

- **Что такое плохое контактное соединение и к каким последствиям его наличие может привести, долго объяснять не нужно. Плохой контакт нагревается и если рядом находятся горючие материалы, последние могут воспламениться, что может привести к пожару.**

Проблема усугубляется тем, что на сверхток в цепи обязан реагировать автоматический выключатель, на ток утечки – устройство защитного отключения (УЗО). А что реагирует на плохой контакт? Ничего.

Поэтому проблема диагностики плохих контактных соединений с точки зрения обеспечения пожаробезопасности является крайне актуальной, считает Виктор Сергеевич Петухов.



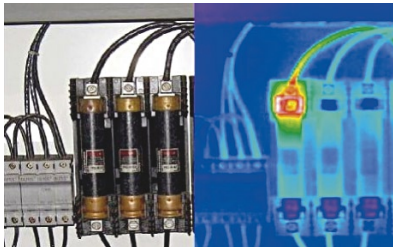
НИЗКОВОЛЬТНЫЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ

Диагностика состояния контактных соединений

Виктор Петухов, к.т.н., член IEEE, A&Alpha Consulting, г. Москва

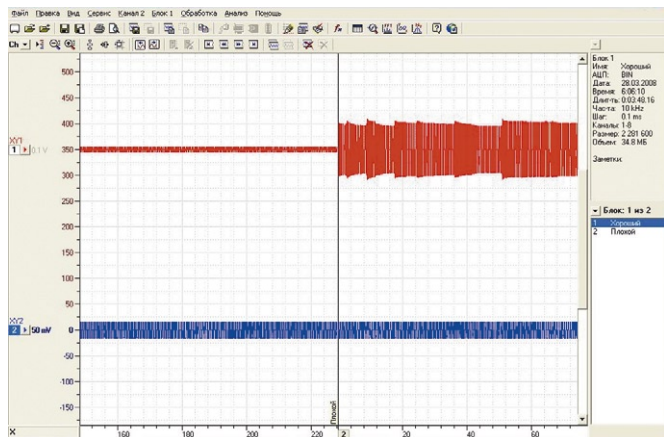
■ Рис. 1.

Использование тепловизоров для поиска плохих контактных соединений



■ Рис. 2.

Ток и падение напряжения на контактном соединении



Первый канал АЦП (красный) – падение напряжения на контактном соединении;
второй канал АЦП (синий) – ток через контактное соединение.

В последнее время для локализации места расположения плохих контактных соединений все чаще применяются тепловизоры (рис. 1) [1].

Применение этих устройств оправдано для высоковольтных электроустановок, но, к сожалению, все чаще подобные устройства (тепловизоры, пирометры и т.д.) применяются и для диагностики состояния контактных соединений в низковольтных электроустановках (хотя в любом случае такой способ, конечно же, лучше, чем пользоваться «органолептическим» способом – по цвету и запаху от контактного соединения).

Дело в том, что тепловизионные картины совершенно четко отвечают на вопросы «что горячо?» и «где горячо?», но в принципе не могут ответить на практический вопрос «почему горячо?» и что в результате необходимо сделать, какие действия предпринять, чтобы это «горячо» устранить.

Действительно, температура любого тела определяется процессами генерации и отведения тепла от него. Рассмотрим более подробно процесс теплогенерации.

Тепловыделение в контактном соединении определяется законом Джоуля Ленца:

$$P = U \cdot I,$$

где U – падение напряжения на контактном соединении;

I – ток, протекающий через контактное соединение.

Таким образом, для ответа на вопрос «почему горячо?» необходимо как минимум измерить ток и падение напряжения на контактном соединении. На рис. 2 представлены результаты проведенного измерения тока и напряжения на контактном соединении с использованием аналого-цифрового преобразователя (АЦП) Е-14-440 (10000 отсчетов в секунду).

Из рисунка четко видно, что падение напряжения на плохом контакте примерно в 10 раз больше падения напряжения на хорошем контакте (соответственно, сопротивление плохого контакта значительно выше).

В связи с этим возникает вполне закономерный вопрос – нет ли других признаков, которые бы однозначно свидетельствовали о наличии плохого контакта в электрической цепи? Оказывается, есть. Хорошо известно, что наличие плохих контактных соединений в антеннах приводит к генерации 2-й и 3-й гармоник передаваемого (принимаемого) сигнала [2, 3].

Учитывая, что окисленные медные контакты представляют собой нелинейное сопротивление [4], можно также ожидать генерации высших гармоник тока (напряжения) плохими контактными соедине-

Рис. 3 ■

Гармоники падения напряжения (амплитуда, В) на хорошем и плохом контактных соединениях

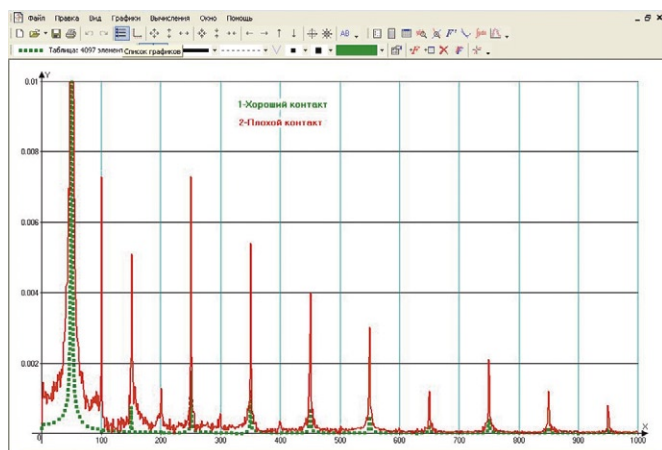
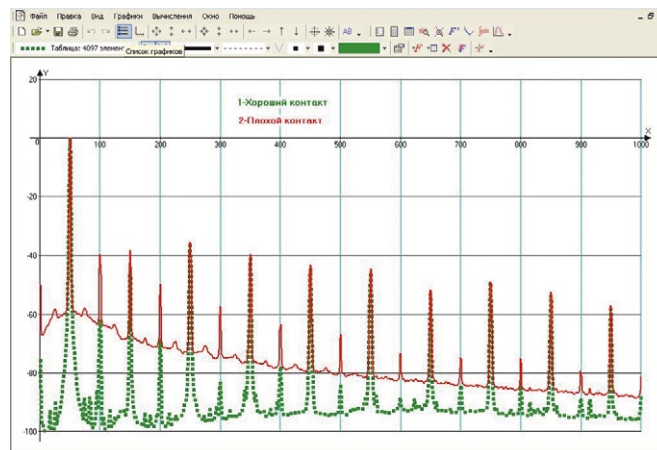


Рис. 4 ■

Гармоники падения напряжения (dB по отношению к первой гармонике 50 Гц) на хорошем и плохом контактных соединениях



ниями. На рис. 3 и 4 представлены гармоники падения напряжения на хорошем и плохом контактных соединениях.

На основании данных этих рисунков можно сделать 2 вывода:

1. На плохих контактах генерируются 2-я и 3-я гармоники напряжения (при рассмотрении амплитуд сигналов).
2. На плохих контактах генерируются четные гармоники напряжения (при рассмотрении относительных (dB по отношению к 50 Гц) амплитуд сигналов).

ПРОВЕДЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Для проверки предлагаемой методики был выполнен ряд лабораторных и натурных измерений. Следует отметить, что при натурной проверке методика была несколько изменена: питание осуществлялось от трансформатора 220/5 В, и сигналы тока перед регистрацией осциллографом проходили через режекторный (50 Гц) фильтр.

Результаты проведенных измерений приведены на рис. 5–10.

Для определения наличия плохих контактных соединений мониторинг напряжений / токов может проводиться непосредственно на трансформаторе. Для этого необходимо:

- выполнять измерения напряжений / токов через режекторные фильтры 50 Гц;
- выявлять четные гармоники напряжений / токов. В нормально функционирующей электроустановке здания их быть не должно;

- анализировать динамику изменения четных гармоник напряжений / токов, систематически выполняя мониторинг этих параметров через определенные промежутки времени.

Особого внимания заслуживает случай, когда контактное соединение настолько плохо, что периодически на нем возникает дуговой разряд. В [5] приведены формы кривой тока и напряжения на таком контакте, которые характеризуются наличием высокочастотных составляющих.

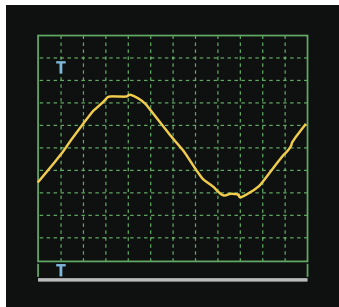
Поэтому для определения наличия таких контактных соединений необходим мониторинг напряжений / токов на трансформаторе (через режекторный (50 Гц) фильтр) с определением высокочастотных составляющих напряжения и / или тока.

ЭЛЕКТРОННЫЙ ПОМОЩНИК

Несколько слов необходимо сказать о программах, используемых для записи и предварительной обработки информации.

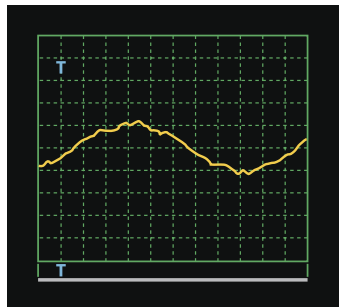
В ходе своей практической деятельности мы тщательно изучили целый ряд программных продуктов, предназначенных для решения указанной задачи. Все они обеспечивают возможность записи сигналов с АЦП, имеют привлекательный и понятный интерфейс, но при этом даже их разработчики не до конца понимают заложенные в них математические алгоритмы предварительной обработки сигналов. Соответственно на профессиональные математические

■ Рис. 5.



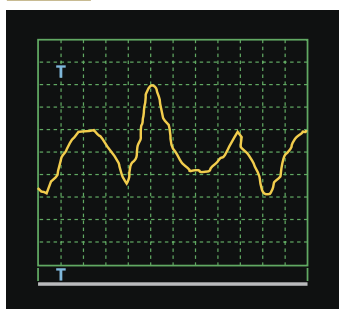
Хороший контакт
(Cu-Cu, лабораторная модель)

■ Рис. 8.



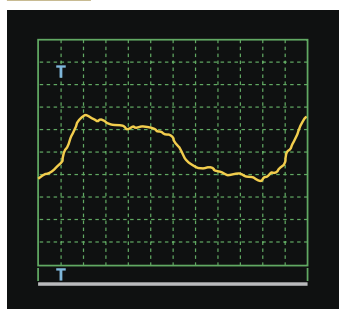
Отель категории «пять звезд»
в г. Москве, номер XXXX. Изначально
хороший контакт в одной из розеток

■ Рис. 6.



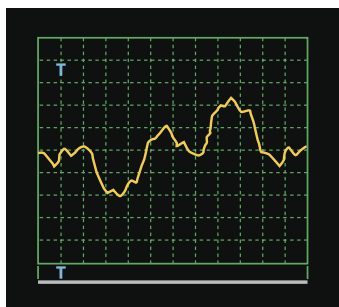
Плохой контакт
(Cu-Cu, лабораторная модель)

■ Рис. 9.



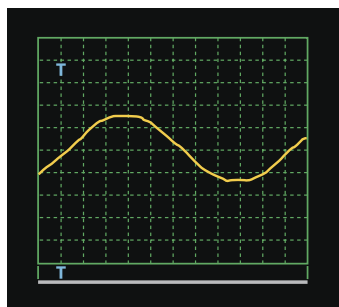
Отель категории «пять звезд»
в г. Москве, номер YYY. Плохой контакт в одной из люстр –
до устранения.

■ Рис. 7.



Хороший контакт
(Al-Cu, лабораторная модель)

■ Рис. 10.



Отель категории «пять звезд»
в г. Москве, номер YYY. Тот же контакт в той же люстре, что
и на рис. 9 – после устранения (за-
чистки от окислов и протягивания
контактного соединения)

вопросы разработчики ПО либо не отвечают совсем, либо отвечают неверно.

В этом плане программа PowerGraph удовлетворяет нашим требованиям. Этот комплекс давно и успешно используется нами для решения таких задач, как:

- анализ качества питающего напряжения (в соответствии с ГОСТ 13109-97) и анализ статистики потребляемых токов;
- диагностика электродвигателей по спектру потребляемого тока;
- диагностика состояния контактных соединений.

ВЫВОДЫ

1. Падение напряжения на плохом контактном соединении существенно больше падения напряжения на хорошем контакте (соответственно сопротивление плохого контакта значительно выше).
2. На плохих контактах генерируются главным образом 2-я и 3-я гармоники напряжения и / или тока – плохое контактное соединение представляет собой нелинейное сопротивление.
3. Для определения наличия плохих контактных соединений мониторинг напряжений / токов может проводиться непосредственно на трансформаторе.
4. В случае, когда контактное соединение настолько плохо, что периодически на нем возникает дуговой разряд, для определения наличия таких контактных соединений необходим мониторинг напряжений / токов (через режекторный (50 Гц) фильтр) с определением высокочастотных составляющих напряжения и / или тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jangho Yun, Jintae Cho, Sang Bin Lee, Jiyeon Yoo. On-line Detection of High-Resistance Connections in the Incoming Electrical Circuit for Induction Motors // Electric Machines & Drives Conference, 2007. IEMDC '07. IEEE International Volume 1, 3–5 May 2007. P. 583–589.
2. Мисежников Г.С. и др. Исследование нелинейных электрических эффектов в контакте двух металлов // Вопросы радиоэлектроники. – 1978. – Вып. 1.
3. Штейншлейгер В.Б. Нелинейное рассеяние радиоволн металлическими объектами / Успехи физических наук, том 142. 1984. – Вып. 1.
4. Sletbak J., Kristensen R., Sundklakk H., Navik G., Runde M. Glowing contact areas in loose copper wire connections // Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, IEEE Transactions on [see also IEEE Trans. on Components, Packaging, and Manufacturing Technology, Part A, B, C] Volume 15, Issue 3, June 1992. – P. 322–327.
5. Conditions for series arcing phenomena in PVC wiring. Shea, J.J.; Electrical Contacts, 2005. Proceedings of the Fifty-First IEEE Holm Conference on 26-28 Sept. 2005. – P. 167–175.