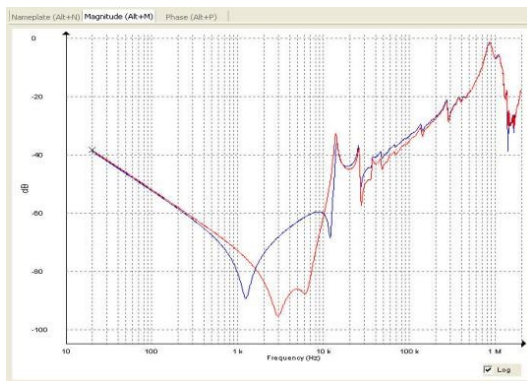


# Анализ частотных характеристик (SFRA)

## Примеры применения



**Дробышевский А.А.**

**НТЦ электроэнергетики**  
**drobyshevskiy@ntc-power.ru**

**Дробышевский С.А.**

**Энергоскан**  
**dsa@energосkan.ru**

# Сравнение по времени - Пример

- Однофазный генераторный трансформатор, 400 кВ
- Измерения SFRA до и после планового обслуживания
- Предполагается, что трансформатор находится в хорошем состоянии и готов к работе...

# Сравнение по времени – После ремонта



”Явные искажения” в соответствии со стандартом DL/T911-2004  
 (отсутствует заземление сердечника)



# Сравнение по времени – После ремонта



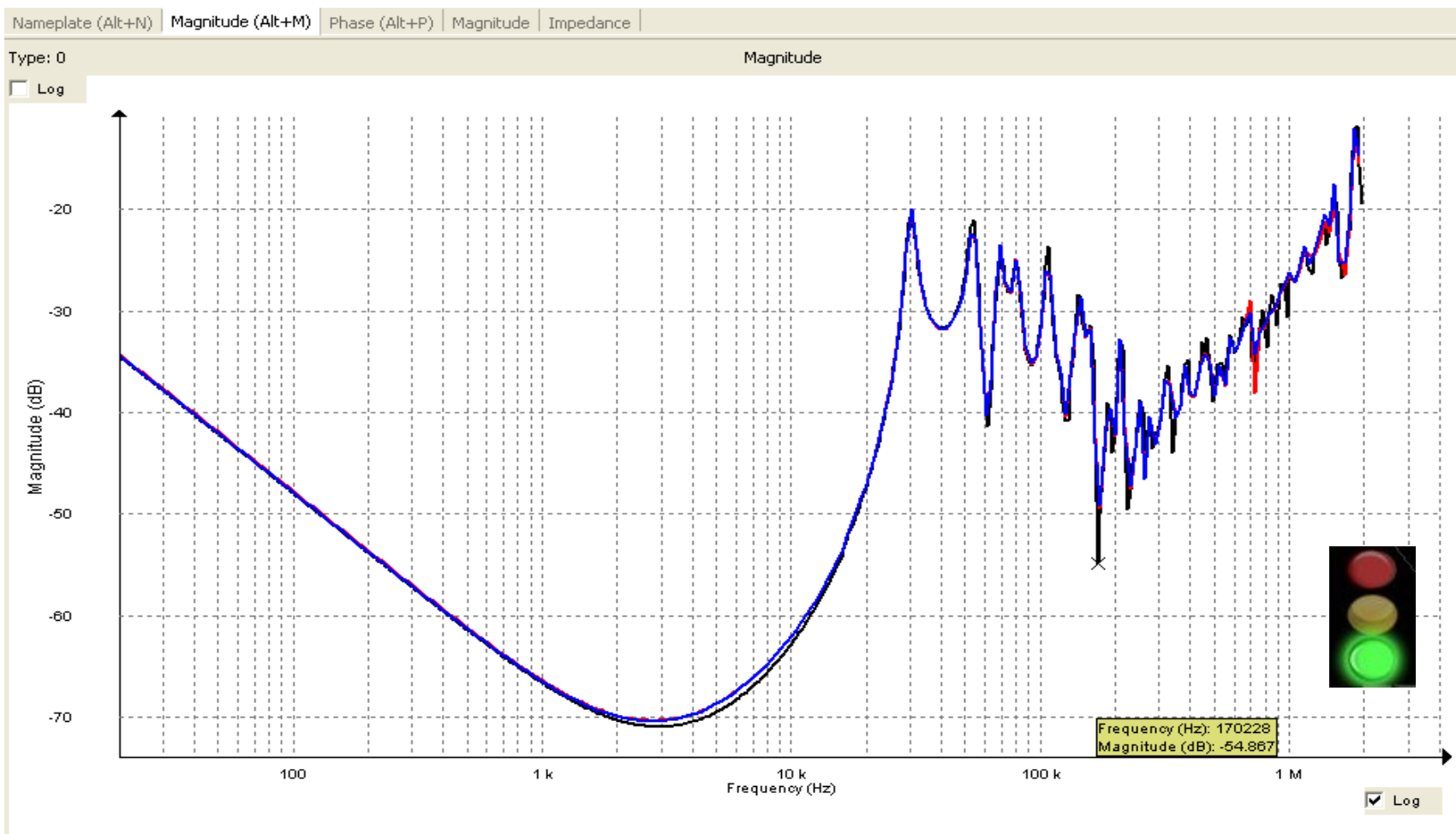
“Нормальное состояние” согласно стандарту DL/T911-2004  
 (заземление сердечника исправлено)



# Сравнение по типу - Пример

- Три однофазных трансформатора, 159 МВА, 144 кВ, произведены в 1960-м году.
- Приостановлена работа для технического обслуживания/ремонта ввиду того, что анализ растворенных газов (АРГ) указал на высокие температуры
- Устройства «идентичны»
- SFRA-тестирование и сравнение двух трансформаторов не выявили электромеханических неисправностей

# Сравнение по типу – 3 трансформатора, ВН

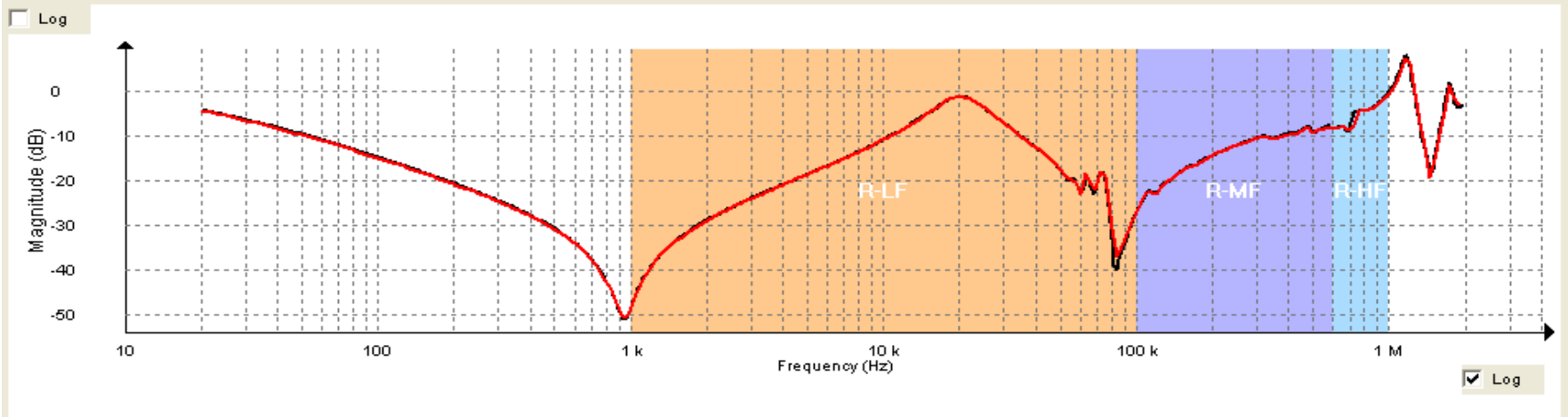


# Сравнение по типу – 3 штуки, НН

Nameplate (Alt+N) | Magnitude (Alt+M) | Phase (Alt+P) | Magnitude | Impedance | DL/T 911-2004 Analyzer

Model: SFRA (dB) - Magnitude Type: 0

Id	Name	R-LF	R-MF	R-HF	Conclusion
R 1-2	[X1-X2 (open) v1v2-u1u2] - [X1-X2 (open) v1v2-u1u2]	2.98	3.49	1.41	Normal
R 1-3	[X1-X2 (open) v1v2-u1u2] - [X1-X2 (open) v1v2-u1u2]	2.93	2.40	0.82	Normal
R 2-3	[X1-X2 (open) v1v2-u1u2] - [X1-X2 (open) v1v2-u1u2]	3.61	2.43	0.94	Normal



Interpretation according to DL/T 911-2004, China 2005-06-01

Frequency response analysis on winding deformation of power transformers

	Value	Severe Distortion	Obvious Distortion	Light Distortion	Normal
R-LF (1kHz - 100kHz)	2.98	R-LF < 0.6	0.6 <= R-LF < 1	1 <= R-LF < 2	2 <= R-LF
R-MF (100kHz - 600kHz)	3.49		R-MF < 0.6	0.6 <= R-MF < 1	1 <= R-MF
R-HF (600kHz - 1MHz)	1.41				0.6 <= R-HF

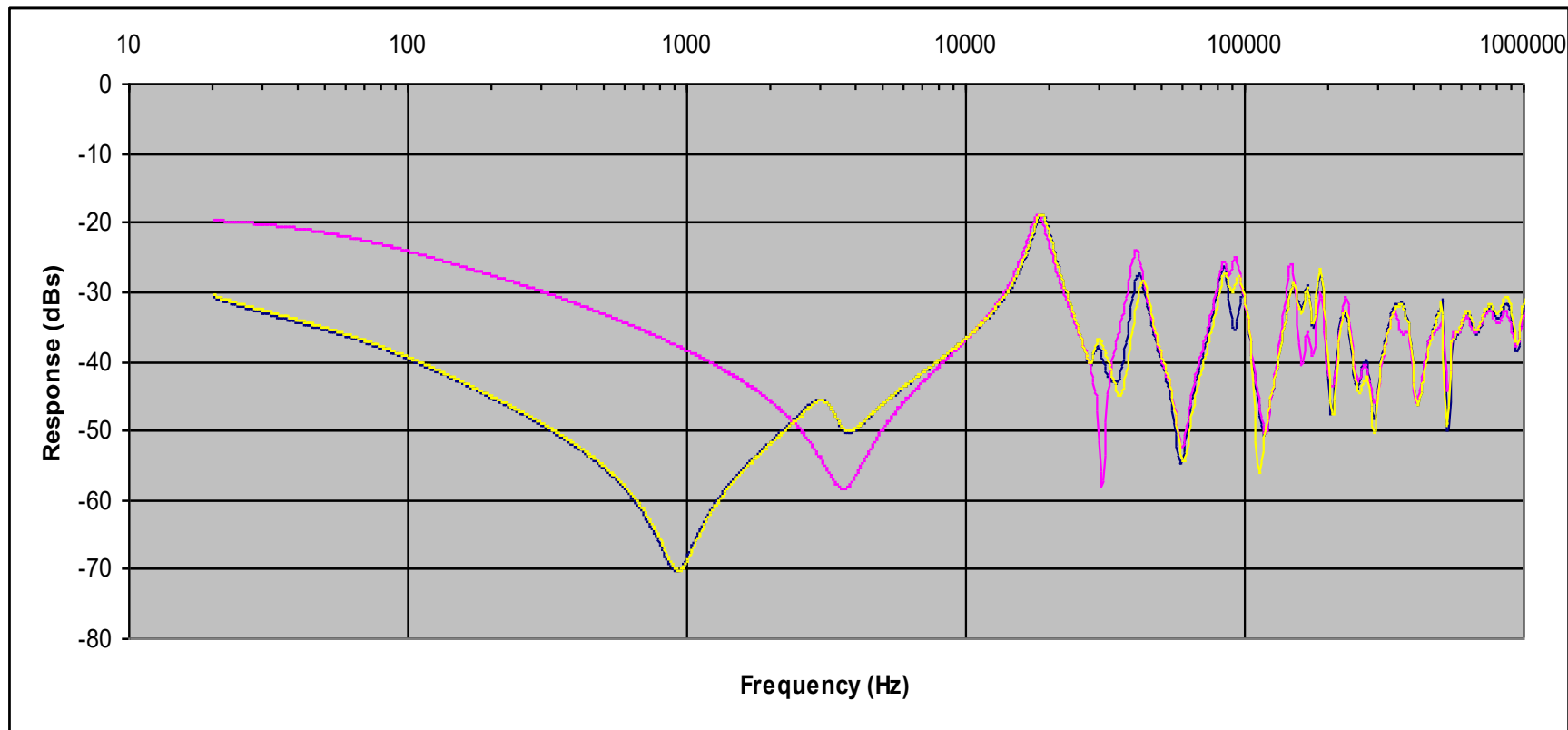
Conclusion: Normal

# Сравнение по конструкции – После обнаружения подозреваемой неисправности

- Силовой трансформатор, 25МВА, 55/23кВ, произведен в 1985
- По ошибке, на трансформатор было подано напряжение при заземлении на стороне низкого напряжения
- После этого, напряжение было подано снова, в результате чего произошло автоматическое выключение (Сработала система защиты трансформатора!)
- Было решено произвести диагностическое тестирование



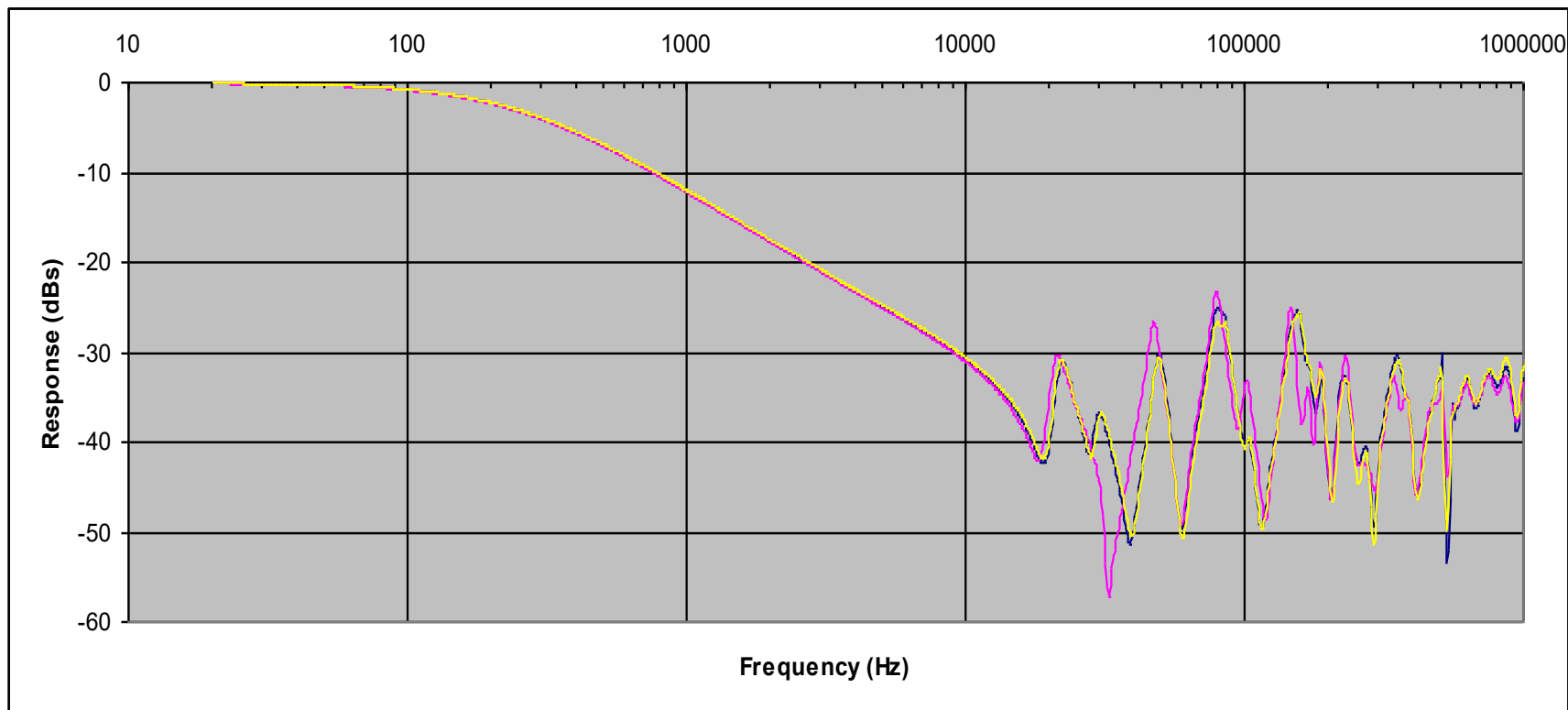
# Сравнение по конструкции – после обнаружения подозреваемой неисправности



- Высокое напряжение-0, низкое напряжение разомкнутое
- Фазы А и С – в порядке, большие отклонения в фазе В (короткозамкнутый виток?)



# Сравнение по конструкции – после обнаружения подозреваемой неисправности



- Высокое напряжение-0 (Низкое напряжение короткозамкнуто)
- Фазы А и С – в порядке, отклонения в фазе В



# Как же выглядят внутренности...?



Изоляционный цилиндр



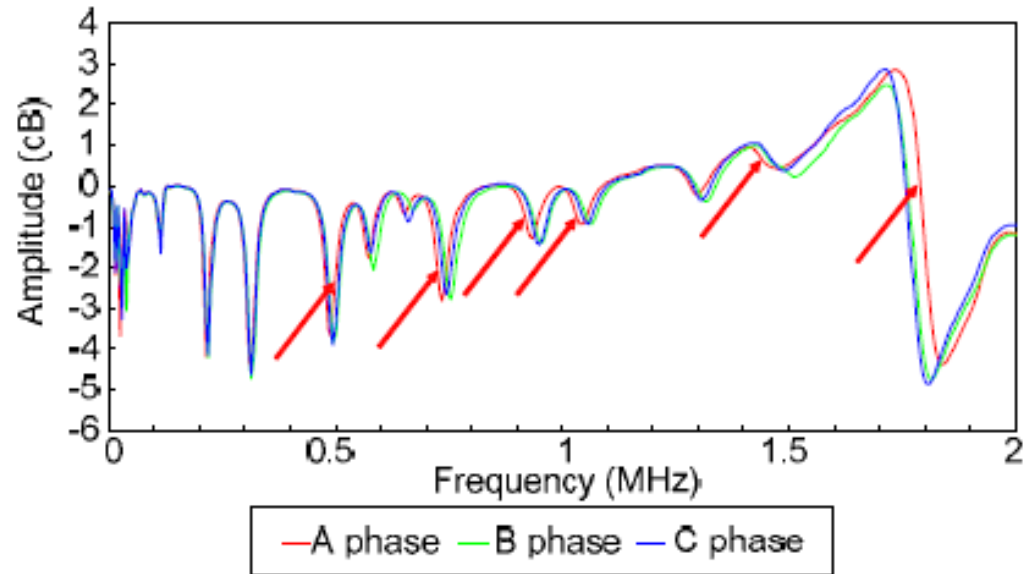
Блок сердечника



Обмотка низкого напряжения

2  
Республика  
Новосибирск  
Вост. пр.  
Алтайский  
ТЭЦ №1

# Пример: Полегание проводников



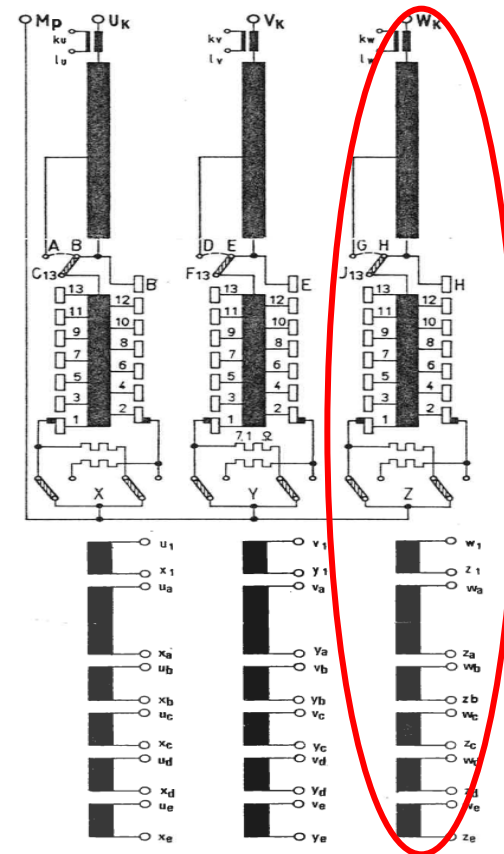
Source Cigre Brochure 342

# Сигре WG Встреча А2.53 Краков SFRA: Два дефекта, обнаруженные с помощью FRA

# Пример 1 - „потеря радиальной устойчивости“:

- Данные трансформатора:
- Рейтинг: 60 МВА
- Год производства: 1984

Тар	V prim	V sec	I prim	I sec	Uk%
1	264.500		137		8.8
14	230.000	34.500	158	1052	8.3
27	195.500		186		7.9



# Пример 1 - „ потеря радиальной устойчивости“:

- Pictures: Buckling of LV-winding phase „W“



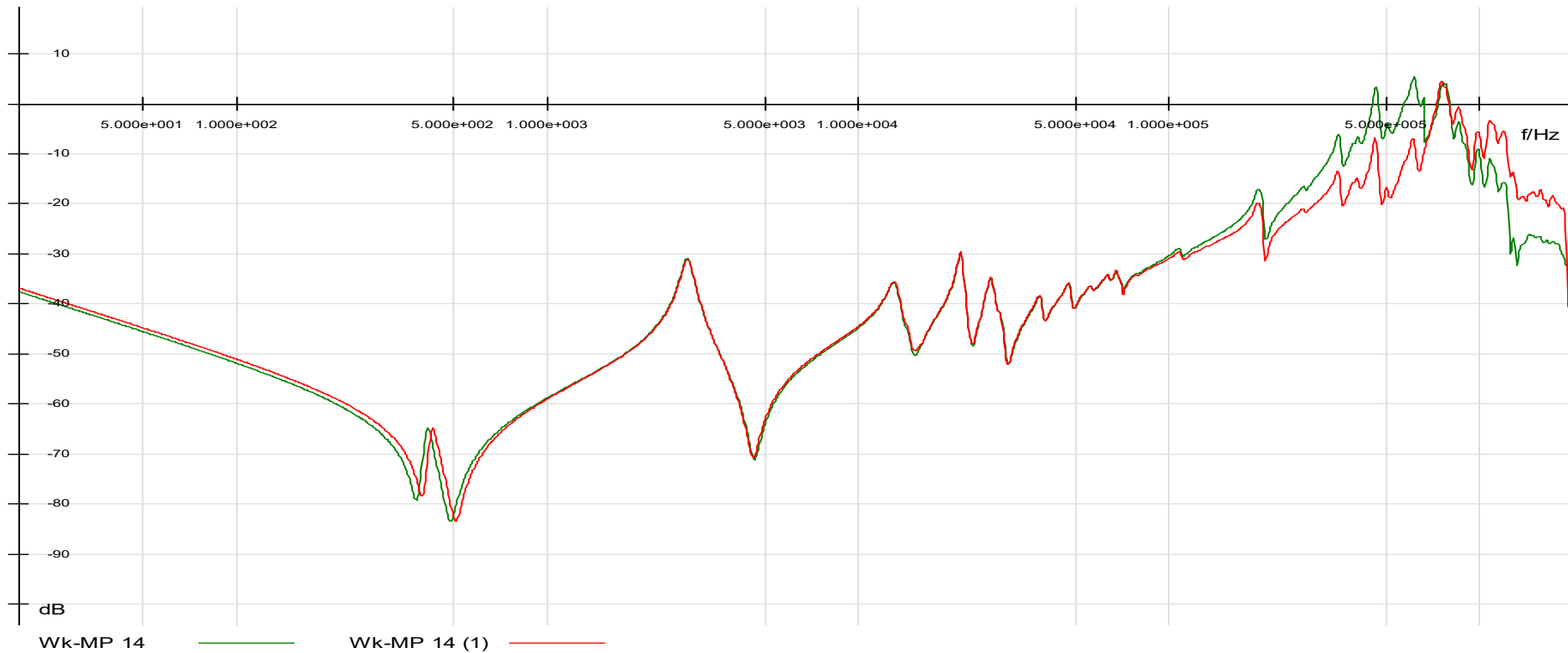
Fig 5. „buckling“ of LV-winding phase „W“



Fig 6. failure area , conductors „A“ and „D“ , second turn, inner layer

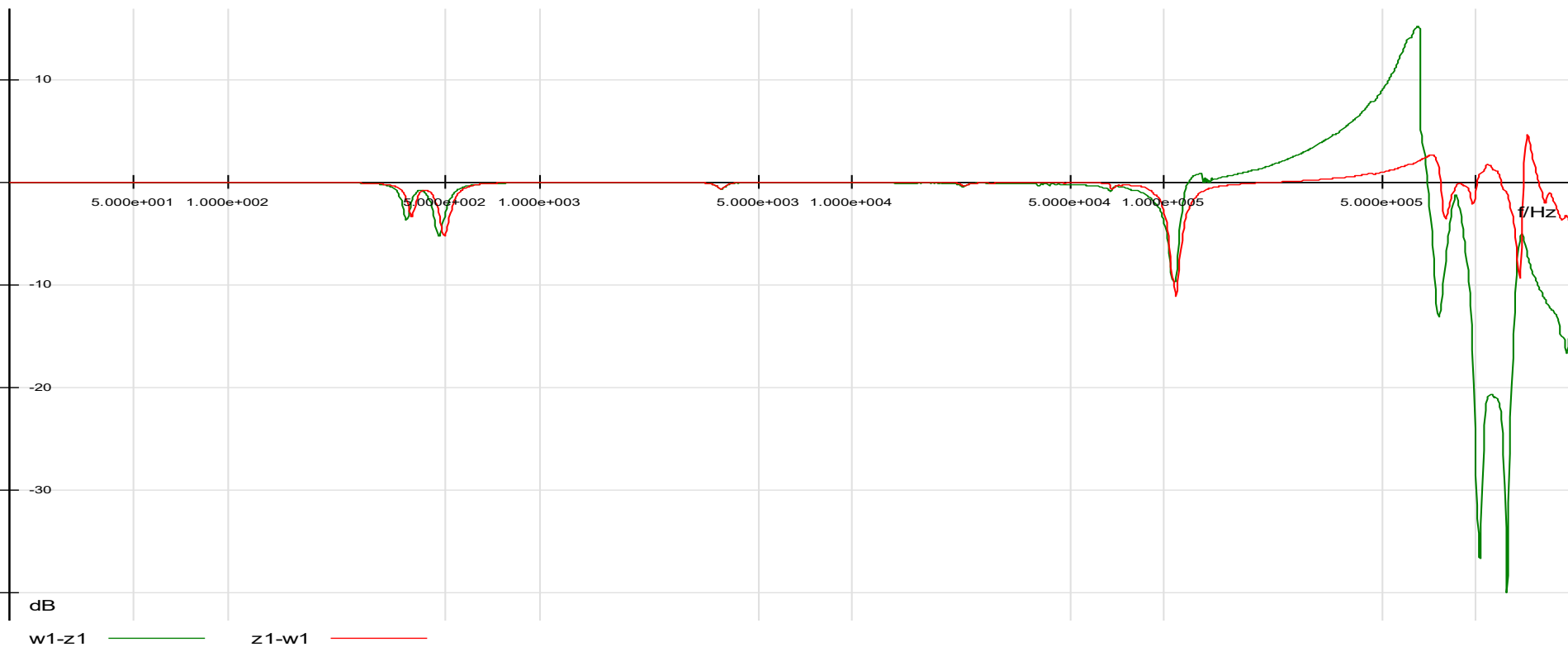


# Пример 1 - „ потеря радиальной устойчивости“:

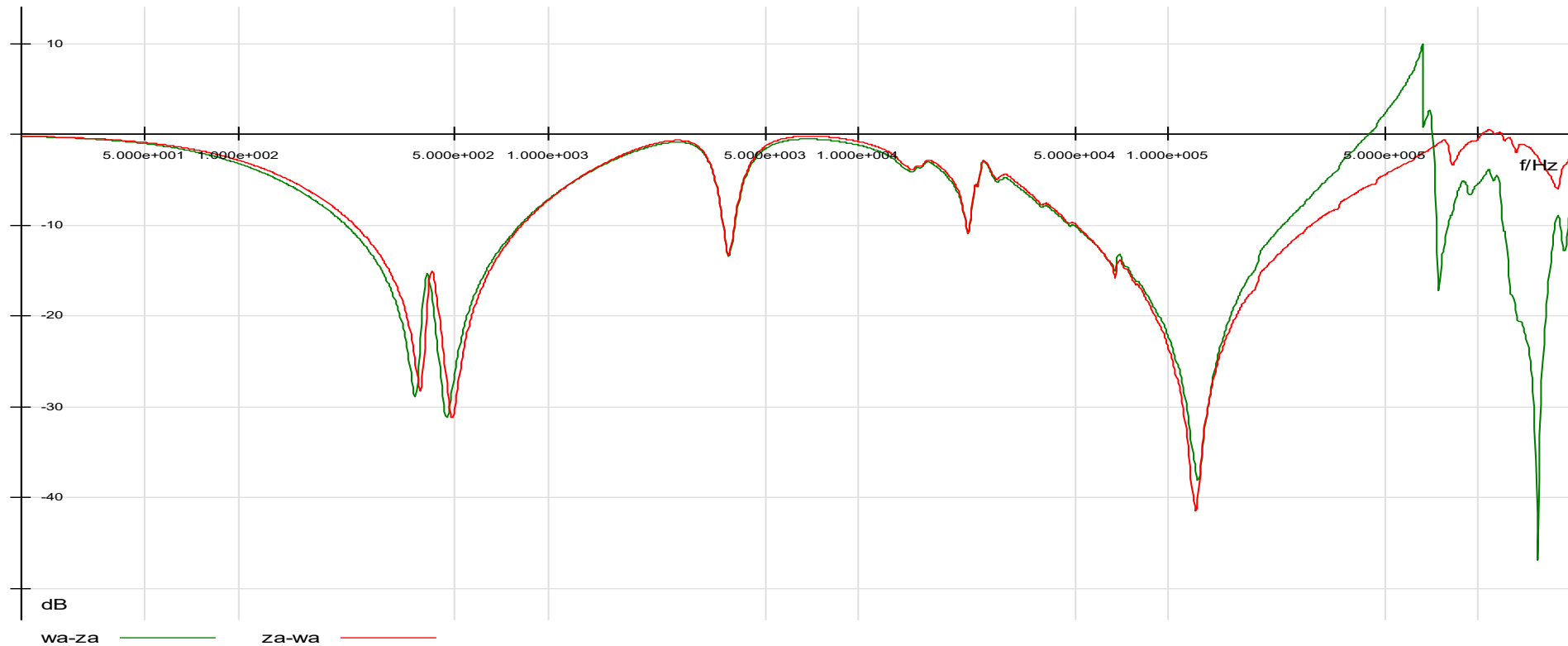




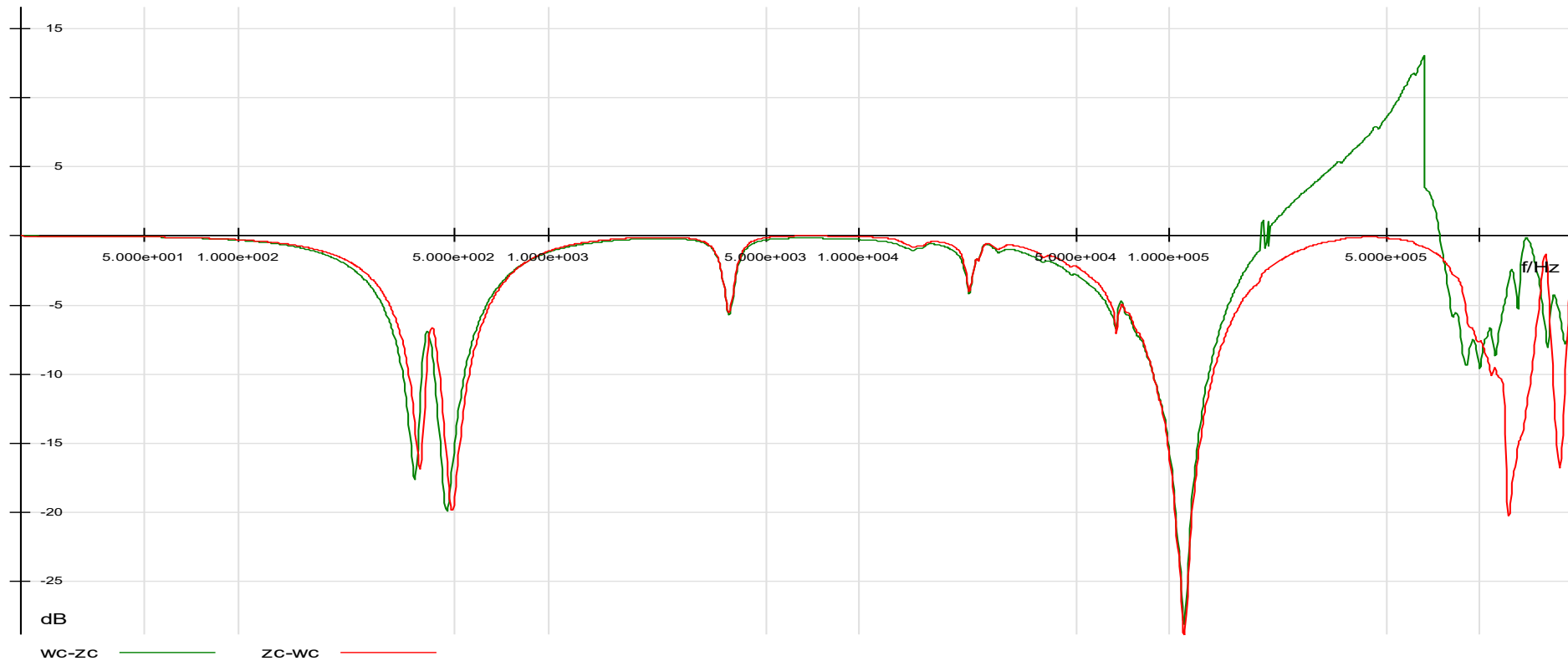
# Пример 1 - „потеря радиальной устойчивости“:



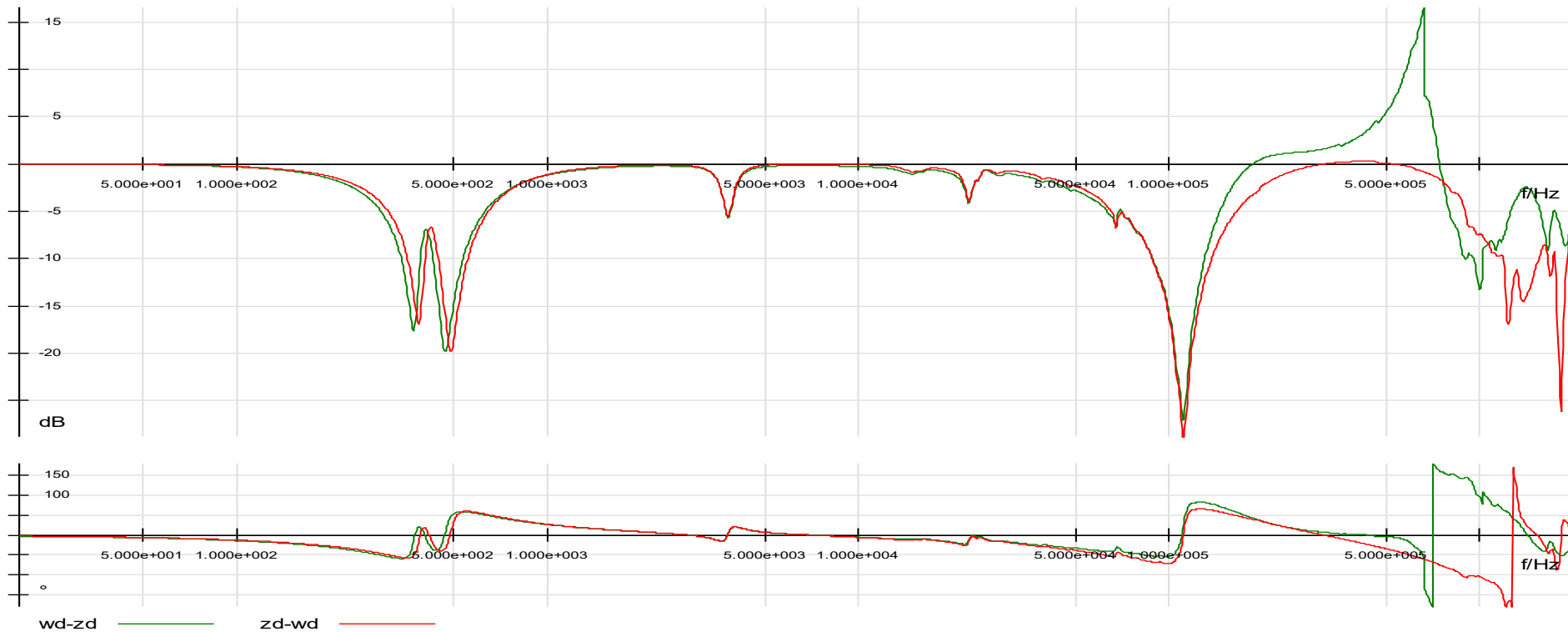
# Пример 1 - „потеря радиальной устойчивости“:



# Пример 1 - „ потеря радиальной устойчивости“:



# Пример 1 - „ потеря радиальной устойчивости“:



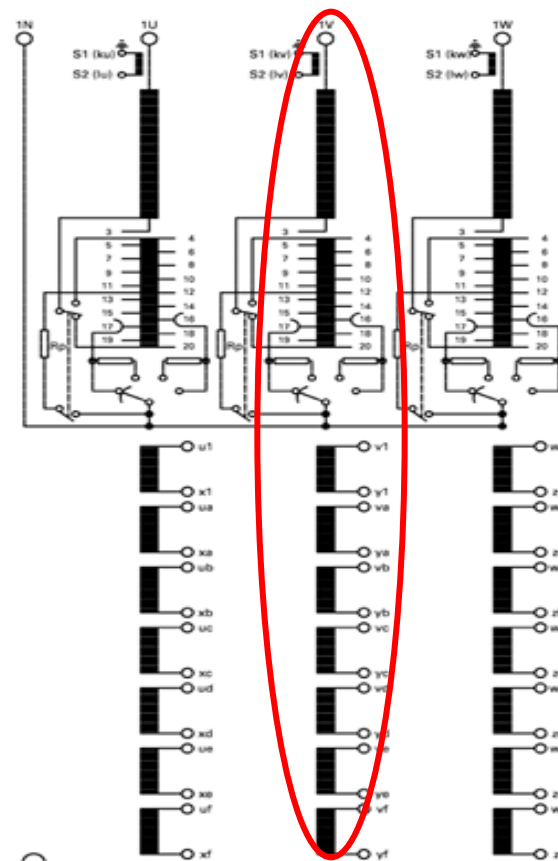
# Пример 2 - "Скручивание"

- **Данные трансформатора:**

- **Рейтинг: 60 МВА**

- **Год выпуска: (1984) 2010**

Тар	V prim	V sec	I prim	I sec	Uk%
1	264.500		137		8.8
14	230.000	34.500	158	1052	8.3
27	195.500		186		7.9



## Пример 2 - "Скручивание"

- Measurement set-up I&C „ro



- Measurement set-up after fa



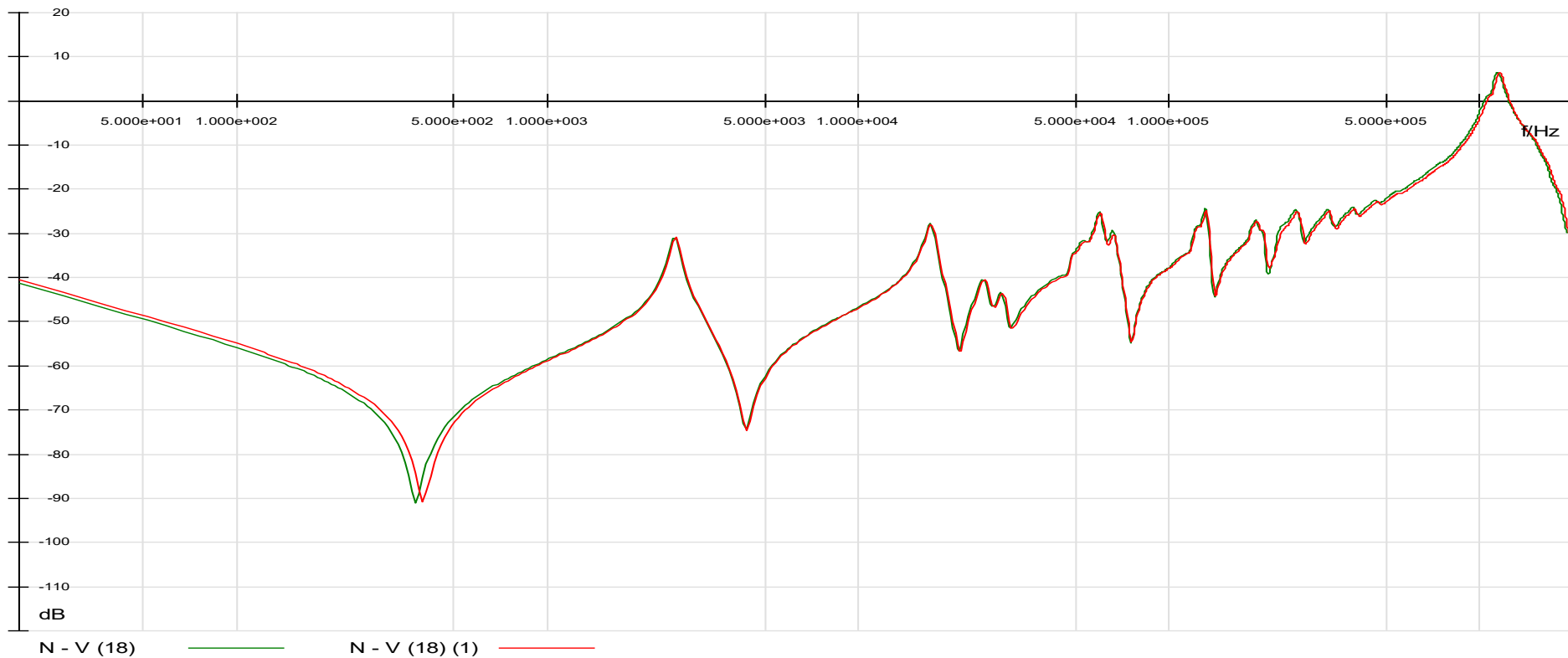
windings not  
under test are  
**open** and  
**ungrounded**

# Пример 2 - "Скручивание"

- Pictures:



# Пример 2 - "Скручивание"





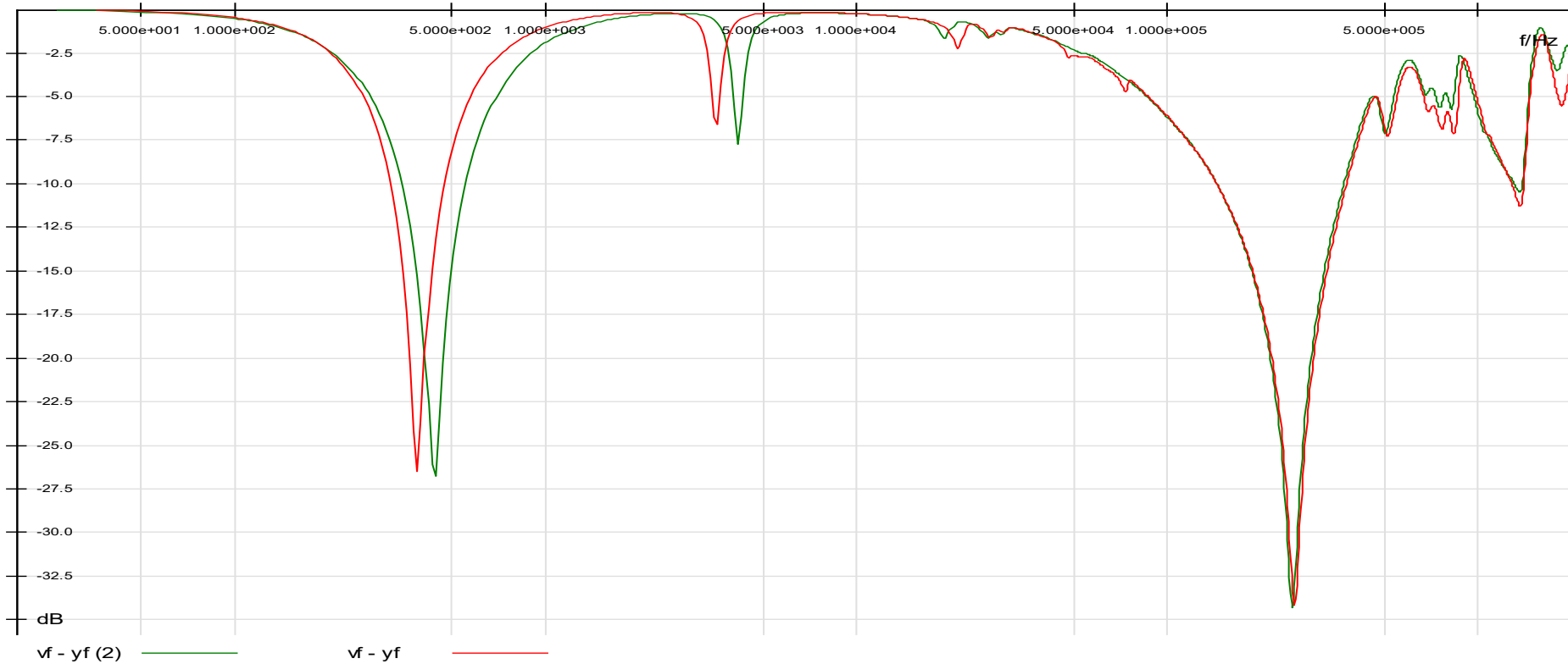
# Пример 2 - "Скручивание"



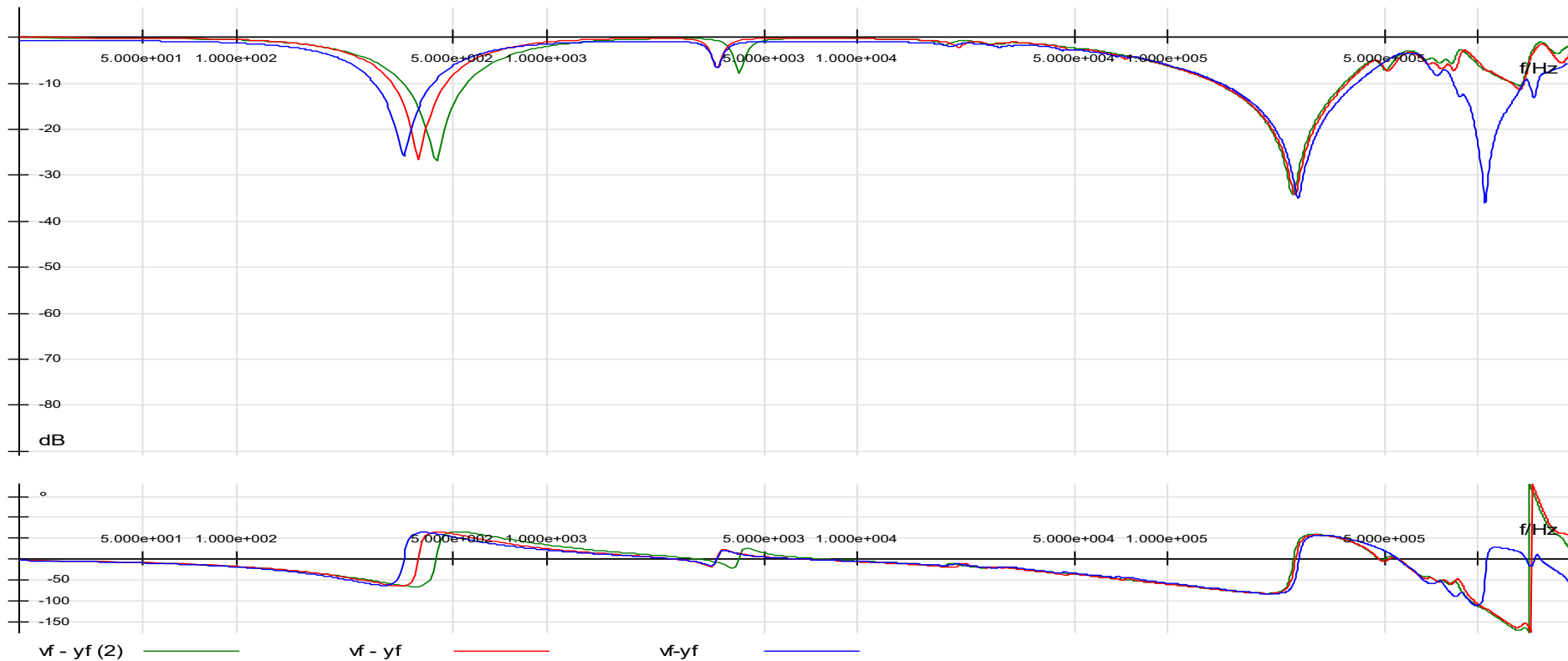
# Пример 2 - "Скручивание"



# Пример 2 - "Скручивание"



# Пример 2 - "Скручивание"



## Пример 1

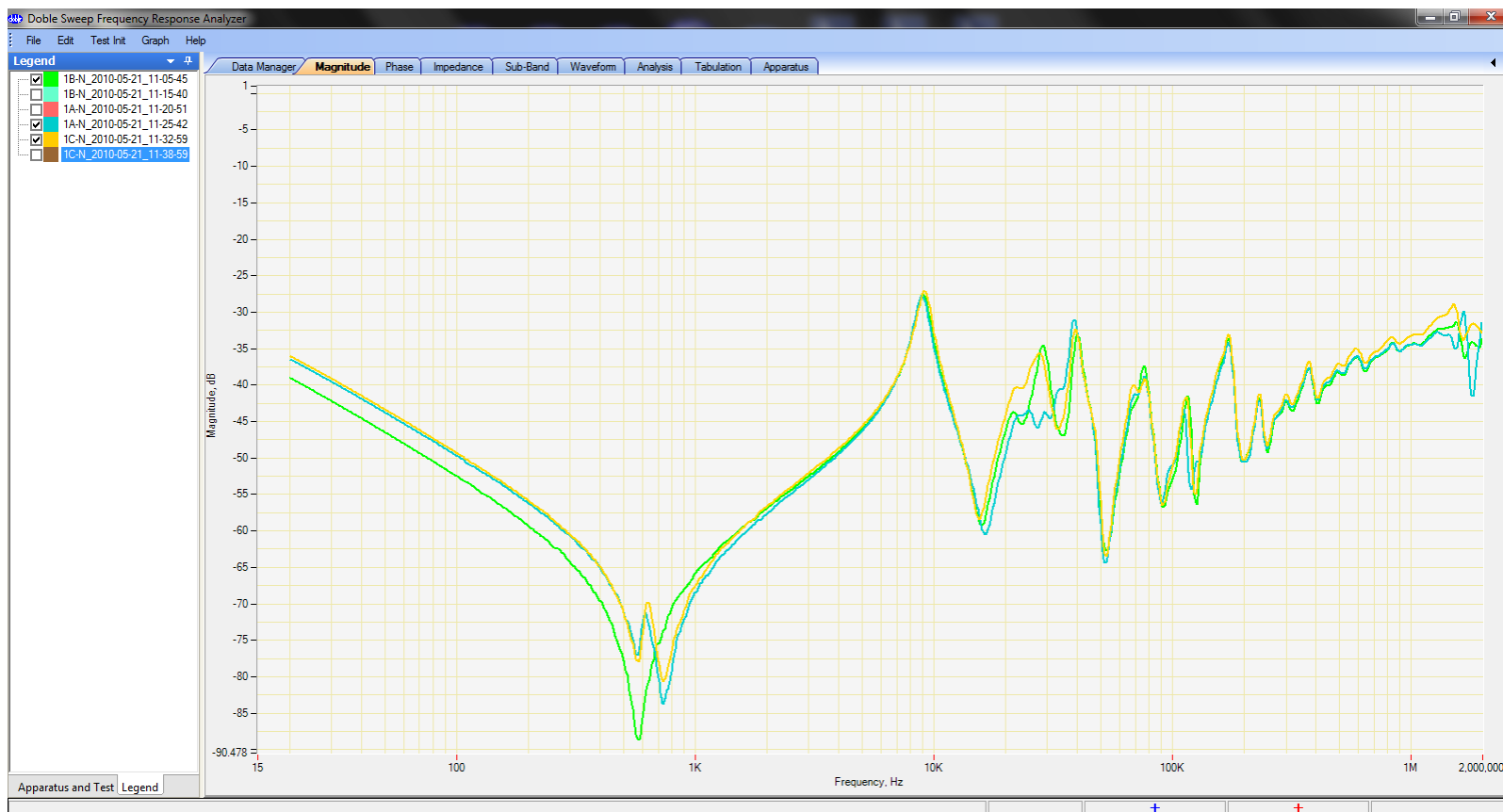
Незначительное движение отводов

## Незначительное движение отводов

60MVA 132/33кВ трансформатор, векторная группа: YNd1.

В 2010, в результате дугового дефекта в избирателе РПН фазы А стороны ВН, контакт был нарушен. После восстановления проблемы, трансформатор был проанализирован с помощью прибора SFRA. Трансформатор был протестирован с открытым избирателем, что позволило провести дополнительные тесты только на регулирующей обмотке. Результаты тестов и оценки указали на деформации в обмотках.

# ВН положение 1 без закоротки



# ВН положение 19 без закоротки





# ВН положение 1, коротка на НН



# ВН положение 19, закоротка на НН



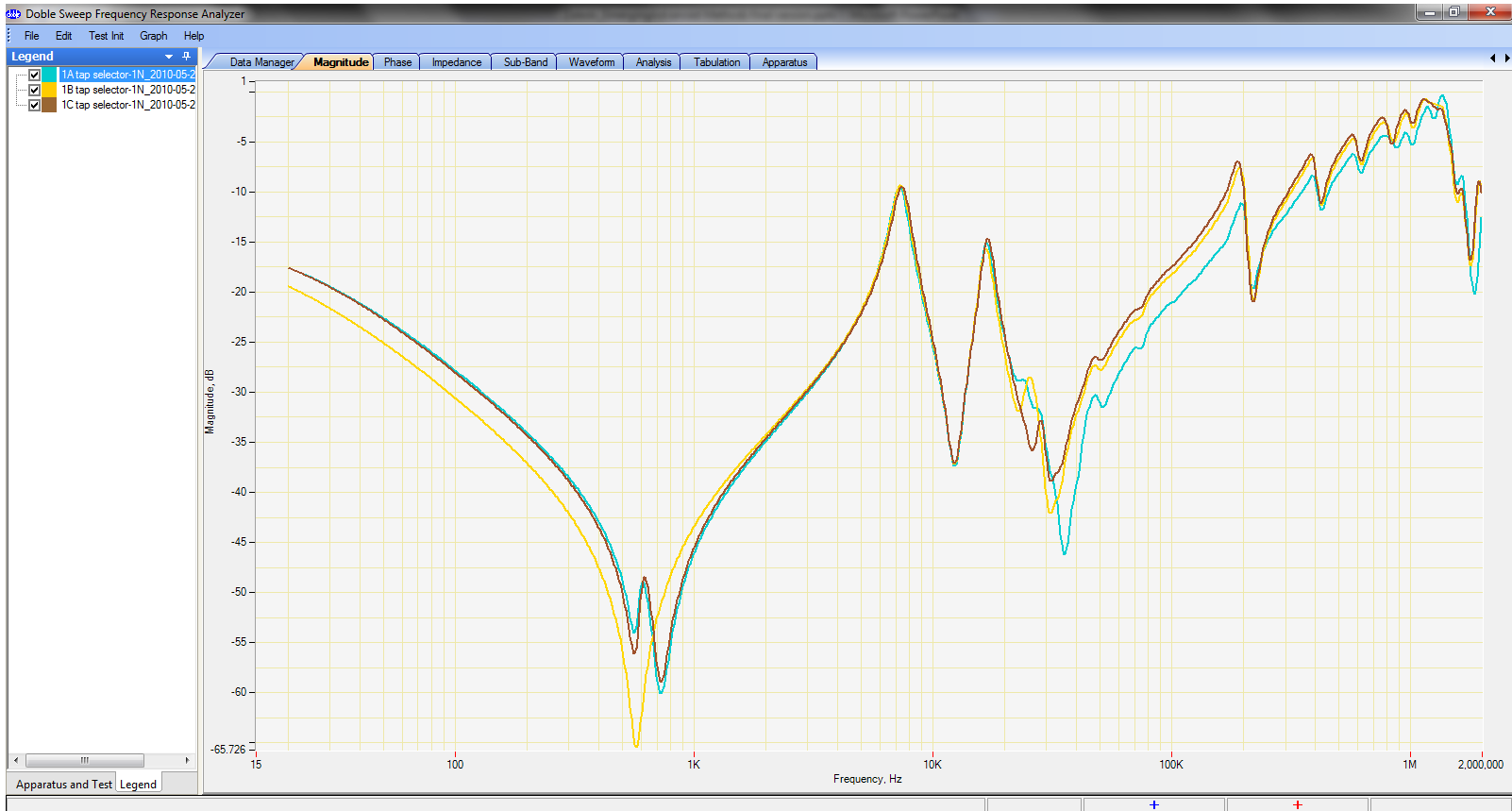
# НН положение 1



# Индуктивная, межобмоточная схема



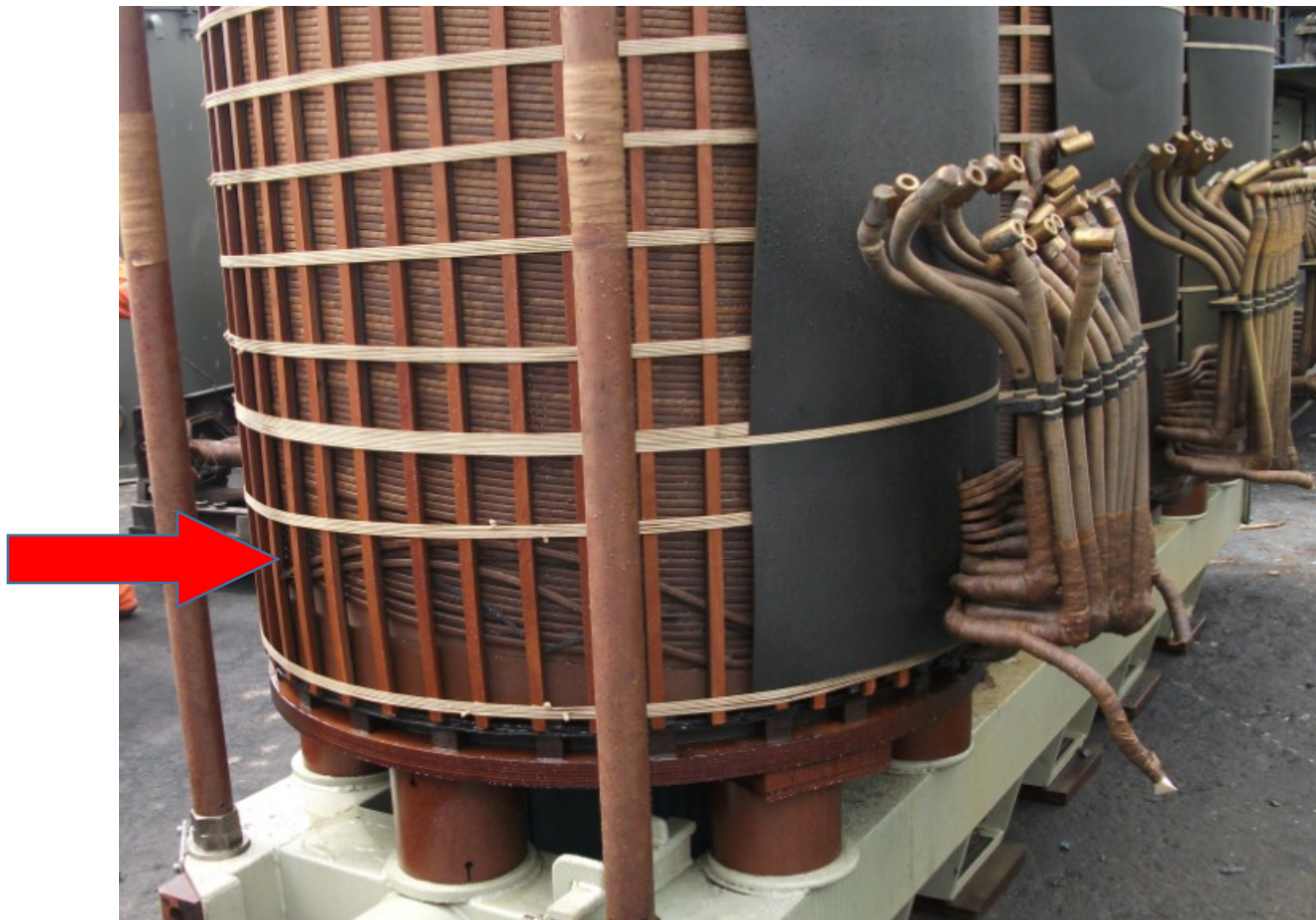
# Контакты избирателя – положения 1 - 19



# Разборка



# Разборка



# Разборка





# Разборка



# Разборка



CASE 2:

Потеря радиальной устойчивости

# Потеря радиальной устойчивости

Данные трансформатора:

- 375/750MVA ONAN/ODAF
- 400/275/13кВ автотрансформатор
- Без регулирования
- Построен 1966
- Деградация по результатам ХАРГ
- Выведен из эксплуатации для диагностики

# Потеря радиальной устойчивости



# Потеря радиальной устойчивости

T4673			
	A phase	B phase	C phase
Main windings to earth, CH	4,405 pF 0.51 %	3,634 pF 0.56 %	4,294 pF 0.52 %
Main windings to tertiary, CHT	8,786 pF 0.55 %	8,711 pF 0.56 %	8,525 pF 0.56 %
Tertiary winding to earth, CT	17,924 pF 0.52 %		

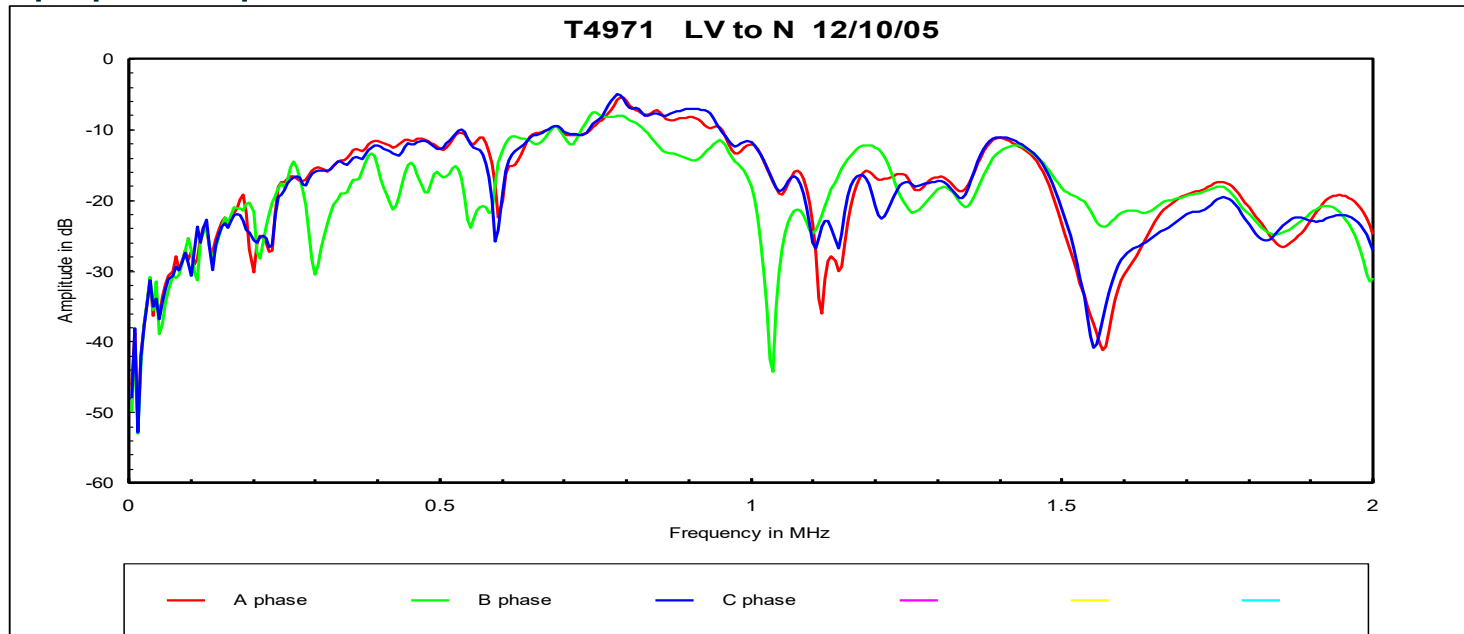
Трансформато  
р- аналог

Трансформатор под  
подозрением

T4971			
	A phase	B phase	C phase
Main windings to earth, CH	4,246 pF 0.75 %	3,368 pF 0.51 %	4,273 pF 0.62 %
Main windings to tertiary, CHT	8,277 pF 0.42 %	<b>5,775 pF</b> <del>1.91 %</del>	9,030 pF 0.54 %
Tertiary winding to earth, CT	<b>20,668 pF</b> 0.46 %		

# Потеря радиальной устойчивости

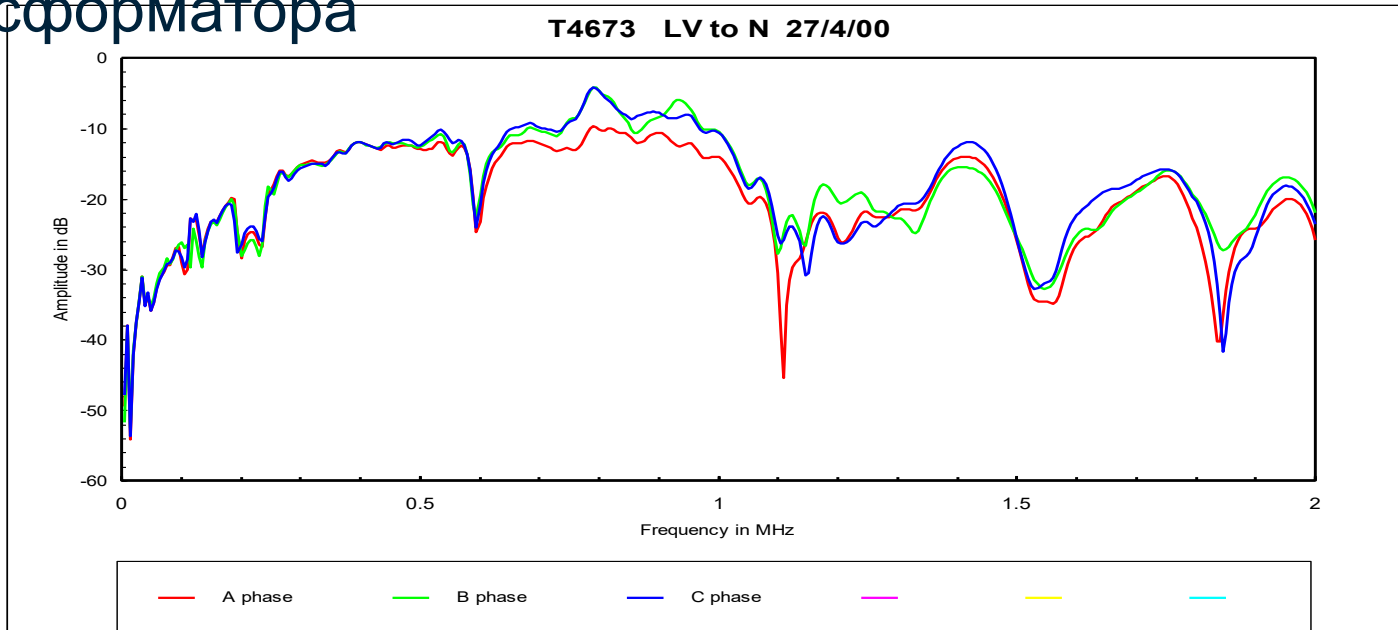
Результаты SFRA с обмоток одного типа на проблемном трансформаторе



Фаза В имеет очевидные отклонения

# Потеря радиальной устойчивости

Результаты SFRA с обмоток аналогичного трансформатора





# Потеря радиальной устойчивости

Внутренняя инспекция – разрушена прессующая платформа



# Потеря радиальной устойчивости

Внутренняя инспекция – разрушена прессующая платформа



Потеря радиальной устойчивости

Разборка – деформация обмоток



Пример 3:  
Осевой дефект

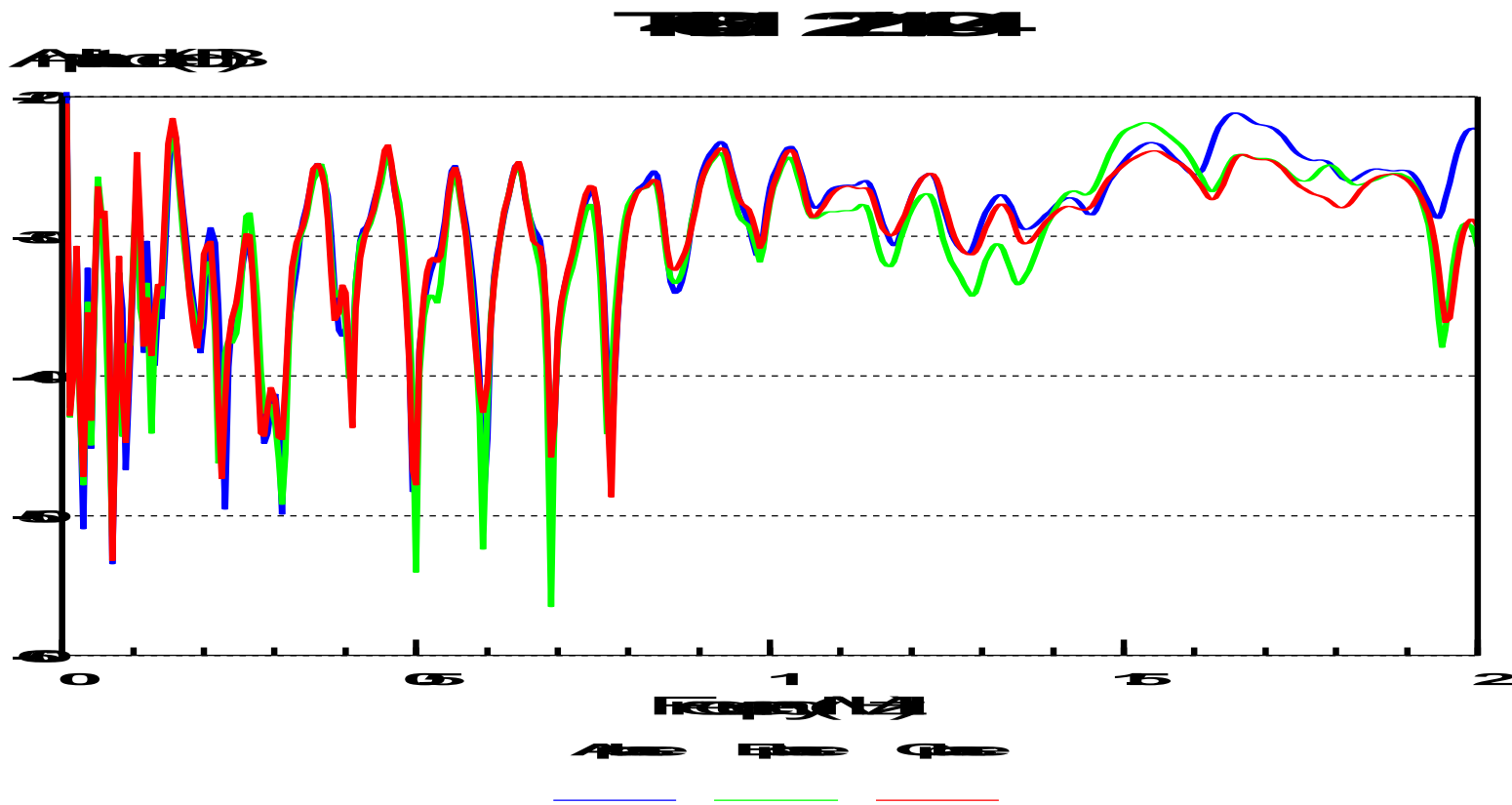
# Осевой дефект

## Начальные симптомы

- 35-летний 400/132 kV 240 МВА авто-трансформатор
- Сигнал с Реле Бухгольца
- Трансформатор выведен для диагностики
- Анализ газов из Реле и масла в главном баке показал серьезный дефект
- Нет серьёзных дефектов в Сети
- Трансформатор работает под нагрузкой в 80%

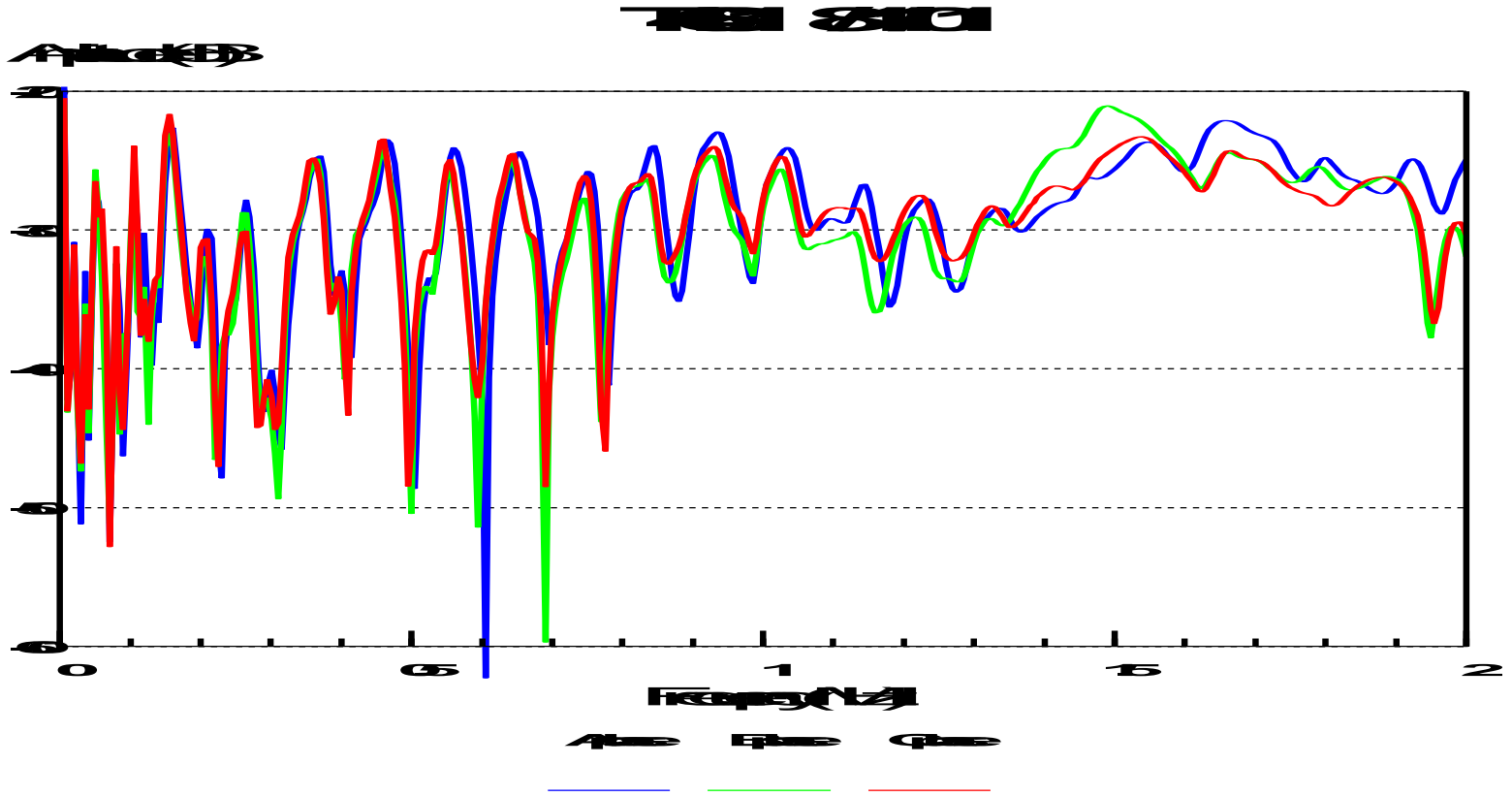
# Осевой дефект

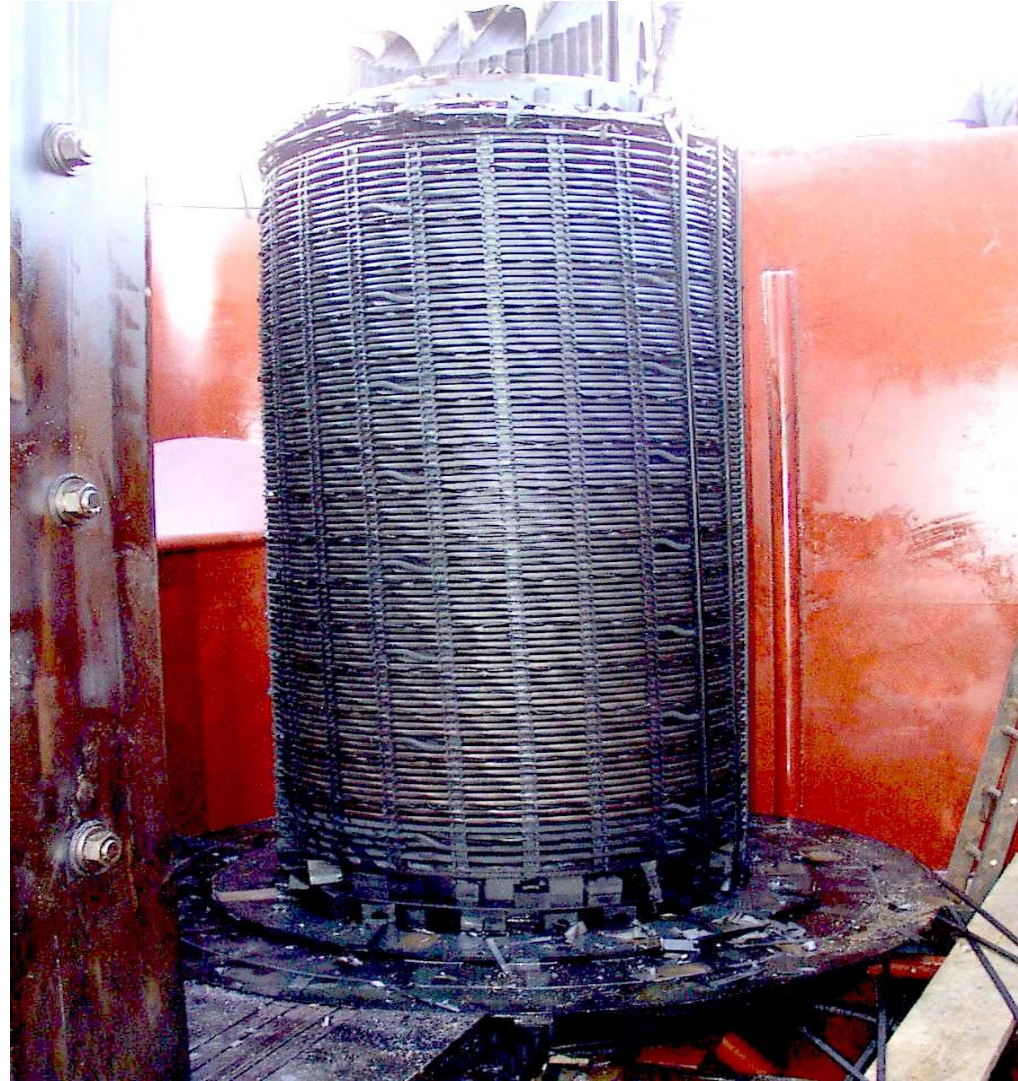
## FRA в 1994



Осевой дефект

FRA after Buchholz alarm





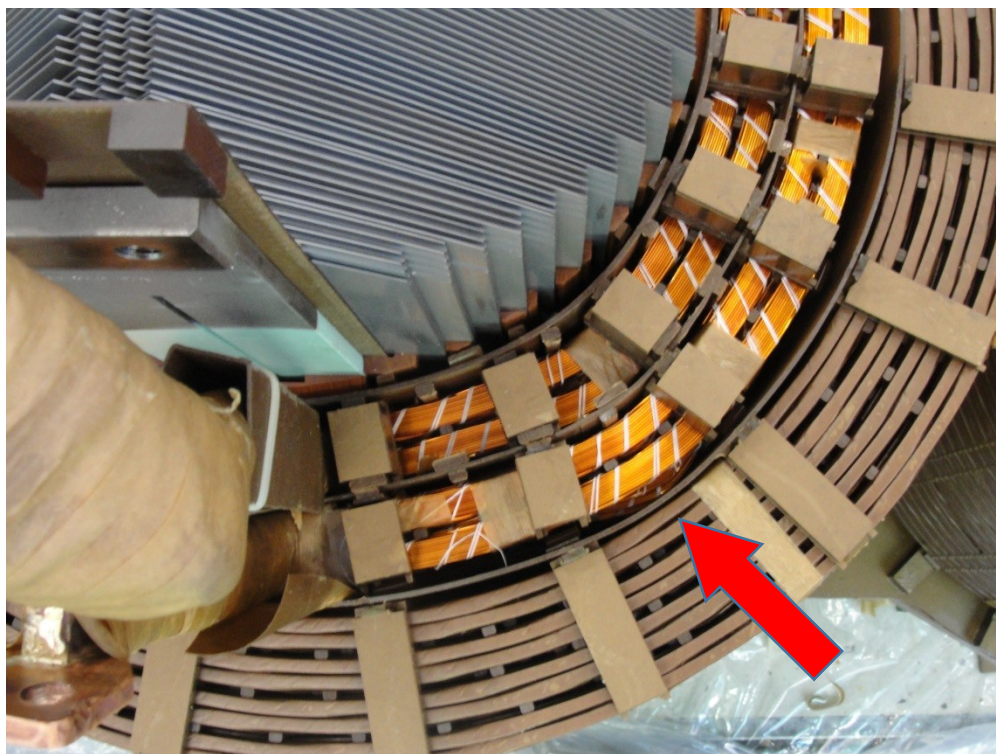


Пример 5:  
Прогиб НН обмотки

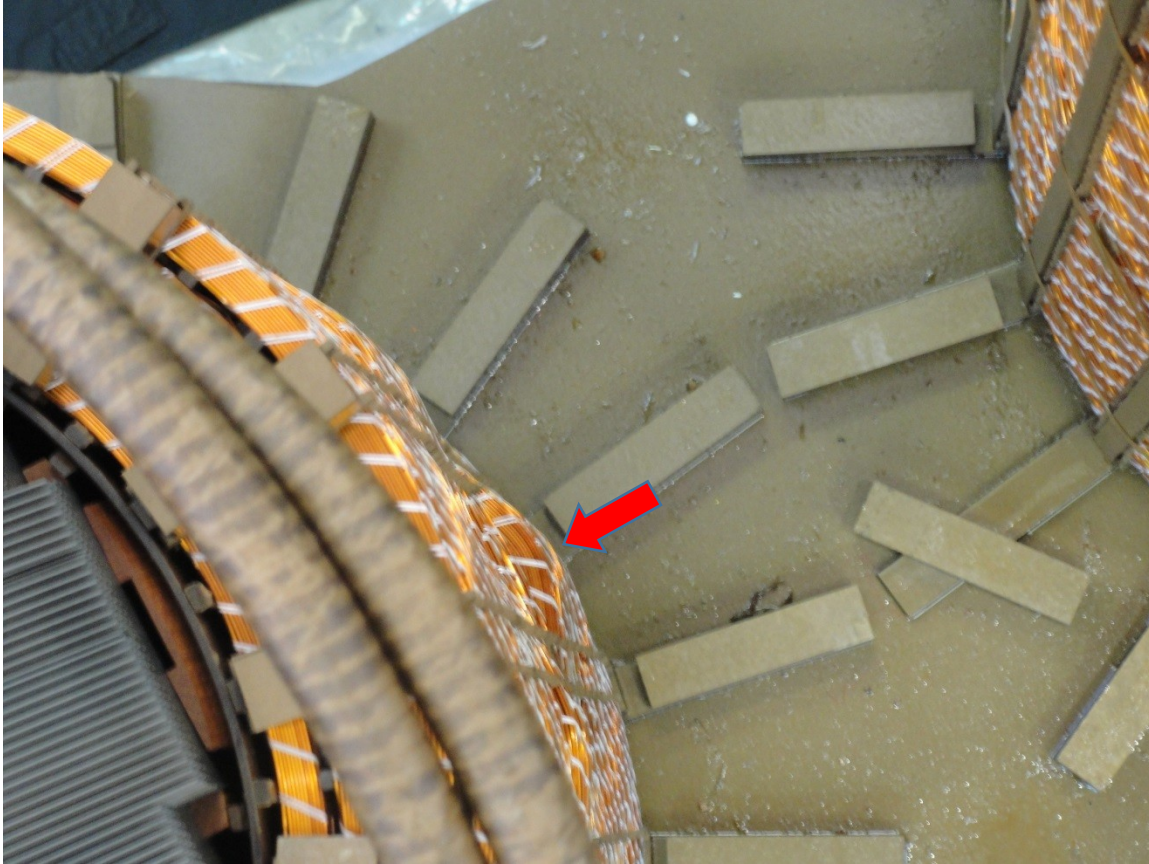
25MVA, 33/11кВ

Фаза В обмотки НН  
деформирована в  
результате короткого  
замыкания

Доступны два  
аналогичных  
трансформатора

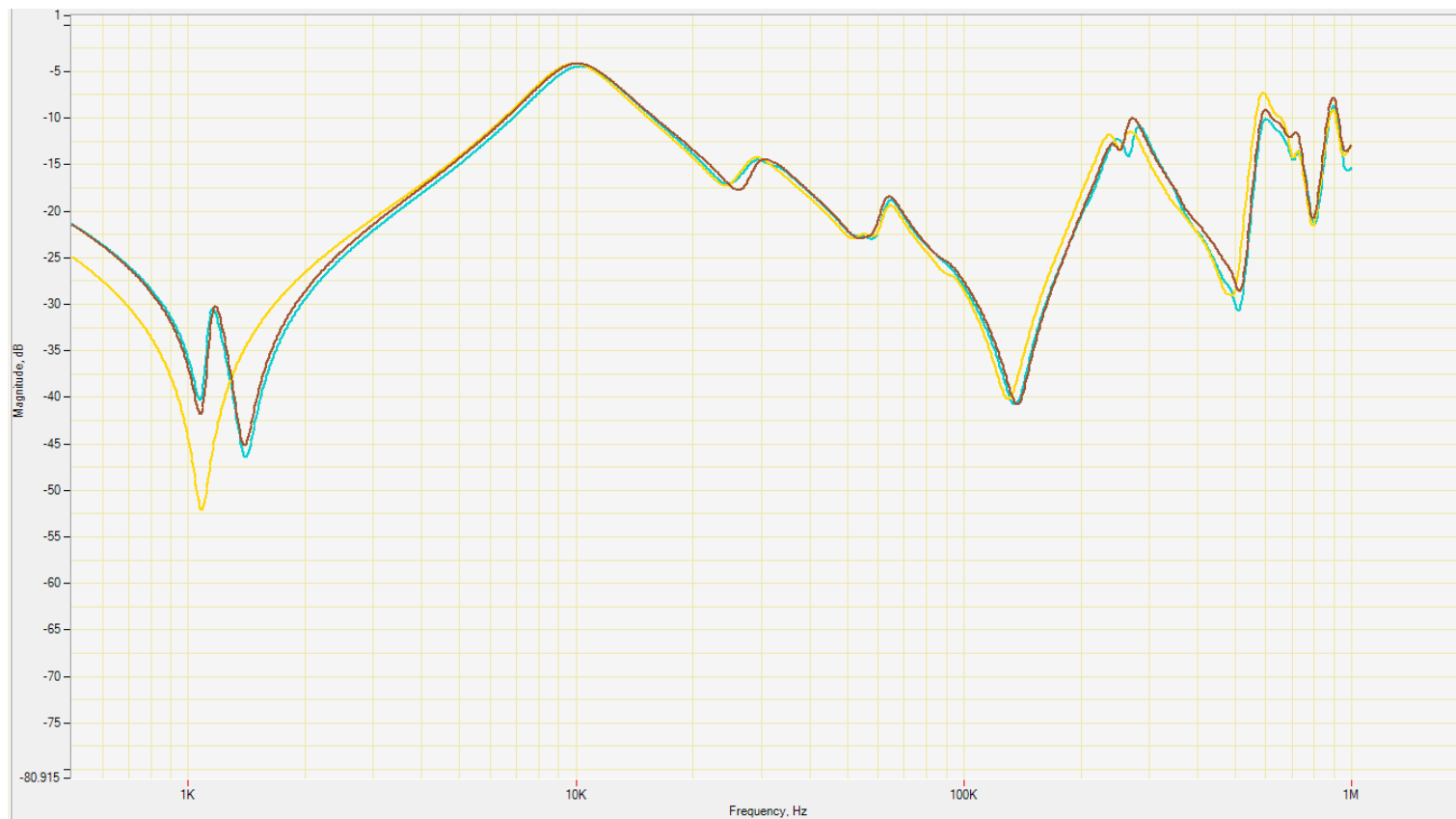




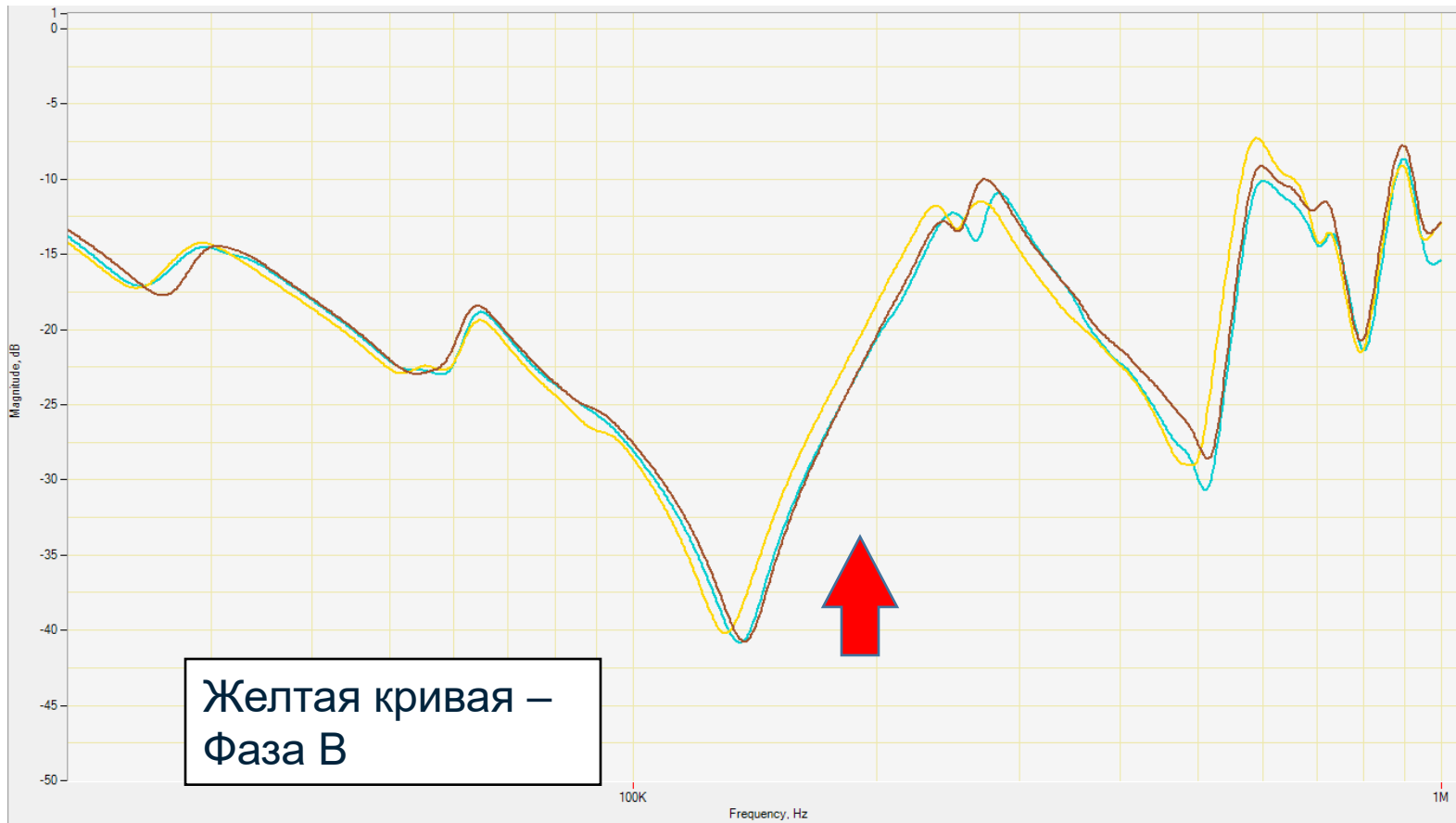




# Три фазы стороны НН



# Три фазы стороны НН – Увеличение зоны СЧ



а – н, Сравнение 3 одноступенчатых трансформаторов





## б – н, Сравнение 3 однотипных трансформаторов



Пример 6:  
Закороченные витки

750MVA, 380/230/13.8кВ автотрансформатор YNay0d11  
Сбой в работе. Результаты наиболее вероятно указывают на  
дефекты с закороченными витками.  
Требуется перепроверка данных FRA традиционными  
методами измерений



Спасибо за внимание!

**tFRA.ru**

**Весна 2018** – *тренинг для МРСК (Северо-Запад), теория + практика измерений*

Сергей Дробышевский

8 (925) 730 03 65, [sergey.drob@gmail.com](mailto:sergey.drob@gmail.com)