

ВИСШИ ХАРМОНИЦИ В МРЕЖИ С МОЩНИ ВЕНТИЛНИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Иван Стоилов¹, Кирил Джустров²

¹ Минно-геоложки университет "Св. Ив. Рилски", 1700 София, E-mail: ivan_stoilov@abv.bg

² Минно-геоложки университет "Св. Ив. Рилски", 1700 София, E-mail: justrov@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Коментират се резултатите от експериментални изследвания на висшите хармоници в електрическите мрежи на предприятие от цветната металургия. Анализирани са възможностите за компенсиране на висшите хармоници в напрежението.

UPPER HARMONICS IN SUPPLY LINES WITH POWERFUL VALVE CONVERTERS

Ivan Stoilov¹, Kiril Dzhustrov²

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: ivan_stoilov@abv.bg

² University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: justrov@mgu.bg

ABSTRACT: The results of the experimental researches in the upper harmonics in the supply lines of a non-ferrous metallurgy enterprise are treated. The possibilities of compensation of the upper harmonics of the voltage are analyzed.

1.1. Измервателна апаратура

Измерванията са проведени с многофункционален прибор Multiver 3SN, който извършва хармоничен анализ на напрежението и тока в трите фази, сканирайки с честота 4 kHz, прилагайки изчислителен алгоритъм – бързо преобразуване на Фурие. Приборът дава стойностите на хармоничния състав в % спрямо основния хармоник (50 Hz) до хармоник с номер 25. Уредът позволява запис в цифров вид на кривите на тока и напрежението с честота на сканиране 2,5 kHz, което обуславя голяма точност (<0,5%).

1.2. Методика на измерванията.

Възприето бе измерванията да се провеждат на страна 20kV на трансформаторите, захранващи съответните машини и на страна ниско напрежение за съответните задвижвания. На страна 20 kV приборът се свързваше към измервателните трансформатори в КРУ на цеховите подстанции. На страна ниско напрежение измерването на тока се извършаваше директно с амперклемите на прибора, присъединени към входящите кабели в таблата ниско напрежение. При повече от един кабел се приема, че товара е разпределен равномерно. Напреженостите на прибора се свързват директно в мрежи с напрежение до 500 V, а при по-високи напрежения към съществуващите измервателни трансформатори.

Един цикъл за хармоничен анализ продължава 30s. За всяка точка са проведени от 3 до 6 измервателни цикъла. Резултатите от проведените експериментални изследвания са обработени с приложни програмни продукти

Регистрирани са амплитудно-честотните спектри на висшите хармоници на всички задвижвания захранвани от мощни вентилни преобразователи на предприятието „София мед“ АД (Стоилов и Джустров, 2010). Тук се коментират някои резултати от измерванията на най-мощните двигатели на валцовите станове. На хистограмите, показващи амплитудно-честотния спектър на хармоничните съставлящи, са дадени получените резултати за част от измервателните цикли. В таблиците под хистограмите са дадени максималните регистрирани стойности на коефициентите на съответните хармоници от всички измервания.

1.3. Измервания на страна 20kV.

На фиг.1 е представен амплитудно-честотния спектър на хармониците, регистрирани на страна 20 kV – кабелна линия, захранваща трансформатор 2500 kVA. Към вторичната намотка на трансформатора е свързан 6 фазен вентилен преобразовател, който захранва главния двигател на валцов стан Robertson 2 (постояннотоков двигател с мощност 1650 kW.)

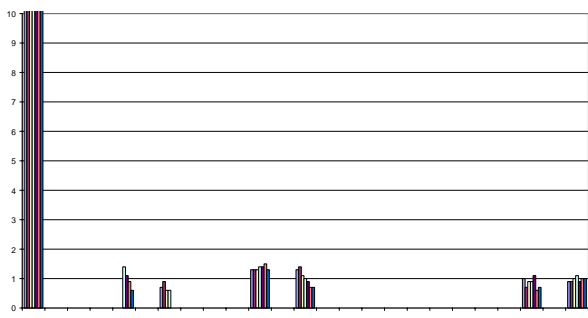
От представената графика на амплитудно-честотния спектър на висшите хармоници в напрежението на шини 20 kV се вижда, че при работа на Robertson 2 – клетка присъстват само канонични хармоници, които са характерни за 6 фазната схема на изправяне (Иванов В. С., В. И. Соколов, 1987).

Индивидуалните коефициенти на хармониците №5, №7, №11 и №13 са значително по-ниски от допустимите (EN 50160:2000). Незначително превишение на нормите има регистрирани при единични измервания на хармо-

ници с номера 23 и 24. Регистрирани са максимални стойности на коефициентите 1,8% и 2,2% при допустима стойност 1,5%. В преобладаващата част от измервателните цикли тези хармоници са с коефициент около 1%.

Общият коефициент на несинусоидалност THD е 4,4%, което е значително по-нисък от допустимия за мрежи средно напрежение – 8% (EN 50160:2000).

КРУ2, килия 21, Тр-р №6, Робертсон 2, клетка. Хармоници в напрежението



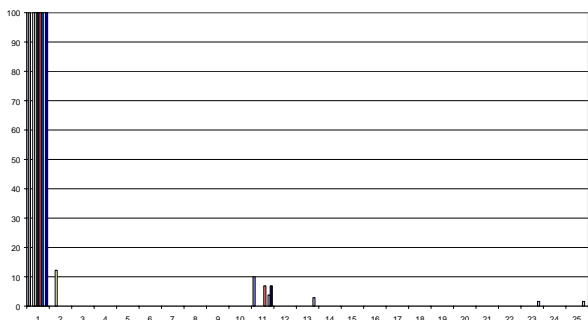
фиг.1. Хармоничен спектър в напрежението на стан Robertson 2 (6 фазна схема на изправяне)

Таблица 1.

Наименование	номер на хармоник, %							THD
	1	5	7	11	13	23	25	
Robertson 2	100	1,7	0,9	3,0	2,0	1,8	2,2	4,4

За захранване на двигателя на Hot mill - клетка (2400kW) е приложено паралелно свързване на два изправителни моста. Те се захранват с напрежение, изместено на съответен ъгъл от тринамотъчен трансформатор на който едната вторична намотка е свързана в триъгълник, а другата в звезда. По този начин се получава така наречената 12-фазна схема на изправяне. За нея са присъщи хармониците с номера 11, 13, 23, 25 и т.н., което се потвърждава от факта, че при хармоничния анализ на тока присъстват само каноничните хармоници за 12-фазната схема на изправяне – 11, 13, 23 и 25 (фиг.2).

Хот мил, ЗКРУ килия 7, клетка. Хармоници в тока



фиг.2. Хармоничен спектър в тока на стан Hot mill (12 фазна схема на изправяне)

Регистрираните коефициенти на хармониците в напрежението са с ниски стойности. При едно от измерванията е отчетена максимална стойност на 25

хармоник – 1,7 % при препоръчана норма 1,5%. Общият коефициент на несинусоидалност THD е 3,8%.

Таблица 2.

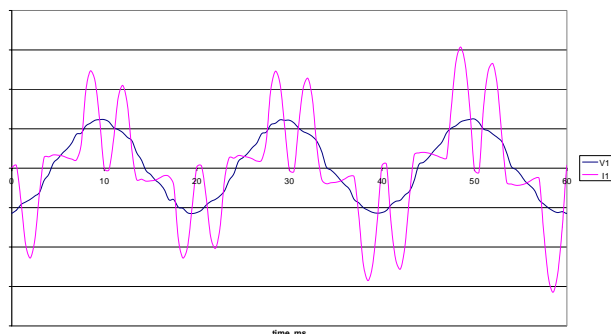
Наименование	номер на хармоник, %					
	1	2	11	13	23	25
Hot mill	100	12,2	11,3	4,8	1,9	1,7

1.4. Измервания на страна ниско напрежение на цеховите трансформатори.

Висшите хармоници в мрежите НН на трансформаторите, захранващи вентилни преобразователи са неотменна черта в тяхната нормална работа. Няма норми за големината на коефициентите на несинусоидалност в тези мрежи. Целта на експерименталните изследвания се свежда до регистриране на евентуална неизправност в управлението на вентилните преобразователи, преценка за възможно претоварване на трансформатори и кабели от висши хармоници. Резултатите от амплитудно-честотния анализ на напрежението и тока биха могли да послужат при избора на устройства за компенсация, свързани на ниската страна на трансформаторите.

На фиг. 3 са показани кривите на напрежението и тока на входа на вентилния преобразовател, захранващ два двигателя на общ вал с мощност всеки по 920 kW, които задвижват валците на стан Sendzimir

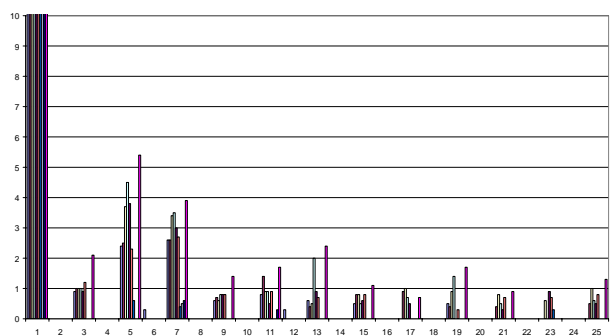
Сензимир, клетка НН. Криви на напрежението и тока



фиг.3. Крива на напрежението и тока на стан Sendzimir

В хармоничния състав в кривата на напрежението присъстват множество аномални хармоници - фиг.4.

Сензимир, клетка НН. Хармоници в напрежението



фиг.4. Хармоничен спектър в напрежението на стан Sendzimir

Таблица 3.

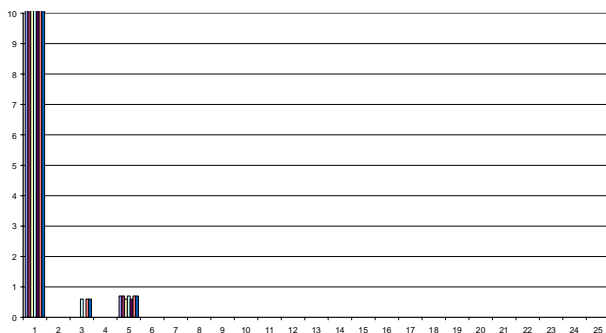
Наименование	номер на хармоник, %																			THD
	1	3	5	6	7	9	10	11	12	13	15	16	17	19	21	22	23	25		
Sendzimir, ниско напрежение	100	2,1	5,4	0,5	3,9	1,4	0,3	1,7	0,3	2,4	1,1	0,3	1,0	1,7	0,9	0,3	1,3	1,3	8,2	

1.5. Измервания на страна 110kV

На страна 110kV в кривата на напрежението са регистрирани 3-ти и 5-ти хармоник с незначителни коефициенти – съответно 0,6 и 0,7. Общият коефициент на несинусоидалност има минимална стойност (THD=0,9). В кривата на тока присъства само 5-ти хармоник с коефициент на несинусоидалност 8,3%.

Измерванията на страна 110kV показват, че предприятието не замърсява с висши хармоници кривата на напрежението в енергийната система.

ГПП, Трансформатор 2, 110kV. Хармоници в напрежението



фиг.5. Хармоничен спектър в напрежението на страна 110kV

Таблица 4.

Наименование	номер на хармоник, %			THD
	1	3	5	
страна 110kV	100	0,6	0,7	0,9

1.6. Анализ на резултатите от измерванията

От проведените измервания могат да бъдат направени следните изводи:

1. На шините 20 kV на всички подстанции в завода не са регистрирани хармонични съставки в напрежението със стойности над допустимите норми. Стойностите на общият коефициент на несинусоидалност (THD) са в интервала 1,9% - 4,4% при допустима норма 8%.

2. В мрежите ниско напрежение на цеховите трансформатори са регистрирани високи стойности на коефициентите на хармониците в напрежението и тока. Те са присъщи за нормалната работа на съответните вентилни преобразователи. В тези мрежи не се нормират коефициенти на хармониците.

3. Не е целесъобразно да се прилагат устройства за активно компенсиране на хармониците в мрежите НН поради следните съображения:

- не се генерират висши хармоници с недопустими стойности на коефициентите на несинусоидалност в напрежението в мрежата 20 kV, която захранва останалите консуматори;

- не са регистрирани смущения от висши хармоници в линиите за комуникация, в работата на релейните защиты и други устройства и системи;

- не са регистрирани прегрявания в трансформатори, кабели и двигатели;

- предлаганите на пазара устройства са за напрежения 380 - 415 V (Karve Shrid, 2001). Със специална поръчка могат да бъдат изработени за напрежение до 690V (Charman David, 2001). Част от задвижванията в завода са с по-високи напрежения

- максималният работен ток на единично устройство е 300А, което определя паралелно включване на няколко от тях за по-мощните консуматори, с което се увеличава броя, респективно разходите за доставката им.

4. Не е ефективно компенсирането на реактивната мощност да се извършва на страна НН на цеховите трансформатори поради следните причини:

- наличието на голям брой хармоници с високи коефициенти и бързо променящия се реактивен товар изискват използване на устройства за динамична компенсация;

- предлаганите на пазара устройства за динамична компенсация на реактивната мощност са два вида (AIM Active Harmonic Filters):

- системи изградени от кондензатори, антирезонансни филтри и тиристорни модули за комутация
- електронни модули за корекция на фактора на мощността

И двата вида устройства са ограничени по напрежение

- електронните модули са за мрежи с напрежение до 600 V, а тиристорните модули са за напрежения до 690 V, което ги прави неприложими за част от консуматорите;

- в част от измерванията са регистрирани аномални хармоници, които не могат да бъдат компенсирани от устройствата с антирезонансни филтри;

- необходим е голям брой устройства със значителни мощности за пълно компенсиране на реактивния товар на всички електрозадвижвания.

- дори при пълна индивидуална компенсация на реактивните товари на задвижванията с вентилни преобразователи, общо за предприятието няма да се постигне неутралния фактор на мощността $\cos \varphi = 0,9$

5. Компенсирането на реактивните товари в предприятието трябва да се извършва централизирано. Измерванията на страна 110 kV категорично потвърждават този извод. В периодите на минимално натоварване, когато основните машини не работят е необходима реактивна мощност около 1000 kVAг за компенсиране на режима на празен ход на цеховите трансформатори. Тази мощност е невъзможно да бъде осигурена при индивидуална компенсация на отделните електрозадвижвания. По времето на пълно натоварване за компенсиране на фактора на мощността е необходима реактивна мощност

около 3500 kVAг. Тя е определена като са включени всички консуматори в предприятието.

Литература

Стоилов И., К. Джустров. . Заключителен отчет по тема:
Опитно изследване на електрозахранванията на
„СОФИЯ МЕД“ АД. С., МГУ “Инженеринг”,2010.

EN 50160:2000, Voltage characteristics of electricity supplied
by public distribution systems

Иванов В. С.,В. И. Соколов. Режимы потребления и
качество электроэнергии систем электроснабжения
промышленных предприятий.М.,Энергоатомиздат,1987
Chapman David, Harmonics Causes and Effects. Power
Quality Application Guide, Copper Development
Association, UK, 2001.

Karve Shri, Aktive Harmonic Conditioners. Quality Application
Guide, Copper Development Association, UK, 2001.

AIM Active Harmonic Filters, AIM EUROPE, UK
www.aimeurope.com

*Препоръчана за публикуване от катедра
„Електрификация на минното производство“, МЕМФ*