время для принятия решений по устранению возникшего дефекта, локализации аварийного процесса, провести соответствующие переключения.

Анализ последних исследований и публикаций. Широко применяемым в этом случае является контроль качества соединения проводов линий электропередач путем установки контрольной метки – флажка [1]. Снижение плотности контакта винтового соединения приводит к его перегреву и расплавлению контрольной метки. В настоящее время, для выявления ослабления винтового соединения, используют температурный контроль, как контактным способом [2], так и дистанционным, с помощью тепловизоров [3], которые фиксируют избыточное значение температуры винтового соединения. При оценке состояния контактов и винтовых контактных соединений по избыточной температуре различают следующие области по степени неисправности:

1. избыточная температура $5 - 10^{\circ}\text{C}$. Начальная степень неисправности, которую следует держать под контролем и принимать меры по ее устранению во время проведения планового предупредительного ремонта (ППР);

2. избыточная температура $10 - 30^{\circ}\text{C}$. Развившийся дефект. Следует принять меры по устранению неисправности при ближайшем выводе электрооборудования из работы;

3. избыточная температура более 30°C . Аварийный дефект. Требуется немедленного устранения.

С появлением избыточной температуры винтового соединения изменяют периодичность контроля по его состоянию – значениям избыточных температур;

а) $< 10^{\circ}\text{C}$ – нормальная периодичность тепловизионного контроля согласно графику ППР;

б) $10 - 20^{\circ}\text{C}$ – учащенный тепловизионный контроль;

в) $20 - 40^{\circ}\text{C}$ – тепловизионный контроль через каждый месяц;

г) $> 40^{\circ}\text{C}$ – аварийный нагрев.

Тепловизионный контроль требует значительных затрат трудовых ресурсов, при этом контроле

неизвестна сила тока, протекающая в соединении, что не всегда позволяет определить момент появления дефекта. Одно и тоже значение температуры винтового соединения будет при различных сочетаниях значений силы тока и температуры окружающей среды.

В проведенных исследованиях не изучались изменения температуры винтовых и механических соединений при взаимном воздействии температур окружающей среды и изменяющейся токовой нагрузки. Без учета такого взаимного влияния однозначно определить начало ослабления винтового соединения (увеличения переходного сопротивления), удастся не всегда, что может привести к лавинному развитию аварии при увеличении тока нагрузки или к ненужным трудовым и финансовым затратам на проведение профилактических работ, когда она не требуется [2; 3].

Основным критерием для принятия решения по локализации аварийной ситуации или вывода оборудования в профилактический ремонт, без нарушения технологического цикла, является наличие временного периода, с момента обнаружения возникновения неисправности оборудования До развития аварийной ситуации.

Целью данной работы является увеличение длительности периода с момента обнаружения дефекта в винтовом соединении до принятия решения по локализации аварийной ситуации, за счет учета совместного влияния изменения температуры окружающей среды и тока нагрузки.

Изложение основного материала

Нагрев винтового соединения описывается уравнением нагрева однородного тела (4):

$$\Delta P dt = \alpha F \Delta \theta dt + c G d\theta, \quad (1)$$

где $\Delta P = I^2 R_c$ – потери мощности, выделяемые в винтовом соединении, при протекании тока I и суммарном сопротивлении шин и переходного сопротивления контакта $R_c = R_{\delta c} + R_{np}$,

dt – время протекания процесса;

α – коэффициент теплопередачи;

F – площадь поверхности винтового соединения;

c – удельная теплоемкость материала, из которого выполнено болтовое соединение;

G – масса винтового соединения;

$\Delta \theta$ – превышение температуры винтового соединения температуры окружающей среды в установившемся режиме.

$$\Delta \theta = \theta_y - \theta_{ок.ср} \quad (2)$$

где θ_y – температура винтового соединения в установившемся режиме;

$\theta_{ок.ср}$ – температура окружающей среды.

Решением уравнения (1) для определения температуры винтового соединения является выражение:

$$\theta = \theta_y - (\theta_y - \theta_{ок.ср.ч}) e^{-t/\tau}; \quad (3)$$

Постоянная нагрева представляет собой время, в течении которого винтовое соединение с теплопроводностью S и массой G нагревается от начальной температуры $\theta_{ок.ср.}$ до температуры θ_y при отсутствии рассеяния теплоты с его поверхности. Постоянная нагрева, в этом случае, становится константой данного винтового соединения, которую можно определить по справочным данным, зная параметры соединения, как

$$\tau = \frac{c G \Delta G_y}{\Delta P} = \frac{c G \Delta G_y}{I^2 R_c}; \quad (4)$$

Экспериментальные данные показывают, что постоянная времени нагрева винтового соединения может быть от 3 до 10 минут при установившемся процессе, длительность которого равна нескольким часам.

Рассмотрим влияние изменения температуры окружающей среды, токовой нагрузки и переходного сопротивления для установившегося режима. Температуру винтового соединения в установившемся режиме определим выражением:

$$\theta_{y2} = \frac{I^2}{\alpha F} (R_{\delta c} + R_{np}) + \theta_{ок.ср}; \quad (5)$$

где θ_{y2} – установившаяся температура винтового соединения при изменении переходного сопротивления и температуры окружающей среды. При $R_{np}=0$, $\theta_{y2} = \theta_y$.

На рис 1. приведен график изменения температуры винтового соединения для различных значений тока нагрузки и температуры окружающей среды для $R_{np}=0$.

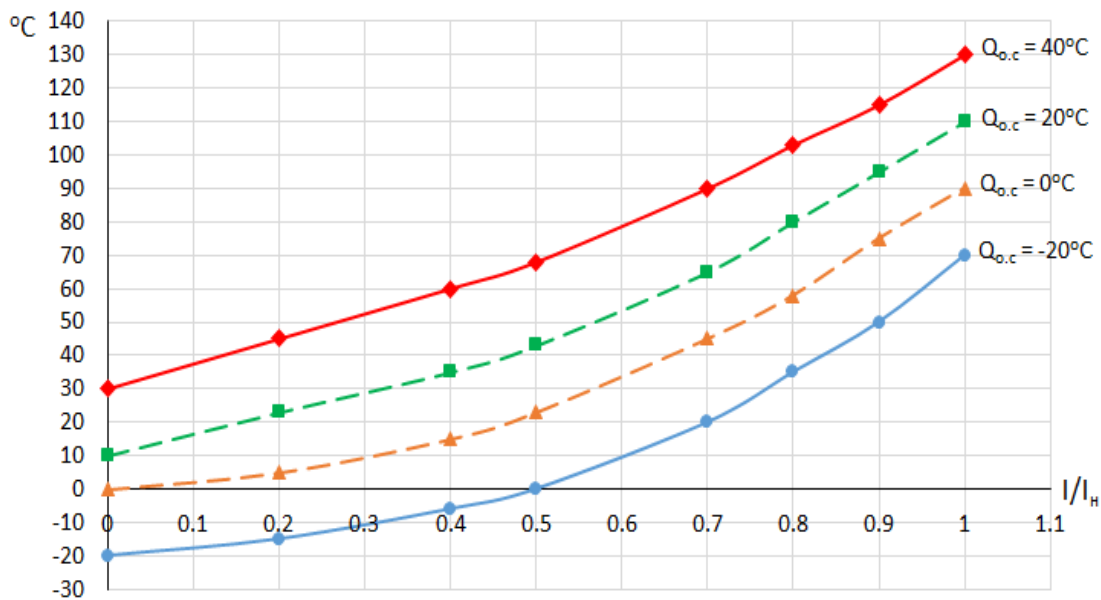


Рис 1. График зависимости θ_{y2} для различных значений токов нагрузки I_n и $\theta_{окр.ср.}$ для $R_{np}=0$.

Данные графика, рис. 1, показывают, что между установившимися значениями температуры винтового соединения и окружающей среды существует линейная зависимость, независящая от величины тока нагрузки.

На рис. 2 приведен график зависимости температуры винтового соединения при изменениях переходного сопротивления, для различных значений величины токовой нагрузки.

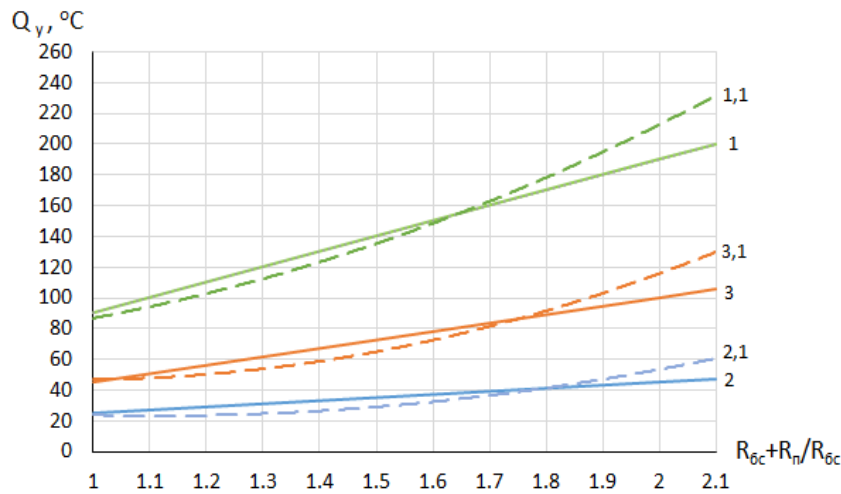


Рис. 2 – График зависимости θ_{y2} от величины R_{np} при $\theta_{окр.ср.} = 20^{\circ}\text{C}$ и различных токах нагрузки I_n . Кривая 1 теоретическая зависимость для $I=I_n$, кривая 1,1 – экспериментальная; кривая 2 – для $I=0,2I_n$, кривая 2,2 – экспериментальная; кривая 3 – $I=0,6I_n$.

Данные, приведенные на графиках рис.1 и рис.2, показывают, что при изменении тока от $0,1I_n$ до $0,4I_n$ зависимость температуры винтового соединения при изменениях переходного сопротивления R_{np} – линейная, при величине токовой нагрузки более $0,4I_n$, зависимость нелинейная и зависит от температурного коэффициента сопротивления, нелинейного сопротивления оксидной пленки, проявления дугового эффекта и др. факторов.

Полученные зависимости позволили разработать способ и устройство контроля состояния винтовых соединений электрооборудования, работающего с переменной нагрузкой [5, 6].

В способе производится контактное измерение температуры винтовых соединений, при одновременном контроле силы тока, протекающего в болтовом соединении, ее преобразовании в эквивалентное значение температуры, корректируют температуру винтового соединения и эквивалентное значение температуры преобразованного тока с учетом температуры окружающей среды, непрерывно сравнивают полученные данные и по их разнице судят об увеличении переходного сопротивления винтового соединения. Полученная разница откорректированных температур является определением начала

аварийной ситуации и не зависит от превышения температурой винтового соединения допустимого значения. Для трехфазной системы о начале аварийной ситуации судят по разнице максимального значения откорректированной температуры винтовых соединений фаз и преобразованной силе тока, протекающего в одной из фаз.

На рис.3 представлена блок-схема устройства, реализующего способ диагностирования состояния винтового соединения. Здесь – винтовое соединение 1; блок 2 – измерения температуры винтового соединения, соединенный с болтовым соединением, блок 3 – измерения температуры окружающей среды (в схемах этих блоков использован цифровой термометр DS1821 T фирмы Dallas (Maksim), обеспечивающий прямое преобразование температуры в цифровой код, с однопроводным интерфейсом 1-wire); блок 4 – трансформатор тока, расположенный на линии электропередачи, который служит источником ЭДС, а после стабилизации источником питания его выход подключен к входам блоков 2, 3, 5, 6 и 7 для питания их микросхем; блок 5 – измерение тока нагрузки и преобразование в цифровой сигнал, выполненный в виде трансформатора тока и преобразователя тока Е 854 15 Ц с порталом RS-485 позволяет измерять ток от 0 – 5 А, трансформатор тока расположен на линии электропередачи; блок 6 – микроконтроллер, например, К-1810ВМ 86; блок 7 – приемопередатчик, например, микромодуль Sim 20 фирмы SimCom., при этом выходы блока – 2 измерения температуры винтового соединения, блока – 3 измерения температуры окружающей среды, блока – 5 измерения силы тока нагрузки соединены с соответствующими входами блока 6 – микроконтроллера, выход которого соединен с входом блока – 7 приемопередатчика.

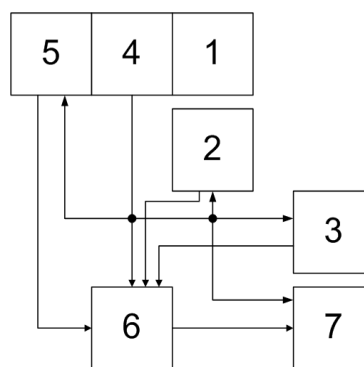


Рис.3 – Блок-схема устройства диагностики винтового соединения

Работа устройства осуществляется следующими действиями.

Нормальный режим винтового соединения при температуре окружающей среды равной 24°C. Протекающий ток по шинопроводу и винтовому соединению 1 приведет к появлению питания на выходе блока 4, блоки 2, 3, 5, 6 и 7 получают питание, тем самым, активизируются. На выходах блоков 2, 3, 5 появятся сигналы, уровни которых, соответствуют величине токовой нагрузки, температуре окружающей среды и винтового соединения. Сигналы поступают в блок 6, – микроконтроллер, который обрабатывает уровни поступивших сигналов так, что сигнал с блока 5 – $U_{т.н}$ соответствует уровню тока в шинопровод, сигналы с блоков 2 и 3 – $U_{т.к}$ и $U_{о.ср}$ соответствуют температуре винтового соединения и температуре окружающей среды. Блок 6 сравнивает полученные сигналы при выполнении неравенства $U_{т.н} > U_{т.к}$, при этом $U_{о.ср} = 0$, что соответствует 24°C. Блок 6 формирует сигнал этого состояния и передает его на диспетчерский пункт, что соответствует истинным значениям тока нагрузки, температуры окружающей среды и винтового соединения.

Последующие изменения тока нагрузки приведут к соответствующему изменению сигналов $U_{т.н}$ и $U_{т.к}$ на величину, пропорциональную изменению тока нагрузки. Величины сигналов определяются как $U_{т.н} \pm \Delta U_{т.н}(I_n)$ и $U_{т.к} \pm \Delta U_{т.к}(I_n)$ условия; $U_{т.н} \pm \Delta U_{т.н}(I_n) > U_{т.к} \pm \Delta U_{т.к}(I_n)$ сохраняется, независимо от времени теплового переходного режима.

Если во время неизменной нагрузки произошло изменение температуры окружающей среды на величину $\pm \Delta t_o^\circ C$ сигнал блока 3 пропорционально изменит свою величину на $0 \pm \Delta t_o^\circ C$, а величины сигналов соответственно изменятся и определяются как: $U_{т.н} \pm \Delta U_{т.н}(\Delta t_o^\circ C)$ и соответственно $U_{т.к} \pm \Delta U_{т.к}(\Delta t_o^\circ C)$. Условие $U_{т.н} \pm \Delta U_{т.н}(\Delta t_o^\circ C) > U_{т.к} \pm \Delta U_{т.к}(\Delta t_o^\circ C)$ вновь выполняется.

Режим изменения тока нагрузки и температуры окружающей среды приведут к соответствующим изменениям сигналов. Значение сигналов будет определяться: для блока 5 (токовый сигнал) $U_{т.н} \pm \Delta U_{т.н}(\Delta t_o^\circ C) \pm \Delta U_{т.н}(I_n)$; для блока 2 (температурный сигнал винтового соединения) $U_{т.к} \pm \Delta U_{т.к}(\Delta t_o^\circ C) \pm \Delta U_{т.к}(I_n)$, а условие $U_{т.н} \pm \Delta U_{т.н}(\Delta t_o^\circ C) \pm \Delta U_{т.н}(I_n) > U_{т.к} \pm \Delta U_{т.к}(\Delta t_o^\circ C) \pm \Delta U_{т.к}(I_n)$ вновь выполняется.

Режим начала аварийной ситуации или увеличения переходного сопротивления винтового соединения. Нарушение плотности винтового соединения 1 приводит к увеличению его переходного сопротивления. Рост температуры винтового соединения 1 происходит за счет увеличения переходного

сопротивления. Уровень сигнала на выходе блока 2 нарастает. Наступает момент, когда $U_{m,n} \pm \Delta U_{m,n}(\Delta t_o^o C) \pm \Delta U_{m,n}(I_n) > U_{m,k} \pm \Delta U_{m,k}(\Delta t_o^o C) \pm \Delta U_{m,k}(I_n) + \Delta U_{m,k}(R_{пер})$.

Экспериментальная часть

Моделирование температурных изменений винтового шинного соединения с размерами медных пластин 20x50x2 мм было проведено в лабораторных условиях. В качестве источника электроэнергии использован генератор переменного тока ПСМ АД 50, позволяющий получать трехфазное напряжение 0,4 кВ. и изменять ток от 10 до 100 А. В качестве измерителя нагрузки был использован трансформатор тока ТТ 100/5 напряжением 0,4 кВ. Остальные блоки выполнены на элементной базе, описанной выше. Изменения температуры окружающей среды от 24° температуры окружающей среды и выше, производилось с помощью теплового фена, тепловым потоком воздействовали одновременно на термодатчики блоков 2 и 3. Экспериментальные зависимости температуры винтового соединения от исследуемых величин приведены на рис. 2. Проверку работы устройства осуществили в очередности описанной выше. При достижении температуры 145 – 150°С винтового соединения привело к срабатыванию блока 6, что подтвердило правильность действий разработанного устройства.

Выводы

1. Переход предприятий к ремонтным работам по факту обнаружения дефектов на ранней стадии их развития, требует использования автоматизированных средств диагностики состояния оборудования в процессе его эксплуатации.
2. Зависимость температуры винтового соединения от температуры окружающей среды – есть функция линейная и не зависит от силы тока.
3. При значениях тока нагрузки от 0,1 – до 0,4 номинального тока, величина переходного сопротивления винтового соединения изменяется по линейному закону.
4. Одновременный контроль по изменению температуры окружающей среды, температуры винтового соединения и токов нагрузки позволяет выявлять начальный момент ослабления контактов винтового соединения независимо от уровня превышения допустимого значения температуры винтового соединения.
5. Своевременное выявление ослабления контактного соединения увеличивает период времени для принятия решений диспетчерским персоналом.

Литература

1. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей : [Утв. 5.07.06, №258] / М-во топлива и энергетики Украины. Х : Издательство : «Индустрия», 2007. – 288 с., таблица 7.
2. Федоров А. А. Справочник энергетика промышленных предприятий. / Федоров А. А. Том1. Электроснабжение. 1961. с. 569.
3. Устройство для контроля температуры контактных соединений в устройствах, находящимся под высоким напряжением (патент RU № 2408120, H02H5/04, 2009).
4. Сыромятникова И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / Сыромятникова И. А. – М. : Энергоатомиздат 1984г. – 249 С.
5. Пат. № 107749 Україна МПКН02Н 5\04 «Спосіб контролю за станом болтових з'єднань електрообладнання, що працює зі змінним навантаженням» \ Кривоносов В. Є. \ (2006.01) № а 201309491, опуб. 10.02.2014 : Бюл. № 3. – 4с.
6. Пат. № 106175 Україна МПКН02Н 5\04 «Пристрій контролю і діагностики стану болтових з'єднань електрообладнання що працює зі змінним навантаженням» \ Кривоносов В. Є. \ (2006.01) № а 201310825, опуб. 25.07.2014 : Бюл. № 14. – 4с.

References

1. Pravyly tekhnicheskoi ekspluatatsiy elektroustanovok potrebytelei : [Utv. 5.07.06, №258] / M-vo toplyva y enerhetyky Ukraini. Kh : Yzdatelstvo : «Yndustryia», 2007. – 288 s., tablytsa 7.
2. Fedorov A. A. Spravochnik enerhetyka promishlennikh predpriyatiy. / Fedorov A. A. Tom1. Elektrosnabzhenye. 1961. s. 569.
3. Ustroistvo dlia kontroliia temperaturi kontaktnykh soedyneniy v ustroistvakh, nakhodiashchymisia pod visokym napriazhenyem (patent RU № 2408120, H02H5/04, 2009).
4. Siromiatnykova Y. A. Rezhymy raboty asynkhronnikh y synkhronnikh dvyhatelei / Siromiatnykova Y. A. – M. : Enerhoatomyzdatu 1984h. – 249 S.
5. Pat. № 107749 Ukraina MPKN02N 5\04 «Sposib kontroliu za stanom boltovykh ziednan elektroobladnannia, shcho pratsiuie zi zminnym navantazhenniam» \ Kryvonosov V. Ye. \ (2006.01) № а 201309491, opub. 10.02.2014 : Biul. № 3. – 4s.
6. Pat. № 106175 Ukraina MPKN02N 5\04 «Prystrii kontroliu i diahnostyky stanu boltovykh ziednan elektroobladnannia shcho pratsiuie zi zminnym navantazhenniam» \ Kryvonosov V. Ye. \ (2006.01) № а 201310825, opub. 25.07.2014 : Biul. № 14. – 4s.

Рецензія/Peer review : 8.1.2017 р. Надрукована/Printed :28.2.2017 р.
Стаття рецензована редакційною колегією