



IEEE



PROPAGACJA UDARÓW NAPIĘCIOWYCH PIORUNOWYCH, OSCYLACYJNYCH ORAZ O NIEUNORMOWANYCH KSZTAŁTACH W UZWOJENIACH TRANSFORMATORÓW

Maciej Kuniewski

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki

Chapter DEIS

maciej.kuniewski@agh.edu.pl

Kraków, 9.12.2020

Plan Prezentacji

- narażenia napięciowe transformatorów
- przebiegi wewnętrzne w uzwojeniach
- oddziaływanie przebiegów na układy izolacyjne
- cel pracy
- badania laboratoryjne przebiegów w modelowym układzie
- podsumowanie

Narażenia napięciowe transformatorów

Próby napięciowe

- napięcie przemiennie 50/60 Hz,
- Znormalizowane udary napięciowe piorunowe
 - udar pełny,
 - udar piorunowy ucięty,
 - Próba specjalna,
 - Próba standardowa,

Narażenia w trakcie eksploatacji

- nieunormowane przebiegi napięciowe:
 - fala prostokątna,
 - superpocycja fal napięciowych

Charakterystyka przebiegów udarowych

Udar napięciowy pełny

t_f – czas trwania czoła

t_t – czas do półszczytu

Udar ucięty

T_c – czas do ucięcia

t_c – czas zaniku napięcia

Udar prostokątny

t_0 – czas rozpoczęcia

t_1 – czas zakończenia narastania

t_r – czas narastania

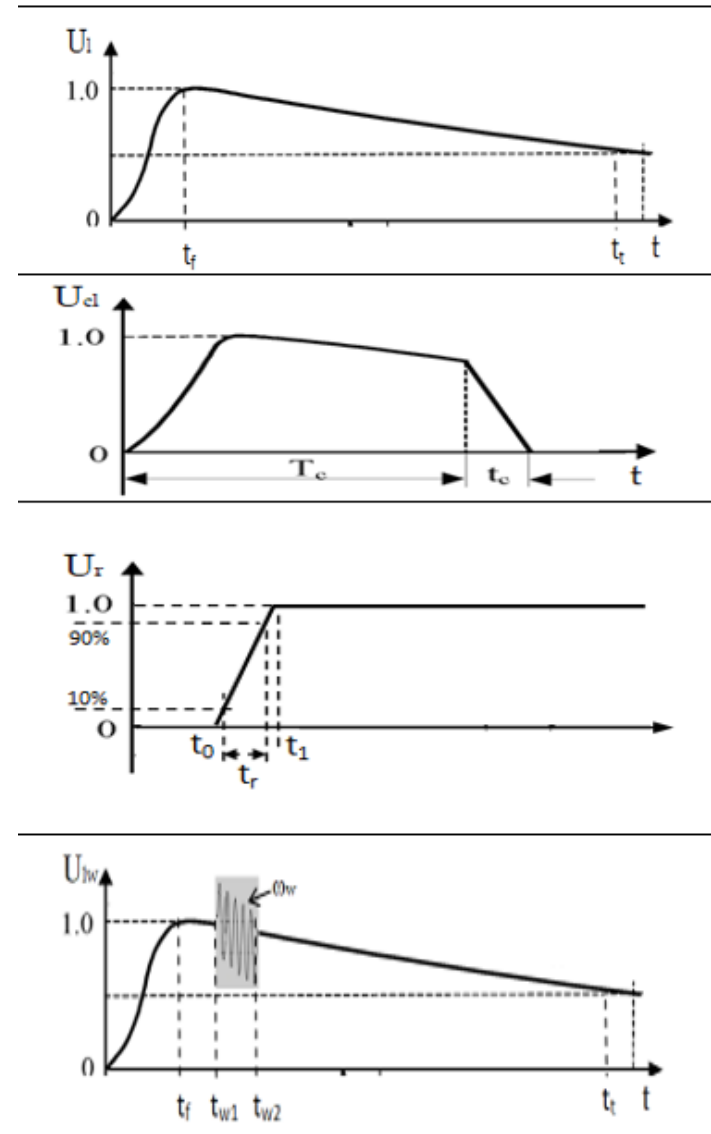
Superpozycja udaru piorunowego i fali oscylującej

t_f – czas trwania czoła

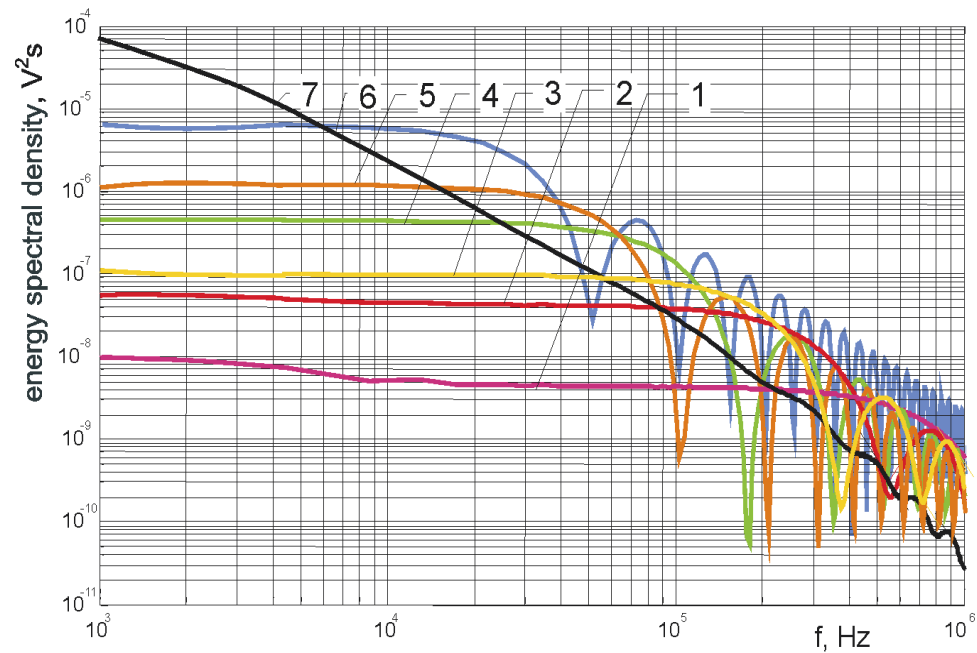
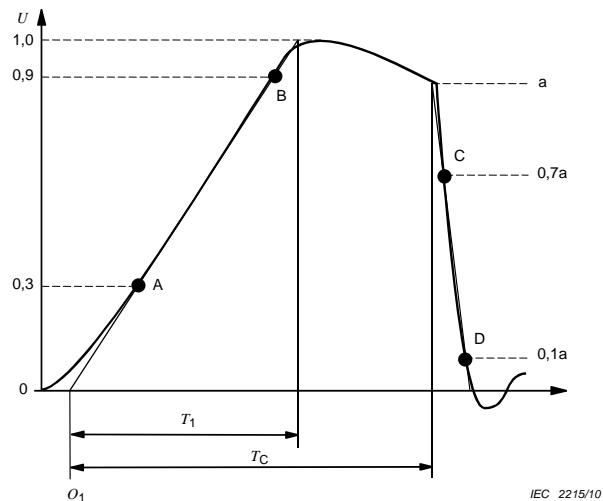
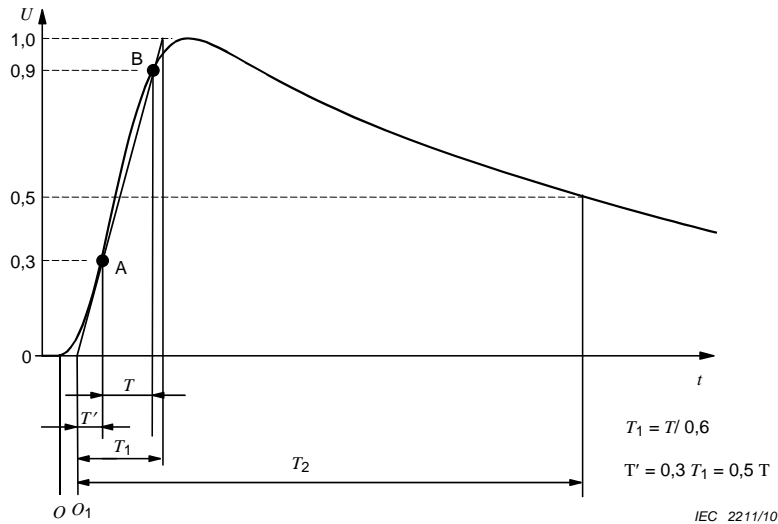
t_t – czas do półszczytu

t_{w1} , t_{w2} – czas rozpoczęcia i zakończenia oscylacji

f_w – częstotliwość oscylacji



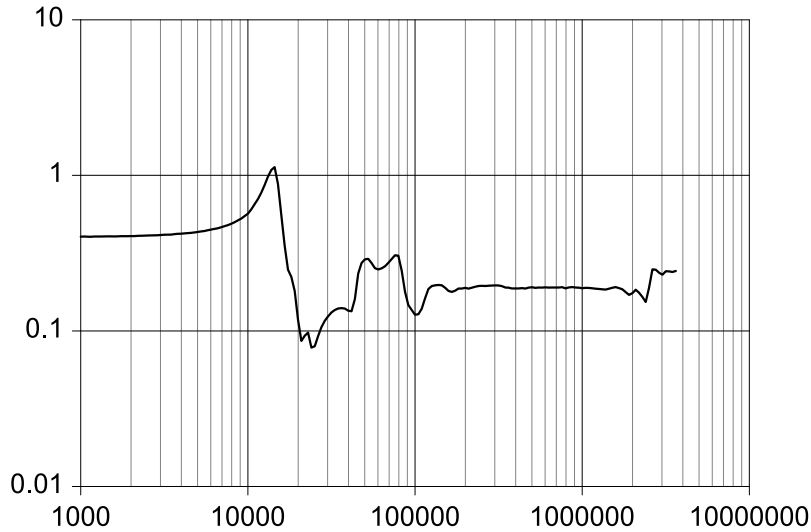
Wpływ czasu do ucięcia na widmo częstotliwościowe udaru



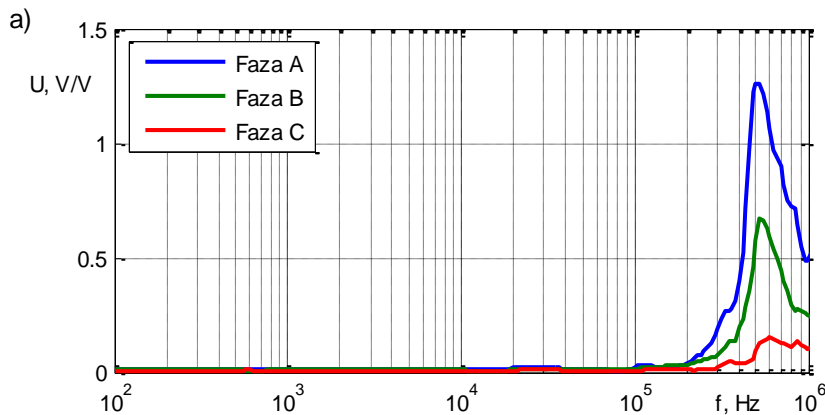
1 - 0.8 μ s, 2 - 2 μ s, 3 - 2 μ s, 4 - 6 μ s, 5 - 10 μ s, 6 - 20 μ s, 7 - udar pełny.

Im krótszy czas do ucięcia tym wyższa energia dla wyższych częstotliwości

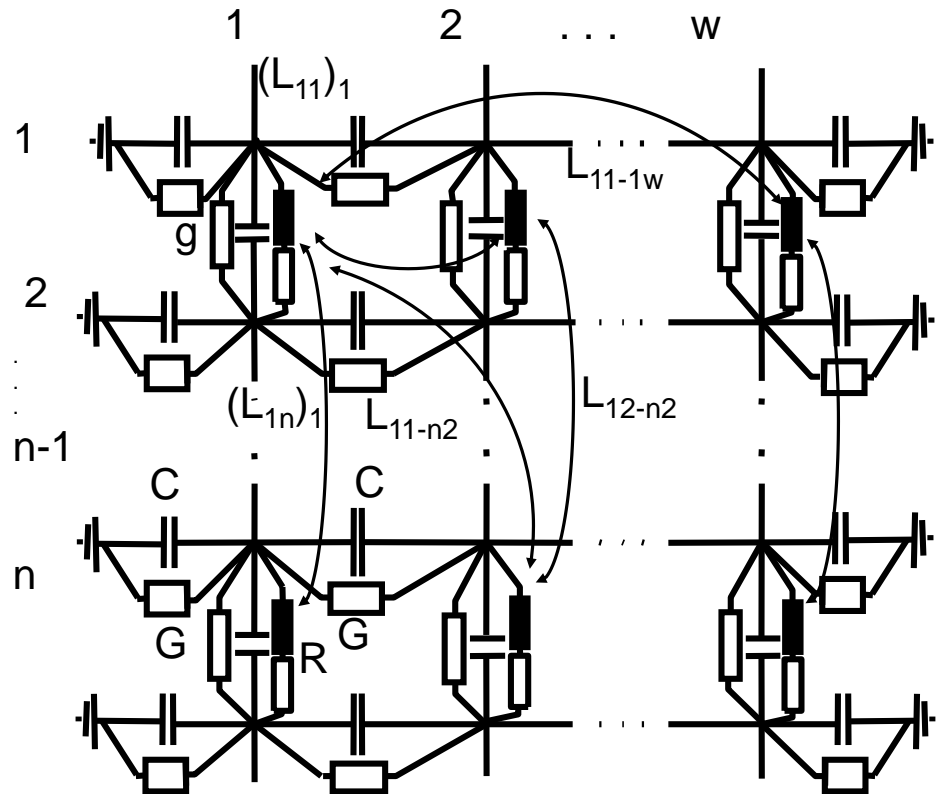
Rozkład przepięć w uzwojeniach transformatora



przepięcia wewnętrzne w uzwojeniach



przepięcia indukowane w uzwojeniach



Oddziaływanie przepięć na układy izolacyjne

- narażanie izolacji wewnętrznej transformatorów
- przyśpieszenie starzenia,
- zwiększone ryzyko uszkodzenia izolacji,
- obniżenie niezawodności transformatorów.

Cel pracy

- ocena wpływu kształtu udarów napięciowych,
- ocena czasu do ucięcia udarów napięciowych na
 - przebiegi i wartości maksymalne przepięć wewnątrz uzwojeń,
- badania opierały się na analizie wyników pomiarów przeprowadzonych na transformatorów dystrybucyjnych

Zakres pomiarów

- przepięcia przy oddziaływaniu wymuszeń sinusoidalnych
- przepięcia przy oddziaływaniu udarów napięciowych piorunowych pełnych
- przepięcia przy oddziaływaniu udarów napięciowych piorunowych uciętych
- przepięcia przy oddziaływaniu udarów napięciowych z nałożoną oscylacją
- przepięcia przy oddziaływaniu udarów napięciowych prostokątnych z różną stromością du/dt

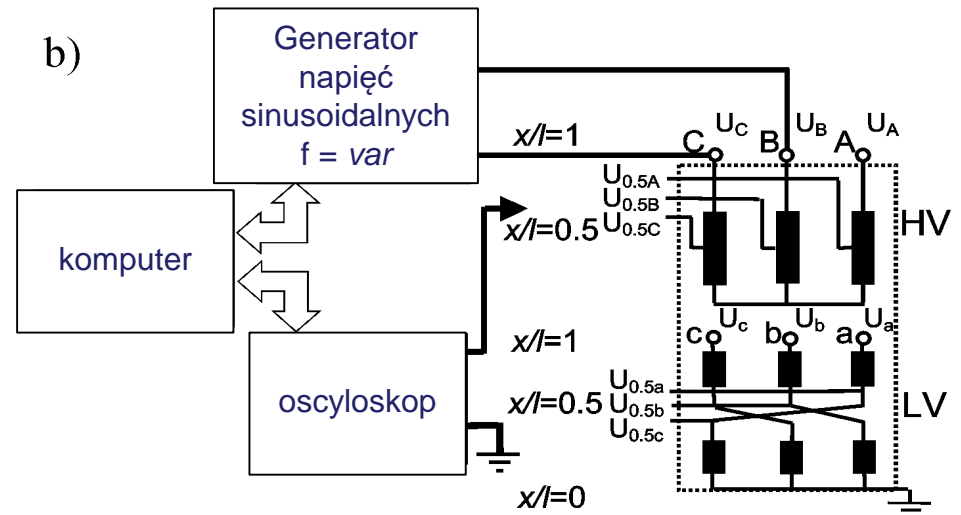
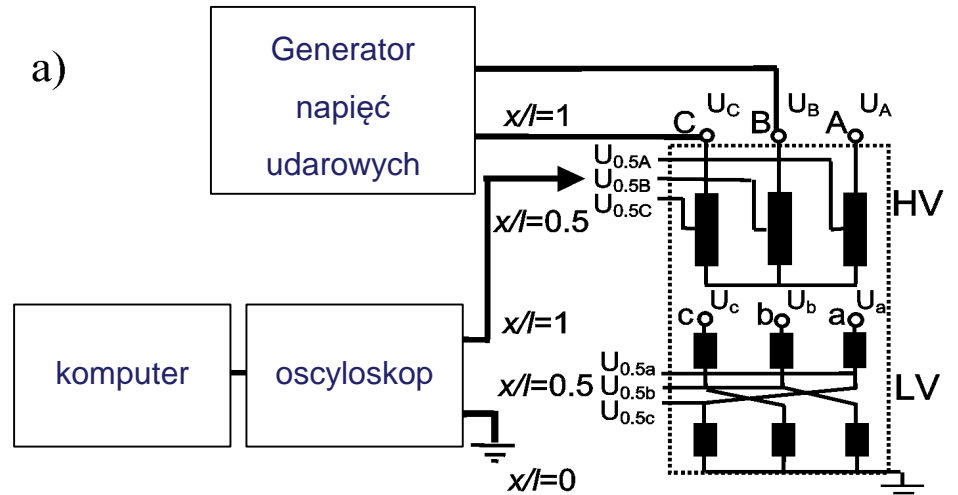
Stanowisko laboratoryjne

- badania przepięć przy oddziaływaniu znormalizowanych uderów napięciowych piorunowych
 - Wartość szczytowa $U_m = 300 \text{ V}$
- badania przepięć przy oddziaływaniu uderów napięciowych piorunowych uciętych oraz prostokątnych i wymuszenia sinusoidalnego
 - analiza małosygnałowa $U_m = 20 \text{ V}$
 - czasy do ucięcia t_c : $1 \mu\text{s} - 50 \mu\text{s}$
 - stromość udaru prostokątnego tr : $10-100 \text{ ns}$
 - f : $100 \text{ Hz} - 2 \text{ MHz}$

Stanowisko laboratoryjne

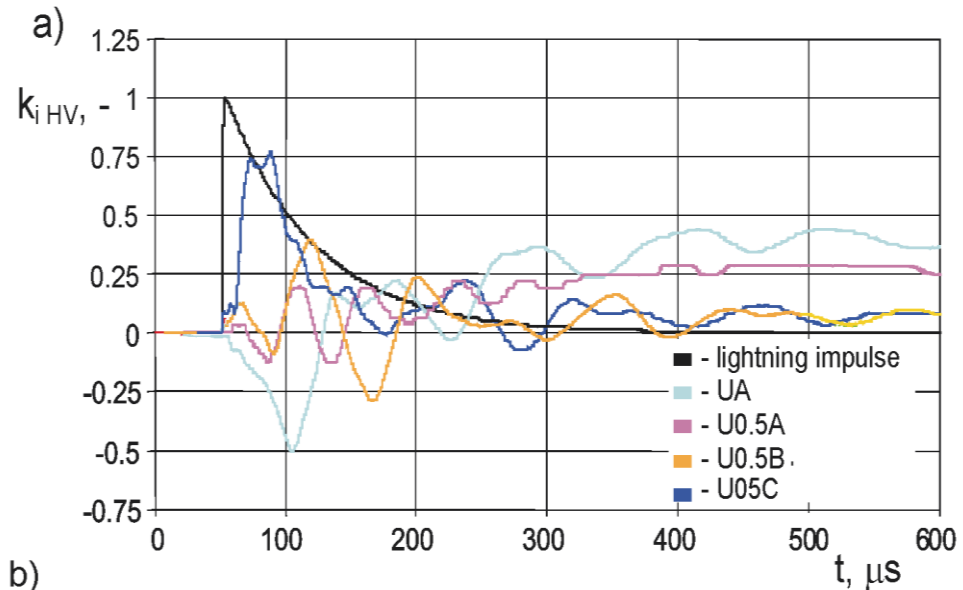
Parametry transformatora rozdzielczego

parameter	unit	value
		Tz
S_n	kVA	20
U_n	kV	15/0.4
U_z	%	4.2
ΔP_{Fe}	kW	0.114
ΔP_{Cu}	kW	0.525
I_0	%	2,8
type of core		silicon steel

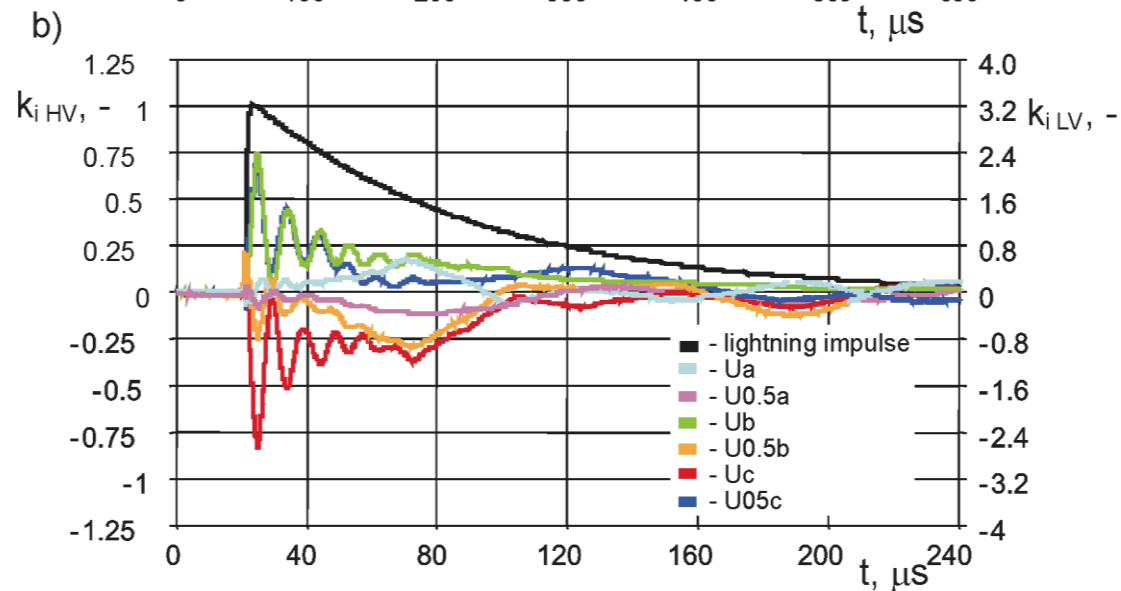


pomiary przebiegów przepięciowych udar napięciowy pełny

Przepięcia w
wybranych punktach
uzwojenia
wysokiego napięcia



Przepięcia w
wybranych punktach
uzwojenia dolnego
napięcia



pomiary przebiegów przepięciowych udar napięciowy ucięty

Przepięcia w wybranych
punktach uzwojenia
wysokiego napięcia

czas do ucięcia t_c :

a - $t_c = 2 \mu\text{s}$,

b - $t_c = 5 \mu\text{s}$,

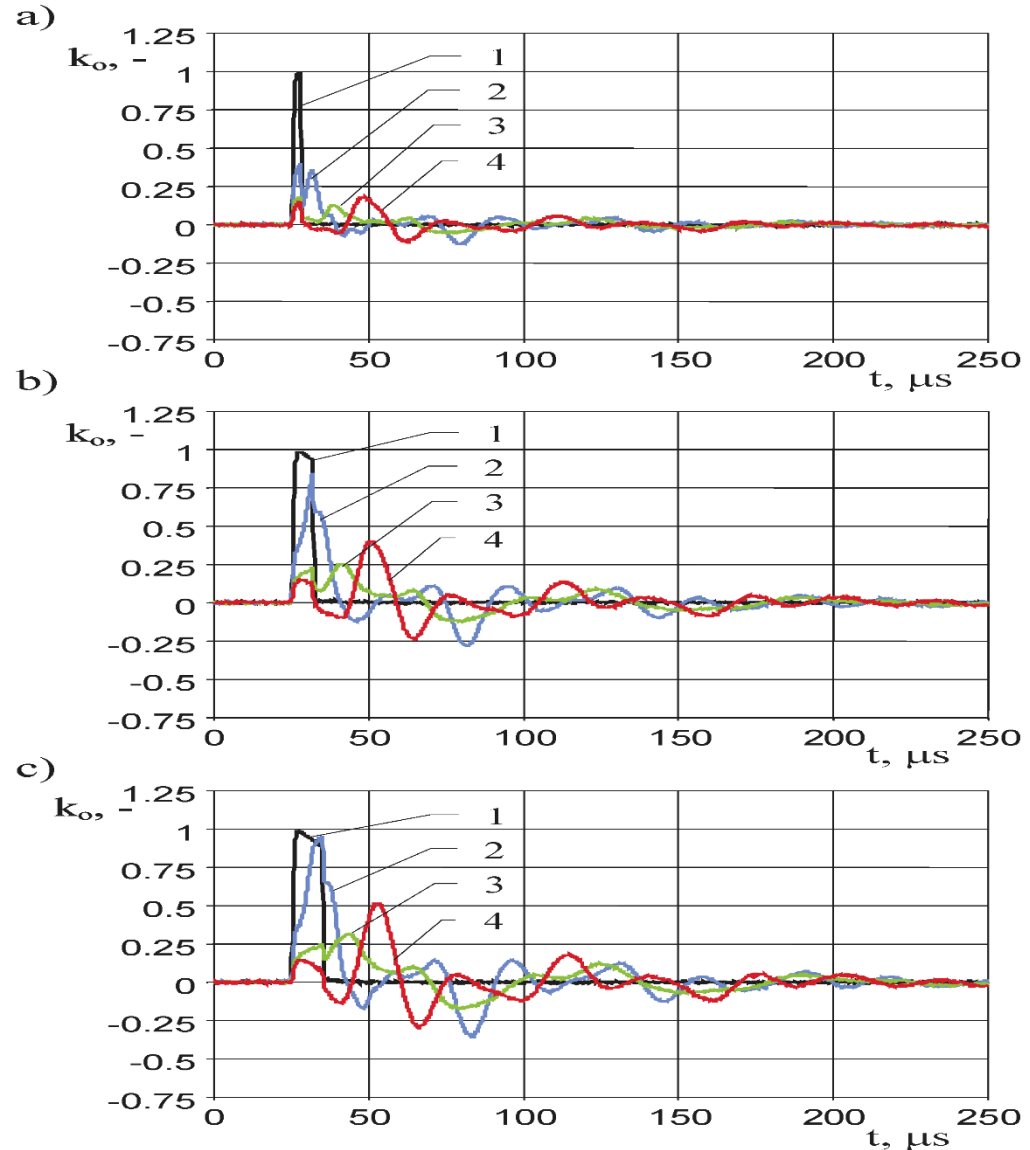
c - $t_c = 10 \mu\text{s}$:

1- $x/l = 0$ – miejsce
doprowadzenia udaru,

2 - $x/l = 0.18$,

3 - $x/l = 0.33$,

4 - $x/l = 0.67$

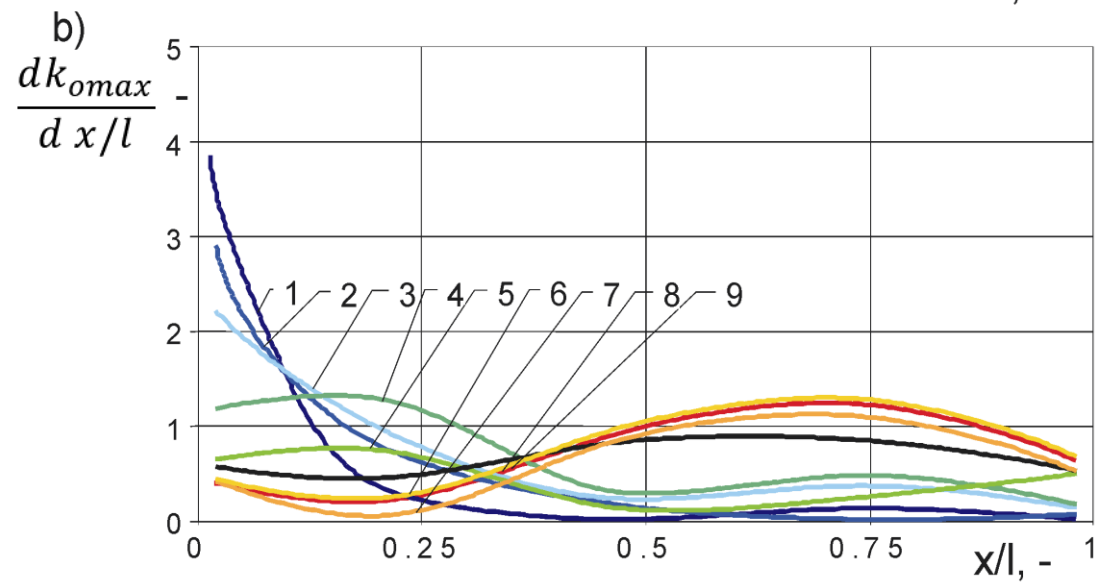
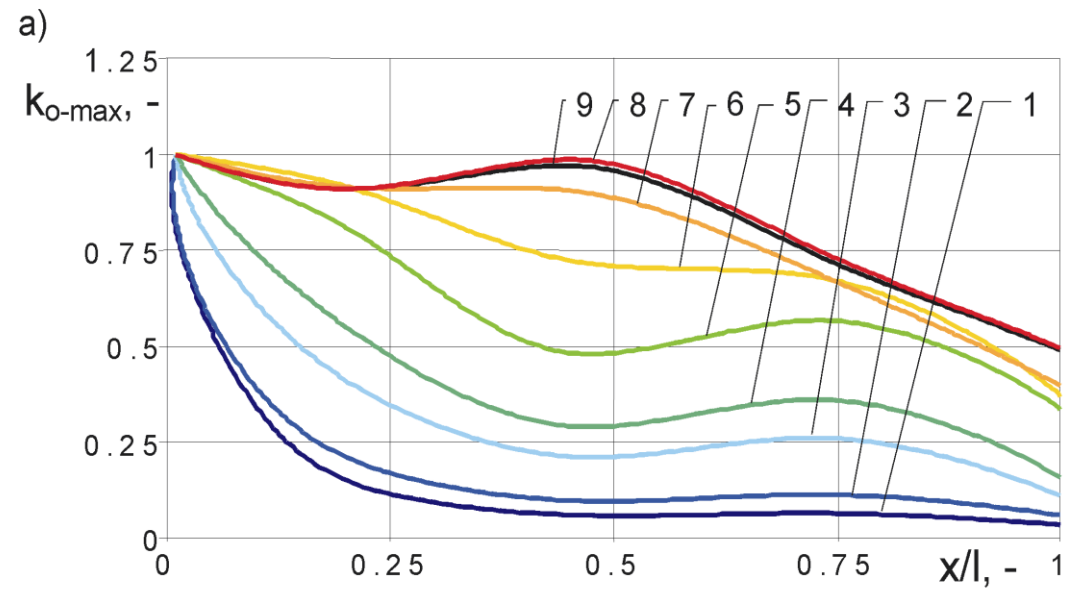


charakterystyki przebiegów wzdłuż uzwojenia

charakterystyki wzdłuż uzwojeń:
wartości maksymalnych przebiegów (a)
gradient przebiegów (b)

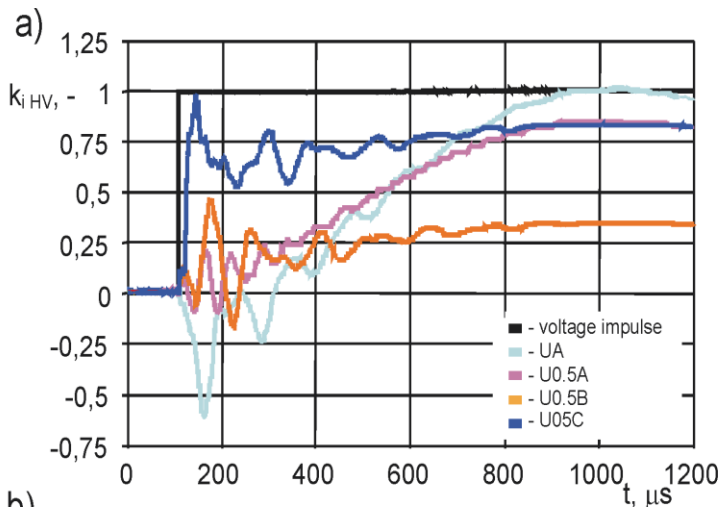
Czas do ucięcia t_c :

- 1 - 1 μs ,
- 2 - 2 μs ,
- 3 - 4 μs ,
- 4 - 6 μs ,
- 5 - 10 μs ,
- 6 - 20 μs ,
- 7 - 30 μs ,
- 8 - 50 μs ,
- 9 – udar piorunowy pełny

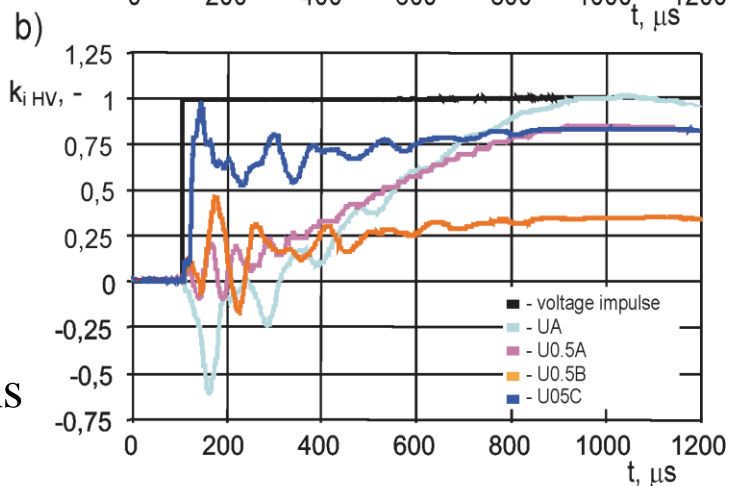


Pomiary przebiegów przebiegów przebiegów Udar prostokątny – wpływ stromości

Przebiegi wewnętrzne uzwojenie HV

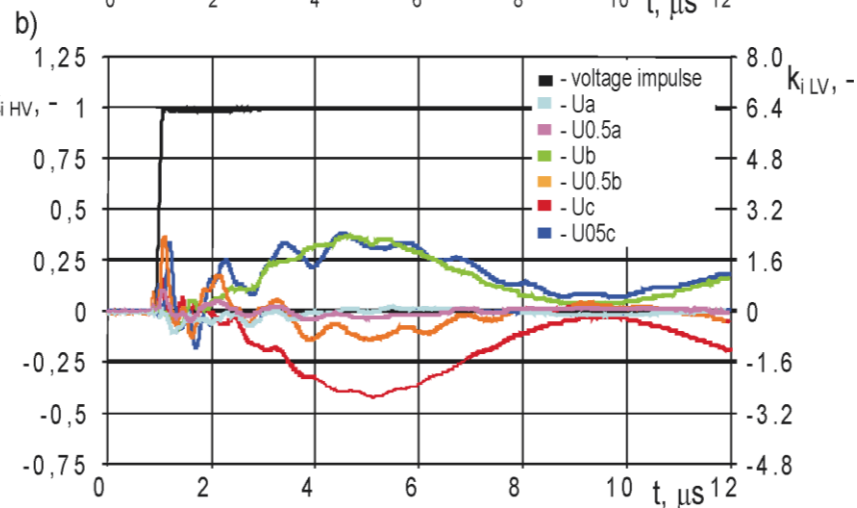
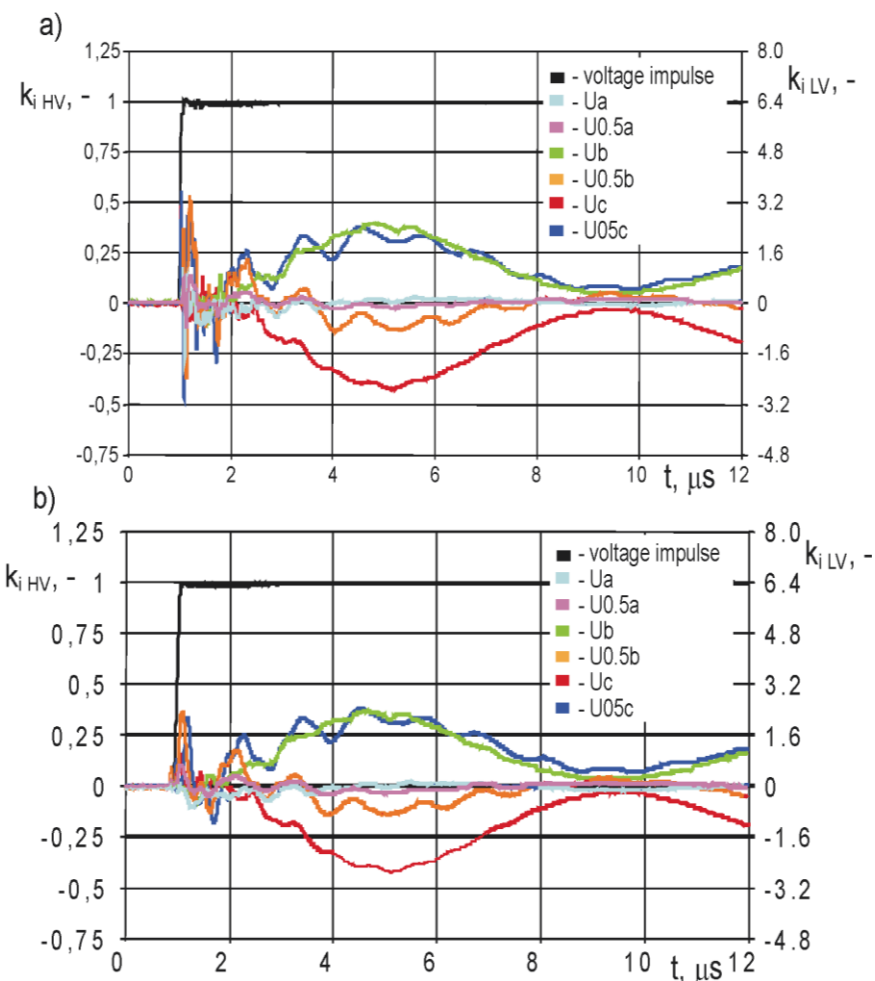


$t_r = 10 \text{ ns}$



$t_r = 100 \text{ ns}$

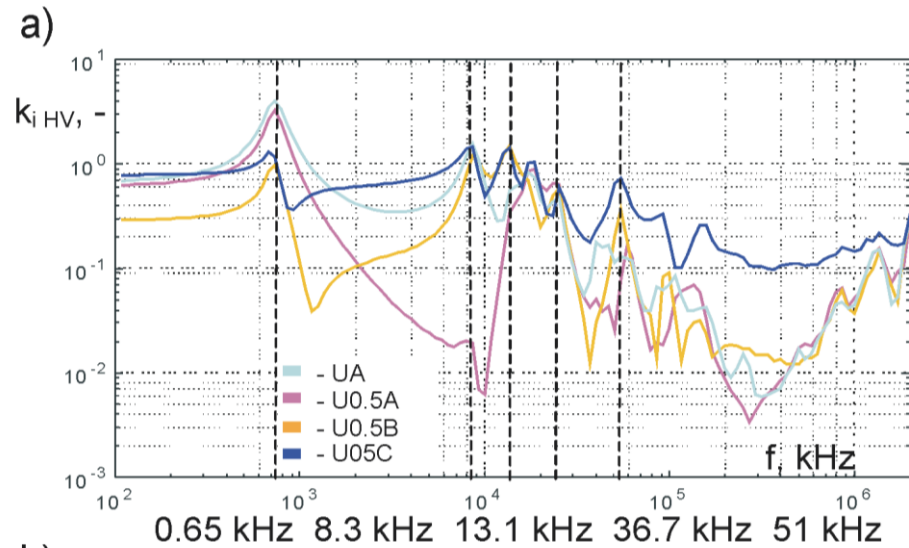
Przebiegi indukowane w uzwojeniach LV



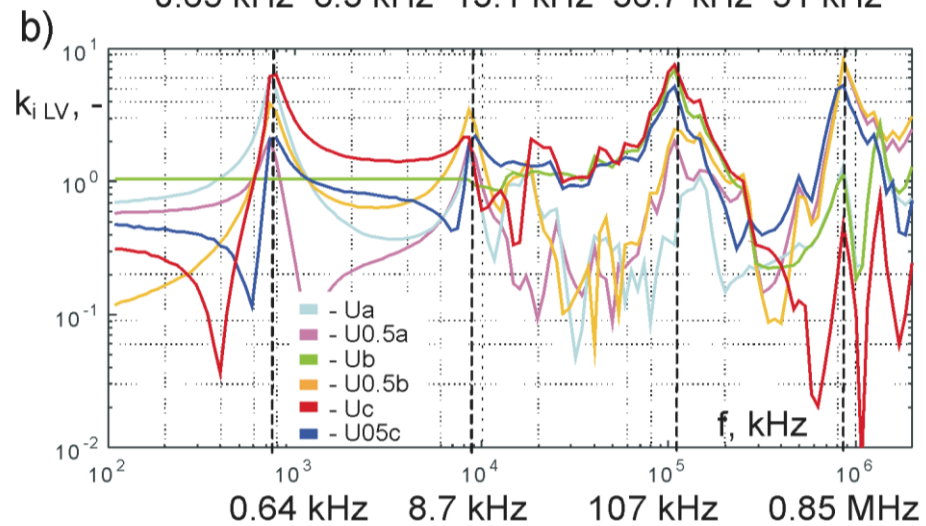
Pomiary przebiegów przepięciowych

Odpowiedź na wymuszenie sinusoidalne

Uzwojenia HV

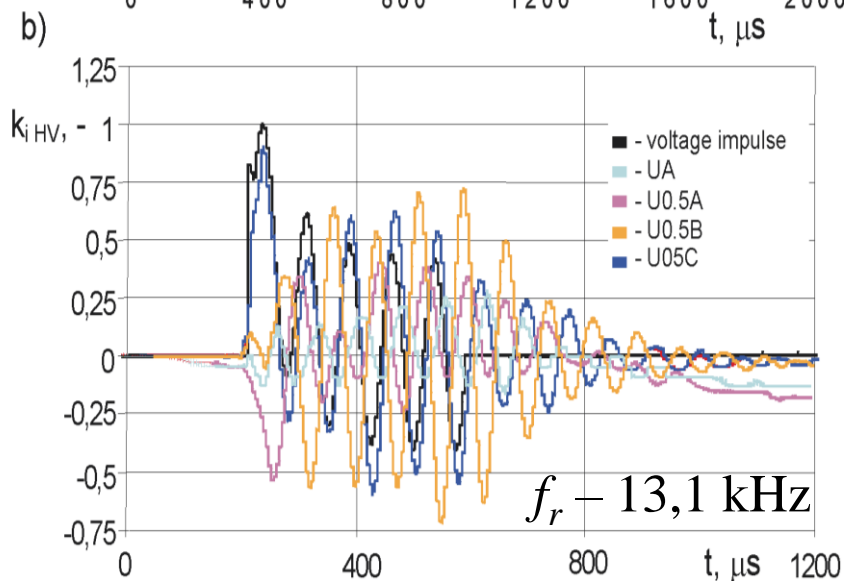
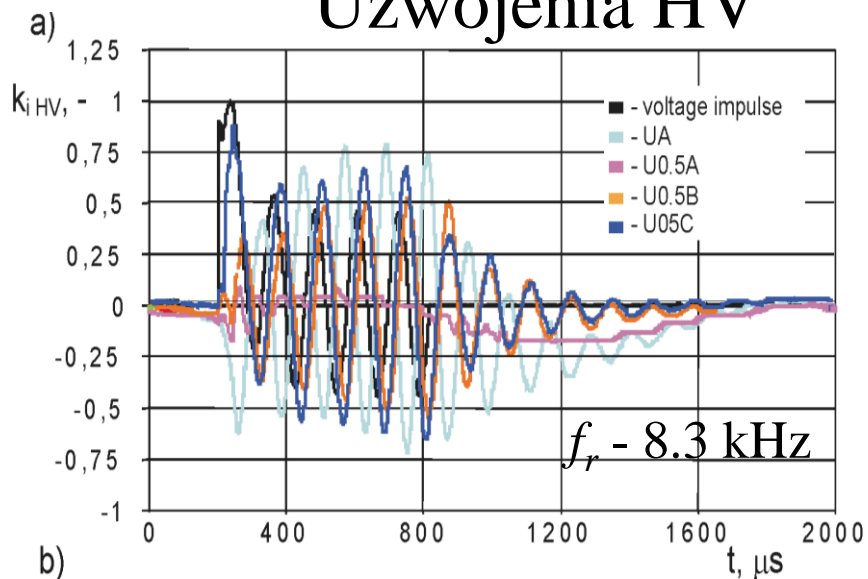


Uzwojenia LV

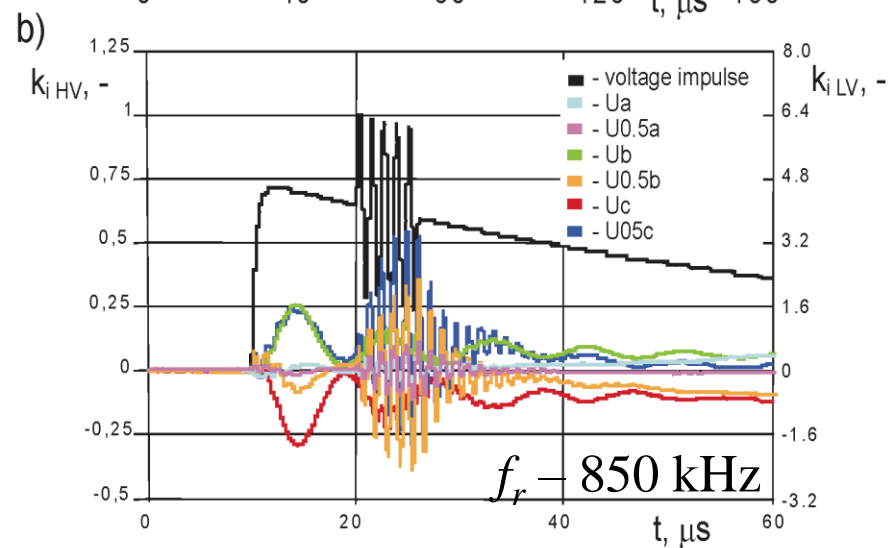
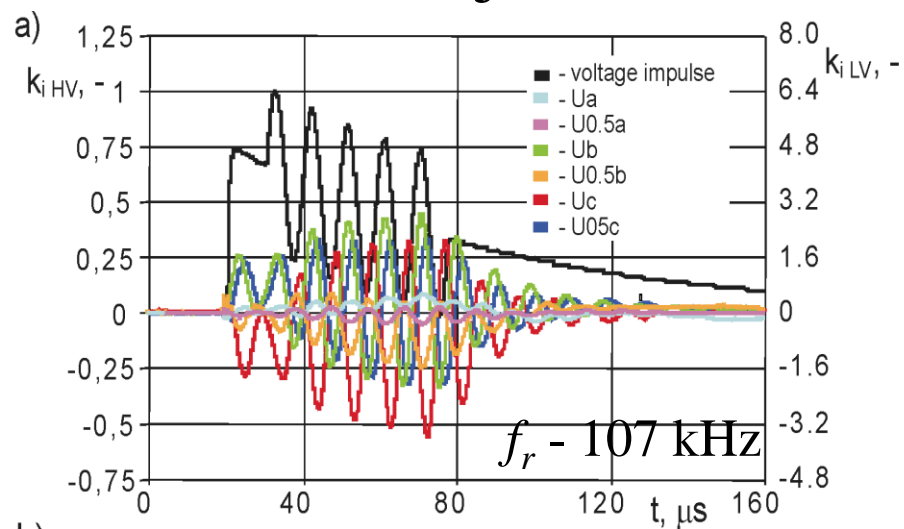


Pomiary przebiegów przepięciowych Udar napięciowy z oscylacją

Uzwojenia HV



Uzwojenia LV



Podsumowanie

- wyniki badań pokazały że odpowiedzią uzwojeń transformatorów na wymuszenia udarowe są przebiegi o odmiennych kształtach oraz wartościach maksymalnych,
- przebiegi przepięć w wybranych punktach wewnątrz uzwojeń narażające układy izolacyjne zależą od kształtów udarów docierających do zacisków transformatorów,
- przepięcia wewnętrzne osiągają wartości maksymalne udarów posiadających nałożone przebiegi oscylacyjne o częstotliwościach równych częstotliwościom własnych uzwojeń,
- udary napięciowe ucięte pojawiające się na zaciskach transformatorów wprowadzają zwiększony gradient napięcia układu izolacyjnego znajdującego się na początkowych częściach uzwojeń.

Dziękuję za uwagę



IEEE



PROPAGACJA UDARÓW NAPIĘCIOWYCH PIORUNOWYCH, OSCYLACYJNYCH ORAZ O NIEUNORMOWANYCH KSZTAŁTACH W UZWOJENIACH TRANSFORMATORÓW

Maciej Kuniewski

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki

Chapter DEIS

maciej.kuniewski@agh.edu.pl

Kraków, 9.12.2020