

PAWEŁ STAWCZYK

Kielce University of Technology

e-mail: pawle83@o2.pl

# HARMONIC REDUCTION TECHNIQUES USING MULTI-PULSE RECTIFIERS

## Abstract

AC/DC converters generate high harmonic currents and voltages into the power system, which causes a deformation of their shapes and increases active power losses. This article gives short review about basic methods of reduction of higher harmonics in phase currents of AC/DC converters consisting of parallel connected 6-pulse bridges.

**Keywords:** AC/DC converter, power quality, THD (Total Harmonic Distortion), autotransformer

## 1. Introduction

In recent years, the harmonics in the power system appear due to the wide applications of the electronic equipments in which the AC/DC converter are usually used. Therefore, it is very important to reduce harmonic components in supply currents of the AC/DC converters. The harmonic problems can be solved by using the active filters which usually operate at high switching frequency and are not suitable for high power applications. The power factor and total harmonic current distortion  $THD_i$  of the input line current can be improved by using of the multi-pulse AC/DC converter. The total harmonic current distortion  $THD_i$  is described by formula:

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} 100\% = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^{*2}} \quad (1)$$

where:  $I_h^*$  – relative current component of  $h$ - harmonic order.

Multi-pulse AC/DC converters generate odd current harmonics order:

$$h = k \cdot q \pm 1 \quad (2)$$

where  $k$  – number of parallel connected 6-pulse bridges,  $q$  – number of pulses

As results from (2) an increase in pulse number  $q$  is the basic method to eliminate high harmonic currents. One obtains an increase in  $q$  in classical solutions by series or parallel connection of  $p$  number of 3-phase bridges supplied by transformers with required phase shifting.

$$\phi = \frac{2\pi}{q p} \quad (3)$$

Another method is based on the use of rectifiers with modulators in DC current circuits.

## 2. Multi-pulse AC/DC rectifiers

Figure 1 shows modified systems consisting of 6-pulse rectifiers. They behave approximately as 24-pulse (Fig. 1a) and 36-pulse (Fig. 1b) rectifiers in consequence of alternate conducting of diodes and thyristors connecting to terminals of the interphase transformer. The depth of asymmetry in load of each of component rectifiers depends of turn number of reactor segments in consequence improve the power quality.

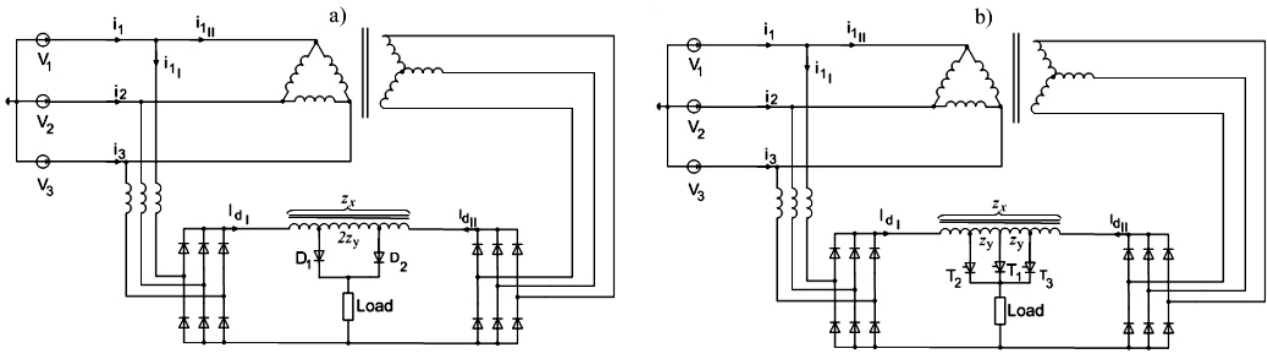


Fig. 1. Diode rectifiers with modulation in DC current: a) 24-pulse, b) 36-pulse [4]

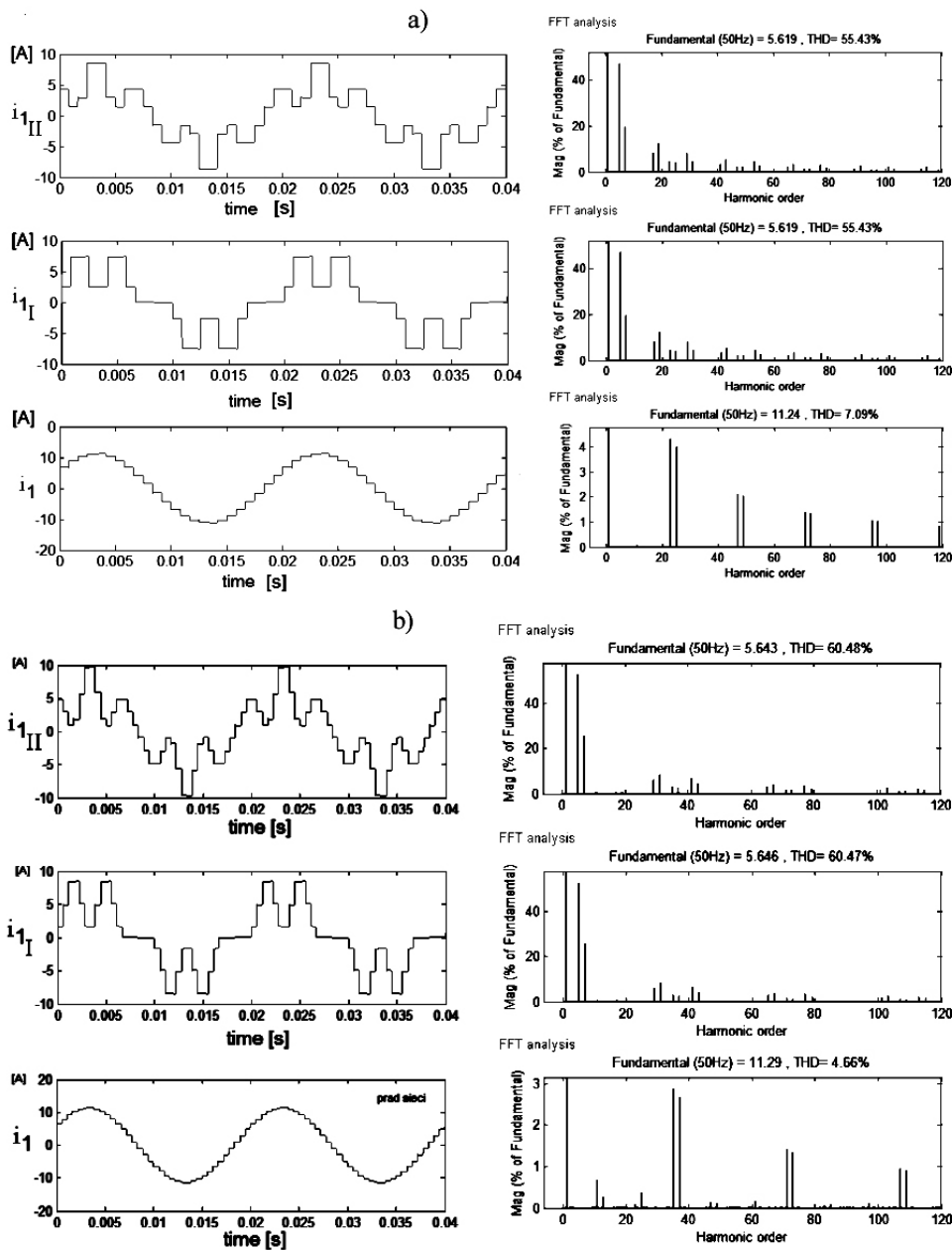


Fig. 2. Line currents of component bridges and rectifier and their FFT analysis in: a) 24-pulse, b) 36-pulse mode [1, 3]  
 $i_{I, II, III}$  – phase supply currents of component bridges

$$i_{l_1} = \frac{2 \cdot \sqrt{3}}{3} \cdot (0.5 \mp a) \cdot I_d \cdot \cos\left(n \frac{2\pi}{q}\right) \quad (4)$$

$$i_{l_{11}} = \frac{2 \cdot \sqrt{3}}{3} \cdot (0.5 \pm a) \cdot I_d \cdot \cos\left(n \frac{2\pi}{q} + \frac{\pi}{12}\right)$$

where:  $a$  – takes values:  $a_x, -a_x$  for converter in Figure 1a and  $a_x, -a_x, 0$  for converter in Figure 1b,  $q$  – number of pulses,  $I_d$  – DC current.

The 36-pulse rectifier offers a higher quality input current (line current) while that of the 24-pulse rectifier is distorted. The  $THD$  of the 24-pulse rectifier equals 7.09% but for 36-pulse rectifier 4.66%.

Another type of modulation in DC current circuit in the form of interphase transformer is presented in Figure 3 [7]. Primary winding of the transformer is supplied from AC current modulator. The shape and magnitude of AC current transformed from primary to secondary winding determines the depth of load asymmetry of rectifier component bridges.

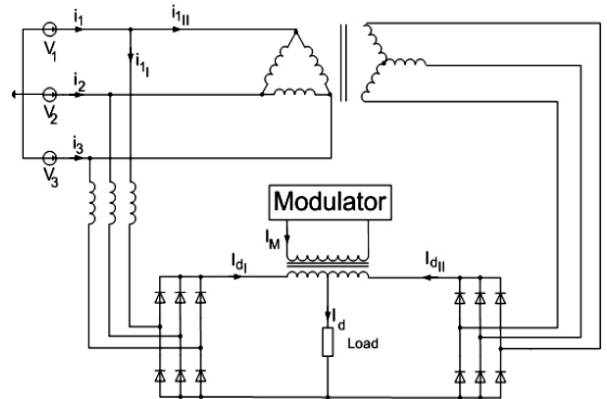


Fig. 3. 12-pulse rectifier with modulation in DC circuit [3]

The shape of line current of the converter is close to sinusoidal one. The total harmonic current distortion  $THD_i$  in this case is equal to 1.03%.

### 3. Conclusions

Conventional AC/DC converters are developed using diodes and thyristors to provide controlled and uncontrolled unidirectional and bidirectional

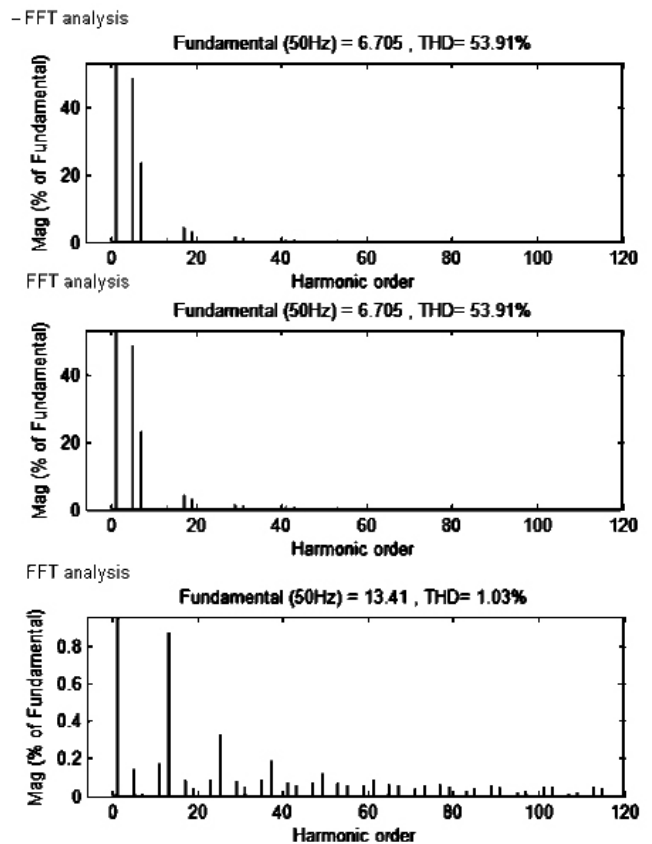
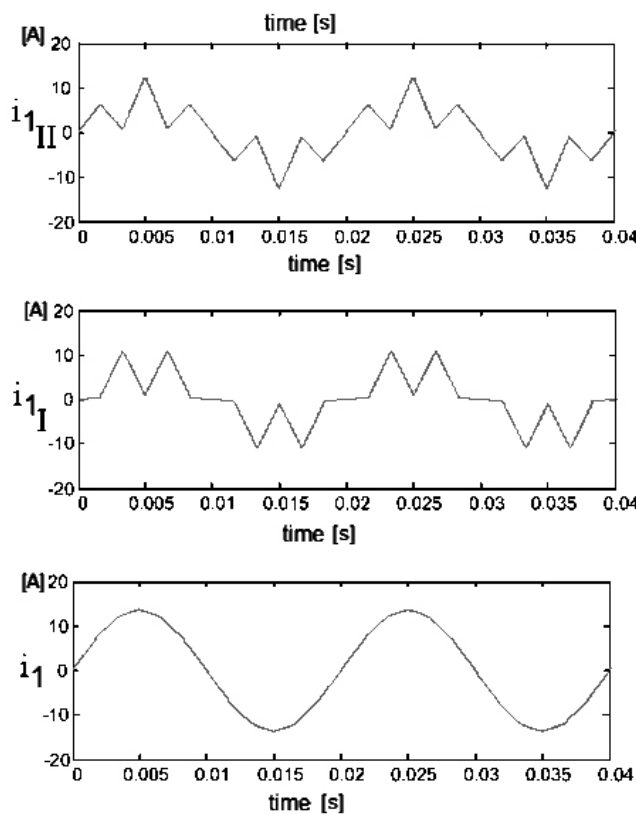


Fig. 4. Line currents of component bridges and rectifier and their FFT analysis [3]

dc power, however, these converters have problems of poor power quality in terms of injected current harmonics, resultant voltage distortion and slowly varying rippled DC output at load end, low efficiency, and large size of AC and DC filters.

High-power applications use AC/DC converters based on the concept of multipulse mode (namely: 12-, 24-, 36-pulse) to reduce the harmonics in AC supply currents, to overcome presented drawbacks and to fulfil contemporary power quality standards. The variation of harmonics in the input current for different pulse numbers is shown Table 1.

**Table 1.** Variation of *THD* with pulse number

Pulse number	<i>THD</i> [%]
6	34.5
12	14.5
24	7.09
36	4.66

It is possible to further improve the *THD* using the modulator in the DC circuit shown in Figure 3. The value of *THD* for this case is 1.03%, which is a very good result. Multi-pulse rectifiers with modulation in DC current circuit meets the standards specified for connecting devices I and II quality [8].

## References

- [1] Rolek J.: *Układy prostowników wielopulsowych z modulacją w obwodzie prądu stałego (Multi-pulse rectifiers with modulation in DC current)*, „Przegląd elektrotechniczny”, R. 84 5, 2008.
- [2] Anrvindan A.N., Pushpakarthick P.: *24-pulse rectifier realization b 3-phase to four 3-phase transformation using conventional transformer*, NPEC 2010.
- [3] Kapłon A., Rolek J.: *Analysis of Multipulse Rectifiers with Modulation in DC Circuit in Vector Space Approach*. 2008 13<sup>th</sup> International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE-PEMC 2008).
- [4] Miyairi S., Iida S., Nakata K., Masukawa S.: *New Method for Reducing Harmonics Involved in Input and output of Rectifier with Interphase Transformer*, IEEE Trans. On Industry Applications, IA-22 (5), pp. 790–797.
- [5] Paice D. A.: *Power Electronic Converter Harmonics Multipulse Methods for Clean Power*, IEEE PRESS New York 1996.
- [6] Younis M., Rahim N., Mekhlef S.: *Harmonic reduction in a three-phase rectifier with sinusoidal current*. Power System Technology, 2002. PowerCon 2002. International Conference on, pp. 2251–2255.
- [7] Strzelecki R., Supronowicz H.: *Współczynnik mocy w systemach zasilania prądu przemiennego i metody jego poprawy (Power factor in AC power supply systems and methods of its improvement)*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.
- [8] Minister of Economic Affairs 4 May 2007 In the *specific conditions of power system* (29 May 2007) (original: Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. W sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (29. maj. 2007)), Warszawa

Paweł Stawczyk

## Metody redukcji wyższych harmoniczných z wykorzystaniem prostowników multipulsowych

### 1. Wprowadzenie

W ostatnich latach z powodu znacznej liczby urządzeń elektrycznych zasilonych z prostowników AC/DC wzrasta zawartość wyższych harmoniczných prądów w sieciach zasilających. Redukcja harmoniczných, które pojawiają się w prądach zasilających przekształtniki AC/DC jest zatem bardzo ważnym problemem. Zmniejszenie udziału wyższych harmo-

niczných uzyskuje się między innymi przy pomocy filtrów aktywných pracujących z wysoką częstotliwością przełączeń, które jednak nie są przystosowane do pracy w układach wysokiej mocy. Poprawienie współczynnika mocy oraz całkowitego współczynnika odkształcenia prądu *THD<sub>i</sub>* można uzyskać stosując wielopulsowe przekształtniki AC/DC. Całkowity współczynnik odkształcenia prądu określa wzór (1).

Wielopulsowe przekształtniki AC/DC generują nieparzysty rząd harmonicznego prądu – wzór (2).

Jak wynika z powyższej zależności zwiększanie liczby pulsów  $q$  jest podstawową metodą pozwalającą na wyeliminowanie wyższych harmonicznym w prądach zasilających. W klasycznych rozwiązaniach zwiększenie liczby pulsów  $q$  uzyskuje się poprzez szeregowo lub równoległe połączenie  $p$  trójfazowych układów mostkowych zasilonych przez transformator o symetrycznym układzie napięć wtórnych przesuniętych względem siebie o kąt – wzór (3).

Innym rozwiązaniem jest prostownik multipulsowy z modulatorem w obwodzie prądu stałego.

## 2. Wielopulsowe prostowniki AC/DC

Na rysunku 1 pokazano dwa przykładowe rozwiązania zawierające dwa trójfazowe układy mostkowe wykazujące właściwości pracy prostownika 24-pulsowego (rys. 1a) oraz 36-pulsowego (rys. 1b) wskutek przemiennego przewodzenia diod oraz tyrystorów podłączonych do zacisków dławika kojarzącego. Stopień asymetrii w obciążeniu każdego z mostków zależy od liczby odczepów dławika kojarzącego, co znacząco wpływa na poprawę jakości energii.

Prostownik 36-pulsowy oferuje mniej odkształcone prądy zasilające w stosunku do prostownika 24-pulsowego. W przypadku prostownika 24-pulsowego całkowity współczynnik odkształcenia  $THD$  wynosi 7,09%, natomiast dla prostownika 36-pulsowego współczynnik ten wynosi 4,66%.

Innym sposobem pozwalającym na zmniejszenie współczynnika  $THD_i$  prądów pobieranych z sieci jest transformator międzyfazowy, który pełni funkcję modulatora, co pokazano na rysunku 3 [7]. Pierwotne uzwojenie transformatora zapewnia wzajemne skojarzenie składowych mostków, natomiast uzwojenie wtórne pełni funkcję obwodu modulującego. Kształt oraz wartość prądu przemiennego AC transformowanego z uzwojenia pierwotnego do uzwojenia wtórnego transformatora wyznacza stopień asymetrii obciążenia składowych mostków.

Kształt prądu liniowego takiego przekształtnika jest bliski sinusoidalnemu. Całkowity współczynnik odkształcenia prądu  $THD_i$  wynosi 1,03%.

## 3. Wnioski

Klasyczne przekształtniki AC/DC zbudowane w oparciu o diody oraz tyrystory zapewniają kontrolowany oraz niekontrolowany jedno lub dwukierunkowy przepływ mocy. Ich wadą jest: pogorszenie jakości energii z powodu wyższych harmonicznym

prądu, odkształcenie napięcia wypadkowego, tętnienie napięcia wyjściowego DC, niska sprawność układu oraz znaczny rozmiar filtrów AC oraz DC.

Przekształtniki bazujące na koncepcji pracy wielopulsowej (mianowicie: 12-, 24-, 36-pulsowe) stanowiące zasilanie układów wysokiej mocy redukują wyższe harmoniczne prądów zasilających, wpływają na wyeliminowanie przedstawionych wyżej wad oraz zapewniają spełnienie aktualnych standardów jakości energii. W tabeli 1 pokazano przykłady współczynnika odkształcenia  $THD$  dla różnej liczby pulsów  $q$ .

Dalsze zmniejszenie współczynnika  $THD$  możliwe jest dzięki zastosowaniu modulatora w obwodzie prądu stałego, co pokazano na rysunku 3. W przypadku powyższego rozwiązania współczynnik  $THD$  wynosi 1,03%, co jest bardzo niską wartością. Przekształtniki wielopulsowe z modulacją w obwodzie prądu stałego spełniają wysokie standardy przewidziane dla urządzeń przyłączeniowych klasy I oraz II.