

П. Аккати, руководитель проекта NIRWiM;
Ф. Велья, главный инженер;
ООО «Тау Индастриз»

Новый способ применения инфракрасной спектроскопии для анализа степени полимеризации изоляции проводов

Аннотация. В статье представлен новый метод анализа степени полимеризации изоляционного покрытия эмалированных проводов с помощью инфракрасной спектроскопии. Описанный метод может быть использован для контроля качества изоляции проводов в режиме реального времени, а также может быть установлен непосредственно на производственную линию. В статье описан принцип работы системы, а также проанализированы основные преимущества использования спектрального анализа по сравнению с аналогичными устройствами, использующими тангенс угла диэлектрических потерь.

Ключевые слова: спектроскопия; алгоритм; полимеризация; контроль качества; ИК спектроскопия; ближняя инфракрасная область; уровень полимеризации; спектральный анализ; тангенс угла диэлектрических потерь; хемеометрический алгоритм; эмалированные провода.

Abstract. The paper presents a new method of analysis of the degree of polymerization of enameled wire insulation with the help of infrared spectroscopy. The described method may be used for on-line quality control of wire insulation and may be integrated into the production line. The system operation principle is described and the main advantages of the spectral analysis application in comparison with similar systems using dielectric loss tangent are outlined.

Key words: spectroscopy, algorithm, polymerization, quality control, IR spectroscopy, near infrared region, degree of polymerization, spectral analysis, dielectric loss tangent, geometrical algorithm, enameled wire.

Материал поступил в редакцию 27.01.2016
E-mail: info@tauindustries.com

ВСТУПЛЕНИЕ

Двумя ключевыми аспектами производства обмоточных проводов, как, впрочем, и любого другого промышленного товара, являются контроль качества продукции и производительность. Повышение качества эмалированных проводов и, соответственно, снижение доли брака продукции благодаря более гибкой системе контроля, по сравнению с товарами конкурентов в конечном счете выливается в более высокую прибыль компании-производителя.

Одним из наиболее используемых параметров, позволяющих оценить качество и надежность изоляции обмоток электрооборудования, является тангенс угла диэлектрических потерь ($\text{tg } \delta$). Однако при всем многообразии измерительных приборов, использование $\text{tg } \delta$ для анализа качества изоляции связано с рядом существенных недостатков:

- испытания можно производить лишь на выборке образцов из уже готовой партии в лабораторных условиях;
- положительные результаты испытаний на выборке образцов эмалированного провода в лаборатории не дают полной гарантии, что вся партия продукции удовлетворяет в равной степени требованиям по качеству изоляции;
- в ожидании результатов из лаборатории агрегат по производству эмалированных проводов простаивает;
- в случае неудовлетворительных результатов испытаний на выборке образцов эмалированного провода, вся партия товара уходит в брак;
- в ходе испытаний изоляция образцов разрушается, и соответственно, становится непригодной для последующего использования.

Вот почему на сегодняшний день назрела необходимость в разработке нового, более гибкого способа контроля качества изоляции проводов, который мог бы в полной мере удовлетворить потребности производителей в условиях жесткой конкуренции.

СПЕКТРОСКОПИЯ БЛИЖНЕЙ ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ

Принцип работы сенсорной системы контроля качества изоляции эмалированных проводов NIRWiM (Near InfraRed Wire Monitoring) основан на использовании инфракрасного спектрального анализа для выявления существенных изменений в структуре полимерного покрытия в процессе полимеризации.



Рис. 1. Зонд NIRWiM, установленный на линию

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА

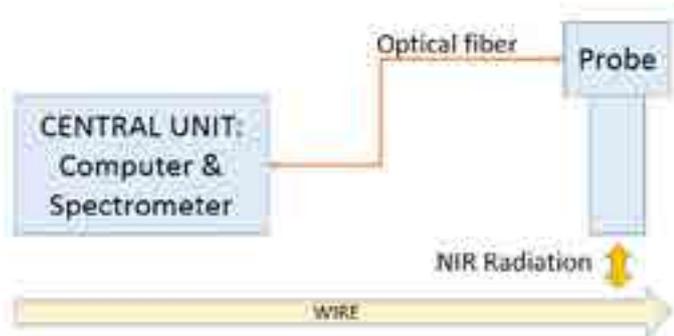


Рис. 2. Схема системы NIRWiM

Система NIRWiM состоит из следующих узлов:

- одного или несколько зондов для измерения полного внутреннего отражения с референсным волокном и встроенным галогенным источником света;
- волоконно-оптического кабеля;
- спектрометра с дифракционной решеткой и CCD-датчиком ближнего ИК спектра в диапазоне волн 900–1700 нм;
- вычислительного блока.

Изображение системы приведено на рис. 1–3.

Рефлектометрический зонд был специально разработан для того, чтобы оптимально считывать информацию БИК-спектра в режиме реального времени на движущихся проводах с учетом вибраций и прочих условий производственной среды.

Анализируемая системой частота спектра включают обертоны С–Н и О–Н, которые, после обработки сигнала с помощью хемометрического алгоритма, дают важную информацию об уровне полимеризации наиболее часто используемых полимерных покрытий (PEI, PVF, PU). Кроме того, устройства и компоненты для спектрального анализа в последнее время стали экономически более выгодными, а их функционирование – более надежным и, соответственно, пригодными для промышленного применения.



Рис. 3. Внешний вид системы NIRWiM

Нашими специалистами был проведен хемометрический анализ нескольких сотен образцов эмалированных проводов с различной степенью полимеризации. Для установления корреляции между уровнем полимеризации и полученными БИК-спектрами в качестве контрольного показателя мы использовали тангенс угла диэлектрических потерь.

Спектральный анализ был выполнен с использованием метода главных компонент (Principal components analysis (PCA)), а также метода чередующихся наименьших квадратов (ALS) и метода частично наименьших квадратов (PLS).

Проведенные испытания по контролю функционирования системы на нескольких производственных линиях подтвердили, что установленная с помощью алгоритма корреляция является достаточной для эффективной оценки степени полимеризации полимерных покрытий.

Программное обеспечение NIRWiM использует нейронно-сетевую архитектуру с функцией самообучения, позволяющую оператору самостоятельно построить алгоритм корреляции для новых видов эмалей. По окончании испытания корреляционная модель выдает значение квадрата R от 0,81 до 0,88, с наиболее точными результатами для полиуретанов и наименее точными для полиамидимидов.

ВЫВОДЫ

Применение метода БИК спектроскопии для анализа степени полимеризации изоляции проводов обладает рядом достоинств: он дает оператору возможность контроля степени полимеризации покрытия в режиме реального времени без остановки процесса производства; при его применении отсутствует взаимодействие с проводом; тестируемые образцы не разрушаются.

При установке системы NIRWiM непосредственно на производственную линию как только достигается желаемый уровень полимеризации, определяемый с помощью алгоритма, оператор получает сигнал о том, что параметры установки (температура, скорость и т.д.) являются оптимальными и должны оставаться на данном уровне. Наш опыт показал, что, в среднем, использование данной технологии контроля качества изоляции позволяет увеличить скорость производства приблизительно на 10 %.

**«CABLES AND WIRES»
MAGAZINE
advertising rates in 2016 (euro)**

ADVERTISING AREA (A4 size page)	COLOR
Advertising area (A4 size page)	Rate
Central opening (two pages together)	2200
Second, third pages of cover	1400
Fourth page of cover	1700
A4 size page (one page of the magazine)	1100
¾ page	800
½ page	700
¼ page	400
¼ page	300
¼ page	200

An advertisement (editorial) article with colored logo or photos of A4 zone size – 600 euro.
Materials for advertising modules should meet the requirements placed on the www.kp-info.ru.

- Tel/fax: +7 (495) 918–1627
- E-mail: kp@vniikp.ru
- Web: www.kp-info.ru

