

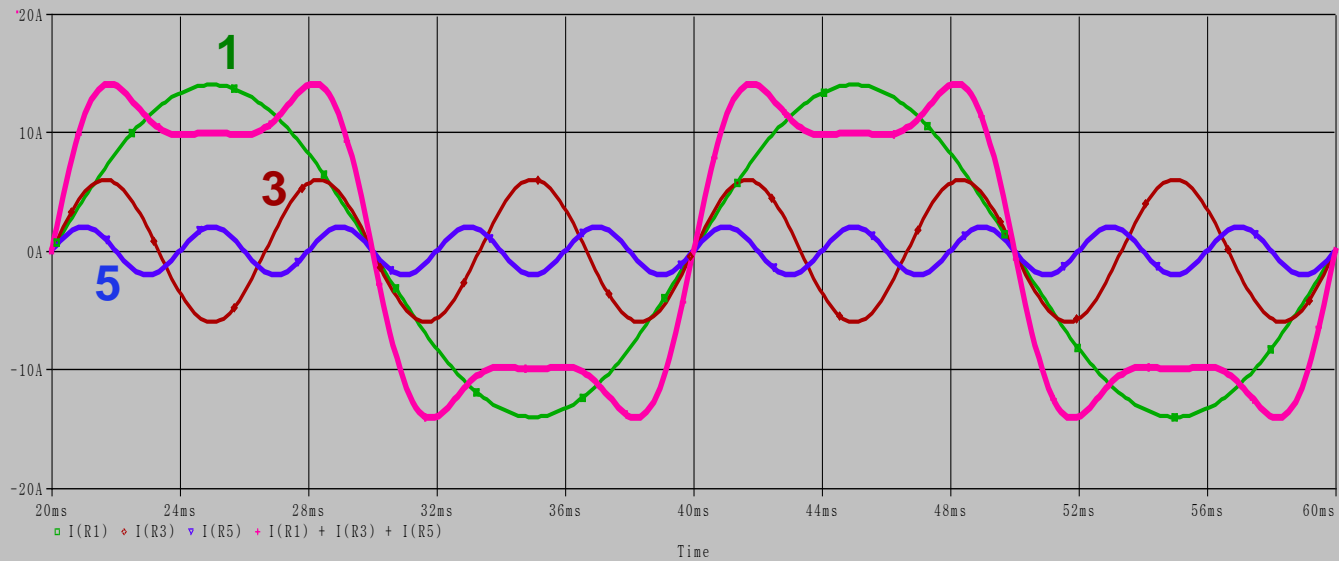
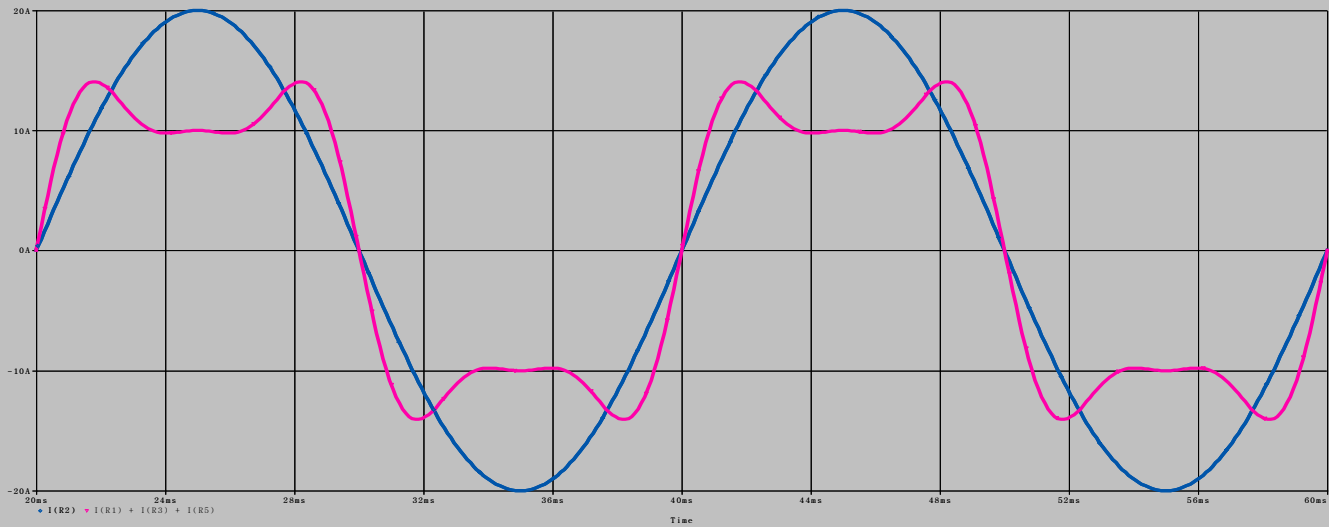
# Zagrożenia generowane przez odbiorniki nieliniowe

# Zagrożenia w sieciach i instalacjach elektrycznych generowane przez odbiorniki nieliniowe

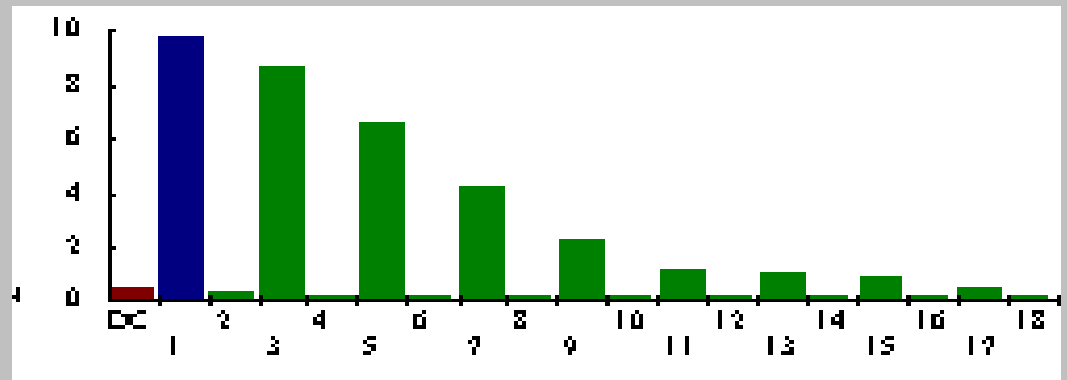
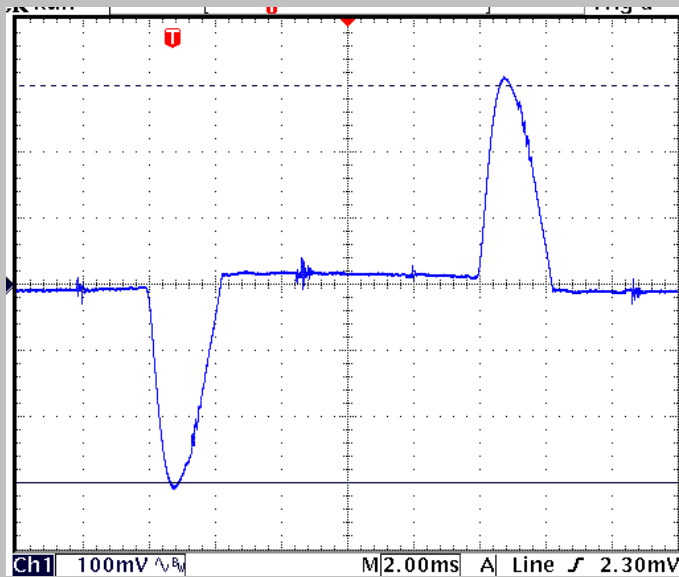
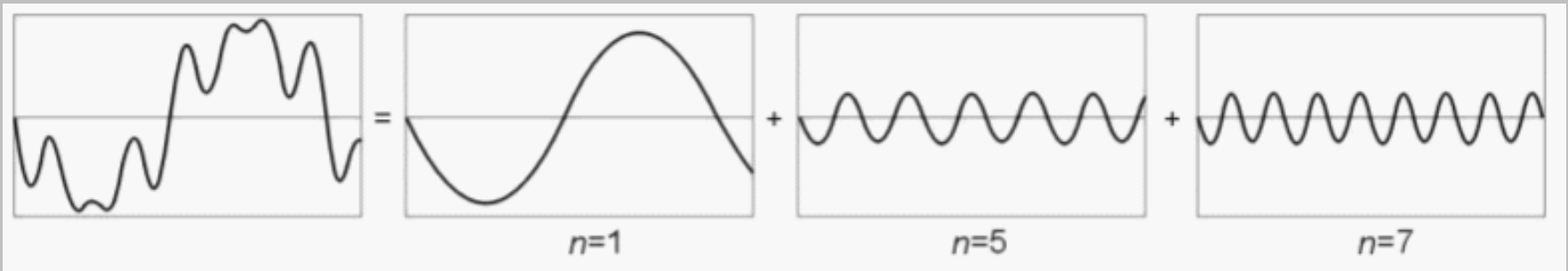
## ZASILACZE    KOMPUTERY    OŚWIETLENIE ENERGOOSZCZĘDNE

- Zaburzenia napięcia
- Wzrost prądu w przewodzie neutralnym
- Wzrost napięcia między przewodem neutralnym a PE
- Przegrzewanie się transformatorów i silników (+ wibracje)
- Awarie kondensatorów do kompensacji mocy biernej
- Wzrost strat w liniach przesyłowych
- Błędne działanie zabezpieczeń
- Błędne wskazania liczników energii
- Wzrost natężenia pola magn. emitowanego przez transformatory
- Przyspieszona degradacja izolacji

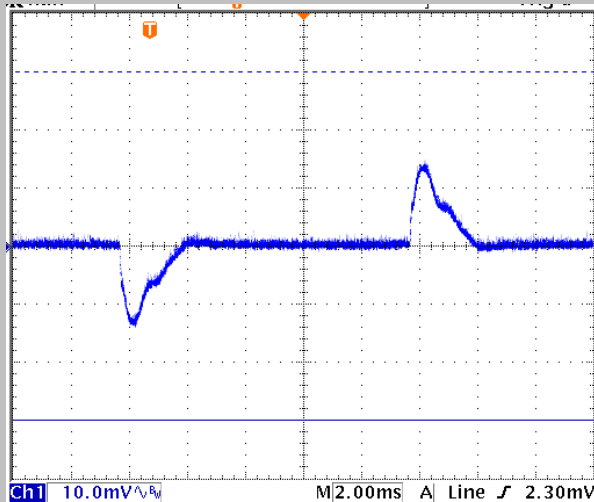
# Harmoniczne w przebiegach odkształconych



# Harmoniczne w przebiegach odkształconych

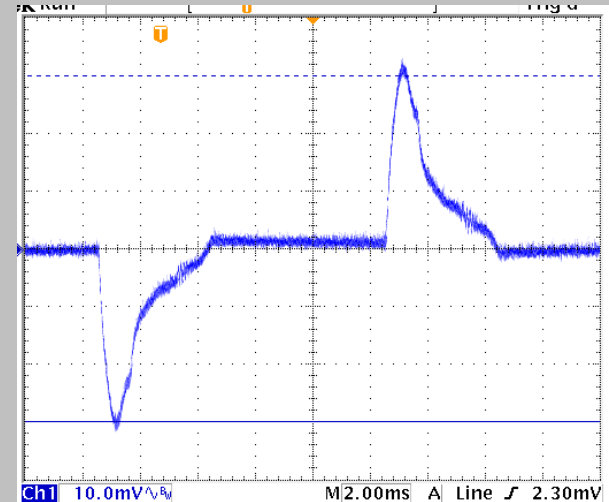


# Odbiorniki nieliniowe – prąd pobierany z sieci

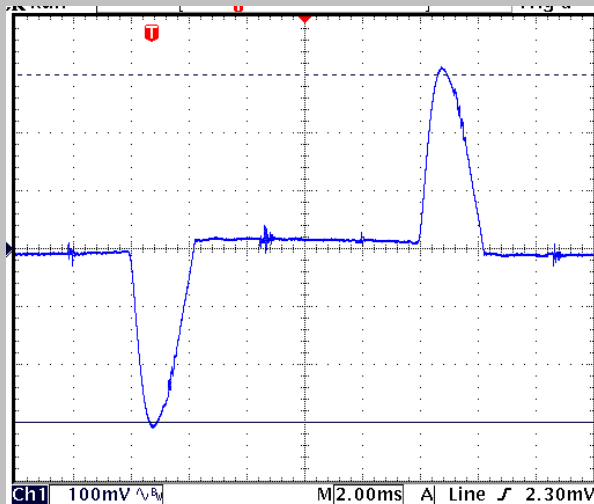


Ładowarka  
telefonu  
 $I = 0,04A$

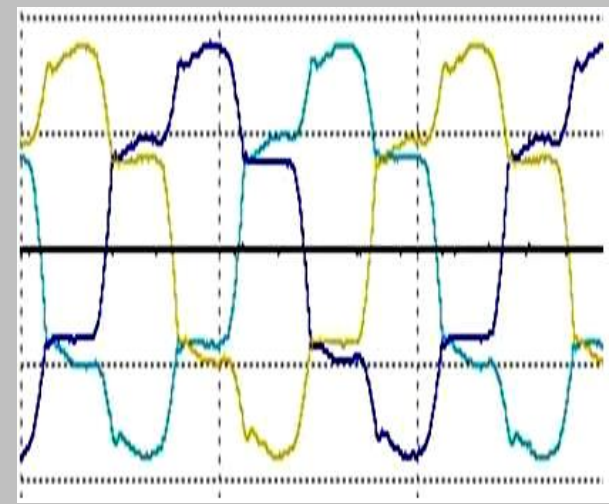
Żarówka  
energooszczędna  
 $I = 0,1A$



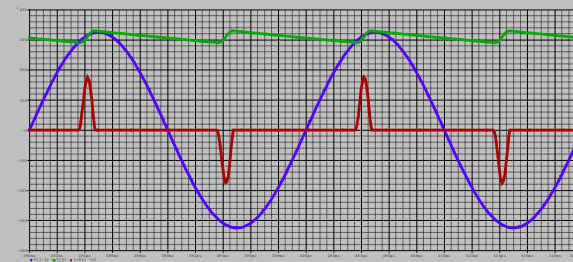
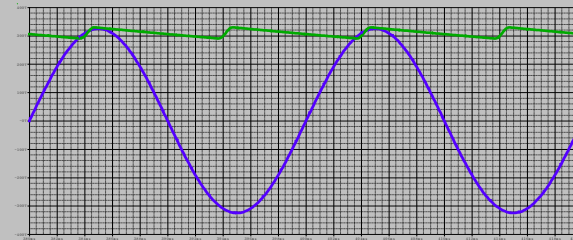
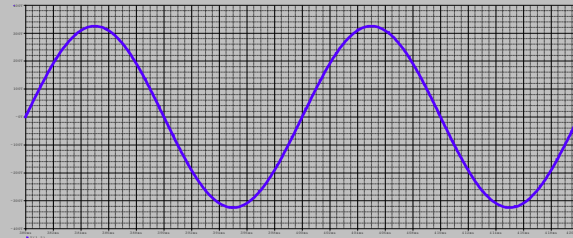
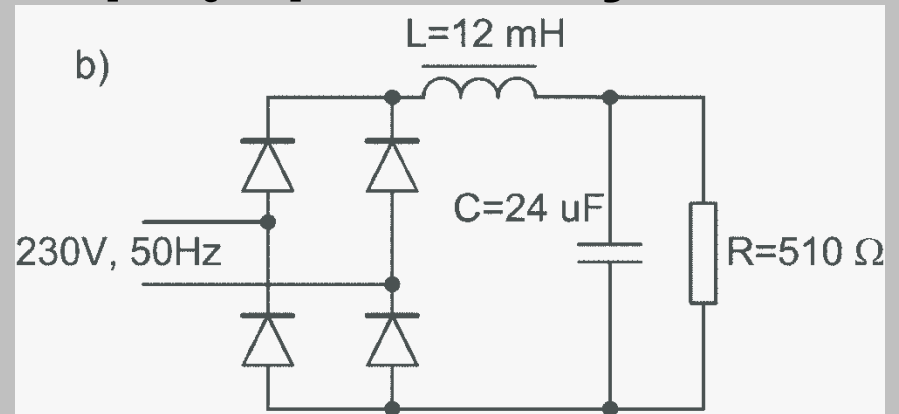
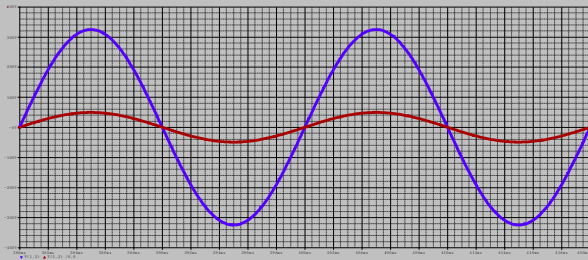
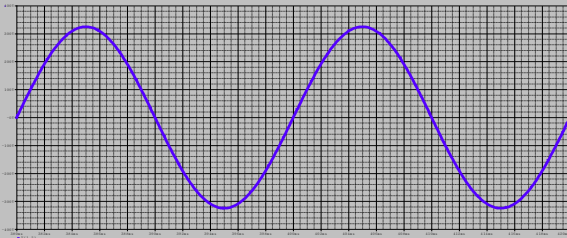
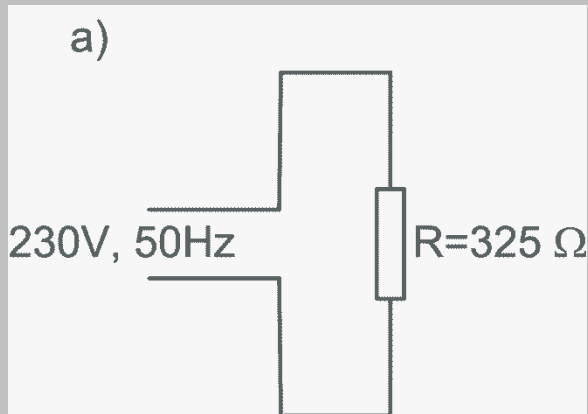
Komputer  
 $I = 1A$



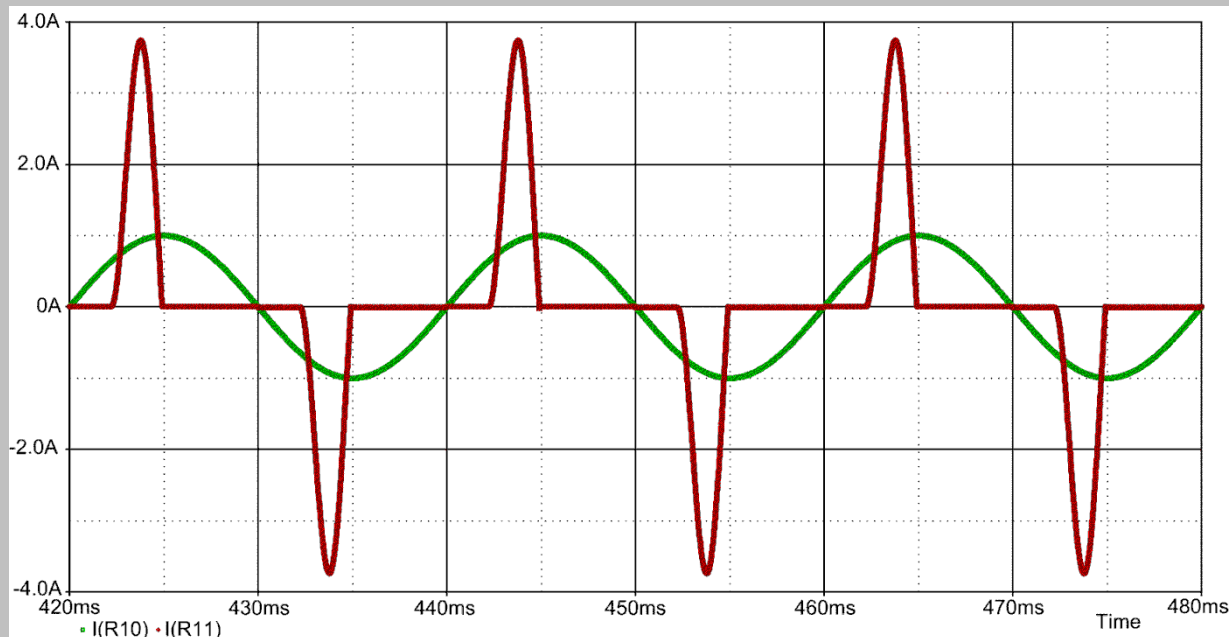
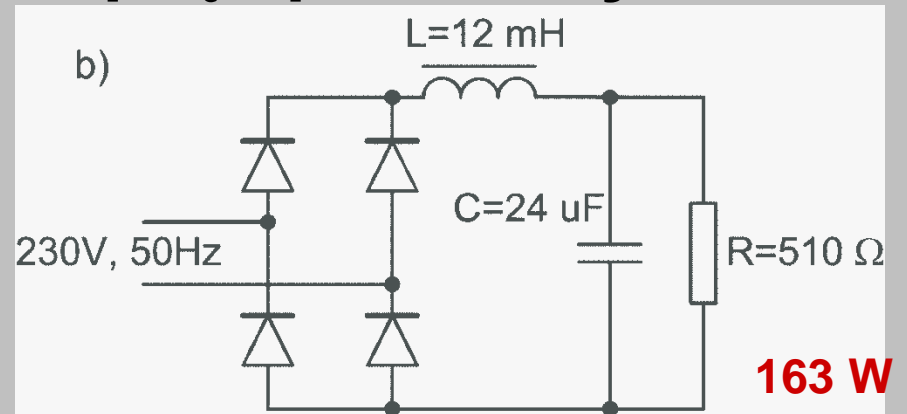
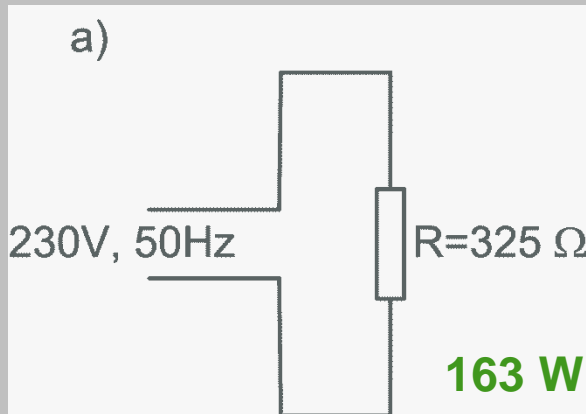
Podstacja  
trakcyjna  
 $I = 150A$  (15kV)



# Odbiorniki nieliniowe – prąd pobierany z sieci



# Odbiorniki nieliniowe – prąd pobierany z sieci



**$I_a=0,7 \text{ A}$**

**$I_b=1,3 \text{ A}$**

# Transformatory zasilające odbiorniki nieliniowe

## Wzrost strat w rdzeniu i uzwojeniach (K-Factor)

Transformer 3-PH as per EN 60726 + DNV			
Type	ET3SM-150	No./Year	00565 / 2015
Output	150 kVA	Vector g.v.n.	Dy5
I	3x440 V	D	198 A
II	3x230 V	y	377 A
Frequency	60 Hz	insul.class	T45H
No-load losses	445 W	Load	S1
Load losses	2824 W	Cooling	AN
Ambient temp.	45 °C	Design	IP00
Uk	3,30 %	Total weight	579 kg

KAT 09-125 Made in Poland

TYPE	TNOSP 200/10	SERIAL NUMBER	10570002	YEAR	2011
RATED POWER	200 kVA	PHASE	3	ES	04-6004
NO-LOAD LOSSES	P <sub>0</sub> 273 W	LOAD LOSSES	P <sub>k</sub> 2497 W		
	1 11550 V	433 V	433 V	MAX. AMBIENT TEMP.	40 °C
	2 11275 V	433 V	433 V	OPERATION	C
RATED VOLTAGE	3 11000 V	433 V	433 V	VECTOR GROUP	Dyn11
	4 10725 V	433 V	433 V	COOLING METHOD	ONAN
	5 10450 V	433 V	433 V	TOTAL WEIGHT	890 kg
RATED CURRENT	10,5 A	266,7 A	266,7 A	OIL WEIGHT	152 kg
SHORT-CIRC. IMP.	5,12 %	INSULATION LEVEL LI 95 AC 28 / AC 8			
OIL TYPE	NYNAS NYTRO TAURUS		MAX. SHORT-CIRCUIT TIME		
THIS DEVICES DOES NOT CONTAIN PCB		FREQUENCY		50Hz	
INSULATION CLASS	A	IEC 60076		ENA TS 35-1	

TRANSFORMATOR					
TYP	IT3Sd 400/6	NR			
MOC	400 kVA	GR.	Y <sub>yn0</sub>	PRACA	C
GN	6000 ±5% V	PRAD ZNAM.	38,50	A	
DN	525 V	PRAD ZNAM.	440	A	
NAP.ZW.	%	LICZ.FAZ.	3	50	Hz
STR.JAK.	1848 W	STR.OBC.	3330	W	
STR. OCHR.	IP00	CHŁ.ODZ.	AN		
TEMP.OT.	40 °C	PN-83/E-06040			
MASA CAŁK.	1575 kg	KL.IZOL.	C		
POZIOMY IZOLACJI:					



# Transformatory zasilające odbiorniki nieliniowe

## Wzrost strat w rdzeniu i uzwojeniach (K-Factor)

Transformer 3-PH as per EN 60726 + DNV

Type	ET3SM-150	No./Year	00565 / 2015
Output	150 kVA	Vector g.v.n.	Dy5
I	3x440 V	D	198 A
II	3x230 V	y	377 A
Frequency	60 Hz	insul.class	T45H
No-load losses	445 W	load	S1
Load losses	2824 W	Cooling	AN
Ambient temp.	45 °C	Design	IP00
Uk	3,30 %	Total weight	579 kg

KAT 09-125 Made in Poland

TYPE	TNOSP 200/10	SERIAL NUMBER	10570002	YEAR	2011
RATED POWER	200 kVA	PHASE	3	ES	04-6004
NO-LOAD LOSSES	P <sub>0</sub> 278 W	LOAD LOSSES	P <sub>k</sub> 2497 W		
	1 11550 V	433 V	MAX. AMBIENT TEMP.	40 °C	
	2 11275 V	433 V	OPERATION	C	
RATED VOLTAGE	3 11000 V	433 V	VECTOR GROUP	Dyn 11	
	4 10725 V	433 V	COOLING METHOD	ONAN	
	5 10450 V	433 V	TOTAL WEIGHT	890 kg	
RATED CURRENT	10,5 A	266,7 A	OIL WEIGHT	152 kg	
SHORT-CIRC. IMP.	5,12 %	INSULATION LEVEL	LI 95 AC 28 / AC 8		
OIL TYPE	NYNAS NYTRO TAURUS	MAX. SHORT-CIRCUIT TIME	2 s		
THIS DEVICES DOES NOT CONTAIN PCB		FREQUENCY	50Hz		
INSULATION CLASS	A	IEC 60076	ENA TS 35-1		

TRANSFORMATOR			
TYP	IT3Sd 400/6	NR	
MOC	400 kVA	GR. Y <sub>yn0</sub>	PRACA C
GN	6000 ±5% V	PRAD ZNAM.	38,50 A
DN	525 V	PRAD ZNAM.	440 A
NAP.ZW.	%	LICZ.FAZ.	3 50 Hz
STR.JAK.	1848 W	STR.OBC.	3330 W
STR. OCHR.	IP00	CHŁ.ODZ.	AN
TEMP.OT.	40 °C	PN-83/E-06040	
MASA CAŁK.	1575 kg	KL.IZOL.	C
POZIOMY IZOLACJI:			

# Transformatory zasilające odbiorniki nieliniowe

## Wzrost strat w rdzeniu i uzwojeniach (K-Factor)

Transformer 3-PH as per EN 60726 + DNV			
Type	ET3SM-150	No./Year	00565 / 2015
Output	150 kVA	Vector g.v.n.	Dy5
I	3x440 V	D	198 A
II	3x230 V	y	377 A
Frequency	60 Hz	insul.class	T45H
No-load losses	445 W	Load	S1
Load losses	2824 W	Cooling	AN
Ambient temp.	45 °C	Design	IP00
Uk	3,30 %	Total weight	579 kg

KAT 09-125 Made in Poland

TYPE	TNOSP 200/10	SERIAL NUMBER	10570002	YEAR	2011
RATED POWER	200 kVA	PHASE	3	ES	04-6004
NO-LOAD LOSSES $P_0$	273 W	LOAD LOSSES $P_k$	2497 W		
1	11550 V	433 V	433 V	MAX. AMBIENT TEMP.	40 °C
2	11275 V	433 V	433 V	OPERATION	C
RATED VOLTAGE	3	11000 V	433 V	VECTOR GROUP	Dyn 11
4	10725 V	433 V	433 V	COOLING METHOD	ONAN
5	10450 V	433 V	433 V	TOTAL WEIGHT	890 kg
RATED CURRENT	10,5 A	266,7 A	266,7 A	OIL WEIGHT	152 kg
SHORT-CIRC. IMP.	5,12 %	INSULATION LEVEL LI 95 AC 28 / AC 8			
OIL TYPE	NYNAS NYTRO TAURUS		MAX. SHORT-CIRCUIT TIME		
THIS DEVICES DOES NOT CONTAIN PCB			FREQUENCY		
			50Hz		
INSULATION CLASS	A	IEC 60076		ENA TS 35-1	

$P_{ef}$

2824 W

2497 W

3330 W

TRANSFORMATOR					
TYP	IT3Sd 400/6	NR			
MOC	400 kVA	GR.	Yyn0	PRACA	C
GN	6000 ±5%	V	PRAD ZNAM.	38,50	A
DN	525	V	PRAD ZNAM.	440	A
NAP.ZW.	%	LICZ.FAZ.	3	50	Hz
STR.JAK.	1848 W	STR.OBC.	3330	W	
STR. OCHR.	IP00	CHK.OBZ.	AN		
TEMP.OT.	40 °C	PN-83/E-06040			
MASA CAŁK.	1575 kg	KL.IZOL.	C		
POZIOMY IZOLACJI:					

# Transformatory zasilające odbiorniki nieliniowe

## Wzrost strat w rdzeniu i uzwojeniach (K-Factor)

$$P_{eh} = P_{ef} \cdot K$$

$$K = \sum_{h=1}^{50} \left( \frac{I_h}{I} \right)^2 h^2$$

K-Factor (standard IEEE UL1561)

$P_{eh}$  całkowite straty w rdzeniu przy obecności harmoniczných

$P_{ef}$  straty w rdzeniu przy częstotliwości podstawowej

Specjalne konstrukcje transformatorów (dla poszczególných grup)

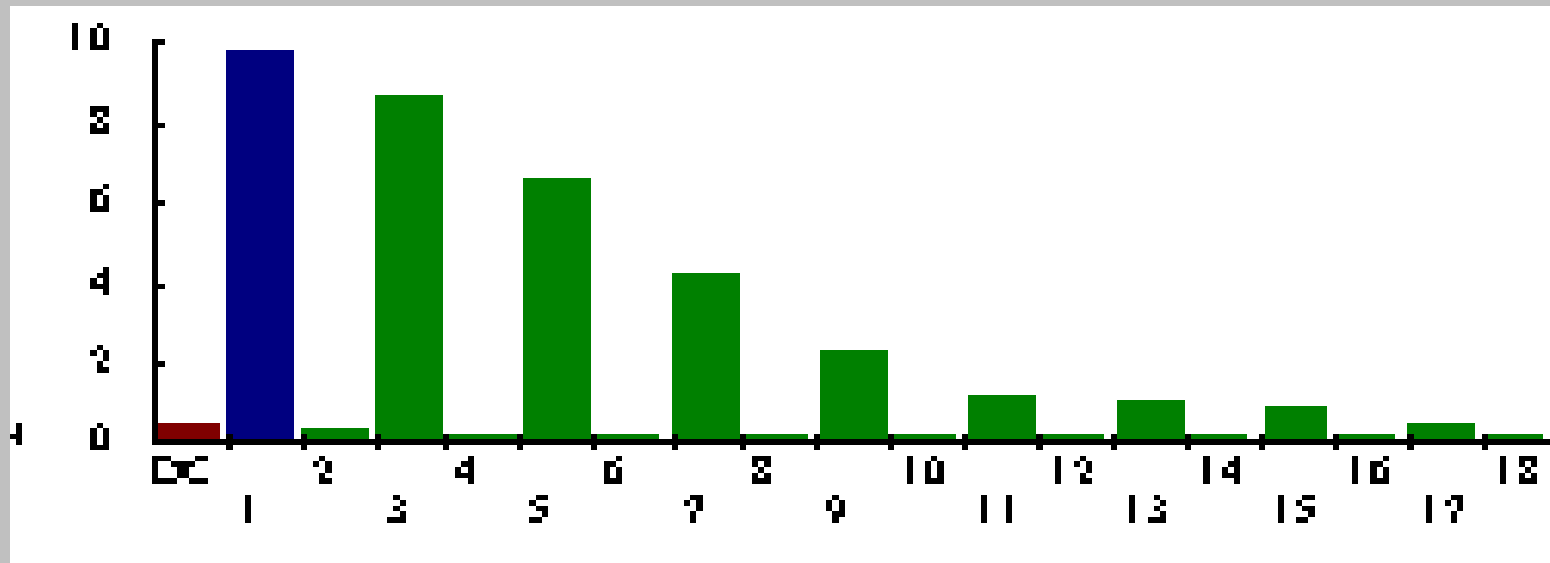
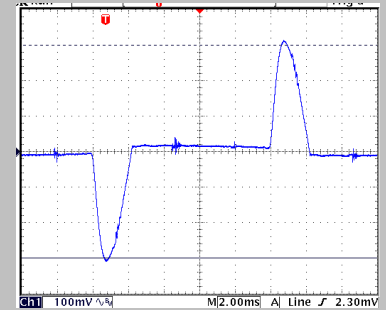
(rdzenie z materiałów o małych stratach, uzwojenia wykonywane linką lub licą)

K-4, K-9, K-13, K-20, K-30, K-40, K-50

Powyżej 7-mej harmoniczných

Wzrost strat w przewodach (naskórkowość)

# Impulsowy przebieg prądu – K-Factor



100% 88% 66% 43% 22% 12% 11% 10% 5%  
 9,8A 8,6A 6,5A 4,2A 2,2A 1,2A 1,1A 1,0A 0,5A

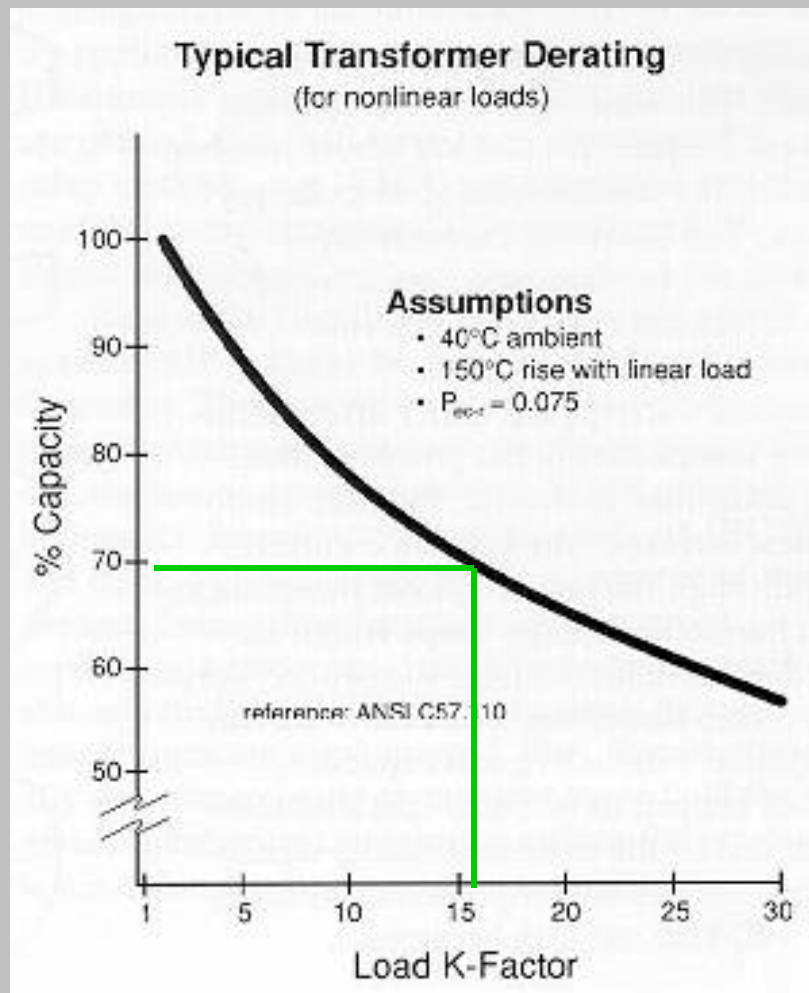
$$K = \sum_{h=1}^{17} \left( \frac{I_h}{I} \right)^2 h^2$$

**K = 15,72**

K-4, K-9, K-13, **K-20**, K-30, K-40, K-50

# Transformatory zasilające odbiorniki nieliniowe

## Obniżenie parametrów znamionowych



**Max obciążenie 70%**

# Transformatory zasilające odbiorniki nieliniowe

## Obniżenie parametrów znamionowych

File Method

Enter the harmonic number and harmonic current for each harmonic that is present and "Add" to the list. Remember to include the fundamental with a harmonic number of one. Currents may be absolute values or relative to the fundamental current as 1.

Calculation method

K Factor  Factor K

Fundamental eddy current loss: 0.100

Eddy current loss exponent: 1.7

Harmonic No.:

Magnitude:  Add

RMS current: 1,576

K - rating: 15,72 Calculate

Harmonic No.	Magnitude
1	9,800
3	8,600
5	6,500
7	4,200
9	2,200
11	1,200
13	1,100
15	1,000
17	0,500

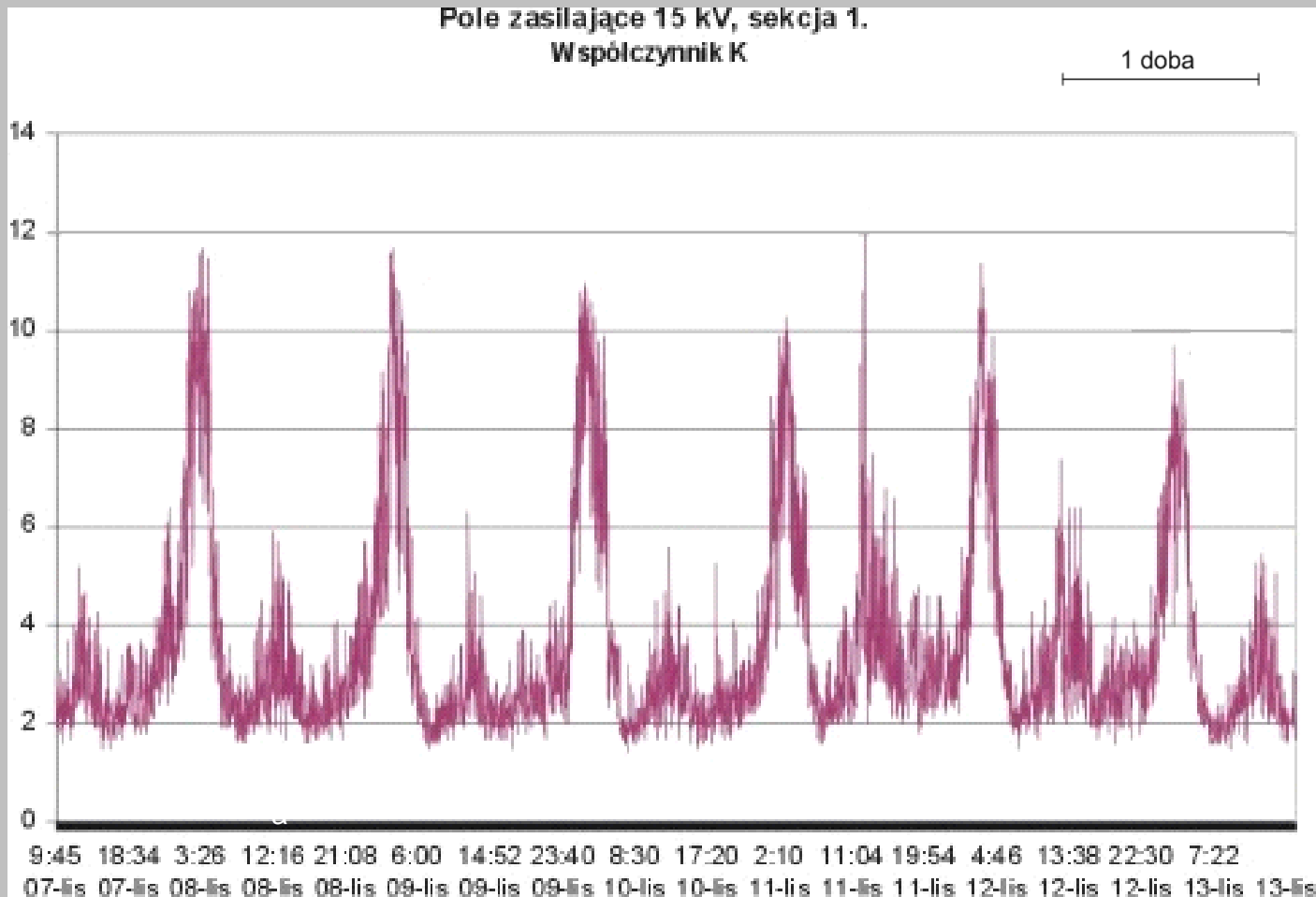
$$K = \sum_{h=1}^{17} \left( \frac{I_h}{I} \right)^2 h^2$$

**K = 15,72**

K-4, K-9, K-13, **K-20**, K-30, K-40, K-50

# Transformatory zasilające odbiorniki nieliniowe

## Obniżenie parametrów znamionowych



(rejestracja 6-dobowa)



# Awarie kondensatorów z powodu harmonicznych

Rozdzielnia

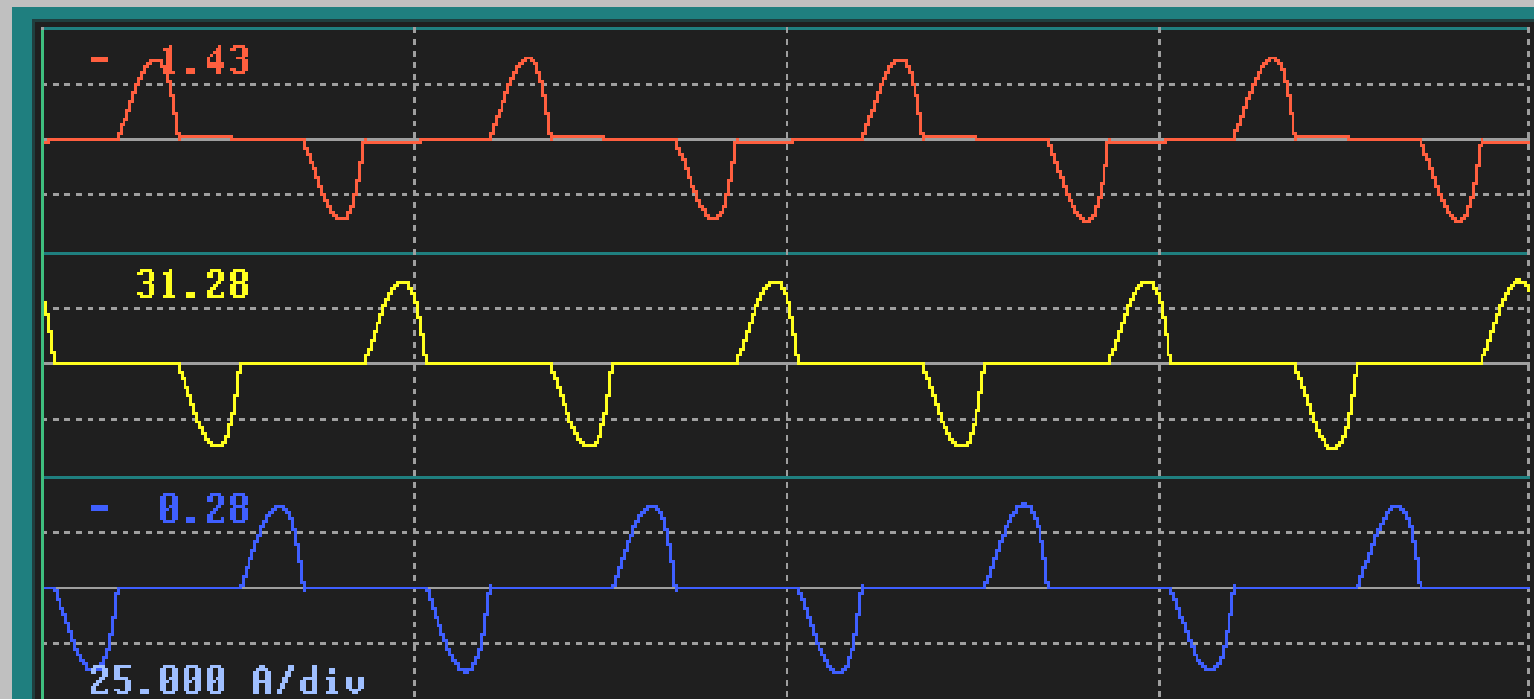
3x400V

100 kVAr

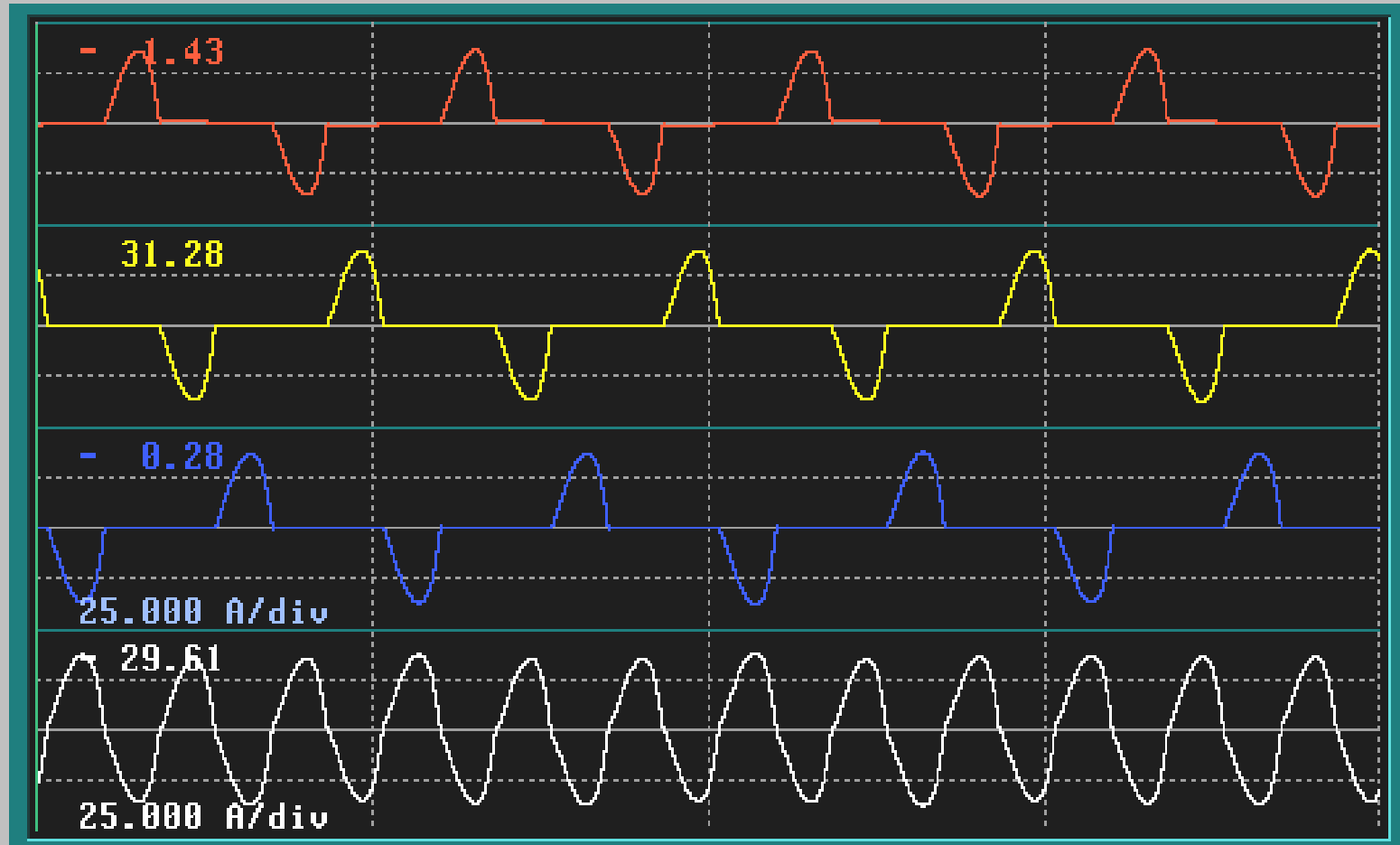




# Odbiorniki nieliniowe – prądy fazowe



# Odbiorniki nieliniowe – prąd w przewodzie neutralnym



# Jakość energii elektrycznej - IEEE std. 519

## Total Harmonic Distortion

$$THD = \sqrt{\sum_{k=2}^N (U_k / U_1)^2} * 100\%$$

# Zakłócenia harmonicznymi

## Dopuszczalne limity

(wg. standardu IEEE 519 – 1992,

)

---

U	120V ÷ 69kV	69kV ÷ 161kV	161kV <
THD	5%	2,5%	1,5%

---

USA

1992: 15% ÷ 20%

2001: 60% ÷ 80%

# Zakłócenia harmonicznymi

## Dopuszczalne limity

(wg. standardu IEEE 519 – 1992, wg. Rozp. Min. Gosp. z 25.09.2000)

---

U	120V ÷ 69kV	69kV ÷ 161kV	161kV <	
THD	5%	2,5%	1,5%	
U	≤ 1kV	1kV < U ≤ 30kV	30kV < U ≤ 110kV	110kV <
THD	8%	5%	2,5%	1,5%

---

# Zakłócenia harmonicznymi

## Dopuszczalne limity

(wg. standardu IEEE 519 – 1992, wg. Rozp. Min. Gosp. z 04.05.2007)

---

U	120V ÷ 69kV	69kV ÷ 161kV	161kV <	
THD	5%	2,5%	1,5%	
U	≤ 1kV	1kV < U ≤ 30kV	30kV < U < 110kV	110kV ≤
THD	8%	8%	8%	3%

---

# Zakłócenia harmonicznymi

**Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego  
(Dz.U.2007.93.623 – rozporządzenie z dnia 04.05.2007)**

... na podstawie art. 15 ustawy z 15.04.2011 zarządza się, co następuje:

...  
**§ 38 p.4) Przedsiębiorstwo energetyczne, do którego sieci są przyłączeni odbiorcy, może ustalić, dla poszczególnych grup przyłączeniowych, dopuszczalne poziomy zaburzeń parametrów jakościowych energii elektrycznej niepowodujących pogorszenia parametrów określonych w ust. 1 i 3 albo ustalonych w umowie sprzedaży energii elektrycznej.**

# Liczniki energii elektrycznej

## Wpływ harmonicznych na wskazania

(badania w wzorcowni Oddziału Elbląskiego ENERGA-OPERATOR SA)

			Numer próby			
			1	2	3	4
cos φ	-					
I	A					
THD I	%					
THD U	%					
LS1	P	%				
	Q	%				
LS2	P	%				
	Q	%				
LS3	P	%				
	Q	%				
LS4	P	%				
	Q	%				



# Liczniki energii elektrycznej

## Wpływ harmonicznych na wskazania

(badania w wzorcowni Oddziału Elbląskiego ENERGA-OPERATOR SA)

			Numer próby			
			1	2	3	4
COS $\varphi$	-					
I	A					
THD I	%					
THD U	%					
LS1	P	%				
	Q	%				
LS2	P	%				
	Q	%				
LS3	P	%				
	Q	%				
LS4	P	%				
	Q	%				

# Liczniki energii elektrycznej

## Wpływ harmonicznych na wskazania

(badania w wzorcowni Oddziału Elbląskiego ENERGA-OPERATOR SA)

			Numer próby			
			1	2	3	4
cos φ	-					
I	A					
THD I	%					
THD U	%					
LS1	P	%				
	Q	%				
LS2	P	%				
	Q	%				
LS3	P	%				
	Q	%				
LS4	P	%				
	Q	%				

# Liczniki energii elektrycznej

## Wpływ harmonicznych na wskazania

(badania w wzorcowni Oddziału Elbląskiego ENERGA-OPERATOR SA)

			Numer próby			
			1	2	3	4
cos φ	-		0,6	0,96	0,6	0,96
I	A		1	1	6	6
THD I	%		23,185	23,229	23,389	23,400
THD U	%		7,797	7,797	7,804	7,804
LS1	P	%				
	Q	%				
LS2	P	%				
	Q	%				
LS3	P	%				
	Q	%				
LS4	P	%				
	Q	%				

# Liczniki energii elektrycznej

## Wpływ harmonicznych na wskazania

(badania w wzorcowni Oddziału Elbląskiego ENERGA-OPERATOR SA)

			Numer próby			
			1	2	3	4
cos φ	-		0,6	0,96	0,6	0,96
I	A		1	1	6	6
THD I	%		23,185	23,229	23,389	23,400
THD U	%		7,797	7,797	7,804	7,804
LS1	P	%	0,134	- 0,032	1,501	0,252
	Q	%				
LS2	P	%	0,134	0,168	1,613	0,523
	Q	%				
LS3	P	%	0,434	- 0,182	1,765	0,021
	Q	%				
LS4	P	%	0,434	0,318	1,897	0,624
	Q	%				

# Liczniki energii elektrycznej

## Wpływ harmonicznych na wskazania

(badania w wzorcowni Oddziału Elbląskiego ENERGA-OPERATOR SA)

			Numer próby			
			1	2	3	4
cos φ	-		0,6	0,96	0,6	0,96
I	A		1	1	6	6
THD I	%		23,185	23,229	23,389	23,400
THD U	%		7,797	7,797	7,804	7,804
LS1	P	%				
	Q	%	- 4,314	17,753	- 4,561	13,713
LS2	P	%				
	Q	%	0,691	- 4,409	- 0,122	- 7,800
LS3	P	%				
	Q	%	0,616	- 5,070	- 0,263	- 8,056
LS4	P	%				
	Q	%	0,616	- 3,747	- 0,137	- 6,840

# Liczniki energii elektrycznej

## Wpływ harmonicznych na wskazania

(badania w wzorcowni Oddziału Elbląskiego ENERGA-OPERATOR SA)

			Numer próby			
			1	2	3	4
cos φ	-		0,6	0,96	0,6	0,96
I	A		1	1	6	6
THD I	%		23,185	23,229	23,389	23,400
THD U	%		7,797	7,797	7,804	7,804
LS1	P	%				
	Q	%	- 4,314	17,753	- 4,561	13,713
LS2	P	%				
	Q	%	0,691	- 4,409	- 0,122	- 7,800
LS3	P	%				
	Q	%	0,616	- 5,070	- 0,263	- 8,056
LS4	P	%				
	Q	%	0,616	- 3,747	- 0,137	- 6,840

# Zakłócenia w sieciach i instalacjach elektrycznych generowane przez odbiorniki nieliniowe

## ZASILACZE    KOMPUTERY    OŚWIETLENIE ENERGOOSZCZĘDNE

- Zaburzenia napięcia
- Wzrost prądu w przewodzie neutralnym
- Wzrost napięcia między przewodem neutralnym a PE
- Przegrzewanie się transformatorów i silników (+ wibracje)
- Awarie kondensatorów do kompensacji mocy biernej
- Wzrost strat w liniach przesyłowych
- Błędne działanie zabezpieczeń
- Błędne wskazania liczników energii
- Wzrost natężenia pola magn. emitowanego przez transformatory
- Przyspieszona degradacja izolacji

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ