



facts-plus.com
инженерные решения и программное обеспечение



О НЕОБХОДИМЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ В МЕТОДИКАХ ПРИЕМОСДАТОЧНЫХ, КВАЛИФИКАЦИОННЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

И.И. Никулов¹, Д.А. Матвеев², А.М. Быкова³, А.В. Жуйков³, М.В. Фролов³

**¹ Раменский электротехнический завод «Энергия»,
Раменское, Россия**

² ООО «ФАКТС Плюс», Москва, Россия

**³ Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт»,
Москва, Россия**

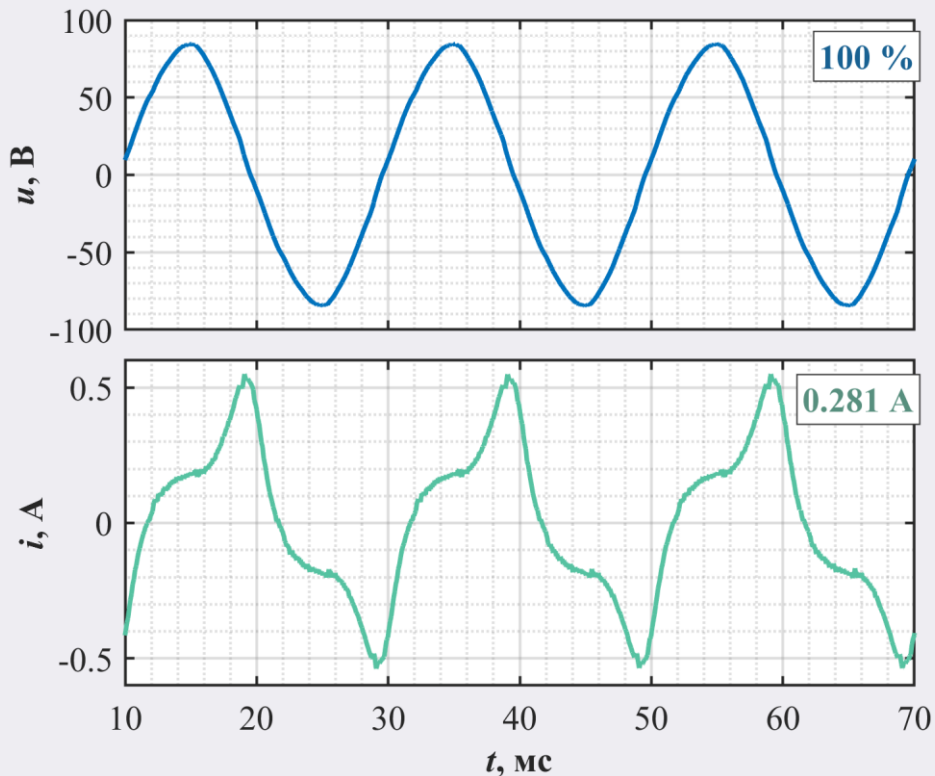
ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА ХОЛОСТОГО ХОДА

Требования к измерению тока ХХ

ГОСТ 1983-2015	Проект ГОСТ Р	IEC 61869-3	РД «Объем и нормы»	СТО «Объем и нормы»
В пяти точках диапазона $(0,8—1,1)U_{\text{ном}}$ по ГОСТ 3484.1	При $U_{\text{н.р.}}$ для незаземляемых ТН При $(1,4—1,73)U_{\text{н.р.}}$ для заземляемых ТН	—	Только для ЭМУ емкостных ТН	—

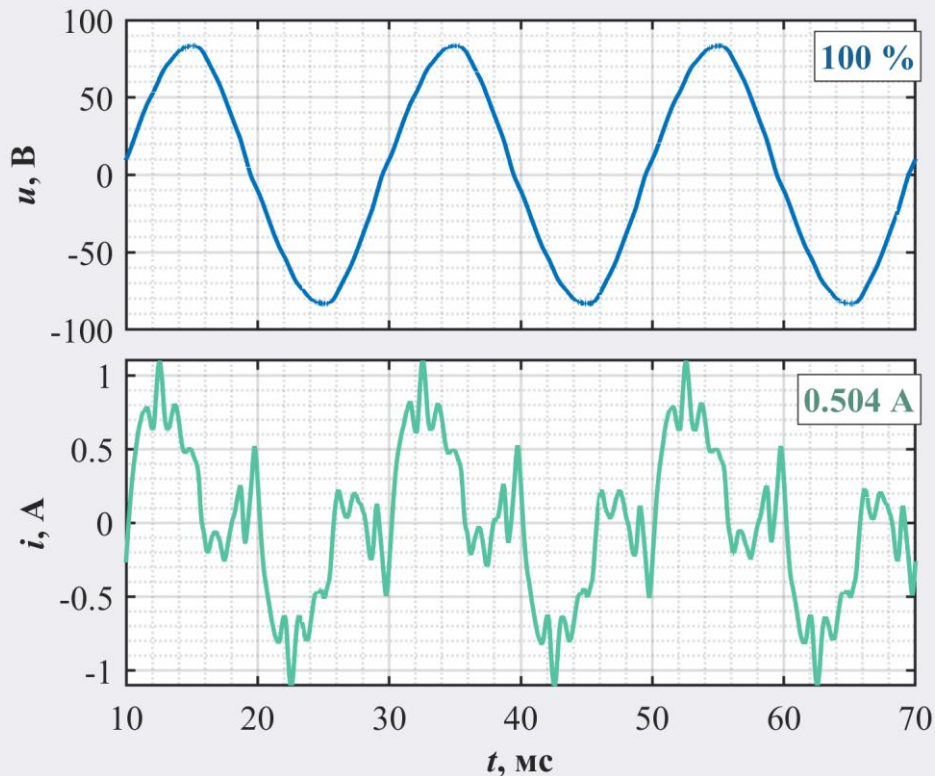
Сложившаяся практика такова, что в эксплуатации измеряют токи холостого хода по методикам заводов-изготовителей и сравнивают с заводскими значениями.

Примеры реальных осциллограмм тока ХХ



НАМИ-10-95 (10 кВ)

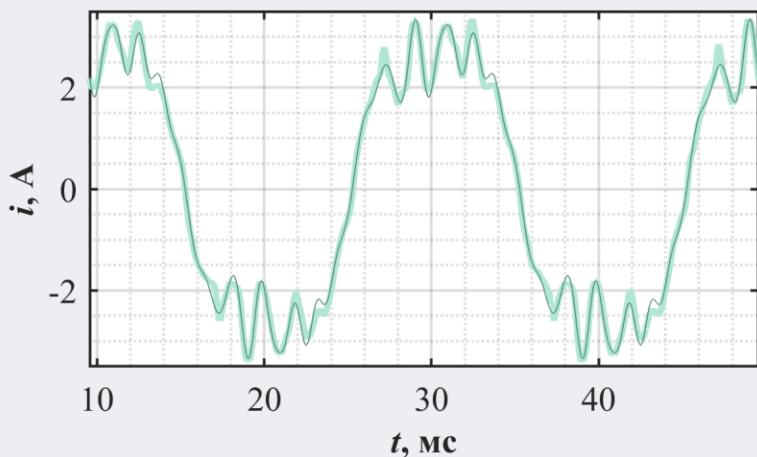
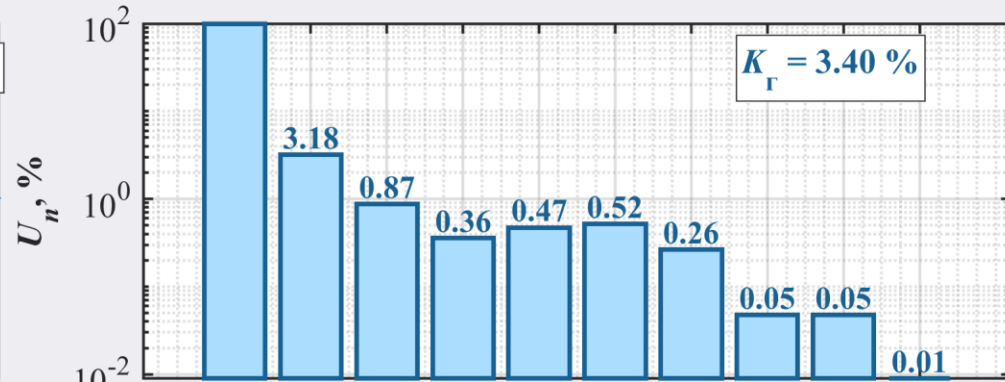
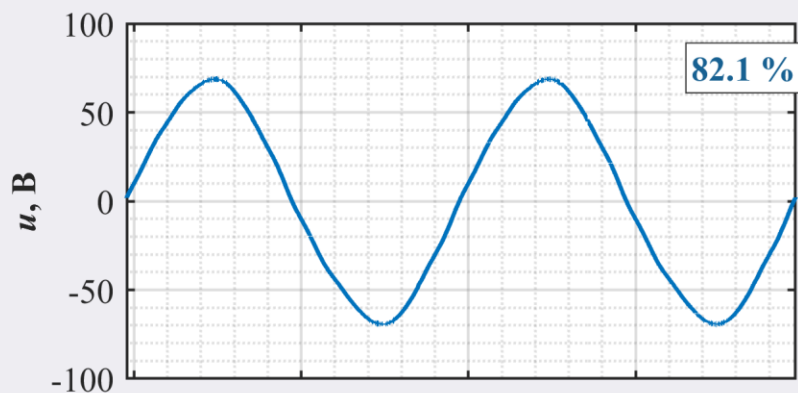
ток ХХ активно-**индуктивный**



НАМИ-35

ток ХХ активно-**емкостный**

Гармонический анализ напряжения и тока ХХ



НАМИ-110, опыт ХХ, источник подключен к основной вторичной обмотке

Восстановление тока намагничивания ТН

Определить зависимость от времени тока намагничивания $i_{\mu}(t)$ можно по выражению:

$$i_{\mu}(t) = i_{XX}(t) - i_{\Pi}(t).$$

где $i_{XX}(t)$ – зарегистрированная осциллограмма тока XX;
 $i_{\Pi}(t)$ – расчетная осциллограмма паразитного тока.

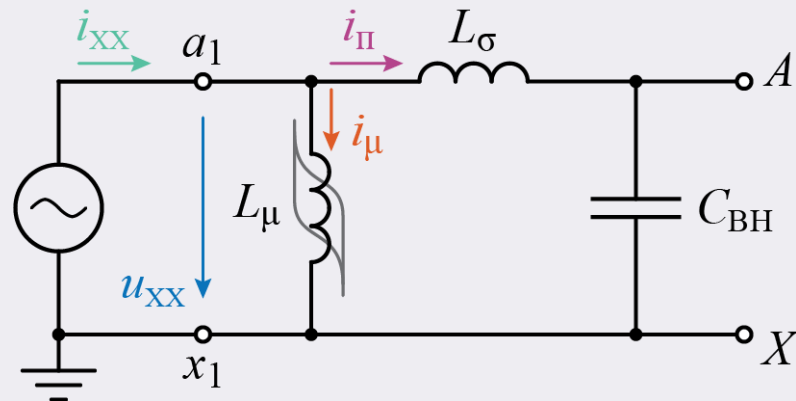
Оценить паразитный ток $i_{\Pi}(t)$

можно в виде суммы N его гармонических составляющих,

$$i_{\Pi}(t) = \sum_{k=1}^N i_{\Pi.k}(t),$$

которые в комплексном виде выражаются через гармонические составляющие напряжения u_{XX} и проводимость ветви C_{BH} и L_{σ} :

$$\dot{I}_{\Pi.k} = \dot{U}_{XX.k} \underline{Y}_k = \dot{U}_{XX.k} \frac{j\omega_k C_{BH}}{1 - \omega_k^2 L_{\sigma} C_{BH}}$$



L_{μ} – индуктивность намагничивания;

L_{σ} – индуктивность рассеяния;

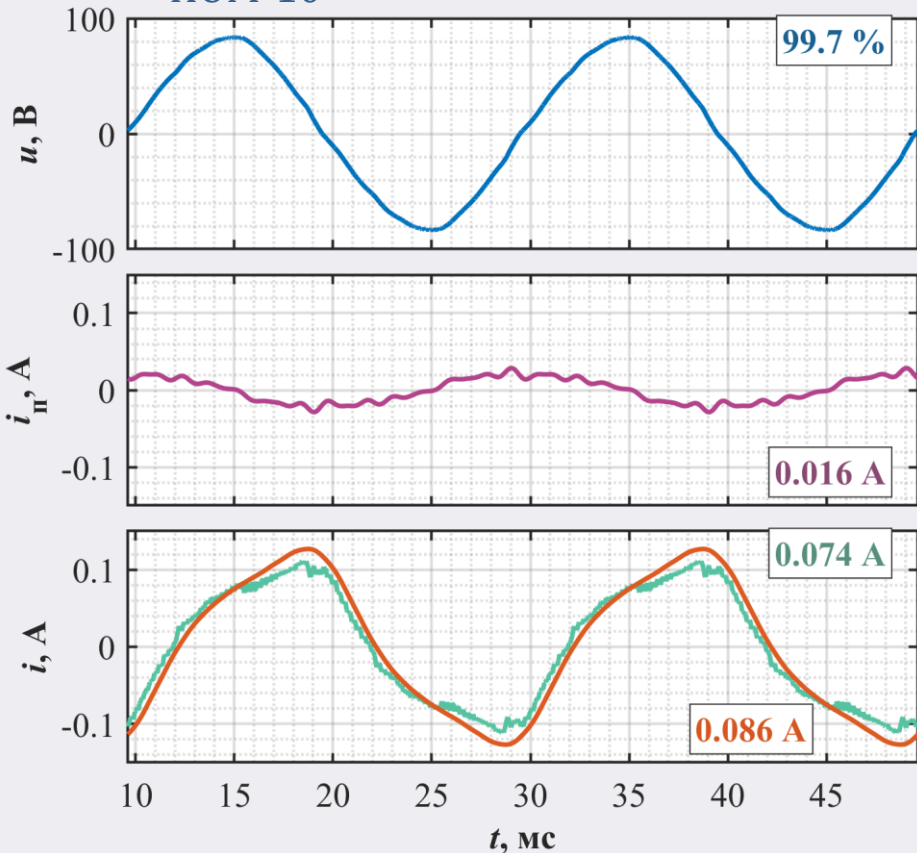
C_{BH} – эквивалентная емкость обмотки BH

Схема замещения однофазного ТН в опыте XX (Г-образная)

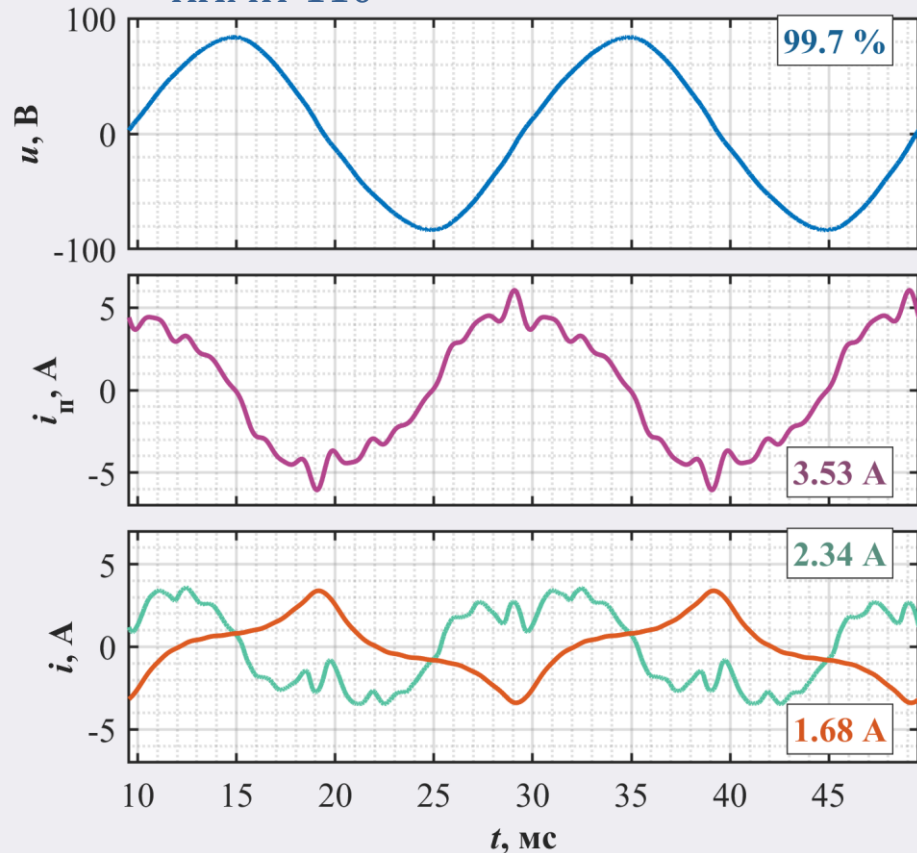
Значения C_{BH} и L_{σ} определяются из системы уравнений для значений проводимости ветви на двух разных высших гармониках.

Примеры восстановления тока намагничивания

НОМ-10



НАМИ-110

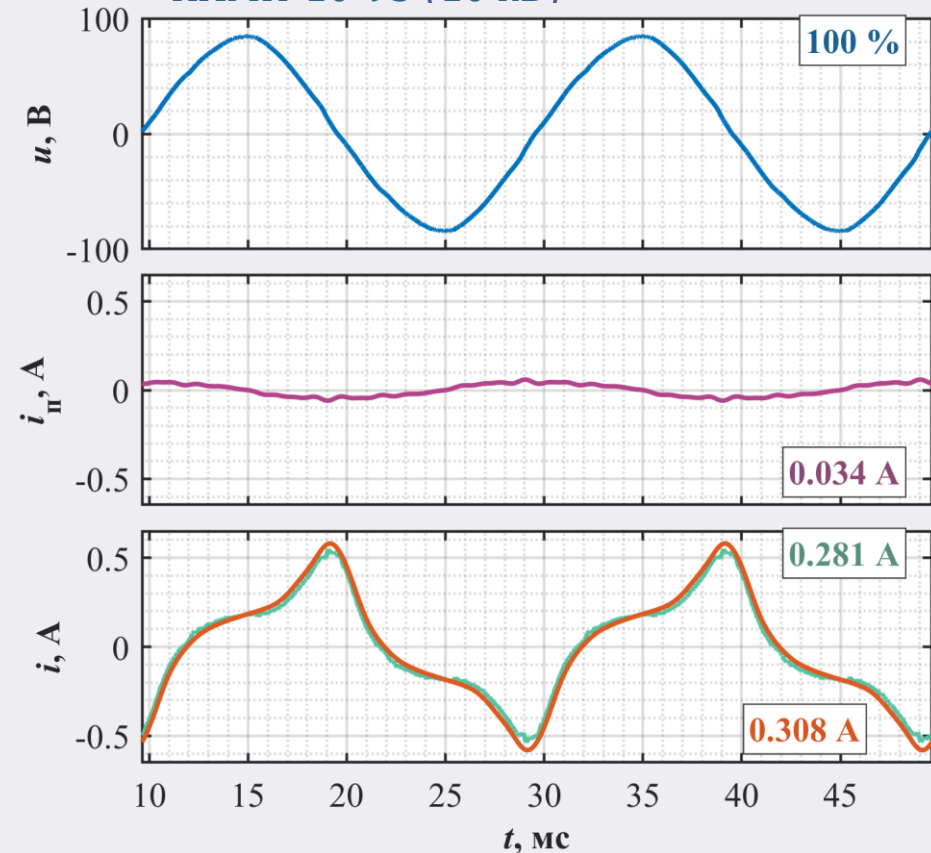


— измеренный ток

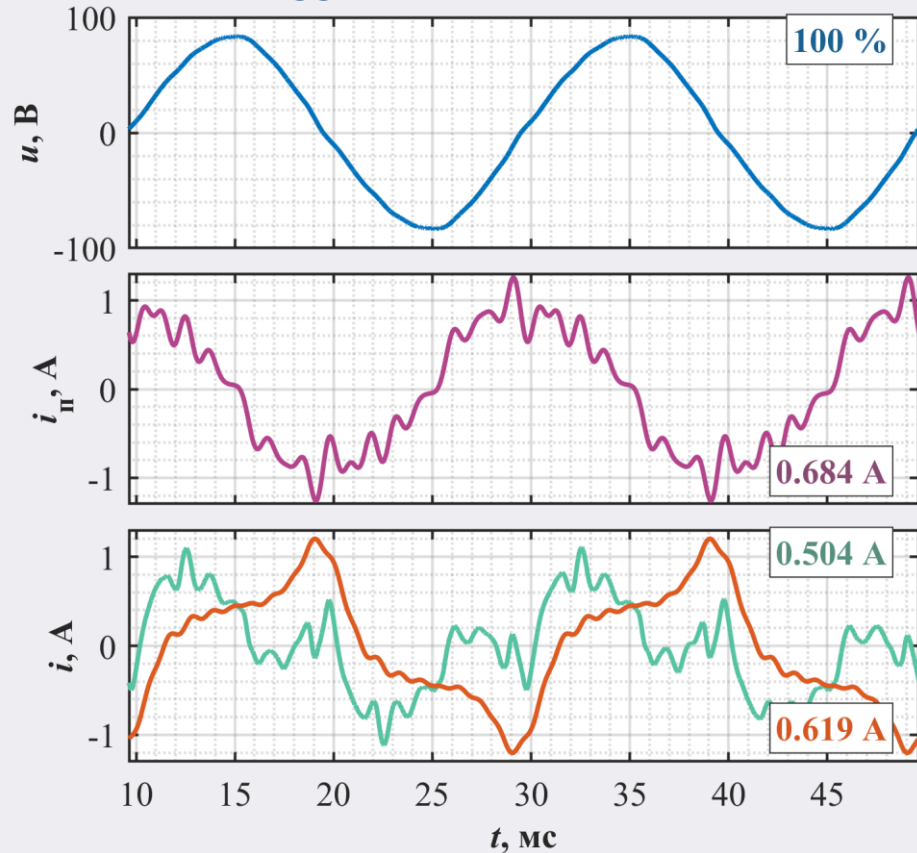
— восстановленный ток намагничивания

Примеры восстановления тока намагничивания

НАМИ-10-95 (10 кВ)



НАМИ-35

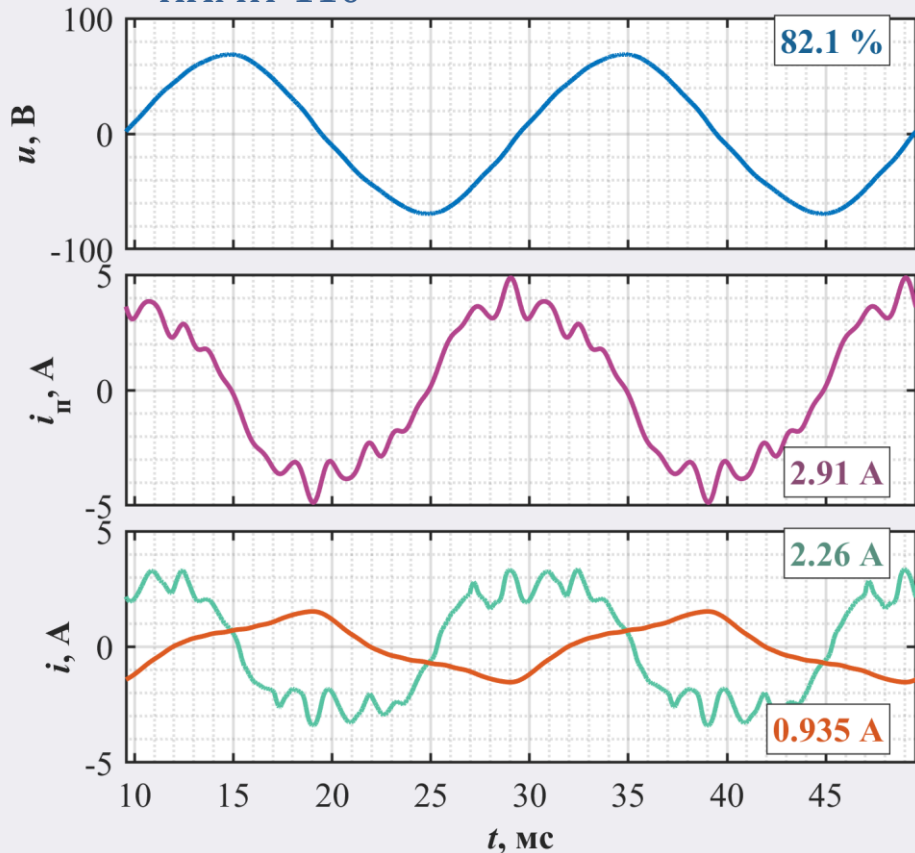


— измеренный ток

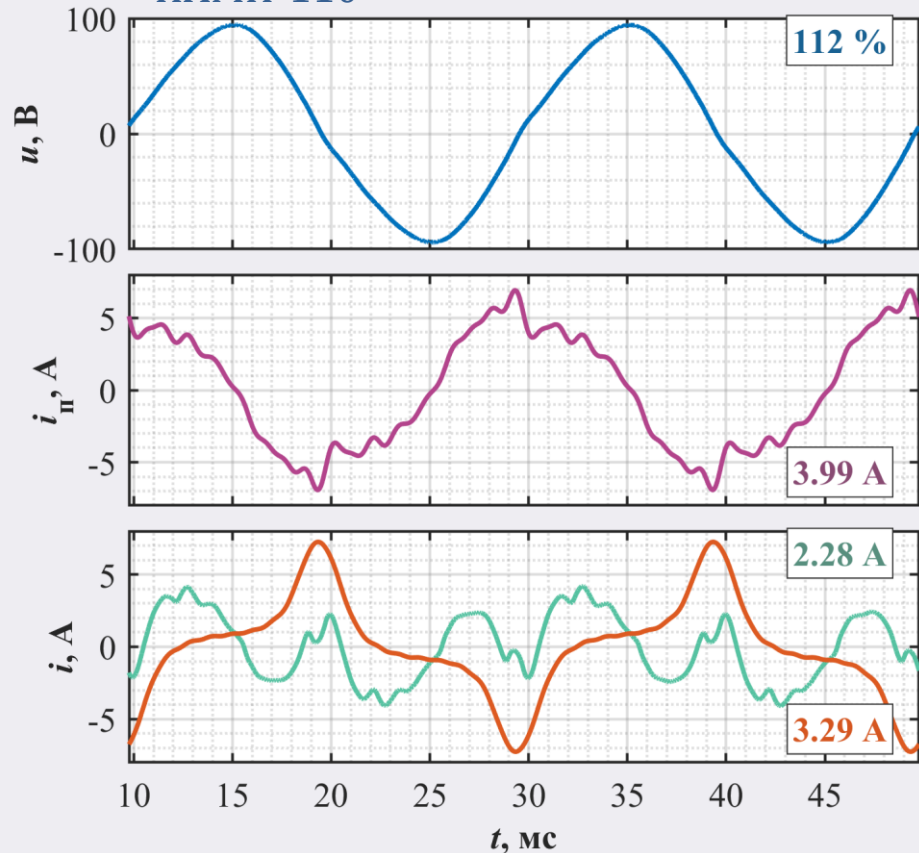
— восстановленный ток намагничивания

Примеры восстановления тока намагничивания

НАМИ-110



НАМИ-110



— измеренный ток

— восстановленный ток намагничивания

Выводы

1. Электромагнитные (индуктивные) ТН содержат в токе холостого хода емкостную составляющую, которая может превышать ток намагничивания. Доля емкостного тока зависит от конструкции ТН и возрастает с увеличением его номинального напряжения.
2. Использование в диагностических целях тока ХХ, измеренного в соответствии с регламентированными процедурами, нецелесообразно по двум причинам:
 - при доминирующей емкостной составляющей тока ХХ увеличение тока намагничивания может приводить к слабому изменению или даже к снижению измеряемого тока;
 - высокая чувствительность емкостного тока к гармоническому составу сетевого напряжения приводит к значительному разбросу результатов измерений, выполненных в разных условиях.
3. Предложенный в докладе подход к восстановлению тока намагничивания по результатам измерения тока ХХ можно использовать в основе стандартного метода и перспективного прибора.

ИЗМЕРЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЧР

Нормативные требования

В ГОСТ Р 55195 и в первой редакции проекта ГОСТ 1516.1 (требования к электрической прочности изоляции) содержатся следующие требования.

п. 4.10.2 «Если иное не установлено в разделах 5–13 или стандартах на электрооборудование отдельных видов, то испытание с измерением характеристик частичных разрядов проводят приложением к испытываемой изоляции переменного напряжения, предварительное значение которого длительностью 10 с должно быть равно $1,3U_{н.р}$ для электрооборудования классов напряжения от 3 до 35 кВ, $1,05U_{н.р}$ – для электрооборудования 110 кВ и выше. **Затем напряжение должно быть без отключения снижено до значения $1,1U_{н.р}/\sqrt{3}$ и выдержано в течение не менее 1 мин.** При этом производят измерение интенсивности частичных разрядов...».

п. 6.1.4.2 «...Трансформатор считают выдержавшим испытание, если **интенсивность частичных разрядов, измеренная при напряжении $1,1U_{н.р}/\sqrt{3}$** , не превысила 20 пКл для трансформаторов с твердой изоляцией или 10 пКл для трансформаторов с масляной или газовой изоляцией».

Для сравнения эта же процедура в ГОСТ Р 54827 на сухие силовые трансформаторы:

п. 22.4.1.1 «...В начале испытания индуктированное междуфазное напряжение поднимают до значения $1,8U_n$ и выдерживают в течение 30 с... Затем напряжение плавно снижают до междуфазного значения $1,3U_n$ и выдерживают не менее 3 мин, в течение которых должны быть измерены характеристики частичных разрядов».

Выводы

1. Для ТН (и ТТ!), предназначенных для работы в сетях с неэффективно заземленной нейтралью, где возможны длительные повышения фазного напряжения до линейного (подавляющее большинство сетей 6, 10 и 35 кВ), действующие нормы регламентируют недоиспытание изоляции, что значительно обесценивает приемосдаточные измерения интенсивности ЧР.
2. Для ТТ, незаземляемых ТН и ТН, на обмотках которых в эксплуатации возможны длительные повышения напряжения при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ), испытательные напряжения, при которых измеряется интенсивность частичных разрядов, должны быть увеличены в $\sqrt{3}$ раз.
3. Действующие нормы могут быть сохранены только для оборудования 6–35 кВ, предназначенного для эксплуатации в сетях с автоматическим отключением ОЗЗ.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ТРАНСФОРМАТОРНЫХ МАСЕЛ

Содержание механических примесей («Объем и нормы испытаний электрооборудования»)

Уном, кВ	Свежие масла				В эксплуатации			
	До заливки		После заливки		Норм.		Предел доп.	
	РД	СТО	РД	СТО	РД	СТО	РД	СТО
6–35	11	10	12	11	13	12	13	12
110–150	11 → 8		12 → 9		13 → 10		13	11
220	11 → 8		12 → 9		13 → 10		13	11
330	9	8	10	9	11	10	12	11
500	9	8	10	9	11	10	12	11
750	9	8	10	9	11	10	12	11

В таблице приведены значения класса чистоты жидкостей по ГОСТ 17216-2001. Понижение класса на три единицы означает примерно восьмикратное снижение количества примесных частиц.

Тангенс угла диэлектрических потерь, % («Объем и нормы испытаний электрооборудования»)

Уном, кВ	Свежие масла				В эксплуатации			
	До заливки		После заливки		Норм.		Предел доп.	
	РД	СТО	РД	СТО	РД	СТО	РД	СТО
6–35	1,7	1,7	2,0	2,0	–	–	–	–
110–150	1,7 → 0,5		2,0 → 0,7		12 → 12 (3)		15 → 15 (5)	
220	1,7 → 0,5		2,0 → 0,7		8 → 8 (3)		10 → 10 (5)	
330	0,5	0,5	0,7	0,7	8 → 8 (3)		10 → 10 (5)	
500	0,5	0,5	0,7	0,7	8 → 8 (3)		10 → 10 (5)	
750	0,5	0,5	0,7	0,7	3	3	5	5

В скобках приведены значения для трансформаторов, залитых маслами марок ГК, ВГ, Nytro 11GX и 10XN.

Выводы

1. В СТО 34.01-23.1-001-2017 «Объем и нормы испытаний электрооборудования» требования к качеству трансформаторных масел для ТН 110 кВ были резко завышены и приняты равными таковым для аппаратов 750 кВ. Как следствие, например, нормы по механическим примесям теперь требуют от заводов применять вакуум-дегазационные установки с характеристиками как для оборудования СВН, а необходимость этого вызывает большие сомнения.
2. Принятие одинаковых технологических требований для оборудования 110–750 кВ не соответствует сложившейся и обоснованной практике их плавного ужесточения с ростом номинального напряжения аппаратов.
3. Рано или поздно, СТО «Объем и нормы испытаний электрооборудования» будет пересматриваться. Желательно вносить изменения на основе научных и технико-экономических обоснований. Целесообразно разделить требования к качеству трансформаторных масел по типу оборудования, так как условия, в которых находится изоляция оборудования существенно различаются (например, для силовых и измерительных трансформаторов).

АНАЛИЗ РАСТВОРЕННЫХ ГАЗОВ

Критерии оценки результатов АРГ

Измерительные трансформаторы подлежат отбраковке при выполнении любого из следующих трех условий:

$$A_{C_2H_2}(t) \geq A_{C_2H_2}^{ДЗ} \quad \text{и} \quad A_{СРГ}(t) \geq A_{СРГ}^{ДЗ}$$

$A_{C_2H_2}, V_{C_2H_2}$ – концентрация ацетилена и абсолютная скорость ее нарастания

$$A_{C_2H_2}(t) \geq A_{C_2H_2}^{ПДЗ} \quad \text{или} \quad A_{СРГ}(t) \geq A_{СРГ}^{ПДЗ}$$

$A_{СРГ}, V_{СРГ}$ – суммарная концентрация растворенных газов и абсолютная скорость ее нарастания

$$V_{C_2H_2}(t) \geq V_{C_2H_2}^{ПДЗ} \quad \text{или} \quad V_{СРГ}(t) \geq V_{СРГ}^{ПДЗ}$$

ДЗ, ПДЗ – допустимое и предельно допустимое значение параметра

1. Отбраковка аппаратов по превышению концентрациями газов допустимых значений без учета динамики их изменения недопустима.
2. Желательно ввести отдельные ДЗ и ПДЗ для аппаратов герметичных и негерметичных конструкций.

Спасибо за внимание!

dmatveev@tvn-moscow.ru

retz@ramenergy.ru