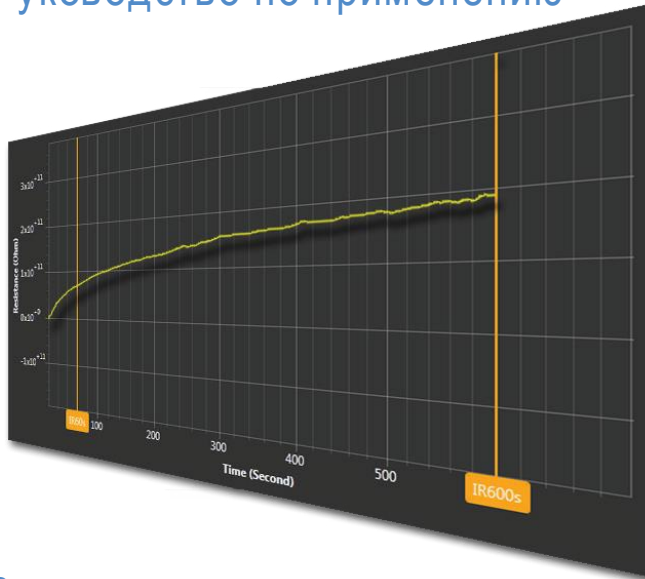


# Тестирование сопротивления изоляции для профилактического обслуживания оборудования

## Руководство по применению



### Введение

Профилактическое обслуживание - это мероприятия, проводимые систематически, через установленные интервалы времени и нацеленные на поддержание необходимого уровня технического состояния оборудования, во избежание его отказа.

Измерение сопротивления изоляции обычно проводится в рамках профилактических мероприятий при испытании электродвигателей, кабелей, выключателей, трансформаторов и прочей электротехники, где необходимо обслуживание целостности изоляции. Измерение сопротивления изоляции помогает выявить потенциальные проблемы электрического характера, тем самым позволяя сократить число непредвиденных, преждевременных ремонтов оборудования и затрат на его замену.

При правильно организованном мониторинге и сборе информации, тестирование может стать весьма эффективным для анализа и прогнозирования текущего и будущего состояния оборудования. Своевременное обнаружение проблем помогает избежать капитального ремонта, что значительно экономит средства по сравнению с практикой обслуживания до полного отказа. Профилактика имеет дополнительное преимущество в предоставлении времени для планирования закупки запчастей и выделения необходимых ресурсов.

Эта статья описывает один из методов тестирования сопротивления изоляции, используемых при проведении мероприятий профилактического обслуживания.



## Что такое измерение сопротивления изоляции?

Измерение сопротивления изоляции проводят с помощью подачи на оборудование постоянного напряжения и одновременного измерения протекающего по нему тока. Высокое постоянное напряжение позволяет вызвать слабый суммарный ток, который начнет протекать по поверхности изоляции. Суммарный ток состоит из трех составляющих: тока заряда емкости мгновенной поляризации, абсорбционного тока и тока утечки (см. Рисунок 1)

- **Ток заряда емкости** относительно высок в момент запуска, затем падает примерно по экспоненциальной кривой в течение нескольких секунд.
- **Ток абсорбции** падает с наименьшей скоростью. Время полного спада может занимать вплоть до нескольких минут и зависит от материала изоляции.
- **Ток утечки** является постоянным во времени.

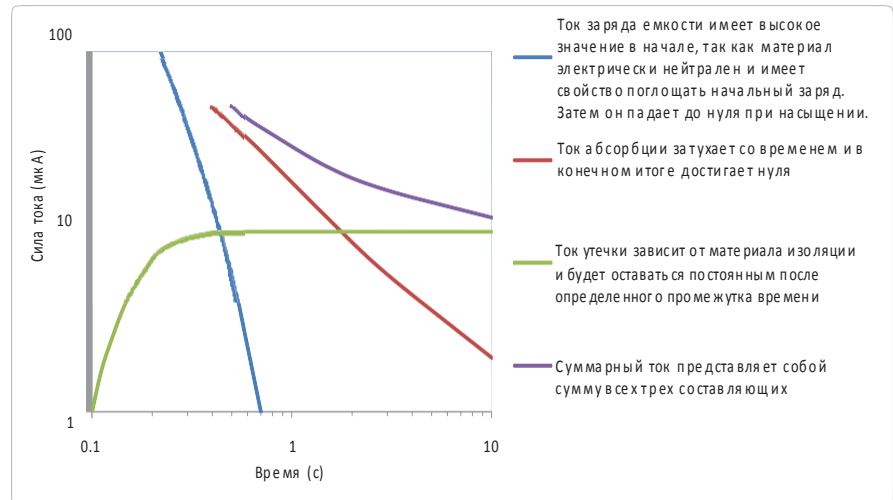


Рисунок 1. Составляющие испытательного тока

## Как испытание сопротивления изоляции помогает при профилактике?

Для эффективности испытаний, результаты должны регулярно регистрироваться в течение определенного промежутка времени и сравниваться со значениями, сделанными в период, когда оборудование было новым и находилось в хорошем состоянии. График показаний за определенный период времени помогает определить наличие неполадок оборудования. Значения сопротивления изоляции, которые сохраняются в течение долгого времени, свидетельствуют о том, что изоляционные свойства оборудования соответствуют норме. Если значения сопротивления снижаются, это означает, что в будущем могут возникнуть потенциальные проблемы и в ближайшее время потребуются проведение более тщательного профилактического обслуживания.

## Факторы, влияющие на сопротивление изоляции

Факторами, которые обычно влияют на сопротивление изоляции, являются:

- **Состояние поверхности:** например остатки нефти или угольной пыли на поверхности оборудования может привести к снижению сопротивления изоляции.
- **Влага:** если температура поверхности оборудования ниже или такая же, как температура окружающей среды, то на ее поверхности образуется влага, которая приводит к снижению сопротивления изоляции.
- **Температура:** Значение сопротивления изоляции изменяется обратно пропорционально изменению температуры. Можно уменьшить ее влияние на статистику, если выполнять испытания каждый раз при одинаковой температуре. Если нет возможности управлять температурой, то рекомендуется придерживаться нормы 40°C. Обычно используют следующую оценку, «Каждое увеличение на 10 °C температуры в два раза снижает сопротивление изоляции, а снижение на 10 °C удваивает сопротивление». Так как различные материалы могут иметь разную степень температурной зависимости, для повышения точности следует умножать показания измерения на соответствующий коэффициент температурной коррекции.

# Что необходимо учесть при испытании?

Существует три типа испытаний для измерения сопротивления изоляции:

- Точечный
- Зависимость сопротивления от времени
- Проверка шаговым напряжением

Каждый тип испытания использует собственный метод, который фокусируется на определенном изоляционном свойстве тестируемого устройства. Пользователь должен выбрать тот метод, который наиболее подходит к требованиям испытаний.

## Точечный метод

Испытательное напряжение прикладывается на фиксированный промежуток времени, обычно 60 секунд или меньше, при этом сбор показателей происходит в самом конце теста. Кривая строится на основе истории журнала показаний. Общий график контроля основан на показаниях длительного периода времени, как правило, нескольких лет или месяцев.

Изменения температуры и влажности могут значительно влиять на показания измерения и должны компенсироваться в случае необходимости.

Данный тип предназначен для устройств с небольшим или незначительным эффектом емкости, например короткий участок проводки.

## Тест на зависимость сопротивления от времени

Показания снимаются в определенные интервалы времени, как правило, каждые несколько минут, затем рассчитывается разница в показаниях. Хорошая изоляция покажет постоянное увеличение величины сопротивления. Если показания остаются на прежнем уровне, и не происходит никакого увеличения, как ожидалось, это говорит о том, что изоляция является слабой и может требовать обслуживания. Влага и грязь на изоляции может снизить показатели сопротивления, так как они увеличивают ток утечки во время тестирования. Влиянием температуры в данном методе можно пренебречь, из-за отсутствия существенных изменений температуры тестируемого устройства. Данный метод хорошо подходит для прогнозирования и профилактики состояния электродвигателей.

Индекс поляризации (PI) и коэффициент диэлектрической абсорбции (DAR) обычно используются для количественной оценки результатов теста зависимости сопротивления от времени

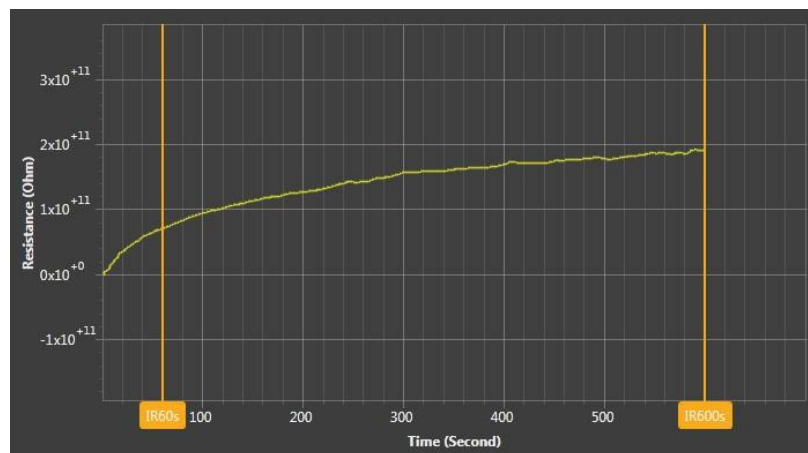


Рисунок 2. Участок кривой испытания обмоток электродвигателя методом зависимости сопротивления от времени, при использовании тестового ПО. Хорошая изоляция показывает постоянное увеличение сопротивления.

## Тест на зависимость сопротивления от времени (Продолжение)

### Индекс поляризации (PI)

Индекс поляризации определяется как отношение измеренного сопротивления изоляции через 10 минут после приложения напряжения тестера к измеренному сопротивлению изоляции через 1 минуту. Интерпретация значений показана в Таблице 1. Стандарт IEEE Std 43-2000 рекомендует придерживаться значения PI для AC/DC роторного оборудования класса А равного 1,5. Минимальное значение PI для класса оборудования В, F и Н составляет 2,0.

**Примечание:** Некоторые новые системы изоляции имеют более быстрый отклик на тест изоляции. Обычно их начальный этап тестирования уже находится в диапазоне ГОм, индекс PI находится между 1 и 2. В этом случае расчетом PI можно пренебречь. В соответствии с IEEE Std 43-2000, если сопротивление изоляции после одной минуты выше 5 ГОм, то вычисление PI теряет смысл.

### Коэффициент диэлектрической абсорбции (DAR)

Коэффициент абсорбции определяется как отношение измеренного сопротивления изоляции через 60 секунд после приложения напряжения тестера к измеренному сопротивлению изоляции через 30 секунд. Интерпретация значений показана в Таблице 1.

Измерение DAR хорошо подходит для устройств с изоляционным материалом, ток поглощения которого быстро уменьшается.

Таблица 1. Интерпретация результатов тестирования PI и DAR

Состояние изоляции	Значение PI	Значение DAR
Недостаточное	< 2	< 1.25
Хорошее	2 to 4	< 1.6
Отличное	> 4	> 1.6

## Проверка шаговым напряжением

Подача различных уровней испытательного напряжения с определенным шагом на тестируемое устройство. Рекомендуемое соотношение испытательного напряжения составляет 1:5. Интервал испытательного шага имеет одинаковую длину по времени, как правило, 60 секунд, и идет от низкого к высокому значению напряжения. Обычно испытательное напряжение выбирают ниже номинального значения оборудования. Быстрое увеличение уровня испытательного напряжения создает дополнительную нагрузку на изоляцию, что приводит к пробоем участков со слабой изоляцией и к последующему низкому значению сопротивления.

Данный тест особенно полезен, когда номинальное значение напряжения оборудования выше, чем любое доступное значение испытательного напряжения тестера сопротивления изоляции.

## Выбор значения испытательного напряжения

Любой тестер сопротивления изоляции состоит из источника высоковольтного постоянного напряжения. Необходимо правильно подбирать номинал напряжения, чтобы избежать чрезмерной нагрузки на изоляцию, которая может привести к ее повреждению. Испытательное напряжение, подаваемое на оборудование, должно соответствовать рекомендациям завода изготовителя и может изменяться в соответствии с международными стандартами. Если испытательное напряжение не указано производителем, то на практике также могут применяться промышленные стандарты. Некоторые номинальные значения для электродвигателей приведены в Таблице 2. и могут быть приняты в связи с отсутствием данных производителя.

Таблица 2. Рекомендованные значения, которые должны применяться во время испытания сопротивления изоляции (данные взяты из стандарта IEEE Std 43-2000)

Ном. напряжение обмоток (В) <sup>1</sup>	Напряжение тестера изоляции (В)
< 1000	500
1000 – 2500	500 – 1000
2501 – 5000	1000 – 2500
5001 – 12000	2500 – 5000
> 12000	5000 – 10000

1. Номинальное значение напряжения фаза-фаза для установок трехфазного переменного тока, фаза-земля для однофазных установок, а также номинальное значение для установок постоянного тока или обмоток возбуждения.

## Определение минимального сопротивления изоляции

Согласно стандарту IEEE Std 43-2000, минимальное сопротивление изоляции для обмоток статоров АС/DC установок может быть определено как:

$$R_m = kV + 1$$

Где,

$R_m$  – рекомендуемое минимальное значение сопротивления изоляции всех обмоток установки в МОм, при температуре 40 °С.

$kV$  – номинал напряжения на клеммах установки в кВ.

## Соблюдение требований безопасности

Испытание сопротивления изоляции подразумевает использование постоянного высоковольтного напряжения, необходимо соблюдать следующие меры безопасности:

- Убедитесь в том, что с тестируемого устройства полностью снят заряд
- Проведите проверку состояния всех тестируемых схем, убедитесь в том, чтобы в цепи не было источника напряжения, кроме как у самого тестера изоляции.
- Ограничьте доступ персонала на время проведения испытаний
- Используйте средства индивидуальной защиты (например, защитные перчатки), где это возможно.
- Убедитесь, что измерительные провода пригодны и находятся в хорошем состоянии.

Использование неподходящих измерительных проводов приводит не только к ошибкам в показаниях прибора, но и к опасности поражения электрическим током.

После испытаний, убедитесь, что с устройства полностью снят заряд. Это можно сделать замыканием клемм подходящим резистором. Рекомендуемое минимальное время снятия разряда – в четыре раза дольше интервала приложенного напряжения. Некоторые тестеры имеют встроенную цепь снятия заряда для обеспечения безопасного завершения испытания. Такие тестеры обеспечивают безопасное снятие заряда после каждой процедуры тестирования.

# Планирование мероприятий технического обслуживания

При планировании мероприятия технического обслуживания, необходимо определить и установить приоритет оборудования, нуждающегося в обслуживании. Двигатели и установки, которые поддерживают работоспособность всей линии, должны иметь высокий приоритет. Также необходимо определить частоту интервалов проверок. Частота может изменяться в зависимости от степени критичности того или иного блока. Ведение журнала будет хорошим ориентиром для определения перечня оборудования и узлов требующих ближайшего обслуживания.

Запись журнала обслуживания должна содержать следующие аспекты:

1. Дата проведения испытания
2. Значение испытательное напряжения и тока
3. Время тестирования
4. Значение сопротивления изоляции
5. Температура обмотки / оборудования
6. Маркировка оборудования / тестируемого устройства
7. Узлы или оборудование, которое было задействовано при испытании
8. Относительная влажность

Также как в любой другой программе профилактического обслуживания, ведение учетной документации и построение графиков показаний значительно помогает в определении тенденций, прогнозировании и составлении планов действий на будущее.

## Заключение

Периодическое плановое тестирование является наилучшим подходом в проведении профилактического обслуживания электрооборудования, построение графиков результатов тестирования помогает при дальнейшем мониторинге и прогнозировании состояния сопротивления изоляции. Тестеры сопротивления изоляции, такой серии как U1450A и U1460A фирмы Agilent Technologies поддерживают точечный метод измерения, индекс поляризации и коэффициент диэлектрической абсорбции, которые необходимы при испытании изоляции. Дополнительные функции этих измерителей могут быть получены с помощью специального программного обеспечения, путем подключения приборов через ИК-Bluetooth адаптер U1117A или ИК-USB кабель. Кроме того, результаты измерений можно передавать через Bluetooth адаптер на любые устройства на платформе iOS/Android. Это помогает свести к минимуму время и вероятность допущения ошибки при составлении отчетов.

## Используемая литература

Стандарт IEEE 43-2000 (R2006) - IEEE Рекомендуемая практика для тестирования сопротивления изоляции электродвигателей

[www.agilent.com](http://www.agilent.com)  
[www.agilent.com/find/insulationtesters](http://www.agilent.com/find/insulationtesters)



### myAgilent

[www.agilent.com/find/myagilent](http://www.agilent.com/find/myagilent)

A personalized view into the information most relevant to you.



### Three-Year Warranty

[www.agilent.com/find/ThreeYearWarranty](http://www.agilent.com/find/ThreeYearWarranty)

Beyond product specification, changing the ownership experience. Agilent is the only test and measurement company that offers three-year warranty on all instruments, worldwide.



### Agilent Assurance Plans

[www.agilent.com/find/AssurancePlans](http://www.agilent.com/find/AssurancePlans)

Five years of protection and no budgetary surprises to ensure your instruments are operating to specifications and you can continually rely on accurate measurements.



### [www.agilent.com/quality](http://www.agilent.com/quality)

Agilent Electronic Measurement Group  
DEKRA Certified ISO 9001:2008  
Quality Management System



### Agilent Channel Partners

[www.agilent.com/find/channelpartners](http://www.agilent.com/find/channelpartners)

Get the best of both worlds: Agilent's measurement expertise and product breadth, combined with channel partner convenience.

For more information on Agilent Technologies' products, applications or services, please contact your local Agilent office. The complete list is available at:

[www.agilent.com/find/contactus](http://www.agilent.com/find/contactus)

### Americas

Canada	(877) 894 44 14
Brazil	(11) 4197 3600
Mexico	01800 5064 800
United States	(800) 829 4444

### Asia Pacific

Australia	1 800 629 485
China	800 810 0189
Hong Kong	800 938 693
India	1 800 112 929
Japan	0120 (421) 345
Korea	080 769 0800
Malaysia	1 800 888 848
Singapore	1 800 375 8100
Taiwan	0800 047 866
Other AP Countries	(65) 375 8100

### Europe & Middle East

Belgium	32 (0) 2 404 93 40
Denmark	45 45 80 12 15
Finland	358 (0) 10 855 2100
France	0825 010 700* *0.125 €/minute
Germany	49 (0) 7031 464 6333
Ireland	1890 924 204
Israel	972-3-9288-504/544
Italy	39 02 92 60 8484
Netherlands	31 (0) 20 547 2111
Spain	34 (91) 631 3300
Sweden	0200-88 22 55
United Kingdom	44 (0) 118 927 6201

For other unlisted countries:

[www.agilent.com/find/contactus](http://www.agilent.com/find/contactus)

(BP-11-07-13)

Product specifications and descriptions in this document subject to change without notice.

Bluetooth and the Bluetooth logos are trademarks owned by Bluetooth SIG, Inc., U.S.A. and licensed to Agilent Technologies, Inc.

© Agilent Technologies, Inc. 2014  
Published in USA, March 20, 2014  
5991-4026EN



**Agilent Technologies**