



МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
**УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ  
ЭНЕРГИИ**



ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский горный университет

## **ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ВКЛАДА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В ИСКАЖЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ**

Скамьин Александр Николаевич, к.т.н., доцент

Москва, 2020

## Актуальность проблемы



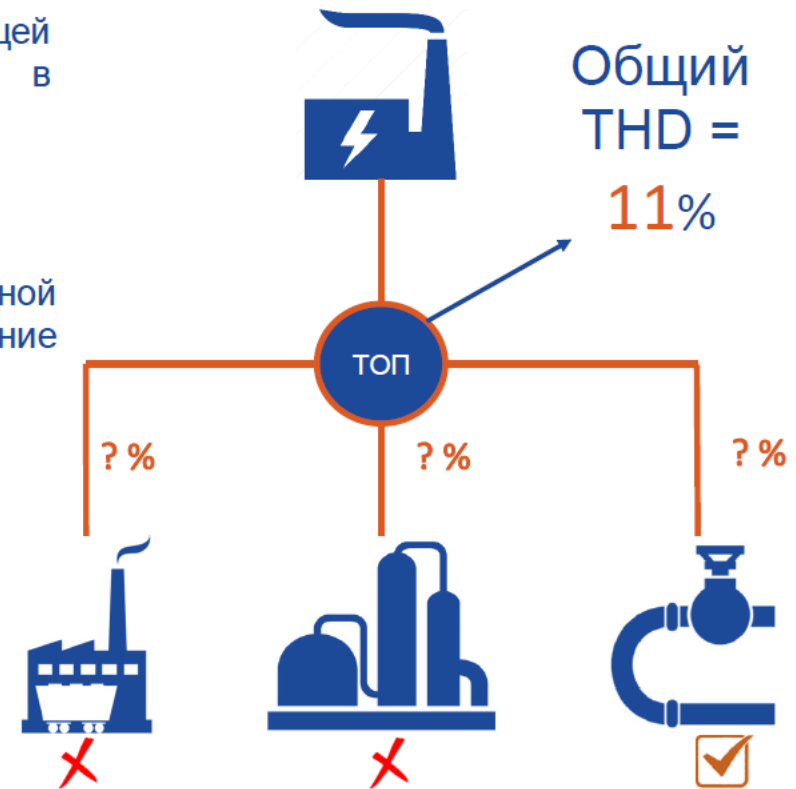
Отсутствие документации, регламентирующей алгоритм расчета влияния потребителя в несинусоидальность сигнала



Отсутствие возможности введения полноценной рабочей системы штрафов и санкций за нарушение показателей качества электроэнергии



Бездействие потребителей по отношению к снижению влияния искажения синусоидальности



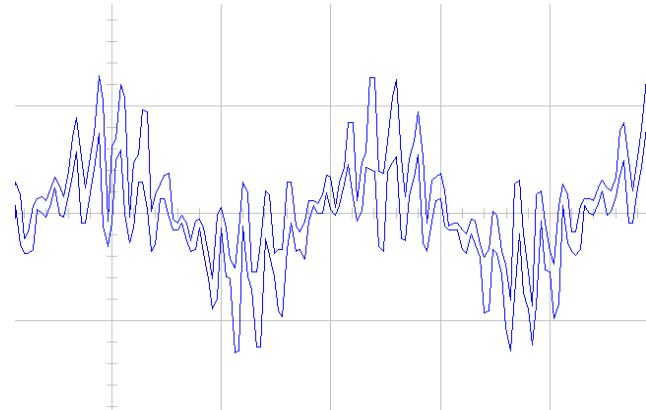
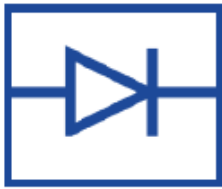
## Постановка задачи

Существуют способы и методы, основанные на:

- отключении нагрузки;
- построении зависимости полной мощности от ПКЭ;
- применении активных двухполюсников;
- анализе потока активных мощностей на ВГ и др.

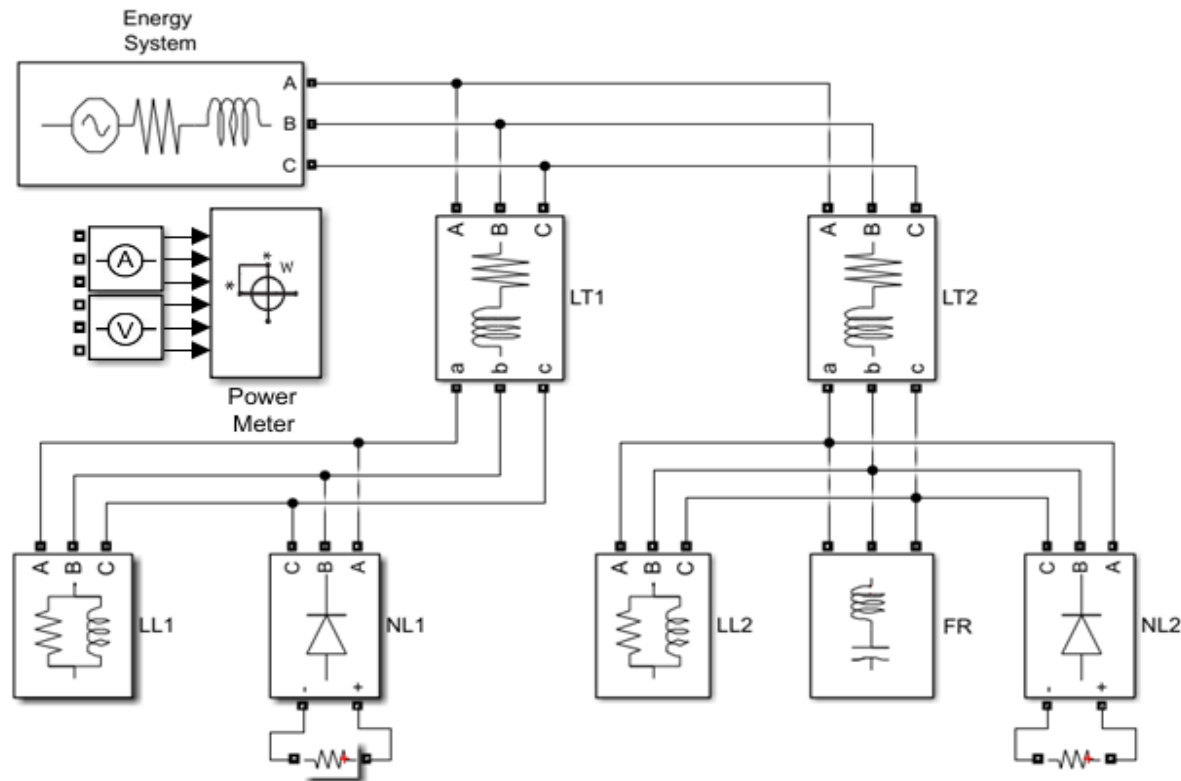


*отсутствует утвержденный  
и однозначный метод,  
позволяющий достоверно  
оценить вклад в общие ПКЭ*



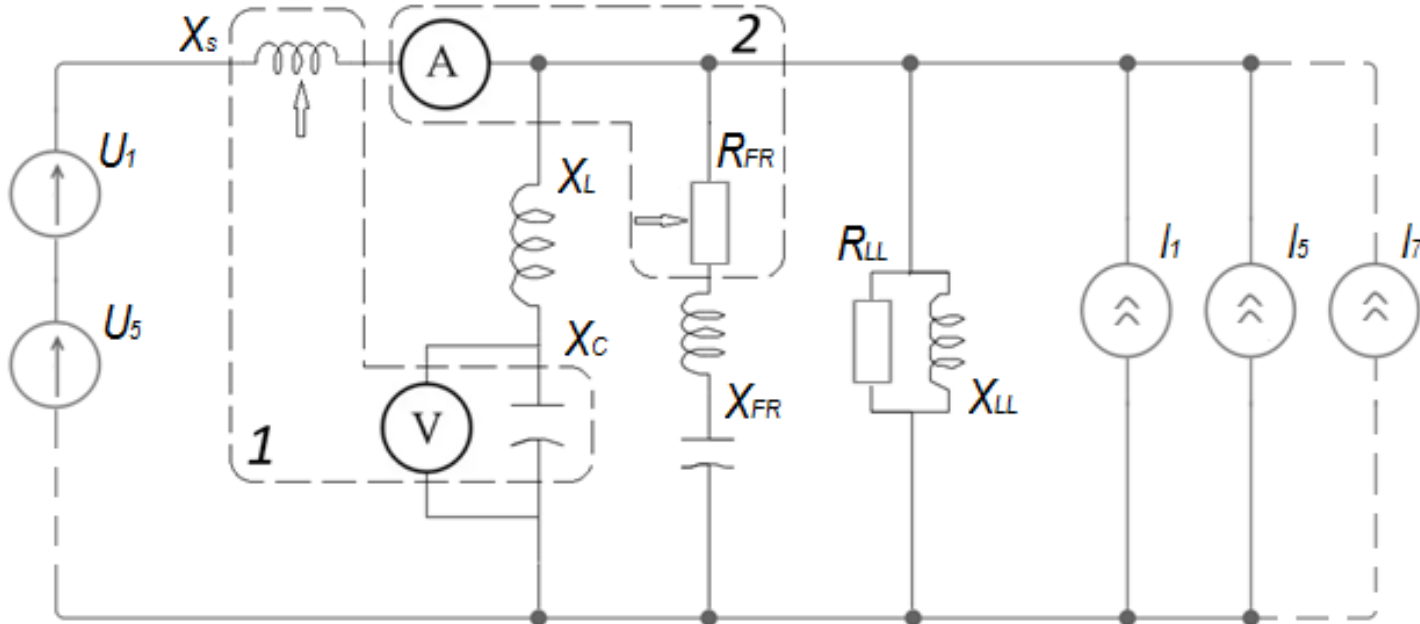
Необходимо оценить, возможно ли применение компенсирующих устройств в качестве индикаторов для определения доминирующего влияния/долевого вклада потребителей в показатели КЭ в ТОП

## Имитационная модель



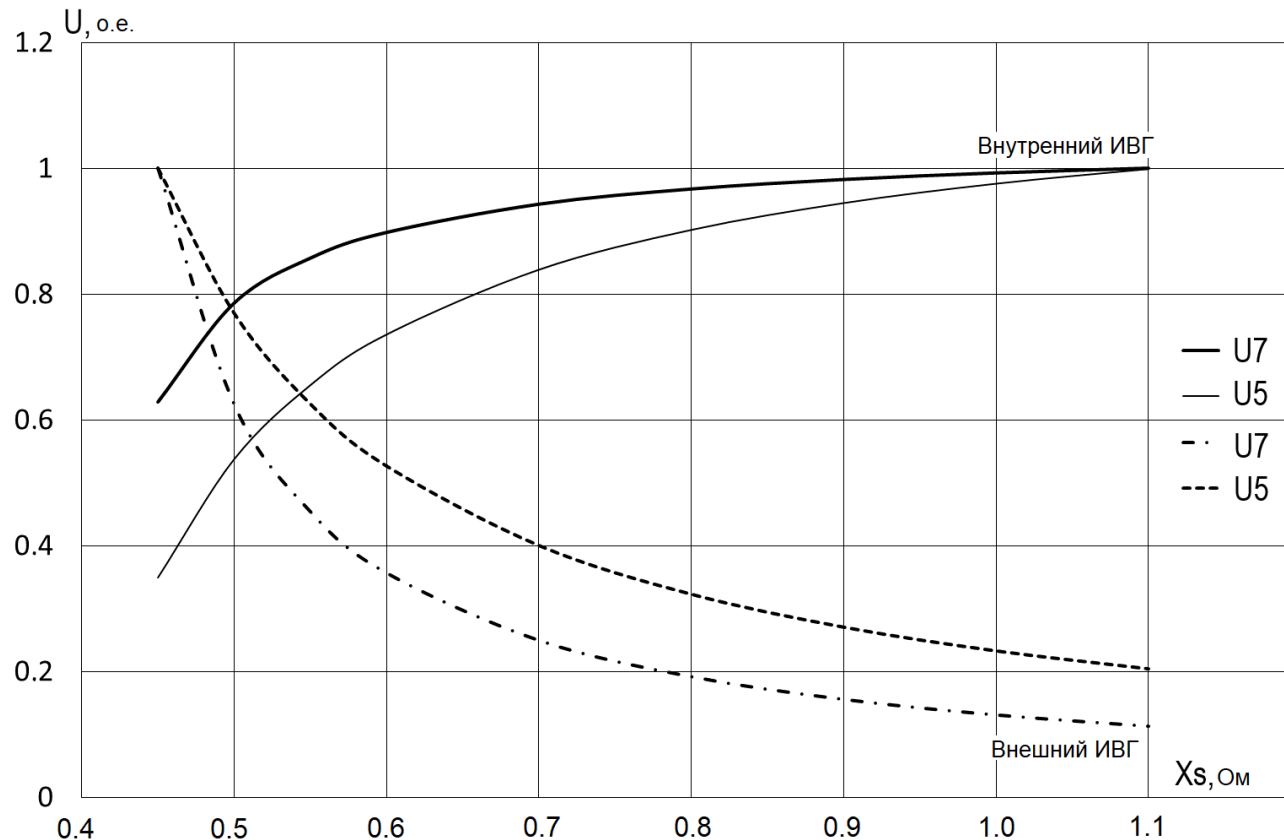
Энергосистема	$U_s = 6 \text{ кВ}, X_s = 0.435 \text{ Ом}$
ЛЭП 1	$l_1 = 1.5 \text{ км}, R_{01} = 0.125 \text{ Ом/км}, X_{01} = 0.077 \text{ Ом/км}$
ЛЭП 2	$l_2 = 3 \text{ км}, R_{02} = 0.253 \text{ Ом/км}, X_{02} = 0.09 \text{ Ом/км}$
Трансформатор 1	$S_{LT1} = 6.3 \text{ МВА}, \Delta P_{SC1} = 36 \text{ кВт}, U_{SC1} = 8\%$
Трансформатор 2	$S_{LT2} = 2.5 \text{ МВА}, \Delta P_{SC2} = 18.2 \text{ кВт}, U_{SC2} = 6\%$
Линейная нагрузка	$P_{LL1} = 2.7 \text{ МВт}, Q_{LL1} = 2 \text{ Мвар}, P_{LL2} = 1.3 \text{ МВт}, Q_{LL2} = 0.98 \text{ Мвар}$
Нелинейная нагрузка	$P_{NL1} = 2.7 \text{ МВт}, Q_{NL1} = 0.8 \text{ Мвар}, P_{NL2} = 1 \text{ МВт}, Q_{NL2} = 0.3 \text{ Мвар}$

## Электрическая схема для пояснения принципа



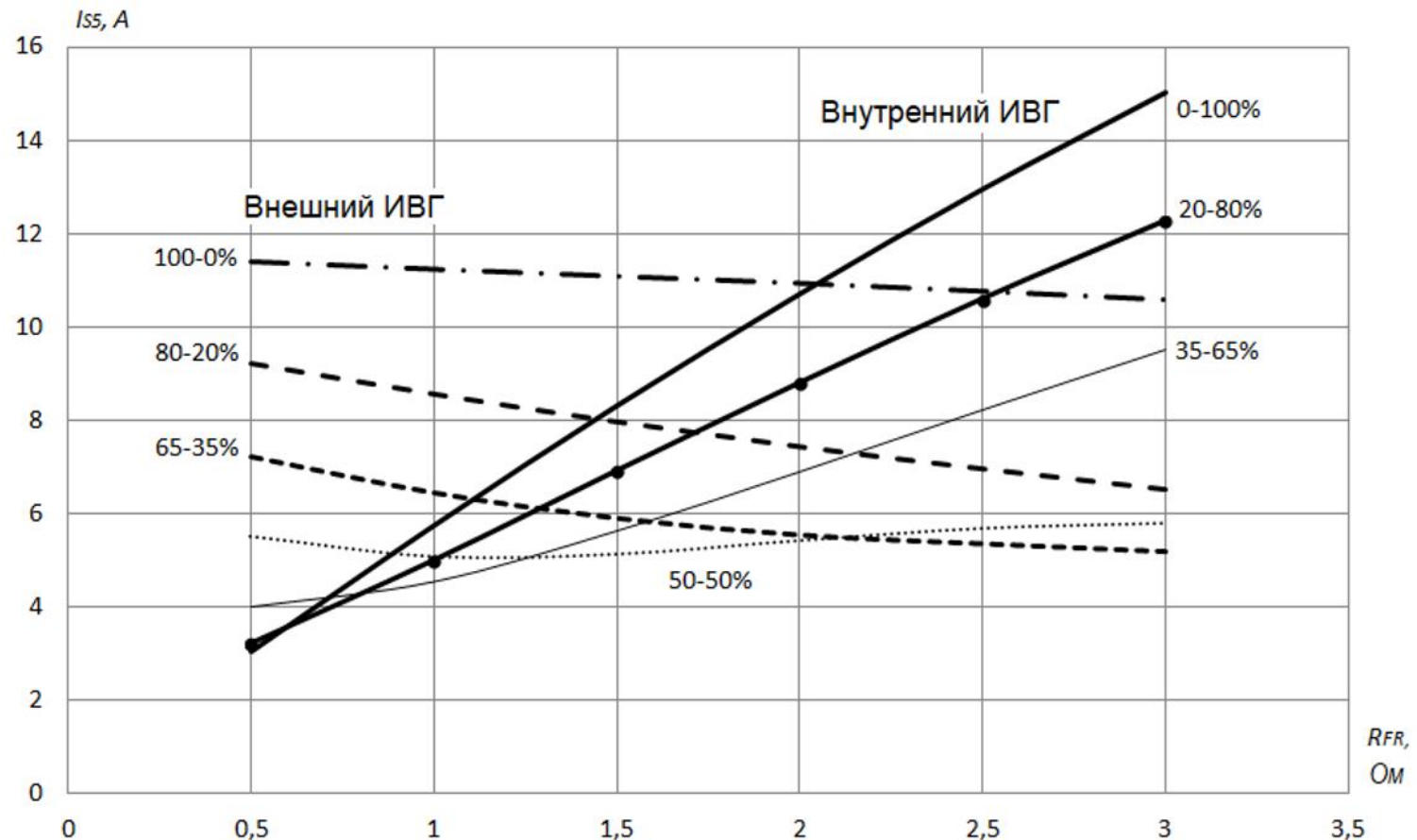
внешний ИВГ	КБ с антигарм-м реактором	пассивный фильтр ВГ	линейная нагрузка	внутренний ИВГ
-------------	---------------------------	---------------------	-------------------	----------------

## Зависимость напряжения на ВГ от сопротивления системы



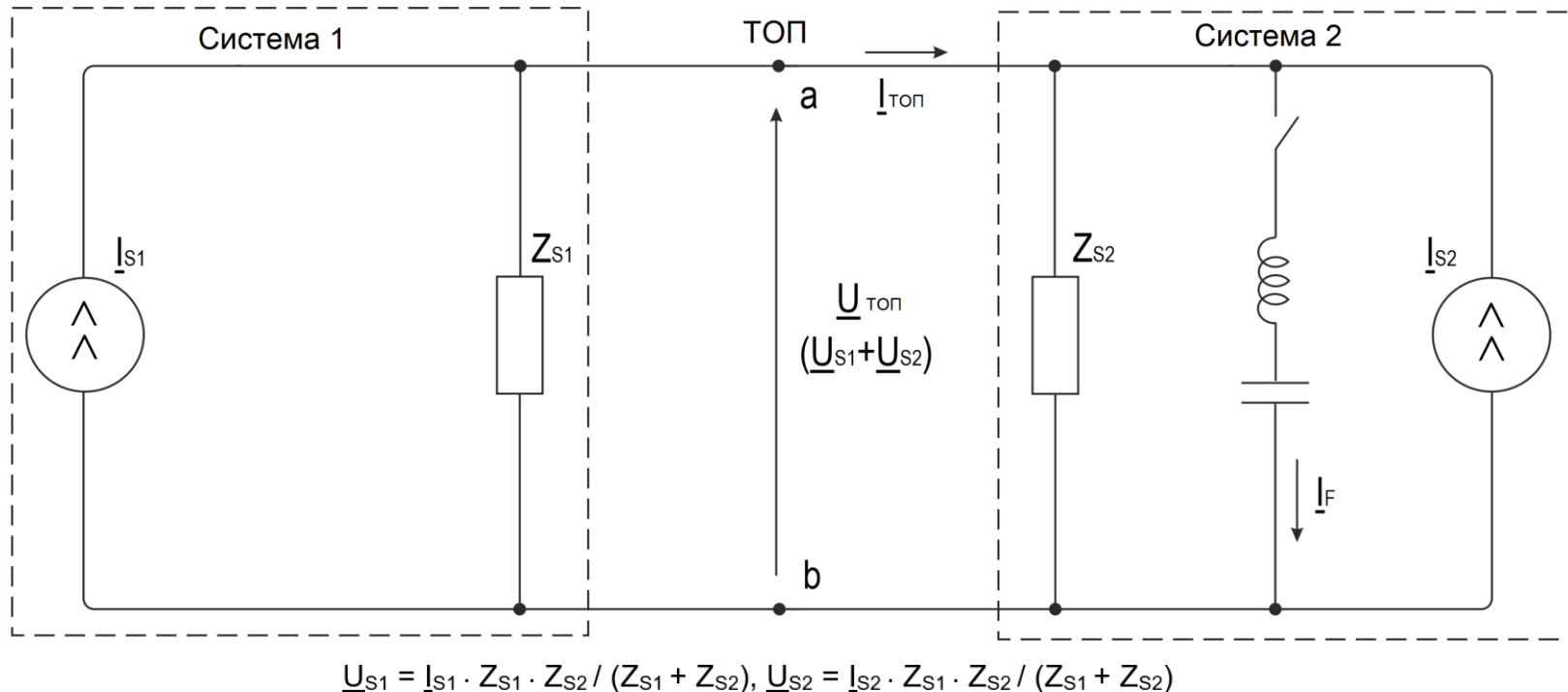
- диапазон изменения напряжения мал в случае с АР (5-20 В);
- сложно осуществить на практике;
- позволяет определить доминирующее влияние только в случае сильно различающейся мощности нелинейных нагрузок

## Зависимость вводного тока от активного сопротивления ФКУ



- различный наклон построенных характеристик не позволяет определить долевой вклад потребителей в искажение напряжения;
- позволяет определить только доминирующее влияние потребителей

## Измерение искажающего тока нагрузки с помощью ФКУ



По методу активных двухполюсников полагается, что значения  $I_{S1}$  и  $I_{S2}$  неизвестны и не могут быть определены или измерены. Поэтому вклад по напряжению определяют через значения токов и напряжений в ТОП:

$$U_{S1} = (U_{PCC} + I_{PCC} \cdot Z_{S1}) \cdot Z_{S2} / (Z_{S1} + Z_{S2}), U_{S2} = (U_{PCC} - I_{PCC} \cdot Z_{S2}) \cdot Z_{S2} / (Z_{S1} + Z_{S2})$$

Значения  $U_{PCC}$  и  $I_{PCC}$  можно измерить в точке общего присоединения. Остается определить значения эквивалентных сопротивлений, которые находятся экспериментально путем измерения  $U_{PCC}$  и  $I_{PCC}$  для двух последовательных режимов:

$$Z = \Delta U_{PCCi} / \Delta I_{PCCi}$$



## Измерение искажающего тока нагрузки с помощью ФКУ

Рассмотрим применение ФКУ:

$$I_F = I_{S1} + I_{S2} = I_{\text{ТОП}} + I_{S2}$$

Получается, что измерение токов  $I_F$  и  $I_{\text{ТОП}}$  дает возможность оценить вклад потребителей в общие искажения напряжения путем вычисления  $I_{S1}$  и  $I_{S2}$ .

Для идеализированной схемы, представленной на предыдущем слайде, достаточно одного фильтра для оценки вклада двух потребителей на определенной гармонике.

Искажающий ток ( $I_{S1}$ ), А	Искажающий ток ( $I_{S2}$ ), А	$I_{S1}/I_{S2} = U_{S1}/U_{S2}$	Долевой вклад, %
0.1	42.4	0	0 : 100
4.2	38.1	0.11	9.9 : 90.1
8.6	33.8	0.25	20.3 : 79.7
12.9	29.6	0.44	31.6 : 69.4
17.2	25.5	0.67	40.3 : 59.7
21.4	21.4	1	50 : 50

$$X_L = 10 \text{ Ом}, X_C = 250 \text{ Ом}, R_{FR} = 1 \text{ Ом}$$

## Выводы

1. Применение компенсирующих устройств позволяет проводить оценку доминирующего влияния/долевого вклада потребителей в ПКЭ в ТОП.
2. Выявлены зависимости, позволяющие оценить доминирующее влияние/долевой вклад потребителей на основе компенсирующих устройств, которые эксплуатируются практически на каждом промышленном предприятии.
3. Необходимо провести сравнительную оценку с существующими методами и выявить факторы, оказывающие наибольшее влияние на погрешность метода.